

České vysoké učení technické - Fakulta elektrotechnická  
katedra řídicí techniky

## Diplomová práce

2003

Milan Cepák

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Student:** Milan Cepák

**Obor:** Technická kybernetika

**Název tématu:** Řízení fyzikálních modelů programovatelnými automaty

### Zásady pro vypracování:

- 1 Podílejte se na přípravě úloh pro projektově orientovanou výuku řídicích systémů v laboratoři Allen-Bradley na ČVUT. Seznamte se s automaty PLC5, SLC500 a ControlLogix a jejich programovým a vizualizačním softwarem.
- 2 Pro vybrané fyzikální modely (např. couvající vozíčky, spojené nádoby aj.) připravte typické úlohy řízení a vizualizace a jejich dokumentaci. Zpracujte vzory řešení a řízení systémů jako celku. Vyberte vhodný model pro nastavování parametrů pro řízení po Internetu a vizualizaci jeho chování pomocí webové kamery.
- 3 Zpracujte základní výukovou dokumentaci i v angličtině včetně webové prezentace. Podílejte se na zpracování internetových stránek laboratoře a koordinujte začlenění jednotlivých modelů.

**Seznam odborné literatury:** Dodá vedoucí práce.

**Vedoucí diplomové práce:** Ing. Jindřich Fuka

**Datum zadání diplomové práce:** prosinec 2001

**Termín odevzdání diplomové práce:** leden 2003



## ***Poděkování***

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Jindřichu Fukovi, bez jehož pomoci, rad a odborných připomínek by tato práce nemohla vzniknout.

## ***Anotace***

Těžiště této práce tvoří zásuvný regulační modul 1771-PD firmy Allen – Bradley. Ten jako součást programovatelného automatu slouží k řízení technologických procesů. Jeho nejvýznamnější schopnost představuje regulace dvou uzavřených smyček najednou. Nezanedbatelná je i množina volitelných vlastností, kterými disponuje. Cíl práce spočívá ve zmapování možností daného modulu a jeho implementaci jako procesního kontroleru při řízení modelů systémů a laboratorních soustav. Regulační systém je navržen prostřednictvím žebříčkové logiky s využitím komunikace prováděné mezi automatem a modulem blokovými přenosy. Celý řídicí obvod je vizualizován a laboratorní model i snímán webovou kamerou.

## ***Abstract***

This thesis aims at a plug-in control module produced by Allen – Bradley company. It serves as a part of the programmable logical computer for the control of technological processes. The control of two closed loops at once is its the most valuable capability. It also contains the large group of optional features. The objective of this work consists in observing the module feasibilities and in its implementation as a process controller for the control of system and laboratory models. The control system is draughted by ladder logic with the exploitation of the communication done between the programmable computer and the module by block transfers. Whole control loop is visualized and the laboratory model also scanned by the web camera.

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PID modul</b> .....	<b>2</b>
2.1	Programovatelné automaty a řízení .....	2
2.2	Hardwarový popis .....	2
2.2.1	Úvod .....	2
2.2.2	Vnější zapojení modulu .....	3
2.2.3	Reakce modulu na poruchy v řídicím systému .....	6
<b>3</b>	<b>Programování modulu</b> .....	<b>8</b>
3.1	Regulační algoritmus .....	8
3.2	Datové bloky .....	9
3.3	Slova a bity jednotlivých datových bloků .....	11
3.3.1	Dynamický blok .....	11
3.3.2	Smyčkový blok .....	12
3.3.3	Stavový blok .....	13
3.4	Zápisy parametrů do modulu .....	13
3.4.1	Spouštěcí sekvence Load/Enter .....	14
3.4.2	Nahrávací sekvence Load/Enter .....	15
3.4.3	Přepínací sekvence Dynamic/Toggle .....	17
3.5	Sekvence při změnách základních modulových vlastností .....	17
3.6	Kontinuální a periodický blokový přenos .....	18
3.7	Stavový monitorovací byte .....	18
3.8	Rozšířené vlastnosti modulu .....	19
3.8.1	Změna měřítka veličiny .....	19
3.8.2	Číslíková filtrace vstupního signálu .....	20
3.8.3	Filtrace Lead/Lag .....	20
3.8.4	Možnosti řízení soustav .....	22
<b>4</b>	<b>Návrh regulačního systému</b> .....	<b>24</b>
4.1	Konfigurace PID modulu v softwaru RSLogix .....	24
4.2	Koncepce programu .....	26
4.2.1	Příprava hodnot pro nahrání do modulu .....	27
4.2.2	Přenosové sekvence .....	27
4.2.3	Reakce na nestandardní události .....	28
4.3	Regulace soustav .....	29
4.3.1	Analogový počítač Meda 50 .....	29
4.3.2	Řízení modelů systémů .....	30
4.3.3	Řízení laboratorního modelu Vodárna .....	37

<b>5</b>	<b>Vizualizace</b> .....	<b>39</b>
5.1	Konfigurace RSView .....	39
5.2	Obrazovky v RSView .....	40
5.3	Vizualizace pomocí webové kamery a internetové stránky .....	48
<b>6</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>50</b>
<b>A</b>	<b>Přílohy pro hardwarový popis modulu</b> .....	<b>53</b>
A.1	Význam LED indikátorů modulu .....	53
A.2	Popis propojek modulu .....	54
A.3	Požadavky na napájecí zdroj .....	56
A.4	Propojovací konektor k analogovému počítači Meda 50 .....	56
<b>B</b>	<b>Přílohy pro programování modulu</b> .....	<b>57</b>
B.1	Popis slov a bitů dynamického datového bloku .....	57
B.2	Popis slov a bitů smyčkových datových bloků .....	60
B.3	Popis slov a bitů stavového datového bloku .....	66
B.4	Změna měřítka dané veličiny .....	72
<b>C</b>	<b>Přílohy pro návrh regulačního systému</b> .....	<b>73</b>
C.1	Struktura souboru N12 - IOCONFIG .....	73
<b>D</b>	<b>Příloha pro vizualizaci soustavy</b> .....	<b>74</b>
D.1	Seznam tagů použitých v RSView .....	74
<b>E</b>	<b>Elektronická podoba diplomové práce</b> .....	<b>79</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 2.1 - Automat PLC 5/40 s PID modulem .....	3
Obrázek 2.2 - Svorkovnice modulu .....	3
Obrázek 2.3 - Komunikace modulu s okolím .....	5
Obrázek 2.4 - Propojení modulu s řízeným systémem.....	5
Obrázek 3.1 - Zjednodušené schéma regulace PID modulem.....	9
Obrázek 3.2 - Přenosy datových bloků .....	10
Obrázek 3.3 - Datové bloky .....	10
Obrázek 3.4 - Ukázka filtrace Lead .....	21
Obrázek 3.5 - Ukázka filtrace Lag.....	21
Obrázek 3.6 - Řízení v uzavřené smyčce .....	22
Obrázek 3.7 - Kaskádní řízení .....	22
Obrázek 3.8 - Dopředné řízení.....	23
Obrázek 3.9 - Decoupling.....	23
Obrázek 4.1 - I/O konfigurace .....	24
Obrázek 4.2 - Šasi automatu .....	24
Obrázek 4.3 - Výběr modulů .....	25
Obrázek 4.4 - Nastavení parametrů přenosu .....	25
Obrázek 4.5 - Význam vstupů na Medě.....	29
Obrázek 4.6 - Analogový počítač Meda 50, vlevo model Vodárna .....	30
Obrázek 4.7 - Návrh regulátoru metodou GMK .....	31
Obrázek 4.8 - Příklad zapojení systému druhého řádu.....	32
Obrázek 4.9 - Odezva systému s PID regulátorem spočítaná Matlabem.....	32
Obrázek 4.10 - Zapojení manuální stanice.....	34
Obrázek 4.11 - Schéma zapojení stabilního systému třetího řádu.....	35
Obrázek 4.12 - Odezva systému třetího řádu s PID regulátorem spočítaná Matlabem .....	35
Obrázek 4.13 - Odezva systému druhého řádu s PID regulátorem spočítaná Matlabem.....	36
Obrázek 4.14 - Odezva systému třetího řádu s PID regulátorem spočítaná Matlabem .....	36
Obrázek 4.15 - Převod napětí u systému Vodárna .....	37
Obrázek 5.1 - Definice kanálu .....	39
Obrázek 5.2 - Definice uzlu .....	39
Obrázek 5.3 - Obrazovka Volba_rizeni .....	40
Obrázek 5.4 - Obrazovka Hlavni_1 .....	41
Obrázek 5.5 - Obrazovka Hlavni_2 .....	42
Obrázek 5.6 - Obrazovka Parametry_ob.....	43
Obrázek 5.7 - Obrazovka Parametry_11 .....	44
Obrázek 5.8 - Obrazovka Parametry_12.....	45
Obrázek 5.9 - Obrazovka Parametry_13.....	46
Obrázek 5.10 - Obrazovka Parametry_14.....	47
Obrázek A.1 - Umístění propojek na analogové desce .....	55
Obrázek A.2 - Umístění propojek na digitální desce .....	55
Obrázek A.3 - Schéma konektoru (čelní pohled).....	56
Obrázek B.1 - Doba aktualizace smyčky / Diagnostika .....	67
Obrázek B.2 - Doba aktualizace smyčky .....	68
Obrázek C.1 - Soubor IOConfig .....	73



## Seznam tabulek

Tabulka 3.1 - Rozdíly mezi regulačními algoritmy .....	8
Tabulka 3.2 - Slova dynamického bloku.....	11
Tabulka 3.3 - Slova smyčkových bloků.....	12
Tabulka 3.4 - Slova stavového bloku.....	13
Tabulka 3.5 - Bity spouštěcí sekvence Load/Enter .....	14
Tabulka 3.6 - Bity nahrávací sekvence Load/Enter .....	15
Tabulka 3.7 - Doby trvání jednotlivých sekvencí .....	18
Tabulka 3.8 - Události zachycované SMB bytem.....	19
Tabulka A.1 - Význam LED indikátorů modulu.....	53
Tabulka A.2 - Propojky analogové desky .....	54
Tabulka A.3 - Propojky číslicové desky .....	54
Tabulka A.4 - Požadavky na napájecí zdroj $\pm 15$ V.....	56
Tabulka A.5 - Požadavky na napájecí zdroj + 5 V.....	56
Tabulka B.1 - Kódy chybových funkcí.....	61
Tabulka B.2 - Nastavení bitů k reakci na mod Soft fault .....	62
Tabulka B.3 - Nastavení bitů k přenásobení daných zesílení.....	63
Tabulka B.4 - Horní byte slova W59 - popis chybových kódů .....	68
Tabulka B.5 - Dolní byte slova W59 - popis chybových kódů .....	69
Tabulka B.6 - Slovo W59 - chybové kódy blokového přenosu.....	69
Tabulka B.7 - Ukázka přeškálování.....	72

## Seznam rovnic

Rovnice 3.1 - ISA algoritmus .....	8
Rovnice 3.2 - A-B algoritmus.....	8
Rovnice 3.3 - Filtr typu vážený klouzavý průměr.....	20

# 1 Úvod

Firma Allen – Bradley, která je součástí společnosti Rockwell Automation, patří už dlouhá léta ke špičce na trhu s regulační technikou. Velkou část její produkce tvoří vývoj a konstrukce programovatelných logických automatů, nicméně firma vyrábí s velkým úspěchem i další komponenty k řízení, například různé pohony a serva, napájecí zdroje pro motory, senzory, panely operátorů a další vizualizační prostředky [1].

Kromě výroby nejmenších, kompaktních, typů se firma zabývá automaty, jejichž základním rysem je modularita, založená na přejímání některých úkolů řídicího procesoru specializovanými moduly. Vzniká tak spolehlivá regulační technika, kterou lze použít i u nejnáročnějších technologických procesů. Úkolem této práce bylo navržení regulačního systému s využitím automatu PLC-5/40 firmy Allen – Bradley, vybaveným dvousmyčkovým PID řídicím modulem starší řady (Proportional/Integral/Derivation Control (2-loop) Module, katalog. číslo 1771-PD), a následně ho otestovat jako procesní kontroler modelů systémů, zapojených pomocí analogového počítače Meda 50 firmy ZPA Čakovice, a dostupných laboratorních modelů. Těžiště návrhu představovalo takové naprogramování modulu, aby bylo možné nezávisle regulovat dvě veličiny soustavy najednou. Důraz byl kladen na vyzkoušení všech jeho programovatelných vlastností. Veškeré ovládání řídicího systému mělo být prováděno z monitoru počítače a vizualizace prezentována na internetových stránkách.

Diplomová práce je rozčleněna do následujících kapitol:

Druhá kapitola obsahuje hardwarovou specifikaci modulu, schémata jeho zapojení s regulovanou soustavou a popis možných odezev při selhání hardwaru.

Třetí kapitola se zabývá regulačním algoritmem, zkoumá strukturu datových bloků modulu, shrnuje způsoby jejich nahrávání, možnosti detekce chyb a upřesňuje některé vlastnosti modulu.

Čtvrtá kapitola popisuje návrh regulačního systému zadaných soustav; konfiguraci modulu, strukturu žebříčkového programu a následné vyzkoušení řízení modelů s přenosy zapojenými na Medě včetně nalezení vhodných konstant kontrolerů. V závěru je pojednáno o laboratorním modelu Vodárna a o jeho regulaci.

Pátá kapitola sleduje vizualizaci řídicího systému, včetně konfigurace v RSView. Jsou zde popsány jednotlivé obrazovky včetně významů tlačítek; druhá část se věnuje implementaci webové kamery a internetovým stránkám projektu uložených na katedrálním serveru.

V textu práce se vyskytují některé počestělé anglické výrazy, nicméně ve specifických případech byly ponechány používané anglické ekvivalenty. Nepříliš obvyklá cizojazyčná spojení jsou vysvětlena.

## **2 PID modul**

### **2.1 Programovatelné automaty a řízení**

Regulace systémů pomocí uzavřené smyčky je metoda řízení používaná více než dvě stě let. Zatímco v první polovině minulého století hrály v této oblasti podstatnou úlohu analogové PID regulátory, osmdesátým a devadesátým létům už díky rozvoji počítačů a integrovaných obvodů dominovaly číslicové kontrolery. Velký podíl na tom měly i programovatelné automaty, které byly masivně nasazovány hlavně v průmyslových odvětvích. Toto velké uplatnění umožnila hlavně funkční variabilita a hierarchické uspořádání systému, jejichž základ tvoří moduly zasouvané do šasi automatu. Vhodná volba modulů představuje silný nástroj při tvorbě řídicího systému mnoha soustav.

Řízení pomocí PLC umožňuje implementace PID instrukce v žebříčkovém programu. Jejím prostřednictvím lze nastavovat jednotlivé konstanty regulátoru a sledovat hodnoty veličin ve smyčce. Jiný způsob návrhu řídicího systému představují samotné regulační moduly, které firma Allen – Bradley nabízí ke svým programovatelným automatům. Jedním z nich je také dvousmyčkový Proporcionálně/Integračně/Derivačně řídicí modul. Těžiště jeho činnosti spočívá ve sledování okamžité hodnoty regulované veličiny, porovnávání se žádanou hodnotou volenou uživatelem a následném generování akčního zásahu do regulované soustavy. Kvalitu řízení lze ovlivňovat nastavováním složek kontroleru.

Modul poskytuje kromě možnosti regulovat dvě smyčky najednou i velké množství softwarově volitelných vlastností, které je možné vhodně kombinovat, a získat tak regulátor podle svých představ.

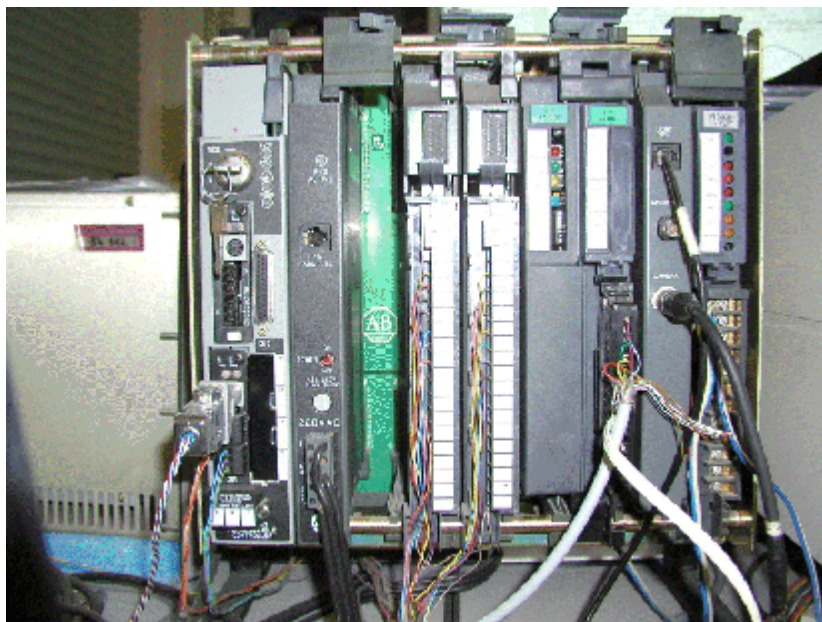
### **2.2 Hardwarový popis**

#### **2.2.1 Úvod**

Průčelí dvouslotového PID modulu je v pravé dolní části tvořeno osmnáctivstupovou svorkovnicí, kam se připojují napájecí přívody, vstupy a výstupy. Vlevo se nacházejí tři LED indikátory, kterými se zobrazuje aktuální stav modulu. Popis signalizátorů je umístěn v příloze A.1.

Modul má kromě dvou číslicových také čtyři analogové vstupy a dva analogové výstupy, každý s dvanáctibitovým rozlišením. Jejich rozsahy lze volit individuálně, k dispozici je proudový od +4 do +20 mA nebo napěťový od +1 do +5 V. Výběr je prováděn pomocí propojek, které se nachází přímo na desce plošných spojů modulu. Jejich přemístováním lze nastavit také další vlastnosti jako velikost zátěžové impedance nebo reakci systému při detekci poruchy. Významy jednotlivých propojek a jejich lokalizace jsou uvedeny v příloze A.2, detaily lze nalézt ve [2].

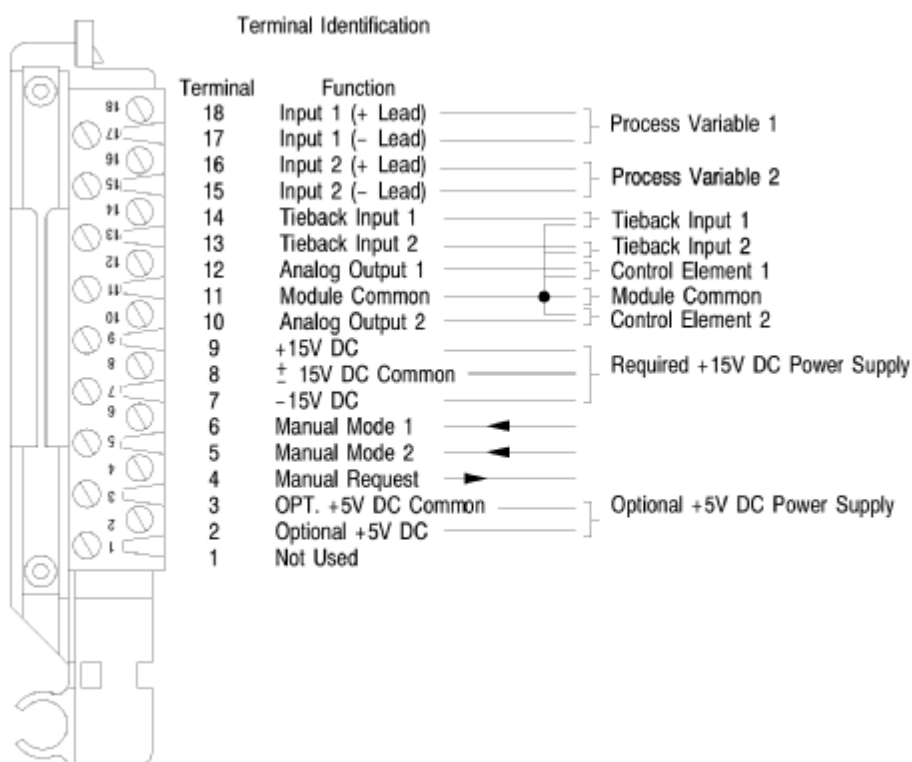
Vlastní řízení provádí modulový mikroprocesor, který na základě regulačního algoritmu vypočítává hodnotu akční veličiny.



Obrázek 2.1 - Automat PLC 5/40 s PID modulem

## 2.2.2 Vnější zapojení modulu

Na přední straně modulu se nachází osmnáct svorek, které slouží k připojení regulované soustavy.



Obrázek 2.2 - Svorkovnice modulu

Každá smyčka má jeden vstup od okamžité hodnoty (svorky první smyčky 18, 17 – svorky druhé smyčky 16, 15), jeden tiebackový vstup (14 – 13) a k němu přiřazený jeden výstup představující vstup do řízené soustavy (12 – 10). Tiebackový vstup může představovat dopředný vstup nebo ho lze použít ke sledování analogového výstupu při předávání řízení manuální stanice modulu a zajistit tak beznárazovost tohoto procesu. Stav stanice je zjišťován číslicovým vstupem (6 – 5). Pokyn k předání řízení představuje svorka (4), kterou při tomto požadavku na dobu 50 ms a s ní svorky (6 – 5) na dobu ručního ovládání přepne stanice na svorku 11 (Module Common). Tuto zemnicí svorku lze externě propojit se (17) a (15).

Manuální stanice lze používat pro komplexnější zajištění regulace. Připojují se mezi analogové výstupy modulu a akční členy soustavy, čímž umožňují ruční řízení systému nebo automatické zálohování kontroleru. Každá smyčka může mít maximálně jednu stanici.

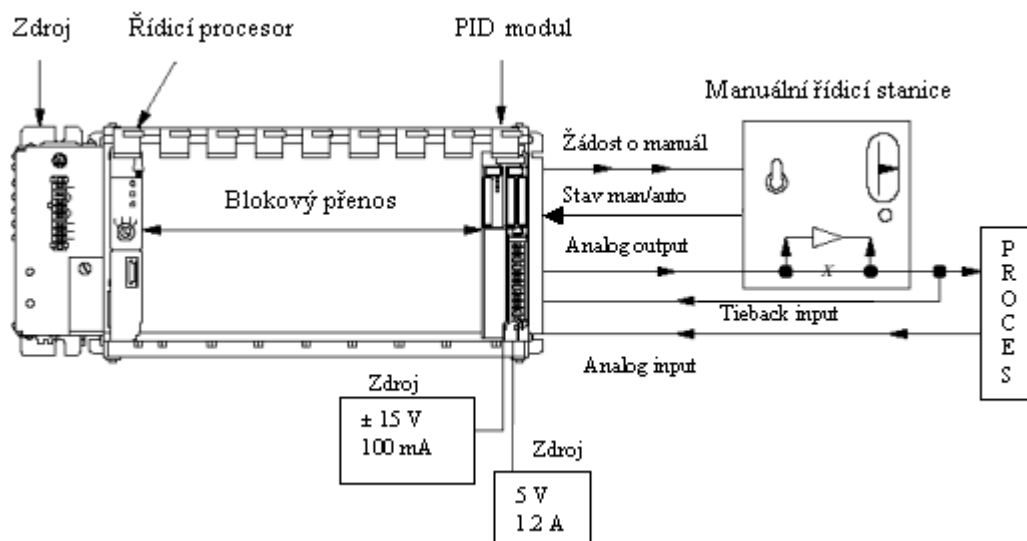
Manuální regulace spočívá v předání řízení sepnutím výstupního kontaktu modulu. Ten je za normálních okolností rozepnutý a nyní se na 50 ms uzavře. Během této doby dojde k propojení svorek (6 – 5) a (11) a stanice pak může ovlivňovat velikost akční veličiny. Problém může nastat při obnově automatického řízení, pokud je výstupní signál menší než +1 V nebo +4 mA. V tomto případě nedojde k beznárazovému předání řízení modulu, ale na výstupu systému se mohou objevit rázy.

Ke spínání výstupního kontaktu dochází nejen při požadavku na ruční řízení, ale i v případě selhání hardwaru či ztráty napájecího napětí  $\pm 15$  V. V této situaci bude sepnut tak dlouho, dokud nedojde k nápravě poruch. Při zpětném předání řízení modulu je znovu nutné hlídat velikosti výstupů a pro beznárazové předání používat tiebackové vstupy.

K činnosti modulu je nutné napájet jeho číslicové obvody napětím +5 V (2, 3) a analogové obvody  $\pm 15$  V (9, 8, 7). Napětí +5 V lze získat ze šasi nebo externím zdrojem. Napětí  $\pm 15$  V se dodává pomocí zdroje umístěného přímo v automatu, pokud není k dispozici, tak externím odděleným zdrojem. Hodnota nutného napájecího napětí závisí na odporech zařízení zapojených ve vstupní smyčce.

Základní sestavu tvoří PID modul (250 ohmů) a manuální řídicí stanice (100 ohmů). Každou regulační smyčkou musí při proudovém nastavení protékat maximálně 20 mA. Požadované napětí činí  $2 \cdot (350 \cdot 0.02) = 14$  V, je nutné použít zdroj  $\pm 15$  V. Pokud se základní sestava rozšíří o další zařízení (např. signalizační souprava – 250 ohmů), bude nezbytné napětí činit  $2 \cdot (600 \cdot 0.02) = 24$  V, které lze ale dodat zdrojem  $\pm 15$  V při nastavení dodatečné impedance (additional compliance), čímž se vnitřně v modulu propojí svorka Module Common se svorkou -15 V. Pak se dá generovat až 30 V. Tento způsob napájení je však možné provádět pouze při proudové volbě rozsahů obou analogových výstupů a obou tiebackových vstupů. Detaily a zapojení uvádí [2].

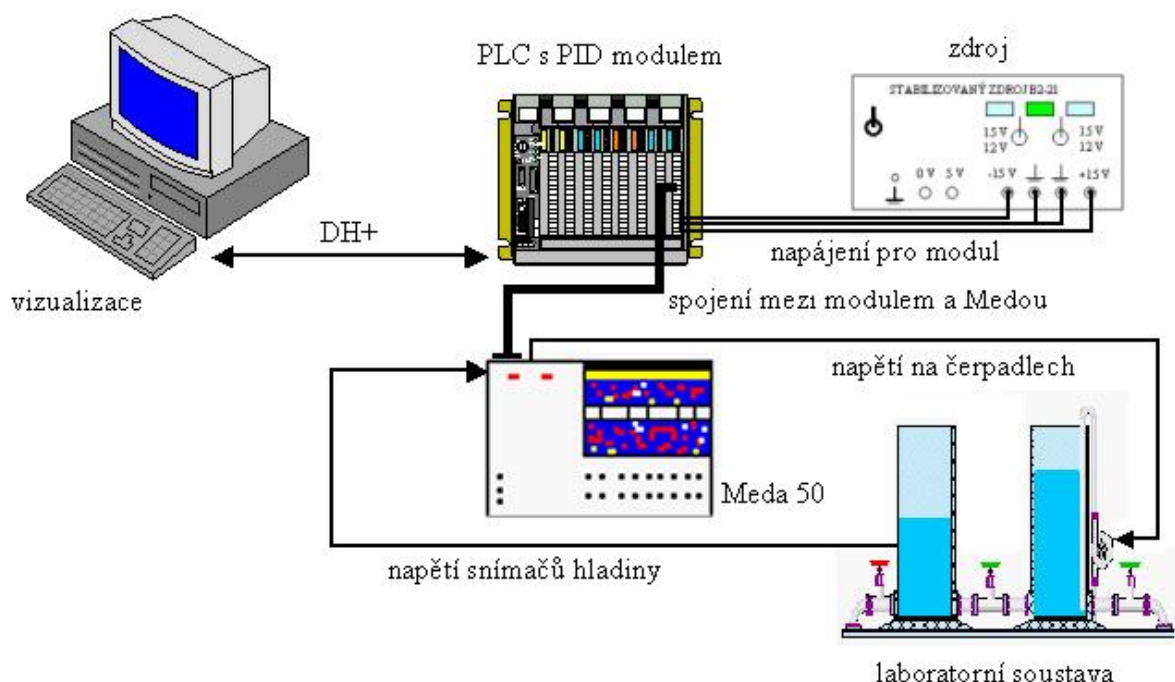
Veškeré požadavky na napájecí zdroje jsou uvedeny v příloze A.3.



