

CAPITOLUL 3. STABILIZATOARE DE TENSIUNE

3.1. GENERALITĂȚI PRIVIND STABILIZATOARE DE TENSIUNE.

Stabilizatoarele de tensiune sunt circuite electronice care furnizează la ieșire (pe rezistența de sarcină) o tensiune continuă constantă (stabilizată) în condițiile modificării tensiunii de intrare, a curentului de sarcină sau a temperaturii în anumite limite.

Stabilizatorul de tensiune este un bloc component al sursei de alimentare care este conectat între redresor și sarcina circuitului.

Stabilizatoarele de tensiune se împart în două mari categorii:

- ***Stabilizatoare liniare;***
- ***Stabilizatoare în comutație.***

Stabilizatoarele liniare se împart în mai multe categorii:

- **Stabilizatoare parametrice** – realizate cu diode stabilizatoare (Zener);
- **Stabilizatoare cu reacție** – realizate cu tranzistoare bipolare, amplificatoare operaționale sau circuite integrate. Stabilizatoarele cu reacție pot fi:
 - Fără amplificator de eroare;
 - Cu amplificator de eroare.

În funcție de poziția elementului de reglare a tensiunii de ieșire față de rezistența de sarcină stabilizatoarele liniare se împart în două categorii:

- **Stabilizatoare de tensiune serie;**
- **Stabilizatoare de tensiune paralel.**

Stabilizatoarele în comutație sunt stabilizatoare cu reacție la care elementul de reglare a tensiunii de ieșire funcționează în regim de comutație.

Stabilizatoarele în comutație au un randament foarte ridicat.

3.2. STABILIZATOARE DE TENSIUNE PARAMETRICE.

3.2.1 Stabilizatoare de tensiune în raport cu variația tensiunii de intrare.

Când tensiunea de intrare se modifică între anumite limite, dioda Zener menține la bornele sale o tensiune de ieșire aproximativ constantă. Curentul prin dioda Zener variază proporțional cu tensiunea de intrare. Limitele între care se poate modifica tensiunea de intrare sunt impuse de valoarea inferioară (I_{ZK}) și valoarea superioară (I_{ZM}) a curentului la care poate funcționa dioda Zener. Rezistorul R_Z limitează curentul prin dioda D_Z la funcționarea montajului în gol (fără rezistență de sarcină).

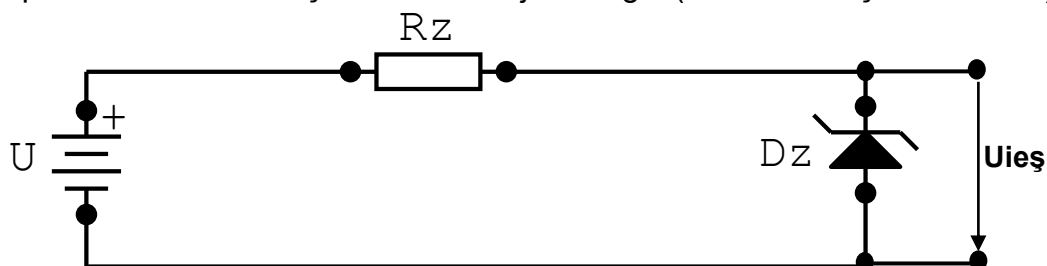


Figura 3.1 Stabilizator de tensiune în raport cu variația tensiunii de intrare

În cele ce urmează voi determina limita inferioară și superioară a tensiunii de intrare (U) ce poate fi stabilizată cu montajul din figura 3.1.

Dioda Zener D_Z este de tipul **BZX 85C5V1** cu următoarele date de catalog:

$V_Z=5,1\text{ V}$; $V_{Z\min}=4,8\text{ V}$; $V_{Z\max}=5,4\text{ V}$; $I_{ZK}=1\text{ mA}$; $I_Z=45\text{ mA}$; $Z_Z=10\ \Omega$ la I_Z ; $P_{D\max}=1\text{ W}$.

Rezistorul R_Z are valoarea $R_Z = 150\ \Omega$.

