České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

DIPLOMOVÁ PRÁCE

ŘÍZENÍ A VIZUALIZACE MODELU VZNÁŠENÍ

Vypracoval : Bc. Pavel Guba

Vedoucí práce : Ing. Jindřich Fuka

Praha 2010

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Pavel Guba**

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

Název tématu: **Řízení a vizualizace modelu vznášení**

Pokyny pro vypracování:

1. Znovu nainstalujte původní model vznášení po rekonstrukci laboratoře Allen-Bradley na nové vhodné místo a uveďte jej opět do provozu včetně snímání kamerou.
2. Stávající řídicí systém na bázi programovatelného automatu PLC-5 nahraďte systémem s programovatelným automatem ControlLogix a operátorským panelem VersaView 1000H.
3. Realizujte vizualizaci pro panel operátora pomocí softwaru RSView ME. Tato vizualizace by měla umožnit ovládání modelu a zobrazení základních informací o něm.
4. Seznamte se s modulem 1756-EWEB systému ControlLogix. Pro tento modul vytvořte webové stránky, které umožní monitorování modelu pomocí webové kamery, zobrazení jeho stavu a řízení.
5. Popište základní vlastnosti modelu a navrhněte vhodné experimenty pro studenty.

Seznam odborné literatury:

Dodá vedoucí práce

Vedoucí: Ing. Jindřich Fuka

Platnost zadání: do konce letního semestru 2010/2011

Prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry

doc. Ing. Boris Šimák, CSc.
děkan

V Praze dne 19. 4. 2010

Prohlášení:

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

V Praze dne …… ….…….....

Pavel Guba

Poděkování :

Považuji za svou milou povinnost poděkovat panu Ing. Jindřichu Fukovi, za odborné a organizační vedení při zpracování této práce. Dále děkuji všem, kteří mě při práci a studiu podporovali.

ABSTRAKT

Název diplomové práce : Řízení a vizualizace modelu vznášení

Tato práce se zabývá konfigurací a návrhem řízení pro laboratorní model Vznášení s využitím internetu jako nástroje pro vzdálené řízení. Jako řídicí systém pro tento model je použit programovatelný automat ControlLogix a operátorský panel VersaView. Pro vzdálené řízení prostřednictvím internetu je využit modul 1756-EWEB. Pro řízení je k dispozici PID regulátor implementovaný jako instrukce v automatu. Druhou možností pro řízení je PC s programem Matlab a Simulink.

Klíčová slova : laboratorní model, ControlLogix, web, vizualizace

ABSTRACT

Topic of Thesis: Control and Monitoring the Model of Elevation

The subject of this thesis is configuration and design of control for laboratory model of the Elevation including remote control through the internet. As the control system is used programmable controller ControlLogix and industrial computer with touch screen Versaview. For remote control through the internet is used unit 1756-EWEB. As controller is used PID implemented in ControlLogix. Second option is control via PC software Matlab and Simulink.

Keywords : laboratory model, ControlLogix, web, visualization

Obsah

1 Úvod....1
2 Popis modelu....3
2.1 Konstrukční řešení....3
2.2 Fyzikální popis....4
2.3 Stavový popis vznášení....6
2.4 Zjištění celkového přenosu modelu....7
2.5 Identifikace modelu....10
2.6 Souhrnná koncepce modelu....12
3 Hardwarové prvky modelu....15
3.1 Operátorský panel VersaView....15
3.2 Webový modul EWEB - 1756....15
3.3 Řídicí a měřicí prvky modelu vznášení....16
3.3.1 Akční člen....16
3.3.2 Laserový senzor s dlouhým měřicím rozsahem....16
3.3.3 Optické čidlo přiblížení....17
3.3.4 Diferenční snímač tlaku....18
3.4 Webová kamera....18
3.5 Napájení modelu....19
3.6 Řídicí systém ControlLogix....19
3.7 Vzdálené vstupy a výstupy FLEX I/O....20
3.8 Řídicí a vyhodnocovací elektronika....22
3.8.1 Řídicí jednotka....22
3.8.2 Zesilovač....22
3.8.3 Měření otáček ventilátoru....22
3.9 Rozhraní modelu a adresace vstupů a výstupů....22
3.9.1 Zapojení svorkovnice modulu 1794 – OB16....22
3.9.2 Zapojení svorkovnice modulu 1794 – IB16....23
3.9.3 Zapojení svorkovnice modulu 1794 – IE4XOE2....23
3.9.4 Zapojení konektoru pro připojení k PC....24
3.9.5 Zapojení konektoru pro připojení k PLC....25
4 Řízení modelu....26
4.1 Řízení pomocí PLC....26
4.1.1 Hardwarová konfigurace....26
4.1.2 Základní instrukce programu....29
4.2 Řízení pomocí PC....30
5 Vizualizace pro operátorský panel....33
5.1 Panel VersaView® CE 1000H....33
5.2 Tvorba vizualizace v RSView Machine Edition....34
6 Vizualizace pro modul EWEB....38
6.1 Popis a nastavení modulu EWEB....38
6.2 Zápis a čtení proměnných pomocí webových prvků....40
6.2.1 Čtení proměnných....41
6.2.2 Zápis proměnných....43
6.3 Webové stránky pro vizualizaci....44
7 Návrh regulátorů....45
8 Závěr....49
9 Použitá literatura....51
10 Použitý software....53
11 Seznam použitých zkratek....54
12 Obsah přiloženého CD....55

Seznam obrázků

Obr. 2.1: Popis modelu....3
Obr. 2.2: Příklady hodnot součinitele odporu C....5
Obr. 2.3: Filtrovaná statická charakteristika ventilátoru....8
Obr. 2.4: Statická charakteristika ventilátoru....8
Obr. 2.5: Přechodové charakteristiky pro různě velké skoky napětí....10
Obr. 2.6: Přechodová charakteristika z pracovního bodu....11
Obr. 2.7: Ověření modelu....11
Obr. 2.8: Celková koncepce modelu....13
Obr. 3.1: Modul 1756 - EWEB....15
Obr. 3.2: Ventilátor....16
Obr. 3.3: Laserový senzor pro měření polohy....17
Obr. 3.4: Optický senzor přiblížení....17
Obr. 3.5: Diferenční snímač tlaku....18
Obr. 3.6: Webová kamera....19
Obr. 3.7: ControlLogix....19
Obr. 3.8: Modul 1794-ASB....21
Obr. 3.9: Svorkovnice a modul systému FLEX I/O....21
Obr. 4.1: Hardwarová konfigurace PLC....26
Obr. 4.2: Konfigurace modulu 1756 - DHRIO/B....27
Obr. 4.3: Konfigurace modulu 1794 - ASB....28
Obr. 4.4: Čtení dat z analogového kombo modulu a instrukce PID....29
Obr. 4.5: Simulinkový blok reprezentující model....31
Obr. 4.6: Blok modelu v Simulinku....31
Obr. 5.1: Pohled na panel VersaView CE 1000H 33
Obr. 5.2: Přehledová obrazovka vizualizace na VersaView....35
Obr. 5.3: Obrazovka pro nastavení PID regulátoru na VersaView....36
Obr. 6.1: Konfigurace síťových parametrů modulu EWEB....39
Obr. 6.2: Nastavení výchozí webové stránky modulu EWEB....39
Obr. 6.3: Přehled modulů na šasi automatu pomocí modulu EWEB....40
Obr. 6.4: Zobrazení proměnných automatu pomocí Data View na modulu EWEB....41
Obr. 6.5: Stránka s pohledem na model - webová vizualizace....44
Obr. 7.1: Model řízený regulátorem navrženým pomocí Matlabu....45
Obr. 7.2: Model řízený regulátorem navrženým z frekvenční charakteristiky....46
Obr. 7.3: Řízení modelu pomocí PID regulátoru v PLC....47

Seznam tabulek

Tabulka 1: Zapojení svorkovnice modulu 1794-OB16.....22
Tabulka 2: Zapojení svorkovnice modulu 1794 - IB16.....23
Tabulka 3: Zapojení svorkovnice modulu 1794 - IE4XOE2.....23
Tabulka 4: Zapojení konektoru pro připojení k PC.....24
Tabulka 5: Zapojení konektoru pro připojení k PLC.....25
Tabulka 6: Konfigurace FLEX I/O.....28
Tabulka 7: Převod jednotek z analogového modulu.....29
Tabulka 8: Propojení signálů v Simulinku s měřicí kartou.....30

1 Úvod

V době, kdy je internet nedílnou součástí našeho každodenního života a kdy nachází využití v téměř každém oboru, je jeho význam nezpochybnitelný. Mezi obory, které se snaží využívat moderních informačních technologií, patří v neposlední řadě i řídicí technika.

V oblasti průmyslových řídicích systémů, kde jsou jako hlavní jednotky pro aplikaci řídicích algoritmů použity především programovatelné logické automaty (dále PLC), případně průmyslové počítače, je trend spíše konzervativní a řídicí systémy zůstávají v téměř nezměněné podobě po několik let. Do průmyslové automatizace tohoto typu se dostávají nové technologie především z důvodu zvýšení efektivity a zajištění vyšší jakosti automatizovaného výrobního procesu. Tohoto lze docílit především lepší informovaností o výrobním postupu a průběhu řídicího algoritmu. Z tohoto důvodu vznikají nové možnosti rozšíření stávajících i nových systémů, které umožňují sběr a vizualizaci procesních dat.

Tato diplomová práce se sice nezabývá sběrem dat za účel zvýšení efektivity vybraného výrobního postupu, ale využívá zařízení, která jsou schopna tyto požadavky plnit. Tato zařízení jsou v této práci využita k řízení a vizualizaci laboratorního modelu Vznášení. Řídicí systém je sestaven z PAC řady ControlLogix od Rockwell Automation a průmyslového počítače s dotykovou obrazovkou VersaView. Označení PAC (Programovatelný automat) se zavádí v reakci na pokročilé funkce, které moderní automaty plní a nejedná se tak pouze o logické řízení. Nicméně označení PLC je tak vžité, že je v této práci použito přednostně. Pomocí modulu EWEB, který je součástí řídicího systému, a webové kamery je zajištěno i monitorování přes internet.

Tento model by měl sloužit především studentům, kteří budou mít možnost přistupovat k němu přes internet a lokálně též vizualizaci na operátorském panelu a vyzkoušet si vlastní algoritmy pro řízení.

V první části této práce se pokusím seznámit čtenáře s modelem, který byl sestaven s požadavkem na možnost vzdáleného řízení a monitorováním přes internet. Pokusíme se soustavu popsat a identifikovat. Konstrukční řešení a tvorba modelu byla součástí jiné diplomové práce, kterou vypracoval Ing. Michal Kutil, zde o tomto najdete více informací [4].

Další část se zabývá samotným návrhem řízení pomocí PLC, tvorbou řídicího algoritmu a tvorbou vizualizace tohoto modelu na operátorském panelu.

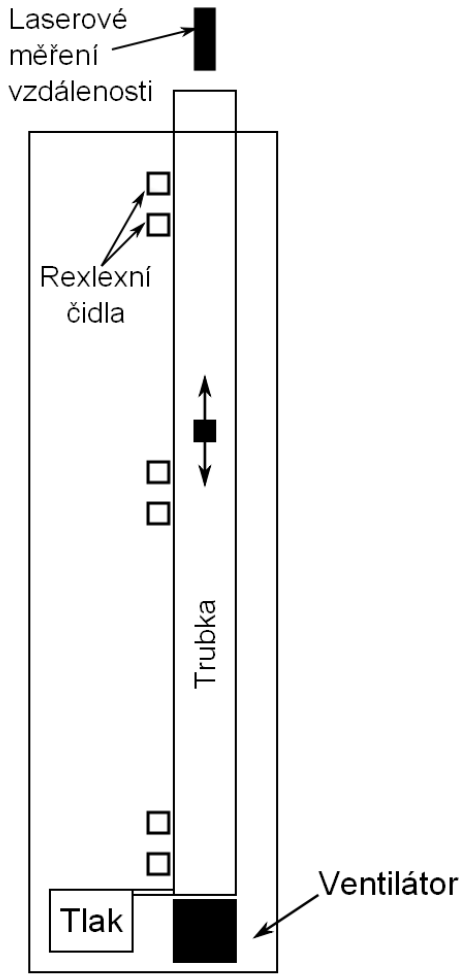
Další část pojednává o tvorbě webových stránek pro modul EWEB, které slouží pro vzdálení řízení modelu a vizualizaci. To vše bez nutnosti být fyzicky přítomen u modelu.

Závěr práce se zaobírá návrhem řízení modelu pomocí PID regulátoru implementovaného v PLC a PC.

2 Popis modelu

2.1 Konstrukční řešení

Model vznášení, který je předmětem této práce, je koncepčně jednoduchým systémem s jedním vstupem a jedním hlavním výstupem. Systém (Obr. 2.1) je tvořen průhlednou plastovou trubkou o délce 2000 mm a průměru 70 mm a ventilátorem, který zastává funkci akčního členu a vhání do trubky zespoda vzduch. Dále je model vybaven reflexními senzory polohy, které jsou nainstalovány na třech místech v párech v různých výškách. Nad trubkou je umístěn laserový senzor polohy a ve spodní částí je umístěn snímač tlaku.



Obr. 2.1: Popis modelu

V takto sestaveném modelu je možné řídit polohu předmětu v trubce. Tento objekt by měl být dostatečně lehký a tvarem přizpůsobený trubce tak, aby výkon

ventilátoru dostačoval k jeho vznesení a efektivnímu řízení jeho polohy. Dále musí být tento objekt řešen takovým způsobem, aby bylo možné jeho polohu sledovat laserovým čidlem, které je umístěno na vrchu trubky. Jako vhodný se tedy jeví objekt, který je lehký a zároveň obsahuje vodorovnou plochu, která bude referencí jeho polohy.

2.2 Fyzikální popis

Základem modelu je těleso vyhovujícího tvaru, které se vznáší v trubce za pomoci ventilátoru, který vytváří proud vzduchu. Celková síla, která působí na těleso je složena z několika složek. První složka, která působí na těleso, je síla přímo generovaná akčním členem a tedy úměrná rychlosti ventilátoru a tím také tlaku v trubce pod tělesem. Tuto sílu je možné popsat vztahem

$$F = p\ S \tag{1}$$

F ... *síla působící na těleso*
p ... *tlak*
S ... *průřez tělesa ve směru působení tlaku*

Další složkou působící na těleso je odporová síla. Tato síla je závislá na tvaru tělesa a jeho relativní rychlosti vůči proudění vzduchu. Při nízkých rychlostech, kdy je proudění vzduchu laminární, je odporová síla závislá lineárně na relativní rychlosti vůči proudění. Pro kulové těleso o poloměru r je možné odporovou sílu vyjádřit pomocí Stokesova vzorce pro odporovou sílu

$$F_{ol} = 6\pi\,\eta\,r\,v \tag{2}$$

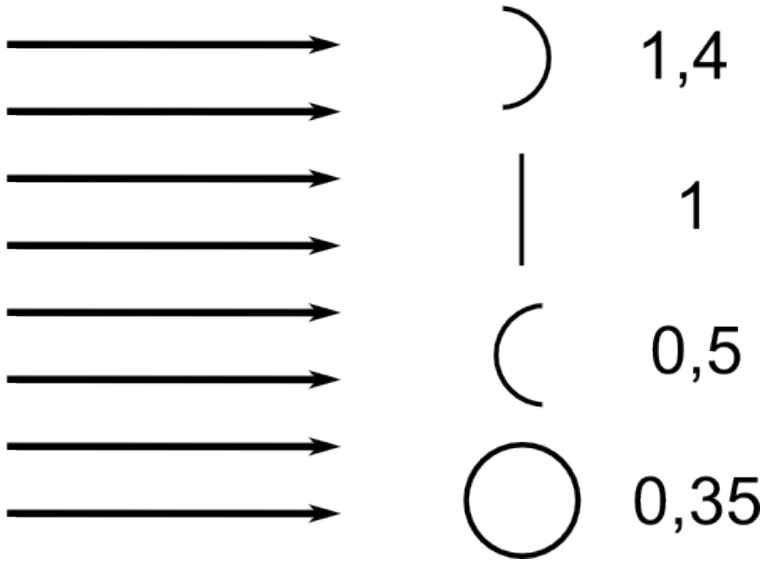
F_{ol} ... *odporová síla*
η ... *dynamická viskozita*
r ... *poloměr kulového tělesa*
v ... *relativní rychlost tělesa vůči proudění*

Pokud by se však jednalo o proudění turbulentní, je situaci složitější. V případě turbulentního proudění je odporová síla úměrná druhé mocnině relativní rychlosti tělesa vůči proudění vzduchu. Vztah pro tuto sílu je následující

$$F_{ot} = \frac{1}{2} C S \rho v^2 \tag{3}$$

F_{ot} ... *odporová síla tělesa vůči proudu vzduchu*
C ... *součinitel odporu*
S ... *příčný průřez tělesa*
v ... *relativní rychlost tělesa vůči proudění*

Součinitel odporu C je koeficient daný tvarem tělesa. Příklady jeho přibližných hodnot podle tvaru tělesa jsou uvedeny na následujícím obrázku



Obr. 2.2: Příklady hodnot součinitele odporu C

Pro případný popis modelu bude tedy vhodné zjistit jaké proudění je v modelu vytvářeno ventilátorem. Nejdříve je vhodné druhy proudění popsat :

1) **laminární** - proudění při malých rychlostech proudící tekutiny. Vrstvy tekutiny se po sobě pravidelně posouvají a obraz proudnic zůstává v čase stejný. Vektory rychlosti v jednotlivých vrstvách kapaliny jsou navzájem rovnoběžné

2) **turbulentní** - vzniká z proudění laminárního při zvětšení rychlosti proudící tekutiny. Proudnice se rozpadají a víří, tj. jejich obraz není v čase konstantní

Pro zjištění typu proudění v trubce bylo nutné navrhnout jednoduchý experiment, který by nám pomohl v jeho identifikaci. Jako vhodný se jevil pokus s kuličkami polystyrenu. Kuličky jsme nechali nasát zespoda ventilátorem a sledovali jejich pohyb. Výsledkem našeho pokusu je, že proudění se sice nejeví jako ideálně laminární, ale pro naše účely je ho možné za laminární považovat. Pro další popis budeme tedy považovat proudění v trubce za laminární a odporovou sílu považovat za lineárně závislou na rychlosti jako je to uvedeno ve vztahu (2).

