

PREDNOST DIGITALNOG UPRAVLJANJA POZICIJOM SA KLIZNIM RADNIM REŽIMOM SERVOPNEUMATSKOG CILINDRA

Vladislav Blagojević, dipl. inž. maš.,
Mašinski fakultet Niš, prof. dr Čedomir Milosavljević,
Elektronski fakultet Niš, i
prof. dr Miodrag Stojiljković, dipl. inž. maš.,
Mašinski fakultet, Niš

U radu je razmatran zadatak postizanja željene pozicije klipnjače cilindra. Upravljački sistem je projektovan primenom teorije sistema promenljive strukture. Algoritam upravljanja se bazira na digitalnom kliznom režimu. Izvršeno je upoređenje primenjenog algoritma sa konvencionalnim PID algoritmom upravljanja. Simulacijom na računaru ilustrovan je kvalitet rada razmatranog sistema.

Ključne reči: elektro-pneumatski sistem; sistemi promenljive strukture; digitalni klizni režim

ADVANTAGES OF DIGITAL CONTROL OF POSITION WITH THE SLIDING WORK MODE OF THE SERVO PNEUMATIC CYLINDER

The paper discusses the task of achieving the desired position of the cylinder's piston rod. The control system is designed by applying the variable structure system theory. The algorithm of control is based on the digital sliding mode. The applied algorithm was compared with the conventional PID algorithm of control. Computer simulation illustrated the quality of the discussed system's work.

Ključne reči: electro-pneumatic system; variable structure systems; digital sliding mode

1. Uvod

Zbog mnogih prednosti, kao što su niska cena, čistoća, lak način upravljanja itd., pneumatski sistemi se dosta koriste u industrijskoj automatizaciji za takozvana redosledna upravljanja. Međutim, zbog sve većih zahteva u vezi sa tačnim pozicioniranjem, naročito robota, javljaju se i druge tehnike upravljanja.

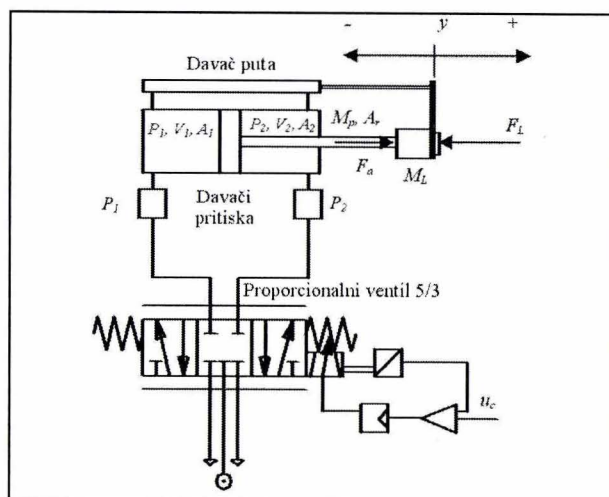
U radu je prezentovan nov način upravljanja pozicijom pneumatskog cilindra pomoću algoritma digitalnog upravljanja sa kliznim radnim režimom [1 i 3].

Radi pokazivanja prednosti ovakvog načina upravljanja, vršeno je upoređivanje sa upravljanjem pomoću PID regulatora. Određivanje parametara regulatora vršeno je na osnovu linearnog modela [2], na kome je vršena i simulacija rada, pomoću SIMULINK softverskog paketa MATLAB 6.0.0.88 Release 12, kompanije The MathWorks, Inc.

2. Matematički model

Pneumatski sistem, na kome se vrši poziciono upravljanje, sastoji se od pneumatskog cilindra dvostranog dejstva, razvodnika za napajanje (proporcionalnog 5/3 sa elektromagnetnim aktiviranjem), davača pozicije i senzora pritiska. Ovakav sistem je šematski prikazan na slici 1, gde su: M_L spoljašnja masa, M_p masa klipa i klipnjače, y pozicija, β koeficijent prigušenja, F_f sila prigušenja, F_L spoljašnje opterećenje, P_1 i P_2 apsolutni pritisci u klipnoj i klipnjačinoj komori cilindra, P_a atmosferski pritisak, A_1 i A_2 površine klipa sa strane klipne i klipnjačine komore, A_r površina poprečnog preseka klipnjače, i V_1 i V_2 zapremine klipne i klipnjačine komore.

