

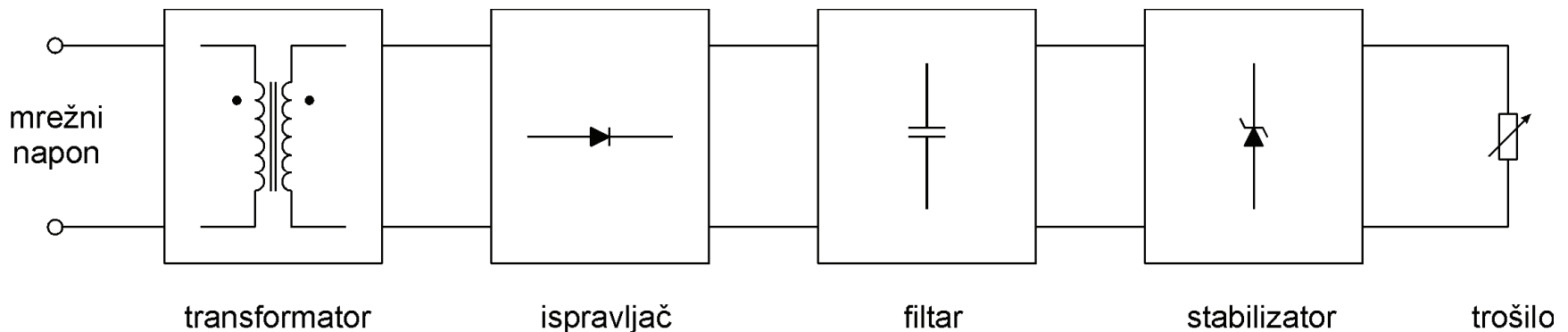
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektroniku, mikroelektroniku,
računalne i inteligentne sustave

Elektronika 1

Ž. Butković, J. Divković Pukšec, A. Barić

9. Stabilizatori

Izvor napajanja



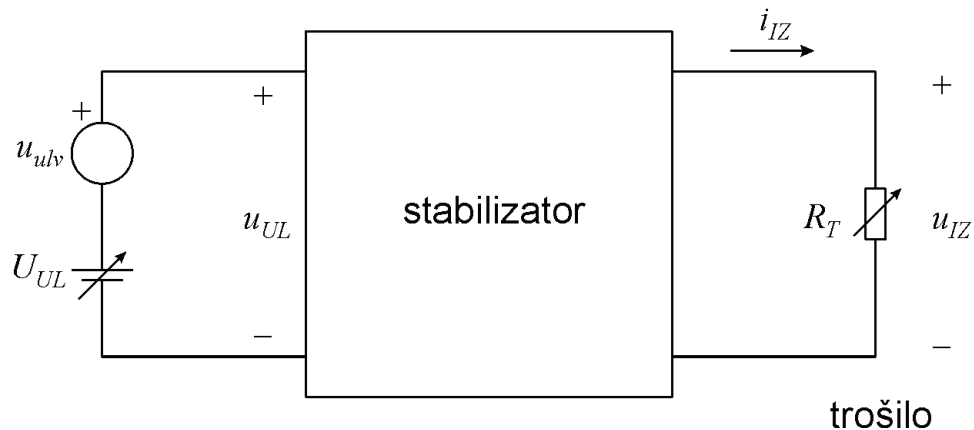
Stabilizator – održava stalni istosmjerni napon

Na izlazu ispravljača i filtra → ispravljeni napon koji se sastoji od:

- ❑ **istosmjerne komponente** koja se mijenja zbog promjene mrežnog napona i promjene opterećenja
- ❑ male **izmjenične komponente napona valovitosti**

Stabilizator svodi promjene istosmjerne komponente na minimum i prigušuje izmjeničnu komponentu napona valovitosti

