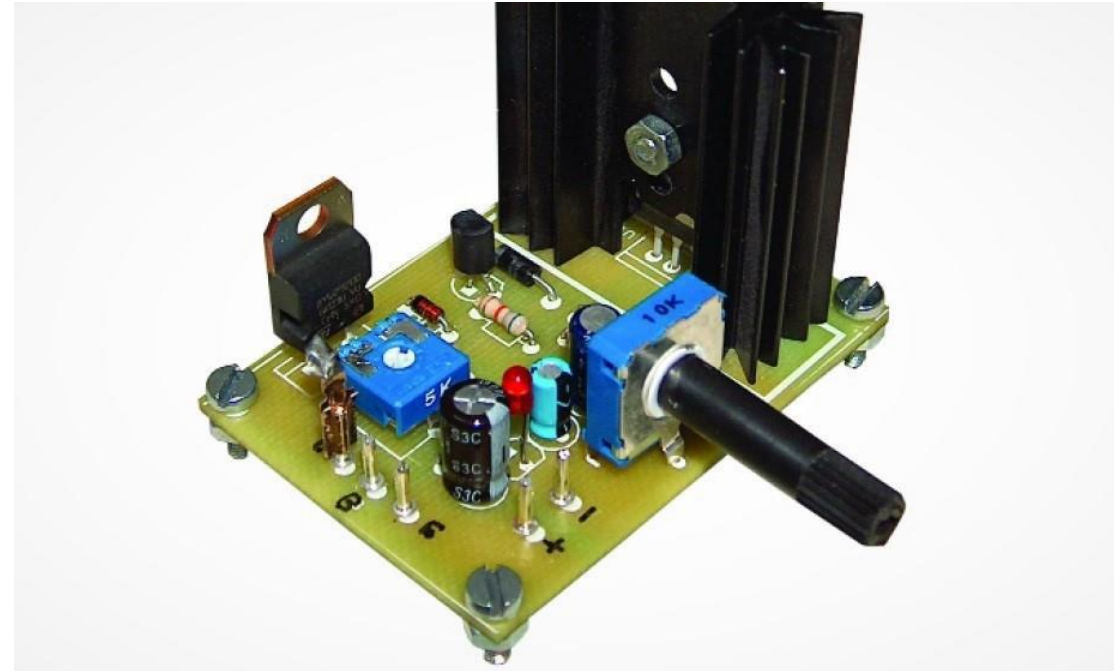


DISPOZITIVE ELECTRONICE ÎN ELECTRONICA APLICATĂ

Tema 11:

STABILIZATOARE DE TENSIUNE



GENERALITĂȚI

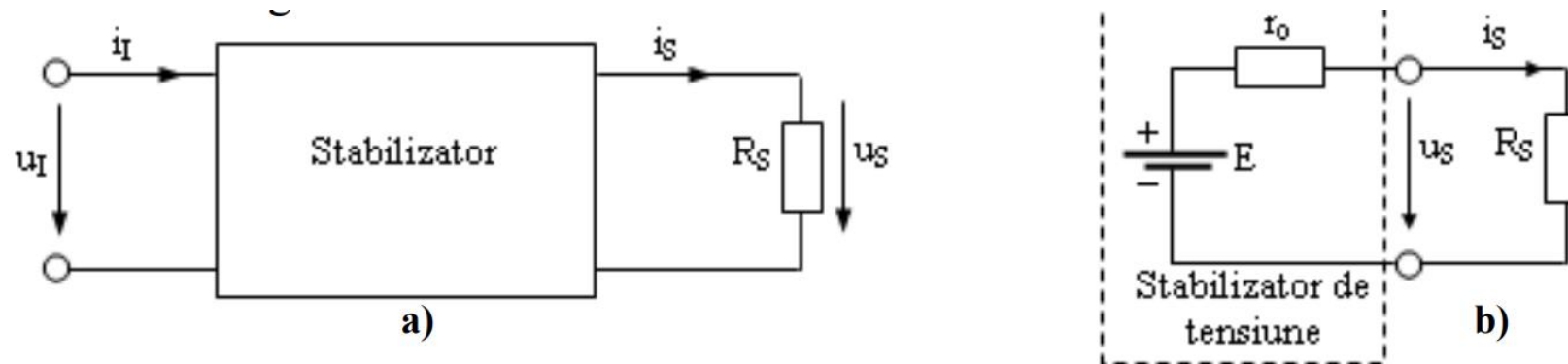
- Aparatura electronică necesită tensiuni de alimentare continue pentru o funcționare corectă. Tensiunea obținută la ieșirea unui redresor cu filtru are, pe lângă componenta continuă (dependentă de tensiunea rețelei), și o componentă variabilă (ondulatorie). În plus, această tensiune scade mult cu creșterea curentului de sarcină (caracteristica externă este descrescătoare), fiind dependentă și de variațiile temperaturii. Un stabilizator de tensiune ideal asigură la ieșire o tensiune independentă de variațiile tensiunii de intrare, ale curentului de sarcină sau ale temperaturii.
- Stabilizatorul real minimizează aceste variații la valori nepericuloase pentru circuitul de sarcină.

GENERALITĂȚI

- Clasificarea stabilizatoarelor după structură:
 - stabilizatoare serie: elementul regulator al tensiunii stabilizate se află în serie cu ieșirea stabilizatorului (circuitul de sarcină).
 - stabilizatoare derivație: elementul regulator al tensiunii stabilizate se află în derivație cu ieșirea stabilizatorului (circuitul de sarcină).
- Clasificarea stabilizatoarelor după principiul de funcționare:
 - stabilizatoare parametrice: au structura cea mai simplă, bazându-și funcționarea pe neliniaritatea caracteristicii curent-tensiune a dispozitivului electronic utilizat (în general se utilizează o diodă stabilizatoare).
 - stabilizatoare electronice liniare cu reacție: se realizează stabilizarea prin intermediul unei reacții negative, dispozitivele electronice folosite lucrând (în regim) liniar. Se pot considera (într-o primă aproximație) că aceste stabilizatoare sunt circuite electronice liniare.
 - stabilizatoare în regim de comutație: sunt stabilizatoare electronice cu reacție, în care elementul regulator al tensiunii de ieșire lucrează în regim de comutație, crescând astfel randamentul stabilizatorului.

PRINCIPALII PARAMETRI AI STABILIZATOARELOR

- Schema bloc a unui stabilizator poate fi reprezentată ca un cuadripol, după cum se poate vedea în figura de mai jos



Schema electrică a unui stabilizator de tensiune

a) Stabilizatorul de tensiune privit ca un cuadripol

b) b) Circuitul de ieșire al stabilizatorului de tensiune

Performanțele unui stabilizator se evaluează cu ajutorul unor relații între variația mărimii stabilizate și variațiile mărimilor care o produc. În cazul în care se studiază stabilizatoarele de tensiune se consideră ca mărime de ieșire (stabilizată) tensiunea de pe sarcină.

