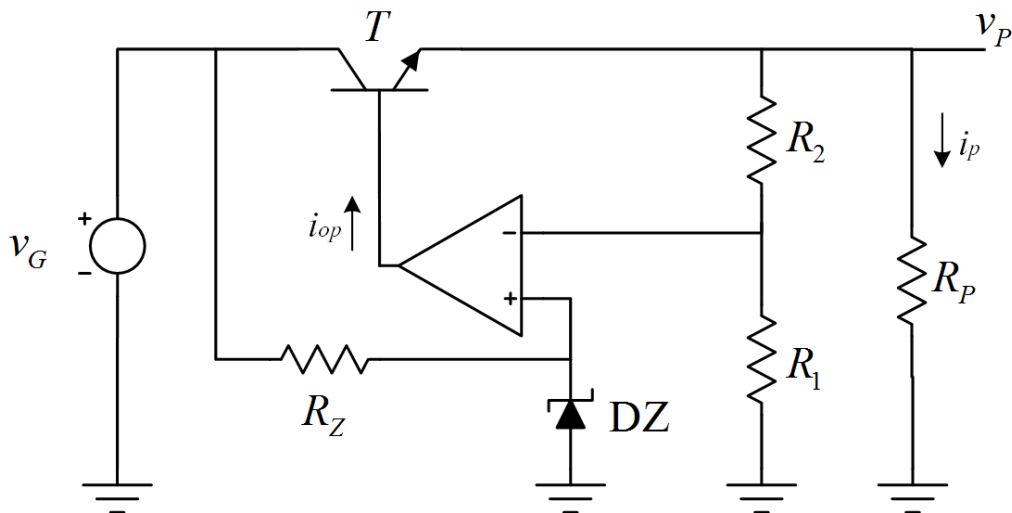


Stabilizatori

1. Na slici (1) je prikazano kolo koje obavlja funkciju stabilizatora napona \mathcal{V}_P . Poznato je $R_Z = 1k\Omega$, $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 2k\Omega$, $\mathcal{V}_G = 12V$, $V_Z = 3V$, $i_{Zmin} = 3mA$, $V_{BE} = 0.7V$, $V_{CES} = 0.2V$, $\beta_f = 99$, $i_{OPmax} = 2mA$.¹

- Izračunati vrednost izlaznog napona \mathcal{V}_P . Pretpostaviti da tranzistor radi u aktivnom režimu.
- Izračunati minimalnu vrednost ulaznog napona \mathcal{V}_G tako da kolo vrši zadatu funkciju.
- Izračunati maksimalnu vrednost otpornosti otpornika R_Z tako da kolo sa slike vrši zadatu funkciju.
- Izračunati maksimalnu dozvoljenu vrednost struje potrošača i_P tako da kolo sa slike vrši zadatu funkciju.

Struja kroz otpornike R_1 , R_2 , može se zanemariti u odnosu na struju potrošača i_P .



Slika 1: Stabilizator sa povratnom spregom.

Rešenje:

- T** - direktan aktivan režim

DZ - ukoliko bi Zener dioda bila isključena ne bi postojala struja kroz otpornik R_Z pa bi napon na \mathcal{V}_+ priključku operacionog pojačavača bio \mathcal{V}_G . Pošto važi $\mathcal{V}_+ = \mathcal{V}_-$ napon nad otpornikom R_1 bi bio takođe \mathcal{V}_G . Zbog jedinstvene struje koja protiče kroz otpornike R_2 i R_1 izlazni napon bi bio

$$\mathcal{V}_P = \frac{R_2 + R_1}{R_1} \mathcal{V}_G = 3\mathcal{V}_G.$$

Napon \mathcal{V}_{CE} tranzistora T je tada

$$\mathcal{V}_{CE} = \mathcal{V}_G - 3\mathcal{V}_G = -2\mathcal{V}_G < V_{CES}.$$

Zener dioda takođe ne može biti ni u direktnoj polarizaciji jer bi to zahtevalo da napon na ulazu stabilizator bude negativan. Na osnovu prethodnih iskaza zaključujemo da je dioda u **probojnom režimu** i da je napon nad diodom V_Z dok god je struja veća od i_{Zmin} .

Operacioni pojačavač je u negativnoj povratnoj sprezi pa važi

$$\mathcal{V}_+ = \mathcal{V}_- = V_Z$$

¹Zadatak preuzet iz zbirke [1].

pa je izlazni napon jednak

$$\mathcal{V}_P = \frac{R_2 + R_1}{R_1} V_Z = 3V_Z = 9V$$

- (b) Da bi kolo radilo ispravno Zener dioda treba da ima dovoljno veliku struju (veću od i_{Zmin}) i tranzistor T treba da radi u direktnom aktivnom režimu.

