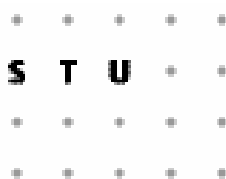


SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE

Fakulta chemickej a potravinárskej technológie
Ústav informatizácie, automatizácie a matematiky
Oddelenie informatizácie a riadenia procesov



DIPLOMOVÁ PRÁCA
Tvorba GUI pre syntézu regulátorov

Vypracovala:

Bc. Lenka Čemanová

Vedúca diplomovej práce:

Doc. Ing. Monika Bakošová, CSc.

B r a t i s l a v a 2007

Prehlásenie:

Čestne prehlasujem, že som diplomovú prácu vypracovala samostatne podľa pokynov vedúceho diplomovej práce, s použitím literatúry, ktorú uvádzam v osobitnom zozname. Ďalej prehlasujem, že súhlasím s akýmkoľvek prípadným využitím diplomovej práce ústavom.

V Bratislave, 28. mája 2007

.....

PodĎakovanie

Rada by som poĎakovala vedúcej diplomovej práce Doc. Ing. Monike Bakošovej, CSc. za všetky cenné rady, pripomienky a odborné vedenie pri písaní a revidovaní danej diplomovej práci. Zároveň ďakujem všetkým, ktorý mi akoukoľvek formou pomohli počas štúdia.

ABSTRAKT

Úlohou diplomovej práce bolo v programovom prostredí MATLAB vytvoriť grafické užívateľské rozhranie (GUI), ktoré by umožnilo jednoducho navrhnuť parametre regulátora PID. Pre návrh regulátorov boli využité experimentálne a analytické metódy syntézy. Grafické rozhranie je vytvárané pomocou príkazov zadávaných v programovacom jazyku MATLAB. Výsledkom je prostredie, ktoré je prehľadné a jednoduché. Vhodné aj pre užívateľa, ktorý sa s nastavením regulátora nestretáva pri svojej každodennej činnosti.

ABSTRACT

The object of this diploma work was to create graphic user interface (GUI), by using MATLAB software, which should simplify the process of designing parameters of PID controller. Experimental and analytical methods of synthesis were used for designing of controllers. Graphic interface was created by the use of commands entered in MATLAB programming language. The result is interface that is simple and clear, and suitable for a user who does not meet with controller settings in everyday life.

OBSAH

Úvod	1
1. Teoretická časť	2
1.1. Regulačný obvod	2
1.1.1. Rozdelenie regulačných obvodov	2
1.1.2. Navrhovanie regulačného obvodu	4
1.1.3. Kvalita regulačného obvodu	5
1.2. Regulátory	7
1.2.1. Vlastnosti a klasifikácia regulátorov	8
1.2.2. Opis zložiek PID regulátora	11
1.2.3. Výber regulátora	13
1.3. Strejcova metóda identifikácie systémov	14
1.4. Syntéza obvodov automatického riadenia	17
1.4.1. Metódy syntézy riadiaceho systému	17
1.4.2. Experimentálne metódy syntézy regulátorov	18
1.4.3. Analytické metódy syntézy regulátorov	24
1.5. Grafické užívateľské rozhranie (GUI)	27
2. Experimentálna časť	28
2.1. Použitie programového systému pre návrh regulátora s využitím prechodovej charakteristiky	28
2.2. Použitie programového systému pre návrh regulátora už identifikovaného systému	36
Záver	41
Zoznam použitej literatúry	42
Prílohy	43

Úvod

Výrobné pochody sa postupom času neustále zdokonaľujú. Dochádza k odstraňovaniu fyzicky namáhavej práce použitím doplnkových zariadení a dokonalejších výrobných prostriedkov. Činnosť človeka sa pritom presúva prevažne do oblasti kontroly výrobných postupov a riadiacu funkciu vykonávajú rôzne prístroje a zariadenia. K zabezpečeniu automatizácie je treba zvládnuť problém riadenia daného technologického procesu, alebo daného objektu.

Riadenie je cieľavedomá činnosť, pri ktorej sa hodnotia a spracovávajú informácie o riadenom procese a podľa nich sa ovládajú príslušné zariadenia tak, aby sa dosiahlo určitého predpísaného cieľa.

Dôležitým druhom riadenia je regulácia. Ide o udržiavanie určitých fyzikálnych veličín na vopred stanovených hodnotách. Pritom sa v priebehu regulácie zisťujú hodnoty týchto veličín a porovnávajú sa s hodnotami, ktoré majú mať. Podľa zistených odchýlok, ktoré sú mierou presnosti regulácie, sa zasahuje do regulovaného procesu tak, aby tieto odchýlky boli udržiavané na minime. Ak sa koná táto činnosť človekom, ide o ručnú reguláciu. Ak je uskutočňovaná samočinne nejakým zariadením, ide o automatickú reguláciu s využitím regulátora.

Regulátor je dynamické zariadenie spracovávajúce vstupnú veličinu, ktorou je regulačná odchýlka. Je tvorený jedným, alebo viacerými regulačnými prvkami. Kombináciou týchto prvkov vytvárame rôzne typy regulátorov so špecifickými vlastnosťami. V priemyselnej regulácii sa najčastejšie využíva regulátor typu PID s vopred zadanou štruktúrou a podľa požiadaviek kvality sa nastavujú len hodnoty konštánt regulátora. Určenie konštánt sa realizuje analytickými, alebo experimentálnymi metódami.

Cieľom práce bolo v programovom prostredí MATLAB vytvoriť grafické užívateľské rozhranie (GUI), ktoré by umožnilo jednoducho navrhnuť parametre regulátora PID. Grafické rozhranie je vytvárané pomocou príkazov zadávaných v programovacom jazyku MATLAB. Výsledkom je prostredie, ktoré je prehľadné a jednoduché. Vhodné aj pre užívateľa, ktorý sa s nastavením regulátora nestretáva pri svojej každodennej činnosti.

1. Teoretická časť

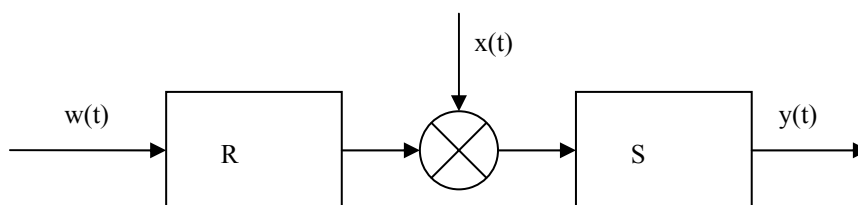
1.1 Regulačný obvod

Základnými prvkami regulačného obvodu sú regulovaná sústava a regulátor. Regulovanú sústavu tvorí súbor zariadení, v ktorých prebieha regulačný pochod a regulátor je zariadenie, ktoré samočinne uskutočňuje reguláciu. Návrhom štruktúry regulátora a jeho parametrov sa zaoberá syntéza regulačných obvodov. Je možné dokázať, že k jednej riadenej sústave môžeme navrhnuť viacero regulátorov, ktoré sa líšia svojimi parametrami i štruktúrou, takých, že všetky spĺňajú základnú podmienku kladenú na regulačný obvod – stabilitu. Regulačné obvody s tou istou regulovanou sústavou a rôznymi regulátormi sa budú svojím správaním líšiť. Preto sa posudzuje vhodnosť jednotlivých regulátorov v závislosti od požiadaviek kladených na regulačný pochod [1],[8].

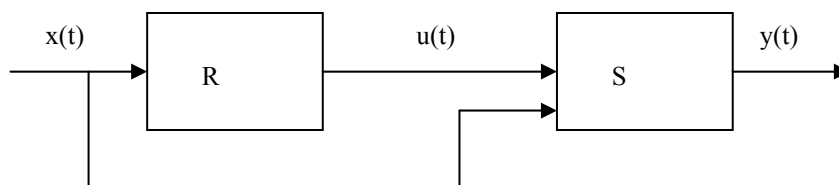
1.1.1 Rozdelenie regulačných obvodov

V závislosti od základnej štruktúry môžeme regulačné obvody rozdeliť do dvoch tried. Sú to:

- **otvorený regulačný obvod**



A.



B.

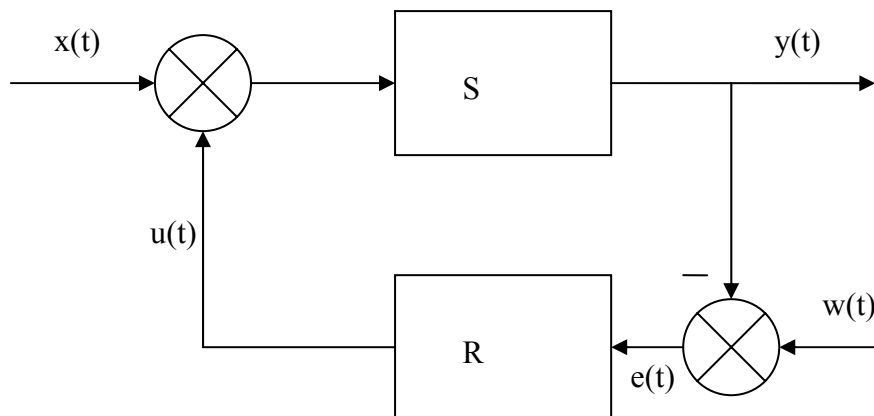
Obr.1 Bloková schéma otvoreného regulačného obvodu

Na obr. 1 je S - riadená sústava, R - regulátor, $x(t)$ - poruchová veličina, $y(t)$ - riadená veličina, $u(t)$ - akčná veličina, $w(t)$ - žiadaná veličina.

Regulátor otvoreného regulačného obvodu podľa obr.1 **A.** nie je schopný odstrániť vplyv poruchovej veličiny, pretože akčný zásah je odvodený len od žiadanej veličiny $w(t)$. Pri výskyte poruchovej veličiny, alebo ľubovoľnej zmene parametrov sústavy regulovaná veličina nenadobúda požadovanú hodnotu.

Akčná veličina v obvode podľa obr.1 **B.** je odvodená od poruchovej veličiny, preto akčný zásah regulátora sa môže objaviť skôr ako sa poruchová veličina prejaví na výstupe riadeného systému. Z toho vyplýva rýchla reakcia riadiaceho obvodu na zmeny poruchovej veličiny. V prípade viacerých poruchových veličín pôsobiacich na riadenú sústavu, kompenzačný obvod eliminuje účinky len tých poruchových veličín, ktoré je schopný snímať. Otvorený (kompenzačný) obvod neporovnáva účinky akčného zásahu s očakávaným výsledkom riadenia a preto pri ľubovoľnej zmene parametrov riadenej sústavy, alebo výskyte nameranej poruchovej veličiny sú výsledky riadenia v otvorenom obvode nepostačujúce.

- **uzatvorený regulačný obvod**



Obr.2 Bloková schéma uzatvoreného regulačného obvodu

Akčný zásah $u(t)$ je odvodený zo žiadanej i regulovanej veličiny. Nepretržite je porovnávaná regulovaná veličina $y(t)$ s očakávaným cieľom riadenia $w(t)$. Pretože akčná veličina je odvodená z regulačnej odchýlky, v ktorej sú zahrnuté všetky vonkajšie vplyvy a poruchové veličiny, regulačný obvod eliminuje súhrn všetkých rušivých účinkov pôsobiacich na riadenú sústavu.

1.1.2 Navrhovanie regulačného obvodu

V skutočnosti nie je možné nastoliť všeobecne platnú metódu navrhovania regulačných obvodov, pretože zložitosť problémov a ich riešenie robí z návrhu záležitosť skúseností, ktorá je daná znalosťami aplikácie teoretických a praktických princípov. Návrh regulačného obvodu predstavuje rad úloh, ktoré sa môžu riešiť viacerými spôsobmi. Záleží na skúsenostiach konštruktéra, ktorú z metód zvolí. Aj keď je návrh otázkou skúseností, dá sa postupovať podľa určitého systému tak, aby jednotlivé etapy návrhu na seba logicky nadväzovali [5],[7].

