

# UTICAJ FIZIČKIH VELIČINA OPRUGE POVRATNE SPREGE NA KARAKTERISTIKE DVOSTEPENOG SERVORAZVODNIKA

Dušan Gordić<sup>1</sup>, Milun Babić<sup>2</sup>, Vanja Šušteršić<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, email: gordic@ptt.yu

<sup>2</sup> Mašinski fakultet Kragujevac, email: nastasija@ptt.yu

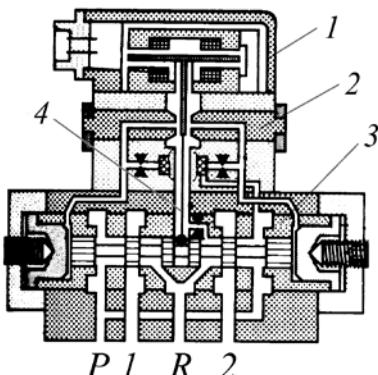
<sup>3</sup> Mašinski fakultet Kragujevac, email: vanjas@knez.uis.kg.ac.yu

**Rezime:** Kod dvostepenih elektrohidrauličnih servorazvodnika sa mehaničkom povratnom spregom po položaju razvodnog klipa, povratna sprega se ostvaruje uz pomoć opruge povratne sprege. Ova opruga je kruto vezana za donji kraj odbojne pločice prvog stepena hidrauličnog pojačanja, a na njenom donjem kraju se nalazi kuglica kojom se ostvaruje kontakt sa razvodnim klipom drugog stepena hidrauličnog pojačanja. Kuglica se ubacuje u odgovarajući žljeb na klipu, pri čemu se, zbog konstrukcije, javlja mali zazor.

U radu su izvedeni izrazi za određivanje sile (obrtnog momenta) usled deformacije opruge povratne sprege, pri čemu je uzeta u obzir veličina navedenog zazora. Analizirane su vrednosti obrtnog momenta usled deformacije opruge povratne sprege, za slučaj uzimanja i zanemarivanja veličine zazora na klipu, kao i uticaj fizičkih veličina opruge povratne sprege (dužine i krutosti) na karakteristike prelaznog procesa jednog servorazvodnika iz proizvodnog programa Prve Petoteletke - Trstenik.

## 1. UVOD

Dvostepeni elektrohidraulični servorazvodnici sa mehaničkom povratnom spregom po položaju razvodnog klipa drugog stepena hidrauličnog pojačanja (3), sa momentnim motorom kao elektromehaničkim pretvaračem (1) i razvodnikom tipa mlaznik - odbojna pločica kao prvim stepenom hidrauličnog pojačanja (2), predstavljaju najviše korišćeno rešenje servorazvodnika u izvedenim elektrohidrauličnim regulacionim sistemima (slika 1). Povratna sprega između prvog i drugog stepena hidrauličnog pojačanja, ostvaruje se pomoću opruge povratne sprege (4). Ova opruga je kruto vezana (zavarena) za donji kraj odbojne pločice prvog stepena hidrauličnog pojačanja i na njenom donjem kraju se nalazi kuglica, kojom se ostvaruje kontakt sa razvodnim klipom drugog stepena hidrauličnog pojačanja.



Slika 1. Dvostepeni elektrohidraulični servorazvodnik sa mehaničkom povratnom spregom

1 - momentni motor, 2 - prvi stepen,

3 - drugi stepen, 4 - opruga povratne sprege  
P - priključak pumpnog voda, R - priključak rezervoara, 1, 2 - priključci izvršnog organa

Kada se servorazvodnik montira, kuglica se ručno ubacuje u urez (žljeb) na klipu. Pri uparivanju odgovarajućeg ureza na klipu i kuglice opruge povratne sprege, maksimalno se vodi računa o dimenzijama ureza i kuglice. Naime, pravi se kompromis između utiskivanja kuglice u urez, što dovodi do velikih sila trenja, i ostavljanja malog zazora, koji negativno utiče na kvalitet povratne sprege [1]. Zbog jednostavnosti izrade, urez je kružni (izvodi se celim obimom klipa), što predstavlja dodatnu poteškoću. Precizno smeštanje kuglice u urez na klipu, može se zato ozbiljno narušiti

i za vrlo male uglove zakretanja razvodnog klipa oko svoje uzdužne ose. Konstrukcija će zakretanjem tražiti novi ravnotežni položaj sa mogućim malim zazorom, koji može da postoji kao posledica tolerancija u dimenzijama kuglice i ureza na klipu pri njihovoj izradi.

