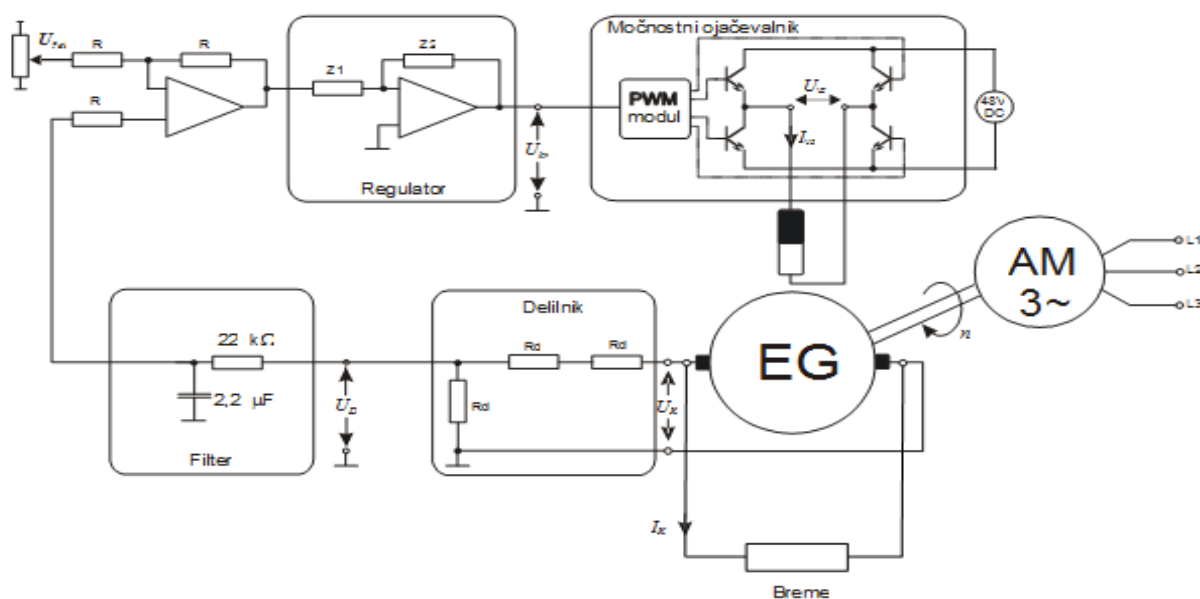


## POROČILO 9. LABORATORIJSKE VAJE

### 1. UVOD

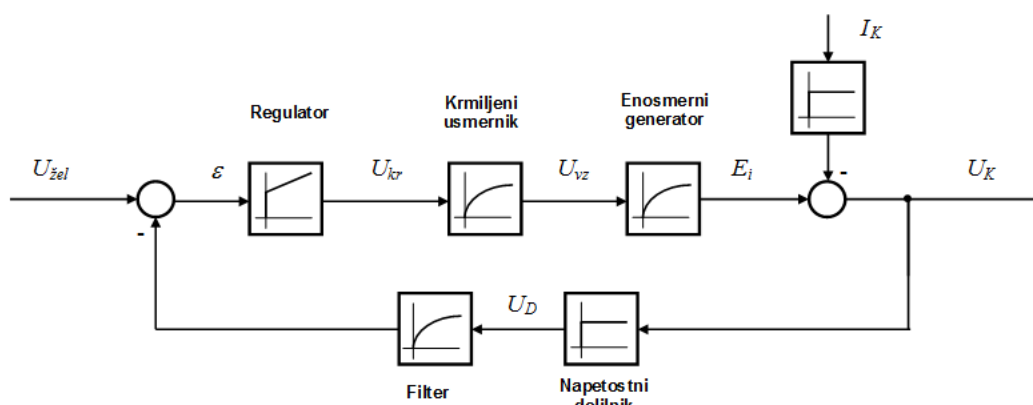
Za izvedbo vaje potrebujemo enako vezje, kot pri prvi laboratorijski vaji, ter regulacijske parametre, ki smo jih izračunali pri četrti vaji (izračun sistemskega ojačenja). Nato optimiziramo regulator, za katerega nato še izračunamo in izmerimo statični pogrešek za skočno spremembo želene vrednosti in skočno spremembo bremenskega toka.

