

B. Zupančič, D. Matko, P. Šega, J. Pogačnik  
 Fakulteta za elektrotehniko  
 61000 Ljubljana, Tržaška 25

MODELIRANJE IN VODENJE STROJA ZA BRIZGANJE  
 PLASTOMEROV

MODELLING AND CONTROL OF THE INJECTION MOULDING  
 MACHINE

POVZETEK - Članek opisuje načrtovanje računalniške regulacije stroja za brizganje plastomerov Belmatic 45/25R. Opisali smo dvopoložajne PD in PID diskretne regulacijske algoritme. Za načrtovanje algoritma vodenja pa smo predhodno poiskali matematični model ogrevanja polžnega cilindra z metodo odziva na stopničasti vzbujevalni signal. Model smo realizirali na analognem računalniku, regulator pa smo izvedli s procesnim računalnikom.

ABSTRACT - The paper deals with the design of the computer control of the injection moulding machine Belmatic 45/25R. Two point PD and PID digital controllers are described. Mathematical model of the screw cylinder heating was obtained using step responses. The model was realised on analog computer and the controller was programmed on the process computer.

1. UVOD

Brizganje plastike je tehnologija predelave termoplastov. S tako tehnologijo dosežemo zelo dober izkoristek materiala in relativno kvalitetne izdelke.

Za brizganje plastike talimo material običajno v polžnem cilindru, v katerem se material ogreje in preide v tekoče stanje zaradi gnetenja. Pri tem je najpomembnejše, da pravilno ogrevamo telo cilindra, ki ima obliko cevi. Na ta način uravnavamo trenje granulata pri stiku s steno cilindra in dosežemo kontrolirano taljenje materiala, ki ga brizgamo v kalupe.

Naš cilj je bil, da načrtamo primerno računalniško regulacijo temperature na steni cilindra za stroj Belmatic tip 45/25R.

## 2. BRIZGANJE PLASTOMEROV

Obravnavali bomo proces brizganja plastomerov s strojem Bel-matic tip 45/25R. S stališča regulacije moramo dobro poznati polžni cilindri in z njim povezana termična dogajanja.

Plastika v zrnati obliki pada skozi lijak na polža, ki se vr-ti in s svojo obliko potiska in gnete material. vzdolž cilindra pre-haja material zaradi termične energije v tekoče stanje. Na koncu ci-lindra je šoba spojena z orodjem, v katerega vlivamo plastiko.

Termična energija prehaja v material na dva načina: v glav-nem zaradi gnetenja s polžem, delno pa tudi z zunanjim gretjem plaš-ča polžnega cilindra. Vendar pa je zunanje gretje pomembnejše zato, da omogoči pravilno trenje materiala v področju potiskanja. Vsak ma-terial zahteva precej natančno in specifično temperaturo.

## 3. MODELIRANJE POLŽNEGA CILINDRA

Ogrevanje polžnega cilindra pri omenjenem stroju je razdelje-no na tri območje. Stroj ima tri grelna telesa, ki objemajo telo ci-lindra. Vsak grelec je bil do sedaj reguliran posebej preko dvopolo-žajnega zveznega regulatorja ISKRATERM 2K-PD. V sredini vsakega grel-ca je izvrtina v telesu cilindra, v njej pa se nahaja vroča konica termočlena, s katerim merimo temperaturo.

