

Úpravy úlohy DE1 v systému LABI.

Edit problem DE1 in system LABI

Bc. Daniel Kašný



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Daniel KAŠNÝ**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**

Téma práce: **Úpravy úlohy DE1 v systému LABI.**

Zásady pro vypracování:

1. Posouzení stavu stávajícího provozu
2. Analýza problematických míst úlohy (průběhy identifikace, nastavování regulátoru, kvalita regulace) .
3. Ověřování úlohy po provedení úprav podle výsledků bodu 2.
4. Vypracování nového návodu pro provozování úlohy DE1.
5. Navržení, sestavení a ověření vzorového experimentu včetně teoretické podpory.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Altmann W. Practical Process Control for Engineers and Technicians. ELSEVIER, 2006, s. 290, ISBN 978-0-7506-6400-4
2. Balatě J. Automatické řízení. BEN, 2004, s.664, ISBN 978-80-7300-148-Experimentální identifikace soustav,
3. DYER, S., A. Survey of instrumentation and measurement. John Wiley and Sons, 2001, s. 1096. ISBN 0-471-39484-X.
4. URL: labi.fai.utb.cz, popis úlohy DE1
5. HRUŠKA,F. Technické prostředky informatiky a automatizace. Učební texty. 1.vyd. Zlín: UTB ve Zlíně, duben 2007, s.193. ISBN 978-80-7318-535-0
6. Bobál V. Identifikace systémů. Učební texty. 1.vyd. Zlín-FAI UTB, 2009. s.128. ISBN 978-80-7318-888-7
7. Bobál V. Adaptivní a prediktivní řízení. Učební texty. 1.vyd. Zlín-FAI UTB, 2008. s.134. ISBN 978-80-7318-662-3
8. Jetleb J. Laboratorní úloha DE1 – regulace teploty. Dokumentace. Zlín-EDTS., září 2005. zakázka 250526053.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. František Hruška, Ph.D.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

19. února 2010

Termín odevzdání diplomové práce:

8. června 2010

Ve Zlíně dne 19. února 2010


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá úpravou úlohy DE1 v systému LABI, která byla vytvořena pro výukové účely na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. Zabývá se identifikací již vytvořeného modelu DE1 s názvem „Regulace teploty“ a následným výpočtem konstant regulátoru, podle získaného přenosu. Tato práce řeší analýzu problematických míst úlohy (nastavování regulátoru, kvalita regulace) v hardware a software a následné zavedení návrhu pro úpravu podle výsledků analýzy. Analýza je také podnětem i pro programátory aplikací k úloze, kteří nalezené problémy průběžně mohou upravovat. Výsledky úprav jsou také zpracovány do nového návrhu laboratorní úlohy DE1

Klíčová slova: Vzdálený experiment, DE1, LABI, Regulace teploty, Identifikace, Analýza, syntéza regulace

ABSTRACT

This study is concentrated on adjustment of project DE1 in system LABI that was created for studying purposes on University of Thomas Baťa in Zlín. This study is concentrating on identification of already created model DE1 with name „Regulace teploty- temperature regulation“ and calculation of constant of regulator according to received transfer. This study is solving the analysis of problematic parts of project (setting the regulators, quality of regulation) in hardware and software and implementation of proposal for adjustment according the results of analysis. The analysis is also an impulse for application programmers, who can continuously correct found mistakes. Results of changes are also elaborated in new proposal of Laboratory project DE1.

Keywords: Remote experiment, DE1, LABI, Control of temperature, identification, analysis, synthesis

Děkuji tímto vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Františku Hruškovi, Ph.D. za odborné vedení práce, za trpělivost při konzultacích, za zapůjčení materiálů k vypracování, za cenné rady a připomínky v průběhu jejího řešení.

Dále bych chtěl poděkovat všem blízkým v první řadě mé manželce a synovi za podporu a trpělivost během celého studia na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.
V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ÚLOHA DE1 – REGULACE TEPLoty	11
1.1 POPIS ÚLOHY DE1	11
1.2 PROSTŘEDKY SYSTÉMŮ ÚLOHY DE1	13
1.2.1 Čerpadlo WILO RS 25/4.....	13
1.2.2 Tlakoměr Cewal TRP 80 VI	14
1.2.3 Průtokový ohříváč WTERM EPJ 2,2 kW	15
1.2.4 Průmyslový řídicí systém SIMATIC S7-300	15
1.2.5 PID regulátor SIEMENS SIPART DR 21	15
2 ZÁKLADNÍ POJMY	18
2.1 ŘÍZENÍ, OVLÁDÁNÍ A REGULACE.....	18
2.2 REGULAČNÍ OBVOD	18
2.3 REGULÁTOR S PEVNĚ DANOU STRUKTUROU	19
3 IDENTIFIKACE SYSTÉMU	21
3.1 POJEM IDENTIFIKACE SYSTÉMŮ	21
3.2 STREJCOVA METODA APROXIMACE PŘECHODOVÝCH CHARAKTERISTIK	23
3.3 METODA NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ.....	25
3.3.1 Vyrovnání souboru bodů přímkou pomocí metody nejmenších čtverců	26
3.4 ŘEŠENÍ ROVNIC V PROSTŘEDÍ EXCEL.....	27
3.4.1 Řešitel.....	28
3.4.2 Korelace vzorku	29
4 SYNTÉZA REGULAČNÍHO OBVODU	31
4.1 ŘÍZENÍ SYSTÉMŮ S DOPRAVNÍM ZPOŽDĚNÍM.....	31
4.2 APROXIMACE DOPRAVNÍHO ZPOŽDĚNÍ	31
4.3 METODA POŽADOVANÉHO MODELU (INVERZE DYNAMIKY).....	33
4.4 METODA KRITICKÉHO ZESÍLENÍ REGULÁTORU (METODA ZIEGLER-NICHOLSOVA)	39
4.5 NASLIMOVA METODA	40
II PRAKTICKÁ ČÁST	41
5 POSOUZENÍ STAVU PROVOZU	42
5.1 OTÁČKY ČERPADLA.....	42
5.2 PŘÍKON TOPNÉHO TĚLESA	43
5.1 VYHODNOCENÍ KONSTANTY ZESÍLENÍ REGULÁTORU ZADÁVANÉ DO ÚLOHY	45
5.2 VYHODNOCENÍ IDENTIFIKACE	48
5.3 IDENTIFIKACE PŘECHODOVÉ CHARAKTERISTIKY METODOU NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ POMOCÍ ŘEŠITELE.....	49
6 VÝSLEDKY VYPOČTENÝCH PŘENOSŮ SOUSTAVY	52
6.1 HODNOTY KONSTANT PŘENOSŮ.....	52
7 VÝPOČET KOSTANT NASTAVENÍ PID REGULÁTORU	54
8 OVĚŘENÍ VYPOČTENÝCH HODNOT	55

8.1	V PROSTŘEDÍ MATLAB/SIMULINK.....	55
8.1.1	Standardní PID regulátor.....	56
8.1.2	Regulátor Siemens SIPART DR21	58
8.2	NA REÁLNÉM MODELU	62
9	ÚPRAVA SOFTWARE	64
10	NAVRŽENÍ, SESTAVENÍ A OVĚŘENÍ VZOROVÉHO EXPERIMENTU	65
	ZÁVĚR	66
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	67
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	68
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ	71
	SEZNAM TABULEK.....	73
	SEZNAM PŘÍLOH.....	74

ÚVOD

Identifikace a modelování se používá při návrhu systémů nebo řízení technologických procesů. Identifikací zjišťujeme matematické modely systémů a jejich statické a dynamické vlastnosti. Metody identifikace dělíme na analytické a experimentální.

U analytických metod můžeme přesně stanovit vlastnosti objektu již před jeho realizací, ale musíme znát přesně jeho strukturu.

U experimentálních metod provádíme přímá měření na daném objektu. Rozborem vstupních a výstupních signálů získáváme matematický model, kterým je systém popsán. Nevýhodou je, že na systém mohou působit poruchové veličiny, které mohou zkreslit výsledky měření.

Tato práce se zabývá identifikací tepelného modelu, které byly vyvinuty na Fakultě aplikované informatiky ve Zlíně, za účelem demonstrace reálného systému s uzavřeným okruhem regulace teploty. Na základě identifikace pomocí matematických modelů z přechodových charakteristik pak z vypočtených parametrů nastavit regulátor a pomocí něj řídit systém a nalezení problémových částí úlohy. Po posouzení problémových částí úlohy je provedená částečná úprava s následným ověřením funkčnosti upravených míst a návrh pro kompletní modifikaci úlohy DE1.

I. TEORETICKÁ ČÁST

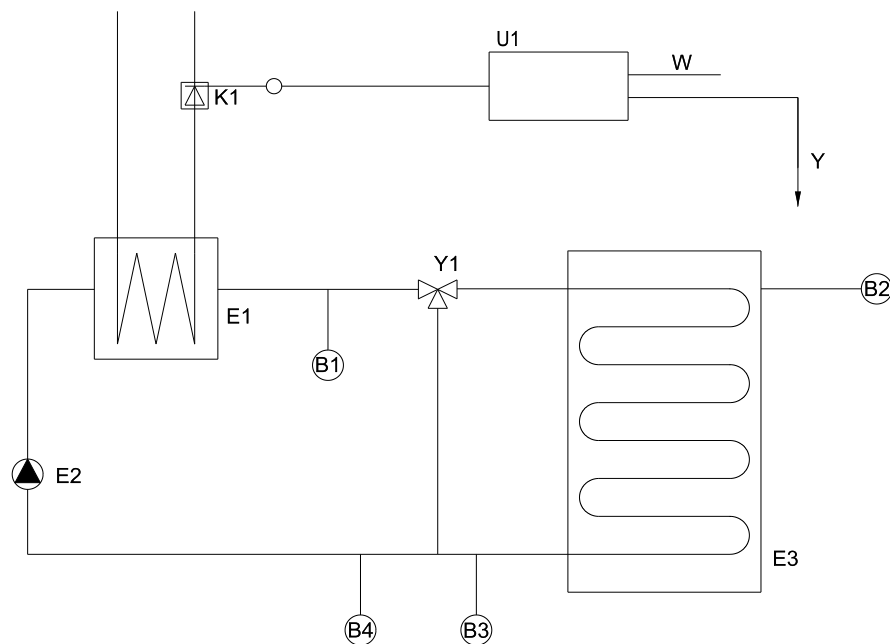
1 ÚLOHA DE1 – REGULACE TEPLoty

1.1 Popis úlohy DE1



Obrázek 1. Vzhled úlohy DE1

Úloha DE1 s názvem „Regulace teploty“ plní funkci studia a demonstrace reálného systému s uzavřeným okruhem regulace teploty. Zařízení obsahuje regulovanou soustavu s rozloženými parametry a dopravním zpožděním. Soustava je vytvořena zdrojem tepla (E1), třicestným regulačním ventilem (Y1), oběhovým čerpadlem (E2), spotřebičem tepla (E3). Regulátor (U1) je kompaktní programovatelný číslicový regulátor s možností dálkového nastavení. Akčním členem je jednotka (K1) pro ovládání efektivní hodnoty napětí 230V/50 Hz toku elektrické energie. Velikost dopravního zpoždění lze nastavit, polohou regulačního ventilu (Y1) a změnou rychlosti proudění mechanickým přepínačem na čerpadle (E2).[1] Zapojení experimentu je na obrázku 1.



Obrázek 2. Technické schéma úlohy DE1

Provoz experimentu je ve dvou režimech, režim identifikace regulované soustavy a režim uzavřeného regulačního okruhu s automatickou regulací volené teploty v systému s dopravním zpožděním a s rozloženými parametry.

Režim identifikace regulované soustavy umožní měřit data pro provedení experimentální identifikace. Po zadání parametrů se úloha spustí. Systém, automaticky archivuje naměřená data. Po dané době se úloha automaticky zastaví nebo uživatel ji může zastavit sám.

Režim automat se týká provedení úlohy automatické regulace. Pro danou měřenou teplotu (B2, B3, B4) a pro zadanou žádanou hodnotu teploty a zadané parametry regulátoru se po startu provozu regulace provede regulační pochod. Zde si uživatel sám může ověřit kvalitu vypočtených jednotlivých parametrů z režimu identifikace.

1.2 Prostředky systémů úlohy DE1

Tabulka 1. Seznam použitých technických prostředků úlohy DE1

Centrální jednotka	Parametr	Input	Output	Dodavatel
SIMATIC S7-300, CPU 313C-2DP	CPU SIMATIC	16DI	16 DO	Siemens
SIMATIC NET, CP 343-1	protokol TCP/IP			Siemens
SIMATIC S7-300, ANALOG INPUT SM 331		4-20mA		Siemens
SIMATIC S7-300, ANALOG OUTPUT SM 332			0-10V	Siemens
SIMATIC S7-300, POWER SUPPLY PS 307		230VAC	24VDC	Siemens
Měření, regulace, ovládání				
T1-teplota výstup ze zdroje	Pt100, 0-100°C	0-10V		Regmet
T2-teplota spotřeba	Pt100, 0-100°C	0-10V		Regmet
T3-teplota spotřeba	Pt100, 0-100°C	0-10V		Regmet
T4-teplota vrat	Pt100, 0-100°C	0-10V		Regmet
E1-elektrický ohřivač	230VAC/2,2 kW			
E2-čerpadlo	230VAC,RS25/4"		0-10V	WILO
K1-ovládání příkonu E1	230VAC, 2,2 kW		4-20mA	Shimaden
Y1-regulační ventil	JS15, třícestný	0-10V	0-10V	Belimo
U1-číslicový regulátor PID	PID, RS485	4-20mA	0-10V	Siemens

Měřené veličiny na soustavě (teploty T1, T2, T3, T4, poloha ventilu Y1) jsou napojeny na vstupní stranu centrální jednotky jako analogové signály. Centrální jednotka je typu PLC (Programmable Logic Controller), typ SIMATIC S7-300. Její výstupy ovládají akční jednotky systému analogovým výstupním signálem (ventil Y1). Propojení typu PROFIBUS je mezi PLC a regulátorem. Souhrn technických prostředků použitých na úloze DE1 je v tabulce 1.[1]

1.2.1 Čerpadlo WILO RS 25/4

Bezúdržbové, mokroběžné cirkulační čerpadlo pro montáž do potrubí s manuálním 3-stupňovým přepínáním otáček. Motor odolný proudu při zablokování rotoru. Těleso z šedé litiny, oběžné kolo z plastické hmoty zesílené skleněnými vlákny, hřídel z chromové oceli s grafitovými kluznými ložisky.



Obrázek 3. Čerpadlo WILO RS 25/4

Technické parametry:

- Čerpané médium: užitková voda
- Provozní teplota: $-10 \div +110 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Druh napájení: $\sim 230 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$
- Příkon P1 (max.): $0,056 \div 0,068 \text{ kW}$

1.2.2 Tlakoměr Cewal TRP 80 VI

Tlakoměr složený z pružinového manometru a termometru s bimetalovou spirálou. Provozní tlak $0 \div 4 \text{ bar}$, provozní teplota $0 \div 120 \text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obrázek 4. Tlakoměr Cewal TRP 80VI

1.2.3 Průtokový ohřívač WTERM EPJ 2,2 kW



Obrázek 5. Průtokový ohřívač Wterm EPJ 3,5kW

Jmenovitý příkon 2,2kW, napětí 220 V, minimální tlak vody 0,12 MPa, průtok při ohřátí o 40°C - 1,2 l/min.

1.2.4 Průmyslový řídicí systém SIMATIC S7-300

Je určen pro realizaci rozmanitých automatizačních úloh středního rozsahu. Poskytuje univerzální automatizační platformu pro systémová řešení s hlavním důrazem na výrobní technologii.



Obrázek 6. SIMATIC S7-300

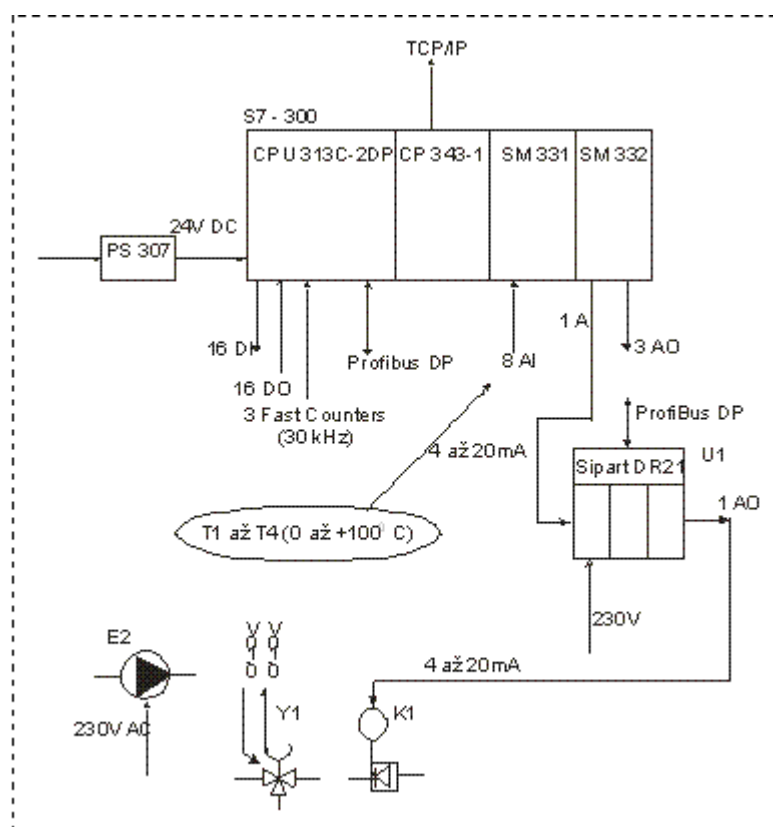
1.2.5 PID regulátor SIEMENS SIPART DR 21

Procesorový regulátor SIPART DR je kompaktní regulátor s kontinuálním nebo krokovým výstupem pro osazení do panelu. Funkční možnosti základního panelu je možné rozšířit zásuvnými moduly.

K dispozici jsou vstupní a výstupní moduly pro komunikaci přes RS 232, nebo PROFIBUS DP.



Obrázek 7. PID regulátor SIPART DR 21



Obrázek 8. Propojení prostředků systému úlohy DE1[1]



Obrázek 9. Rozvodná skříň úlohy DE1

2 ZÁKLADNÍ POJMY

2.1 Řízení, ovládání a regulace

Mezi inženýrskými systémy jsou důležité dvouprvkové systémy, ve kterých jeden prvek působí na druhý prvek tak, aby byl splněn určitý cíl. Prvek (subsystém), který vytváří toto působení, se nazývá řídicí (také se používá názvu řídicí systém) a prvek, na který je působeno, se nazývá řízený (řízený systém). Vlastní působení se nazývá řízení. Obecně dělíme řízení na ovládání (řízení bez zpětné vazby, řízení přímé) a regulaci (řízení se zpětnou vazbou, řízení podle odchylky).[2]

Ovládání chápeme jako systém řízení s otevřenou strukturou. Ovládací prvek je informován pouze o cíli, ale není informován o poruchách a stavu ovládaného prvku.

Regulace je naopak důležitý systém řízení s uzavřenou strukturou. Regulující prvek není sice informován o poruchách, ale je informován o stavu regulovaného prvku.

