RIADENIE REÁLNYCH OBJEKTOV A PARAMETRE REGULÁTORA

Ľ. Grman*, V. Veselý* a M. Hypiusová*

Abstrakt

Cieľom tohto príspevku je osloviť všetkých tých, ktorí sa venujú návrhom riadiacich systémov a nastavovaniu parametrov regulátorov v praxi. V súčasnosti okrem známych metód z teórie automatického riadenia ako sú analytické metódy a v praxi využívané tzv. inžinierske metódy sa objavila celá skupina metód, ktoré sa venujú návrhu parametrov regulátorov pre reálne objekty t.j. objekty, v ktorých sa menia parametre.

Kľúčové slová: robustné riadenie, multilineárna neurčitosť, intervalový systém.

Úvod

Jednou zo základných podmienok činnosti automatizovaného systému riadenia technologických procesov je zabezpečenie stability príslušných regulačných obvodov. Zabezpečenie stability je spojené s návrhom parametrov jednotlivých regulátorov alebo použitím adaptívnych regulátorov, ktoré na základe vhodných nimi realizovaných experimentov sú schopné nastaviť parametre regulátora. Použitím analytických, inžinierskych alebo adaptívnych metód je určovanie parametrov regulátorov spojené so znalosťou matematického modelu objektu. V reálnej praxi sa parametre objektu menia napr. zmenou režimu technologického procesu, zmenou veľkosti technologických premenných, zmenou štruktúry regulovaného objektu, atď. Tieto zmeny vyvolávajú zmenu parametrov modelu regulovaného objektu a tie zase môžu aj destabilizovať celý regulačný obvod. V tomto prípade je nevyhnutné znova prestaviť parametre regulátora tak, aby bola zabezpečená základná podmienka činnosti systému a to riadenie dynamického režimu. Aby sa parametre regulátora nemuseli neustále prestavovať alebo, aby v procese činnosti automatizovaného systému sa kvalita regulácie výraznejšie nemenila je potrebné zabezpečiť „robustnosť systému“. Spätnoväzobný regulačný obvod je robustný vtedy, ak sa zachovajú jeho základné vlastnosti ako je stabilita, kvalita regulácie ako pri pôsobení rôznych porúch, tak aj pri zmene parametrov objektu.

1 Lineárne modely reálnych procesov

Budeme predpokladať, že výsledkom experimentálnej identifikácie reálneho objektu je prenosová funkcia objektu. Parametre prenosovej funkcie objektu sa môžu meniť rôznymi spôsobmi, v princípe tieto zmeny je možné zhrnúť do niekoľkých tried.

1.1 Intervalové systémy

Pod lineárne intervalovými systémami rozumieme také systémy, ktorých koeficienty prenosovej funkcie objektu sa menia nezávisle od seba a v zadanom intervale. Výsledkom identifikácie objektu nech je prenosová funkcia objektu v tvare

$$G(s)=\frac{b_0+b_1s+b_2s^2+\ldots+b_ms^m}{a_0+a_1s+a_2s^2+\ldots+a_{n-1}s^{n-1}+s^n} \tag{1}$$

kde $b_i \in \langle \underline{b}_i, \overline{b}_i \rangle$ $i=0,1,\ldots,m$; $a_j \in \langle \underline{a}_j, \overline{a}_j \rangle$ $j=0,1,\ldots,n-1$; $\underline{b}_i, \overline{b}_i, \underline{a}_j, \overline{a}_j$ sú dolné resp. horné ohraničenia zmien koeficientov prenosovej funkcie objektu.

Ako z rovnice (1) vyplýva, počet prenosových funkcií objektu je nekonečne veľký a preto návrh parametrov regulátora, ktorý by súčasne stabilizoval len niekoľko prenosových funkcií z celej množiny, principiálne nemôže splniť podmienku zabezpečenia stability a kvality regulácie pre objekt (1).

