

PROGRAMOVÝ SYSTÉM SYNREG V PROSTREDÍ MATLAB ver.5.3

Ing Slavomír Kajan, Doc.Ing.Štefan Kozák, CSc.

Katedra automatizovaných systémov riadenia, Fakulta elektrotechniky a informatiky
STU Bratislava, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava,

Abstrakt: Príspevok sa zaoberá opisom programového systému s názvom SYNREG (Syntéza regulátorov), ktorý je vyvíjaný na Katedre automatizovaných systémov riadenia FEI v Bratislave už niekoľko rokov. Verzia programového systému, ktorá je v príspevku prezentovaná umožní nastavenie regulátorov, a to spojitých a diskretných konvenčného typu PID (PSD) alebo aj všeobecných diskretných regulátorov s ohraničením a bez ohraničenia riadiacich zásahov na základe meraných údajov a na základe matematických modelov najrôznejších typov bežne známych z technickej praxe. Programový systém môže tvoriť vhodný doplnok existujúceho TOOLBOXU Control s využiteľnosťou tak pre výučbu predmetov zaoberajúcich sa syntézou regulačných obvodov ako aj pre praktické úlohy nastavovania regulátorov v chemických procesoch, energetike, plynárenstve a pod.

Kľúčové slová: syntéza regulátorov, spojitý regulátor, diskretný regulátor, stabilita regulačných pochodov, kvalita regulačných pochodov, identifikácia systémov

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Nastavovanie optimálnych koeficientov regulátora je stále aktuálny problém prevádzky priemyselných regulátorov. Rad metód, ktoré sa v praxi využívajú, existuje už vyše päťdesiat rokov, ale je aj rad nových metód, ktoré sa naďalej rozvíjajú a obohacujú súčasnú teóriu regulácie o prvky robustnosti, adaptácie a samonastavovania.

Cieľ syntézy spojitých a diskretných regulačných obvodov je návrh takej štruktúry regulátora a takých koeficientov regulátora, ktoré zabezpečia, že regulovaná veličina sleduje čo najpresnejšie a najrýchlejšie zmeny žiadanej veličiny a vplyv poruchových veličín je potlačený v čo najväčšej miere. Pri návrhu štruktúry a výpočtu koeficientov regulátorov potrebujeme poznať vlastnosti regulovaného procesu charakterizované napr. vstupno-výstupnými meraniami realizovanými off-line spôsobom (pribežné merania vstupov a výstupov, merania odoziev na normovaný vstup), alebo na základe on-line meraní realizovaných v uzavretej slučke spolu s regulátorom so známou štruktúrou. Výsledkom meraní realizovaných na procese je matematický model reprezentujúci dynamické vlastnosti regulovaného procesu, alebo také charakteristické veličiny, ktoré reprezentujú podstatné dynamické vlastnosti riadeného procesu (doba nábehu, doba prielahu, kritická frekvencia, kritické zosilnenie, časové konštanty, dopravné oneskorenie a pod.). Tieto veličiny už vo väčšine prípadov postačujú na prvotné určenie koeficientov regulátorov. Mnohokrát je však tento návrh iba informatívny a koeficienty regulátorov sa doladujú v priamej prevádzke regulátora. Uvedené charakteristické veličiny regulovaného procesu môžeme v priebehu regulácie upresňovať na základe nových meraní výstupnej regulovanej veličiny, nových hodnôt riadiaceho zásahu, regulačnej odchýlky poprípade odchýlky medzi modelom regulovaného procesu a skutočným výstupom z procesu a tým aj pribežne upresňovať koeficienty regulátorov.

Štruktúra regulátora je určovaná na základe testovania regulačnej odchýlky v ustálenom stave pri danom priebehu referenčnej premennej a poruchovej veličiny (presnosť regulácie). Vo väčšine regulovaných procesov je presnosť regulácie podmienená štruktúrou regulátora, parametrami regulátora a typom referenčnej premennej.

V praktických úlohách regulácie sú používané regulátory spojitý (lineárne, nelineárne), diskretné v čase a v amplitúde (lineárne a nelineárne). Špeciálny prípad sú dvojpolohové a

trojpolohové regulátory, majúce dvojpolohový výstup (zapnúť-vypnúť) alebo trojhodnotový výstup (otvoril'-ponechal'-zavrieť). Nastavovanie týchto regulátorov sa realizuje metódami nelineárnych obvodov.

V súčasnosti sa spojité regulátory realizujú s tromi meniteľnými parametrami. Sú to tzv. PID-regulátory, ktoré spracovávajú signál paralelne a s navzájom rôznym zosilnením v troch vetvách : proporcionálnej, integračnej a derivačnej.

