

**XIII**

Međunarodni naučni simpozijum Motorna Vozila i Motori
International Scientific Meeting Motor Vehicles & Engines
Kragujevac, 04. - 06.10.2004

MVM04-A24

V. Šušteršić, M. Babić, N. Jovičić, D. Gordić *

MODELIRANJE PROPORCIONALNOG ELEKTROMAGNETNOG VENTILA U AUTOMATSKOJ TRANSMISIJI

Rezime: Zadnjih godina elektro-hidraulički sistemi upravljanja u automatskoj transmisiji putničkih vozila postaju sve jednostavniji i uloga elektronski upravljenih proporcionalno-solenoidnih ventila u nima zauzima veoma važnu ulogu. Prateći taj trend, dat je predlog proračuna i konstruktivno rešenje proporcionalnog elektromagnetskog ventila za upravljanje frikcionim spojnicama koji vrši kontrolu svake spojnice za vreme promene stepena prenosa. Pri analizi proporcionalnog elektromagnetskog ventila razdvojili smo ga na tri funkcionalne celine: madnetni deo, hidraulični i mehanički deo. Ujedno, ovi podsistemi su međusobno povezani jedan sa drugim, pa nije lako predvideti radne karakteristike ovakvog ventila. Elektromagnetni ventili u automatskim transmisijama bi trebalo da ispunjavaju različite karakteristike: da su mali, da imaju brz i stabilan odziv, dug životni vek, nisku cenu itd.

U radu je dat dinamički model proporcionalnog elektromagnetskog ventila za automatsku transmisiju i svaki podsistem je posebno izmodeliran.

KLJUČNE REČI: proporcionalni elektromagnetni ventil, automatska transmisija, modeliranje

Abstract: In recent years, the electro-hydraulic controlled system of the automatic transmission of a passenger car is becoming more simplified and the role of electronically controlled solenoid valve occupies an important position. Following this trend, we design and calculated one proportional solenoid valve for one friction clutch, which controls each clutch during shifting. For the analysis of this proportional solenoid valve, we divide this valve into three subsystems: an electrical subsystem, a hydraulical subsystem and a mechanical subsystem. The subsystems are very closely connected to each other, so that it's not so easy to predict the performance. The solenoid valves in automatic transmission should satisfy various conditions: small size, fast and stable response, long lifecycle, low cost, etc.

In this paper present a dynamic modeling of a proportional solenoid valve for automatic transmission and each subsystem is modeled in detail.

KEY WORDS: proportional solenoid valve, automatic transmission, and modeling

1. UVOD

Jedan od mnogobrojnih zahteva koje treba rešavati pri projektovanju transmisija za motorna vozila je pravilan izbor uređaja za promenu stepena prenosa i ostvarivanje njihovog upravljanja. Savremeni razvoj transmisija karakteriše, pored hidrauličkih sistema upravljanja, i sve veća primena elektronike u sistemima automatskog upravljanja.

• Mr Vanja Šušteršić, Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, Kragujevac, email: vanjas@knez.uis.kg.ac.yu

Dr Milun Babić, Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, Kragujevac, email: nastasija@ptt.yu

Dr Nebojša Jovičić, Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, Kragujevac, email: njovicic@knez.uis.kg.ac.yu

Dr Dušan Gordić, Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, Kragujevac, email: gordic@knez.uis.kg.ac.yu

Hidraulični sistemi upravljanja danas imaju veliku primenu, pre svega zbog relativno malih masa koje prenose velike iznose snaga i sila (momenata), velike krutosti i jednostavnosti. Ovакви sistemi su naročito konkurentni ako se u njih integriraju i elektronske komponente sa zadatkom da generišu, prenose i obradjuju informacije. Za uspostavljanje veze izmedju hidrauličnog dela sistema i električnog dela sistema koriste se elektro-hidraulički ventili. Oni se najčešće izvode kao elektro-hidraulični razvodni ventili, i to sa utvrđenim (fiksni) položajima uključivanja (on-off razvodnici) ili bez utvrđenih (fiksnih) položaja uključivanja (proporcionalni).

Hidraulični sistemi upravljanja promenom stepena prenosa, treba, pre svega, da obezbede sledeće funkcije:

- regulisanje zadatog pritiska u izvršnim cilindrima friкционog sklopa, pri različitim režimima rada;
- neophodnu zakonitost prelaznih procesa u transmisiji, pre svega, neprekidnost toka snage pri promeni stepena prenosa, postepeno uključivanje frikcionih sklopova i sl.

U hidrauličkim sistemima uredaji za promenu stepena prenosa predstavljaju najznačajnije komponente od čije funkcije zavisi ispunjenje gornjih zahteva. Ovi uredaji mogu biti izvedeni kao posebni razvodnici ulja čiji je zadatak da spoje odgovarajuće frikcione sklopove sa izvorom napajanja. Njihova konstrukcija i tip zavise prvenstveno od konstrukcije menjačkog prenosnika i od broja stepeni prenosa. Najprostija rešenja uredaja za promenu stepena prenosa sadrže samo pomenute razvodnike.