Nakon identifikacije ovakvog sistema, kako je prikazano u literaturi [2], dobijamo prenosnu funkciju u s domenu, datu jednačinom (1):



Slika 1. Šematski prikaz pneumatskog sistema

$$\frac{y}{u}(s) = \frac{2(-s + 50,1809)}{(s + 4,8899 + 2,1512j)(s + 4,8899 - 2,1512j)} \quad (1)$$

odnosno:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -28,5387 & -9,7798 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

$$y = [100,3618 \quad -2] x \quad (2)$$

gde je u ulazni napon u proporcionalni ventil 5/3, vrednostio od -10 do $+10$ V, a y pozicija klipnjače cilindra u cm.

Da bi se uspešno primenio algoritam digitalnog upravljanja sa kliznim radnim režimom na model prikazan u jednačinama (1) ili (2), potrebno je sam model prebaciti u diskretni oblik korišćenjem odgovarajuće transformacije [1].

Kada se ova transformacija izvede sa periodom diskretizacije od $T = 25$ ms, dobija se diskretni oblik sistema izražen jednačinom (3):

$$x(k+1) = \begin{bmatrix} 0,3289 & 0,8845 \\ -25,2426 & -8,9791 \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} 0,0115 \\ 0,8845 \end{bmatrix} u(k)$$

$$y(k) = [100,3618 \quad -2] x(k) \quad (3)$$

3. Algoritam digitalnog upravljanja sa kliznim radnim režimom

Kao upravljanje u radu se koristi algoritam [1], koji sadrži dva režima, i to linearni i nelinearni. Nelinearni režim vodi sistem do okoline klizne ravni da bi linearni režim upravljanja dostigao kliznu ravan u jednom koraku i vršio dalje kretanje po njoj.

Neka je jednačina klizne ravni data kao:

$$s = c_{\delta}(T) \varepsilon \quad (4)$$

gde su:

$c_{\delta}(t)$ – matrica reda $1 \times n$, i

ε – greška, odnosno:

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} x_{zadjezina} - x \\ \dot{x}_{zadjezina} - \dot{x} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Upravljački signal dobija se kao rezultat jednačine (6) [1]:

$$u(k) = -c_{\delta}(T) A_{\delta}(T) \varepsilon(k) - \Phi(s(k), E(k)) \quad (6)$$

Kao što je rečeno, funkcija Φ se bira tako da samo upravljanje ima dva moda: linearni i nelinearni.

Do matrice $c_{\delta}(T)$, dolazi se pomoću jednačine:

$$c_{\delta}(T) = [c_1(T) \mid 1] P_1^{-1}(T), \quad (7)$$

Do potrebnih veličina za sračunavanje matrice $c_{\delta}(T)$, dolazi se pomoću sledećih jednačina [1]:

$$c_i(T) = \frac{1}{(i-1)!} \frac{d^{i-1} \prod_{j=1}^{n-1} (\delta - \delta_j(T))}{d\delta^{i-1}} \Big|_{\delta=0} \quad (8)$$

$$\delta_i(T) = \frac{e^{-iT} - 1}{T}, \quad \alpha_i > 0, \quad (9)$$

$$i \neq j \Rightarrow \alpha_i \neq \alpha_j, \quad i, j = 1, \dots, n-1$$

$$P_1^{-1}(T) = [b(T) \quad \dots \quad A_{\delta}^{n-1}(T)b_{\delta}(T)] \cdot \begin{bmatrix} a_1(T) & \dots & a_{n-1}(T) & 1 \\ a_2(T) & \dots & 1 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Funkcija $\Phi(s, E)$, računa se kao:

$$\Phi(s, E) = \Phi(s) = \min\left(\frac{|s|}{T}, \sigma + \rho|s|\right) \operatorname{sgn}(s); \quad (11)$$

$$0 \leq \rho T < 1, \quad \sigma > 0$$

Za diskretni sistem dat jednačinom (3), potrebni parametri za dobijanje upravljačkog signala su:

$$c_{\delta}(T) = [-0,0108 \quad 1,1307], \quad \rho = 0, \quad \sigma = 1. \quad (12)$$