PRINCIPALII PARAMETRI AI STABILIZATOARELOR

- Considerând că temperatura de lucru este θ C θ o θ , tensiunea de ieșire se scrie astfel: $u_s = f(u_I, R_s, \theta)$

- variațiile tensiunii de ieșire, provocate de variațiile tensiunii de intrare, ale rezistenței de sarcină și ale temperaturii se obțin prin diferențierea relației (9.1), astfel;
$$du_s = \frac{\partial u_s}{\partial u_I} du_I + \frac{\partial u_s}{\partial R_s} dR_s + \frac{\partial u_s}{\partial \theta} d\theta$$

- Pentru a pune în evidență variațiile relative, relația (9.2), devine:

$$\frac{du_s}{u_s} = \left(\frac{\partial u_s}{\partial u_I} \frac{u_I}{u_s} \right) \frac{du_I}{u_I} + \left(\frac{\partial u_s}{\partial R_s} \frac{R_s}{u_s} \right) \frac{dR_s}{R_s} + \left(\frac{\partial u_s}{\partial \theta} \frac{\theta}{u_s} \right) \frac{d\theta}{\theta}$$

PRINCIPALII PARAMETRI AI STABILIZATOARELOR

- Factorii de stabilizare se definesc prin raportul dintre variația relativă a mărimii perturbatoare și variația relativă a mărimii stabilizate, astfel:

- 1) Factorul de stabilizare în raport cu tensiunea de intrare:

$$F_{u_I} = \frac{1}{\left(\frac{\partial u_S}{\partial u_I} \frac{u_I}{u_S} \right) \Big|_{\substack{R_S=ct \\ \theta=ct}}}$$

- 2) Factorul de stabilizare în raport cu rezistența de sarcină:

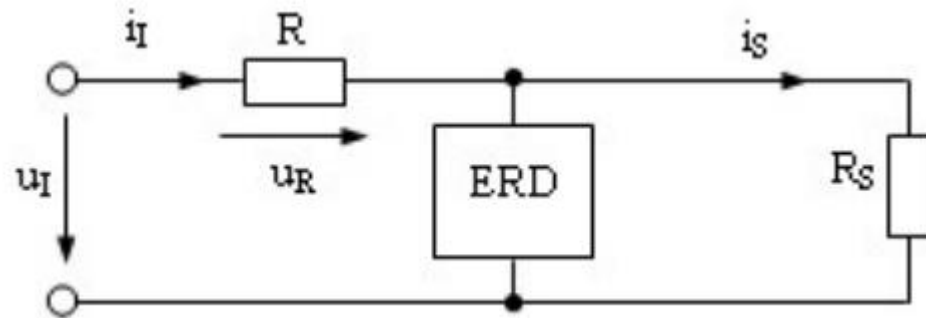
$$F_{R_S} = \frac{1}{\left(\frac{\partial u_S}{\partial R_S} \frac{R_S}{u_S} \right) \Big|_{\substack{u_I=ct \\ \theta=ct}}}$$

- 3) Factorul de stabilizare în raport cu temperatura;

$$F_{\theta} = \frac{1}{\left(\frac{\partial u_S}{\partial \theta} \frac{\theta}{u_S} \right) \Big|_{\substack{u_I=ct \\ R_S=ct}}}$$

STABILIZATOARE CU ELEMENT DE REGLAJ DERIVAȚIE

- Reglarea derivație comportă plasarea elementului de reglaj (ER) în paralel cu sarcina – vezi figura 9.3. Acțiunea de stabilizare se bazează pe faptul că elementul de reglaj prezintă rezistență dinamică foarte mică. Funcționarea este următoarea:
- Datorită rezistenței dinamice mici a elementului de reglaj, variațiile curentului i_l (provocate de variațiile tensiunii u_l) sunt preluate de ERD, variația tensiunii la bornele acestuia, respectiv ale sarcinii, rezultând foarte mică. Rezistența R – rezistența de balast – este cea care preia variațiile tensiunii de intrare. Această rezistență îndeplinește și rolul de a limita curentul maxim prin ERD. Schema stabilizează și la variațiile curentului prin sarcină. În acest caz, la o creștere a curentului prin sarcină are loc o reducere a curentului prin ER și invers.



STABILIZATOARE CU ELEMENT DE REGLAJ DERIVAȚIE

- Cum scopul utilizării stabilizatoarelor este de a elimina dependența tensiunii de pe sarcină de variațiile tensiunii (curentului) de intrare se introduc următoarele notații:

$$u_I = U_I + u_i = U_I + \Delta u_I$$

unde:

- $u_i = \Delta u_I$ - componenta variabilă (ondulatorie) a tensiunii de intrare;
- U_I - componenta continuă a tensiunii de intrare;
- u_I - componenta totală a tensiunii de intrare;

STABILIZATOARE CU ELEMENT DE REGLAJ DERIVAȚIE

Din punctul de vedere al regimurilor limită de funcționare (gol/scurtcircuit) la ieșire, stabilizatoarele derivație se comportă astfel:

- Scurtcircuitul la ieșire este nepericulos pentru ERD, întrucât acesta nu va fi parcurs de curent ($u_S = 0 \Rightarrow i_R = 0$). În schimb, apare o creștere a curentului i_I , care astfel poate deveni periculos pentru rezistența R, putând duce la deteriorarea acesteia.

Protecția este posibilă:

- prin creșterea puterii nominale a rezistenței;
- prin montarea în serie cu rezistența a unei siguranțe fuzibile.
- În schimb, regimul de funcționare în gol poate fi periculos pentru ERD, întrucât curentul i_R crește datorită scăderii la zero a curentului prin sarcină ($i_R = i_I - i_S$; $i_S = 0 \Rightarrow i_R = i_I$).

Stabilizatoare parametrice cu diode Zener

- Stabilizatoarele parametrice funcționează după tehnica de reglare derivație. În figura 9.4 sunt prezentate schemele unui stabilizator parametric (de principiu, pentru regimul static de c.c., respectiv pentru regimul dinamic). Caracteristica liniarizată a diodei Zener corespunzătoare zonelor de polarizare și străpungere inversă, liniarizată și rotită din cadranul III în I, este prezentată în figura 9.5.

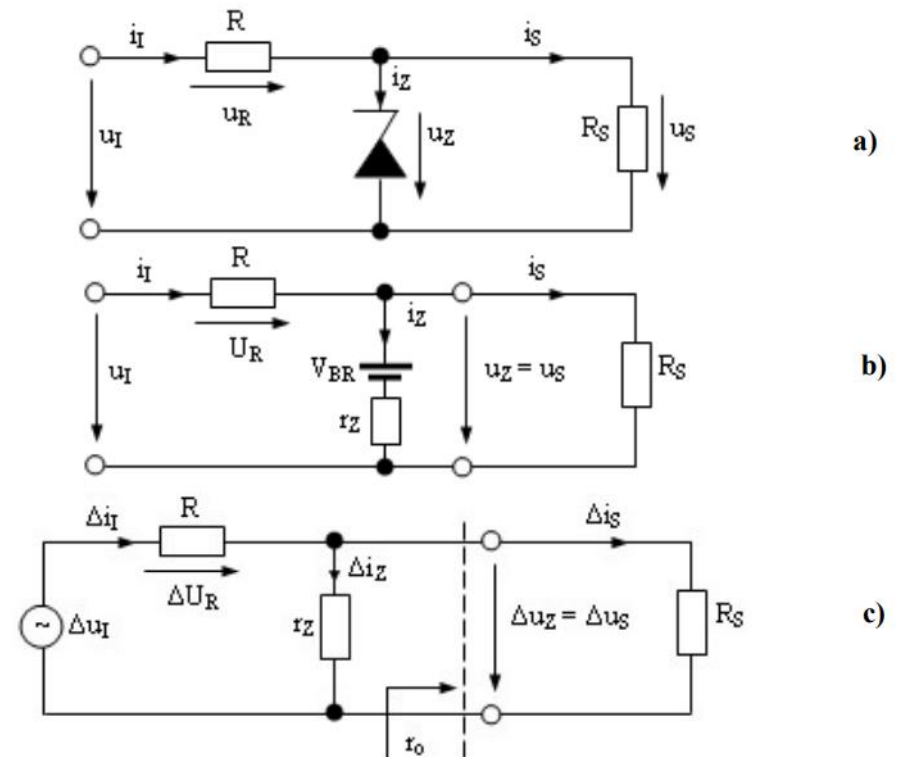


Fig. 9.4 Schema unui stabilizator parametric cu diodă Zener;
a) schema de principiu;
b) schema echivalentă pentru regimul static;
c) schema echivalentă pentru regimul dinamic.