Podklady potrebné na návrh:

- **Zadanie prevádzkových podmienok**
 - ide o požiadavky všeobecného charakteru ako sú rozmery, výkon, typ výkonných prvkov, pracovné prostredie, režim prevádzky a pod.
- **Zadanie priebehu riadiacej veličiny a poruchových veličín**
 - na základe rozborov fyzikálnych javov, ktoré nastanú počas regulačného procesu, môžeme určiť fyzikálnu podstatu regulovanej veličiny, poruchy a taktiež, podľa akého zákona v čase sa budú meniť. Fyzikálna podstata regulovanej veličiny bude predovšetkým ovplyvňovať voľbu meracieho člena, ktorým sa môže previesť regulovaná veličina na vhodný signál. Časová funkcia, podľa ktorej sa bude meniť regulovaná veličina bude predovšetkým ovplyvňovať požiadavky na kvalitu a presnosť regulačného procesu. Ako vstupné veličiny sú uvažované typizované funkcie, ktorých matematické vyjadrenie nepôsobí komplikácie a podľa odozvy regulačného obvodu na tieto funkcie môžeme systém posudzovať z hľadiska presnosti a kvality regulácie. Medzi typizované funkcie zaradíme jednotkovú skokovú funkciu, jednotkovú impulznú funkciu, alebo harmonický signál.
- **Zadanie ukazovateľov kvality**
 - na základe znalostí priebehu vstupnej funkcie a poruchových veličín môžeme definovať požiadavky na kvalitu a presnosť regulácie, ktoré môžeme popísať určitými ukazovateľmi, vystihujúcimi činnosť regulačného obvodu. Ak posudzujeme presnosť regulačného obvodu v ustálenom stave, to znamená po dození prechodového javu, potom hovoríme o odchýlkach v ustálenom stave. Takže presnosť práce regulačného obvodu je popísaná odchýlkami v ustálenom stave pre zadaný tvar žiadanej veličiny, alebo poruchovej veličiny. Požadovaná

presnosť bude predovšetkým ovplyvňovať voľbu regulátora, ak považujeme regulovanú sústavu za nemennú časť regulačného obvodu.

1.1.3 Kvalita regulačného obvodu

Stabilita je nevyhnutným, nie však postačujúcim kritériom správnej funkcie uzavretého systému riadenia. Dôležité je aj dynamické správanie sa systému pri prechode z jedného rovnovážneho stavu do iného stavu. Vlastnosti systému v prechodovom stave hovoria o kvalite riadenia. Kvalita regulácie sa dá posúdiť pomocou ukazovateľov kvality.

Medzi základné ukazovatele patria: doba regulácie, maximálne preregulovanie, čas maximálneho preregulovania, počet preregulovaní a pomerný koeficient tlmenia. Tieto ukazovatele však plne nevystihujú skutočný priebeh prechodovej charakteristiky. Pre exaktnejšie určenie používame integrálne kritéria kvality [4],[7].

Ukazovatele kvality regulácie

Zisťujeme ich z priebehu prechodovej charakteristiky regulačného obvodu. Výhodou ukazovateľov kvality je ich názornosť. Ak prechodová charakteristika regulačného obvodu je aperiodická je zrejmé, že nemá význam hovoriť o maximálnom preregulovaní, čase maximálneho preregulovania a počte preregulovaní.

- **Čas regulácie t_{reg}** - čas, od ktorého sa riadená veličina dostane natrvalo do δ -okolía žiadanej veličiny. Je definovaný podmienkou:

$$|y(t) - y(\infty)| \leq \delta \quad (1)$$

pre $t > t_{\text{reg}}$

- **Čas maximálneho preregulovania t_{σ}** - čas, v ktorom nastane maximálne preregulovanie.
- **Maximálne preregulovanie σ_{max}** - je definované:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{y_{\text{max}} - y(\infty)}{y(\infty)} 100\% \quad (2)$$

- **Počet preregulovaní** - počet prechodov prechodovej charakteristiky cez hodnotu $y(\infty) + \delta$.

Integrálne kritéria kvality regulácie

Ide o matematické kritériá, ktoré vyjadrujú kvalitu regulácie kvantitatívne. Ak zavedieme kritérium akosti regulácie, je možno úlohu optimálneho zoradenia regulátora previesť na optimalizačnú úlohu, ktorej riešenie v súčasnej dobe s vhodnou softwarovou podporou je možné, ak poznáme matematický model regulovanej sústavy. Kritérium samo o sebe musí nielen kvantitatívne popisovať regulačný pochod, ale musí taktiež obsahovať vhodné parametre, pomocou ktorých je možné ovplyvňovať charakter priebehu.

- **Lineárne integrálne kritérium** – pomocou tohto kritéria môžeme určiť plochu, ktorá vznikne medzi skutočným priebehom a ideálnym priebehom prechodovej charakteristiky. Nevýhodou tohto kritéria je, že nevystihuje dostatočne kvalitu regulácie pre systémy, ktoré majú prechodovú charakteristiku s kmitavým priebehom. Pri výpočte kritéria sa totiž uplatňujú znamienka plôch, takže dostaneme minimálnu plochu ($I_{IE} = 0$, pre regulačný pochod na hranici kmitavej stability).

$$I_{IE} = \int_0^{\infty} e(t) dt \quad (3)$$

- **Absolútne integrálne kritérium** – odstraňuje nevýhodu lineárneho integrálneho kritéria a preto je použiteľné ako pre nekmitavé, tak aj pre kmitavé regulačné pochody. Má však nevyhovujúcu vlastnosť, ktorá spočíva v tom, že v bodoch, v ktorých $e(t)$ mení znamienko nie je definovaná derivácia $e(t)$, a preto hodnotu kritéria nie je možné vypočítať analyticky, len pomocou simulácie.

$$I_{AIE} = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (4)$$

- **Kvadratické integrálne kritérium** – je použiteľné pre kmitavé regulačné pochody a jeho hodnotu je možné určiť analyticky. Najvhodnejšie je v prípade, keď žiadaná veličina $w(t)$, alebo poruchová veličina $v(t)$ majú náhodný charakter.

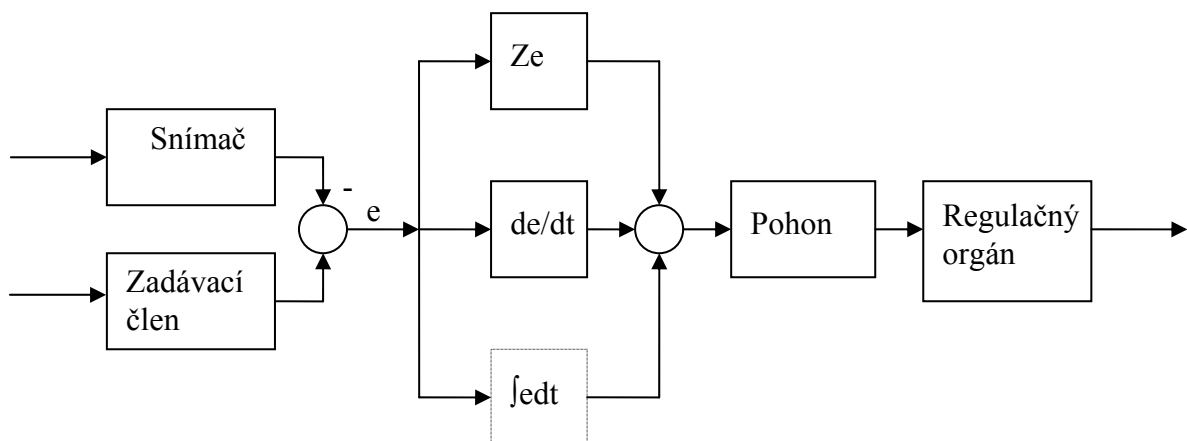
$$I_{ISE} = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \quad (5)$$

1.2 Regulátory

Regulátory sú technické zariadenia, ktoré uskutočňujú automatickú reguláciu regulovaných sústav [1],[4],[8].

Regulátory rozdeľujeme na dve základné skupiny:

- **Priame** – nepotrebujú k svojej činnosti zdroj pomocnej energie. Energiu pre svoju činnosť odoberajú priamo z regulovanej sústavy. Sú jednoducho konštruované, energeticky nezávislé.
- **Nepriame** – potrebujú ku svojej činnosti zdroj pomocnej energie. Sú zložitejšie než priame regulátory. Skladajú sa z troch hlavných častí: meracieho, ústredného a akčného člena.



Obr. 3 Bloková schéma nepriameho regulátora

Merací člen

- **Snímač** – sníma skutočnú hodnotu regulovanej veličiny a transformuje ju na takú fyzikálnu veličinu, ktorá môže byť spracovávaná v ďalších členoch nepriameho regulátora.
- **Zadávací člen** – transformuje žiadanú veličinu vstupujúcu do regulátora prostredníctvom obsluhy, alebo nadradeného systému, na veličinu rovnakého charakteru, ako má veličina zo snímača.

Rozdiel žiadanej veličiny a regulovanej veličiny $\rightarrow$ regulačná odchýlka $e(t)$, je ďalej spracovávaný v ústrednom člene tak, aby boli zabezpečené požiadavky vlastného regulačného pochodu.

Ústredný člen

- Regulačná odchýlka sa tu spravidla zosilní, popřípade ďalej spracováva tak, aby regulátor spĺňal určité funkcie potrebné k zabezpečeniu požadovaných vlastností regulácie. K tomuto účelu sú v ústrednom člene regulátora obvody, ktoré vytvárajú deriváciu, integrál signálov alebo aj niektoré logické operácie.

Akčný člen

- Regulátor pôsobí na proces prostredníctvom regulačného orgánu s pohonom. Pohonom je regulačný orgán prestavovaný.

Rozdelenie nepriamych regulátorov podľa charakteristiky zdroja pomocnej energie:

- Nepriame elektrické regulátory
- Pneumatické
- Hydraulické
- Kombinované

1.2.1 Vlastnosti a klasifikácia regulátorov

V regulačných obvodoch ovplyvňuje charakter a vlastnosti regulačného pochodu štruktúra a parametre ústredného člena regulátora.



Obr. 4 Bloková schéma regulátora

Pri spojitých pracujúcich regulátoroch môže byť vzťah medzi regulačnou odchýlkou $e(t)$ a riadiacou veličinou $u(t)$ daný rovnicou:

$$\dots + T_2 u''(t) + T_1 u'(t) + u(t) = r_0 e(t) + r_{-1} \int_0^t e(\tau) d\tau + r_1 e'(t) \quad (6)$$

Z rovnice (6) dostávame prenos regulátora v tvare:

$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{r_0 + r_1 s + r_{-1} \frac{1}{s}}{\dots + T_2 s^2 + T_1 s + 1} \quad (7)$$

kde r_0 – proporcionálna konštanta,

r_1 – derivačná konštanta,

r_{-1} – integračná konštanta.

Členy v menovateli prenosu spôsobujú zotrvačnosť výstupu oproti vstupu. Z tohto dôvodu nazývame regulátor s polynómom k-teho stupňa v menovateli regulátorom so zotrvačnosťou k-teho rádu.

Časové konštanty na ľavej strane rovnice (6) je často možné zanedbať, pretože sú podstatne menšie ako časové konštanty regulovanej sústavy. V prípade, že časové konštanty $T_1, T_2 \dots$ nie je možné zanedbať, potom polynóm menovateľa prenosu $G_R(s)$ zahrnieme do prenosu regulovanej sústavy a dostávame sa k tzv. zidealizovanému prenosu v tvare:

$$G_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = r_1 s + r_0 + \frac{r_{-1}}{s} \quad (8)$$

Prenos ideálneho regulátora je v tvare:

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

Vzťah medzi konštantami Z_R, T_I, T_D a r_0, r_1, r_{-1} je potom nasledovný:

$$\begin{aligned} Z_R &= r_0 \\ T_I &= \frac{r_0}{r_{-1}} \\ T_D &= \frac{r_1}{r_0} \end{aligned} \quad (10)$$

kde Z_R – proporcionálna konštanta,

T_I – integračná časová konštanta,

T_D – derivačná časová konštanta.

Regulátor, ktorého prenos je uvedený vzťahom (8) prípadne (9) nazývame podľa spôsobu spracovania vstupnej veličiny proporcionálno- integračno- derivačný, skrátene PID regulátor. Je najčastejšie používaným typom regulátorov. Jeho výhodou je jednoduchosť, robustnosť, ako i fakt, že je realizovaný v rozličných analógových prevedeniach (elektricky, pneumaticky) a v súčasnosti najmä digitálne.

V praxi sa stretávame ešte s regulátormi, v ktorých chýba jedna, alebo viacero zložiek. Potom hovoríme o regulátoroch PD, PI alebo P.

Rozdelenie regulátorov:

- **Statické regulátory** - nemajú integračnú zložku činnosti (P a PD). Ich typickou vlastnosťou je, že v ustálenom stave je poloha regulačného orgánu priamo úmerná regulačnej odchýlke. Má to za následok, že statické regulátory nemôžu pri zmene zaťaženia statickej regulovanej sústavy úplne odstrániť regulačnú odchýlku. Zanechávajú tzv. trvalú regulačnú odchýlku.
- **Astatické regulátory** - patria sem všetky regulátory s integračnou činnosťou (I, PI a PID). Regulujú presne, ale sú v podstate nestabilné. Pre žiadanú veľkosť regulovanej veličiny zaujíma astatický regulátor ľubovoľnú polohu, pre každú inú hodnotu vyššiu, alebo nižšiu prechádza do krajnej polohy najvyššej, alebo najnižšej. Ak vznikne regulačná odchýlka, pracuje astatický regulátor tak dlho, kým odchýlku úplne neodstráni. Astatickým sa stáva regulátor vtedy, ak má astatický niektorý člen, ktorý nie je preklenutý pevnou spätnou väzbou. Ak vznikne v regulovanej sústave porucha, zaznamená regulátor regulačnú odchýlku a uvedie do činnosti regulačný orgán, ktorý odchýlku odstráni.