Multilineárne systémy:

V praxi, sa veľmi často stretávame s prípadom, keď niekoľko lineárnych intervalových systémov sú zapojené do série. V tomto prípade celkový objekt riadenia patrí už do triedy multilineárnych systémov

$$G(s)=\frac{B_1(s)B_2(s)\ldots B_p(s)}{A_1(s)A_2(s)\ldots A_p(s)} \tag{2}$$

kde $\frac{B_i(s)}{A_i(s)}$, $i=1,2,\ldots,p$ predstavuje lineárny intervalový systém.

Multilineárny intervalový systém môžeme dostať aj v prípade, keď regulovaný objekt má premenlivé dopravné oneskorenie

$$G(s)=\frac{B(s)}{A(s)}e^{-\tau s} \tag{3}$$

kde $B(s), A(s)$ sú intervalové polynómy a $\tau \in \langle \underline{\tau}, \overline{\tau} \rangle$. Keď nahradíme člen $e^{-\tau s}$ Padeho rozvojom

$$e^{-\tau s} \approx \frac{1-\frac{\tau}{2}s}{1+\frac{\tau}{2}s} \tag{4}$$

z prenosovej funkcie (3) a (4) vidno, že obdržíme multilineárny systém.

<u>*Návrh parametrov regulátora pre intervalové systémy*</u>

Na základe metód návrhu robustných regulátorov sa pre jednotlivé typy prenosových funkcií

(1) – (3) navrhne tzv. hraničný prenos. Hraničný prenos objektu predstavuje konečný počet prenosových funkcií objektu s konštantnými parametrami, ktoré jednoznačne s navrhovaným regulátorom, s prenosovou funkciou $R(s)$, určujú stabilitu celej množiny prenosových funkcií (1) – (3). Parametre regulátora $R(s)$ je potrebné vybrať tak, aby súčasne stabilizovali určený konečný počet prenosových funkcií, ktoré tvoria hraničný prenos objektu.

1.2 Polytopické systémy

Predpokladajme, že experimentálnou identifikáciou objektu riadenia sa zistilo, že časť koeficientov v prenosovej funkcii objektu sa menia spolu. Prenos takéhoto objektu má tvar

$$G(s) = \frac{b_0(s) + \sum_{i=1}^{p} q_i b_i(s)}{a_0(s) + \sum_{i=1}^{p} q_i a_i(s)} \tag{5}$$

kde $b_0(s), b_i(s), a_0(s), a_i(s),\ i = 1,2,\ldots,p$ sú známe polynómy s konštantnými koeficientmi a koeficienty q_i sú neznáme, ale vieme, že sa menia v zadanom intervale $q_i \in \langle \underline{q}_i, \overline{q}_i \rangle$, $i = 1,2,\ldots,p$, kde $\underline{q}_i, \overline{q}_i$ sú dolné a horné ohraničenia zmien koeficientov q_i. Keď necháme meniť koeficienty $q_i = \underline{q}_i$ alebo $q_i = \overline{q}_i$ vo všeobecnosti je možné získať 2^p prenosových funkcií objektu s konštantnými koeficientmi. Tieto prenosové funkcie je možné „umiestniť" do vrcholu p rozmerného kvádra neurčitostí a preto prenosová funkcia (5) opisuje tzv. polytopické systémy. Aby prenosová funkcia (5) bola v uzavretom regulačnom obvode s regulátorom $R(s)$ stabilná, regulátor musí zabezpečiť stabilitu ako 2^p prenosových funkcií objektu, tak aj stabilitu na každej hrane kvádra, ktorá spája dva vrcholy. Náročnosť návrhu takéhoto regulátora je zrejmá, ale súčasné výsledky teórie robustného riadenia umožňujú túto úlohu úspešne riešiť. Navrhnutý regulátor zabezpečí ako stabilitu, tak aj kvalitu regulácie v celom rozsahu zmien všetkých koeficientov q_i, $i = 1,2,\ldots,p$.