- **Determin curentul maxim prin dioda Zener (I_{ZM})**

$$(1) I_{ZM} = \frac{P_{D\max}}{V_z} = \frac{1\text{ W}}{5,1\text{ V}} = 196\text{ mA}$$

- **Calculez căderea de tensiune pe rezistorul R_Z la I_{ZK} și I_{ZM}**

$$(2) U_{R\min} = R_Z \cdot I_{ZK} = 150\ \Omega \cdot 1\text{ mA} = 150\text{ mV}$$

$$(3) U_{R\max} = R_Z \cdot I_{ZM} = 150\ \Omega \cdot 196\text{ mA} = 29,4\text{ V}$$

- **Determin tensiunea de intrare minimă (U_{\min}) și maximă (U_{\max})**

$$(4) U_{\min} = U_{R\min} + V_Z = 150\text{ mV} + 5,1\text{ V} = 5,25\text{ V}$$

$$(5) U_{\max} = U_{R\max} + V_Z = 29,4\text{ V} + 5,1\text{ V} = 34,5\text{ V}$$

3.2.2 Stabilizatoare de tensiune în raport cu variația curentului de sarcină.

Când curentul de sarcină se modifică între anumite limite, dioda Zener menține la bornele sale o tensiune de ieșire aproximativ constantă, atâta timp cât valoarea curentului prin dioda Zener este cuprinsă între $I_Z(I_{ZK})$ și I_{ZM} . Modificarea curentului de sarcină se face prin modificarea valorii rezistenței de sarcină R_S astfel:

când R_S **scade**, curentul de sarcină I_S **crește**, curentul prin dioda Zener I_Z **scade**

când R_S **crește**, curentul de sarcină I_S **scade**, curentul prin dioda Zener I_Z **crește**

Deoarece la creșterea curentului I_Z curentul I_S scade (și invers) \Rightarrow curentul total prin R_Z rămâne constant \Rightarrow tensiune de ieșire relativ constantă.

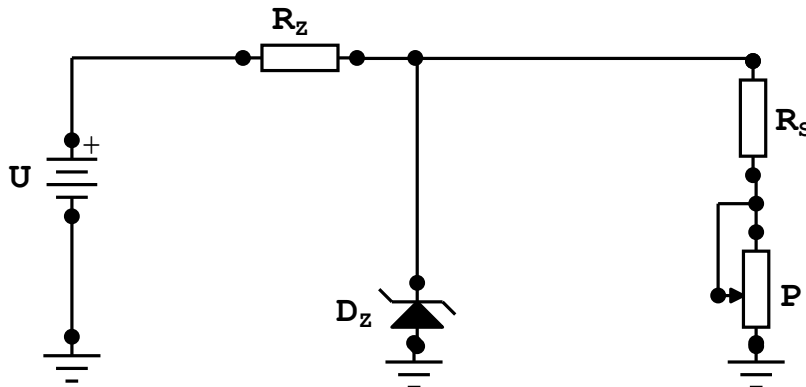


Figura 3.2 Stabilizator de tensiune în raport cu variația curentului de sarcină

În cele ce urmează voi calcula valoarea rezistenței R_Z și valoarea minimă posibilă a rezistenței de sarcină R_S pentru montajul din figura 3.2.

Dioda Zener D_Z este de tipul **BZX 85C5V1** cu următoarele date de catalog:

$V_Z=5,1\text{ V}$; $V_{Zmin}=4,8\text{ V}$; $V_{Zmax}=5,4\text{ V}$; $I_{ZK}=1\text{ mA}$; $I_Z=45\text{ mA}$; $Z_Z=10\ \Omega$ la I_Z ; $P_{Dmax}=1\text{ W}$.

Tensiunea de alimentare $U = 15\text{ V}$.

1. Calculez valoarea curentului maxim suportat de dioda Zener (I_{ZMax}).

$$(1) I_{ZM} = \frac{P_{Dmax}}{V_z} = \frac{1\text{W}}{5,1\text{V}} = 196\text{mA}$$

Pentru calculul rezistențelor R_1 și R_2 consider $I_{ZM} = 100\text{ mA}$

2. Calculez valoarea rezistenței de limitare a curentului prin dioda Zener (R_1)

$$(2) R_1 = \frac{V_{IN} - V_Z}{I_{ZM}} = \frac{15\text{V} - 5,1\text{V}}{100\text{mA}} \cong 99\ \Omega$$

Aleg un rezistor cu rezistența $R_Z=100\ \Omega$

3. Calculez valoarea minimă a rezistenței de sarcină (R_2)

$$(3) R_2 \cong \frac{V_Z}{I_{ZM}} = \frac{5,1\text{V}}{100\text{mA}} \cong 51\ \Omega$$