V našem případě se ovšem nejedná o kulové těleso, ale o plastový kelímek a tudíž konstantu $6\pi\eta r$ nahradíme obecnou konstantou B. Tuto konstantu se pokusíme identifikovat při tvorbě modelu soustavy.

Jako poslední síla, která působí na těleso, je síla gravitační (4). Aby se těleso mohlo vznášet je nutné, aby rychlost proudění vzduchu byla dostatečně velká a síla působící na těleso byla větší než síla gravitační

$$F_g = mg \tag{4}$$

F_g ... *gravitační síla*
m ... *hmotnost tělesa*
g ... *gravitační zrychlení*

Máme-li tedy popsány všechny síly, které působí na těleso, můžeme se pokusit sestavit diferenciální rovnici, která popisuje vznášení tělesa v trubce (5). Rovnice byla rozšířena o konstantu K, která bere v úvahu tvar tělesa, jelikož se nejedná o jednoduchou vodorovnou plochu a tak by pouhý průřez S nestačil.

$$m\ddot{x} = pKS - B\dot{x} - mg \tag{5}$$

m ... *hmotnost tělesa*
x ... *poloha tělesa*
p ... *tlak*
S ... *průřez tělesa*
K ... *konstanta tvaru tělesa*
B ... *odporová konstanta*
g ... *gravitační zrychlení*

2.3 Stavový popis vznášení

V předchozí podkapitole jsem sestavili diferenciální rovnici modelu (5) a v této podkapitole se pokusím sestavit stavový popis a přenosovou funkci. Začneme tedy s úpravou diferenciální rovnice na soustavu stavových rovnic. Určíme stavy modelu. Pomůžeme si zavedením další proměnné, kterou bude rychlost tělesa v. Jednoduchou úpravou pak dostaneme soustavu stavových rovnic

$$\begin{aligned} \dot{v} &= p\frac{KS}{m} - \frac{B}{m}v - g \\ \dot{x} &= v \end{aligned} \tag{6}$$

Z takovéto soustavy je možné vytvořit stavový popis pomocí matic a vektorů. Tento popis vypadá takto

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{B}{m} & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ x \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{KS}{m} \\ 0 \end{bmatrix} p$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ x \end{bmatrix} \tag{7}$$

Výstupem je tedy poloha tělesa x a vstupem je pro zjednodušení tlak p . Později se pokusím najít vztah mezi napětím na ventilátoru a tlakem. V tomto kroku bude potřeba odvodit přenosovou funkci ventilátoru.

Ze stavového popisu je možné jednoduchým postupem vypočíst přenosovou funkci

$$G_T(s) = \frac{1}{K_s s(s + B_m)} \tag{8}$$

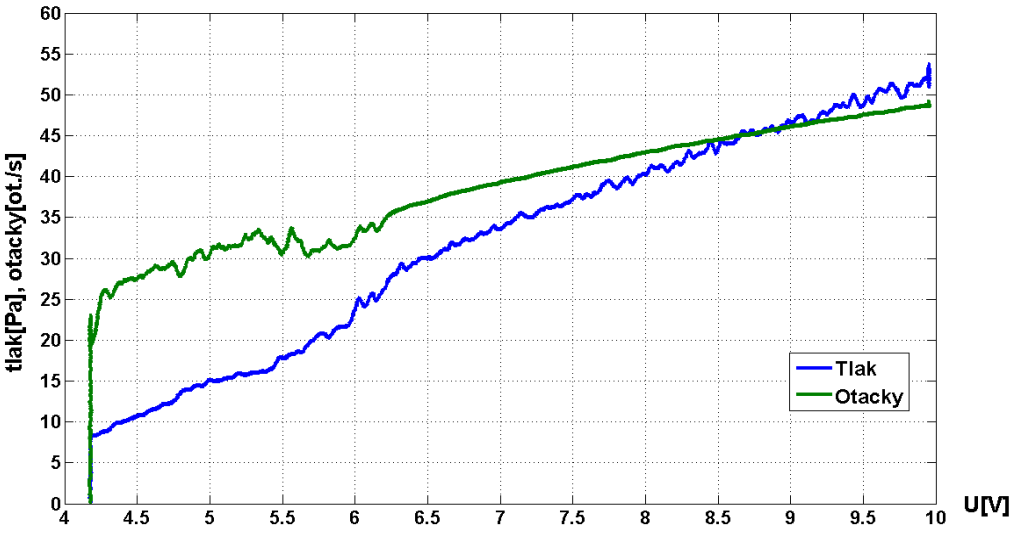
kde pro zjednodušení $K_s = \frac{KS}{m}$ a $B_m = \frac{B}{m}$. Jedná se tedy o astatický systém 2. řádu, tj. systém s integračním charakterem a setrvačností.

2.4 Zjištění celkového přenosu modelu

Dalším krokem je sestavení celkového přenosu modelu. Nejprve nalezneme takovou pracovní oblast, ve které bude pokud možno lineární model systému co nejvíce odpovídat skutečnému systému. Jako první se seznámíme se skutečným systémem a rozsahem jeho akční veličiny. Změříme nejprve statickou charakteristiku ventilátoru a zjistíme jeho vlastnosti. Veličiny, které nás především zajímají, jsou tlak v trubce a otáčky ventilátoru.

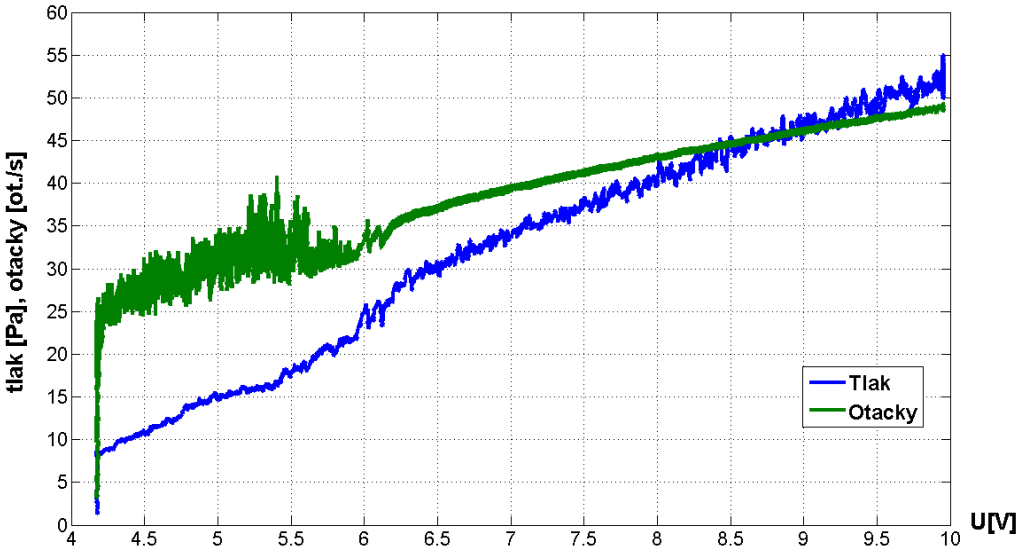
Nejdříve jsme statickou charakteristiku měřili v prázdné trubce bez překážky, kde nás zajímal především tlak. Ověřili jsme si, že tlak v celém rozsahu napětí zůstal přibližně konstantní a téměř stejný jako tlak atmosférický. Druhé měření jsme provedli se zábranou v trubce a zkoumali tak vlastnosti ventilátoru v plném zatížení. Z obrázku (Obr. 2.3) je patrné celkem široké mrtvé pásmo, kdy ventilátor se roztáčí teprve při hodnotách napětí okolo 4,2 V.

Na obrázku jsou vykresleny dva průběhy, jeden je pro tlak a druhý zobrazuje otáčky ventilátoru. Oba tyto průběhy jsou filtrovány pomocí Butterworthova filtru



Obr. 2.3: Filtrovaná statická charakteristika ventilátoru

2. řádu. Bez filtrace (Obr. 2.4) jsou signály značně zašuměné, toto má asi na svědomí vyhodnocovací elektronika v modelu. Pokud se podíváme na samotné průběhy, je možné jejich rozdělení na dvě části. První zajímavá část se nachází od hodnoty 4,2 V, kdy se ventilátor roztáčí, do hodnoty zhruba 6,3 V, kde dochází k jeho ustálení. Druhá oblast pak nachází v intervalu od 6,3 V do 10V. První oblast, kdy ventilátor pravděpodobně nefunguje v optimálních podmínkách jsou jeho otáčky nestabilní, což



Obr. 2.4: Statická charakteristika ventilátoru

má pravděpodobně špatný vliv na měření a tím i na řízení. Tato skutečnost je patrná především ze statické charakteristiky bez filtrování.

Tvrzení o špatné funkci ventilátoru zakládáme především na zkušenostech z pokusů a z pohledu na druhou oblast, kdy jsou otáčky o poznání stabilnější a jejich měření je čistější. V druhé oblasti jsou otáčky i tlak téměř lineárně závislé na napětí a tudíž se tato oblast jeví jako lepší pracovní oblast modelu. Nicméně při vysokých rychlostech roste hlučnost ventilátoru a tudíž by mohl při výuce rušit. Jsme tedy nuceni využít oblast první.

Ve stavovém popisu (7) jsme jako vstup použili tlak, měli bychom tedy najít nějaký vhodný vztah mezi tlakem a napětím a zkompletovat tak model. Ventilátor je stejnosměrný motor, najdeme tedy jeho diferenciální rovnici a sestavíme přenos. Tvar rovnice může být následující

$$\dot{\omega} = \frac{-b}{J}\dot{\varphi} + \frac{K_T}{RJ}u \tag{9}$$

ω ... *úhlová rychlost rotoru*
b ... *koeficient tření*
J ... *setrvačnost rotoru*
φ ... *úhel natočení rotoru*
K_T ... *konstanta motoru*
u ... *napětí*
R ... *odpor vinutí motoru*

Stavový popis, pak bude mít tvar

$$\begin{bmatrix}\dot{\omega}\\ \dot{\varphi}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-\frac{b}{J} & 0\\ 1 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\omega\\ \varphi\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\frac{K_T}{RJ}\\ 0\end{bmatrix}u$$

$$y=\begin{bmatrix}1 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\omega\\ \varphi\end{bmatrix} \tag{10}$$

Ze stavového popisu získáme přenos

$$G_v(s)=\frac{1}{K_v(J_b s+1)} \tag{11}$$

kde $K_v=\frac{K_T b}{R}$ a $J_b=\frac{J}{b}$.

Pokud nyní budeme chtít přenosy (8) a (11) spojit v jeden, stačí je jednoduše vynásobit a získáme tak celkový přenos, kde vstupem je napětí a výstupem poloha. Výsledný přenos vypadá takto

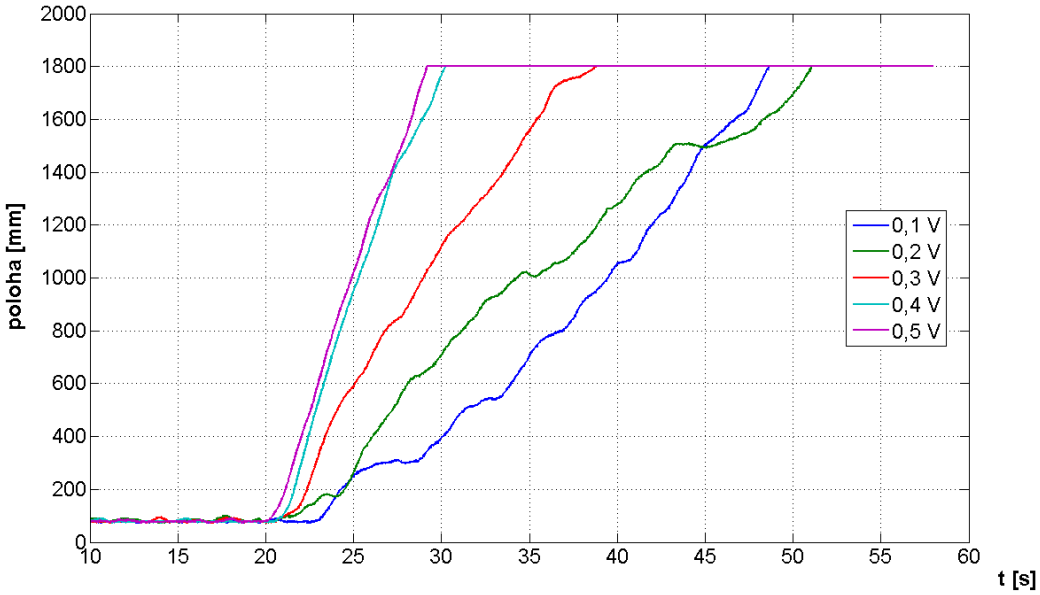
$$G(s)=G_v(s)\cdot G_T(s)=\frac{1}{K_v(J_b s+1)}\frac{1}{K_s s(s+B_m)}=\frac{1}{K_v K_s s(J_b s+1)(s+B_m)} \tag{12}$$

2.5 Identifikace modelu

Jedná se o systém 3. řádu s astatismem. Pro jednodušší identifikaci se pokusíme nalézt pracovní oblast, kterou budeme považovat za lineární. Jako střed této oblasti by měl být zvolen pracovní bod s takovým vstupním napětím, že součet sil působících na těleso je roven nule. To znamená především vyrovnání gravitační síly. Tohoto docílíme snadným pokusem. Začneme pomalu zvyšovat napětí a sledovat polohu tělesa. V okamžiku, kdy bude kelímek jevit snahu o vznesení se, nalezli jsme požadovaný bod. V našem případě tato situace nastává přibližně při U = 4,7V.

Toto napětí tedy zvolíme jako střed pracovní oblasti. Spodní omezení je dáno vlastnostmi ventilátoru a zvolíme jej tak, aby nedocházelo k jeho zastavování. Spodní se tedy nachází přibližně na hodnotě U = 4,2V. Z toho tedy pracovní oblast volíme U = 4,7 ± 0,5V.

