

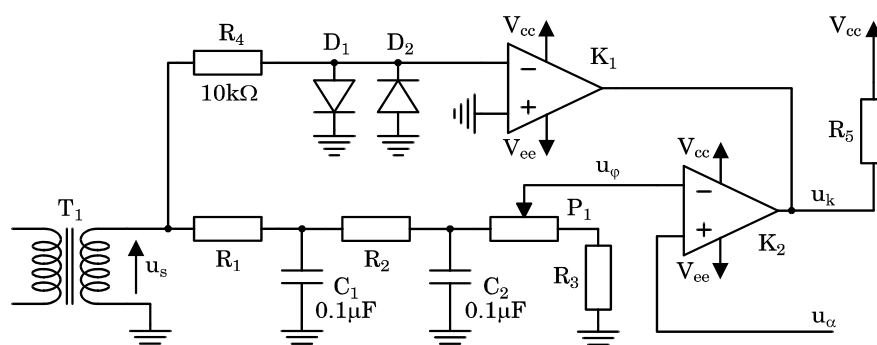
# PROJEKAT REGULATORA JEDNOSMERNOG NAPONA SA MONOFAZNIM POLUUPRAVLJIVIM MOSNIM ISPRAVLJAČEM

## PROJEKTNI ZADATAK

Proračunati i realizovati upravljačko kolo regulatora napona sa monofaznim polupravljivim ispravljačem tako da se pri promeni referentnog napona  $U_r = 0 \dots 8 \text{ V}$  napon na opterećenju menja u granicama  $U_0 = 0 \dots 50 \text{ V}$ . Proveriti osetljivost regulatora na promenu mrežnog napona i na promenu otpornosti opterećenja.

## SINHRONIZACIJA SA MREŽNIM NAPONOM

Na slici 1. je prikazan deo kola koji služi za sinhronizaciju upravljačkog kola sa mrežnim naponom, a na slici 2. su prikazani karakteristični talasni oblici napona za ovo kolo.



*Sl. 1. Kolo za sinhronizaciju*

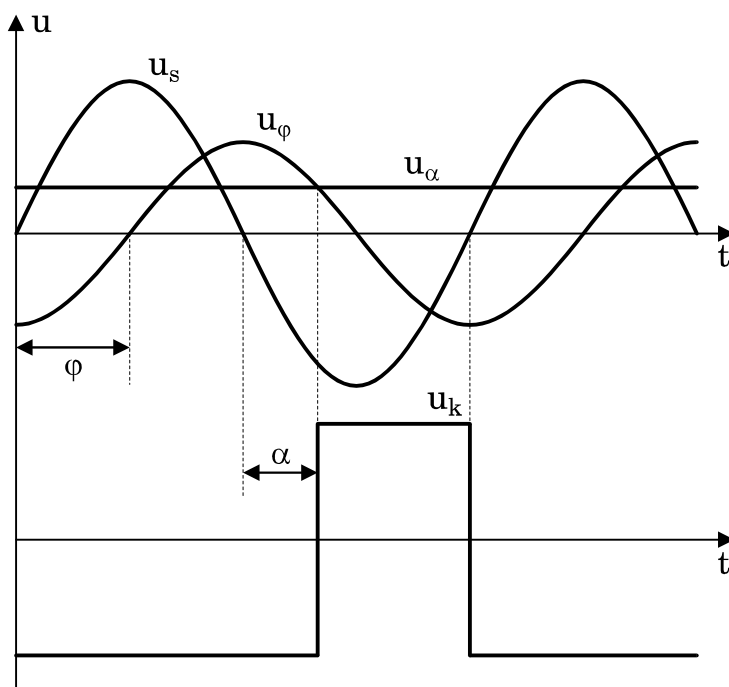
Kolo je preko transformatora  $T_1$  vezano na mrežni napon. Sekundarni napon ovog transformatora ( $u_s$ ) se preko otpornika  $R_4$  dovodi na ulaz komparatora  $K_1$  koji služi za određivanje polariteta tekuće periode mrežnog napona. Diode  $D_1$  i  $D_2$  služe za ograničenje ulaznog napona komparatora. Osim toga, sekundarni napon sinhronizacionog transformatora ( $T_1$ ) se dovodi na ulaz dvostrukog RC filtra koga čine elementi  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $P_1$ ,  $C_1$  i  $C_2$ , čija uloga je da fazno okasni sinhronizacioni napon ( $u_s$ ) za ugao  $90^\circ$ . Izlaz iz filtra se dovodi na ulaz komparatora  $K_2$  gde se ovaj napon upoređuje sa naponom  $u_\alpha$  koji određuje ugao paljenja " $\alpha$ " i to na taj način što je  $\cos(\alpha)$  srazmerno upravljačkom naponu  $U_\alpha$ :

$$\cos(\alpha) = k \cdot U_\alpha$$

Ovo je pogodno jer je i srednja vrednost napona na izlazu ispravljača srazmerna kosinusu ugla upravljanja:

