

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA CHEMICKÉJ A POTRAVINÁRSKEJ
TECHNOLÓGIE**

EVIDENČNÉ ČÍSLO: FCHPT-5415-63870

**NÁVRH PID REGULÁTOROV METÓDOU NÁSOBNÉHO
DOMINANTNÉHO PÓLU**

BAKALÁRSKA PRÁCA

2016

Rudolf Hronec

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA CHEMICKÉJ A POTRAVINÁRSKEJ
TECHNOLÓGIE

Evidenčné číslo: FCHPT-5415-63870

NÁVRH PID REGULÁTOROV METÓDOU NÁSOBNÉHO
DOMINANTNÉHO PÓLU

BAKALÁRSKA PRÁCA

Študijný program: automatizácia, informatizácia a manažment v chémií
a potravinárstve

Študijný odbor: 5.2.14 automatizácia a 5.2.52 priemyselné inžinierstvo

Školiace pracovisko: Ústav informatizácie, automatizácie a matematiky

Vedúci záverečnej práce/školiteľ: Ing. Anna Vasičkaninová, PhD.

Bratislava 2016

Rudolf Hronec

Zadanie

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Ústav informatizácie, automatizácie a matematiky

Fakulta chemickej a potravinárskej
technológie



ZADANIE BAKALÁRSKEJ PRÁCE

Autor práce: Rudolf Hronec
Študijný program: automatizácia, informatizácia a manažment v chémii a potravinárstve
Študijné odbory: 5.2.14. automatizácia, 5.2.52. priemyselné inžinierstvo
Evidenčné číslo: FCHPT-5415-63870
ID študenta: 63870

Vedúci práce: Ing. Anna Vasičkaninová, PhD.

Názov práce: **Návrh PID regulátorov metódou násobného dominantného pólu**

Špecifikácia zadania: Práca je zameraná na návrh regulátorov metódou násobného dominantného pólu pre rôzne typy riadených sústav.

Úlohy:

Metóda násobného dominantného pólu.

Návrh regulátorov metódou násobného dominantného pólu pre rôzne typy riadených sústav a ich simulačné overenie.

Tvorba GUI.

Implementácia riadiaceho algoritmu pre riadenie vybraného laboratórneho procesu.

Zhodnotenie dosiahnutých výsledkov.

Rozsah práce: 40

Literatúra:

- VÍTEČKOVÁ, M. -- VÍTEČEK, A. Metoda násobného dominantního pólu pro regulátory se dvěma stupni volnosti a proporcionální soustavy s dopravním zpožděním. In *Kybernetika a informatika 2010 : Mezinárodní konference SSKI SAV, Vyšná Boca, SR, 10.-13. 2. 2010*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2010, ISBN 978-80-227-3241-3.
- VÍTEČKOVÁ, M. -- VÍTEČEK, A. *Výbrané metody seřizování regulátorů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, 2011, 230 s. ISBN 978-80-248-2503-8.
- BAKOŠOVÁ, M. -- FIKAR, M. *Riadenie procesov*. 2008. 1 s. ISBN 978-80-227-2841-6.

Dátum zadania: 15. 02. 2016

Dátum odovzdania: 08. 05. 2016

Rudolf Hronec

Študent

prof. Ing. Miroslav Fikar, DrSc.

vedúci pracoviska

prof. Ing. Miroslav Fikar, DrSc.

garant študijného programu

Pod'akovanie

Touto cestou vyjadrujem poďakovanie pani Ing. Anne Vasičkaninovej, PhD. za pomoc, odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní mojej bakalárskej práce.

Abstrakt

HRONEC, Rudolf. *Návrh PID regulátorov metódou násobného dominantného pólu* [bakalárska práca]. Slovenská technická univerzita v Bratislave. Fakulta chemickej a potravinárskej technológie. Ústav informatizácie, automatizácie a matematiky. Školiteľ: Ing. Anna Vasičkaninová, PhD. Stupeň odbornej kvalifikácie: Bakalár. Obhajoba: Bratislava, 2016. 43 s.

Obsahom bakalárskej práce je návrh PID regulátorov metódou násobného dominantného pólu pre rôzne typy riadených sústav. Práca je rozdelená do štyroch kapitol. V prvej kapitole sú opísané niektoré základné pojmy ako sú regulovaný systém a regulátor. V ďalšej časti je podrobnejšie rozoberaná problematika PID regulátora, sú porovnávané výhody a nevýhody rôznych typov regulátorov a detailne je opísaná vybraná metóda návrhu regulátora. Obsahom tretej kapitoly je opis vytvoreného grafického užívateľského rozhrania. V štvrtej časti, ktorá tvorí záverečnú časť práce autor opisuje laboratórny model magnetickej levitácie. Uvádza sa fyzikálno-matematický opis systému, návrh parametrov regulátora a výsledky riadenia navrhnutým PID regulátorom.

Kľúčové slová: riadený systém; PID regulátor; metóda násobného dominantného pólu; magnetická levitácia.

Abstract

HRONEC, Rudolf. *PID controller design using multiple dominant pole method* [Bachelor thesis]. Slovak Technical of Technology in Bratislava. Faculty of Chemical and Food Technology. Institute of Information Engineering, Automation and Mathematic. Thesis Supervisor: Ing. Anna Vasičkaninová, PhD. Degree of Professional Qualification: The Bachelor. Vindication: Bratislava, 2015. 43 p.

The aim of this bachelor thesis is the PID controller design for different types of controlled systems using multiple dominant pole methods. The bachelor thesis is divided into four parts. Some basic terms as controlled system, PID controller are introduced in the first part of the work. In the next part there is punctually described issue of PID controller, the advantages and disadvantages of selected controllers are compared. The content of the third part is the description of the created graphical user interface. The laboratory process magnetic levitation is described in the last part. The mathematical model of the system, calculation of the PID controller parameters and the results obtained using designed controller are given in this part.

Keywords: controlled system; PID controller; multiple dominant pole method; magnetic levitation.

Obsah

Zoznam obrázkov.....	12
Zoznam tabuliek.....	13
Zoznam skratiek a značiek	14
Úvod.....	15
1 Spätnoväzbové riadenie procesov.....	16
1.1 Uzavretý regulačný obvod	16
2 Regulátor	18
2.1 Typy regulátorov.....	18
2.1.1 Dvojpohový regulátor	18
2.1.2 Proporcionálny regulátor (P)	18
2.1.3 Integračný regulátor (I)	18
2.1.4 Derivačný regulátor (D)	19
2.1.5 PID regulátor.....	19
2.1.6 Niektoré zásady výberu správneho regulátora	20
2.2 Metóda násobného dominantného pólu	21
2.3 Systém riadenia so spätnoväzbovým a priamoväzbovým regulátorom	23
2.4 Kvalita riadenia.....	29
3 Grafické užívateľské rozhranie.....	30
3.1 Užívateľské rozhranie	30
3.1.1 Užívateľský návod pre prostredie	30
4 Fyzikálny model Magnetickej levitácie CE152.....	36
4.1 Opis zariadenia	36
4.2 Matematicko-fyzikálny opis systému	37
5 Záver.....	42
Zoznam použitej literatúry	43

Zoznam obrázkov

<i>Obr. 1 Regulačný obvod.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 2 Schéma URO so zapojením 2DOF.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 3 Grafické zobrazenie užívateľského prostredia.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 4 Panel pre voľbu regulátora.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 5 Panel s možnosťou výberu regulovaného systému.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 6 Panel vstupných argumentov.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 7 Vypočítané parametre regulátora.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 8 Schéma URO v MATLAB-e.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 9 Odozva riadenej sústavy pre $w = 1.5$ so zapojeným PI regulátorom.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 10 Odozva riadenej sústavy pre $w = 1.5$ so zapojeným PD regulátorom.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 11 Odozva riadenej sústavy pre $w = 1.5$ so zapojeným PID regulátorom.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 12 Bloková schéma modelu magnetickej levitácie.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 13 Zariadenie Magnetickej levitácie CE152.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 14 Odozva riadenej sústavy na zmenu žiadanej hodnoty.....</i>	<i>41</i>