Struju diode možemo da izrazimo preko struje otpornika R_Z

$$i_Z = \frac{\mathcal{V}_G - V_Z}{R_Z}.$$

Kada je struja minimalna dobijamo graničnu minimalnu vrednost ulaznog napona

$$\mathcal{V}_{Gmin} = V_Z + R_Z i_{Zmin} = 6V.$$

S druge strane, da tranzistor ne bi otišao u zasićenje mora da važi $\mathcal{V}_{CE} > V_{CES}$. Napon kolektor emitor dat je sledećim izrazom

$$\mathcal{V}_{CE} = \mathcal{V}_G - \mathcal{V}_P = \mathcal{V}_G - 3V_Z,$$

odakle sledi

$$\mathcal{V}_{Gmin} = V_{CES} + 3V_Z = 9.2V.$$

Posmatrajući ova dva granična uslova zaključujemo da će pre doći do zasićenja tranzistora, pa je minimalna vrednost ulaznog napona za koji kolo i dalje vrši svoju funkciju

$$\mathcal{V}_{Gmin} = 9.2V.$$

- (c) Otpornik R_Z utiče na vrednost struje Zener diode

$$i_Z = \frac{V_G - V_Z}{R_Z},$$

pa je maksimalna vrednost otpornika uslovljena minimalnom vrednosti struje diode

$$R_{Zmax} = \frac{V_G - V_Z}{i_{Zmin}} = 3k\Omega.$$

- (d) U postavci zadatka je navedeno da važi aproksimacija $i_P \approx i_E$. Struja emitora zavisi od struje baze

$$i_E = (\beta_f + 1)i_B,$$

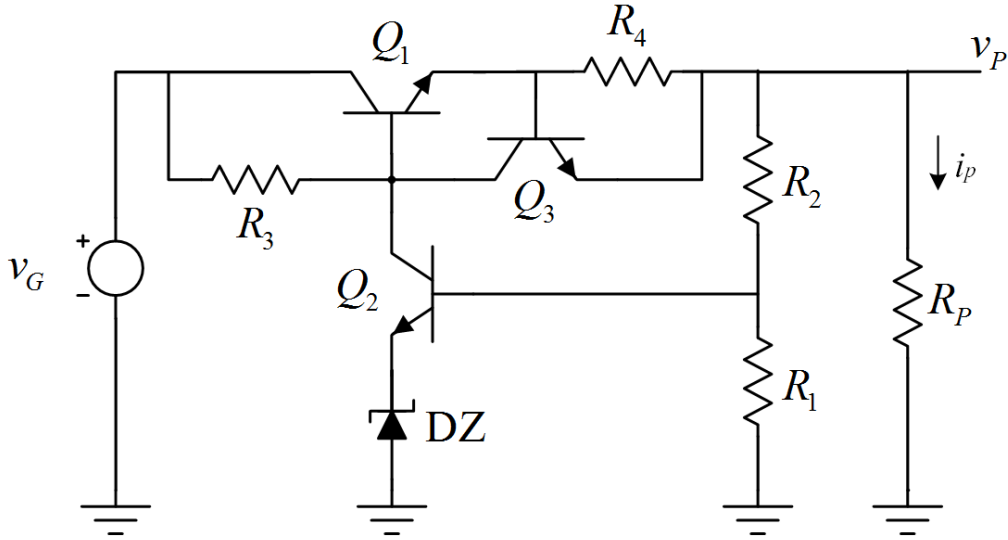
dok je struja baze ograničena maksimalnom izlaznom strujom operacionog pojačavača $i_{OPmax} = 2mA$. Na osnovu navedenog važi

$$i_{Pmax} = i_{Emax} = (\beta_f + 1)i_{Bmax} = (\beta_f + 1)i_{OPmax} = 200mA.$$

2. Na slici 2 je prikazan stabilizator sa rednim tranzistorom i kolom za zaštitu od kratkog spajanja izlaznih priključaka. Ulazni napon je nestabilisan i kreće se u opsegu $12V \leq \mathcal{V}_G \leq 15V$. Svi tranzistori su identičnih karakteristika sa $V_{BE} = 0.6V$ i $\beta_f = 100$, Zener dioda ima $V_Z = 6.2V$ pri $i_Z \geq 2mA$, dok je $R_1 = 10k\Omega$, $R_2 = 4.7k\Omega$ i $R_4 = 1.2\Omega$.²

- (a) odrediti maksimalnu otpornost R_3 tako da stabilizator na svom izlazu daje nominalnu vrednost napona $\mathcal{V}_P = V_{Pnom} = 10V$ pri svim strujama u opsegu $0 \leq i_P \leq 500mA$.