Savremena rešenja uredaja za promenu stepena prenosa, pored razvodnika za izbor stepena prenosa sadrže i dopunske automatske uredaje predvidjene za poboljšanje procesa promene stepena prenosa. Najefikasnijim od svih se smatraju uredaji koji omogućavaju značajno smanjenje ili potpuno eliminisanje prekida toka snage pri promeni stepena prenosa.

Ovi uredaji mogu biti postavljeni bilo u sistemu cevovoda od pumpe do cilindra, bilo na samom cilindrusu. Da bi jedan ovakav uredaj ostvario svoju funkciju on mora da zadovolji sledeće zahteve:

- pre svega, mora da obezbedi postepen porast pritiska u cilindru spojnica;
- da karakter porasta pritiska u cilindru zavisi od režima menjačkog prenosnika i
- ujedno je poželjno korišćenje jednog mehanizma za regulaciju uključivanja za sve spojnice u menjačkom prenosniku.

2. MATEMATIČKI MODEL PROPORACIONALNOG ELEKTRO-MAGNETNOG VENTILA

Da bi se opisalo funkcionisanje proporcionalnog elektro-magnetnog ventila kao podistema elektro-hidrauličkog sistema upravljanja automatskim menjačem neophodno je postaviti nelinearne diferencijalne jednačine ponašanja za:

- magnetni deo (solenoid);
- hidraulični deo i
- mehanički deo.

2.1 Matematički izrazi za izračunavanje elektro-magnetne sile

Jednačina koja opisuje ponašanje magneta zasnovana je na Faradejevom zakonu. Indukovana elektromotorna sila koja se javlja u magnetu je funkcija elektrootporne sile u otporniku i napona [7]:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{u - i \cdot R}{N}, \quad (1)$$

gde je:

ϕ [Wb] - magnetni fluks;

i [A] - struja;

R [Ω] - otpor koji se javlja u magnetu;

N [/] - broj namotaja;

u [V] - upravljački napon.

Iz relacije (1) dobija se zavisnost upravljačkog napona koji se dovodi do namotaja elektromagneta i izaziva pomeranje klipa razvodnika:

$$u = i(t) \cdot R + N \cdot \frac{d\varphi}{dt}. \quad (2)$$

S druge strane, važi relacija [2], [3], [5],[7]:

$$N \cdot \varphi = L(x) \cdot i, \quad (3)$$

gde je:

$L(x)$ [H]- induktansa koja je funkcija dužine vazdušnog procepa.

Zamenom relacije (3) u jednačini (1) dobija se:

$$N \cdot \frac{d\varphi}{dt} = L(x) \cdot \frac{di}{dt} + i(t) \cdot \frac{\partial L}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} \approx L(x) \cdot \frac{di}{dt}. \quad (4)$$

Magnetno pobudna sila, koju izaziva fluks je, s druge strane, data kao zbir magnetno-pobudne sile koja se javlja u vazdušnom procepu F_{mpvp} i magnetno-pobudne sile koja se javlja u trajnom magnetu F_{mptm} :

$$N \cdot i = F_{mpvp} + F_{mptm}, \quad (5)$$

i računaju se kao:

$$F_{mpvp} = H \cdot x = R_{vp} \cdot \varphi = \frac{x \cdot B}{\mu_o}; \quad F_{mptm} = H_{tm} \cdot l_{tm} = R_{tm} \cdot \varphi = \frac{l_{tm} \cdot B}{\mu_{tm}}, \quad (6)$$

gde su:

B [T] - magnetna indukcija u vazdušnom procepu;

A_v, A_{tm} [m^2] - površine poprečnog preseka vazdušnog procepa i trajnog magneta;

μ_o, μ_{tm} [H/m] - magnetna permeabilnost vazduha, koja je uz zanemarivanje relativne permeabilnosti vazduha ($\mu_r = 1,000008$ H/m), jednaka magnetnoj permeabilnosti vakuuma: $\mu_o = 1,257 \cdot 10^{-6}$ H/m= $4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m) i magnetna permeabilnost trajnog magneta;

x, l_{tm} [m] - dužina vazdušnog procepa i dužina magnetnog polja u čeliku.

Proporcionalni elektromagneti sa regulisanim hodom se koriste za direktno aktiviranje klipova proporcionalnih razvodnih ventila pri čemu je hod magneta proporcionalan struci koja protiče kroz namotaje magneta. Radni hod se kreće od 2-4 mm, u zavisnosti od veličine magneta.