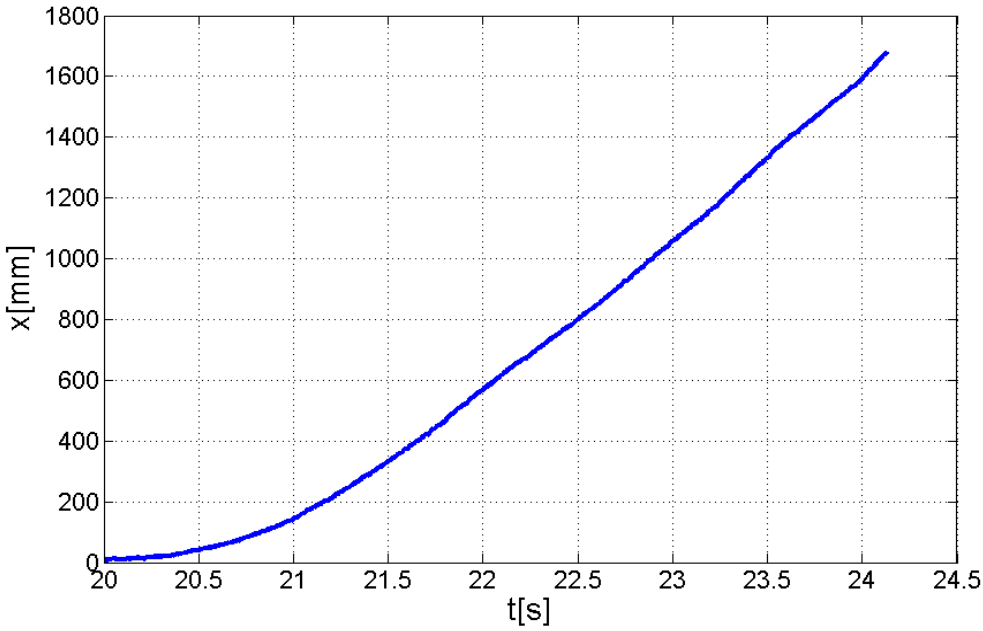
Nyní vyzkoušíme dynamiku systému. Pro různě velké skoky napětí z pracovního bodu změříme přechodové charakteristiky (Obr. 2.5). Určíme nejvhodnější přechodovou charakteristiku pro identifikaci.



Obr. 2.5: Přechodové charakteristiky pro různě velké skoky napětí

Pokud se podíváme na přechodové charakteristiky Obr. 2.5, vidíme , že pro zvolené skoky, jsou nejhladší charakteristiky pro 0,4 V a 0,5 V. Při skocích s menším napětím dochází k většímu ovlivňování polohy náklonem tělesa a kolísáním otáček ventilátoru. Pro identifikaci z přechodové charakteristiky tedy provedeme pro skok o velikosti 0,5 V. Získání parametrů tak bude snadnější, i když na druhou identifikovaný

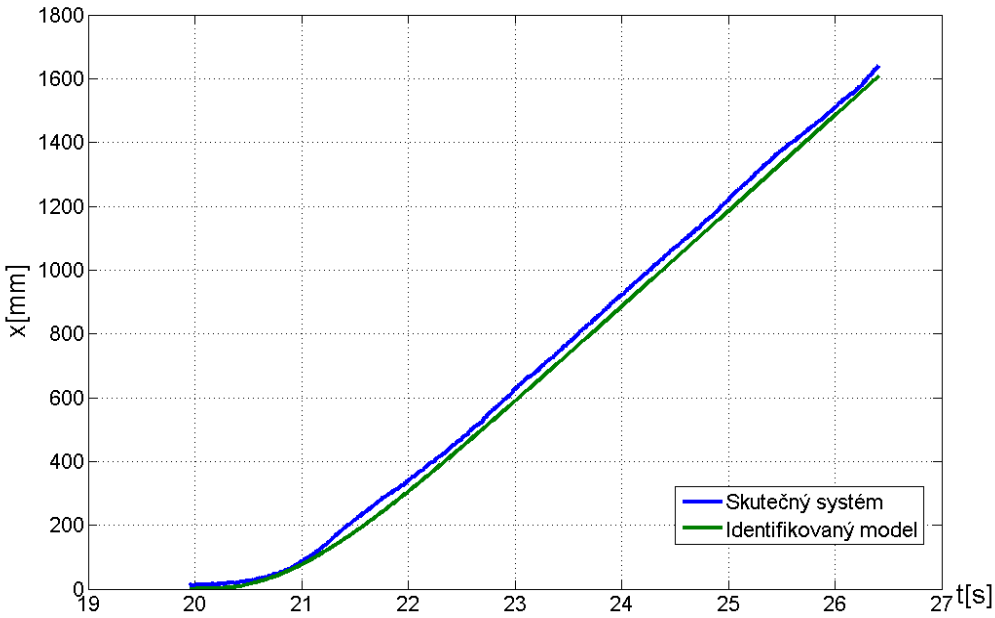
model bude pro malé skoky rychlejší než skutečný systém. Přechodová charakteristika (Obr. 2.6) je reakcí tělesa na skok napětí v čase t = 20s. Získáme potřebné konstanty a ověříme si, zda jsme v návrhu modelu v předchozích kapitolách neudělali chybu.



Obr. 2.6: Přechodová charakteristika z pracovního bodu

Výsledný vztah tvarem odpovídá celkovému přenosu (12).

$$G(s)=\frac{1}{0{,}0016667\,s\,(0{,}55\,s+1)^2} \tag{13}$$



Obr. 2.7: Ověření modelu

Přenos s identifikovanými parametry definuje vztah (13). Pro ověření správnosti parametrů otestujeme model se skutečným systémem (Obr. 2.7). Jak je vidět model se v tomto případě blíží skutečnému systému. Bude použit při návrhu PID regulátoru v další kapitole.

Tímto krokem jsme dokončili získávání informací o modelu potřebných pro řízení. Nyní se můžeme začít věnovat dalším prvkům modelu.

2.6 Souhrnná koncepce modelu

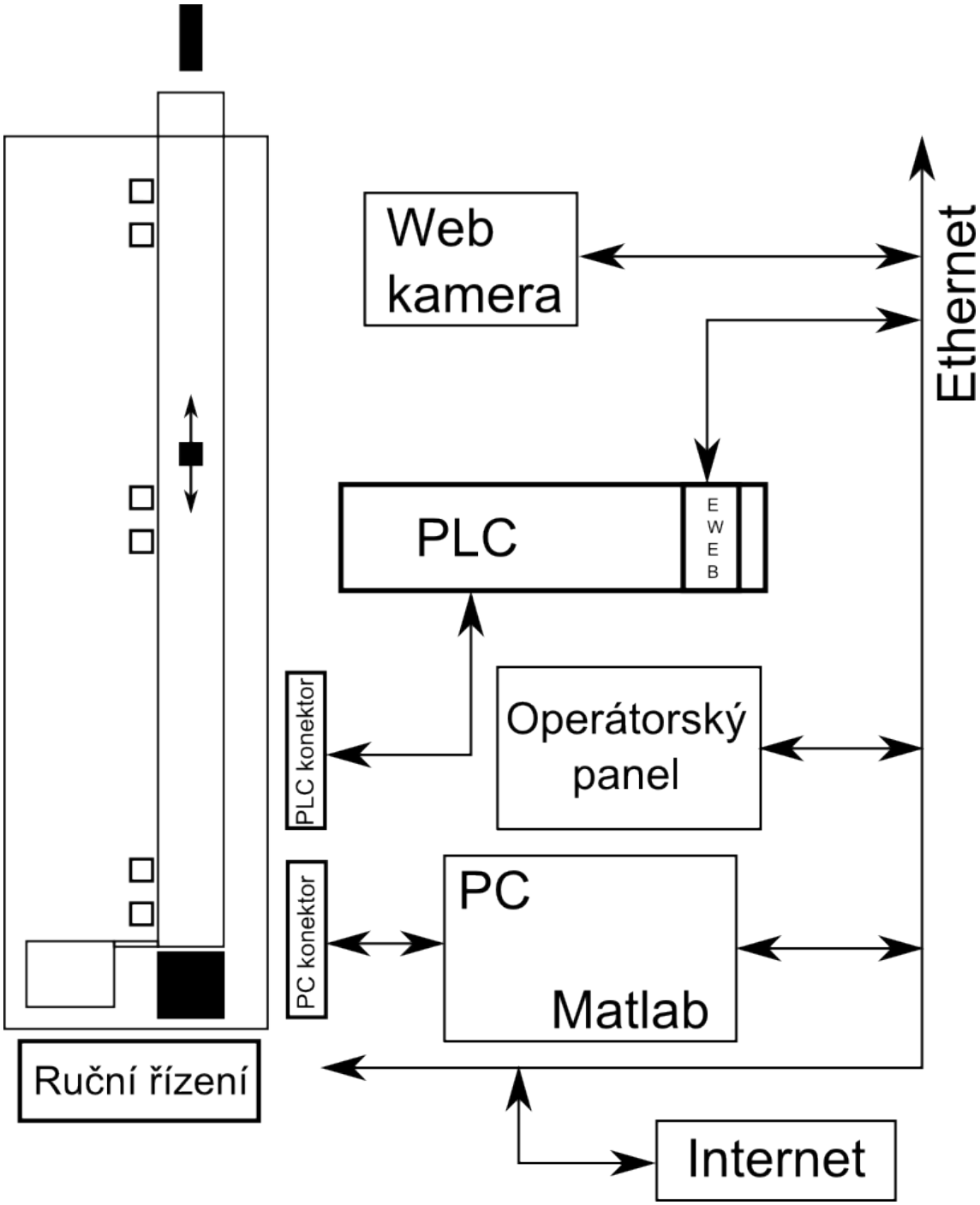
Nyní se zaměříme na celkový koncept modelu, z čeho se skládá a jaký druh propojení se nachází mezi jednotlivými komponentami. Zároveň se pokusím popsat tok dat a komunikaci.

Základem je samotná konstrukce modelu vznášení, která je osazena řídicí jednotkou a jednotkami pro úpravu signálů, které jsou dále určeny pro zpracování v řídicím algoritmu. Tyto jednotky jsou mezi sebou propojeny jednoduchými signálovými vodiči. Dále jsou na modelu namontovány moduly vzdálených vstupů a výstupů.

Ty jsou propojeny prostřednictvím portu pro připojení PLC a samotná komunikace je vedena přes rozhraní RIO do komunikační karty v šasi PLC. Takto je možné k informacím o modelu přistupovat jako ke vstupům a výstupům automatu.

Dalším portem, kde je možné získat informace o modelu, je PC rozhraní. Jedná se o signálové vodiče, které jsou vyvedeny na konektor umístěný na modelu. Prodlužovacím kabelem je pak možné tyto signály přivézt na měřicí kartu, která je umístěna v PC a slouží především pro prostředí programu Matlab. Pomocí Matlabu je možné získávat důležitá data o modelu a model řídit, ale o tom více v pozdějších kapitolách.

Nyní jsem popsal prvky, které se starají o získání dat a řízení. Následující prvky slouží pro komunikaci s okolím a vizualizaci.



Obr. 2.8: Celková koncepce modelu

Jako základní zařízení sloužící primárně pro vizualizaci je operátorský panel VersaView. Ten je umístěn přímo u modelu. Komunikuje pomocí rozhraní Ethernet s PLC, odkud získává informace o modelu. Informace mu zprostředkovává modul EWEB, který je umístěn v šasi a umožňuje PLC komunikaci po Ethernetu. Modul EWEB nabízí i jiné funkce, které v této práci využijeme, mimo jiné webový server. Podrobněji se o funkcích tohoto modulu zmíním v následujících kapitolách.

Posledním prvkem, který je součástí modelu, je webová kamera. Celková koncepce systému je vyobrazena na obrázku (Obr. 2.8), kde je zakresleno i základní lokální ovládání modelu pomocí potenciometru. Pomocí těchto prvků je možné model řídit a sledovat informace o něm.

Model je možné řídit třemi způsoby. Ručně pomocí ovládacího panelu, který je umístěn přímo na modelu. Dalším režimem je PLC, v tomto režimu probíhá i řízení přes webový modul. Poslední možností je režim PC. Tento režim slouží pro měření a řízení z Matlabu a budeme jej využívat především při získávání přesných informací o modelu.

3 Hardwarové prvky modelu

Tato kapitola se zabývá popisem všech hardwarových prvků, které jsou součástí modelu a souvisí s jeho řízením a monitorováním.

3.1 Operátorský panel VersaView

Operátorský panel VersaView 1000H firmy Rockwell Automation není klasickým panelem jako například PanelView Plus, ale je to průmyslové PC s operačním systémem Windows CE umístěné v panelu. Na tomto PC je možné spouštět RSView ME runtime, prohlížet dokumenty ve formátu pdf, prohlížet internet a spouštět další aplikace. VersaView může být vybaven různými komunikačními rozhraními. Ovládání je možné přes dotykovou obrazovku, ale i přes hardwarovou klávesnici, která je umístěna na panelu. Podrobněji se s tímto panelem seznámíme v kapitole věnované vytváření vizualizace.

3.2 Webový modul EWEB - 1756

Jedná se o modul do šasi řady ControlLogix. Tento modul je možné vložit do libovolného místa v šasi a slouží pro komunikaci pomocí Ethernetu a jako webový server se základními službami, jako je emailové upozorňování na stav systému, hostování webových stránek a zápis a čtení proměnných z automatu.

Obr. 3.1: Modul 1756 - EWEB

Více o tomto modulu se dozvíte v kapitole věnované tvorbě webu pro řízení modelu. Ukážeme si, jak lze zapisovat a číst data z PLC a jak provést vzdáleně pomocí internetového prohlížeče základní nastavení parametrů modulu.

3.3 Řídicí a měřicí prvky modelu vznášení

3.3.1 Akční člen

Akčním členem, jak už bylo zmíněno dříve, je ventilátor (Obr. 3.2). Zde byl použit ventilátor od firmy SUNON typ KD1212PMBX-6A. Přesněji je to stejnosměrný bezkomutátorový motor. Ložiska jsou kuličková z důvodu vetší životnosti ventilátoru. Jmenovité otáčky jsou 3150 ± 250 ot./min. při napětí 12 V. Proudový odběr se pohybuje okolo 560 mA a příkon okolo 6,7 W.

Obr. 3.2: Ventilátor

Důležitým údajem pro řízení je i maximální tlak, který ventilátor vyvine. U tohoto typu výrobce uvádí 0,34 Inch-H_2O, což je přibližně 84,7 Pa. Hlučnost při volném průtoku vzduchu se pohybuje okolo 46,5 dB. Rozměr ventilátoru je 120x120x38mm. Ventilátor je také vybavený halovou sondou, která je použita pro snímání jeho otáček.

3.3.2 Laserový senzor s dlouhým měřicím rozsahem

Použitý senzor (Obr. 3.3) měří pomocí laserového paprsku vzdálenost tělesa.

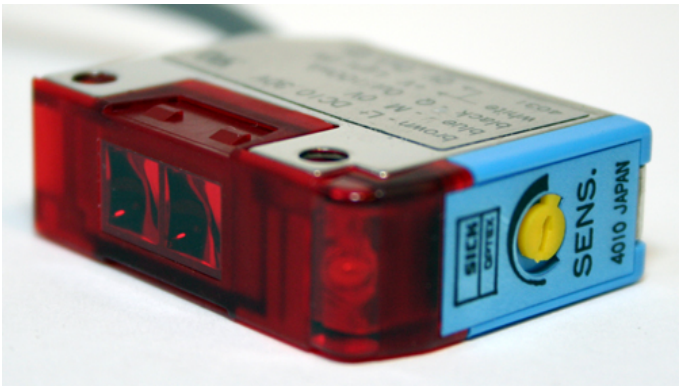
Obr. 3.3: Laserový senzor pro měření polohy

Výrobcem je BANNER a jde o typ LT3PU. Měřicí rozsah je pro bílé těleso 0,3 m až 5 m. Pro šedá tělesa je tato vzdálenost zkrácena na 3 m a pro černá na 2 m. Napájecí napětí se pohybuje v rozsahu 12 až 24 V. Senzor převádí získanou hodnotu na dva výstupy. První výstup je dvouhodnotový a druhý analogový. Analogový výstup umožňuje nastavení rozsahu na 0 až 10 V. Nastavení měřicího rozsahu se provádí pomocí funkce „TEACH“, kdy se aktuální měřené vzdálenosti přiřadí hodnota 10 V. Měření vzdálenosti probíhá na základě rozdílu času mezi vysílaným a přijímaným paprskem.

Senzor využívá k práci laser třídy 2, což znamená možné ohrožení zraku. V žádném případě tedy do paprsku nesmíme přímo koukat. Umístění senzoru na modelu by mělo riziku náhodného pohledu do paprsku zamezit.