Iz svega navedenog, može se zaključiti da je ubacivanje kuglice u urez na klipu vrlo teško ostvarljivo bez zazora i da bi trebalo u analizama računati sa nekom njegovom malom vrednošću.

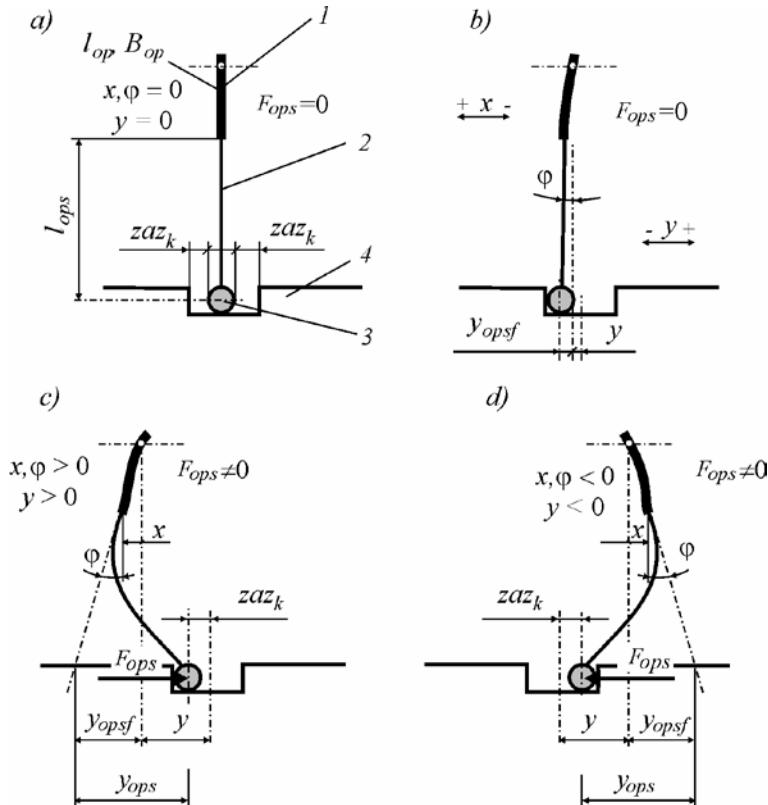
## 2. IZVOĐENJE IZRAZA ZA ODREĐIVANJE SILE (OBRTNOG MOMENTA) USLED DEFORMACIJE OPRUGE POV RATNE SPREGE

U izrazu kojim se opisuje dinamika kretanja sklopa kotve (dinamika kretanja razvodnog klipa drugog stepena), učestvuje obrtni moment (sila) usled deformacije opruge povratne sprege [1]–[5]. Da bi izveli izraze neophodne za određivanje navedenih fizičkih veličina, pretpostavljamo da je kuglica smeštena u urez tako da je zazor  $zaz_k$  (slika 2-a) sa obe strane kuglice isti. Postojanje zazora uslovjava da je u intervalu (slika 2 - b):

$$|y + y_{opsf}| < zaz_k, \quad (1)$$

gde su:

- $y$  [m] - hod razvodnog klipa drugog stepena hidrauličnog pojačanja,
  - $y_{opsf}$  [m] - fiktivno pomeranje donjeg, slobodnog kraja opruge povratne sprege (kraja sa kuglicom) za slučaj da nema klipa,
  - $zaz_k$  [m] - veličina zazora na klipu sa obe strane kuglice,
- obrtni moment usled deformacije opruge povratne sprege  $T_{ops}=0$ .



Slika 2. Šematski prikaz uzajamnog dejstva kuglice opruge povratne sprege i razvodnog klipa

a) ravnotežni položaj, b) nema kontakta kuglice i klipa, v) i g) kontakt kuglice i klipa

1 - odbojna pločica, 2 - opruga povratne sprege, 3 - kuglica, 4 - razvodni klip

Uzimajući u obzir da je ugao nagiba elastične linije odbojne pločice u ravni njenog vrha φ vrlo mali (mnogo manji od 1°, [2]), fiktivno pomeranje  $y_{opsf}$  se računa po izrazu:

$$y_{opsf} = x + l_{ops} \cdot \tan \varphi = x + l_{ops} \cdot \varphi, \quad (2)$$

gde su:

- $l_{ops}$  [m] - dužina opruge povratne sprege,
- $x$  [m] - pomeranje vrha odbojne pločice,
- $\varphi$  [rad] - ugao nagiba elastične linije odbojne pločice u ravni njenog vrha.