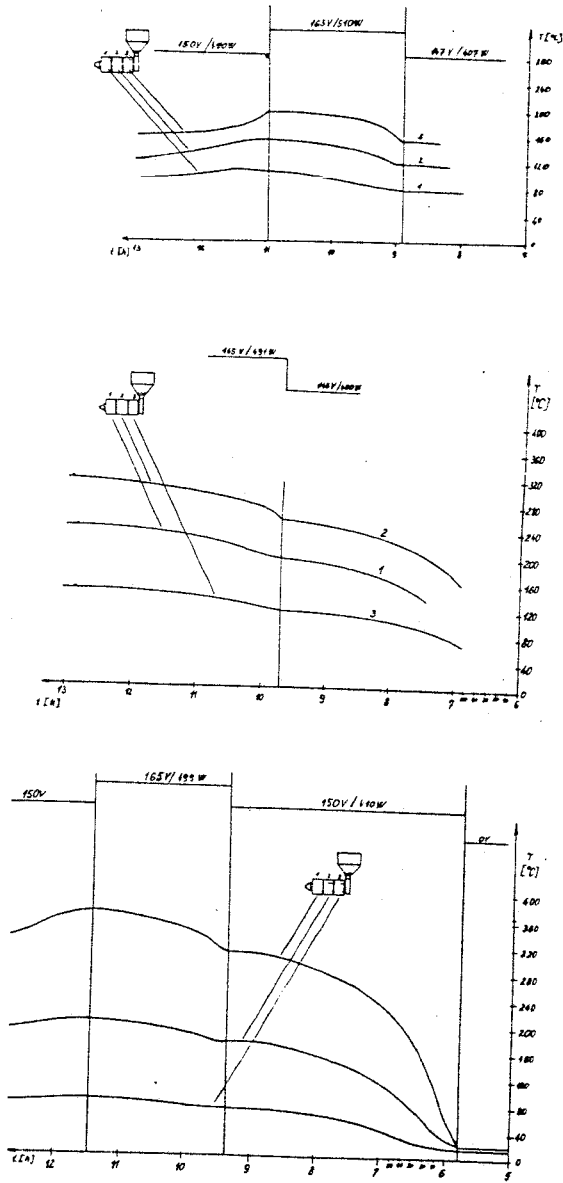
Sistem smo identificirali s stopničasto spremembo vhodnega si-gnala, t.j. električne moči, ki se troši na grelcu. Istočasno smo ime-li vključen le en grelec, ki pa je vplival na spremembo temperature na vseh treh merilnih mestih. Na variacu smo dovedli tako moč, da smo dosegli delovno temperaturo, nato pa smo v delovni točki (cca 400 W) izvedli spremembo za cca 90W in na risalniku posneli časovni potek temperature na vseh treh merilnih mestih. Ko smo opravili meritve za prvi grelec, smo podobno storili tudi za drugi in tretji grelec. Vse odzive prikazuje slika 1.

Na ta način smo prišli do multivariabilnega sistema s tremi vhodi in tremi izhodi, kar prikazuje slika 2.

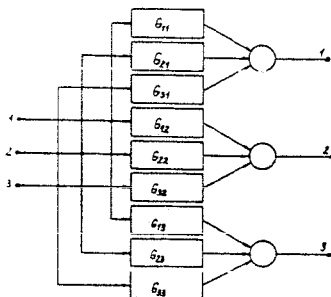
Vse prenosne funkcije imajo pri tem obliko

$$G_{ij} = \frac{K_p}{ST + 1} e^{-sT_m} \quad (1)$$

s parametri, ki jih prikazuje tabela I.



Slika 1. Spremembe temperature pri stopničasti spremembi moči grelca



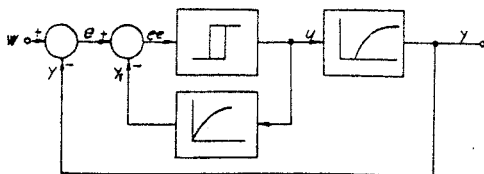
Slika 2. Multivariabilni model ogrevanja polžnega cilindra

	$G_{11}$	$G_{12}$	$G_{13}$	$G_{21}$	$G_{22}$	$G_{23}$	$G_{31}$	$G_{32}$	$G_{33}$
$T_m$ [min]	3	8	10	2	1	2	4	2.5	1
$T$ [min]	40	60	86	100	59	90	110	64	34
$K_p$	0.7	0.37	0.13	0.48	0.6	0.28	0.28	0.3	0.4

Tabela I: Parametri prenosnih funkcij

#### 4. DVOPOLOŽAJNI REGULATORJI S POV RATNO ZVEZO

Če damo relejski karakteristiki s histerezo v povratno zanko določeno prenosno funkcijo, dobimo dvopoložajne tipe regulatorjev, ki imajo podobne lastnosti kot zvezni regulatorji. Če uporabimo zakasnilno povratno zvezo, dobimo PD dvopoložajni regulator. Taka regulacija je zelo cenena in enostavna, saj ne zahteva D/A pretvornikov ampak le digitalni izhod iz računalnika. Tak regulacijski sistem prikazuje slika 3.