V činnosti regulátorov sa prejavuje vplyv tzv. oneskorovacích členov. Ide napríklad o teplotné a iné čidlá, ktoré majú určitú časovú konstantu, prevodové členy s diaľkovým prenosom, pohony s obmedzenou rýchlosťou pohybu a podobne. Oneskorovacie členy môžu v niektorých prípadoch značne skresliť priebeh prechodových charakteristík.

1.2.2 Opis zložiek PID regulátora

- **Proporcionálny člen (P):**

Generuje akčnú veličinu, ktorá je priamo úmerná regulačnej odchýlke. Jej matematický opis je:

$$u_p(t) = Z_R e(t) \quad (11)$$

kde Z_R je proporcionálne zosilnenie. P- člen je opísaný prenosom

$$G_R(s) = \frac{U_p(s)}{E(s)} = Z_R \quad (12)$$

Z praktického hľadiska môže regulátor pracovať proporcionálne iba v určitom rozsahu vstupných hodnôt, pretože akčná veličina vždy môže byť iba v rozsahu medzi $u_{\min}$ a $u_{\max}$.

Charakteristickým parametrom proporcionálneho člena je **pásma proporcionality P_p** – je to rozsah, v ktorom sa musí zmeniť regulovaná veličina, aby sa u proporcionálneho regulátora prestavil regulačný orgán z jednej krajnej polohy do druhej. Je nepriamo úmerné zosilneniu regulátora a vyjadruje sa v percentách. Čím užšie je pásmo proporcionality (čím väčšie zosilnenie má regulátor), tým presnejšie dodržiava regulátor žiadanú hodnotu regulovanej veličiny, avšak tým horšie sa ušľachťuje. Pri veľmi úzkom pásme proporcionality pracuje regulátor prakticky ako dvojpolohový.

P- člen môže vystupovať aj samostatne ako P – regulátor. Jeho nedostatkom však je, že pri regulácii zanecháva trvalú regulačnú odchýlku. Je to spôsobené jeho vlastnosťou, že dokáže generovať nenulový akčný zásah iba pri nenulovom vstupe.

- **Integračný člen (I):**

Integračný člen, alebo integrátor vykonáva operáciu integrovania vstupnej veličiny. Jeho matematický zápis je:

$$u_i(t) = \frac{1}{T_I} \int e(t) dt \quad (13)$$

kde T_I je integračná časová konštanta a určuje rýchlosť zmeny akčného zásahu v prípade jednotkovej regulačnej odchýlky.

Čím bude veľkosť T_I menšia (zväčšuje sa vplyv I zložky), tým väčšie zmeny riadenia budú generované. Regulátor sa stáva agresívnejší a zväčšujú sa amplitúdy tlmených kmitov.

Prenosová funkcia I- člena je:

$$G_R(s) = \frac{U_I(s)}{E(s)} = \frac{1}{T_I s} \quad (14)$$

Integrátor pracuje ako pamäťový člen, aj pri nulovom vstupnom signále môže generovať výstup rôzny od nuly. Táto vlastnosť zaručuje odstránenie trvalej regulačnej odchýlky pri regulácii, keď regulátor zahrňuje v sebe I- člen.

- **Derivačný člen (D):**

D- člen, alebo derivátor vykonáva operáciu derivovania vstupnej veličiny, zlepšuje stabilitu uzatvoreného regulačného obvodu. Dôvod pre zavedenie derivačnej zložky tkvie v tom, že účinok P, I zložiek na riadený proces nie je okamžitý, ale sa prejaví až po určitom čase.

Jeho matematický opis je:

$$u_D(t) = T_D \frac{de(t)}{dt} \quad (15)$$

kde T_D je derivačná časová konštanta a svojou akciou predpovedá vývoj regulačnej odchýlky.

Pri PD regulátorov je derivačná časová konštabta definovaná ako doba, ktorú by potreboval regulačný orgán pri konštantnej rýchlosti zmeny regulovanej veličiny, aby sa vplyvom proporcionálnej zložky prestavil o dráhu, o ktorú sa prestavil vplyvom derivačnej zložky.

Prenosová funkcia D- člena je:

$$G_R(s) = \frac{U_D(s)}{E(s)} = T_D s \quad (16)$$

Ideálny derivátor nie je fyzikálne realizovateľný. Je citlivý na prítomnosť šumu v riadenej veličine, pretože derivácia nepresného signálu môže viesť k veľkým a častým zmenám amplitúdy riadenia. V praktickej aplikácii sa musí doplniť filtrom 1. rádu. D- člen sa využíva v regulátore v kombinácii s inými prvkami a slúži hlavne na odstránenie náhlych zmien regulovanej veličiny.

1.2.3 Výber regulátora

Ak je daná regulačná úloha a regulovaná sústava, je treba zvoliť vhodný typ regulátora. Regulátor so širokými možnosťami nastavenia jednotlivých parametrov zaručí síce kvalitný priebeh regulačného pochodu, avšak je drahý, zložitý a vyžaduje kvalifikovanú obsluhu. Oproti tomu sa jednoduchý a lacný regulátor ľahko zostaví, ale nesplní zase všetky požiadavky na reguláciu [6].

- P regulátor – je najjednoduchší regulátor, čo sa prejavuje jednak v jednoduchosti konštrukcie, spoľahlivosti prevádzky a v relatívne nízkej cene. Používame ho v prípade, že určitá nenulová regulačná odchýlka v ustálenom stave je akceptovateľná, alebo keď riadený systém obsahuje integrátor. Je vhodný pre statické sústavy 1. rádu s malou časovou konštantou a pri malých zmenách poruchy. Prednosťou P regulátora okrem toho je, že sa pomerne jednoducho nastavuje a nie je príliš citlivý na presnosť nastavenia.
- PI regulátor – používame v prípade, že P regulátor ja nevyhovujúci a riadený systém sa dá opísať jednoduchou dynamikou. Výhodou je odstránenie trvalej regulačnej odchýlky, avšak za cenu väčšieho preregulovania a menej tlmených kmitov. Navyše, zvyšovanie zosilnenia môže viesť k nestabilite. Využitie má pri sústavách s ľubovoľnými časovými konštantami, pri veľkých a pomalých zmenách poruchy.
- PD regulátor – vďaka D zložke nevykazuje veľké preregulovanie a teda sa rýchlo ustáľuje. Avšak keďže neobsahuje I zložku, v obvode ostáva trvalá regulačná odchýlka rovnaká ako u samotného P regulátora. Používame ho najmä pre procesy, ktoré majú integračné správanie, stredné časové konštanty, veľké dopravné oneskorenie a malé zmeny porúch.
- PID regulátor – je robustný, predpovedá správanie sa procesu v budúcnosti a vo všeobecnosti je jeho zosilnenie nižšie ako u zodpovedajúceho PI regulátora. Nevýhodou je citlivosť D zložky na šum merania. Ďalším nedostatkom oproti

ostatným regulátorom je citlivosť na presné nastavovanie. Už pri nevelkých zmenách parametrov sústavy alebo pri prestavení žiadanej hodnoty, keď sústava je nelineárna, nastáva značné zhoršenie kvality regulačného pochodu a preto nastavenie regulátora treba kontrolovať a opravovať. Využitie má pri ľubovoľných časových konštantách, pri veľkých a rýchlych zmenách porúch.

- Problematické procesy z hľadiska nasadenia PID regulátora zahŕňajú systémy s dopravným oneskorením, s časovo premennými parametrami, prípadne procesy vykazujúce vlastné kmity.

1.3 Strejcova metóda identifikácie systémov

Často používaným vstupným signálom pre návrh regulátora, prípadne pre približné určenie dynamických vlastností regulovaného objektu, je skoková zmena jednej zo vstupných veličín pri zachovaní ostatných vstupných veličín konštantných.

Pred uskutočnením skokovej zmeny je nutné, aby bol skúmaný systém v ustálenom stave. Časový priebeh výstupnej veličiny, ktorý je odozvou na skokovú zmenu jednej zo vstupných veličín nazývame reálnou prechodovou charakteristikou.

Keďže skúmaný systém môže vo všeobecnosti byť nelineárny, je potrebné vykonať niekoľko skokových zmien rozličných veľkostí a znamienok [3].

Pre stanovenie výslednej prechodovej charakteristiky sa používa vyhodnocovací vzorec určený z podmienky minima kvadratických chýb v tvare:

$$\hat{y}_i = \frac{\sum_{k=1}^N \Delta u_k y_{ik}}{\sum_{k=1}^N (\Delta u_k)^2} \quad (17)$$

kde i - i -ty bod prechodovej charakteristiky,

k - k -te meranie, $k = 1, \dots, N$,

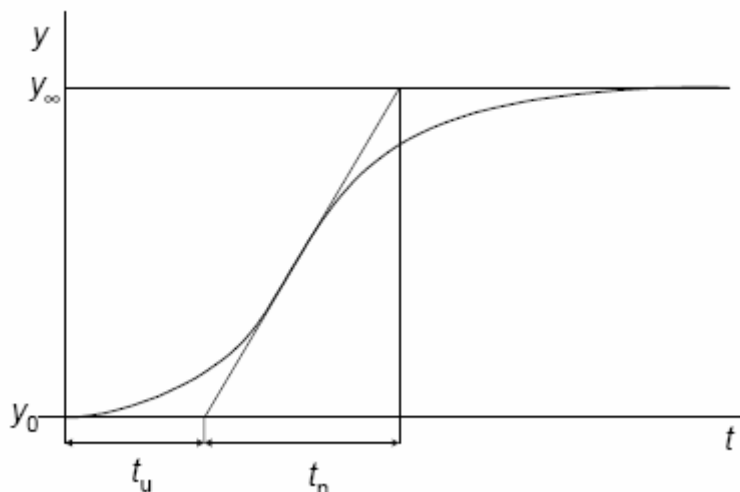
Δu_k - skoková zmena vstupu pri k -tom meraní,

y_{ik} - hodnota výstupu pri k -tom meraní v i -tom intervale,

y_i - výsledná hodnota PCH v čase i .

Na identifikáciu systému vyššieho rádu sa používa **Strejcova metóda**.

Predpokladá sa, že vstupná veličina sa zmenila skokom v čase $t = t_0$, z hodnoty u_{-0} na hodnotu u_{nek} . Na prechodovej charakteristike sa určí inflexný bod a ku krivke sa priloží dotyčnica (najjednoduchšie sa určí ako priamka minimálneho sklonu, ktorá ešte nepretína prechod. charakteristiku v troch bodoch). Dotyčnica na rovnobežkách s časovou osou prechádzajúcimi hodnotami y_0 a y_∞ vymedzí dva časové údaje: časť prietahu T_U a čas nábehu T_N .



Obr. 5 Všeobecná prechodová charakteristika

Dynamické vlastnosti identifikovaného systému sa aproximujú pomocou náhradného prenosu v tvare:

$$G(s) = \frac{K}{(Ts + 1)^n} e^{-Ds} \quad (18)$$

kde K – zosilnenie,
 T – časová konštanta,
 D – dopravné oneskorenie systému,
 n – rád systému.

Postup pri identifikácii systému:

1. Z nameranej prechodovej charakteristiky určiť hodnoty T_U , T_N a hodnotu zosilnenia systému daného vzťahom:

$$K = \frac{y_{nek} - y_0}{u_{nek} - u_0} \quad (19)$$

2. Určiť podiel :

$$f_s = \frac{Tu}{Tn} \quad (20)$$

3. Podľa tabuľky (1) vybrať rád systému n tak, aby platilo:

$$f(n) \leq f_s \leq f(n+1) \quad (21)$$

V prípade, že vypočítaná hodnota f_s je väčšia ako maximálna možná uvedená v tabuľke, T_U sa zmenší na prijateľnú mieru (výsledná hodnota T_U musí byť taká, aby sa hodnota podielu T_U/T_N rovnala tabuľkovému) o hodnotu, ktorá sa potom v ďalšom kroku pripočíta k vypočítanej hodnote dopravného oneskorenia.

Tab. 1. Tabuľka pre Strejcovu metódu identifikácie

n	1	2	3	4	5	6
$f(n) = \frac{Tu}{Tn}$	0,000	0,104	0,218	0,319	0,410	0,493
$g(n) = \frac{T}{Tn}$	1,000	0,368	0,271	0,224	0,195	0,161

4. Určiť dopravné oneskorenie D ako rozdiel medzi skutočným a fiktívnym časom nábehu T_U :

$$D = [f_s - f(n)]Tn \quad (22)$$

5. Určiť časovú konštantu T pomocou hodnôt z riadku funkcie $g(n)$ pre príslušné n. Odčíta sa $g(n)$ a T sa určí ako:

$$T = g(n)Tn \quad (23)$$

1.4 Syntéza obvodov automatického riadenia

Pod syntézou obecne rozumieme nájdenie takej štruktúry systému, ktorá by realizovala predpísané chovanie a obsahovala iba prípustné typy prvkov.

Syntéza nie je úloha jednoznačná, pretože predpísané chovanie môže byť realizované rôznymi štruktúrami. Preto sa často zadávajú ďalšie požiadavky, týkajúce sa spoľahlivosti, nákladov a prevádzkových podmienok.

