Riadenie systémov s dopravným oneskorením

Bc. Radoslav Paulen

Oddelenie informatizácie a riadenia procesov
Fakulta chemickej a potravinárskej technológie
Slovenská technická univerzita v Bratislave

1 Úvod

Systémy s dopravným oneskorením sú špecifickou skupinou dynamických systémov. Dochádza u nich k časovému oneskoreniu signálu, informácie alebo látky, čo má za následok zhoršenie vlastností regulačného obvodu, ak takéto systémy chceme riadiť. Prítomnosť dopravného oneskorenia zťažuje syntézu regulačného obvodu a z tohto dôvodu sa musí vhodne aproximovať.

Cieĺom práce bolo porovnanie jednotlivých aproximácii dopravného oneskorenia pri riadení systémov 1. a 2. rádu s dopravným oneskorením, porovnanie niektorých prístupov riadenia systémov s dopravným oneskorením a vytvorenie grafického užívateľského rozhrania v programovom prostredí MATLAB, ktoré by umožňovalo užívateľovi navrhnúť vhodný regulátor pre systém 1. a 2. rádu s dopravným oneskorením.

2 Systémy s dopravným oneskorením

V regulačných obvodoch sa často vyskytuje člen dopravného oneskorenia, ktorý sa prejavuje tým, že daný systém reaguje na zmenu vstupnej veličiny až po určitej dobe, ktorá sa nazýva dopravným oneskorením. Dopravné oneskorenie budem označovať písmenom D.

Systém n-tého rádu bez dopravného oneskorenia môžeme opísať diferenciálnou rovnicou :

$$a_n\, y^{(n)}(t) + a_{n-1}\, y^{(n-1)}(t) + \ldots + a_1\, y'(t) + a_0\, y(t) = u(t) \tag{1}$$

Za predpokladu nulových začiatočných podmienok môžeme prenos tohto systému vyjadriť v tvare:

$$G_S(s) = \frac{1}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \ldots + a_1 s + a_0} \tag{2}$$

Ak uvažujeme posunutie výstupného signálu systému s dopravným oneskorením oproti systému bez dopravného oneskorenia, môžeme systém n-tého rádu s dopravným oneskorením opísať diferenciálnou rovnicou:

$$a_n\, y^{(n)}(t) + a_{n-1}\, y^{(n-1)}(t) + \ldots + a_1\, y'(t) + a_0\, y(t) = u(t-D) \tag{3}$$

Pomocou Laplaceovej transformácie pri nulových začiatočných podmienkach získame prenos daného systému:

$$G_S^D(s) = \frac{1}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \ldots + a_1 s + a_0} e^{-Ds} \tag{4}$$

Porovnaním r. (2) s r. (4) zistíme, že prenos systému bez dopravného oneskorenia a prenos systému s dopravným oneskorením sa líšia členom e^{-Ds}, ktorý reprezentuje vlastný prenos dopravného oneskorenia $G_D(s)$. Pri dostatočne nízkych hodnotách D sa člen e^{-Ds} dá bez zanedbať, avšak ďalšie zvyšovanie hodnoty D môže mať podstatný vplyv na kvalitu riadenia. Z tohto dôvodu sa používajú rôzne aproximácie dopravného oneskorenia.

3 Aproximácie dopravného oneskorenia

Pre analýzu a syntézu regulačných obvodov, ktoré obsahujú systém s dopravným oneskorením, sa často používajú aproximácie prenosu člena dopravného oneskorenia, pomocou ktorých získame prenos systému vyššieho rádu ale už bez dopravného oneskorenia.

