

# Seminarski zadatak

## Sadržaj

### Uvod

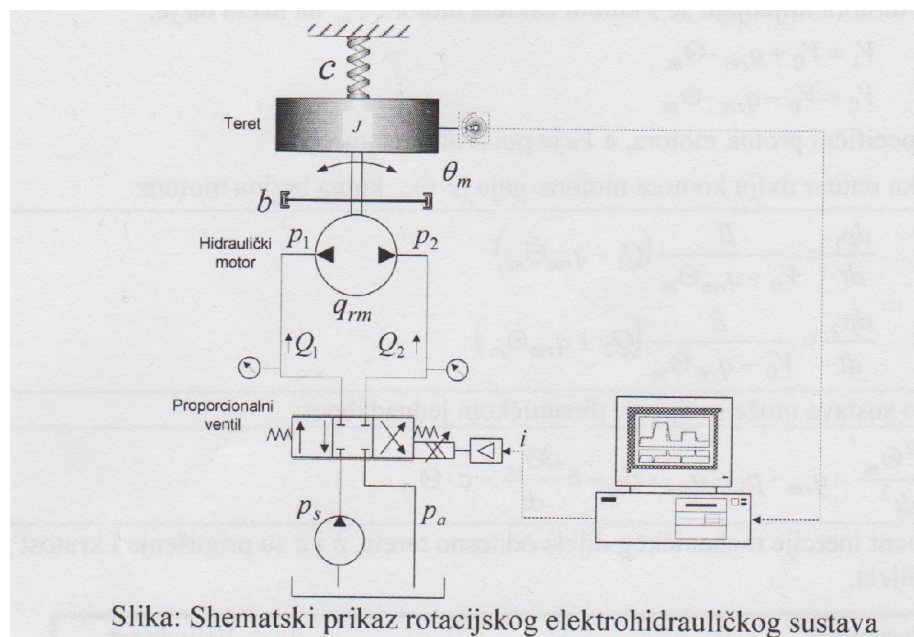
U zadatku je potrebno:

1. Načiniti simulacijski model **nelinearnog** sustava u Simulinku i simulirati odziv.
2. Zatvoriti povratnu vezu po položaju tereta (uzeti u obzir koeficijent povratne veze) i simulirati ponašanje sustava za pomak tereta iznosa 1 rad u lijevu i desnu stranu od srednjeg položaja motora. Prikazati na slikama ponašanje u vremenu za slijedeće varijable: referencu i ostvareni kut zakreta tereta, kutnu brzinu tereta, struju prop. ventila, pomak klipa prop ventila, protoke kroz prop. ventil, te tlakove u komorama motora. Pojačanjem regulatora ostvariti prihvatljiv odziv sustava.

### Opis zadatka

#### Slika hidrauličke sheme

Na slici je prikazan rotacijski hidraulički sustav, koji se sastoji od hidrauličkog motora upravljanog proporcionalnim ventilom, pri čemu se upravlja kutem zakreta tereta.



## Proporcionalni ventil

Dinamika proporcionalnog ventila može se opisati prijenosnom funkcijom P1 člana:

$$\frac{y_v(s)}{i(s)} = \frac{K_v}{\frac{1}{\omega_v} + 1} \quad (1)$$

$y_v$  - pozicija klipa proporcionalnog ventila, m

$i$  - ulazna struja proporcionalnog ventila, A

$K_v$  - koeficijent pojačanja proporcionalnog ventila, m/A

$\omega_v$  - vlastita frekvencija proporcionalnog ventila, rad/s

Jednadžbe protoka kroz proporcionalni ventil iznose:

$$Q_1(y_v, p_1) = \begin{cases} y_v * \sqrt{|p_s - p_1|} * \text{sign}(p_s - p_1), & \text{za } y_v \geq 0 \\ y_v * \sqrt{|p_1 - p_s|} * \text{sign}(p_1 - p_s), & \text{za } y_v < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$Q_2(y_v, p_2) = \begin{cases} y_v * \sqrt{|p_2 - p_a|} * \text{sign}(p_2 - p_a), & \text{za } y_v \geq 0 \\ y_v * \sqrt{|p_s - p_2|} * \text{sign}(p_s - p_2), & \text{za } y_v < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$p_1$  - tlak u lijevoj komori motora, Pa