Obrázek 2.3 - Komunikace modulu s okolím

Hlavní část vytvořeného regulačního obvodu spočívá v PLC automatu s řídicím modulem, který je propojen přes svoji svorkovnici s analogovým počítačem Meda, kde se zapojují testované přenosy. Jejich odezvy na žádané hodnoty zadané z monitoru počítače lze sledovat na instalované televizi. K Medě je ještě připojena laboratorní soustava Vodárna ovládaná prostřednictvím vizualizačního programu.

Z důvodu nových vstupů do Medy od PID modulu bylo nezbytné upravit stávající propojovací konektor. Jeho schéma uvádí příloha A.4.



Obrázek 2.4 - Propojení modulu s řízeným systémem

### 2.2.3 Reakce modulu na poruchy v řídicím systému

Modul je možné nakonfigurovat tak, aby reagoval na následující poruchy:

- 1) Přerušeni komunikace mezi modulem a řídicím procesorem automatu
- 2) Selhání mikroprocesoru modulu, popř. jeho diagnostiky (Hardware fault)
- 3) Ztráta napájecího napětí +5 V

#### 1) Přerušeni komunikace mezi modulem a řídicím procesorem automatu

Důvodem přerušeni komunikace může být:

- přepnutí procesoru z modu RUN do modu PROGRAM nebo REMOTE RUN
- porucha procesoru
- porušení komunikačního kabelu mezi procesorem a vstupy/výstupy šasi

Modul se za této situace nachází v modu Soft fault. Každá smyčka může na tento stav reagovat nezávisle, a to jedním z následujících způsobů:

- dojde k nastavení výstupu na minimální hodnotu (+4 mA nebo +1 V)
- hodnota výstupu bude udržována na poslední hodnotě vypočítané těsně před vznikem poruchového stavu
- systém bude nadále řízen, a to na základě hodnot naposledy přenesených do modulu před vznikem poruchového stavu
- dojde k nastavení výstupu na maximální hodnotu (+20 mA nebo +5 V)

Volba odezvy na tuto poruchu se provádí softwarově.

#### 2) Selhání mikroprocesoru modulu, popř. jeho diagnostiky (Hardware fault)

V případě detekce této poruchy může modul reagovat:

- nastavením výstupů smyček na minimální hodnotu (+4 mA nebo +1 V)
- udržováním hodnot výstupů na posledních hodnotách vypočítaných těsně před vznikem tohoto poruchového stavu
- nastavením výstupů na maximální hodnotu (+20 mA nebo +5 V)

Obsahuje-li regulační obvod manuální stanici, je jí při detekci této poruchy automaticky předáno řízení.

Odezva na tuto poruchu se nastavuje pomocí propojky na desce plošných spojů modulu.

### 3) Ztráta napájecího napětí +5 V

Za této situace se analogové výstupy mohou nastavit:

- na minimální hodnotu (+4 mA nebo +1 V)
- na maximální hodnotu (+20 mA nebo +5 V)

Pokud bude přerušena dodávka napětí  $\pm 15$  V, analogové výstupy automaticky nabudou minimálních hodnot.

Odezva na tuto poruchu se nastavuje pomocí propojky na desce plošných spojů modulu.



### 3 Programování modulu

#### 3.1 Regulační algoritmus

Modul snímá analogovým vstupem okamžitou hodnotu regulované veličiny a porovnává ji se žádanou hodnotou, čímž vzniká rozdílová veličina nazývaná se regulační odchylka. Tu se snaží modul minimalizovat generováním signálu na analogovém výstupu. K výpočtu jeho hodnot se používá regulační algoritmus zvolený uživatelem s vhodně nastavenými složkami PID regulátoru. K dispozici jsou:

- 1) Standardní ISA algoritmus, počítající řízení jako

$$V_o = K_c \cdot \left[ E + \frac{1}{T_I} \int_0^t E dt + T_D \cdot \frac{dE}{dt} \right]$$

Rovnice 3.1 – ISA algoritmus

- 2) Algoritmus 1771-PD firmy Allen-Bradley (A-B), počítající řízení jako

$$V_o = K_p \cdot E + K_I \cdot \int_0^t E dt + K_D \cdot \frac{dE}{dt}$$

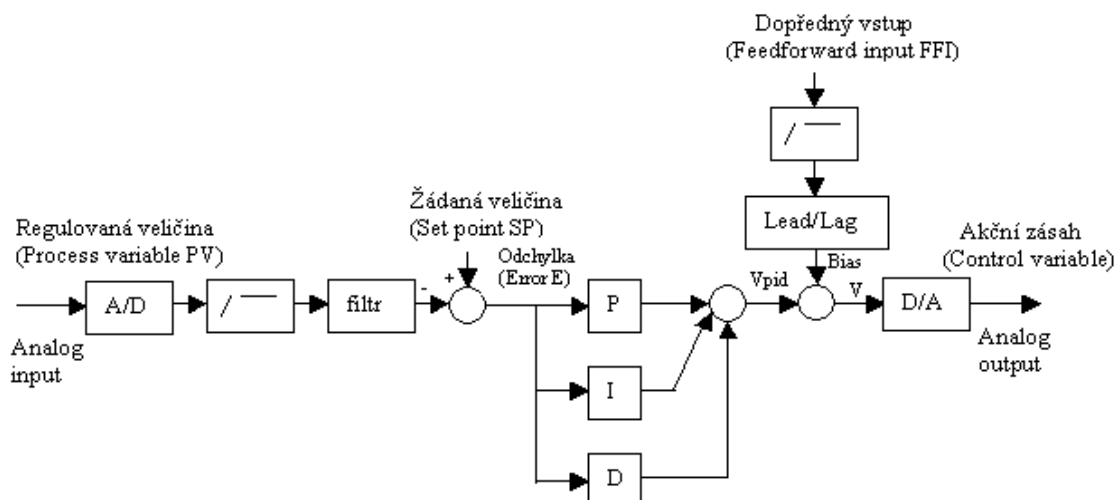
Rovnice 3.2 – A-B algoritmus

Základní rozdíl představuje vzájemná závislost jednotlivých složek. Zatímco algoritmus A-B používá nezávislé složky, změnou proporcionálního zesílení při užívání ISA algoritmu dojde k úpravě i integrační a derivační konstanty. Dalším rozdílem jsou jednotky složek obou algoritmů. Detaily lze dohledat ve [2] a [3].

Složka	ISA algoritmus	A-B algoritmus
proporcionální	Kc [-]	Kp [-]
integrační	1/Ti [1/min]	Ki [1/sec]
derivační	Td [min]	Kd [sec]

Tabulka 3.1 - Rozdíly mezi regulačními algoritmy

Pozdější verze tohoto modulu mají implementován pouze algoritmus A-B.



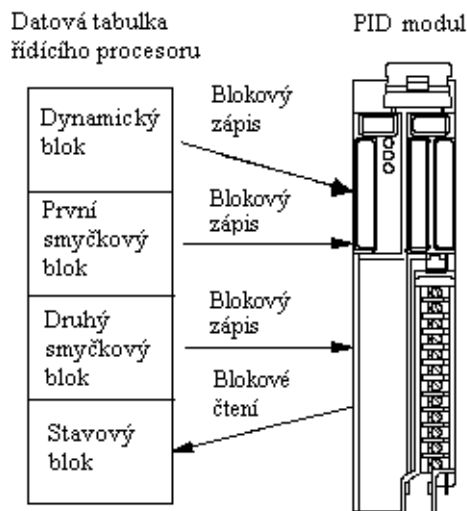
Obrázek 3.1 - Zjednodušené schéma regulace PID modulem

### 3.2 Datové bloky

Těžiště programování PID modulu tvoří datové bloky. Tyto části datové tabulky řídicího procesoru se skládají ze slov, reprezentujících jednotlivé vlastnosti modulu. Volba určité vlastnosti znamená nastavení bitu, popř. uložení hodnoty do daného slova. Po naplnění se datové bloky přesunují do modulu prostřednictvím instrukcí blokových přenosů pro zápis a čtení, které jsou základním kamenem komunikace mezi procesorem a zásuvným modulem. Takto dochází k zápisu parametrů nezbytných pro konfiguraci smyček a ke čtení stavových a diagnostických informací, čímž se zjišťuje úspěšnost provedeného přesunu a okamžité hodnoty veličin.

Pro správné fungování modulu je nutné do něho nahrávat data ze tří datových bloků prováděním třech blokových přenosů pro zápis. Prvním datovým blokem je dynamický blok DB (Dynamic block) obsahující vlastnosti modulu společné pro obě smyčky. Zbývající dva jsou smyčkové bloky LP1 (Loop 1) a LP2 (Loop 2), které reprezentují nepříliš často se měnící vlastnosti jednotlivých smyček.

Každý přesun pro zápis je potvrzen přenosem stavového bloku SB (Status block). Jedná se o přenosový blok pro čtení, který obsahuje slova informující o současném stavu modulu a o každé jím odhalené nestandardní události. Ukončení přenosu stavového bloku je signálem pro případné provedení dalšího blokového přenosu pro zápis.



Obrázek 3.2 - Přenosy datových bloků

Počet využitých slov jednotlivých bloků závisí na nastavení základních modulových vlastností; množství regulovaných smyček a typu používaných smyčkových vlastností. Regulovat lze jednu nebo dvě smyčky a vybírat se dají standardní nebo rozšířené vlastnosti. Tak jsou definovány čtyři různé situace, kterými je určen počet slov přenášených mezi řídicím procesorem automatu a modulem.

Smyčka se standardními vlastnostmi	Smyčka s rozšířenými vlastnostmi	Smyčky se standardními vlastnostmi	Smyčka s rozšířenými vlastnostmi
Dynamický blok 10 slov	Dynamický blok 10 slov	Dynamický blok 17 slov	Dynamický blok 17 slov
První smyčkový blok 12 slov	První smyčkový blok 19 slov	První smyčkový blok 12 slov	První smyčkový blok 19 slov
		Druhý smyčkový blok 12 slov	Druhý smyčkový blok 19 slov
Stavový blok 11 slov	Stavový blok 11 slov	Stavový blok 18 slov	Stavový blok 18 slov

Obrázek 3.3 - Datové bloky

### 3.3 Slova a bity jednotlivých datových bloků

Při popisu programovatelných slov modulu se používají písmena W (Word) a B (Bit). Zkratka [LE] označuje čtyři bity v hlavním řídicím slovu, vyžadující pro svou změnu provedení sekvence Load/Enter, [XF] značí slova a bity, patřící do rozšířených vlastností smyček.

#### 3.3.1 Dynamický blok

Dynamický blok je přenosový blok pro zápis obsahující 17 slov, jimiž se nastavují jednotlivé vlastnosti PID modulu a nejčastěji se měnící parametry obou smyček. Také obsahuje informace potřebné pro řízení sekvenčního zpracování blokových přenosů.

Pokud regulujeme jednu smyčku, stačí naprogramovat slova W01 až W10. Používáme-li obě smyčky, pak musí být naprogramován celý blok sedmnácti slov.

K aktualizaci dynamického bloku v modulu není třeba používat sekvenci Load/Enter, ale stačí provést přepínací sekvenci Dynamic/Toggle, mající menší časovou náročnost. Výjimku v tomto bloku tvoří bity označené [LE], jejichž způsob nahrávání je pevně definován.

Význam jednotlivých slov a bitů dynamického bloku lze najít v příloze B.1.

Slovo	Popis	Zkratka
W01	Hlavní řídicí slovo	
W02	Řídicí slovo	
W03	Počáteční adresa dynamického bloku	
W04	Počáteční adresa prvního smyčkového bloku	
W05	Nastavení analogového výstupu první smyčky	SET OUT 1
W06	Nastavení požadované hodnoty v první smyčce	SP1
W07	Proporcionální zesílení první smyčky	Kp1 (Kc1)
W08	Bias první smyčky	BIAS1
W09	Nastavení okamžité hodnoty v první smyčce	SET PV1
W10	Nastavení dopředného vstupu první smyčky	SET FFI1
W11	Počáteční adresa druhého smyčkového bloku	
W12	Nastavení analogového výstupu druhé smyčky	SET OUT 2
W13	Nastavení požadované hodnoty ve druhé smyčce	SP2
W14	Proporcionální zesílení druhé smyčky	Kp2 (Kc2)
W15	Bias druhé smyčky	BIAS2
W16	Nastavení okamžité hodnoty ve druhé smyčce	SET PV2
W17	Nastavení dopředného vstupu druhé smyčky	SET FFI2

Tabulka 3.2 - Slova dynamického bloku

### 3.3.2 Smyčkový blok

Smyčkový blok je přenosový blok pro zápis, obsahující 19 slov, jimiž se nastavují vlastnosti a hodnoty v jednotlivých smyčkách.

První smyčkový blok je používán při regulaci pouze jedné smyčky, oba dva slouží ke dvousmyčkovému řízení. Vlastnosti každé smyčky se nastavují řídicími slovy A a B a rozšířeným řídicím slovem. Zbylá slova se užívají k uložení nepříliš často se měnících hodnot.

Slova první smyčky W18 až W29 se programují, pokud jsou zvoleny standardní vlastnosti, při použití vlastností rozšířených se toto týká všech slov bloku (W18 až W36). Pokud se regulují obě smyčky, je nutné naprogramovat ještě slova W37 až W48 a při volbě rozšířených vlastností všechna slova druhého bloku (W37 až W55).

Pro aktualizaci hodnot smyčkových bloků modulu se provádí sekvence Load/Enter.

Protože struktura prvního a druhého smyčkového bloku je prakticky stejná, budou v následující tabulce popsána slova první smyčky a v závorce bude uveden odkaz na smyčku druhou. Význam jednotlivých bitů a slov obou bloků obsahuje příloha B.2.

Slovo	Popis	Zkratka
Standardní vlastnosti		
W18 (W37)	Řídící smyčkové slovo A	
W19 (W38)	Řídící smyčkové slovo B	
W20 (W39)	Časová konstanta vstupního filtru	TA
W21 (W40)	Minimální záporná regulační odchylka	EMN
W22 (W41)	Maximální kladná regulační odchylka	EMP
W23 (W42)	Pásmo necitlivosti	DB
W24 (W43)	Integrační zesílení (Integrační konstanta)	Ki (1/Ti)
W25 (W44)	Derivační zesílení (Derivační konstanta)	Kd (Td)
W26 (W45)	Omezení integračního členu	ViMAX
W27 (W46)	Omezení derivačního členu	VdMAX
W28 (W47)	Omezení minimální hodnoty výstupu	VMIN
W29 (W48)	Omezení maximální hodnoty výstupu	VMAX
Rozšířené vlastnosti		
W30 (W49)	Rozšířené řídicí slovo	
W31 (W50)	Minimální hodnota veličiny po přeškálování	SMIN
W32 (W51)	Maximální hodnota veličiny po přeškálování	SMAX
W33 (W52)	Dopředný offset	FFD
W34 (W53)	Dopředné zesílení	Kf
W35 (W54)	Časová konstanta lead	TB
W36 (W55)	Časová konstanta lag	TC

Tabulka 3.3 - Slova smyčkových bloků

### 3.3.3 Stavový blok

Stavový blok je přenosový blok pro čtení, obsahující 18 slov. Ta podávají zprávy o stavu smyček, okamžitých hodnotách jednotlivých veličin ve smyčkách a o detekovaných problémech. Ukončení přenosu tohoto bloku je signálem pro vlastní sekvenční zpracovávání ostatních bloků.

Pokud je regulována jedna smyčka, dochází ke čtení slov W56 – W66. Řízení obou smyček vyžaduje čtení celého bloku (W56 – W73).

Jednotlivé hodnoty slov a bitů stavového bloku lze získat blokovým přenosem pro čtení, doplňkové informace poskytuje svými bity také stavový monitorovací byte (SMB).

Význam jednotlivých bitů a slov stavového bloku je umístěn v příloze B.3.

Slovo	Popis	Zkratka
W56	Nevyužito	
W57	Informace společné pro obě smyčky	
W58	Počáteční adresa příštího bloku	
W59	Doba smyčky/Diagnostika	
W60	Informace o první smyčce	
W61	Regulační odchylka první smyčky	ERROR1
W62	Hodnota akčního zásahu v první smyčce	READ V1
W63	Hodnota analogového vstupu v první smyčce	READ IN1
W64	Okamžitá hodnota regul. veličiny v první smyčce	READ PV1
W65	Hodnota tiebackového vstupu první smyčky	READ TIE1
W66	Dopředná hodnota první smyčky	READ FV1
W67	Informace o druhé smyčce	
W68	Regulační odchylka druhé smyčky	ERROR2
W69	Hodnota akčního zásahu ve druhé smyčce	READ V2
W70	Hodnota analogového vstupu ve druhé smyčce	READ IN2
W71	Okamžitá hodnota reg. veličiny ve druhé smyčce	READ PV2
W72	Hodnota tiebackového vstupu druhé smyčky	READ TIE2
W73	Dopředná hodnota druhé smyčky	READ FV2

Tabulka 3.4 - Slova stavového bloku

### 3.4 Zápisy parametrů do modulu

PID modul je založen na sekvenčním zpracovávání blokových přenosů. Tyto bloky se skládají z parametrů, které modul poskytuje k využití při regulaci. Jejich aktualizace spočívá v provádění nahrávacích sekvencí, představujících jediný způsob komunikace mezi modulem a procesorem automatu.

K dispozici jsou tři typy nahrávacích sekvencí:

- spouštěcí sekvence Load/Enter, která se používá pro inicializaci modulu po vymazání jeho paměti
- nahrávací sekvence Load/Enter, která se používá pro aktualizaci hodnot smyčkových bloků a čtyř bitů v hlavním řídicím slově dynamického bloku

- přepínací sekvence Dynamic/Toggle, která se používá pro aktualizaci hodnot dynamického bloku, kromě čtyř bitů v jeho hlavním řídicím slově

### 3.4.1 Spouštěcí sekvence Load/Enter

S touto sekvencí, prováděnou při spuštění modulu nebo při jeho opětovném uvedení do chodu při poruše napájení +5 V, jsou spojeny dva kontrolní a čtyři stavové bity.

Název bitu	Umístění bitu
Load	W01 B06
Enter	W01 B03
Power-up	W57 B11
Ready	W57 B10
Load/enter complete	W60 B10
Power-up complete	W60 B04

Tabulka 3.5 - Bity spouštěcí sekvence Load/Enter

**Přesun č. 1** – Dochází k načtení stavového bloku modulu procesorem. Hodnota Power-up bitu bude 1, což znamená, že modul je zapnut, ale ještě nedošlo k jeho inicializaci. Na modulu bude blikat LED dioda RUN, ostatní diody nebudou svítit.

**Přesun č. 2** – Procesor do modulu zapíše dynamický blok, jehož Load bit musí být nastaven na 1.

**Přesun č. 3** – Procesor načte stavový blok modulu, který bude obsahovat ve slovu W58 adresu prvního smyčkového bloku uloženou ve slově W04, což je signálem k jeho nahrání. Hodnota Power-up bitu stavového bloku bude nyní nulová. V případě chybného zadání některé z hodnot přeneseného dynamického bloku dojde k nastavení bitu W57 B13 a slovo W58 bude stále obsahovat adresu dynamického bloku, což znamená zastavení průběhu sekvence. Nesprávně zadané hodnoty je nutné opravit a celou sekvenci poté provést znovu od začátku.

**Přesun č. 4** – Procesor zapíše hodnoty prvního smyčkového bloku do modulu.

**Přesun č. 5** – Procesor načte stavový blok modulu, který bude obsahovat ve slově W58 adresu druhého smyčkového bloku uloženou ve slovu W11, což je signálem k jeho nahrání. V případě chybného zadání některé z hodnot přeneseného smyčkového bloku dojde k nastavení bitu W57 B12 a obsahem slova W58 pak bude adresu dynamického bloku, což znamená zastavení sekvence. Nesprávně zadané hodnoty je nutné opravit a celou sekvenci poté provést znovu od začátku.

**Přesun č. 6** – Procesor zapíše hodnoty druhého smyčkového bloku do modulu.

**Přesun č. 7** – Procesor načte stavový blok modulu, který bude obsahovat ve slově W58 adresu dynamického bloku uloženou ve slovu W03, což je signálem k jeho nahrání. Ready bit stavového bloku bude nastaven na 1. V případě chybného zadání některé z hodnot přeneseného smyčkového bloku nedojde k jeho nastavení, ale nastaví se bit W57 B12. Nesprávně zadané hodnoty je nutné opravit a celou sekvenci poté provést znovu od začátku.

**Přesun č. 8** – Procesor zapíše dynamický blok do modulu. Ke správnému dokončení spouštěcí sekvence Load/Enter je nutné, aby obsahoval Enter bit nastaven na 1.

**Přesun č. 9** – Procesor načte stavový blok modulu, kde bude hodnota Ready bitu nastavena na 0, Load/Enter complete bit a Power-up complete bit budou nastaveny na 1. To znamená, že PID modul byl naprogramován a při přenosu dynamických a smyčkových bloků nedošlo k žádným chybám.

### 3.4.2 Nahrávací sekvence Load/Enter

Sekvence Load/Enter umožňuje aktualizovat hodnoty vybraných slov a bitů modulu způsobem chránícím data od náhodného přepsání, které by mohlo negativně ovlivnit regulaci procesu. Oproti spouštěcí sekvenci Load/Enter nedochází k testování Power-up bitu a Enter bit může být nastaven později. To znamená, že nové hodnoty lze přesunout do modulového zásobníku, ale použít je až později.

Název bitu	Umístění bitu
Load	W01 B06
Enter	W01 B03
Ready	W57 B10
Load/enter complete	W60 B10

**Tabulka 3.6 - Bity nahrávací sekvence Load/Enter**

**Přesun č. 1** – Procesor zapíše dynamický blok, jehož Load bit je nastaven na 1, do modulu. Přenesené hodnoty se neukládají do modulového zásobníku, ale jsou okamžitě použity k aktualizaci. Toto se netýká čtyř konfiguračních bitů hlavního řídicího slova, k jejichž uplatnění dojde až po dokončení celé sekvence Load/Enter pomocí Enter bitu.

**Přesun č. 2** – Procesor načte stavový blok modulu, který bude obsahovat ve slově W58 adresu prvního smyčkového bloku uloženou ve slovu W04, což je signálem k jeho nahrání. Pokud byla v přeneseném dynamickém bloku detekována chyba, dojde k nastavení bitu W57 B13 a obsahem slova W58 bude adresa dynamického bloku, což znamená zastavení



průběhu sekvence. Nesprávně zadané hodnoty je nutné opravit a celou sekvenci poté provést znovu od začátku. Než k tomu dojde, bude modul bude řídit na základě původních hodnot.

**Přesun č. 3** – Procesor zapíše hodnoty prvního smyčkového bloku do modulu, kde se zatím uloží do zásobníku.

**Přesun č. 4** – Procesor načte stavový blok modulu, který bude obsahovat ve slově W58 adresu druhého smyčkového bloku uloženou ve slovu W11, což je signálem k jeho nahrání. Pokud byla v přeneseném smyčkovém bloku detekována chyba, dojde k nastavení bitu W57 B12 na 1 a slovo W58 bude obsahovat adresu dynamického bloku. Nesprávně zadané hodnoty je nutné opravit a celou sekvenci poté provést znovu od začátku. Než k tomu dojde, její průběh bude oscilovat mezi přesuny č. 3 a 4 a modul bude řídit na základě původních hodnot.

**Přesun č. 5** – Procesor zapíše hodnoty druhého smyčkového bloku do modulu, kde se zatím uloží do zásobníku.

**Přesun č. 6** – Procesor načte stavový blok modulu, který bude obsahovat ve slově W58 adresu dynamického bloku uloženou ve slovu W03, což je signálem k jeho nahrání. Ready bit stavového bloku je nastaven na 1, což znamená, že nová data byla platná. Pokud byla v přeneseném smyčkovém bloku detekována chyba, dojde k nastavení bitu W57 B12 na 1. Nesprávně zadané hodnoty je nutné opravit a celou sekvenci poté provést znovu od začátku. Než k tomu dojde, její průběh bude oscilovat mezi přesuny č. 5 a 6 a modul bude řídit na základě původních hodnot.

Aktivaci nových dat lze provést okamžitě nebo se ponechají v modulovém zásobníku a použijí až později.

A) Pozdější aktivace nových dat:

**Přesun č. 7** – Procesor zapíše dynamický blok do modulu. Load bit má hodnotu 0, takže není možné začít provádět novou sekvenci Load/Enter. Hodnoty smyčkových bloků jsou uloženy v zásobníku a nejsou aktivovány, neboť není nastaven Enter bit. Dokud bude jeho hodnota 0, lze do modulu přenášet stále nové hodnoty dynamického bloku.

**Přesun č. 8** – Procesor načte stavový blok modulu, který bude obsahovat ve slově W58 adresu dynamického bloku uloženou ve slovu W03, což je signálem k jeho nahrání. Ready bit stavového bloku je stále nastaven na 1, data v zásobníku jsou platná. Modul čeká na nastavení Enter bitu.

B) Okamžitá aktivace nových dat:

**Přesun č. 7** – Procesor zapíše dynamický blok, jehož Enter bit je nastaven na 1, do modulu a ten začne provádět řízení na základě dat přenesených v této sekvenci. Dojde k aktivaci smyčkových hodnot uložených v zásobníku.

**Přesun č. 8** – Procesor načte stavový blok modulu, který bude obsahovat ve slově W58 adresu dynamického bloku uloženou ve slovu W03. Dále bude mít Ready bit nastaven na 0 a Load/Enter complete bit na 1, čímž je umožněno případné zahájení další sekvence Load/Enter.

Smyčkové hodnoty jsou přenášeny do modulu, aniž by bylo nutné je aktivovat. Jsou ukládány v modulovém zásobníku. Následně může dojít k libovolnému počtu přenosů dynamického bloku, Enter bit by však měl být nastaven v takovém bloku, jehož hodnoty souvisí se těmi smyčkovými v zásobníku, jinak může dojít v modulu k nekonzistenci dat a následně k problémům při řízení.

### **3.4.3 Přepínací sekvence Dynamic/Toggle**

Sekvence Dynamic/Toggle umožňuje aktualizovat hodnoty dynamického bloku (kromě čtyř bitů hlavního řídicího slova) bez použití sekvence Load/Enter. Nedochází při ní k žádnému nastavování bitů a adres, čímž se zkracuje nahrávací doba měněných vlastností. Samotná sekvence spočívá z jednoho zápisu a jednoho čtení.

**Přesun č. 1** – Procesor zapíše dynamický blok obsahující nové hodnoty do modulu.

**Přesun č. 2** – Procesor načte stavový blok modulu, popisující úspěšnost předchozího přesunu. Pokud přenesený blok neobsahoval chyby, dojde k aktualizaci hodnot. V opačném případě se nastaví bit W57 B13 na 1 a je nutné sekvenci po korekci chyby zopakovat.

## **3.5 Sekvence při změnách základních modulových vlastností**

Modul monitoruje své základní vlastnosti a v případě jejich změn adekvátně reaguje úpravami v pořadí při sekvenčním zpracování blokových přenosů. Dochází tak k flexibilnímu zkracování a prodlužování sekvence Load/Enter.

V případě volby jednosmyčkového řízení nedochází k přenosu druhého smyčkového bloku, což se projevuje ve stavovém bloku tím, že po zápisu prvního smyčkového bloku do modulu bude slovo W58 už obsahovat adresu dynamického bloku. Sekvence se tak zkrátí o jedno čtení a jeden zápis (u spouštěcí sekvence jsou přeskočeny přenosy č. 5 a 6, u nahrávací přenosy č. 4 a 5). Nahrávání dynamického bloku nedosáhne změn, bude sice přenášén celý blok, ale hodnoty odpovídající druhé smyčce nebudou využity.

Při výběru vlastností (standardní/rozšířené) dochází k přenosu všech parametrů a ne pouze těch, které jsou nezbytně potřeba. Tento výběr nemá na nahrávací časy žádný vliv.

Sekvence	jedna smyčka stand. parametry	jedna smyčka rozš. parametry	dvě smyčky stand. parametry	dvě smyčky rozš. parametry
Load/Enter	0.49 s	0.49 s	0.74 s	0.74 s
Dynamic/Toggle	0.2 s	0.2 s	0.2 s	0.2 s

**Tabulka 3.7 - Doby trvání jednotlivých sekvencí**

### **3.6 Kontinuální a periodický blokový přenos**

Pokud řídicí procesor automatu blokově komunikuje s více moduly, může prováděním těchto nepřetržitých (kontinuálních) přenosů docházet k přílišnému zatěžování systémového SCANu. Proto je vhodné redukovat jejich počet a dobu SCANu tak snížit. Toho lze dosáhnout periodickým prováděním přesunů nebo jejich podmiňováním nastavovanými bity.