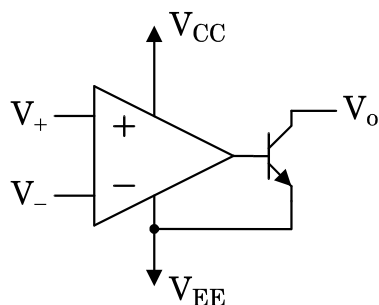
$$U_d = \frac{\sqrt{2}E}{\pi} \cdot [1 + \cos(\alpha)] - \frac{x_k I_d}{\pi}$$

čime se vrši linearizacija funkcije prenosa ispravljača i delimična kompenzacija promene mrežnog napona.



**Sl. 2. Kolo za sinhronizaciju**

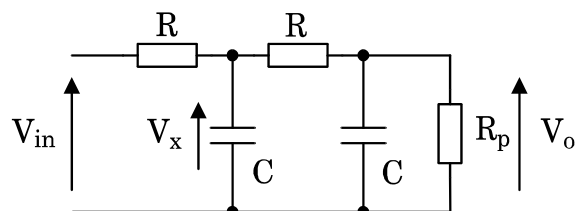
Kao komparatori se koriste integrisana kola LM393 koji u izlaznom stepenu imaju NPN tranzistor sa otvorenim kolektorom (slika 3.) tako da se izlazi više komparatora mogu vezati zajedno čime se postiže "I" funkcija (izlazni napon oba komparatora "u<sub>k</sub>" postaje V<sub>cc</sub> tek ako je na oba komparatora potencijal neinvertujućeg ulaza viši od potencijala invertujućeg ulaza).



**Sl. 3. Komparator LM393**

## FUNKCIJA PRENOSA DVOSTRUKOG R-C FILTRA

Na slici 4. prikazan je dvostruki RC filter opterećen otpornikom  $R_p$ :



Sl. 4. Dvostruki RC filter

Napon na izlazu prve sekcije filtra je:

$$V_x = \left( \frac{V_{in}}{R} + \frac{V_o}{R} \right) \cdot \frac{\frac{R}{2} \cdot \frac{1}{sC}}{\frac{R}{2} + \frac{1}{sC}}$$

$$V_x = (V_{in} + V_o) \cdot \frac{1}{RCs + 2} = (V_{in} + V_o) \cdot \frac{1}{\frac{s}{\omega_0} + 2} \quad (1)$$

gde je  $\omega_0$  karakteristična učestanost filtra ( $\omega_0=1/RC$ ). Napon na izlazu filtra u funkciji napona na izlazu prve sekcije je:

$$V_o = V_x \cdot \frac{\frac{R_p}{R_p Cs + 1}}{R + \frac{R_p}{R_p Cs + 1}} = V_x \cdot \frac{R_p}{RR_p Cs + R + R_p} = V_x \cdot \frac{1}{RCs + \left(1 + \frac{R}{R_p}\right)} = V_x \cdot \frac{1}{\frac{s}{\omega_0} + (1 + A)}$$

odnosno:

$$V_x = V_o \cdot \left[ \frac{s}{\omega_0} + (1 + A) \right] \quad (2)$$

gde je  $A=R/R_p$ . Izjednačavanjem izraza (1) i (2) dobija se:

$$V_o \cdot \left[ \frac{s}{\omega_0} + (1 + A) \right] = (V_{in} + V_o) \cdot \frac{1}{\frac{s}{\omega_0} + 2}$$

pa je funkcija prenosa filtra:

$$G(s) = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + (3+A) \cdot \left(\frac{s}{\omega_0}\right) + (2A+1)}$$

Da bi fazni pomeraj filtra na mrežnoj učestanosti bio  $90^\circ$  potrebno je da realni deo funkcije prenosa bude jednak nuli:

$$\operatorname{Re}[G(s)] = 0 \Rightarrow 2A+1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 = 0 \Rightarrow \frac{\omega}{\omega_0} = \sqrt{2A+1}$$

Ako se na izlazu filtra želi napon amplitude 10 V (nešto manji od napona napajanja) onda je:

$$|G(s)| = \frac{1}{(3+A) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)} = \frac{10}{50 \cdot \sqrt{2}} \Rightarrow (3+A) \cdot \sqrt{2A+1} = 5 \cdot \sqrt{2}$$

Odakle sledi (pri  $C=0.1\mu\text{F}$ )  $A=1.035$ ,  $R=55.78\text{k}$ ,  $R_p=53.88\text{k}$ .

