Mr Branko Đedović,
major, dipl. inž.

SIMULACIJA NA RAČUNARU ELEKTROHIDRAULIČNOG SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA VOJNOTEHNIČKIM OBJEKTOM NEPOVOLJNIH KARAKTERISTIKA

Uvod

Radi ispitivanja ponašanja elektrohidrauličnog sistema automatskog upravljanja, na bazi savremene teorije i nove tehnologije sistema upravljanja (metoda prostora stanja), u radu je prikazana tehnika simulacije modela upravljanja na digitalnom računaru. Objekt upravljanja predstavljen je obrtnom masom velikog momenta inercije koja se obrće u horizontalnoj ravni — kupola zajedno sa cevi borbenog sredstva. Simulacija procesa na digitalnom računaru vršena je radi izvođenja kompleksne analize kvaliteta ponašanja sistema pri realizaciji zadatka upravljanja.

Efikasnost pogotka cilja i verovatnoća njegovog uništenja borbenim sredstvima naoružanja u direktnoj je zavisnosti od tačnosti praćenja cilja preciznim ugaonim položajem i brzinom ugaonog pomeranja po pravcu i elevaciji cevi oruđa. Ciljevi — sistemi naoružanja, proizvodi su novih tehnologija, a njihova konstrukcija rezultat primene najnovijih tehničkih, teoretskih i praktičnih saznanja niza multidisciplinarnih nauka. Njihove performanse i taktičko-tehničke karakteristike ispoljene su visokim dinamičkim svojstvima pa se pred konstruktore izvršnih organa sistema za upravljanje vatrom oruđa postavlja zadatak

projektovanja visoke preciznosti položaja i maksimalne brzine reagovanja. Ovaj zadatak prati niz ograničenja fizičke i tehničke prirode.

Dosadašnja rešenja u realizaciji upravljačke konture izvršnih organa sistema upravljanja vatrom, kod nas i u svetu, dala su samo delimično zadovoljavajuće rezultate.

Predloženi rad ima za cilj da ukaže na mogućnosti istraživanja koncipiranog rešenja simulacijom na digitalnom računaru i ispitivanja ponašanja servosistema pri različitim kombinacijama promenljivih parametara, radi izbora najpovoljnijeg rešenja.

Realizacija upravljačke funkcije

Elektrohidraulički sistem automatskog upravljanja obrtnom masom velikog momenta inercije koncipiran je od:

- upravljačkog podsistema,
- podsistema izvršnih organa.

Upravljački podsistem omogućava potpuno definisanje algoritma upravljanja i formiranje upravljačkog signala na izlazu iz mikroračunara kojim se utiče na podsistem izvršnih organa.

Upravljački podsistem sačinjavaju:
— informacioni sistem;

Sl. 1 — Principijelna šema sistema upravljanja

U_u — Upravljački signal, M_v — Obrtni moment, Θ — Ugao, U_{tg} — Signal povratne veze brzine, U_p — Signal povratne veze položaja

- upravljački blok operatora;
- mikroračunar sa interfejsima, A/D i D/A konvertorima;
- elektronski pojačavač signala, i
- davači informacija povratnih sprega.

Podsistem izvršnih organa omogućuje realizaciju upravljačke funkcije generisanjem fizičkih veličina koje definišu statičke i dinamičke karakteristike objekta upravljanja.

Podsistem izvršnih organa sačinjavaju:

- elektronsko pojačalo signala sa izvorom električne energije;
- elektrohidraulični dvostepeni servorazvodnik sa izvorom hidraulične energije;
- hidromotor, i
- reduktor.

Principijelna šema elektrohidrauličnog sistema automatskog upravljanja obrtnom masom prikazana je na slici 1.

Za analitičko ispitivanje dinamičkih karakteristika objekta upravljanja, nakon statičkog proračuna i izbora hidrauličnih komponenti za zadani momenat inercije obrtne mase, postavljene su odgovarajuće diferencijalne jednačine kojima je opisan podsistem izvršnih organa u sistemu automatskog upravljanja.

Opisani sistem upravljanja predstavljen je blok-dijagramom koji je prikazan na slici 2.

Sl. 2 — Blok dijagram elektrohidrauličnog sistema upravljanja

U_u — Upravljački signal, ε — Signal na izlazu iz regulatora, R — Regulator, Y — Izlazna veličina sistema, K_a — Koeficijent pojačanja elektronskog pojačala, K_p — Koeficijent senzora položaja, K_{tg} — Koeficijent tahogeneratora, S — Laplaceov operator

Sinteza digitalnog sistema upravljanja

U projektu posmatranog sistema upravljanja primenjen je digitalni regulator koji, u poređenju sa analognim, s obzirom na mogućnost programiranja, poseduje veću fleksibilnost i dopušta prilagođavanje regulatora karakteristikama objekta bez izmene fizičke realizacije.