Zoznam tabuliek

Tab. 1 Hodnoty parametrov regulátora PI a PID pre riadenie systému typu $k \frac{k}{Ts+1} e^{-Ds}$...	25
Tab. 2 Hodnoty parametrov regulátora typu P,PI, PID a PD pre riadenie systému typu $\frac{k}{s} e^{-Ds}$	27
Tab. 3 Hodnoty parametrov regulátora typu P a PI pre riadenie systému typu $\frac{k}{s(Ts+1)}$	28
Tab. 4 Hodnoty parametrov regulátora typu P a PI pre riadenie systému typu $\frac{k}{(Ts+1)^2}$	28
Tab. 5 Porovnanie kvality riadenia regulátormi typu PI, PD a PID pre riadený systém $\frac{6}{s} e^{-s}$	33
Tab. 6 Zoznam konštánt pre výpočet prenosu magnetickej levitácie.....	39

Zoznam skratiek a značiek

Z_R	zosilnenie regulátora
T_D	derivačná konštanta regulátora
T_I	integračná konštanta regulátora
N	parameter časovej konštanty filtra
k	zosilnenie riadeného systému
D	dopravné oneskorenie
T	časová konštanta
s	násobný dominantný pól
b	váha žiadanej veličiny v proporcionálnej zložke
c	váha žiadanej veličiny v derivačnej zložke
PID	proporcionálno-integračno-derivačný
UO	uzavretý regulačný obvod

Úvod

Čím ďalej tým viac sa do modernej civilizácie zavádza nahradzovanie ľudskej práce strojmi, ktoré sa kedysi začalo len vo výrobe, no dnes preniká hlboko aj do intelektuálnych oblastí ľudskej činnosti. Do výrobného procesu vstupujú materiály, energia a ľudská práca. Ľudskú prácu možno rozdeliť do dvoch základných skupín. Je to hlavne fyzická práca, a to tam, kde táto činnosť nie je nahradená strojmi. Druhou skupinou je ovládanie (riadenie) činnosti strojov.

Do oblastí ako marketing a obchod prenikajú technické prostriedky za účelom zefektívnenia. V tomto procese možno vyčleniť základné oblasti: mechanizácia, automatizácia a informatizácia.

Automatizácia je zabezpečenie samočinnej funkcie strojov zadaným spôsobom. Ide teda o nahrádzanie riadiacej činnosti človeka technickými prostriedkami. V automatizácii sa využívajú klasické zariadenia ako logické obvody, regulátory, ale v súčasnosti sa zavádzajú zložitejšie riadiace systémy na báze modernej výpočtovej techniky. Možnosti realizácie automatických systémov riadenia sú široké a časom sa rýchlo menia [6].

PID regulátory patria medzi najpoužívanejšie regulátory v priemysle. V priemysle sa PID regulátory stretávajú s veľkými problémami, pretože veľa regulačných obvodov nie je dobre navrhnutá a mnohé z nich pracujú v manuálnom režime, čo má za následok obrovské straty v ekonomike. O PID regulátoroch sa uvažuje len o akomsi špeciálnom prípade niečoho všeobecnejšieho a kvalitnejšieho. Veľa odborníkov v oblasti automatického riadenia sa domnieva, že moderné teórie riadenia ponúkajú dôvernejšie riešenia ako klasické, už 100 rokov staré PID regulátory a že iba konzervatívny priemysel tieto nové riešenia nedokáže využiť. Reálna situácia je však opačná. Výrobcovia vyrábajú síce stále nové a nové produkty, ktoré sú vybavené stále pokročilejšími a modernejšími technológiami, ako sú napríklad automatické nastavovanie parametrov alebo diagnostika funkcií regulátora, no jadrom týchto produktov sú stále rovnaké PID algoritmy. Zdá sa, že v dnešnej dobe riadi PID regulátory prax a nie teória, čo má za následok veľké množstvo PID regulátorov, ale často krát vôbec nie je jasné, ako bude daný regulátor reagovať v neštandardných režimoch [1].

Cieľom bakalárskej práce bolo oboznámiť sa s metódou násobného dominantného pólu, pomocou metódy násobného dominantného pólu navrhnúť parametre regulátora pre rôzne typy riadených sústav, vytvoriť jednoduché grafické užívateľské rozhranie pre výpočet parametrov PID regulátor, navrhnúť a implementovať navrhnutý regulátor pre riadenie reálneho laboratórneho procesu.

1 Spätnoväzbové riadenie procesov

1.1 Uzavretý regulačný obvod

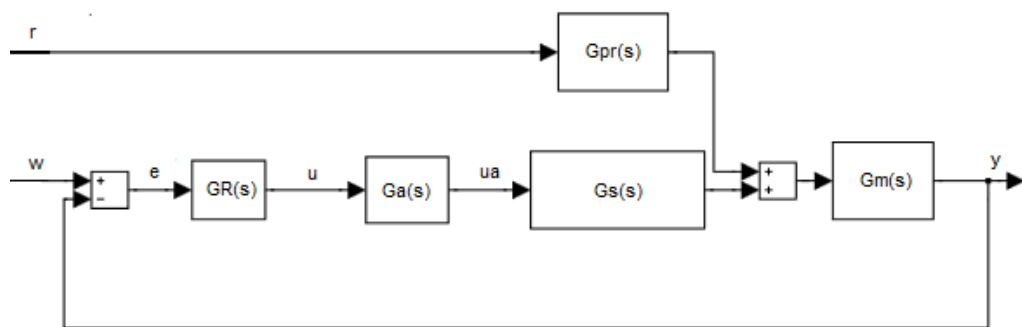
Uzavretý regulačný obvod URO je súhrn technických prostriedkov, ktorý slúži nato, aby vybraný proces pracoval dobre v automatickom režime. Na Obr. 1 je bloková schéma URO. URO tvorí regulátor, akčný člen, merací člen a regulovaný systém.

Hlavnú úlohu zohráva regulovaná veličina y , ktorú môžeme ovplyvňovať riadiacou veličinou u . V mnohých prípadoch je regulovaná veličina ovplyvňovaná aj veličinami, ktoré meniť nedokážeme – poruchové, ktoré sú často označované premennou r . Aby sme mohli riadiť regulovanú veličinu y , musíme ju odmerať. Poslúži nám na to merací člen [5].

Regulátor je zariadenie, ktoré vyhodnocuje regulačnú odchýlku a na základe zákona riadenia generuje akčnú veličinu. Táto je použitá akčným členom, ktorý akčnú veličinu zrealizuje (otvorí ventil, spustí pohon, atď.). Za účelom zjednodušenia skúmania riadiacich obvodov sa bloková schéma obyčajne zjednodušuje. V zjednodušenej blokovej schéme sú v podstate dva bloky. Prvý blok predstavuje riadiaci člen a druhý blok riadený objekt. Každý blok podrobnej blokovej schémy musí byť zahrnutý do niektorého z týchto dvoch blokov. Najčastejšie sa v zjednodušenej blokovej schéme pod riadiacim členom myslí len tá časť spätnoväzbového obvodu, ktorá realizuje zákon riadenia. Pri zjednodušení schémy sa teda akčný a merací člen zaradujú k regulovanému procesu [4].

V systéme automatickej regulácie sa porovnáva žiadaná hodnota regulovanej veličiny w s jej skutočnou hodnotou y . Ich odčítaním dostávame regulačnú odchýlku e

$$e(t) = w(t) - y(t) \quad (1)$$



Obr. 1 Regulačný obvod

V schéme na Obr. 1 sa nachádzajú signály w – žiadaná veličina, e – regulačná odchýlka, u – akčná veličina, r – porucha, y – výstupná veličina.

Úlohou sledovania je za pomoci spätnoväzbového regulátora zaistiť pri nulovej poruche približovanie riadenej veličiny URO k meniacej sa žiadanej hodnote.

Úlohou regulácie je za pomoci spätnoväzbového regulovať minimalizovať vplyv poruchy na riadenú veličinu a zaistiť jej konvergenciu k nemeniacej sa žiadanej veličine [5].

2 Regulátor

2.1 Typy regulátorov

2.1.1 Dvojpohodový regulátor

Dvojpohodový regulátor je najjednoduchšia forma spätnoväzbového regulátora, ktorého riadenie je vyjadrené

$$u(t) = \begin{cases} u_{max} & \text{ak } e(t) > 0 \\ u_{min} & \text{ak } e(t) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Akčná veličina dosahuje iba dve hodnoty, preto takýto spôsob riadenia voláme dvojpohodový. Výhodou je ľahká realizovateľnosť a nízka cena.