Reluktansa vazdušnog procepa R_{vp} [H⁻¹] se računa kao [4]:

$$R_{vp} = \frac{x}{\mu_o \cdot A}, \quad (7)$$

a trajnog magneta kao:

$$R_{tm} = \frac{l_{tm}}{A_{tm} \cdot \mu_{tm}}. \quad (8)$$

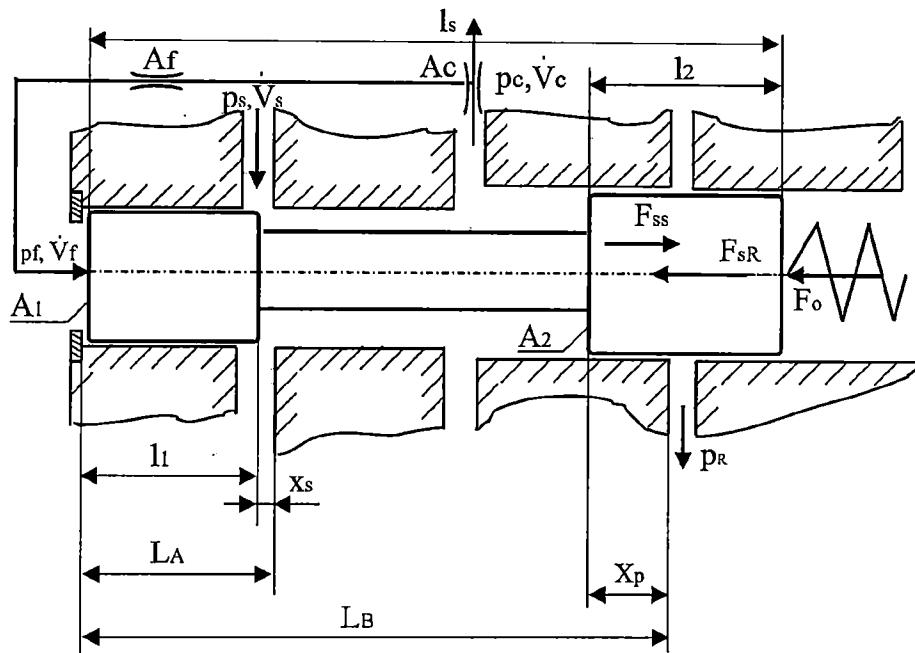
Magnetna indukcija je funkcija magnetne permeabilnosti i intenziteta magnetnog polja H [Wb/Hm]:

$$B = \frac{\varphi}{A_v} = \mu_o \cdot H; \quad B_{tm} = f(H_{tm}). \quad (9)$$

Elektromagnetna sila kojom magnetno polje deluje na klip razvodnika je data relacijom [3]:

$$F_{sol} = \frac{B^2 \cdot A_v}{2 \cdot \mu_o} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{N^2 \cdot \mu_o \cdot A_v \cdot i^2}{x^2}. \quad (10)$$

2.2 Matematički izrazi za izračunavanje zapreminskih protoka kroz prigušne otvore



Slika 1. Prikaz klipa elektromagnetskog ventila u ravnotežnom položaju

Polazni izraz za analizu bilo kog tipa hidrauličkih upravljačkih komponenti predstavlja zavisnost između zapreminskog protoka i pada pritiska radne tečnosti na prigušnom otvoru [6]:

$$\dot{V} = k_o \cdot A_{pr} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{\Delta p}, \quad (11)$$

gde su:

\dot{V} [m^3/s] - zapreminski protok kroz prigušni otvor,
 k_o [/] - koeficijent protoka (karakteristika blende) koja zavisi od vrste (oblika) prigušnog otvora i režima strujanja definisanog Rejnoldsovim brojem,
 A_{pr} [m^2] - protočna površina prigušnika,
 ρ [kg/m^3] - gustina radne tečnosti,
 Δp [Pa] - pad pritiska na prigušniku.

Jednačine protoka u razvodniku, ako se posmatraju oznake na slici 1, su date sledećim relacijama:

$$a) \quad \dot{V}_s = k_0 \cdot A_s(x_k) \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{p_s - p_c}; \quad \text{gde je} \\ A_s(x_k) = \begin{cases} \pi \cdot D_k \cdot (x_s - x_k) & 0 \leq x_k \leq x_s \\ 0 & x_s \leq x_k \leq x_{kmax} \end{cases}; \quad (12)$$

$$b) \quad \dot{V}_R = k_0 \cdot A_R(x_k) \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{p_c - p_R}; \\ A_R(x_k) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x_k \leq x_p \\ \pi \cdot D_k \cdot (x_k - x_p) & x_p \leq x_k \leq x_{kmax} \end{cases} \quad (13)$$

$$c) \quad \dot{V}_f = k_0 \cdot A_f \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{p_c - p_f}; \quad (14)$$

$$d) \quad \dot{V}_c = k_0 \cdot A_c \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{p_c - p_l}. \quad (15)$$

pri čemu je:

$A_s, A_R [m^2]$ - otvorene površina poprečnog preseka kanala za napajanje i za odvodjenje,

$$x_s = L_A - l_1 \quad i \quad x_p = L_B - (l_s - l_2);$$

$k_0 [l]$ - koeficijent protoka prigušnog otvora [0,611 - Von Mises, 1917],

$A_c [m^2]$ - površina prigušnika,

$\dot{V}_R, \dot{V}_s, \dot{V}_f, \dot{V}_c [m^3/s]$ -zapreminski protoci u odvodnom vodu, dovodnom vodu, prirubnici i upravljački zapreminski protok, po redosledu..