Tento způsob komunikace je založen na schopnosti stavového monitorovacího bytu (SMB) podávat zprávy o stavu PID modulu, aniž by bylo nutné provádět blokové přenosy pro čtení; tím se snižuje jejich redundance. Pokud modul detekuje chybu, kterou lze indikovat pomocí monitorovacího bytu, stačí v programu na vzniklou situaci reagovat spuštěním přepínací sekvence Dynamic/Toggle, čímž dojde k lokalizaci a následné opravě vzniklé chyby.

Ke zjišťování stavu modulu by kromě monitorovacího bytu měl být také použit výše zmíněný periodický přenos. V programu ho lze implementovat pomocí časovače, který v pevném intervalu vyžaduje provedení blokového přenosu pro čtení. Takto lze vyřešit následující problém: Dojde-li k selhání modulu nebo ke komunikační poruše, monitorovací byte nebude moci být aktualizován a nedetekuje tedy chybu. Nebude docházet k blokovým přenosům. Za této situace časovač hlídající čtení vyprší a umožní tak signalizovat ztrátu komunikace mezi PID modulem a řídicím procesorem automatu.

### **3.7 Stavový monitorovací byte**

Stavový monitorovací byte (Status monitor byte - SMB) poskytuje základní informace o stavu modulu, aniž by docházelo k blokovým přenosům pro čtení. SMB se nachází v obrazech vstupů řídicího procesoru a je lokalizován číslem racku, skupinovým číslem modulu a nižším číslem slotu, v němž je řídicí modul umístěn.

Byte obsahuje 8 bitů, z nichž pět spodních (B04 – B00) slouží k podávání diagnostických zpráv a horní tři (B07 – B05) zajišťují jeho platnost. Ta je splněna, pokud bity B07 a B06 obsahují 0 a bit B05 obsahuje 1. Jakákoliv jiná kombinace znamená neplatnost stavového monitorovacího bytu.

Význam stavových bitů je následující:

**SMB B04 Alarm.** Bit se nastavuje na 1, pokud dojde ve smyčce k nějaké nestandardní situaci (viz tabulka 3.8) signalizované stavovým slovem W60 (W67). Je-li tento bit 0, žádná taková situace nebyla zjištěna.

Podmínka	Alarm bit
E<EMN	W60 B13 (W67 B13)
E>EMP	W60 B12 (W67 B12)
Vi>ViMAX	W60 B08 (W67 B08)
V ručním řízení	W60 B05 (W67 B05)
Vp > 4095	W60 B03 (W67 B03)
Vd > VdMAX	W60 B02 (W67 B02)
V < VMIN	W60 B01 (W60 B01)
V > VMAX	W60 B00 (W60 B00)
chyba v dynamickém bloku	W57 B13
chyba ve smyčkovém bloku	W57 B12

Tabulka 3.8 - Události zachycované SMB bytem

**SMB B03 Spouštění.** Obsah bitu je 1, pokud modul není inicializován. K jeho zresetování dochází po prvním platném přenosu dynamického bloku.

**SMB B02 Ztráta vstupu.** Obsah bitu je 1, pokud se signál na jakémkoliv ze čtyř vstupů (analogové vstupy 1 nebo 2, tiebackové vstupy 1 nebo 2) nachází mimo standardní napěťový nebo proudový interval. Je-li bit roven 0, jsou všechny vstupní signály v mezích od +1 do +5 V nebo od +4 do +20 mA.

**SMB B01 Ztráta napájení ± 15 V.** Obsah bitu je 1, pokud chybí napájení ± 15 V. Je-li bit 0, napájení funguje.

**SMB B00 Mod Soft fault.** Je-li bit 1, modul se nachází v modu Soft fault. Má-li bit hodnotu 0, modul standardně funguje.

### 3.8 Rozšířené vlastnosti modulu

Základní funkce modulu lze rozšířit o změnu měřítka veličiny, číslicovou filtraci vstupního signálu, filtraci Lead/Lag a o charakter řízení soustav.

#### 3.8.1 Změna měřítka veličiny

Změna měřítka (Scaling) představuje lineární převod prvotních dat na inženýrské jednotky a zpět. Neškálovaný rozsah je od 0 do 4095, rozlišení upravených i neupravených dat dvanáctibitové. Konverzi lze aplikovat na okamžitou hodnotu regulované veličiny,

žádanou hodnotu a regulační odchylku; každá ze smyček může přeškálování provádět nezávisle na druhé.

Pro používání převodu je nutné nejdříve nastavit bit rozšířených vlastností. Následně se v rozšířeném řídicím slovu zvolí bity veličin, které chceme přeškálovat, a do příslušných slov se uloží dolní a horní mezní hodnoty přeškálovaných dat SMIN a SMAX. Po provedení těchto nastavení se nové hodnoty budou nacházet ve slovech:

- požadovaná hodnota veličiny – W06 (W13)
- regulační odchylka – W61 (W68)
- okamžitá hodnota regulované veličiny – W64 (W71)

Ukázka přeškálování se nachází v příloze B.4.

### 3.8.2 Číslicová filtrace vstupního signálu

Číslicová filtrace (Digital filtering) slouží ke snížení vlivu periodického rušení superponovaného na konstantní analogové vstupní signály. Je prováděna metodou váženého klouzavého průměru. Pro výpočet filtrovaných hodnot signálu lze použít rekurentní rovnici:

$$Y_n = Y_{n-1} + \frac{0.1}{TA}(X_n - Y_{n-1}),$$

**Rovnice 3.3 - Filtr typu vážený klouzavý průměr**

kde

$Y_n$  je současný výstup (filtrovaná regulovaná veličina)

$Y_{n-1}$  je minulý výstup (filtrovaná regulovaná veličina)

0.1 je doba obnovy smyčky modulu

TA je časová konstanta filtru

$X_n$  je současný vstup (nefiltrovaná regulovaná veličina)

### 3.8.3 Filtrace Lead/Lag

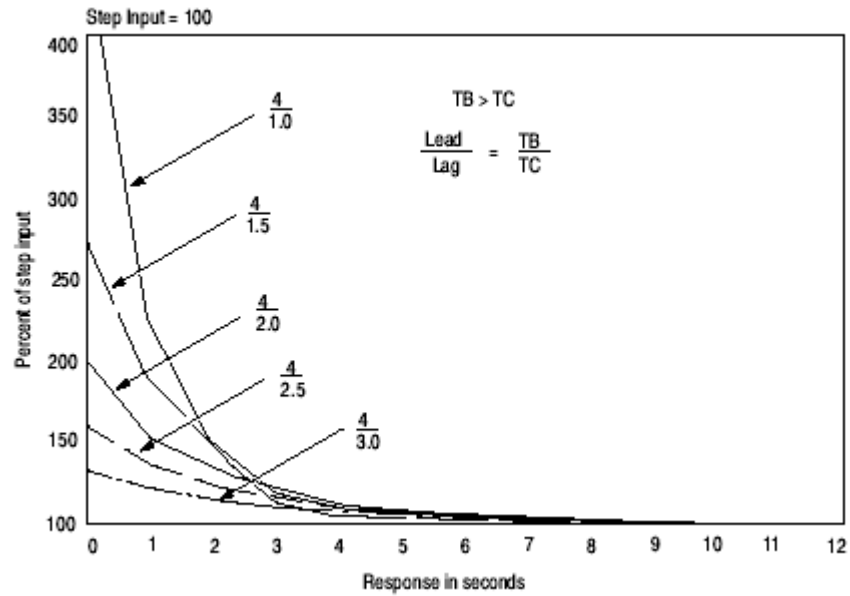
Filtrace Lead/Lag umožňuje tvarování průběhu na dopředném vstupu prováděním dvou způsobů filtrace. Je-li na tento vstup přiveden skokový signál, použití filtrace Lead znamená jeho překompenzování (předběhnutí) a filtrace Lag jeho nedokompenzování (zpoždění). Ustalování jednotlivých průběhů závisí na velikosti skoku a na hodnotách časových konstant TB (Lead) a TC (Lag).

Odezva tvarovače, jehož přenos lze zapsat jako  $\frac{(TB) \cdot s + 1}{(TC) \cdot s + 1}$ , ovlivňuje zadaný filtrační

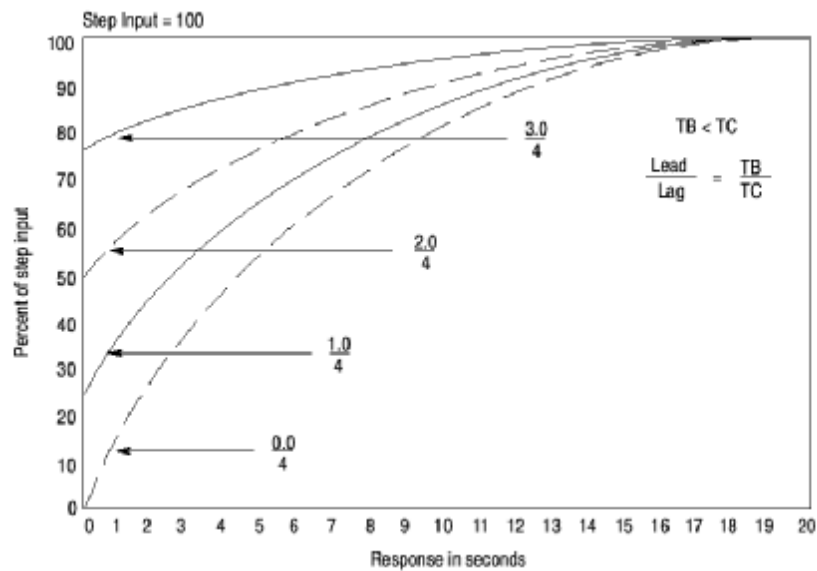
poměr TB/TC. Volba poměru 0/2 (Lag) představuje zmenšení hodnoty skoku na polovinu, opačný poměr 2/0 (Lead) způsobí jeho zdvojnásobení. Při současném zadání hodnot TB a TC,

obou různých od nuly, bude odezvě dominovat filtr s větší časovou konstantou. Poměr 2/1 tak znamená filtraci Lead, 1/2 filtraci Lag. Použití větších hodnot ve filtračním koeficientu při zachování stejné hodnoty poměru (např. 1/2 x 6/12) představuje prodloužení doby ustálení filtrovaného skoku.

Filtrační poměr je možné zadávat jakýkoliv, nicméně filtr provede maximálně osminásobné překompenzování vstupní hodnoty.



Obrázek 3.4 - Ukázka filtrace Lead



Obrázek 3.5 - Ukázka filtrace Lag

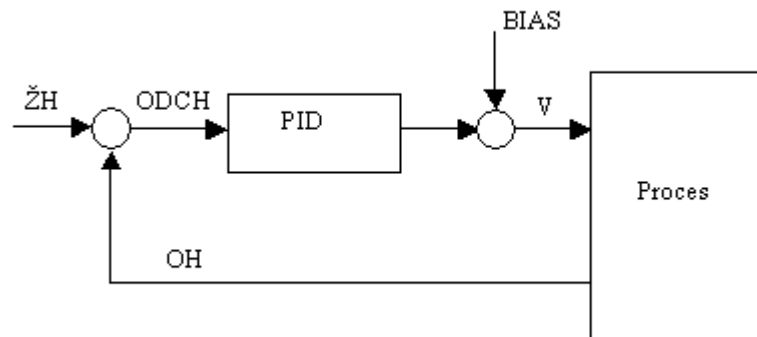
### 3.8.4 Možnosti řízení soustav

PID modul poskytuje široký výběr způsobů regulace soustav:

- 1) Řízení v uzavřené smyčce (Closed loop control)
- 2) Kaskádní řízení (Cascade control)
- 3) Dopředné řízení (Feedforward control)
- 4) Decoupling (Decouple control)

#### 1) Řízení v uzavřené smyčce

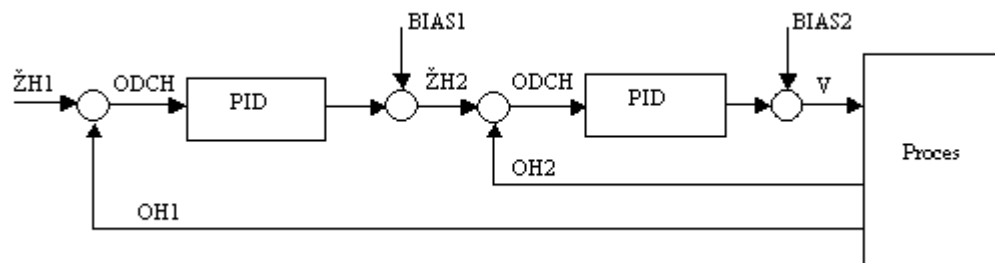
Standardní zpětnovazební řízení spočívá v porovnávání požadované hodnoty a okamžité hodnoty regulované veličiny. Regulační odchylka se zpracovává nastaveným proporcionálním, integračním a derivačním zesílením. Následně je generován akční zásah.



Obrázek 3.6 - Řízení v uzavřené smyčce

#### 2) Kaskádní řízení

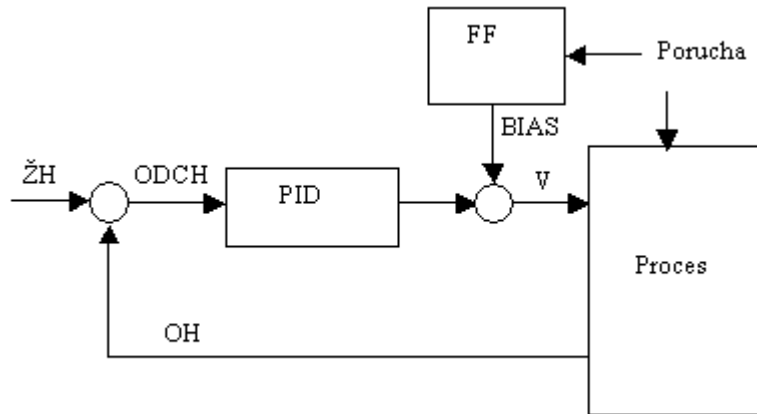
Kaskádní řízení je založeno na dvou vázaných smyčkách, kde výstup první představuje požadovanou hodnotu druhé smyčky. Tímto zapojením se dá snižovat doba odezvy vnitřní (podřízené) smyčky při regulaci vnější (nadřízené) smyčky s velkou setrvačností.



Obrázek 3.7 - Kaskádní řízení

### 3) Dopředné řízení

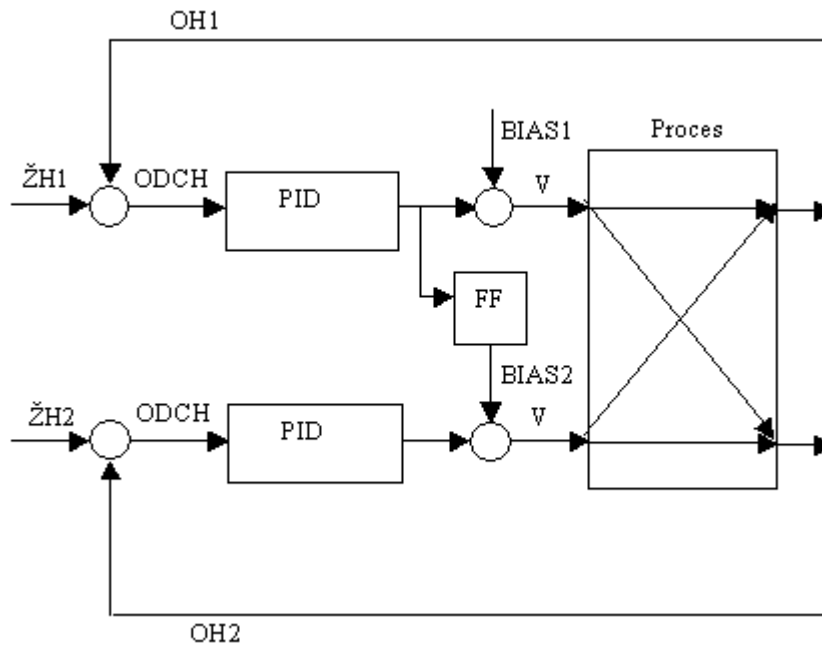
Dopředné řízení umožňuje kompenzovat poruchu vstupující do regulovaného systému pomocí dopředného členu, který tak upravuje už vypočítaný akční zásah. Užívá se k řízení systémů s dopravním zpožděním.



Obrázek 3.8 - Dopředné řízení

### 4) Decoupling

Tento způsob řízení se využívá v regulaci systémů, u nichž dochází k interakci mezi smyčkami. Změny v jedné smyčce přímo ovlivňují druhou smyčku. Tento vzájemný vliv se kompenzuje propojením jejich dopředných výstupů, čímž je minimalizován vliv jednotlivých smyček na výpočet akčního zásahu.



Obrázek 3.9 - Decoupling



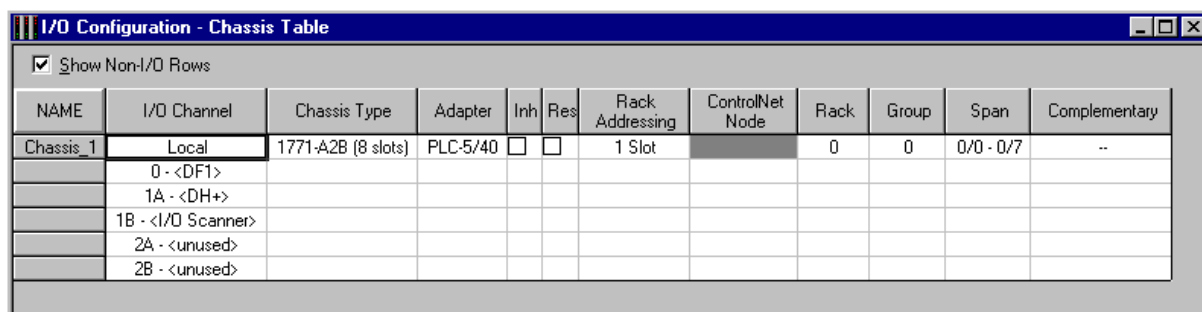
## 4 Návrh regulačního systému

Regulační systém je navržen prostřednictvím softwarového nástroje firmy Allen – Bradley RSLogix 5 [4]. K zajištění komunikace mezi tímto programovacím prostředím a automatem musí být na propojovacím terminálu (počítači) ještě nainstalován software RSLinx [5]. Vizualizace řídicího systému je vytvořena v programu RSView [6], který umožňuje ovládání soustavy z monitoru počítače.

### 4.1 Konfigurace PID modulu v softwaru RSLogix

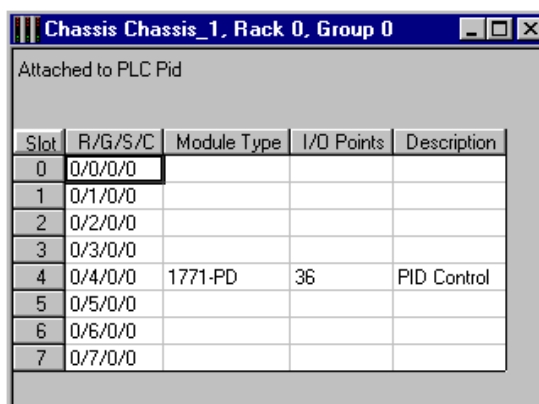
Nejprve je nutné v programu nastavit ovladač popisující způsob propojení terminálu s automatem. Tyto ovladače zastupují jednotlivá komunikační rozhraní a instalují se prostřednictvím RSLinx. (*Tools, Option, Systém Communications*)

Samotná konfigurace probíhá v komponentě *I/O Configuration*, kde se nastavují moduly, se kterými má procesor komunikovat. Po stisku levého tlačítka myši v kolonce *Chassis Type* příslušného šasi se zobrazí tabulka popisující dané šasi automatu. V řádce odpovídající nižšímu číslu slotu, v němž je modul umístěn, se po stisku pravého tlačítka myši a po volbě *Insert module* zobrazí nabídka, obsahující velký výběr typů modulů.



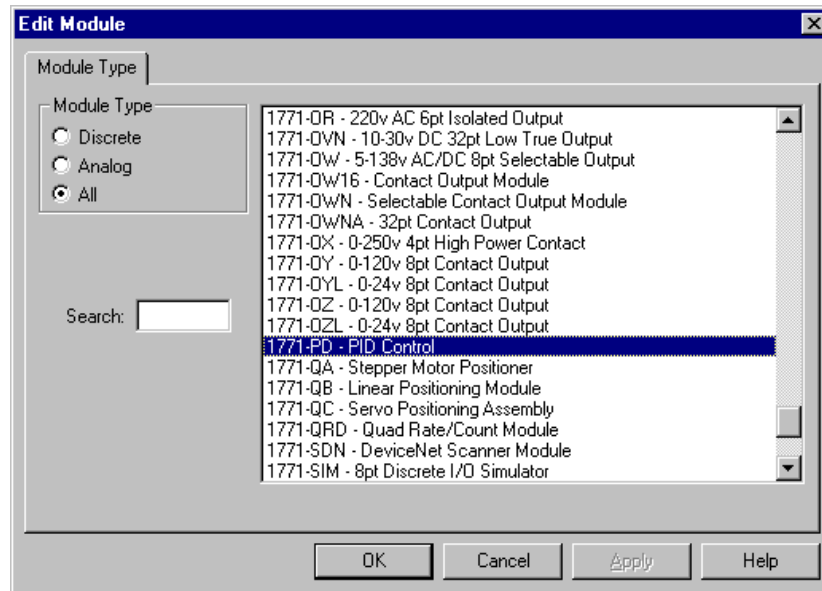
NAME	I/O Channel	Chassis Type	Adapter	Inh	Res	Rack Addressing	ControlNet Node	Rack	Group	Span	Complementary
Chassis_1	Local	1771-A2B (8 slots)	PLC-5/40	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1 Slot		0	0	0/0 - 0/7	--
	0 - <DF1>										
	1A - <DH+>										
	1B - <I/O Scanner>										
	2A - <unused>										
	2B - <unused>										

Obrázek 4.1 - I/O konfigurace



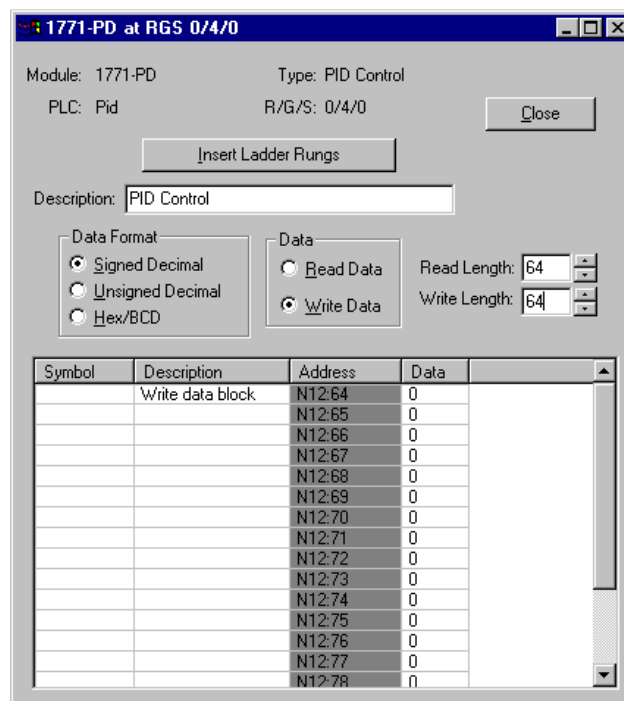
Slot	R/G/S/C	Module Type	I/O Points	Description
0	0/0/0/0			
1	0/1/0/0			
2	0/2/0/0			
3	0/3/0/0			
4	0/4/0/0	1771-PD	36	PID Control
5	0/5/0/0			
6	0/6/0/0			
7	0/7/0/0			

Obrázek 4.2 - Šasi automatu



Obrázek 4.3 - Výběr modulů

Po provedení této operace se otevře okno, kde je nutné dopsat adresy datových a kontrolních bloků. Lze je nechat vyplnit počítač (*Auto-Pick*) nebo je možné si definovat své vlastní. Po potvrzení volby dojde k automatickému vytvoření těchto souborů a otevře se další okno, kde se definují některé parametry datových bloků. Jedná se o počet přenášených slov při čtení a zápisu a formát přenášených dat. Po jejich nastavení a stisknu tlačítka *Create Ladder Files* se vytvoří v programu první dva žebříčky blokového přenosu, obsahující instrukce blokových přenosů pro zápis a čtení a kontrolní bity umožňujících střídavé provádění těchto dvou operací. Konfigurace modulu je tím ukončena.



Obrázek 4.4 - Nastavení parametrů přenosu

## 4.2 **Koncepce programu**

Základem regulačního systému je žebříčkový program v RSLogix. Jeho nejdůležitější části představují naprogramované nahrávací sekvence Load/Enter a přepínací sekvence Dynamic/Toggle, čímž byla vyřešena komunikace mezi procesorem automatu a modulem. Její případné selhání se detekuje pomocí SMB bitů a hlídacím časovačem se základní periodou 1 vteřina. Chyby vzniklé při přenosu dat do modulu se odhalují také pomocí časovače. Možné problémy při převodu dekadických hodnot z vizualizace do formátu hodnot, se kterým modul pracuje, jsou eliminovány pevným nastavením čtyřčíslíkového BCD kódu v hlavním řídicím slovu modulu. Transformace dekadických hodnot na BCD se provádí přímo v RSView.

### Hlavní program

#### 1) PID

Z tohoto programu jsou spouštěny všechny podprogramy, testuje se zde funkčnost komunikace a úspěšnost provádění nahrávacích sekvencí.

### Podprogramy

#### 2) LOAD/ENTER

Rutina provádějící spouštěcí, resp. nahrávací sekvenci Load/Enter, záleží na úspěšné inicializaci modulu. Spouštěcí sekvence přenáší do modulu data ze souboru INIC1 či INIC2, nahrávací ze souboru IOCONFIG.

#### 3) TOGGLE

Rutina provozující přepínací sekvenci Dynamic/Toggle.

#### 4) RSVIEW

Rutina reagující na události z vizualizace.

### Soubory pro uchování dat

#### 1) N12 – IOCONFIG

Slouží k ukládání parametrů nahrávaných do modulu a stavových dat z něj čtených. Struktura je uvedena níže.

#### 2) N14 – INIC1

Obsahuje počáteční hodnoty parametrů pro analogový počítač Meda, které jsou nahrávány při inicializaci modulu. Aktualizovány jsou při každém ukončení řízení, a tak při dalším spuštění tento soubor obsahuje naposledy zadaná data.

### 3) N15 – VSTUPY

Zde jsou umístěny hodnoty parametrů zadávané z vizualizace, a to už v BCD formátu. Jakékoliv změně dat z monitoru počítače následuje odpovídající aktualizace tohoto souboru.

### 4) N16 – BUFFER

Tento soubor slouží k ukládání hodnot, které byly úspěšně přeneseny do modulu, čímž dochází k zálohování dat. Pomocí něj se detekují změněné hodnoty ve vizualizaci a v případě chybného přesunu se jeho data používají jako výchozí. Při inicializaci jsou zde uloženy hodnoty ze souboru INIC1 nebo INIC2.

### 5) N17 – INIC2

Význam je stejný jako u souboru INIC1, parametry však patří laboratornímu modelu Vodárna.

## 4.2.1 Příprava hodnot pro nahrání do modulu

Hodnoty parametrů zadávaných z vizualizace se v BCD formátu ukládají do souboru VSTUPY. Tento soubor je při následném nahrávání do modulu porovnán se souborem BUFFER, čímž jsou lokalizovány parametry, které byly během poslední volby uživatelem upraveny. Změněná data jsou uložena do souboru IOCONFIG a poté se nastavují příznaky, které signalizují, jaký typ nahrávací sekvence lze pro aktualizaci hodnot použít. Po úspěšném nahrání do modulu dochází k překopírování hodnot zápisové části souboru IOCONFIG do BUFFERu, a tak jsou nová data připravena k dalšímu porovnávání.