Stabilizatoare parametrice cu diode Zener

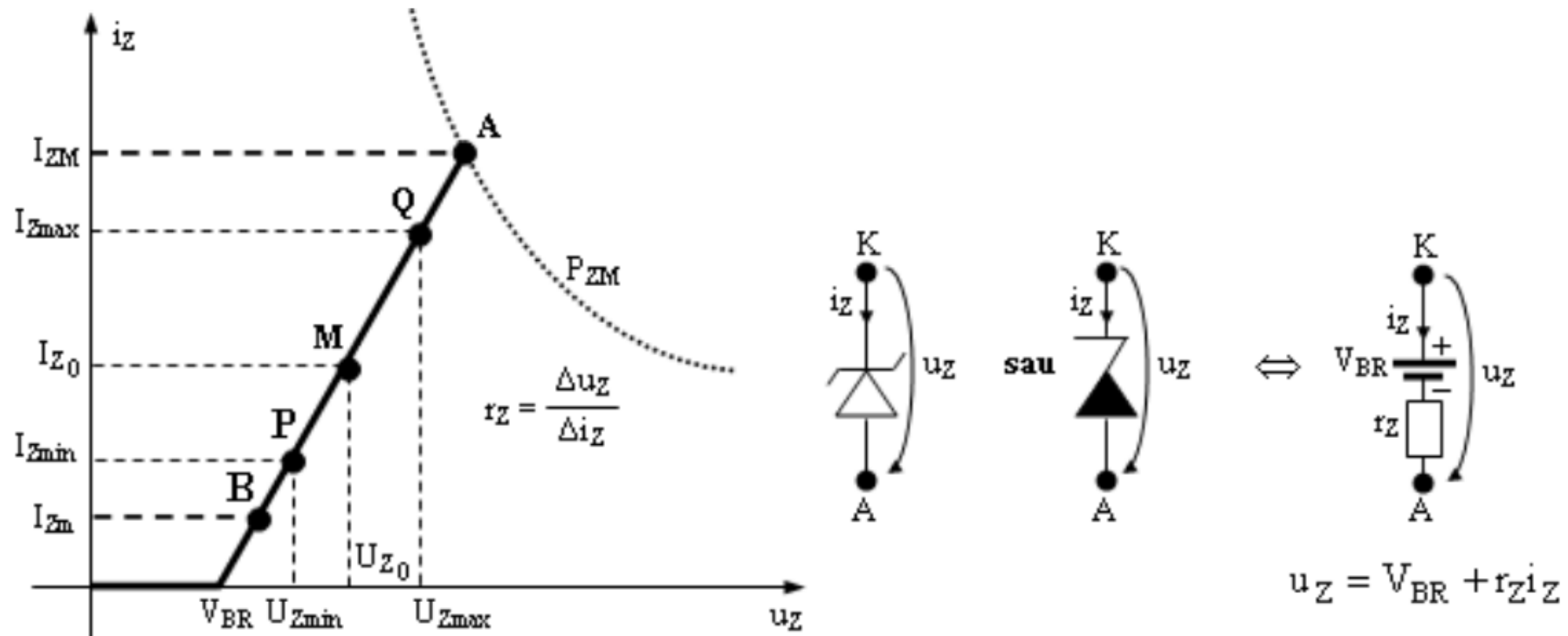


Fig. 9.5 Caracteristica diodei Zener (regiunea de stabilizare), liniarizată și rotită în cadranul I și schema echivalentă corespunzătoare a diodei Zener

1) În cazul în care stabilizatorul lucrează în gol, $R_S \rightarrow \infty$, curentul prin sarcină devine nul, $i_S \rightarrow 0$, curentul prin dioda Zener devine maxim, $i_Z = I_{Z_{\max}}$, punctul de funcționare al diodei se stabilește în Q, iar tensiunea de la ieșire devine maximă $u_Z = U_{Z_{\max}} = U_{S_{\max}}$:

$$R_S \rightarrow \infty \Rightarrow i_S \rightarrow 0 \Rightarrow \text{PSF}_{\text{Zener}} = Q \Rightarrow i_Z = I_{Z_{\max}} \Rightarrow u_Z = u_S = U_{Z_{\max}}$$

2) În cazul în care stabilizatorul lucrează în sarcină, R_S absoarbe (de la sursă) un curent în dauna curentului prin diodă, care se micșorează. Punctul de funcționare al diodei se deplasează în jos, stabilindu-se în M:

$$\text{PSF}_{\text{Zener}} = M \Rightarrow i_Z = I_{Z_0} \Rightarrow u_Z = u_S = U_{Z_0}$$

3) Mărind consumul prin sarcină (R_S scade), punctul de funcționare al diodei se deplasează în jos. La un anumit curent prin sarcină, $i_S = I_{S_{\max}}$, punctul de funcționare tinde spre (sau ajunge la) limita inferioară, în punctul P. Astfel, curentul prin diodă devine minim, $i_Z = I_{Z_{\min}}$, ca și tensiunea de la ieșire:

$$u_S = u_Z = U_{Z_{\min}} = U_{S_{\min}}:$$

$$R_S \rightarrow R_{S_{\min}} \Rightarrow i_S \rightarrow I_{S_{\max}} \Rightarrow \text{PSF}_{\text{Zener}} = P \Rightarrow i_Z = I_{Z_{\min}} \Rightarrow u_Z = u_S = U_{Z_{\min}}$$

Parametrii stabilizatorului

În plaja de stabilizare a diodei ($u_I > V_{BR}$), ținând cont de (9.23) și folosind notațiile din figura 9.5, circuitul din figura 9.4b este caracterizat de ecuațiile:

$$\begin{cases} i_I = i_Z + i_S = I_{Z_0} + i_S \\ u_I = i_I R + u_S = i_I R + U_{Z_0} \\ u_S = U_{Z_0} = V_{BR} + r_Z i_Z = V_{BR} + r_Z I_{Z_0} \end{cases} \quad (9.24)$$

Din (9.24) eliminând pe i_I și i_Z , rezultă expresia tensiunii de ieșire:

$$u_S = \frac{R}{r_Z + R} V_{BR} - \frac{r_Z R}{r_Z + R} i_S + \frac{r_Z}{r_Z + R} u_I = U_{Z_0} \quad (9.25)$$

Ținând cont și de relația $u_S = R_S i_S$, expresia tensiunii pe sarcină devine:

$$u_S = \frac{V_{BR} R_S R + u_I r_Z R_S}{r_Z R + r_Z R_S + R_S R} = (R_S \parallel r_Z \parallel R) \left(\frac{V_{BR}}{r_Z} + \frac{u_I}{R} \right) \quad (9.26)$$

Deoarece $r_Z \ll R$ și $r_Z \ll R_S$, rezultă că $R_S \parallel r_Z \parallel R \cong r_Z$, astfel că $u_S \cong V_{BR} = \text{ct.}$

Parametrii stabilizatorului

Ținând cont că $\Delta V_{BR} = 0$, expresia (9.25) pentru schema de regim dinamic devine:

$$\Delta u_S = -\frac{r_Z R}{r_Z + R} \Delta i_S + \frac{r_Z}{r_Z + R} \Delta u_I \quad (9.27)$$

Aceeași expresie se poate obține direct și pe circuitul din figura 9.4c.