Blok-shema stabilizatora



$U_{UL} \rightarrow$ promjenjiva istosmjerne komponenta

$u_{ulv} \rightarrow$ izmjenični napon valovitosti

$R_T \rightarrow$ promjenjivo trošilo

Parametri stabilizatora

Stabilizator nije idealan → izlazni napon mijenja se s radnim uvjetima

$$du_{IZ} = \frac{\partial u_{IZ}}{\partial u_{UL}} du_{UL} + \frac{\partial u_{IZ}}{\partial i_{IZ}} di_{IZ} + \frac{\partial u_{IZ}}{\partial T} dT = S_U du_{UL} + S_I di_{IZ} + S_T dT$$

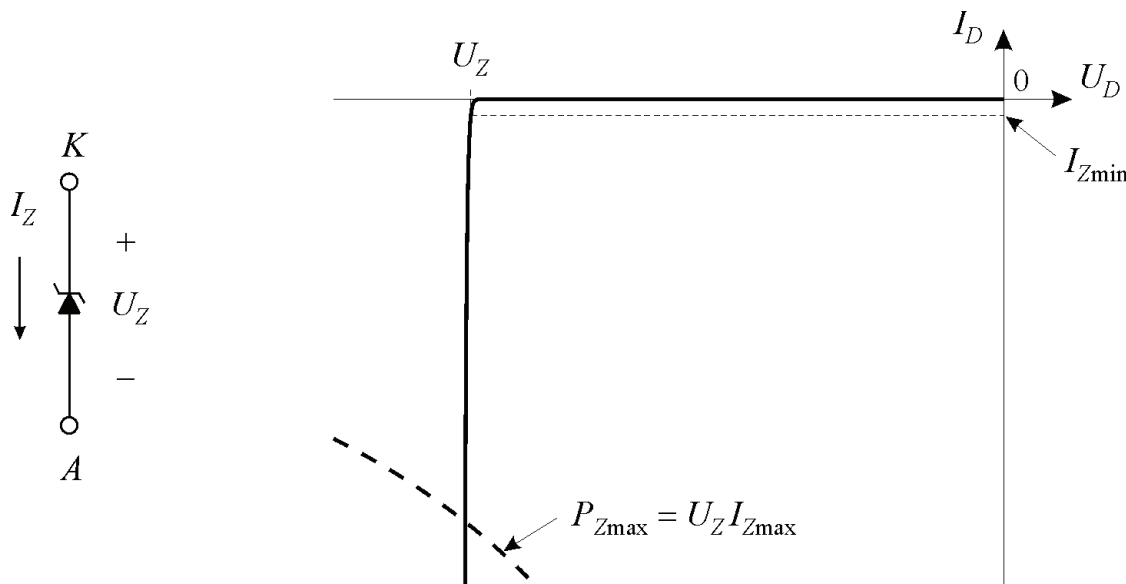
naponski faktor stabilizacije $S_U = \left. \frac{\partial u_{IZ}}{\partial u_{UL}} \right|_{di_{IZ}=0, dT=0}$

opterećni faktor stabilizacije $S_I = \left. \frac{\partial u_{IZ}}{\partial i_{IZ}} \right|_{du_{UL}=0, dT=0}$

temperaturni koeficijent $S_T = \left. \frac{\partial u_{IZ}}{\partial T} \right|_{du_{UL}=0, di_{IZ}=0}$

Referentni element

Element na kojem se uspostavlja stalni napon → neovisan o radnim uvjetima (promjena struje, temperature) → **Zenerova dioda**



Parametri:

Zenerov napon U_Z

Dinamički otpor

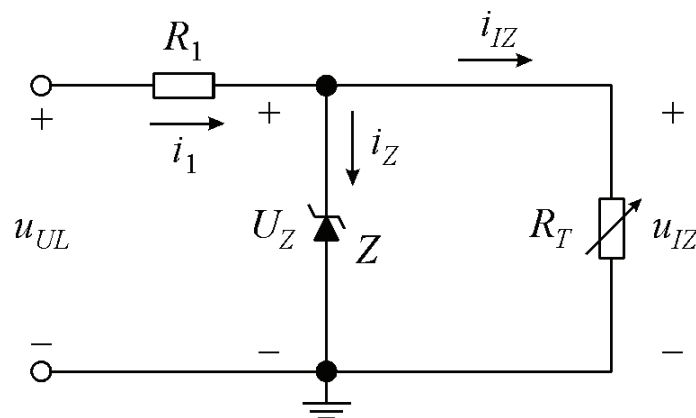
$$r_Z = \Delta u_Z / \Delta i_Z$$

Minimalna struja I_{Zmin}

**Maksimalna disipacija
snage P_{Zmax}**

Temperaturni koeficijent

Stabilizator sa Zenerovom diodom



Izlazni napon $\rightarrow U_{IZ} = U_Z$

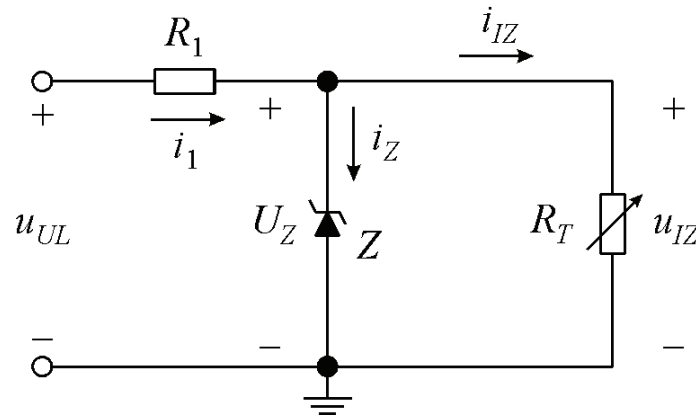
Za ispravan rad $\rightarrow U_{UL} > U_Z$

$$I_1 = \frac{U_{UL} - U_{IZ}}{R_1} = \frac{U_{UL} - U_Z}{R_1}$$

$$I_1 = I_Z + I_{IZ}$$

$$I_{IZ} = \frac{U_{IZ}}{R_T} = \frac{U_Z}{R_T}$$

Princip stabilizacije



1. primjer: mijenja se $U_{UL} \rightarrow$ mijenja se $I_1 \rightarrow U_{IZ} = U_Z$; ako se ne mijenja R_T ne mijenja se ni $I_{IZ} \rightarrow$ s I_1 mijenja se i I_Z
2. primjer: ne mijenja se U_{UL} , ali se mijenja $R_T \rightarrow$ uz $U_{IZ} = U_Z$ mijenja se $I_{IZ} \rightarrow$ struja I_{IZ} mijenja se na račun promjene I_Z

Za ispravan rad stabilizatora $\rightarrow I_{Zmin} < I_Z < I_{Zmax}$

Podešavanje otpora R_1

$$I_Z = I_1 - I_{IZ}$$

Minimalna struja $I_{Z\min}$:

$$I_{Z\min} = I_{1\min} - I_{IZ\max}$$

$$I_{1\min} = \frac{U_{UL\min} - U_Z}{R_{1\max}} \quad I_{IZ\max} = \frac{U_Z}{R_{T\min}}$$

$$I_{Z\min} = \frac{U_{UL\min} - U_Z}{R_{1\max}} - \frac{U_Z}{R_{T\min}} \quad R_{1\max} = \frac{U_{UL\min} - U_Z}{I_{Z\min} + U_Z / R_{T\min}}$$