Aleg un rezistor cu rezistența $R_S=56\ \Omega$

3.3. Stabilizatoare de tensiune cu reacție fără amplificator de eroare.

3.3.1 STABILIZATOR DE TENSIUNE CU ELEMENT DE REGLARE SERIE.

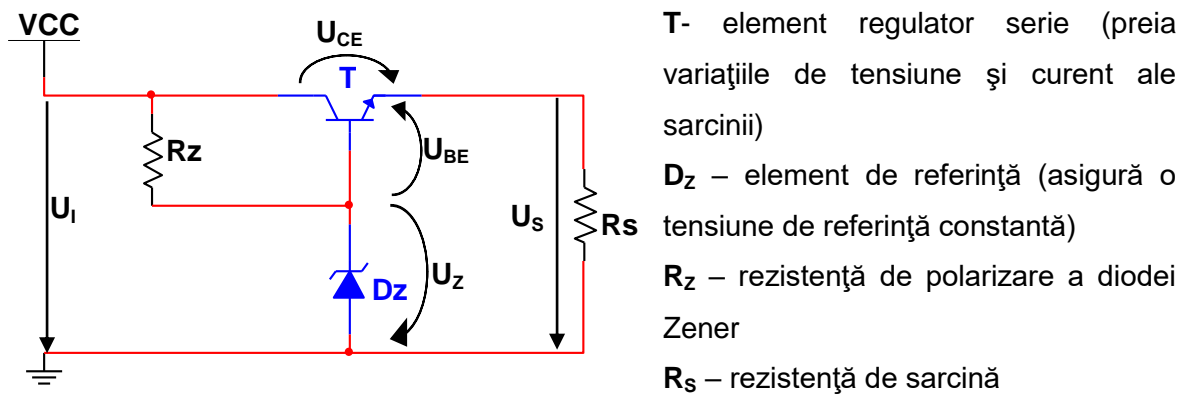


Figura 3.5 Stabilizator de tensiune cu element de reglare serie

Relațiile între tensiunile din **figura 3.5**:

$$(1)U_I = U_{CE} + U_S \quad (2)U_S = U_Z - U_{BE} \quad \Longleftrightarrow \quad (3)U_Z = U_S + U_{BE}$$

Valoarea tensiunii de ieșire este în funcție de tensiunea diodei Zener

$$U_S = U_Z - 0,7 \text{ V}$$

Funcționarea stabilizatorului la modificarea tensiunii de intrare.

Orice modificare a tensiunii de intrare are tendința de a duce la modificarea tensiunii de ieșire, modificare sesizată de tranzistorul T, care este elementul regulator.

În funcție de tensiunea bază-emitor U_{BE} , se modifică rezistența joncțiunii colector-emitor fapt care duce la căderea pe această joncțiune a unei tensiuni mai mari sau mai mici.

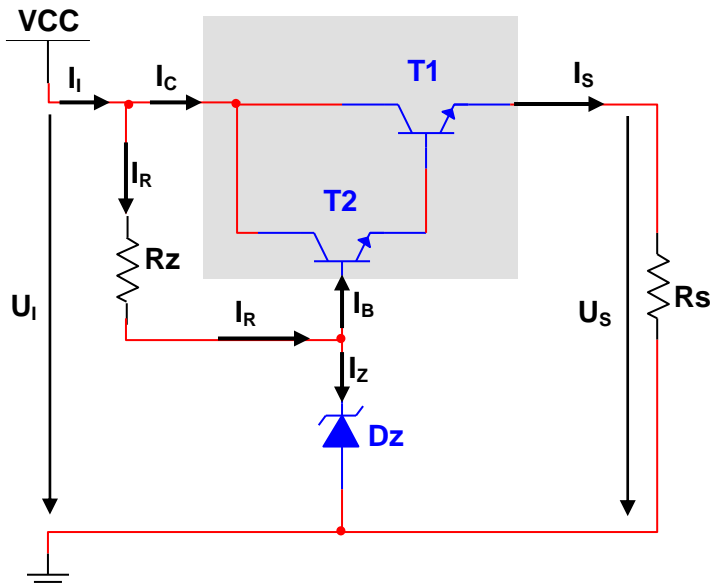
Când U_I crește $\Rightarrow U_S$ tinde să crească. Din formula (3) dacă U_S crește și U_Z este constantă $\Rightarrow U_{BE}$ scade iar tranzistorul T tinde să se blocheze și crește U_{CE}

Deci creșterea de tensiune este preluată de tranzistor și tensiunea U_S rămâne constantă.

Când U_I scade $\Rightarrow U_S$ tinde să scadă. Din formula (3) dacă U_S scade și U_Z este constantă $\Rightarrow U_{BE}$ crește iar tranzistorul T tinde să se satureze și scade U_{CE}

Deci scăderea de tensiune este preluată de tranzistor și tensiunea U_S rămâne constantă.

În cazul în care consumatorul conectat la ieșirea stabilizatorului de tensiune serie are putere mare (prin circuit circula curenți cu valori ridicate), tranzistorul serie se înlocuiește cu două tranzistoare conectate în configurație Darlington (**fig.3.6**)



Tranzistorul **T1** este de putere medie sau mare (de tip **BD** sau **2N3055**) iar tranzistorul **T2** este de mică putere de tip **BC**. Pentru curenți mari **T1** este de tipul **2N3055** și **T2** de tipul **BD**.