Jednačina kontinuiteta u datom hidrauličnom sistemu, za slučaj nestacionarnog strujanja, glasi::

$$\dot{V}_s = \dot{V}_R + \Delta \dot{V}_{pr} + \Delta \dot{V}_{st}, \quad (16)$$

gde je:

$\Delta \dot{V}_{pr} [m^3/s]$ - promena zapreminskog protoka usled isticanja ili doticanja radne tečnosti i

$\Delta \dot{V}_{st} [m^3/s]$ - promena zapreminskog protoka u sistemu usled promene pritiska tj. usled stišljivosti radne tečnosti.

$$\dot{V}_s - \dot{V}_c - \dot{V}_f - \dot{V}_R = \frac{V_c}{\beta_e} \cdot \frac{dp_c}{dt}; \quad (17)$$

$$V_c = V_{c0} = const.$$

$$\dot{V}_f = A_1 \cdot \frac{dx_k}{dt} + \frac{V_{f0} + A_1 \cdot x_k}{\beta_e} \cdot \frac{dp_f}{dt} \quad (18)$$

$$V_f = V_{f0} + A_1 \cdot x_k; \quad V_{f0} = const.$$

gde je:

$\beta_e [Pa]$ - efektivni moduo stišljivosti radne tečnosti. Kako sistem u stvarnosti radi na niskim pritiscima (maksimalni pritisak u sistemu u automatskoj transmisiji manji od 10 bar) a pri visokim temperaturama (oko 130° C) i sa velikom količinom vazduha u instalaciji, to uslovjava niske vrednosti modula stišljivosti, a koji se teoretski računa na sledeći način [1]:

$$\frac{1}{\beta_e} = \frac{1}{\beta} + \nu \cdot \frac{1}{\beta_g} \quad (19)$$

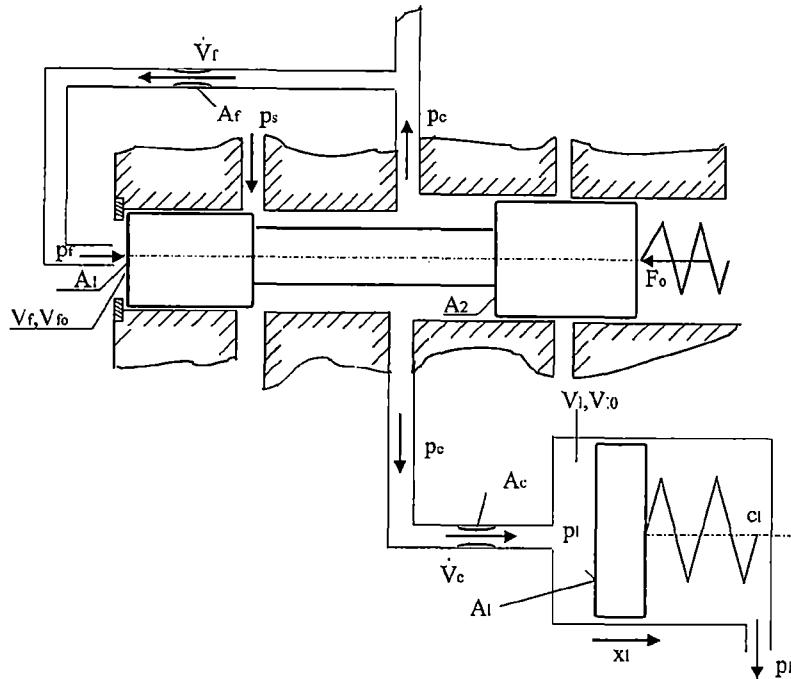
gde je:

$\beta [Pa]$ - moduo stišljivosti radne tečnosti $[1,2 \cdot 10^9 Pa]; [4]$

$\beta_g [Pa]$ - adijabatski moduo stišljivosti koji iznosi $1,4 \cdot p$ za vazduh, a

ν - odnos zapremeine vazduha i zapremeine radne tečnosti.

Ukoliko je odnos količine vazduha u instalaciji veći to je efektivni moduo stišljivosti manji (ide i do 10 puta, a naročito opada pri niskim vrednostima pritiska).



