VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky
a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2012

Ing. Bronislav Suchý

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky
a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Návrh a realizace měřicího a řídicího systému pro malou vodní elektrárnu

Design and Implementation of the Measurement and Control System for Water Plant

2012 Ing. Bronislav Suchý

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra měřicí a řídicí techniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Ing. Bronislav Suchý**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2601R004 Měřicí a řídicí technika

Téma: Návrh a realizace měřicího a řídicího systému pro malou vodní elektrárnu
Design and Implementation of the Measurement and Control System for Water Plant

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky řízení vodních elektráren.
2. Identifikace soustavy a návrh vybraného typu regulátoru pro řízení výšky hladiny.
3. Realizace navrženého algoritmu na programovatelném automatu WinPAC-8000.
4. Realizace měřicího řetězce - komunikace s analyzátorem sítě Janitza UMG 96S a s nadřazeným systémem.
5. Ošetření poruchových stavů systému.
6. Ověření činnosti systému dle specifikace.
7. Vizualizace ve vybraném vizualizačním systému SCADA/HMI.
8. Zhodnocení, závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. ZEZULKA, F. *Prostředky průmyslové automatizace.* 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2004. 176 s. ISBN 80-214-2610-1.
2. ŠMEJKAL, L. - MARTINÁSKOVÁ, M. *Řízení programovatelnými automaty.* 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. 160 s. ISBN 80-01-01766-4 .
3. LEWIS, R.W. *Programming Industrial Control Systems Using IEC 1131-3.* London(UK): the Institution of Electrical Engineers, c1998. 329 s. ISBN 0-85296-950-3.
4. NOSKIEVIČ, P. *Modelování a identifikace systémů.* 1. vyd. Ostrava: MONTANEX, a. s., 1999. 276 s. ISBN 80-7225-030-2.
5. VÍTEČKOVÁ, M. - VÍTEČEK, A. *Základy automatické regulace.* 2. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 243 s. ISBN 978-80-248-1924-2.
6. VAVŘÍN, P. *Teorie automatického řízení I (Lineární spojité a diskrétní systémy).* 2. přepracované vyd. Brno: VUT Brno, 1991. 158 s. ISBN 80-214-0244-X.
7. VAVŘÍN, P. *Teorie dynamických systémů.* 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1989. 177 s.
8. ZÍTEK, P. - HOFREITER, M. - HLAVA, J. *Automatické řízení.* 2.vyd.přeprac. Praha: ČVUT, 1999. 148 s. ISBN 80-01-02044-4.
9. ŠULC, B. *Teorie automatického řízení s počítačovou podporou.* 1. vyd. Praha: ČVUT, 1999. 154 s. ISBN 80-01-01974-8.
10. Firemní dokumnetace Matlab and Simulink.
11. Firemní dokumentace Rex Controls.
12. Firemní dokumentace ICP DAS k programovatelným automatům.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Štěpán Ožana, Ph.D.**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 04.05.2012

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

V Ostravě 4. května 2012 Ing. Bronislav Suchý

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu práce Ing. Štěpánu Ožanovi, Ph.D. za odbornou pomoc, konzultaci a trpělivost při vytváření této bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům Katedry kybernetiky Fakulty aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni Ing. Milanu Štětinovi a Ing. Pavlovi Baldovi, Ph.D. za cenné informace a odbornou pomoc při vytváření této bakalářské práce.

Abstrakt

Tato práce pojednává o návrhu měřícího a řídicího systému malé vodní elektrárny (dále jen MVE) pomocí řídicího systému REX pracujícího na průmyslovém PLC/PAC WinPAC WP-8000. Nejdříve jsou rozebrány požadavky kladené na řídicí systém MVE. Práce se dále zabývá komunikací protokolem Modbus a návrhem hladinového PID regulátoru.

Klíčová slova

Malá vodní elektrárna; programovatelný automat; návrh PID regulátoru;
MVE; PLC/PAC; REX; WinPAC; WP-8000; ICPDAS; PID; PIDMA; Modbus; Janitza UMG96S

Abstract

This work treats of the measurement and control system proposal that could be applied to operate the small water power plant by using the control system REX working with the industrial PLC/PAC WinPAC WP-8000. The required characteristics of the power plant control system are analyzed primarily. Afterwards the essay is focused in the communication by using the Modbus protocol and in the water-level PID regulator proposal.

Keywords

Small hydro plant; Programmable Automation Controller; design and tuning of a PID controller
MVE; PLC/PAC; REX; Win PAC; WP-8000; ICPDAS; PID; PIDMA; Modbus; Janitza UMG96S

Seznam použitých symbolů a zkratek

COM	sériový port
K	zesílení regulátoru
Modbus	je otevřený protokol pro vzájemnou komunikaci různých zařízení
MVE	malá vodní elektrárna do výkonu 10 MW
N	parametr filtru derivační složky regulátoru
OK	oběžné kolo turbíny
OPC	standardizovaná specifikace rozhraní pro aplikace, které jsou zaměřeny na řízení a monitorování rychlých procesů (OLE for Process Control)
PAC	moderní programovatelný kontroler (z anglického Programmable Automation Controller)
PID	spojitý regulátor, složený z proporcionální, integrační a derivační části
PIDMA	PID regulátor s momentovým autotunerem
PLC	Programovatelný logický automat (z anglického Programmable Logic Controller)
REX	vyspělý nástroj pro návrh a realizaci komplexních algoritmů automatického řízení firmy Rexcontrols
RK	rozváděcí kolo turbíny
RS 232	port pro sériovou komunikaci
RS 485	port pro sériovou komunikaci
RTU	varianta komunikačního protokolu Modbus
SCADA/HMI	vizualizační systém
SFC	Sequential function chart - grafický programovací jazyk pro PLC podle standardu IEC 61131-3
TCP/IP	komunikační protokol
Td	časová konstanta derivační složky regulátoru
Ti	časová konstanta integrační složky regulátoru
WinPAC	Modulární řídicí systémy firmy ICPDAS
WP-8000	moderní programovatelný kontroler firmy ICPDAS
b	váhový faktor pro proporcionální složku regulátoru
c	váhový faktor pro derivační složku regulátoru

Obsah

Úvod ... 1

1. Rozbor problematiky řízení vodních elektráren ... 2
   - 1.1. Signalizace pro potřeby obsluhy u soustrojí. ... 3
   - 1.2. Přístrojové řešení automatiky. ... 3
   - 1.3. Sepnutí soustrojí k síti. ... 3
   - 1.4. Snímače neelektrických veličin ... 4
   - 1.5. Požadavky na řídicí systém MVE. ... 4
2. Identifikace soustavy a návrh vybraného typu regulátoru pro řízení výšky hladiny ... 5
   - 2.1. Identifikace systému ... 5
   - 2.2. PID regulátor PIDMA ... 6
   - 2.3. Třístavový krokový regulátor s polohovou zpětnou vazbou SCU. ... 13
3. Realizace měřicího řetězce - komunikace modbus RTU s analyzátorem sítě Janitza UMG 96S ... 15
   - 3.1. Analyzátor Janitza UMG 96S ... 15
   - 3.2. Komunikace analyzátoru Janitza UMG 96S se systémem REX ... 16
4. Realizace navrženého algoritmu na programovatelném automatu WinPAC-8000 ... 19
   - 4.1. Modul task v systému REX ... 20
   - 4.2. Blok SGSLP pro správu připojených parametrů. ... 21
   - 4.3. Použití automatu pro sekvenční řízení ATMT. ... 22
   - 4.4. ITOI – Transformace celých a binárních čísel ... 23
5. Ošetření poruchových stavů systému ... 24
6. Vizualizace ve vybraném vizualizačním systému SCADA/HMI ... 25
7. Zhodnocení a závěr ... 29

Literatura ... 30

Seznam obrázků a tabulek ... 31

Úvod

S výzkumem a vývojem pokročilých algoritmů, podpůrných a diagnostických nástrojů přímého měření, řízení a regulace strojů a procesů v reálném čase se nabízí možnost využít některých těchto moderních metod při návrhu řídicích systémů malých vodních elektráren, neboť i zde se v poslední době kladou vyšší nároky na technické řešení. V práci jsem ověřoval možnost využití kompaktního analyzátoru sítě k měření elektrických veličin pro potřeby nadřazeného řídicího systému PLC/PAC. Dalším stěžejním prvkem práce je využití návrhu hladinové regulace MVE pomocí nástrojů, které nabízí ve své knihovně řídicí systém REX. Využíval jsem autotuningových nástrojů PID regulátoru s momentovým autotunerem a jeho spolupráce s krokovým regulátorem s polohovou zpětnou vazbou. V závěru je ukázán princip přenosu proměnných mezi řídicím systémem REX a objektovým softwarovým nástrojem pro tvorbu aplikací SCADA přes standardní rozhraní OPC, a také návrh řídícího programu v systému REX.

1. Rozbor problematiky řízení vodních elektráren

V minulosti byly MVE provozovány pouze jako obslužné, kdy je po 24 hodin zabezpečovala lidská obsluha. S rozvojem a obnovou nových MVE po roce 1981 byla potřeba zajistit bezobslužný provoz (popř. jen s minimální obsluhou, která zabezpečí kontrolu chodu zařízení a předepsané revize technologického zařízení).

Při řešení automatizace MVE stojí proti sobě požadavek nízkých pořizovacích nákladů a požadavek bezobslužného provozu s vysokým komfortem pro obsluhu s nízkou odborností, Ve skutečnosti základní koncepci automatiky ovlivňuje celá řada technických, organizačních a finančních vlivů.

Základním technickým vlivem určujícím celou koncepci řešení elektročásti automatiky je řešení strojní části. Právě toto řešení určuje, zda automatika bude činná nebo klidová, určuje návrh ovládacího napětí, rozsah hlídaných strojních poruchových stavů, počty ovládaných prvků a základní počty snímaných veličin. Příliš komplikované řešení strojní části vede ke komplikovanému a nepřehlednému řešení elektrotechnické části automatiky stroje, která velmi často léčí chyby strojního zařízení.

Činné řešení automatiky znamená, že pro provedení jakékoli akce musí přijít povel. Při činné automatice zůstává při ztrátě napětí technologie ve stavu, ve kterém byla před ztrátou napětí. Činné řešení automatiky se většinou používá u velkých elektráren s trvalou obsluhou, která může v případě ztráty napětí ručně zasáhnout a celou situaci řešit.

Klidová automatika znamená, že zařízení je ve funkci po dobu trvání povelu. Například má-li být vypínač zapnutý, musí být trvale pod napětím jeho zapínací cívka. V případě odepnutí tohoto signálu nebo ztráty ovládacího napětí dojde k vypnutí vypínače. Při klidové automatice dojde při ztrátě ovládacího napětí k uvedení technologie do klidového stavu. Klidové řešení automatiky se převážně používá u malých elektráren bez trvalé obsluhy.

Struktura automatiky soustrojí v sobě zahrnuje několik základních částí. Jedná se o sekvenční ovládání stroje, o zabezpečovací část automatiky, o regulační části automatiky, o pomocné automatiky, o provozní měření, o provozní signalizaci a o signalizaci poruchových hlášení, popř. o spolupráci navazujícími automatikami s dálkovým řízením. Do obvodů sekvenčního automatu zásadně nepatří čistě zabezpečovací funkce, jako jsou elektrické ochrany apod. Tyto zabezpečovací funkce mohou být někdy v automatu obsaženy, pokud je celý automat řešen jako zabezpečovací automat a pokud automat tyto funkce stačí bezpečně řešit společně s ostatními funkcemi. V takovém případě musí být zabezpečovací funkce automatu vždy dostatečně nadřazeny ostatním funkcím.

Sekvenční ovládání stroje v sobě zahrnuje logiku ovládání pří spouštění soustrojí, při provozním odstavování a při poruchách. Spouštěcí a odstavovací sekvence řeší posloupnosti ovládání jednotlivých prvků strojní automatiky (magnety, motory apod.) a elektrických prvků (vypínačů, stykačů apod.). V rámci sekvence jsou prováděny i kontroly splnění podmínek pro další pokračování pochodu. Jedná se o kontroly chodu pohonu, přítomnosti médií apod. Sekvenční ovládání stroje je ukončeno uvedením stroje do provozního stavu nebo naopak do stavu klidu.

Zabezpečovací obvody automatiky zahrnují snímání sledovaných veličin a při dosažení poruchového stavu zajistí odpovídající reakci. Většinou se jedná o překročení teplot, tlaku, napětí, výkonu apod. Při překročení signalizační úrovně obvody zabezpečovací automatiky vyšlou varovný signál. Při překročení kritické hodnoty obvody zabezpečovací automatiky samy zajistí přímou cestou vypnutí, uzavření potřebných ovládacích prvků, vydávají odstavovací povel soustrojí a zajistí signalizaci vzniku poruchy. K obvodům zabezpečovací automatiky patří i tlačítko STOP.

Regulační obvody automatiky v sobě zahrnují regulaci hladiny, skupinovou regulaci a optimalizaci provozu více strojů apod.