## 4.2.2 Přenosové sekvence

Parametry modulu jsou dvou typů; jedna skupina vyžaduje pro přenos sekvenci Load/Enter, druhé stačí pouze Dynamic/Toggle. Všechny hodnoty lze přenášet pomocí prvně citované sekvence, nicméně její doba trvání není krátká. Proto v podprogramu RSView dochází při porovnávání souborů také k signalizaci, do které skupiny změněný parametr náležel. Pokud došlo k úpravě jen těch hodnot, aktualizovatelných sekvencí Dynamic/Toggle, je provedena pouze tato sekvence. V jakémkoliv jiném případě se považuje za nezbytné spustit sekvenci Load/Enter.

Velikosti přenášených bloků se nastavují přímo v instrukcích *Block Transfer Write* a *Block Transfer Read*. Lze volit pevnou délku, nicméně pak nebude možné tyto instrukce využívat při změnách základních vlastností modulu, kdy se struktura bloků mění. Alternativou je volit buď přednastavenou délku 64 slov nebo zadat nulu. V obou případech pak modul sám rozhoduje o velikosti přenášených bloků na základě nastavení základních vlastností, čímž lze jednu instrukci flexibilněji použít pro více účelů.

K přenášení hodnot se používá soubor IOCONFIG. Lze ho rozdělit na dvě části. První část slouží jako sekce pro čtení z modulu, druhá jako sekce pro zápis do modulu. Čtecí sekce

obsahuje na adrese 0 až 17 stavová slova W57 – W74. Následující adresy (18 až 63) vyplňují nuly. Zápisová sekce je definována adresami 64 až 118. Zde jsou po sobě uloženy dynamický (W01 – W17), první smyčkový (W18 – W36) a druhý smyčkový blok (W37 – W55). Umístováním těchto adres do instrukcí blokového přenosu dochází k zápisu či čtení požadovaného bloku dat. Příklad struktury tohoto nejdůležitějšího souboru se nachází v příloze C.1.

### 4.2.3 Reakce na nestandardní události

Nestandardními událostmi se rozumí ztráta napájecího napětí  $\pm 15$  V, nastání modu Soft fault, ztráta signálů na analogových a tiebackových vstupech, přechod od automatického do manuálního režimu a vznik chyb při nahrávacích sekvencích.

Jak bylo výše zmíněno, na obecnější poruchy lze reagovat stavovým monitorovacím bytem, který je lokalizován v souboru I1 na pozici I:004. Jeho bity se dobře detekuje ztráta  $\pm 15$  V a přechod modulu do modu Soft fault. Situace na vstupech se jím identifikuje jen částečně, proto se pro detailnější informace využívá stavové slovo W60 (W67) Stav smyčky, nicméně je třeba provést blokový přenos pro čtení. Jedině tímto druhým způsobem lze signalizovat přechod do manuálního režimu.

Nahrávací sekvence mohou velice často obsahovat chyby, např. zadání příliš velké hodnoty parametru, hodnoty neodpovídající BCD formátu, vyskytují se i problémy s komunikací. Lokalizaci chyb v jednotlivých blocích umožňuje stavové slovo W57 Alarm, přesný problém specifikuje slovo W59 Diagnostika.

Ačkoliv oba typy nahrávacích sekvencí detekují chyby stejně, jejich reakce v této situaci se liší. Zatímco Dynamic/Toggle po její detekci končí a pro opravení je nezbytné tuto přepínací sekvenci provést znovu, sekvence Load/Enter neustále kmitá mezi dvěma přenosy, kde došlo k nalezení chyby. V žebříčkovém programu se tato situace ošetřuje tak, že nový přenos je umožněn až po snulování chyb, což znamená zresetování bitů, které podmiňují provádění sekvence. Pak lze opravit podezřelé hodnoty a nahrát je znovu do modulu. K dispozici jsou i příčky, které po snulování chyb automaticky provedou přepsání zápisové sekce IOCONFIGU souborem BUFFER, v krajním případě i souborem INIC, obsahujícími nezávadná data, čímž se opět přejde k normální činnosti modulu.

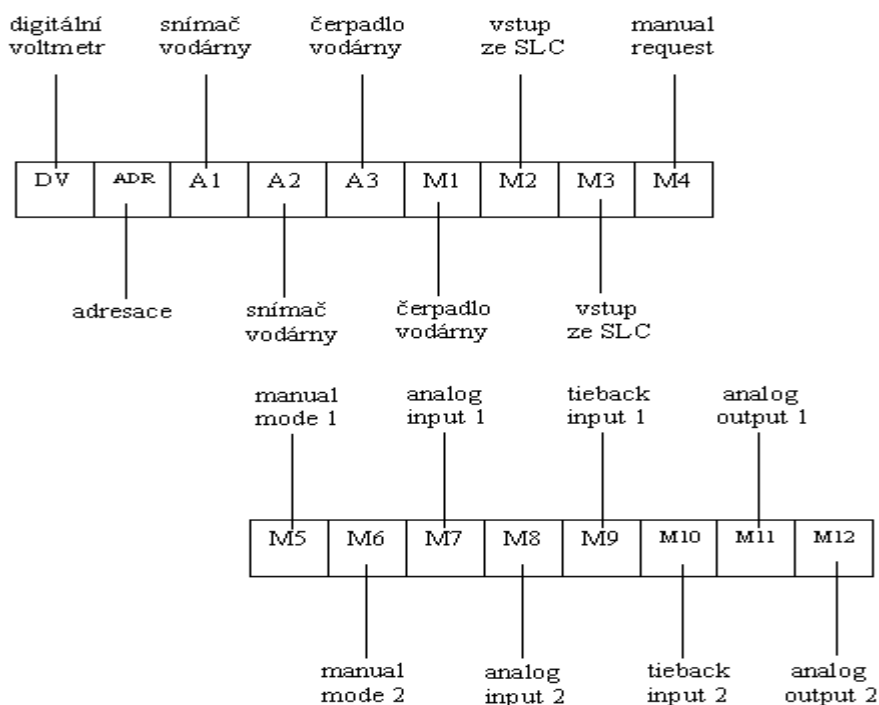
Chyba v sekvenci Load/Enter se detekuje pomocí hlídacího časovače, který po vypršení signalizuje její vznik.

### 4.3 Regulace soustav

Pomocí PID modulu byla postupně vyzkoušena regulace systémů zapojených na analogovém počítači Meda 50 a dále došlo k testování řízení na laboratorním modelu Vodárna.

#### 4.3.1 Analogový počítač Meda 50

Jednotlivé systémy byly sestavovány pomocí analogového počítače Meda. Ten prostřednictvím svého vybavení umožňuje realizaci systému maximálně šestého řádu. K dispozici je šest integrátorů, šestnáct proporcionálních členů reprezentovaných otočnými potenciometry, osm sumátorů, dále lze využívat komparátory, funkční bloky, přepínače, násobičky a děličky, popř. jednotlivým integrátorům dodat počáteční podmínku. V horní části propojovacího pole jsou umístěny zdroje +10 V a -10 V. Uprostřed se nachází množina vstupů a výstupů systému. Jejich reálný význam závisí na uspořádání požadovaných vstupů na propojovacím konektoru Medy. Pokud se struktura tohoto konektoru rovná té v příloze A.4, skupina vstupů a výstupů je následující:



Obrázek 4.5 - Význam vstupů na Medě

Po zapojení testovaného přenosu lze na instalované televizi sledovat průběhy v požadovaných místech obvodu, většinou se pozorují hodnoty na integrátorech. Meda umožňuje také zobrazení přechodové charakteristiky, a to repetitivním způsobem výpočtu. Ten je však možné optimálně provádět pouze při autonomním zapojení přenosu, který nevyužívá žádné vstupy od automatu, neboť při regulaci uzavřené smyčky dochází k rozvažování systému.

V levém dolním rohu Medy je umístěn její ovládací panel. Mezi nepoužívanější prvky patří tlačítka Y1 – Y4, kterými se nastavují polohy sledovaných signálů v televizi a tlačítko PG používané při kalibrování proporcionálních členů otočnými potenciometry (pro zjišťování zesílení lze propojit pole DV a ADR, popř. toto spojení neprovádět a použít přímo digitální voltmetr). Hodnoty jednotlivých zesílení se zobrazují na displeji DATA v horní části Medy. Tlačítkem OP se startuje integrace, REP znamená repetitivní způsob výpočtu. Úplný popis funkcí obsahuje [7].

Při propojování Medy s PID modulem je nutno brát v úvahu nesymetričnost jejich rozsahů. Zatímco analogový počítač poskytuje interval  $-10$  až  $+10$  V (z něhož bude pro zesílení systému využita jen kladná část), řídicí modul umožňuje nastavením odpovídajících propojek (viz příloha A.2) napěťový rozsah 1 až 5 V. Proto musí být při zapojování přenosů dbáno na zahrnutí odpovídajících posunů a zesílení, a to jak na vstupu systému, tak na jeho výstupu.



Obrázek 4.6 - Analogový počítač Meda 50, vlevo model Vodárna

#### 4.3.2 Řízení modelů systémů

Při testování vlastností PID modulu byly vyzkoušeny následující kombinace modelů:

- 1) jeden stabilní systém druhého řádu
- 2) jeden stabilní systém druhého a jeden stabilní systém třetího řádu
- 3) jeden nestabilní systém druhého a jeden nestabilní systém třetího řádu
- 4) kaskádní řízení stabilního systému druhého řádu

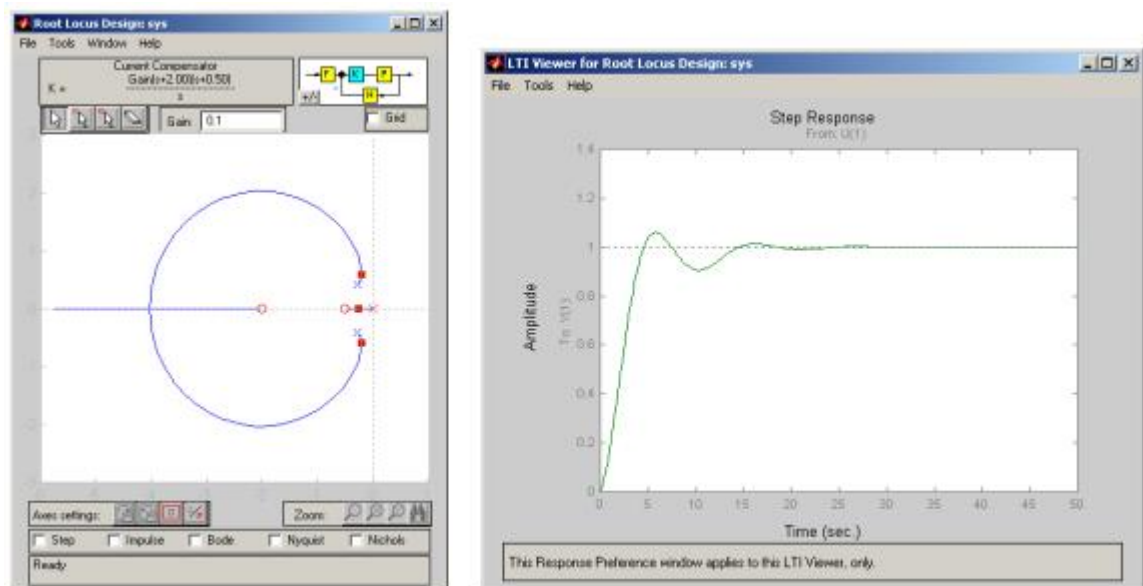
Úlohou bylo nalézt takové regulátory, které systémy při zvolených požadavcích na odezvu vhodně regulují.

## 1) Jeden stabilní systém druhého řádu

Daný systém má přenos  $G(s) = \frac{1}{s^2 + 0.56s + 0.25}$ , jedná se tedy o kmitavý systém

druhého řádu s relativním tlumením  $\xi = 0,56$  a přirozenou frekvencí  $\omega_n = 0,5$ . Jeho póly nabývají hodnot  $p_{1,2} = -0,2800 \pm 0,4142*j$ , systém je stabilní. Koeficienty všech zapojovaných přenosů mají hodnotu menší než jedna z důvodu omezení zesílení v analogovém počítači.

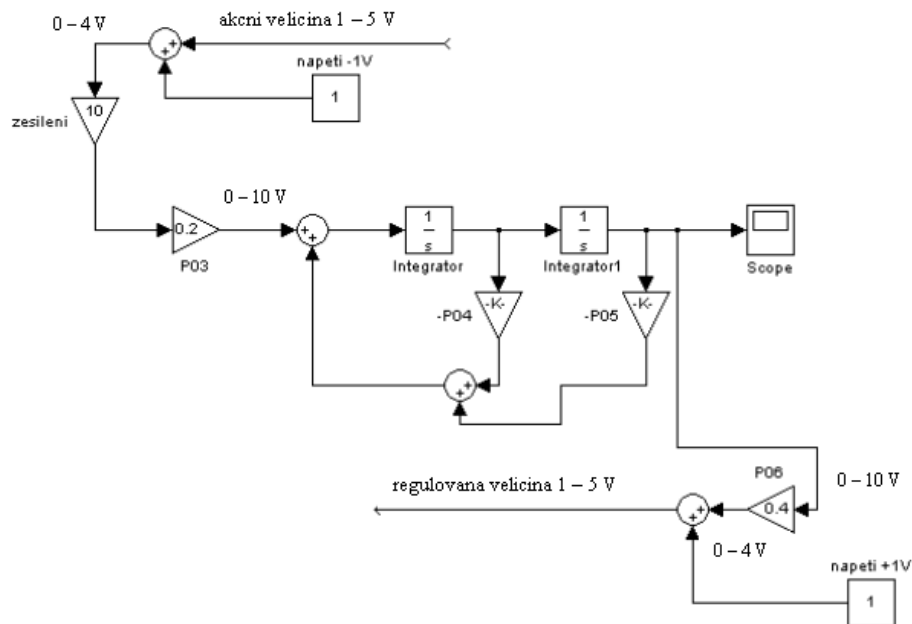
Pomocí programu Matlab, resp. jeho funkce *rltool* analyzující stabilitu uzavřené smyčky metodou geometrického místa kořenů, byly získány PI a PID regulátory, které soustavu regulují tak, aby překmit nebyl větší než 20 procent žádané hodnoty. Časový interval ustálení byl volen zhruba 20 sekund, což je vzhledem k rychlosti samotného modulu dostačující (jeho doba aktualizace ve smyčce je minimálně 100 ms). Získané konstanty regulátorů mají význam jen informativní; tvoří základ pro další, experimentální doladování kontroleru.



Obrázek 4.7 - Návrh regulátoru metodou GMK

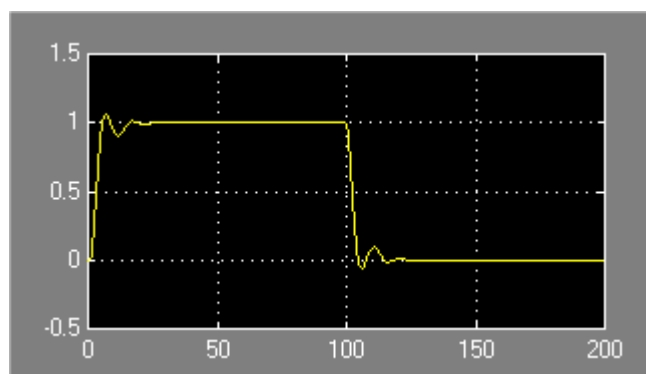
Přenos se na analogovém počítači zapojuje v kanonickém tvaru vzhledem k řízení [8]. Samotný systém je doplněn o zesílení a sumace z důvodů nesouměrnosti jednotlivých napěťových rozsahů.





**Obrázek 4.8 - Příklad zapojení systému druhého řádu**

Volbou konstant regulátoru  $K_p = 0,25 [-]$ ,  $K_i = 0,1 \text{ s}^{-1}$ ,  $K_d = 0,1 \text{ s}$  bylo dosaženo dobré odezvy na vstupní skok 500 jednotek (maximální možná vstupní hodnota 4095). Problém představovalo přesycení derivace, bylo tedy nezbytné ji omezit (30 jednotek). Omezení integrační složky nemělo velký význam, pokud se však zvolila příliš malá, docházelo k nedoregulování veličiny. Kvalitní odezvu měl též PI kontroler s  $K_p = 0,1 [-]$  a  $K_i = 0,08 \text{ s}^{-1}$ , avšak s příliš dlouhou dobou ustalování.



**Obrázek 4.9 - Odezva systému s PID regulátorem spočítaná Matlabem**

Možnosti modulu byly vyzkoušeny nastavováním jeho jednotlivých vlastností. Z těch se dá vyzdvihnout Pásmo neurčitosti (Dead band), jehož volbou dojde ke znečitlivění reakce systému na odchylky v absolutní hodnotě menší než je hodnota pásma. Vstupní filtr (Digital filtering) provede podle hodnoty konstanty TA transformaci skokové žádané hodnoty na posloupnost postupně se zvětšujících skoků, čímž se však zhoršuje čas regulace i překmit systému. Dopředným vstupem lze ovlivňovat akční zásah regulátoru, který se ho snaží

vykompenzovat. Důsledkem je např. nenulová hodnota akce při nulové požadované hodnotě. Průběh dopředného vstupu se upravuje pomocí filtrace Lead/Lag a dá se sledovat v jím příslušejícím stavovém slovu.

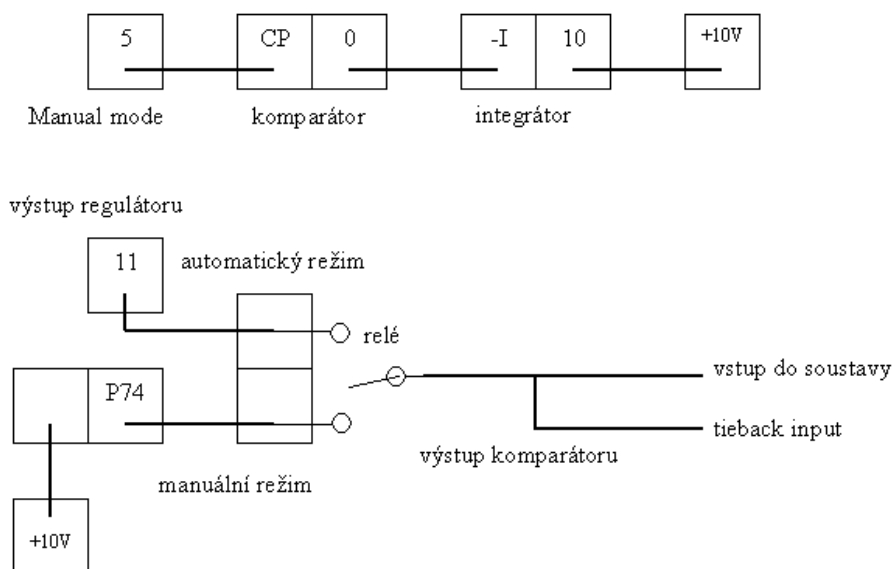
Důvody vzniku modu Soft fault jsou uvedeny ve druhé kapitole. Softwarově ho nelze vyvolat, nicméně bitem dostupným v dynamickém bloku lze nastavit, zda ihned po opravě chyby, která způsobila tento stav, modul začne pracovat nebo zda má čekat než obsluha volbou bitu umožní jeho zotavení.

Přeškálování (Scaling) umožňuje lineárně transformovat maximální rozsah dané veličiny na požadovaný interval, což je výhodné pro praktické použití. Změnit měřítko lze u okamžité a požadované hodnoty a u regulační odchylky. Při provádění této operace se musí nejdříve vyplnit položky Horní mez a Dolní mez ze slov W31 a W32 (resp. W50 a W51), popisující hranice nového intervalu, a vhodně nastavit jejich polarita bity W30 B04, B03 (W49 B04, B03). Není nutné volit přeškálování všech veličin regulačního obvodu, nicméně pro přehlednost se to doporučuje udělat. Při návratu k původnímu měřítku se postupně zruší přeškálování jednotlivých veličin a následně dosadí nuly do mezí intervalu. Příklad změny měřítka je uveden v příloze B.4.

Daný regulační obvod bylo ještě nezbytné vybavit manuální řídicí stanicí, na analogovém počítači simulované pomocí komparátoru.

Modul předává řízení stanici v případě, že o to bylo zažádáno. Tuto žádost reprezentuje bit Manual request, který by měl zajistit uzemnění vstupů Manual mode 1, popř. i Manual mode 2 (závisí na počtu pracujících smyček). Bohužel tento signál trvá pouze 50 ms a má velmi malou amplitudu, tudíž ho nelze při simulaci soustav na Medě použít. Další problém představovaly hodnoty napětí na vstupech Manual mode, umožňující návrat k automatickému řízení. Experimenty bylo zjištěno, že tyto číslicové vstupy mají logickou jedničku až ve 14 V, na hranici operačního rozsahu Medy.

Komparátor má dva vstupy; první od svorky Manual mode, druhý od výstupu integrátoru, na němž je minimální záporné napětí, kterým Meda disponuje, nebo je nezapojen. V okamžiku automatického řízení má Manual mode napětí 14,34 V a integrátor -13,65 V. Komparátor porovnává tak, že je-li součet napětí na vstupech menší než nula, sepne se dolní část relé. V opačném případě se sepne horní část. Pokud se tedy systém nachází v automatickém režimu a je podána žádost o manuální řízení, stačí zapojit na druhý vstup komparátoru výstup integrátoru. Napětí na vstupu komparátoru od Manual Mode při tomto propojení poklesne na 13,34 V. Výsledné napětí tak bude záporné a relé se přepne do dolní polohy. Nyní lze akční veličinu ovládat pomocí otočného potenciometru P74, čímž se mění hodnota napětí přicházející na vstup soustavy. Při manuálním řízení je nutno dbát na dodržení rozsahu signálu 1 – 5 V a nepřesahovat tyto meze, mimo ně nebude modul sledovat okamžitou hodnotu regulované veličiny. Jestliže nyní přijde žádost o návrat do automatického režimu, vypojí se propojka mezi vstupem komparátoru a integrátorem, čímž se bude porovnávat napětí 14,3 V a 13,6 V. Sepne se horní část relé, čímž systém přejde zpět do režimu řízení PID modulem.



Obrázek 4.10 - Zapojení manuální stanice

Beznárazový přechod mezi manuálním a automatickým režimem umožňuje zapojení tiebackového vstupu. Nebude tak docházet ke skokovým změnám akční veličiny a přechod bude mít plynulý charakter. Na Medě je tieback input (9) připojen na výstup relé.

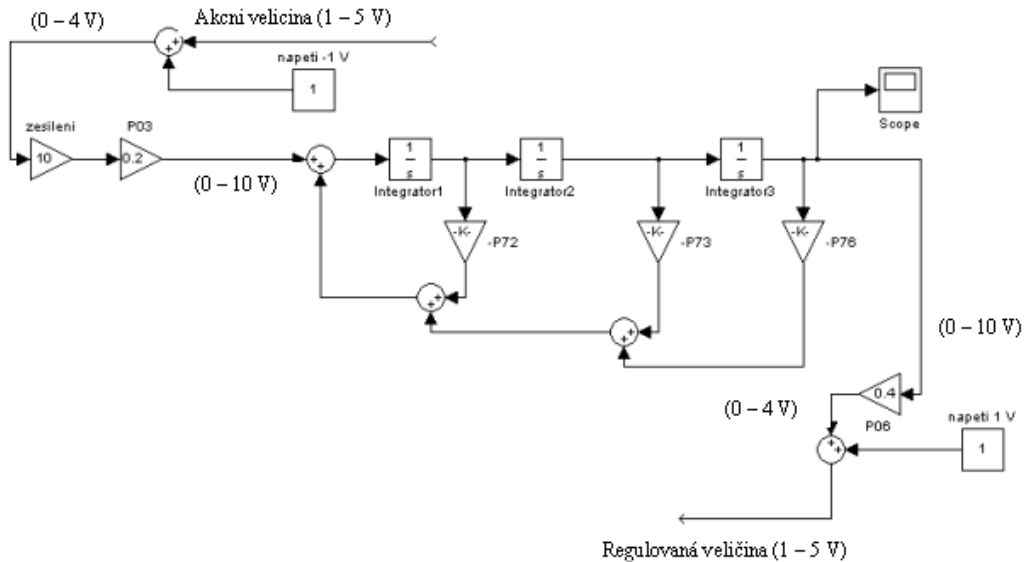
## 2) Jeden stabilní systém druhého a jeden stabilní systém třetího řádu

První systém má přenos  $G(s) = \frac{1}{s^2 + 0.56s + 0.25}$  z předchozího případu, druhým byla zvolena soustava s  $G(s) = \frac{1}{s^3 + 0.5s^2 + 0.4s + 0.1}$ . Jedná se systém třetího řádu s póly nabývajícími hodnot  $p_{1,2} = -0,1027 \pm 0,5735*j$ ,  $p_3 = -0,2946$ . Póly se nacházejí v levé polorovině, systém je stabilní, nicméně nachází se blízko imaginární osy.

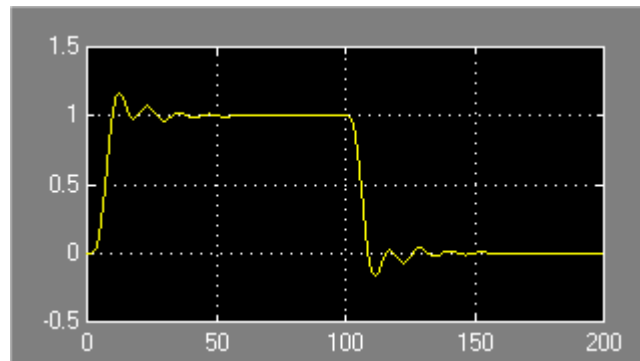
Prostřednictvím matlabské funkce *rltool* byly získány kontrolery, kterými lze dané systémy regulovat. Bohužel nešlo splnit požadavky na rychlou regulaci, druhý systém se ustaloval pomalu, ale dvacetiprocentní překmit se podařilo dodržet. Získané konstanty mají opět informativní charakter a tvoří základ pro ladění.

Volbou konstant PI regulátoru  $K_p = 0,01$  [-],  $K_i = 0,02$   $s^{-1}$  se dosáhlo dobré odezvy na vstupní skok, navíc ustalování systému oproti předpokladům netrvalo příliš dlouho. Překmit nebyl velký a splňoval dvacetiprocentní podmínku.

Systém druhého řádu byl řízen regulátorem, jehož složky odpovídaly výše získaným konstantám.



Obrázek 4.11 - Schéma zapojení stabilního systému třetího řádu



Obrázek 4.12 - Odezva systému třetího řádu s PID regulátorem spočítaná Matlabem

### 3) Jeden nestabilní systém druhého a jeden nestabilní systém třetího řádu

Prvním systémem je opět oscilátor, nicméně nyní s přenosem  $G(s) = \frac{1}{s^2 - 0.56s + 0.25}$ .

Relativní tlumení  $\xi$  má hodnotu  $-0,56$ , dochází k rozkmitávání soustavy. Póly se nacházejí v pravé polorovině ( $p_{1,2} = 0,2800 \pm 0,4142*j$ ), systém je nestabilní. Druhý systém představuje

přenos  $G(s) = \frac{1}{s^3 + 0.92s^2 + 0.6s + 0.6}$ . Póly soustavy  $p_{1,2} = 0,0159 \pm 0,7938*j$  a  $p_3 = -0,9519$

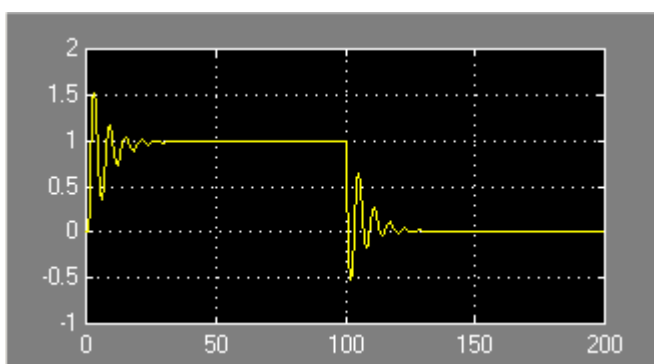
způsobují nestabilitu systému.

V Matlabu se provedlo výše uvedeným způsobem zjištění konstant regulátorů. Jejich následné ladění pro řízení nestabilních systémů na analogovém počítači však bylo z důvodu vnitřních omezení Medy a jejích nelinearit problematické. A tak došlo k uvolnění striktních požadavků na kvalitu řízení, neboť samotná stabilizace už znamenala úspěch.