Na výpočet koeficientov spojitých PID regulátorov bolo vyvinutých mnoho metód. Podľa ich princípu je možné uvedené metódy rozdeliť na niekoľko skupín:

1. *experimentálne metódy* založené na priamom nastavení koeficientov regulátora v napojení na reálny proces (on-line nastavenie)
2. *metódy graficko-analytické*, ktoré sa ďalej delia na:
 - *metódy graficko-analytické v časovej oblasti*
 - *metódy graficko-analytické vo frekvenčnej oblasti*
3. *numerické metódy* založené na výpočte optimálnych koeficientov regulátorov minimalizáciou ľubovoľných typov funkcionálov (zostavených ako funkcia regulačnej odchýlky a jej derivácií, resp. regulovanej veličiny a jej derivácií, riadiaceho zásahu a derivácie riadiaceho zásahu a pod.)

$$\min_{P, T_i, T_d} J(e, \Delta e, \Delta^2 e, \dots, \Delta u, \Delta^2 u, \dots, \Delta y, \Delta^2 y, \dots)$$

Pre minimalizáciu týchto funkcionálov je možné použiť gradientové metódy (konjugované smery), premenlivá metrika), bezgradientové metódy a metódy umožňujúce nájsť globálny extrém podľa parametrov regulátora P , T_i a T_d .

2. EXPERIMENTÁLNE METÓDY URČENIA KOEFICIENTOV REGULÁTORA

Experimentálne metódy určenia koeficientov regulátora vychádzajú z rozborov dynamických vlastností zložitých jednoparametrových a viacparametrových regulačných obvodov, ako aj zo skúsenosti technológov a operátorov v riadení rôznych typov procesov zahrňujúc tak chemickotechnologické procesy, tepelné procesy, energetické procesy, robotické systémy a pod. Výhodou je ich jednoduchosť, nevýhodou je malá presnosť.

Ak nedokážeme určiť matematický model procesu a ani jeho charakteristické veličiny z grafického priebehu regulovanej veličiny (doba nábehu, doba prielahu, doba prechodu a pod.), koeficienty regulátora sa nastavujú ručne. Hodnota derivačnej a integračnej konštanty by mala byť na počiatku nulová a zosilnenie nastavíme tak, aby regulačný pochod bol kmitavý. Ak tak nie je, hodnotu proporcionálnej zložky zvyšujeme dovtedy, kým regulačný obvod nebude tlmene kmitavý. V druhom kroku nastavujeme zložku integračnú, pomocou ktorej by sme mali dosiahnuť silno-kmitavý priebeh a v treťom kroku pomocou postupného zvyšovania derivačnej zložky je potrebné kmitavý pochod čo najviac utlmiť.

Na základe analýzy dynamických vlastností riadených procesov pomocou vybraných charakteristík (impulzných, prechodových a frekvenčných charakteristík), alebo na základe matematických modelov riadených procesov v s a z -oblasti dokážeme v súčasnosti veľmi efektívne vypočítať a nastavovať koeficienty spojitých a diskretných regulátorov. V súčasnosti existuje množstvo metód výpočtu koeficientov realizovaných zväčša off-line spôsobom, alebo aj metódy výpočtu on-line spôsobom.

Prechodové funkcie sú nositeľom podstatných vlastností dynamických procesov. Na základe vyhodnotenia prechodových charakteristík dokážeme určiť tak štruktúru modelu ako aj koeficienty modelu pre nekmitavé a kmitavé (stabilné) procesy.

3. METÓDY VÝPOČTU KOEFICIENTOV SPOJITÝCH A DISKRÉTNÝCH REGULÁTOROV NA ZÁKLADE ZNALOSTI MATEMATICKÉHO MODELU

Do tejto skupiny metód patria predovšetkým tie metódy výpočtu koeficientov regulátorov, ktoré sú založené na znalosti matematických modelov riadených procesov. Tieto metódy umožňujú nastavenie regulátorov pomerne s vysokou kvalitou regulácie pretože uvažované matematické modely nie sú aproximatívneho charakteru ako je to u skupiny metód (A). Delíme ich na metódy konvenčné a metódy moderné zaručujúce stabilitu a dobrú kvalitu regulácie ktoré sú na základe ktorých sa určujú klasické metódy, ktoré zaručujú splnenie určitých parametrov kvality regulácie (napr. doby regulácie, žiadanej hodnoty prerogulovania a pod.). Medzi klasické metódy regulácie patria predovšetkým tieto metódy :