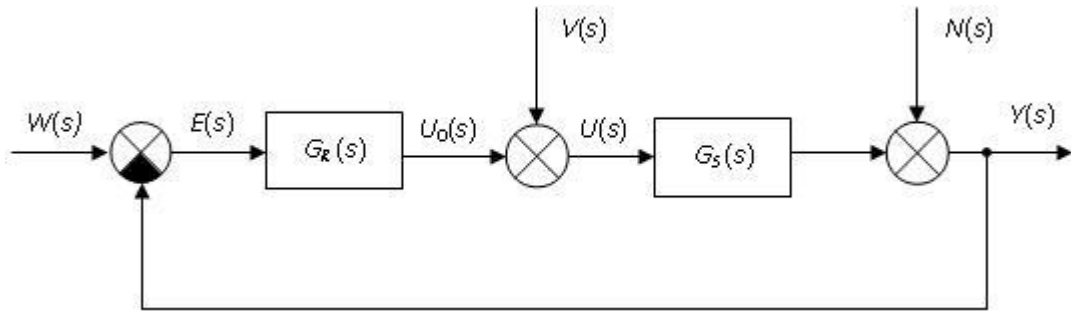
Regulace je značně dokonalejší druh řízení než ovládání, protože regulující prvek může vytvářet takové působení, které bude zaručovat, aby výsledek regulace se co nejvíce přibližoval požadovanému cíli.[2]

2.2 Regulační obvod

Regulační pochod probíhá v regulačním obvodu, který vzniká připojením regulátoru k regulované soustavě (obr. 10). Výstupní veličinou regulačního obvodu je regulovaná veličina Y , vstupními veličinami jsou poruchové veličiny, např. V , která působí na vstup regulované soustavy a N , která vstupuje do regulované soustavy někde v průběhu řízeného technologického procesu, případně i na výstupu ze soustavy (obecně mohou být poruchové veličiny kladné nebo záporné, podle toho, jak se při jejich působení mění regulovaná veličina), a žádaná veličina (žádaná hodnota regulované veličiny) W , jejíž rozdíl vzhledem k regulované veličině vytváří regulační odchylku E jako vstupní signál regulátoru:

$$E(s) = W(s) - Y(s) \quad (1)$$

Z fyzikálního hlediska je zřejmé že regulátor pracuje tak, aby zmenšoval, případně úplně odstranil regulační odchylku, tudíž jeho výstupní signál má opačné znaménko než signál vstupní.[2]



Obrázek 10. Schéma uzavřeného regulačního obvodu

2.3 Regulátor s pevně danou strukturou

Jsou reprezentovány standardními kombinacemi proporcionální (P), integrační (I) a derivační (D) regulační funkce. Těžiště návrhu vedle výběru vhodné kombinace (v současné době převládá univerzálně použitelná funkce PID, u níž se v případě potřeby některá složka činnosti potlačí nastavením) tvoří optimalizace hodnot stavitelných parametrů regulátoru. Jejich nastavení na optimální hodnoty může být provedeno experimentálně bez znalosti matematického modelu (v praxi považováno za značnou přednost) nebo analyticko-numerickými optimalizačními metodami, které vyžadují matematický model chování regulované soustavy. V obou případech je cílem optimalizace extremalizace některého ukazatele kvality regulace. [13]

Popis činnosti kombinovaného regulátoru:

$$\dots + T_2^2 \ddot{u}(t) + T_2 \dot{u}(t) + u(t) = r_0 e(t) + r_{-1} \int_0^t e(\tau) d\tau + r_1 \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

kde:

r_0 - proporcionální složka regulátoru

r_{-1} - integrační složka regulátoru

r_1 - derivační složka regulátoru

$\dots + T_2^2 \ddot{u}(t) + T_2 \dot{u}(t) + u(t)$ - zpožďující členy regulátoru

Jde o popis činnosti skutečného PID regulátoru (PID regulátor se zpožďujícími členy). Po provedení Laplaceovy transformace můžeme přenos upravit do následujícího tvaru:

$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{r_0 \left(1 + \frac{r_{-1}}{r_0} \frac{1}{s} + \frac{r_1}{r_0} s\right)}{1 + T_1 s + T_2^2 s} = \frac{K_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s\right)}{1 + T_1 s + T_2^2 s} \quad (3)$$

kde:

r_0 - proporcionální konstanta regulátoru

r_{-1} - integrační konstanta regulátoru

r_1 - derivační konstanta regulátoru

T_I - integrační časová konstanta regulátoru

T_D - derivační časová konstanta regulátoru

$K_p = r_0$ - zesílení regulátoru

3 IDENTIFIKACE SYSTÉMU

3.1 Pojem identifikace systémů

Identifikací se v širším slova smyslu rozumí proces ztotožňování poznatků a vědomostí o zkoumaném objektu se skutečností většinou na základě experimentů. Jedná se tedy o proces poznávání, který si je možno představit jako orientovanou interakci mezi poznávaným objektem (skutečností) a poznávacím subjektem (pozorovatelem). [10]

Výsledkem poznávacího procesu je určité relativní poznání o poznávaném objektu, které poznávající subjekt formuluje do jistých pouček a matematických vztahů. [10]

Důležitou úlohou při procesu identifikace sehrává bezesporu samotná identifikace informace, která se o objektu získává na základě jeho pozorování, což se převážně děje měřeními, které se kvalifikuje, uchovává a při konkretizaci modelu se známými a vhodnými prostředky a postupy zpracovává. [10]

K identifikaci můžeme přistupovat analytickým nebo experimentálním způsobem. [10]

Při analytickém způsobu identifikace sestavujeme model matematický na základě matematicko-fyzikální analýzy daného objektu. Vycházíme přitom z technologických, konstrukčních a provozních údajů o daném objektu. Podle chemických, fyzikálních a dalších zákonů popisujeme matematicky jevy, probíhající v objektu a tím získáváme vztahy mezi sledovanými veličinami. Tyto vztahy potom určují matematický model vyšetřovaného objektu. Do jaké hloubky jevů a struktury objektu musíme proniknout, záleží na účelu použití daného modelu. Čím je provedená analýza hlubší, tím přesnější by měl být i matematický model. Bude však nákladnější, složitější a jeho odvození pracnější a jeho používání náročnější. Proto je vždy důležité zvážit, do jakých podrobností objekt analyzovat, aby sestavený model byl dostatečně přesný a přitom však nebyl příliš nákladný a složitý. Takto získaný model je „strukturální“, což znamená, že jeho jednotlivé vztahy odpovídají příslušným částem vyšetřovaného objektu. Struktury modelu a objektu jsou si podobné, v modelu jsou použity obvykle stejné vnitřní (stavové) proměnné jako v objektu. Výhodou je zřejmá souvislost mezi parametry modelu a konstrukčními parametry objektu a jeho dynamickými vlastnostmi. Předností analytického přístupu je i to, že můžeme dynamické vlastnosti určovat a hodnotit i před vlastní realizací objektu. Tímto máme možnost v etapě návrhu objektu případnými změnami ovlivňovat (optimalizovat) jeho

dynamické vlastnosti. Takto získané modely se uplatní i při návrhu, projektování a simulaci dynamických systémů. [10]

Analytický přístup vyžaduje nejen důkladné znalosti matematické, ale také dokonalé znalosti oboru (technologie), do kterého vyšetřovaný objekt náleží. Analýza je často mimořádně obtížná, výsledné vztahy jsou neúměrně komplikované a je třeba vhodně zjednodušovat. Přesnost a použitelnost je omezená, jestliže uvažujeme různé náhodné vlivy a neurčitosti, které se ve většině reálných technických objektů projevují. [10]

Analytickým způsobem získáme vztahy mezi všemi vybranými veličinami v objektu. Z těchto vztahů můžeme určit jak stavové rovnice dynamického systému definovaného na vyšetřovaném objektu, tak i vnější popisy systému. [10]

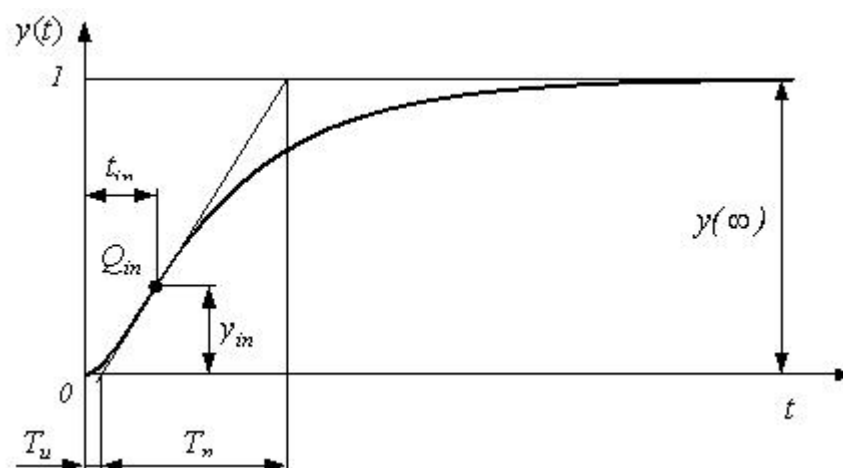
Hlavní charakteristikou experimentálního přístupu k identifikaci je, že využívá informace a údaje o vyšetřovaném objektu v průběhu jeho pozorování, resp. experimentování s ním. Rozborem průběhů vstupních a výstupních veličin objektu získáváme matematický model vyjadřující vnější popis systému. Model vyjadřuje vstupně-výstupní chování objektu, avšak neumožňuje pohled do vnitřní struktury identifikovaného objektu. Souvislost mezi parametry modelu a konstrukčními parametry objektu není z něj zřejmá. Při použití většiny metod experimentální identifikace postupujeme obvykle tak, že pro apriori známou anebo jiným způsobem předpokládanou strukturu modelu (tj. strukturu matematického vyjádření závislosti mezi sledovanými veličinami) se provede na základě pozorování vstupů a výstupů objektu odhad neznámých parametrů této struktury. Do experimentální identifikace, jestliže je správně provedená, můžeme zahrnout řadu závažných faktorů, které nemůžeme aplikovat při tvorbě modelu analytickým způsobem. Na vyšetřovaný objekt často působí náhodné veličiny nebo měřené veličiny jsou ovlivněny náhodnými chybami (šumem), případně vlastnost objektu se mění předem neznámým způsobem. Je zřejmé, že většina technologických procesů v průmyslu vykazuje právě takové chování. [10]

K nevýhodám experimentální identifikace patří, že vyšetřovaný objekt musí být přístupný experimentu a sledované veličiny musí být měřitelné. Dále si musíme uvědomit, že z vyšetřovaného modelu nemůžeme získat informace o vnitřní struktuře objektu. Rychlým rozvojem spolehlivé a přitom ekonomicky dostupné výpočetní techniky způsobil intenzivní rozvoj metod experimentální identifikace. Při identifikaci reálných objektů nejsme odkázáni jen na ryze analytický nebo ryze experimentální přístup. Zřejmě je nejvhodnější postup využívající citlivou a vhodnou kombinaci obou přístupů. Častý je např. způsob, kdy

model sestavený matematicko-fyzikální analýzou se používá pro jakýsi hrubý odhad vlastností vyšetřovaného objektu (hlavně z hlediska struktury) a poté se provádí ověřování nebo zpřesňování modelu experimentálními metodami. Rovněž je možné navržený analytický model porovnávat s reálným objektem prostřednictvím dat získaných simulací matematického modelu pomocí počítače s daty získanými experimentálním způsobem. Takovéto kombinace obou přístupů jsou velmi vhodné, protože umožňují vedle hlubšího proniknutí do vnitřní struktury objektu, model upřesňovat a korigovat na základě experimentu. [10]

3.2 Strejцова metoda aproximace přechodových charakteristik

Jednou z nejjednodušších metod a prakticky snadno použitelných metod aproximace přechodových charakteristik pro statické soustavy navrhl V. Strejc. Je vhodná pro objekty, které můžeme považovat za statické soustavy. Předpokládáme přitom, že kořeny charakteristické rovnice jsou reálné a záporné. Metoda umožňuje aproximovat naměřené data soustavami n -tého řádu se stejnými časovými konstantami, nebo soustavami druhého řádu s různě velkými časovými konstantami. O způsobu aproximace se rozhodne podle úseků, které vytíná na časové ose tečna, sestrojená v inflexním bodě aproximované přechodové charakteristiky, resp. podle poměru $\tau_u = T_u/T_n$, přičemž úsek T_u je doba průtahu a úsek T_n je doba náběhu. [18]



Obrázek 11. Normovaná přechodová charakteristika statické soustavy vyššího řádu [18]

Postup pro učení aproximačního přenosu vyšetřované soustavy, je následující:

Změřenou přechodovou charakteristiku, překreslíme v novém měřítku tak, aby se ustálená hodnota rovnala jedné (viz. *Obrázek 11*), získáme tak normovanou přechodovou charakteristiku. [18]

1) Sestrojíme tečnu v inflexním bodě přechodové charakteristiky a určíme hodnotu τ_u

$$\tau_u = T_u/T_n \quad (4)$$

2) Je-li $\tau_u \geq 0,104$ zvolíme pro aproximaci soustavu n -tého řádu se stejnými časovými konstantami.

a) Z podílu T_u/T_n určíme z tabulky (viz. Tabulka 1) nejbližší řád n aproximačního přenosu.

b) Z tabulky (viz. *Tabulka 2*) také stanovíme pro určený řád aproximačního přenosu hodnoty T_n/T , T_u/T nebo t_{in}/T , ze kterých určíme průměrnou neznámou časovou konstantu T .

c) Přenos aproximační soustavy má tvar

$$G(s) = \frac{K}{(Ts + 1)^n} \quad (5)$$

3) Je-li $\tau_u \leq 0,104$ zvolíme pro aproximaci soustavu druhého řádu s různě velkými časovými úseky t_1 a vypočítáme součet časových konstant.

a) Pro pořadnici $y(t_1) = 0,720$ odečteme z normované přechodové charakteristiky časový úsek t_1 a vypočítáme součet konstant

$$T_1 + T_2 = \frac{t_1}{1,2564} \quad (6)$$

b) Vypočítáme časový úsek

$$t_2 = 0,3574(T_1 + T_2) \quad (7)$$

a z normované přechodové charakteristiky odečteme příslušnou pořadnici $y(t_2)$.

c) Z grafu závislosti $y(t_2) = f(\tau)$ na obrázku (viz. *Obrázek 12*) určíme poměr časových konstant

$$\tau = \frac{T_2}{T_1} \quad (8)$$

d) Z rovnic (6) a (8) se určí hledané časové konstanty.

e) Přenos aproximační soustavy má tvar

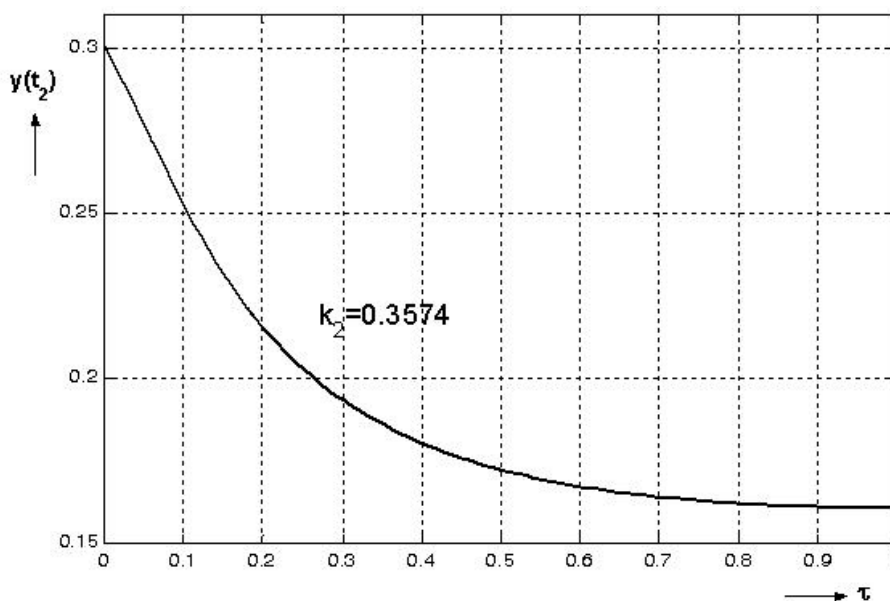
$$G(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} \quad (9)$$

4) Zesílení K se v obou případech určí podle vztahu

$$K = \frac{y(\infty) - y(0)}{\Delta u(t)} = \frac{\Delta y(t)}{\Delta u(t)} \quad (10)$$

Tabulka 2. Tabulka hodnot pro vyhodnocování statických soustav n -tého řádu se stejnými časovými konstantami [18]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
τ_u	0	0,104	0,218	0,319	0,410	0,493	0,570	0,642	0,709	0,771
t_{in}/T	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T_u/T	0	0,282	0,805	1,425	2,100	2,811	3,549	4,307	5,081	5,861
T_n/T	1,000	2,718	3,695	4,463	5,119	5,699	6,226	6,711	7,144	7,590



Obrázek 12. Graf pro určení poměru časových konstant $\tau=T_2/T_1$ pro normovanou přechodovou charakteristiku [18]

3.3 Metoda nejmenších čtverců

Metoda nejmenších čtverců je matematická metoda, určená ke statistickému zpracování dat. Jejím úkolem je nalézt vhodnou aproximační funkci pro dané empiricky zjištěné hodnoty. Daný je přitom rovněž parametrizovaný analytický předpis pro hledanou funkci – hledají se tedy vlastně jenom hodnoty těchto parametrů. [5]

Pro první přiblížení uvažujme závislost jisté proměnné y na proměnné x , danou nějakým předpisem $y = f(x)$. Pokud námi uvažovaná závislost má očekávaný tvar, např. $f(x) = ax + b$ (lineární závislost), mohlo by se zdát, že postačí pouze vybrat dvě dvojice $[x, y]$ naměřených hodnot a řešením soustavy dvou rovnic (dosazením dané dvojice hodnot) získat jednoduše koeficienty a , b , které hledáme. Není tomu tak, a to z důvodu chyby měření. V kostce řečeno:

Metoda nejmenších čtverců hledá takovou funkci, že součet čtverců odchylek jejích funkčních hodnot od daných naměřených hodnot je nejmenší možný. [5]

V rovině je dáno n bodů $[x_1, y_1], [x_2, y_2], \dots, [x_n, y_n]$.

Předpokládáme, že mezi hodnotami x a y platí vztah $y = f(x)$, kde $f(x)$ je funkce vhodného tvaru (lineární, kvadratická apod.). y_1, \dots, y_n mohou být např. nepřesně naměřené hodnoty $f(x)$ v bodech x_1, \dots, x_n . Kdyby při měření nenastaly chyby, platilo by $y_i = f(x_i)$ a body by ležely na křivce, ale ve skutečnosti jsou body $[x_i, y_i]$ vlivem chyb kolem křivky rozptýleny.

Chceme najít křivku, ke které by body $[x_i, y_i]$ co nejvíce „přiléhaly“. Takovým kritériem „přiléhavosti“ může být např. požadavek, aby součet čtverců rozdílů y souřadnic bodu na křivce a bodu naměřeného, pro stejnou hodnotu x , byl co nejmenší. Tuto metodu nazýváme metodou nejmenších čtverců. [5]

3.3.1 Vyrovnání souboru bodů přímkou pomocí metody nejmenších čtverců

Předpokládejme, že mezi x a y existuje závislost, kterou lze vhodně aproximovat lineární funkcí.

$$f : y = ax + b \quad (11)$$

Naměřený bod má souřadnice $[x_i, y_i]$.

Bod na vyrovnávací přímce má souřadnice $[x_i, ax_i + b]$.

Rozdíl y souřadnic:

$$\Delta y_i = ax_i + b - y_i \quad (12)$$

Čtverec rozdílu:

$$(\Delta y_i)^2 = (ax_i + b - y_i)^2 \quad (13)$$

Součet čtverců rozdílů:

$$\sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2 = \sum_{i=1}^n (ax_i + b - y_i)^2 \quad (14)$$

Budeme hledat a, b takové, aby součet čtverců rozdílů byl co nejmenší. Je to funkce dvou proměnných a, b a budeme hledat její lokální minimum. [5]

$$F'_a(a, b) = 2 \sum_{i=1}^n (ax_i + b - y_i)x_i \quad (15)$$

$$F'_b(a, b) = 2 \sum_{i=1}^n (ax_i + b - y_i) \quad (16)$$

$$F'_a(a, b) = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n (ax_i + b - y_i)x_i = 0 \quad (17)$$

$$F'_b(a, b) = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n (ax_i + b - y_i) = 0 \quad (18)$$

Odtud vyplývá:

$$a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b - \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (19)$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i + bn = \sum_{i=1}^n y_i \quad (20)$$

Rovnice vyřešíme a získáme hodnoty a, b hledané přímky. [5]

3.4 Řešení rovnic v prostředí Excel

Pro jednodušší výpočty a pro práci s maticemi se dnes hojně používá program EXCEL firmy Microsoft. Jedná se o systém, který je primárně určen pro práci s tabulkami. Jelikož jsou matice v podstatě také tabulky, hodí se pro tento druh výpočtů právě EXCEL. Tento program má i některé jiné přednosti, například obsahuje mnoho funkcí pro statistické

výpočty a má možnost vytvářet z vypočtených hodnot grafy. Také obsahuje poměrně výkonný makrojazyk a má možnost importu a interpretace programů napsaných ve Visual Basic. Mezi nevýhody programu EXCEL patří jednostranné zaměření na numerické řešení zadaných výrazů. [3]

Aplikace Microsoft Office Excel 2007 je účinný nástroj pro analýzy, sdílení a správu informací napomáhající činit informovanější rozhodnutí. Aplikace Office Excel 2007 poskytuje nové uživatelské rozhraní orientované na výsledky, nové zobrazení kontingenčních tabulek, které se snadněji vytvářejí a používají, má vylepšené vytváření vzorců, bohatou vizualizaci dat a rychlejší způsob vytváření profesionálních tabulek a grafů. [3]

Uživatelské rozhraní zaměřené na výsledky aplikace Office Excel 2007 poskytuje nové rozhraní orientované na výsledky. Na základě cíle práce, kterou je třeba splnit, ať již se jedná o vytvoření tabulky nebo zápis vzorce, nabízí aplikace Office Excel 2007 potřebné příkazy. [3]

Aplikace Office Excel 2007 podporuje tabulky o velikosti až 1 milion řádků a 16 000 sloupců, což vylučuje potřebu práce v několika tabulkách nebo jiných aplikacích, které jsou třeba k analýzám rozsáhlých množství informací. [3]

Profesionálně vyhlížející grafy jsou nyní rychleji vytvářeny díky funkcím pro vytváření grafů v novém uživatelském rozhraní aplikace Office Excel 2007. V grafu mohou být použita bohatá vizuální vylepšení, jako je například trojrozměrnost, jemné stínování a průhlednost.