3.3.3 Optické čidlo přiblížení

Toto čidlo (Obr. 3.4) slouží pro vyhodnocení přiblížení dvou objektů. V našem případě senzoru a tělesa v trubce.



Obr. 3.4: Optický senzor přiblížení

Výrobcem je firma SICK a typ čidla je WT170-N112. Čidlo detekuje objekty ve vzdálenosti 10 až 100 mm. Pro svou funkci využívá červené světlo, jehož zdrojem je LED, to je bezpečné a zraku neškodné. Napájecí napětí může být v rozsahu 10 až 30 V a výstup je dvouhodnotový.

Čidlo je na modelu namontováno na 3 místech vždy v párech. Vznikají tím jakási „patra“, kdy pár určuje jeho spodní a horní hranici. Přibližné umístění je znázorněno na obrázku (Obr. 2.1).

3.3.4 Diferenční snímač tlaku

Snímání tlaku se ukázalo jako důležitý prvek modelu. Byl vybrán snímač typu DPS od firmy BD Sensors.

Obr. 3.5: Diferenční snímač tlaku

Na zařízení jsou umístěny dva vstupy, můžeme tedy měřit rozdíl tlaků. V našem případě měříme rozdíl tlaku v trubce pod tělesem a tlaku atmosférického. Snímač je vybaven také displejem, na kterém se zobrazuje aktuální měřený tlak. Rozsah byl nastaven na 0 až 100 Pa. Výstupem je opět normovaný napěťový rozsah 0 až 10 V. Snímání polohy membrány je bezkontaktní a je založeno na induktivním principu.

3.4 Webová kamera

Pro možnost sledování modelu přes internet byla do laboratoře nainstalována webová kamera. Výrobcem je AXIS a typ je označen 2100. Tato webová kamera je schopna samostatné činnosti i bez PC.

Obr. 3.6: Webová kamera

V kameře je implementován webový server a pomocí internetového prohlížeče je možná její konfigurace. Obraz z kamery je do vytvořených stránek jednoduše implementovatelný. Využít lze technologií ActiveX a JAVA. V této práci je využita JAVA z důvodu lepší kompatibility webových prohlížečů.

3.5 Napájení modelu

Jako zdroj napětí pro model byl zvolen zdroj LWR 1601- 6 od firmy Power-One. Model je napájen ze sítě 230 V a výstupem je stejnosměrných 24 V. Maximální výstupní proud je 5A. Výstupní výkon postačuje jak pro napájení modelu, tak i pro napájení panelu VersaView.

3.6 Řídicí systém ControlLogix

Jako řídicí systém byl zvolen PLC řady ControlLogix, který nahrazuje zastaralý systém PLC-5. Jak takový systém vypadá je patrné na fotografii

Obr. 3.7: ControlLogix

Jedná se o moderní modulární systém, který na trh dodává jeden z předních výrobců řídicích systémů pro automatizaci firma Rockwell Automation. Základem je takzvané šasi, jehož součástí je zdroj napětí. Zdroj je na obrázku (Obr. 3.7) vlevo pod krytem. Do šasi je možné vsouvat široké spektrum různých modulů a každý řídicí systém tak nakonfigurovat dle individuálních požadavků. Základním prvkem všech konfigurací je modul procesoru. Procesorů je celá řada, ale jejich základní funkce je vždy stejná. Slouží k výpočtu a provádění řídicího algoritmu, který do něj lze nahrát přes různá rozhraní.

Moduly bychom mohli rozdělit do tří velkých skupin. Jako první skupina jsou vstupy a výstupy. Tyto moduly jsou základním kamenem každého řídicího systému. Slouží především ke zjišťování informací o zařízení a ovládání akčních členů. Další skupinou jsou komunikační moduly. Jak napovídá název slouží především ke komunikaci a to například s decentrálními vstupy a výstupy, jinými řídicími systémy, nebo s nadřazeným systémem. Komunikační rozhraní mohou být Ethernet, ControlNet, DeviceNet a jiné. Jako poslední skupinu bych uvedl moduly speciální, zde bych zařadil například čítače a jiné moduly sloužící k práci s enkodéry, moduly zajišťující redundanci nebo v této práci použitý modul s web serverem.

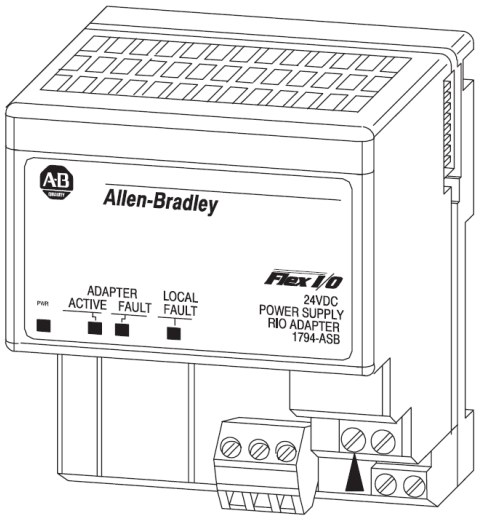
3.7 Vzdálené vstupy a výstupy FLEX I/O

Informace o modelu je nutné zpracovávat i v PLC. Pro tento účel je na modelu namontován modulární systém vzdálených vstupů a výstupů FLEX I/O. Tento malý systém, který se montuje na DIN lištu, se skládá z komunikačního modulu a dalších modulů vstupů, výstupů a jiných modulů se speciální funkcí. Komunikační modul je základním prvkem všech FLEX I/O systémů, protože slouží pro komunikaci s nadřazeným systémem. Komunikační rozhraní může být různé v závislosti na zvoleném komunikačním modulu. Mezi sběrnice, které jsou podporovány patří ControlNet, DeviceNet, Remote I/O a Profibus. Na tomto modelu komunikuje modul pomocí sítě Remote I/O.

Konkretní moduly, které jsou použity na modelu jsou:

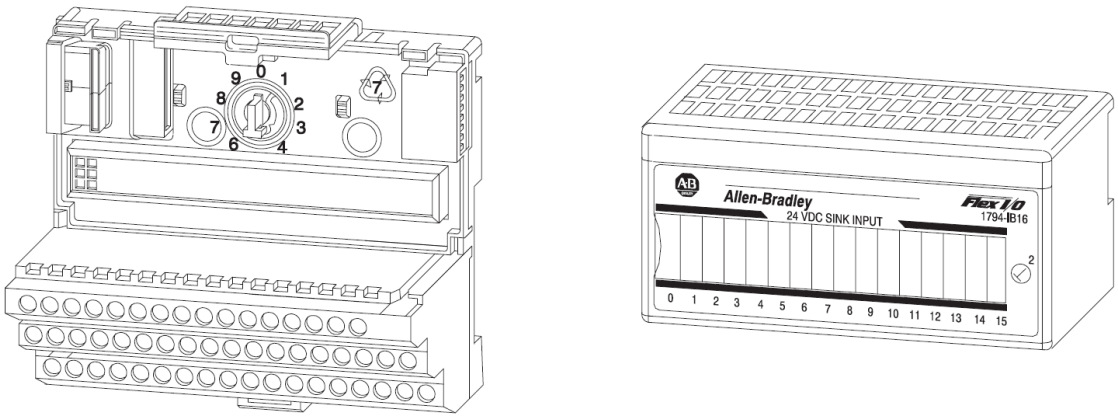
- **1794 - ASB** Modul slouží ke komunikaci s jiným komunikačním procesorem a to protokolem RIO. Umožňuje diagnostiku pomocí LED, které jsou umístěny na modulu. Napájecí napětí má hodnotu 24 V. Na modulu se nachází přepínače pro nastavení komunikační rychlosti a počtu modulů na sběrnici Flexbus, která

slouží pro komunikaci mezi moduly. Konektor Flexbusu je umístěn na boku modulu.



Obr. 3.8: Modul 1794-ASB

- **1794 - IB16** Modul 16 digitálních vstupů. Logická „1“ na vstupu je reprezentována 24 V DC.
- **1794 - OB16** Modul 16 digitálních výstupů. Pokud je výstup ve stavu logická „1“, na výstupu se nachází 24 V DC.
- **1794 - IE4XOE2** Poslední modul, který se nachází na modelu. Kombinovaný modul, který obsahuje 4 analogové vstupy a 2 analogové výstupy. Vstupy a výstupy mohou být napěťové i proudové. Napěťové rozsahy jsou -10 V až 10 V a 0 až 10 V a proudové 0 až 20 mA a 4 až 20 mA.



Obr. 3.9: Svorkovnice a modul systému FLEX I/O

Moduly jsou složeny ze dvou částí. Svorkovnice a samotného modulu (Obr. 3.9).

3.8 Řídicí a vyhodnocovací elektronika

V rámci diplomové práce, která se zabývala stavbou modelu vznášení, byly navrženy obvody pro řízení a měření. Podrobněji se můžete s jejich návrhem a funkcí seznámit v [4]. Zde uvedu pouze stručný popis.

3.8.1 Řídicí jednotka

Tato jednotka slouží k základnímu ovládání modelu. Obsluhuje přepínání režimů řízení modelu. Zpracovává vstupní a výstupní signály.

3.8.2 Zesilovač

Zesilovač slouží k úpravě řídicího signálu 0 až 10V na požadovaných 0 až12 V a hlídá další parametry ventilátoru.

3.8.3 Měření otáček ventilátoru

Obvod vyhodnocuje signály z Hallovy sondy, která je umístěna ve ventilátoru. Tyto signály převádí na napětí v rozsahu 0 až 10 V.

3.9 Rozhraní modelu a adresace vstupů a výstupů

Na modelu jsou k dispozici 2 konektory pro připojeni PC a PLC. Jedná se o konektory CANON 26. Na tyto konektory jsou přivedeny signály z řídicí jednotky a z FLEX modulů a to včetně sběrnice RIO.

3.9.1 Zapojení svorkovnice modulu 1794 – OB16

Připojení signálů na modul digitálních výstupů popisuje tabulka (1).

Svorka	Popis
0	Přepnutí řízení do režimu PLC
1	Ovládání osvětlení modelu
2	Aktivace funkce TEACH na laserového čidla

Tabulka 1: Zapojení svorkovnice modulu 1794-OB16

3.9.2 Zapojení svorkovnice modulu 1794 – IB16

Připojení signálů na modul digitálních vstupů popisuje tabulka (2).

Svorka	Popis
1	Optický senzor přiblížení č. 1
2	Optický senzor přiblížení č. 2
3	Optický senzor přiblížení č. 3
4	Optický senzor přiblížení č. 4
5	Optický senzor přiblížení č. 5
6	Optický senzor přiblížení č. 6
7	Laser – dvouhodnotový výstup
8	Řízení v režimu PLC
9	Řízení v režimu PC
10	Řízení v ručním režimu
11	Stav osvětlení modelu

Tabulka 2: Zapojení svorkovnice modulu 1794 - IB16

3.9.3 Zapojení svorkovnice modulu 1794 – IE4XOE2

Připojení signálů na modul analogových výstupů a vstupů popisuje tabulka (3).

Svorka	Popis
1	Laser – měření vzdálenosti
3	Měření otáček ventilátoru
5	Měření tlaku
7	Měření napětí na ventilátoru
10	Nastavení napětí na ventilátoru

Tabulka 3: Zapojení svorkovnice modulu 1794 - IE4XOE2

3.9.4 Zapojení konektoru pro připojení k PC

Tento konektor slouží k připojení PC s měřicí kartou pro Matlab. Zapojení je uvedeno v tabulce (4).

Pin	Popis	Typ	Vstup/Výstup
1	Napětí 5 V		
2	Přepnutí režimu řízení na PC	Digitální	Výstup
3	Ovládání světla	Digitální	Výstup
4	Nastavení otáček ventilátoru	Analogový	Výstup
5	Napětí na ventilátoru	Analogový	Vstup
6	Stav osvětlení	Digitální	Vstup
7	Indikace režimu řízení PLC	Digitální	Vstup
8	Indikace režimu řízení PC	Digitální	Vstup
9	Indikace ručního režimu řízení	Digitální	Vstup
10	Optický senzor přiblížení č. 1	Digitální	Vstup
11	Optický senzor přiblížení č. 2	Digitální	Vstup
12	Optický senzor přiblížení č. 3	Digitální	Vstup
13	Optický senzor přiblížení č. 4	Digitální	Vstup
14	Optický senzor přiblížení č. 5	Digitální	Vstup
15	Optický senzor přiblížení č. 6	Digitální	Vstup
16	Volný		
17	Měření otáček ventilátoru	Analogový	Vstup
18	Měření tlaku	Analogový	Vstup
19	Laserového čidlo – měření polohy	Analogový	Vstup
20	Volný		
21	Volný		
22	Volný		
23	Volný		
24	Volný		
25	Volný		
26	GND		

Tabulka 4: Zapojení konektoru pro připojení k PC

3.9.5 Zapojení konektoru pro připojení k PLC

Tento konektor slouží pro připojení signálů k PLC. Je zde vyvedena i sběrnice RIO. Zapojení popisuje tabulka (5).

Pin	Popis	Typ	Vstup/Výstup
1	Napětí ze zdroje modelu – 24 V		
2	Přepnutí na režim řízení z PLC	Digitální	Výstup(*)
3	Ovládání světla	Digitální	Výstup(*)
4	Nastavení otáček ventilátoru	Analogový	Výstup(*)
5	Napětí na ventilátoru (0 až 10 V)	Analogový	Vstup
6	Stav osvětlení	Digitální	Vstup
7	Indikace režimu řízení PLC	Digitální	Vstup
8	Indikace režimu řízení PC	Digitální	Vstup
9	Indikace ručního režimu řízení	Digitální	Vstup
10	Optický senzor přiblížení č. 1	Digitální	Vstup
11	Optický senzor přiblížení č. 2	Digitální	Vstup
12	Optický senzor přiblížení č. 3	Digitální	Vstup
13	Optický senzor přiblížení č. 4	Digitální	Vstup
14	Optický senzor přiblížení č. 5	Digitální	Vstup
15	Optický senzor přiblížení č. 6	Digitální	Vstup
16	Stop tlačítko		
17	Měření otáček ventilátoru	Analogový	Vstup
18	Měření tlaku	Analogový	Vstup
19	Laserové čidlo – měření polohy	Analogový	Vstup
20	Laserové čidlo – dvouhodnotový výstup	Digitální	Vstup
21	Laserové čidlo - TEACH	Digitální	Výstup(*)
22	Volný		
23	RIO		
24	RIO		
25	RIO		
26	GND		

Tabulka 5: Zapojení konektoru pro připojení k PLC

(*) - Tyto piny nejsou fyzicky zapojeny, jsou pouze rezervovány. Hodnoty jsou přístupné přes FLEX I/O moduly.

4 Řízení modelu

Řízení modelu je možné třemi způsoby:

a) Ručně pomocí ovládacího panelu, který je umístěn na modelu
b) Pomocí PLC
c) Přes měřicí kartu v PC a programu Matlab

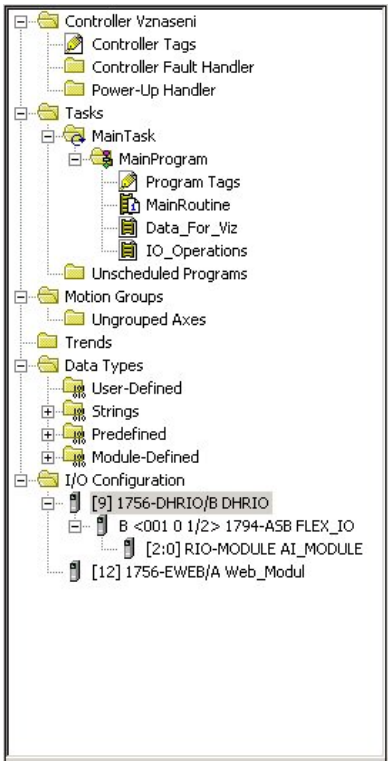
V této kapitole si tyto způsoby popíšeme.

4.1 Řízení pomocí PLC

Jako PLC je zde použit automat řady ControlLogix od Rockwell Automation. Popíšeme si hardwarovou konfiguraci a důležité části programu. Programování a konfigurace se provádí v programu RSLogix 5000.

4.1.1 Hardwarová konfigurace

Popíšeme si z jakých prvků je složen řídicí systém a jaké parametry případně zvolit při jejich konfiguraci. Vkládaní nových modulů a jejich konfigurace se provádí v levé části prostředí RSLogix 5000 (Obr. 4.1).