1. *metóda Naslina* (zaručujúca požadované prerogulovanie)
2. *metóda štandardných tvarov* (predpisujúca dynamiku uzavretého obvodu na základe referenčného modelového správania, Whitleyho , Butterwothove a Graham-Lathropove štandardné tvary)
3. *metóda optimálneho modulu* (symetrické a nesymetrické optimum)
4. *metódy priameho nastavovania regulátorov* založené na kompenzačných vlastnostiach s predpísanou dynamikou

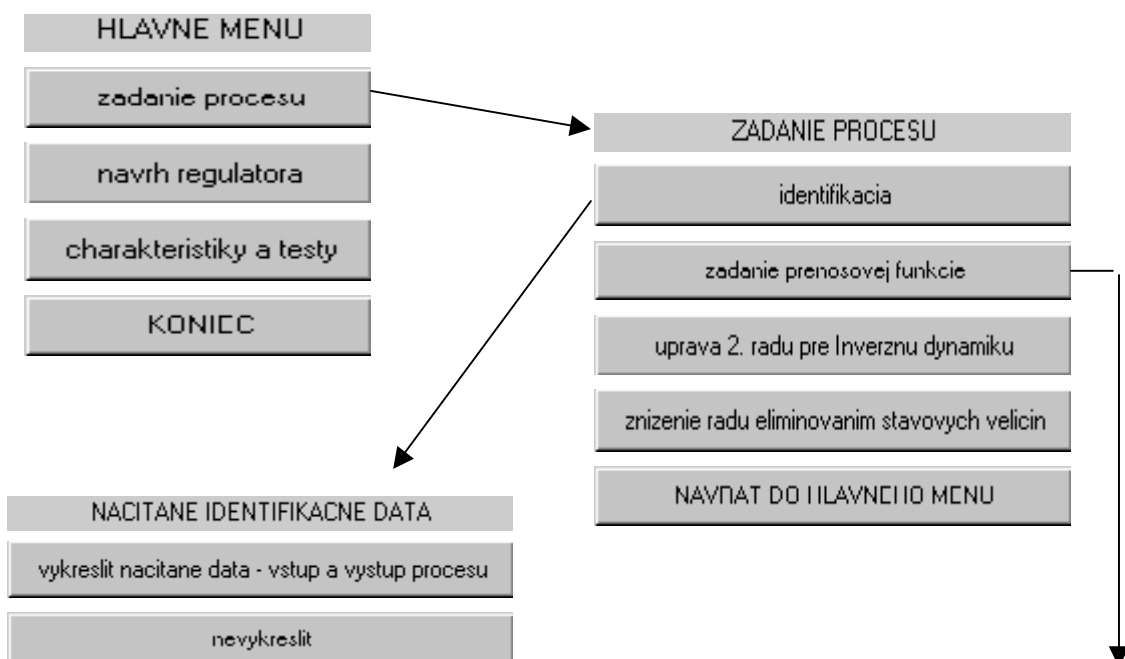
Moderné metódy výpočtu koeficientov spojitéch a diskretných regulátorov sú založené na priamej numerickej optimalizácii funkcionálov tvorených z regulačnej odchýlky, riadiaceho zásahu a výstupnej regulovanej veličiny a ich derivácií.

Medzi moderné metódy nastavovania koeficientov spojitéch a diskretných regulátorov patrí aj graficko-analytická metóda nazývaná metóda inverznej dynamiky, ktorá je vlastne modifikáciou metód priameho nastavovania a výpočtu koeficientov regulátorov.

V ďalšej časti príspevku je uvedená štruktúra a použitie programového systému SYNREG výberu optimálnej štruktúry a výpočtu optimálnych parametrov regulátora pre zvolený príklad.

4. ŠTRUKTÚRA PROGRAMOVÉHO SYSTÉMU SYNREG

Programový systém SYNREG má modulárnu štruktúru s nasledovnými prepojeniami :



PRENOSOVA FUNKCIA

$G_p(s) = 2.5 / (3s + 1)^3 \cdot \exp(-0.5s)$

$G_p(s) = (2.5) /$

$(27 s^3 + 27 s^2 + 9 s + 1) \cdot \exp(- 0.5s)$

ZADANIE PRENOSOVEJ FUNKCIE (pre inverznu dynamiku len poslednych 5)

posledna zadana

$(b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0) / (a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0) \cdot \exp(-D s)$