V automatickom riadení je požadované chovanie zadané kvalitou regulačného pochodu. Pretože zo zadanej kvality vieme určiť výsledný prenos otvoreného, alebo uzatvoreného obvodu, je syntéza obvykle stanovením štruktúry a parametrov regulátora.

Štruktúra regulátora je však obecne rovnaká, vopred známa. V nej je akčný člen určený požadovaným výkonom a fyzikálnou realizáciou regulačného orgánu a merací člen najčastejšie fyzikálnou podstatou regulovanej a riadiacej veličiny. Fázy návrhu, zahrňujúce výkonové, fyzikálne a prevádzkové podmienky, nie sú zatiaľ formalizované a záležia na skúsenostiach a konštruktérskom cite riešiteľa. Jediné čo ostáva určiť pomocou syntézy je štruktúra a parametre ústredného člena v regulátore. A práve na exaktný návrh štruktúry a parametrov ústredného člena sú vypracované metódy syntézy [2],[4],[7].

1.4.1 Metódy syntézy riadiaceho systému

Metódy syntézy, ktorých je vypracovaný veľký počet, možno rozdeliť na dve veľké skupiny podľa požadovanej kvality regulačného pochodu:

1. Kvalita je zadaná funkciónalom, riešenie ktorého jednoznačne určí priebeh akčnej veličiny – na riešenie sa využíva variačný počet. Vypočítaný priebeh akčnej veličiny sa nazýva optimálne riadenie, avšak o štruktúre a parametroch regulátora výpočtom nezískame žiadne informácie. Metódy optimálneho riadenia vyžadujú zložitý matematický aparát.
2. Požadovaná kvalita neurčuje jednoznačne priebeh akčnej veličiny – využívajú sa kritériá kvality a metódy odvodené na ich základe sa považujú za klasické. Môžeme ich rozdeliť:
 - Syntézou možno určiť štruktúru aj parametre regulátora – frekvenčné metódy. Z frekvenčných metód je najznámejšia metóda, využívajúca typizovaný priebeh amplitúdovej logaritmickej frekvenčnej

charakteristiky. Pre presnejšiu aplikáciu tejto metódy najmä pre presný návrh spätnoväzbových korekčných členov k polohovým servomechanizmom je potrebné použiť Solodovnikove grafy a Nicholsov diagram [8].

- Štruktúra regulátora je daná, syntézou sa určia parametre regulátora
 - Model riadenej sústavy nie je známy, prípadne je známa len jeho približná náhrada – experimentálne metódy
 - Je známy model riadenej sústavy – časové metódy

1.4.2 Experimentálne metódy syntézy regulátora

Experimentálne metódy sú jedny z prvých, ktoré sa pre určenie konštánt regulátora začali používať. Sú to približné metódy, ale jednoduché.

Nevýhody ich používania:

- Voľba vhodného kritéria kvality je zložitá a dosť subjektívna. Parametre nastavené ako optimálne pre zmenu riadiacej veličiny, nemusia byť optimálne pre regulačný pochod pri zmene poruchy.
- Presnosť komerčne vybraných regulátorov nie je veľká. Ak sa zmenia parametre regulátora v rozsahu $\pm 10\%$, nemá to veľký vplyv na kvalitu regulačného pochodu.

Zieglerova – Nicholsova metóda [2]

Ide o empirickú metódu, ktorá bola neskôr potvrdená aj teoreticky. Dáva menšie tlmenie prechodového procesu a bola vypracovaná na pomerne jednoduchých regulovaných sústavách.

Metóda je založená na vyhodnotení prechodovej charakteristiky regulovaného systému v okolí pracovného bodu. Na základe doby prietahu T_U , doby nábehu T_N a statického zosilnenia K sa môžu potom nastaviť parametre regulátora.

Parametre PID regulátora sa určujú v tvare

$$G_R(s) = Z_R \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (24)$$

pomocou tabuľky 2. Vyberie sa vhodný typ regulátora a z príslušného riadku sa vypočítajú jeho parametre. Hodnoty K , T_U a T_N použité pri výpočtoch parametrov regulátora sú definované v kapitole „Strejcova metóda identifikácie systémov“.

Tab. 2. Nastavenie regulátora podľa Zieglera – Nicholosa

Regulátor	Z_R	T_I	T_D
P	$\frac{1}{K} \frac{T_N}{T_U}$		
PI	$\frac{0,9}{K} \frac{T_N}{T_U}$	$3,33 T_U$	
PID	$\frac{1,2}{K} \frac{T_N}{T_U}$	$2 T_U$	$0,5 T_U$

Strejcova metóda [2]

Parametre PID regulátora sa určujú v tvare

$$G_R(s) = Z_R \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (25)$$

pomocou tabuľky 3. Vyberie sa vhodný typ regulátora a z príslušného riadku sa vypočítajú jeho parametre. Ak sa volí typ PID regulátora, potom musí byť identifikovaný prenos minimálne tretieho rádu, pre P a PI regulátor je potrebné mať minimálne prenos druhého rádu. Hodnoty K , n a T použité pri výpočtoch parametrov regulátora sú definované v kapitole „Strejcova metóda identifikácie systémov“.

Tab. 3. Nastavenie regulátora podľa Strejca

Regulátor	Z_R	T_I	T_D
P	$\frac{1}{K} \frac{1}{n-1}$		
PI	$\frac{1}{K} \frac{n+2}{4(n-1)}$	$T \frac{n+2}{3}$	
PID	$\frac{1}{K} \frac{7n+16}{16(n-2)}$	$T \frac{7n+16}{15}$	$T \frac{(n+1)(n+3)}{7n+16}$

Cohenova – Coonova metóda [7]

Parametre PID regulátora sa určujú v tvare

$$G_R(s) = Z_R \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (26)$$

pomocou tabuľky 4. Vyberie sa vhodný typ regulátora a z príslušného riadku sa vypočítajú jeho parametre. Hodnoty K , T_U a T_N použité pri výpočtoch parametrov regulátora sú definované v kapitole „Strejcova metóda identifikácie systémov“.

Tab. 4. Nastavenie regulátora podľa Cohena – Coona

Regulátor	Z_R	T_I	T_D
P	$\frac{1}{K} \frac{T_n}{T_u} \left[1 + \frac{1}{3} \frac{T_u}{T_n} \right]$		
PI	$\frac{1}{K} \frac{T_n}{T_u} \left[0,9 + \frac{1}{12} \frac{T_u}{T_n} \right]$	$T_u \left[\frac{30 + 3 \frac{T_u}{T_n}}{9 + 20 \frac{T_u}{T_n}} \right]$	
PID	$\frac{1}{K} \frac{T_n}{T_u} \left[\frac{4}{3} + \frac{1}{4} \frac{T_u}{T_n} \right]$	$T_u \left[\frac{32 + 6 \frac{T_u}{T_n}}{13 + 8 \frac{T_u}{T_n}} \right]$	$T_u \left[\frac{4}{11 + 2 \frac{T_u}{T_n}} \right]$

Metóda priamej syntézy s použitím aproximovaného modelu URO [8]

Identifikáciou systému ako 1. rádu s dopravným oneskorením s prenosom v tvare:

$$G_s(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-Ds} \quad (27)$$

sú určené konštanty: zosilnenie K , dopravné oneskorenie $D = T_U$, časová konštanta $T = T_N$ (T_U a T_N sú určené z identifikácie prechodovej charakteristiky vyššieho rádu podľa Strejca). Zvolí sa časová konštanta uzavretého regulačného obvodu (URO) T_{URO} menšia ako časová konštanta regulovaného systému. O uzavretom regulačnom obvode sa predpokladá, že sa chová ako systém 1. rádu s dopravným oneskorením v tvare:

$$\frac{Z_{URO}}{T_{URO}s + 1} e^{-D_{URO}s} \quad (28)$$

pre časovú konštantu uzavretého regulačného obvodu platí:

$$T_{URO} < T \quad (29)$$

Tab. 5. Nastavenie regulátora metódou priamej syntézy s použitím aproximovaného modelu URO

Regulátor	Z_R	T_I	T_D
PI	$\frac{T}{K(T_{URO} + D)}$	T	
PID	$\frac{2T + D}{2K(T_{URO} + D)}$	$T + \frac{D}{2}$	$\frac{D}{2} \frac{T_{URO}}{(T_{URO} + D)}$

Riverova – Morariho metóda [6]

Identifikáciou systému ako 1. rádu s dopravným oneskorením s prenosom v tvare:

$$G_s(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-Ds} \quad (30)$$

sú určené konštanty: zosilnenie K , dopravné oneskorenie $D = T_U$, časová konštanta $T = T_N$ (T_U a T_N sú určené z identifikácie systému podľa Strejca). Zvolí sa časová konštanta U_{RO} T_{URO} menšia ako časová konštanta regulovaného systému. O U_{RO} sa predpokladá, že sa chová ako systém 1. rádu s dopravným oneskorením v tvare:

$$\frac{Z_{URO}}{T_{URO}s + 1} e^{-D_{URO}s} \quad (31)$$

Tab. 6. Nastavenie regulátora Riverovou – Morariho metódou

Regulátor	Z_R	T_I	T_D	Doporučená voľba T_{URO} : $T_{URO} 0,2T$ zároveň
PI	$\frac{2T + D}{2KT_{URO}}$	$T + \frac{D}{2}$		$\frac{T_{URO}}{D} > 1,7$
PID	$\frac{2T + D}{2K(T_{URO} + D)}$	$T + \frac{D}{2}$	$\frac{TD}{2T + D}$	$\frac{T_{URO}}{D} > 0,25$

Haalmanova metóda [8]

Identifikáciou systému ako 1. rádu s dopravným oneskorením s prenosom v tvare:

$$G_s(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-Ds} \quad (32)$$

sú určené konštanty: zosilnenie K , dopravné oneskorenie $D = T_U$, časová konštanta $T = T_N$ (T_U a T_N sú určené z identifikácie systému podľa Strejca).

Tab. 7. Nastavenie regulátora Haalmanovou metódou

Regulátor	Z_R	T_I
PI	$\frac{2T}{3D}$	T

Chienova – Hronesova – Reswickova metóda [8]

Identifikáciou systému ako 1. rádu s dopravným oneskorením s prenosom v tvare:

$$G_s(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-Ds} \quad (33)$$

sú určené konštanty: zosilnenie K , dopravné oneskorenie $D = T_U$, časová konštanta $T = T_N$ (T_U a T_N sú určené z identifikácie systému podľa Strejca). Vychádza z Zieglerovej – Nicholsovej metódy.

Tab. 8. Nastavenie regulátora Chienovou – Hronesovou – Reswickovou metódou

Preregulovanie	0%			20%		
Regulátor	Z_R	T_I	T_D	Z_R	T_I	T_D
P	$0,3 \frac{T}{ZD}$			$0,7 \frac{T}{ZD}$		
PI	$0,3 \frac{T}{ZD}$	$1,2T$		$0,6 \frac{T}{ZD}$	T	
PID	$0,6 \frac{T}{ZD}$	T	$0,5D$	$0,95 \frac{T}{ZD}$	$1,4T$	$0,47D$

Smithova – Murrillova metóda[5]

Identifikáciou systému ako 1. rádu s dopravným oneskorením s prenosom v tvare:

$$G_s(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-Ds} \quad (34)$$

sú určené konštanty: zosilnenie K , dopravné oneskorenie $D = T_U$, časová konštanta $T = T_N$ (T_U a T_N sú určené z identifikácie systému podľa Strejca).

Podmienka pri návrhu je v tvare:

$$0,1 < \frac{D}{T} < 1 \quad (35)$$

Tab. 9. Nastavenie regulátora Smithovou – Murrillovou metódou

Regulátor	Z_R	T_I	T_D
PI	$\frac{0,586}{K} \left(\frac{T}{D} \right)^{0,916}$	$\frac{T}{\left[1,03 - 0,165 \frac{D}{T} \right]}$	
PID	$\frac{0,965}{K} \left(\frac{T}{D} \right)^{0,855}$	$\frac{T}{\left[0,796 - 0,147 \frac{D}{T} \right]}$	$0,308T \left(\frac{D}{T} \right)^{0,929}$

1.4.3 Analytické metódy syntézy regulátora

Naslinova metóda[2]

Regulátor sa navrhuje na základe požiadavky maximálneho preregulovania. Charakteristická rovnica uzatvoreného regulačného obvodu je v tvare:

$$1 + G_R(s)G_S(s) = 0 \quad (36)$$

a po úprave:

$$a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0 = 0 \quad (37)$$

alebo

$$s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0 = 0 \quad (38)$$

kde v koeficientoch $a_n, \dots, a_1, a_0$ môžu vystupovať neznáme parametre regulátorov typu PID.

Medzi koeficientami charakteristickej rovnice (37) alebo (38) platí vzťah:

$$a_i^2 = \alpha a_{i+1} a_{i-1} \quad (39)$$

Pričom medzi parametrom α v rovnici (39) a maximálnym preregulovaním $\sigma_{\max}$ je vzťah daný tabuľkou 10.