Pri analizi dinamike servorazvodnika autori zanemaruju savijanje odbojne pločice [1], [3], [4], [5]. Oni smatraju da pomeranje vrha odbojne pločice (što je i pomeranje gornjeg kraja opruge povratne sprege) nastaje samo zbog zakretanja sklopa kotve, pa se može pisati:

$$\varphi = \theta, \quad (3)$$

gde je:

- $\theta$  [rad] - ugao zakretanja kotve momentnog motora.

Realno, pomeranje vrha odbojne pločice predstavlja rezultantu pomeranja zbog zakretanja kotve i savijanja elastične cevčice i odbojne pločice. Odbojna pločica se savija pod dejstvom rezultantne sile usled strujanja radne tečnosti iz mlaznika. Uzimajući u obzir navedene činjenice, može se dobiti diferencijalna jednačina elastične linije odbojne pločice [2], iz koje se, zamenom odgovarajućih graničnih uslova, za računanje nagiba φ dobija izraz:

$$\varphi = \theta - \frac{F_h \cdot l_{op}^2}{2 \cdot B_{op}}, \quad (4)$$

gde su:

- $F_h$  [N] - rezultanta sile usled strujanja radne tečnosti iz mlaznika,
- $B_{op}$  [ $N \cdot m^2$ ] - savojna krutost odbojne pločice,
- $l_{op}$  [m] - dužina odbojne pločice.

Van intervala definisanog izrazom (1), tj. u intervalu  $|y + y_{opsf}| \geq zaz_k$ , kuglica je u kontaktu sa klipom. Ako oprugu povratne sprege posmatramo kao gredu dužine  $l_{ops}$ , konzolno pričvršćenu za odbojnu pločicu, za obrtni moment usled deformacije opruge povratne sprege, može se pisati:

$$T_{ops} = F_{ops} \cdot l_{ops}, \quad (5)$$

gde su:

- $T_{ops}$  [ $N \cdot m$ ] - obrtni moment usled deformacije opuge povratne sprege,
- $F_{ops}$  [N] - sila uzajamnog dejstva klipa i opruge povratne sprege.

Uzimajući u obzir savijanje opruge povratne sprege, sila  $F_{ops}$  računa se po:

$$F_{ops} = K_{ops} \cdot y_{ops}, \quad (6)$$

gde su:

- $K_{ops}$  [ $N/m$ ] - poprečna savojna krutost opruge povratne sprege,
- $y_{ops}$  [m] - pomeranje (ugib) donjeg (slobodnog) kraja opruge povratne sprege.

Pomeranje slobodnog kraja opruge povratne sprege (slika 2 - v i g) je:

$$y_{ops} = y + x + l_{ops} \cdot \varphi - zaz_k \cdot \text{sgn}(y + x + l_{ops} \cdot \varphi). \quad (7)$$

Konačno se za obrtni moment usled deformacije opruge povratne sprege može pisati:

$$T_{ops} = \begin{cases} 0 & |y + x + l_{ops} \cdot \varphi| < zaz_k, \\ K_{ops} \cdot [y + x + l_{ops} \cdot \varphi - zaz_k \cdot \text{sgn}(y + x + l_{ops} \cdot \varphi)] \cdot l_{ops} & |y + x + l_{ops} \cdot \varphi| \geq zaz_k, \end{cases} \quad (8)$$

a za silu  $F_{ops}$ :

$$F_{ops} = \begin{cases} 0 & |y + x + l_{ops} \cdot \varphi| < zaz_k, \\ K_{ops} \cdot [y + x + l_{ops} \cdot \varphi - zaz_k \cdot \text{sgn}(y + x + l_{ops} \cdot \varphi)] & |y + x + l_{ops} \cdot \varphi| \geq zaz_k. \end{cases} \quad (9)$$