Vežalni načrt je bil identičen vežalnemu načrtu 1. laboratorijske vaje:



Slika 1 : Vežalni načrt vaje

Lahko ga predstavimo tudi z blokovo shemo:



Slika 2: Blokovna shema s PI regulatorjem

## 2. REZULTATI

### 2.1 ANALOGNA IZVEDBA:

Pri analogni izvedbi pa smo imeli skočno spremembo obremenitve.

Delovna točka:  $U_K = 20\text{ V}$

**Računski del:**

**Parametri:**

Najprej izračunamo ojačenje  $K_{EG}$  in časovno konstanto  $T_{EG}$  enosmerne generatorja:

$$K_{EG} = \frac{\Delta U_K}{\Delta U_{VZ}} = 2,75$$

$$T_{EG} = \frac{L_{VZ}}{R_{VZ}} = 148\text{ ms}$$

Iz vrednosti  $\Delta U_{VZ}$  in  $\Delta U_{kr}$  lahko izračunamo ojačanje močnostnega ojačevalnika:

$$K_{MO} = \frac{\Delta U_{VZ}}{\Delta U_{kr}} = 2,45$$

Eksperimentalno določimo časovno konstanto  $T_{MO} = 11\text{ ms}$

Ojačanje  $K_F = 1$

Časovna konstanta gladilnega filtra:

$$T_F = RC = 48,4\text{ ms}$$

Izraz ojačanja delilnika:

$$K_D = \frac{u_{iz}}{u_{vh}} = \frac{R}{3R} = 0,2$$

**Optimizacija parametrov regulatorja:**

Parametre vstavimo v prenosne funkcije:

$$F_{MO}(s) = \frac{K_{MO}}{1 + sT_{MO}} = \frac{2,45}{1 + 11 \cdot s}$$

$$F_{EG}(s) = \frac{K_{EG}}{1 + sT_{EG}} = \frac{2,75}{1 + 148 \cdot s}$$

$$F_F(s) = \frac{K_F}{1 + sT_F} = \frac{1}{1 + 48,4 \cdot s}$$

$$F_D(s) = K_D = 0,2$$

Prenosna funkcija sistema, kjer je  $T_l > T_2 > T_\mu$ :

$$F_s(s) = \frac{K_s}{(1 + sT_\mu)(1 + sT_1)(1 + sT_2)}$$

$T_l = 148 \text{ ms}$ ,  $T_2 = 48,4 \text{ ms}$  in  $T_\mu = 11 \text{ ms}$ . Izračunane vrednosti ne morejo biti optimalne, saj bi moral biti  $T_\mu \ll T_2$ .

$$K_s = 1,35$$

Enačbi za ojačenje in časovno konstanto (PI regulator):

$$K_p = \frac{T_l^2 + T_2^2}{K_s T_l T_2} = 1,25$$

$$T_{ip} = \frac{(T_l^2 + T_2^2)(T_l + T_2)}{T_l^2 + T_l T_2 + T_2^2} = 151,6 \text{ ms}$$

Prenosno funkcijo regulatorja:

$$F_R(s) = K_p \frac{1 + sT_{ip}}{sT_{ip}} = 1,25 \frac{1 + 151,6 s}{151,6 s}$$

**Statični pogrešek:**

Prenosna funkcija odprtega regulacijskega kroga  $F_o(s)$ :

$$F_o(s) = F_R(s)F_{MO}(s)F_{EG}(s)F_D(s)F_F(s)$$

$$F_o(s) = K \frac{K_{MO}}{1 + s \cdot T_{MO}} \frac{K_{EG}}{1 + sT_{EG}} K_D \frac{1}{1 + 46 \cdot s}$$

