

# Pismeni ispit iz Procesne automatizacije, ak.g. 2020/2021

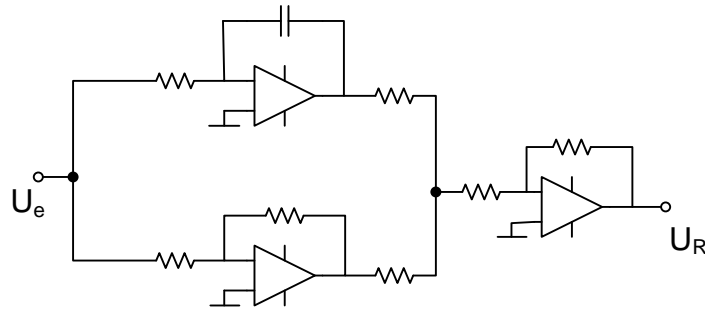
Datum: 8. veljače 2021.

Ime i prezime: \_\_\_\_\_

JMBAG: \_\_\_\_\_

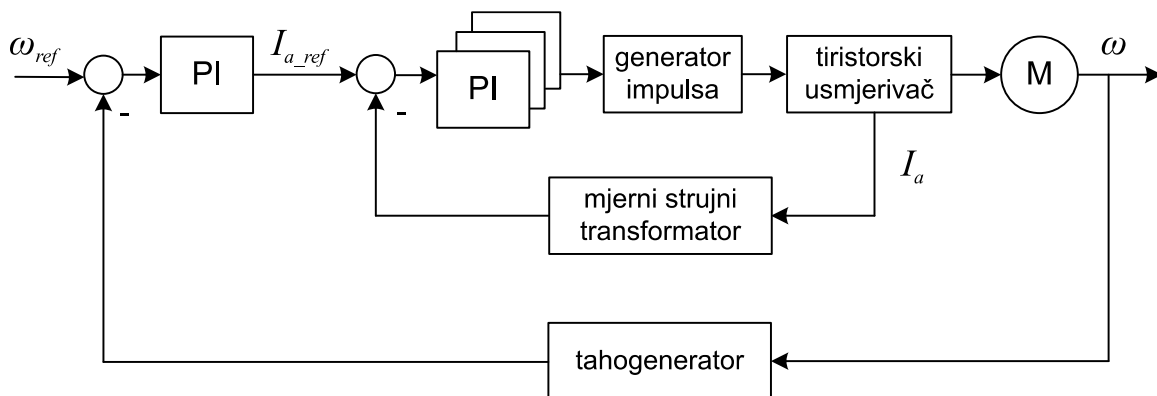
## Zadatak 1. (12 bodova)

a) (4 boda) Na Slici 1. nalazi se načelna shema analognog PI regulatora. Izračunajte MTBF i MTTR PI regulatora, uz podatke o pouzdanosti pojedinih elemenata dane Tablicom 1.



Slika 1. Analogni PI regulator

b) (8 bodova) Ovakvi PI regulatori koriste se za regulaciju elektromotornog pogona. Regulacijska struktura sastoji se od generatora impulsa, tiristorskog usmjerivača, motora, tahogeneratora i mjernog strujnog transformatora, koji nisu izvedeni redundantno, te od jednog utrostručenog PI regulatora sa statičkom redundancijom i savršeno pouzdanim sklopom za usporedbu, vidi Sliku 2. Kolika je vjerojatnost da navedeni sustav upravljanja radi ispravno nakon 180 dana rada?