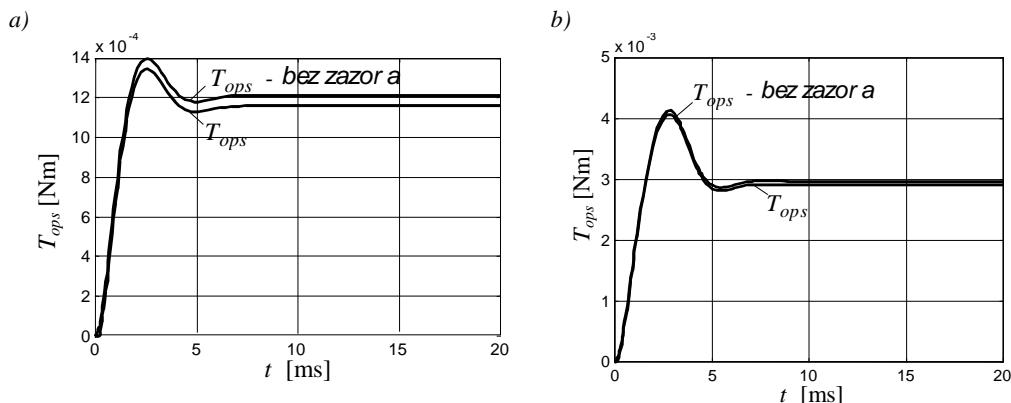
### 3. ANALIZA UTICAJA VELIČINE ZAZORA NA VREDNOST OBRTNOG MOMENTA USLED DEFORMACIJE OPRUGE POV RATNE SPREGE

Uobičajeno je u analizama dinamike servorazvodnika da se pri izračunavanju vrednosti  $T_{ops}$  zanemaruje uticaj zazora na klipu, pa se  $T_{ops}$  računa po:

$$T_{ops} = K_{ops} \cdot [y + x + l_{ops} \cdot \varphi] \cdot l_{ops} \quad (10)$$

U narednom delu rada analiziraće se opravdanost navedene pretpostavke. Da bi se obavila pomenuta analiza, u programskom paketu MATLAB-SIMULINK numerički su modelirani vremenski odzivi neopterećenog servorazvodnika proizvođača PPT - Trstenik, oznake B.31.210.12.1000.U2V, napajanog radnom tečnošću pritiska 210 bar, za ulazni signal jačine struje  $i$  tipa odskočne funkcije (veličine 10% i 25% od nazivne  $i_{max}$ ) [2]. Posmatrane su vremenske promene obrtnog momenta računatog izrazom (8) -  $T_{ops}$  i obrtnog momenta računatog izrazom (10) -  $T_{ops}$  - bez zazora (slika 3). Veličina ocenjenog zazora navedenog servorazvodnika, sa kojom se računalo u izrazu (8) je  $zaz=2 \mu\text{m}$ .

Sa slike se vidi da je stvarna vrednost obrtnog momenta  $T_{ops}$  nešto manja zbog postojanja zazora. Postojanje zazora uslovljava da  $T_{ops}$  počinje da raste, tek nakon što razvodni klip pređe rastojanje jednako dužini zazora, tj. tek kada dođe do kontakta kuglice i klipa. Razlika između  $T_{ops}$  i  $T_{ops}$  - bez zazora, očiglednija je za niži nivo ulaznog signala jačine struje, tj. za male hodove razvodnog klipa.



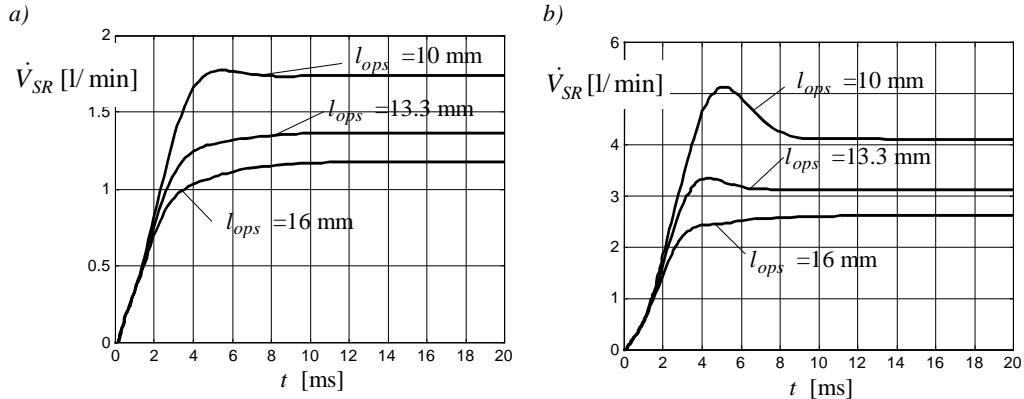
**Slika 3.** Uporedni prikaz vremenskih promena obrtnog momenta usled deformacije opruge povratne sprege sa uzimanjem i bez uzimanja u obzir uticaja veličine zazora na urezu u klipu  
a)  $i=10\% \cdot i_{max}$ , b)  $i=25\% \cdot i_{max}$