Figura 3.6 Stabilizator de tensiune cu element de reglare serie - Darlington

Relațiile dintre curenții din **figura 3.6**:

$$(4) I_I = I_C + I_R \quad (5) I_R = I_B + I_Z \quad (6) I_S = I_C + I_B$$

Valoarea tensiunii de ieșire este în funcție de tensiunea diodei Zener

$$U_S = U_Z - 1,4 \text{ V}$$

Funcționarea stabilizatorului.

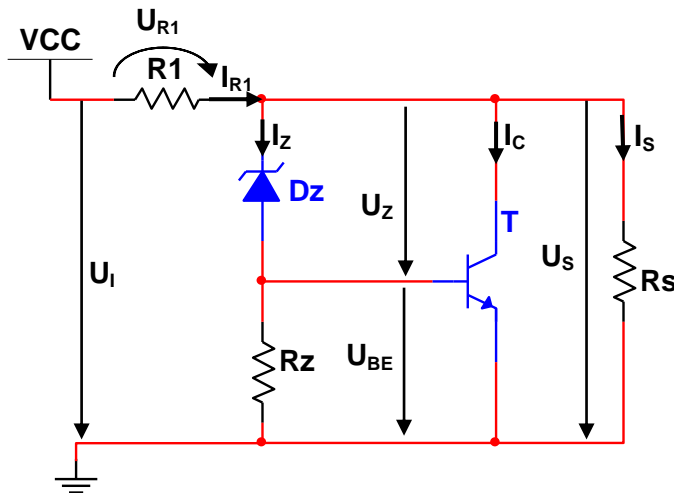
Dacă curentul de sarcină crește peste o anumită valoare, tensiunea de sarcină are tendința să scadă. Conform formulei (3) dacă U_S scade și U_Z este constantă $\Rightarrow U_{BE}$ crește iar tranzistorul **T1** tinde să se satureze și scade U_{CE} . Deoarece scade tensiunea colector-emitor al elementului serie tensiunea de sarcină rămâne constantă (tendența de scădere a tensiunii de sarcină este preluată de elementul serie).

Stabilizatorul cu tranzistor față de un stabilizator simplu cu diodă Zener, are avantajul că permite o variație a curentului de sarcină de β ori mai mare decât variația de curent maxim admisibilă prin dioda Zener. (β este câștigul în curent al tranzistorului serie).

Stabilizatorul cu element serie in montaj Darlington permite o variație a curentului de sarcină de β ori, unde $\beta = \beta_{T1} \cdot \beta_{T2}$.

3.3.2 STABILIZATOR DE TENSIUNE CU ELEMENT DE REGLARE PARALEL.

La acest tip de stabilizator elementul de control adică tranzistorul T este conectat în paralel cu sarcina (**fig. 3.7**). Față de stabilizatorul serie are un randament mai mic, dar avantajul față de acesta este că elementul de control nu se distruge la apariția unui scurtcircuit sau suprasarcini și este utilizat mai ales când curentul de sarcină prezintă variații rapide.



R1 – rezistență de balast
(preia variațiile tensiunii de intrare)
T - element regulator paralel
(comandă creșterea sau scăderea tensiunii pe **R1**)

Figura 3.7 Stabilizator de tensiune cu element de reglare paralel

Relațiile între tensiunile și curenții din schema de mai sus:

$$(7) U_I = U_{R1} + U_{CE} \quad (8) U_S = U_{CE} = U_Z + U_{BE} \quad (9) I_I = I_{R1} = I_Z + I_C + I_S$$

Valoarea tensiunii de ieșire este în funcție de tensiunea diodei Zener **$U_S = U_Z + 0,7V$**

Funcționarea stabilizatorului.

Rezistența R_1 numită și rezistență de balast preia creșterea sau scăderea tensiunii de intrare și menține tensiunea de ieșire constantă. Creșterea sau scăderea tensiunii pe rezistența de balast este comandată de tranzistorul T astfel:

- **dacă tensiunea de intrare crește** are tendința să crească și tensiunea de ieșire. Acest fapt determină conform formulei (8) creșterea tensiunii bază - emitor U_{BE} (deoarece U_Z este constantă). Dacă U_{BE} crește atunci scade tensiunea U_{CE} fapt care duce la **creșterea tensiunii pe R_1** iar tensiunea de ieșire U_S rămâne constantă.
- **dacă tensiunea de intrare scade** are tendința să scadă și tensiunea de ieșire. Acest fapt determină scăderea tensiunii bază-emitor U_{BE} (deoarece U_Z este constantă). Dacă U_{BE} scade atunci crește tensiunea U_{CE} fapt care duce la **scăderea tensiunii pe R_1** iar tensiunea de ieșire U_S rămâne constantă.