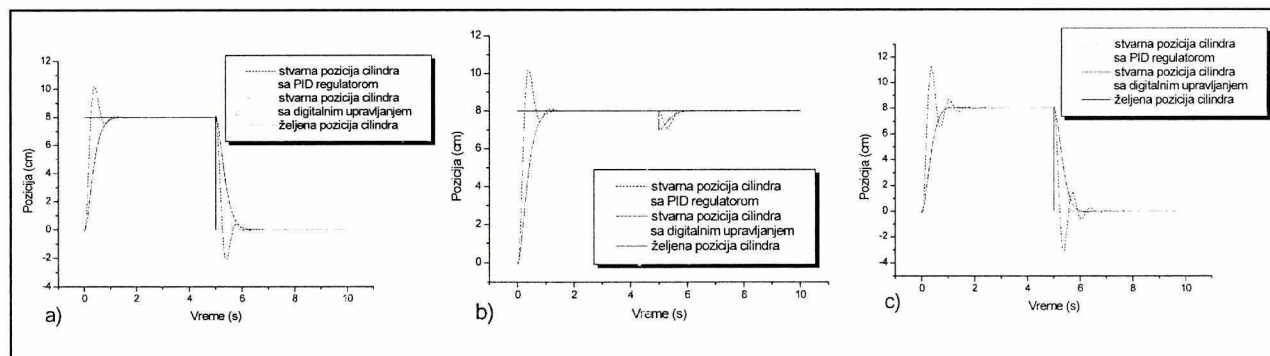
4. Simulacioni rezultati upravljanja pozicijom servopneumatskog cilindra

Simulacije upravljanja pozicijom vršene su na sistemu prikazanom na slici 1, odnosno u diskretnom obliku jednačinom (3), tako što se upravljački signal (napon) dovodi kao napajanje na proporcionalni ventil 5/3 sa elektromagnetnim aktiviranjem.

Da bi se pokazale dobre osobine upravljanja pozicijom korišćenjem digitalnog upravljanja sa kliznim radnim režimom, vršeno je upoređivanje sa rezultatima kada se kao upravljanje koristi PID regulator. Parametri PID regulatora jesu $K_p = 0,7606$, $K_i = 2,9782$, i $K_d = 0,0213$, videti literaturu [2]. Na slici 2, dati su simulirani rezultati upravljanja pozicijom, i to: a) kada sistem nije opterećen, b) kada je sistem opterećen promenom pritiska od 0,76 bara od trenutka 5s i c) kada na sistem deluje konstantno opterećenje od 3 kg. Na slici 2 se vidi da prilikom korišćenja PID regulatora kao upravljanja, sistem da bi dostigao željenu poziciju prethodno ima veliki preskok, a kasnije osciluje oko željene pozicije, dok ne dostigne stacionarno stanje. Ovo početno oscilovanje se pojačava ako na sistem deluje kontinualno opterećenje određene mase, odnosno kako je na slici 2c pokazano, mase od 3 kg. Što je veće opterećenje to je i oscilovanje oko željenog položaja veće i duže.

Prilikom korišćenja digitalnog algoritma upravljanja pozicijom sa kliznim radnim režimom, sistem bolje dostiže željenu poziciju. Pod ovim terminom podrazumeva se da prilikom dostizanja željene pozicije sistema, odnosno položaja klipnjače cilindra, ne dolazi do oscilovanja sistema. Oscilovanje sistema se ne javlja čak ni kada deluje neki spoljašnji poremećaj u vidu promene pritiska ili mase sistema, što upravo i predstavlja jednu od prednosti ovakvog algoritma upravljanja u odnosu na PID regulator.

Greške između željene i stvarno postignute pozicije u stacionarnom stanju su pri primeni digitalnog algoritma upravljanja mnogo manje od onih kada se koristi PID regulator.



Slika 2. Simulirani rezultati odziva sistema; a) kada sistem nije opterećen, b) kada je sistem opterećen promenom pritiska od 0,76 bara od trenutka 5s i c) kada na sistem deluje konstantno opterećenje od 3 kg

Što se tiče grešaka u stacionarnom stanju, one se povećavaju pri upravljanju PID regulatorom kada na sistem deluje neki spoljašnji poremećaj u vidu promene pritiska ili porasta mase sistema. Pri digitalnom upravljanju pozicijom sa kliznim radnim režimom, greška u stacionarnom stanju se ne povećava ukoliko na sistem deluje neki spoljašnji poremećaj, što takođe predstavlja prednost ovakvog načina upravljanja u odnosu na PID regulator.

5. Zaključak

U radu je ukratko izložen problem postizanja željene pozicije klipnjače cilindra i prikazan je algoritam digitalnog upravljanja sa kliznim radnim režimom koji rešava ovaj problem. Sam sistem spada u klasu neminimalno faznih objekata čiju stabilnost treba proučiti, što zbog obima rada nije obuhvaćeno. Algoritam upravljanja zadovoljava svoj zadatak jer obezbeđuje brzo dostizanje željene pozicije i to bez preskoka i oscilovanja na početku. Prednosti ovakvog načina upravljanja odnosno aktiviranja proporcionalnog ventila 5/3 sa elektromagnetnim aktiviranjem pokazane su u poglavlju 4, gde je vršeno upoređivanje sa PID regulatorom. Iz svega ovoga proizilazi da je upotreba digitalnog upravljanja pozicijom sa kliznim radnim režimom mnogo bolja i robusnija u odnosu na konvencionalne metode upravljanja.

