

## 6. STABILIZATOARE DE TENSIUNE LINIARE

### 6.1. Probleme generale

#### 6.1.1. Definiere si clasificare

Un stabilizator de tensiune continuă este un circuit care, alimentat de la o sursă de tensiune continuă ce prezintă variații ale tensiunii din cauze diverse, furnizează la ieșire o tensiune a cărei variație sa fie mult mai mică. El se mai numeste în limbajul curent și sursă stabilizată.

Ele sunt foarte răspândite pentru că sursele obișnuite, redresoarele, au variații mari, în primul rând pentru ca rețeaua are variații, în al doilea rând fiindcă un redresor

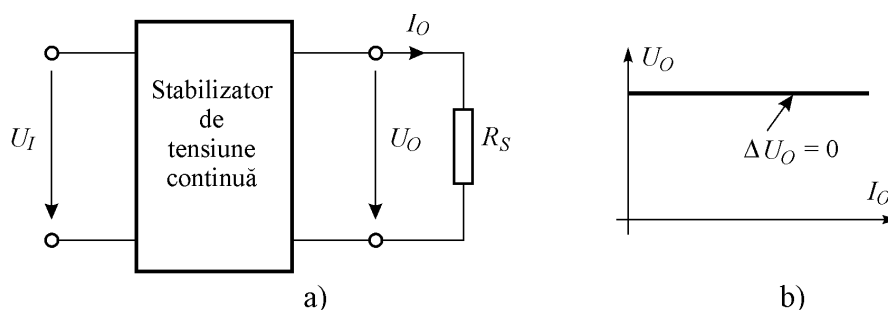


Fig. 6.1. Stabilizatorul de tensiune continuă privit ca un cuadripol, a), și caracteristica de ieșire ideală, b).

are tensiunea de ieșire dependentă de curentul de ieșire și scade o data cu creșterea curentului.

Un stabilizator are schema bloc prezentată în figura 6.1a. El menține constantă tensiunea între două puncte conectate la o sarcină. Ideal variația este zero (figura 6.1b). În cazul real nu, iar variația depinde mai ales de tensiunea de intrare, curentul de ieșire, temperatura

Există două clase mari de stabilizatoare:

1. stabilizatoare liniare;
2. stabilizatoare în comutație.

O comparație între cele două clase poate fi urmărită în tabelul 6.1.

Tabelul 6.1: Caracteristici comparative ale stabilizatoarelor de tensiune continua

Stabilizatoare liniare	Stabilizatoare în comutație
Nu provoacă fenomene de interferență electromagnetică	Sursă de zgomot electromagnetic
Mai puține componente	Volum mic, radiatoare mici
Calitate mai bună a tensiunii de ieșire	Randament ridicat
Parametrii superiori	Răspuns mai lent la variații rapide

Capitolul de față se ocupă doar de stabilizatoarele liniare. Acestea se clasifică după câteva criterii:

- după metoda de stabilizare:
  - cu elemente neliniare (numite și stabilizatoare parametrice) utilizează proprietățile și comportamentul unor dispozitive electronice neliniare
  - cu reacție, care sunt sisteme cu reacție care utilizează o referință de tensiune
- după tipul elementelor utilizate: - cu elemente discrete  
- cu circuite integrate
- după poziția elementului de reglaj: - cu element de reglaj serie  
- cu element de reglaj paralel

Mai exista stabilizatoare fixe sau reglabile, cu limitarea sau intreruperea curentului in cazul suprasarcinii dar și cu cu alte protecții complexe, mai sunt surse simple, duble sau multiple, care pot fi independente sau nu.

### 6.1.2. Parametrii principali

O sursă are două marimi principale:

1. Tensiunea de ieșire  $U_O$ ;
2. Curentul maxim de ieșire  $I_{OM}$ .

Calitatea STL se definește prin câțiva parametri, trei fiind mai importanți. Se pornește de la dependența tensiunii de ieșire funcție de cele mai influente trei mărimi, care sunt : tensiunea de intrare,  $U_I$ , curentul de ieșire  $I_O$ , și temperatura mediului ambiant  $T$ .  $U_O$  se consideră a fi o funcție de mărimile amintite:

$$U_O = f(U_I, I_O, T). \quad (6.1)$$

Variația tensiunii de ieșire,  $dU_O$  este:

$$dU = \frac{\partial U_O}{\partial U_I} dU_I + \frac{\partial U_O}{\partial I_O} dI_O + \frac{\partial U_O}{\partial T} dT ;$$