Rezistența de balast R_1 preia variațiile de tensiune, limitează curentul prin tranzistor deci îl protejează în cazul apariției unui curent de scurtcircuit sau suprasarcină. Acest tip de stabilizator are randamentul scăzut datorită consumului rezistenței de balast și a tranzistorului T.

3.4. Stabilizatoare de tensiune cu reacție cu amplificator de eroare.

Un stabilizator de tensiune cu reacție cu amplificator de eroare funcționează ca un sistem de reglare automată. În **figura 3.10** sunt prezentate schemele bloc a stabilizatoarelor cu reacție în configurație serie (a) și în configurație paralel (b).

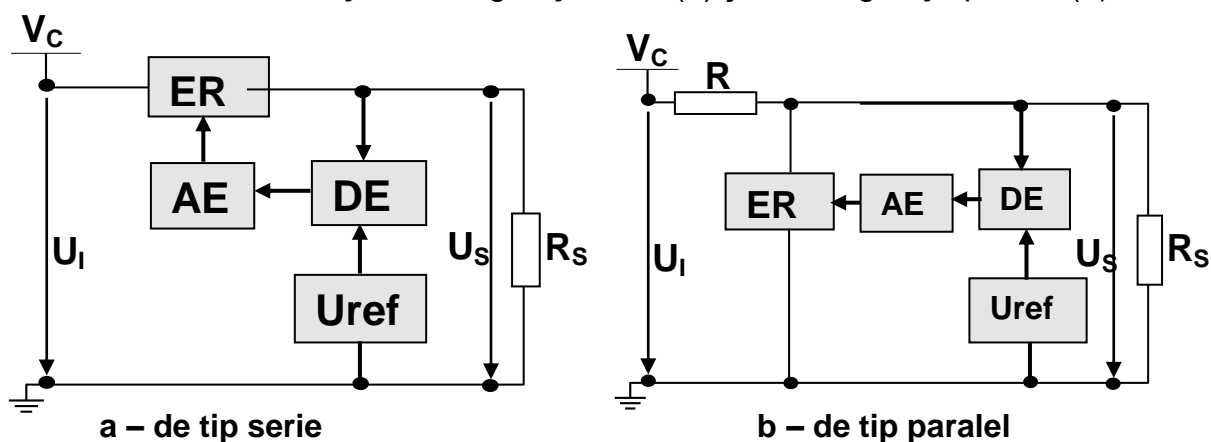


Figura 3.10 Schema bloc a unui stabilizator de tensiune cu reacție

ELEMENTELE SCHEMEI BLOC:

ER – element de reglaj (este un TB de medie sau mare putere sau un montaj Darlington)

AE – amplificator de eroare (este un TB de mică sau medie putere)

DE – detector de eroare (este un divizor de tensiune realizat cu rezistoare și/sau potențiomtru).

Uref – tensiunea elementului de referință (este tensiunea la care lucrează elementul de referință care este o diodă stabilizatoare).

PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL STABILIZATOARELOR CU REACȚIE

Tensiunea de ieșire U_s (sau o parte din aceasta kU_s) este în permanență comparată cu tensiunea de referință U_{ref} de către detectorul de eroare **DE**. Semnalul de eroare obținut la ieșirea detectorului de eroare ($\epsilon = U_{ref} - kU_s$) este aplicat la intrarea amplificatorului de eroare **AE**, care va amplifica semnalul. După amplificare, semnalul de eroare se aplică elementului de reglaj **ER**, care în condițiile în care în sistem a intervenit o perturbație oarecare readuce mărimea de ieșire U_s la valoarea care a fost impusă de elementul de referință. Semnalul care se aplică elementului de reglaj **ER** (sau elementului regulator), produce o modificare a rezistenței de curent continuu a elementului de reglaj care va influența valoarea tensiunii de ieșire.

3.4.1 Stabilizator de tensiune serie cu amplificator de eroare.

Amplificatorul de eroare sesizează variațiile de curent sau de tensiune ale sarcinii și comandă închiderea sau deschiderea tranzistorului serie. Deci în funcție de comanda care o primește de la amplificatorul de eroare tranzistorul serie preia variațiile de tensiune și curent din circuit menținând tensiunea de ieșire constantă.