Ako se uzme da je  $A=1$  ( $R=R_p$ ) onda je funkcija prenosa:

$$G(s) = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{s}{\omega_0}\right) + 3}$$

Fazni pomeraj će biti  $\varphi=90^\circ$  ako je:

$$\operatorname{Re}[G(s)] = 0 \Rightarrow 3 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 = 0 \Rightarrow \omega_0 = \frac{\omega}{\sqrt{3}} = \frac{1}{RC}$$

ako se usvoji  $C=0.1\mu\text{F}$  onda je:

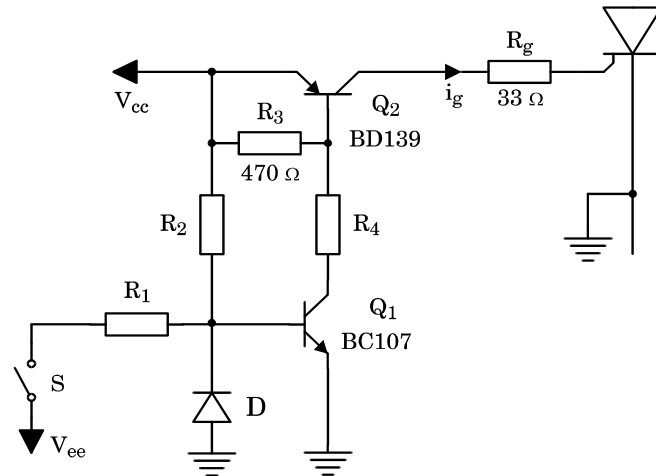
$$R = \frac{\sqrt{3}}{100 \cdot \pi \cdot C} = \frac{100 \cdot \sqrt{3}}{\pi} \text{ k}\Omega = 55.13 \text{ k}\Omega$$

Amplituda napona na izlazu iz filtra je tada:

$$V_o = 50 \cdot \sqrt{2} \cdot |G(s)| = \frac{50 \cdot \sqrt{2}}{4 \cdot \frac{\omega}{\omega_0}} = \frac{50 \cdot \sqrt{2}}{4 \cdot \sqrt{3}} = 10.2 \text{ V}$$

## IMPULSNI POJAČAVAČ

Na slici 5. je prikazana električna šema impulsnog pojačavača namenjenog za generisanje impulsa za paljenje tiristora. Pojačanja primenjenih tranzistora su: BC107 -  $\beta = 200$ ; BD139 -  $\beta = 140$ . Izlazni stepen komparatora je na šemi prikazan kao prekidač "S".



Sl. 5. Impulsni pojačavač

Kada je prekidač isključen tranzistor  $Q_1$  se uključuje jer dobija baznu struju preko otpornika  $R_2$ , pa se zbog toga uključuje i tranzistor  $Q_1$  i tiristor dobija impuls za paljenje. Minimalna struja za sigurno paljenje primenjenih tiristora iznosi  $I_{gmin} = 50 \text{ mA}$ . Zato se usvaja  $I_g = 0.1 \text{ A}$  ( $V_{cc} = 5 \text{ V} \Rightarrow R_g \approx 33 \Omega$ ). Da bi pri ovoj struji tranzistor  $Q_2$  bio u zasićenju struja baze treba da bude:

$$I_{B2} > \frac{I_{C2}}{\beta}$$

Kolektorska struja tranzistora  $Q_1$  je tada:

$$I_{C1} = I_{B2} + I_{R3} = I_{B2} + \frac{V_{BE2}}{R_3}$$

Kolektorski otpornik tranzistora  $Q_1$  treba da ima vrednost:

$$R_4 = \frac{V_{cc} - V_{BE2} - V_{CES1}}{I_{C1}} = \frac{V_{cc} - 0.8 \text{ V} - 0.1 \text{ V}}{I_{C1}} = \frac{V_{cc} - 0.9 \text{ V}}{I_{C1}}$$