2.1.2 Proporcionálny regulátor (P)

Pre malé regulačné odchýlky je vhodným vylepšením dvojpohodového regulátora zavedenie proporcionality – ak je malá regulačná odchýlka, bude malý aj akčný zásah. Zákon riadenia a prenos regulátora

$$u(t) = Z_R e(t), \quad G_R(s) = Z_R \quad (3)$$

Takýto regulátor nazývame proporcionálny a Z_R je zosilnenie regulátora. Z praktického hľadiska však takýto regulátor pracuje len v danom rozsahu vstupných hodnôt, keďže akčná veličina sa nachádza vždy iba v rozsahu medzi u_{max} a u_{min} . V prípade, že v absolútnej hodnote regulačná odchýlka je príliš veľká, proporcionálny regulátor sa začne správať ako dvojpohodový regulátor, keďže riadiaca veličina je obmedzovaná hraničnými hodnotami. Pred dvojpohodovým regulátorom má však proporcionálny výhodu a to v ustálenom stave riadená veličina nekmitá. Proporcionálny regulátor nedokáže odstrániť trvalú regulačnú odchýlku [5].

2.1.3 Integračný regulátor (I)

V prípade, že chceme odstrániť trvalú regulačnú odchýlku, je potrebné zaviesť integrátor. Akčný zásah sa bude vykonávať dovtedy, kým sa neodstráni trvalá regulačná odchýlka. Zákon riadenia a prenos regulátora

$$u(t) = \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt, \quad G_R(s) = \frac{1}{T_I s} \quad (4)$$

Takýto regulátor nazývame integračný a T_I je časová integračná konštanta. Čím menšia bude hodnota T_I , tým bude akčný zásah väčší [5].

2.1.4 Derivačný regulátor (D)

Derivačná zložka zabezpečuje zlepšenie stability uzavretého regulačného obvodu a to z dôvodu, že zásah integračnej a proporcionálnej časti sa nevykonáva hneď, ale až po určitom čase. Derivačný regulátor svojím zásahom predpovedá správanie regulačnej odchýlky. Zákon riadenia a prenos regulátora

$$u(t) = T_D \frac{de(t)}{dt}, \quad G_R(s) = T_D s \quad (5)$$

Takýto regulátor nazývame derivačný a T_D je derivačná časová konštanta. Derivačný regulátor sa teda správa ako prediktívny regulátor, avšak nemôžeme donekonečna zvyšovať hodnotu T_D zložky, pretože regulátor je citlivý na prítomnosť šumu v riadenej veličine, čo by mohlo mať za následok výrazne a mnohopočetné zmeny amplitúdy.

Okrem toho, ideálny derivačný člen je nerealizovateľný, pretože stupeň čitateľa v prenose regulátora je väčší ako stupeň menovateľa. Z tohto dôvodu sa zaviedol tzv. filtrovaný D regulátor s prenosom

$$G_R(s) = \frac{T_D s}{1 + \frac{T_D}{N} s} \quad (6)$$

Ide o ideálny D regulátor, ktorý je zapojený sériovo so systémom prvého rádu. Hodnoty, ktoré sa používajú pre parameter časovej konštanty filtra N sú obvyčajne v intervale 5 až 20 [5].

2.1.5 PID regulátor

PID regulátor vznikne spojením P, I, a D regulátora. Najpoužívannejšie štruktúry ideálneho PID regulátora:

- bez interakcie

$$G_R(s) = Z_R \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (7)$$

- s interakciou

$$G_R(s) = Z_R \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right) (1 + T_D s) \quad (8)$$

- paralelná

$$G_R(s) = Z_R + \frac{1}{T_I s} + T_D s \quad (9)$$

2.1.6 Niektoré zásady výberu správneho regulátora

V praxi je rozhodujúcou vecou cena, preto je často používaný najjednoduchší a najlacnejší regulátor práve dvojpolohový, ale používa sa len vtedy, ak je povolené kmitanie okolo žiadanej hodnoty.

- P regulátor sa používa hlavne vtedy, ak je povolená nenulová trvalá regulačná odchýlka alebo riadený systém obsahuje integrátor.
- PI sa používa, keď P regulátor je nevyhovujúci. Výhodou takéhoto regulátora je odstránenie trvalej regulačnej odchýlky, čo má však za následok zväčšenie preregulovania a pri prípadnom zvyšovaní zosilnenia môže viesť k nestabilite.
- PD regulátor nemá veľké preregulovanie kvôli D zložke, ktorá urýchľuje ustálenie, no na základe toho, že neobsahuje I zložku, zanecháva v obvode trvalú regulačnú odchýlku, podobnú ako v P regulátore. PD regulátor sa používa hlavne v procesoch s veľkými časovými konštantami alebo v integračných procesoch.
- PID regulátor sa používa v ostatných prípadoch. Ide o prediktívny regulátor, teda regulátor predpovedá, ako sa daný proces bude správať v budúcnosti. Vďaka I zložke nezanecháva v obvode trvalú regulačnú odchýlku a jeho zosilnenie môže byť väčšie ako pri PI regulátore. Najväčšou nevýhodou PID regulátora je citlivosť na šum merania, spôsobenú D zložkou [5].
- zväčšovaním P zložky znižujeme stabilitu a zvyšujeme rýchlosť,
- zväčšovaním I zložky zvyšujeme stabilitu a znižujeme rýchlosť,
- zväčšovaním D zložky zvyšujeme stabilitu a zvyšujeme rýchlosť [5].

2.2 Metóda násobného dominantného pólu

MNDP vychádza z predpokladu, že násobný dominantný pól regulačného obvodu je reálny a stabilný a má dominantný vplyv na celkové správanie daného regulačného obvodu [7]. Jeho násobnosť je o 1 väčšia, ako je počet nastaviteľných parametrov regulátora. Touto metódou sa dajú dosiahnuť dobré výsledky pri riadení rôznych typov sústav. Jedným typom riadených systémov je systém, opísaný prenosom 1. rádu s dopravným oneskorením (10).

$$G_s(s) = \frac{k}{Ts+1} e^{-Ds} \quad (10)$$

kde k je koeficient zosilnenia, T je časová konštanta a D je dopravné oneskorenie.

Pri metóde násobného dominantného pólu sú neznáme riešením sústavy rovníc

$$\frac{d^i N(s)}{ds^i} = 0 \text{ pre } i = 0, 1, 2, \dots, p \quad (11)$$

kde $N(s)$ je charakteristický polynóm uzavretého regulačného obvodu..

Štandardný regulátor PI má prenos

$$G_R(s) = Z_R \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right) \quad (12)$$

a štandardný regulátor PID má prenos (7).

Regulátory s I zložkou majú nulovú trvalú regulačnú odchýlku.

Pre štandardný regulátor PID (7) a sústavu (10) v súlade s (11) pre $p = 3$ dostaneme sústavu rovníc

$$(Ts^2 + s)e^{Ds} + kZ_R \left(s + \frac{1}{T_I} + T_D s^2 \right) = 0 \quad (13)$$

$$[DTs^2 + (D + 2T_1)s + 1]e^{Ds} + kZ_R(2T_D s + 1) = 0 \quad (14)$$

$$[D^2Ts^2 + (4DT_1 + D^2)s + 2D + 2T]e^{Ds} + kZ_R 2D = 0 \quad (15)$$

$$D^3Ts^2 + (6D^2T_1 + D^3)s + 3D^2 + 6DT \quad (16)$$

Riešením uvedených rovníc sú parametre Z_R , T_I , T_D regulátora a hodnota dominantného pólu s

$$s = -\frac{1}{2T} - \frac{3}{D} + \sqrt{\frac{3}{D^2} + \frac{1}{4T^2}} \quad (17)$$

$$Z_R = \frac{1}{k} [D^2Ts^3 + D(3T + D)s^2 + Ds - 1] e^{Ds} \quad (18)$$

$$T_I = -2 \frac{D^2Ts^3 + D(3T + D)s^2 + Ds - 1}{s^3 D(TDs + 2T + D)} \quad (19)$$

$$T_D = -\frac{1}{2} \frac{D^2Ts^2 + D(4T + D)s + 2D + 2T}{D^2Ts^3 + D(3T + D)s^2 + Ds - 1} \quad (20)$$