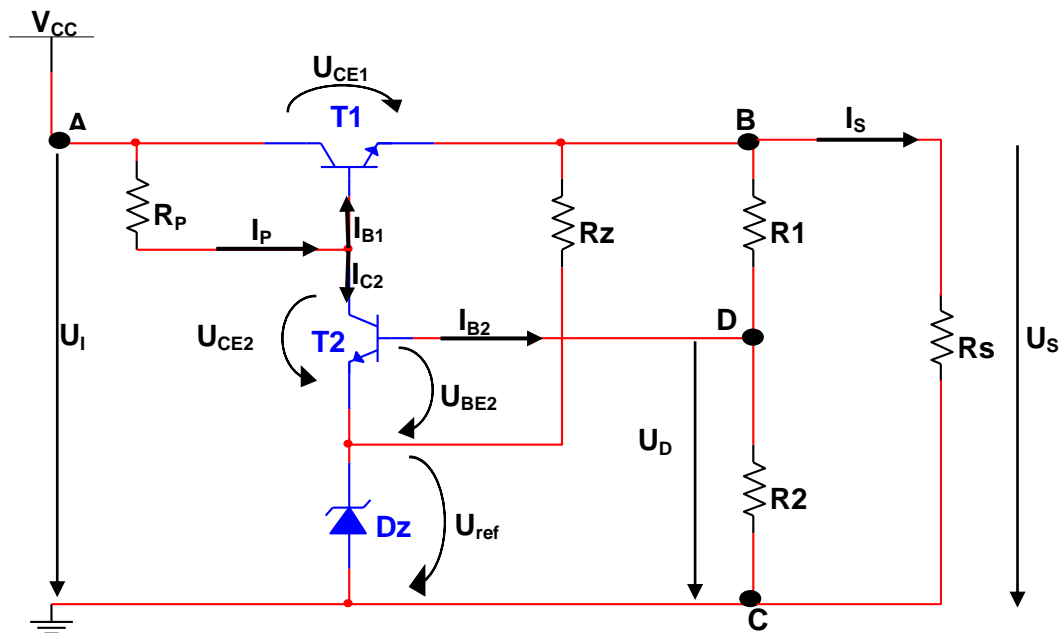


Figura 3.11 Schema unui stabilizator de tensiune cu amplificator de eroare
Determinarea valorii tensiunii stabilizate U_s

În punctul **D** al divizorului de tensiune format din rezistoarele **R1** și **R2** valoarea tensiunii este:

$$(1) U_D = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_s \text{ dar } (2) U_D = U_{BE2} + U_{ref} \text{ Din relațiile (1) și (2) } \Rightarrow$$

$$(3) \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot U_s = U_{BE2} + U_{ref} \text{ Din relația (3) } \Rightarrow (4) U_s = (0,7 + U_{ref}) \cdot \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right)$$

Funcționarea stabilizatorului cu amplificator de eroare

Dacă **U_1 crește** $\Rightarrow U_s$ **tinde să crească** $\Rightarrow U_{BE2}$ **crește** deoarece **U_{ref}** este **constantă**.

Dacă **U_{BE2} crește** $\Rightarrow I_{C2}$ **crește** (curentul de colector al tranzistorului **T2**).

Dacă **I_{C2} crește** $\Rightarrow I_{B1}$ **scade** \Rightarrow tranzistorul serie tinde să se blocheze $\Rightarrow U_{CE1}$ **crește**

Deci creșterea tensiunii de intrare **U_1** este preluată de jonctiunea colector – emitor a tranzistorului serie iar tensiunea de sarcină rămâne constantă.

Dacă **U_1 scade** $\Rightarrow U_s$ **tinde să scadă** $\Rightarrow U_{BE2}$ **scade** deoarece **U_{ref}** este **constantă**.

Dacă **U_{BE2} scade** $\Rightarrow I_{C2}$ **scade** $\Rightarrow I_{B1}$ **crește** $\Rightarrow U_{CE1}$ **scade** $\Rightarrow U_s$ **constantă**

3.4.2 Protecția stabilizatorului de tensiune cu amplificator de eroare.

Dezavantajul stabilizatorului de tensiune serie este că elementul serie nu este protejat la scurtcircuit. Când curentul prin sarcină depășește o anumită valoare (sau în cazul unui scurtcircuit pe sarcină), tranzistorul serie, prin care circulă acest curent, se poate distruge. Majoritatea stabilizatoarelor serie sunt prevăzute cu **circuit de limitare a curentului**, care asigură protecția stabilizatorului și în special a tranzistorului serie. Circuite de protecție nu afectează funcționarea normală a stabilizatorului serie