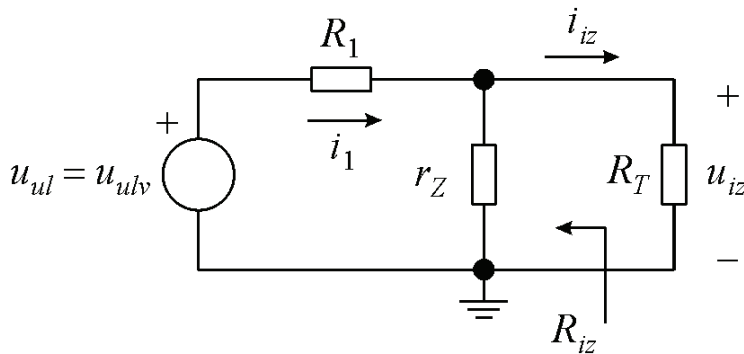
Maksimalna struja $I_{Z\max} = P_{Z\max} / U_Z$:

$$I_{Z\max} = I_{1\max} - I_{IZ\min} = \frac{U_{UL\max} - U_Z}{R_{1\min}} - \frac{U_Z}{R_{T\max}} = \frac{P_{Z\max}}{U_Z}$$

$$R_{1\min} = \frac{U_{UL\max} - U_Z}{P_{Z\max} / U_Z + U_Z / R_{T\max}}$$

Faktori stabilizacije

Određuju se iz nadomjesne sheme za mali signal



Naponski faktor stabilizacije:

$$S_U = \left. \frac{u_{iz}}{u_{ul}} \right|_{i_{iz}=0}$$

Uz $i_{iz} = 0 \rightarrow$ odspaja se R_T :

$$S_U = \frac{r_Z}{R_1 + r_Z}$$

Opteretni faktor stabilizacije:

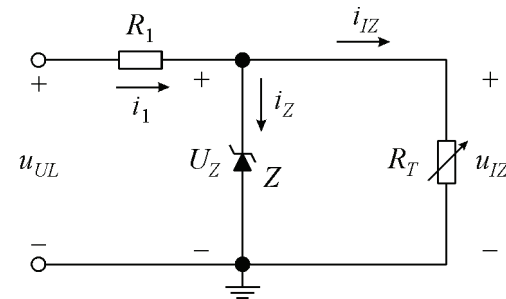
$$S_I = \left. \frac{u_{iz}}{i_{iz}} \right|_{u_{ul}=0}$$

S_I je po iznosu jednak R_{iz} :

$$R_{iz} = r_Z \parallel R_1$$

Primjer 9.1

Odabrati otpor R_1 za ispravan rad stabilizatora sa slike. Ulazni napon U_{UL} mijenja se od 25 do 30 V, otpor trošila je $R_T \geq 500 \Omega$, a probojni napon Zenerove diode $U_Z = 20 \text{ V}$ uz $I_Z \geq 5 \text{ mA}$. Dinamički otpor Zenerove diode u probouju $r_Z = 0,5 \Omega$. Za odabrani otpor R_1 izračunati maksimalnu disipaciju Zenerove diode i otpornika R_1 . Odrediti naponski faktor stabilizacije i izlazni otpor stabilizatora, te efektivnu vrijednost napona valovitosti na trošilu R_T uz $U_{ulvef} = 0,5 \text{ V}$.