Trecând de la variațiile infinitezimale la variațiile finite expresiile (9.13) și (9.14) devin

$$\frac{1}{S_0} = \left. \frac{\Delta u_S}{\Delta u_I} \right|_{i_S=ct} ; r_o = - \left. \frac{\Delta u_S}{\Delta i_S} \right|_{u_I=ct} \quad (9.28)$$

iar din expresia (9.27) aplicând (9.28) rezultă că:

- 1) Coeficientul de stabilizare S_0 ;

$$S_0 = \frac{R + r_Z}{r_Z} = 1 + \frac{R}{r_Z} \cong \frac{R}{r_Z} \quad (9.29)$$

- 2) Rezistența de ieșire (internă) a stabilizatorului r_o ;

$$r_o = \frac{r_Z R}{r_Z + R} \cong r_Z \quad (9.30)$$

Stabilizatoare electronice de tip derivație cu reacție

➤ Principiul de funcționare:

Schema bloc a stabilizatorului electronic de tip derivație cu reacție este prezentată în figura 9.5. Tensiunea de ieșire este eșantionată cu circuitul de eșantionare E și comparată în circuitul de comparare C cu tensiunea obținută de la sursa de referință Ref.

Semnalul de eroare produs de comparator este amplificat cu ajutorul amplificatorului de eroare AE, fiind aplicat în final elementului de reglaj derivație ERD.

Fenomenul de stabilizare se desfășoară conform schemei următoare:

$$\begin{aligned} \text{Dacă } u_S \text{ crește: } & \left. \begin{array}{l} k \cdot u_S \uparrow \\ V_{\text{ref}} = \text{ct} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \Rightarrow \varepsilon \uparrow \Rightarrow \varepsilon \cdot A \uparrow \Rightarrow i_{\text{ERD}} \uparrow \\ \varepsilon = k \cdot u_S - V_{\text{ref}} \end{array} \Rightarrow i_I = i_{\text{ERD}} + i_S \Rightarrow i_S \downarrow \Rightarrow u_S \downarrow \\ \text{Dacă } u_S \text{ scade: } & \left. \begin{array}{l} k \cdot u_S \downarrow \\ V_{\text{ref}} = \text{ct} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \Rightarrow \varepsilon \downarrow \Rightarrow \varepsilon \cdot A \downarrow \Rightarrow i_{\text{ERD}} \downarrow \\ \varepsilon = k \cdot u_S - V_{\text{ref}} \end{array} \Rightarrow i_I = i_{\text{ERD}} + i_S \Rightarrow i_S \downarrow \Rightarrow u_S \uparrow \end{aligned}$$

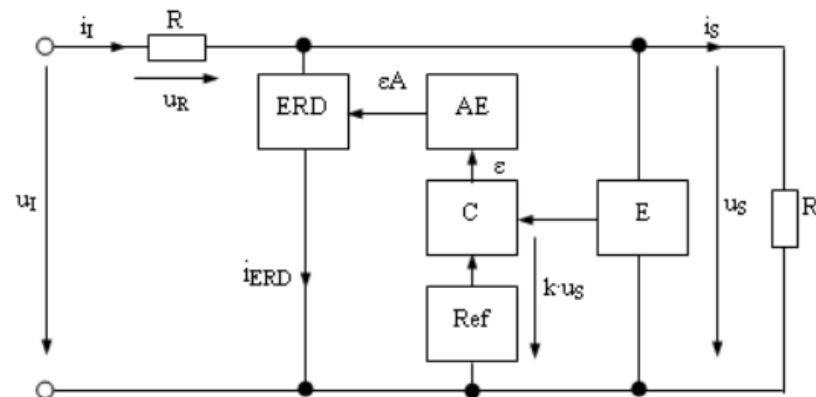


Fig. 9.6 Schema bloc a unui stabilizator de tip derivație cu reacție

În figura 9.7 se prezintă schema unui stabilizator derivație cu reacție, fără amplificator de eroare.

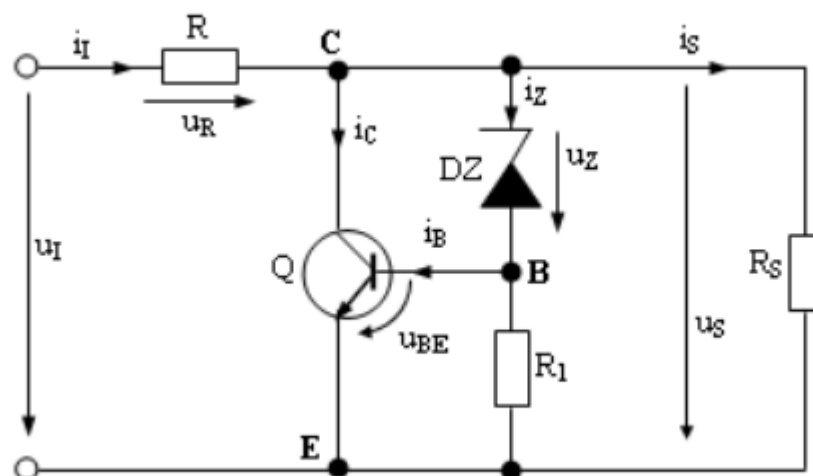


Fig. 9.7 Schema stabilizatorului derivație cu reacție, fără amplificator de eroare

1) Conform figurii 9.7 se scrie că:

$$u_S = u_Z + u_{BE} \quad (9.35)$$

Indiferent de variația tensiunii de intrare (redresate) u_I , atât timp cât tranzistorul Q și dioda Zener sunt în conducție, este valabilă relația (9.35).

Pentru că:

$$\begin{cases} u_{BE} \approx \text{ct.} \\ u_Z \approx V_{BR} = \text{ct.} \end{cases} \quad (9.36)$$

rezultă, conform (9.35) că tensiunea de ieșire u_S nu poate varia mai mult decât suma variațiilor celor două tensiuni din (9.36):

$$\Delta u_S = \Delta u_Z + \Delta u_{BE} \approx 0 \quad (9.37)$$

În consecință, tensiunea de sarcină variază în limite foarte mici, funcția de stabilizare fiind astfel îndeplinită.

2) Întreaga tensiune de ieșire u_S se compară cu tensiunea de referință u_Z în baza tranzistorului Q (ce are rol de comparator în acest context). Tensiunea de intrare în tranzistor, conform (9.35) este $u_{BE} = u_S - u_Z$, care este tocmai semnalul de eroare din figura 9.6. Tensiunea u_{BE} este în fază cu tensiunea de ieșire, deci în cazul în mărirea u_S , crește curentul i_C prin tranzistor (care astfel se comportă ca un amplificator de eroare) și, în consecință, se mărește și tensiunea pe rezistorul R care preia astfel variația tensiunii de ieșire. Se vede astfel că tranzistorul Q îndeplinește toate funcțiile menționate anterior: comparator, amplificator de eroare și ERD. Dioda Zener are rolul de a furniza tensiunea de referință.