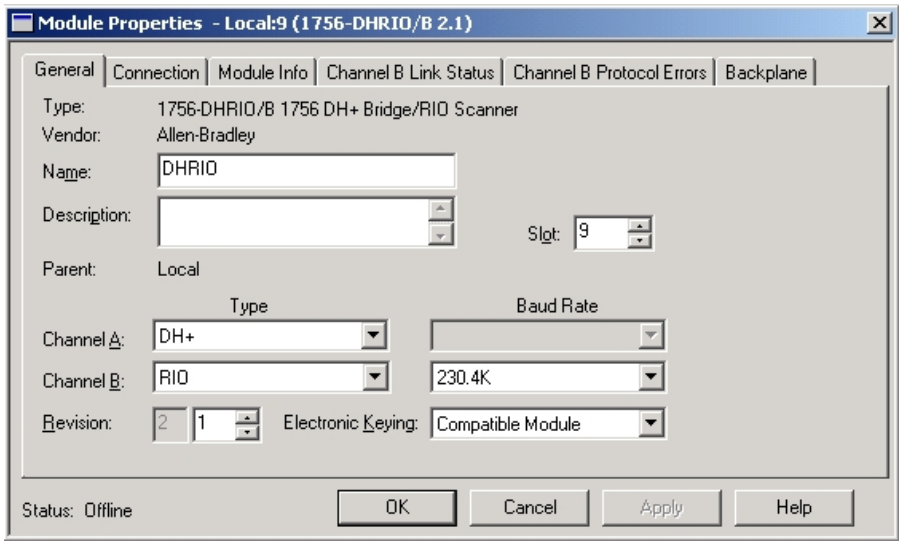
Obr. 4.1: Hardwarová konfigurace PLC

Systém je složen z následujících komponent:

- **Procesor 1756 – L1** – Základní prvek, který se stará o zpracování programu. Příslušný procesor se vybírá při vytváření projektu a není v konfiguraci vidět.
- **Komunikační modul 1756 – DHRIO/B** – Modul sloužící ke komunikaci pomocí sběrnice RIO. Zde je využit pro komunikaci s FLEX I/O moduly na modelu.
- **Komunikační modul 1794 – ASB** – Modul pro komunikaci popsaný již v kapitole 3.7.
- **Webový modul 1756 – EWEB/A** – Modul podporující komunikaci pomocí protokolu TCP/IP. Obsahuje webový server.

Nastavení modulu 1756 - DHRIO/B

Nastavení modulu zobrazuje obrázek (Obr. 4.2).



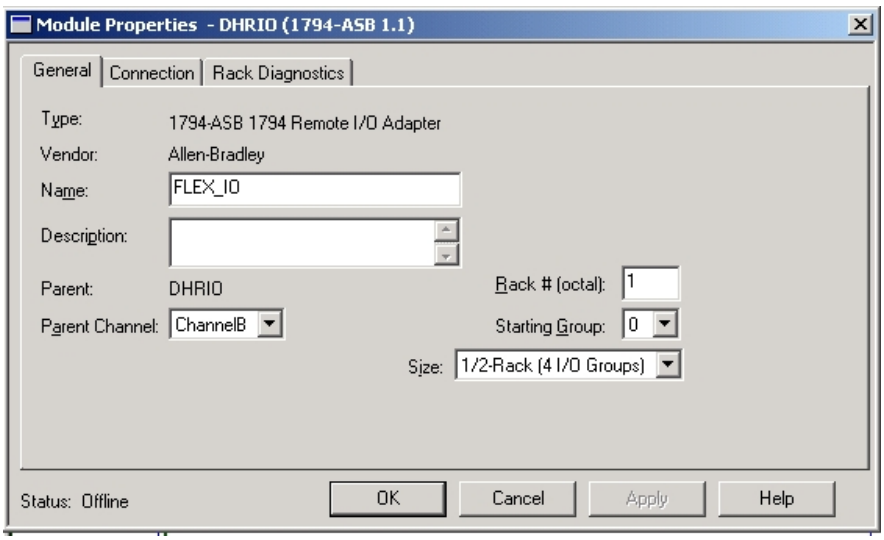
Obr. 4.2: Konfigurace modulu 1756 - DHRIO/B

Parametry pro nastavení modulu jsou :

- Slot : Umístění modulu v šasi. Číslování se provádí od 0. To znamená, že v šasi o 13 slotech jsou sloty označeny 0 až 12.
- Type : Nastavení funkce kanálů karty. V našem případě jsou na kanále B připojeny FLEX I/O moduly. Rychlost komunikace musí být shodná s nastavením na modulu 1794 – ASB.
- Revision : Verze firmwaru modulu.

Nastavení komunikace s modulem 1794 – ASB

Karta pro nastavení modulu zobrazuje obrázek (Obr. 4.3). Nastavení tohoto modulu v RSLogix 5000 musí odpovídat nastavení přepínačů na modulu. Modul si po odpojení napájení nepamatuje konfiguraci, ale získává ji z přepínačů a z poslaných dat.



Obr. 4.3: Konfigurace modulu 1794 - ASB

Parametry pro nastavení modulu jsou :

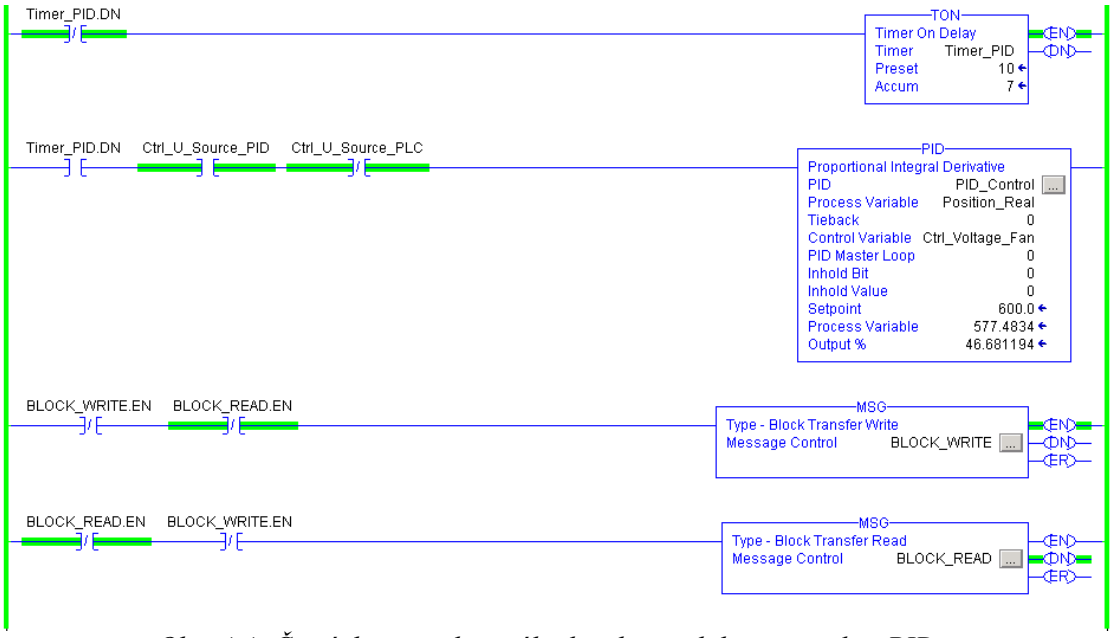
- Starting Group : I/O Group je adresovací prvek, který může obsahovat až 16 vstupů nebo výstupů. Starting Group je první prvek obrazu, který odpovídá složení modulů za komunikačním modulem. Nastavujeme na 0, protože chceme číst data od nulté I/O Group.
- Rack : Virtuální parametr, který jednoznačně definuje sadu modulů. Jeden Rack může obsahovat maximálně 8 prvků I/O Group a za jedním komunikačním modulem mohou být definovány maximálně 2 virtuální Racky.
- Size : Tímto parametrem volíme velikost Racku. Možnosti jsou 2, 4, 6 a 8 I/O Group. Velikost by měla odpovídat počtu modulů.

Slot	Modul	Popis
0	1794 - OB16	16 digitálních výstupů 24 VDC
1	1794 - IB16	16 digitálních vstupů 24 VDC
2	1794 - IE4XOE2	4 analogové vstupy a 2 výstupy 24 VDC

Tabulka 6: Konfigurace FLEX I/O

4.1.2 Základní instrukce programu

Moduly digitálních vstupů a výstupů se automaticky namapují do proměných v automatu a následně je možné s nimi začít pracovat. Informace z analogových modulů získáváme pomocí instrukcí Message (MSG) typů Block Transfer Write a Block Transfer Read (Obr. 4.4). Instrukce slouží k přenosu bloku (pole) proměnných.



Obr. 4.4: Čtení dat z analogového kombo modulu a instrukce PID

V instrukcích je nutné správně nastavit parametry z hardwarové konfigurace modulu 1794 – ASB. Důležité jsou především parametry Rack, I/O Group kombo modulu a délka přenášených dat. Z manuálu k modulu se dozvíme, že zapisujeme blok o délce 8 DINT a čteme blok o délce 5 DINT. Podrobnější informace o struktuře bloků se dozvíte v manuálu [15].

Hodnoty, které získáváme z modulu jsou celočíselné a je nutné převést je na požadované jednotky. Převody zobrazuje následující tabulka

Veličina	Konstanta pro převod	Jednotky po převodu
Poloha tělesa	1/16,38	mm
Tlak	1/327,67	Pa
Otáčky ventilátoru	5,33/(3276,7 + 1,53)	otáčky/s
Napětí na ventilátoru	1/3276,7	V
Napětí na ventilátor	3276,7	-

Tabulka 7: Převod jednotek z analogového modulu

První čtyři veličiny čteme z analogových vstupů a převádíme celočíselné hodnoty na hodnoty typu REAL (proměnná s desetinou čárkou). Poslední veličinou je napětí, které chceme nastavit na ventilátoru. Zde naopak proměnnou REAL převádíme na celočíselnou hodnotu a tu zapisujeme na analogový výstup.

Na obrázku (Obr. 4.4) je také zobrazena instrukce PID. Tato instrukce vykonává funkci PID regulátoru. Instrukce obsahuje řadu parametrů mimo jiné i konstanty P, I a D, které je možné libovolně nastavit.

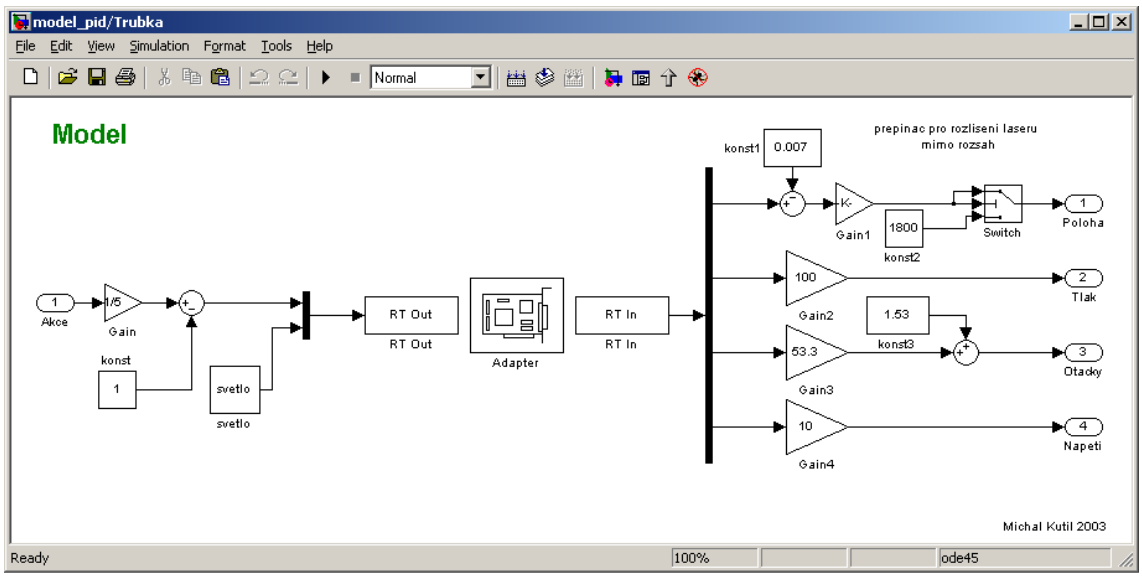
4.2 Řízení pomocí PC

K PC je model připojen pomocí měřicí karty PCI-1711 od firmy Advantech. Karta je vybavena 16 analogovými vstupy, 2 analogovými výstupy, 16 digitálními výstupy a 16 digitálními vstupy. Informace z měřicí karty je možné zpracovat pomocí programu Matlab, přesněji jeho simulačního nástroje Simulink a RealTime Toolboxu. Signály v Simulinku jsou svázány s měřicí kartou následovně (Tabulka 8).

Číslo kanálu v Simulinku	Popis	Označení na svorkovnici měřicí karty
3	Přepnutí režimu řízení na PC	DO 0
4	Ovládání světla	DO 1
1	Nastavení napětí na ventilátoru	AO 0
18	Optický senzor přiblížení č.1	DI 1
19	Optický senzor přiblížení č.2	DI 2
20	Optický senzor přiblížení č.3	DI 3
21	Optický senzor přiblížení č.4	DI 4
22	Optický senzor přiblížení č.5	DI 5
23	Optický senzor přiblížení č.6	DI 6
11	Laserové čidlo - poloha	AI 10
12	Tlak	AI 11
13	Otáčky ventilátoru	AI 12
14	Napětí na ventilátoru	AI 13

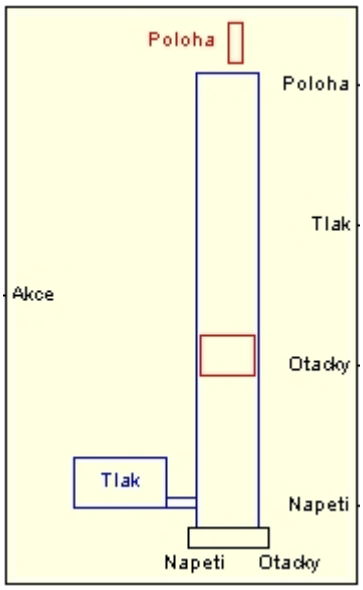
Tabulka 8: Propojení signálů v Simulinku s měřicí kartou

Tyto signály jsou zapouzdřeny do bloku, který reprezentuje model. Tento blok byl navržen a sestaven v rámci diplomové práce zabývající se stavbou modelu [4]. Jeho strukturu zobrazuje obrázek (Obr. 4.5).



Obr. 4.5: Simulinkový blok reprezentující model

Vstupem tohoto navrženého bloku je hodnota 0 až 10, která odpovídá nastavení napětí na ventilátoru. Výstupem bloku jsou pak upravené hodnoty polohy, tlaku, otáček a napětí na ventilátoru. Vytvořený blok v Simulinku vypadá takto



Obr. 4.6: Blok modelu v Simulinku

S modelem v Simulinku je možné pracovat jako se standardním blokem. To znamená, že je možné ho zapojit do simulací a informace z něho zpracovávat, tak jako z jiných objektů.

Model je tedy možné řídit pomocí PID regulátoru z PLC nebo z PC. V Simulinku je možné implementovat i jiné typy regulátorů.

5 Vizualizace pro operátorský panel

Operátorský panel VersaView 1000H od firmy Rockwell Automation umožňuje spouštění ME Runtime aplikací. Jedná se o vizualizační aplikaci, kterou je možné vytvářet pomocí programu RSView ME. ME znamená Machine Edition. Tyto aplikace jsou primárně určeny pro vizualizaci strojů nebo jiných nepříliš rozsáhlých zařízení.

5.1 Panel VersaView® CE 1000H

Jak už bylo řečeno dříve panel VersaView 1000H není klasickým operátorským panelem, ale kombinuje vlastnosti operátorských panelů PanelView Plus a průmyslových PC VersaView. K panelu byl také zhotoven stojan, který umožňuje libovolný náklon obrazovky.

Obr. 5.1: Pohled na panel VersaView CE 1000H

Díky operačnímu systému Windows CE, který vytváří širší aplikační využití, je na panelu možné využívat následující funkce:

- Spouštění RSView Machine Edition runtime.
- Prohlížení pdf dokumentů pomocí Adobe Acrobat PDF vieweru.
- Prohlížení dokumentů vytvořených aplikacemi MS Excel a MS Word.
- Sledování videa ve formátu MPEG.
- K vytváření jednoduchých dokumentů poslouží MS Word Pad.
- Internetový prohlížeč Internet Explorer.
- FTP server pro vzdálené posílání a přijímání souborů.
- Software Development Kit (SDK) pro vytváření aplikací pomocí jazyků Visual Basic a C++.