Rovnakým postupom sa počítajú parametre PI regulátora a hodnota trojnásobného pólu. Vzťahy pre výpočet parametrov PI a PID regulátora pre riadenie systému 1. rádu s dopravným oneskorením sú uvedené v Tab. 1

Prenosy riadenia URO pre sústavu (10) a štandardné regulátory PI (12) a PID (7) navrhnuté metódou násobného dominantného pólu podľa Tab. 1 majú tvary

$$G_{wy}(s) = \frac{T_D T_I s^2 + T_I s + 1}{\frac{T_I T}{k Z_R} s^2 + \frac{T_I}{k Z_R} s + (T_D T_I s^2 + T_I s + 1) e^{-Ds}} e^{-Ds} \approx \frac{T_D T_I s^2 + T_I s + 1}{\left(\frac{1}{|s|} s + 1\right)^4} e^{-Ds} \quad (21)$$

$$G_{wy}(s) = \frac{T_I s + 1}{\frac{T_I T}{k Z_R} s^2 + \frac{T_I}{k Z_R} s + (T_I s + 1) e^{-Ds}} e^{-Ds} \approx \frac{T_I s + 1}{\left(\frac{1}{|s|} s + 1\right)^3} e^{-Ds} \quad (22)$$

V prípade nízkej hodnoty dopravného oneskorenia D vzhľadom k zotrvačnej časovej konštante T , môžu vznikať veľmi veľké, nedovolené, preregulovania. Tieto preregulovania môžeme vyriešiť tak, že použijeme zapojenie s dvomi stupňami voľnosti.

2.3 Systém riadenia so spätnoväzbovým a priamoväzbovým regulátorom

Ak je dopravné oneskorenie malé alebo nulové, odozva daného regulačného obvodu na žiadanú veličinu môže spôsobovať preregulovanie. Pokiaľ toto preregulovanie nie je povolené, je vhodné použiť regulátory PI a PID s dvoma stupňami voľnosti (2DOF z angličtiny: *2 degree of freedom*). Obr. 2.

Pre zapojenie regulátora PID s dvomi stupňami voľnosti (2DOF) môžeme napísať vzťah

$$u = Z_R \left\{ bw - y + \frac{1}{T_I s} [w - y] + T_D s [cw - y] \right\} \quad (23)$$

Pre 2DOF zapojenie s PI regulátorom je v tvare

$$u = Z_R \left\{ bw - y + \frac{1}{T_I s} [w - y] \right\} \quad (24)$$

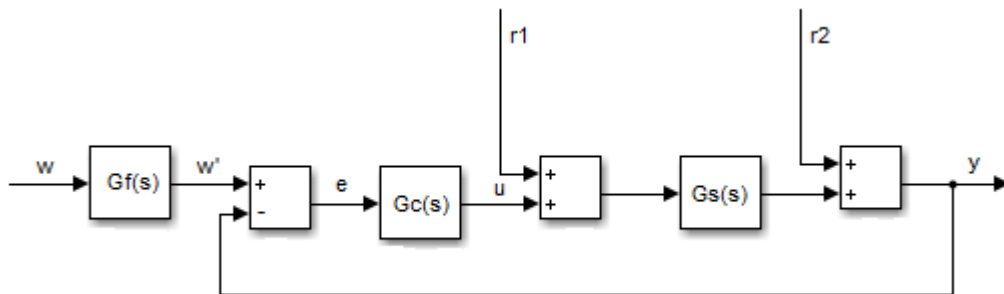
kde b je váha žiadanej veličiny v proporcionálnej zložke a c je váha žiadanej veličiny v derivačnej zložke.

Dané váhy sa môžu pohybovať v intervale od 0 po 1. Ak by sme dosadili za $b = c = 1$ vzťah (23) by popisoval štandardný PID regulátor, ktorý by mal prenos (7) a ak by sme dosadili za $b = 1, T_D = 0$ vzťah (24) by popisoval štandardný regulátor PI, ktorého prenos by bol (12). Systém riadenia 2DOF so zapojeným PI regulátorom môžeme upraviť na zapojenie so štandardným regulátorom s prenosom $G_c(s)$ a vstupným filtrom $G_f(s)$. Pre systém riadenia 2DOF so zapojeným PID (23) na Obr. 2 $G_c(s)$ je prenos štandardného regulátora PID (7) a prenos vstupného filtra daný vzťahom

$$G_f(s) = \frac{cT_I T_D s^2 + bT_I s + 1}{T_I T_D s^2 + T_I s + 1} \quad (25)$$

Podobne pre 2DOF PI (24) regulátor sa odvodí vzťah

$$G_f(s) = \frac{bT_I s + 1}{T_I s + 1} \quad (26)$$



Obr. 2 Schéma URO so zapojením 2DOF

Z predchádzajúci vzťahov (25) a (26) vidíme, že menovatele nahrádzajú čitatele v prenosoch riadenia. Z toho dôvodu dochádza k značnému spomaleniu odoziev.

V prenosoch (21) a (22) čitatele prenos urýchľujú a ak nespôsobujú veľké prerégulovania, netreba použiť zapojenie 2DOF. 2DOF používame v prípade veľkých, nedovolených prerégulovaní. Ak máme požiadavku aperiodického priebehu 2DOF (25) a (26) pri správne nastavených váhach b a c môžu nahradzovať jeden (PI) alebo dva (PID) dvojčleny v menovateľoch aproximovaných prenosov riadenia. Zapojenie 2DOF PI regulátora je v tvare

$$bT_I s + 1 = \frac{1}{|s|} s + 1 \Rightarrow b = \frac{1}{T_I |s|} \quad (27)$$

Podobným spôsobom odvodíme zapojenie 2DOF PID regulátora

$$cT_D T_I s^2 + bT_I s + 1 = \left(\frac{1}{|s|} s + 1 \right)^2 \Rightarrow b = \frac{2}{T_I |s|}, c = \frac{1}{T_I T_D s^2} \quad (28)$$

Môžeme povedať, že ak by pre štandardný regulátor PI zo vzťahu (22) platila rovnosť, prerégulovanie bude teoreticky ak platí

$$T_D < T_I \quad (29)$$

Vzhľadom k približnej rovnosti sa prerégulovanie objaví pri podmienke

$$T_D < 0.6T_I \quad (30)$$

Analógia platí aj pre štandardný PID regulátor. Prerégulovanie sa stanovilo simulačne.

V súlade s Obr. 2 odchýlkové prenosy sú vyjadrené vzťahmi

$$G_{we}(s) = \frac{e}{w} = \frac{G_f(s)}{1+G_c(s)G_s(s)} \quad (31)$$

$$G_{r1e}(s) = \frac{e}{r_1} = -\frac{G_f(s)}{1+G_c(s)G_f(s)} \quad (32)$$

$$G_{r2e}(s) = \frac{e}{r_2} = -\frac{1}{1+G_c(s)G_f(s)} \quad (33)$$

Z toho vyplýva, pre štandardné regulátory platí

$$G_f(s) = 1 \quad (34)$$

Z odchýlkových prenosov (31) – (33) vyplýva, že zapojenie 2DOF má vplyv len na odozvu žiadanej veličiny w . Ak použijeme štandardné regulátory, platí vzťah (34), a preto odozva žiadanej veličiny w a poruchovej veličiny r_2 , ktorá pôsobí na výstupe regulovanej sústavy, sa odlišuje len znamienkom [7].

V Tab. 1 sú uvedené vzťahy pre výpočet parametrov PI a PID regulátora pre riadenie systému s prenosom $\frac{k}{Ts+1}e^{-Ds}$ [7].