Postojanje zazora bi moglo da objasni i efekat tzv. "otvrdnjavanja" opruge povratne sprege, koji su u svom radu [6] pomenuli Arafa i Rizk. Prema ovim autorima, za male hodove razvodnog klipa, krutost opruge povratne sprege se povećava povećanjem hoda razvodnog klipa do neke konstantne, teorijske vrednosti. Eksperimentalno određivanje krutosti nemontirane opruge povratne sprege servorazvodnika B.31.210.12.1000.U2V, obavljeno u Laboratoriji za montažu i ispitivanje servorazvodnika - DD "Namenska" - "Prva petoletka" iz Trstenika, nije otkrilo promenu krutosti opruge povratne sprege sa promenom deformacije njenog vrha, pa se može zaključiti da je "različita" krutost, koju opisuju Arafa i Rizk, posledica postojanja zazora na klipu.

### 4. UTICAJ FIZIČKIH VELIČINA OPRUGE POV RATNE SPREGE NA KARAKTERISTIKE SERVORAZVODNIKA

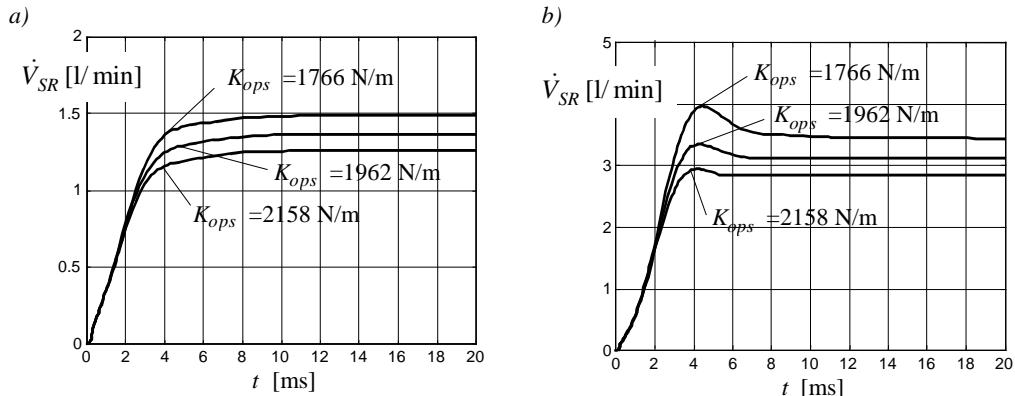
Da bi se analizirao uticaj fizičkih veličina opruge povratne sprege na karakteristike zapreminskog protoka posmatranog servorazvodnika, uzimane su tri brojne vrednosti za svaku fizičku veličinu: vrednost u analiziranom servorazvodniku oznake B.31.210.12.1000.U2V - PPT,

manju i veću vrednost od navedene. Za svaku od tri navedene vrednosti, numerički su određene vremenske promene zapreminskega protoka  $\dot{V}_{SR}$  kroz posmatrani servorazvodnik, za iste uslove kao u prethodnom poglavlju.



**Slika 4.** Analiza uticaja dužine opruge povratne sprege na karakteristike prelaznog procesa posmatranog servorazvodnika, za odskočni ulazni signal jačine struje i

a)  $i = 10\% \cdot i_{\max}$ , b)  $i = 25\% \cdot i_{\max}$



**Slika 5.** Analiza uticaja krutosti opruge povratne sprege na karakteristike prelaznog procesa posmatranog servorazvodnika, za odskočni ulazni signal jačine struje i