Končen rezultat:

$$F_o(s) = \frac{5,032}{3(74888s^3 + 8942s^2 + 205s + 1)}$$

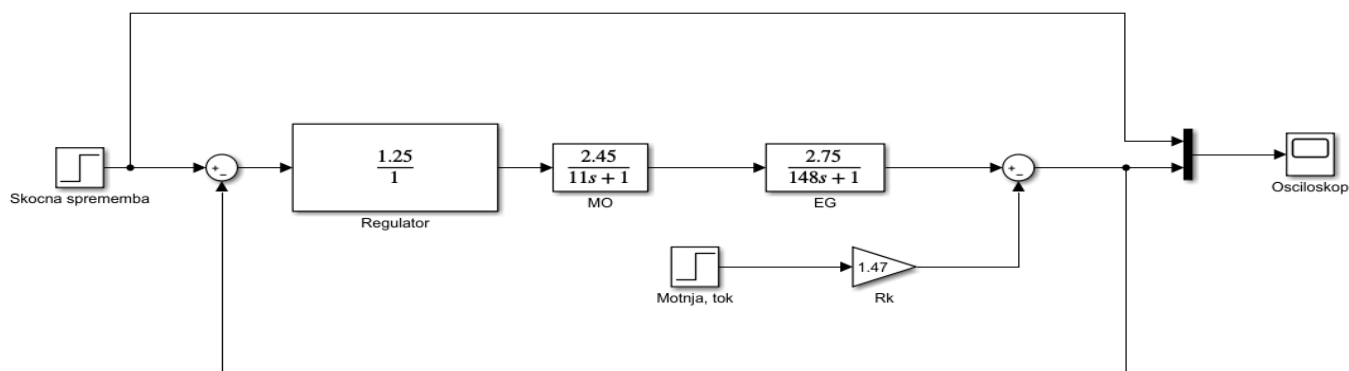
Izraz za statični pogrešek:

$$\varepsilon_s = \lim_{s \rightarrow 0} \left[ \frac{1}{1 + F_o \cdot \left( \frac{1}{K_D} \right)} \right] = \frac{1}{1 + 5,302} = 0,1587 = 15,87\%$$

Pri PI regulatorju je statični pogrešek 0.

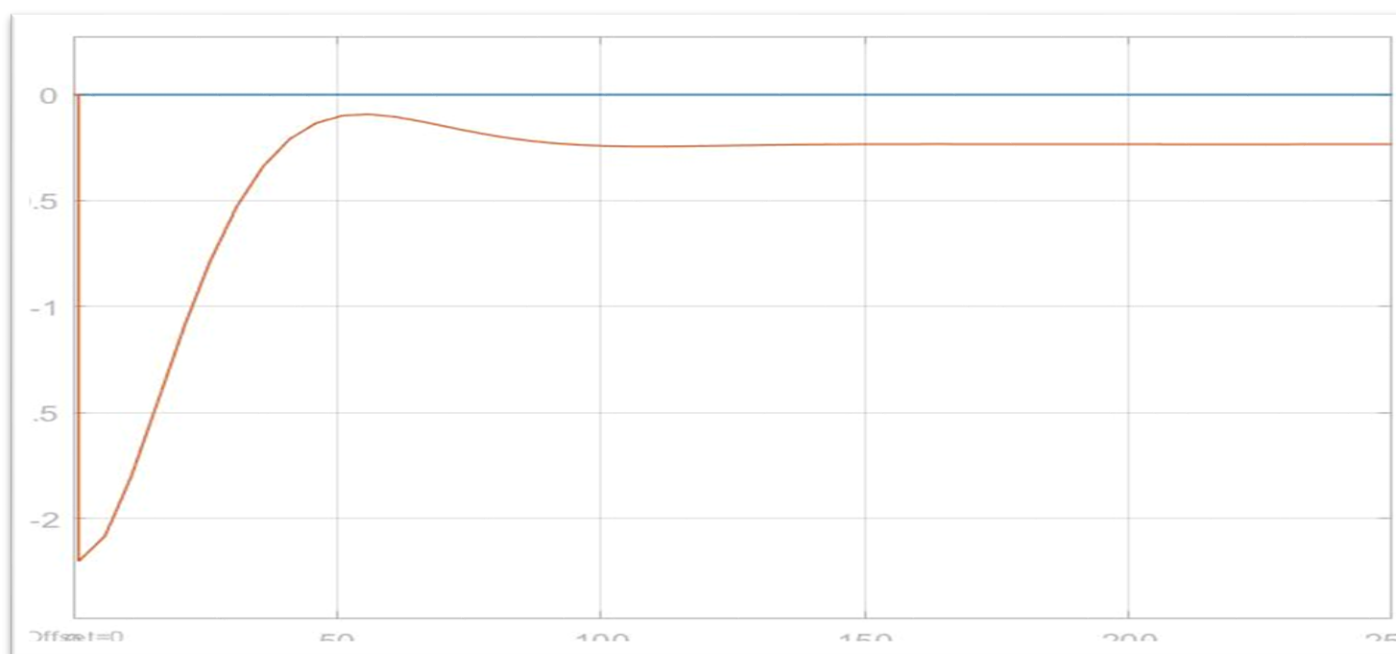
## Simulacijski shemi in grafa odzivov:

### P regulator:



Slika 3: Simulacijska shema analogne izvedbe(P regulator)

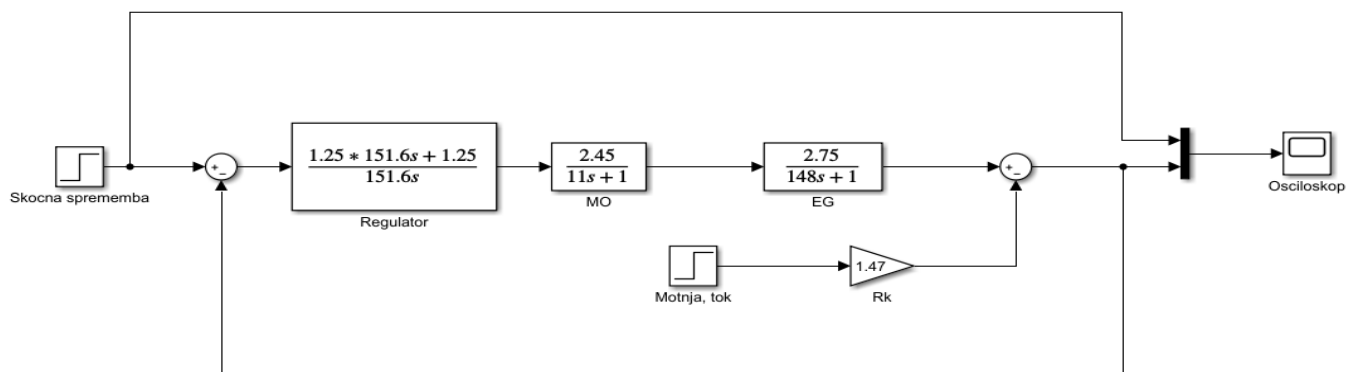
### Odziv izhodne napetosti:



Slika 4: Odziv izhodne napetosti analogne izvedbe(P regulator)