Slika 3. Dvopoložajni regulator s PD karakteristiko

Parametri takega regulatorja so: širina histereze, ojačenje povratne vezave, ki pomeni proporcionalno območje regulatorja, in pa časovna

konstanta povratne zveze.

Velikost regulirnega signala je pri takih regulatorjih v stacionarnem stanju določena z razmerjem časa vklopa proti času celotne periode signala. Velja enačba

$$\frac{t_{\text{vkl}}}{t_{\text{vkl}} + t_{\text{izk}}} = \frac{\ln \frac{x+z+\epsilon}{x+z-\epsilon}}{\ln \frac{x+z+\epsilon}{x+z-\epsilon} + \ln \frac{x-z+\epsilon}{x-z-\epsilon}} \quad (2)$$

Pri tem je

$2\epsilon$  - histereza preklopnega elementa

$2x = x_p$  - ojačenje povratne zveze oz. proporcionalno območje regulatorja

$z$  - konstantni vhodni signal v regulator.

Kot pri zveznih regulatorjih ima tudi tak regulator določeni pogrešek v stacionarnem stanju. Za merljive motnje ga je možno izračunati. Ena možnost kompenzacije je potem, da ga upoštevamo pri nastavitvi želene vrednosti. Želena vrednost moramo spremeniti za vrednost

$$Q = \frac{x_p \cdot w}{y} \quad (3)$$

Pri tem je:  $x_p$  - ojačenje povratne zveze

$w$  - želena vrednost

$y$  - maksimalna vrednost izhoda, ki jo dosežemo, če je proces trajno vzbujan z  $U = U_{\text{max}}$ .

Razen PD regulatorja smo realizirali tudi PID dvopoložajni regulator, s tem da smo v povratni zanki realizirali dva zakasnilna člena z različnima časovnima konstantama in z različnima predznakoma. Določene analitične izražave so seveda pri takem regulatorju še bolj zahtevne, zato je gotovo najenostavnejše in najuspešnejše orožje simulacija.

## 5. REZULTATI SIMULACIJE

Čeprav imamo opravka z multivariabilnim sistemom, pa smo za začetek načrtali navadne univariabilne regulatorje, od katerih vsak regulira preko svojega vhoda. Vpliv določenega vhoda na preostala izhoda pa smo obravnavali kot motnji na regulirana signala. Naredili smo izčrpno analizo vpliva posameznih parametrov regulatorjev na

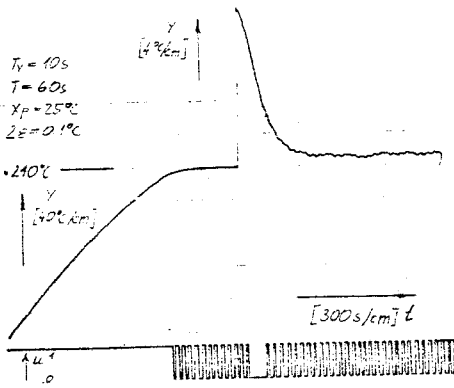
različne kriterije kvalitete regulacije: srednje kvadratično odstopanje regulirane veličine, porabo regulirane veličine (električnega toka), prenehaj regulirane veličine ter razpon nihanja regulirane veličine v stacionarnem stanju. Kompletni rezultati so zbrani v literaturi /1/.

Najprej smo preizkusili delovanje regulatorja ob zagonu. Ko se je regulirani signal stacioniral na  $210^{\circ}\text{C}$  (ko se je na vходу pojavilo neko konstantno razmerje med časom vklopa in časom periode nihanja električnega grelca), smo v točki delovne temperature povzročili majhno stopničasto motnjo  $20^{\circ}\text{C}$  na regulirani signal. Pri PD regulatorju smo tudi kompenzirali stacionarni pogrešek v delovni točki, medtem ko PID regulacija seveda nima pogreška v stacionarnem stanju.