Merită subliniat faptul că în această configurație se micșorează substanțial curentul i_Z comparativ cu stabilizatorul parametric, deci și variațiile Δu_Z . Cauza este faptul că valoarea rezistenței R_1 din figura 9.7 este mult superioară valorii rezistenței R din figura 9.3. Se poate interpreta circuitul R_1 -DZ ca un stabilizator parametric cu o sarcină (i_B) foarte mică.

Modul de reglare (stabilizare) a tensiunii în care se pune în evidență reacția negativă poate fi prezentat schematic astfel:

$$u_S \uparrow \begin{matrix} \xrightarrow{u_S = u_Z + u_{BE}} \\ \xrightarrow{u_Z = \text{ct}} \end{matrix} u_{BE} \uparrow \Rightarrow i_B \uparrow \Rightarrow i_C \uparrow \Rightarrow i_I \uparrow \Rightarrow u_R \uparrow \Rightarrow u_S \downarrow \quad (9.38)$$

➤ Parametrii stabilizatorului:

Pentru determinarea expresiilor parametrilor stabilizatorului se utilizează (9.28).

Metoda utilizată este de a trata liniar schema stabilizatorului în c.a. la semnal mic. Pentru aceasta se va lucra pe o schemă echivalentă – vezi figura 9.7 – în care tranzistorul este echivalat prin modelul său cu parametrii hibridi.

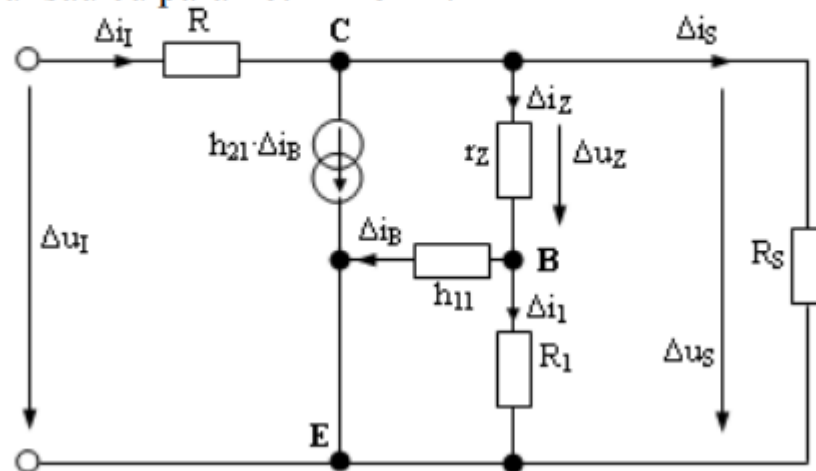


Fig. 9.7 Schema echivalentă a stabilizatorului în c.a. la semnal mic

1) Determinarea coeficientului de stabilizare:

În conformitate cu $\frac{1}{S_0} = \frac{\Delta u_S}{\Delta u_I} \Big|_{i_S=ct}$, cum $i_S = ct$, rezultă că $\Delta i_S = 0$, astfel că

schema din figura 9.7. se poate considera că funcționează în gol.
Considerând nodul E ca referință, se scriu succesiv relațiile:

$$\left. \begin{aligned} \Delta i_Z &= \frac{V_C}{r_Z + R_1 \parallel h_{11}} = \frac{R_1 + h_{11}}{r_Z R_1 + r_Z h_{11} + R_1 h_{11}} \Delta u_S \\ V_B &= (R_1 \parallel h_{11}) \Delta i_Z = \frac{R_1 h_{11}}{r_Z R_1 + r_Z h_{11} + R_1 h_{11}} \Delta u_S \\ \Delta i_B &= \frac{V_B}{h_{11}} = \frac{R_1}{r_Z R_1 + r_Z h_{11} + R_1 h_{11}} \Delta u_S \\ \Delta i_I &= h_{21} \Delta i_B + \Delta i_Z = \frac{\Delta u_I - \Delta u_S}{R} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{R_1}{r_Z R_1 + r_Z h_{11} + R_1 h_{11}} \Delta u_S + \frac{R_1 + h_{11}}{r_Z R_1 + r_Z h_{11} + R_1 h_{11}} \Delta u_S = \frac{\Delta u_I - \Delta u_S}{R} \quad (9.39)$$

Din (9.39) se obține imediat:

$$\Delta u_I = \Delta u_S \left(1 + R \frac{R_1(1 + h_{21}) + h_{11}}{r_Z R_1 + r_Z h_{11} + R_1 h_{11}} \right) \quad (9.40)$$

Din (9.28) și (9.40) rezultă:

$$S_0 = 1 + R \frac{R_1(1 + h_{21}) + h_{11}}{r_Z R_1 + r_Z h_{11} + R_1 h_{11}} \quad (9.41)$$

2) Determinarea rezistenței de ieșire:

În conformitate cu definiția $r_o = -\frac{\Delta u_S}{\Delta i_S} \Big|_{u_1=ct}$, schema din figura 9.7 se poate

considera că funcționează cu intrarea în scurtcircuit, deoarece $u_1 = ct \Rightarrow \Delta u_1 = 0$.

Expresia stabilită în (9.39) pentru Δi_B și Δi_Z rămân valabile și în noile condiții, deci curentul generatorului devine:

$$h_{21}\Delta i_B = \frac{h_{21}R_1}{r_Z R_1 + r_Z h_{11} + R_1 h_{11}} \Delta u_S \quad (9.43)$$

Ținând cont de (9.43), (9.39) și de sensurile curenților din figura 9.8, rezultă că:

$$\Delta i_1 = -\frac{\Delta u_S}{R}$$

și, în conformitate cu teorema I a lui Kirchoff:

$$\begin{aligned} \Delta i_S &= \Delta i_1 - h_{21}\Delta i_B - \Delta i_Z = \\ &= -\frac{\Delta u_S}{R} - \frac{h_{21}R_1}{r_Z R_1 + r_Z h_{11} + R_1 h_{11}} \Delta u_S - \frac{R_1 + h_{11}}{r_Z R_1 + r_Z h_{11} + R_1 h_{11}} \Delta u_S = \\ &= -\Delta u_S \left(\frac{1}{R} + \frac{(1 + h_{21})R_1 + h_{11}}{r_Z R_1 + r_Z h_{11} + R_1 h_{11}} \right) \end{aligned}$$

Rezultă că:

$$r_o = -\frac{\Delta u_S}{\Delta i_S} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{(1 + h_{21})R_1 + h_{11}}{r_Z R_1 + r_Z h_{11} + R_1 h_{11}}} \quad (9.44)$$

Ținând cont de expresia (9.41) a factorului de stabilizare, se obține:

$$r_o = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{S_0 - 1}{R}} = \frac{R}{S_0} \quad (9.45)$$

STABILIZATOARE CU ELEMENT DE REGLAJ SERIE

Reglarea serie comportă plasarea elementului de reglaj (ERS) în serie cu sarcina – vezi figura 9.10.

➤ Funcționare:

Elementul de reglaj serie ERS are trei borne. Între bornele 1-2 comportarea elementului de reglaj poate fi echivalată cu cea a unei rezistențe variabile ce este comandată, direct proporțional, de tensiunea dintre bornele 2-3, unde $u_{23} = u_S$ (sau tensiunea de ieșire).