$p_2$  - tlak u desnoj komori motora, Pa

$p_s$  - tlak napajanja, Pa

$p_a$  - tlak spremnika, Pa

Pretpostavlja se da su tlakovi napajanja i spremnika konstantne veličine

Protoci  $Q_1$  i  $Q_2$  su:

$$Q_1(y_v, p_1) = -Q_2(y_v, p_2) \quad (4)$$

## Hidraulički motor

Za motor vrijedi slijedeća hidrodinamička jednadžba:

$$\frac{V}{B} * \frac{dp}{dt} + \frac{dV}{dt} = Q \quad (5)$$

$B$  - modul stišljivosti ulja

$V$  - volumen motora,  $m^3$

$p$  - tlak motora, Pa

$Q$  - protok motora,  $m^3/s$

$\theta_m$  - kut zakreta motora, rad

Volumeni dviju komora motora mijenjaju se s kutom zakreta motora  $\theta_m$ :

$$V_1 = V_0 + q_{rm} * \dot{\theta}_m \quad (6)$$

$$V_2 = V_0 - q_{rm} * \dot{\theta}_m \quad (7)$$

$q_{rm}$  - specifični protok motora,  $m^3/rad$

$V_0$  - poluvolumen motora,  $m^3$

$\dot{\theta}_m$  - kutna brzina motora, rad/s

Ponašanje tlaka unutar dviju komora motora:

$$\frac{dp_1}{dt} = \frac{B}{V_0 + q_{rm}\theta_m} (Q - q_{rm}\dot{\theta}_m) \quad (8)$$

$$\frac{dp_2}{dt} = \frac{B}{V_0 - q_{rm}\theta_m} (Q + q_{rm}\dot{\theta}_m) \quad (9)$$

Mehanički dio sustava može se opisati dinamičkom jednadžbom:

$$J * \frac{d^2\theta_m}{dt^2} = q_{rm} * p_1 - q_{rm} * p_2 - b \frac{d\theta_m}{dt} - c * \theta_m \quad (10)$$

$J$  - moment inercije mehaničkog dijela (tereta),  $kgm^2$

$b$  - prigušenja mehaničkog dijela, Nms/rad

$c$  - krutost mehaničkih dijela, Nm/rad

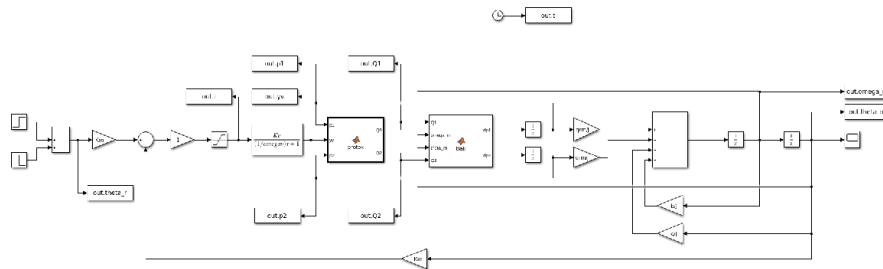
### Parametri sustava

```
global Kv omegav ps pa B V0 qrm J b c Km Kr
Kv = 5.55e-7;    % Koeficijent pojačanja proporcionalnog ventila
omegav = 113;    % Vlastita frekvencija proporcionalnog ventila
ps = 100e5;      % Tlak napajanja
pa = 1e5;        % Tlak spremnika
B = 1350e6;      % Modul stišljivosti ulja
V0 = 150e-6;     % Poluvolumen motora
qrm = 25.6e-6;   % Specifični protok motora
J = 0.00156;     % Moment inercije tereta
b = 0.5;         % Koeficijent prigušenja tereta (trenje)
c = 150;         % Koeficijent elastičnosti tereta
Km = 1;          % Koeficijent povratne veze
Kr = 1;          % Pojačanje P regulatora
```

## Simulink model

### Simulink shema

```
out = sim("seminar_simulink0.slx");
```



## Matlab funkcije u Simulinku

### Matlab funkcija protok

Funkcije protoka proporcionalnog ventila (2) i (3) su implementirane u Simulinku matlab funkcijom:

```
function [Q1, Q2] = protok(p1, yv, p2)

ps = 100e5;
pa = 1e5;

if yv >= 0
    Q1 = yv * sqrt(abs(ps - p1)) * sign(ps - p1);
    Q2 = -yv * sqrt(abs(p2 - pa)) * sign(p2 - pa);
else
    Q1 = yv * sqrt(abs(p1 - pa)) * sign(p1 - pa);
    Q2 = -yv * sqrt(abs(ps - p2)) * sign(ps - p2);
end

end
```