a)  $i = 10\% \cdot i_{\max}$ , b)  $i = 25\% \cdot i_{\max}$

Promenom vrednosti fizičkih veličina opruge povratne sprege: dužine  $l_{ops}$  i krutosti  $K_{ops}$ , utiče se i na kvalitet prelaznog procesa i na stacionarne vrednosti zapreminskega protoka (slike 4. i 5.). Značajnije povećanje krutosti  $K_{ops}$  ili dužine  $l_{ops}$ , smanjuje stabilnost prelaznog procesa (povećava ili izaziva pojavu preskoka i povećava vreme smirenja) i obrnuto, značajnije smanjenje krutosti  $K_{ops}$  ili dužine  $l_{ops}$ , povećava stabilnost prelaznog procesa. Variranjem vrednosti fizičkih veličina opruge povratne sprege najlakše se utiče na promenu stacionarnih vrednosti zapreminskega protoka, odnosno statičkih karakteristika servorazvodnika. Smanjenjem dužine  $l_{ops}$  ili krutosti  $K_{ops}$ , povećava se stacionarna vrednost zapreminskega protoka, i obrnuto, povećanjem dužine  $l_{ops}$  ili krutosti  $K_{ops}$ , stacionarna vrednost zapreminskega protoka se smanjuje.

## 5. ZAKLJUČAK

Opruga povratne sprege se koristi kod dvostepenih servorazvodnika sa mehaničkom povratnom spregom. Kuglicu koja se nalazi na njenom donjem kraju je vrlo teško ubaciti bez zazora u urez na klipu. U analizama bi trebalo računati sa nekom malom vrednošću zazora, a

naročito za slučaj malih hodova razvodnog klipa, kada se javlja značajnija greška pri računanju obrtnog momenta usled deformacije opruge povratne sprege.

Promenom vrednosti fizičkih veličina opruge povratne sprege (dužine i krutosti) može se značajno uticati na statičke karakteristike servorazvodnika, a može se uticati i na njegove dinamičke karakteristike. Smanjenjem dužine ili krutosti opruge povratne sprege, povećava se stacionarna vrednost zapreminskog protoka i smanjuje stabilnost prelaznog procesa, i obrnuto, povećanjem dužine ili krutosti opruge povratne sprege, stacionarna vrednost zapreminskog protoka se smanjuje a povećava se stabilnost prelaznog procesa.

## LITERATURA

- [1] Wel van O.P. "*The Modeling of an Electrohydraulic Servovalve*", MS Thesis, Delft University of Technology, Mechanical Engineering System and Control Group, 1992.
- [2] Gordić D., "*Analiza dvosetepenih elektro-hidrauličnih servoventila sa povratnom spregom po položaju razvodnog klipa*", Doktorska disertacija, MF Kragujevac, 2002.
- [3] Wang, D., Dolid, R., Donath, M., Albright, J., "*Development and Verification of a Two-Stage Flow Control Servovalve Model*", ASME, The Fluid Power and Systems Technology Division (Publication), FPST v 2, 1995.
- [4] Scheidl R., Manhartsguber B., "*On the Dynamic Behavior of Servo-Hydraulic Drives*", Nonlinear Dynamics - 17, Kluwer Academic Publishers, Netherland, 1998.
- [5] Kim D., Tsao T.-C., "*A Linearized Electrohydraulic Servovalve Model for Valve Dynamics Sensitivity Analysis and Control System Design*", ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 122, No. 1., 2000.
- [6] Arafa H.A., Rizk M. "*Spool Hydraulic Stiffness and Flow Force Effects In Electrohydraulic Servo-Valves*", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Mechanical Engineering Science, v 201, n 3, 1987.

## INFLUENCE OF FEEDBACK SPRING PHYSICAL QUANTITIES ON TWO-STAGE SERVOVALVE CHARACTERISTICS

### **Abstract:**

*Feedback of two-stage electrohydraulic servovalves with mechanical spool position feedback is obtained with feedback spring. It is fitted in appropriate slot in the spool with small clearance due to nature of construction. This feedback spring is firmly attached to lower end of first stage flapper, and at its lower end there is ball. The ball has task to establish contact with second stage spool.*

*In this paper, equations for determination the values for force (torque) due to deformation of feedback spring are derived. These equations include mentioned ball clearances. Values of torque due to deformation of feedback spring in cases of taking into account and neglecting values of ball clearance of feedback spring are analyzed as well as influence of feedback spring physical quantities (length and stiffness) on transient characteristics of a servovalve manufactured in Prva Petroluka – Trstenik.*