Tab. 1 Hodnoty parametrov regulátora PI a PID pre riadenie systému typu $\frac{k}{Ts+1}e^{-Ds}$

regulátor	parameter	regulovaná sústava $\frac{k}{Ts+1}e^{-Ds}$
PI	s	$-\frac{2}{D} - \frac{1}{2T} + \sqrt{\frac{2}{D^2} + \frac{1}{4T^2}}$
	Z_R	$-\frac{1}{k}[DTs^2 + (2T + D)s + 1]e^{Ds}$
	T_I	$-\frac{DTs^2 + (2T + D)s + 1}{(DTs + T + D)s^2}$
	b	$1 \text{ pre } D \geq 0,6T$ $\frac{1}{T_I s } \text{ pre } D < 0,6T$

PID	s	$-\frac{1}{2T} - \frac{3}{D} + \sqrt{\frac{3}{D^2} + \frac{1}{4T^2}}$
	Z_R	$\frac{1}{k} [D^2 T s^3 + D(3T + D)s^2 + Ds - 1] e^{Ds}$
	T_I	$-2 \frac{D^2 T s^3 + D(3T + D)s^2 + Ds - 1}{Ds^3(TDs + 2T + D)}$
	T_D	$-\frac{1}{2} \frac{D^2 T s^2 + D(4T + D)s + 2D + 2T}{D^2 T s^3 + D(3T + D)s^2 + Ds - 1}$
	b	$1 \text{ pre } D \geq 1,1T$ $\frac{2}{T_I s } \text{ pre } D < 1,1T$
	c	$1 \text{ pre } D \geq 0,6T$ $\frac{1}{T_I T_D s^2} \text{ pre } D < 0,6T$

Ako už bolo spomenuté, metóda násobného dominantného pólu je vhodná pre rôzne typy riadených sústav. V Tab. 2 sú uvedené vzťahy pre výpočet parametrov PI a PID regulátora pre riadenie systému s prenosom $\frac{k}{s}e^{-Ds}$.

Tab. 2 Hodnoty parametrov regulátora typu P,PI, PID a PD pre riadenie systému typu $\frac{k}{s}e^{-Ds}$

regulátor	parameter	regulovaná sústava $\frac{k}{s}e^{-Ds}$
P	s	$-\frac{1}{D}$
	Z_R	$-\frac{1}{k}se^{Ds}$
PI	s_3	$\frac{\sqrt{2}-2}{D}$
	Z_R	$-\frac{1}{k}(Ds^2+2s)e^{Ds}$
	T_I	$-\frac{Ds+2}{Ds^2+s}$
PID	s	$\frac{\sqrt{3}-3}{D}$
	Z_R	$\frac{1}{k}[D^2s^3+3Ds^2]e^{Ds}$
	T_I	$-2\frac{Ds+3}{Ds^2+2s}$
	T_D	$-\frac{1}{2}\frac{D^2s^2+4Ds+2}{(D^2s^3+3Ds^2)}$
PD	s	$-\frac{2}{D}$
	Z_R	$\frac{1}{k}(Ds^2)e^{Ds}$
	T_D	$-\frac{Ds+1}{Ds^2}$

V Tab. 3 sú uvedené vzťahy pre výpočet parametrov PI a PID regulátora pre riadenie systému s prenosom $\frac{k}{s(Ts+1)}$

Tab. 3 Hodnoty parametrov regulátora typu P a PI pre riadenie systému typu $\frac{k}{s(Ts+1)}$

regulátor	parameter	regulovaná sústava $\frac{k}{s(Ts+1)}$
P	s	$-\frac{1}{2T}$
	Z_R	$-\frac{1}{k}(Ts^2 + s)$
PI	s	$-\frac{1}{3T}$
	Z_R	$-\frac{1}{k}(3Ts^2 + 2s)$
	T_I	$-\frac{3Ts + 2}{2Ts^2 + s}$

V Tab. 4 sú uvedené vzťahy pre výpočet parametrov PI a PID regulátora pre riadenie systému s prenosom $\frac{k}{(Ts+1)^2}$

Tab. 4 Hodnoty parametrov regulátora typu P a PI pre riadenie systému typu $\frac{k}{(Ts+1)^2}$

regulátor	parameter	regulovaná sústava $\frac{k}{(Ts+1)^2}$
P	s	$-\frac{1}{T}$
	Z_R	$-\frac{1}{k}(Ts + 1)^2$
PI	s	$-\frac{2}{3T}$
	Z_R	$-\frac{1}{k}(3T^2s^2 + 4Ts + 1)$
	T_I	$-\frac{3T^2s^2 + 4Ts + 1}{2(Ts^3 + Ts^2)}$

2.4 Kvalita riadenia

Jednou z viacerých úloh uzavretého regulačného obvodu je zabezpečiť, aby riadená veličina sledovala čo najpresnejšie a najrýchlejšie žiadanú veličinu. Na posúdenie kvality riadenia v časovej oblasti sa používajú rôzne kritériá.

Pri vyhodnotení kvality riadenia v časovej oblasti je vhodné si vybrať nejaký štandardný priebeh vstupnej veličiny do uzavretého regulačného obvodu a vyhodnotiť priebeh riadenej veličiny. Skúma sa hlavne reakcia uzavretého regulačného obvodu na jednotkovú skokovú zmenu žiadanej veličiny. V časovej oblasti máme niekoľko ukazovateľov kvality.

- Čas regulácie t_{reg} je čas, za ktorý sa žiadaná veličina natrvalo dostane do δ -okolía. Hodnota maximálnej povolenej regulačnej odchýlky sa zvyčajne udáva v percentách. Štandardne je $\delta = 1\% - 5\%$. Hlavnou úlohou regulácie je dosiahnuť čo najmenšiu hodnotu t_{reg}
- Maximálne preregulovanie δ_{max} udáva normovanú veľkosť maximálnej odchýlky výstupnej veličiny od jej ustálenej hodnoty. Pre aperiodické deje bez preregulovania platí $\delta_{max} = 0$. Odporúčaná hodnota preregulovania by mala byť menšia ako 25%.

$$\delta_{max} = \frac{y_{max} - y_{\infty}}{y_{\infty} - y_0} 100\% \quad (35)$$

- Čas prietahu t_u určuje čas, ktorý získame priesečníkom rovnobežky s časovou osou v začiatočnej hodnote výstupu a dotyčnice trajektórie v inflexnom bode.
- Čas nábehu t_n určuje čas, ktorý získame priesečníkom rovnobežky s časovou osou v ustálenej hodnote výstupu a dotyčnice trajektórie v inflexnom bode.
- Trvalá regulačná odchýlka (TRO) $e(\infty)$ je rozdiel medzi žiadanou veličinou w a výstupom v novom ustálenom stave. Je nulová v prípade použitia regulátora s integračnou zložkou [5].

3 Grafické užívateľské rozhranie

Grafické užívateľské rozhranie tvorí všetky grafické objekty aplikácie. V angličtine je pre grafické užívateľské rozhranie názov GUI (Graphical User Interface). Užívateľ si vytvára grafické objekty sám priamo v editore zdrojových textov.

Pri tvorbe grafického užívateľského rozhrania musíme mať stále na pamäti jeho hlavnú úlohu – uľahčenie ovládania aplikácie užívateľom. Je potrebné, aby boli splnené počas celého behu programu tieto požiadavky

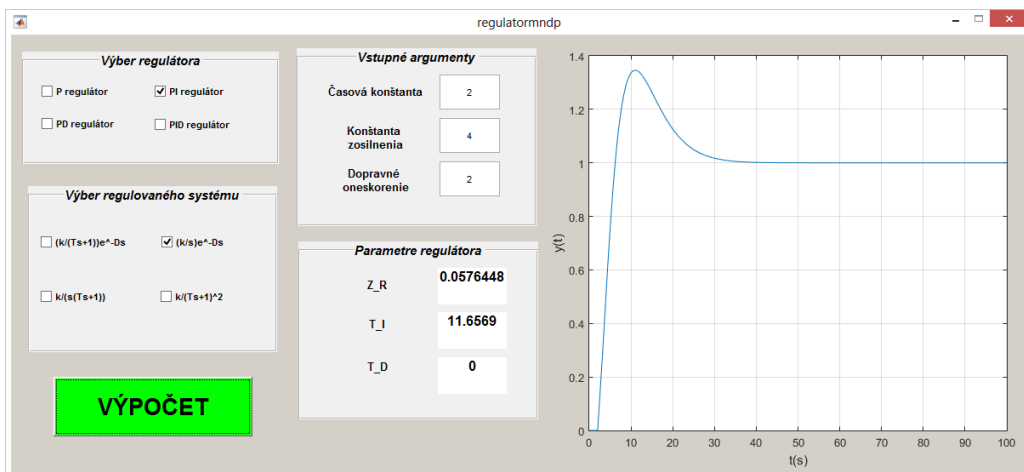
- jednoduchosť – pohyb v aplikácii by mal byť rýchly a jednoduchý,
- priehľadnosť – musí byť vždy možnosť na návrat. Užívateľovi musí byť jasné, kde sa práve nachádza a taktiež užívateľ by mal vedieť, aký je nasledujúci krok,
- komplexnosť – môže sa užívateľ vrátiť na začiatok [2]?