Da bi pri ovoj struji tranzistor  $Q_1$  bio u zasićenju struja baze treba da bude:

$$I_{B1} > \frac{I_{C1}}{\beta}$$

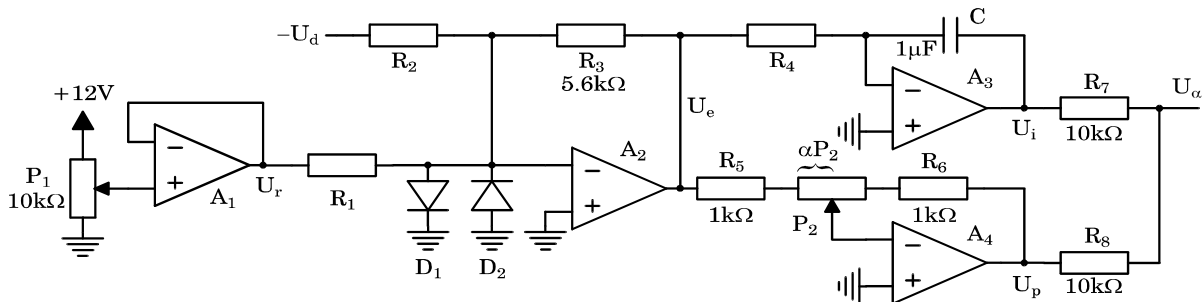
a otpornost otpornika  $R_2$  treba da bude:

$$R_2 < \frac{V_{cc} - V_{BE1}}{I_{B1}} = \frac{5V - 0.7V}{I_{B1}} = \frac{4.3V}{I_{B1}}$$

Otpornik  $R_1$  se dimenzioniše tako da, kada je prekidač uključen, struja diode treba da bude veća od nule jer će se tada padom napona na diodi izvršiti inverzna polarizacija spoja baza-emiter tranzistora  $Q_1$  i samim tim gašenje oba tranzistora:

$$I_D = I_{R_1} - I_{R_2} = \frac{V_{ee} - V_D}{R_1} - \frac{V_{cc} + V_D}{R_2} = \frac{12V - 0.6V}{R_1} - \frac{5V + 0.6V}{R_2} = \frac{11.4V}{R_1} - \frac{5.6V}{R_2} > 0$$

## REGULATOR



Sl. 6. Impulsni pojačavač

Kolo regulatora je prikazano je na slici 6. Referentni napon se zadaje potenciometrom  $P_1$  i može imati vrednost  $U_r = 0 \dots 12V$ . Iza potenciometra je postavljen razdvojni pojačavač ( $A_1$ ) sa jediničnim pojačanjem čiji izlazni napon predstavlja referentni napon  $U_r$ . Pojačavač  $A_2$  predstavlja sabirač kojim se formira signal greške:

$$U_e = U_d \cdot \frac{R_3}{R_2} - U_r \cdot \frac{R_3}{R_1}$$

Signal greške se, preko otpornika  $R_4$  uvodi u integrator  $A_3$  čiji je izlazni napon:

$$U_i = -\frac{1}{C} \cdot \int i_c dt = -\frac{1}{C} \cdot \int \frac{U_e}{R_4} dt = -\frac{1}{R_4 C} \cdot \int U_e dt$$

a preko otpornika  $R_5$  u pojačavač  $A_4$  koji predstavlja proporcionalni deo regulatora sa izlaznim naponom:

$$U_p = U_e \cdot \frac{R_6 + (1 - \alpha)P_2}{R_5 + \alpha P_2}$$

## POSTUPAK PODEŠAVANJA REGULATORA

1. Da bi se postigla zadata srazmera izlaznog i referentnog napona potrebno je da bude:

$$\frac{U_d}{U_r} = \frac{50V}{8V} = 6.25 = \frac{R_2}{R_1}$$

Može se uzeti  $R_1 = 4k$  i  $R_2 = 25 k$ .

2. Proporcionalno pojačanje postaviti na vrednost  $A=20$  tako što će se raskinuti povratna sprega, zatim pomoću  $P_1$  podesiti napon  $U_e$  na vrednost  $0.25V$ . Potenciometrom  $P_2$  podesiti napon  $U_p$  na vrednost  $5V$ .
3. Vremensku konstantu integratora:

$$\tau = R_4 C$$

podesiti na duplo manju vrednost od vrednosti pet perioda izlaznog napona ispravljača:  $5 \cdot 5ms \approx 25ms$ .