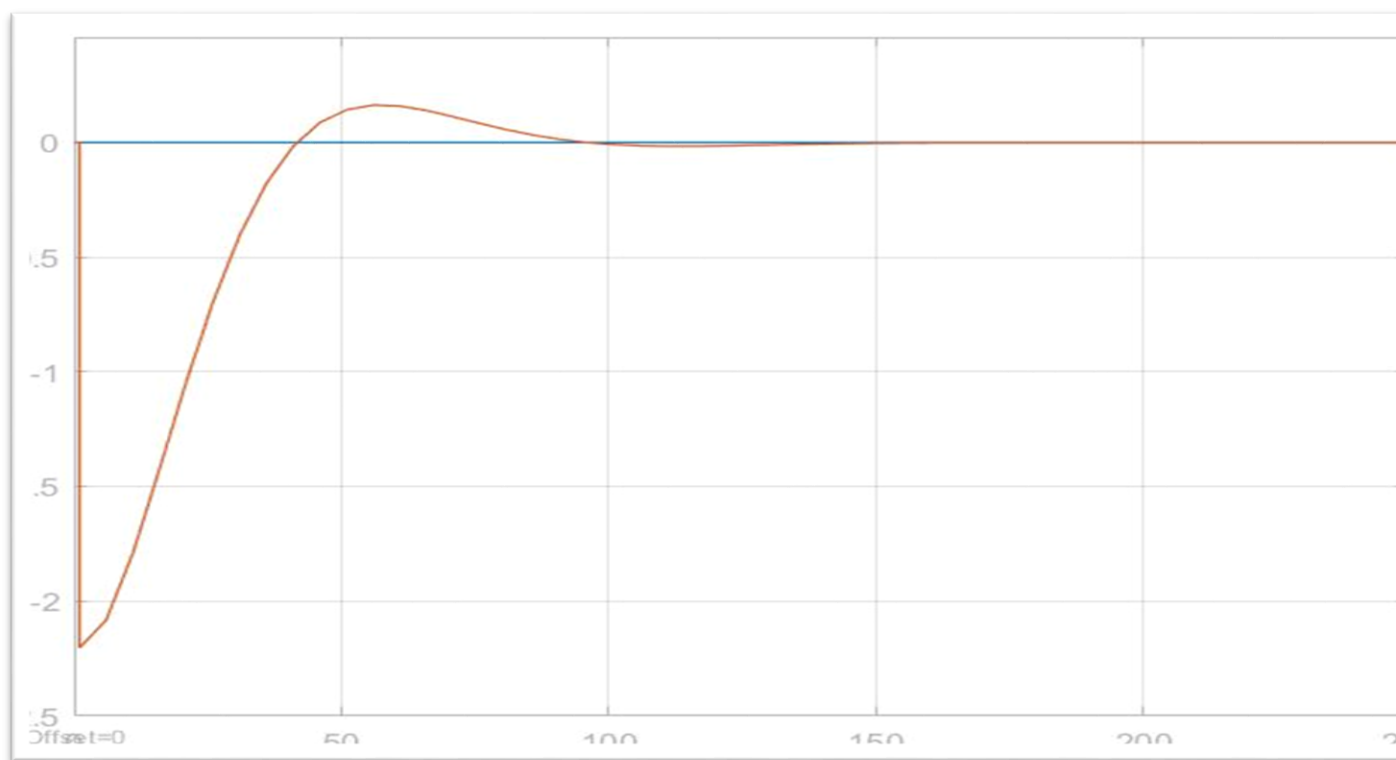
Pride do napetostnega vdora zaradi inducirane napetosti, katero povzroči zelo hiter narastek toka, nato pa se napetost ustali na nižji vrednosti, kot je bila njena prvotna.

### PI regulator:



Slika 5: Simulacijska shema analogne izvedbe(P regulator)

### Odziv izhodne napetosti:



Slika 6 Odziv izhodne napetosti analogne izvedbe(PI regulator)

Razvidno je, da statični pogrešek ni prisoten.

**2.2 DIGITALNA IZVEDBA:**

Delovna točka:  $U_K = 12 \text{ V}$

**Računski del:**

**Parametri:**

Enosmerni generator in močnostni ojačevalnik:

$$K_{EG} = 2,63$$

$$K_{MO} = 1,2$$

$$T_{EG} = 148 \text{ ms}$$

$$T_{MO} = 11 \text{ ms}$$

Gladilni filter:

$$K_F = 1$$

$$T_F = 46 \text{ ms}$$

Napetostni delilnik:

$$K_D = \frac{4,04}{12} = 0,3333$$

Sistemska ojačenje:

$$K_S = K_{EG} \cdot K_{MO} \cdot K_D = 2,63 \cdot 1,2 \cdot 0,333 = 1,05$$

Prenosna funkcija regulatorja:

$$F_R(s) = K_p \cdot \frac{1 + s \cdot T_{ip}}{s \cdot T_{ip}}$$

Prenosne funkcije enosmernega generatorja, močnostnega ojačevalnika, filtra in delilnika:

$$F_{EG}(s) = \frac{K_{EG}}{1 + sT_{EG}} = \frac{2,63}{1 + 148s}$$

$$F_{MO}(s) = \frac{K_{MO}}{1 + sT_{MO}} = \frac{1,2}{1 + 11s}$$

$$F_F(s) = \frac{K_F}{1 + sT_F} = \frac{1}{1 + 46s}$$

$$F_D(s) = K_D = 1/3$$

prenosno funkcija reguliranja:

$$F_S(s) = F_{EG} F_{MO} F_F F_D = \frac{K_{EG}}{1 + sT_{EG}} \frac{K_{MO}}{1 + sT_{MO}} \frac{K_F}{1 + sT_F} K_D = \frac{2,63}{1 + 148s} \frac{1,2}{1 + 11s} \frac{1}{1 + 46s} \frac{1}{3}$$