Pre takto získané prenosy možno použiť klasické postupy syntézy, akoby išlo o systémy bez dopravného oneskorenia. Nasledujúce funkcie možno použiť pre aproximáciu člena vlastného dopravného oneskorenia :

a) Taylorov rozvoj čitateľa

$$G_D(s) = e^{-Ds} \approx \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{D^n}{n!} s^n = 1 - D.s + \frac{D^2}{2!} s^2 - \frac{D^3}{3!} s^3 + \ldots \tag{5}$$

b) Taylorov rozvoj menovateľa

$$G_D(s) = e^{-Ds} = \frac{1}{e^{Ds}} \approx \frac{1}{\sum_{n=0}^{\infty} \frac{D^n}{n!} s^n} = \frac{1}{1 + D.s + \frac{D^2}{2!} s^2 + \frac{D^3}{3!} s^3 + \ldots} \tag{6}$$

c) Maclaurinov rozvoj upravenej funkcie

$$G_D(s)=e^{-Ds}=\frac{e^{-\frac{D}{2}s}}{e^{\frac{D}{2}s}}\approx\frac{\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\frac{\left(\frac{D}{2}\right)^n}{n!}s^n}{\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\left(\frac{D}{2}\right)^n}{n!}s^n}=\frac{1-\frac{D}{2}.s+\frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2}{2!}s^2-\frac{\left(\frac{D}{2}\right)^3}{3!}s^3+\ldots}{1+\frac{D}{2}.s+\frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2}{2!}s^2+\frac{\left(\frac{D}{2}\right)^3}{3!}s^3+\ldots} \quad (7)$$

d) Padého aproximácia

$$G_D(s)=e^{-Ds}=\frac{e^{-\frac{D}{2}s}}{e^{\frac{D}{2}s}}\approx\frac{\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\frac{n!}{(2n)!}D^n s^n}{\sum_{n=0}^{\infty}\frac{n!}{(2n)!}D^n s^n}=\frac{1-\frac{D}{2}.s+\frac{D^2}{12}s^2-\frac{D^3}{120}s^3+\ldots}{1+\frac{D}{2}.s+\frac{D^2}{12}s^2+\frac{D^3}{120}s^3+\ldots} \quad (8)$$

e) „Limitná“ aproximácia

$$G_D(s)=e^{-Ds}\approx\lim_{n\to\infty}\frac{1}{\left(1+\frac{D}{n}\right)^n}\quad,\ n=\{1,\,2\,,\,\ldots\} \quad (9)$$

Z dôvodu požiadavky na jednoduchosť aproximovaného prenosu sa v praxi najčastejšie používajú aproximácie uvažujúce iba lineárne alebo kvadratické polynómy.

Ako je postrehnuteľné z r. (5) až (9) pre lineárnu aproximáciu bude mať Taylorov rozvoj menovateľa zhodný tvar s „Limitnou“ aproximáciou a takisto bude rovnaký tvar Padého aproximácie a Maclaurinovho rozvoja upravenej funkcie. Z dôvodu potreby porovnania jednotlivých aproximácii, či už podľa vizuálnej zhodnosti prechodovej charakteristiky pôvodného systému a systému s aproximovaným členom dopravného oneskorenia alebo podľa kvality riadenia aproximovaného systému, som vytvoril grafické užívateľské rozhranie v prostredí MATLAB.

3.1 Grafické užívateľské rozhranie pre riadenie systémov s dopravným oneskorením

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

Typy použitých príkazov:

FIGURE - vytvorenie celkovej podoby okna s použitím nižšie uvedených príkazov

CLEAR – vymazanie všetkých premenných a funkcií z pamäti

UICONTROL – vytvorenie prepojenia medzi užívateľom a ovládaním aktuálneho okna

STYLE – zápis na určenie charakteristiky tlačidla

Napríklad: '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

MAT2POL – konverzia matice na polynóm

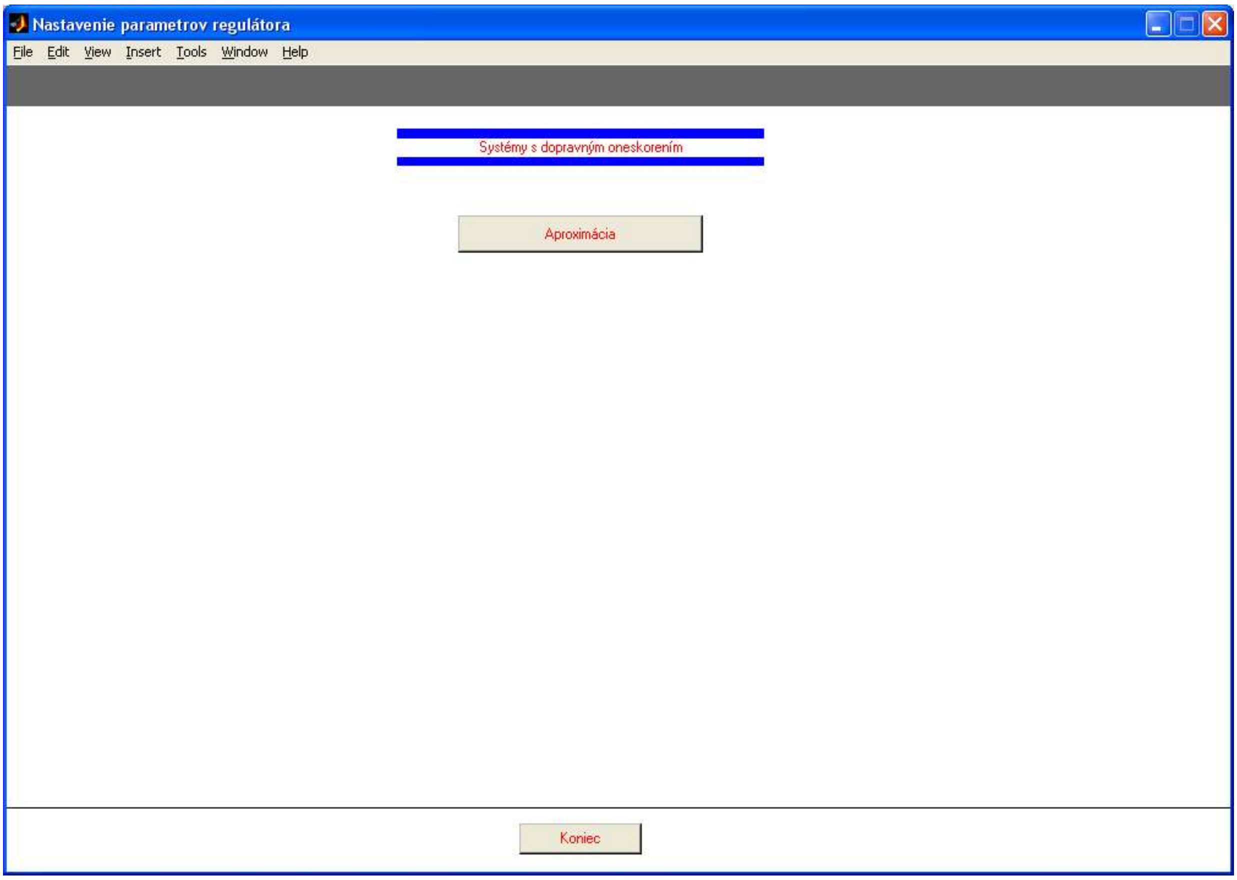
POL2MAT – konverzia polynómu na maticu

AXBYC – nájdenie riešenia rovnice AX + BY = C (riešenie rovnice polynomickej syntézy regulátora)

Užívateľské rozhranie, ktoré som vytvoril umožňuje užívateľovi navrhnúť regulátor, pomocou vyššie uvedených metód, a simulovať priebeh riadenia, pomocou takto navrhnutého regulátora, pre systém 1. a 2. rádu s dopravným oneskorením. V nasledujúcej časti bude opísané použitie grafické užívateľského prostredia pri riadení systému 1. rádu, ktorého parametre, zosilnenie, časová konštanta a dopravné oneskorenie, sú jednotkové

3.1.1 Použitie grafického užívateľského rozhrania

V príkazovom okne programu MATLAB sa zadá príkaz *riadenie* a stlačením klávesy ENTER sa otvorí základné okno užívateľského rozhrania s názvom „Nastavenie parametrov regulátora“(obr. 1).



Obr. 1 – Základné okno grafického užívateľského rozhrania

Kliknutím na tlačidlo „Aproximácia“ sa otvorí okno s názvom „Sústavy“, kde si užívateľ vyberie rád systému, ktorý chce riadiť.