Provozní měření zahrnuje snímání vybraných veličin a jejich analogové nebo digitální zobrazení. Jedná se o měření teplot, tlaků, hladin, otáček, měření napětí, proudu, výkonu, kmitočtu apod. Rozsah provozního měření je dán složitostí zařízení a požadavky obsluhy. Většinou je rozsah provozních měření u MVE poměrně malý, protože se jedná zpravidla o elektrárny bez trvalé obsluhy.

Mezi provozní měření patří i bilanční měření vyrobené energie pomocnými elektroměry, připojenými např. na vývodu generátoru. Jedná se o orientační měření provozovatele. Např. elektroměr měřící jalový výkon velice často slouží obsluze pro nastavení a kontrolu správné kompenzace resp. buzení generátoru. Skutečné fakturační měření výroby elektrické energie celé elektrárny je v majetku provozovatele sítě, tj. rozvodných závodů, a je umístěno v samostatné elektroměrové skříni.

1.1. Signalizace pro potřeby obsluhy u soustrojí.

Místní provozní signalizace je u elektráren bez trvalé obsluhy redukována obdobně, jako rozsah provozního měření. Většinou jsou signalizovány pouze základní provozní stavy, jako např. připravenost soustrojí k provozu, chody menších nebo vzdálených agregátů apod. Signalizace poruch soustrojí je většinou výraznější než provozní měření, protože má při příchodu obsluhu rychle informovat o důvodu, proč není soustrojí v provozním stavu. Základní vlastností signalizace poruch soustrojí je, že musí být trvalá, informace o poruše nesmí zaniknout. Signalizace poruch se prováděla signálními relé a signálkami, v současné době jsou nahrazovány informačním hlášením na obrazovkách, nebo zápisem do alarmů a hlášením přes internet nebo textovou zprávou na mobilní telefon.

1.2. Přístrojové řešení automatiky.

V nedávné minulosti byla většina automatik u MVE řešena zásadně reléovou technikou. Reléové automaty v sobě zahrnovaly jak sekvenční automatiky, tak logiku zabezpečovacích obvodů. Velice často byl základem celého reléového automatu právě automat zabezpečovací, nebo bylo soustrojí spouštěno ručně a veškerá automatika byla pouze zabezpečovací. U malých jednoduchých elektráren tak byly obvody automatiky redukovány pouze na jedno nebo dvě relé.

V současné době s rozvojem výpočetní techniky a hlavně s poklesem cen za programovatelné automaty se většina automatik i u MVE řeší s použitím této digitální techniky. Na trhu je nyní celá řada technologií, které je možno pro řešení použít. Jednotlivá řešení se liší cenami, úměrnými možnostem, které nabízejí. Při návrhu je nutné klást důraz na jednoduchost, spolehlivost a přehlednost. Velké množství funkcí a možností znepřehledňuje obsluhu. Je nutno si uvědomit, že po většinu životnosti zařízení je soustrojí v chodu a obsluha provádí pouze pochůzkovou službu, pří které potřebuje rychlé a přehledné informace, zda je vše v pořádku, resp. informaci o vyrobené energii. V případě, že dojde k neprovozní situaci, obsluha už většinou neví, co všechno jí automat nabízí a umožňuje, protože tyto funkce dlouhodobě nevyužívala. V těchto případech musí být informace a akce automatu jednoduchá a jednoznačná.

1.3. Sepnutí soustrojí k síti.

Při spouštění je soustrojí spínáno k síti výkonovým spínacím prvkem, většinou stykačem. Je kladen velký důraz k omezení nežádoucích negativních vlivů zařízení na distribuční síť, tedy i při fázování generátoru. Způsob připnutí soustrojí k síti je zásadně rozdílný u asynchronních a synchronních generátorů. U většiny MVE se používají asynchronní generátory.

U asynchronních generátorů se snažíme minimalizovat první proudový náraz, a to snížením nebo úplným odstraněním činné složky nárazového proudu. Za tímto účelem se porovnává kmitočet

sítě s kmitočtem asynchronního generátoru a povel k sepnutí je vydán až po jejich srovnání. Signál o kmitočtu asynchronního generátoru pro spínací přístroj je možno snímat jako signál o otáčkách stroje, popř. lze snímat napětí ze svorek asynchronního generátoru, vybuzené z remanentního napětí stroje. Takto spínaný stroj je připnut k síti pouze s krátkým magnetizačním nárazovým proudem bez činné složky.

V praxi je sled fází generátoru a sítě kontrolován jen před prvním přifázováním při uvádění soustrojí do provozu, popř. po provedení rekonstrukce, kdy by mohlo dojít k chybnému zapojení silových nebo ovládacích obvodů.

Měření elektrických veličin zahrnuje měření pro potřeby orientace obsluhy o stavu soustrojí, měření pro potřeby automatiky a zabezpečovacích obvodů, měření pro dálkovou signalizaci a měření pro potřeby účtování vyrobené, popř. spotřebované energie. V současné době se využívají analyzátory sítě a kombinované multimetry s řadou integrovaných funkcí.

1.4. Snímače neelektrických veličin.

V závislosti na rozsahu a složitosti řešení strojního zařízení jsou na MVE instalovány snímače neelektrických veličin. Tyto snímače slouží k měření teplot, tlaků, hladin, primární polohy, otáček apod. Výstupem u všech snímaných veličin může být analogový signál nebo pouze dvouhodnotový signál. Charakter signálu je dán hlavně účelem, ke kterému má sloužit. Měření neelektrických veličin slouží pro orientaci obsluhy o stavu technologie, pro potřeby automatiky a obvody zabezpečovací automatiky a pro dálkovou signalizaci.

1.5. Požadavky na řídicí systém MVE.

Na řídicí systém samostatně ovládající MVE jsou kladeny následující požadavky:

- zajištění bezpečného chodu soustrojí turbína-generátor a zajištění minimálního průtoku přes jez;
- regulace otevření turbín pro maximální využití dostupného množství vody;
- ukládání dat o provozu MVE pro fakturaci vyrobené elektrické energie a statistické sledování provozu MVE.

Nejkritičtější je zajištění bezpečného chodu soustrojí turbína - generátor a udržení minimálního průtoku přes jez. Pokud by jej řídicí systém nedokázal zajistit, znamenalo by to ohrožení vybavení MVE, nebo dokonce životů osob. Druhý a třetí požadavek již neznamená ohrožení majetku ani osob. Dokáže-li však řídicí systém MVE samostatně správně regulovat, ušetří provozovateli práci a přinese nárůst množství vyrobené elektrické energie.

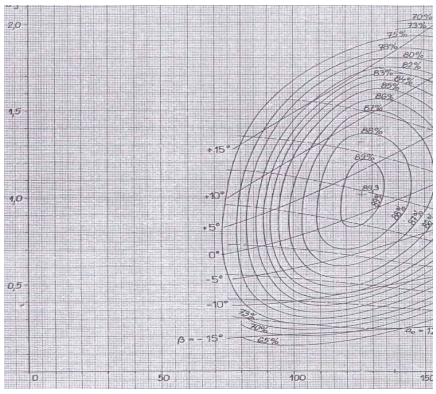
Ukládání dat o MVE ovlivňuje její provoz nepřímo. Skládá se ze tří úrovní. Zaznamenávání údajů o vyrobené elektrické energii, údajů o překročení mezních hodnot sledovaných parametrů MVE a zaznamenávání informací o chybách a poruchách řídicího systému MVE. Je tedy jasné, že z dlouhodobějšího pohledu je i třetí činnost řídicího systému MVE – ukládání informací velice přínosná a důležitá.

2. Identifikace soustavy a návrh vybraného typu regulátoru pro řízení výšky hladiny

2.1. Identifikace systému

Pro správný návrh regulátoru v regulačním obvodu je důležitá správná identifikace soustavy, jež bude navrženým regulátorem regulována. Identifikaci soustav lze provést dvojím způsobem:

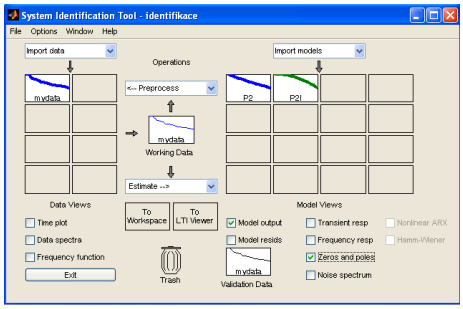
- analytickou identifikací;
- experimentální identifikací.



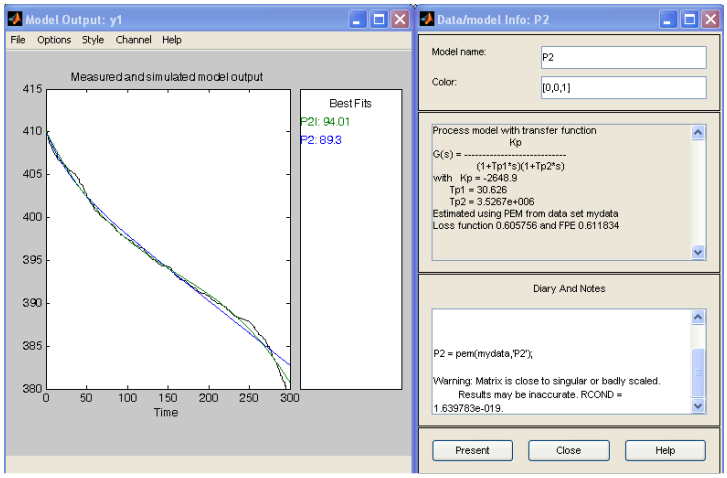
Obrázek 2.1 Univerzální charakteristika Kaplanovy turbíny

Při analytické identifikaci soustav je důležitá dokonalá znalost identifikovaného procesu – soustavy. To znamená, že soustava je popsána na základě vnitřního popisu. Vlastnosti soustav jsou již popsány ve stádiu projektu řízení dané technologie nebo procesu. S výhodou lze pak opakovaně využít tento popis při realizaci obdobných soustav.

Na předchozím obrázku 2.1 je uvedena závislost otevření rozváděcího kola turbíny při konstantním spádu. Otevření 0 až 100% odpovídá v grafu úhel β –15 °až +15 °, na ose jsou otáčky, které se nemění, na ose y je jednotkový průtok turbínou. Další vliv má přepad, charakteristika přívodního i odpadního kanálu, změna spádu, dopravní zpoždění, změna přítoku, otevření stavidel. Vzhledem ke složitosti analytického řešení tohoto nelineárního systému jsem použil experimentální metodu pomocí nástrojů IDENT obsažených v programu Matlab, a také autotuningových možností obsažených u PID regulátoru s momentovým autotunerem.
Systém Ident je nástroj, který umožňuje vytvoření zjednodušeného modelu složitějšího systému na základě změřených vstupních a výstupních dat s šumem i bez šumu. Jednou z možností tohoto toolboxu je pružné grafické uživatelské rozhraní, které umožňuje organizaci dat a modelů. Toto grafické uživatelské rozhraní se otevře pomocí příkazu ident v Matlabu. Výsledkem identifikace je zjištění, že se jedná o astatický systém druhého nebo vyššího řádu.



Obrázek 2.2 Toolbox Ident

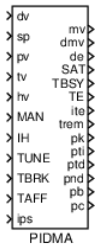


Obrázek 2.3 Výsledek identifikace

2.2. PID regulátor PIDMA

Pro regulaci soustavy malé vodní elektrárny jsem navrhl použít PID regulátor s momentovým autotunerem PIDMA z knihovny řídicího systému REX firmy REX Controls s.r.o.

Blok PIDMA má v systému REX tento symbol bloku:



Obrázek 2.4 Symbol bloku PIDMA [3]

Ladící mechanismus tohoto regulátoru při autotuningu nejdříve odhaduje drift a šum regulované veličiny, poté je na vstup procesu aplikován pravoúhlý puls. Z jeho odezvy se vypočítají první tři momenty impulsní odezvy. Na základě těchto momentů je vytvořen model procesu, který je použit při automatickém nastavení parametrů regulátoru.