Această dependență poate fi prezentată schematic astfel:

$$u_S = u_{23} \uparrow \Rightarrow r_{12} \uparrow \Rightarrow u_{12} \uparrow \quad (9.51)$$

Creșterea (descreșterea) tensiunii de intrare u_I duce (într-o primă instanță) la creșterea (descreșterea) tensiunii de ieșire $u_{23} = u_S$. Conform (9.51) această variație a tensiunii de ieșire are același efect asupra valorii tensiunii u_{12} . Cum $u_{23} = u_I - u_{12}$ și u_I , u_{12} au aceeași tendință, rezultă că în final tensiunea de ieșire nu mai este afectată într-o mare măsură de variațiile tensiunii de intrare. Schematic această stabilizare (prin efectul unei reacții negative) se poate reprezenta astfel:

$$u_I \uparrow \Rightarrow u_S = u_{23} \uparrow \Rightarrow r_{12} \uparrow \Rightarrow u_{12} \uparrow \stackrel{u_S = u_I - u_{12}}{\Rightarrow} u_S = u_{23} \downarrow \quad (9.52)$$

Din punct de vedere al regimurilor limită de funcționare (gol/scurtcircuit) la ieșire, se poate afirma că situația se inversează față de stabilizatoarele derivație.

- Funcționarea în gol este nepericuloasă, deoarece ERS este parcurs de curentul de sarcină, care în acest caz este nul.
- Regimul de funcționare în scurtcircuit poate fi periculos pentru E.R.S, întrucât curentul i_S suferă o creștere pronunțată.

Din acest motiv, prezența circuitelor de protecție la suprasarcină și/sau scurtcircuit este obligatorie.

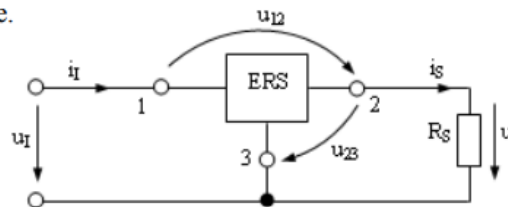


Fig. 9.10 Schema bloc corespunzătoare tehnicii de reglaj serie

Stabilizatoare electronice de tip serie cu reacție

Schema bloc a stabilizatorului electronic de tip serie cu reacție este prezentat în figura 9.11. Tensiunea de ieșire este eșantionată cu circuitul de eșantionare E și comparată în circuitul de comparare C cu tensiunea obținută de la sursa de referință Ref.

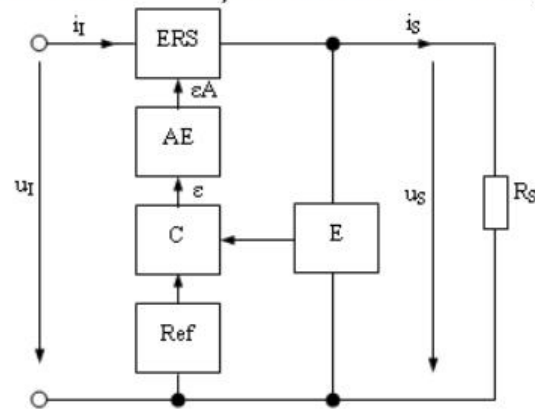


Fig. 9.11. Schema bloc a stabilizatorului de tip serie cu amplificator de eroare. Semnalul de eroare produs de comparator este amplificat cu ajutorul amplificatorului de eroare AE, fiind aplicat în final elementului de reglaj serie ERS.

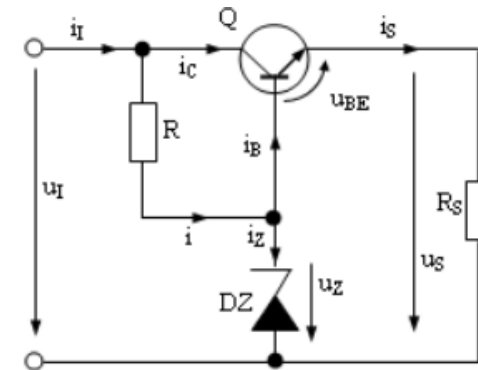


Fig. 9.12 Schema stabilizatorului serie cu reacție, fără amplificator de eroare

Creșterea tensiunii de ieșire (datorită creșterii tensiunii de intrare sau a scăderii curentului de sarcină) produce o scădere a curentului în ERS, (de obicei un tranzistor) și deci o creștere a tensiunii pe acesta, care reduce din creșterea inițială a tensiunii de ieșire. ERS suportă întreg curentul de sarcină

În figura 9.12 se prezintă schema unui stabilizator serie cu reacție fără amplificator de eroare.

➤ Parametrii stabilizatorului

Pentru a determina expresiile parametrilor stabilizatorului se utilizează expresiile (9.28). Metoda utilizată este aceeași ca în cazul stabilizatorului derivație. Pentru aceasta este necesar lucrul pe o schemă echivalentă – vezi figura 9.13 - în care tranzistorul este echivalat prin modelul cu parametrii hibridi.

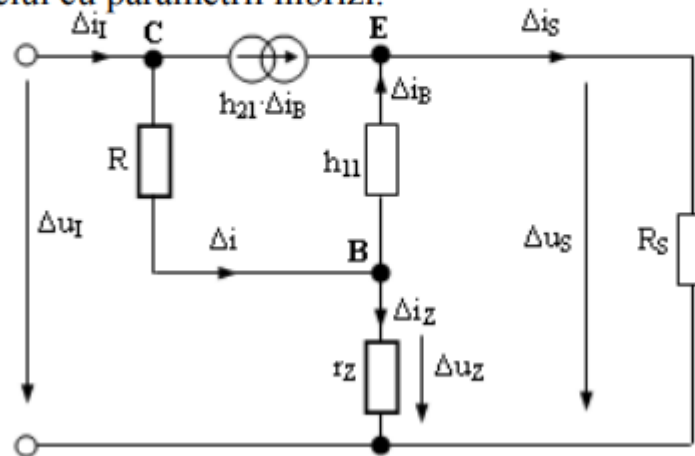


Fig. 9.13. Schema echivalentă a stabilizatorului serie în c.a. la semnal mic

1) Determinarea coeficientului de stabilizare:

În conformitate cu $\frac{1}{S_0} = \left. \frac{\Delta u_S}{\Delta u_1} \right|_{i_S = ct}$, cum $i_S = ct$, rezultă că $\Delta i_S = 0$, astfel că schema din

figura 9.13 se poate considera că funcționează în gol.

În aceste condiții se scrie că:

$$\Delta i_S = h_{21} \Delta i_B + \Delta i_B = 0 \Rightarrow \Delta i_B = 0,$$

adică variația curentului din baza tranzistorului este nulă (în realitate foarte mică). În aceste condiții schema echivalentă dinamică de semnal mic a stabilizatorului serie devine cea prezentată în figura 9.14a.

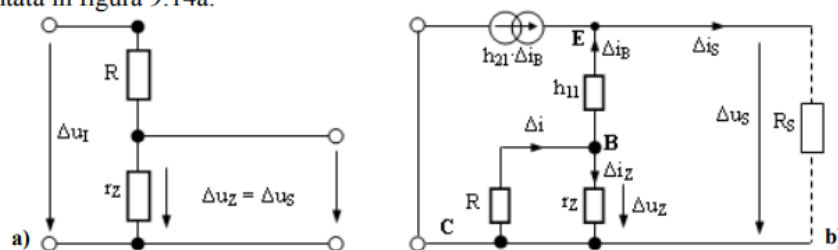


Fig. 9.14 Scheme echivalente simplificate ale stabilizatorului serie în c.a. la semnal mic

a) Schema pentru determinarea factorului de stabilizare S_0 ($i_S = ct.$)

b) Schema pentru determinarea rezistenței interne r_o ($u_1 = ct.$)

Conform schemei din figura 9.14 rezultă că:

$$\Delta u_S = \frac{r_Z}{r_Z + R} \Delta u_1$$

și, ținând cont de definiția (9.13) a coeficientului de stabilizare, se obține:

$$S_0 = \frac{r_Z + R}{r_Z} = 1 + \frac{R}{r_Z} \approx \frac{R}{r_Z} \quad (9.55)$$

Stabilizatoare electronice serie cu reacție cu amplificator de eroare

➤ Principiul de funcționare:

Schema bloc a stabilizatorului serie cu amplificator de eroare este prezentată în figura 9.16.