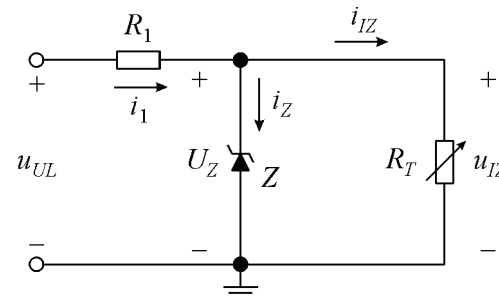


Primjer 9.2

U stabilizatoru prema slici Zenerova dioda ima parametre: $U_Z = 6\text{ V}$ uz

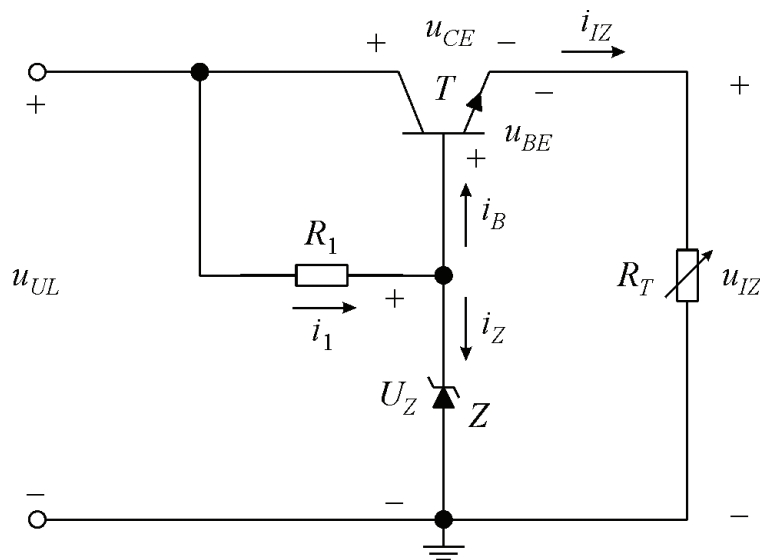
$I_{Z\min} = 4\text{ mA}$ i $P_{Z\max} = 200\text{ mW}$. Otpor trošila $R_T = 200\ \Omega$, a najmanji ulazni napon $U_{UL\min} = 10\text{ V}$.

- a) Izračunati maksimalnu vrijednost otpora $R_{1\max}$.
- b) Uz taj R_1 odrediti najveći dozvoljeni ulazni napon $U_{UL\max}$.



Serijski tranzistorski stabilizator

Osigurava manju disipaciju snage na diodi → disipaciju snage preuzima tranzistor.
Tranzistor je spojen u seriju s izlazom → serijski stabilizator



$$U_{IZ} = U_Z - U_{BE}$$

$$I_1 = \frac{U_{UL} - U_Z}{R_1} \quad I_1 = I_Z + I_B$$

$$I_{IZ} = (1 + \beta) I_B$$

$$U_{IZ} = I_{IZ} R_T = (1 + \beta) I_B R_T$$

Princip stabilizacije isti je kao i kod stabilizatora sa Zenerovom diodom

Za ispravan rad stabilizatora → $I_{Zmin} < I_Z < I_{Zmax}$

Podešavanje otpora R_1

Minimalna struja $I_{Z\min}$:

$$I_{Z\min} = I_{1\min} - I_{B\max}$$

$$I_{Z\min} = \frac{U_{UL\min} - U_Z}{R_{1\max}} - \frac{U_{IZ}}{(1 + \beta)R_{T\min}}$$

$$R_{1\max} = \frac{U_{UL\min} - U_Z}{I_{Z\min} + \frac{U_{IZ}}{(1 + \beta)R_{T\min}}}$$

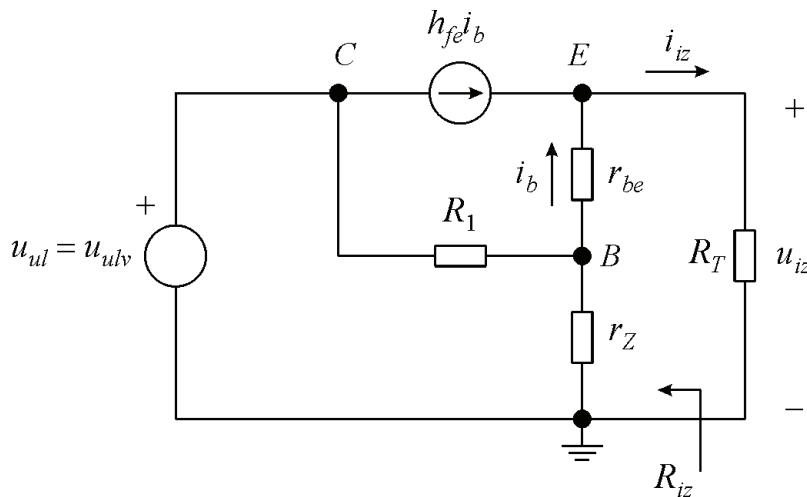
Maksimalna struja $I_{Z\max} = P_{Z\max}/U_Z$:

$$I_{Z\max} = I_{1\max} - I_{B\min} = \frac{U_{UL\max} - U_Z}{R_{1\min}} - \frac{U_{IZ}}{(1 + \beta)R_{T\max}} = \frac{P_{Z\max}}{U_Z}$$

$$R_{1\min} = \frac{U_{UL\max} - U_Z}{\frac{P_{Z\max}}{U_Z} + \frac{U_{IZ}}{(1 + \beta)R_{T\max}}}$$