Obr. 2 – Okno pre voľbu rádu riadeného systému

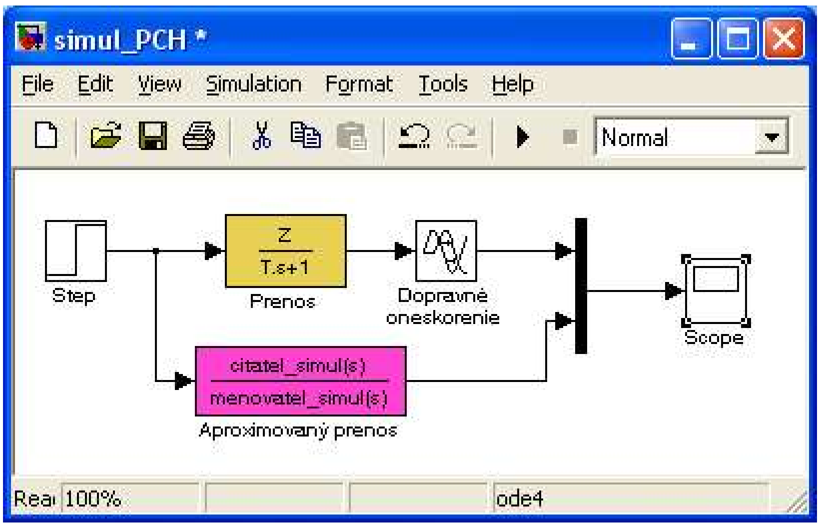
Pre riadenie daného systému sa klikne na tlačidlo „Systém 1.rádu“ a zobrazí sa okno s názvom „Definícia parametrov prenosu“, kde sa zadajú požadované údaje, čiže hodnoty zosilnenia Z, časovej konštanty T a dopravného oneskorenia D, a zvolí sa typ a stupeň aproximácie dopravného oneskorenia.

Obr. 3 – Okno pre definíciu parametrov prenosu riadeného systému

V našom prípade zvolíme lineárnu aproximáciu Taylorovho rozvoja čitateľa, ktorý sa ukázal ako jedna z najlepších aproximácii . Kliknutím na tlačidlo „OK“ sa zobrazí okno s názvom „Aproximovaný prenos“, v ktorom je uvedený aproximovaný prenos systému.

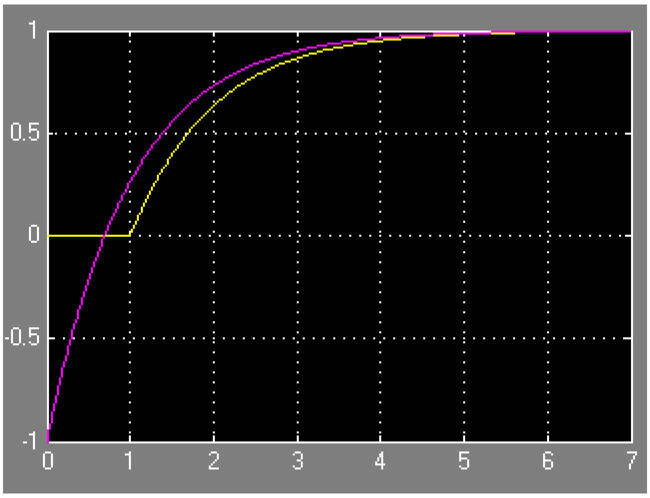
Obr. 4 – Okno pre zobrazenie aproximovaného prenosu riadeného systému

Kliknutím na tlačidlo „Porovnaj prechodovú charakteristiku“ sa otvorí simulačná schéma „simul_PCH“.



Obr. 5 – Simulačná schéma na porovnanie prechodových charakteristík

Po prebehnutí simulácie môžeme porovnať prechodové charakteristiky pôvodného systému a systému aproximovaného.