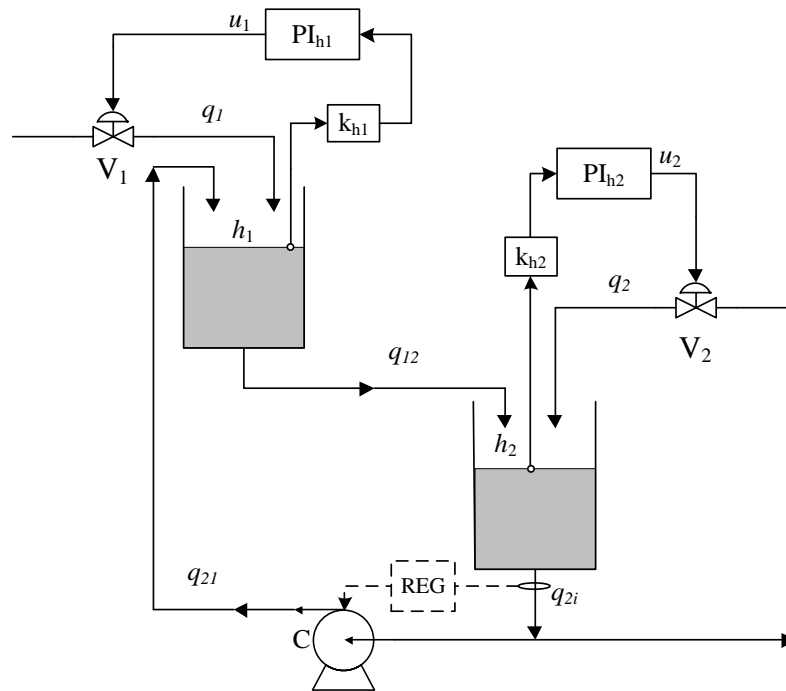
Slika 2. Sustav automatskog upravljanja

Element sustava	MTBF	MTTR
Operacijsko pojačalo	540 dana	1 dan
Otpornici i kondenzatori	700 dana	1 dan
Generator impulsa	220 dana	2 dana
Tiristorski usmjerivač	110 dana	2 dana
Motor	500 dana	4 dana
Tahogenerator	460 dana	4 dana
Mjerni strujni transformator	500 dana	4 dana

Tablica 1. MTBF i MTTR pojedinih elemenata sustava upravljanja.

**Zadatak 2. (17 bodova)**

Sustav dvaju spregnutih spremnika tekućine prikazan je na Slici 4. Ulazne veličine procesa su ulazni volumni tokovi tekućine u prvi ( $q_1$ ) i drugi ( $q_2$ ) spremnik, a izlazne veličine su razine tekućine u prvom ( $h_1$ ) i drugom ( $h_2$ ) spremniku. Sprege među spremnicima ostvarene su cjevovodom kojim se dio tekućine prelijeva iz prvog spremnika u drugi s protokom  $q_{12}$  te crpkom  $C$  koja prelijeva dio tekućine koja se izlijeva iz drugog spremnika u prvi spremnik s protokom  $q_{21} = \beta q_{2i}$ , dok se ostatak tekućine slobodno izlijeva. Iz razloga jednostavnosti pretpostavljeno je da su istjecanja tekućine iz oba spremnika proporcionalna razinama tekućine u njima, tj.  $q_{12} = \alpha_1 h_1$  i  $q_{2i} = \alpha_2 h_2$ . Upravljanje procesom ostvaruje se pomoću regulacijskih ventila  $V_1$  i  $V_2$  koji se mogu opisati prijenosnim funkcijama PT<sub>1</sub>-tipa, tj.  $G_{v1}(s) = \frac{Q_1(s)}{U_1(s)} = \frac{k_{v1}}{1 + T_{v1}s}$ ,  $G_{v2}(s) = \frac{Q_2(s)}{U_2(s)} = \frac{k_{v2}}{1 + T_{v2}s}$ . Mjerni članovi razine tekućine u spremnicima imaju prijenosne funkcije P-tipa.



Slika 4. Spregnuti spremnici tekućine

Potrebno je:

- (5 bodova) Odrediti matematički model procesa u strukturi sličnoj V kanoničkoj strukturi (glavne prijenosne funkcije ispred sprežnih). Prijenosne funkcije zapisati tako da se vide koeficijent pojačanja i vremenske konstante.
- (5 bodova) Odrediti parametre glavnih regulatora PI tipa prema tehničkom optimumu ( $\zeta = \sqrt{2}/2$ ).
- (2 boda) Rasprezanje MIMO sustava spremnika tekućina realizira se regulatorom čija je struktura slična P kanoničkoj strukturi (glavni regulatori ispred rasprežnih regulatora). Nacrtajte blokovsku shemu zatvorenog sustava upravljanja s rasprežnim regulatorima i procesom (dovoljno je na shemi označiti prijenosnu funkciju njenom oznakom, npr.  $G_{11}(s)$ ).
- (5 bodova) Izvedite izraze za rasprežne regulatore. Izračunajte prijenosne funkcije rasprežnih regulatora.