V automatickém režimu (MAN = off) realizuje blok PIDMA řídicí zákon PID regulátoru se dvěma stupni volnosti, jehož Laplaceova transformace výstupu bude mít tvar:

$$U(s) = \pm K \left\{ bW(s) - Y(s) + \frac{1}{T_i s}\left[W(s) - Y(s)\right] + \frac{T_d s}{\frac{T_d}{N}s + 1}\left[cW(s) - Y(s)\right] \right\} + Z(s)$$ [3],

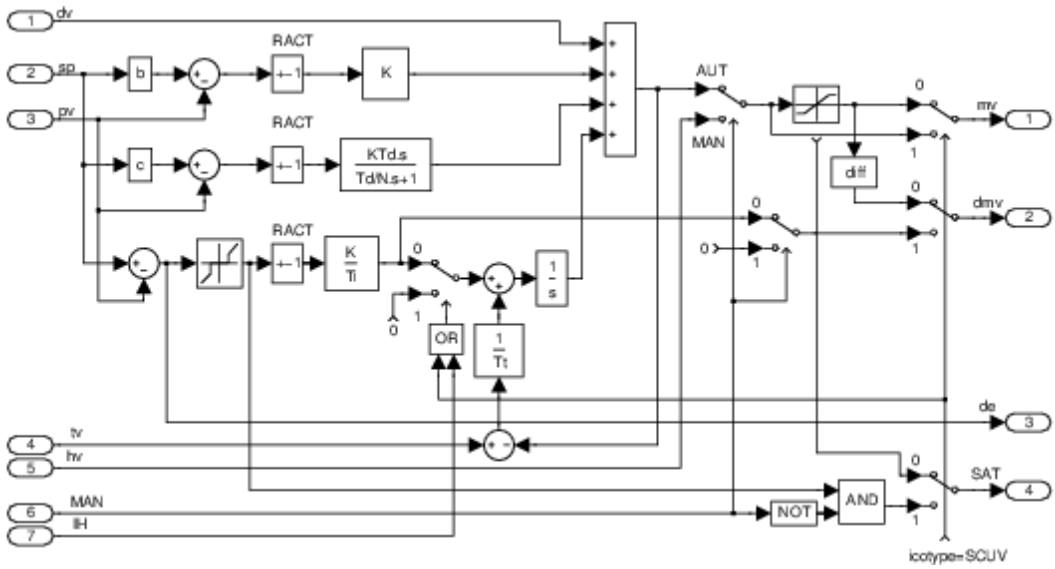
kde U(s) je Laplaceova transformace řídicí veličiny mv, W(s) je Laplaceova transformace požadované hodnoty sp, Y(s) je Laplaceova transformace regulované veličiny pv, Z(s) je Laplaceova transformace dopředné vazby dv a K, Ti, Td, N,b, c jsou parametry regulátoru. Znaménko pravé strany u zesílení K se nastavuje parametrem RACT. V našem případě je třeba nastavit záporné znaménko, proto bude nastaven parametr RACT na hodnotu on, neboť vyšší hodnotě mv - akčního zásahu regulátoru (otevření turbíny) odpovídá nižší pv - řízená veličina (výška hladiny).

Rozsah řídicí veličiny mv (polohového výstupu regulátoru) je omezen parametry hilim, lolim. Parametr dz udává pásmo necitlivosti v integrační složce regulátoru. Navíc integrační složka může být vypnuta a zafixována na své aktuální hodnotě vstupem. Pro správnou funkci regulátoru je nutné propojit výstup regulátoru mv se vstupem tv přes blok LPBRK. Blok LPBRK zajistí přerušení zpětné vazby při překladu schématu programem RexComp, a také kompatibilitu se systémem Simulink.

Já jsem blok PIDMA propojil s blokem SCU (za účelem realizace krokového regulátoru s polohovou zpětnou vazbou), potom parametr icotype musí být nastaven na hodnotu 3.

V manuálním režimu (MAN = on) je vstup hv kopírován přímo na výstup mv. Tohoto režimu jsem využil při odstavování turbíny, kdy se hodnota hv i mv nastaví na 0, tedy se turbína zavře. Také při najíždění turbíny se tohoto režimu regulátoru využívá a turbína se nastaví z nulové polohy na určenou počáteční startovací polohu rozváděcího kola.

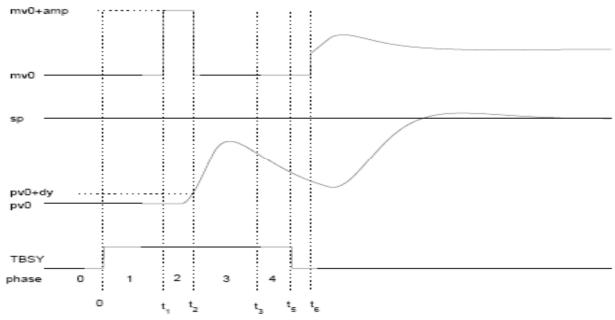
Celková regulační funkce bloku PIDMA je zřejmá z následujícího obrázku.



Obrázek 2.5 Celková regulační funkce bloku PIDMA [3]

Blok PIDMA rozšiřuje řídící funkci standardního PID regulátoru o vestavěné automatické nastavování parametrů (PID autotuner). Před spuštěním autotuneru musí operátor ve vhodném pracovním bodě dosáhnout ustáleného stavu, zvolit a nastavit další parametry autotuneru (iainf, DGC, tdg, tn, amp, dy a ispeed). Identifikační experiment se startuje vstupem TUNE (vstupem TBRK jej lze předčasně ukončit). V tomto módu je nejprve odhadnut drift a šum regulované veličiny (ve specifikovaném čase tdg – drift, tn - šum) a poté je na vstup procesu aplikován pravoúhlý puls. Z odezvy procesu jsou odhadnuty první tři momenty jeho impulsní odezvy. Amplituda pulsu se nastavuje parametrem amp. Puls je ukončen poté, co se hodnota regulované veličiny pv změní o více, než určuje tolerance (práh) dy. Pokud je nastaven příznak DGC, používá se při zpracování signálu speciální kompenzace trendu signálu. Odhad času zbývajícího

do konce procesu ladění je přiveden na výstup trem. Funkce autotuneru je demonstrována na následujícím obrázku.



Obrázek 2.6 Časový průběh autotuningu [3]

Pro využití funkce autotuningu a nastavování parametrů regulátoru a sledování regulace jsem ve vizualizačním programu vytvořil obrazovku.

Pokud experiment skončí úspěšně, objeví se optimální parametry na výstupech pk, pti, ptd, pnd, pb, pc. V opačném případě určuje výstup ite kód chyby experimentu.

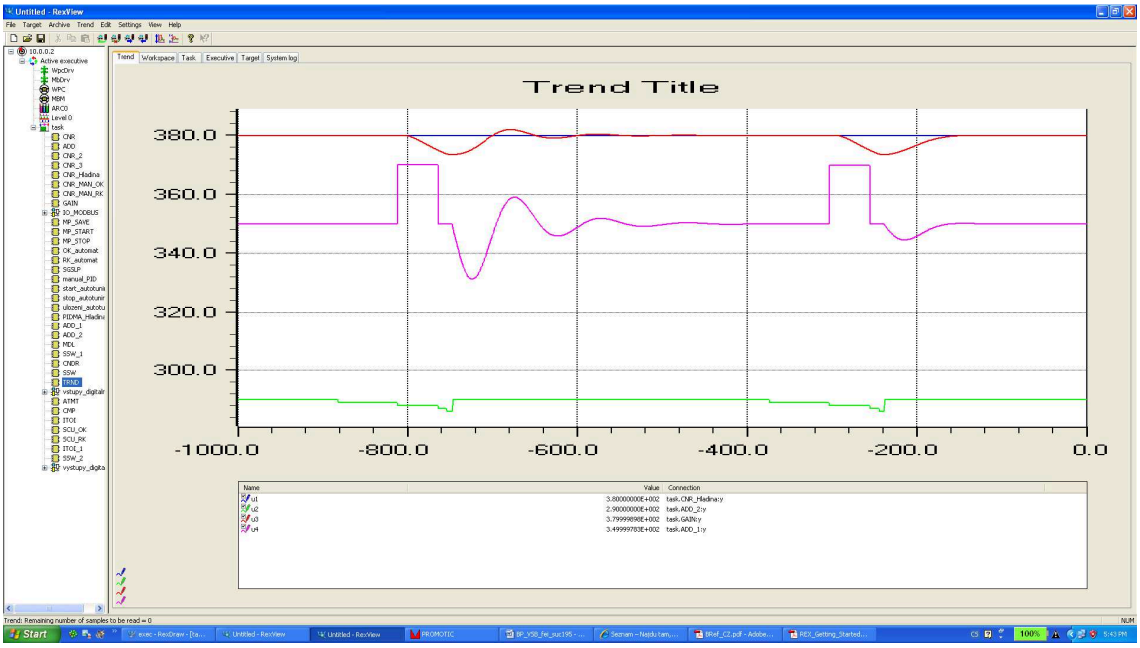
Během identifikačního experimentu výstup ite indikuje jednotlivé fáze činnosti autotuneru. Ve fázi odhadu strmosti odeznívání odezvy může být proces ladění předčasně manuálně ukončen. V tomto případě jsou parametry regulátoru řádně navrženy, avšak jejich možná nepřesnost je indikována varovným kódem. Zdokumentoval jsem dva samostatné autotuningy.

Hodnoty z obou autotuningů jsou uvedeny v tabulce:

výstup	význam	1. autotuning	2. autotuning
pk	navržené zesílení regulátoru K	5.128	5.141
pti	navržená integrační časová konstanta Ti	38.131	38.115
ptd	navržená derivační časová konstanta Td	7.703	7.699
pnd	navržený parametr filtru derivační složky N	2	2
pb	navržený váhový faktor pro proporcionální složku	0	0
pc	navržený váhový faktor pro derivační složku	1	1

Tabulka 1 Výsledky autotuningu.

V následujícím obrázku je zobrazen průběh v RexView, kde ke skutečné hodnotě parametru ite (zelená) a výstupu regulátoru (fialová) přičtena konstanta tak, aby hodnoty nezmenšily rozsah grafu při autoscalingu. Na obrázku jsou vidět dva procesy autotuningu za sebou. Zde je vidět po ukončení autotuningu automatická regulace na stejnou nastavenou požadovanou hladinu 380 cm. Požadovaná hodnota je modrá, skutečná hodnota je červená. V prvním případě jsou parametry regulátoru k, ti, td, nd, b, c nastaveny odhadem, ve druhém případě již jsou nastaveny hodnoty z autotuningu. Rozdíl a úspěch autotuningu je jasně viditelný.



Obrázek 2.7 Časový průběh autotuningu v RexView.

Po ukončení experimentu je funkce regulátoru závislá na nastaveném režimu (manuální, automatický).

Vstupy regulátoru jsou

dv	Proměnná dopředné vazby
sp	Požadovaná hodnota (požadovaná hladina vody)
pv	Řízená veličina (skutečná hladina vody)
tv	Veličina pro vysledování (zpětná vazba)
hv	Hodnota výstupu v manuálním režimu (poloha RK požadovaná v ručním režimu)
MAN	Manuální nebo automatický režim off automatický režim on manuální režim
IH	Zastavení integrace
TUNE	Zahájení ladicího experimentu nebo vynucení přechodu do další fáze experimentu, neboť náběžná hrana vstupu TUNE během fází -2, -3 and -4 způsobuje předčasné ukončení dané fáze a přechod do fáze následující (nebo ukončení experimentu ve fázi -4).
TBRK	Ukončení ladicího experimentu
TAFF	Přijetí výsledků ladicího experimentu off parametry jsou pouze vypočítány on parametry jsou dosazeny do řídicího algoritmu
ips	Význam výstupních signálů pk, pti, ptd, pnd, pb a pc 0 navržené parametry k, ti, td, nd, b a c PID regulátoru 1 momenty procesu: zesílení (pk), míra zpoždění soustavy (pti), míra délky odezvy soustavy (ptd)

2 tříparametrový model procesu prvního řádu s dopravním zpožděním: zesílení (pk), dopravní zpoždění (pti), časová konstanta (ptd)
3 tříparametrový model procesu druhého řádu s násobnou časovou konstantou a dopravním zpožděním: zesílení (pk), dopravní zpoždění (pti), časová konstanta (ptd)
4 odhad mezí intervalu pro manuální doladění zesílení k PID regulátoru (): horní mez (pk), dolní mez (pti)
>99 slouží pro diagnostické účely

Výstupy regulátoru

mv Akční zásah regulátoru (nastavovaná poloha RK)
dmv Rychlostní výstup regulátoru (diference)
de Regulační odchylka
SAT Saturace
off lineární zákon řízení
on výstup regulátoru je saturován
TBSY Příznak probíhajícího ladicího experimentu
TE Příznak chyby během ladění
off Ladění proběhlo bez chyby
on Během ladění se vyskytla chyba
ite Kód chyby

Kódy chyb ladění (po experimentu):

0 bez chyby
1 příliš malá hodnota prahu pro ukončení pulzu
2 příliš velká amplituda pulzu
3 nebylo dosaženo ustáleného stavu
4 příliš malá amplituda pulzu
5 nebylo dosaženo ustáleného stavu
6 při experimentu došlo k saturaci výstupu regulátoru
7 pro vybraný typ regulátoru není podporováno automatické nastavování
8 nedodržena podmínka monotónnosti procesu
9 selhání extrapolace
10 neočekávané hodnoty momentů (fatální)
11 ruční přerušení experimentu uživatelem
12 nesprávný směr řídicí veličiny (změňte parametr RACT)
100 ruční ukončení ladění (varování)

Kódy fází ladění (během experimentu):

0 čekání na ustálený stav před začátkem experimentu
-1 odhad driftu a šumu (parametry tdg a tn)
-2 generování obdélníkového pulzu (pulz končí při změně pv o hodnotu větší než dy)
-3 hledání vrcholu odezvy
-4 odhad rychlosti ustalování odezvy

