

## Capitolul 8

# Stabilizatoare electronice de tensiune

### 8.1. Introducere

Stabilizatoarele de tensiune care conțin dispozitive electronice se numesc stabilizatoare electronice de tensiune (SET).

O sursă de tensiune continuă poate să conțină și un bloc stabilizator de tensiune continuă. Acest bloc are rolul de a furniza la ieșire o tensiune de valoare impusă și cu factor de ondulație mic sau foarte mic. Necesitatea utilizării stabilizatoarelor electronice de tensiune este impusă de cerințele de alimentare a anumitor tipuri de circuite electronice. De exemplu, circuitele logice de tip TTL (tranzistor – tranzistor – logică) funcționează corect dacă sunt alimentate la o tensiune continuă cuprinsă în intervalul 4,75 V – 5,25 V și cu un factor de ondulație foarte mic. O sursă de tensiune continuă care să îndeplinească aceste cerințe va cuprinde și un bloc stabilizator de tensiune, caz în care se va numi sursă de tensiune stabilizată.

Deoarece la stabilizatoarele de tensiune continuă este mai puțin importantă forma curenților și tensiunilor ce intervin în circuit, se preferă o notație în care se ține cont numai de valoarea medie (componenta continuă) și de amplitudinea componentei variabile. În fig. 8.1 sunt ilustrate notațiile ce vor fi utilizate în continuare pentru:  $v_I$  - tensiunea de intrare,  $v_O$  - tensiunea de ieșire și  $i_L$  - curentul de sarcină.

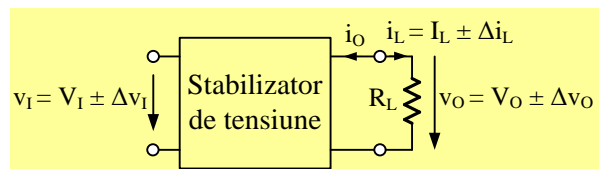


Fig. 8.1. Stabilizator de tensiune – notații.

### 8.2. Definire, clasificare și caracterizare fizică

Stabilizatorul de tensiune continuă este un circuit electronic ce menține cât mai constantă tensiunea de ieșire în raport cu:

- variația tensiunii de intrare,  $\Delta v_I(t)$ ;
- variația sarcinii,  $\Delta R_L$  (sau a curentului de sarcină,  $\Delta i_L$ );
- variația temperaturii ambiante,  $\Delta T_a$ .

#### Clasificarea stabilizatoarelor

##### a) După modul de operare sau funcționare:

- SET parametrice cu diode și tranzistoare;
- SET bazate pe reacție:
  - în regim liniar;
  - în comutație.

##### b) După structură:

- SET serie;
- SET derivație.

##### c) După tehnologia de realizare

- SET cu componente discrete;
- SET cu componente integrate;
- SET cu componente hibride;
- SET monolitice.

d) **După cerințele de utilizare**

- SET cu:
  - o ieșire;
  - cu mai multe ieșiri.
- SET cu tensiune de ieșire (pozitivă sau negativă):
  - de valoare fixă;
  - de valoare reglabilă;
- SET cu tensiune de ieșire de valoare:
  - mică;
  - medie;
  - mare.

**Parametrii de lucru ai stabilizatoarelor**

Din definiția SET rezultă că tensiunea de ieșire depinde de: tensiunea de intrare, curentul de sarcină și temperatura mediului ambiant.

$$v_o = f_1(v_I, i_L, T) \quad (8.1)$$

Presupunând o dependență liniară a tensiunii de ieșire de cele trei variabile, prin diferențiere se obține [11]:

$$d v_o = \left( \frac{\partial v_o}{\partial v_I} \right) d v_I + \left( \frac{\partial v_o}{\partial i_L} \right) d i_L + \left( \frac{\partial v_o}{\partial T} \right) d T \quad (8.2)$$

Plecând de la relația anterioară și considerând variații finite mici, în continuare se definesc parametrii de lucru ai stabilizatoarelor.

a) **Coeficientul de stabilizare a tensiunii de ieșire, în gol, în raport cu variația tensiunii de intrare,**  $S_{v_o}$  se definește ca raportul dintre variația tensiunii de intrare și variația tensiunii de ieșire, pentru temperatură ambiantă constantă și sarcină infinită ( $i_L = 0$ ). Valoarea acestui coeficient exprimă de câte ori a fost redusă componenta variabilă de către SET și trebuie să fie cât mai mare.