2 Príklad

Cieľom tejto časti je demonštrovať návrh robustného regulátora pomocou amplitúdovej a fázovej logaritmicko-frekvenčnej charakteristiky pre polytopický objekt (5) a s premenlivým dopravným oneskorením

$$G(s) = \frac{0.1s^2 + s + 0.4 + q_1(0.1s + 0.2) + q_2(0.2s + 0.1)}{s^3 + 2.5s^2 + s + 0.3 + q_1\left(0.4s^2 + 0.3s + 0.1\right) + q_2\left(0.2s^2 + 0.3s + 0.1\right)} e^{-\tau s}$$

kde $q_i \in \langle -1, 1 \rangle$, $\quad i = 1, 2$; $\quad \tau \in \langle 0.5, 1 \rangle$.

Na obr. 1 (viď. príloha textu) sú znázornené logaritmicko-frekvenčné charakteristiky objektu. Vo frekvenčnej oblasti sme navrhli PI regulátor v tvare

$$G_R(s) = K\left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$$

aby bezpečnosť vo fáze bola minimálne 40°. Výsledkom návrhu sú nasledovné koeficienty regulátora: $K = 0.8$, $T_i = 20\,[\mathrm{s}]$.

Na obr. 2 (viď. príloha textu) sú znázornené logaritmicko-frekvenčné charakteristiky objektu s regulátorom, z ktorých je odčítaná fázová a amplitúdová bezpečnosť:

$$\Delta\varphi = 48.9^\circ$$
$$\Delta K = 8.9\ dB$$

Z logaritmicko-frekvenčných charakteristík je vidieť, že nastavený PI regulátor zabezpečuje požadovanú stabilitu a kvalitu riadenia.

Záver

Cieľom príspevku bolo ukázať vybrané modely reálnych objektov, pre ktoré existujú metódy a programové vybavenie na návrh robustných regulátorov. Tieto metódy sú každodenne overované študentmi a výsledky ukazujú, že môžu úspešne nahradiť doteraz v praxi používané inžinierske ako aj analytické metódy, lebo zohľadňujú reálnu situáciu v praxi – zmenu parametrov objektu.

Literatúra

[1] BARTLETT, A.C., HOLLOT, C.V., LIN, H.: Root location of an entire polytope of polynomials: it suffices to check the edges. *Mathematics of Controls, Signals and Systems*, vol.1, 1988, pp. 61-71.

[2] BHATTACHARYYA, S.P., CHAPELLAT, H., KEEL, L.H.: Robust Control: The Parametric Approach, *Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.*, 1995.

[3] CHAPELLAT, H., BHATTACHARYYA, S. P.: A generalization of Kharitonov´s theorem: robust stability of interval plants. *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. AC-34, No. 3, 1989, pp. 306-311.

[4] KHARITONOV, V. L: Asymptotic stability of an equilibrium position of a family of systems of linear differential equations, *Differential Equations*, Vol. 14, 1979, pp. 1483-1485.

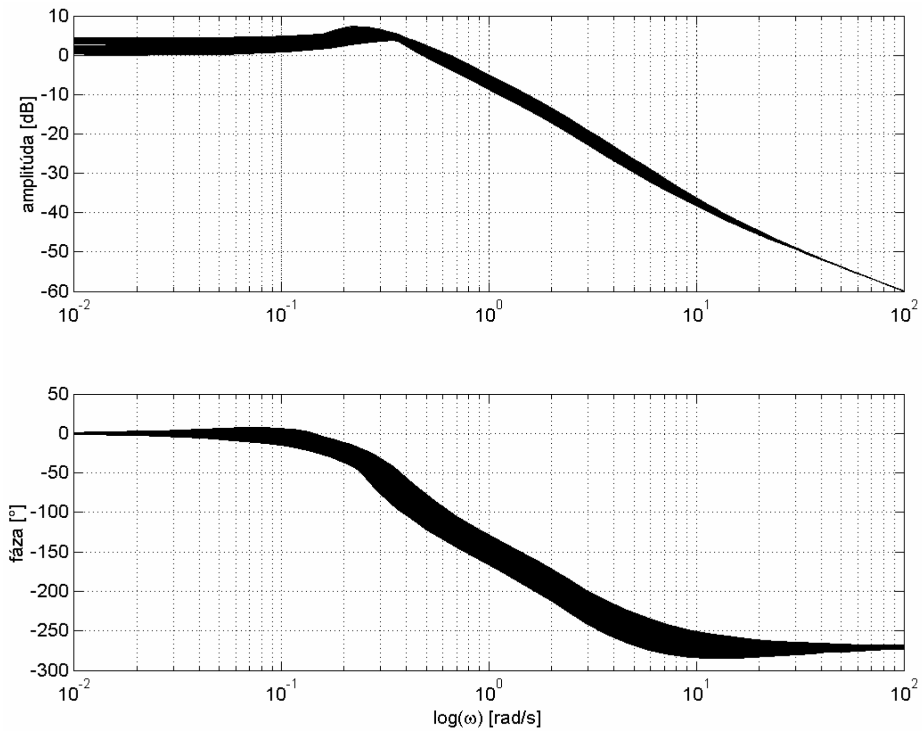
* Ing. Ľubomír Grman; Prof. Ing. Vojtech Veselý, DrSc; Ing. Mária Hypiusová;