Zadano je:

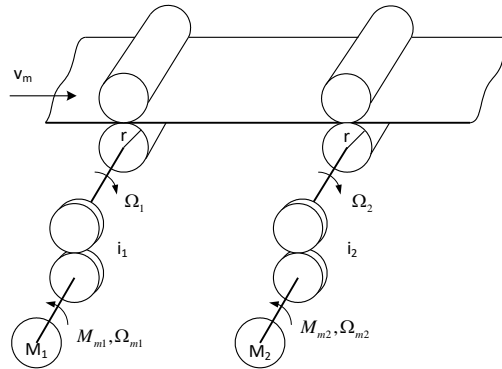
$$\alpha_1 = \alpha_2 = 0.1 \text{ m}^2/\text{s}; \quad \beta = 0.4; \quad k_{v1} = k_{v2} = 0.2 \text{ (m}^3/\text{s)/V}; \quad T_{v1} = T_{v2} = 0.4 \text{ s};$$

Koeficijenti pojačanja mjernih članova razine tekućine u spremnicima  $k_{h1} = k_{h2} = 2 \text{ V/m}$ ;

Površine poprečnih presjeka spremnika  $A_1 = 0.5 \text{ m}^2$ ,  $A_2 = 0.2 \text{ m}^2$ .

**Zadatak 3. (9 bodova)**

Na Slici 3. je prikazan sustav za valjanje aluminijske trake. Regulacijom se postiže konstantna sila napetosti trake  $F_T = 1500$  N i brzina valjanja trake  $v_m = 0.5$  m/s. U trenutku  $t_I$  brzina vrtnje motora 2 počinje linearno rasti kutnom akceleracijom  $\alpha = 1$  rad/s<sup>2</sup>, dok brzina motora 1 ostaje nepromijenjena. Nakon kojeg će vremena, računajući od trenutka  $t_I$ , doći do pucanja trake ako je maksimalna sila napetosti koju traka može izdržati  $F_T = 5000$  N? Pretpostavlja se da linearna ovisnost koja veže brzinu rastezanja trake i silu napetosti trake vrijedi do samog pucanja.



Slika 3. Sustav za valjanje aluminijske trake

Zadano je:

$$r = 0.2 \text{ m}$$

$K_T = 5.85 \cdot 10^4$  N/m – koeficijent elastičnosti trake

$T_T = 5$  ms – vremenska konstanta razvijanja sile napetosti u traci

$$i_1 = 3$$

$$i_2 = 5$$

**Zadatak 4. (12 bodova)**

a) (12 bodova) Zadana je diskretna prijenosna funkcija jednostavnog modela procesa grijanja prostorije (vrijeme uzorkovanja  $T = 50$  s):

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = z^{-2} \frac{0.2}{1 - 0.6z^{-1}}.$$

Pri tome je  $u(t)$  upravljačka veličina procesa grijanja prostorije, a  $y(t)$  je temperatura prostorije.

Potrebno je projektirati GPC algoritam uz duljinu predikcijskog horizonta  $N = N_2 - N_1 + 1 = 2$ , duljinu upravljačkog horizonta  $N_u = 2$  i poznate buduće referentne veličine temperature prostorije  $w(k)$ . Kriterijska funkcija je:

$$J = \sum_{j=N_1}^{N_2} \left[ y(k+j|k) - w(k+j) \right]^2 + \lambda \sum_{j=1}^{N_u} \left[ \Delta u(k+j-1|k) \right]^2.$$

Težinski faktor  $\lambda$  u kriterijskoj funkciji jednak je 1. Za trenutak početka penaliziranja  $N_I$  odaberite najmanju vrijednost  $j$  za koju  $\Delta u(k|k)$  ima utjecaja na  $y(k+j|k)$ . Model procesa je CARIMA model:

$$A(q^{-1})y(k) = q^{-d}B(q^{-1})u(k-1) + \frac{C(q^{-1})}{\Delta}e(k).$$

Polinom  $C$  modela poremećaja jednak je 1. Algoritam GPC-a potrebno je prikazati u obliku:

$$u(k) = f(w(k), y(k), y(k-1), \dots, u(k-1), \dots).$$