$$S_{v_o} = \frac{\delta v_I}{\delta v_o} \bigg|_{T=cst., R_L \rightarrow \infty} \cong \frac{\Delta v_I}{\Delta v_o} \bigg|_{T=cst., R_L \rightarrow \infty} \quad (8.3)$$

b) **Rezistența de ieșire,  $R_o$**

$$R_o = - \frac{\delta v_o}{\delta i_L} \bigg|_{T=cst., v_I=V_I} \cong - \frac{\Delta v_o}{\Delta i_L} \bigg|_{T=cst., v_I=V_I} \quad (8.4)$$

Pentru curenți mari de sarcină,  $R_o$  trebuie să fie mică.

c) **Coeficientul de stabilizare a tensiunii de ieșire, în sarcină, în raport cu variația tensiunii de intrare,**  $S_v$  se definește ca și  $S_{v_o}$ , dar pentru un curent de sarcină diferit de zero.

$$S_v = \frac{\delta v_I}{\delta v_o} \bigg|_{T=cst., i_L=I_L} \cong \frac{\Delta v_I}{\Delta v_o} \bigg|_{T=cst., i_L=I_L} = \left( 1 + \frac{R_o}{R_L} \right) \cdot S_{v_o} \quad (8.5)$$

d) **Coeficientul de stabilizare a tensiunii de ieșire, în raport cu variația temperaturii ambiante,**  $S_T$  se definește ca raportul dintre variația tensiunii de ieșire și variația temperaturii ambiante, pentru tensiunea de intrare și curentul de ieșire constanți. Este de dorit ca acest coeficient să fie cât mai mic.

$$S_T = \left. \frac{\delta v_O}{\delta T} \right|_{v_I=V_I, i_L=I_L} \cong \frac{\Delta v_O}{\Delta T} \bigg|_{v_I=V_I, i_L=I_L} \quad (8.6)$$

Pentru stabilizatoarele integrate se definește factorul de ondulație al tensiunii de ieșire ( $\Delta v_O / V_O$ ) sau numai variația tensiunii de ieșire pentru o anumită variație a tensiunii de intrare ( $\Delta v_I$ ) și pentru o anumită variație a curentului de sarcină  $\Delta i_L$ .

De exemplu, la stabilizatorul integrat KA7805, pentru o variație a tensiunii de intrare,  $v_I$  între 8 V și 12V, la ieșire variația tipică este de 1,6 mV și cea maximă de 50 mV.

Pentru o variație a curentului de sarcină între 250 mA și 750 mA, la ieșire variația tipică este de 4 mV și cea maximă 50 mV.

La un curent de sarcină de 5 mA,  $S_T = -0,8 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ .

În fig. 8.2 este ilustrat modelul unui stabilizator electronic de tensiune folosind parametrii definiți anterior și notațiile ilustrate în fig. 8.1. S-a urmărit numai modelarea comportării la ieșire a SET.

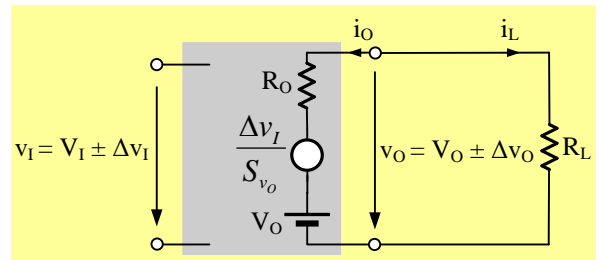


Fig. 8.2. Modelul SET.

### 8.3. Stabilizatoare parametrice de tensiune

#### 8.3.1. Stabilizatoare parametrice cu diode Zener

Diodele Zener sunt utilizate în special pentru stabilizarea tensiunilor, motiv pentru care se mai numesc și diode stabilizatoare. În polarizare inversă, în regiunea de străpungere, tensiunea pe diodă depinde foarte slab de curentul prin diodă. Această proprietate este folosită în stabilizatoarele de tensiune cu diode Zener. Astfel, tensiunea de străpungere este parametru cel mai important pentru diodele Zener, fiind controlată în procesul de fabricație.