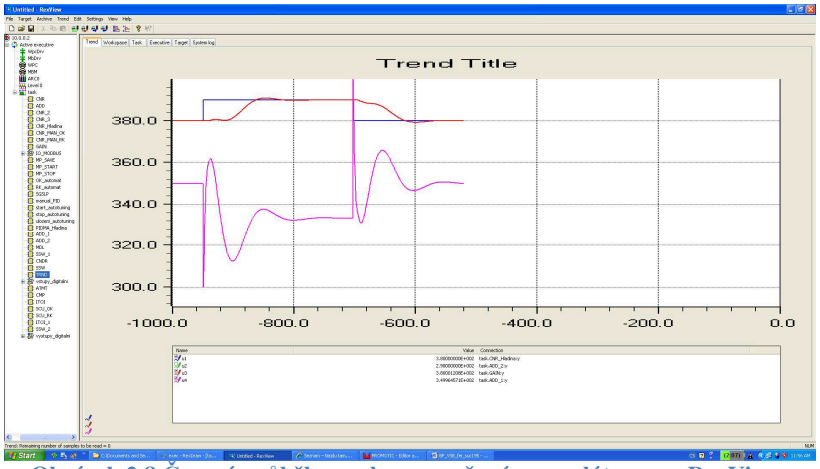
trem Odhad času do ukončení experimentu [s]
pk Navržené zesílení regulátoru K
ti Navržená integrační časová konstanta regulátoru Ti
ptd Navržená derivační časová konstanta regulátoru Td
pnd Navržený parametr filtru derivační složky N
pb Navržený váhový faktor pro proporcionální složku b

pc	Navržený váhový faktor pro derivační složku c

Parametry

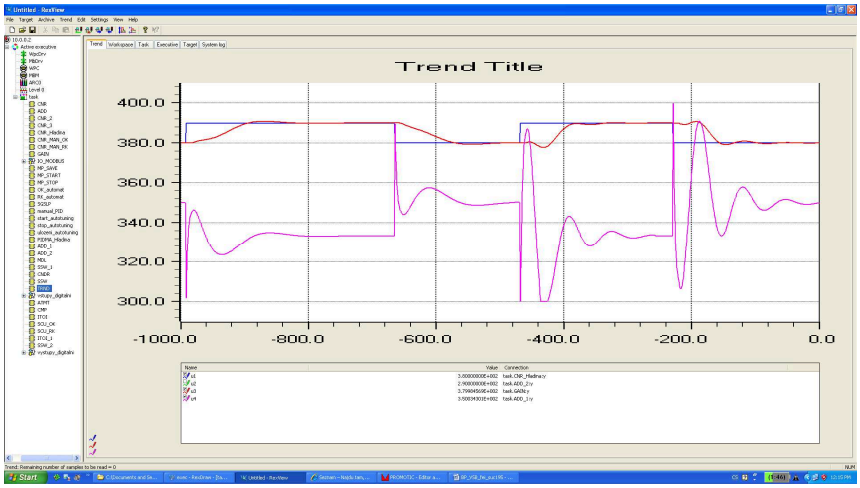
Irtype	1: D, 2:I, 3:ID, 4:P, 5:PD, 6: PI, 7:PID
RACT	Převrácené působení výstupu regulátoru
	off vyšší mv odpovídá vyšší pv
	on vyšší mv odpovídá nižší pv
k	Zesílení regulátoru K
ti	Integrační časová konstanta Ti
td	Derivační časová konstanta Td
nd	Parametr filtru derivační složky
b	Váhový faktor pro proporcionální složku
c	Váhový faktor pro derivační složku
tt	Časová konstanta
hilim	Horní mez akčního zásahu regulátoru
lolim	Dolní mez akčního zásahu regulátoru
dz	Pásmo necitlivosti
icotype	Typ výstupu
	1 .... analogový výstup
	2 .... šířkově modulovaný výstup (PWM)
	3 .... krokový regulátor s polohovou zpětnou vazbou (SCU)
	4 .... krokový regulátor bez polohové zpětné vazby (SCUV)
ittype	Požadovaný typ regulátoru pro návrh
iainf	Druh apriorní informace
DGC	Kompenzace gradientu trendu
tdg	Doba odhadu gradientu trendu [s]
tn	Doba odhadování šumu [s]
amp	Amplituda pulzu
dy	Práh (tolerance) pro ukončení pulsu
ispeed	Požadovaná rychlost uzavřené smyčky
	1 požadována pomalá uzavřená smyčka
ipid	Forma PID regulátoru 1 paralelní realizace

V následujících grafech je ukázán vliv změny jednotlivých parametrů k, ti td na kvalitu regulace.



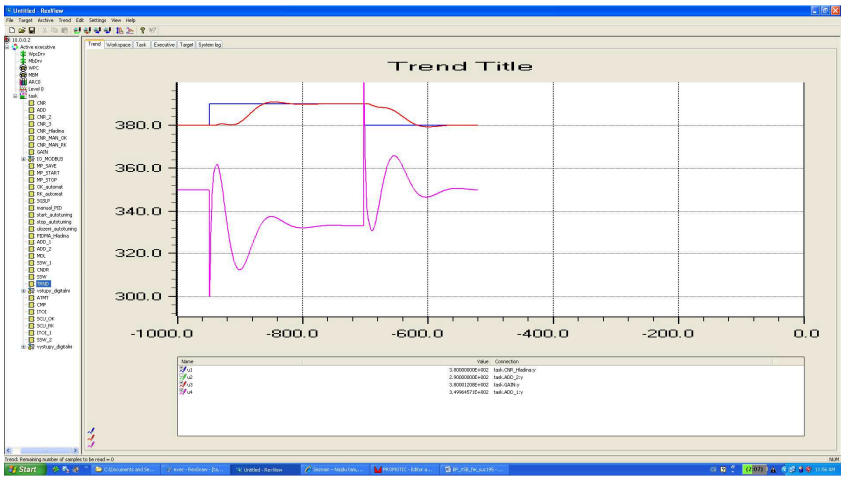
Obrázek 2.8 Časový průběh regulace navrženým regulátorem v RexView.

Na dalším obrázku je vidět vliv změny zesílení regulátoru K, první je zesílení regulátoru menší a provedeno zvýšení požadované hladiny vody, následně je požadovaná hladina snížena na původní hodnotu. Po ustálení je celý experiment opakovaný se zvýšeným zesílením regulátoru K. Nižší zesílení vede k prodloužení délky regulace a snížení překmitů. Vyšší zesílení vede k rozkmitání celého systému.



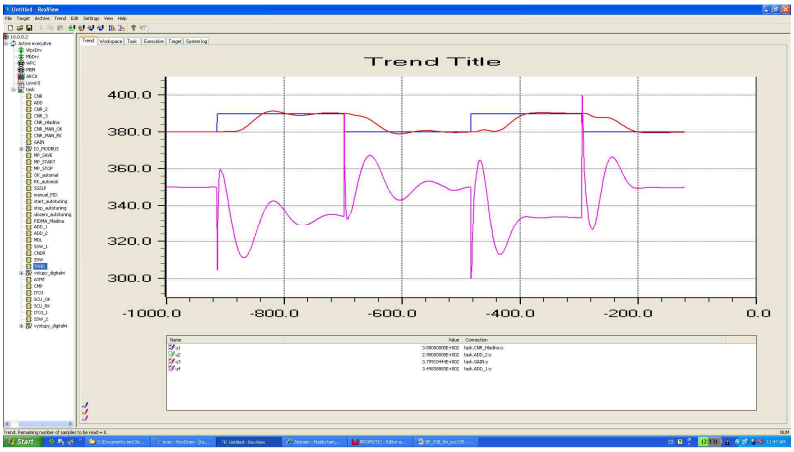
Obrázek 2.9 Průběh regulace při změně parametru k oproti navržené hodnotě dolů, potom nahoru.

Na dalším grafu je vidět vliv snížení integrační časové konstanty Ti regulátoru PID, je provedeno opět zvýšení požadované hladiny vody, následně je po ustálení požadovaná hladina snížena na původní hodnotu. Vyšší časová konstanta Ti sníží překmit a amplitudu regulované veličiny.



Obrázek 2.10 Průběh regulace při zmenšení parametru ti oproti původní hodnotě.

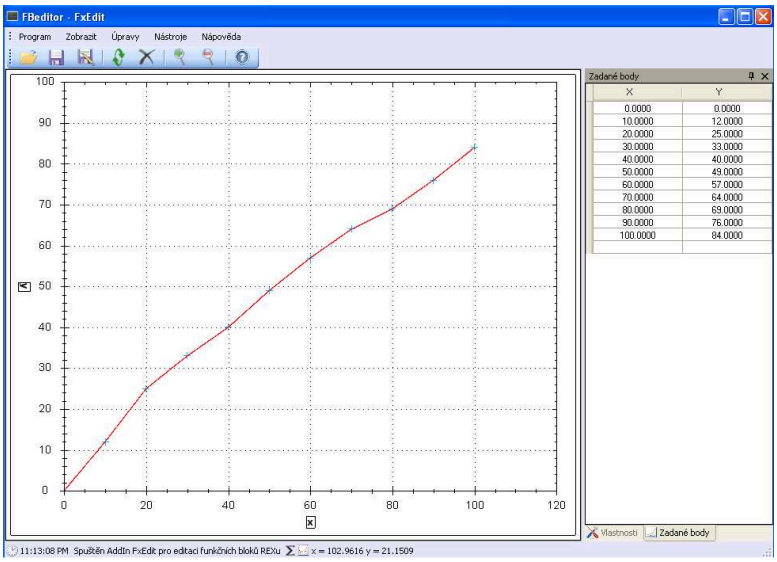
V dalším grafu je vidět vliv změny derivační časové konstanty Td, první je provedeno její zvýšení a požadováno zvýšení hladiny vody, následně je požadovaná hladina snížena na původní hodnotu. Po ustálení je celý experiment opakován se sníženou derivační časovou konstantou Td.



Obrázek 2.11 Průběh regulace při změně parametru td oproti původní hodnotě nahoru, potom dolů.

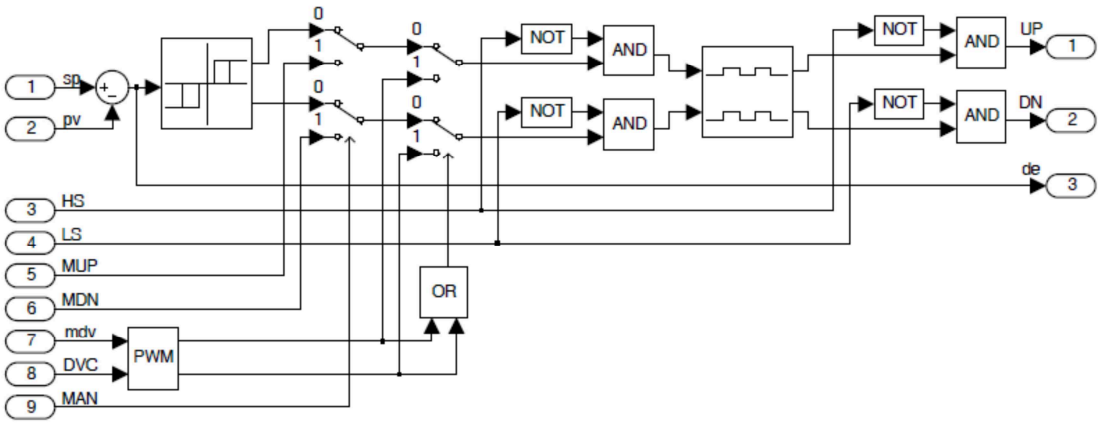
2.3. Třístavový krokový regulátor s polohovou zpětnou vazbou SCU.

Výstup regulátoru PIDMA je propojen s třístavovým krokovým regulátorem s polohovou zpětnou vazbou SCU. Tímto propojením je realizován třístavový výstup regulace přímo na ovládací cívky hydraulického ovládání rozváděcího kola turbíny. Druhým třístavovým krokovým regulátorem s polohovou zpětnou vazbou SCU je s pomocí bloku CNDR, který je určen pro kompenzaci složitých nelinearit pomocí po částech lineární transformace, realizována elektronická kulisa ovládání oběžného kola OK v závislosti na poloze rozváděcího kola RK. Elektronická kulisa neboli vzájemná vazba OK a RK se zadává do grafického editoru bloku CNDR.



Obrázek 2.12 Diagram Celkové funkce bloku SCU.

Schéma krokového regulátoru s polohovou zpětnou vazbou je na následujícím obrázku.



Obrázek 2.13 Diagram Celkové funkce bloku SCU [3].

U tohoto regulátoru je třeba nastavit dostatečně velké parametry dtime (minimální trvání výstupního pulzu [s]) a btime (minimální prodleva mezi pulzy [s]) tak, aby nedocházelo k nadměrnému opotřebení spínacích prvků hydrauliky. Moc vysoká hodnota těchto parametrů může ale negativně ovlivnit funkčnost regulační smyčky.