Iar trecand la diferențe finite si introducand principalii parametri ai unui stabilizator se obtine:

$$\Delta U_O = \frac{1}{S_O} \Delta U_I + R_O \Delta I_O + K_\theta \Delta T.$$

Se consideră pe rând doar una dintre mărimi ca fiind variabilă, celelalte două constante și se definesc principalii parametri ai unui stabilizator:

**Coefficientul de stabilizare**,  $S_O$  (care dă variația tensiunii de ieșire funcție de variația tensiunii de intrare pentru  $I_O$  și  $T$  constante):

$$S_O = \frac{\partial U_I}{\partial U_O} \cong \frac{\Delta U_I}{\Delta U_O} \quad (6.2)$$

**Rezistența de ieșire**,  $R_O$  (care dă variația tensiunii de ieșire funcție de variația curentului de ieșire pentru  $U_I$  și  $T$  constante):

$$R_O = \frac{\partial U_O}{\partial I_O} \cong \frac{\Delta U_O}{\Delta I_O} \quad (6.3)$$

și care este rezistența internă a schemei echivalente Thevenin a stabilizatorului, formată dintr-o sursă ideală de valoare  $U_O$  în serie cu rezistența  $R_O$ .

**Coeficientul de temperatură**,  $K_\theta$  (care dă variația tensiunii de ieșire funcție de variația temperaturii mediului pentru  $U_I$  și  $I_O$  constante) :

$$K_\theta = \frac{\partial U_O}{\partial T} \cong \frac{\Delta U_O}{\Delta T} \quad (6.4)$$

Adeseori, în locul coeficientului de stabilizare, pentru a aprecia raportul relativ al variațiilor intrare-ieșire se utilizează un parametru derivat, al variațiilor raportate, numit factorul de stabilizare:

$$F = \frac{\Delta U_I / U_I}{\Delta U_O / U_O} \quad (6.5)$$

În sfârșit calitatea unui stabilizator mai este definită și prin factorul de rejecție a variației la intrare, prin care se stabilește atenuarea, în decibeli, dintre variația periodică la intrare și ieșire:

$$k = 20 \log \frac{\Delta U_I}{\Delta U_O}$$

Un stabilizator ideal are infinite  $S_O$ ,  $k$  sau  $F$  iar  $R_O$  și  $K_\theta$  au valoarea zero.

O altă mărime utilizată pentru a evalua calitatea unui stabilizator este componenta alternativă suprapusă pe tensiunea de ieșire, cu o componentă periodică (provenită din rețea) și alta aleatoare (zgomot), în literatura engleză PARD (Periodic And Random Deviation). Aceasta se măsoară în valoare efectivă sau vârf la vârf, pe o bandă de frecvență între 20 Hz – 20 MHz, cu un instrument cu lărgimea de bandă amintită. Fluctuațiile mai lente sunt considerate derivă.

### 6.1.3. Poziționarea în sisteme

Într-un sistem electronic locul stabilizatorului de tensiune continuă (S-figura 2) este obișnuit după un redresor (R) conectat la rețea printr-un transformator. Tensiunea de intrare a stabilizatorului este tensiunea pe condensatorul de filtrare a redresorului și are o variație specifică ( $U_I$ ). Variația este preluată de stabilizator astfel că tensiunea dintre intrare și ieșire,  $U_{st}$ , prezentată hașurat, are o variație similară în timp ce tensiunea de ieșire,  $U_O$ , este continuă.

O altă mărime evidențiată în figură este și curentul absorbit de stabilizator,  $I_{st}$ , diferența dintre curentul furnizat de redresor și cel de ieșire al stabilizatorului sau, altfel definit, curentul de mers în gol. Într-adevăr, dacă  $I_O$  este zero (stabilizatorul nu furnizează curent, adică rezistența de sarcină este infinită, este un gol) de la redresor este absorbit doar acest curent.