Tab. 10. Vzťah medzi max. preregulovaním $\sigma_{\max}$ a parametrom α

$\sigma_{\max} \%$	20	12	8	5	3	1
α	1,7	1,8	1,9	2	2,2	2,4

Pre CHR n-tého stupňa, ktorá má $n + 1$ koeficientov, dostaneme podľa (39) systém $n - 1$ rovníc, lebo rovnice sa nedajú vytvoriť pre $i = n$ a $i = 0$. Aby systém rovníc mal jediné riešenie, štruktúru regulátora (P, PI, PD, PID) volíme tak, aby sme dostali toľko rovníc, koľko v nich bude vystupovať neznámych parametrov regulátora.

Treba si pritom uvedomiť, že ak použijeme regulátor bez I zložky, stupeň CHR URO je rovnaký ako stupeň CHR riadeného procesu (rád riadeného procesu) a ak použijeme regulátor s I zložkou, stupeň CHR URO je o jednotku vyšší než stupeň CHR riadeného procesu (rád riadeného procesu).

Metóda umiestnenia pólov [2]

Hlavnou myšlienkou metódy umiestnenia pólov je vnútiť CHR URO určité póly, čím sa vlastne predurčí dynamické správanie sa URO, ktoré závisí od pólov. Voľbou pólov predpisujeme napr. stabilitu, aperiodický alebo periodický priebeh riadeného výstupu. Nevýhodou je, že sa nešpecifikuje čitateľ prenosu URO a dynamické vlastnosti URO môžu zhoršiť niektoré neznáme nuly URO.

Použitie metódy umiestnenia pólov je jednoduché v prípade požiadavky na stabilný aperiodický priebeh výstupnej veličiny URO (riadenej veličiny). Vtedy musia byť póly CHR URO záporné reálne čísla, ktoré môžeme vhodne zvoliť (umiestniť). Platí pri tom, že ak umiestnime pól (póly) CHR URO viac doľava od imaginárnej osi ako sú póly riadeného procesu, URO bude rýchlejší, než riadený proces.

Vplyv niektorého pólu CHR URO na dynamiku URO sa dá potlačiť tak, že ho umiestnime vľavo od imaginárnej osi v čo najväčšej vzdialenosti od ostatných pólov.

Vo všeobecnosti pre CHR URO n-tého stupňa, volíme n pólov. Pre zvolený n – násobný pól s_1 bude mať CHR URO tvar:

$$(s - s_1)^n = s^n + \tilde{a}_{n-1}s^{n-1} + \dots + \tilde{a}_1s + \tilde{a}_0 \quad (40)$$

Keďže charakteristická rovnica URO je opísaná rovnicou (38), ale zároveň platí aj rovnica (40), môžeme napísať:

$$s^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_1s + a_0 = s^n + \tilde{a}_{n-1}s^{n-1} + \dots + \tilde{a}_1s + \tilde{a}_0 \quad (41)$$

Porovnávaním koeficientov na ľavej a pravej strane rovnice (41) dostaneme systém n rovníc:

$$\begin{aligned} a_{n-1} &= \tilde{a}_{n-1} \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ a_0 &= \tilde{a}_0 \end{aligned} \quad (42)$$

z ktorého vypočítame neznáme parametre regulátora, ktoré vystupujú ako neznáme v koeficientoch $a_{n-1}, \dots, a_0$.

Systém rovníc (42) predstavuje pre CHR URO n-tého stupňa n rovníc. Aby tento systém rovníc mal jediné riešenie, štruktúru regulátora a póly volíme tak, aby pre vybraný typ regulátora počet rovníc (42) bol rovnaký ako počet neznámych v nich, čiže aby sme dostali systém n rovníc o n neznámych.

Metóda násobného dominantného pólu [4]

Ide o jednoduchú analytickú metódu umožňujúcu určiť parametre regulátorov s integračnou zložkou (PI, PID), ak systém identifikujeme ako systém n-tého rádu bez dopravného oneskorenia v tvare:

$$G_s(s) = \frac{K}{(Ts + 1)^n} \quad (43)$$

Zvolený regulátor sa nastaví tak, aby bol zaistený jeden dominantný reálny pól (samozrejme stabilný) s maximálnou možnou násobnosťou. O zostávajúcich póloch a prípadne nulách sa predpokladá, že sú nedominantné a že ich vplyv na výslednú dynamiku regulačného obvodu môžeme zanedbať.

Z prenosu otvoreného regulačného obvodu:

$$G_0(s) = \frac{M_0(s)}{N_0(s)} \quad (54)$$

sa získa charakteristický mnohočlen:

$$N(s) = N_0(s) + M_0(s) \quad (65)$$

Pre zvolený regulátor s p nastaviteľnými parametrami riešením sústavy p + 1 rovníc:

$$\frac{d^n N(s)}{ds^n} = 0 \quad (76)$$

pre $n=0,1,\dots,p$ sa získa (p+1)-násobný dominantný pól a hodnoty p nastaviteľných parametrov regulátora.

Hodnoty K, n a T použité pri výpočtoch parametrov regulátora sú definované v kapitole „Strejcova metóda identifikácie systémov“.

Tab. 11. Nastavenie parametrov regulátorov podľa metódy násobného dominantného pólu

Regulátor	Z_R	T_I	T_D	Poznámka
PI	$\frac{1}{K} \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^{n-1}$	$\frac{T(n+1)^2}{4n}$		$n \geq 2$
PID	$\frac{5n-4}{K(n+1)} \left(\frac{n-2}{n+1} \right)^{n-2}$	$\frac{5T(5n-4)(n+1)^2}{27n(n-1)}$	$\frac{T(n+1)n}{2(5n-4)}$	$n \geq 3$

1.5 Grafické užívateľské rozhranie (GUI)

Matlab poskytuje vizualizáciu dát a tým umožňuje vytvoriť prostredie, ktoré sa vyznačuje jednoduchosťou a jednoznačnosťou obsluhy. Prostredie sa vytvára pomocou príkazov zadávaných v príkazovom okne.

Typy príkazov:

- FIGURE – príkaz na vytvorenie celkovej podoby okna s použitím nižšie uvedených príkazov
- CLEAR – vymazanie premennej a funkcie z pamäti
- UICONTROL – vytvorí prepojenie medzi užívateľom a ovládaním aktuálnej podoby okna.

- STYLE – zápis na určenie charakteristiky tlačidla
 Například: 'Style','popup' – rolovacie tlačidlo
 'Style','push' – tlačidlo
 'Style','text' – ikona, v ktorej sa nachádza len text
 'Style','edit' – ikona na zápis údajov
- FOREGROUNDCOLOR – farba popredia
- BACKGROUNDCOLOR – farba pozadia
- POSITION – určuje polohu tlačidla, ikony alebo celého okna
- STRING – pomocou tohto príkazu zadávame text do textovej ikony
- CALLBACK – návrat do predošlého kroku
- STR2NUM – konverzia reťazca na číslo
- NUM2STR – konverzia čísla na reťazec

2. Experimentálna časť

Pre jednoduchosť syntézy regulátora som vytvorila grafické užívateľské rozhranie prostredníctvom programovacieho jazyka MATLAB. Vizualne prostredie dovoľuje užívateľovi navrhnuť parametre regulátora a simulačne daný návrh otestovať.

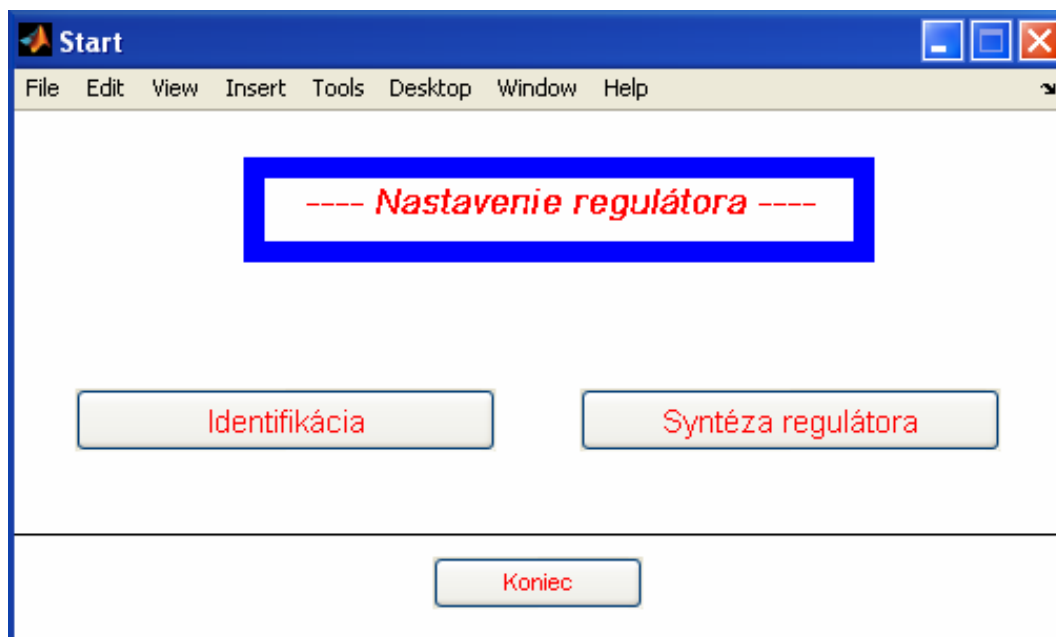
Programový systém umožňuje navrhnuť regulátor z nameraných dát tak, že najprv zadaný systém zidentifikujeme, alebo využíva len zadanie parametrov už zidentifikovaného systému.

Pre ukážku budú obidva spôsoby opísané na príklade návrhu regulátora neznámeho systému. Programy pomocou ktorých boli vytvorené všetky okná programového systému pre syntézu regulátora sú vypísané v prílohe. Programový systém je možné použiť v MATLABe, verzia 7.

2.1 Použitie programového systému pre návrh regulátora s využitím prechodovej charakteristiky

Pre návrh regulátora je nevyhnutné aby boli k dispozícii dáta neznámeho systému v súbore s názvom **data.txt**. V prvom stĺpci textového súboru sa majú nachádzať hodnoty času a v druhom stĺpci hodnoty výstupnej veličiny systému.

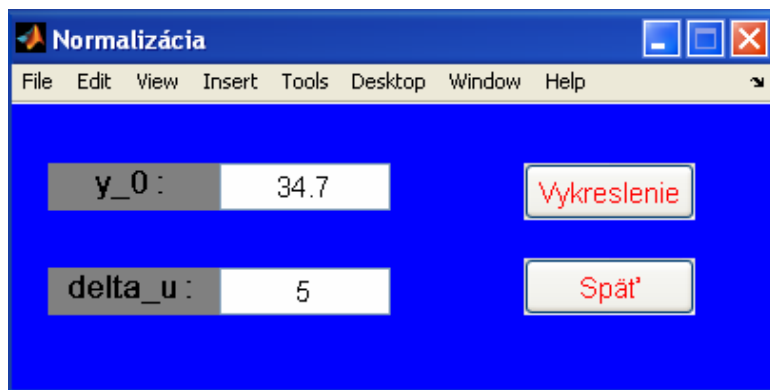
V príkazovom okne Matlabu sa zadá príkaz **start** a stlačením klávesnice ENTER sa otvorí okno s názvom „Štart“.