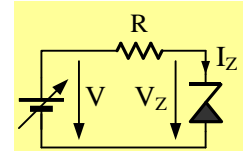


Fig. 8.3. Circuit pentru polarizarea diodei Zener.

#### Modelarea diodei Zener în regiunea de străpungere

În fig. 8.3 este prezentat un circuit pentru polarizarea inversă a diodei Zener. Cu ajutorul acestuia se poate determina caracteristica  $I_Z = I_Z(V_Z)$ , în care am notat:  $I_Z = -I_A$  și  $V_Z = -V_A$ . În fig. 8.4a este ilustrată caracteristica diodei Zener. Pentru  $I_{ZM} > I_Z > I_{Zm}$  caracteristica poate fi aproximată cu una liniară, așa cum se observă în fig. 8.4b. Panta caracteristicii în regiunea de străpungere fiind constantă, poate fi modelată cu rezistența  $r_z$ , dată de relația:

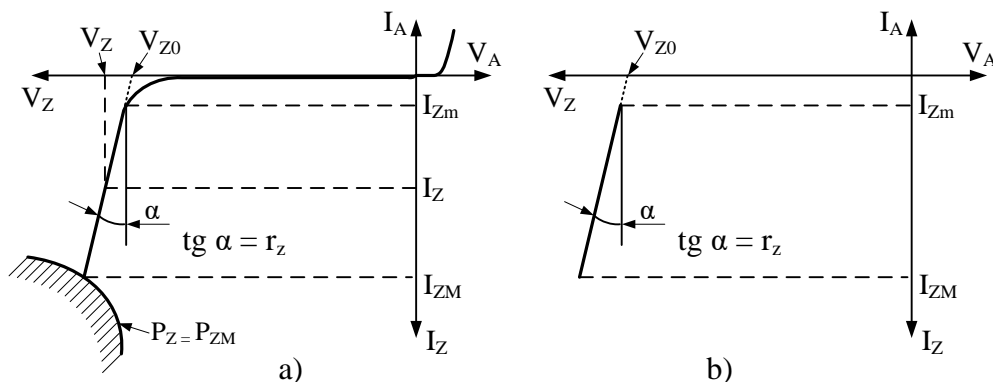


Fig. 8.4. a) Caracteristica curent tensiune a unei diode Zener;  
b) caracteristica liniarizată în regiunea de străpungere.

$$r_z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z} = \tan \alpha \quad (8.7)$$

Modelul liniar al diodei Zener, ilustrat în fig. 8.5, mai cuprinde o baterie de tensiune  $V_{Z0}$ . Tensiunea pe dioda Zener are expresia:

$$V_Z = V_{Z0} + r_z \cdot I_Z \quad (8.8)$$

Pentru  $I_Z < I_{Zm}$ , tensiunea pe dioda Zener scade rapid și modelul din fig. 8.5 nu mai este valabil. Dacă  $I_Z = I_{ZM}$ , atunci puterea disipată pe dioda Zener este egală cu cea maximă admisă. Ca urmare, depășirea curentului maxim determină depășirea puterii maxime admisibile, ceea ce conduce la o supraîncălzire a dispozitivului și în final la o distrugere a acestuia. Circuitului de polarizare al diodei Zener trebuie să realizeze limitarea curentului  $I_Z$  la o valoare sub cea maximă.

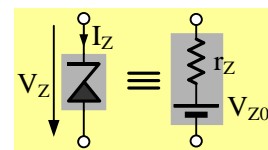


Fig. 8.5. Modelul diodei Zener.

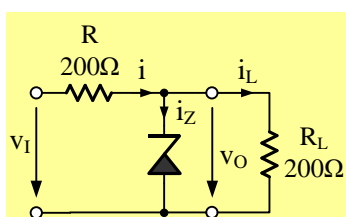


Fig. 8.6. Stabilizator cu diodă Zener.