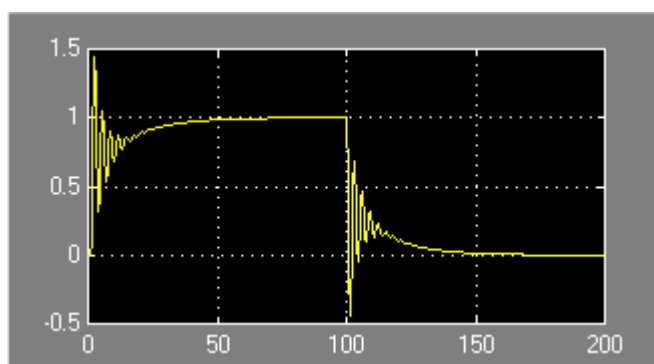
Systémy mají stejnou strukturu uvedenou v předchozích podkapitolách, liší se pouze v hodnotách jednotlivých zesílení.

Pro první systém bylo nutné použít PID regulátor s konstantami  $K_p = 0,92$  [-],  $K_i = 0,127 \text{ s}^{-1}$  a  $K_d = 1 \text{ s}$ , což představovalo dobrou odezvu na vstupní skok maximálně 150 jednotek; v případě většího vstupu docházelo k nestabilitě systému. Překmit se pohyboval okolo 100 %. Problematické přesycení derivace se vyřešilo jejím omezením (100 jednotek).

Systém třetího řádu lze regulovat kontrolerem s konstantami  $K_p = 100$  [-],  $K_i = 2000 \text{ s}^{-1}$  a  $K_d = 500$ , ale odezva není příliš kvalitní. Vhodně se dá upravit omezením derivace po ustálení systému (300 – 500 jednotek), nicméně průběh stále kmitá kolem požadované hodnoty. Podobné vlastnosti má nastavení  $K_p = 1,3$  [-],  $K_i = 0,11 \text{ s}^{-1}$ ,  $K_d = 4 \text{ s}$ ; opět je nutné omezit derivaci.



Obrázek 4.13 - Odezva systému druhého řádu s PID regulátorem spočítaná Matlabem



Obrázek 4.14 - Odezva systému třetího řádu s PID regulátorem spočítaná Matlabem

#### 4) Kaskádní řízení stabilního systému druhého řádu

Kaskádní řízení využívá ke své činnosti dvě smyčky, vnitřní (nadřízenou) a vnější (podřízenou). Zapojením obou smyček do sebe dochází ke snižování doby odezvy systému. V PID modulu se tento způsob řízení nastavuje tak, že vnější smyčka musí mít příslušný kaskádový bit roven 0, zatímco u vnitřní smyčky musí mít 1.

Na analogovém počítači bylo za této situace nezbytné přepojit veškeré vstupy a výstupy z první smyčky do druhé, neboť řízený systém představoval vnitřní smyčku.

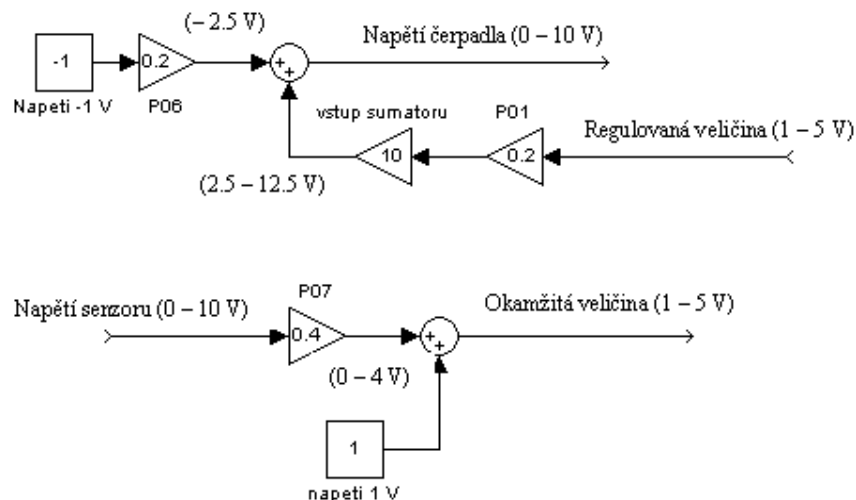
Pro testování byl použit stabilní systém druhého řádu z předchozích podkapitol. Konstanty regulátoru podřízené smyčky měly hodnotu  $K_p = 0,1$  [-],  $K_i = 0,1 \text{ s}^{-1}$ ,  $K_d = 0,1 \text{ s}$  (nutno omezit derivaci – 5 jednotek), nadřízená smyčka obsahovala kontroler s  $K_p = 0,3$  [-],

$K_i = 0,1 \text{ s}^{-1}$ ,  $K_d = 0,1 \text{ s}$ . S těmito konstantami se systém ustaloval velmi pomalu a pak kmital okolo žádané hodnoty. Překmit také nebyl malý, což lze zdůvodnit větší citlivostí systému.

### 4.3.3 Řízení laboratorního modelu Vodárna

Laboratorní model Vodárna se skládá ze dvou skleněných válců, které jsou mezi sebou propojeny úzkou trubicí s ventilem. Ve válcích jsou umístěna čidla snímající hladinu vody, akční členy představují čerpadla vhánějící vodu do systému. Ventil na spojovací trubici umožňuje omezit přítok tekutiny do druhého válce, popř. ho úplně zastavit. Další ventily se nacházejí na vstupní trubici prvního a výstupní trubici druhého válce. Oba slouží k odpouštění vody ze systému.

Na Medě jsou vyvedeny vstupy a výstupy soustavy představující dva senzory hladin a dva motory čerpadel. Pro regulační obvod se používá jen sensor hladiny levého válce (okamžitá hodnota regulované veličiny) a čerpadlo pravého válce (akční člen). Samotné propojení se vstupy a výstupy PID modulu se provede po nezbytném převodu hodnot, nutného z důvodu rozdílného napěťového rozsahu analogového počítače a modulu.



Obrázek 4.15 - Převod napětí u systému Vodárna

Oproti modelům systémů však došlo k jiné formě zapojení, neboť zde nelze použít desítkové zesílení integrátoru. Problém lze řešit pomocí sumátoru.

Vodárna se chová jako systém druhého řádu, její přenos však není znám. Konstanty regulátoru se tedy zjišťovaly experimentálně. Pro správné řízení je třeba zadat velké zesílení a doladovat ho odpovídajícím integračním zesílením. Lze volit i menší hodnoty obou složek, ale pak je odezva systému příliš kmitavá. Modul při málo otevřeném vypustním ventilu levého válce, ve kterém tak rychle stoupá hladina vody, nestačí sledovat okamžitou hodnotu regulované veličiny. To způsobuje velké překmity. Při návrhu kontroleru je tedy nutné brát v úvahu i pozici tohoto ventilu. Otestovány byly PI regulátory s konstantami  $K_p = 110 [-]$ ,  $K_i = 10 \text{ s}^{-1}$ ,  $K_p = 70 [-]$ ,  $K_i = 2 \text{ s}^{-1}$  a  $K_p = 99,99 [-]$ ,  $K_i = 5 \text{ s}^{-1}$ . Všechny vykazovaly při malém

odtoku velké překmity (které se při větším zmenší), podařilo se však jimi minimalizovat dobu ustalování.

V regulačním systému se používá pouze jedna smyčka PID modulu. Druhá slouží ke snímání hladiny vody v prvním válci, tzn. je zdrojem signálu pro její analogový vstup. Analogový výstup není využit. Systém má k dispozici také manuální stanici, pomocí které lze přejít do ručního režimu a potenciometrem nastavovat akční zásah dle potřeby.

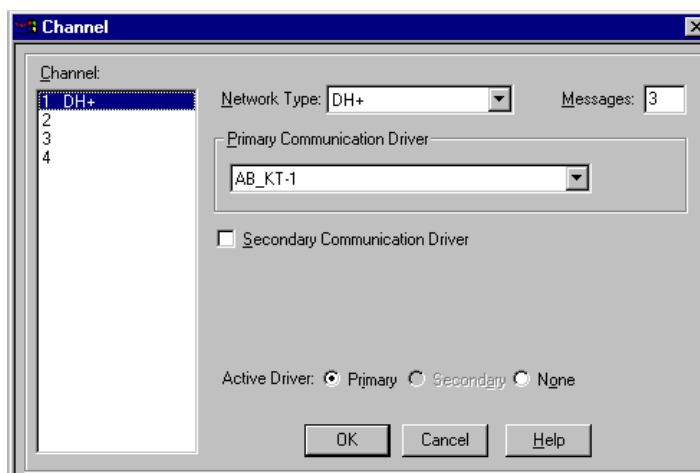
Vzhledem k problému, že měřítko okamžité hodnoty regulované veličiny modulu a měřítko umístěné na stěně válce se liší, bylo nutné oba dva údaje provázat. K tomu slouží převodní konstanty levého a pravého válce. Nelinearita snímačů však způsobuje nemožnost je použít v celé výšce nádob. Praxe ukázala, že jedna převodní konstanta platí zhruba v okolí sto mililitrů od kalibrovaného bodu. Proto je nezbytné při velkých změnách požadovaných hodnot konstanty neustále měnit. Pro požadovanou hodnotu 500 byla konstanta levého válce rovna 1,8, konstanta pravého 0,56.

## 5 Vizualizace

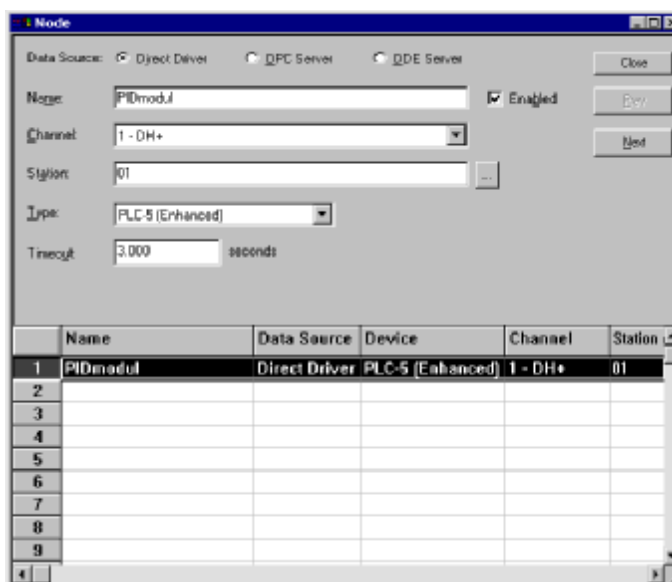
V následujících kapitolách se budou při popisu tagů objevovat výrazy bez diakritiky. Samotné vizualizační obrazovky sice česká spojení umožňují, nicméně názvy tagů budou v textu pro snadnější orientaci ponechány v původním tvaru.

### 5.1 Konfigurace RSView

Ke spolehlivé komunikaci vizualizačního prostředí RSView [6] s programovatelným automatem je nutné nadefinovat v tomto prostředí kanál (*Channel*) a uzel (*Node*). Definice kanálu spočívá v zadání typu síťového propojení (DH+, DH-485, ControlNet, ...) a jemu odpovídajícího ovladače. Uzel se popisuje svým názvem voleným uživatelem a dále adresou stanice, která se bude vizualizací ovládat. Ve volbě *Scan Class* lze upravit doby SCANu jednotlivých skupin tagů.



Obrázek 5.1 - Definice kanálu



Obrázek 5.2 - Definice uzlu



## 5.2 **Obrazovky v RSView**

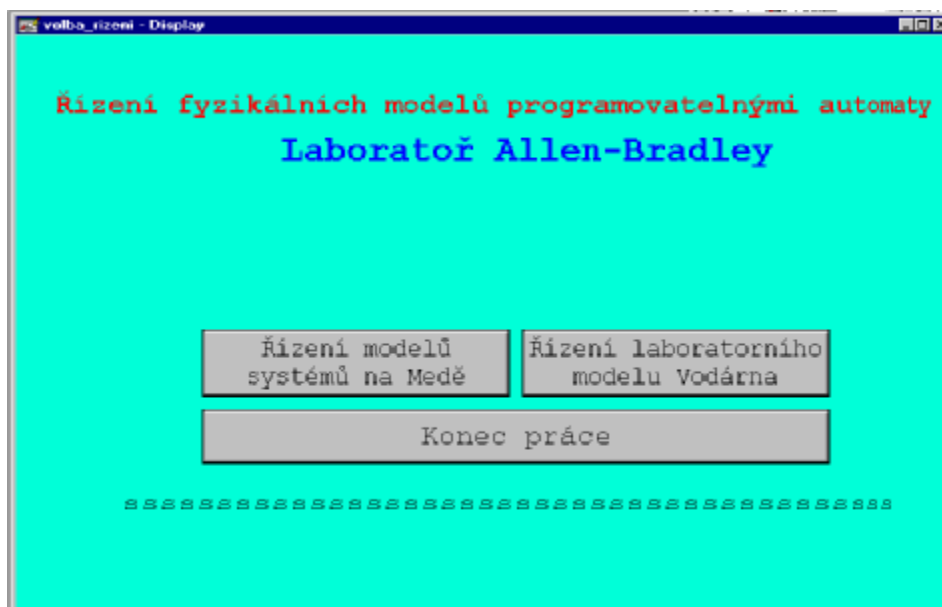
K ovládání programu slouží 12 obrazovek:

- 1) Volba\_rizeni
- 2) Hlavni\_1
- 3) Hlavni\_2
- 4) Parametry\_ob
- 5) Parametry\_11
- 6) Parametry\_12
- 7) Parametry\_13
- 8) Parametry\_14
- 9) Parametry\_21
- 10) Parametry\_22
- 11) Parametry\_23
- 12) Parametry\_24
- 13) Parametry\_obvod

1) Obrazovka: **Volba\_rizeni**

Číslo obrazovky 1.

Toto je počáteční obrazovka, která se objeví při spuštění programu. Zde si lze zvolit buď *Řízení modelů systémů na Medě* nebo *Řízení laboratorního modelu Vodárna*. Také se odtud odchází z programu (*Konec práce*).



Obrázek 5.3 - Obrazovka Volba\_rizeni

## 2) Obrazovka: **Hlavni\_1**

Číslo obrazovky 2.

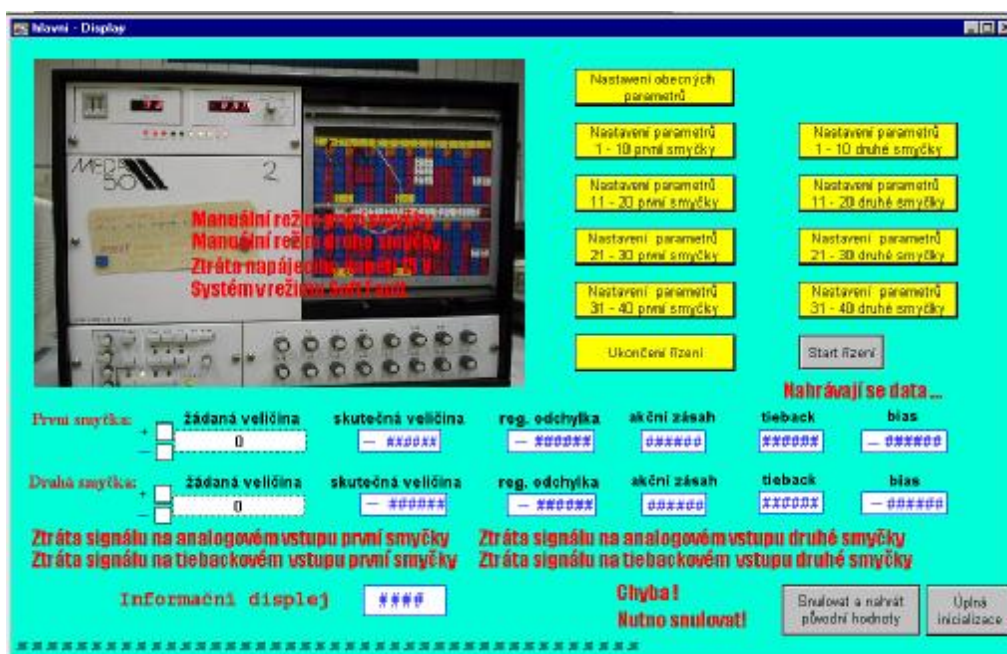
Do této obrazovky, která tvoří základ vizualizace, se lze dostat z počáteční obrazovky po volbě *Řízení modelů systémů na Medě*. Zde je názorně nakreslen analogový počítač Meda, doplněný o informace, ilustrující nejrůznější události.

Na obrazovce se zadávají požadované hodnoty veličin obou smyček (pokud bylo potvrzeno dvousmyčkové řízení), v případě přeškálování i jejich znaménko. Při jejich nahrávání do modulu, během něhož nelze měnit žádný parametr, se v informačním řádku objeví text *Nahrávají se data*. V informačních oknech se zobrazují obě okamžité hodnoty regulovaných veličin, regulační odchylky, hodnoty akčních zásahů, tiebackových vstupů a dopředných členů soustav. Pokud se systém nachází v manuálním režimu nebo dochází k jiné nestandardní situaci, dojde k signalizování těchto skutečností na obrázku Medy.

V pravé části jsou umístěna tlačítka, kterými se dá přesouvat do dalších obrazovek, obsahujících nastavení parametrů modulu. Obrazovek je celkem devět, čtyři patří první smyčce, další čtyři druhé a jedna slouží k volbě vlastností společných pro obě smyčky. Tlačítka druhé smyčky se zpřístupňují v případě volby dvousmyčkové regulace.

Pokud došlo během regulace k nějaké chybě (např. zadané hodnoty jsou mimo meze, došlo k přerušení komunikace), zobrazí se na informačním displeji zpráva o jejím charakteru a dokud nedojde k opravě, systém bude pracovat s hodnotami používanými před vznikem chyby. Pokud je chyba vážnějšího charakteru (např. došlo k ní při sekvenci Load/Enter), je třeba použít tlačítka *SNULOVÁNÍ CHYB*, popř. *ÚPLNÁ INICIALIZACE*, kterými se tyto problémy vyřeší. Výjimku tvoří zprávy o neexistenci vstupů, které nejsou považovány za chyby a nemají na regulaci vliv.

Zpět do obrazovky *Volba\_řízení* se lze dostat tlačítkem *UKONČIT ŘÍZENÍ*.



Obrázek 5.4 - Obrazovka Hlavni\_1

### 3) Obrazovka: **Hlavni\_2**

Číslo obrazovky 3.

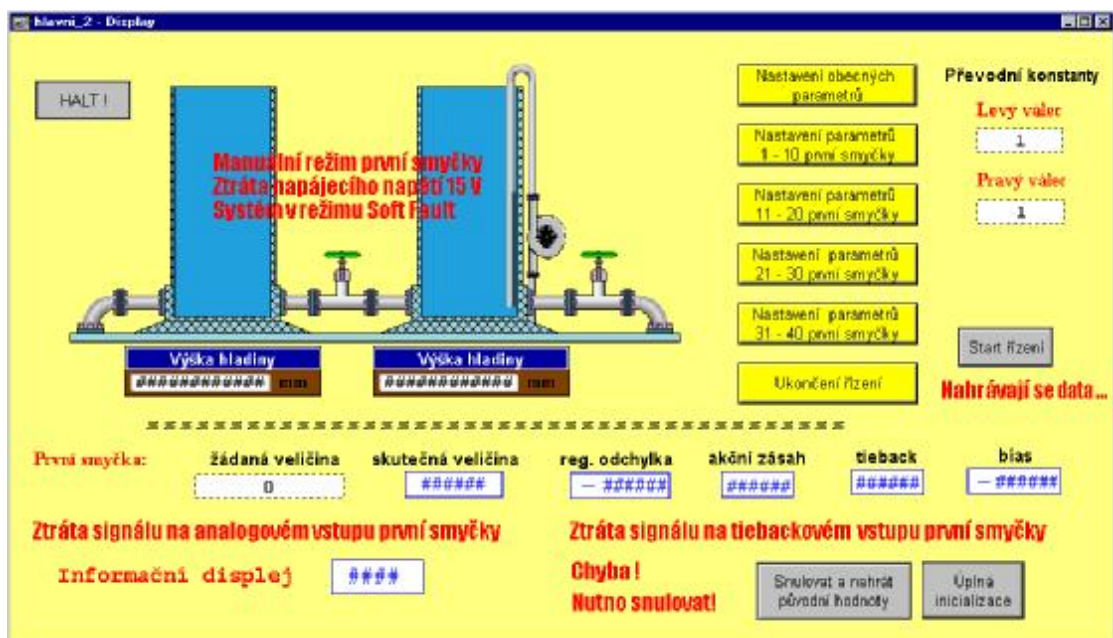
Do této obrazovky, která je základem vizualizace, se lze dostat z počáteční obrazovky po volbě *Řízení laboratorního modelu Vodárna*. Zde je názorně nakreslena regulovaná soustava, doplněná o animace, ilustrující její reakce na nejrůznější události.

Na obrazovce lze zadávat požadovanou výšku hladiny a převodní konstanty pro jednotlivé válce. Při jejich nahrávání do modulu, během něhož není možné měnit žádný parametr, se v informačním řádku objeví text *Nahrávají se data*. V informačních oknech se zobrazuje okamžitá hodnota regulované veličiny, regulační odchylka smyčky, hodnota akčního zásahu, tiebackového vstupu a dopředného členu soustavy. V případě, že se systém nachází v manuálním režimu nebo dochází k jiné nestandardní situaci, dojde k signalizování této skutečnosti na obrázku Vodárny.

V pravé části jsou umístěna tlačítka, kterými se dá přesouvat do dalších obrazovek, obsahujících nastavení parametrů modulu. Obrazovek je celkem pět. Další tlačítko, sloužící k zastavení běhu soustavy, je vlevo nahoře (*HALT*).

Pokud došlo během regulace k nějaké chybě (např. zadané hodnoty jsou mimo meze, došlo k přerušení komunikace), zobrazí se na informačním displeji zpráva o jejím charakteru a dokud nedojde k opravě, systém bude pracovat s hodnotami používanými před vznikem chyby. Pokud má chyba vážnější charakter (např. došlo k ní při sekvenci Load/Enter), je třeba použít tlačítka *SNULOVÁNÍ CHYB*, popř. *ÚPLNÁ INICIALIZACE*, kterými se tyto problémy vyřeší. Výjimku tvoří zprávy o neexistenci vstupů, které nejsou považovány za chyby a nemají na regulaci vliv.

Zpět do obrazovky *Volba\_řízení* se lze dostat tlačítkem *UKONČIT ŘÍZENÍ*.



Obrázek 5.5 - Obrazovka Hlavni\_2

#### 4) Obrazovka: **Parametry\_ob**

Číslo obrazovky 4.

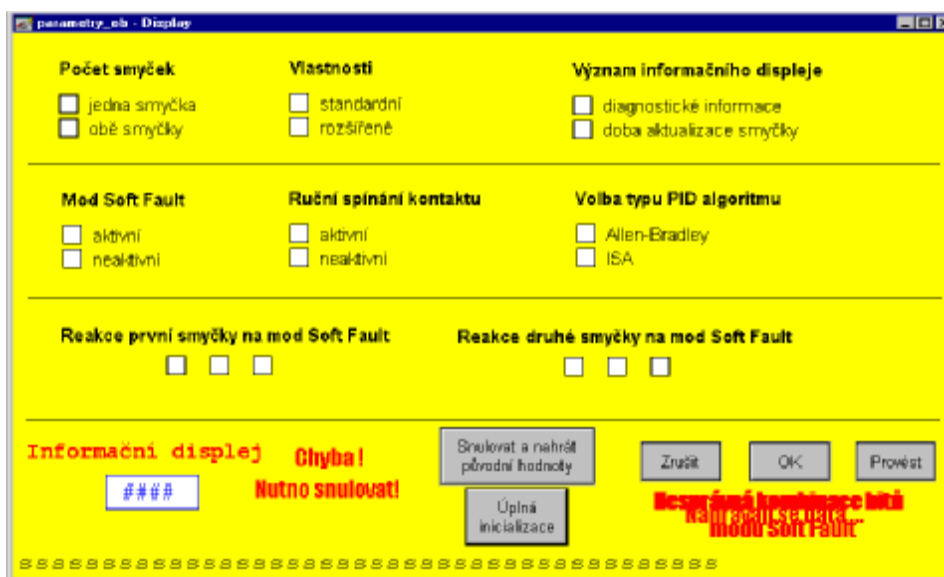
Do této obrazovky se lze dostat z hlavní obrazovky stiskem tlačítka *Nastavení obecných parametrů*. Zde jsou situovány parametry, společné pro obě smyčky.

Na obrazovce lze nastavovat jednotlivé parametry dle požadavků. Aktivované volby jsou označeny zeleným čtverečkem, neaktivované bílým. Na zobrazování radiových tlačítek parametrů v ostatních obrazovkách má vliv nastavení *Počet smyček* a *Vlastnosti*. Při výběru jedné smyčky nejsou z hlavní obrazovky přístupné parametry druhé smyčky, tudíž ani v této obrazovce nedochází k zobrazení jí příslušející vlastnosti *Mod Soft fault*. Ta se nastavuje pomocí tří tlačítek, které reprezentují odezvu na tento stav. V případě nepřipustné volby dochází k signalizování této chyby v dolním řádku. Při výběru standardních vlastností nejsou ve vizualizaci přístupné všechny parametry, ale jen ty patřící do této skupiny. Při volbě vlastností rozšířených je možné měnit vše.

Pozice radiových tlačítek a hodnoty aktualizovatelných polí nelze upravovat, pokud dochází k nahrávání parametrů do modulu. Tímto způsobem se udržuje konzistence uložených dat.

V pravé dolní části obrazovky jsou lokalizovány tři tlačítka. Tlačítko *Zrušit* znamená návrat do hlavní obrazovky bez uložení změn, volba *OK* způsobí potvrzení požadavků uživatele a následné přesunutí do hlavní obrazovky a po stisku tlačítka *Provést* dojde pouze k uložení parametrů, aktivní zůstává obrazovka *Parametry\_ob*.

V průběhu nastavování jednotlivých parametrů se na informativním displeji situovaném v dolní části vypisují různá hlášení, popisující vzniklé chyby nebo momentální stav modulu. Pokud má chyba vážnější charakter (např. došlo k ní při sekvenci Load/Enter), je třeba použít tlačítka *SNULOVÁNÍ CHYB*, popř. *ÚPLNÁ INICIALIZACE*, kterými se tyto problémy vyřeší; uživatelské hodnoty, jejichž nahrání chybu způsobilo, jsou přepsány hodnotami ze souboru BUFFER, resp. INIC.



Obrázek 5.6 - Obrazovka **Parametry\_ob**

## 5) Obrazovka Parametry\_11

Číslo obrazovky 5.

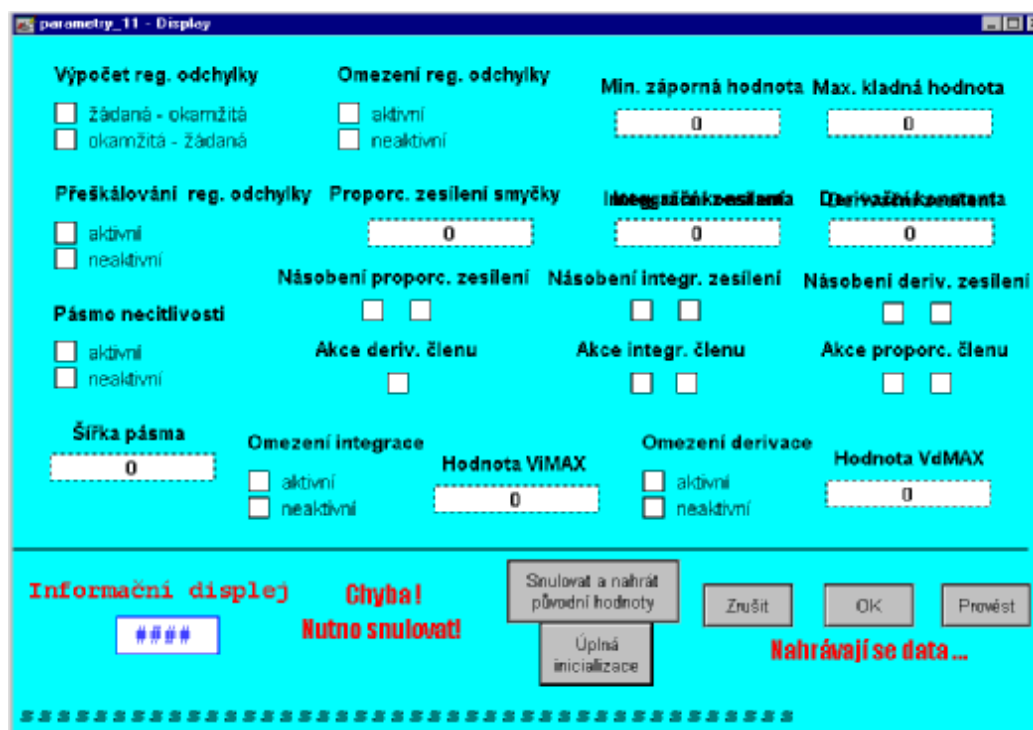
Do této obrazovky se lze dostat z hlavní obrazovky stiskem tlačítka *Nastavení parametrů 1 – 10 první smyčky*. Zde se nachází první skupina parametrů, popisující první smyčku.