3. Realizace měřicího řetězce - komunikace modbus RTU s analyzátorem sítě Janitza UMG 96S

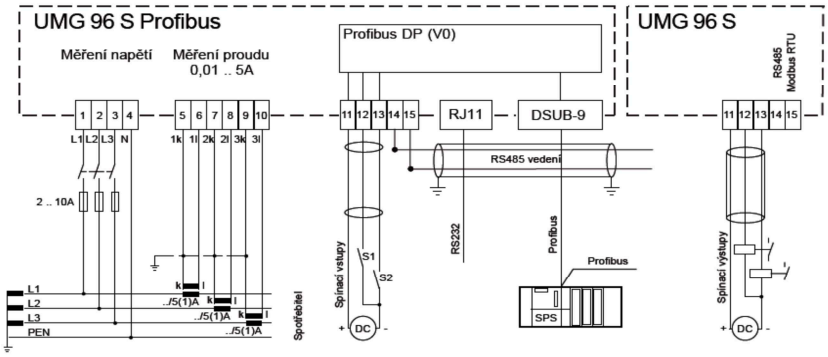
3.1. Analyzátor Janitza UMG 96S

Třífázový elektronický měřící systém Janitza UMG 96S zaznamenává a digitalizuje skutečné efektivní hodnoty proudu a napětí v sítích 50 Hz / 60 Hz. Umožňuje měření V, A, a nulovým vodičem, kW, kvar, kVA, cos fí, Hz, kWh, kvarh a má počítač provozních hodin. Každou sekundu proběhne náhodný odběr měřeného vzorku na všech vstupech, je sejmuto 6 period. Každé přerušení jednotlivého signálu delší než jedna sekunda je proto spolehlivě rozpoznáno. Ze sejmutých vzorků pak interní mikroprocesor kalkuluje hodnoty elektrických veličin. Min a max hodnoty a programovací údaje jsou ukládány v nevolatilní paměti (neztrácí obsah v případě výpadku napájecího napětí).

Obrázek 3.1 Analyzátor sítě Janitza UMG96S [2].

Měřené hodnoty jsou kalkulovány jednou za sekundu a mohou být zobrazeny na displeji. Přehled měřených hodnot uvádí následující tabulka. Použitá varianta přístroje disponuje pamětí umožňující ukládat až 160 000 naměřených hodnot nebo událostí (překročení limitů).

Připojení analyzátoru k síti je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 3.2 Zapojení analyzátoru Janitza UMG96S [2].

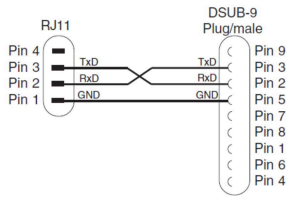
Přehled měřených hodnot

Hodnota	Rozsah indikace	Rozsah přístroje - konstanta 1	L1	L2	L3	Suma	Min	Průměr	Max	Přesnost +- %
Proud	0,00 .. 60 kA	0,01 .. 5 A	●	●	●		●	●	●	0,5
Proud, N	0,00 .. 180 kA	0,03 .. 15 A				●	●	●	●	1,5
Napětí L–N	0,0 .. 34 kV	196 .. 275 V AC	●	●	●		●		●	0,5
Napětí L–L	0,0 .. 60 kV	340 .. 476 V AC	●	●	●		●		●	1
Frekvence (U)	45 .. 65 Hz		●							0,1
Činný výkon, suma, +/-	0,00 W .. 99,9 MW	0,2 W .. 1,375 kW	●	●	●	●		●	●	1
Zdánlivý výkon, suma	0,00 VA .. 99,9 MVA	0,2 VA .. 1,375 kVA	●	●	●	●		●	●	1
Jalový výkon, suma	0,00 var .. 99,9 Mvar	0,2 var .. 1,375 kvar	●	●	●	●		●	●	1
cos fi	0,00 ind. .. 1,00 .. 0,00 kap.	0,00 kap .. 1,00 .. 0,00 ind.				●		●		1 stupeň
Činná energie, spotřeba	0 .. 999 999 999 kWh					●				třída 1 (5A), třída 2 (1A)
Jalová energie, induktivní	0 .. 999 999 999 kvarh					●				třída 1 (5A), třída 2 (1A)
Počítač provozních hodin	0 .. 999 999 999 h									2 min
Celkový obsah harmonických U, I	0,1 ..100 %		●	●	●				●	2
Liché harmonické I, 1-15	0,01 .. 60 KA		●	●	●				●	2
Liché harmonické U, 1-15	0,0 .. 34 kV		●	●	●				●	2

Tabulka 2 Přehled měřených hodnot UMG 96S [2].

3.2. Komunikace analyzátoru Janitza UMG 96S se systémem REX

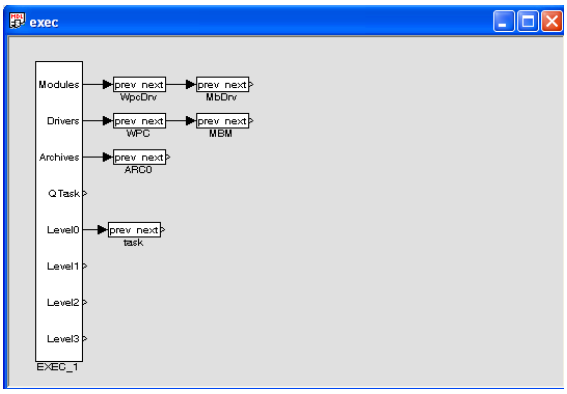
Zapojení sériového kabelu pro komunikaci mezi UMG96S a portem COM4 základní jednotky WP-8841 je na následujícím obrázku.



Obrázek 3.3 Zapojení kabelu mezi UMG96S a COM4 jednotky WP-8841 [2].

Pokud je třeba použít jiný seriový port jednotky WP-8841 než COM4, musí se zapojení kabelu upravit. Ostatní porty nejsou zapojeny podle standardního PC sériového portu. Navíc analyzátor umí přes sériový port komunikovat pouze s parametry 8 bitů, dva stopbity, bez parity a rychlostí 9.6, 19.2 nebo 38.4kBit/s. Tyto parametry neumožňují všechny porty jednotky WP-8841. Rychlost se nastavuje u analyzátoru na adrese 001. Dále je třeba pro úspěšnou komunikaci nastavit adresu (070) na 0, adresu (062) na hodnotu 1 pro komunikaci přes RS-232 a 2 pro komunikaci přes RS-485. Při komunikaci přes RS485 se musí ještě nastavit u každého zařízení jedinečná adresa v paměti (000).

V programu REX se ovladač MbDrv instaluje jako součást instalace řídicího systému. Pro nainstalování ovladače je nutné v instalačním programu systému REX zaškrtnout volbu ovladač protokolu Modbus Master i Slave. Zařazení ovladače do projektu aplikace spočívá v přidání ovladače do hlavního souboru projektu a z připojení vstupů a výstupů ovladače v řídicích algoritmech. Pro zařazení ovladače do projektu slouží dva bloky. Nejprve je na výstup Modules



Obrázek 3.4 Připojení ovladače modbus do systému REX.

bloku exekutivy EXEC připojen blok typu MODULE s názvem MbDrv, který nemá žádné další parametry.

Druhý blok MBM typu IODRV, připojený na výstup Drivers exekutivy má dva parametry:

cfgname – jméno konfiguračního souboru ovladače

classname – jméno třídy ovladače, které se pro tento ovladač zadává:

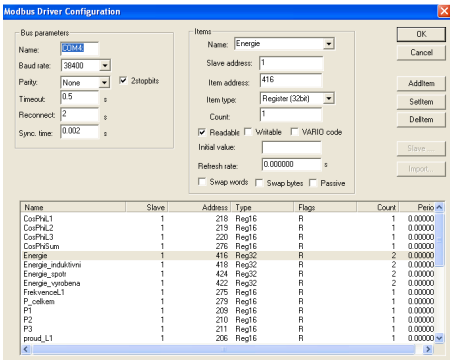
MbmDrv – pro režim Master po sériové lince

MbsDrv – pro režim Slave po sériové lince

MtmDrv – pro režim Master po TCP/IP

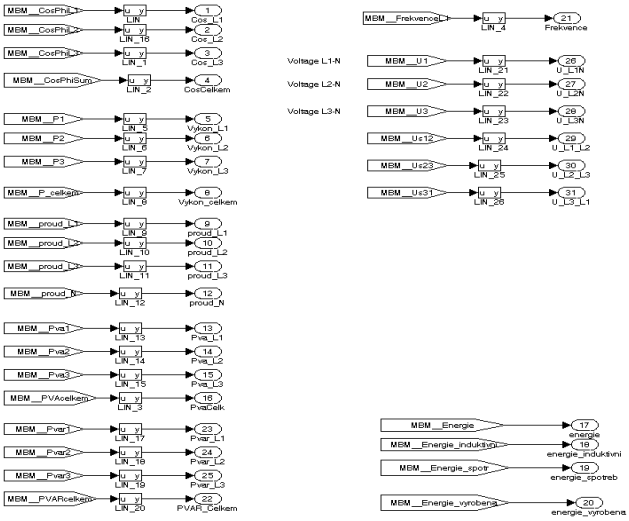
MtsDrv – pro režim Slave po TCP/IP

Okno konfiguračního ovladače je v následujícím obrázku, kde se kromě parametrů přenosu volí i přenášené hodnoty a parametry proměnných, kde se uvedou u jednotlivých proměnných v položce Item adress adresy v adresním prostoru analyzátoru UMG 96 S.



Obrázek 3.5 Konfigurační okno ovladače modbus v systému REX.

Potom již stačí pomocí bloků typu From, Goto připojit jednotlivé signály definované v konfiguračním souboru do programu jak je naznačeno na dalším obrázku.



Obrázek 3.6 Úprava vstupů z analyzátoru UMG96S v systému REX.

K pohodlnému přizpůsobení vstupních hodnot je za vstup signálu zařazen blok LIN. Blok LIN počítá lineární interpolaci ze zadaných bodů [u1, y1] a [u2, y2] výstupu y a ze vstupu u.

4. Realizace navrženého algoritmu na programovatelném automatu WinPAC-8000

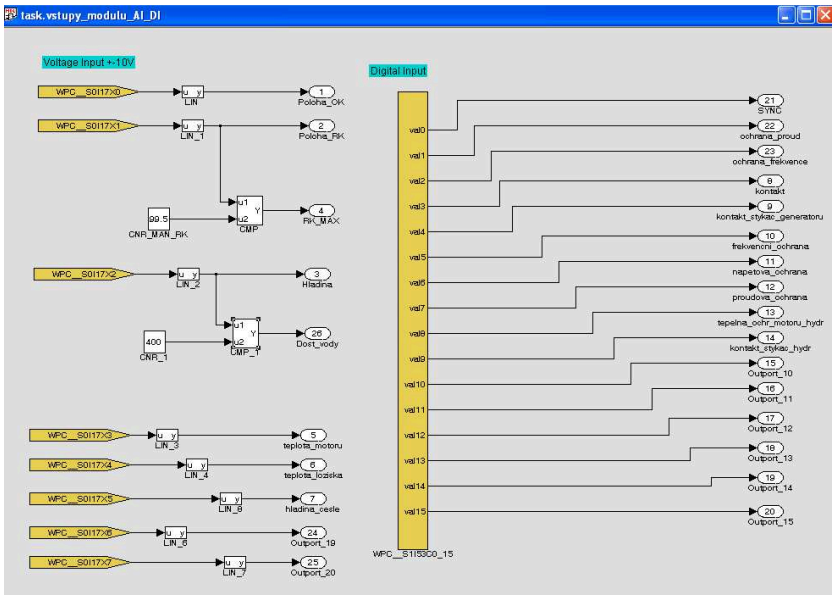
Při návrhu řídicího systému jsem vycházel z předpokladu, že MVE je osazena Kaplanovou turbínou s plně regulovatelným rozváděcím kolem RK i plně regulovatelným oběžným kolem OK. Oba rozvaděče jsou ovládány přes cívky hydrauliky. Pro realizaci řídicího systému MVE byl vybrán WinPAC firmy ICPDAS. WinPAC je v konfiguraci standardní základní jednotky WP-8841 s 8 volnými sloty pro zásuvné moduly a tří přídavných paralelních zásuvných modulů. Analogového I-8017HW s 16 analogovými kanály, modulu I-8053PW, který obsahuje 16 opticky oddělených digitálních vstupů a modulu I-8057W, který obsahuje 16 kanálů digitálních výstupů s otevřeným kolektorem. Na platformě WinPAC běží řídicí systém REX firmy REX Controls s.r.o.

Obrázek 4.1 PAC Automat WP-8841 [1].

Pro měření elektrických veličin je použitý digitální analyzátor sítě Janitza UMG96S, který komunikuje s nadřazeným master zařízením WinPAC pomocí protokolu Modbus přes sériový port RS-232. Tento analyzátor sítě zajistí i zpětnou wattovou ochranu proti motorickému chodu generátoru. Frekvenční, napěťové a proudové ochrany zajistí ochrany v silové části elektrorozvaděče a o poruchovém stavu informují nadřazený řídicí systém přes digitální vstup karty I-8053PW a zároveň blokují cívku stykače generátoru. Digitální měřidla UMG 96S umožňují komfortní odečet a správu naměřených hodnot. Samozřejmostí je množství logických funkcí a uživatelských nastavení a digitální výstupy. Analyzátor sítě Janitza UMG 96S měří a v paměti uchovává několik stovek různých parametrů sítě, v bakalářské práci se snažím postihnout základy komunikace s tímto analyzátorem a další zpracování naměřených dat.