Portiunea dintre rețea și stabilizator este prezentată simplificat în figura 2. În realitate un circuit complet are mult mai multe elemente, cele mai multe fiind de protecție (figura 6.2)

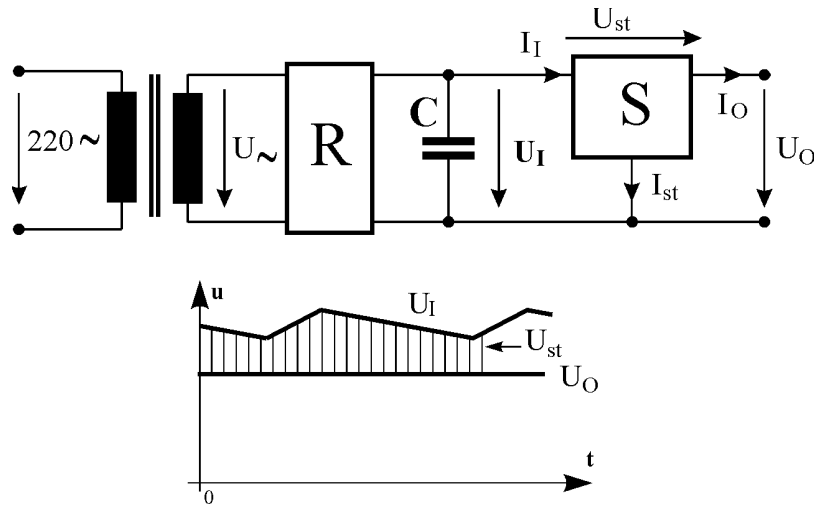


Fig. 6.2. Poziția stabilizatorului și formele tensiunilor principale

## 6.2. Stabilizatoare parametrice

Schema cea mai simplă dar și cea mai des utilizată este prezentată în figura 6.3.

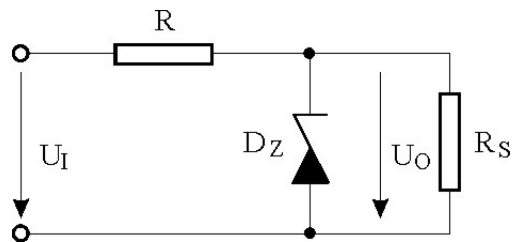


Fig. 6.3. Stabilizator parametric cu diodă Zener.

Dioda Zener trebuie polarizată în regiunea inversă, peste punctul de străpungere, astfel că  $U_I$  trebuie să fie mai mare decât tensiunea de străpungere a diodei,  $U_Z$ . Rezistența  $R$  se mai numește rezistență de balast și ea limitează curentul prin diodă la valori nepericuloase.

Performanțele acestui stabilizator sunt modeste și sunt date de următoarele relații:

$$S_O \cong \frac{R}{r_Z} \quad (6.6)$$

$$R_O \cong r_Z \quad (6.7)$$

Coeficientul de stabilizare  $S_O$  poate fi îmbunătățit prin conectarea în cascadă a două celule după cum se poate vedea în figura 6.4. În acest caz coeficientul de stabilizare devine produsul coeficienților de stabilizare ai fiecăruia dintre cele două stabilizatoare. Dar se micșorează curentul maxim posibil.

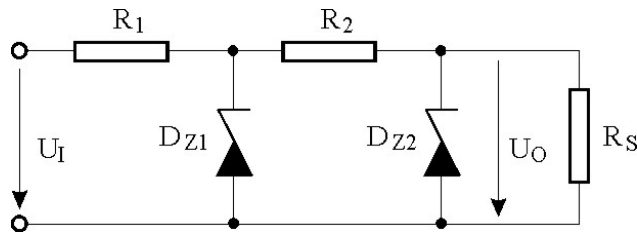


Fig. 6.4. Îmbunătățirea coeficientului de stabilizare prin conectarea în cascadă a două celule.

Pentru a micșora însă rezistența internă singura soluție este utilizarea reacției.

### 6.3. Stabilizatoare cu reacție

La stabilizatoarele cu reacție tensiunea de ieșire  $U_O$ , preluată printr-un traductor de reacție la ieșirea căruia apare o tensiune proporțională cu tensiunea de ieșire,  $KU_O$  care este comparată cu o tensiune fixă, numită tensiune de referință furnizată de un element referință de tensiune. În cazul obișnuit referința este un stabilizator parametric cum sunt cele din paragraful anterior. Unde este nevoie de precizie ridicată calitatea referinței decide calitatea stabilizatorului.

Comparație este făcută de un amplificator de eroare, numit așa pentru că amplifică diferența celor două tensiuni și comanda un element de control care acționează în sensul micșorării acesteia.