$K / (T s + 1)^n \cdot \exp(-D s)$

$K / s \cdot \exp(-D s)$

$K / (T s + 1) \cdot \exp(-D s)$

$K / s^2 (T s + 1) \cdot \exp(-D s)$

$K / (T_1 s + 1)(T_2 s + 1) \cdot \exp(-D s)$

$K / (T s + 1)^n \cdot \exp(-D s) ; 0 < -n < 0$

NAVRH SPOJITEHO PID REGULATORA

Metoda standardnych tvarov

Optimalny modul

Inverzna dynamika

Metoda casovych konstant

Ziegler-Nicholsova metoda

Naslinova metoda

manualne zadanie koeficientov

NAVPAT DO MENU NAVPII REGULATORA

OPTIMALNY MODUL - REGULATOR

I

PI

PD

PID

NAVRHNUTY REGULATOR

$K \cdot (1 + 1/(T_i s) + T_d s)$

$K = 0.74011$

$T_i = 7.479$

$T_d = 1.0740$

NAVRHNUTY REGULATOR

$P + I/s + D s$

$P = 0.74011$

$I = 0.098959$

$D = 1.4015$

CHARAKTERISTIKY A TESTY

charakteristiky riadeneho procesu

charakteristiky RO s navrhnutym regulatorom

NAVPAT DO HLAVNEHO MENU

CHARAKTERISTIKY PROCESU

prechodova charakteristika

rozmiestnenie polov a nul

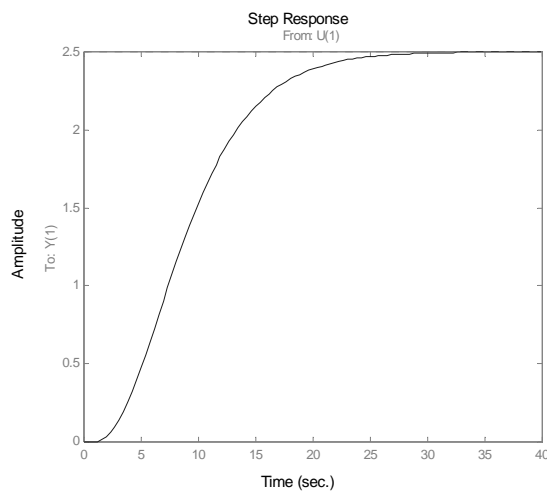
komplexna frekvencna charakteristika

logaritmicke frekvencne charakteristiky

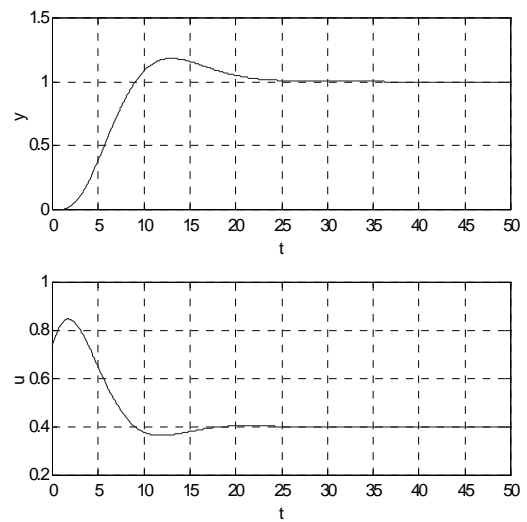
geometricke miesto korenov (GMK)