²Zadatak preuzet iz zbirke [2].



Slika 2: Stabilizator sa rednim tranzistorom i kolom za zaštitu od kratkog spoja.

- (b) Ako se otpornost potrošača menja u opsegu $0 \leq R_P \leq \infty$ odrediti i nacrtati zavisnost $\mathcal{V}_P = \mathcal{V}_P(i_P)$.
- (c) Ako je $\mathcal{V}_G = V_{Gmax} = 15V$, a R_P uzima vrednosti kao u tački (b) odrediti i nacrtati zavisnost snage koja se disipira na rednom tranzistoru Q_1 , $P_C = P_C(i_P)$.

Rešenje: Tranzistor Q_3 i otpornik R_4 čine strujnu zaštitu u kolu, tj. zaštitu pri kratkospajanju izlaznih priključaka. R_4 ima takvu otpornost da tek kada je na izlazu maksimalna struja ($i_{Pmax} = 500mA$) pad napona na otpornikom je dovoljno veliki da se uključi tranzistor Q_3 . Stoga Q_3 ne radi onda kada stabilizator vrši svoju regularnu funkciju.

- (a) Da bi stabilizator radio ispravno potrebno je da tranzistori Q_1 i Q_2 rade u direktnom aktivnom režimu, a dioda DZ u probojnom režimu sa strujom većom ili jednakom minimalnoj struji $i_{Zmin} = 2mA$. Označimo napon na bazi tranzistora Q_1 sa \mathcal{V}_X . Tada važi:

$$\mathcal{V}_X = V_{Pnom} + R_4 i_P + V_{BE}.$$

Ovde treba obratiti pažnju da se uzima aproksimacija da je struja emitora tranzistora Q_1 jednaka struji potrošača, i_P . Ova pretpostavka važi kada je otpornost potrošača značajno manja od zbira otpornosti $R_1 + R_2$ (bar 10 puta), tj. kada je struja potrošača velika. Kada to nije slučaj formula za napon \mathcal{V}_X glasi

$$\mathcal{V}_X = V_{Pnom} + R_4 \left(i_P + \frac{V_{Pnom}}{R_1 + R_2} \right) + V_{BE}.$$

Uloga otpornika R_3 je da obezbedi dovoljno veliku struju koja će obezbediti ispravan rad Zener diode i tranzistora Q_1 . Možemo uočiti da je najgori slučaj onda kada je napon nad otpornikom najmanji, tj. kada je ulazni napon minimalan, $\mathcal{V}_{Gmin} = 12V$ i kada je napon \mathcal{V}_X maksimalan,

$$\mathcal{V}_{Xmax} = V_{Pnom} + R_4 i_{Pmax} + V_{BE}.$$

Struja kroz otpornik R_3 treba u tom slučaju da bude bar

$$i_{R3min} = \frac{i_{Pmax}}{\beta_f + 1} + i_{Zmin} \frac{\beta_f}{\beta_f + 1}$$

kako bi se obezbedio ispravan rad stabilizatora. Odatle nalazimo da je maksimalna vrednost otpornika R_3 jednaka

$$R_{3max} = \frac{\mathcal{V}_{Gmin} - \mathcal{V}_{Xmax}}{i_{R3min}} \approx \frac{\mathcal{V}_{Gmin} - V_{Pnom} - R_4 i_{Pmax} - V_{BE}}{\frac{i_{Pmax}}{\beta_f} + i_{Zmin}} = 114 \Omega.$$