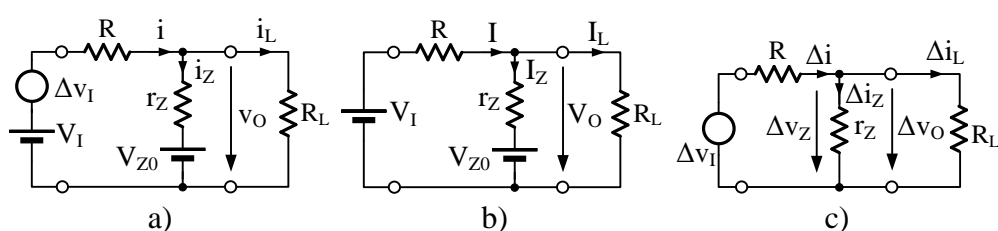


Fig. 8.7. Stabilizator cu diodă Zener: a) schema echivalentă; b) schema de c.c.; c) schema de c.a.

### Aplicația 8.1

Pentru stabilizatorul din fig. 8.6 se cunoaște:  $v_I = 30 \pm 6$  V,  $D(V_{Z0} = 10$  V,  $r_z = 5$  Ω). **Se cere:**

- Tensiunea medie de ieșire;
- Rezistența de ieșire;
- Coeficienții  $S_{v_o}$  și  $S_v$ ;
- Amplitudinea componentei variabile a tensiunii de ieșire;
- Limitele curentului prin dioda Zener.

### Rezolvare

a) Pe schema de c. c. din fig. 8.7b se pot scrie următoarele ecuații:

$$V_I = R \cdot I + V_O, \quad I = I_Z + I_L, \quad V_O = R_L \cdot I_L,$$

la care se adaugă ecuația (8.8):

$$V_O = V_{Z0} + r_z \cdot I_Z$$

Rezultă:

$$V_O = \frac{R \cdot R_L \cdot V_{Z0} + R_L \cdot r_z \cdot V_I}{R \cdot R_L + R_L \cdot r_z + R \cdot r_z} = \frac{200 \cdot 200 \cdot 10 + 200 \cdot 5 \cdot 30}{200 \cdot 200 + 200 \cdot 5 + 200 \cdot 5} = 10,238 \approx 10,24$$
 V

Din fig. 8.7c rezultă:

$$b) \quad R_O \cong - \left. \frac{\Delta v_O}{\Delta i_L} \right|_{T=cst., v_I=V_I} = - \left. \frac{\Delta v_O}{\Delta i_L} \right|_{T=cst., \Delta v_I=0} = r_z \parallel R = \frac{r_z \cdot R}{r_z + R} = \frac{5 \cdot 200}{5 + 200} \approx 4,9 \Omega$$

c)

$$\Delta v_O = \frac{r_Z \parallel R_L}{r_Z \parallel R_L + R} \cdot \Delta v_I$$

$$S_{v_O} = \frac{\delta v_I}{\delta v_O} \Big|_{T=cst., R_L \rightarrow \infty} \cong \frac{\Delta v_I}{\Delta v_O} \Big|_{T=cst., R_L \rightarrow \infty} = 1 + \frac{R}{r_Z} = 1 + \frac{200}{5} = 41$$

$$S_v = \frac{\delta v_I}{\delta v_O} \Big|_{T=cst., i_L = I_L} \cong \frac{\Delta v_I}{\Delta v_O} \Big|_{T=cst., i_L = I_L} = \left(1 + \frac{R_O}{R_L}\right) \cdot S_{v_O} = \left(1 + \frac{4,9}{200}\right) \cdot 41 \cong 42$$

d) Din relația anterioară rezultă:

$$\Delta v_O = \frac{\Delta v_I}{S_v} = \frac{6}{42} \cong 0,14V, \quad v_O = 10,24 \pm 0,14V$$

e)

$$I_{Zm} = I_m - I_L = \frac{v_{Im} - V_O}{R} - \frac{V_O}{R_L} \cong \frac{v_{Im} - V_{Z0}}{R} - \frac{V_{Z0}}{R_L} = \frac{24 - 10}{200} - \frac{10}{200} = 0,02A$$

$$I_{ZM} = I_M - I_L = \frac{v_{IM} - V_O}{R} - \frac{V_O}{R_L} \cong \frac{v_{IM} - V_{Z0}}{R} - \frac{V_{Z0}}{R_L} = \frac{36 - 10}{200} - \frac{10}{200} = 0,08A$$