### Matlab funkcija tlak

Funkcije ponašanja tlaka unutar dvije komore motora (8) i (9) su implementirane u Simulinku matlab funkcijom:

```
function [dp1, dp2] = tlak(Q1, omega_m, theta_m, Q2)

qrm = 25.4e-6;
B = 1350e6;
V0 = 150e-6;

dp1 = (B/(V0 + qrm*theta_m) * (Q1 - qrm*omega_m));
dp2 = (B/(V0 - qrm*theta_m) * (Q2 + qrm*omega_m));

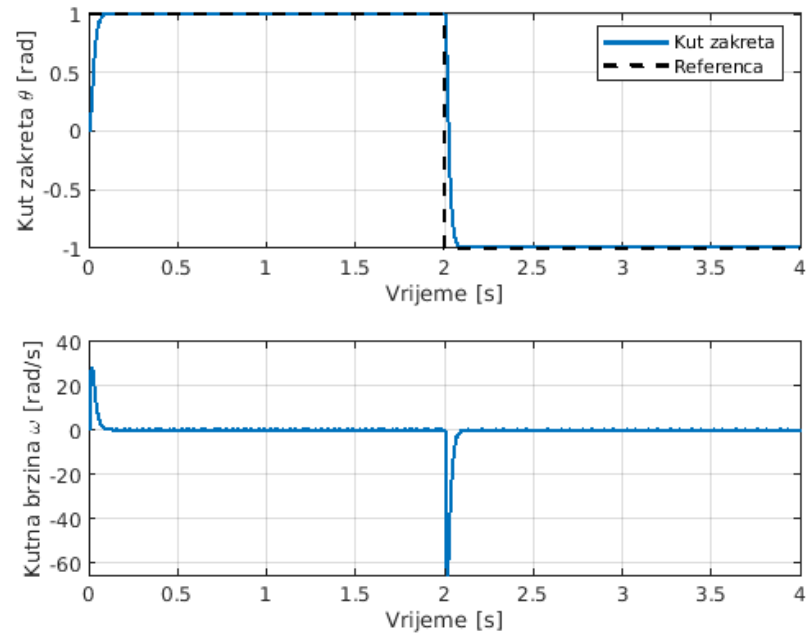
end
```

### Simulacijski rezultati

#### Pobuda i odziv

```
figure
subplot(2,1,1);
plot(out.t, out.theta_m, 'LineWidth', 2);
hold on
plot(out.t, out.theta_r, 'k--', 'LineWidth', 2);
grid on
xlabel('Vrijeme [s]');
ylabel('Kut zakreta \theta [rad]');
legend('Kut zakreta', 'Referenca');

subplot(2,1,2);
plot(out.t, out.omega_m, 'LineWidth', 2);
grid on
xlabel('Vrijeme [s]');
ylabel('Kutna brzina \omega [rad/s]');
```

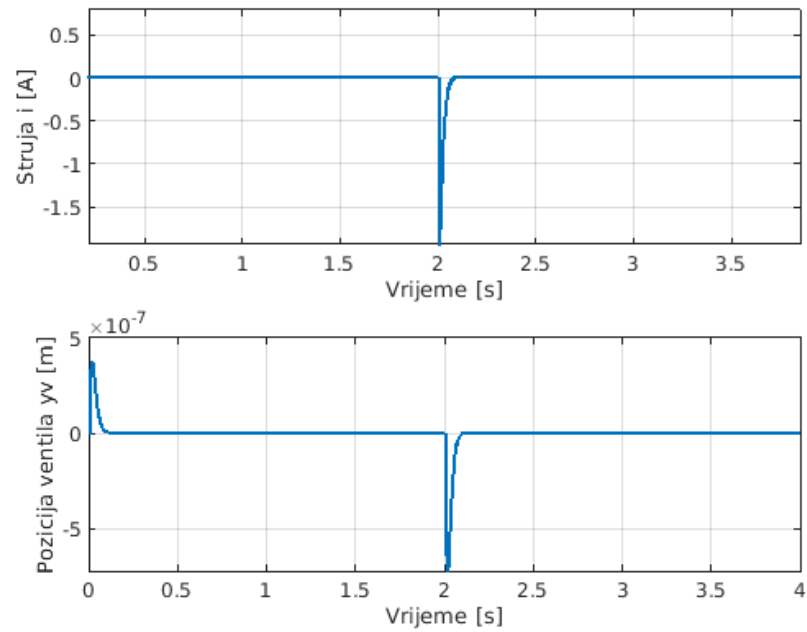


Kut zakreta prati referencu aperiodski i vrijeme smirivanja je malo.