Literatura

- [1] Golo, G., Č. Milosavljević, *Robust discrete-time chattering free sliding mode control*, Elsevier Systems & Control Letters, 2000, pp. 19–28.
- [2] Shil, M., S. Tseng, *Identification and Position Control of a Servo Pneumatic Cylinder*, Control Eng. Practice, 1995, pp. 1285–1290.
- [3] Blagojević, V., Č. Milosavljević, M. Stojiljković, *Digital Control of Pneumatic Actuator*, IS 2002, Vrnjačka Banja, 2002, pp. 152–157.
- [4] Utkin, V., *Sliding Modes in Control and Optimization*, Springer Verlag, 1992.
- [5] Richer, E., Y. Hurmuzlu, *A High Performance Pneumatic Force Actuator System*, ASME 2000, Vol. 122, No. 3. pp. 416–425.
- [6] Xiang, F., *Block-Oriented Nonlinear Control of Pneumatic Actuator System*, KTH, Stockholm, 2001.
- [7] Stojiljković, M., *Logička sinteza pneumatskog upravljanja*, MF, Niš, Niš, 2002.
- [8] Blagojević, V., seminarski rad iz metoda merenja i metrologije – *Merenje pritiska u cilindru*, Mašinski fakultet, Niš, 2000.

PROCESNA
TEHNIKA

PREGLEDNI RAD • SUBJECT REVIEW

UDK 681.586/587

BIBLID 0352–678X (2003) 19:4 p. 34–41

NEKONVENCIONALNI PNEUMATSKI AKTUATORI – PNEUMATSKI VEŠTAČKI MIŠIĆI

Prof. Dragan Šešlija, dipl. inž. maš., i
Čedomir Minić, dipl. inž. maš.,
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

U radu je izložen pregled nekonvencionalnih pneumatskih aktuatora kao nove oblasti koja predstavlja izazov za automatizaciju budućnosti. U ovom delu je pregled sadašnjeg stanja u oblasti istraživanja i primene pneumatskih veštačkih mišića. Prikazana su dva tipa koji su u fazi istraživanja: McKibben-ov veštački mišić i naborani pneumatski veštački mišić (NPVM) i jedan komercijalno dostupan tip – fluidni mišić MAS. Izložene su osnovne karakteristike, problemi koji su uočeni u ispitivanjima kao i mogućnosti primene.

Ključne reči: nekonvencionalni pneumatski aktuatori; veštački mišić; fluidni mišić

NONCONVENTIONAL PNEUMATIC ACTUATORS – ARTIFICIAL PNEUMATIC MUSCLES

In this paper is shown an overview of nonconventional pneumatic actuators as a new area that represents the challenge for the automation of the future. In this part, state of the art in research and application area of artificial pneumatic muscles is given. Two types are

shown that are in research phase (McKibben artificial muscle and pleated artificial muscle) and one type that is commercially available – fluidic muscle MAS. The basic characteristics, problems that are evidenced during the testing and application possibilities are also shown.

Key words: nonconventional pneumatic actuators; artificial muscle; fluidic muscle

1. Uvod

Automatizacija procesa rada je od velikog značaja, kako za razvoj proizvodnje, tako i u širem smislu humanizacije rada, odnosno oslobađanja ljudi od zamornih, monotoni, ponavljajućih poslova. Značajan udeo u realizaciji automatskih procesa rada čine pneumatski sistemi.

Vazduh pod pritiskom je jedan od najrasprostranjenijih oblika energije koja se koristi u industriji, a pneumatski sistemi se primenjuju, pored industrije, i u mnogim drugim oblastima ljudskog delovanja, kao što su zanatske radionice, trgovina, laboratorije, bolnice, istraživački i obrazovni centri, poljoprivreda, rudarstvo itd.

Pneumatski izvršni organi ili pneumatski aktuatori su izlazni uređaji za pretvaranje energije vazduha pod pritiskom u koristan rad. Podela pneumatskih aktuatora može da se izvrši na više načina, u zavisnosti od primenjenih kriterijuma. Prema nivou pritiska koji koriste dele se na aktuatori koji rade sa natpritiskom i aktuatori koji rade sa potpritiskom. Kao izlazni uređaji koji rade sa potpritiskom koriste se vakuumske sisaljke i vakuumske glave za hvatanje delova. Pored standardnih linearnih i rotacionih aktuatora koji rade na vazduh pod priti-