**Optimizacija parametrov regulatorja:**

Po enakem postopku, kot pri analogni dobimo izraza za časovno konstanto in ojačanje:

$$K_p = \frac{T_l^2 + T_2^2}{2 \cdot K_s \cdot T_l \cdot T_2} = 1,68$$

$$T_{ip} = \frac{(T_l^2 + T_2^2)(T_l + T_2)}{T_l^2 + T_l T_2 + T_2^2} = 151,2 \text{ ms}$$

$$T_l = 148 \text{ ms}, T_2 = 46 \text{ ms}, T_\mu = 11 \text{ ms in } K_s = 1,05$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_{ip}} = 11,1$$

Prenosna funkcija regulatorja:

$$F_R(s) = K_p \frac{1 + sT_{ip}}{sT_{ip}} = 1,68 \frac{1 + 151,2 s}{151,2 s}$$

**Statični pogrešek:**

Prenosna funkcija odprtega regulacijskega kroga:

$$F_0(s) = F_R(s)F_{EG}(s)F_{MO}(s)F_F(s)F_D(s) = \frac{0,2 \cdot 8,4}{78795s^3 + 9323,6s^2 + 207,4s + 1}$$

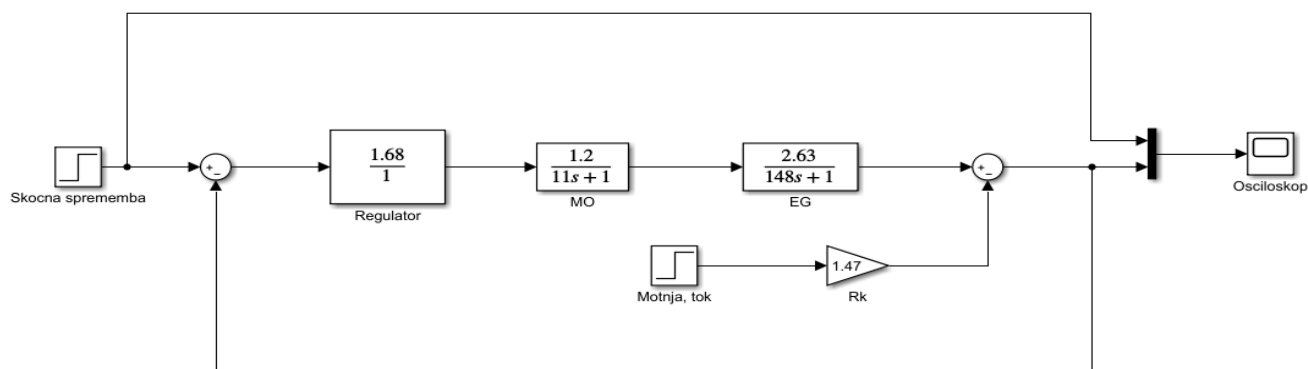
Statični pogrešek:

$$\varepsilon_s = \lim_{s \rightarrow 0} \left[ s \cdot \chi^*(s) \cdot \frac{K_m}{1 + F_0 \cdot \left( \frac{1}{K_D} \right)} \right] = 0,234 = 23,4 \%$$

Pri PI regulatorju je enak 0.