Obr. 6 – Grafický výstup zo simulačnej schémy (obr. 5)

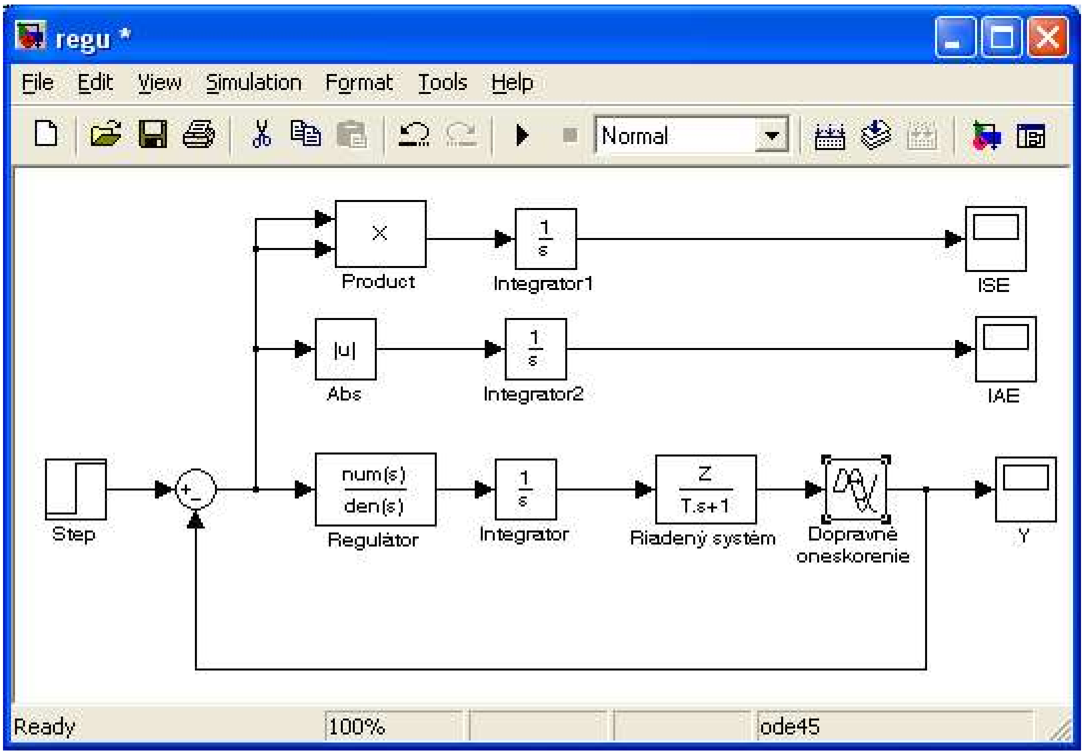
Ak v okne „Aproximovaný prenos“ klikneme na tlačidlo „Syntéza regulátora“ objaví sa okno „Zadanie pólov URO“.

Obr. 7 – Okno pre zadanie násobného pólu uzavretého regulačného obvodu

Po zadaní násobného pólu URO a stlačení tlačidla „Simulácia“ sa na obrazovke objaví okno „Regulátor“, kde sa zjavia parametre vypočítaného regulátora.

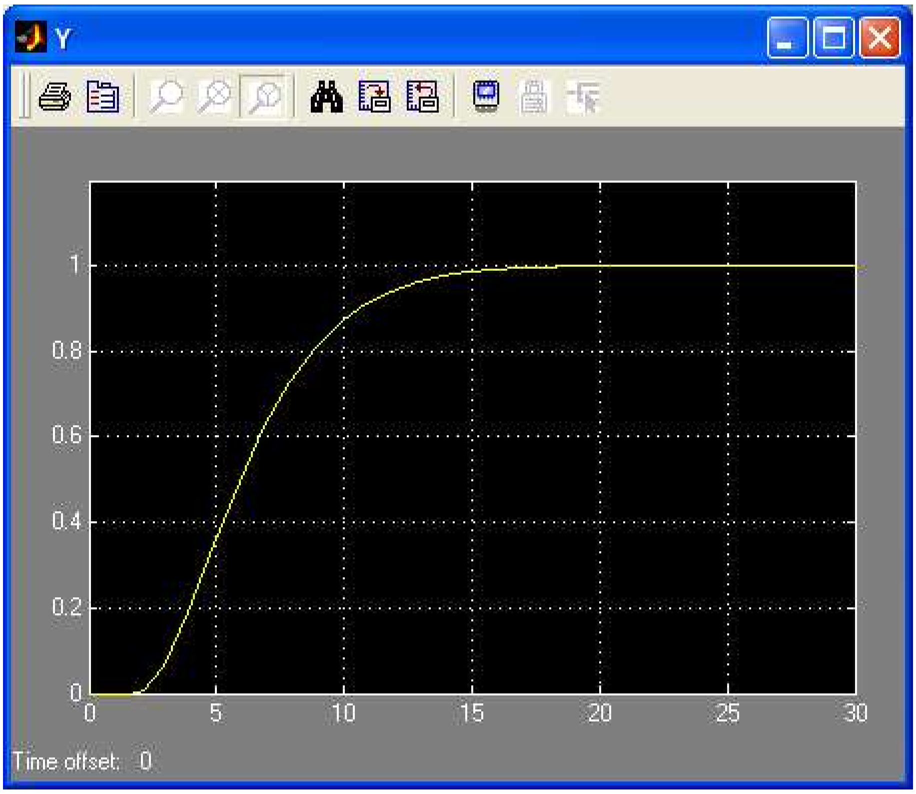
Obr. 8 – Okno pre zobrazenie parametrov vypočítaného regulátora