### 8.3.2. Stabilizatoare parametrice cu diode Zener și tranzistoare 18.12.2017

Utilizarea tranzistoarelor bipolare în stabilizatoarele parametrice permite creșterea considerabilă a curentului maxim de sarcină. În fig. 8.8a este ilustrată schema cea mai simplă de stabilizator serie în care elementul regulator este un tranzistor bipolar. Dioda Zener are rolul de referință de tensiune, asigurând în baza tranzistorului o tensiune constantă. Tensiunea de ieșire urmărește tensiunea pe diodă, tranzistorul lucrând ca un repetor pe emitor pentru tensiunea  $V_Z$ . Astfel, componenta medie a tensiunii de ieșire este:

$$V_O = V_Z - V_{BE} \quad (8.9)$$

Variația în limite largi a curentului de sarcină, care este chiar curentul de emitor, va determina o variație mică a tensiunii  $V_{BE}$ .

Pentru determinarea parametrilor de lucru ai stabilizatorului se utilizează schema de c. a. din fig. 8.8b. Pentru TB s-a utilizat modelul cu parametrii hibridi, în care s-au neglijat parametrii  $h_{re}$  și  $h_{oe}$ .

#### Rezistența de ieșire

$$R_O \cong - \frac{\Delta v_O}{\Delta i_L} \Big|_{T=cst., \Delta v_I=0} = \frac{h_{ie} + r_Z \parallel R}{h_{fe} + 1} \cong \frac{1}{g_m} + \frac{r_Z \parallel R}{h_{fe} + 1} \quad (8.10)$$

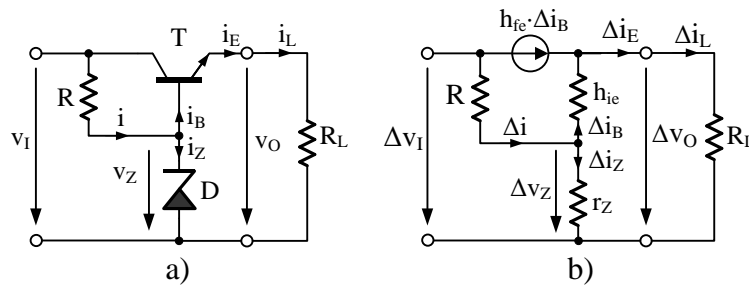


Fig. 9.8. Stabilizator parametric cu diodă Zener și tranzistor bipolar:  
a) schema de principiu; b) schema de c. a.

### Coeficientul $S_V$

Rezistența de intrare în baza tranzistorului este mult mai mare decât  $r_Z$ :

$$R_{iB} = h_{ie} + (h_{fe} + 1) \cdot R_L \gg r_Z$$

Ca urmare se pot scrie următoarele relații:

$$\Delta v_Z \cong \frac{r_Z}{R + r_Z} \cdot \Delta v_I$$

$$\Delta v_Z = h_{ie} \cdot \Delta i_B + R_L \cdot \Delta i_E$$

$$\Delta i_E = (h_{fe} + 1) \cdot \Delta i_B, \quad \Delta v_O = R_L \cdot \Delta i_E$$

Din relațiile anterioare rezultă:

$$S_V \cong \frac{\Delta v_I}{\Delta v_O} \bigg|_{T=cst.} = \frac{R + r_Z}{r_Z} \left( 1 + \frac{h_{ie}}{h_{fe} + 1} \cdot \frac{1}{R_L} \right) \cong \frac{R + r_Z}{r_Z} \left( 1 + \frac{1}{g_m \cdot R_L} \right) \quad (8.11)$$

Dacă  $g_m \cdot R_L \gg 1$ , atunci se obține aceeași expresie pentru  $S_V$  ca la SET cu dioda Zener.

### Coeficientul $S_T$

$$S_T = \frac{\partial v_O}{\partial T} = \frac{\partial v_Z}{\partial T} - \frac{\partial v_{BE}}{\partial T} = S_Z - S_{TB} \quad (8.12)$$

La tranzistorul bipolar,  $S_{TB} \approx -2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ .

Dacă se înlocuiește tranzistorul bipolar cu un tranzistor compus în configurație Darlington, fig. 8.9, atunci domeniul pentru curentul de sarcină se extinde foarte mult, ajungând la valori de ordinul amperilor pentru curenți prin dioda Zener de ordinul miliamperilor sau zecilor de miliamperi.