NAVPAT DO MENU CHARAKTERISTIKY A TESTY

Prechodová charakteristika procesu



Prechodová charakteristika URO



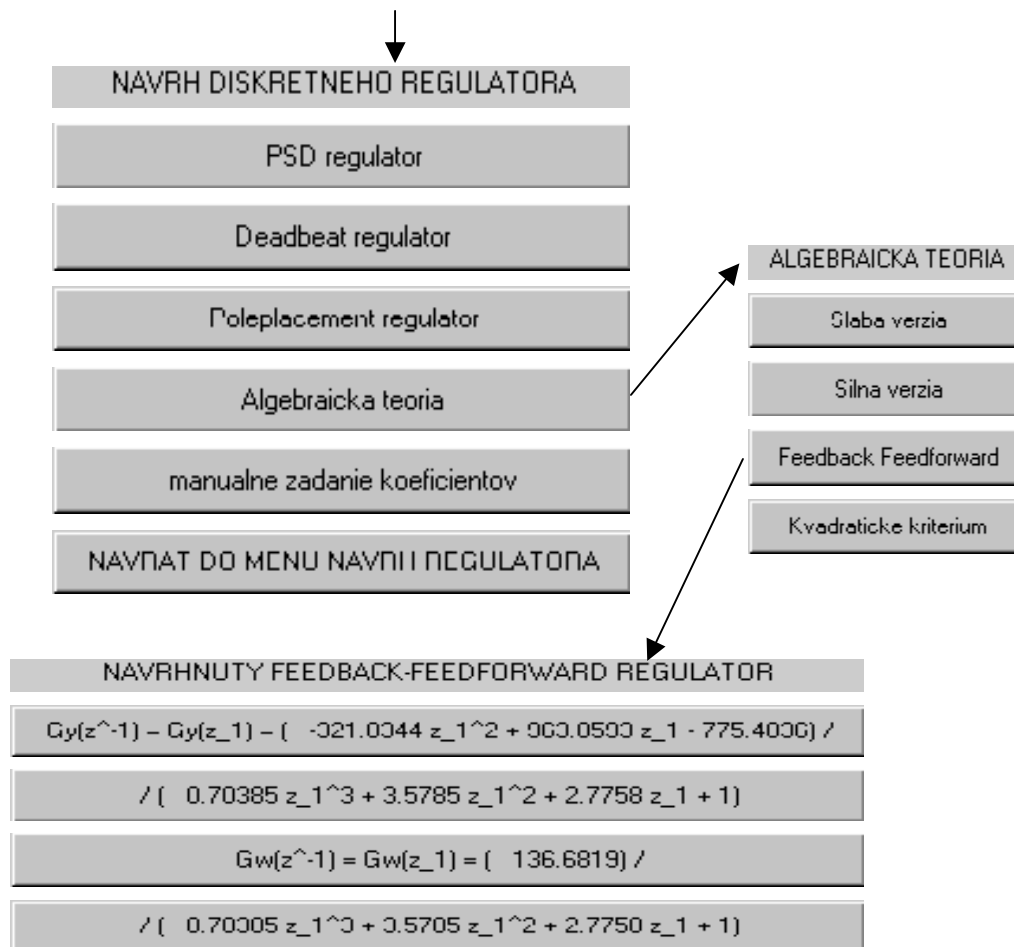
DISKRETNÝ PŘENOS PROCESU

$$G_p(z) = (0.0017032 z^2 + 0.0060155 z + 0.0013265) /$$

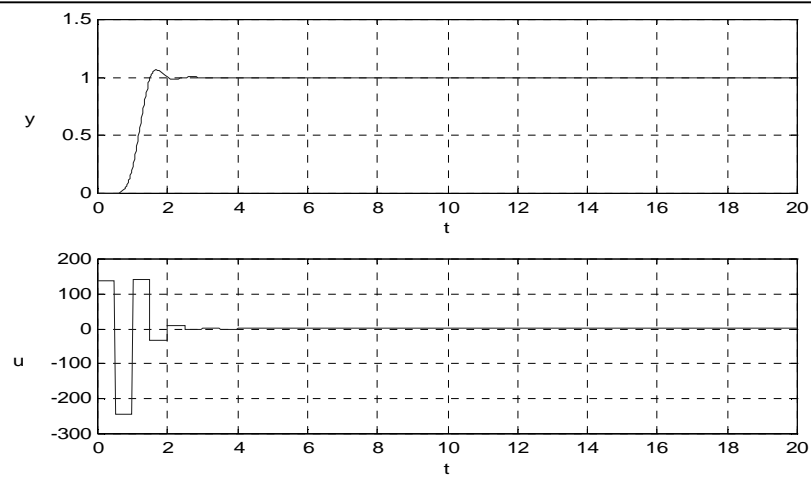
$$/ (z^4 - 2.5394 z^3 + 2.1496 z^2 - 0.60653 z)$$

$$G_p(z^{-1}) = G_p(z_1) = (0.0013265 z_1^4 + 0.0060155 z_1^3 + 0.0017032 z_1^2) /$$

$$/ (-0.60653 z_1^3 + 2.1496 z_1^2 - 2.5394 z_1 + 1)$$



Priebeh regulovanej veličiny a riadiaceho zásahu pri použití algebraického FFR.



5. ZÁVER

Navrhnutý programový systém SYNREG s modulárnou programovo štruktúrou umožní uže efektívnu podporu užívateľovi pri návrhu štruktúry a výpočtu koeficientov spojitéch a diskretných regulátorov. Bližšie o vlastnostiach a používaní uvedeného programového systému bude ukázané pri demonštráciách v posterovej prezentácii.

Predložený príspevok vznikol za podpory grantovej úlohy 1/1730/2000.
 Kontakt: KASR FEI STU Bratislava, Ilkovičova 3, 81219 Bratislava, Slovensko
 Email: kajjan@kasr.elf.stuba.sk, kozak@kasr.elf.stuba.sk