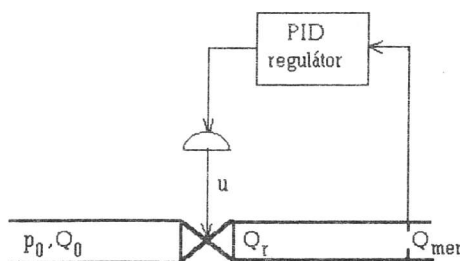


Regulácia prietoku v sústave s dopravným oneskorením

ANNA ZEMANOVIČOVÁ—MONIKA BAKOŠOVÁ—MÁRIA KARŠAIOVÁ

Súhrn: V príspevku sa rieši problém regulácie prietoku v sústave s dopravným oneskorením. Použilo sa riadenie pomocou Smithovho prediktora a výsledky riadenia sa porovnávali s riadením pomocou klasického PID regulátora.

V potravinárskom priemysle sa často vyskytuje problém regulácie prietokov. V prípade regulácie prietokov v potrubí (bez vyrovnávacej nádrže) ide o problém riadenia sústavy s dopravným oneskorením. Na obr. 1 je zobrazená bloková schéma riadenia prietoku. Na obr. 2 je prechodová charakteristika, ktorá vystihuje dynamiku takejto sústavy. Pri použití klasického PID-regulátora prietok kolíše a signál z meracieho člena je neustálený, čo nepriaznivo vplýva na kvalitu regulácie.

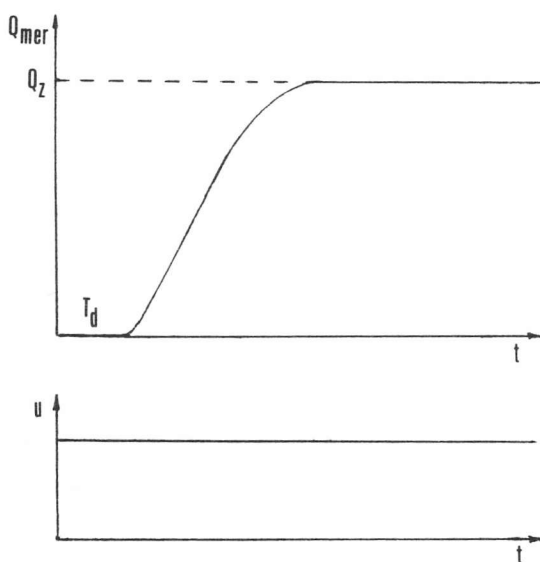


Obr. 1. Bloková schéma riadenia prietoku. p_0 — vstupný tlak, Q_0 — vstupný prietok, Q_{mer} — meraný prietok, u — akčná veličina.

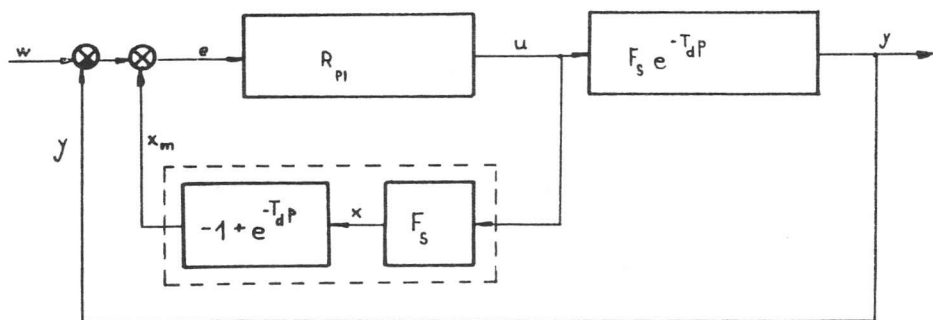
Fig. 1. Block scheme flow control. p_0 — input pressure, Q_0 — input flow, Q_{mer} — measured flow, u — manipulated variable.