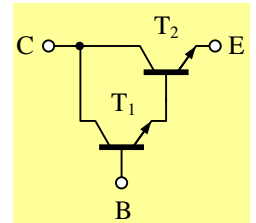


Fig. 8.9.  
Configurația  
Darlington.

### Aplicația 8.2

Pentru stabilizatorul din fig. 8.8a se cunoaște:  $D(V_{Z0} = 10\text{V}, r_Z = 5 \Omega)$ ,  $T(V_{BE} = 0,7 \text{ V}, h_{fe} = \beta_F = 50)$ ,  $V_I = 30 \pm 6 \text{ V}$ ,  $R = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_L = 50 \Omega$ . **Se cere:**

- Tensiunea medie de ieșire;
- Rezistența de ieșire;
- Coeficienții  $S_{v_O}$  și  $S_V$ ;
- Amplitudinea componentei variabile a tensiunii de ieșire;
- Limitele curentului prin dioda Zener.

### Rezolvare

a) Pentru simplificarea calculelor vom considera că  $V_O = V_{Z0} = 10 \text{ V}$ . Din relația (8.9) rezultă:

$$V_O = V_Z - V_{BE} = 10 - 0,7 = 9,3\text{V}$$

$$b) \quad I_C \cong I_E = \frac{V_O}{R_L} = \frac{9,3}{50} = 0,186\text{A} = 186\text{mA}$$

$$g_m = 40 \cdot I_C = 40 \cdot 186 = 7440\text{mA/V} = 7,44 \text{ A/V}$$

Utilizând relația (8.10) se obține:

$$R_O \cong - \frac{\Delta v_O}{\Delta i_L} \bigg|_{T=cst.} = \frac{1}{g_m} + \frac{r_Z \parallel R}{h_{fe} + 1} = \frac{1}{7,44} + \frac{5 \parallel 1000}{51} = 0,232 \Omega$$

c) Din (8.11) rezultă:

$$S_v \cong \frac{\Delta v_I}{\Delta v_O} \bigg|_{T=cst.} \cong \frac{R+r_Z}{r_Z} \cdot \left(1 + \frac{1}{g_m \cdot R_L}\right) = \frac{1000+5}{5} \cdot \left(1 + \frac{1}{7,44 \cdot 50}\right) = 201,5$$

d) Din relația anterioară rezultă:

$$\Delta v_O = \frac{\Delta v_I}{S_v} = \frac{6}{201,5} \cong 0,03V, \quad v_O = 9,3 \pm 0,03V$$

e)

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = \frac{186}{51} = 3,65mA$$

$$I_{Zm} = I_m - I_B = \frac{v_{Im} - V_Z}{R} - I_B \cong \frac{v_{Im} - V_{Z0}}{R} - I_B = \frac{24 - 10}{1} - 3,65 = 10,35mA$$

$$I_{ZM} = I_M - I_B = \frac{v_{IM} - V_Z}{R} - I_B \cong \frac{v_{IM} - V_{Z0}}{R} - I_B = \frac{36 - 10}{1} - 3,65 = 22,35mA$$

### Observații

1. Utilizarea tranzistorului a permis creșterea curentului de sarcină și scăderea ondulațiilor tensiunii de ieșire.
2. O scădere accentuată a ondulațiilor la ieșire se poate obține prin polarizarea diodei Zener cu un generator de curent, astfel încât variația curentului  $I_Z$  să fie foarte mică. În fig. 9.10 este ilustrată o astfel de schemă, în care s-a utilizat și un tranzistor compus în configurație Darlington.

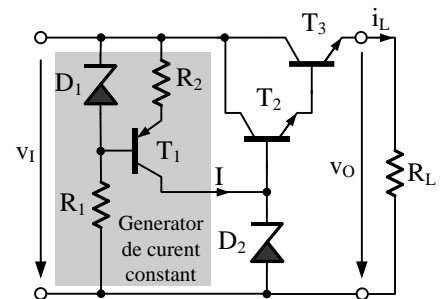


Fig. 8.10. SET cu generator de curent constant.

## 8.4. Stabilizatoare de tensiune cu reacție (21.12.2021)

În fig. 8.11 este ilustrată schema unui SET cu reacție negativă alcătuit din:

- referința de tensiune realizată cu dioda Zener D și rezistorul de polarizare R;
- detectorul de eroare compus din rezistoarele  $R_1$  și  $R_2$ ;
- amplificatorul de eroare,  $A_E$  realizat cu amplificatorul diferențial cu amplificarea  $A_d$  și
- elementul regulator serie constituit din tranzistorul bipolar T.