Po kliknutí na tlačidlo „Použitie jednoduchého URO“, ktoré nám po kliknutí zobrazí simulačnú schému „regu“ jednoduchého URO.



Obr. 9 – Simulačná schéma pre posúdenie vhodnosti navrhnutého regulátora

Z priebehu premennej Y môžeme posúdiť vhodnosť použitého regulátora.



Obr. 10 – Grafický výstup zo schémy (obr. 9) pre riadenú veličinu

Ak potrebujeme posúdiť vhodnosť riadenia viacerými regulátormi s podobnou odozvou URO môžeme kvalitu riadenia pre daný regulátor posúdiť pomocou parametrov ISE a IAE, ktorých hodnoty je možné takisto v schéme na obr. 9 zobraziť.

Ak je dopravné oneskorenie systému príliš veľké môžeme pre simuláciu riadenia systému použiť Smithov prediktor a to kliknutím na tlačidlo „Použitie URO so Smithovým prediktorom“, pri ktorom sa zobrazí schéma „smith1“.

4 Záver

V mojej práci som sa zaoberal aproximáciou člena dopravného oneskorenia pre systémy1. a 2. rádu rôznymi funkciami. Tieto aproximácie som porovnal vykreslením prechodových charakteristík a z tohto porovnania sa ako najlepšia ukázala byť aproximácia dopravného oneskorenia pomocou funkcie Taylorovho rozvoja menovateľa.

Následne som odvodené aproximácie prenosov systémov 1. rádu s dopravným oneskorením aplikoval pri syntéze regulátora a s pomocou integrálnych ukazovateľov kvality riadenia vyhodnotil najvhodnejšie aproximácie člena dopravného oneskorenia a zároveň určil oblasti hodnôt pomeru dopravného oneskorenia a časovej konštanty, pre ktoré sú jednotlivé prístupy k riadeniu systémov s dopravným oneskorením najvhodnejšie. Najlepšia aproximácia pre riadenie systému s dopravným oneskorením je Taylorov rozvoj čitateľa. Dávala najlepšie výsledky v celej oblasti spektra skúmaného pomeru dopravného oneskorenia a časovej konštanty, aj keď pri porovnávaní prechodových charakteristík sa zdala byť najhoršou.

Použitá literatúra

Paulen, R.: Riadenie systémov s dopravným oneskorením, bakalárska práca 2005

Vavruša, S.: Řízení spojitých systémů s dopravním zpožděním různými metodami.Tézy k štátnej doktorskej skúške,UTB Zlín 2005.

Bakošová, M. a kol.: Laboratórne cvičenia zo základov automatizácie. STU, Bratislava 2003

Mészáros, A. a kol.: Základy automatizácie. STU, Bratislava 1997.

Šulc, B.,Vítečková, M. :Teorie a praxe návrhu regulačních obvodů. Vydavatelství ČVUT, Praha 2004.