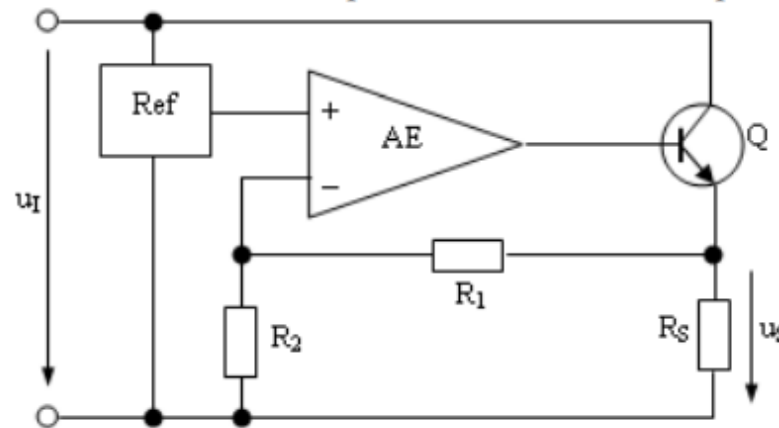


Fig. 9.16 Schema bloc a unui stabilizator de tip serie cu amplificator de eroare

La intrarea neinversoare a amplificatorului de eroare se aplică tensiunea de referință, oferită de blocul Ref;

La intrarea inversoare a amplificatorului de eroare se aplică, prin intermediul reacției negative (formată de divizorul rezistiv R_1 , R_2), o fracțiune din tensiunea de ieșire.

Tranzistorul Q lucrează ca repetor pe emitor (montaj cu tranzistorul în conexiunea CC – colector comun) și poate fi considerat etaj final al amplificatorului AE.

Circuite de protecție a stabilizatoarelor serie

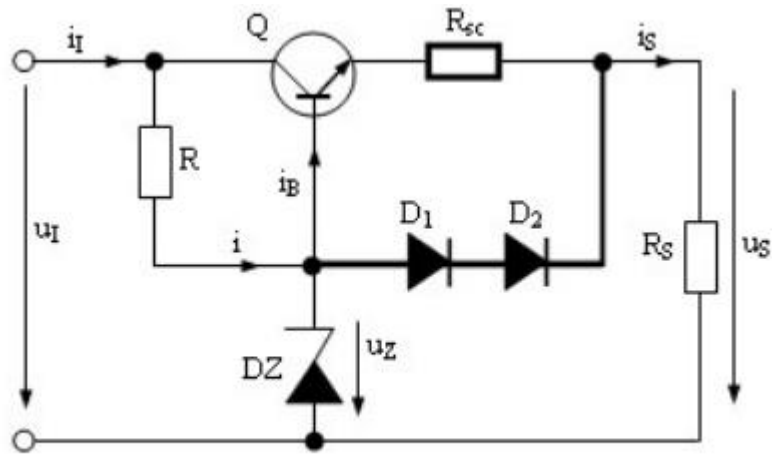


Fig. 9.18 Schema de protecție cu diode a stabilizatorului serie

În caz de suprasarcină sau scurtcircuit accidental, curentul prin tranzistorul serie poate crește foarte mult, depășindu-se astfel puterea maxim admisibilă, ceea ce poate duce la străpungerea acestuia prin ambalare termică. Pentru a preveni distrugerea tranzistorului se prezintă în continuare câteva circuite ce limitează valoarea maximă a curentului prin sarcină.

Schema de protecție este prezentată în figura 9.19.

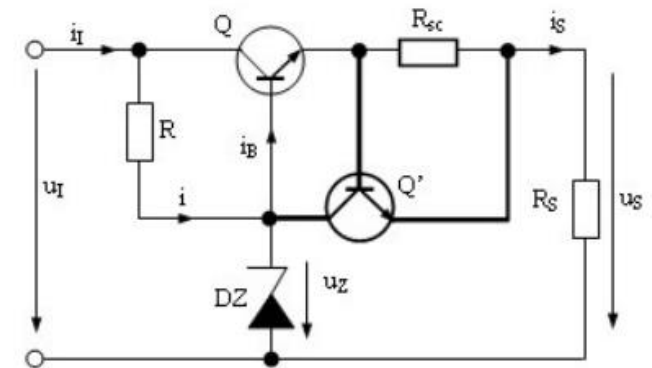


Fig. 9.19 Schema de protecție cu tranzistor a stabilizatorului serie

Când curentul de sarcină atinge valoarea

$$I_{SM} = \frac{u_{BE}}{R_{sc}}$$

tranzistorul Q' se deschide, reducând curentul din baza tranzistorului Q .

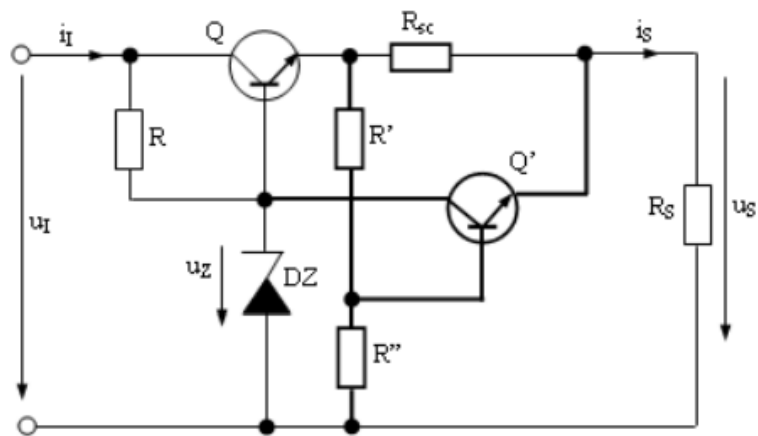


Fig. 9.21 Schema de protecție “cu întoarcere” a stabilizatorului serie

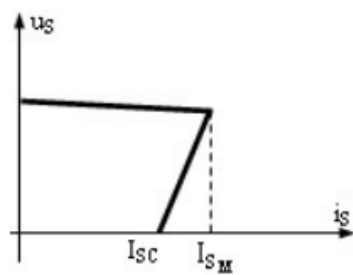


Fig. 9.22 Caracteristica externă proprie stabilizatorului serie “cu întoarcere”

9.5. APLICAȚII

9.5.1. În circuitul din figura 9.23a, dioda Zener are $V_{Z0} = 12V$ la $I_{Z0} = 20mA$ (fig. 9.23b), iar rezistența dinamică este $r_z = 10\Omega$ și se aproximează că este constantă.

Plaja curenților de lucru ai diodei este $5 \dots 50mA$; $u_I = 40 \pm 2V$; $R = 500\Omega$; $R_S = 300\Omega$.

Să se calculeze:

- tensiunea nominală la ieșire și variațiile acesteia;
- limitele între care poate varia curentul furnizat de stabilizator;
- în ce condiții puterea disipată pe diodă este maximă și care este valoarea acesteia?