Ondulațiile tensiunii de ieșire depind în mare măsură de referința de tensiune. SET performante folosesc generatoare de curent constant pentru polarizarea diodei Zener, ca în fig. 8.10 și în plus se realizează și o compensare termică a referinței de tensiune.

Detectorul de eroare este un divizor de tensiune ce se alimentează de la ieșirea SET și furnizează pe intrarea inversoare a amplificatorului diferențial o tensiune proporțională cu tensiunea de ieșire. De fapt, detectorul de eroare este rețeaua de reacție negativă a amplificatorului.

Amplificatorul de eroare are o amplificare în tensiune foarte mare, de ordinul miilor sau zecilor de mii. Rolul  $A_E$  este să comande elementul regulator serie astfel încât să se păstreze la ieșire o tensiune constantă, pentru o gamă largă a curentului de sarcină.

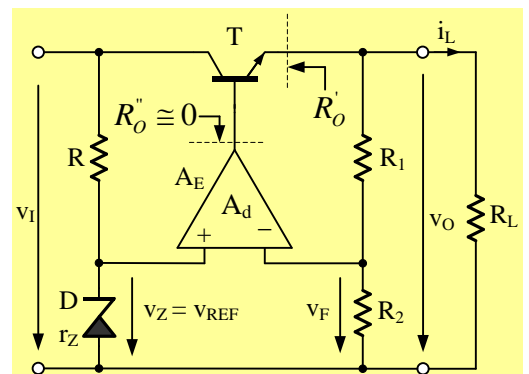


Fig. 8.11. SET cu reacție negativă.

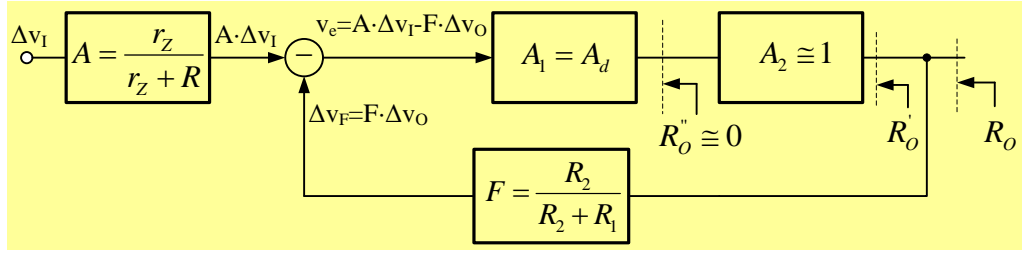


Fig. 8.12. Schema de c. a. a stabilizatorului cu reacție negativă din fig. 8.11.

Elementul regulator serie realizează controlul curentului prin sarcină. Pentru extinderea domeniului curentului de sarcină se poate înlocui cu un tranzistor compus în configurație Darlington, ca în fig. 8.10.

### Determinarea componentei medii a tensiunii de ieșire

Notăm cu  $V_{OAD}$  tensiunea de ieșire a amplificatorului de eroare. Deoarece  $A_D$  este foarte mare, rezultă:

$$V_{OAD} = A_D \cdot (V_{REF} - V_F) < v_I$$

$$V_{REF} - V_F = \frac{V_{OAD}}{A_D} \rightarrow 0 \Rightarrow V_F \cong V_{REF}$$

Exprimând  $V_F$  funcție de  $V_O$  se obține:

$$V_F = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_O \Rightarrow V_O = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot V_{REF}$$

De remarcat că dacă  $R_1$  este un rezistor reglabil, atunci și tensiunea de ieșire este reglabilă, dependența tensiunii  $V_O$  de  $R_1$  fiind liniară.

Pentru determinarea parametrilor de lucru ai stabilizatorului se utilizează schema de c. a. din fig. 8.12.