Slika 2. Elektro-magnetni ventil sa radnim cilindrom friкционog sklopa

2.3 Matematički izrazi za izračunavanje vrednosti upravljačkog pritska i hoda klipa elektro-magnetnog ventila

Dinamičke jednačine kretanja razvodnog klipa mogu se napisati u obliku:

$$\begin{cases} m_k \cdot \frac{d^2 x_k}{dt^2} + b \cdot \frac{dx_k}{dt} + c \cdot x_k - F_{ss} + F_{sr} + F_o = F_{sol} + p_f \cdot A_1 & x_k \leq x_{kmax} \\ 0 & x_k > x_{kmax} \end{cases} \quad (20)$$

gde su:

m_k [kg] - ukupna masa svih pokretnih delova,

x_k [m] - hod razvodnog klipa,

c [N/m] - krutost opruge,

b [Ns/m] - koeficijent viskozognog trenja,

F_{ss} [N] - stacionarna aksijalna komponenta sile usled strujanja radne tečnosti u dovodnom vodu,

F_{sr} [N] - stacionarna aksijalna komponenta sile usled strujanja radne tečnosti u odvodnom vodu,

F_o [N] - reakcija opruge povratne sprege.

Stacionarna aksijalna komponenta sile strujanja radne tečnosti u dovodnom vodu F_{ss} (sila reakcije mlaza) i stacionarna aksijalna komponenta sile usled strujanja radne tečnosti u odvodnom vodu F_{sr} su date sledećim relacijama [6]:

$$F_{ss} = c_{ss} \cdot A_s(x) \cdot |p_s - p_c|; \quad (21)$$

$$F_{sr} = c_{ss} \cdot A_p(x) \cdot |p_c - p_R|. \quad (22)$$

gde je:

c_{ss} [-] - koeficijent koji uzima u obzir kontrakciju radne tečnosti i ugao skretanja radne tečnosti (uzima se da je $\theta=69^\circ$), i računa se kao:

$$c_{ss} = 2 \cdot c'_{ss} \cdot \cos \theta \quad (23)$$

i gde je:

c'_{ss} [/] - koeficijent brzine mlaza [6].

Dinamičke jednačine kretanja klipa friкционог склопа (sl.2) se mogu napisati u obliku:

$$\begin{cases} m_l \cdot \frac{d^2 x_l}{dt^2} + b_l \cdot \frac{dx_l}{dt} + c_l \cdot x_l + F_{ol} = p_l \cdot A_l; & x_l \leq x_{lmax} \\ 0 & x_l > x_{lmax} \end{cases} \quad (24)$$

gde su:

m_l [kg] - ukupna masa svih delova friкционог склопа,

x_l [m] - hod klipa friкционог склопа,

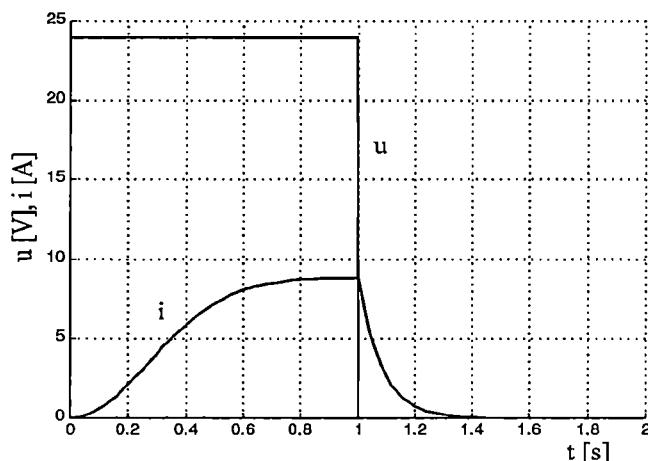
c_l [N/m] - krutost opruge,

b_l [Ns/m] - koeficijent viskoznog trenja,

F_{ol} [N] - reakcija opruge povratne sprege (prednapon opruge).

Primenom jednačine kontinuiteta (11), protok u friкционом склопу је:

$$\begin{aligned} \dot{V}_c &= A_l \cdot \frac{dx_l}{dt} + \frac{V_{l0} + A_l \cdot x_l}{\beta_e} \cdot \frac{dp_l}{dt} \\ V_l &= V_{l0} + A_l \cdot x_l; \quad V_{l0} = \text{const.} \end{aligned} \quad (25)$$



Slika 3. Prikaz zavisnosti ulaznih podataka: napona i jačine struje u funkciji vremena u magnetu elektromagnetnog ventila

3. REZULTATI SIMULACIJE

Veličina i karakter pritiska u hidrauličnom cilindru u procesu uključivanja (i isključivanja) friкционог склопа zavisi, pre svega, od njegove konstrukcije i karakteristika, kao i karakteristika hidrauličkog sistema upravljanja. Promena pritiska pri procesu uključivanja se sastoji od 4 faze i to (sl.4):