V této práci bylo pomocí nástroje „řešitel“, který je součástí programu Excel, nalezeny optimální velikosti parametrů T_1 , T_2 a K tak, aby přechodová charakteristika aproximovaného modelu co nejvíce odpovídala charakteristice reálného modelu.

3.4.1 Řešitel

Pomocí „Řešitele“ můžeme nalézt optimální hodnotu účelové funkce definované vzorcem v jedné buňce (nazývané cílová buňka) listu. Řešitel pracuje se skupinou buněk, které přímo nebo nepřímo souvisejí se vzorcem v cílové buňce. Řešitel upravuje hodnoty v určených měněných buňkách, nazývaných měnitelné buňky, tak, aby bylo dosaženo požadované hodnoty účelové funkce. Chcete-li omezit hodnoty, které bude Řešitel

v modelu používat, můžete použít omezující podmínky, které se mohou vztahovat k buňkám ovlivňujícím vzorec v cílové buňce.

Řešitel je sofistikovanějším a přesnějším nástrojem k nalezení nejen hodnot funkce (obecně funkce několika proměnných) definované matematickým výrazem, nýbrž i jejich extrémů.

3.4.2 Korelace vzorku

Znamená vzájemný vztah mezi dvěma procesy nebo veličinami. Pokud se jedna z nich mění, mění se korelativně i druhá a naopak. Pokud se mezi dvěma procesy ukáže korelace, je pravděpodobné, že na sobě závisejí, nelze z toho však ještě usoudit, že by jeden z nich musel být příčinou a druhý následkem. To samotná korelace nedovoluje rozhodnout.

V určitějším slova smyslu se pojem korelace používá ve statistice, kde znamená vzájemný lineární vztah mezi znaky či veličinami x a y . Míru korelace pak vyjadřuje korelační koeficient, který může nabývat hodnot od -1 až po +1. [6]

Jestliže my máme sérii n měření X a Y psaný jak x_i a y_i kde $i = 1, 2, \dots, n$, pak Pearson produkt-momentový korelační koeficient může být zvyklý na odhad korelace X a Y . Pearson koeficient je také známý jako “vzorkový korelační koeficient”. To je obzvláště důležité jestliže X a Y jsou oba normálně distribuovaní. Pearson korelační koeficient je pak nejlepší odhad korelace X a Y . [6] Pearson korelační koeficient je psán:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} \quad (21)$$

kde \bar{x} a \bar{y} jsou prostředky vzorku x_i a y_i , s_x a s_y jsou vzorkové směrodatné odchylky x_i a y_i a součet je od $i = 1$ k n . Jak s korelací populace, my můžeme přepsat toto jako

$$r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (22)$$

Koeficient korelace

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (23)$$

Parametr pravděpodobnostního rozdělení

$$\rho = \frac{\text{COV}_{xy}}{\sqrt{\sigma_y^2 \cdot \sigma_x^2}} \quad (24)$$

Kovariace

$$\text{COV}_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n}} \quad (25)$$

σ_x a σ_y jsou směrodatné odchylky X a Y. [6]

4 SYNTÉZA REGULAČNÍHO OBVODU

V této práci byly prováděny výpočty konstant jednotlivých regulátorů z identifikovaných soustav. Výpočty byly provedeny různými metodami k porovnání a to metodou Ziegler-Nicholse, metodou inverze dynamiky a Naslimovou metodou.

4.1 Řízení systémů s dopravním zpožděním

Přítomnost dopravního zpoždění v procesu zvyšuje nároky na jeho řízení. Pro řízení systémů s dopravním zpožděním byla navržena spousta různých postupů, jako je použití klasického Smithova prediktoru a jeho dále vyvinutých modifikací, použití různých konfigurací P, PI, PID regulátorů, metoda požadovaného modelu a další. Metody se liší jak použitými konfiguracemi systému řízení, tak základními přístupy a matematickými postupy při návrhu regulátorů. Použití některých těchto metod je přitom omezeno pouze na určitou třídu systémů (např. klasický Smithův prediktor může být použit pro systémy stabilní). [11]

4.2 Aproximace dopravního zpoždění

V regulačních obvodech se často vyskytuje člen dopravního zpoždění, který představuje exponenciální výraz e^{-Ls} . Tento člen dopravního zpoždění je zejména vlastností regulované soustavy a zhoršuje stabilitu obvodu. Dopravní zpoždění můžeme kompenzovat a to použitím zapojení, jež je nazýváno jako Smithův prediktor. Mimo kompenzace dopravního zpoždění, můžeme použít i klasický zpětnovazební obvod, s tím, že toto zpoždění aproximujeme. Aproximované dopravní zpoždění poté můžeme zahrnout přímo do přenosu regulované soustavy, a pro takto upravenou soustavu využít metod syntézy navržených pro nastavení parametru regulátoru pro soustavy bez dopravního zpoždění. [11]

Existuje několik způsobů aproximace dopravního zpoždění, zde jsou uvedeny tři způsoby aproximace dopravního zpoždění. [11]

1. Padeho aproximace

Tato aproximace je vyjádřena poměrem dvou funkcí

$$e^{-Ls} \approx \frac{P_n(s)}{Q_n(s)} \quad (26)$$

kde značí

$$P_n(s) = 1 - \frac{sL}{2} + \frac{n(n-1)}{2n(2n-1)} \frac{s^2 L^2}{2!} - \dots + \frac{(-1)^n n!}{(2n)!} s^n L^n \quad (27)$$

$$Q_n(s) = 1 + \frac{sL}{2} + \frac{n(n-1)}{2n(2n-1)} \frac{s^2 L^2}{2!} + \dots + \frac{n!}{(2n)!} s^n L^n$$

Volbou „n“ lze ovlivnit přesnost aproximace, např.

- pro $n = 2$ lze uspokojivě použít pro úhlový kmitočet

$$0 \leq \omega \leq \frac{2}{L} \quad (28)$$

- pro $n = 4$ lze uspokojivě použít pro úhlový kmitočet

$$0 \leq \omega \leq \frac{6}{L} \quad (29)$$

Nejčastěji je používána Padeho aproximace ve zjednodušeném tvaru ($n = 1$)

$$e^{-Ts} \approx \frac{1 - \frac{sL}{2}}{1 + \frac{sL}{2}} \quad (30)$$

2. Taylorova aproximace čitatele

Tato aproximace je vyjádřena ve tvaru

$$e^{-Ls} = (1 - Ls + \dots) \approx \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} (Ls)^n \quad (31)$$

Pro $n = 1$ platí

$$e^{-Ls} \approx 1 - Ls \quad (32)$$

3. Taylorova aproximace jmenovatele

Tato aproximace je vyjádřena ve tvaru

$$e^{-Ls} = \frac{1}{e^{Ls}} = \frac{1}{(1 + Ls + \dots)} \approx \frac{1}{\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} (Ls)^n} \quad (33)$$

Pro $n = 1$ platí

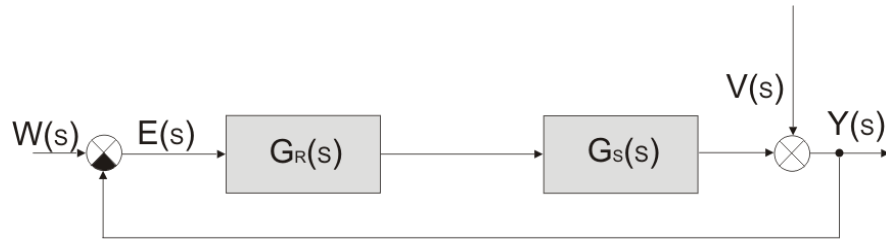
$$e^{-Ls} \approx \frac{1}{1 + Ls} \quad (34)$$

Přesnost aproximace lze ovlivnit volbou hodnoty „ n “, přičemž platí, že čím vyšší je „ n “ tím je aproximace přesnější, ale na druhou stranu roste stupeň čitatele, resp. jmenovatele výsledného aproximovaného přenosu. Hodnota „ n “ by se proto měla volit s ohledem na velikost dopravního zpoždění. Pro aproximaci menšího dopravního zpoždění je možno použít hodnoty $n = 1$, $n = 2$. [11]

4.3 Metoda požadovaného modelu (inverze dynamiky)

Metoda inverze dynamiky umožňuje snadné a rychlé seřízení konvenčních typů analogových spojitých regulátorů (viz *Tabulka 3*) pro základní druhy regulovaných soustav s dopravním zpožděním, jejichž přenosy jsou uvedeny v tab. 5.[2]

Podle tohoto přístupu je možné určit vhodný typ konvenčního analogového regulátoru a seřídit jej tak, aby bylo dosaženo požadovaného relativního překmitu regulované veličiny od 0% do 50% při skokové změně polohy žádané veličiny nebo poruchové veličiny působící na výstupu regulované soustavy (viz *Obrázek 13*) a nulové trvalé regulační odchylky.[2]



Obrázek 13. Blokové schéma spojitého regulačního obvodu

Tabulka 3. Přenosy konvenčních analogových regulátorů

Typ	Přenos analogového regulátoru
P	k_R
I	$\frac{1}{T_I s}$
PI	$k_R \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right)$
PD	$k_R (1 + T_D s)$
PID	$k_R \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right)$

V souladu s obr. 13 přenos regulátoru $G_R(s)$, který zajistí požadovaný přenos řízení $G_W(s)$, je dán vztahem

$$G_R(s) = \frac{1}{G_R(s)} \frac{G_W(s)}{1 - G_W(s)} \quad (35)$$

Budeme předpokládat, že požadovaný přenos řízení má tvar

$$G_W(s) = \frac{k_{oa}}{s + k_{oa}} e^{-T_d s} \quad (36)$$

Kde k_{oa} je zesílení otevřeného regulačního obvodu s analogovým regulátorem a τ_d je dopravní zpoždění, které je stejné jako u regulované soustavy. Meznímu nekmitavému (aperiodickému) regulačnímu pochodu odpovídá takové zesílení otevřeného regulačního obvodu k_{oa}^a , při kterém charakteristický kvazimnohočlen regulačního obvodu [viz (36)]

$$N(s) = s + k_{oa} \cdot e^{-T_d s} \quad (37)$$

má nejméně jeden stabilní dominantní dvojnásobný reálný kořen.[2]

Tento kořen $s_{1,2}^a$ a zesílení k_{oa}^a dostaneme ze vztahů

$$N(s) = 0, \quad \frac{dN(s)}{ds} = 0, \quad (38)$$

tj.

$$s_{1,2}^a = -\frac{1}{T_d}, \quad k_{oa}^a = \frac{1}{T_d \cdot e^{-T_d s}} \quad (39)$$

Regulační pochod na kmitavé mezi stability způsobí kritické zesílení otevřeného regulačního obvodu k_{oa}^a . V tomto případě charakteristický mnohočlen $N(s) = s + k_{oa} \cdot e^{-T_d s}$ má dominantní komplexně sdruženou ryze imaginární dvojici kořenů. Snadno se dokázat, že těmto podmínkám vyhovuje řešení

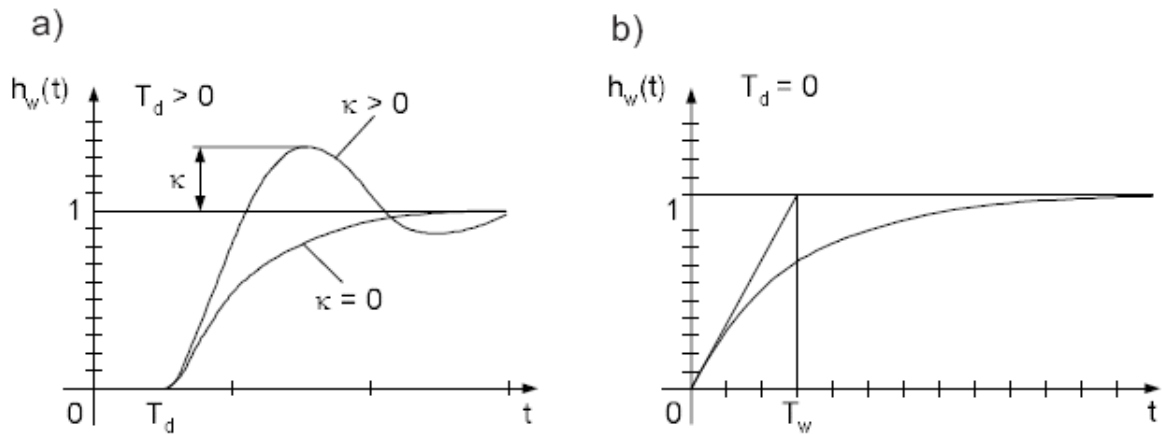
$$s_{1,2}^k = \pm j \frac{\pi}{2T_d}, \quad k_{oa}^k = \frac{\pi}{2T_d} \quad (40)$$

Na základě vztahů ($s_{1,2}^a = -\frac{1}{T_d}$, $k_{oa}^a = \frac{1}{T_d \cdot e^{-T_d s}}$) a ($s_{1,2}^k = \pm j \frac{\pi}{2T_d}$, $k_{oa}^k = \frac{\pi}{2T_d}$) lze

předpokládat, že závislost zesílení otevřeného regulačního obvodu k_{oa} na relativním překmitu k (viz *Obrázek 14a*) je dán vztahem

$$k_{oa} \approx a = \frac{1}{\beta(k)T_d} \quad (41)$$

Kde β je koeficient závislý na relativním překmitu k .[2]



Obrázek 14. Přejchodové charakteristiky regulačního obvodu:

a) pro $T_d > 0$, b) pro $T_d = 0$

Hodnoty koeficientu β v závislosti na relativním překmitu k pro $k = 0$ a $k = 1$, tj.

$$\beta(0) = e \doteq 2.718 \quad \text{a} \quad \beta(1) = \frac{2}{\pi},$$

byly získány analyticky [viz vztahy ($s_{1,2}^a = -\frac{1}{T_d}$, $k_{oa}^a = \frac{1}{T_d \cdot e^{-T_d s}}$) a

($s_{1,2}^k = \pm j \frac{\pi}{2T_d}$, $k_{oa}^k = \frac{\pi}{2T_d}$)]. Pro prakticky použitelný rozsah $k = 0 \div 0,5$ hodnoty

koeficientu β byly získány číslíkovou simulací (viz tab. 4), a proto zesílení regulačního

obvodu k_{oa} je ve vztahu $k_{oa} \approx a = \frac{1}{\beta(k)T_d}$ označeno jako a . [2]

Tabulka 4. Závislost koeficientu β na relativním překmitu

k	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
β	2,718	1,944	1,720	1,561	1,437	1,337	1,248	1,172	1,104	1,045	0,992

Na základě vztahů $G_R(s) = \frac{1}{G_R(s) - G_W(s)}$, $G_W(s) = \frac{k_{oa}}{s + k_{oa} e^{-T_d s}} \cdot e^{-T_d s}$,

$k_{oa} \approx a = \frac{1}{\beta(k)T_d}$ dostaneme vztah na přenos doporučeného regulátoru

$$G_R(s) = \frac{a}{sG_s(s)} e^{-T_d s} \quad (42)$$

Pomocí tohoto vztahu pro základní přenosy regulovaných soustav uvedených v tab. 5 byly pro $T_d > 0$ získány doporučené typy konvenčních analogových regulátorů a hodnoty jejich stavitelných parametrů. [2]

Zesílení regulačního obvodu a se určí na základě vztahu

$$a = \frac{1}{\beta T_d} \quad (43)$$

kde koeficient β je dán požadovaným relativním překmitem k v souladu s tab. 4.

Metodu inverze dynamiky je také možno použít pro regulované soustavy s přenosy uvedenými v tab. 5. pro $T_d = 0$. V tomto případě má požadovaný přenos řízení tvar (viz *Obrázek 14b*)

$$G_w(s) = \frac{1}{T_w s + 1} \quad (44)$$

Kde, T_w je požadovaná časová konstanta regulačního obvodu.

Regulační obvod je nekmitavý (aperiodický), přičemž časovou konstantu T_w je třeba volit s ohledem na omezení akční veličiny a maximální nastavitelnou hodnotu zesílení regulátoru $k_{R\max}$.

Tabulka 5. Doporučené typy analogových regulátorů a hodnoty jejich stavitelných parametrů

REGULOVANÁ SOUSTAVA		REGULÁTOR				
		TYP	k_R^*		T_I	T_D
			$T_d = 0$	$T_d > 0$		
1	$\frac{c_s}{s} e^{-T_d s}$	P	$\frac{1}{c_s T_w}$	$\frac{a}{c_s}$	-	-
2	$\frac{k_s}{T_1 s + 1} e^{-T_d s}$	PI	$\frac{T_I^*}{k_s T_w}$	$\frac{a T_I^*}{k_s}$	T_1	-
3	$\frac{c_s}{s(T_1 s + 1)} e^{-T_d s}$	PD	$\frac{1}{c_s T_w}$	$\frac{a}{c_s}$	-	T_1
4	$\frac{k_s}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} e^{-T_d s}$	PID	$\frac{T_I^*}{k_s T_w}$	$\frac{a T_I^*}{k_s}$	$T_1 + T_2$	$\frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2}$
5	$\frac{k_s}{T_0^2 s^2 + 2\xi_0 T_0 s + 1} e^{-T_d s}$ $0,5 < \xi_0 \leq 1$	PID	$\frac{T_I^*}{k_s T_w}$	$\frac{a T_I^*}{k_s}$	$2\xi_0 T_0$	$\frac{T_0}{2\xi_0}$

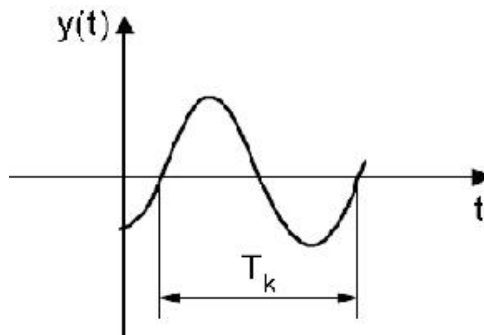
k_s - koeficient přenosu proporcionální regulované soustavy, c_s - koeficient přenosu integrační regulované soustavy, T_i - setrvačná časová konstanta regulované soustavy ($i=0, 1, 2$), ξ_0 - koeficient poměrného tlumení regulované soustavy, T_w - požadovaná setrvačná časová konstanta přenosu řízení uzavřeného regulačního obvodu, a - zesílení, k_R^* - doporučené zesílení regulátoru, T_I^* - doporučená integrační časová konstanta regulátoru, T_D^* - doporučená derivační časová konstanta regulátoru. [2]

4.4 Metoda kritického zesílení regulátoru (metoda Ziegler-Nicholsova)

Původně se jednalo o čistě empirickou metodu pro nastavení stavitelných parametrů regulátoru, který je připojen k vlastní skutečné regulované soustavě. Jde o metodu uzavřené smyčky na mezi stability. Základní myšlenkou metody je přivést regulační obvod do tzv. kritického stavu, tj. na hranici stability, přičemž regulátor pracuje pouze s proporcionální složkou a tedy integrační a derivační složka jsou vyřazeny nastavením

$$T_I = \infty \quad \text{a} \quad T_D = 0 \quad \text{resp.} \quad r_{-1} = 0 \quad \text{a} \quad r_1 = 0 \quad (45)$$