Pošto je projektovani sistem hibridni, sadrži digitalne i analogne komponente, te koristi digitalni upravljački uređaj, neophodno je izvršiti konverziju analognih u digitalne signale, i obratno. Konverzija digitalnih signala u analogne realizuje se primenom ekstrapolatora nultog reda.

U postupku sinteze digitalnog sistema automatskog upravljanja prvo je određena »z« transformacija prenosne fun-

kcije ekstrapolatora nultog reda i prenosne funkcije kontinualnog dela sistema.

Primenom bilinearne transformacije i digitalnom korekcijom sistema — projektovanjem digitalnog regulatora, na bazi komparacije logaritamske am-

plitudne i fazne karakteristike, koja zadovoljava zahtevane performanse sistema sa logaritamskom amplitudnom i faznom karakteristikom nekorigovanog sistema, sledi prenosna funkcija otvorenog kola digitalnog korigovanog sistema upravljanja:

$$Gr \cdot Gho \cdot Gpr(w) = \left[\frac{0,83 \cdot Ka \cdot (0,664 \cdot w - 1) \cdot (1,444 \cdot w + 1) \cdot (1,585 \cdot w + 1)}{(w + 1) \cdot (w + 1) \cdot (w + 1)} \right] \cdot \left[\frac{1}{(0,664 - 1) \cdot (0,143 \cdot w + 1)} \right]$$

gde je:

- Gr — prenosna funkcija regulatora,
- Gho — prenosna funkcija ekstrapolatora nultog reda,
- Gpr — prenosna funkcija kontinualnog dela sistema upravljanja,
- w — operator bilinearne transformacije.

Simulacija sistema upravljanja na računaru

Za ispitivanje ponašanja elektrohidrauličnog sistema automatskog upravljanja obrtnom masom u horizontalnoj ravni, osim matematičke analize, izvršena je i simulacija na digitalnom računaru SYBER 170, korišćenjem programskog jezika FORTRAN.

Simulirana je prethodno dobijena prenosna funkcija sistema upravljanja u obliku:

$$\frac{Gr \cdot Gho \cdot Gpr}{1 + Gr \cdot Gho \cdot Gpr} = \frac{22,798 \cdot w^2 + 30,169 \cdot w + 9,96}{0,143 \cdot w^4 + 1,429 \cdot w^3 + 1,429 \cdot w^2 + 3,143 \cdot w + 1}$$

Izborom faznih promenljivih stanja, jednačine stanja sistema upravljanja izražavaju se relacijama:

$$\dot{x}_1 = x_2,$$

$$\dot{x}_2 = x_3,$$

$$\dot{x}_3 = x_4,$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_4 &= \frac{1}{0,143} \cdot (U_u - 1,429 \cdot x_4 - \\ &\quad - 24,157 \cdot x_3 - 33,21 \cdot x_2 - 10,96 \cdot x_1) \\ y &= 22,80 \cdot x_3 + 30,17 \cdot x_2 + \\ &\quad + 9,96 \cdot x_1. \end{aligned}$$

Matrični oblik jednačina glasi:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -76,6 & -233 & -169 & -10 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 7 \end{bmatrix} \cdot U_u$$

$$\underline{y} = [9,96 \quad 30,17 \quad 22,80] \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

Blok-dijagram jednačine stanja sistema upravljanja prikazan je na slici 3.

Dijagrami odziva sistema upravljanja obrtnom masom u horizontalnoj ravni, simuliranog na računaru, za raz-

ranja odnosa ulazne promenljive i izlaza. Ona se otklanja uvođenjem linearnog pojačanja u sistem. Za pojačanje $K_a=12$ greška je u dozvoljenim granicama.

Sl. 3 — Blok dijagram promenljivih stanja sistema upravljanja simuliran na digitalnom računaru

U_u — Upravljački signal, Y — Izlazna veličina sistema, $\hat{x}_1$ do $\hat{x}_4$ — Fazne promenljive stanja, x_1 do x_5 — Fazne promenljive stanja

ličite faktore pojačanja elektronskog pojačala K_a ($K_a=2$ i $K_a=12$) izgledaju kao na slici 4.