Technické parametry:

- Dotykový displej o velikosti 10,4 palců a rozlišení 640x480 bodů
- Sériový port, 2 x USB port a 10/100 Mb/s Ethernet port
- Procesor Intel Celeron 650 Mhz
- Možnost rozšíření o komunikaci přes rozhraní ControlNet a DH+/DH485/RIO

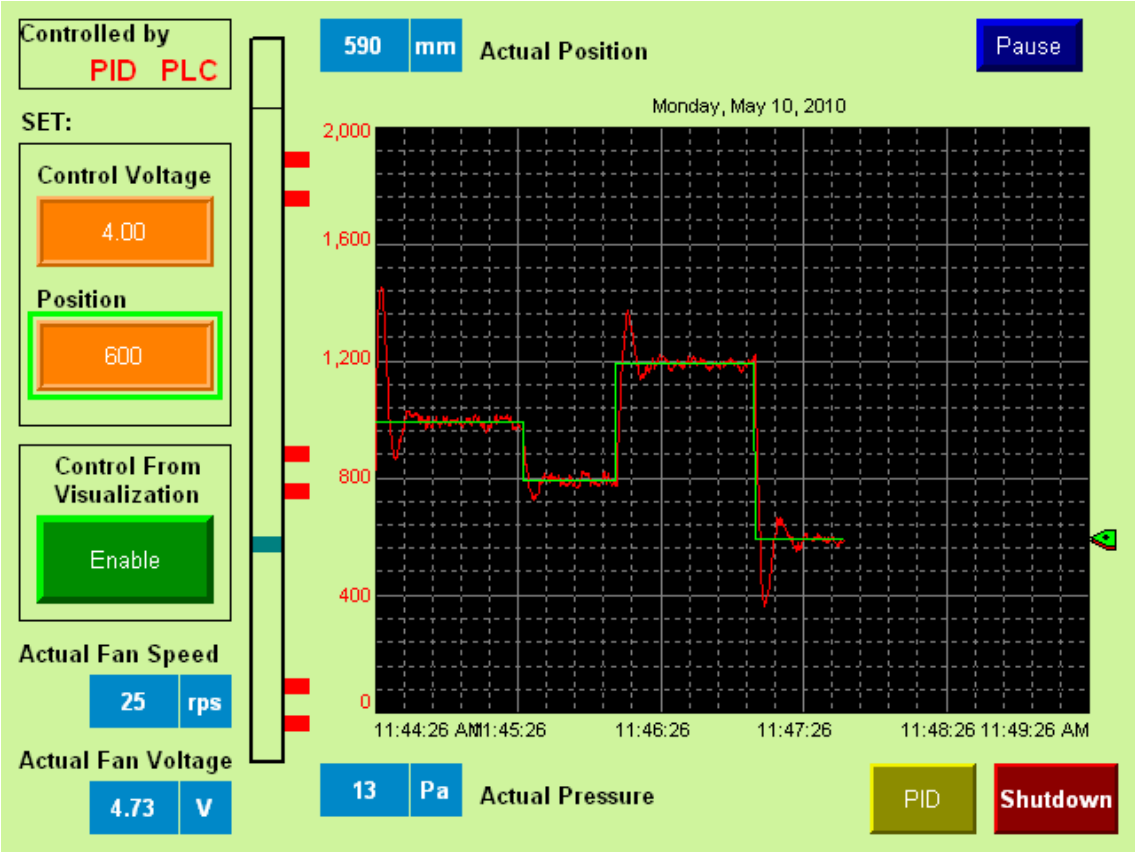
5.2 Tvorba vizualizace v RSView Machine Edition

Program RSView ME slouží pro tvorbu vizualizací pro zařízení, která podporují jejich běh. Zkompilovaná aplikace se nazývá runtime a v našem případě se jedná o soubor s příponou .mer, který je možné po Ethernetu přenést do panelu. Panel dokáže tento soubor zpracovat a na základě v něm uložených informací vizualizaci zobrazit a obsluhovat.

Aplikace se nevytváří na konkrétní zařízení, ale je přenositelná. Jediný parametr který by mohl omezovat její přenesení na jiné zařízení je rozlišení aplikace. Rozlišení se volí při tvorbě aplikace a mělo by odpovídat rozlišení zařízení, na které je aplikace vytvářena.

Při tvorbě vizualizace jsou základnímy prvky takzvané obrazovky (Screens). Tyto obrazovky je možné přirovnat například ke stránce knihy. Obrazovkou je myšlena plocha, která je v jeden okamžik zobrazena na zařízení jako jediná. Na tuto plochu je možné vkládání dalších prvků jako jsou obrázky, tlačítka a další. Obrazovek může být několik a vizualizace umožňuje jejich přepínání. Vkládáním prvků na obrazovku sestavujeme grafický popis zařízení. Prvkům je možné nadefinovat animaci. Vytváříme

tím vizualizaci, která se snaží co nejlépe korespondovat s děním na zařízení. Animací je myšleno změna barvy, polohy, viditelnosti a dalších vlastností prvků. Vizualizace samozřejmě umožňuje i zobrazování a změnu proměnných a zobrazení informací o změně proměnné v čase (tzv. trendy).



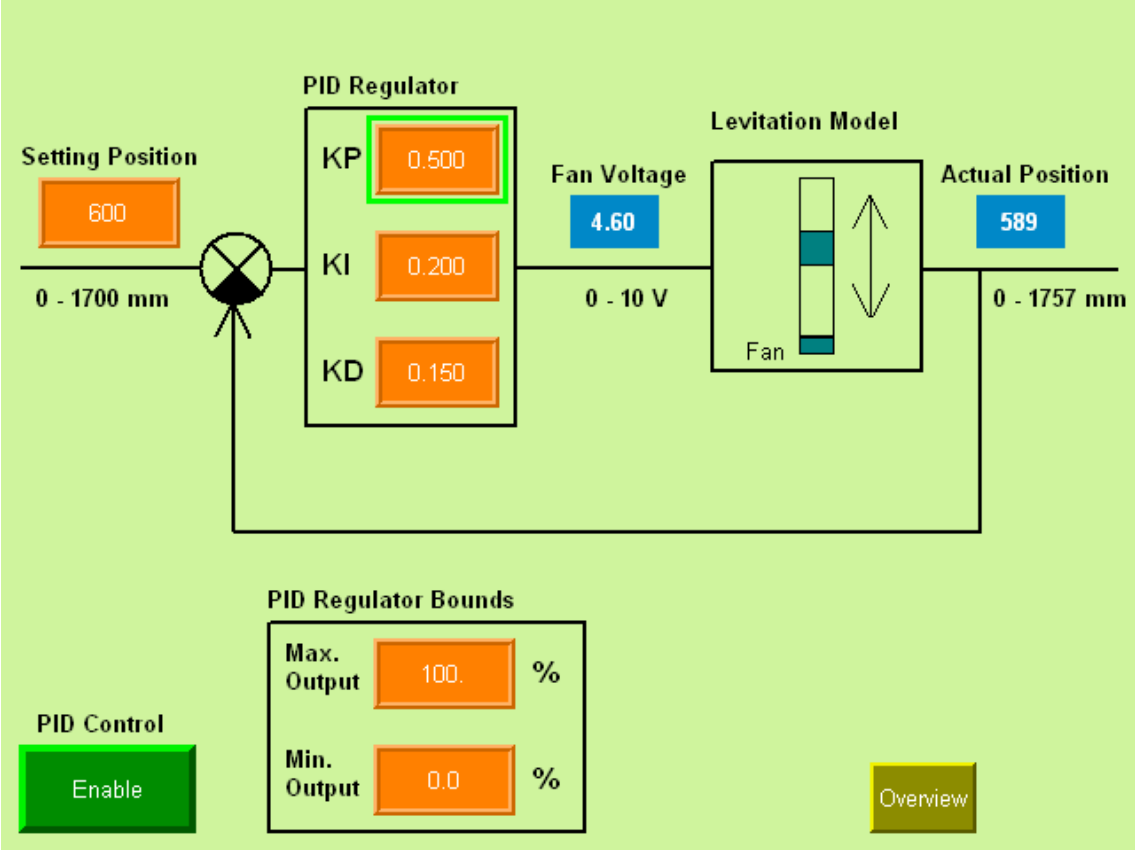
Obr. 5.2: Přehledová obrazovka vizualizace na VersaView

Vizualizace pro náš model vznášení je složena ze dvou obrazovek :

- Overview (Obr. 5.2) – přehledová obrazovka, kde je zobrazena většina informací ze vstupů a výstupů.
- PID (Obr. 5.3) – tato obrazovka slouží pro nastavení parametrů PID regulátoru v PLC.

Modrá pole rozmístěná na obrazovkách zobrazují informace o veličinách na modelu. Každé pole má svůj popis, takže by nemělo být složité rozeznat, o jakou informaci se jedná. Oranžová pole slouží pro zadání hodnoty. Po stisknutí tohoto pole vyvoláme zadávací okno, kde pomocí tlačítek navolíme požadovanou hodnotu. Zelená

tlačítka povolují řízení, které odpovídá jeho popisu. Béžová tlačítka v pravé spodní části slouží k přepínání mezi obrazovkami a červené tlačítko Shutdown slouží k ukončení aplikace.



Obr. 5.3: Obrazovka pro nastavení PID regulátoru na VersaView

Nyní si popíšeme prvky obrazovek, jejichž funkce je na první pohled nejasná.

Obrazovka Overview

Největší plochu této obrazovky pokrývá trend (graf), který zobrazuje polohu tělesa v trubce. Proměnná, která je v trendu označena červenou barvou, je aktuální poloha tělesa a zelená barva reprezentuje hodnotu požadovanou. Vlevo od trendu jsou prvky, který zobrazují polohu tělesa v trubce. Černý obdélník znázorňuje trubku a malý tyrkysový reprezentuje těleso. Tento malý obdélník se pohybuje a snaží se kopírovat polohu tělesa. Malé červené obdélníky, které leží po pravé straně černého obdélníku, znázorňují reflexní čidla. Pokud je těleso na modelu v poloze, kdy ho senzor přiblížení detekuje, změní tento červený prvek barvu na zelenou. V levém horním rohu je zobrazován režim řízení.

Možnosti jsou následující :

- MANUAL – řízení je přepnuto do ručního režimu
- PC – model řídíme pomocí PC
- PLC – model je řízen z PLC, napětí na ventilátoru nastavujeme ručně pomocí vizualizací
- PID PLC – model řídíme pomocí PID regulátoru v PLC

Pod zobrazením režimu řízení se nachází dvě vstupní pole, kde horní slouží k nastavení napětí na ventilátoru (režim PLC) a spodní k nastavení požadované polohy tělesa (režim PID PLC). Pod těmito vstupními poli se nachází zelené tlačítko, po jehož stisknutí se přepne režim řízení na hodnotu PLC.

Obrazovka PID

Na této obrazovce se nachází nastavení parametrů regulátoru. Vlevo ve spodní části obrazovky se nachází zelené tlačítko, které přepne režim řízení na hodnotu PID PLC. Vpravo od tohoto tlačítka v černém rámečku je možné nastavit omezení akčního zásahu regulátoru.

6 Vizualizace pro modul EWEB

6.1 Popis a nastavení modulu EWEB

Modul 1756 – EWEB slouží ke komunikaci s automatem. Z našeho pohledu je důležitá především možnost využití protokolu TCP/IP a vytvoření webových stránek, které umožňují čtení a změnu proměnných v automatu.

Kromě výše zmíněných možností modul dále nabízí:

- Možnost zasílání dat z automatu emailem – v případě, že nastane předem definovaná situace, je automat schopen pomocí instrukce Message a prostřednictvím modulu EWEB odeslat email s požadovaným souborem informací o stavu systému
- Prostřednictvím XML souborů měnit a číst data pomocí externích aplikací
- Využití modulu jako komunikační cesty k automatu při nahrávání programu nebo nového firmwaru
- Komunikace s jinými zařízeními, které nepodporují protokol EtherNet/IP, pomocí protokolu TCP/IP

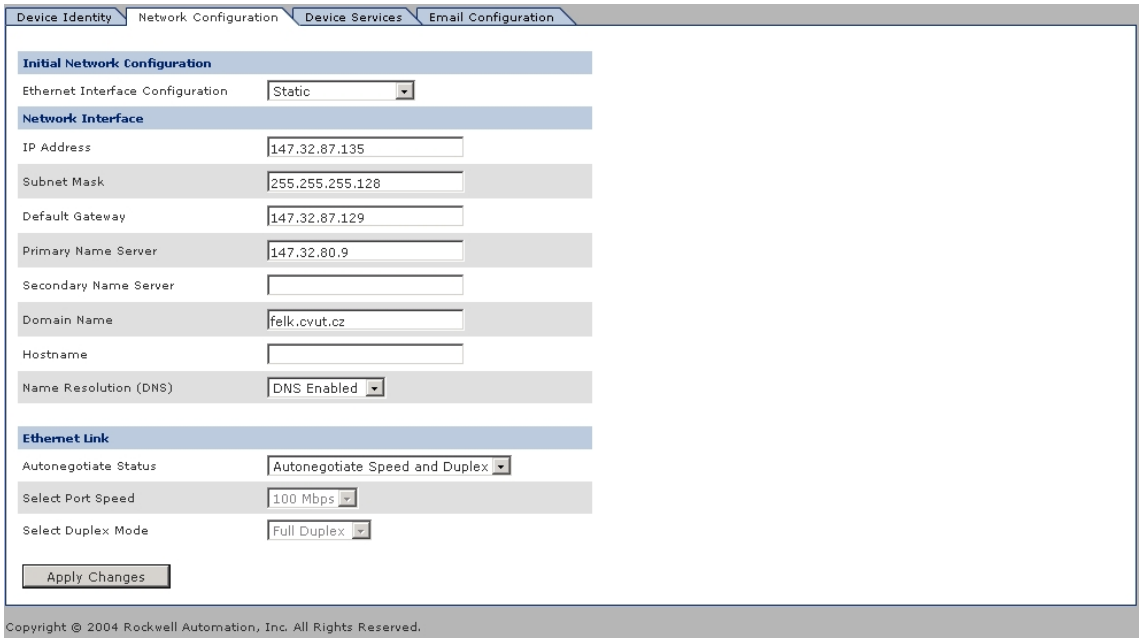
Konfigurace tohoto modulu se provádí přes jeho webové rozhraní. Kvůli podpoře XML dokumentů na konfiguraci doporučuji použít Internet Explorer. Možnosti nastavení jsou velmi široké, zde si popíšeme ty nejdůležitější. Pokud zadáte do internetového prohlížeče IP adresu modulu zobrazí se vám konfigurační stránky. Pokud chcete mít jistotu, že se vám zobrazí stránky pro konfiguraci, je vhodné za IP adresu dopsat „/index.html“. V našem případě by tedy adresa vypadala takto :

http://147.32.87.135/index.html

Psaní adresy v tomto tvaru je nutné především, je-li jako výchozí stránka modulu zvolena stránka jiná. Nastavení síťových parametrů modulu se provádí v položce Administrative Settings – Network Configuration. Výřez z této konfigurační stránky zobrazuje obrázek (Obr. 6.1). V Našem případě je nastavena pevná veřejná IP adresa a k modulu je tedy možné přistupovat prostřednictvím adresy uvedené výše.