3.1 Užívateľské rozhranie

Grafické užívateľské rozhranie GUI je grafické interaktívne vývojové prostredie, obsahujúce všetky grafické objekty typu *uicontrol*, ktorými je možno ovládať celý beh aplikácie. GUI v MATLAB-e automaticky generuje základný zdrojový kód, ktorý ovláda aplikáciu. Vzhľad vytvoreného GUI ukladá GUIDE do súboru s príponou **.fig* a jeho zdrojový kód do súboru **.m* [2].

3.1.1 Užívateľský návod pre prostredie

Na zjednodušenie ovládania som vytvoril veľmi jednoduché grafické užívateľské rozhranie v programe MATLAB. Grafické prostredie umožňuje užívateľovi vybrať typ riadenej sústavy, vybrať typ regulátora a overiť vypočítané parametre regulátora v URO. Po zadaní zosilnenia, časovej konštanty a dopravného oneskorenia sú navrhnuté parametre vybraného typu regulátora typu P, PI, PID alebo PD, vypočítané metódou násobného dominantného pólu.



Obr. 3 Grafické zobrazenie užívateľského prostredia

Po spustení programu MATLAB a zadaní príkazu „*regulatorendp*“ v príkazovom okne – „*Command Window*“ – sa spustí aplikácia. Aplikáciu je možné vizuálne rozdeliť na 3 časti. V ľavej časti sa nachádzajú prvky pre možnosť výberu typu regulátora a regulovanej sústavy. V strede sa nachádza možnosť zadať vstupné argumenty. Vypočítané parametre vybraného regulátora sa objavajú v paneli „*Parametre regulátora*“. V pravej časti prostredia je miesto pre grafické zobrazenie, ktoré sa vykreslí po zadaní vstupných hodnôt, vybratí regulátora a regulovanej sústavy.

V prvej časti, sa nachádza možnosť výberu typu regulátora Obr. 4. Užívateľ má na výber medzi P, PI, PID alebo PD regulátorom. Na Obr. 5 sa nachádzajú typy regulovaných systémov, ktoré možno riadiť. V oboch prípadoch je výber formou „*zaškrtnutia poľa*“.

Obr. 4 Panel pre voľbu regulátora

Výber regulovaného systému

☐ $(k/(Ts+1))e^{-Ds}$
☒ $(k/s)e^{-Ds}$

☐ $k/(s(Ts+1))$
☐ $k/(Ts+1)^2$

Obr. 5 Panel s možnosťou výberu regulovaného systému

Konštanty regulovanej sústavy sa zadávajú v strednom paneli Obr. 6. Vpisuje sa časová konštanta, zosilnenie, prípadne konštanta dopravného oneskorenia. V spodnom paneli sa nachádza tlačidlo s názvom „VÝPOČET“, ktoré spúšťa výpočet parametrov Obr. 7 a následné vykreslenie grafu.

Vstupné argumenty

Časová konštanta

Konštanta zosilnenia

Dopravné oneskorenie

Obr. 6 Panel vstupných argumentov

Parametre regulátora

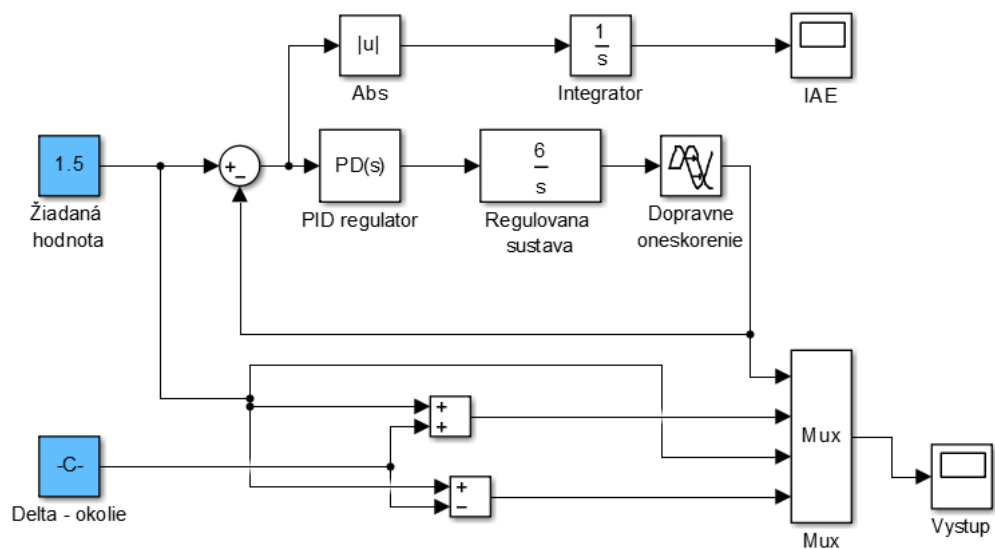
Z_R	0.0576448
T_I	11.6569
T_D	0

Obr. 7 Vypočítané parametre regulátora

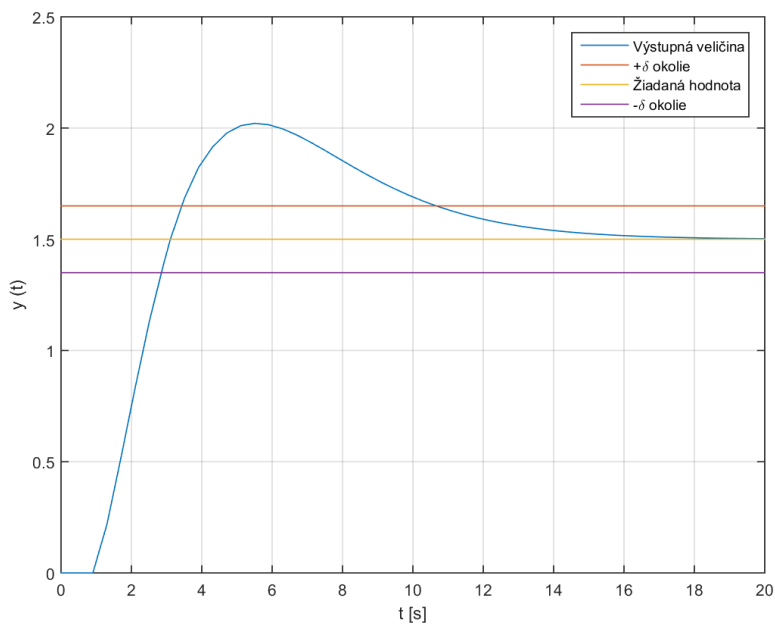
V Tab. 5 je porovnanie kvality riadenia pre riadený systém $\frac{6}{s}e^{-s}$ pri riadení s rôznymi typmi regulátorov. Výsledky riadenia sú porovnané na základe hodnôt času regulácie, hodnoty absolútnej regulačnej plochy a maximálneho preregulovania.