Obdobným způsobem jako ovladač Modbus se konfigurují analogové a digitální hodnoty ze zásuvných modulů I-8017HW, I-8053PW a I-8057W, ale použije se ovladač WpcDrv. Analogová hodnota hladiny vody je snímána diferenční nerezovou ponornou sondou pre měření výšky hladiny LMP 307 se standardním výstupem 0 – 10 V. Polohy OK a RK jsou snímány optickým snímačem vzdálenosti SICK DT 60 také s výstupem 0 – 10 V.

Práce s těmito vstupními signály v programu REX je potom stejná jako u signálů z analyzátoru. Ze signálu poloha_RK je vypočítána logická hodnota koncové polohy rozváděcího kola RK_MAX komparátorem s hysterezí. Tímto způsobem lze stanovit i další virtuální vstupy.

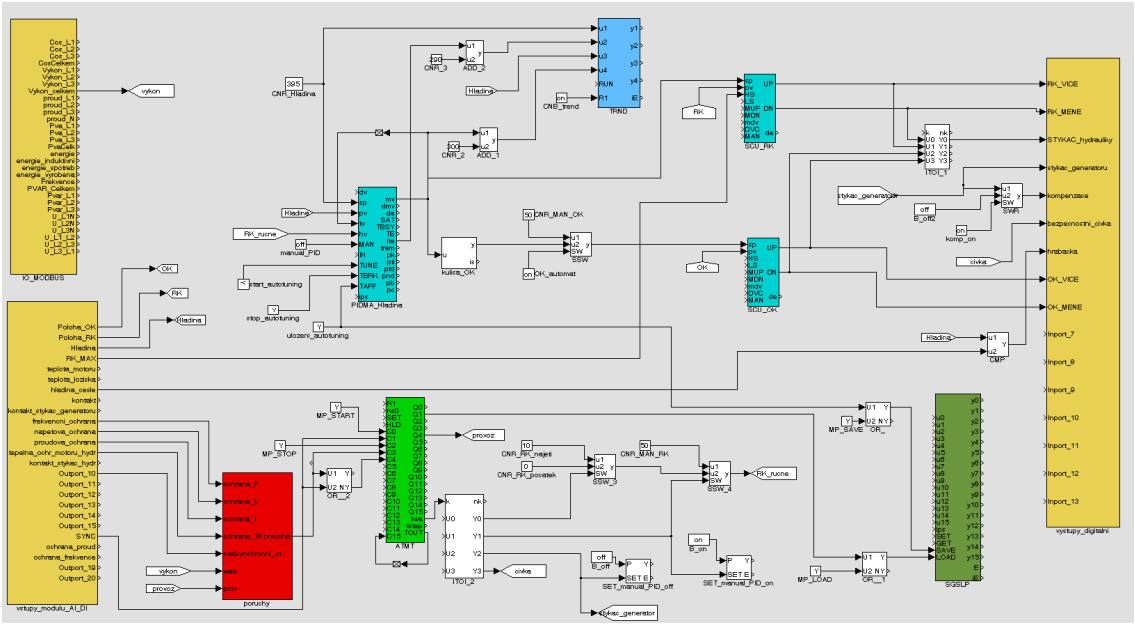


Obrázek 4.2 Úprava vstupů z modulů I-8017HW, I-8053PW v systému REX.

Hodnoty vybraných proměnných jsou zobrazovány přes vizualizační program.

4.1. Modul task v systému REX.

Celkové schéma programu task je na dalším obrázku 4.3.



Obrázek 4.3 Úprava modulu task v systému REX.

4.2. Blok SGSLP pro správu připojených parametrů.

K uchování parametrů regulace a dalších parametrů řídícího programu jsem použil blok SGSLP. Blok SGSLP (z anglického Set, Get, Save and Load Parameters) je speciálním blokem pro správu připojených parametrů jiných bloků v konfiguraci řídicího systému REX. Blok může pracovat až se šestnácti sadami parametrů, které jsou číslovány od 0 do 15 a volí se vstupem ips, aktuální počet sad je určen parametrem nps. V každé sadě může být zkonfigurováno až16 různých parametrů daných řetězcovými parametry sc0 až sc15, takže jeden blok SGSLP může pracovat s maximálně 256 parametry. Blok SGSLP může při náběžné hraně (off→on) na některém ze stejnojmenných vstupů provádět následující operace:

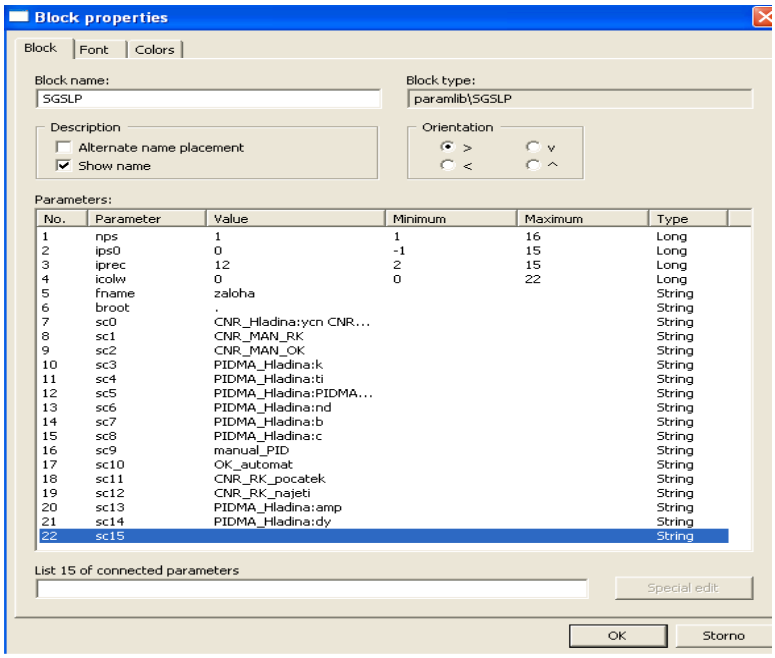
SET – nastavit parametry dané množiny ips na hodnoty přivedené na vstupy u*i*. V případě, že je parametr úspěšně nastaven, je na stejnou hodnotu nastaven i výstup y*i*.

GET – získat parametry dané množiny ips. V případě, že je parametr úspěšně získán, je jeho hodnota nastavena na výstup y*i*.

SAVE – uložit parametry dané množiny ips do souboru (tzv. stavový soubor) na cílovém zařízení. Parametry a formát souboru jsou popsány níže.

LOAD – načíst parametry dané množiny ips ze souboru na cílovém zařízení. Kromě načtení parametrů při náběžné hraně vstupu LOAD se parametry sady ips načtou při inicializaci bloku

Operace LOAD a SAVE pracují se souborem na cílovém zařízení, jehož jméno je uvedeno v parametru fname.

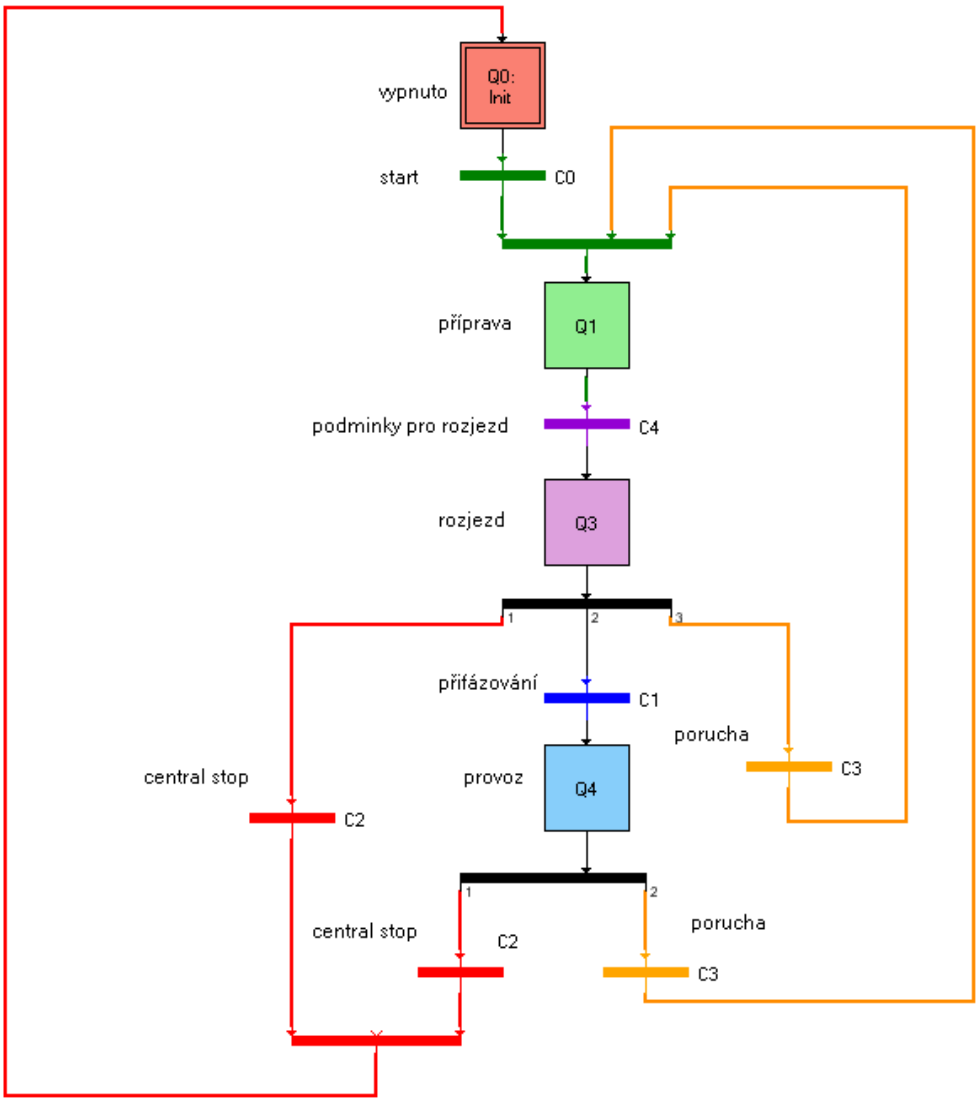


Obrázek 4.4 Nastavení vlastností bloku SCU.

K uchování informací o běhu programu, průběhu autotuningu jsem použil v systému REX blok TREND. Tyto informace lze také získat z vizualizačního programu.

4.3. Použití automatu pro sekvenční řízení ATMT.

Vlastní realizace běhu elektrárny je řízena pomocí bloku ATMT, což je automat pro sekvenční řízení. Blok ATMT realizuje konečný automat až s 16 stavy a 16 podmínkami přechodů. Aktuální stav automatu i, i = 0; 1; : : : ; 15 je kódován pomocí binárních výstupů Q0,Q1, ... , Q15 tak, že Qi = on a Qj = on pro j/= i. Podmínka přechodu Ck, k = 0; 1; : : : ; 15 je zadávána pomocí binárních vstupů bloku C0, C1, ... , C15 tak, že Ck = on jestliže je podmínka Ck splněna a Ck = off v opačném případě. Funkce automatu se zadává pomocí tabulky stavů a přechodů. Navržený diagram SFC pro MVE je na následujícím obrázku.



Obrázek 4.5 Schéma SFC pro řízení MVE.

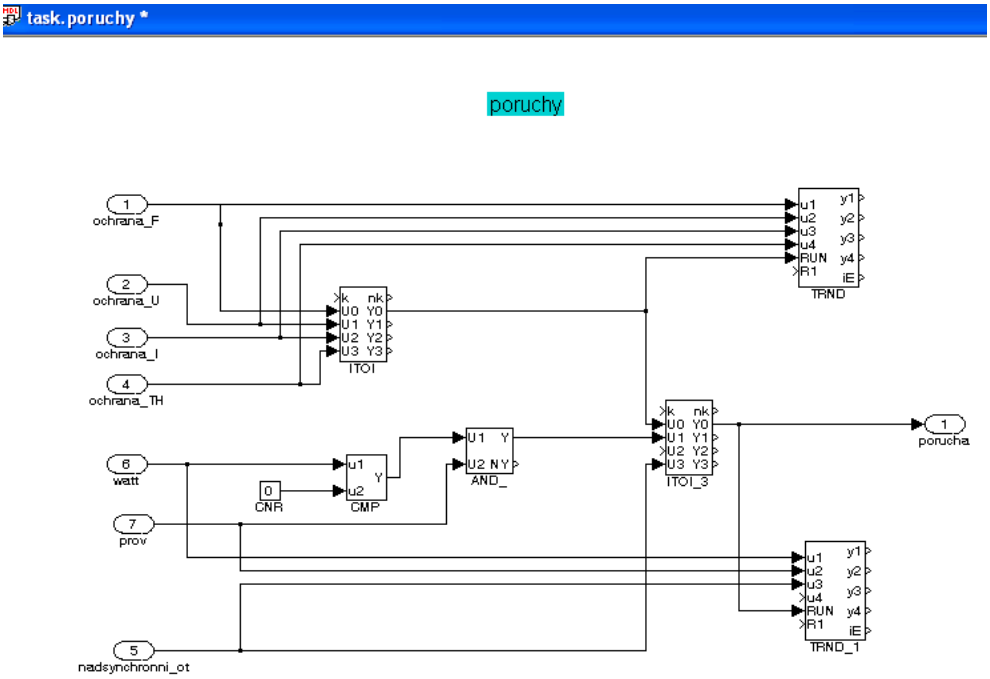
Tomuto schématu SFC odpovídá vektor [0 0 1; 1 4 3;2 2 0; 2 3 1; 3 2 2; 3 1 4; 3 3 2; 4 2 2; 4 3 2] parametru STT v bloku ATMT. V tomto parametru je uložena navržená tabulka stavů a přechodů. Obsahuje 4 základní stavy a 4 definované přechody.