Na obrazovce lze nastavovat jednotlivé parametry dle požadavků. Aktivované volby jsou označeny zeleným čtverečkem, neaktivované bílým. Na zobrazování radiových tlačítek parametrů má vliv nastavení *Vlastnosti* v obrazovce *Parametry\_ob*. Určité parametry jsou dosažitelné až po nastavení daných vlastností na stav *Aktivní*.

Pozice radiových tlačítek a hodnoty aktualizovatelných polí nelze upravovat, pokud dochází k nahrávání parametrů do modulu. Tímto způsobem se udržuje konzistence uložených dat.

V pravé dolní části obrazovky jsou lokalizovány tři tlačítka. Tlačítko *Zrušit* znamená návrat do hlavní obrazovky bez uložení změn, volba *OK* způsobí potvrzení požadavků uživatele a následné přesunutí do hlavní obrazovky a po stisku tlačítka *Provést* dojde pouze k uložení parametrů, aktivní zůstává obrazovka *Parametry\_11*.

V průběhu nastavování jednotlivých parametrů se na informativním displeji situovaném v dolní části vypisují různá hlášení, popisující vzniklé chyby nebo momentální stav modulu. Pokud má chyba vážnější charakter (např. došlo k ní při nahrávací sekvenci Load/Enter), je třeba použít tlačítka *SNULOVÁNÍ CHYB*, popř. *ÚPLNÁ INICIALIZACE*, kterými se tyto problémy vyřeší; uživatelské hodnoty, jejichž nahrání chybu způsobilo, jsou přepsány hodnotami ze souboru BUFFER, resp. INIC.



Obrázek 5.7 - Obrazovka Parametry\_11

## 6) Obrazovka Parametry\_12

Číslo obrazovky 6.

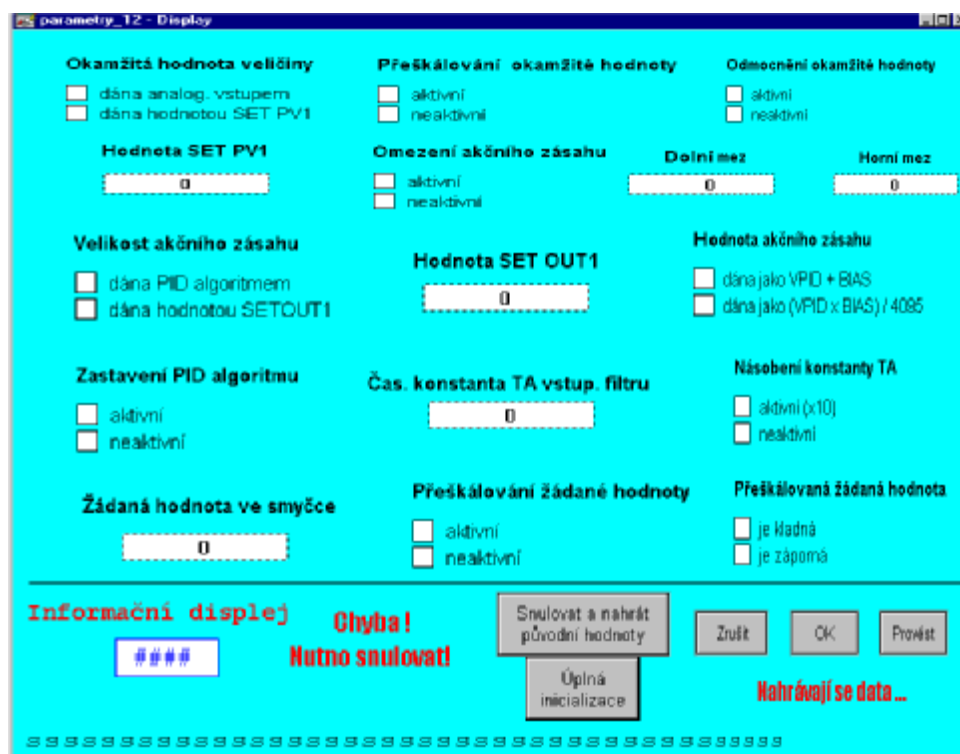
Do této obrazovky se lze dostat z hlavní obrazovky stiskem tlačítka *Nastavení parametrů 11 – 20 první smyčky*. Zde se nachází druhá skupina parametrů, popisující první smyčku.

Na obrazovce lze nastavovat jednotlivé parametry dle požadavků. Aktivované volby jsou označeny zeleným čtverečkem, neaktivované bílým. Na zobrazování radiových tlačítek parametrů má vliv nastavení *Vlastnosti* v obrazovce *Parametry\_ob*. Určité parametry jsou dosažitelné až po nastavení daných vlastností na stav *Aktivní*.

Pozice radiových tlačítek a hodnoty aktualizovatelných polí nelze upravovat, pokud dochází k nahrávání parametrů do modulu. Tímto způsobem se udržuje konzistence uložených dat.

V pravé dolní části obrazovky jsou lokalizovány tři tlačítka. Tlačítko *Zrušit* znamená návrat do hlavní obrazovky bez uložení změn, volba *OK* způsobí potvrzení požadavků uživatele a následné přesunutí do hlavní obrazovky a po stisku tlačítka *Provést* dojde pouze k uložení parametrů, aktivní zůstává obrazovka *Parametry\_12*.

V průběhu nastavování se na informativním displeji situovaném v dolní části vypisují různá hlášení, popisující vzniklé chyby nebo momentální stav modulu. Pokud má chyba vážnější charakter (např. došlo k ní při nahrávací sekvenci Load/Enter), je třeba použít tlačítka *SNULOVÁNÍ CHYB*, popř. *ÚPLNÁ INICIALIZACE*, kterými se tyto problémy vyřeší; uživatelské hodnoty, jejichž nahrání chybu způsobilo, jsou přepsány hodnotami ze souboru BUFFER, resp. INIC.



Obrázek 5.8 - Obrazovka Parametry\_12

## 7) Obrazovka Parametry\_13

Číslo obrazovky 7.

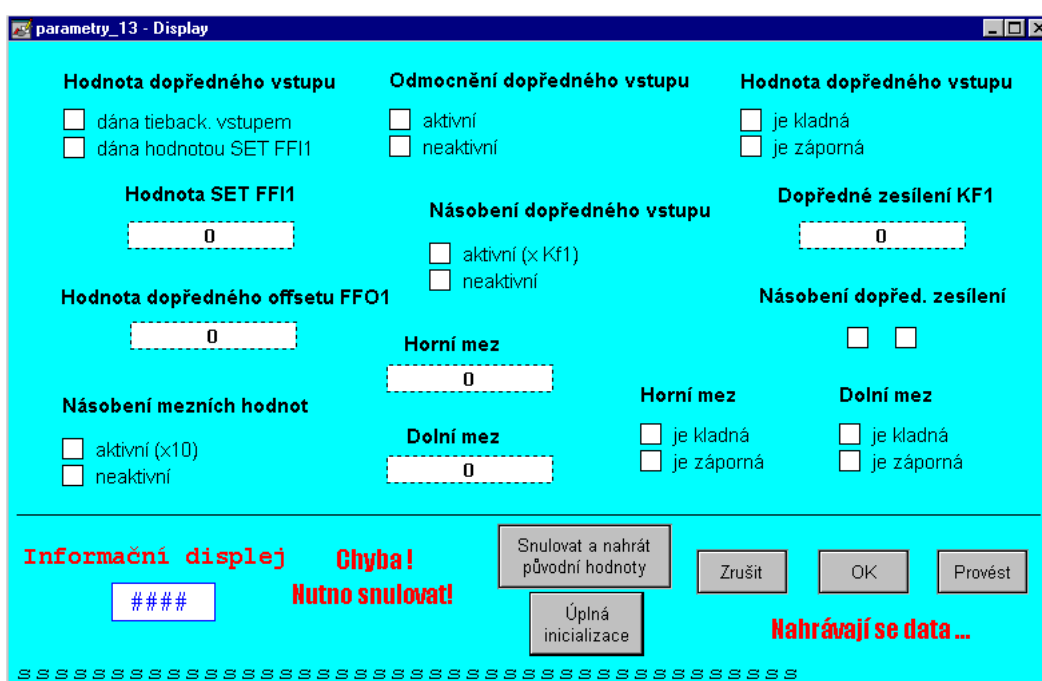
Do této obrazovky se lze dostat z hlavní obrazovky stiskem tlačítka *Nastavení parametrů 21 – 30 první smyčky*. Zde se nachází třetí skupina parametrů, popisující první smyčku.

Na obrazovce se veskrze nacházejí parametry rozšířené. Lze je nastavovat dle požadavků. Aktivované volby jsou označeny zeleným čtverečkem, neaktivované bílým. Na zobrazování radiových tlačítek parametrů má vliv nastavení *Vlastnosti* v obrazovce *Parametry\_ob*. Určité parametry jsou dosažitelné až po nastavení daných vlastností na stav *Aktivní*.

Pozice radiových tlačítek a hodnoty aktualizovatelných polí nelze upravovat, pokud dochází k nahrávání parametrů do modulu. Tímto způsobem se udržuje konzistence uložených dat.

V pravé dolní části obrazovky jsou lokalizovány tři tlačítka. Tlačítko *Zrušit* znamená návrat do hlavní obrazovky bez uložení změn, volba *OK* způsobí potvrzení požadavků uživatele a následné přesunutí do hlavní obrazovky a po stisku tlačítka *Provést* dojde pouze k uložení parametrů, aktivní zůstává obrazovka *Parametry\_13*.

V průběhu nastavování se na informativním displeji situovaném v dolní části vypisují různá hlášení, popisující vzniklé chyby nebo momentální stav modulu. Pokud má chyba vážnější charakter (např. došlo k ní při nahrávací sekvenci Load/Enter), je třeba použít tlačítka *SNULOVÁNÍ CHYB*, popř. *ÚPLNÁ INICIALIZACE*, kterými se tyto problémy vyřeší; uživatelské hodnoty, jejichž nahrání chybu způsobilo, jsou přepsány hodnotami ze souboru BUFFER, resp. INIC.



Obrázek 5.9 - Obrazovka Parametry\_13

## 8) Obrazovka Parametry\_14

Číslo obrazovky 8.

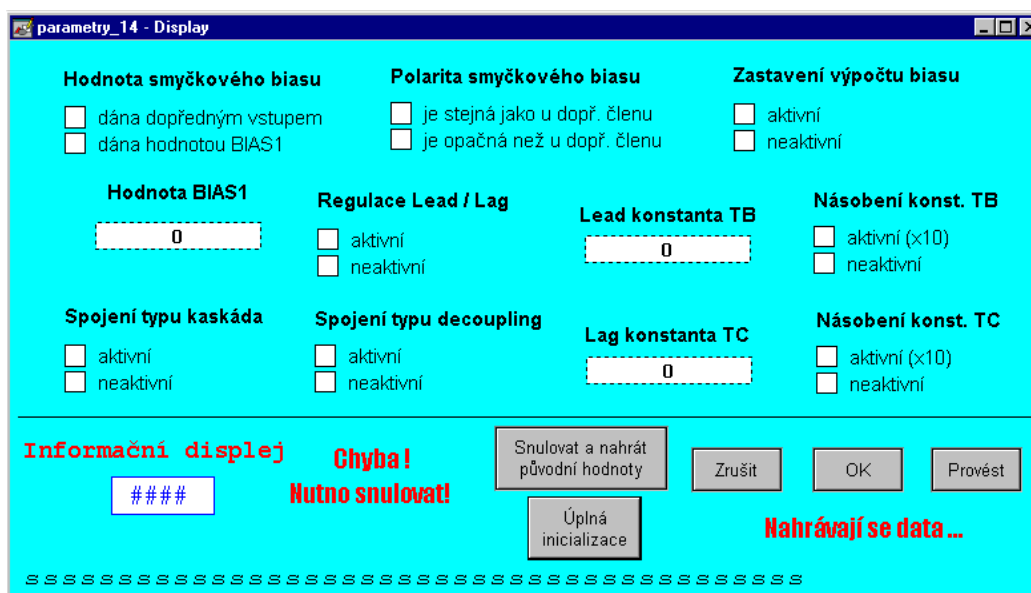
Do této obrazovky se lze dostat z hlavní obrazovky stiskem tlačítka *Nastavení parametrů 31 – 40 první smyčky*. Zde se nachází čtvrtá skupina parametrů, popisující první smyčku.

Na obrazovce se veskrze nacházejí parametry rozšířené. Lze je nastavovat dle požadavků. Aktivované volby jsou označeny zeleným čtverečkem, neaktivované bílým. Na zobrazování radiových tlačítek parametrů má vliv nastavení *Vlastnosti* v obrazovce *Parametry\_ob*. Určité parametry jsou dosažitelné až po nastavení daných vlastností na stav *Aktivní*.

Pozice radiových tlačítek a hodnoty aktualizovatelných polí nelze upravovat, pokud dochází k nahrávání parametrů do modulu. Tímto způsobem se udržuje konzistence uložených dat.

V pravé dolní části obrazovky jsou lokalizovány tři tlačítka. Tlačítko *Zrušit* znamená návrat do hlavní obrazovky bez uložení změn, volba *OK* způsobí potvrzení požadavků uživatele a následné přesunutí do hlavní obrazovky a po stisku tlačítka *Provést* dojde pouze k uložení parametrů, aktivní zůstává obrazovka *Parametry\_14*.

V průběhu nastavování se na informativním displeji situovaném v dolní části vypisují různá hlášení, popisující vzniklé chyby nebo momentální stav modulu. Pokud má chyba vážnější charakter (např. došlo k ní při nahrávací sekvenci Load/Enter), je třeba použít tlačítka *SNULOVÁNÍ CHYB*, popř. *ÚPLNÁ INICIALIZACE*, kterými se tyto problémy vyřeší; uživatelské hodnoty, jejichž nahrání chybu způsobilo, jsou přepsány hodnotami ze souboru BUFFER, resp. INIC.



Obrázek 5.10 - Obrazovka Parametry\_14



#### 9) Obrazovka Parametry\_21

Číslo obrazovky 9.

Struktura této obrazovky je totožná s obrazovkou 5, významem se však vztahuje ke druhé smyčce.

#### 10) Obrazovka Parametry\_22

Číslo obrazovky 10.

Struktura této obrazovky je totožná s obrazovkou 6, významem se však vztahuje ke druhé smyčce.

#### 11) Obrazovka Parametry\_23

Číslo obrazovky 11.

Struktura této obrazovky je totožná s obrazovkou 7, významem se však vztahuje ke druhé smyčce.

#### 12) Obrazovka Parametry\_24

Číslo obrazovky 12.

Struktura této obrazovky je totožná s obrazovkou 8, významem se však vztahuje ke druhé smyčce.

#### 13) Obrazovka Parametry\_obvod

Číslo obrazovky 13.

Struktura této obrazovky je totožná s obrazovkou 4, neobsahuje však položku Počet smyček. Významem se vztahuje k laboratornímu modelu Vodárna.

V každé obrazovce se ještě nachází systémový tag, který v případě úplného selhání automatu (např. v případě vypnutí elektrického proudu, atd.) signalizuje vznik problému. Veškeré tagy použité při vizualizaci jsou popsány a umístěny v příloze D.1.

### **5.3 Vizualizace pomocí webové kamery a internetové stránky**

Laboratorní model Vodárna je snímán prostřednictvím webové kamery Logitech QuickCam Web a lze ho sledovat na internetových stránkách laboratoře. Tam se také nacházejí základní informace o celém systému včetně vizualizačních obrazovek. Zatím se odtud nedá nic ovládat, nicméně vzhledem k faktu, že návrh regulačního systému Vodárny je dokončen, celá práce může sloužit jako výchozí bod pro následné řízení po internetu.

Součástí balíku s webovou kamerou tvoří instalační CD, kde se nalézá software QuickCam Web umožňující snímání obrazu kamery a jeho následné posílání po internetu na server Spotlife. Předtím je však nutné se zde zaregistrovat a potvrdit svou registraci emailem. Pak už se může sledovat dění před kamerou na internetových stránkách serveru Spotlife. Pro aplikace řízení však tento způsob není dostačující, proto došlo k několika úpravám. Obrázek snímáný kamerou, umístěný na serveru Spotlife, byl přesunut na stránky této práce a jeho aktualizace se provádí tagem Refresh.

Perioda aktualizace se nastavuje přímo v softwaru QuickCam Web, kde se provádí vzorkování obrazu kamery, a také v souboru kamera.htm u tagu Refresh, který reprezentuje dobu obnovy obrázku na internetových stránkách. Periodu lze samozřejmě měnit podle potřeby, minimální možná hodnota je pouze 4 sekundy, což pro ovládání po internetu nestačí. Doporučit lze buď jiný ovládací program pro vzorkování obrazu nebo rychlejší typ kamery.

Bohužel nebylo možné otestovat funkčnost kamery přímo v laboratoři, neboť jsou zde na počítačích nainstalovány Microsoft Windows NT, nepodporující USB porty, přes které se kamera připojuje k počítači. Proto došlo k jejímu úspěšnému vyzkoušení na počítači se softwarem Microsoft Windows 2000, nicméně řízení po internetu bude vyžadovat takto vybavený počítač přímo u laboratorního modelu.

Internetovské stránky obsahující popis zpracovávaného projektu jsou vytvořeny a uloženy na stránkách katedry. Nachází se tam i anglická verze textu.

## 6 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo seznámení se zásuvným PID modulem, vyzkoušení jeho programovatelných vlastností a jeho implementování v řídicím systému vybraného fyzikálního modelu, který představoval laboratorní model Vodárna. Modul byl otestován také prostřednictvím analogového počítače Meda, na němž došlo k řízení modelů systémů sestavovaných pomocí integrátorů, zesílení a dalších prvků. Veškeré ovládání se provádělo z monitoru počítače.

První část práce spočívala v zajištění spolehlivé komunikace mezi řídicím procesorem automatu a modulem pro provádění blokových přenosů. Program, který toto umožnil, byl úspěšně otestován a odladěn. Modul tak docílil jisté autonomie, která se projevuje hlavně při poruše řídicího procesoru, kdy může pokračovat ve své činnosti.

Druhá část práce představovala popis návrhu konstant regulátorů modulu pro modely systémů a fyzikální model Vodárny. Jednotlivé kontrolery byly nejprve navrženy pomocí funkce *rtool* programu Matlab analyzující stabilitu uzavřené smyčky pomocí geometrického místa kořenů a následně experimentálně doladěny dle odezev systémů. U stabilních soustav se podařilo nalézt regulátory splňující požadavky na dvacetiprocentní překmit a malou dobu ustalování, nestabilní systémy však šlo řídit pouze při překročení těchto striktních kritérií. Velkou roli zde hraje rychlost PID modulu, který vzorkuje pouze se 100 ms periodou, takže se hodí jen pro pomalejší systémy.

Dále v této části došlo k vyzkoušení vlastností modulu a k implementaci manuální řídicí stanice, kterou může být ovládán akční zásah regulátoru v případě poruchy modulu.

Třetí část vyplnila vizualizace celého řídicího systému. Obrazovky kromě měnitelných vlastností modulu obsahují i informace o jeho stavu; jsou odhalovány nestandardní události a zobrazovány uživateli. Internetová prezentace umožnila pomocí webové kamery zobrazovat činnost laboratorního modelu Vodárna. Bohužel ho nelze zatím po internetu řídit, jedním z důvodů je i velká perioda aktualizace obrázku v kameře.

Internetová prezentace obsahuje také odkazy na výukovou dokumentaci o modulu, a to jak v českém jazyce, tak i v angličtině.

V této práci lze však provést ještě některá zlepšení.

Jedním z nich je předávání řízení manuální stanici prostřednictvím spínače. Zatím se přepnutí realizuje ručním uzemněním jednoho ze vstupů (Manual mode) modulu. Při žádosti o předání řízení z vizualizace modul vysílá 50 ms dlouhý a 5 mV vysoký signál. Pokud by se dal tímto signálem ovládat spínač, který by zemnil daný vstup, ovládání by bylo mnohem pohodlnější.

Možným vylepšení se jeví také přenastavení konstant regulátorů u těch systémů, jejichž odezvy neodpovídají zadaným požadavkům. Není však jisté, zda tyto konstanty existují, popř. zda časová náročnost jejich hledání nepřesahuje důležitost kvality odezev soustav.

Internetová prezentace tvoří pouze základ pro úlohu řízení soustav programovatelnými automaty po internetu, která může být tématem diplomové práce pro studenty mající zájem o tuto tematiku. Není třeba zabývat se návrhem řídicího systému, který byl úspěšně dokončen. Nutností je převést vizualizační obrazovky do formátu HTML a následně zprostředkovat pomocí serveru komunikaci mezi uživatelem sedícím u vzdáleného počítače a programovatelným automatem umístěným v laboratoři.

## **Literatura**

- [1] Rockwell Automation, *Allen - Bradley Product Directory*, [online]. Poslední revize 2002 [cit. 2002-11-18]. <<http://www.ab.com/products.html>>.
- [2] Rockwell Automation (Allen – Bradley), *Proportional/Integral/Derivation Control (2-Loop) Module*, 1771-6.5.9, USA, 1985
- [3] Rockwell Automation (Allen – Bradley), *Proportional/Integral/Derivation Control (2-Loop) Module*, 1771-2.34, USA, 1985
- [4] Rockwell Automation (Allen – Bradley), *Getting Results with RSLogix 5*, LG5-GR001A-EN-P, USA, 2002
- [5] Rockwell Automation (Allen – Bradley), *Getting Results with RSLinx*, Linx-GR001B-EN-P, USA, 2002
- [6] Rockwell Automation (Allen – Bradley), *RSView32 User's guide*, 9399-2SE32UG, USA, 1999
- [7] ZPA Čakovice – koncernový podnik, *Malý hybridní analogový počítač Meda 50*, 1985
- [8] Štecha, J., Havlena, V.: *Teorie dynamických systémů*. Praha, Ediční středisko ČVUT, 1995

## **Použitý software**

- [9] Rockwell Automation 1995 - 2000, *RSLogix 5*, Rev. 4.11
- [10] Rockwell Automation, *RSLinx*, Rev. 2.20.02 (Build 216)
- [11] Rockwell Automation 1993 - 1999, *RSView*, Ver. 6.30.16
- [12] The Mathworks 1984 - 1999, *Matlab*, Ver. 5.3.0.10183

## A Přílohy pro hardwarový popis modulu

### A.1 Význam LED indikátorů modulu

Indikátor	Stav	Situace
FAULT (červená)	nesvítí	Normální stav.
	svítí	Hardwareová chyba. Analogové výstupy jsou drženy buď na svých posledních, minimálních nebo maximálních hodnotách. Způsob reakce je nastavován propojkami. Pokud tento indikátor svítí, ostatní signalizátory nejsou platné.
RUN (zelená)	svítí	Normální stav.
	bliká	PID modul je napájen, ale není naprogramován a čeká na data z procesoru.
	nesvítí	PID modul není v RUN modu.
	střídavě bliká	Pokud indikátory STAND ALONE a RUN střídavě blikají, znamená to, že není dodáváno napětí pro analogovou část modulu ( $\pm 15$ V)
STAND ALONE (žlutá)	nesvítí	Normální stav.
	bliká	Modul je v modu Soft Fault a řídí smyčky nezávisle na procesoru
	střídavě bliká	Pokud indikátory STAND ALONE a RUN střídavě blikají, znamená to, že napětí pro analogovou část modulu ( $\pm 15$ V) není dodáváno.
	svítí	Při blokovém přenosu byla zjištěna programovací chyba.

Tabulka A.1 - Význam LED indikátorů modulu

## A.2 Popis propojek modulu

Umístění	Funkce	Pozice
E1	Výstup 2 - proudový mod Výstup 2 - napěťový mod	LEFT RIGHT
E2	Výstup 2 - proudový mod Výstup 2 - napěťový mod	LEFT RIGHT
E3	Výstup 1 - proudový mod Výstup 1 - napěťový mod	LEFT RIGHT
E4	Hardware Fault nebo ztráta +5 V Výstup 2 - minimální hodnota Výstup 2 - maximální hodnota	IN OUT
E5	Hardware Fault nebo ztráta +5 V Výstup 1 - minimální hodnota Výstup 1 - maximální hodnota	IN OUT
E6	Výstup 1 - napěťový mod Výstup 1 - proudový mod	TOP BOTTOM
E7	Výstup 2 - napěťový mod Výstup 2 - proudový mod	TOP BOTTOM
E8	Výstup 1 - napěťový mod Výstup 1 - proudový mod	TOP BOTTOM
E9	Konfigurován výrobcem	RIGHT
E11	Tieback 1 - proudový mod Tieback 1 - napěťový mod	IN OUT
E12	Tieback 2 - proudový mod Tieback 2 - napěťový mod	IN OUT
E13	Konfigurován výrobcem	LEFT
E14	Vstup 2 - proudový mod Vstup 2 - napěťový mod	IN OUT
E15	Vstup 1 - proudový mod Vstup 1 - napěťový mod	IN OUT
E16, E17	Konfigurováno výrobcem	OBA IN
E18	Dodatečná impedance (-15 V) Standardní impedance (0 V)	LEFT RIGHT
E19, E20	Konfigurováno výrobcem	OBA IN
E21	Dodatečná impedance Standardní impedance	OUT IN
E22	Dodatečná impedance Standardní impedance	OUT IN
E23	Napětí +5 V z automatu Napětí +5 V z externího zdroje	TOP BOTTOM
E24	Napětí +5 V z automatu Napětí +5 V z externího zdroje	TOP BOTTOM

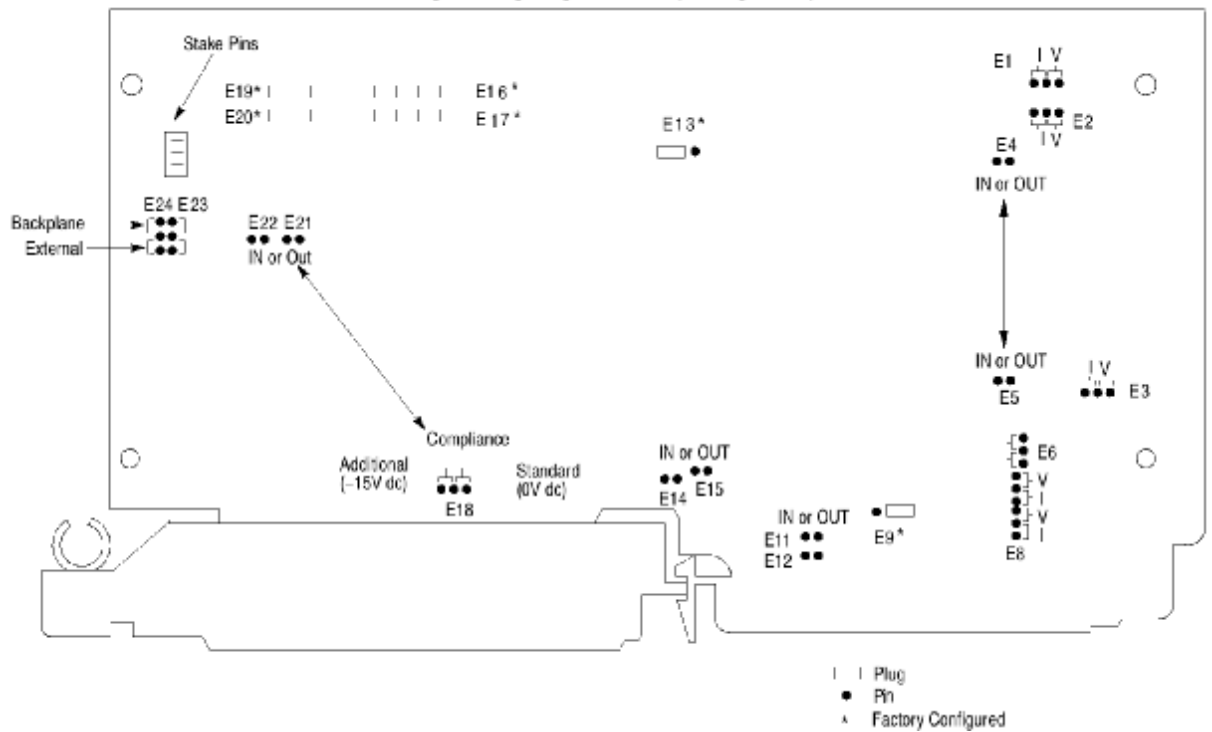
**Tabulka A.2 - Propojky analogové desky**

Umístění	Funkce	Pozice
E1	Konfigurován výrobcem	OUT
E2	Odezva na Hardware Fault: Podržení poslední hodnoty Minimální/maximální hodnota	RIGHT LEFT
E3 až E9	Konfigurováno výrobcem	
E10	Zdroj napětí +5 V: Automat Externí napájení	IN OUT

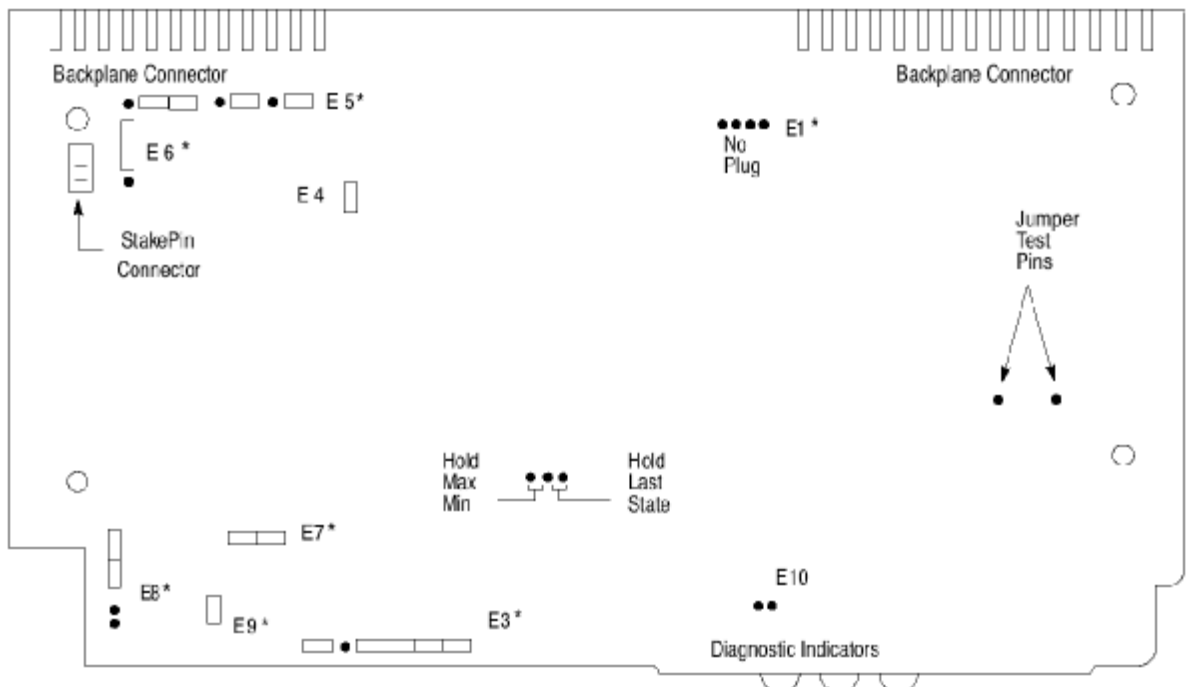
**Tabulka A.3 - Propojky číslicové desky**

Poloha IN odpovídá propojení dvou pinů, OUT znamená umístění propojky přes jediný, plovoucí, pin.