Tab. 5 Porovnanie kvality riadenia regulátormi typu PI, PD a PID pre riadený systém $\frac{6}{s}e^{-s}$

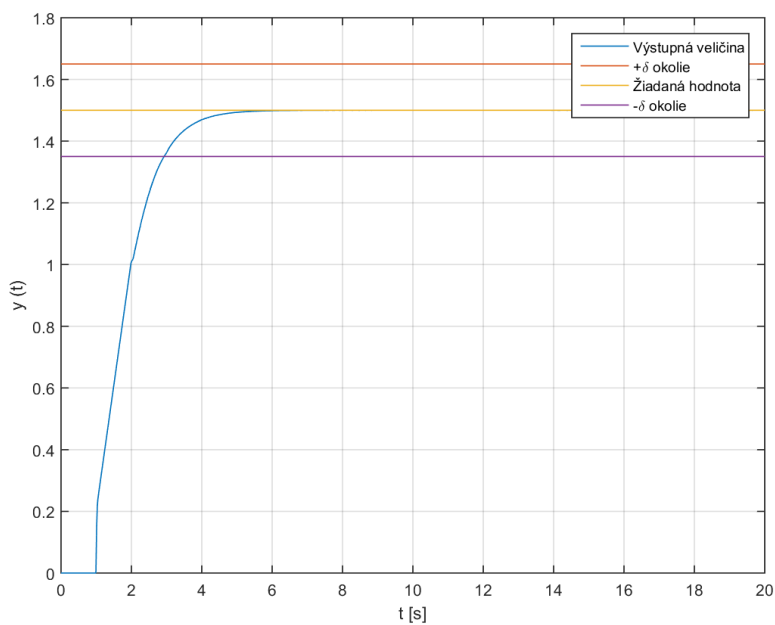
	PI	PD	PID
$t_{reg}[s]$	10.67	2.95	6.30
IAE	6.00	2.78	4.12
$\delta_{max}[\%]$	34.67	-	44.87



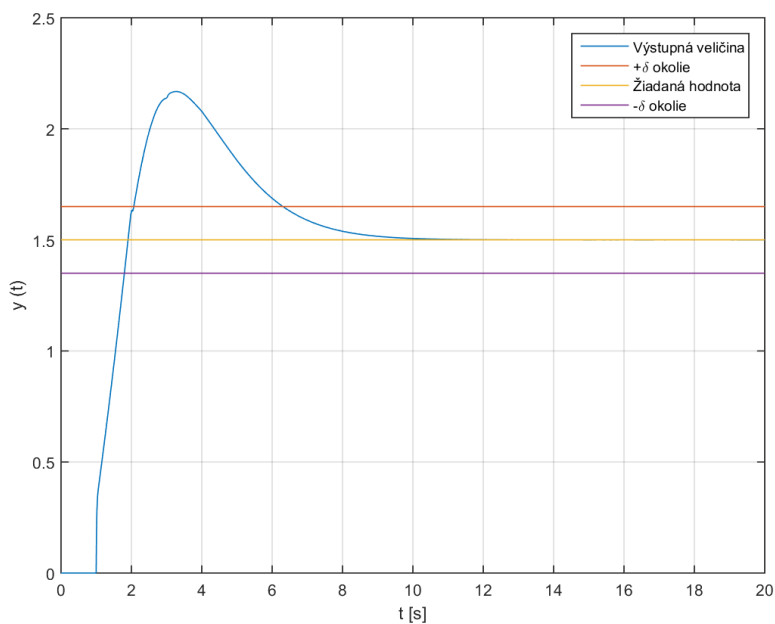
Obr. 8 Schéma URO v MATLAB-e



Obr. 9 Odozva riadenej sústavy pre $w = 1.5$ so zapojeným PI regulátorom



Obr. 10 Odozva riadenej sústavy pre $w = 1.5$ so zapojeným PD regulátorom



Obr. 11 Odozva riadenej sústavy pre $w = 1.5$ so zapojeným PID regulátorom

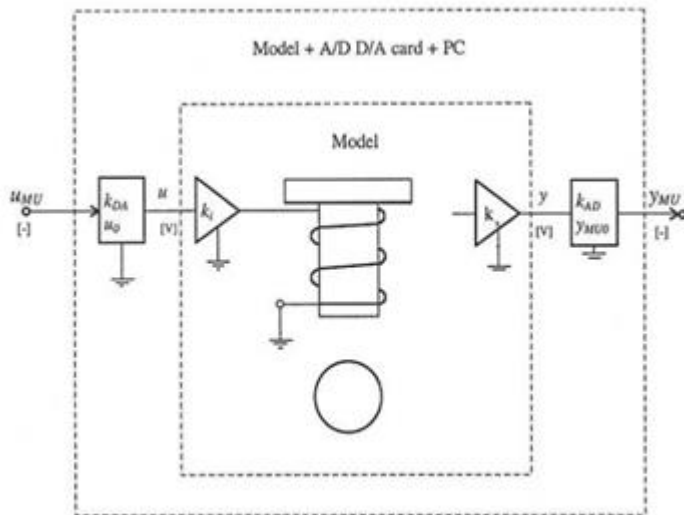
4 Fyzikálny model Magnetickej levitácie CE152

4.1 Opis zariadenia

Model magnetickej levitácie CE152 od spoločnosti Humusoft je znázornený na Obr. 13 a slúži na skúmanie problémov a hľadanie riešení pri riadení nelineárneho nestabilného systému. Systém pozostáva z cievky, ktorá spôsobuje levitáciu guľôčky v magnetickom poli. Pozícia guľôčky sa získa pomocou indukčného lineárneho pozičného senzora spojeného s A/D prevodníkom. Cievka je budená prúdovým zosilňovačom, ktorý je spojený s D/A prevodníkom. Na základe Obr. 12 môžeme model rozdeliť na dve úrovne:

- Fyzická úroveň – zosilňovač vstupného a výstupného napätia cievky a pozičného senzora
- Logická úroveň – napätie konvertované a transformované na ± 1 strojovú jednotku

Model Magnetickej levitácie CE152 je silne nelineárny a nestabilný proces, určený pre simuláciu riadenia pomocou magnetického poľa [3].



Obr. 12 Bloková schéma modelu magnetickej levitácie



Obr. 13 Zariadenie Magnetickej levitácie CE152

4.2 Matematicko-fyzikálny opis systému

Pohybová rovnica sa zakladá na rovnováhe všetkých síl pôsobiacich na guľôčku, teda na sile zrýchlenia (akceleračná sila) F_a , gravitačnej sily F_g a opačne pôsobiacej elektromagnetickej sily F_m , ktorú produkuje elektrická cievka

$$F_a = F_m + F_g \quad (36)$$

kde, akceleračnú silu možno definovať vzťahom

$$F_a = m_b \frac{d^2x}{dt^2} \quad (37)$$

x je vzdialenosť ťažiska guľôčky od začiatku elektromagnetického poľa, m_b je hmotnosť feromagnetickkej guľôčky. Gravitačnú silu si môžeme jednoducho odvodiť ako

$$F_g = m_b g \quad (38)$$

g je gravitačné (tiažové) zrýchlenie a sila, ktorú produkuje magnetické pole

$$F_m = K_m \frac{I_c^2}{x^2} \quad (39)$$

K_m je magnetická konštanta a I_c je elektrický prúd pretekajúci vinutím cievky. V praxi používame vstupy a výstupy, ktoré sú udávané v jednotkách napätia. Vstupné napätie je riadiaca veličina, ktorou dokážeme ovládať veľkosť elektrického prúdu tečúceho cez cievku a môžeme ho vyjadriť ako

$$U_c = R_c I_c \quad (40)$$

Podobne, výstupné napätie vyvolané pozičným senzorom U_{ps} môžeme zapísať ako lineárnu funkciu pozície

$$U_{ps} = a_{ps}x + b_{ps} \quad (41)$$

Použitím týchto dvoch substitúcií a zavedením novej cievkovej zosilňujúcej konštanty K_a , môžeme napísať

$$F_m = K_a \frac{U_c^2 a_{ps}^2}{U_{ps}^2 - 2b_{ps}U_{ps} + b_{ps}^2} \quad (42)$$

Pri zapísaní všetkých rovností je matematický model magnetickej levitácie v tvare

$$\frac{m_b}{a_{ps}} \frac{d^2 U_{ps}}{dt^2} = m_b g - K_a \frac{U_c^2 a_{ps}^2}{U_{ps}^2 - 2b_{ps}U_{ps} + b_{ps}^2} \quad (43)$$

Tento model je nelineárny v U_c a U_{ps} , preto systém linearizujeme v okolí ustáleného stavu U_c^s a U_{ps}^s , pričom akceleračná sila F_a bude nulová.