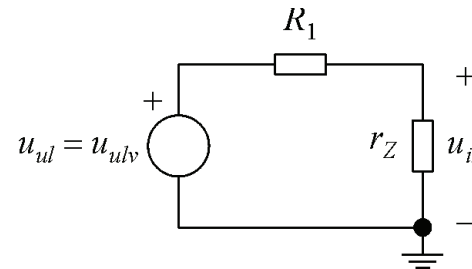
Faktori stabilizacije (1)

Nadomjesna shema za mali signal



Naponski faktor stabilizacije:

$$S_U = \frac{u_{iz}}{u_{ul}} \bigg|_{i_{iz}=0}$$



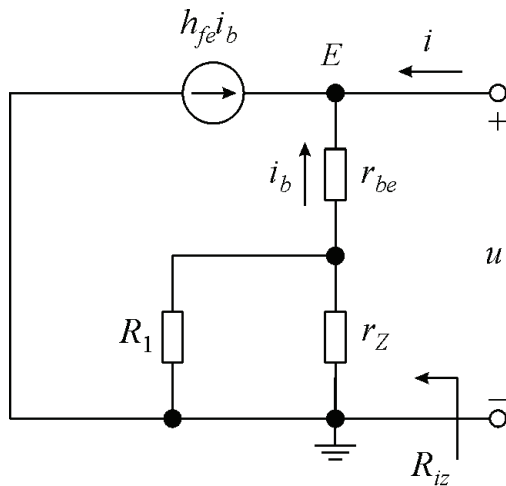
$$S_U = \frac{u_{iz}}{u_{ul}} = \frac{r_Z}{R_1 + r_Z}$$

Faktori stabilizacije (2)

Opteretni faktor stabilizacije:

$$S_I = \frac{u_{iz}}{i_{iz}} \bigg|_{u_{ul} = 0}$$

S_I je po iznosu jednak R_{iz} :



$$i = -(1 + h_{fe})i_b$$

$$u = -(r_{be} + R_1 \parallel r_Z)i_b$$

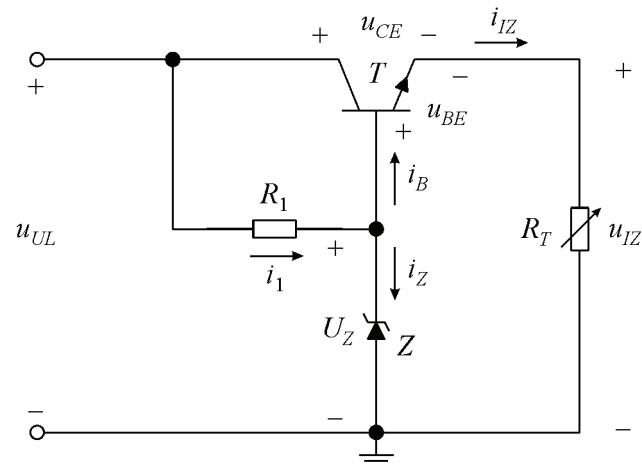
$$R_{iz} = \frac{u}{i} = \frac{r_{be} + R_1 \parallel r_Z}{1 + h_{fe}}$$