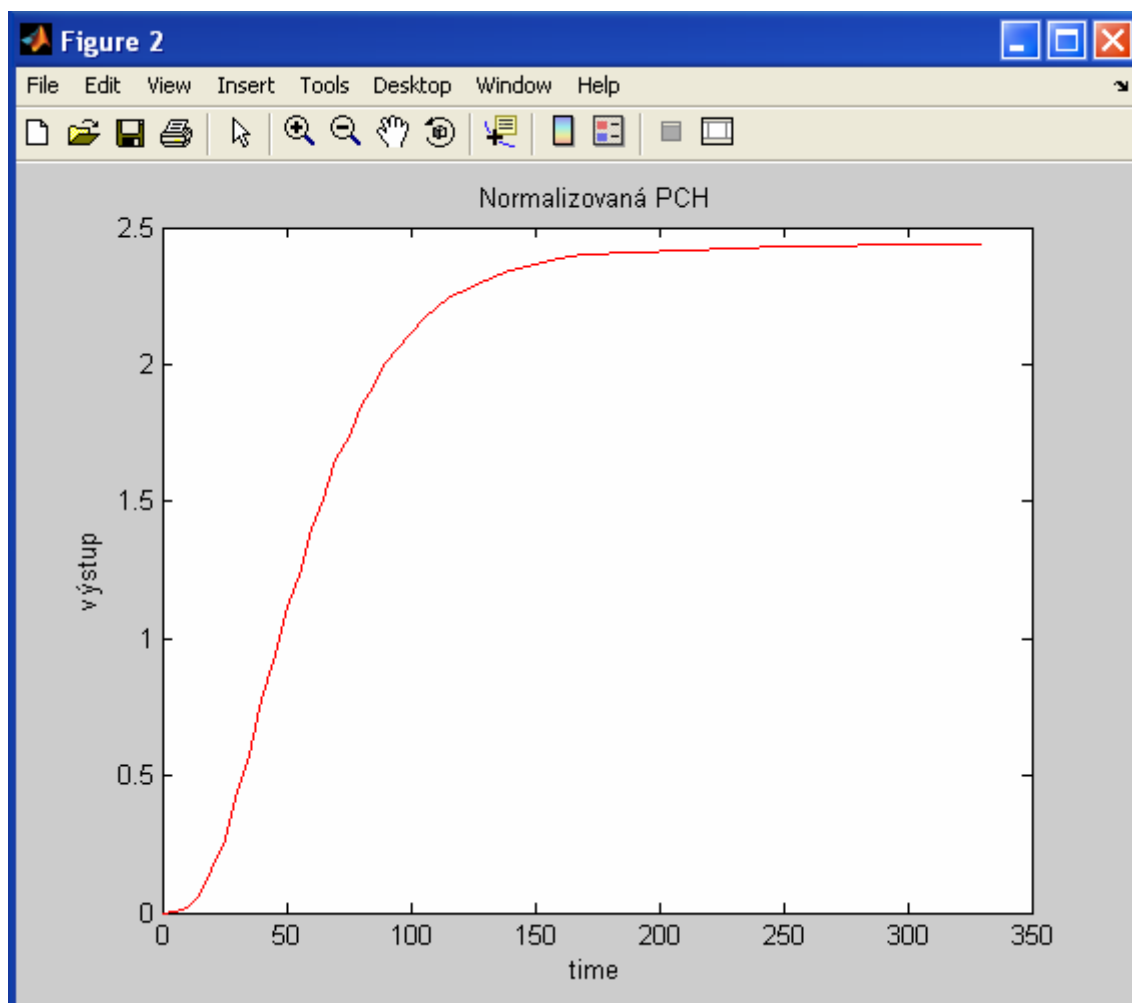
Ak chcete identifikovať systém z prechodovej charakteristiky z hlavného okna sa kliknutím vyberie tlačidlo „Identifikácia“. Otvorí sa okno s názvom „Identifikácia“, kde okrem samotnej identifikácie parametrov sa vstupné dáta normalizujú a filtrujú.



Prvým krokom v identifikácii je normalizácia dát, ktorá sa uskutoční kliknutím na tlačidlo „Normalizácia“. Objaví sa okno „Normalizácia“, kde sa vyplnia požadované údaje ako je hodnota výstupnej veličiny v čase 0 a veľkosť skokovej zmeny vstupnej veličiny.



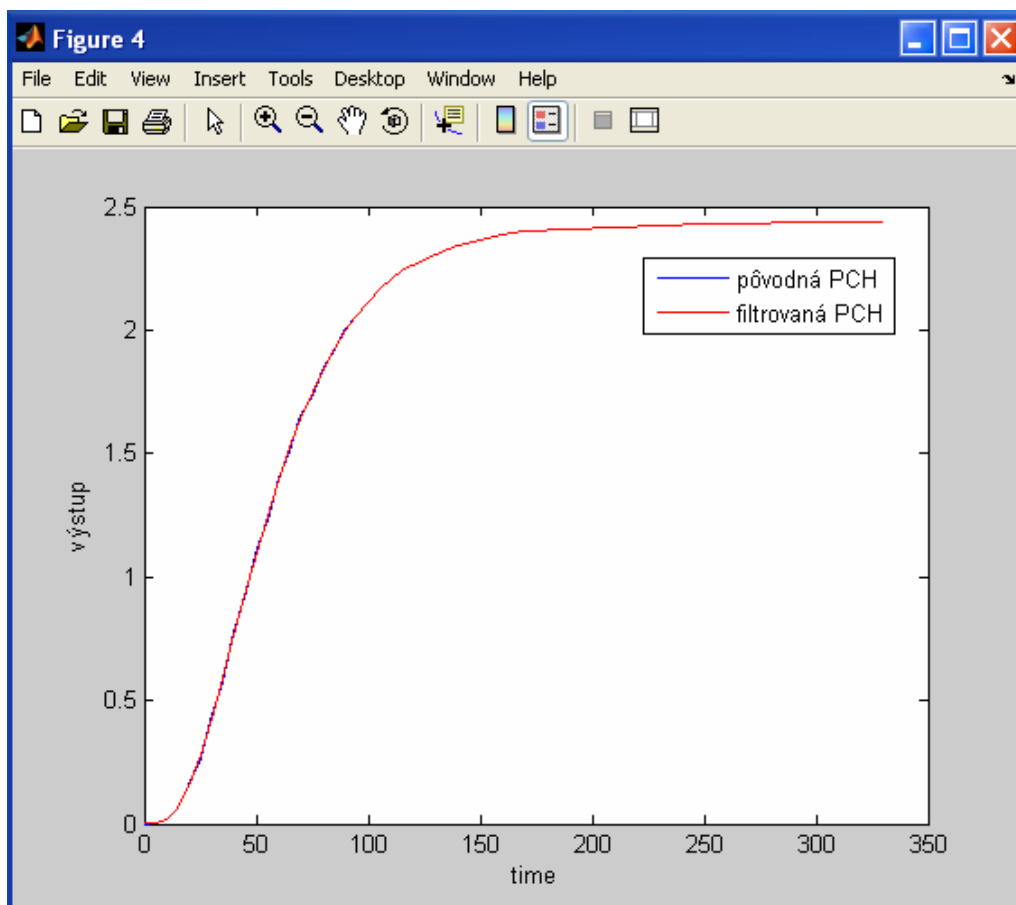
Po vyplnení a kliknutí na tlačidlo „Vykreslenie“ sa objaví obrázok so znázornenou normalizovanou prechodovou charakteristikou.



Po kliknutí na tlačidlo „Spät“ v okne „Normalizácia“ sa objaví opäť okno „Identifikácia“ a pokračuje sa druhým krokom identifikácie kliknutím na tlačidlo „Filtrácia“. Vyplnia sa požadované údaje ako je hodnota rádu filtrácie a hodnota Ω .



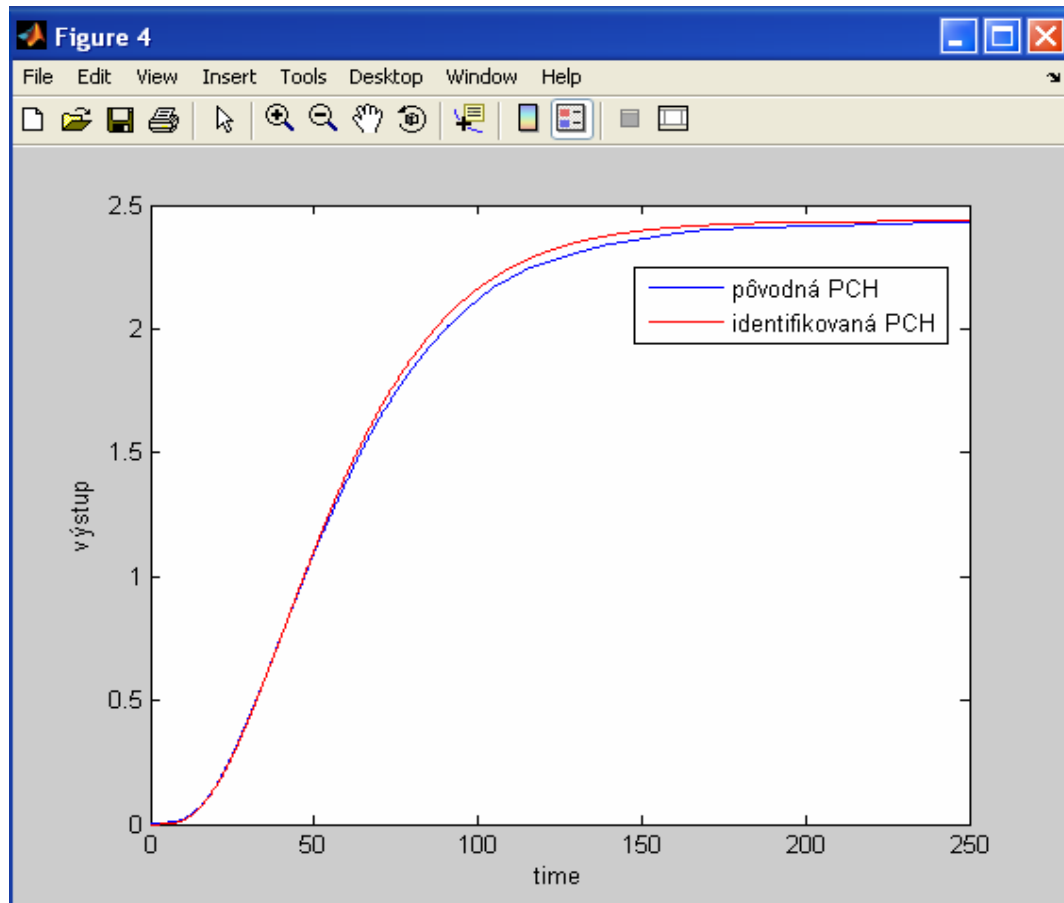
Po vyplnení a kliknutí na tlačidlo „Vykreslenie“ sa objaví obrázok s porovnaním pôvodnej a filtrovanej prechodovej charakteristiky. Ak porovnanie nevyhovuje, v okne „Definícia parametrov“ sa klikne na tlačidlo „Nová filtrácia“ a parametre sa môžu nastaviť nanovo.



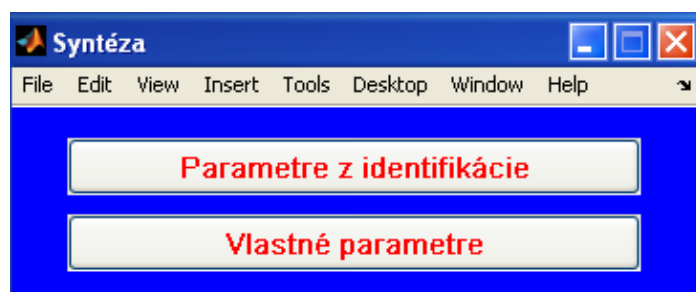
Po kliknutí na tlačidlo „Spät“ v okne „Filtrácia“ sa objaví okno „Identifikácia“ a pokračuje sa tretím krokom identifikácie kliknutím na tlačidlo „Identifikované parametre“. Objaví sa okno s vypočítanými parametrami rádu, časom nábehu, časom prietahu, zosilnenia, dopravným oneskorením a časovou konštantou.

Parameter	Value
n	3
T_u	18.2392
T_n	69.5188
K	2.436
D	3.0842
T	18.8396

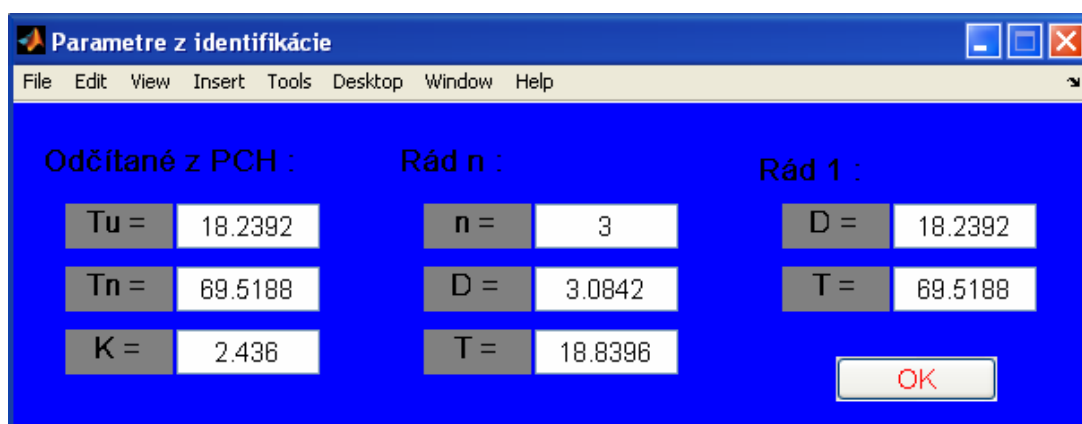
Tým pádom je systém identifikovaný a overenie identifikácie sa môže uskutočniť pomocou tlačidla „Test“ v okne „Identifikované parametre“.



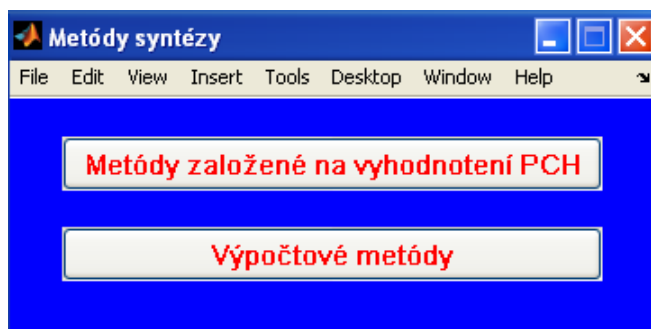
Po zidentifikovaní a simulačnom overení kliknutím na tlačidlo „Ďalej“ v okne „Identifikované parametre“ sa prejde do počiatočného okna programu „Štart“. Pre uskutočnenie návrhu regulátorov sa klikne na tlačidlo „Syntéza regulátora“ a objaví sa okno „Syntéza“.