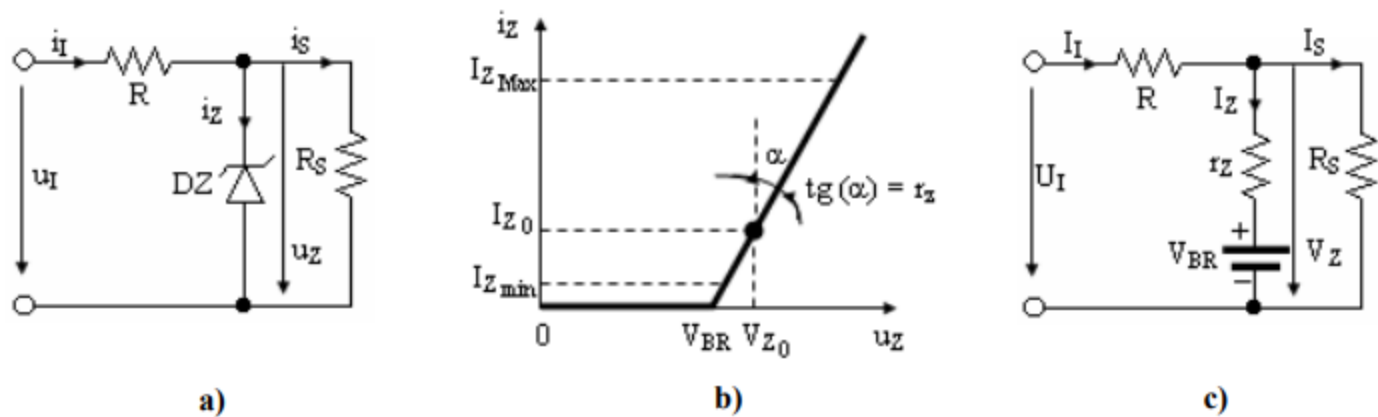


Fig. 9.23

a) Caracteristica statică a diodei poate fi dedusă din datele prezentate în enunț:

$$\left. \begin{array}{l} u_Z = V_{BR} + r_Z i_Z \\ V_{Z_0} = 12V \\ I_{Z_0} = 20mA \end{array} \right\} \Rightarrow V_{BR} = V_{Z_0} - r_Z \cdot I_{Z_0} = 1,2 - 0,01 \cdot 20 = 11,8V$$

Cu ajutorul caracteristicii statice, dioda Zener se înlocuiește cu circuitul ei echivalent, obținându-se astfel schema din figura 9.23c.

Circuitul din figura 9.23c este descris de următorul sistem de ecuații:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_I = RI + V_Z \\ V_Z = V_{BR} + r_Z I_Z \\ V_Z = U_S = R_S I_S \\ I_I = I_S + I_Z \end{array} \right.$$

Rezolvând sistemul se obține: $I_Z = 16,2mA$; $V_Z = 11,96V \cong 12V$.

Calculul variațiilor tensiunii de ieșire se (poate) face pe circuitul echivalent în regim dinamic (figura 9.24):

$$\Delta v_Z = \frac{r_Z}{R + r_Z} \cdot \Delta u_I = 0,062V$$

b) Conform schemei din figura 9.23c rezultă că:

$$I_I = \frac{U_I - V_Z}{R} \text{ și}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{I_{max}} = \frac{U_{I_{max}} - V_Z}{R} = \frac{42V - 12V}{500\Omega} = 60mA \\ I_{I_{min}} = \frac{U_{I_{min}} - V_Z}{R} = \frac{38V - 12V}{500\Omega} = 52mA \end{array} \right.$$

Pentru o funcționare corectă, trebuie ca $I_{Z_{min}} \leq I_Z \leq I_{Z_{max}}$.

În acest caz:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{Z_{min}} = I_{I_{min}} - I_{S_{max}} \Rightarrow I_{S_{max}} = I_{I_{min}} - I_{Z_{min}} = 47mA \\ I_{Z_{max}} = I_{I_{max}} - I_{S_{min}} \Rightarrow I_{S_{min}} = I_{I_{max}} - I_{Z_{max}} = 10mA \end{array} \right.$$

c) Conform definiției puterii disipate rezultă că:

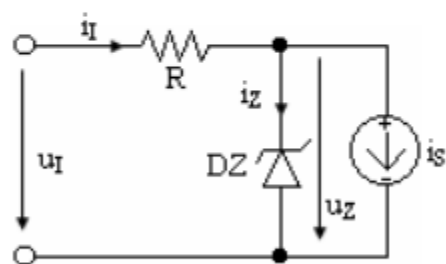
$$P_d = V_Z \cdot I_Z \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} P_{d_{max}} = V_Z \cdot I_{Z_{max}} = 12 \cdot 50 = 600mW \\ P_{d_{min}} = V_Z \cdot I_{Z_{min}} = 12 \cdot 5 = 60mW \end{array} \right.$$

9.5.2. În schema din figura 9.25, unde $u_I = 11 \pm 1V$ și $u_S = 8V$, să se calculeze valoarea rezistenței R în următoarele situații:

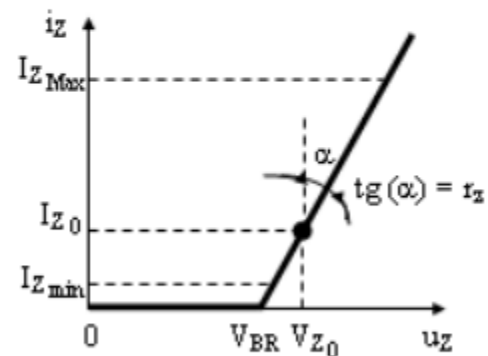
a) $10mA \leq i_S \leq 20mA$

b) $I_S = 15mA$

Se dau: $I_{Z_{min}} = 5mA$; $I_{Z_{max}} = 50mA$; $r_Z = 10\Omega$; $V_{Z_0} = 8V$ la $I_{Z_0} = 20mA$



a)



b)

Fig. 9.25

Rezolvare:

Conform problemei anterioare se poate neglija variația tensiunii de ieșire și în consecință se va considera: $u_S = U_S = U_Z = u_Z = 8V = ct.$

$$R = \frac{u_I - U_Z}{i_Z + i_S}$$

$$\begin{cases} i_Z = I_{Z_{\min}} \Rightarrow R = R_{\max} \\ i_Z = I_{Z_{\max}} \Rightarrow R = R_{\min} \end{cases}$$

$I_{Z_{\min}}$ se obține atunci când $u_I = U_{I_{\min}}$; $i_S = I_{S_{\max}}$

$$\begin{cases} R_{\max} = \frac{U_{I_{\min}} - U_Z}{I_{Z_{\min}} + I_{S_{\max}}} = \frac{10 - 8}{5 + 20} = 0.08k\Omega \\ R_{\min} = \frac{U_{I_{\max}} - U_Z}{I_{Z_{\max}} + I_{S_{\min}}} = \frac{12 - 8}{50 + 10} = 0.06k\Omega \end{cases}$$

Dacă $I_S = 15mA$ atunci:

$$\begin{cases} R_{\max} = \frac{U_{I_{\min}} - U_Z}{I_{Z_{\min}} + I_S} = \frac{10 - 8}{5 + 15} = 0.1k\Omega \\ R_{\min} = \frac{U_{I_{\max}} - U_Z}{I_{Z_{\max}} + I_S} = \frac{12 - 8}{50 + 15} \cong 0.07k\Omega \end{cases}$$