4.4. ITOI – Transformace celých a binárních čísel

Na výstupu bloku ATMT je zařazen blok ITOI, který přiřazuje vstupnímu číslu k respektive binárnímu číslu $(U3\ U2\ U1\ U0)_2$ z množiny {0; 1; 2; … ; 15} výstupní číslo nk a jeho binární reprezentaci $(Y3\ Y2\ Y1\ Y0)_2$ z téže množiny. Tento blok je v programu používán několikrát, například k zapínání čerpadla hydrauliky při pohybu RK nebo OK, zde nahradí elegantně tři bloky OR.

5. Ošetření poruchových stavů systému

Pro ošetření poruchových stavů systému byl navržen subsystém poruchy. Vstupují sem signály o poruchách z vnějšího prostředí, ale také je zde porovnávání výkonu, pokud klesne ve stavu Q4 provoz pod určenou hodnotu, tak tuto situaci systém vyhodnotí jako poruchu. Zde je ukázka řešení, kdy poruchy signalizované z vnějšku systému i porucha vyhodnocená programem REX jsou vyhodnoceny a definují přechod C3 porucha v automatu pro sekvenční řízení ATMT. Tento přechod způsobí přerušení stavu Q4 provozu nebo stavu Q3 rozjezd a provede změnu do stavu Q1 příprava, kdy se turbína uzavře, generátor odfázuje a systém čeká na odstranění poruchy a na pokles otáček turbíny. Pokud dojde k odstranění závady, přejde systém sekvenčního automatu přechodem C4 plynule do stavu Q3 rozjezd. Po nafázování se systém vrátí zpět do stavu Q4 provoz. Informace o stavech, poruchách jsou archivovány v trendech systému REX i ve vizualizaci.

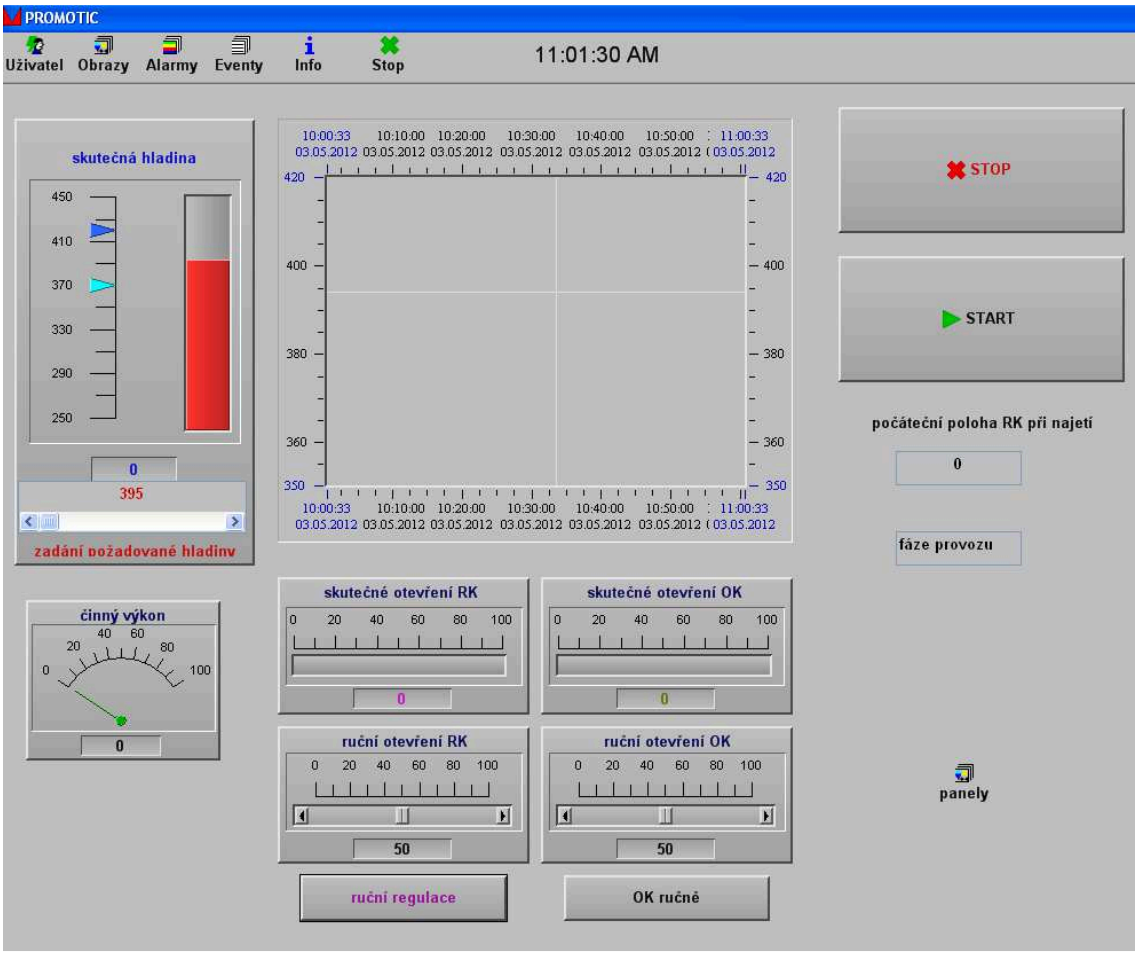


Obrázek 5.1 Schéma subsystému poruchy v programu REX.

Nebylo cílem postihnout všechny možné alarmy a poruchy sítě, ale navrhnout otevřený systém, který může být podle potřeby jednoduchým a přehledným způsobem doplněn.

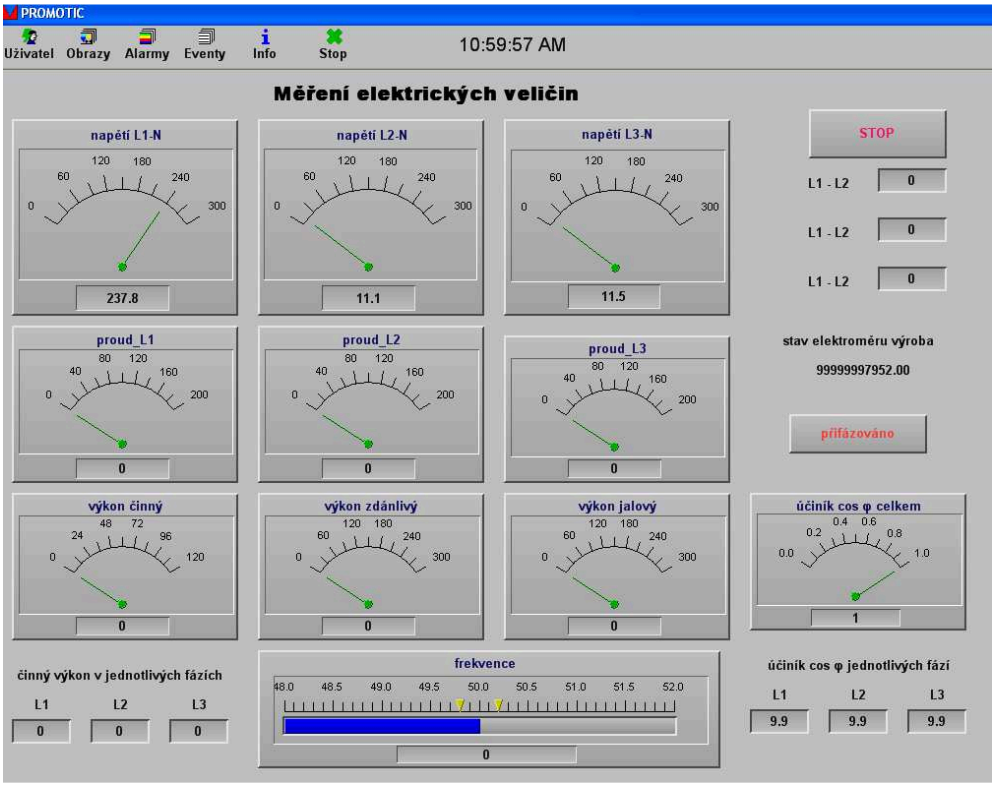
6. Vizualizace ve vybraném vizualizačním systému SCADA/HMI

Pro vizualizaci byl vytvořen program ve školní verzi systému SCADA firmy Promotic. Vizualizace obsahuje 4 navržené obrazovky. První obrazovka je obrazem základním, s hlavními ovládacími prvky systému a zobrazením některých důležitých údajů, jako hladina vody, poloha OK, RK. Na obrazovce lze měnit některé parametry řízeného procesu.



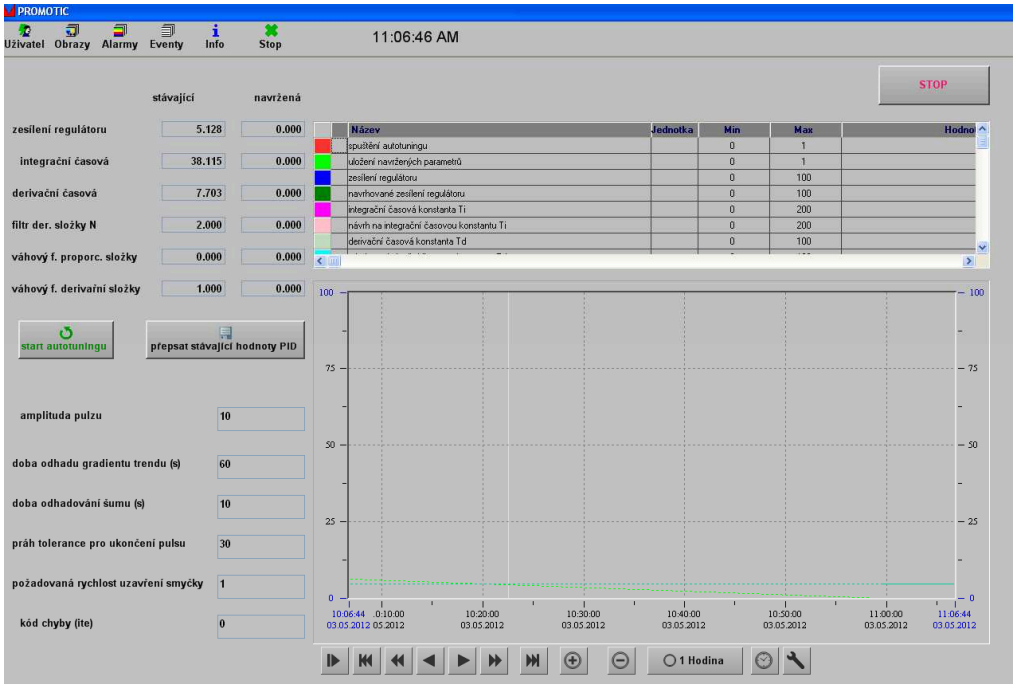
Obrázek 6.1 První obrazovka vizualizace.

Další obrazovka zobrazuje důležité informace z řízeného procesu, hlavně údaje získané měřením z analyzátoru sítě UMG96S. Nejsou zobrazeny všechny možné kombinace měřených hodnot, neboť zde jsem narazil na omezení množství proměnných ve školní licenci systému Promotic.



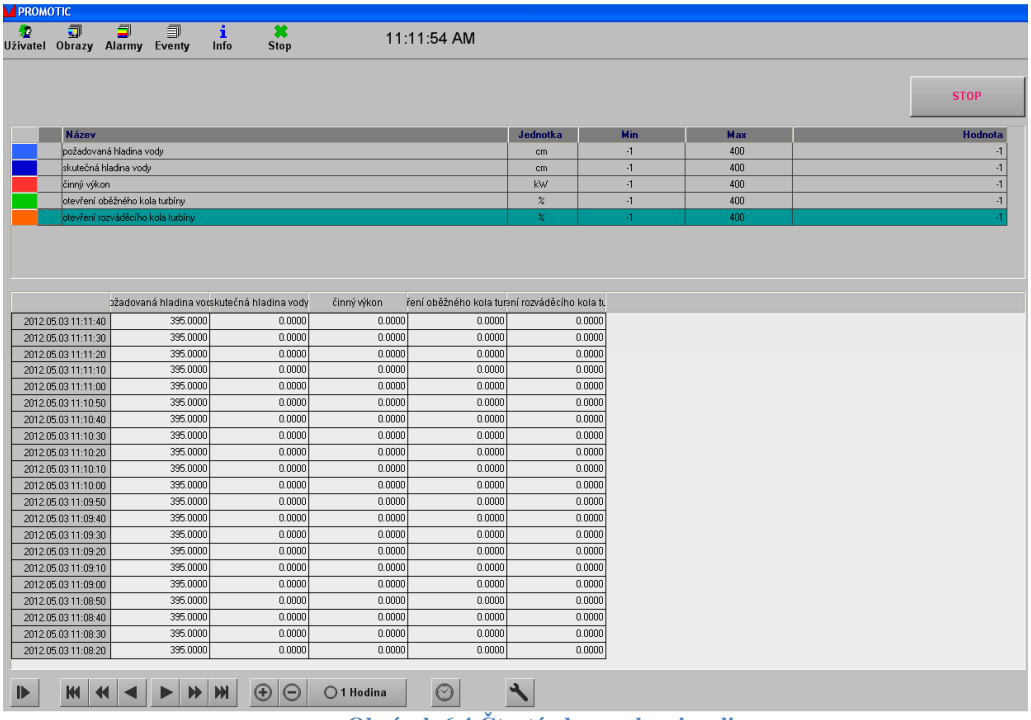
Obrázek 6.2 Druhá obrazovka vizualizace.