### Pozicija proporcionalnog ventila

```
figure
subplot(2,1,1);
plot(out.t, out.i, 'LineWidth', 2);
grid on
xlabel('Vrijeme [s]');
ylabel('Struja i [A]');

subplot(2,1,2);
plot(out.t, out.yv, 'LineWidth', 2);
grid on
xlabel('Vrijeme [s]');
ylabel('Pozicija ventila yv [m]');
```

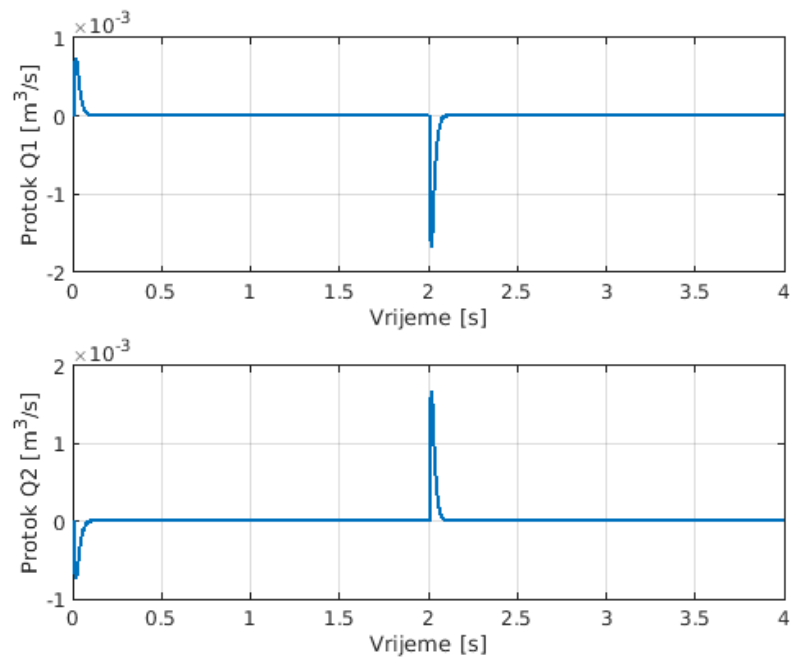


Grafovi pokazuju da je pozicija razvodnog klipa ventila proporcionaln struji.

### Protok proporcionalnog ventila

```
figure
subplot(2,1,1);
plot(out.t, out.Q1, 'LineWidth', 2);
grid on
xlabel('Vrijeme [s]');
ylabel('Protok Q1 [m^3/s]');

subplot(2,1,2);
plot(out.t, out.Q2, 'LineWidth', 2);
grid on
xlabel('Vrijeme [s]');
ylabel('Protok Q2 [m^3/s]');
```

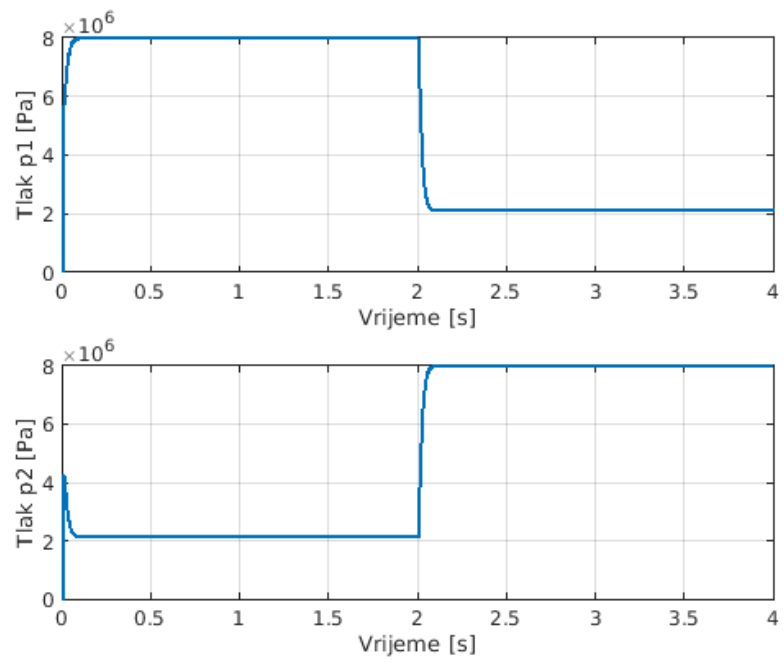


### Tlakovi u komorama motora

```
figure
subplot(2,1,1);
plot(out.t, out.p1, 'LineWidth', 2);
grid on
xlabel('Vrijeme [s]');
ylabel('Tlak p1 [Pa]');

subplot(2,1,2);
plot(out.t, out.p2, 'LineWidth', 2);
grid on
xlabel('Vrijeme [s]');
ylabel('Tlak p2 [Pa]');
```





**Zaključak**

**Prilog:**