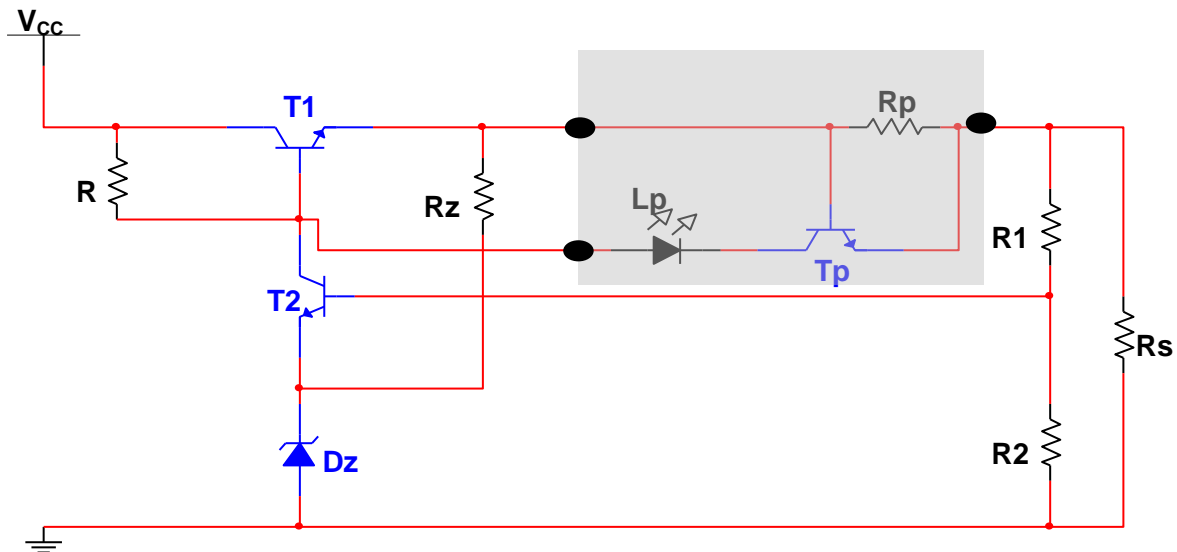


Figura 3.12 Stabilizator cu amplificator de eroare și protecție la scurtcircuit

Circuitul de protecție este format din tranzistorul T_p , rezistorul R_p și LED-ul L_p conectate ca în schema din figura 3.12. Circuitul de protecție se bazează pe principiul reducerii curentului din baza tranzistorului serie, deci la „închiderea” acestuia atunci când curentul de sarcină depășește o anumită valoare.

Funcționarea circuitului de protecție.

Curentul de sarcină trece prin rezistența de protecție R_p și produce pe acesta o cădere de tensiune. Această tensiune este „sesizată” de tranzistorul de protecție T_p , fiind de fapt chiar tensiunea bază – emitor a tranzistorului. Când tensiunea care cade pe rezistența R_p depășește valoarea de **0,6 V**, tranzistorul T_p intră în conducție, curentul prin tranzistor crește și scade curentul din baza tranzistorului serie T_1 . Când curentul din baza tranzistorului T_1 scade sub o anumită valoare acest tranzistor se blochează. LED-ul L_p semnalizează depășirea curentului maxim admis. Acesta luminează când tranzistorul de protecție T_p intră în conducție. Curentul de sarcină este limitat la valoarea $I_s[A] = \frac{0,7V}{R_p[\Omega]}$

3.4.3 Calculul stabilizatorului de tensiune serie cu amplificator de eroare.

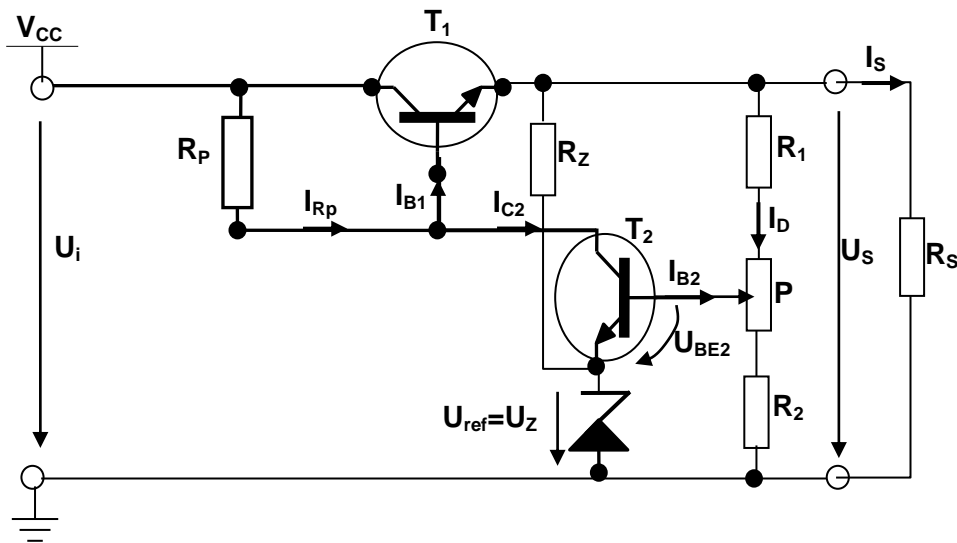


Figura 3.13 Stabilizator de tensiune serie cu amplificator de eroare

Se cunoaște: $U_i = \text{între } 10V \text{ și } 15V$; $U_s = 9V$; $I_s = 500\text{ mA}$