Za $r_Z \ll R_1$:

$$R_{iz} \approx \frac{r_{be} + r_Z}{1 + h_{fe}}$$

Primjer 9.3

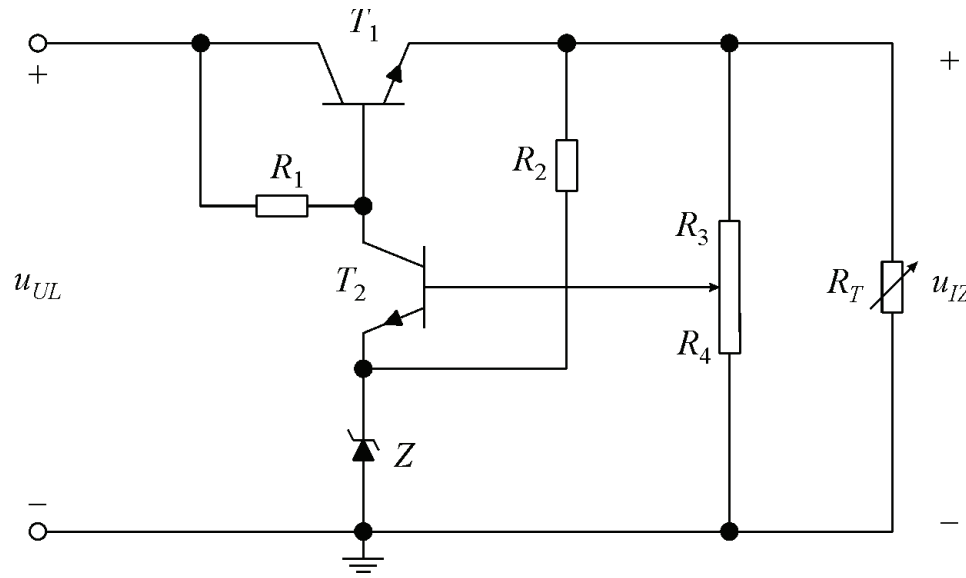
Odrediti izlazni napon, te dozvoljene granice iznosa otpornika R_1 za ispravan rad serijskog tranzistorskog stabilizatora sa slike. Otpor trošila je $R_T \geq 100 \, \Omega$, a ulazni napon je $U_{UL} = 12 \pm 1 \, \text{V}$. Parametri Zenerove diode su: $U_Z = 7,5 \, \text{V}$ uz $I_Z \geq 1 \, \text{mA}$, $P_{Z\max} = 250 \, \text{mW}$ i $r_Z = 0,5 \, \Omega$. Faktor strujnog pojačanja tranzistora je $\beta \approx h_{fe} = 100$, a naponski ekvivalent temperature $U_T = 25 \, \text{mV}$. Odrediti naponski faktor stabilizacije i izlazni otpor stabilizatora uz $R_T = 100 \, \Omega$.



Serijski tranzistorski stabilizator s pojačalom u povratnoj vezi (1)

Omogućuje podešavanje iznosa stabiliziranog izlaznog napona

Dio izlaznog napona sa baze T_2 vraća se preko kolektora T_2 u ulazni krug na bazu $T_1 \rightarrow$ povratna veza



Serijski tranzistorski stabilizator s pojačalom u povratnoj vezi (2)

Otpornik R_1 osigurava baznu struju tranzistora T_1 i kolektorsku struju tranzistora T_2 . Otpornik R_2 osigurava struju Zenerove diode.

Uloga T_2 : ako se poveća izlazni napon, poveća se potencijal baze $T_2 \rightarrow$ poveća se $U_{BE2} \rightarrow$ poveća se $I_{C2} \rightarrow$ smanji se $I_{B1} \rightarrow$ smanji se struja trošila i U_{IZ} .

Kliznikom potencijometra mijenja se omjer otpora R_3 i R_4 i podešava U_{IZ} .

Uz malu struju I_{B2}

$$U_{IZ} = U_Z + U_{BE2} + \frac{R_3}{R_3 + R_4} U_{IZ}$$

$$U_{IZ} = (U_Z + U_{BE2}) \frac{R_3 + R_4}{R_4}$$