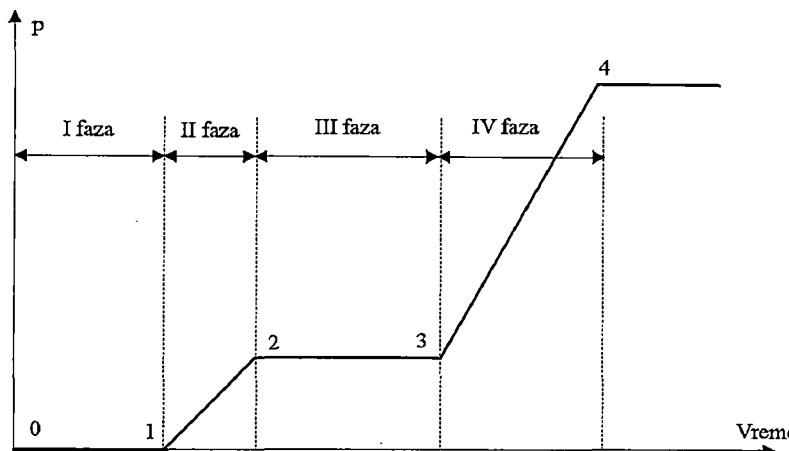
- I faza (0-1): - predstavlja ispunjavanje zapremece cevovoda i dela zapremece izvršnog cilindra pri neprekretnom klipu;
- II faza (1-2): - predstavlja ispunjavanje zapremece stvorene elastičnom deformacijom cevovoda i izvršnog cilindra pri neprekretnom klipu tj. porast pritiska u toku popunjavanja cilindra do poništenja zazora medju diskovima;
- III faza (2-3): - nastaje usled ispunjavanja zapremece cilindra friкционог склопа stvorene pomeranjem klipa iz početnog položaja u krajnji položaj i
- IV faza (3-4): - je rezultat ispunjavanja zapremece stvorene pomeranjem klipa usled deformacije elemenata friкционог склопa.

Posebno važna faza u procesu uključivanja friкционог склопa je IV faza u toku koje se odvija modulacija pritiska u izvršnom cilindru i prenošenje obrtnog momenta. Uredjaji za modulaciju pritiska upravo imaju zadatak da

u ovoj fazi uključivanja friкционog sklopa obezbede postepen porast pritiska, a time i postepen priraštaj momenta trenja.

Da bi se olakšalo matematičko opisivanje procesa popunjavanja cilindra uvedene su sledeće aproksimacije:

- radni fluid je nestišljiv;
- cevovodi su absolutno kruti;
- sile inercije koje deluju na klip su zanemarljive;
- režim strujanja fluida u cevovodima je turbulentni;
- curenje tečnosti iz cilindra je zanemarljivo;
- proces popunjavanja cilindra se odvija pri $p_s = \text{const.}$



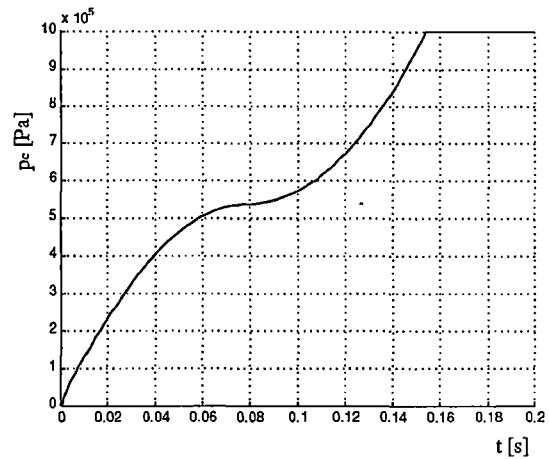
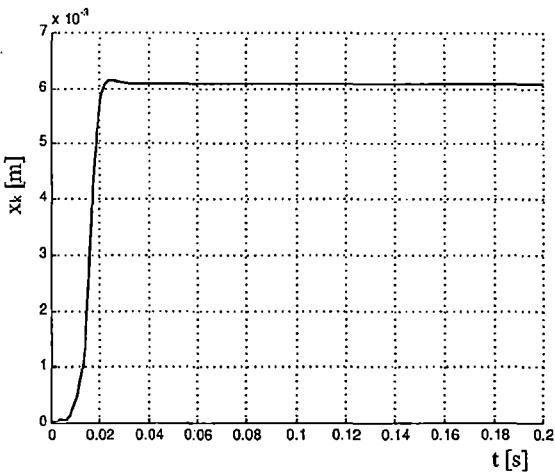
Slika 4 . Zavisnost promene pritiska pri uključivanju izvršnog cilindra

Simulacija je izvršena pomoću paketskog programa MATLAB - Simulink i variranjem nekoliko parametara došlo se do sledećih zaključaka:

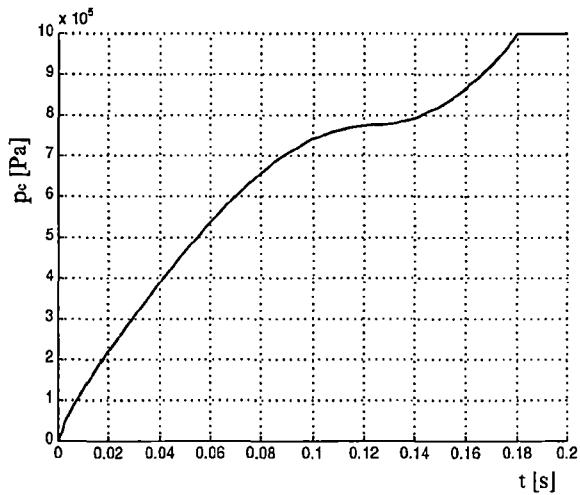
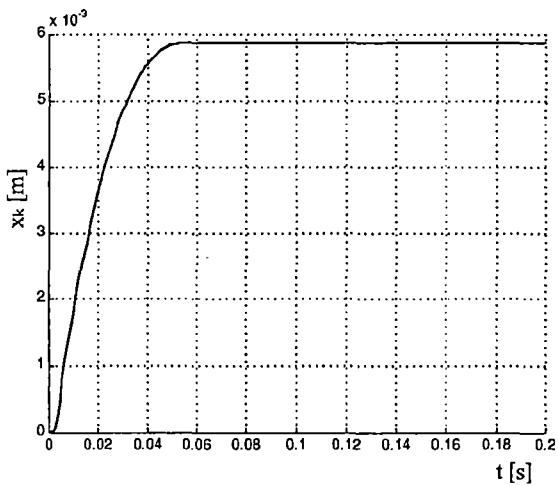
- Promenom prednapona opruge F_o u celini se menja zakonitost promene upravljačkog pritiska. Njegovim povećanjem smanjuje se vreme potrebno za premeštanje klipa izvršnog cilindra iz početnog u krajnji položaj i istovremeno povećava se početni pritisak modulacije u izvršnom cilindru, što može imati uticaj na kvalitet prelaznog procesa, tj. može doći do pojave udarnog uključivanja friкционog sklopa.

Iz tih razloga treba težiti da prednapon F_o opruge bude tako izabran da skok pritiska bude što je moguće manji. Na veličinu ovog pritiska utiče i udaljenost uređaja od friкционog sklopa.

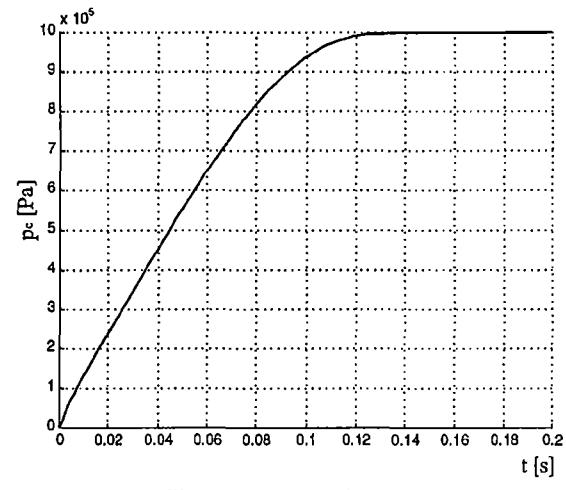
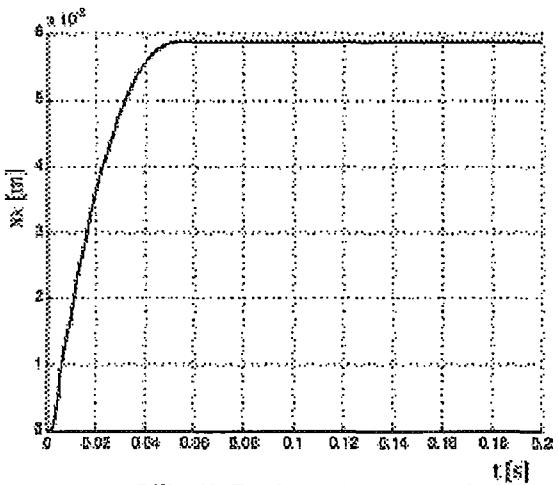
- Promenom krutosti opruge c (sl. 5 i 6) menja se intenzitet porasta pritiska i vreme modulacije. Tako se sa smanjenjem krutosti smanjuje vreme procesa modulacije, uz istovremeni porast pritiska na kraju ove etape.
- Veličina prigušnika d_f (tj. A_f) (sl. 7) ima poseban značaj u procesu modulacije, tako što se njegovim smanjenjem obezbeđuje veoma postepen porast pritiska i produžava vreme uključivanja friкционog sklopa. Istovremeno sa povećanjem ovog prigušnika povećava se i pritiska na početku modulacije.
- Protočni presek d_c (tj. A_c) od uređaja do friкционog sklopa, kao i dužina ovog dela cevovoda utiču na brzinu ispunjavanja zapremine izvršnog cilindra (sl. 8). Smanjenjem preseka povećava se otpor, a time i vreme trajanja ove faze.
- Promenom hoda klipa razvodnika (sl. 5 i 6) se takođe može po želji menjati veličina pritiska i vreme modulacije, dok na hod klipa utiče kako prednapon opruge F_o tako i krutost c . Naravno, treba imati u vidu konstrukcijske mogućnosti.