Plagy E18, E21 a E22 musí mít stejný význam, totéž platí pro plagy E23 a E24.



Obrázek A.1 - Umístění propojek na analogové desce



Obrázek A.2 - Umístění propojek na digitální desce



### A.3 Požadavky na napájecí zdroje

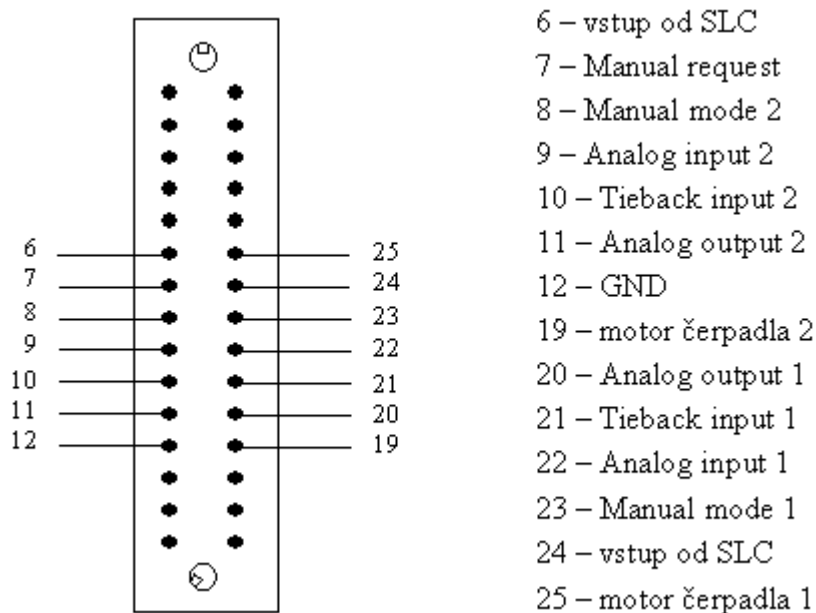
Specifikace	Napětí +15 V	Napětí -15 V
Výstupní proud	100 mA	100 mA
Tolerance výstupního napětí	1%	1%
Regulace	sériová	sériová
Regulace na vstupu	$\pm 0.2 \%$	$\pm 0.2 \%$
Regulace na výstupu	$\pm 1.0 \%$	$\pm 1.0 \%$
Zvlnění	10 mV (pp)	10 mV (pp)
Přepětová ochrana	napětí +18 V	napětí -18 V
Proudové omezení	125%	125%

Tabulka A.4 - Požadavky na napájecí zdroj  $\pm 15$  V

Specifikace	Napětí +5 V
Napětí	5.05 V
Proud	1.2 A na PID modul
Napěťová regulace	Součet všech odchylek (zátěž, zvlnění) v obvodu by neměl překročit $\pm 0.15$ V
Doba náběhu (na 4.75 V)	Méně než 10 msec

Tabulka A.5 - Požadavky na napájecí zdroj + 5 V

### A.4 Propojovací konektor k analogovému počítači Meda 50



Obrázek A.3 - Schéma konektoru (čelní pohled)

## **B Přílohy pro programování modulu**

### **B.1 Popis slov a bitů dynamického datového bloku**

**W01 Hlavní řídicí slovo.** Toto slovo řídí veškerou činnost PID modulu od jeho spuštění. Provádí se jím konfigurace modulu, řídí sekvenční zpracovávání blokových přenosů, nastavení analogových výstupů a výstupního kontaktu.

**B15, B14 Identifikátory bloku.** Oba bity musí být nastaveny na 1.

**B13 Výběr smyčky. [LE]** Nastavením na 0 se vybírají obě smyčky. Hodnota bitu 1 znamená regulaci jen jedné smyčky.

**B12 Standardní/Rozšířené vlastnosti. [XF], [LE]** Nastavením na 0 se využívají jen standardní smyčkové vlastnosti, 1 znamená rozšířené vlastnosti.

**B11 Kalibrace.** Hodnota bitu 0 znamená normální stav. Nastavení na 1 znamená kalibrování modulu. Tento bit je testován pouze při spouštění.

**B10 Binární/BCD formát. [LE]** Nastavení na 0 znamená používání čtyřčíslicového BCD (maximálně 4095) formátu. Nastavením bitu na 1 bude modul pracovat s dvanáctibitovým binárním (maximálně 4095) formátem. Ve zvoleném formátu budou vyjadřována následující slova:

W05 (W12) Nastavení analogového výstupu první (druhé) smyčky

W09 (W16) Nastavení okamžité hodnoty v první (druhé) smyčce

W10 (W17) Nastavení dopředného vstupu první (druhé) smyčky

W62 (W69) Hodnota akčního zásahu první (druhé) smyčky

W63 (W70) Hodnota okamžité hodnoty první (druhé) smyčky

W65 (W72) Hodnota tiebackového vstupu první (druhé) smyčky

**B09 Formát požadované hodnoty. [LE]** Nastavením na 0 se zvolí čtyřčíslicový BCD (maximálně 4095) formát. Nastavením bitu na 1 bude modul pracovat ve dvanáctibitovém binárním (maximálně 4095) formátu.

**B08 Resetování modu Soft fault.** Resetováním na 0 se modul dostane do modu Soft fault, kde zůstane, dokud tento bit nebude nastaven na 1.

**B07 Doba smyčky/Diagnostika.** Nastavením na 0 se bude ve stavovém slově W59 nacházet doba aktualizace smyčky. Nastavením na 1 bude toto slovo obsahovat chybové kódy.

**B06 Load.** Nastavením na 0 se blokuje sekvence Load/Enter. Volbou bitu 1 se tato sekvence zahajuje.

**B05, B04** Oba bity musí být nastaveny na 0.

**B03 Enter.** Tento bit se užívá ve spojení s Load bitem (W01 B06) při dokončování sekvence Load/Enter. Pokud je nastaven na 0, data zůstávají nahrána v zásobníku, hodnota 1 znamená okamžitý přesun do modulu a následné ukončení sekvence.

**B02 Nastavení výstupu smyčky 2.** Pokud je bit nastaven na 0, hodnota analogového výstupu odpovídá hodnotě získané pomocí regulačního algoritmu. Jestliže bude bit roven 1, pak bude hodnota na výstupu rovna hodnotě uložené ve slově W12, SET OUT2.

**B01 Nastavení výstupu smyčky 1.** Pokud je bit nastaven na 0, hodnota analogového výstupu odpovídá hodnotě získané pomocí regulačního algoritmu. Jestliže bude bit roven 1, pak bude hodnota na výstupu rovna hodnotě uložené ve slově W05, SET OUT1.

**B00 Žádost o manuální řízení.** Nastavením bitu na 0 nebude docházet k spínání výstupního kontaktu, nastavením na 1 dojde na 50 ms k jeho sepnutí. Pro opakování tohoto jednorázového propojení je nutné bit resetovat a pak ho znovu nastavit na 1.

**W02 Řídící slovo.** Toto slovo se užívá k výběru regulačního algoritmu (ISA, A-B) nebo pro kalibraci modulu.

**B15, B14 Kalibrace.**

**B00 Algoritmus PID modulu.** Nastavením na 0 budou pro výpočet akčního zásahu použit algoritmus Allen-Bradley, nastavením bitu na 1 algoritmus ISA.

**W03 Počáteční adresa dynamického bloku.** Toto slovo obsahuje adresu prvního slova dynamického bloku. Adresu vyžaduje modul pro zahájení přenosu tohoto bloku.

**W04 Počáteční adresa prvního smyčkového bloku.** Toto slovo obsahuje adresu prvního slova prvního smyčkového bloku. Adresu vyžaduje modul pro zahájení přenosu hodnot tohoto bloku.

**W05 Hodnota analogového výstupu první smyčky, SET OUT1.** Hodnota uložená v tomto slově se objeví na výstupu modulu, pokud bude nastaveno W01 B01 = 1. Rozsah je od 0000 do 4095.

**W06 Požadovaná hodnota sledované veličiny pro první smyčku, SP1.** Původní rozsah je od 0000 do 4095, přeškálovaný  $\pm 99990$ , kde se znaménko nastavuje ve W19 B07 a bit desetinásobku (x10) ve W19 B06.

Navíc je nutné při přeškálovávání naplnit slova W31 a W32 minimálními a maximálními hodnotami rozsahu - SMIN1 a SMAX1.

**W07 Hodnota proporcionálního zesílení v první smyčce, Kp1 (Kc1).** Data mají čtyřčíslicový BCD formát (99.99, [-]) s desetinnou tečkou. Pro změnu rozsahu lze použít násobkové bity W19 B04, B05. Tak lze získat interval od 0.000 do 9999.

**W08 Hodnota biasu v první smyčce, BIAS1.** Tato hodnota bude odpovídat smyčkovému biasu při nastavení W30 B02 = 1. Data jsou ve čtyřčíslicovém BCD formátu, v rozsahu 0000 až 9999. Ten lze ještě zvýšit ( $\pm 9999$ ), a to znaménkovým bitem W30 B01.

**W09 Skutečná hodnota sledované veličiny v první smyčce, SET PV1.** Tato hodnota se použije jako skutečná hodnota, pokud je nastaveno W18 B13 = 1. Rozsah je od 0000 do 4095.

**W10 Hodnota dopředného vstupu pro první smyčku, SET FFI1. [XF].** Tato hodnota se použije jako dopředný vstup, pokud platí W30 B11 = 0. Rozsah je od 0000 do 4095.

Následující slova se programují pouze v případě, že je modul nakonfigurován na regulaci dvou smyček (W01 B15 = 0). Tato slova jsou významem podobná už uvedeným slovům W04 až W10, a proto bude uveden jen jejich název, případně rozdíl oproti předchozí citaci.

**W11 Počáteční adresa druhého smyčkového bloku.**

**W12 Hodnota analogového výstupu druhé smyčky, SET OUT2.** Hodnota uložená v tomto slově se objeví na výstupu modulu, pokud bude nastaveno W01 B01 = 1.

**W13 Požadovaná hodnota sledované veličiny pro druhou smyčku, SP2.** Pro změnu rozsahu slova se používá znaménkový bit W38 B07 a bit desetinásobku (x10) W38 B06.

Navíc je nutné při přeškálovávání naplnit slova W50 a W51 minimálními a maximálními hodnotami rozsahu – SMIN2 a SMAX2.

**W14 Hodnota proporcionálního zesílení ve druhé smyčce, Kp2 (Kc2).** Pro změnu rozsahu tohoto slova se používají násobkové bity W38 B04, B05.

**W15 Hodnota biasu ve druhé smyčce, BIAS2.** Tato hodnota bude odpovídat smyčkovému biasu při nastavení W49 B02 = 1. Zvýšení rozsahu se provádí znaménkovým bitem W49 B01.

**W16 Skutečná hodnota sledované veličiny ve druhé smyčce, SET PV2.** Tato hodnota se použije jako skutečná hodnota, pokud je nastaveno W37 B13 = 1.

**W17 Hodnota dopředného vstupu pro první smyčku, SET FFI2. [XF].** Tato hodnota se použije jako dopředný vstup, pokud platí W49 B11 = 0.

## **B.2 Popis slov a bitů smyčkových datových bloků**

Protože struktury obou smyčkových bloků jsou prakticky stejné, bude význam jednotlivých slov a bitů popsán pro první smyčku a v závorce bude uveden odkaz na smyčku druhou.

**W18 (W37) Řídicí smyčkové slovo A.** Toto slovo spolu s řídicím smyčkovým slovem B, W19 (W38), a s rozšířeným řídicím slovem, W30 (W49), určuje konfiguraci smyčky.

**B15, B14 Identifikátory bloku.** Pro první smyčku musí mít tvar B15 = 0 a B14 = 1. (Pro druhou smyčku musí mít tvar B15 = 1, B14 = 0.)

**B13 Zdroj skutečné hodnoty veličiny.** Je-li tento bit roven 0, je zdrojem skutečné hodnoty analogový vstup modulu, pokud se bit rovná 1, skutečnou hodnotou je obsah slova W09 (W16) SET PV.

**B12 Výpočet odmocniny ze skutečné hodnoty veličiny.** Při hodnotě bitu 0 se výpočet neprovádí, má-li bit hodnotu 1, provádí se výpočet normalizované odmocniny ( $\sqrt{\text{skutečná hodnota} * \sqrt{4095}}$ ).

**B11 Polarita regulační odchylky.** Pokud je bit nastaven na 0, regulační odchylka je dána rozdílem *požadovaná – skutečná hodnota*. Je-li bit roven 1, pak pro odchylku platí rozdíl *skutečná – požadovaná hodnota*.

**B10 Omezení regulační odchylky.** Je-li tento bit nastaven na 0, funkce není využívána. Pokud je bit roven 1, minimální záporná hodnota odchylky odpovídá hodnotě EMN ve slově W21 (W40). Maximální kladná hodnota odchylky je dána hodnotou EMP ve slově W22 (W41).

**B09 Pásmo necitlivosti.** Je-li tento bit nastaven na 0, funkce není využívána. Pokud bit je roven 1, vzniká pásmo necitlivosti s parametrem ve slově W23 (W42).

**B08 Omezení hodnoty integračního členu.** Při hodnotě bitu 0 není funkce využívána. Pokud je bit roven 1, hodnota integračního členu  $V_i$  je omezena konstantou  $V_{iMAX}$  ze slově W26 (W45). Toto omezení platí pro obě polaritu integračního členu  $V_i$ .

**B07, B06 Výpočet akce proporcionálním členem.** Nastavení těchto dvou bitů určí, jaký tvar regulační odchylky se použije při výpočtu akce u proporcionálního členu  $V_p$ . Znaménko je zachováno.

**B05, B04 Výpočet akce integračním členem.** Nastavení těchto dvou bitů určí, jaký tvar regulační odchylky se použije pro výpočet akce u integračního členu  $V_i$ . Znaménko je zachováno.

W18 (W37)			
$V_p$ $V_i$	B07 B05	B06 B04	Chybová funkce
	0	0	Chyba
	0	1	$2/3 (\text{Chyba}) + 1/3 (\text{Chyba})^2$
	1	0	$1/3 (\text{Chyba}) + 2/3 (\text{Chyba})^2$
	1	1	$(\text{Chyba})^2$
kde $(\text{Chyba})^2 = (\text{Chyba} \cdot  \text{Chyba} ) / 512$			

**Tabulka B.1 - Kódy chybových funkcí**

**B03 Výpočet akce derivačním členem.** Při nastavení bitu na 0 bude použita hodnota regulační odchylky, při bitu rovném 1 okamžitá hodnota veličiny.

**B02 Omezení hodnoty derivačního členu.** Při hodnotě bitu 0 není funkce využívána. Pokud je bit roven 1, hodnotu derivačního členu omezuje konstanta  $V_{dMAX}$  ve slově W27 (W46). Toto omezení platí pro obě polaritu derivačního členu  $V_d$ .

**B01 Zastavení výpočtu akčního zásahu.** Při hodnotě bitu 0 není funkce využívána. Nastavením bitu na 1 dojde k pozastavení řídicího algoritmu a bude se používat poslední zjištěná hodnota  $V_{pid}$ .

**B00 Zastavení výpočtu biasu.** Při hodnotě bitu 0 není funkce využívána. Nastavením bitu na 1 dojde k pozastavení výpočtu biasu a bude se používat poslední vypočítaná hodnota.

**W19 (W38) Řídicí smyčkové slovo B.** Toto slovo spolu s řídicím smyčkovým slovem A, W18 (W37), a s rozšířeným řídicím slovem, W30 (W49), určuje konfiguraci smyčky.

**B15  $V_{pid} +/x$  Bias.** Nastavením bitu na 0 bude hodnota výstupu získána jako součet . Je-li hodnota bitu 1, výstup bude dán jako  $V = (V_{pid} * Bias) / 4095$ .

**B14 Omezení výstupu.** Nastavením bitu na 0 nebude funkce využívána. Pokud je bit roven 1, bude výstup omezen konstantami VMIN ve slově W28 (W47) a VMAX ve W29 (W48). Nastavení se nevztahuje na hodnotu SET OUT ve slově W05 (W12).

**B13, B12, B11 Reakce modulu na mod Soft fault.** Možné kombinace bitů sloužící k nastavení reakce na tento poruchový stav jsou umístěny v následující tabulce.

W19 (W38)			
B15	B14	B13	Reakce modulu na mod Soft fault
0	0	0	Analogový výstup je nastaven na minimální hodnotu (+4 mA nebo +1 V)
0	0	1	Na analogovém výstupu je držena poslední hodnota před vznikem chyby
0	1	0	Modul reguluje, pokud není nastaveno W01 B01 = 1 pro první smyčku (W01 B02 pro druhou smyčku). Pokud je tento bit nastaven před vznikem chyby, zůstává na výstupu modulu hodnota SET OUT ze slova W05 (W12)
1	0	0	Modul reguluje bez ohledu na hodnotu W01 B01 (W01 B02). Pokud na výstupu byla při vzniku modu hodnota SET OUT ze slova W05 (W12), modul po zotavení přejde automaticky do normálního regulačního stavu.
1	1	1	Analogový výstup je nastaven na maximální hodnotu (+ 20 mA nebo +5 Vdc)
Každá smyčka musí být nastavena zvlášť. Žádné další kombinace bitů nejsou dovoleny.			

**Tabulka B.2 - Nastavení bitů k reakci na mod Soft fault**

**B10 Přenásobení časové konstanty vstupního filtru.** Při hodnotě bitu 0 není funkce využívána. Pokud bude bit roven 1, časová konstanta TA uložená ve slovu W20 (W39) se zvětší desetinásobně (x10).

**B09 Přenásobení časové Lead konstanty. [XF]** Při hodnotě bitu 0 není funkce využívána. Pokud bude bit roven 1, časová Lead konstanta TB uložená ve slovu W35 (W54) se zvětší desetinásobně (x10).

**B08 Přenásobení časové Lag konstanty. [XF]** Při hodnotě bitu 0 není funkce využívána. Pokud bude bit roven 1, časová Lag konstanta TC uložená ve slovu W36 (W55) se zvětší desetinásobně (x10).

**B07 Znaménko přeškálované požadované hodnoty. [XF]** Nastavením bitu na 0 bude požadovaná hodnota ve slově W06 (W13) kladná, v opačném případě bude záporná. Bit platí, pokud je nastavena změna měřítka požadované hodnoty – W30 (W49) B14 = 1.

**B06 Přenásobení přeškálovaných slov. [XF]** Tímto bitem se nastavuje přenásobení následujících slov:

- požadovaná hodnota uložená ve slově W06 (W13)
- minimální přeškálovaná hodnota uložená ve slově W31 (W50)
- maximální přeškálovaná hodnota uložená ve slově W32 (W51)
- regulační odchylka ve smyčce uložená ve slově W61 (W68)
- okamžitá hodnota zpracovávaná modulem uložená ve slově W64 (W71)

Nastavením bitu na 0 nebude funkce využívána. Pokud bude bit roven 1, obsahy slov W31 (W50) a W32 (W51) se zvětší desetinásobně (x10). Ostatní slova se takto zvětší jen v případě, pokud budou přeškálované.

**B05, B04 Přenásobení hodnoty proporcionálního zesílení.**

**B03, B02 Přenásobení hodnoty integračního zesílení.**

**B01, B00 Přenásobení hodnoty derivačního zesílení.**

Kp - W07 (W14)    W19 (W38)	B05	B04	Násobek
Ki - W24 (W43)    W19 (W38)	B03	B03	
Kd - W25 (W44)    W19 (W38)	B01	B00	
Kf - W34 (W53)    W30 (W49)	B07	B06	
	0	0	x1
	0	1	/10
	1	0	x10
	1	1	x100

Tabulka B.3 - Nastavení bitů k přenásobení daných zesílení

**W20 (W39) Časová konstanta vstupního filtru, TA.** Data mají čtyřčíslicový BCD formát (99.99) s desetinnou tečkou. Rozsah lze pomocí násobkového bitu W19 (W38) B12 desetkrát rozšířit a získat tak interval 00.10 až 999.9.

**W21 (W40) Minimální záporná regulační odchylka, EMN.** Data mají čtyřčíslicový BCD formát s rozsahem od 0000 do 4095.

**W22 (W41) Maximální kladná regulační odchylka, EMP.** Data mají čtyřčíslicový BCD formát s rozsahem od 0000 do 4095.

**W23 (W42) Šířka pásma necitlivosti regulační odchylky, DB.** Data mají čtyřčíslicový BCD formát s rozsahem od 0000 do 4095.



**W24 (W43) Integrační zesílení, Ki (integrační konstanta 1/Ti).** Pokud je nastaveno W02 B00 = 0, slovo obsahuje integrační zesílení, v opačném případě integrační konstantu. Data mají čtyřčíslicový BCD formát (9.999) s desetinnou tečkou, jednotkami jsou [ $s^{-1}$ ] (A-B) nebo [ $\text{min}^{-1}$ ] (ISA). Násobkovými bity W19 (W38) B03, B02 lze získat rozsah od .0000 do 999.9.

**W25 (W44) Derivační zesílení, Kd (derivační konstanta Td).** Pokud je nastaveno W02 B00 = 0, slovo obsahuje derivační zesílení, v opačném případě derivační konstantu. Data mají čtyřčíslicový BCD formát (99.99) s desetinnou tečkou, jednotkami jsou [s] (A-B) nebo [min] (ISA). Násobkovými bity W19 (W38) B01, B00 lze získat rozsah od 0.000 do 9999.

**W26 (W45) Omezení hodnoty integračního členu, ViMAX.** Data mají čtyřčíslicový BCD formát s rozsahem od 0000 do 9999.

**W27 (W46) Omezení hodnoty derivačního členu, VdMAX.** Data mají čtyřčíslicový BCD formát s rozsahem od 0000 do 9999.

**W28 (W47) Omezení minimální hodnoty výstupu, VMIN.** Data mají čtyřčíslicový BCD formát s rozsahem od 0000 do 4095.

**W29 (W48) Omezení maximální hodnoty výstupu, VMAX.** Data mají čtyřčíslicový BCD formát s rozsahem od 0000 do 4095.

Následující slova mohou být naprogramována jen v případě nastavení rozšířených vlastností.

**W30 (W49) Rozšířené řídicí slovo [XF].** Toto slovo spolu s řídicími smyčkovými slovy A, W18 (W37), a B, W19 (W38), určuje konfiguraci smyčky.

**B15 Změna měřítka skutečné hodnoty veličiny. [XF]** Při hodnotě bitu 0 není funkce využívána. Pokud je bit roven 1, bude umožněna změna měřítka skutečné hodnoty vzhledem k omezením SMIN a SMAX ve slovech W31 (W50) a W32 (W51).

**B14 Změna měřítka požadované hodnoty veličiny. [XF]** Při hodnotě bitu 0 není funkce využívána. Pokud je bit roven 1, bude umožněna změna měřítka požadované hodnoty vzhledem k omezením SMIN a SMAX ve slovech W31 (W50) a W32 (W51).

**B13 Změna měřítka regulační odchylky. [XF]** Při hodnotě bitu 0 není funkce využívána. Pokud je bit roven 1, bude umožněna změna měřítka regulační odchylky vzhledem k omezením SMIN a SMAX ve slovech W31 (W50) a W32 (W51).

**B12 Decoupling. [XF]** Při hodnotě bitu 0 není funkce využívána. Pokud je bit roven 1, bude vypočítaná akční veličina první smyčky použita jako dopředný vstup FFI řídicího algoritmu druhé smyčky. Ta musí mít nastaveno W49 B12 na 0.

**B11 Zdroj dopředného vstupu, FFI. [XF]** Je-li bit roven 0, bude hodnota tohoto vstupu dána obsahem slova W10 (W17), v opačném případě bude vstup totožný s tiebackovým.

**B10 Znaménko dopředného vstupu. [XF]** Nastavení bitu na 0 odpovídá kladnému znaménku, hodnota bitu 1 znamená znaménko záporné.

**B09 Výpočet odmocniny z hodnoty dopředného vstupu. [XF]** Při hodnotě bitu 0 není funkce využívána. Má-li bit hodnotu 1, bude docházet k výpočtu normalizované odmocniny ( $\sqrt{\text{dopředný vstup}} * \sqrt{4095}$ ).

**B08 Přenásobení hodnoty dopředného členu. [XF]** Při hodnotě bitu 0 není funkce využívána. Má-li bit hodnotu 1, dojde k přenásobení dopředného členu tvořeného součtem (*dopředný offset + dopředný vstup*) dopředným zesílením uloženým ve slově W34 (W53).

**B07, B06 Přenásobení dopředného zesílení. [XF]** Možné kombinace bitů sloužících k přenásobení jsou umístěny B.3.

**B05 Filtrace Lead/Lag. [XF]** Při hodnotě bitu 0 není funkce využívána, v opačném případě se bude filtrace Lead/Lag provádět. Hodnoty pro konstanty Lead a Lag jsou obsaženy ve slovech W35 (W54) a W36 (W55).