Sl. 4 — Dijagram odziva sistema upravljanja za jediničnu odskočnu funkciju za različito pojačanje K_a

Analizom dijagrama uočava se da je greška ustaljenog stanja $e=10\%$ za pojačanje $K_a=2$, što ne odgovara projektnim zahtevima. Greška ustaljenog stanja je posledica neusklađenog skali-

Program za simulaciju teoretskog modela sistema upravljanja na digitalnom računaru SYBER 170 u FORTRANU-u dat je u sledećim naredbama:

```

0010 INTER N, K
0020 REAL X, Y (5), H, YIZLAZ
0030 REAL Q (5), YPRIME (5)
0040 EXTERNAL
0050 H=0.001
0060 N=5
0070 X=0.0
0080 DO 13 I=1,N
0090 Q(I)=0.0
0100 YPRIME(I)=0.0
0110 Y(I)=0
13 0120 CONTINUE
0130 II=0
0140 DO 10 K=1,4000
0150 CALLRUNKT (N, X, H, Y, Q,
    YPRIME)
0160 YIZLAZ=22.798 Y(3)+30.17
    Y(2)+9.96 Y(1)
0170 II=II+1
0180 IF(II.LT.20) GO TO 10
0190 WRITE (6, )X, YIZLAZ
0200 WRITE (6, )X, Y(1), Y(2),
    Y(3), Y(4)

```

```

0210 II=0
10 0220 CONTINUE
13 0230 STOP
0240 END
0250 SUBROUTINE RUNKUT (N<
    <X, H, Y, Q, YPRIME)
0260 DIMENSION Y(N), Q(N), YPR-
    IME(N), GILL(16)
0270 DATA GILL/0.,.5,0.,.5,.
    5,. 29893,1.70711,. 16167,
    2., 1.,1.,2.,.5,. 29893,1.
    70711,.5/
0280 DO 60 J=1.4
0290 X=X+GILL(J) H
0300 CALL DJDN (N, X, Y, YPRI-
    ME)
0310 DO 80 I=1, N
0320 S=GILL(4+J) (YPRIME(I)-
    -GILL(8+J) Q(I) )
0330 Y(I)=Y(I)+S H
0340 Q(I)=Q(I)+3 S-GILL(12+J)
    YPRIME(I)
80 0350 CONTINUE
60 0360 CONTINUE
0370 RETURN
0380 END
0390 SUBROUTINE DJDN (N, X,
    Y, TPRIME)
0400 INTEGER N
0410 REAL Y(N), YPRIME(N)
0420 YPRIME(1)=Y(2)
0430 YPRIME(2)=Y(3)
0440 YPRIME(3)=Y(4)
0450 YPRIME(4)=(1-1.429 Y(4)-
    -24.157 Y(3)-33.31 Y(2)-
    -10.96 Y(1))/0.143

```

```

0460 RETURN
0470 END

```

Iz dijagrama odziva digitalnog sistema na jediničnu odskočnu funkciju za $K_a=12$ (slika 4), slede pokazatelji rada sistema u prelaznom i stacionarnom stanju:

— vreme uspona $T_u=0,18$ s,
 — vreme smirenja (za $e=2\%$) $T_s=0,58$ s,
 — preskok sistema $M_p=1,32$,
 — predominantna vremenska konstanta $T_d=0,09$ s,
 — vreme kašnjenja $T_k=0,08$ s.

Navedeni pokazatelji ukazuju na zadovoljavajuće ponašanje sistema upravljanja obrtnom masom u prelaznom i stacionarnom stanju, odnosno na postignutu zahtevanu preciznost položaja i brzohodnost.

Zaključak

Na temelju analize realizacije sistema automatskog upravljanja obrtnom masom, simulacijom na digitalnom računaru dobijeni su pokazatelji kvaliteta rada sistema u prelaznom i stacionarnom stanju, koji ukazuju na zadovoljavajuće ponašanje sistema upravljanja, bez izrade fizičkog modela. Simulacija je omogućila proučavanje uticaja promene pojedinih parametara na sistem u celini.

Literatura:

- [1] Abdulic, R., i Ciner, P.: Elektrohidraulički servosistemi, Zagreb, 1985.
- [2] Besekerskij, V. A., i Izrancev, V. V.: Sistemi avtomatičeskovo upravljenja s mikro EBM, Moskva, 1987
- [3] Đedović, B.: Mikroročunarska implementacija digitalnog regulatora pozicionog sistema automatskog upravljanja rotacijom, HIPNEF '88.
- [4] Grujić, Ž.: Hidraulički servosistemi, Zagreb, 1979.
- [5] Kvakernak, H., i Sivan, R.: Linear Optimal Control Systems, J. Wiley, 1972.
- [6] Spechart, F. H., i Green, W. L.: A GUIDE TO USING CSMP — The Continuous System Modeling Program, EngleWood Cliffs 1976.