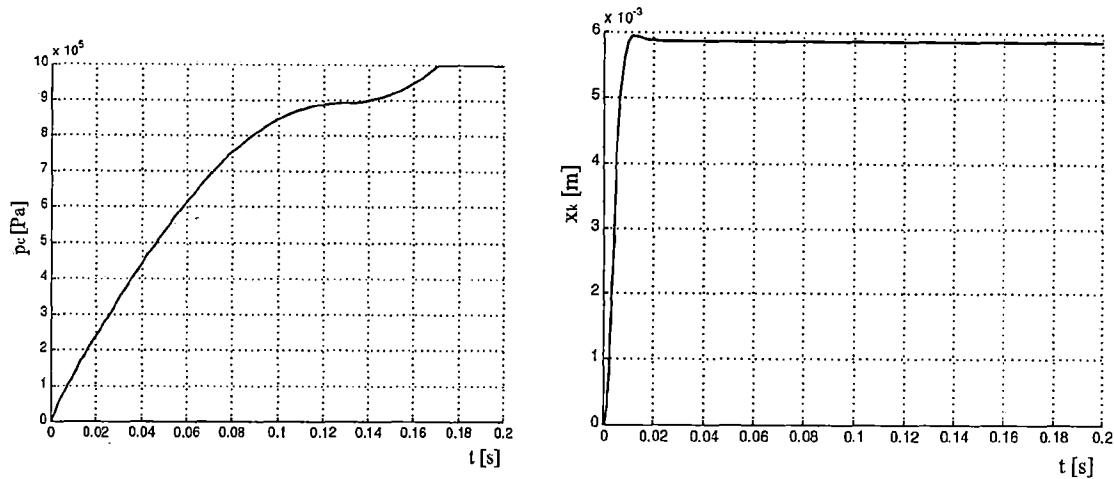
Slika 5. Zavisnost pomeranja klipa i promene upravljačkog pritiska elektromagnetskog razvodnika pri krutosti opruge $c=15000$ N/m i sili prednaprezanja $F_0 = 38$ N



Slika 6. Zavisnost pomeranja klipa i promene upravljačkog pritiska elektromagnetskog razvodnika pri krutosti opruge $c=5000$ N/m i sili prednaprezanja $F_0 = 38$ N



Slika 7. Zavisnost pomeranja klipa i promene upravljačkog pritiska elektromagnetskog razvodnika pri $0,8d_f$



Slika 8. Zavisnost pomeranja klipa i promene upravljačkog pritiska elektromagnetskog razvodnika pri $0,8d_c$

4. ZAKLJUČAK

Izvedeni zaključci daju odredjene smernice kako se može ostvariti željena promena pritiska u friкционom sklopu. Ujedno pomoću matematičkog modela moguće je utvrditi karakteristike promene pritiska i koji su parametri optimalni za dobijanje odgovarajuće zavisnosti pritiska tako da se proces projektovanja, kako komponente, tako i celokupnog sistema upravljanja automatskim menjacem znatno skraćuje i olakšava.

Prikazani rezultati pokazuju da se sa datim elektromagnetskim razvodnikom mogu ostvariti različite zavisnosti promene pritiska u friкционom sklopu, izborom odgovarajućih konstruktivnih veličina.

5. LITERATURA

- [1]. Baek-Hyun Cho etc: "Estimation Technique of Air Content in Automatic Transmission Fluid by Measuring Effective Bulk Modulus"; International Journal of Automotive Technology, Vol. 3, No. 2, pp. 57-61, 2002
- [2]. Bek Manfred: "Electronic Control System for Automatic Transmission", Voith Research and Design, Vol.33, Paper 5, 1989
- [3]. Byung-Kwan Shin, Jae-Woong Hur and all: "The Analysis of Proportional Solenoid Valve and its Application to the Shift control of Automatic transmission" Fluid Power, Forth JHPS Inertantional Symposium, 1999
- [4]. Gordić D.: "Analiza dvostepenih elektrohidrauličkih servoventila sa povratnom spregom po položaju razvodnog klipa", doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2001
- [5]. Hyoun-Woo Lee, Baek-Hyun Cho, Won-Hi Lee: "A Study on Response Improvement of Proportional Control Solenoid Valve for Automatic Transmission" Seoul 2000, FISITA World Automotive congress, Korea, June 12-15, 2000
- [6]. Merritt H.E.: "Hydraulic control system" John Wiley & Sons, New York, 1967
- [7]. Petronijević Ž.: "Elektrotehnika", Naučna knjiga, Beograd, 1986