Do kritického stavu obvod převedeme postupným zvyšováním zesílení regulátoru k_R , resp. r_0 , až obvod začne kmitat s konstantní amplitudou. Zesílení regulátoru, při kterém k tomu došlo, nazýváme kritickým zesílením $k_R = k_{Rk}$, resp. $r_0 = r_{0k}$ a periodu kritických kmitů $T = T_k$. Tyto tzv. kritické hodnoty dosadíme do empirických vztahů pro použitý typ regulátoru a vypočítáme doporučené seřízení (viz tab. 6.). [2]



Obrázek 15. Určení T_k při r_{0k} resp. r_{-1k}

Tabulka 6. Seřízení spojitého regulátoru z kritických hodnot regulátoru

Typ regulátoru	$G_R(s) = k_R \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right)$	$G_R(s) = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} + r_1 s$				
a) Kmitavý proces, tj. pro překmit $k=(20 \text{ až } 40)\%$						
	$k_R^* \equiv k_p^*$	T_I^*	T_D^*	r_0^*	r_{-1}^*	r_1
P	$0,5k_{pk}$	-	-	$0,5r_{0k}$	-	-

<i>PI</i>	$0,45k_{Pk}$	$\frac{T_k}{1,2}$	-	$0,45r_{0k}$	$\frac{0,54r_{0k}}{T_k}$	-
<i>PD</i>	$0,5k_{Pk}$	-	$0,05T_k$	$0,5r_{0k}$	-	$0,02r_{0k}T_k$
<i>PID</i>	$0,6k_{Pk}$	$0,5T_k$	$0,12T_k$	$0,6r_{0k}$	$1,2\frac{r_{0k}}{T_k}$	$0,075r_{0k}T_k$
<i>I⁺</i>	-	$2T_k$	-	-	$0,5r_{-1}$	-
b) nekmitavý proces, tj. pro překmit $k=0\%$						
<i>P</i>	$0,25k_{Pk}$	-	-	$0,25r_{0k}$	-	-
<i>I</i>	-	$4T_k$	-	-	$0,25r_{-1}$	-

⁺) V případě čistě integračního regulátoru přivedeme regulační obvod do kritického stavu snížením $T_I \rightarrow T_{Ik}$ resp. zvyšováním $r_{-1} \rightarrow r_{-1k}$. [2]

4.5 Naslimova metoda

Naslim dokázal, že když pro koeficienty charakteristické rovnice (46) uzavřeného regulačního obvodu

$$a_n s^n + \dots + a_2 s^2 + a_1 s + a_0 = 0 \tag{46}$$

platí nerovnosti

$$a_i^2 \geq \alpha \cdot a_{i-1} \cdot a_{i+1} \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, (n-1) \tag{47}$$

Potom maximální přeregulování $\Delta y_{\max} [\%]$ (překmit) závisí na hodnotě α podle tabulky 7. [2]

Tabulka 7. Závislost $\Delta y_{\max} [\%]$ na α dle Naslima)

α	1,75	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4
$\Delta y_{\max} [\%]$	16	12	8	5	3	1

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 POSOUZENÍ STAVU PROVOZU

Od počátku se u úlohy DE1 projevovaly omezení, které se poznaly až při provozování. Je to např. rychlý přeběh hodnoty teploty do maxima a následné její omezování, velká kmitavost systému, malý vliv konstant regulátoru na průběh regulačního pochodu. Proto se na základě tohoto zjištění budu v této části práce zabývat posouzením stavu soustavy, pro různé hodnoty příkonu ohřívače vody a rychlosti otáček čerpadla. Rychlost otáček čerpadla je možné nastavit pouze manuálně na samotném čerpadle. Čerpadlo má celkem 3 stupně rychlosti otáčení. Pro všechna měření, kdy byla prováděna identifikace, byl regulační ventil nastaven v poloze 0% a délka identifikace byla 45 minut. V soustavě se nachází celkem 4 druhy teplotních čidel PT 100 (T1, T2, T3, T4), kde T1 se nachází na výstupu z ohřívače vody, T2 ve vzdálenější části otopného tělesa, T3 na výstupu z otopného tělesa a T4 je umístěn před čerpadlem, tak jako je to zakresleno na obr. (2). Měření je prováděno všemi čidly, ale identifikace a výpočet hodnot pro nastavení PID regulátoru bude provedena jen pro čidlo T4.

Bylo provedeno celkem 15 měření:

- 5 měření pro příkon tělesa 10%, 15%, 20%, 25%, 30% a rychlost otáček čerpadla v maximální poloze
- 5 měření pro příkon tělesa 10%, 15%, 20%, 25%, 30% a rychlost otáček čerpadla ve střední poloze
- 5 měření pro příkon tělesa 10%, 15%, 20%, 25%, 30% a rychlost otáček čerpadla v poloze min.

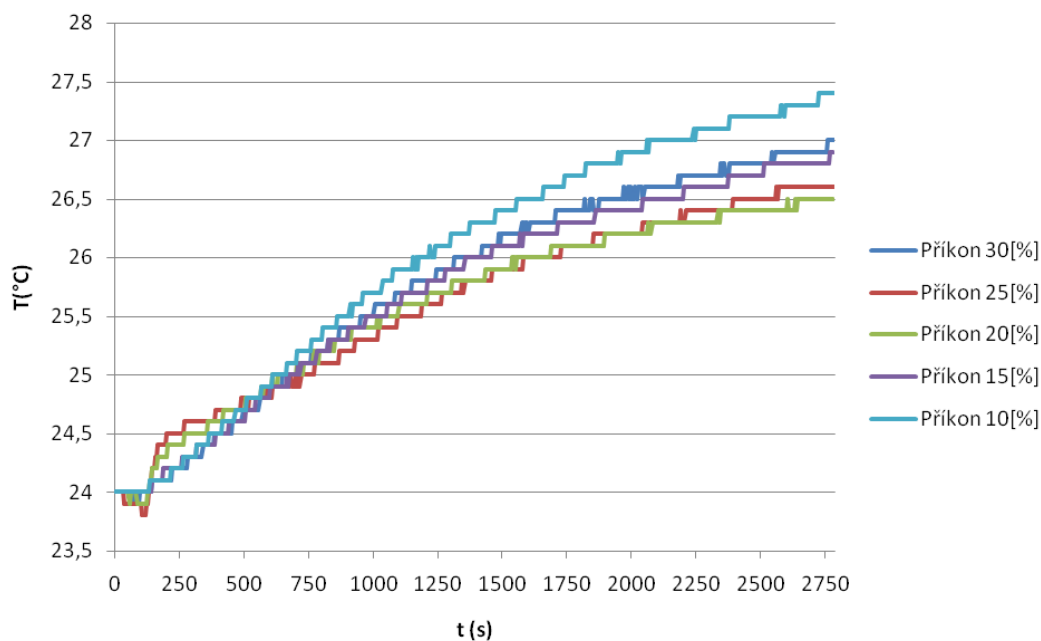
Pro obsáhlost jsou výsledky všech těchto měření v příložených souborech.

5.1 Otáčky čerpadla

Při identifikaci soustavy, kdy otáčky čerpadla byly v nejnižší poloze, jsem narazil na první problém, který způsoboval to, že teplota ohřívání vody nedosáhla hodnoty vyšší jak 30°C. V průměru bylo dosaženo navýšení teploty jen o 4°C.

Po prozkoumání soustavy byl nalezen problém v průtokovém ohřívači vody. Průtokový ohřívač je konstruován tak, aby jeho cílem bylo dosažení optimální teploty vytékající vody pomocí omezení maximálního průtoku vody.

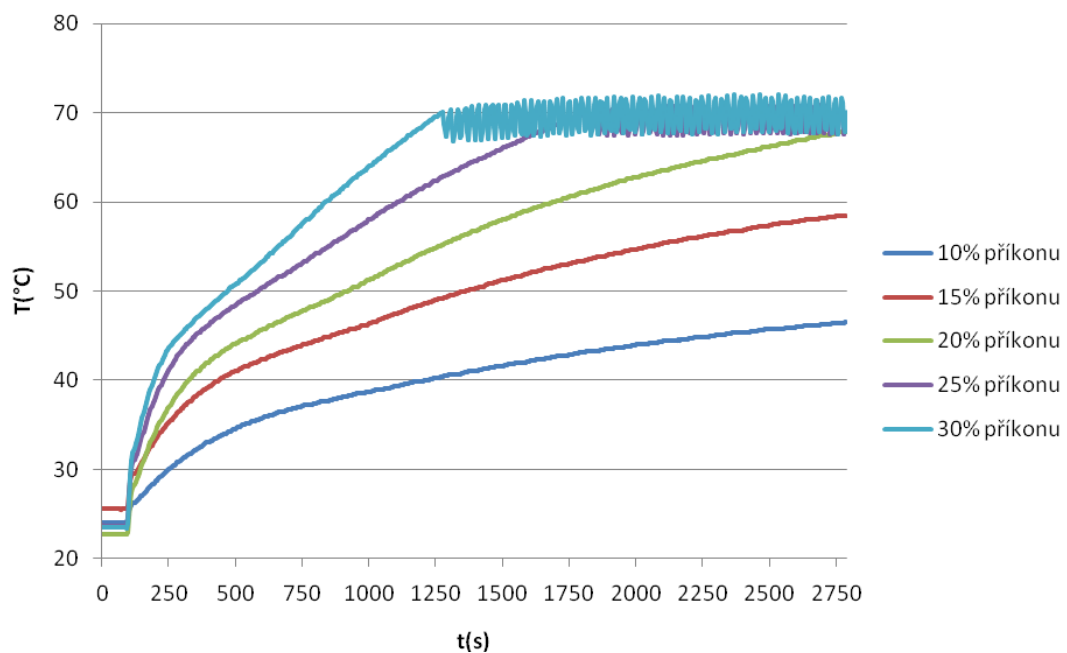
To znamená, že je potřeba upozornit na to, že úlohu není možné provozovat pro nejnižší nastavení otáček čerpadla.



Obrázek 16. Výstupní teploty při nízkých otáčkách čerpadla

5.2 Příkon topného tělesa

Dalším problémem, na který jsem narazil při posuzování stavu provozu, byl příkon otopného tělesa. Při maximálních, nebo středních otáčkách čerpadla a při zadání parametrů příkonu do identifikace vyšší jak 20%, docházelo k přehřívání otopné soustavy a následnému vypínání topného tělesa, tak jak je to vidět na přiložených grafech, takže ohřev byl velmi strmý a dostával se rychle do saturace. Při velmi malém nastaveném příkonu trvala doba identifikace do ustáleného stavu nad možných 45 minut.



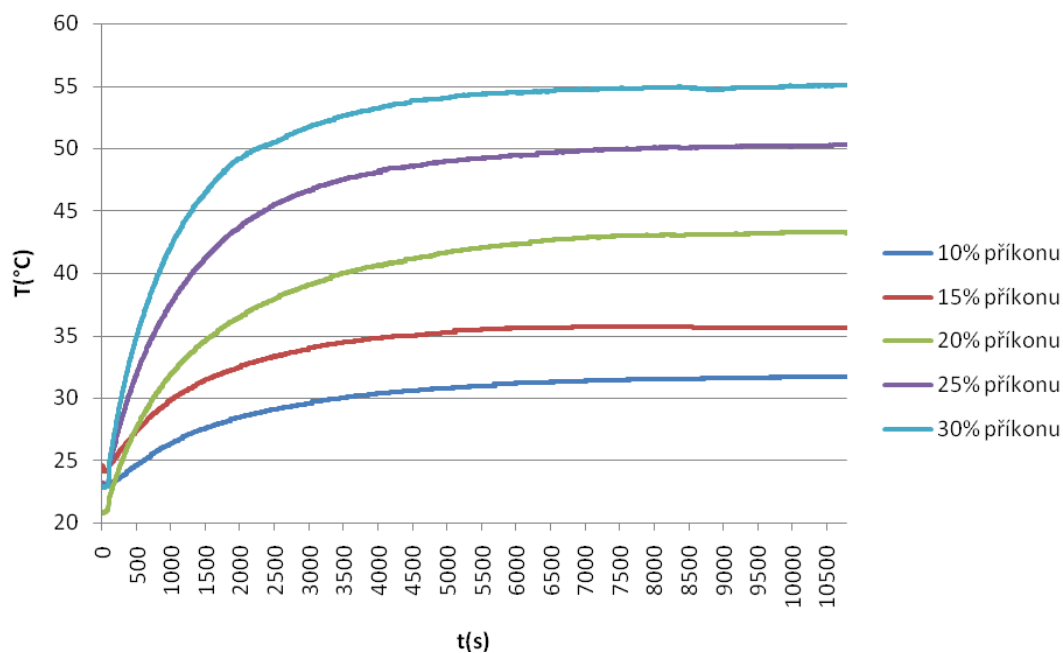
Obrázek 17. Průběhy hodnot teplot experimentální identifikace v původním stavu

Abychom se ujistily, že regulátor pracuje správně, tak jsme společně s vedoucím práce provedli měření výstupního proudu, kterým je ovládán jednofázový regulátor napětí, který ovládá příkon topného tělesa soustavy.

Při měření byl vložen do obvodu multimetr, kterým byl měřen výstupní proud a porovnáván s hodnotou (%) udávanou v prostředí LABI. Ovládací proud vstupující do regulátoru je 4-20mA.

Z výsledků měření jsme nezjistily žádný problém, tzn., že ovládací proud odpovídal hodnotě výstupního výkonu (%). Schéma zapojení ampérmetru do obvodu je uvedeno v příloze P1.

Na základě tohoto zjištění byla provedena úprava stávajícího programu. Došlo k omezení elektrického výkonu topného tělesa z původních 100% (230Vef.) na 30% (70Vef.). Touto změnou již nedochází k rychlému přehřívání tepelné soustavy a k následnému vypínání tělesa. Současně bylo provedeno prodloužení omezení doby trvání experimentu ze 45min na 180minut. Průběhy přechodových charakteristik po úpravě jsou zaznamenány na obrázku 18.

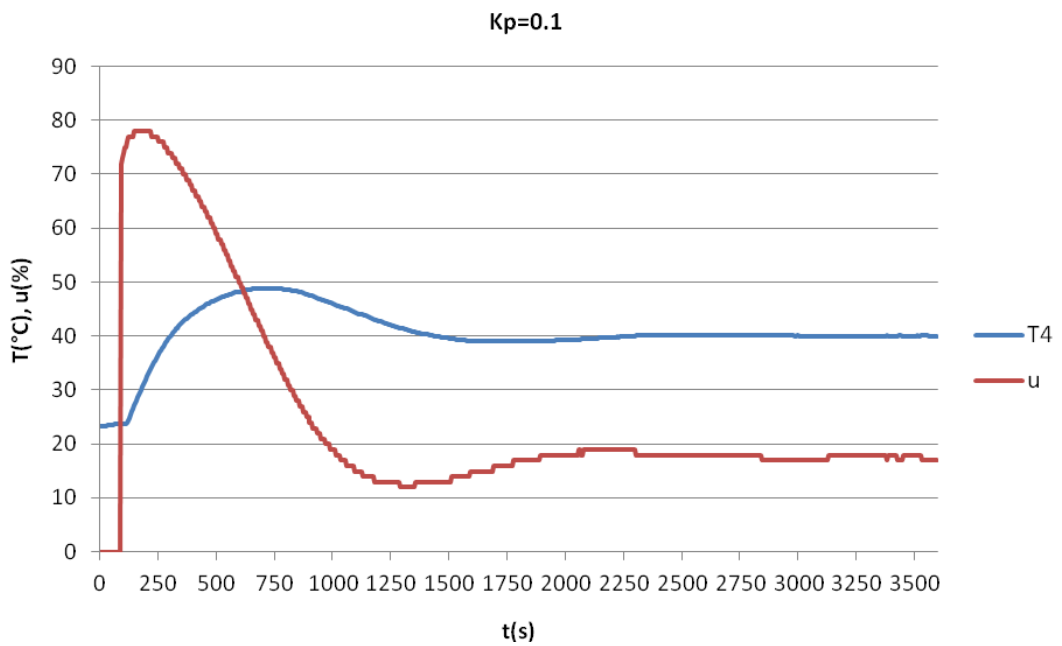


Obrázek 18. Průběhy hodnot teplot experimentální identifikace po úpravě

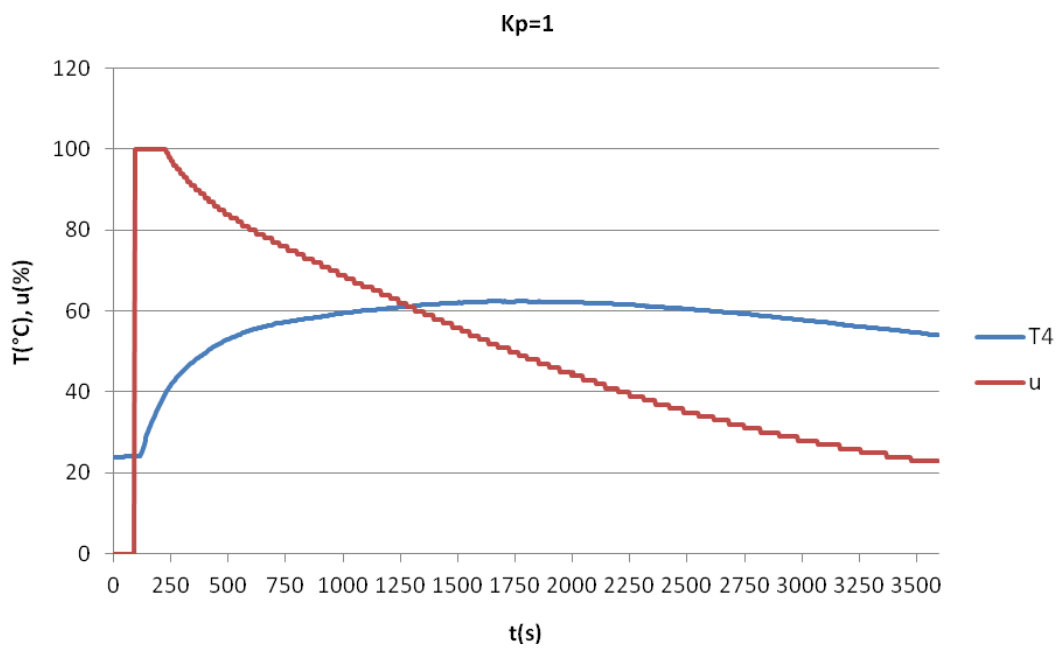
5.1 Vyhodnocení konstanty zesílení regulátoru zadávané do úlohy

Při provádění regulace teploty v režimu automat je možnost nastavení pásma proporcionality $P[\%]$. Při podrobném prostudování manuálu k regulátoru a pokusech měření, byla zjištěna chyba v úloze, kde v nastavení konstanty pro pásmo proporcionality ($P[\%]$) by měla být zadávána konstanta zesílení (K_p). Pro ověření bylo na reálném modelu provedeno několik měření.

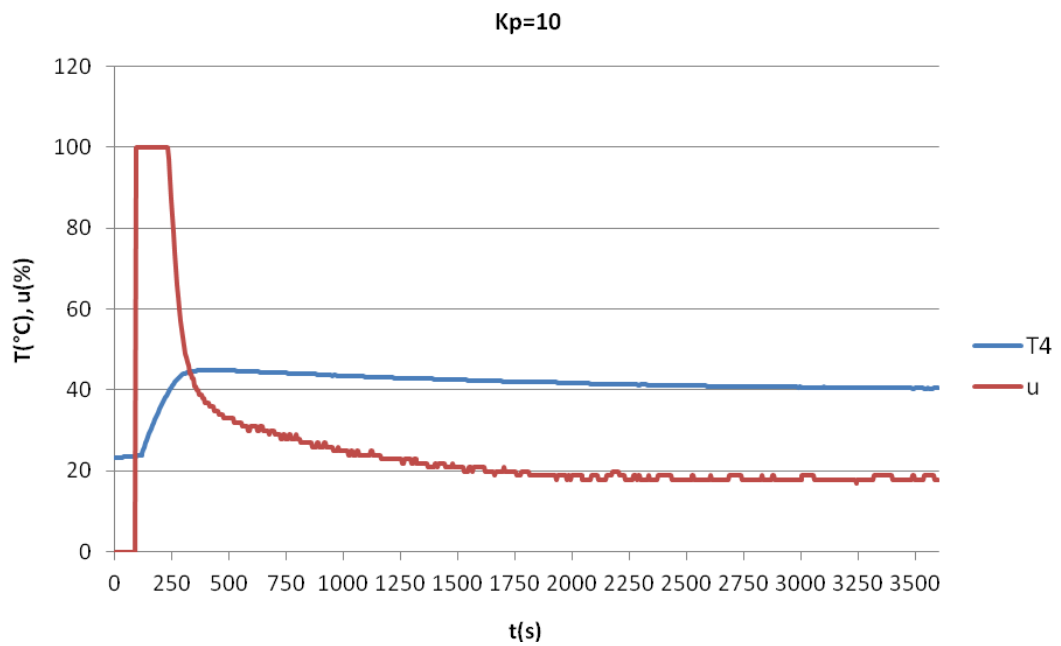
Bylo provedeno celkem 5 různých měření v režimu automat. Pro každé měření byly nastaveny stejné hodnoty konstant integrační a derivační složky. Hodnota pro integrační složku byla zvolena 1000s a pro derivační 0,1s. Hodnoty pro zesílení byly zvoleny následovně 0,1; 1; 10; 50; 100.