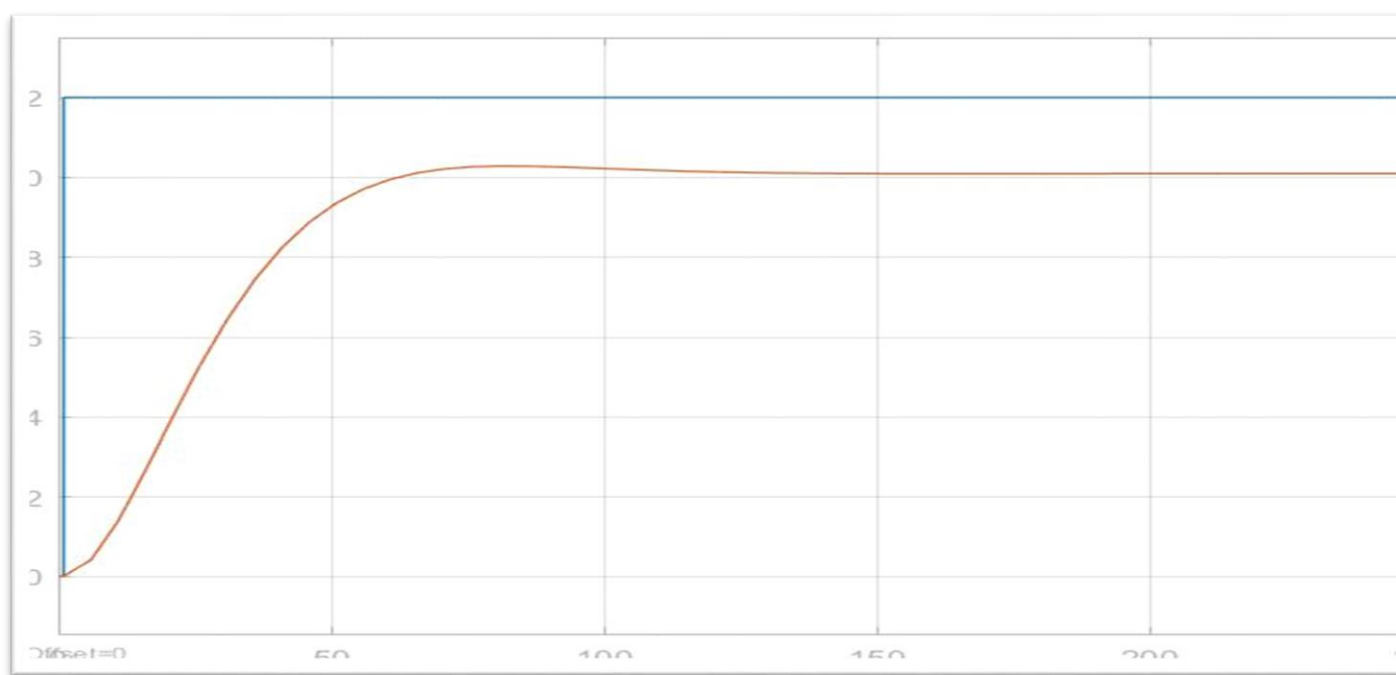
## Simulacijski shemi in grafi odzivov:

P regulator:



Slika 7 Simulacijska shema digitalne izvedbe(P regulator)

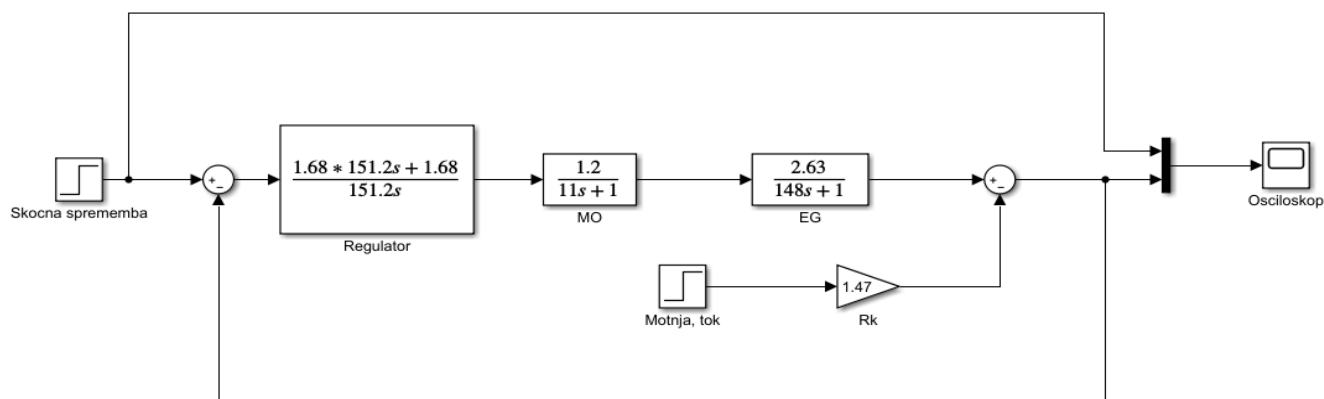
Odziv sistema:



Slika 8 Odziv sistema digitalne izvedbe(P regulator)

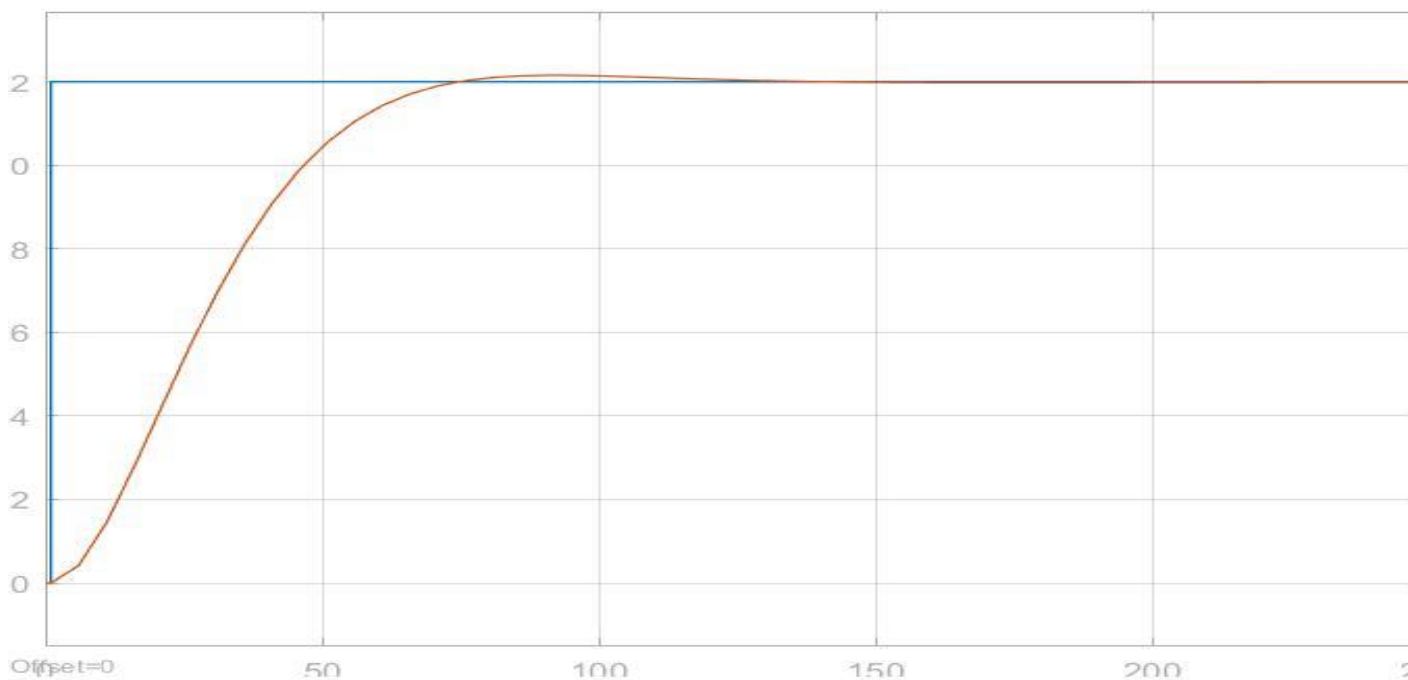


PI regulator:



Slika 9 Simulacijska shema digitalne izvedbe(PI regulator)

Odziv sistema:



Slika 9 Odziv sistema digitalne izvedbe(PI regulator)