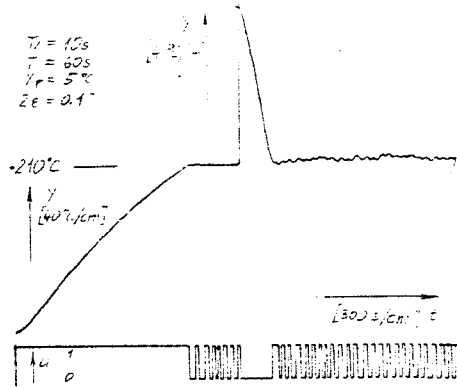
Slike 4,5 in 6 prikazujejo časovne poteke reguliranega in regulirnega signala. Lepo lahko opazimo napako v stacionarnem stanju. Vidimo, da manjše ojačenje povratne vezave  $x_p$  povzroči hitrejšo nastavitev regulirane veličine in manjšo napako v stacionarnem stanju. Slika 6 pa kaže razmere pri dvakrat daljšem času vzorčenja  $T_v$ . Pri tem dobimo precej večje nihanje regulirane veličine v stacionarnem stanju. Slika 7 pa prikazuje delovanje PID dvopoložajnega regulatorja. Pri tem smo tudi predpisali področje delovanja regulatorja ( $\text{POD} = 16^{\circ}\text{C}$ ). Zunaj tega področja je grelec le vključen ali izključen v odvisnosti od predznaka regulacijskega pogreška.

## 6. ZAKLJUČEK

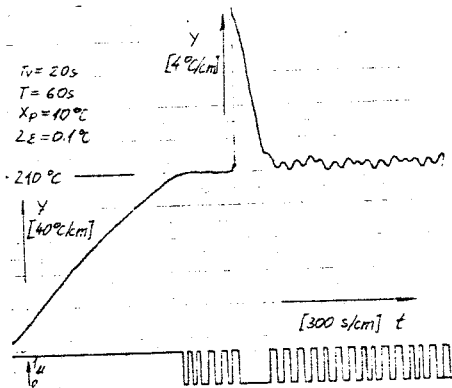
Študija, ki smo jo opisali v referatu, je seveda šele začetni poizkus avtomatizacije stroja za brizganje plastike. Zahtevam bi povsem zaščotal PD diskretni dvopoložajni regulator, saj lahko napako v stacionarnem stanju seveda le pri merljivih motnjah računsko kompenziramo. Tudi programska oprema je enostavnejša, ni pa tudi problemov z določitvijo področja delovanja, kjer naj se regulator vključuje, kot je to primer pri PID regulatorju. Z omenjenim postopkom in z mikroprocesorsko realizacijo opisanega regulatorja bi bilo relativno enostavno zamenjati dosedanje zvezne regulatorje Iskraterm in tudi precej izboljšati kvaliteto regulacije. Seveda pa bi bilo potrebno raziskati tudi možnosti načrtovanja multivariabilnega regulatorja, ki bi gotovo še dodatno prispeval h kvaliteti regulacije.



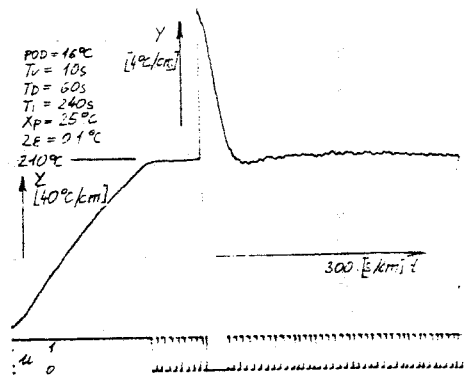
Slika 4



Slika 5



slika 6



Slika 7

## 7. LITERATURA

- /1/ Pogačnik J., "Dvopoložajni regulatorji". Diplomsko delo, FE, Ljubljana, 1983.
- /2/ Kinder H., Pohl G., "Kleines regelungstechnisches praktikum". VEB Verlag Technik, 175-185, Berlin, 1967
- /3/ Kinder H., Buchta H., "Aufgabensammlung zur regelungstechnik, VEB Verlag Technik, str. 211-225, Berlin, 1968
- /4/ Katzndeißer R., Rohcfig R., "Bleibende regeldifferenz bei zwei-punktregelern mit PID-verhalten". Regeltechnik, Heft 4, str. 128-131, Aachen, 1976
- /5/ Šega P., "Regulacija in sistemi". Skripta, FE, Ljubljana, 1983.