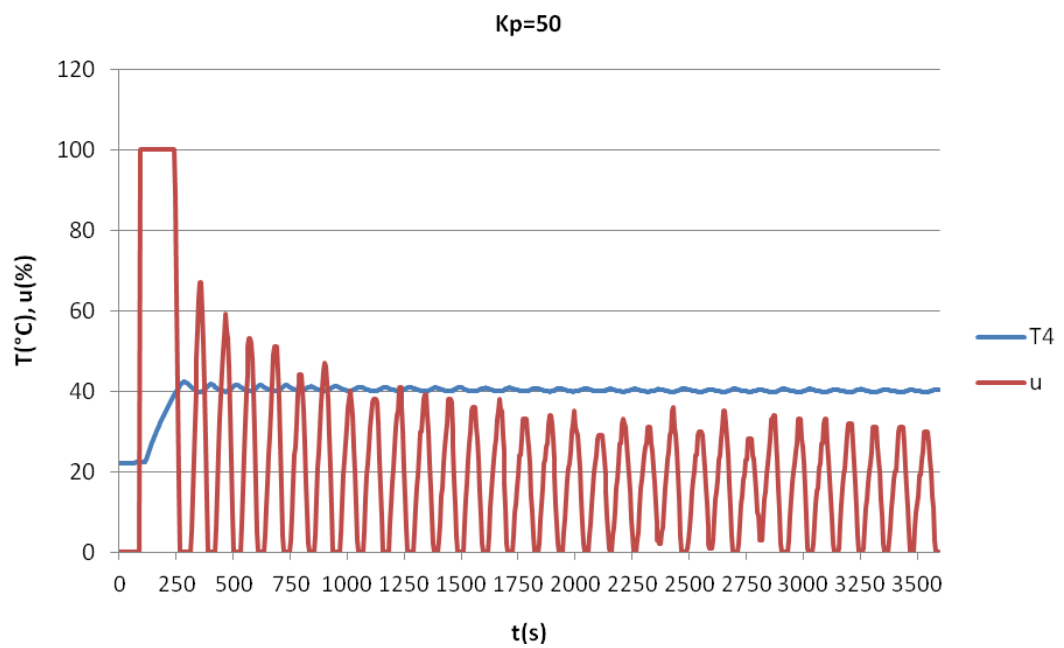
Obrázek 19. Výsledný graf pro hodnoty zesílení $K_p=0.1$



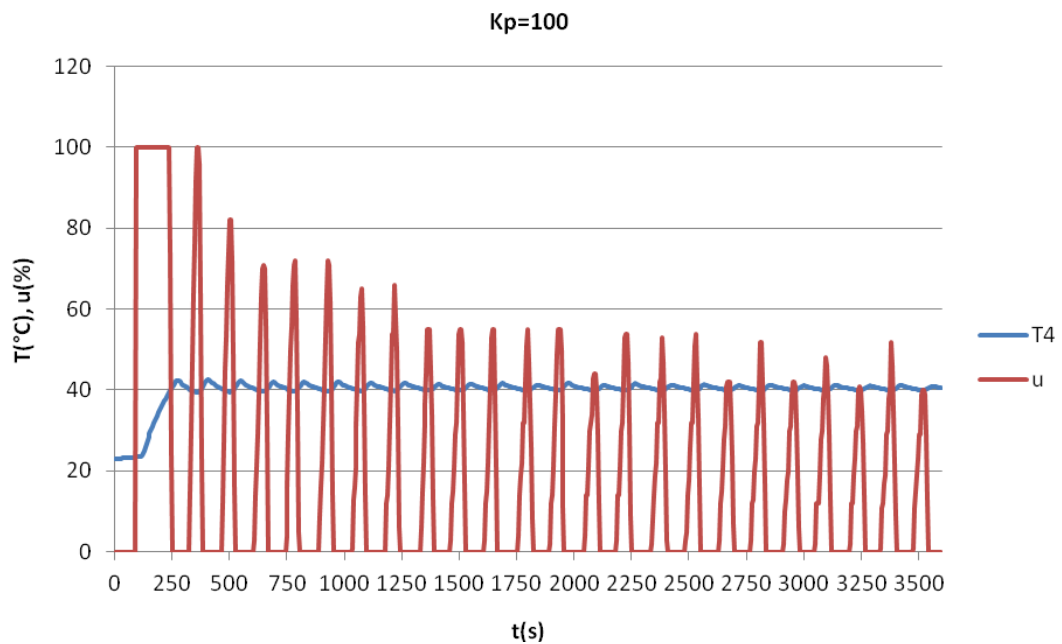
Obrázek 20. Výsledný graf pro hodnoty zesílení $K_p=1$



Obrázek 21. Výsledný graf pro hodnoty zesílení $K_p=10$



Obrázek 22. Výsledný graf pro hodnoty zesílení $K_p=50$



Obrázek 23. Výsledný graf pro hodnoty zesílení $K_p=100$

Z výsledků měření provedeného na reálném modelu je vidět, že zesílení regulátoru K_p se při malých hodnotách chová tak, že dojde k překmitu, ale po chvíli se soustava ustálí na požadované hodnotě. Se vzrůstající hodnotou K_p je jasně vidět že dochází ke zvětšení akčního zásahu. Tato vlastnost se na reálném modelu projeví kmitavým průběhem výstupní veličiny.

Z teorie je známo, že čím vyšší zesílení K_p tím by měl být regulační pochod nekvalitní a docházelo by k většímu překmitu a při malých hodnotách zesílení by se pochod choval kvalitněji.

Z naměřených charakteristik je patrné, že v regulaci se zadaným nižším zesílením dochází ke kvalitnějšímu pochodu než s velkým zesílením i s tím že dojde k překmitu, který se ale po chvíli ustálí.

5.2 Vyhodnocení identifikace

Po posouzení stavu úlohy a její následné úpravě jsem provedl identifikaci. Vyhodnocení identifikace bylo provedeno pro všechna měření. Všechna vyhodnocení z naměřených hodnot jsou zobrazena v příloženém souboru. Měření bylo provedeno pro příkon tělesa

10%, 15%, 20%, 25%, 30% a pro otevření ventilu 5%, 50% a 80%. Otáčky čerpadla byly nastaveny v poloze maximální.

Za pomoci nástroje „řešitel“, který je součástí programu Excel, budeme hledat optimální velikost parametrů T_1 , T_2 a K , aby přechodová charakteristika aproximovaného modelu co nejvíce odpovídala charakteristice reálného modelu. Výpočty pomocí řešitele budou prováděny pro soustavu 1. řádu i 2. řádu.

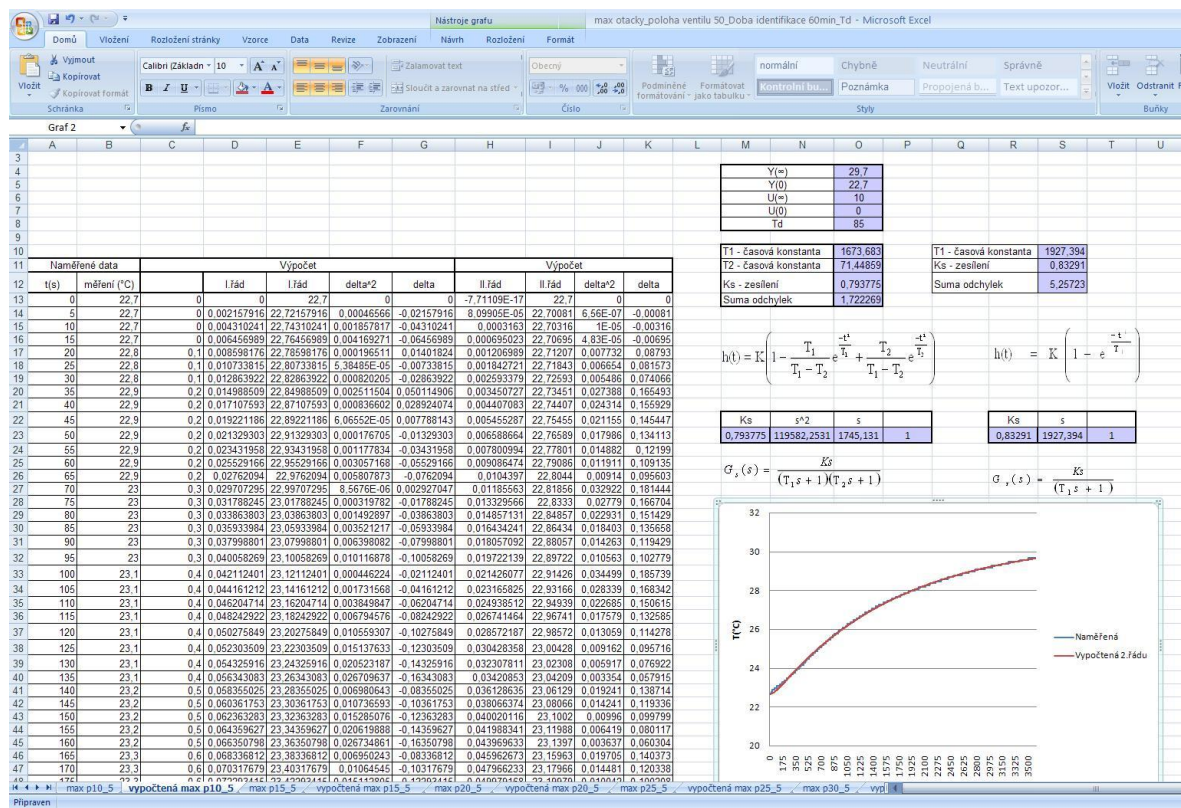
Pro kontrolu správnosti výpočtu metodou nejmenších čtverců byla pro všechny hodnoty naměřených a aproximovaných přechodových charakteristik vypočítána hodnota spolehlivosti R .

Pro určení výsledných přenosů soustavy byly použity i jiné metody. Všechny výsledné hodnoty pro různé metody jsou uvedeny v tabulce 8.

5.3 Identifikace přechodové charakteristiky metodou nejmenších čtverců pomocí řešitele.

- 1) Jestliže není zaveden doplněk „Řešitel“ musíme jej zavést, a to následujícím způsobem:
 - a) Klikněte na „tlačítko sady Microsoft Office“ a zvolte „Možnosti aplikace Excel“.
 - b) Klikněte na položku „Doplňky“ a v rozevíracím seznamu „Spravovat“ vyberte položku „Doplňky aplikace Excel“.
 - c) Klikněte na tlačítko „Přejít“.
 - d) V seznamu „Doplňky k dispozici“ zaškrtneme políčko „Řešitel“ a potom klepneme na tlačítko „OK“.
 - e) Po zavedení doplňku Řešitel bude ve skupině „Analýza“ na kartě „Data“ k dispozici příkaz „Řešitel“.

2) Hledání parametrů přenosu pomocí modulu „Řešitel“:

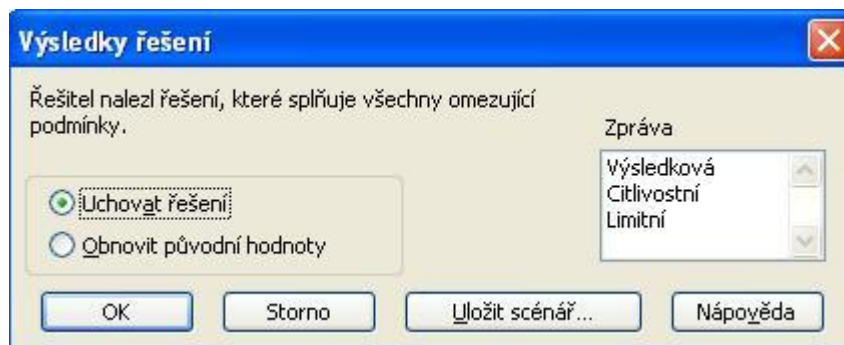


Obrázek 24. Okno „Parametry řešitele“

Parametry řešitele nastavíme tak, aby hodnota buňky pro sumu odchylek byla pro měřenou buňku pro časovou konstantu T1 a T2 minimální.



Obrázek 25. Nastavení možností modulu „Řešitel“



Obrázek 26. Možnosti uložení zprávy o řešení

6 VÝSLEDKY VYPOČTENÝCH PŘENOSŮ SOUSTAVY

Pro výpočet přenosů soustav bylo pracováno s hodnotami identifikace pro 5%, 50%, 80% otevření ventilu, příkonu topného tělesa 10%, 15%, 20%, 25%, 30% a otáček čerpadla v poloze maximální. Identifikace byla prováděna pro teplotu B4. Hodnoty jednotlivých konstant jsem počítal pomocí metody nejmenších čtverců a Strejcovy metody.

6.1 Hodnoty konstant přenosů

Tabulka 8. Hodnoty přenosů vypočtené metodou nejmenších čtverců

Metoda nejmenších čtverců							
5% otevření ventilu							
Příkon [%]	2. řádu				1. řádu		
	T1	T2	Ks	Td	T1	Ks	Td
10	1674,62	82,45	0,80	85	1975,46	0,85	85
15	1203,25	49,66	0,70	85	1273,51	0,72	85
20	1002,99	68,47	0,80	85	1143,77	0,82	85
25	1076,25	53,17	0,86	85	1190,07	0,88	85
30	1141,94	53,36	0,98	85	1263,36	1,00	85

Metoda nejmenších čtverců							
50% otevření ventilu							
Příkon [%]	2. řádu				1. řádu		
	T1	T2	Ks	Td	T1	Ks	Td
10	1673,68	71,45	0,79	85	1927,39	0,83	85
15	1572,28	67,58	0,87	85	1796,01	0,91	85
20	1343,54	49,91	0,94	85	1477,70	0,97	85
25	1208,28	55,10	0,96	85	1339,68	0,99	85
30	975,79	80,52	0,92	85	1138,45	0,95	85

Metoda nejmenších čtverců							
80% otevření ventilu							
Příkon [%]	2. řádu				1. řádu		
	T1	T2	Ks	Td	T1	Ks	Td
10	1578,99	103,25	0,99	85	1938,12	1,06	85
15	1208,35	80,62	0,90	85	1406,83	0,93	85
20	1075,51	65,36	1,02	85	1216,96	1,05	85
25	963,26	62,57	0,99	85	1086,36	1,01	85
30	812,16	53,92	0,93	85	904,96	0,95	85

Tabulka 9. Hodnoty přenosů pomocí Strejcovy metody

Strejcová metoda				
5% otevření ventilu				
2. řádu				
Příkon [%]	T1	T2	Ks	Td
10	1246	99	0,71	40
15	1248	96	0,68	37
20	1233	140	0,89	75
25	922	153	0,84	100
30	806	209	0,91	75

Strejcová metoda				
50% otevření ventilu				
2. řádu				
Příkon [%]	T1	T2	Ks	Td
10	1322	111	0,7	60
15	1220	53	0,68	95
20	1248	29	0,89	100
25	1108	70	0,92	95
30	981	62	0,91	85

Strejcová metoda				
80% otevření ventilu				
2. řádu				
Příkon [%]	T1	T2	Ks	Td
10	1238	159	0,88	65
15	1102	92	0,86	75
20	1036	66	0,99	90
25	951	60	0,97	100
30	820	52	0,94	85

7 VÝPOČET KOSTANT NASTAVENÍ PID REGULÁTORU

K výpočtu konstant pro nastavení PID regulátoru jsem použil pro porovnání více metod. Byly použity metody Ziegler-Nicholse, Naslimova metoda a metoda inverze dynamiky.

Výsledné hodnoty pro 50 % otevření ventilu jsou v tabulce (10). Byly také provedeny výpočty konstant i pro 5% a 80% otevření ventilu, tyto výsledky jsou v příloženém souboru.

Tabulka 10. Vypočtené konstanty pro nastavení PID regulátoru

50% otevření ventilu, doba identifikace 60min						
Příkon [%]	konstanty	Naslimova metoda		Ziegler Nicholsova metoda		Metoda inverze dynamiky
10	r0	28,1		35,9		9,5
	TI	291,3		234,0		1745,1
	TD	76,6		58,6		68,5
	P[%]	3,6		2,8		10,5
15	r0	30,1		38,2		8,1
	TI	281,3		378,3		1639,9
	TD	74,4		56,8		64,8
	P[%]	3,3		2,6		12,3
20	r0	25,0		30,0		6,4
	TI	235,9		195,3		1393,4
	TD	65,4		48,8		48,1
	P[%]	4,0		3,3		15,6
25	r0	20,4		25,3		5,7
	TI	247,6		203,5		1263,4
	TD	67,8		50,9		52,7
	P[%]	4,9		4,0		17,6
30	r0	13,4		18,1		5,0
	TI	293,7		240,4		1056,3
	TD	79,3		60,1		74,4
	P[%]	7,4		5,5		20,2

8 OVĚŘENÍ VYPOČTENÝCH HODNOT

Při režimu automatické regulace je v prvním kroku zhotoven výpočet optimálních nastavitelných parametrů regulátoru a ve druhém kroku je proveden regulační pochod.

Výpočet jednotlivých konstant regulátoru podle výsledků experimentální identifikace bylo prováděno dle metod vyučovaných v předmětech teorie automatického řízení. Výsledky ukazovaly jednak rozdíly hodnot vypočtených pro jednotlivou metodu a jednak po provedení experimentů s nastavenými hodnotami bylo chování regulačního pochodu pro dvě metody výpočtu nevyhovující.

Při hledání možných příčin byla použita simulace v systému Matlab/Simulink. Zde byly rozdíly potvrzeny. Z výsledných hodnot vstupů a výstupů regulátoru je patrné, že se regulátor nechová jako standardní PID regulátor. Po prostudování manuálu k použitému regulátoru v soustavě byla za pomoci vedoucího mé práce udělána analýza regulátoru v prostředí Matlab/Simulink .

8.1 V prostředí Matlab/Simulink

Pro simulační ověření v prostředí Matlab/Simulink byly použity jednoduché schémata, jednak pro standardní PID regulátor, tak pro regulátor Siemens SIPART DR21.

Pro porovnání v prostředí Matlab/Simulink byl použit identifikovaný přenos pro 30 % příkonu a 50% otevření ventilu.