Ing. Anna Zemanovičová, CSc., Ing. Monika Bakošová, CSc., Ing. Mária Karšaiová, CSc. Katedra automatizácie, Chemickotechnologická fakulta STU, Radlinského 9, 812 37 Bratislava.

Na obr. 3 je znázornená bloková schéma riadenia sústavy s dopravným oneskorením, kde w je žiadaná hodnota prietoku, u je akčný zásah (poloha regulačného ventilu), e je regulovaná odchýlka, R_{PID} je prenos PID-regulátora, y je regulovaná veličina (prietok), F_s je prenos sústavy bez dopravného oneskorenia, člen $e^{-T_d p}$ zohľadňuje vplyv dopravného oneskorenia T_d .



Obr. 2. Prechodová charakteristika sústavy s dopravným oneskorením. Q_{mer} — meraný prietok, Q_z — ustálený prietok pri skokovej zmene akčnej veličiny u , T_d — dopravné oneskorenie, t — čas.
Fig. 2. Block scheme of flow control. Q_{mer} — measured flow, Q_z — steady-state value of flow, T_d — dead time, t — time.



Obr. 3. Schéma riadiaceho obvodu.
Fig. 3. Scheme of the closed loop system.

Pri klasickej regulácii sa meraný prietok porovnáva so žiadanou hodnotou prietoku a vzniknutá regulačná odchýlka sa spracuje v PID-regulátore na akčný zásah u , ktorý pôsobí na regulačný orgán — ventil. V blokovej schéme toto zapojenie reprezentujú väzby, ktoré nie sú uzavreté v čiarkovanom obdĺžniku (obr. 3).

Riadenie pomocou Smithovho prediktora [2] je založené na tom, že keď poznáme matematický opis dynamiky regulovanej sústavy, môžeme zostaviť model, ktorý má dva členy. Jeden člen zohľadňuje sústavu bez dopravného oneskorenia — prenos F_s a druhý člen zohľadňuje dopravné oneskorenie (ide o člen $e^{T_{dp}}$). Potom signál x , ktorý ide z modelu bez dopravného oneskorenia sa odčíta od hodnoty $w - y$ a súčasne sa pripočíta signál x_M z modelu, ktorý je oneskorený o dopravné oneskorenie. Regulačná odchýlka pri klasickom riadení má tvar

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

Pre klasické riadenie sa ako najvhodnejší ukázal číslicový PI-regulátor (D-zložka spôsobovala kmitanie), ktorý je číslicovou verziou klasického spojitého PI-regulátora v tvare

$$u(t) = r_0 \left[e(t) + \frac{1}{r_i} \int_0^t e(t) dt \right]. \quad (2)$$

Číslicový algoritmus sa získa časovou diskretizáciou $t = kT_v$, t.j. zavedením funkcií $u(kT_v)$, $e(kT_v)$ a nahradením integrálu sumou. Číslicový PI-regulátor má potom tvar

$$u(k) = r_0 \left[e(k) + \frac{T_v}{r_i} \sum_{i=1}^k e(i) \right] \quad (3)$$

s proporcionálnou konštantou P a integračnou konštantou I pre ktoré platí

$$P = r_0, \quad (4)$$

$$I = r_0 T_v / r_i, \quad (5)$$

kde T_v je perioda vzorkovania.

Pri určovaní číselných konštánt regulátora sa postupovalo tak, že sa najprv identifikovala sústava z prechodovej charakteristiky. Jej prenos bol

$$F_s(p) = \frac{1}{(13p - 1)^2} e^{-35p}. \quad (6)$$

Na základe prenosu spojitý sústavy (6) sa určili metódou optimálneho modulu a Reinischovou metódou konštanty spojitýho regulátora [1], ktoré sa pomocou

vzťahov (6) a (7) prepočítali na konštanty číslicového PI-regulátora. Vzťah medzi prietokom Q a akčným zásahom u bol určený na základe merania statickej charakteristiky a bol lineárny.