V okne „Syntéza“ sa klikne na tlačidlo „Parametre z identifikácie“ a otvorí sa okno „Parametre z identifikácie“, ktoré zobrazuje parametre identifikované pomocou prechodovej charakteristiky.



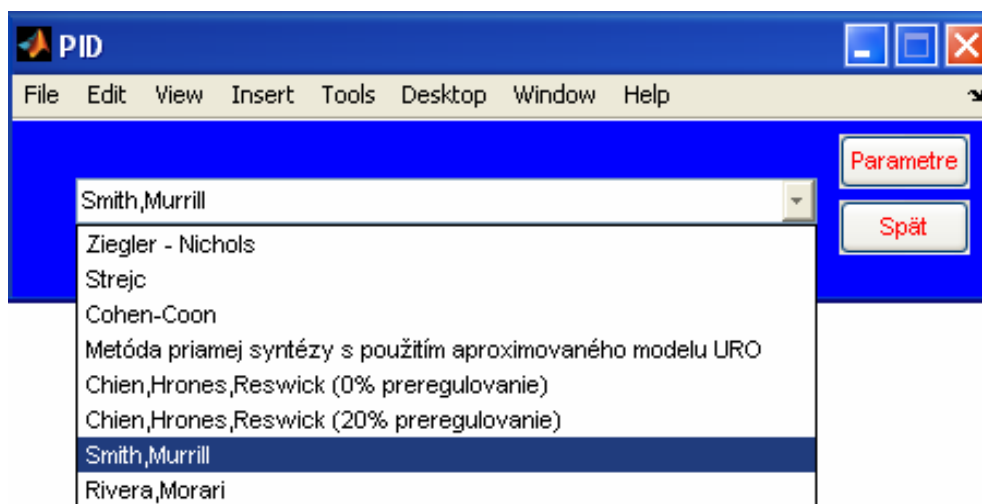
Po kliknutí na tlačidlo „OK“ sa otvorí okno „Metódy syntézy“, ktoré ponúka na výber syntézu regulátora experimentálnymi alebo analytickými metódami. Vyberie sa napr. experimentálna metóda kliknutím na tlačidlo „Metódy založené na vyhodnotení PCH“.



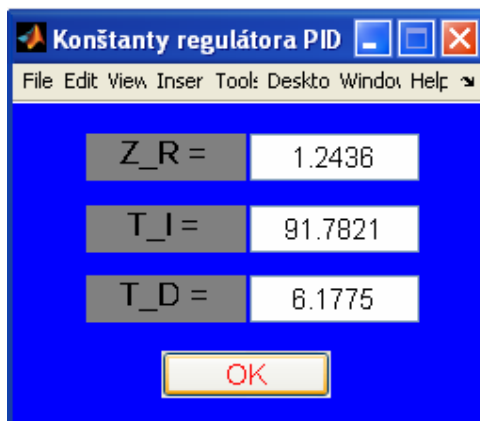
Po odkliknutí sa otvorí okno „Výber regulátora“. Jedná sa o výber syntézy regulátorov P, PI alebo PID.



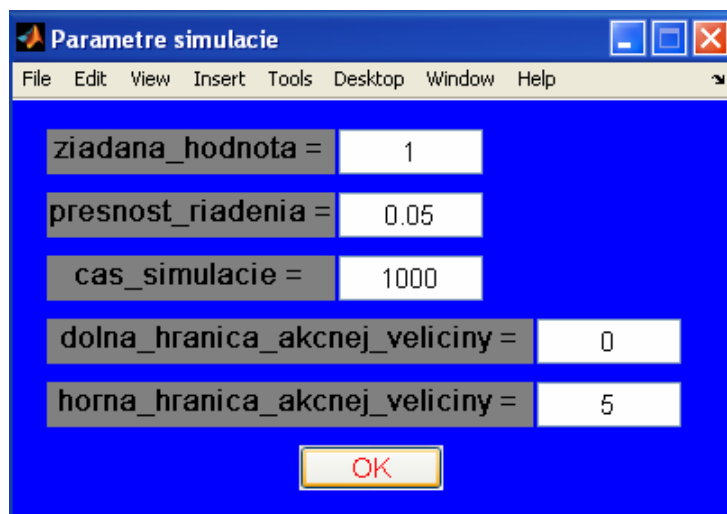
Kliknutím sa vyberie napríklad regulátor PID. Otvorí sa okno „PID“, kde sa pomocou rolovacieho okna zobrazia všetky experimentálne metódy. Vyberie sa metóda syntézy regulátora, napr. Smithova – Murrillova metóda.



Po výbere metódy a jej následným označením, kliknutím na tlačidlo „Parametre“ sa otvorí okno s vypočítanými parametrami navrhnutého regulátora.



Potvrdením tlačidla „OK“ v okne „Konštanty regulátora PI“ sa prejde do okna „Parametre simulácie“. Tu sa zadávajú potrebné hodnoty pre simuláciu, v ktorej sa overí či regulátor spĺňa požiadavky na reguláciu.



Parametre simulacie

File Edit View Insert Tools Desktop Window Help

ziadana_hodnota = 1

presnost_riadenia = 0.05

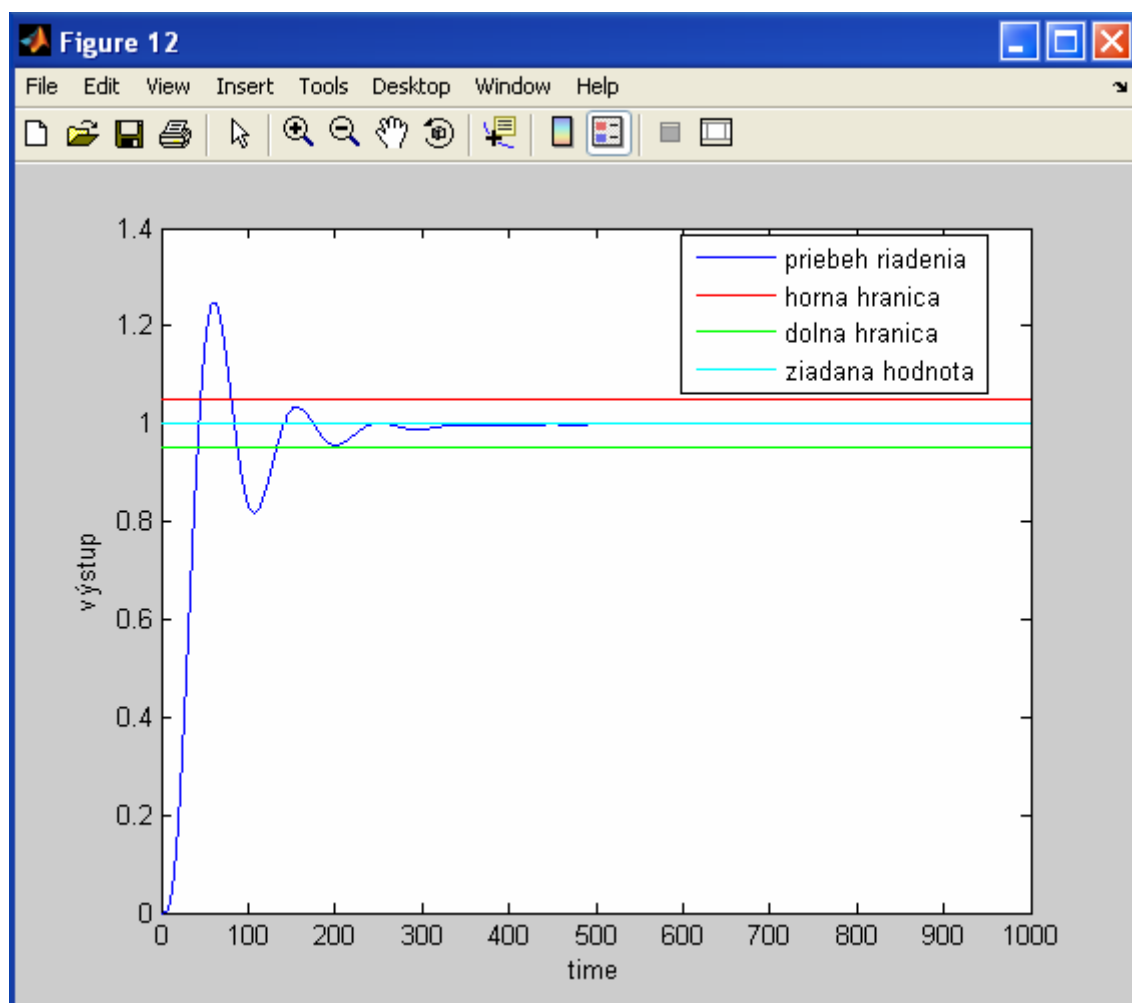
cas_simulacie = 1000

dolna_hranica_akcnej_veliciny = 0

horna_hranica_akcnej_veliciny = 5

OK

Pre odsimulovanie sa klikne na tlačidlo „OK“. Znáznorní sa výsledok simulácie.

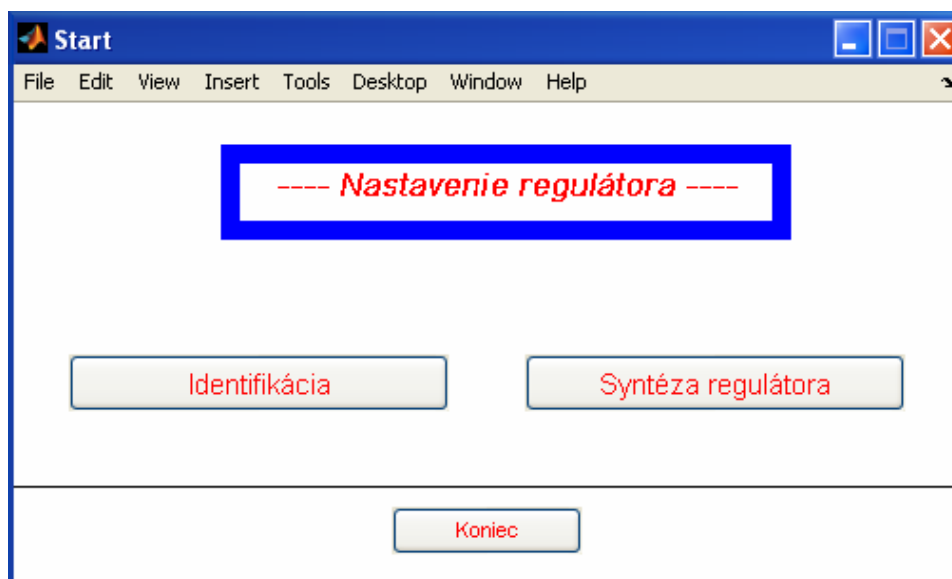


Simuláciou sa overuje, ako by sa správal uzavretý regulačný obvod tvorený zidentifikovaným systémom a navrhnutým regulátorom. Simulačnú schému umožňujú vyhodnotiť integrálne ukazovatele kvality (ISE a IAE). Pomocou nich sa môžu porovnať rôzne regulátory navrhnuté pre daný systém.

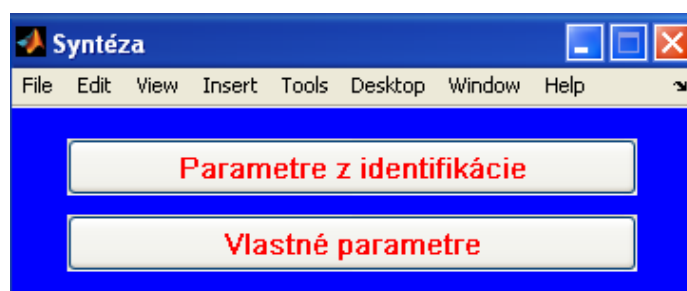
2.2 Použitie programového systému pre návrh regulátora už identifikovaného systému

Využije sa vtedy, keď celý systém je už identifikovaný – nepotrebujeme vyhodnocovať prechodovú charakteristiku.