Výsledný přenos regulované soustavy:

$$G_s(s) = \frac{0,92}{78000s^2 + 1055s + 1} \cdot e^{-85s}$$

Hodnoty výsledných stavitelných parametrů PID regulátoru:

Podle ZN

$$k_p = 18,1, T_I = 240,4, T_D = 60,1, P = 5,5$$

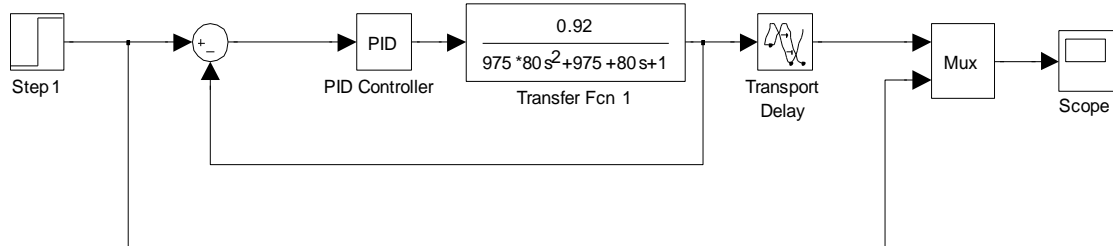
Podle Naslima

$$k_p = 13,4, T_I = 293,7, T_D = 79,3, P = 7,4$$

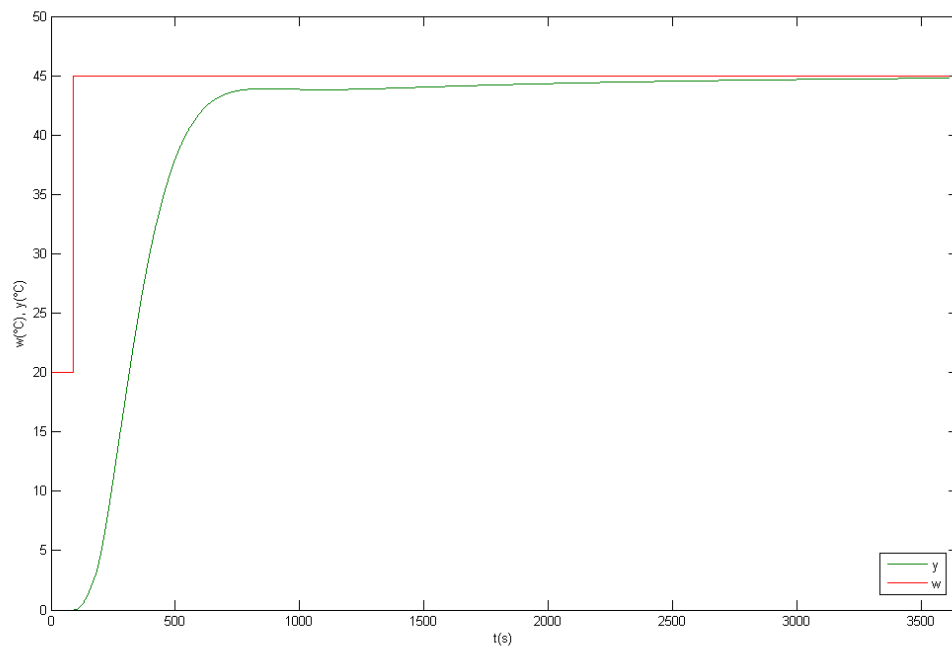
Podle inverze dynamiky

$$k_p = 5,0, T_I = 1056,3, T_D = 74,4, P = 20$$

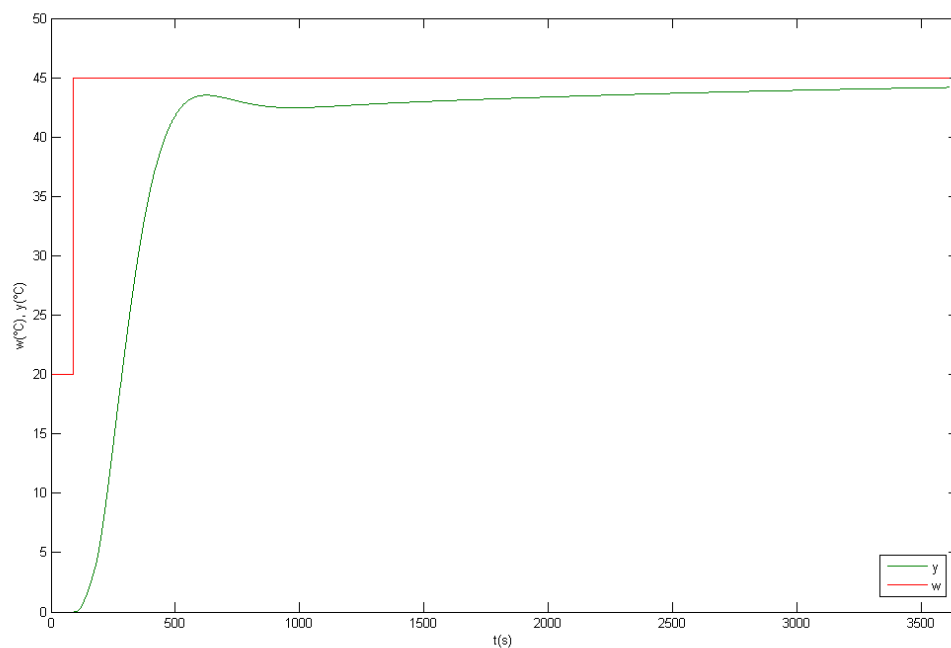
8.1.1 Standardní PID regulátor



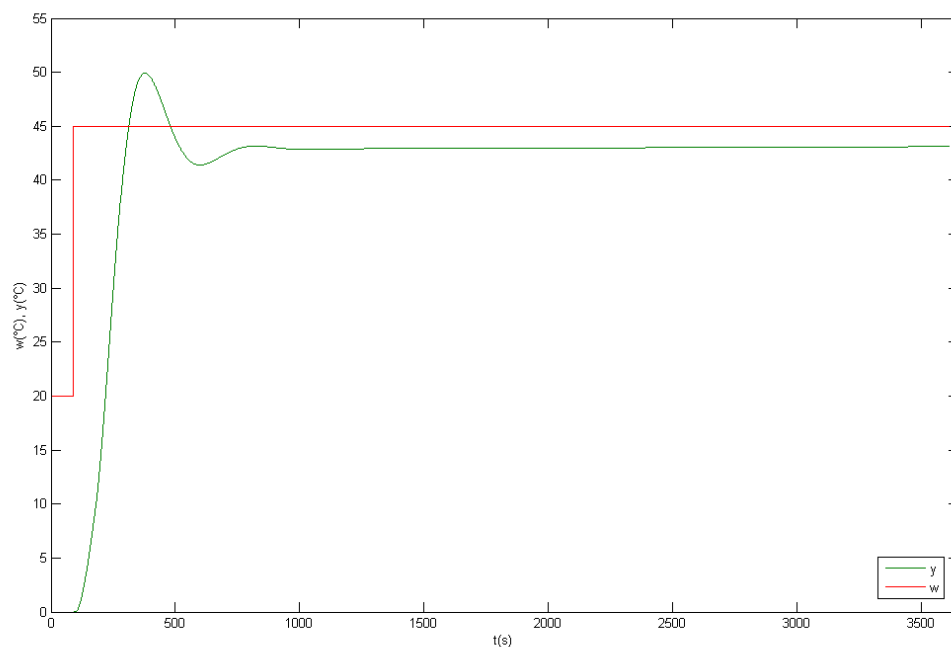
obrázek 27. Schéma regulačního obvodu se standardním PID regulátorem



obrázek 28. Výsledek simulace pro konstanty vypočtené pomocí ZN



obrázek 29. Výsledek simulace pro konstanty vypočtené pomocí Naslima



obrázek 30. Výsledek simulace pro konstanty vypočtené pomocí inverze dynamiky

8.1.2 Regulátor Siemens SIPART DR21

PID řídicí algoritmus je implementován v regulátoru SIPART DR21 (Siemens, 2003) v neinteraktivním paralelním zapojení. PID regulátor je rozšířen o filtraci derivační složky, aby se zabránilo zesílení vysokofrekvenčního šumu. Řídicí algoritmus PI regulátoru je dán (Siemens, 2003):

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right) + u_0 \quad (48)$$

a přenos derivační složky s filtrací:

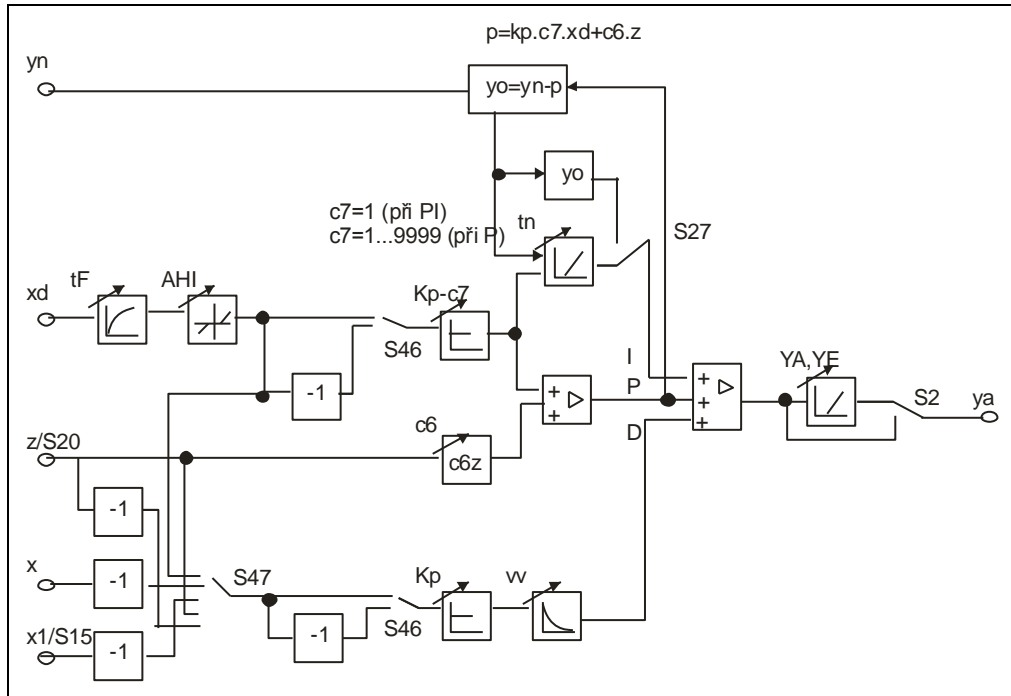
$$\frac{U}{S} = K_p T_v \frac{s}{\frac{T_v}{\nu\nu} s + 1} \quad (49)$$

kde $u(t)$ je akční zásah, $e(t)$ je regulační odchylka, u_0 umožňuje volbu pracovního bodu, K_p je proporcionální zesílení, T_i integrační časová konstanta, T_v derivační časová konstanta, $\nu\nu$ derivační zesílení. Parametr $\nu\nu$ umožňuje plynule přecházet mezi PI a PID regulátorem a pro malé hodnoty $\nu\nu$ je derivační složka málo významná a PID regulátor je blízký PI regulátoru. Regulační odchylka $e(t)$ prochází nejprve adaptivním filtrem s časovou konstantou T_f a blokem s pásmem necitlivosti $\langle -A_H, A_H \rangle$, zajišťujících odstranění šumu a progresivní chování regulátoru. Akční zásah regulátoru je omezen parametry Y_A, Y_E . Regulátor umožňuje nastavení rozsahu akční veličiny v rozsahu -10 až 110% avšak výstupní proud je vždy kladný. Pokud akční veličina $u(t)$ dosáhne jednoho z limitů Y_A nebo Y_E , další integrace v integračním členu se vypne. Tím se zabrání unášení integrační složky (Integrator Windup) a při změně polarity regulační odchylky se ihned mění i akční zásah. Vnitřní zapojení regulačního obvodu je znázorněno na Obr. 31 (podle Simens, 2003). Na výstupu akční zásah prochází ještě filtrem s časovými konstantami T_P, T_M , který zabraňuje prudkým změnám akční veličiny a snižuje opotřebení akčních členů. Časová konstanta T_P je použita pro rostoucí akční zásah a T_M pro klesající akční zásah.

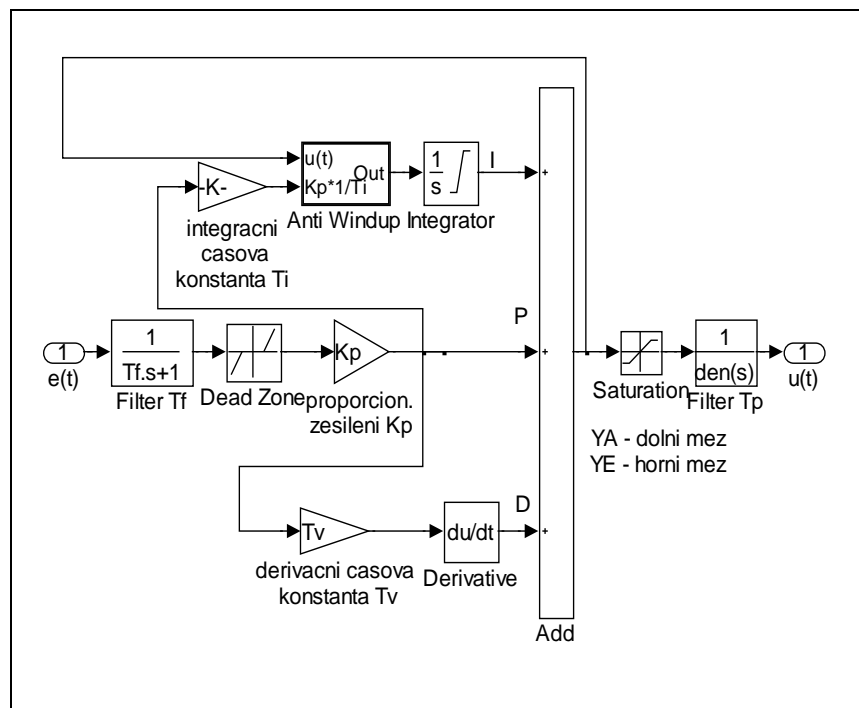
Schéma z Obr. 31 bylo použito pro tvorbu modelu PID regulátoru v Simulinku je na obr. 32. Adaptivní filtr s časovou konstantou T_f byl nahrazen přenosem s odpovídající časovou konstantou T_f . Výstup bloku AntiWindup, který zabraňuje unášení integrační složky je roven $K_p T_i e(t)$, pokud je splněna podmínka:

$$(u(t) \geq Y_E \text{ AND } K_p T_i e(t) < 0) \text{ OR } (u(t) \leq Y_A \text{ AND } K_p T_i e(t) > 0) \text{ OR } (u(t) \leq Y_E \text{ AND } u(t) \geq Y_A) \quad (50)$$

V ostatních případech, kdy je akční zásah v saturaci, je roven 0. Výstupní filtr s parametry T_P, T_M pro rostoucí a klesající akční zásah je nahrazen filtrem s časovou konstantou $T_P = T_M$. [15]

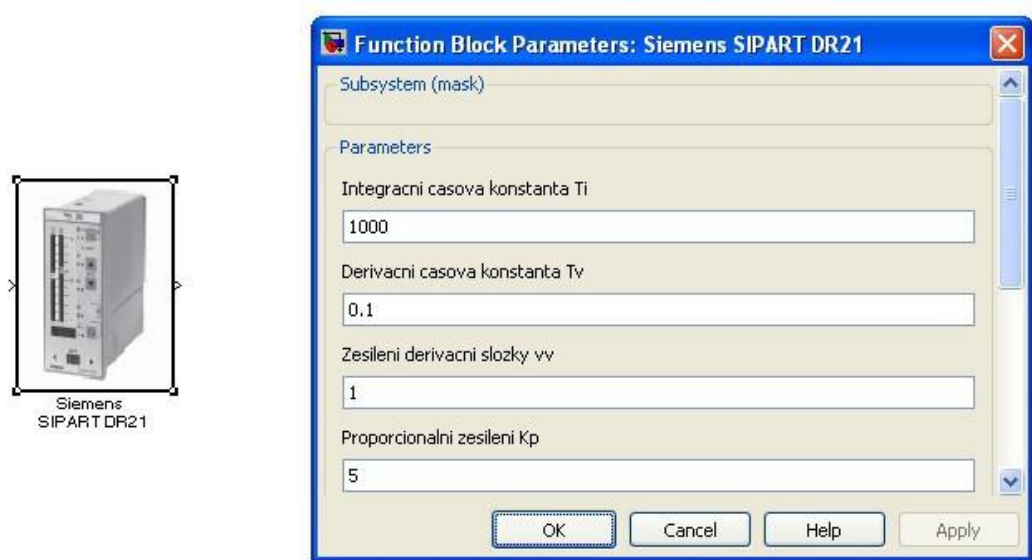


obrázek 31. Schéma vnitřního zapojení PID regulátoru [15]

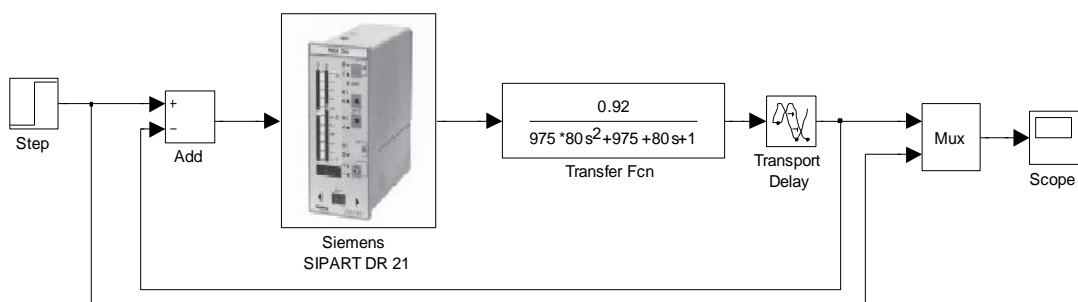


obrázek 32. Schéma PID regulátoru SIPART DR21 v Simulinku [15]

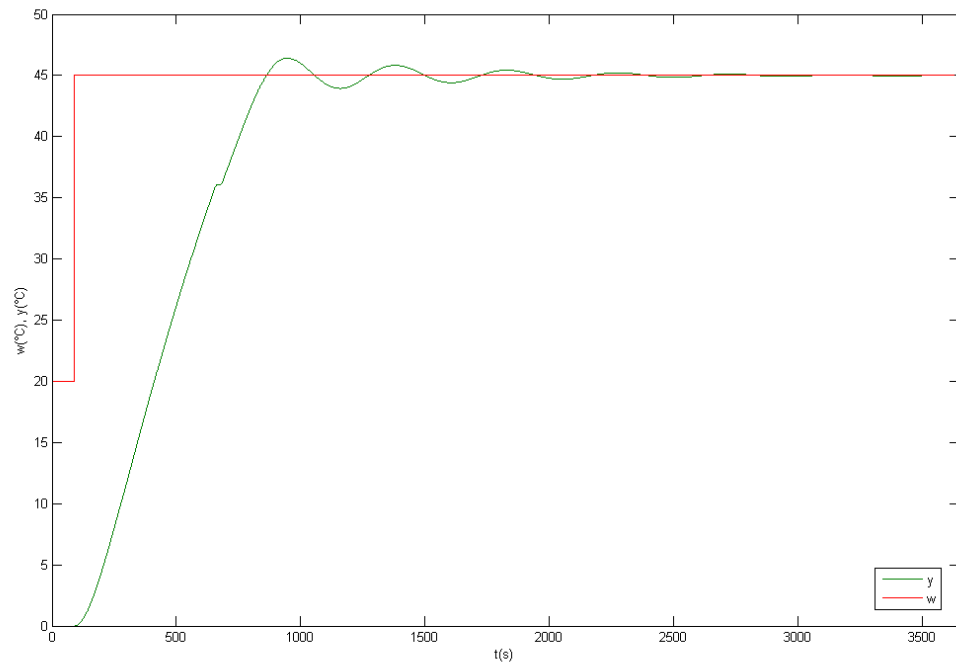
Vytvořený simulinkový blok „Siemens SIPART DR21“ (Obr. 33) umožňuje nastavení stejných parametrů jako skutečný regulátor Siemens. [15]



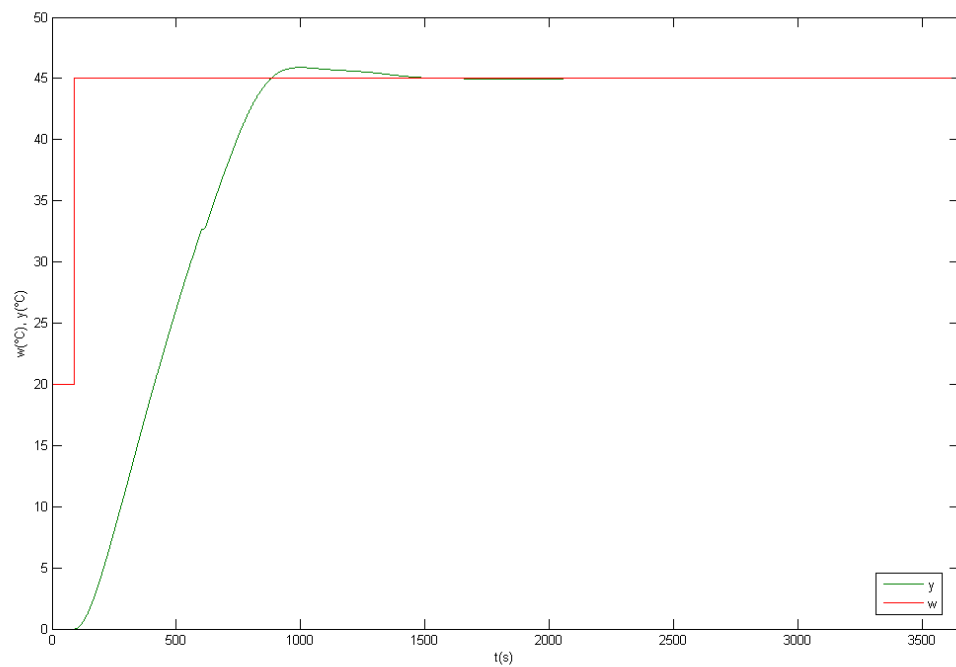
obrázek 33. Nastavení parametrů bloku Siemens SIPART DR21 [15]