Pri tvorbe modelu sme vychádzali z toho, že prenos (8) možno aproximovať sústavou prvého poriadku s väčším dopravným oneskorením

$$F^a(p) = \frac{1}{T^a p + 1} e^{-T_d p}, \quad (7)$$

kde $T^a = 32$ s, $T_d = 40$ s. Tomuto prenosu zodpovedá Z-prenos v tvare

$$F_s(z) = \frac{bz}{1 - az^{-1}} z^{-k} = \frac{(1 - d)z^{-1}z^{-k}}{1 - dz^{-1}}, \quad (8)$$

kde $d = e^{-T_v/T^a}$, $k = T_d a / T_v$, kde T_v je perióda vzorkovania. Pre periódu vzorkovania $T_v = 5$ s, ktorá sa počas experimentov ukázala najvhodnejšia, má Z-prenos modelu tvar

$$F_s(z) = \frac{0,145z^{-1}z^{-8}}{1 - 0,855z^{-1}}. \quad (9)$$

Výsledky riadenia sú spracované v tab. 1, kde za dobu regulácie považujeme čas, ktorý uplynie od začiatku regulácie dovtedy, kým výstup zo sústavy nedosiahne žiadanú hodnotu s 2,5% presnosťou, y_u je ustálený výstup prietoku v % maximálnej hodnoty prietoku, w je žiadaná hodnota prietoku v tých istých jednotkách.

V tab. 2 sú uvedené výsledky riadenia pre rôzne konštanty PI-regulátora. Ako vidieť z tabuľky je možné danú sústavu riadiť pomocou klasického PI-regulátora len pri nízkych konštantách regulátora ($P = 0,486$; $I = 0,07$), čo spôsobuje pomerne veľkú dobu regulácie. Pri väčších konštantách regulátora, napr.

Tabuľka 1. Ustálený výstup a čas regulácie pri riadení sústavy so zmenou žiadanej hodnoty
Table 1. Steady-state value of output and control time by control of the system with the change of the set point

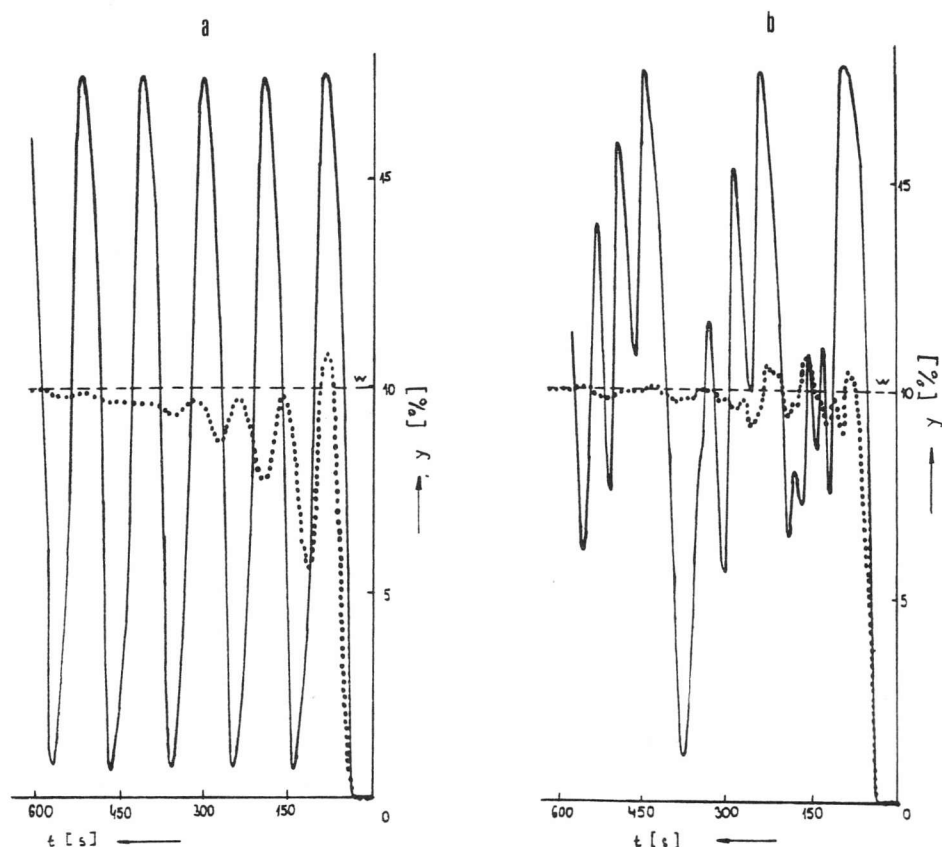
w^1 [%]	PI-regulátor ²		PI-regulátor + Smithov prediktor ³	
	y_u^4 [%]	t_{reg}^5 [s]	y_u^4 [%]	t_{reg}^5 [s]
5	4,84	260	4,84	405
10	9,92	210	9,92	325
15	14,90	205	14,90	270
20	19,99	195	19,99	255