### Rezistența de ieșire

$$R_O \cong \frac{R'_O}{1 + F \cdot A_1 \cdot A_2} = \frac{R'_O}{1 + F \cdot A_d} \cong \frac{h_{ie}}{h_{fe} \cdot F \cdot A_d} \quad (8.13)$$

### Coefficientul $S_{V0}$

$$S_{V0}^{-1} \cong \frac{\Delta v_O}{\Delta v_I} \bigg|_{T=cst., i_L=0} = \frac{A \cdot A_1 \cdot A_2}{1 + F \cdot A_1 \cdot A_2} = \frac{A \cdot A_d}{1 + F \cdot A_d} \cong \frac{A}{F}$$

$$S_{V0} \cong \frac{F}{A} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{r_Z + R}{r_Z} = \frac{R_2 \cdot (r_Z + R)}{r_Z \cdot (R_1 + R_2)} \quad (8.14)$$

### Coefficientul $S_V$

$$S_V \cong \left(1 + \frac{R_O}{R_L}\right) \cdot S_{V0}$$



### Aplicația 8.3

Pentru stabilizatorul din fig. 8.11 se cunoaște:  $D(V_{Z0} = 10V, r_Z = 5\Omega)$ ,  $T(V_{BE} = 0,7V, h_{fe} = \beta_F = 50)$ ,  $A_d = 1000$ ,  $v_1 = 30 \pm 6V$ ,  $R = 1k\Omega$ ,  $R_1 = 2k\Omega$ ,  $R_2 = 10k\Omega$ ,  $R_L = 50\Omega$ .

Se cere:

- Tensiunea medie de ieșire;
- Rezistența de ieșire;
- Coeficienții  $S_{v_o}$  și  $S_v$ ;
- Amplitudinea componentei variabile a tensiunii de ieșire;
- Limitele curentului prin dioda Zener.

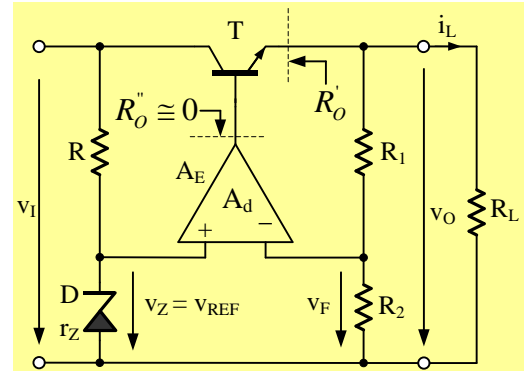


Fig. 8.11. SET cu reacție negativă.

### Rezolvare

- Pentru simplificarea calculelor vom considera  $V_{REF} = V_Z = V_{Z0} = 10V$ .

$$V_O = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot V_{REF} = \left[1 + \frac{2}{10}\right] \cdot 10 = 12V$$

$$b) \quad I_C \cong I_E = \frac{V_O}{R_L} = \frac{12}{50} = 0,24A = 240mA$$

$$g_m = 40 \cdot I_C = 40 \cdot 240 = 9600mA/V = 9,6A/V$$

Utilizând relația (8.13) se obține:

$$R_O \cong \frac{h_{ie}}{h_{fe} \cdot F \cdot A_d} = \frac{1}{g_m \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot A_d} = \frac{1}{9,6 \cdot \frac{10}{2+10} \cdot 1000} = 0,000125\Omega = 0,125m\Omega$$

- Din (8.14) rezultă:

$$S_{v_0} \cong \frac{F}{A} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{r_Z + R}{r_Z} = \frac{R_2 \cdot (r_Z + R)}{r_Z \cdot (R_1 + R_2)} = \frac{10000 \cdot (5 + 1000)}{5 \cdot (2000 + 10000)} = 167,5$$

Deoarece  $R_O \ll R_L$  rezultă că:  $S_v \cong S_{v_0} = 167,5$

$$d) \quad \Delta v_O = \frac{\Delta v_I}{S_v} = \frac{6}{167,5} \cong 0,036V$$

$$v_O = 12 \pm 0,036V$$

- Rezistența de intrare a amplificatorului diferențial este foarte mare, rezultă că:

$$I_{Zm} = I_m = \frac{v_{Im} - V_Z}{R} \cong \frac{v_{Im} - V_{Z0}}{R} = \frac{24 - 10}{1} = 14mA$$

$$I_{ZM} = I_M = \frac{v_{IM} - V_Z}{R} \cong \frac{v_{IM} - V_{Z0}}{R} = \frac{36 - 10}{1} = 26mA$$

(16.12.2024)