Třetí navržená obrazovka vizualizace slouží zejména k ovládání a sledování procesu autotuningu navrženého PID regulátoru s autotuningem.



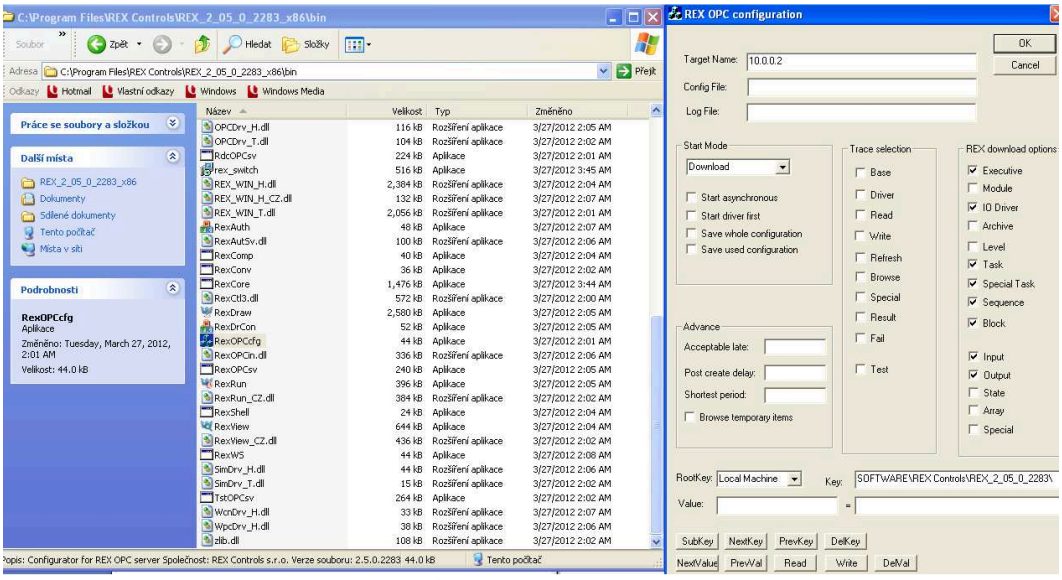
Obrázek 6.3 Třetí obrazovka vizualizace.

V poslední obrazovce je navrženo sledování, ukládání a nastavování různých situací, které při řízení provozu MVE mohou nastat. Zde je možno využít veškerých nástrojů prohlížení trendů, které systém SCADA umožňuje.



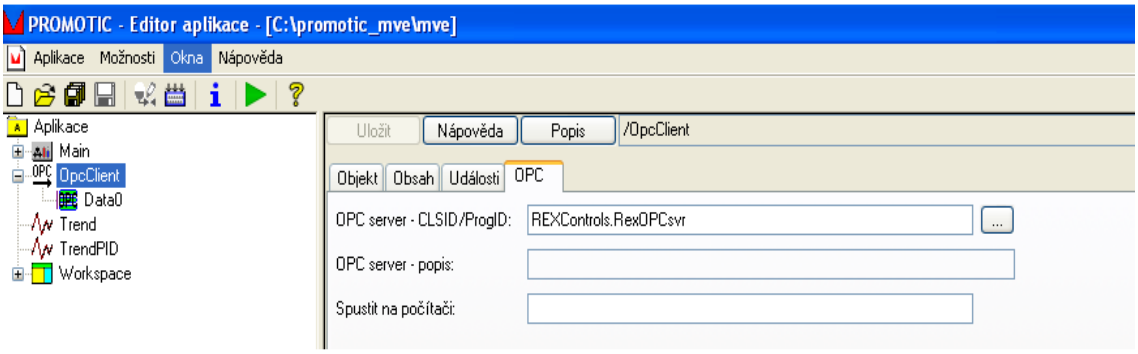
Obrázek 6.4 Čtvrtá obrazovka vizualizace.

Vizualizační systém využívá dat, která získává z OPC serveru systému REX. Na počítači musí být spuštěn systém REX a musí se po spuštění aplikace RexOPCcfg vyplnit pole Target Name.



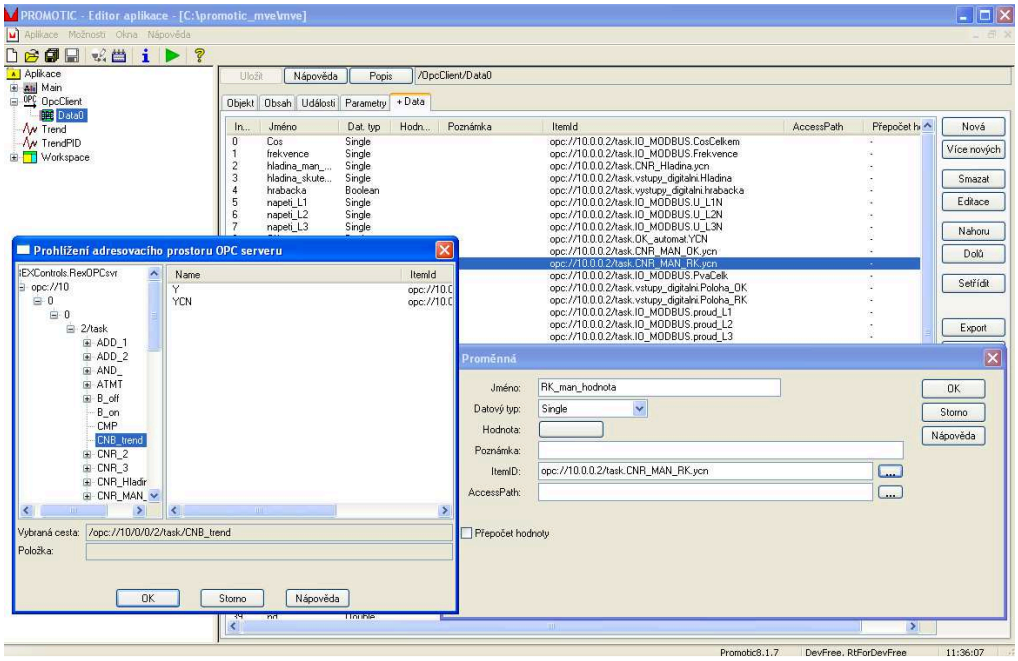
Obrázek 6.5 Aplikace RexOPCcfg.

Dále je třeba nakonfigurovat jméno OPC serveru v popisu objektu OPCClient aplikace Promotic na REXControls.RexOPCsvr.



Obrázek 6.6 Parametry objektu OpcClient.

Potom jsem Přidal objekt PmOpcClientData – OPC klient data a v něm nakonfiguroval jednotlivé proměnné. Potom jsou už nakonfigurované proměnné volně přístupné v celém systému Promotic.



Obrázek 6.7 Přidávání proměnných v objektu PmOpcClientData.

7. Zhodnocení a závěr

V bakalářské práci jsem ověřil použití systému REX pro měření a řízení malé vodní elektrárny. Při identifikaci systému a návrhu parametrů regulátoru jsem ocenil jednoduchost a robustnost práce s tímto nástrojem. Bez podrobné a dokonalé znalosti všech zákonitostí řízeného procesu se podařilo navrhnout funkční a stabilní regulaci PID. Také zpracování sekvenčního automatu a práce s vstupními signály je velice komfortní v tomto systému. Nastavená komunikace a získávání dat z analyzátoru sítě poskytuje pro řídicí systém množství potřebných informací a údajů. Existence OPCserveru systému REX a rozhraní PLC/PAC WinPAC umožňuje velké možnosti pracovat s řízeným systémem ze vzdáleného serveru a využívat všech získaných informací.

Obrázek 7.1 Fotografie realizace celého zařízení.

Nebylo v rozsahu bakalářské práce ani jejím zadáním zpracovat dokonalý a kompletní řídicí systém pro konkrétní malou vodní elektrárnu. Mým cílem bylo získat zkušenosti při návrhu parametrů PID regulace a dovednosti pro řešení některých dalších dílčích problémů, které řízení MVE obsahuje. Při zpracování vizualizace jsem kladl větší význam na postup práce s daty z řízeného procesu, než na grafickou dokonalost vizualizace. Další zdokonalování navrženého systému by mohlo směřovat k instalaci další regulace, která by zajistila dodržení maximálního licencovaného výkonu elektrárny, a také k doplnění zasílání alarmů na vzdálená zařízení.

Literatura

[1] REX Controls s. r. o. Ovladač WcnDrv systému REX pro WinCon 8000: Uživatelská příručka [online]. Plzeň: REX Controls s.r.o., 26. března 2012 [cit. 2012-05-01] Dostupné z WWW: http://www.rexcontrols.cz/media/documents/manuals/cz/WcnDrv_WCE_CZ.pdf

[2] KBH Energy s.r.o. Panelový analyzátor sítě UMG 96L [online]. Pardubice: KBH Energy s.r.o., [cit. 2012-05-01] Dostupné z WWW: http://www.kbh.cz/multimetry-a-analyzatory-umg/umg-96s.

[3] REX Controls s. r. o. Funkční bloky systému REX: Referenční příručka [online]. Plzeň: REX Controls s.r.o., 26. března 2012 [cit. 2012-05-01] Dostupné z WWW: http://www.rexcontrols.cz/media/documents/manuals/cz/BRef_CZ.pdf

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 2.1	Univerzální charakteristika Kaplanovy turbíny	5
Obrázek 2.2	Toolbox Ident	5
Obrázek 2.3	Výsledek identifikace	6
Obrázek 2.4	Symbol bloku PIDMA [3]	6
Obrázek 2.5	Celková regulační funkce bloku PIDMA [3]	7
Obrázek 2.6	Časový průběh autotuningu [3]	8
Obrázek 2.7	Časový průběh autotuningu v RexView.	9
Obrázek 2.8	Časový průběh regulace navrženým regulátorem v RexView.	11
Obrázek 2.9	Průběh regulace při změně parametru k oproti navržené hodnotě dolů, potom nahoru.	12
Obrázek 2.10	Průběh regulace při zmenšení parametru ti oproti původní hodnotě.	12
Obrázek 2.11	Průběh regulace při změně parametru td oproti původní hodnotě nahoru, potom dolů.	13
Obrázek 2.12	Diagram Celkové funkce bloku SCU.	13
Obrázek 2.13	Diagram Celkové funkce bloku SCU [3].	14
Obrázek 3.1	Analyzátor sítě Janitza UMG96S [2].	15
Obrázek 3.2	Zapojení analyzátoru Janitza UMG96S [2].	16
Obrázek 3.3	Zapojení kabelu mezi UMG96S a COM4 jednotky WP-8841 [2].	16
Obrázek 3.4	Připojení ovladače modbus do systému REX.	17
Obrázek 3.5	Konfigurační okno ovladače modbus v systému REX.	18
Obrázek 3.6	Úprava vstupů z analyzátoru UMG96S v systému REX.	18
Obrázek 4.1	PAC Automat WP-8841 [1].	19
Obrázek 4.2	Úprava vstupů z modulů I-8017HW, I-8053PW v systému REX.	20
Obrázek 4.3	Úprava modulu task v systému REX.	20
Obrázek 4.4	Nastavení vlastností bloku SCU.	21
Obrázek 4.5	Schéma SFC pro řízení MVE.	22
Obrázek 5.1	Schéma subsystému poruchy v programu REX.	24
Obrázek 6.1	První obrazovka vizualizace.	25
Obrázek 6.2	Druhá obrazovka vizualizace.	26
Obrázek 6.3	Třetí obrazovka vizualizace.	26
Obrázek 6.4	Čtvrtá obrazovka vizualizace.	27
Obrázek 6.5	Aplikace RexOPCcfg.	27
Obrázek 6.6	Parametry objektu OpcClient.	28
Obrázek 6.7	Přidávání proměnných v objektu PmOpcClientData.	28
Obrázek 7.1	Fotografie realizace celého zařízení.	29

Tabulka 1	Výsledky autotuningu.	8
Tabulka 2	Přehled měřených hodnot UMG 96S [2].	16