Pentru calculul mărimilor componentelor electronice ale stabilizatorului se parcurg etapele:

1. Se alege tipul tranzistorului serie

- Tranzistorul serie trebuie să asigure curentul de sarcină maxim $I_{S\max}$;
- Tensiunea colector-emitor a tranzistorului serie trebuie să fie mai mare decât tensiunea maximă de intrare $U_{CE1} > U_{I\max}$;
- Puterea disipată pe T_1 trebuie să îndeplinească condiția:

$$P_d = (U_{I\max} - U_s) \cdot I_{S\max} < P_{d\max} ;$$

- Se stabilește factorul de amplificarea de curent $\beta_1(h_{21E})$ la curentul de colector $I_C = I_s$

$$U_{CE1} > 15V ; P_d = (15V - 9V) \cdot 0,5A = 3W \quad \beta_1 = 25$$

Se alege un tranzistor BD 139 cu:

$$U_{CE} = 45V, P_{d\max} = 12,5W, h_{21E} \text{ minim garantat} = 25.$$

2. Se calculează rezistența de polarizare R_P

Se ține cont de curentul minim din baza tranzistorului serie **T1**, pentru ca acesta să poată asigura în sarcină curentul $I_S = 0,5 \text{ A}$.
$$I_{B1\max} = \frac{I_{S\max}}{\beta_1}$$

Acest curent trebuie furnizat de sursa de alimentare când acesta are tensiunea minimă, deci:

$$R_P = \frac{U_{I\min} - (U_S - 0,7V)}{I_{B1\max}}$$

$$I_{B1\max} = \frac{500\text{mA}}{25} = 20\text{mA} \quad R_P = \frac{10V - (9V - 0,7V)}{20\text{mA}} = 85\Omega$$

Se alege $R_P = 100 \Omega$

3. Se alege amplificatorul de eroare T2

Se alege un tranzistor care să îndeplinească condițiile:

- $I_{C2} \geq I_{B1\max}$;
- $U_{CE} > U_{I\min} - U_{ref}$;
- factorul de amplificare β_2 să fie peste medie.

Se alege tranzistorul BC 546 care are:

$$I_C = 100 \text{ mA}, U_{CE} = 85 \text{ V}, \beta_2 = 200$$

4. Se alege dioda Zener de referință D_Z

Tensiunea diodei trebuie să îndeplinească condiția: $U_Z = U_{ref} = (0,4 \dots 0,5) \cdot U_S$

Curentul prin dioda Zener trebuie să fie mai mare decât $I_{B1\max}$ (în acest caz 20 mA)

Se alege dioda Zener BZX 85 – C5V1 cu parametrii: $I_Z = 45 \text{ mA}$, $U_Z = (4,8 \dots 5,4) \text{ V}$

5. Se calculează rezistența de polarizare a diodei Zener, R_Z
$$R_Z = \frac{U_S - U_Z}{I_Z}$$

$$R_Z = \frac{9 - 5,1}{25} \cdot 1000 = 156\Omega \text{ se alege valoarea } R_Z = 150\Omega$$

6. Se calculează valoarea rezistenței divizorului R1 – P – R2

Divizorul rezistiv trebuie să îndeplinească condițiile:

- curentul prin divizor I_D trebuie să fie mult mai mare decât curentul prin baza tranzistorului T2 $I_D = 10 \cdot I_{B2}$
- tensiunea pe divizor este $U_S = (R1 + P + R2) \cdot I_D$

Din cele două condiții rezultă:

$$U_S = (R1 + P + R2) \cdot 10I_{B2} \Rightarrow R1 + P + R2 = \frac{U_S}{10I_{B2}}$$

$$\text{dar } I_{B2} = \frac{I_{C2}}{\beta_2} = \frac{I_{B1}}{\beta_2} = \frac{I_{S\max}}{\beta_1 \cdot \beta_2} \Rightarrow R1 + P + R2 = \frac{U_S}{10 \cdot I_{S\max}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2$$

$$R1 + P + R2 = \frac{9V}{10 \cdot 0,5A} \cdot 25 \cdot 200 = 9000\Omega = 9K\Omega$$

7. Se calculează R1, P, R2

$$\Rightarrow U_{B2} = U_{ref} + U_{BE2} \quad R2 = \frac{U_{ref} + U_{BE2}}{10I_{S\max}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2$$

$$R_2 = \frac{5,1V + 0,7V}{10 \cdot 0,5A} \cdot 25 \cdot 200 = 5800\Omega = 5,8K\Omega \Rightarrow R_1 = 3,2K\Omega$$

Se alege: R₁ = 1,8 KΩ ; R₂ = 2,2 KΩ ; P = 5 KΩ