¹Set point; ²PI-controller; ³PI-controller + Smith predictor; ⁴Steady-state value of output; ⁵Control time.

Tabuľka 2. Kvadratické regulačné plochy
Table 2. Integrals of square of error

Konštanty regulátora ¹		PI-regulátor ²	PI-regulátor + Smithov prediktor ³
P	I		
0,486	0,07	6 485,81	8 575,55
1,13	0,04	8 503,6	9 697,04
2,20	0,08	25 658,9	6 392,67
5,4	0,32	19 807,9	4 472,93

¹Controller constants; ²PI-controller; ³PI-controller + Smith predictor.



Obr. 4. Výsledky riadenia prietoku pre rôzne hodnoty konštánt PI-regulátora. a: — PI-regulátor; $P = 2,2$, $I = 0,08$; PI-regulátor + Smithov prediktor. b: — PI-regulátor; $P = 5,4$, $I = 0,32$; PI-regulátor + Smithov prediktor.

Fig. 4. The results of flow control for various constants of PI-controller. a: — PI-controller; $P = 2,2$, $I = 0,08$; PI-controller + Smith predictor. b: — PI-controller; $P = 5,4$, $I = 0,32$; PI-controller + Smith predictor.

$P = 2,2$ a $I = 0,08$, sa pomocou klasického PI-regulátora nepodarilo riadiť prietok, regulačný pochod bol kmitavý (obr. 4, plná čiara). Lepší priebeh bol pri riadení pomocou Smithovho prediktora (obr. 4, bodkovaná čiara).

Záver

Na riadenie sústav s dopravným oneskorením možno odporučiť riadenie pomocou Smithovho prediktora ak sa dynamika sústavy veľmi nemení. Ak sa dynamika mení, je potrebná priebežná identifikácia a adaptívne riadenie.

Literatúra

1. ŠVEC, J. a kol., Teorie automatického řízení. Praha, SNTL 1969.
2. MALEK-ZAVAREI, M.—JAMSHIDI, M., Time-delay Systems. Analysis Optimization and Applications. Systems and Control Series, Vol. 9. Amsterdam, North-Holland 1987.

Do redakcie došlo: 20. 2. 1992

Flow control as time-delay system

Summary

The problem of flow control in a controlled system with dead-time, which was compensated by Smith predictor, is solved in this paper. The obtained results were compared with the ones obtained by using of classical PI-controller.

Регулирование расхода в системе с транспортным опозданием

Резюме

В статье решается проблема регулирования расхода в системе с транспортным опозданием. Было использовано управление с помощью предсказывающего устройства Смита и результаты были сравнены с управлением с помощью классического PID регулятора.