Po linearizácii dostaneme lineárny model v tvare

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = k_1 y + k_2 u \quad (44)$$

$y = U_{ps} - U_{ps}^s$ a $u = U_c - U_c^s$ sú odchýlky vstupného a výstupného napätia od rovnovážneho stavu. Konštanty k_1 a k_2 sú vyjadrené vzťahmi

$$k_1 = 2K_a \frac{a_{ps}^3 U_c^{s^2}}{m_b (U_{ps}^s - b_{ps})^3} \quad (45)$$

$$k_2 = -2K_a \frac{a_{ps}^3 U_c^s}{m_b (U_{ps}^s - b_{ps})^2} \quad (46)$$

Tab. 6 Zoznam konštánt pre výpočet prenosu magnetickej levitácie

Konštanta	Hodnota	Jednotka
m_b	$8.4.10^{-3}$	kg
g	9.81	$m.s^{-2}$
a_{ps}	$-1.1132.10^3$	$V.m^{-1}$
b_{ps}	11.107	V
U_c^s	2.29	V
U_{ps}^s	1.40	V
K_a	$1.1899.10^{-6}$	$kg.m.^2s.^{-2}V^{-1}$

[4].

Po dosadení hodnôt z Tab. 6 dostávame prenos systému v tvare

$$G_{s(s)} = \frac{9538}{s^2 - 2250} \quad (47)$$

Pre návrh PID regulátora pre systém (47) sme vychádzali z metódy násobného dominantného pólu.

Charakteristická rovnica URO je

$$1 + G_{R(s)}G_{S(s)} = 0 \quad (48)$$

Prenos regulátora s filtrovanou D zložkou sa dá napísať v tvare

$$G_{R(s)} = \frac{(P+DN)s^2 + (I+PN)s + NI}{s^2 + Ns} \quad (49)$$

Výsledný prenos PID regulátora sa vypočítal riešením sústavy rovníc pomocou funkcie fsolve programu MATLAB, s je násobný pól.

$$s^4 + Ns^3 - 2250s^2 + 9538(P + DN)s^2 - 2250Ns + 9538(I + PN)s + 9538NI = 0 \quad (50)$$

$$4s^3 + 3Ns^2 - 4500s + 19076s(P + DN) - 2250N + 9538(I + PN) = 0 \quad (51)$$

$$12s^2 + 6Ns - 4500 + 19076(P + DN) = 0 \quad (52)$$

$$24s + 6N = 0 \quad (53)$$

Vypočítané hodnoty parametrov PID regulátora

$$P = 1.2188 \quad I = 26.2109 \quad D = 0.0133 \quad N = 400 \quad (54)$$

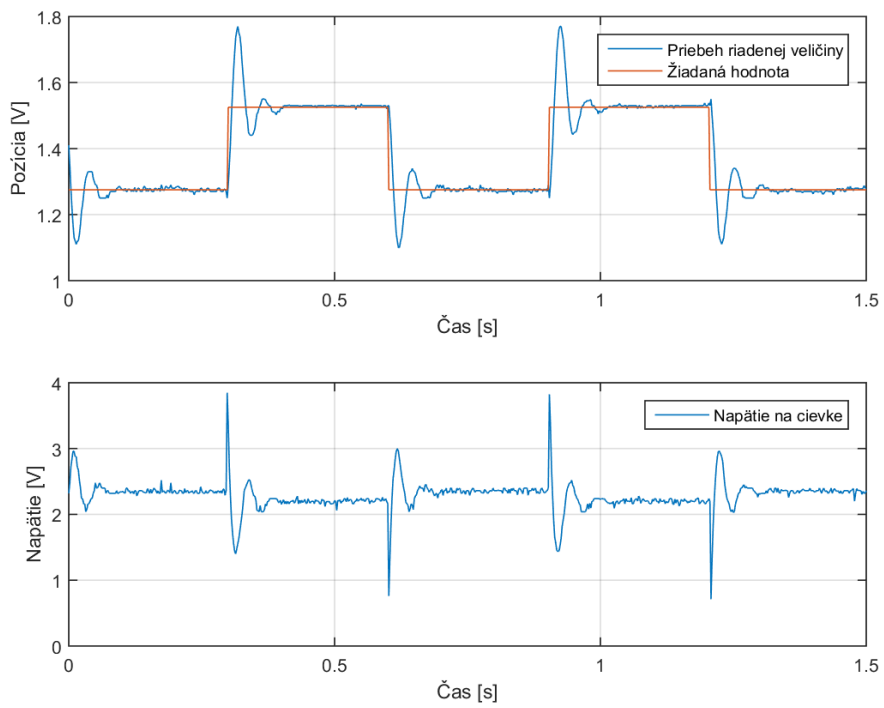
Výsledný prenos pre regulátor je v tvare

$$G_{(PID)} = \frac{6.527s^2 + 513.7s + 1.048 \cdot 10^4}{s^2 + 400s} \quad (55)$$

Tvar regulátora po diskretizácii pri perióde vzorkovania $T = 0.001$

$$G_{(PID,Z)} = \frac{6.527 - 12.63z^{-1} + 6.107z^{-2}}{1 - 1.67z^{-1} + 0.6703z^{-2}} \quad (56)$$

Osciloskopom boli namerané hodnoty riadiacej a riadenej veličiny. Tieto hodnoty sú vykreslené na grafoch [3].



Obr. 14 Odozva riadenej sústavy na zmenu žiadanej hodnoty

5 Záver

Cieľom bakalárskej práce bolo oboznámiť sa s metódou násobného dominantného pólu pre návrh parametrov PID regulátora, ktorá je vhodná pre riadenie rôznych typov sústav.

Pre typy sústav $\frac{k}{Ts+1}e^{-Ds}$, $\frac{k}{s}e^{-Ds}$, $\frac{k}{s(Ts+1)}$ a $\frac{k}{(Ts+1)^2}$ bolo vytvorené grafické užívateľské rozhranie na riadenie uvedených typov sústav pre návrh P, PI, PD a PID regulátorov. V prostredí nájdeme miesto pre vybratie riadenej sústavy, zadanie vstupných argumentov a po spustení nám GUI vypočíta hodnoty konštánt regulátora. Po vypočítaní parametrov regulátora sa hodnoty používajú v simulácii a zobrazí sa priebeh riadenej veličiny.

V poslednej časti boli metódou násobného dominantného pólu vypočítané parametre PID regulátora s filtrovanou D zložkou pre reálny laboratórny proces Magnetickej levitácie CE152. Riadenie magnetickej levitácie bolo zrealizované úspešne, systém dokázal vo zvolenej perióde vzorkovania zbierať aktuálnu informáciu o výstupnej veličine, a teda pozície guľôčky v magnetickom poli a vypočítat adekvátny akčný zásah.

Zoznam použitej literatúry

[1] AT&P journal 4/2005. *Dobré myšlienky pre poctivých ľudí* [on line], ISSN 1336-233X , [cit. 2005-04-17]. Dostupné na:
<http://www.atpjournal.sk/buxus/docs/atp-2005-04-17.pdf>

[2] DOŇAR, B.-ZAPLATÍLEK, K. 2004. MATLAB-tvorba užívateľských aplikácií, Praha. BEN, 2004 ISBN 80-7300-133-0

[3] HRONEC, R. Riadenie procesov v reálnom čase – Magnetická levitácia. Semestrálna práca. Bratislava: FCHPT STU v Bratislave.

[4] Kalúz M., Klaučo M., Kvasnica M. Real-Time Implementation of a Reference Governor on the Arduino Microcontroller. [on line], Dostupné na:
https://www.kirp.chtf.stuba.sk/~klauco/files/presentations/pc15_levitation.pdf

[5] M. Bakošová, M. Fikar, Riadenie procesov: Nakladateľstvo STU, Bratislava, 2012. – ISBN 978-80-227-3763-0

[6] M. Boršč, F. Hurta, A. Vitko, Systémy automatického riadenia: LUDOPRINT, a.s., Trenčín, 2001. – ISBN 80-88914-48-5, s. 100 – 102.

[7] Vitečková M., Viteček A., 2010, *Metoda násobného dominantního pólu pro regulátory se dvěma stupni volnosti a proporcionální soustavy s dopravním zpožděním* [on line], Vyšná Boca, 2010 [cit. 2010-02-10]. Dostupné na:
http://www.nt.ntnu.no/users/skoge/prost/proceedings/slovak_control_conference_2010/pdf/30_Viteckova_Vitecek.pdf