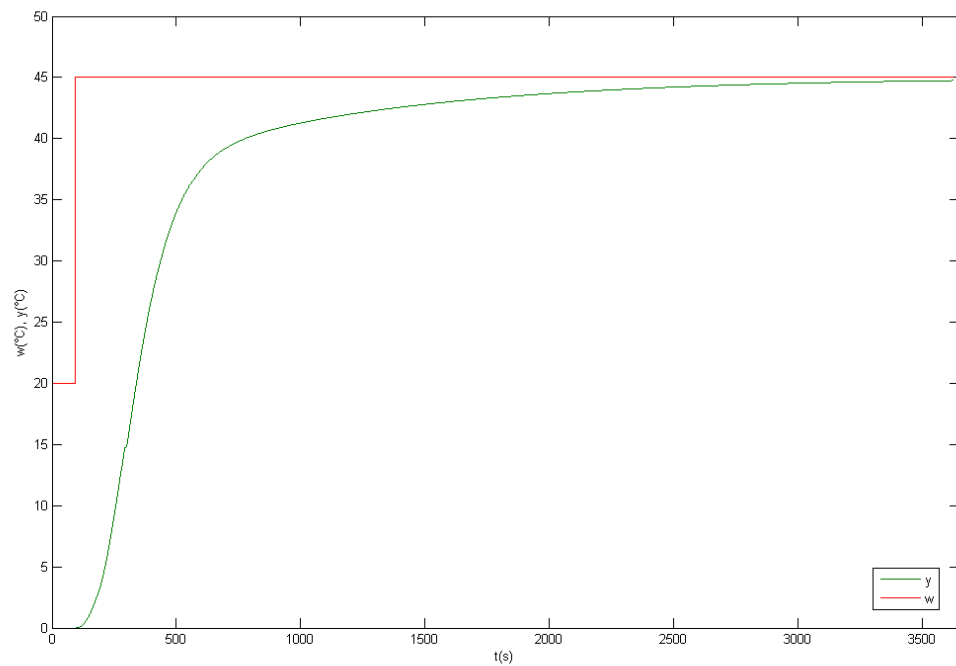
obrázek 34. Schéma regulačního obvodu s regulátorem SIPART DR21 [15]



obrázek 35. Výsledek simulace pro konstanty vypočtené pomocí ZN

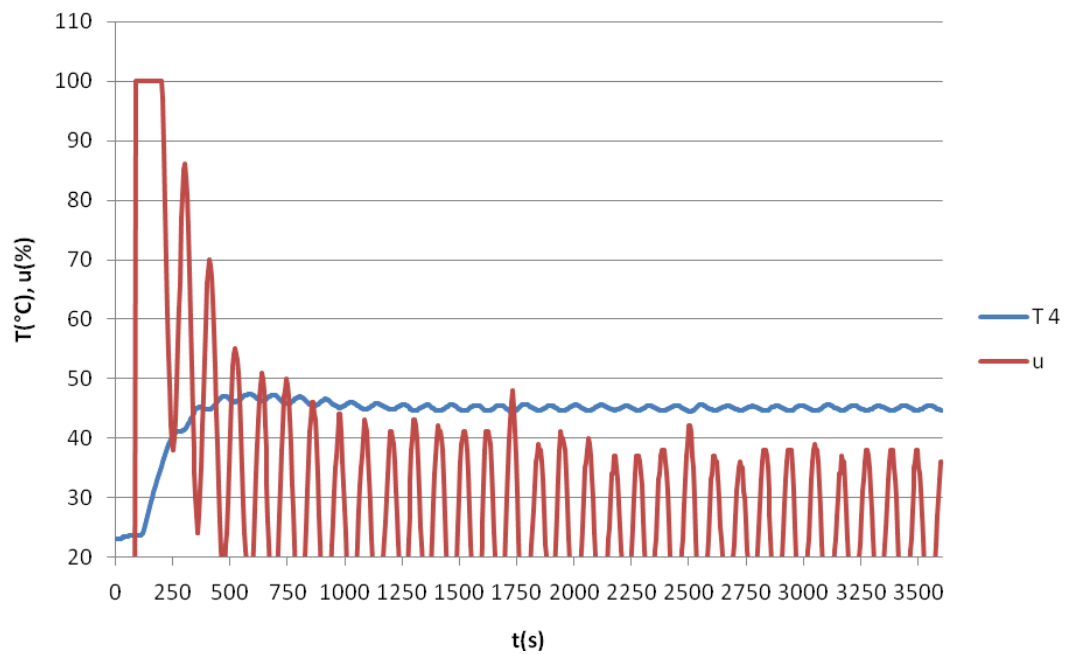


obrázek 36. Výsledek simulace pro konstanty vypočtené pomocí Naslima

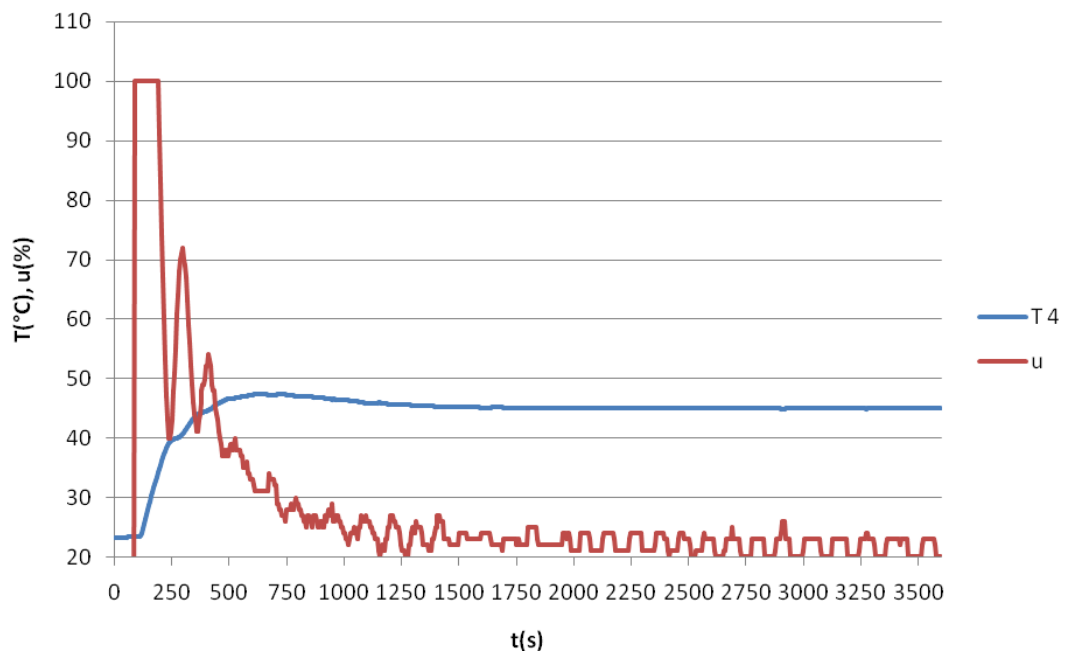


obrázek 37. Výsledek simulace pro konstanty vypočtené pomocí inverze dynamiky

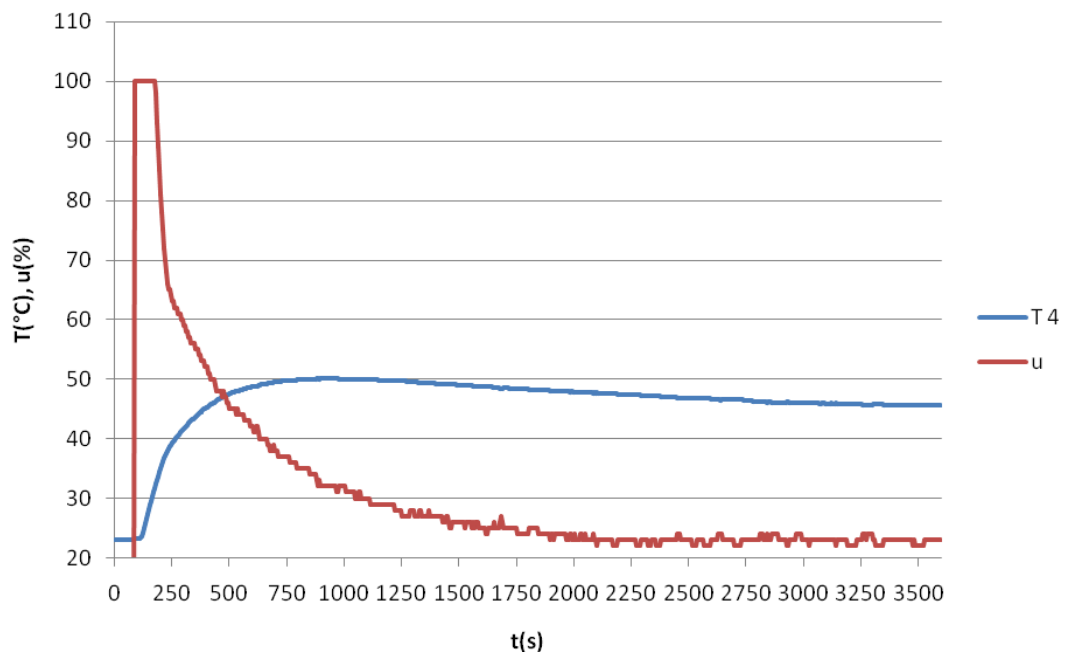
8.2 Na reálném modelu



Obrázek 38. Výsledek reálného modelu pro konstanty vypočtené pomocí ZN



Obrázek 39. Výsledek reálného modelu pro konstanty vypočtené pomocí Naslima



Obrázek 40. Výsledek reálného modelu pro konstanty vypočtené pomocí inverze dynamiky

9 ÚPRAVA SOFTWARE

Úlohu DE1 je možno provozovat ve dvou režimech, režim identifikace regulované soustavy a automatickou regulací volené teploty v systému.

Režim identifikace regulované soustavy umožňuje měřit data pro provedení experimentální identifikace, kdy systém po zadání parametrů se spustí a automaticky archivuje data, se kterými je pak možné provést identifikaci a výpočet koeficientů pro zadávání do regulátoru.

Režim automat se týká provedení úlohy automatické regulace. Pro danou měřenou teplotu (T_2 , T_3 , T_4) a pro zadanou žádanou hodnotu teploty a zadané parametry regulátoru se po startu provozu regulace provede regulační pochod. Zde si uživatel ověřuje kvalitu vypočtených jednotlivých parametrů z režimu identifikace.

V režimu identifikace byly naměřeny průběhy, ze kterých jsem následně určil přenos soustavy. Z výsledných přenosů byly vypočteny pomocí Ziegler-Nicholovi, Naslimovi metody a metod inverze dynamiky konstanty, pro zadávání hodnot PID regulátoru v režimu automat.

Zde jsem narazil na problém, kdy vypočtené hodnoty u metody inverze dynamiky byly vyšší, než je možné do úlohy zadat. Problém spočívá v programovém omezení zadávání jednotlivých konstant.

Po podrobném prostudování manuálu regulátoru bylo zjištěno, že regulátor je možné nastavit i vyššími konstantami než je uvedeno v samotné úloze.

Proto by bylo vhodné udělat změny v programu pro nastavování konstant regulátoru na hodnoty: integrační konstantu (1s-9984s) a derivační konstantu (1s-2992s, nebo off), tak jak uvádí manuál od výrobce regulátoru.

Dále byl proveden návrh na úpravu textu provázející laboratorní úlohu DE1. Text, který je popsán v detailu úlohy DE1 na internetových stránkách již není aktuální a obsahuje chybné informace. Návrh na úpravu textu je v příloženém souboru na elektronickém nosiči. CD nosič je součástí DP.

10 NAVRŽENÍ, SESTAVENÍ A OVĚŘENÍ VZOROVÉHO EXPERIMENTU

Pro návrh, sestavení a ověření bude použit návod pro provozování úlohy DE1, který byl vytvořen jako součást DP a je popsán v příloze PII.

Veškerý postup a výsledky jednotlivých výpočtů spojené s návrhem, sestavení a ověření vzorového experimentu včetně teoretické podpory pro provoz úlohy DE1 je zobrazen v příloze PIII.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo posouzení stavu Laboratorní úlohy DE1se vzdáleným přístupem s následnou analýzou problematických částí a navržení úprav pro odstranění problematických míst úlohy.

V teoretické části je podrobně popsána laboratorní úloha včetně složení jednotlivých prvků systému. Je zde uvedena metoda identifikace systému, pomocí které byly vypočteny jednotlivé přenosy soustavy všech mnou provedených měření. Popisují zde metody, kterými byly vypočteny konstanty stavitelných parametrů regulátoru z výsledných přenosů.

V praktické části jsou popsány výsledky měření a jejich vyhodnocení. Popisují zde vyhodnocení měření s vypočtených konstant regulátoru pro vysoké otáčky čerpadla pro různé hodnoty příkonu topení. Měření bylo provedeno s konstantami, vypočtenými třemi metodami. Pro tyto výsledné konstanty regulátoru bylo provedeno několik měření včetně porovnání výsledku na reálném modelu s výsledky průběhů vytvořených v prostředí Matlab/simulink.

Při práci jsem se setkal s několika nedostatky úlohy DE1. V prvním případě to bylo při identifikaci, kdy otáčky čerpadla byly nastaveny na nejnižší. Důsledkem tohoto nedocházelo k ohřívání vody. Proto navrhuji, aby se do návodu úlohy uvedlo, že při nejnižších otáčkách čerpadla soustava nepracuje správně. Ve druhém případě byl problém v délce času experimentu, při níž se za nejvyšší možnou nastavenou dobu soustava neustálila, proto došlo ještě v průběhu této práce k navýšení času. V neposlední řadě je potřeba udělat změnu v software, kdy se do regulátoru zadávalo pásmo proporcionality i když regulátor pracuje s touto hodnotou jako se zesílením. Posledním problémem, se kterým jsem se setkal, kdy byly výsledné vypočtené konstanty pro nastavování regulátoru vyšší, než je možné do úlohy zadat, proto navrhuji úpravu software a navýšení rozsahu zadávání konstant. Osobně zajímává je struktura použitého regulátoru SIPART DR21, který obsahuje navíc některé bloky, které mění charakteristiku regulace ke kvalitnější regulaci na rozdíl od klasického PID regulátoru (viz *obrázek 31*).

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The task of this study was to review status of Laboratory project DE1 with remote Access then follow with analysis of problematic parts and propose modifications for removing problematical parts in project.

In the theoretical part there is detailed description of laboratory study including the structure of each individual parts of system. There is introduced The Method of identification of system. By using this Method each transfers of system of all my measurements were calculated. I am describing the methods that were used for calculation of constants setting programmes of regulators from final transfers.

In the practical part there are described the results of measuring and its evaluation. I describe evaluation of the measurement from calculated constants of regulator for pump with high revolution for various values of heating input. Measurement was done with constants that were calculated by using three methods. For this final regulator constants were performed measurements including comparison of results on real model with results of performances created in Matlab/simuling surroundings.

During the study I found some discrepancies of DE1. In the first case it was in identification when the rotation of pump was set at the lowest level. As a result of this the heating of water did not happen. I suggest adding to the manual of DE1 that at the lowest rotation of pump the system does not work properly. In the second case the problem was in duration of experiment when the system did not become stable at the longest possible adjusted duration therefore during this project the time was prolonged. Last but not least is necessary to make change in software when proportionality tape was entered to the regulator even if the regulator works with this value as a intensiveness. The last problem that I met with were calculated final constants that were too high for entering therefore I would suggest modification of the software and extend range for entering of constants. Personally is interesting the structure of the used regulator SIPART DR21 that includes extra units which are changing character of the regulation to superior in quality in contrast to classic PID regulator (see figure 31).

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Popis úlohy na - <http://labi.fai.utb.cz/newhtml/details1cz.html>
- [2] Balátě, J.: *Automatické řízení*. ISBN 80-7300-148-9, BEN-technická literatura, Praha 2004, 2. přepracované vydání
- [3] <http://office.microsoft.com/cs-cz/default.aspx>
- [4] Technická dokumentace Laboratorní úloha DE1 – regulace teploty
- [5] *Www.seminarky.cz* [online]. 2007 [cit. 2010-04-19]. Metoda nejmenších čtverců - *Seminarky.cz*. Dostupné z WWW: <<http://seminarky.cz/Metoda-nejmensich-ctvercu-11074>>.
- [6] Korelace In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 1. 10. 2006, 9. 4. 2010 [cit. 2010-04-20]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Korelace>>.
- [7] HRUŠKA, F. *Technické prostředky informatiky a automatizace*. Učební texty 1.vyd. Zlín: UTB ve Zlíně, duben 2007, s.193. ISBN 978-80-7318-535-0
- [8] DYER, S., A. *Survey of instrumentation and measurement*. John Wiley and Sons, 2001, s. 1096. ISBN 0-471-39484-X.
- [9] Altmann W. *Practical Process Control for Engineers and Technicians*. ELSEVIER, 2006, s. 290, ISBN 978-0-7506-6400-4
- [10] Bobál V. *Identifikace systémů*. Učební texty. 1.vyd. Zlín-FAI UTB, 2009. s.128. ISBN 978-80-7318-888-7
- [11] Podklady k přednáškám pro výuku TAŘ I na FAI ve Zlíně
- [12] Technická dokumentace jednofázového regulátoru firmy SHIMADEN
- [13] ŠULC, B., VÍTEČKOVÁ, M. *Teorie a praxe návrhu regulačních obvodů*. 2004. vyd. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03007-5.
- [14] Siemens (2003) Manual. Controller SIPART DR21 6DR210*-*-*, Edition 4/2003.
- [15] Hruška, F. Novák, J. *LABI a laboratorní úloha DE1*. Příspěvek předán ke zveřejnění do časopisu Trilobit, <http://trilobit.fai.utb.cz/>
- [16] Jetleb J. Laboratorní úloha DE1 - regulace teploty. Dokumentace. Zlín-EDTS., září 2005. zakázka 250526053.