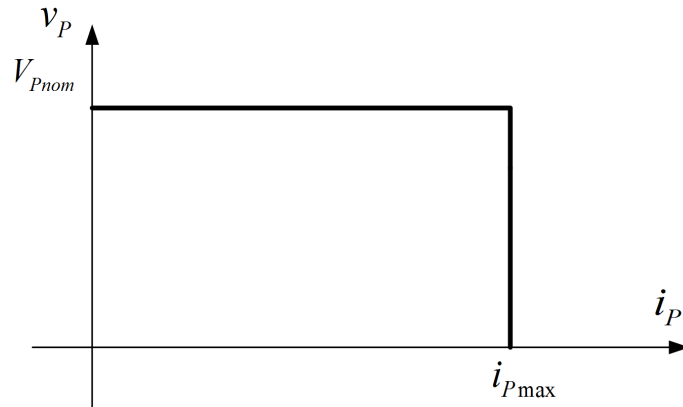
- (b) Za podržanu vrednost struje i_P , $0 \leq i_P \leq 500mA$, na izlazu će se održavati napon V_{Pnom} . To važi za promenu otpornosti u potrošaču

$$\frac{V_{Pnom}}{i_{Pmax}} = 20\Omega \leq R_P \leq \infty.$$

Kada struja dođe do maksimalne vrednosti dolazi do uključenja zaštitnog kola, tj. tranzistora Q_3 nakon čega se stabilizator prema potrošaču ponaša kao strujni izvor, čija je struja

$$i_P = i_{Pmax} \approx i_{PKS} = \frac{V_{BE}}{R_4} = 500mA, R_P \ll R_1 + R_2.$$

Sa daljim smanjivanjem otpornosti R_P dolazi do smanjivanja napona \mathcal{V}_P , dok struja i_P ostaje približno konstantna. Na slici 3 prikazana je zavisnost $\mathcal{V}_P = \mathcal{V}_P(i_P)$



Slika 3: Zavisnost napona od struje potrošača.

- (c) Tokom nominalnog rada tranzistora snaga disipacije na rednom tranzistoru Q_1 je data izrazom

$$P_{C1} = \mathcal{V}_{CE1}i_{C1} = (V_{Gmax} - (V_{Pnom} + R_4i_P))i_P = V_{Gmax}i_P - V_{Pnom}i_P - R_4i_P^2.$$

Maksimalna vrednost disipacije nastupa pri maksimalnoj struji potrošača, $i_P = i_{Pmax} = 500mA$, u trenutku kada proradi strujna zaštita

$$P_{C1} = (V_{Gmax} - V_{Pnom})i_{Pmax} - R_4i_{Pmax}^2 = 2.2W.$$

Tokom aktivne strujne zaštite, struja kolektora je približno konstantna i jednaka i_{Pmax} , dok se napon \mathcal{V}_{CE1} menja po jednačini

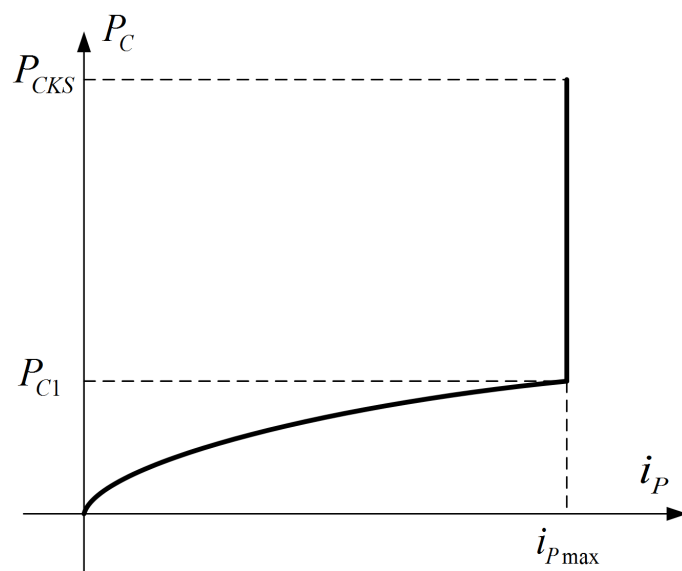
$$\mathcal{V}_{CE1} = V_{Gmax} - \mathcal{V}_P - R_4i_{Pmax} = V_{Gmax} - R_4i_{Pmax} - R_Pi_{Pmax}.$$

Maksimalna vrednost disipacije je za minimalnu vrednost otpornika $R_P = 0$,

$$P_{CKS} = (V_{Gmax} - R_4i_{Pmax})i_{Pmax} = 7.2W.$$

Na slici 4 prikazana je zavisnost disipacije tranzistora Q_1 od struje potrošača.

(1)



Slika 4: Zavisnost snage disipacije tranzistora Q_1 od struje potrošača.

Literatura

- [1] V. Drndarević, N. Jovičić, V. Rajović, *Elementi elektronike - Zbirka zadataka*, Akademska misao, 2014.
- [2] R. Đurić, *Zbirka zadataka iz analogne elektronike*, Pančevo: Grafos internacional, 2004.