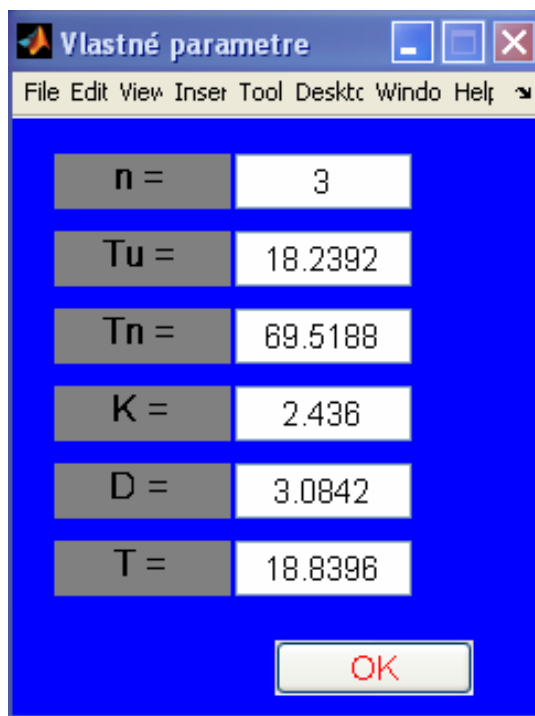
V príkazovom okne MATLABu sa zadá príkaz **start** a stlačením klávesnice ENTER sa otvorí okno s názvom „Štart“.



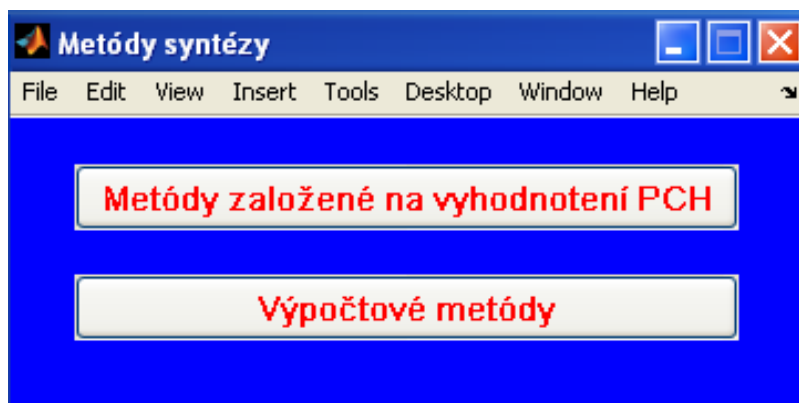
Z ponuky hlavného okna sa vyberie kliknutím tlačidlo „Syntéza regulátora“ a objaví sa okno „Syntéza“.



Pre uskutočnenie návrhu regulátorov už zidentifikovaného systému sa klikne na tlačidlo „Vlastné parametre“ a objaví sa okno „Vlastné parametre“.



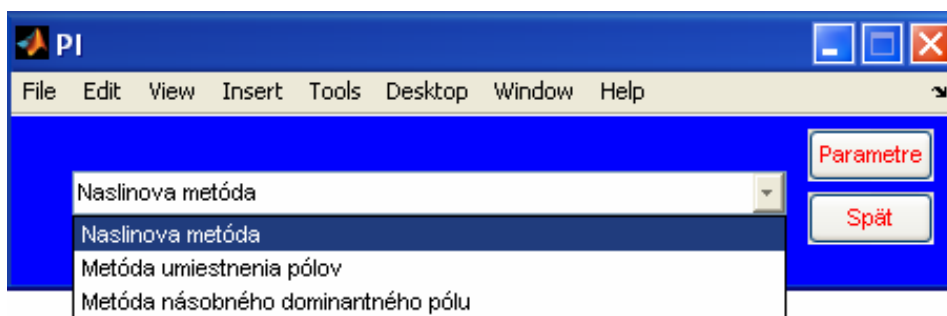
Vyplnia sa potrebné údaje a pre pokračovanie sa klikne na tlačidlo „OK“. Otvorí sa okno „Metódy syntézy“, ktoré ponúka syntézu regulátora experimentálnymi alebo analytickými metódami. Vyberie sa napr. analytická metóda kliknutím na tlačidlo „Výpočtové metódy“.



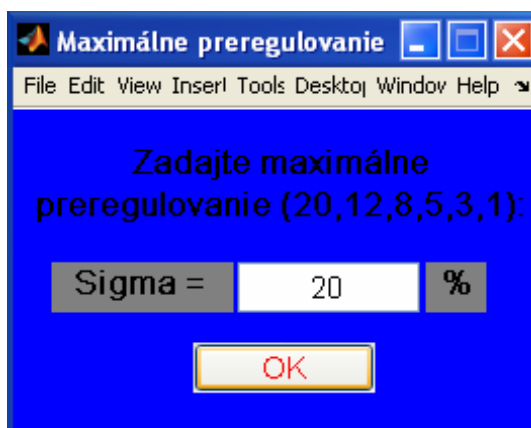
Po odkliknutí sa otvorí okno „Výber regulátora“. Jedná sa o výber syntézy regulátorov P, PI alebo PID.



Kliknutím sa vyberie napríklad regulátor PI. Otvorí sa okno „PI“, kde sa pomocou rolovacieho okna zobrazia všetky analytické metódy. Vyberie sa metóda syntézy regulátora, napr. Naslinova metóda.



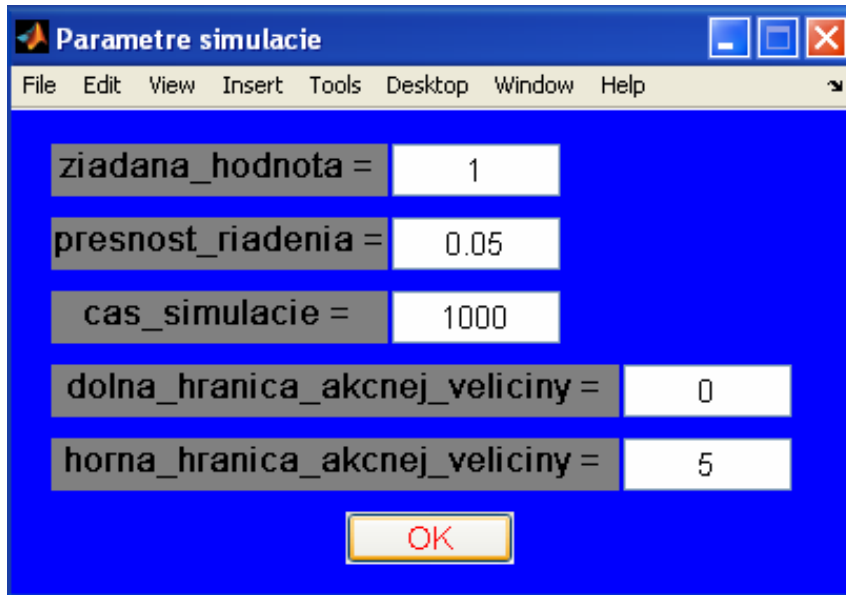
Po výbere metódy a jej následným označením, kliknutím na tlačidlo „Parametre“ sa otvorí okno „Maximálne preregulovanie“, kde pre výpočet treba zadať hodnotu maximálneho preregulovania.



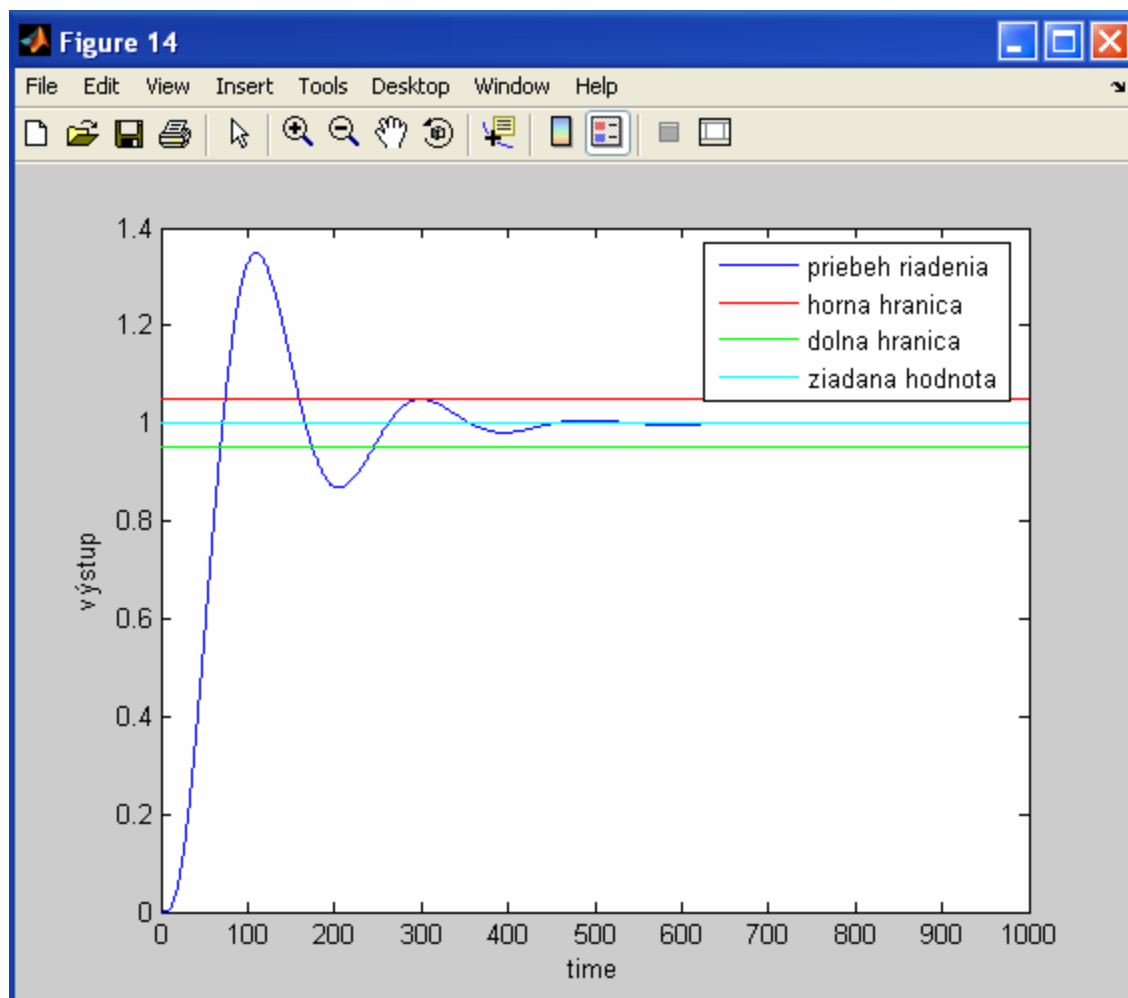
Po zadání hodnoty sa kliknutím na tlačidlo „OK“ otvorí okno s vypočítanými parametrami navrhnutého regulátora.



Potvrdením tlačidla „OK“ v okne „Konštanty regulátora PI“ sa prejde do okna „Parametre simulácie“. Tu sa zadávajú potrebné hodnoty pre simuláciu, v ktorej sa overí či regulátor spĺňa požiadavky na reguláciu.



Pre odsimulovanie sa klikne na tlačidlo „OK“. Znázorní sa výsledok simulácie. Simulácie nám umožňujú vyhodnotiť integrálne ukazovatele kvality (ISE a IAE). Pomocou nich sa môžu porovnávať rôzne regulátory navrhnuté pre daný systém.



Záver

Úlohou diplomovej práce bolo vytvorenie programového systému pre jednoduchý návrh regulátora prostredníctvom grafického užívateľského rozhrania (GUI) v programovacom jazyku MATLAB. Rozhranie transformovalo kódovanie jazyka Matlab do vizuálnej podoby, čím som vytvorila prostredie umožňujúce navrhnuť regulátor aj bežnému užívateľovi.

Jednotlivé metódy návrhu regulátora použité v grafickom užívateľskom prostredí sú podrobne popísané v teoretickej časti diplomovej práce. Užívateľ môže použiť pre výpočet parametrov regulátora experimentálne alebo analytické metódy, ktoré sa často nepoužívajú v bežnej praxi.

Stručný manuál pre použitie programového systému sa nachádza v experimentálnej časti diplomovej práce. Pri dodržaní postupu sa užívateľ jednoducho prepracuje k výsledkom návrhu regulátora, ktorého riadenie si môže overiť pomocou simulácie.

Programový systém je možné využiť pri návrhu vhodného typu regulátora riadiaceho systému, pretože sa dá súčasne sledovať priebeh riadenia pomocou vykreslenej simulácie. Program je vhodný ako učebná pomôcka pre študentov.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Mészáros, A. a kol.: Základy automatizácie. STU, Bratislava 1997.
- [2] Bakošová, M. a kol.: Laboratórne cvičenia zo základov automatizácie. STU, Bratislava 2003.
- [3] Fikar, M., Mikleš, J.: Identifikácia systémov. STU, Bratislava 1999.
- [4] Vítečková, M., Víteček, A.: Základy automatické regulace. VŠB-TU, Ostrava 2006.
- [5] Švec, J., Kotek, Z.: Teorie automatického řízení. SNTL, Praha 1969.
- [6] Wessely, E. a kol.: Teória automatického riadenia I. TU, Košice 1995.
- [7] John, J. a kol.: Systémy a řízení. ČVUT, Praha 2003.
- [8] Alexík, M. a kol.: Základy automatického riadenia. VŠDS, Žilina 1993.

Prílohy

Vytvorený programový systém, ktorý sa skladá z viacerých súborov typu m-file sa nachádza na priloženom CD.