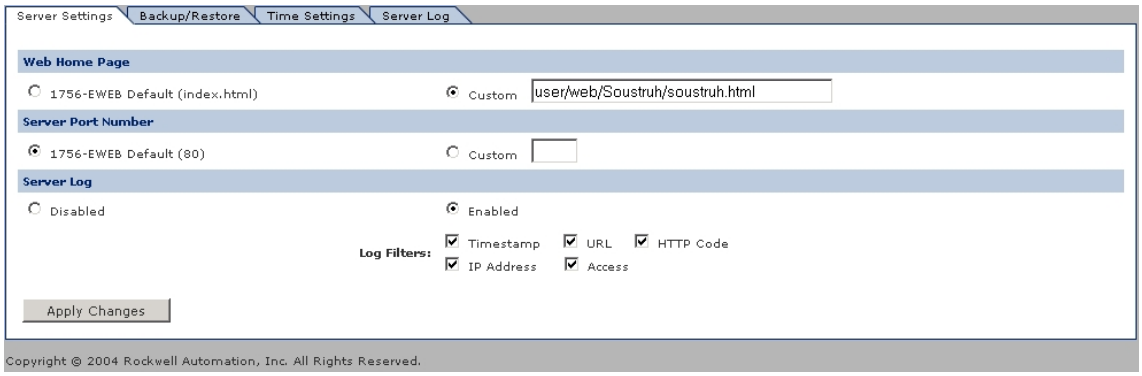
Další možností nastavení je volba výchozí stránky modulu. Pokud vytváříme na modulu webové stránky, které mají zobrazovat stav automatu, je vhodné tyto stránky nastavit jako výchozí. Po zadání IP adresy modulu do prohlížeče tak rovnou vidíme vytvořené stránky a nemusíme do prohlížeče vypisovat celou cestu k nim. Nastavení výchozí stránky se provádí na záložce Administrative Settings – Server Settings. Výřez

z této stránky zobrazuje obrázek (Obr. 6.2). Poslední možnost, kterou si představíme, je zobrazení modulů, které jsou přítomny na šasi. Funkce se jmenuje Browse Chassis.



Obr. 6.1: Konfigurace síťových parametrů modulu EWEB

Touto možností získáme základní přehled o stavu modulů a další základní informace, které by se mohli hodit. Výřez z této stránky můžeme vidět na obrázku (Obr. 6.3).



Obr. 6.2: Nastavení výchozí webové stránky modulu EWEB

Tímto bychom popis konfigurace modulu uzavřeli. Pokud se chcete dozvědět více o těchto stránkách, informace jsou k dispozici v manuálu k modulu [18]. Nastavení

je intuitivní a pokud jste se někdy setkali s konfigurací nějakého síťového prvku, většina parametrů vás určitě nepřekvapí.

Browse Chassis

	Slot	Module	Rev
	00	1756-L1/A 1756-M2/A LOGIX5550	13.027
	01	1756-IB32/A DCIN	2.005
	02	1756-OB16E/A DCOUT EFUSE	2.004
	03	1756-IF8/A	1.005
	04	1756-OF6VI/A XXXXXX	1.009
	05	1756M02AE	13.002
	06	1756-OW16I/A RELAY n.o.	1.007
	07	1756-IN16/A ACIN	1.008
	08	1756-CNB/D 5.050 Build 010	5.050
	09	1756-DHRIO/B	2.017
	10		
	11		
>>	12	1756-EWEB/A	2.002

Copyright © 2004 Rockwell Automation, Inc. All Rights Reserved.

Obr. 6.3: Přehled modulů na šasi automatu pomocí modulu EWEB

Máme za sebou tedy základní konfiguraci a můžeme přistoupit k tvorbě webových stránek pro zobrazení informací o modelu.

6.2 Zápis a čtení proměnných pomocí webových prvků

Abychom mohli přistupovat k proměnným, kterou jsou v automatu, je nutné nadefinovat tzv. Data View. Data View je XML soubor, který se vytváří a ukládá v modulu EWEB. V tomto souboru nadefinujeme proměnné, které chceme používat. Při definici proměnných musíme znát pozici modulu procesoru v šasi. Tento parametr se nazývá Slot. Zjistíme ho například ze záložky Browse Chassis ze stránek modulu (Obr. 6.3).

Další parametr, který je nutný zadat, je název proměnné. Tento název se musí přesně shodovat s proměnnou v automatu. Tato proměnná musí být v automatu nadefinovaná v automatových proměnných (Controller Tags). Toto se provádí při vytváření programu pro PLC pomocí softwaru RSLogix 5000. Položku Controller Tags dobře vidíme například na obrázku (Obr. 4.1).

U proměnné musíme také znát její typ. Zda se jedná o celočíselnou hodnotu DINT, s desetinou čárkou REAL nebo logickou BOOL. Takto nadefinujeme všechny proměnné, které chceme využívat, a vytvořený Data View uložíme. Pokud si chceme ověřit, zda jsme všechny proměnné nadefinovali správně, můžeme v nabídce Data Views kliknout na námi vytvořený soubor a proměnné se zobrazí v prohlížeči. Na

takto otevřené Data Viev se můžete podívat na obrázku (Obr. 6.4). Pokud se správně zobrazují hodnoty proměnných, nadefinování proběhlo správně a můžeme s nimi začít pracovat.

Pro práci s proměnnými využíváme v jazyce HTML formuláře, JavaScriptu a ASP. Pomocí v modulu definovaných funkcí je možné celkem efektivně pracovat.

Data Views | New Data View | Vznaseni2

Slot	Tag Name	Data Type	Display	Value	Access
0	Control_Voltage_From_Viz	REAL	Decimal	3.000000	Read/Write
0	Fan_Speed_Value	REAL	Decimal	0.013007	Read only
0	Fan_Voltage_Value	REAL	Decimal	2.998138	Read only
0	PID_Const_D	REAL	Decimal	0.150000	Read/Write
0	PID_Const_I	REAL	Decimal	0.200000	Read/Write
0	PID_Const_P	REAL	Decimal	0.500000	Read/Write
0	PID_SetPoint	REAL	Decimal	1000.000000	Read/Write
0	Position_Value	REAL	Decimal	-53.829102	Read only
0	Pressure_Value	REAL	Decimal	0.756859	Read only
0	Reflex1	BOOL	String	FALSE	Read only
0	Reflex2	BOOL	String	FALSE	Read only
0	Reflex3	BOOL	String	FALSE	Read only
0	Reflex4	BOOL	String	FALSE	Read only
0	Reflex5	BOOL	String	FALSE	Read only
0	Reflex6	BOOL	String	FALSE	Read only
0	SwitchLightOn	BOOL	String	FALSE	Read/Write
0	ToPLCControl	BOOL	String	TRUE	Read/Write
0	PID_Max_u	REAL	Decimal	100.000000	Read/Write
0	PID_Min_u	REAL	Decimal	0.000000	Read/Write
0	ControlFromLocal	BOOL	String	TRUE	Read only
0	ControlFromPC	BOOL	String	TRUE	Read only
0	ControlFromPLC	BOOL	String	FALSE	Read only
0	Control_From_Viz_Enable	BOOL	String	FALSE	Read/Write

Update

Copyright © 2004 Rockwell Automation, Inc. All Rights Reserved.

Obr. 6.4: Zobrazení proměnných automatu pomocí Data View na modulu EWEB

Nyní si probereme funkce pro čtení a zápis, které můžeme použít.

6.2.1 Čtení proměnných

Proměnné z automatu můžeme číst dvěma způsoby a to buď pomocí JavaScriptu a HTML formulářů nebo pomocí funkce jazyka ASP. Ukážeme si zde oba způsoby.

Jako první bychom uvedli čtení proměnné pomocí funkce ASP. Tento přístup je o poznání jednoduší a proto je vhodné ho v práci použít.

ASP funkce má následující tvar:

```
<%ReadLogixTag("1,1","TEST","DINT");%>
```

Text ohraničený pomocí <% %> zpracovává server, který text uvnitř těchto znaků zpracuje a na místo, kde se nacházel text ohraničený těmito znaky, dosadí výsledek. Funkce pro čtení proměnných se tedy jmenuje ReadLogixTag.

Jako první parametr se udává cesta k automatu *"1,1"*, kde první číslo definuje místo, na kterém automat nalezneme. V tomto případě 1= backplane to znamená, že se nachází ve stejném šasi jako modul EWEB. Druhé číslo udává slot, ve kterém je umístěn. Zde je to hodnota 1, ale v našem modelu se automat nachází ve slotu 0.

Dalším parametrem je název proměnné, ten se musí shodovat s názvem v Data View. Poslední atribut je typ proměnné. Jako další uvedeme příklad s využitím HTML formulářů.

Pomocí HTML formulářů:

```
<html>
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=windows-1252">
	<script language="JavaScript">
		function post()
		{
		document.getElementById("submitit").submit();
		}
	</script>
</head>
<body onload="post();">
	<form action="/rokform/ReadLogixTag" id="submitit" method="POST">
	<input type="hidden" name="name" value="test_tag_dint">
	<input type="hidden" name="path" value="1,1">
	<input type="hidden" name="type" value="DINT">
	<input type="hidden" name="connected" value="true">
	</form>
</body>
</html>
```

Tento přístup je o poznání složitější. Tento zdrojový kód popisuje jednoduchou webovou stránku. V hlavičce je nadefinována funkce v Javascriptu, kterou volá tělo stránky při načtení. Tato funkce odešle formulář, který slouží pro čtení dat. Ve formuláři

si můžete všimnout parametrů pro definici požadované proměnné. Tyto parametry jsou shodné s parametry u ASP funkce.

6.2.2 Zápis proměnných

Možnost zápisu umožňují funkce modulu pouze pomocí JavaScriptu a HTML formulářů. Ukázkový kód vypadá takto:

```
<html>
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=windows-1252">
        <script language="JavaScript">
        </script>
</head>
<body >
        <form action="/rokform/WriteLogixTags" method="POST">
        <input type="hidden" name="redirect "value="/user/Web/writeOneTag.asp">
        <input type="hidden" name="numtags" value="1">
        <input type="hidden" name="t_1_tagname" value="TEST">
        <input type="hidden" name="t_1_slot" value="1">
        <input type="hidden" name="t_1_type" value="DINT">
        <input type="hidden" name="t_1_display" value="Decimal">
        <input type="hidden" name="t_1_changed" value="1">
        <input type="hidden" name="t_1_value" value="0">
        <input type="submit" name="submit "value="Clear Alarms">
        </form>
</body>
</html>
```

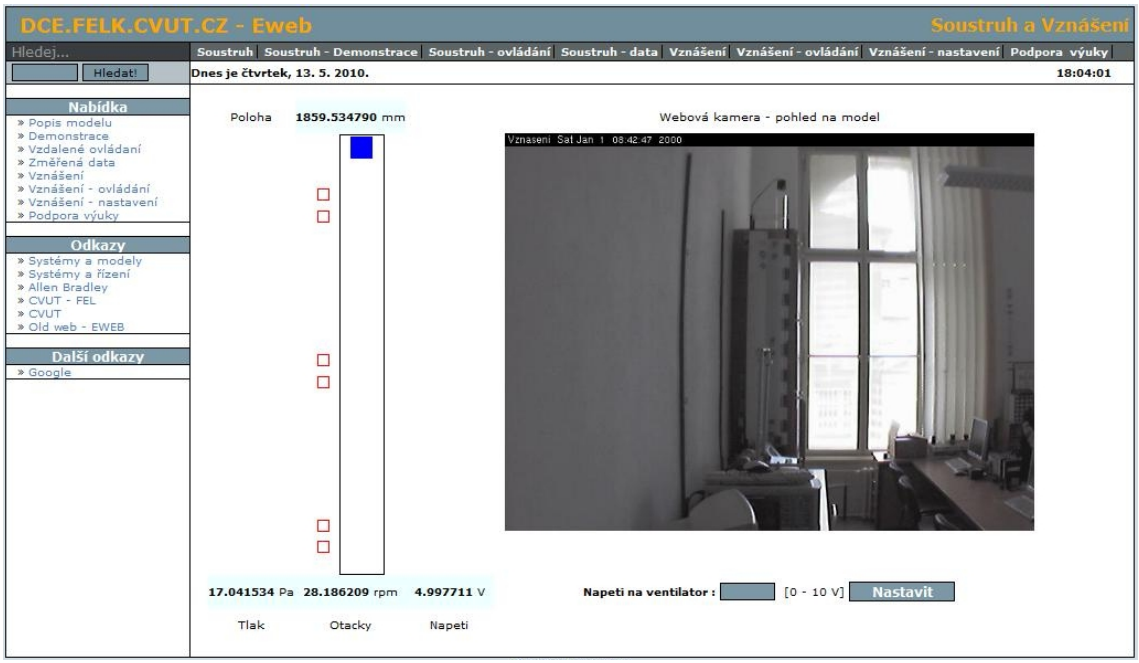
Formulář sloužící pro zápis do proměnné automatu obsahuje následující parametry:

- **redirect** – Tento parametr udává odkaz na webovou stránky, kam bude prohlížeč odkázán po odeslání formuláře. Zpravidla se tento odkaz nastavuje na aktuální stránku.
- **numtags** – Tento parametr uvádí celkový počet proměnných na stránce.
- **t_1_tagname, t_1_slot, t_1_type** – Parametry mají stejný význam jako ve funkci pro čtení.
- **t_1_display** – Určuje formát pro zobrazení. Možnosti jsou “Decimal”, “Hexadecimal”, “Octal”, “Binary” a “String”.
- **t_1_changed** – Označuje, zda byl parametr změněn.
- **t_1_value** – Hodnota, kterou chceme do proměnné zapsat.

6.3 Webové stránky pro vizualizaci

Při tvorbě vizualizace pomocí webových stránek byly kromě výše uvedených prvků využity JavaScript a Java Applet. Důvodem je především jejich kompatibilita s internetovým prohlížečem a operačními systémy. Webové stránky rozšiřují stávající, které jsou věnovány jinému laboratornímu modelu. Vizualizace věnující se modelu vznášení je rozdělena na tři stránky.

První obsahuje fotografii modelu a jeho stručný popis. Na druhé stránce je umístěn pohled z webové kamery a applet, který zobrazuje polohu tělesa a stav senzorů přiblížení. Dále jsou zde zobrazeny informace z analogových vstupů, to znamená tlak, poloha tělesa, otáčky ventilátoru a napětí na ventilátoru. Tato stránka má v tuto chvíli následující podobu



Obr. 6.5: Stránka s pohledem na model - webová vizualizace

Pohled z webové kamery nepříliš vyhovuje, ale v současné době je tato možnost nejlepší. Poslední stránka se věnuje nastavení parametrů PID regulátoru.

7 Návrh regulátorů

Tuto kapitolu věnujeme návrhu regulátoru pro model. Pro návrh využijeme model, který jsme identifikovali v kapitole 2

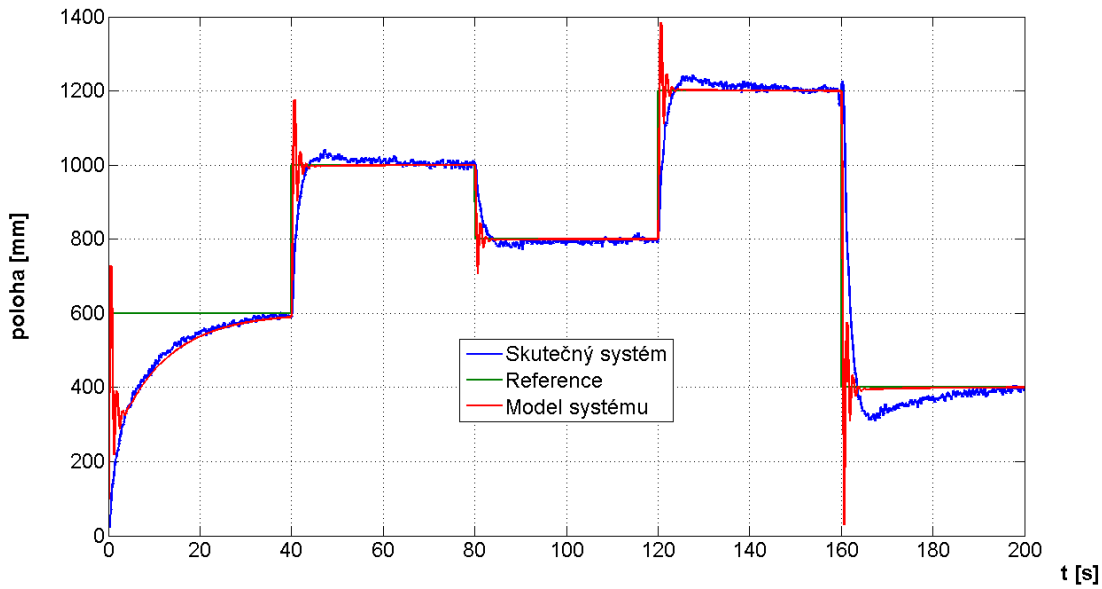
$$G(s)=\frac{1}{0{,}00046\,s^3+0{,}00175\,s^2+0{,}001667\,s}$$

K návrhu regulátoru jsme využili nástroj SISO Design Tool, který je součástí Control Toolboxu programu Matlab. Tento nástroj umožňuje mimo jiné návrh regulátoru pro zadaný model. Pro návrh jsme použili metodu geometrického místa kořenů (GMK). Tato metoda vychází z nul a pólů otevřeného regulačního obvodu a na jejich základě určuje polohu pólů uzavřeného regulačního obvodu v závislosti na změně zesílení otevřené smyčky. Tato metoda je vhodná i pro systémy, které jsou v otevřené smyčce nestabilní. Při návrhu též hledáme vhodnou polohu pólů a nul regulátoru.