Katedra automatizovaných systémov riadenia FEI STU, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava;

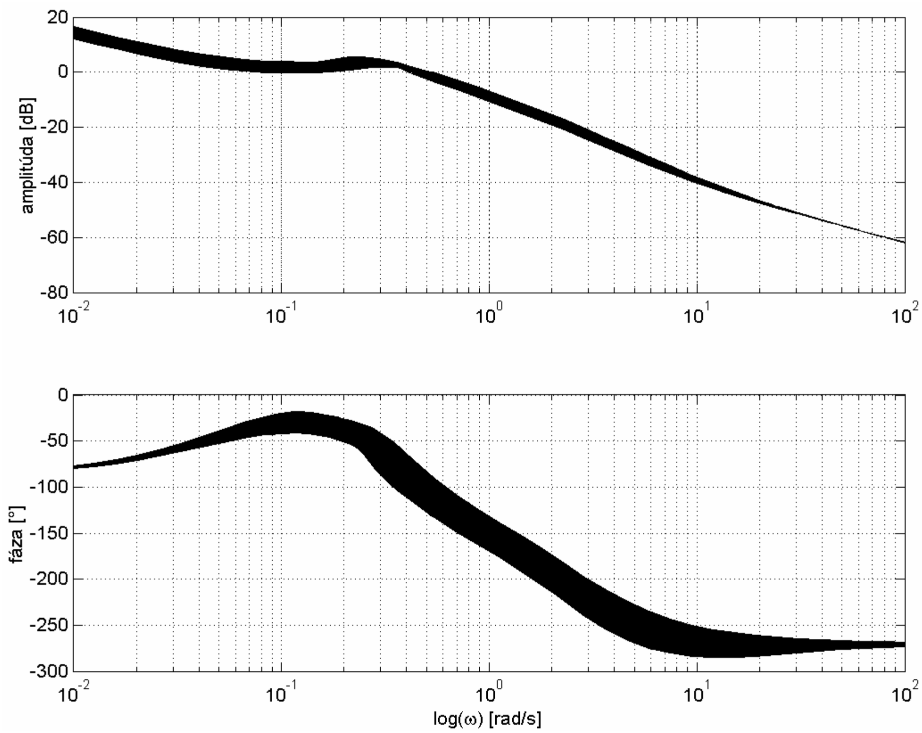
t.č. 02/602 91 722, fax: 02/65 42 97 34

e-mail: grman@kasr.elf.stuba.sk, vesely@kasr.elf.stuba.sk, hypiusov@kasr.elf.stuba.sk

PRÍLOHA TEXTU



Obr. 1 – Logaritmicko-frekvenčné charakteristiky objektu: $G_E(s)$



Obr. 2 – Logaritmicko-frekvenčné charakteristiky otvoreného regulačného obvodu: $G_E(s)R(s)$