**B04 Znaménko mezní hodnoty SMIN. [XF]** Nastavením bitu na 0 bude znaménko kladné, v opačném případě záporné.

**B03 Znaménko mezní hodnoty SMAX. [XF]** Nastavením bitu na 0 bude znaménko kladné, v opačném případě záporné.

**B02 Zdroj biasu. [XF]** Nastavením bitu na 0 bude smyčkovým biasem dopředná hodnota. Je-li bit roven 1, bude hodnota biasu dána obsahem slova W08 (W15).

**B01 Znaménko biasu, popř. dopředného členu FFV. [XF]** Nastavením bitu na 0 bude znaménko biasového a dopředného členu stejné, v opačném případě bude obrácené.

**B00 Kaskádní zapojení. [XF]** Při hodnotě bitu 0 není funkce využívána. Je-li bit 1, bude výstup první smyčky žádanou hodnotou smyčky druhé (musí být nastaveno W49 B00 = 0).

**W31 (W50) Minimální přeškálovaná hodnota, SMIN. [XF]** Data mají čtyřčíslový BCD formát (maximálně 9999). Rozsah může být  $\pm 99990$  nastavením znaménkového bitu W30 (W49) B04 a násobkového W19 (W38) B06.

**W32 (W51) Maximální přeškálovaná hodnota, SMAX. [XF]** Data mají čtyřčíslový BCD formát (maximálně 9999). Rozsah může být  $\pm 99990$  nastavením znaménkového bitu W30 (W49) B03 a násobkového W19 (W38) B06.

**W33 (W52) Hodnota dopředného offsetu, FFO. [XF]** Data mají čtyřčíslicový BCD formát (maximálně 9999).

**W34 (W53) Dopředné zesílení, Kf. [XF]** Data mají čtyřčíslicový BCD formát (99.99, [-]) s desetinnou tečkou. Rozsah může být zvětšen od 0.000 do 9999 násobkovými bity B07, B06 slova W30 (W49).

**W35 (W54) Hodnota Lead konstanty, TB. [XF]** Data mají čtyřčíslicový BCD formát (99.99, [s]) s desetinnou tečkou. Rozsah může být zvětšen od 00.00 do 999.9 násobkovým bitem B11 slova W19 (W38). Zadáání nuly znamená nepoužití daného filtru.

**W36 (W55) Hodnota Lag konstanty, TC. [XF]** Data mají čtyřčíslicový BCD formát (99.99, [s]) s desetinnou tečkou. Rozsah může být zvětšen od 00.00 do 999.9 násobkovým bitem B10 slova W19 (W38). Zadáání nuly znamená nepoužití daného filtru.

### ***B.3 Popis slov a bitů stavového datového bloku***

**W56** Slovo obsahuje 0.

**W57 Alarm.** Toto slovo obsahuje informace o detekovaných problémech.

**B15, B14 Identifikátory bloku.** Oba bity obsahují 0.

**B13 Chyba v dynamickém bloku.** Obsahuje-li bit 1, nachází se v přeneseném dynamickém bloku programovací chyba. Informace o ní jsou uloženy ve slově W59.

**B12 Chyba ve smyčkovém bloku.** Obsahuje-li bit 1, nachází se v přeneseném prvním nebo druhém smyčkovém bloku programovací chyba. Informace o ní jsou uloženy ve slově W59.

**B11 Spouštění modulu.** Při spouštění obsahuje tento bit 1. Až modul obdrží první platný dynamický blok s Load bitem (W01 B06) nastaveným na 1, bude obsahem tohoto bitu 0.

Bit se může nastavit na 1 při obnovení přerušenoého přívodu napětí +5 V nebo úplném vymazání vnitřní paměti modulu. Pak je nutno provést spouštěcí sekvenci Load/Enter.

**B10 Ready bit.** Obsahuje-li bit 1, nahrávací část sekvence Load/Enter byla úspěšně provedena. Bit bude zresetován po nastavení Enter bitu. Pokud je Ready bit po přenosu potřebných bloků roven 0, byla v nich modulem detekována programovací chyba.

**B09 Přerušeno napájení ± 15 V.** Obsahuje-li bit 0, napětí je dodáváno, v opačném případě byl detekován napájecí problém.

**B08 Mod Soft fault.** Obsahuje-li bit 0, modul je plně funkční, v opačném případě se nachází v modu Soft fault.

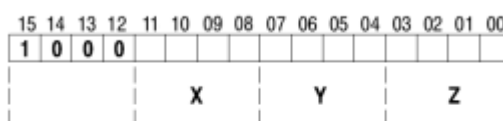
**B07 až B00.** Bity jsou nastaveny na hodnotu 0.

**W58 Počáteční adresa příštího bloku.** Toto slovo obsahuje adresu příště přenášeného bloku. Modul je poskytuje procesoru pomocí slov W03 (dynamický blok), W04 (první smyčkový blok) a W11 (druhý smyčkový blok).

**W59 Doba smyčky/Diagnostika.** Slovo udává buď dobu aktualizace smyčky nebo diagnostické informace, a to podle nastavení W01 B07. Doba aktualizace je definována jako čas mezi dvěma úspěšnými přečteními analogových vstupů. Během této doby je možné provést pouze jeden blokový přenos. V tomto případě mají data formát 0 – 100 msec. Pokud slovo obsahuje diagnostické informace, mají data čtyřčíslíkový BCD formát. Horní byte reprezentuje chybový kód dynamického, spodní chybový kód smyčkového bloku.

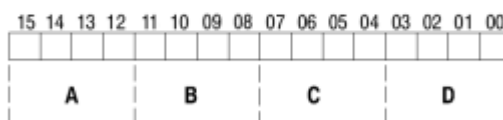
a) Doba smyčky

XYZ – doba smyčky v milisekundách



b) Diagnostika

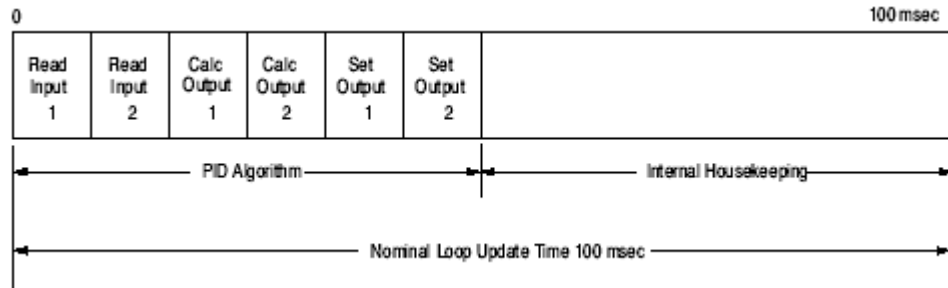
AB,CD – diagnostické kódy chyb



Horní byte udává, které slovo v dynamickém bloku je chybné

Dolní byte udává, které slovo v prvním nebo ve druhém bloku je chybné

Obrázek B.1 - Doba aktualizace smyčky / Diagnostika



Obrázek B.2 - Doba aktualizace smyčky

BCD kod	Chyby ve slovech dynamického bloku
1	Nesprávný počet slov v dynamickém bloku (jednosmyčková či dvousmyčková konfigurace)
2	Neužívá se jako chybový kód
3	Neužívá se jako chybový kód
4	Neužívá se jako chybový kód
5	Hodnota ve slovu W05 je vyšší než maximum nebo obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
6	Slovo W06 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
7	Slovo W07 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
8	Slovo W08 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
9	Slovo W09 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
10	Slovo W10 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
11	Neužívá se jako chybový kód
12	Hodnota ve slovu W12 je vyšší než maximum nebo obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
13	Slovo W13 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
14	Slovo W14 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
15	Slovo W15 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
16	Slovo W16 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
17	Slovo W17 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
BCD kod	Chyby ve slovech dynamického bloku
60	Bylo přeneseno méně než 10 slov (jednosmyčková konfigurace)
61	Bylo přeneseno méně než 17 slov (dvousmyčková konfigurace)
62	Identifikační bity jednotlivých bloků B15, B14 nejsou ve slově W01/W18/W37 správně nastaveny
63	Bylo přeneseno méně než 13 slov (vyžadována jednosmyčková konfigurace s hodnotou SET OUT pro druhou smyčku)
64	Blokově přesuny pro zápis a čtení se dějí mimo sekvenci. Jako první musí být přenesen stavový blok
65	Load bit a Enter bit nesmí být nastaveny současně
66	Enter bit nesmí být nastaven před nastavením Ready bitu
67	Kontrolní bit a Load bit nesmí být nastaveny současně
68	Je-li prováděna sekvence Load/Enter při spouštění modulu, musí být Enter bit nastaven, aby byla tato sekvence dokončena
69	Při provádění nahrávací části sekvence Load/Enter může být dynamický blok přenesen pouze jednou

Tabulka B.4 - Horní byte slova W59 - popis chybových kódů

BCD kod	Chyby ve slovech prvního smyčkového bloku
18	První smyčkový blok nebyl během sekvence Load/Enter přenesen
19	W19 obsahuje nesprávný chybový kód modu Soft Fault 011, 101 nebo 110
20	Slovo W20 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
21	Hodnota ve slovu W21 je větší než maximum nebo obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
22	Hodnota ve slovu W22 je větší než maximum nebo obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
23	Hodnota ve slovu W23 je větší než maximum nebo obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
24	Slovo W24 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
25	Slovo W25 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
26	Slovo W26 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
27	Slovo W27 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
28	Hodnota ve slovu W28 je větší než maximum nebo obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
29	Hodnota ve slovu W29 je větší než maximum, obsahuje nesprávnou BCD hodnotu nebo je menší než hodnota ve slovu W28.
30	Slovo W30 obsahuje volbu kaskádního spojení nebo decoupling, ale je nastavena jen jedna smyčka
31	Slovo W31 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
32	Slovo W32 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu nebo je jeho hodnota menší nebo rovna hodnotě ve slovu W31
33	Slovo W33 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
34	Slovo W34 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
35	Slovo W35 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
36	Slovo W36 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
BCD kod	Chyby ve slovech druhého smyčkového bloku
38	Druhý smyčkový blok nebyl během sekvence Load/Enter přenesen
39	W38 obsahuje nesprávný chybový kód modu Soft Fault 011, 101 nebo 110
40	Slovo W39 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
41	Hodnota ve slovu W40 je větší než maximum nebo obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
42	Hodnota ve slovu W41 je větší než maximum nebo obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
43	Hodnota ve slovu W42 je větší než maximum nebo obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
44	Slovo W43 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
45	Slovo W44 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
46	Slovo W45 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
47	Slovo W46 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
48	Hodnota ve slovu W47 je větší než maximum nebo obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
49	Hodnota ve slovu W48 je větší než maximum, obsahuje nesprávnou BCD hodnotu nebo je menší než hodnota ve slovu W47.
50	Neužito
51	Slovo W50 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
52	Slovo W51 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu nebo je jeho hodnota menší nebo rovna hodnotě ve slovu W50
53	Slovo W52 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
54	Slovo W53 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
55	Slovo W54 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu
56	Slovo W55 obsahuje nesprávnou BCD hodnotu

**Tabulka B.5 - Dolní byte slova W59 - popis chybových kódů**

BCD kod	Chyby blokového přenosu
70	Chyba v komunikaci. Počet blokově přenesených slov přesahuje počet předpokládaný PID modulem.
80	Bylo přeneseno méně než 12 slov při volbě standardních smyčkových vlastností
81	Bylo přeneseno méně než 19 slov při volbě rozšířených smyčkových vlastností
82	Oba smyčkové bloky mohou být přeneseny pouze pomocí sekvence Load/Enter

**Tabulka B.6 – Slovo W59 - chybové kódy blokového přenosu**

**W60 (W67) Stav smyčky.** Toto slovo popisuje problémové situace ve smyčkách, popř. podává informace o znaménkách.

**B15 Hodnota regulační odchylky.** Je-li bit 0, hodnota je kladná, pokud 1, je záporná.

**B14 Přeškálovaná okamžitá hodnota.** Je-li bit 0, hodnota je kladná, pokud 1, je záporná. Bit je platný jen v případě přeškálování okamžité hodnoty (W30 (W49) B17 = 1).

**B13 Regulační odchylka < Nejnižší povolená záporná hodnota EMN.** Je-li hodnota bitu 0, odchylka je větší nebo rovna konstantě EMN. Je-li bit roven 1, odchylka je menší než EMN. Bit je nastavován i v případě, že není zvoleno omezení odchylky.

**B12 Regulační odchylka > Nejvyšší povolená kladná hodnota EMP.** Je-li hodnota bitu 0, je odchylka menší nebo rovna konstantě EMP. Je-li bit roven 1, odchylka je větší než EMP. Bit je nastavován i v případě, že není zvoleno omezení odchylky.

**B11 Dopředná hodnota.** Je-li bit 0, hodnota je kladná, pokud 1, je záporná.

**B10 Sekvence Load/Enter dokončena.** Bit se nastaví na 0, pokud modul obdrží dynamický blok s Load bitem rovným 1. Na hodnotu 1 se nastaví v případě dokončení sekvence Load/Enter, tzn. při úspěšném zpracování dynamického bloku s nastaveným Enter bitem, a zůstane tak nastaven, dokud nedojde k dalšímu pokusu o provedení této sekvence (W67 B10 bude mít pro druhou smyčku hodnotu 0).

**B09 Regulační odchylka uvnitř pásma necitlivosti.** Je-li bit 0, odchylka se nachází mimo pásmo necitlivosti. Pokud je bit 1, odchylka se nachází uvnitř pásma. Bit je nastavován i v případě, že není zvoleno používání pásma necitlivosti.

**B08 Hodnota integračního členu  $V_i$  > Omezení integračního členu  $V_{iMAX}$ .** Je-li bit 0, je hodnota  $V_i$  menší nebo rovna konstantě  $V_{iMAX}$ . Je-li bit 1, je  $V_i$  větší než konstanta  $V_{iMAX}$ . Bit je nastavován i v případě, že není zvoleno omezení integračního členu.

**B07 Ztráta signálu na analogovém vstupu.** Je-li bit 0, signál na vstupu existuje, je-li 1, je hodnota vstupního signálu menší než nejmenší přípustná hodnota +4 mA nebo 1 V. Ztráta vstupu bude detekována i v případě, že není přednastavena konstanta SET PV.

Ztráta vstupu způsobí, že na výstupu odpovídající smyčky bude udržována naposledy vypočítaná hodnota, dokud nebude vstup obnoven. Pokud je nastavena konstanta SET PV, výstup smyčky jí bude odpovídat.

Je-li zvoleno kaskádního zapojení nebo decoupling a analogový vstup první smyčky je ztracen, budou výstupy obou smyček drženy na posledních hodnotách bez ohledu na stav vstupů druhé smyčky.

Ztráta vstupu je navíc signalizována stavovým monitorovacím bytem (bit B02).

**B06 Ztráta signálu na tiebackového vstupu.** Je-li bit 0, signál na vstupu existuje, je-li bit 1, hodnota signálu je menší než minimální hodnota +4 mA nebo +1 V.

Ztráta vstupu způsobí, že na výstupu odpovídající smyčky bude udržována naposledy vypočítaná hodnota, dokud nebude vstup obnoven.

Je-li zvoleno kaskádního zapojení nebo decoupling a tiebackový vstup první smyčky je ztracen, budou výstupy obou smyček drženy na posledních hodnotách bez ohledu na stav vstupů druhé smyčky.

Ztráta vstupu je navíc signalizována také stavovým monitorovacím bytem (bit B02).

**B05 Ruční ovládání.** Je-li bit 0, akční člen je ovládán výstupním signálem modulu. Je-li bit 1, člen se ovládá ručně.

**B04 Spouštění dokončeno.** Bit je při spuštění modulu roven 0. Pokud dojde k inicializaci modulu platnou spouštěcí sekvencí Load/Enter, bit se nastaví na 1 (W67 B04 se zresetuje).

**B03 Hodnota proporcionálního členu  $V_p > 4095$ .** Je-li bit 0, je hodnota  $V_p$  v dané smyčce menší nebo rovna 4095. Hodnota bitu 1 odpovídá  $V_p$  většímu.

**B02 Hodnota derivačního členu  $V_d > \text{Omezení derivačního členu } V_{dMAX}$ .** Je-li bit 0, je hodnota  $V_d$  menší než konstanta  $V_{dMAX}$ , je-li bit 1, je tato hodnota větší.

**B01 Hodnota analogového výstupu  $< \text{Nejmenší přípustná hodnota } V_{MIN}$ .** Je-li bit 0, je hodnota výstupu větší nebo rovna konstantě  $V_{MIN}$ . Je-li bit 1, je tato hodnota menší. Bit je nastavován, i pokud není zvoleno omezení výstupu. Bit nekontroluje konstantu SET OUT.

**B00 Hodnota analogového výstupu  $> \text{Největší přípustná hodnota } V_{MAX}$ .** Je-li bit 0, je hodnota výstupu menší nebo rovna konstantě  $V_{MAX}$ . Je-li bit 1, je tato hodnota menší. Bit je nastavován, i pokud není zvoleno omezení výstupu. Bit nekontroluje hodnotu SET OUT.

**W61 (W68) Hodnota regulační odchylky, ERROR.** Data mají čtyřčíslicový BCD formát. Neškálovaný rozsah je od 0 do  $\pm 4095$ . Přesškálovaná hodnota se určuje znaménkovým bitem W60 (W67) B15 a násobným bitem W19 (W38) B06. Maximální rozsah je  $\pm 99990$ .

**W62 (W69) Hodnota analogového výstupu, READ V.** Data mají čtyřčíslicový BCD nebo dvanáctibitový formát. Rozsah je od 0000 do 4095. Navzdory přednastavení konstanty SET OUT bude toto slovo stále udávat hodnotu výstupu, tak jak ji vypočítal PID algoritmus.

**W63 (W70) Hodnota analogového vstupu, READ IN.** Slovo obsahuje hodnotu čtenou A/D převodníkem modulu. Data mají čtyřčíslicový BCD nebo dvanáctibitový formát. Rozsah je od 0000 do 4095.



**W64 (W71) Skutečná hodnota veličiny, READ PV.** Slovo obsahuje hodnotu používanou pro výpočet akčního signálu. Data mají čtyřčíslíkový BCD formát. Neškálovaný rozsah je od 0000 do 4095. Přeskálovaná hodnota se určuje znaménkovým bitem W60 (W67) B14 a násobným bitem W19 (W38) B06. Maximální rozsah je  $\pm 99990$ .

**W65 (W72) Hodnota tiebackového vstupu, READ TIE.** Slovo obsahuje hodnotu čtenou A/D převodníkem modulu. Data mají čtyřčíslíkový BCD nebo dvanáctibitový formát. Rozsah je od 0000 do 4095.

**W66 (W73) Dopředná hodnota, READ FFV.** Slovo obsahuje hodnotu, jak ji vypočetl PID modul. Data mají čtyřčíslíkový BCD formát se znaménkovým bitem W60 (W67) B13 umožňující rozsah  $\pm 9999$ .

#### B.4 Změna měřítka dané veličiny

Analogový signál	Aktuální teplota	Načtená okamžitá hodnota (W65) (bez přeškálování)	Načtená okamžitá hodnota (W65) (s přeškálováním)
i = +20 mA	t. = +60 C	4095	60
i = +16 mA	t. = +40 C	3072	40
i = +12 mA	t. = +20 C	2048	20
i = +8 mA	t. = 0 C	1024	0
i = +4 mA	t. = - 20 C	0	20*
		bez škálování	se škálováním
		W30 B15 = 0	W30 B15 = 1 W31 (SMIN) = 20 W32 (SMAX) = 60 W30 B04 = 1** W30 B03 = 0
<p>* Bit W61 B14 musí být načten, aby bylo možné zjistit znaménko přeškálované hodnoty ve slovu W64. V tomto případě W61 B14 = 1 signalizuje zápornou hodnotu.</p> <p>** Pokud je znaménkový bit nejmenší přeškálované hodnoty W30 B04 = 1, bude tato hodnota uložena ve slově W31 záporná.</p>			

**Tabulka B.7 - Ukázka přeškálování**

V tomto příkladě je spodní hranice přeškálované hodnoty SMIN záporné číslo. Znaménko SMIN je nastaveno ve slově W30 (W49) B04.

## C Přílohy pro návrh regulačního systému

### C.1 Struktura souboru N12 - IOCONFIG

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N12:0	0	0	64	0	5393	64	33	1429	1429	0
N12:10	0	-24576	5640	0	5640	5640	0	0	0	0
N12:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N12:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N12:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N12:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N12:60	0	0	0	0	-11904	0	64	81	0	1589
N12:70	-26215	0	0	0	100	0	0	0	0	0
N12:80	0	16384	0	0	0	0	0	20480	0	0
N12:90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N12:100	-32768	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N12:110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Symbol:  Radix:

Desc:

Columns:

Obrázek C.1 - Soubor IOConfig

## **D Příloha pro vizualizaci soustavy**

### **D.1 Seznam tagů použitých v RSView**

JMÉNO TAGU	TYP TAGU
algoritmus	Digital
BIAS1	Analog
BIAS2	Analog
bias_1	Digital
bias_2	Digital
chyba_der_1	Digital
chyba_der_2	Digital
chyba_integ_1_1	Digital
chyba_integ_1_2	Digital
chyba_integ_2_1	Digital
chyba_integ_2_2	Digital
chyba_prop_1_1	Digital
chyba_prop_1_2	Digital
chyba_prop_2_1	Digital
chyba_prop_2_2	Digital
contact	Digital
decoupling_1	Digital
decoupling_2	Digital
derivacni	Analog
derivacni_2	Analog
doba_diag	Digital
dopredny_vstup_1	Digital
dopredny_vstup_2	Digital
dynamic_toggle	Digital
EMN1	Analog
EMN2	Analog
EMP1	Analog
EMP2	Analog
FFO1	Analog
FFO2	Analog
inicializace	Digital
integracni	Analog
integracni_2	Analog
kaskada_1	Digital
kaskada_2	Digital

JMÉNO TAGU	TYP TAGU
KF1	Analog
KF2	Analog
kombin_SF1	Digital
kombin_SF2	Digital
Lead_Lag_1	Digital
Lead_Lag_2	Digital
levy_konst	Analog
load_enter	Digital
meda	Digital
meda_v_akci	Digital
nasobeni_1	Digital
nasobeni_2	Digital
nasobeni_deriv_1_1	Digital
nasobeni_deriv_1_2	Digital
nasobeni_deriv_2_1	Digital
nasobeni_deriv_2_2	Digital
nasobeni_dopredneho_1	Digital
nasobeni_dopredneho_1_1	Digital
nasobeni_dopredneho_1_2	Digital
nasobeni_dopredneho_2	Digital
nasobeni_dopredneho_2_1	Digital
nasobeni_dopredneho_2_2	Digital
nasobeni_integr_1_1	Digital
nasobeni_integr_1_2	Digital
nasobeni_integr_2_1	Digital
nasobeni_integr_2_2	Digital
nasobeni_propor_1_1	Digital
nasobeni_propor_1_2	Digital
nasobeni_propor_2_1	Digital
nasobeni_propor_2_2	Digital
necitlivost1	Digital
necitlivost2	Digital
nutno_sfoltovat	Digital
odmoc_dopredneho_1	Digital
odmoc_dopredneho_2	Digital
odmoc_okamzita_1	Digital
odmoc_okamzita_2	Digital
omezeni_akce_1	Digital
omezeni_akce_2	Digital
omezeni_der_1	Digital

JMÉNO TAGU	TYP TAGU
omezeni_der_2	Digital
omezeni_reg_1	Digital
omezeni_reg_2	Digital
pocet_smycek	Digital
polarita_biasu_1	Digital
polarita_biasu_2	Digital
polarita_dolni_presk_1	Digital
polarita_dolni_presk_2	Digital
polarita_dopredneho_vstupu_1	Digital
polarita_dopredneho_vstupu_2	Digital
polarita_horni_presk_1	Digital
polarita_horni_presk_2	Digital
Polarita_presk_zadane_1	Digital
polarita_presk_zadane_2	Digital
polarita_reg_1	Digital
polarita_reg_2	Digital
potvrzeni	Digital
pozadovana_druha	Analog
pozadovana_prvni	Analog
presk_okamzite_1	Digital
presk_okamzite_2	Digital
presk_regulacni_1	Digital
presk_regulacni_2	Digital
Presk_zadane_1	Digital
presk_zadane_2	Digital
proporc_druha	Analog
proporc_prvni	Analog
reakce_sf_1_1	Digital
reakce_sf_1_2	Digital
reakce_sf_1_3	Digital
reakce_sf_2_1	Digital
reakce_sf_2_2	Digital
reakce_sf_2_3	Digital
s_akce_1	Analog
s_akce_2	Analog
s_bias_1	Analog
s_bias_2	Analog
s_chyba_dyn	Digital
s_chyba_smyck	Digital
s_doba_diag	Analog

JMÉNO TAGU	TYP TAGU
s_polarita_biasu_1	Digital
s_polarita_biasu_2	Digital
s_polarita_reg_odchylky_1	Digital
s_polarita_reg_odchylky_2	Digital
s_polarita_skutecne_veliciny_1	Digital
s_polarita_skutecne_veliciny_2	Digital
s_regulacni_1	Analog
s_regulacni_2	Analog
s_skutecna_1	Analog
s_skutecna_2	Analog
s_tieback_1	Analog
s_tieback_2	Analog
s_tieback_vstupu_2	Digital
s_v_rezimu_soft_fault	Digital
s_ztrata_analog_1	Digital
s_ztrata_analog_2	Digital
s_ztrata_napajeni_15V	Digital
s_ztrata_tieback_vstupu_1	Digital
SETFFI1	Analog
SETFFI2	Analog
SETOUT1	Analog
SETOUT2	Analog
SETPV1	Analog
SETPV2	Analog
Sfoltovani	Digital
sirka_pasma_1	Analog
sirka_pasma_2	Analog
SMAX1	Analog
SMAX2	Analog
SMIN1	Analog
SMIN2	Analog
soft_fault	Digital
TA1	Analog
TA2	Analog
TB1	Analog
TB2	Analog
TC1	Analog
TC2	Analog
ukonceni_meda	Digital
ukonceni_vodarna	Digital

JMÉNO TAGU	TYP TAGU
uplna	Digital
VdMAX1	Analog
VdMAX2	Analog
ViMAX1	Analog
ViMAX2	Analog
vlastnosti	Digital
VMAX1	Analog
VMAX2	Analog
VMIN1	Analog
VMIN2	Analog
vodarna	Digital
vodarna_v_akci	Digital
VPIDBIAS_1	Digital
VPIDBIAS_2	Digital
vstup_druhe	Digital
vstup_prvni	Digital
vystup_druhe	Digital
vystup_prvni	Digital
wind_up_1	Digital
wind_up_2	Digital
zastaveni_bias_1	Digital
zastaveni_bias_2	Digital
zastaveni_PID_1	Digital
zastaveni_PID_2	Digital
zmena_TA_1	Digital
zmena_TA_2	Digital
zmena_TB_1	Digital
zmena_TB_2	Digital
zmena_TC_1	Digital
zmena_TC_2	Digital
zruseni	Digital
systemový tag	
system\ComStatusString1	

## **E Elektronická podoba diplomové práce**

Součástí diplomové práce je přiložené CD, které obsahuje:

- Soubor Read\_me.doc, obsahující informace o obsahu CD
- Manuály dostupné v elektronické podobě
- Software pro řízení PID modulem
- Internetová vizualizace laboratorního modelu, dokumentace v češtině a v angličtině
- Text diplomové práce

### **Výpis souboru Read\_me.doc.**

Toto CD je součástí diplomové práce *Řízení fyzikálních modelů programovatelnými automaty*. Jsou zde uloženy manuály, vyvinutý software, internetová vizualizace s dokumentací a text diplomové práce.

Vše je uloženo v následujících adresářích.

- **Manualy**  
Zde jsou umístěny manuály dostupné v elektronické podobě.
- **Software**  
Software vyvinutý pro PID modul. Jsou zde zdrojové soubory aplikací pro RSView32 (podadresář *RSView*) a PID modul (podadresář *PID*).
- **Internet**  
Internetová vizualizace a výuková dokumentace k PID modulu v češtině a v angličtině. Vše je uloženo v HTML formátu a ve formátu pro Word.
- **Dipl\_prace**  
Diplomová práce v elektronické podobě.