Výsledný návrh aplikujeme na skutečný model a případně parametry ještě doladíme. Na obrázku (Obr. 7.1) můžete pozorovat průběh odezvy na získaném modelu systému s daleko tlumenější odezvou reálného systému. Získaný model plně nevystihuje dynamiku reálného systému. Pravděpodobně jsme zanedbali nějaké parametry.

Touto metodou navržený PID regulátoru s filtrací má přenos

$$C_{GMK}(s)=\frac{1{,}2(s^2+1{,}2\,s+0{,}1)}{s(s+100)}$$



Obr. 7.1: Model řízený regulátorem navrženým pomocí Matlabu

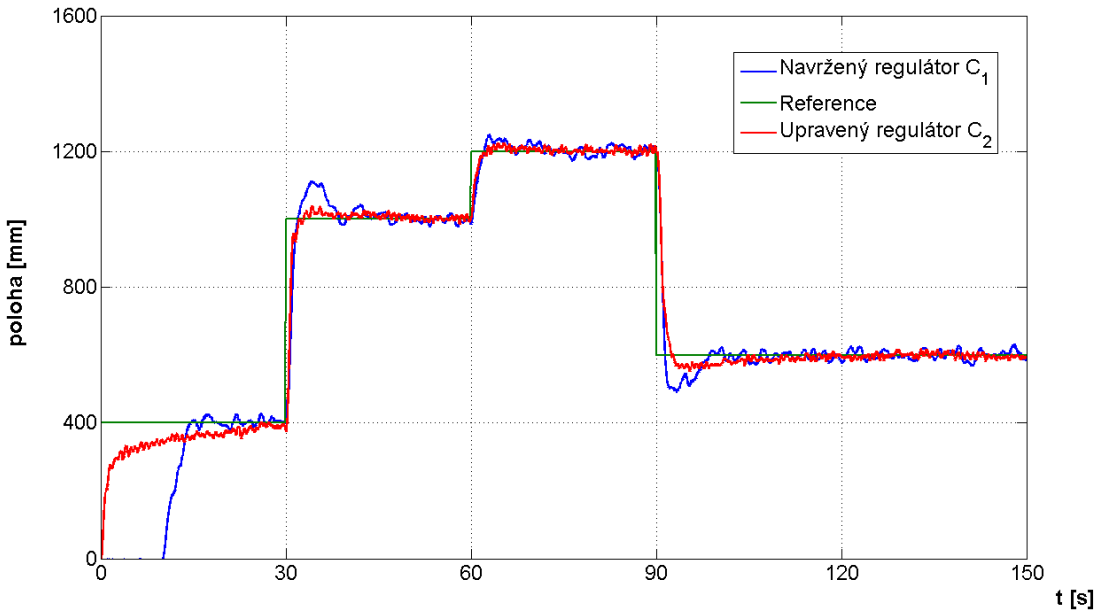
Další zajímavou oblastí, která se objevuje při řízení tímto regulátorem, je oblast při rozběhu ventilátoru. Pomalý náběh způsobuje malá integrační konstanta a široké mrtvé pásmo ventilátoru. Když se regulátor dostane do pracovní oblasti modelu, tento problém se odstraní.

Další návrh regulátoru byl proveden z frekvenční charakteristiky s požadavkem na fázovou bezpečnost PM = 45°. Získaný návrh byl rovnou aplikován na model.

Přenos navrženého regulátoru po přidání filtrační složky má následující tvar

$$C_1(s)=\frac{0{,}1(2s^2+3{,}85s+1)}{s(s+100)}$$

Navržený regulátor se na skutečném systému chová velmi dobře a vyznačuje se docela rychlým ustálením kolem požadované hodnoty a malými překmity. Pokusili jsme se parametry upravit, tak abychom snížili překmit při zachování rychlosti. Původní a upravený návrh je zobrazen na následujícím obrázku



Obr. 7.2: Model řízený regulátorem navrženým z frekvenční charakteristiky

Přenos upraveného regulátoru

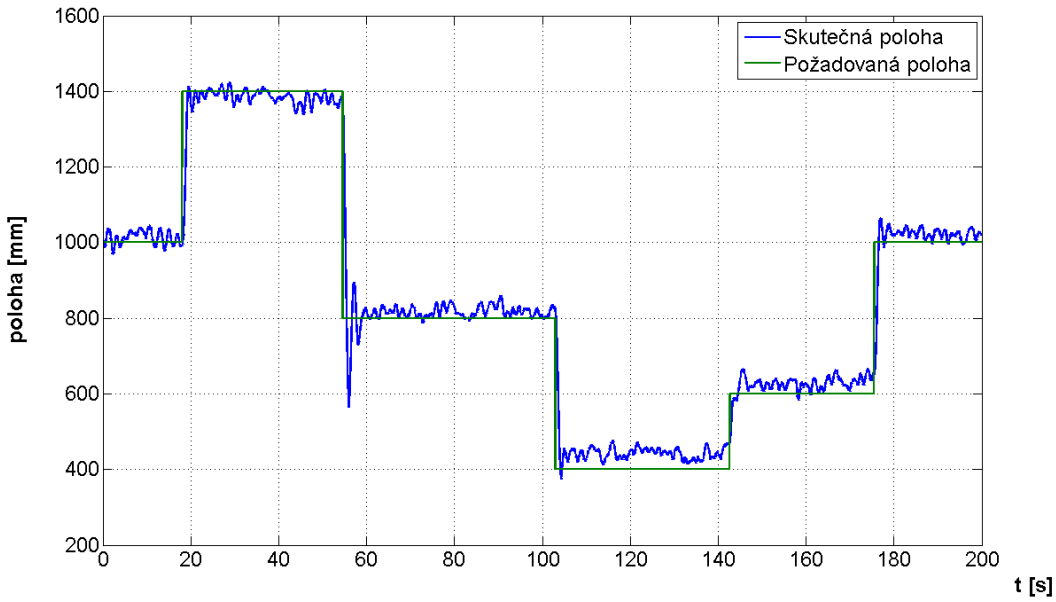
$$C_2(s)=\frac{(2s^2+3{,}85s+0{,}25)}{s(s+100)}$$

Upravený regulátor z navrženého C_1 označujeme jako C_2. Podařilo se nám úpravou snížit překmit a systém tím zrychlit. Stejně jako u řízení regulátorem C_{GMK} je z obrázku patrný vliv malé integrační složky a mrtvého pásma regulátoru při rozběhu.

Pokud bychom měli srovnat regulátory navržené odlišnými metodami dojdeme k závěru, že po úpravách parametrů podle skutečného modelu, jsou výsledky velmi podobné. Když naopak zhodnotíme rozdíly mezi regulátory, které vzešly z návrhů, je možné považovat za lepší regulátor ten, který byl navržen frekvenční metodou.

Tímto bychom ukončili návrh regulátorů pro PC a zaměřili bychom se na získání parametrů regulátoru pro PLC.

Pokusíme se využít regulátory navržené výše. Při správném nastavení PID instrukce jsou navržené konstanty použitelné. Drobnými modifikacemi je možné návrh upravit.



Obr. 7.3: Řízení modelu pomocí PID regulátoru v PLC

Výsledky řízení jsou znázorněny na obrázku (Obr. 7.3). V tomto obrázku je reference pouze orientační, protože řízení probíhalo z PLC a měření pomocí PC. Ověřili jsme si, že měření polohy v PLC a PC se liší, tím pádem na první pohled velká regulační odchylka je ve skutečnosti menší nebo dokonce žádná. PID regulátor v PLC byl nastaven s parametry

$$K_P = 0{,}8 \qquad K_I = 0{,}05 \qquad K_D = 0{,}4$$

Na první pohled se může zdát, že jsou konstanty odlišné od regulátorů navržených pro PC. Rozdílnost parametrů ovlivňuje jinak nastavená filtrační složka regulátoru v PLC, která tak ovlivňuje zesílení.

Identifikovaný model, který byl použit, je možné považovat za dostatečný pro návrh. Zvláště pak při návrhu regulátoru z frekvenční charakteristiky, jsme získali regulátor, který i bez úprav po aplikaci na model dosahoval dobrých výsledků.

8 Závěr

Tato práce se věnovala návrhu a realizaci řídicího systému pro laboratorní model Vznášení. Návrh obsahuje řízení pomocí PLC, vizualizaci na panelu a na webovém modulu.

Řídicí program pro PLC byl realizován v programu RSLogix 5000 a umožňuje řízení modelu pomocí instrukce PID, která implementuje regulátor. Řízení pomocí PLC používáme při obsluze modelu pomocí panelu a webových stránek. Jako jiný zdroj pro řízení je možné aplikovat PC připojené pomocí měřicí karty k modelu. Počítač s programem Matlab a Simulink využijeme především pro výbornou analýzu modelu z naměřených dat a implementaci jiných řídicích algoritmů.

Model byl před rekonstrukcí laboratoře v roce 2009 rozebrán, a proto jako první krok bylo nutné model znovu složit a uvést do původního stavu.

Výsledky práce a postupy při realizaci jsou popsány v předchozích kapitolách. V nich jsme se pokusili identifikovat přenos modelu, kde jako vstup uvažujeme napětí na ventilátoru a výstup polohu tělesa. Získaný model se ukázal jako dostatečný přesný pro nalezení vhodného regulátoru. Nalezený model není dostatečně přesný při malých změnách napětí, což je způsobeno stochastickým chováním systému, kdy se vznášející předmět sám o sobě pohupuje v proudu vzduchu, který jej nepravidelně strhává. Dalším problémem jsou vlastnosti akčního členu, které nejsou při stejných parametrech okolí konstantní. To se projevuje kolísáním otáček ventilátoru při konstantním napětí.

V práci jsou popsány prvky, ze kterých se model skládá. Dalším krokem byla náhrada řídicího systému PLC-5 moderním systémem ControlLogix a to se zachováním původních vstupů a výstupů na modelu, jak se i běžně děje v průmyslové praxi. Řídicí program pro PLC lze rozdělit na několik funkcí. První funkce programu spočívá ve vyčítání informací ze vzdálených vstupů a výstupů. Druhá část je věnována převodu veličin z celočíselných hodnot na požadované fyzikální veličiny. Poslední část se stará o úpravu dat pro vizualizaci a implementaci instrukce PID.

Tvorba vizualizace probíhala v prostředí RSView ME pro panel a pomocí jazyků HTML, ASP, Javascript a Java pro internetové stránky na modulu EWEB.

Poslední oblastí, která se nachází v předchozích kapitolách, je návrh PID regulátorů. Tyto regulátory jsou navrženy jak pro řízení z PLC tak pro řízení z PC.

Jako úlohy, které by si studenti na modelu mohli vyzkoušet, bychom mohli zvolit identifikaci modelu a návrh regulátoru pro řízení polohy nebo řízení polohy

pomocí reflexních senzorů jako simulaci „výtahu“, kde patra by byla definována pomocí dvojice senzorů. Dále by mohlo být zajímavé řízení pomocí pokročilejších regulátorů z moderní teorie řízení.

9 Použitá literatura

[1] J. David Powell, Gene F. Franklin, Abbas Emami-Naeini : Feedback Control of Dynamic Systems. Prentice Hall, 5th ed., 2006, ISBN: 0131499300

[2] J. John : Systémy a řízení. Skripta FEL ČVUT, ČVUT, Praha 1996

[3] J. John, P. Horáček : Identifikace a modelování. Skripta FEL ČVUT, ČVUT, Praha 1982

[4] M. Kutil : Řízení modelu s využitím Internetu. (Diplomová práce) Praha : ČVUT 2004

[5] Z. Prokůpek : EtherNet/IP pro průmyslové řízení. (Diplomová práce) Praha : ČVUT 2007

[6] Fuka, J. - Kutil, M. - Vaněk, F. : Učebnice SARI [online]. 2003, Dostupné z WWW: http://dce.felk.cvut.cz/sari/SARI-ucebnice.html

[7] J. Ježek, B. Váradiová, J. Adamec : Mechanika tekutin. Skripta FS ČVUT, ČVUT, Praha 2000

[8] S. Suehring : Javascript – Krok za krokem. Cpress 2008, ISBN: 978-80-251-2241-9

[9] D. Janovský, Jak psát web : o tvorbě internetových stránek [online]. 2003, Dostupné z WWW: http://www.jakpsatweb.cz/

[10] J. Reichl, M. Všetička, Encyklopedie fyziky [online]. 2006, Dostupné z WWW: http://fyzika.jreichl.com/

[11] P. Herout : Učebnice Jazyka Java. Kopp 2004, ISBN: 80-7232-115-3

[12] Rockwell Automation, Inc. : Logix5000 Controllers General Instructions, (Reference Manual), Říjen 2009, zdroj : http://www.ab.com/literature, publikace : 1756-RM003L-EN-P

[13] Rockwell Automation, Inc. : VersaView CE Terminals, (User Manual), Září 2005, zdroj : http://www.ab.com/literature, publikace : 6182H-UM001D-EN-P

[14] Rockwell Automation, Inc. : Remote I/O Adapter Module, (User Manual), Duben 2004, zdroj : http://www.ab.com/literature, publikace : 1794-UM009D-EN-P

[15] Rockwell Automation, Inc. : FLEX I/O Analog Modules, (User Manual), Květen 1996, zdroj : http://www.ab.com/literature, publikace : 1794-UM002-EN-P

[16] Rockwell Automation, Inc. : FactoryTalk View Machine Edition p.1, (User's Guide), Červen 2009, zdroj : http://www.ab.com/literature, publikace : VIEWME-UM004E-EN-E

[17] Rockwell Automation, Inc. : FactoryTalk View Machine Edition p.2, (User's Guide), Červen 2009, zdroj : http://www.ab.com/literature, publikace : VIEWME-UM005E-EN-E

[18] Rockwell Automation, Inc. : EtherNet/IP Web Server Module, (User Manual), Říjen 2006, zdroj : http://www.ab.com/literature, publikace : ENET-UM527E-EN-P

[19] Rockwell Automation, Inc. : PanelView Plus and VersaView CE 700 to 1500 Terminals and Display Modules, (Installation Instructions), Březen 2006, zdroj : http://www.ab.com/literature, publikace : 2711P-IN001E-EN-P

[20] Rockwell Automation, Inc. : ControlLogix Data Highway Plus-Remote I/O Communication Interface Module, (User Manual), Únor 2003, zdroj : http://www.ab.com/literature, publikace : 1756-UM514B-EN-P

[21] Axis Communications AB : AXIS 2100 User´s Guide, Listopad 2001, zdroj : http://www.axis.com, publikace : 2100ug

[22] P. Herout : JAVA – grafické uživatelské prostředí a čeština. Kopp 2004, ISBN: 80-7232-237-0

10 Použitý software

1) RSLogix 5000 revize 13.24
2) RSLinx 2.43
3) RSView ME 4.0
4) Matlab 6.5.1 a Simulink
5) Open Office 3.2
6) Gimp 2.6.8
7) Mozila Firefox 3.6.3
8) Internet Explorer 6.0.2800.1106 – konfigurace modulu EWEB
9) Netbeans IDE 6.8
10) Inkscape 0.47
11) PSPad 4.5.4

11 Seznam použitých zkratek

- PLC – (Programmable Logic Controller) Programovaný logický automat
- PAC – (Programmable automation controller) Programovaný automat
- PID – (Proportional integral derivate controller) Regulátor s proporcionální, integrační a derivační složkou
- PC – (Personal computer) Osobní počítač
- LED – (Light-emitting diode) Světlo vyzařující dioda
- RIO – (Remote I/O) Vzdálené vstupy a výstupy
- HTML – (HyperText Markup Language) – Standart, který slouží k tvorbě internetových dokumentů.
- DINT – (Double Integer) Celočíselná hodnota o velikosti 4 byty

12 Obsah přiloženého CD

- Tato diplomová práce ve formátu PDF
- Projekt pro PLC vytvořený pomocí RSLogix 5000
- Projekt pro panel VersaView vytvořený pomocí RSView ME
- Zdrojové soubory pro Matlab
- Zdrojové soubory pro modul EWEB