- [17] Bobál V. *Adaptivní a prediktivní řízení*. Učební texty. 1.vyd. Zlín-FAI UTB, 2008. s.134. ISBN 978-80-7318-662-3
- [18] Pavel Navrátil, Vladimír Gerlich. *Podpora seminářů předmětu "Teorie automatického řízení II"*, Zlín: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta aplikované informatiky, 2006.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

T_I	integrační časová konstanta
T_D	derivační časová konstanta
Td	dopravní zpoždění
Ks, Kp, r_0	zesílení analogového regulátoru
R	hodnota spolehlivosti
T1, T2	konstanty regulované soustavy
PI	proporcionálně integrační regulátor
PID	proporcionálně integračně derivační regulátor
$G_s(s)$	přenos systému
T_k	kritické zesílení
ω_k	úhlový kmitočet
y	regulovaná veličina, výstupní veličina(výstup)
w	žádaná veličina
u	akční veličina, řídicí veličina
e	regulační odchylka
vv	derivační zesílení
r_{-1}	integrační konstanta regulátoru
r_1	derivační konstanta regulátoru

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Vzhled úlohy DE1	11
Obrázek 2. Technické schéma úlohy DE1	12
Obrázek 3. Čerpadlo WILO RS 25/4	14
Obrázek 4. Tlakoměr Cewal TRP 80VI	14
Obrázek 5. Průtokový ohřivač Wterm EPJ 3,5kW	15
Obrázek 6. SIMATIC S7-300	15
Obrázek 7. PID regulátor SIPART DR 21	16
Obrázek 8. Propojení prostředků systému úlohy DE1	16
Obrázek 9. Rozvodná skříň úlohy DE1	17
Obrázek 10. Schéma uzavřeného regulačního obvodu	19
Obrázek 11. Normovaná přechodová charakteristika statické soustavy vyššího řádu.....	23
Obrázek 12. Graf pro určení poměru časových konstant $\tau=T_2/T_1$ pro normovanou přechodovou charakteristiku	25
Obrázek 13. Blokové schéma spojitého regulačního obvodu	34
Obrázek 14. Přechodové charakteristiky regulačního obvodu:	36
Obrázek 15. Určení T_k při r_{0k} resp. r_{-1k}	39
Obrázek 16. Výstupní teploty při nízkých otáčkách čerpadla.....	43
Obrázek 17. Průběhy hodnot teplot experimentální identifikace v původním stavu	44
Obrázek 18. Průběhy hodnot teplot experimentální identifikace po úpravě	45
Obrázek 19. Výsledný graf pro hodnoty zesílení $K_p=0.1$	46
Obrázek 20. Výsledný graf pro hodnoty zesílení $K_p=1$	46
Obrázek 21. Výsledný graf pro hodnoty zesílení $K_p=10$	47
Obrázek 22. Výsledný graf pro hodnoty zesílení $K_p=50$	47
Obrázek 23. Výsledný graf pro hodnoty zesílení $K_p=100$	48
Obrázek 24. Okno „Parametry řešitele“	50
Obrázek 25. Nastavení možností modulu „Řešitel“	50
Obrázek 26. Možnosti uložení zprávy o řešení	51
obrázek 27. Schéma regulačního obvodu se standardním PID regulátorem	56
obrázek 28. Výsledek simulace pro konstanty vypočtené pomocí ZN.....	56
obrázek 29. Výsledek simulace pro konstanty vypočtené pomocí Naslima	57
obrázek 30. Výsledek simulace pro konstanty vypočtené pomocí inverze dynamiky.....	57
obrázek 31. Schéma vnitřního zapojení PID regulátoru	59

<i>obrázek 32. Schéma PID regulátoru SIPART DR21 v Simulinku.....</i>	<i>59</i>
<i>obrázek 33. Nastavení parametrů bloku Siemens SIPART DR21.....</i>	<i>60</i>
<i>obrázek 34. Schéma regulačního obvodu s regulátorem SIPART DR21 (podle [15])</i>	<i>60</i>
<i>obrázek 35. Výsledek simulace pro konstanty vypočtené pomocí ZN.....</i>	<i>61</i>
<i>obrázek 36. Výsledek simulace pro konstanty vypočtené pomocí Naslima</i>	<i>61</i>
<i>obrázek 37. Výsledek simulace pro konstanty vypočtené pomocí inverze dynamiky.....</i>	<i>62</i>
<i>Obrázek 38. Výsledek reálného modelu pro konstanty vypočtené pomocí ZN</i>	<i>62</i>
<i>Obrázek 39. Výsledek reálného modelu pro konstanty vypočtené pomocí Naslima.....</i>	<i>63</i>
<i>Obrázek 40. Výsledek reálného modelu pro konstanty vypočtené pomocí inverze dynamiky.....</i>	<i>63</i>

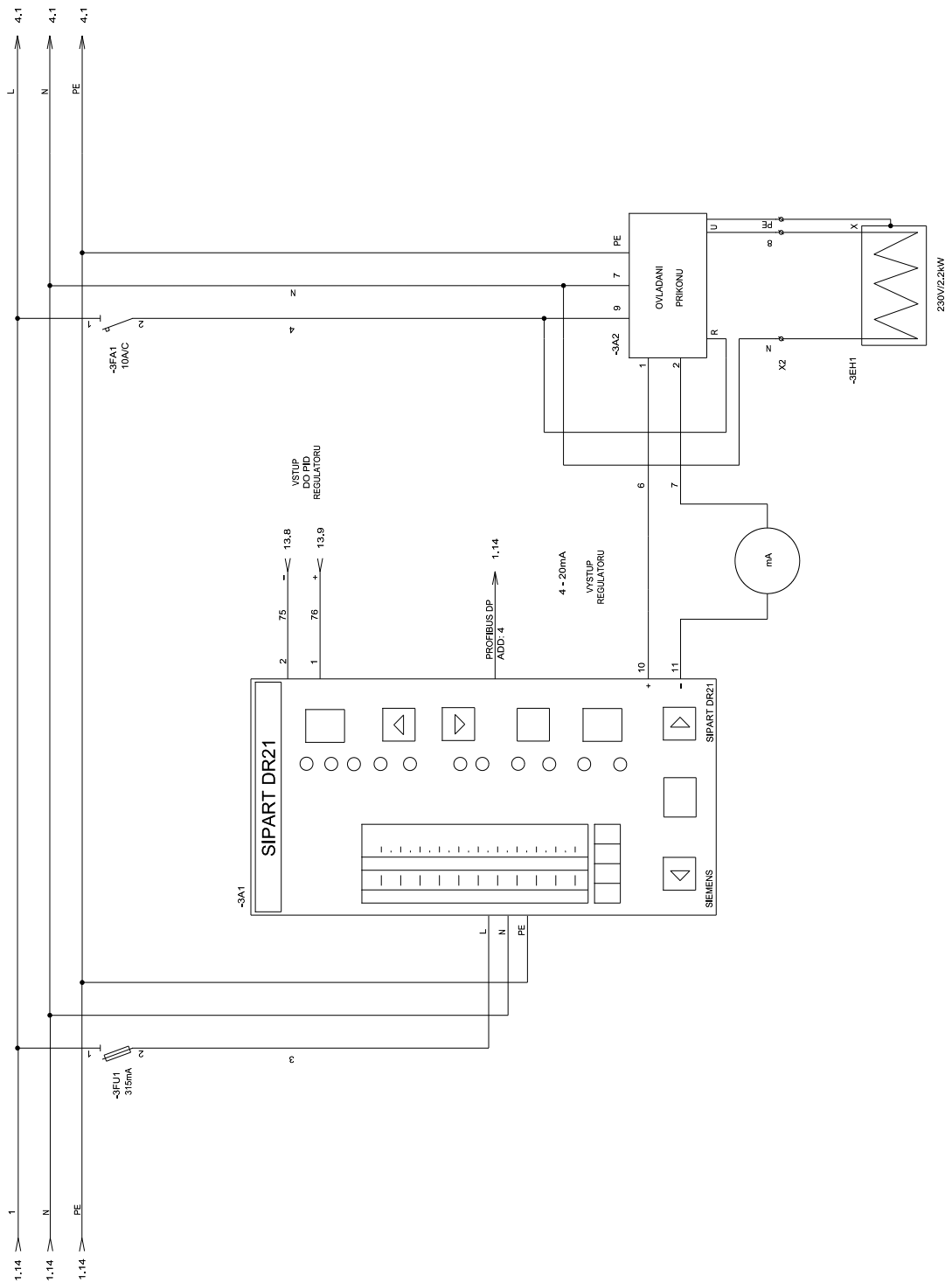
SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1. Seznam použitých technických prostředků úlohy DE1</i>	13
<i>Tabulka 2. Tabulka hodnot pro vyhodnocování statických soustav n-tého řádu se stejnými časovými konstantami</i>	25
<i>Tabulka 3. Přenosy konvenčních analogových regulátorů.....</i>	34
<i>Tabulka 4. Závislost koeficientu β na relativním překmitu.....</i>	36
<i>Tabulka 5. Doporučené typy analogových regulátorů a hodnoty jejich stavitelných parametrů</i>	38
<i>Tabulka 6. Seřízení spojitého regulátoru z kritických hodnot regulátoru</i>	39
<i>Tabulka 7. Závislost Δy_{\max} [%] na α dle Naslima).....</i>	40
<i>Tabulka 8. Hodnoty přenosů vypočtené metodou nejmenších čtverců</i>	52
<i>Tabulka 9. Hodnoty přenosů pomocí Strejcovy metody</i>	53
<i>Tabulka 10. Vypočtené konstanty pro nastavení PID regulátoru.....</i>	54

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Schéma zapojení ampérmetru do obvodu
- P II Návod pro provozování úlohy DE1
- P III Navržení, sestavení a ověření vzorového experimentu
- P IV CD-ROM obsahující všechny soubory týkající se práce:
- Výsledky identifikace před úpravou
 - Výsledky identifikace po úpravě
 - Vyhodnocení konstanty zesílení zadávané do úlohy DE1
 - Tabulka všech vypočtených přenosů
 - Tabulka všech vypočtených konstant
 - Výsledky měření z vypočtených konstant na reálném modelu
 - Výsledky měření z vypočtených konstant v prostředí Matlab/Simulink
 - Schéma regulačního obvodu se standardním PID regulátorem
 - Schéma PID regulátoru SIPART DR21 v Simulinku
 - Technická dokumentace laboratorní úlohy DE1
 - Manuál pro kompaktní regulátor SIPART DR 21 ENG
 - Manuál pro kompaktní regulátor SIPART DR 21 CZ
 - Upravený text detailu úlohy DE1
 - Technická dokumentace jednofázového regulátoru firmy SHIMADEN

PŘÍLOHA P I: SCHÉMA ZAPOJENÍ AMPÉRMETRU DO OBVODU



PŘÍLOHA P II: NÁVOD PRO PROVOZOVÁNÍ ÚLOHY DE1

Úloha DE1 – Regulace teploty

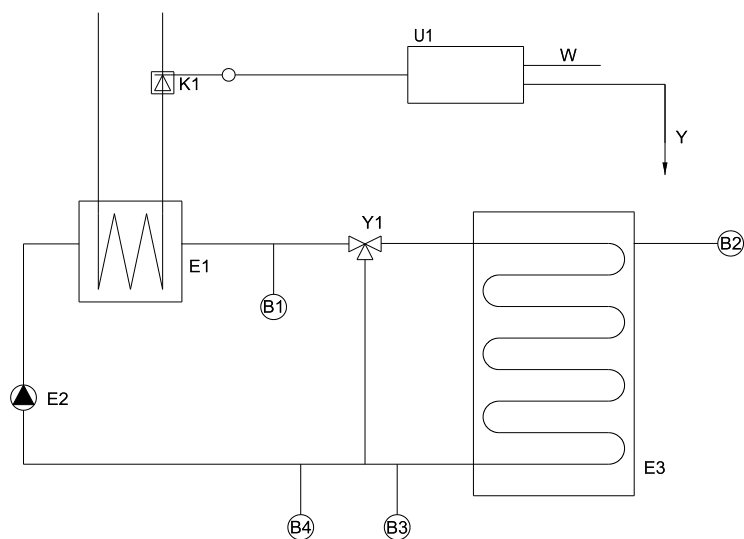
Cíl laboratorní úlohy

Cílem laboratorní úlohy „Úloha DE1 – Regulace teploty“ je seznámení studentů s principem regulace v uzavřeném regulačním obvodu a ověření si teoretických znalostí v praxi.

Struktura úlohy

Úloha obsahuje (schéma soustavy viz obr. 1):

- PID regulátor SIEMENS SIPART DR 21
- Průmyslový řídicí systém SIMATIC S7-300
- Průtokový ohřivač WTERM EPJ 2,2 kW
- Tlakoměr Cewal TRP 80 VI
- Čerpadlo WILO RS 25/4
- Regulační ventil
- Teplotní čidla Pt 100 (T1-T4)



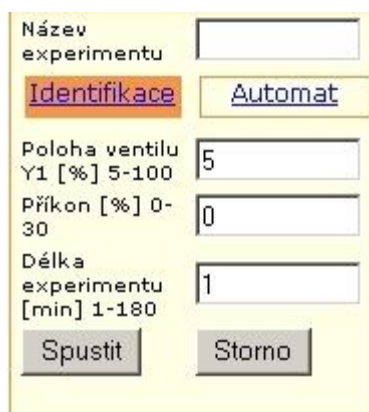
Obrázek 1. Schéma soustavy

Úloha DE1 s názvem „Regulace teploty“ plní funkci studia a demonstrace reálného systému s uzavřeným okruhem regulace teploty. Zařízení obsahuje regulovanou soustavu s rozloženými parametry a dopravním zpožděním. Soustava je vytvořena zdrojem tepla (E1), třicestným regulačním ventilem (Y1), oběhovým čerpadlem (E2), spotřebičem tepla (E3). Regulátor (U1) je kompaktní programovatelný číslicový regulátor s možností dálkového nastavení. Akčním členem je jednotka (K1) pro ovládání efektivní hodnoty napětí 230V/50 Hz toku elektrické energie. Velikost dopravního zpoždění lze nastavit, polohou regulačního ventilu (Y1) a změnou rychlosti proudění mechanickým přepínačem na čerpadle (E2)

Zadání úlohy

Zadávání parametrů:

1. V režimu identifikace



The screenshot shows a software interface for setting experiment parameters. It features a yellow background and several input fields and buttons. At the top, there is a text box for 'Název experimentu' (Experiment name). Below it are two buttons: 'Identifikace' (highlighted in red) and 'Automat'. The 'Identifikace' button is selected. Below the buttons are three input fields: 'Poloha ventilu Y1 [%] 5-100' with the value '5', 'Příkon [%] 0-30' with the value '0', and 'Délka experimentu [min] 1-180' with the value '1'. At the bottom, there are two buttons: 'Spustit' (Start) and 'Storno' (Cancel).

Obrázek 2. Režim identifikace

- Zvolte si název experimentu
- Určete polohu ventilu
- Zvolte příkon experimentu
- Zadejte délku experimentu

Po zadání těchto všech parametrů se provede spuštění úlohy. Výsledné měření je uloženo do prostředí EXCEL. Po ukončení experimentu si ověřte své znalosti a proveďte identifikaci systémů pomocí metod vyučovaných v předmětu teorie automatického řízení.

2. V režimu automat

Zde si můžete ověřit kvalitu vašich výpočtů z režimu identifikace a použít výsledky jednotlivých vypočtených konstant pro zadání do regulátoru v režimu automat.

Název experimentu	<input type="text"/>
<u>Identifikace</u>	Automat
Regulovaná veličina	B2 ▾
Požadovaná teplota [°C] 30-60	<input type="text" value="30"/>
Pásmo proporcionality [%] 0.1-100	<input type="text" value="0.1"/>
Časová konstanta integrační [s] 0.1-1000	<input type="text" value="0.1"/>
Časová konstanta derivační [s] 0.1-100	<input type="text" value="0.1"/>
Zesílení derivační konstanty 1-10	<input type="text" value="1"/>
Poloha ventilu Y1 [%] 0-100	<input type="text" value="5"/>
Délka experimentu [min] 1-180	<input type="text" value="1"/>
<input type="button" value="Spustit"/>	<input type="button" value="Storno"/>

Obrázek 3. Režim automat

- Zvolte si název experimentu
- Zvolte místo regulované veličiny (teplota T2,T3 nebo T4)
- Zvolte si požadovanou teplotu
- Určete polohu ventilu
- Zadejte délku experimentu
- Zadejte hodnoty jednotlivých konstant

Po zadání všech těchto parametrů proveďte spuštění úlohy. Výsledné měření je opět uloženo do prostředí EXCEL. Po ukončení experimentu v režimu automat si otevřete výsledný soubor a podívejte se na výsledný průběh a kvalitu regulace a proveďte závěr.

PŘÍLOHA P III: NÁVRH, SESTAVENÍ A OVĚŘENÍ VZOROVÉHO EXPERIMENTU, VČETNĚ TEORETICKÉ PODPORY

Zadávání parametrů:

1. V režimu identifikace



Obrázek 1. Režim identifikace

- Název experimentu: vzorovyex.
- Poloha ventilu: 50%
- Příkon experimentu: 10%
- Délka experimentu: 60min

Po zadání těchto všech parametrů se provede spuštění úlohy. Výsledné měření je uloženo do prostředí EXCEL. Po ukončení experimentu si provedeme identifikaci systému.

Identifikace byla provedena pomocí dvou metod:

1. Metodou nejmenších čtverců (viz s.49.)
2. Strejcovou metodou (viz s.23.)

Výsledné vypočtené hodnoty přenosů soustav jsou následující:

Pro metodu nejmenších čtverců

$$T_1 = 1673, T_2 = 71, K_s = 0.79, T_d = 85$$

Výsledný přenos má tvar:

$$G_s(s) = \frac{0,79}{119588s^2 + 1745s + 1} \cdot e^{-85s}$$

Pro Strejcovu metodu

$$T_1 = 1322, T_2 = 111, K_s = 0.7, T_d = 60$$

Výsledný přenos má tvar:

$$G_s(s) = \frac{0,7}{146742s^2 + 1433s + 1} \cdot e^{-60s}$$

Z výsledných přenosů si provedu výpočet stavitelných konstant zadávaných do regulátoru.

Pro výpočet jsem použil metodu inverze dynamiky (viz s.33.).

Hodnoty výsledných stavitelných parametrů PID regulátoru jsou:

$$k_p = 9,5; T_I = 1745; T_D = 68; ,$$

2. V režimu automat

Z vypočtených stavitelných hodnot jsem v režimu automat provedl automatickou regulaci.

- Název experimentu: vzorovyex2.
- Místo regulované veličiny: T4
- Požadovaná teplota: 45°C
- Poloha ventilu: 50%
- Délka experimentu: 60min
- Hodnoty zadaných konstant: $k_p = 6,4; T_I = 1000; T_D = 48;$

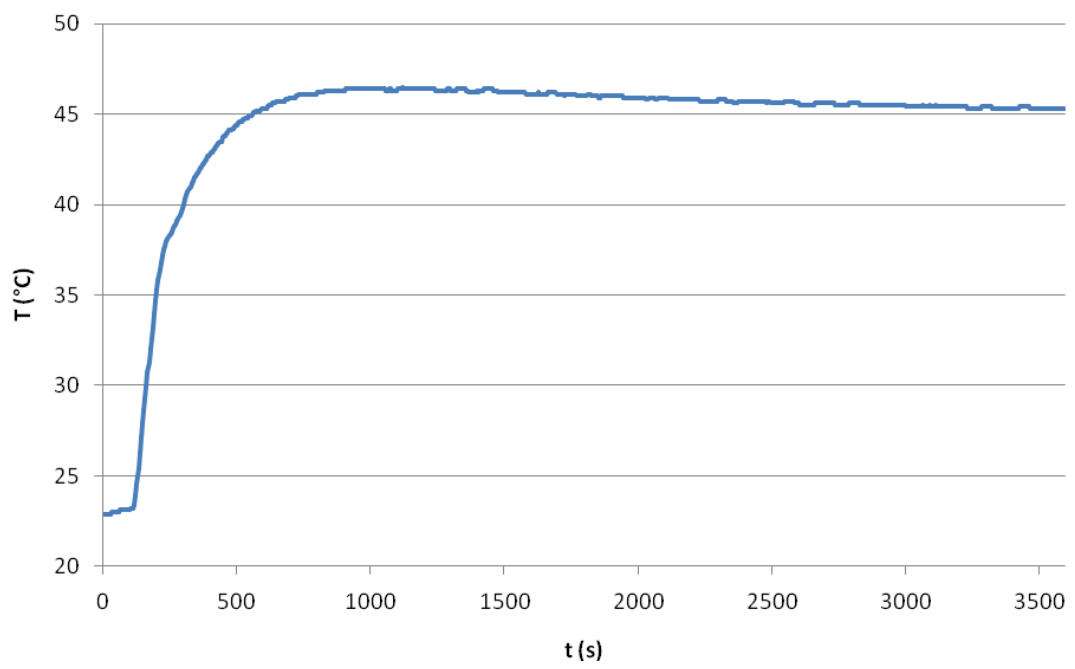
Název experimentu	vzorovyex2.
Identifikace	Automat
Regulovaná veličina	B4
Požadovaná teplota [°C] 30-60	45
Pásmo proporcionality [%] 0.1-100	9.5
Časová konstanta integrační [s] 0.1-1000	1000
Časová konstanta derivační [s] 0.1-100	68.5
Zesílení derivační konstanty 1-10	1
Poloha ventilu Y1 [%] 0-100	50
Délka experimentu [min] 1-180	60
Spustit	Storno

Obrázek 2. Režim automat

Protože itegrační časová konstanta při výpočtu vyšla vyšší než je možné do úlohy zadat, byla zvolena nejvyšší možná zadávaná hodnota (1000s).

Po zadání všech těchto parametrů jsem provedl spuštění úlohy. Výsledné měření bylo opět uloženo do prostředí EXCEL.

Z výsledného grafu je patrné že na začátku regulace dojde k menšímu překmitu, ale po chvíli se soustava ustálí, tudíž můžeme říci že vypočtené hodnoty pro nastavení PID regulátoru jsou dobré a průběh regulace je kvalitní.



Obrázek 3. Průběh regulace