După poziția elementului de control față de sarcină se disting:

- Stabilizatoare serie, la care elementul de control este în serie cu sarcina;
- Stabilizatoare paralel, mai puțin utilizate, la care elementul de control este în paralel cu sarcina;

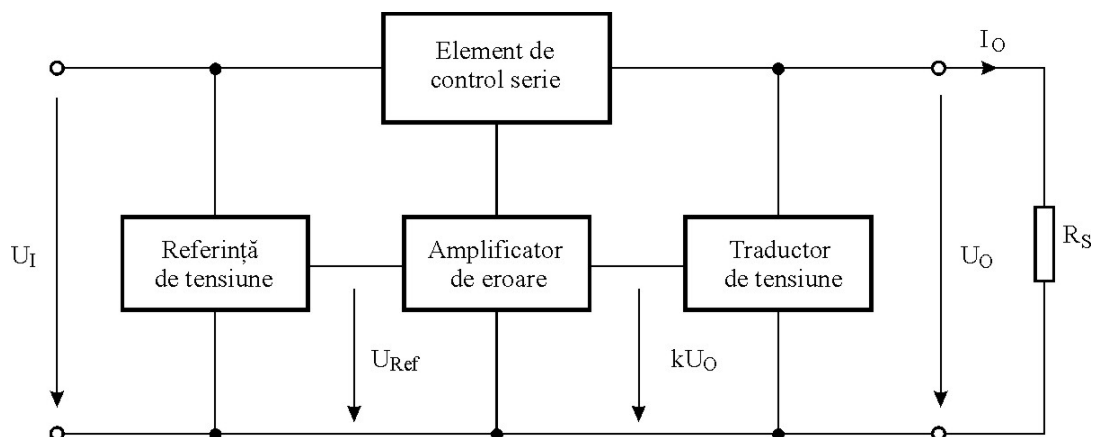


Fig. 6.5. Schema bloc a unui stabilizator serie cu reacție.

### 6.3.1. Stabilizatoare serie

Schema bloc a unui stabilizator de tip serie este prezentată în figura 6.5. Se pot observa componentele amintite.

Cel mai simplu stabilizator cu reacție serie utilizează un stabilizator parametric cu diodă Zener ca referință de tensiune și un tranzistor care are simultan rol de comparator și element de control serie a cărui schemă este prezentată în figura 6.6.

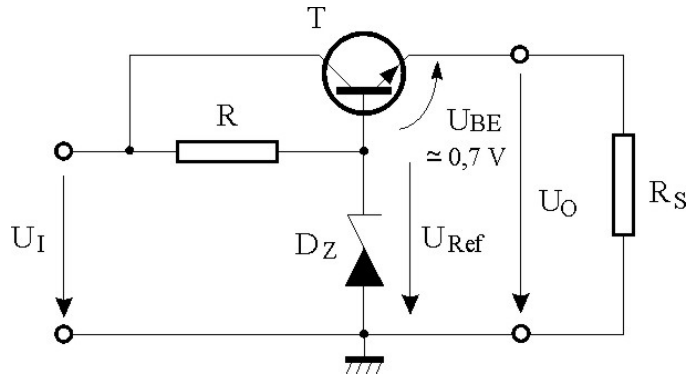


Fig. 6.6. Stabilizator serie cu diodă Zener și tranzistor

Funcționarea schemei poate fi apreciată printr-o analiză directă. Se vede că:

$$U_O = U_{Ref} - U_{BE}$$

Unde  $U_{Ref}$  se presupune constantă. Deoarece tensiunea  $U_{BE}$  a unui tranzistor are variații mici pentru un domeniu întins de curenți se poate aprecia că:

$$U_O \approx \text{constantă}$$

Schema are avantajul față de stabilizatorul parametric că rezistența internă este mult mai mică și anume:

$$R_O \cong \frac{r_Z}{\beta} \quad (6.8)$$

unde  $\beta$  este factorul de amplificare în curent al tranzistorului.

Schemele de stabilizatoare serie cu reacție și amplificator cu reacție sunt dintre cele mai diverse. Una dintre cele mai utilizate este schema din figura 6.7.

Ca amplificator de eroare este utilizat un amplificator diferențial format din tranzistoarele  $T_1$  și  $T_2$ , care are avantajul unei sensibilități mici la variații ale tensiunii de intrare și a ale temperaturii. Traductorul de reacție este un divizor rezistiv format din rezistențele  $R_4$  și  $R_5$ . adeseori între acestea este pus un potențiomtru cu care se poate regla tensiunea de ieșire a stabilizatorului prin modificarea constantei de divizare.

Referința de tensiune este un stabilizator parametric,  $R$ ,  $D_Z$ .

Performanțele acestei scheme sunt mult mai bune decât ale celor fără amplificator. Dar acestea pot fi îmbunătățite și mai mult. De exemplu mărirea

suplimentară a coeficientului de stabilizare se poate face prin alimentarea separată, de la un stabilizator auxiliar, a amplificatorului diferențial.

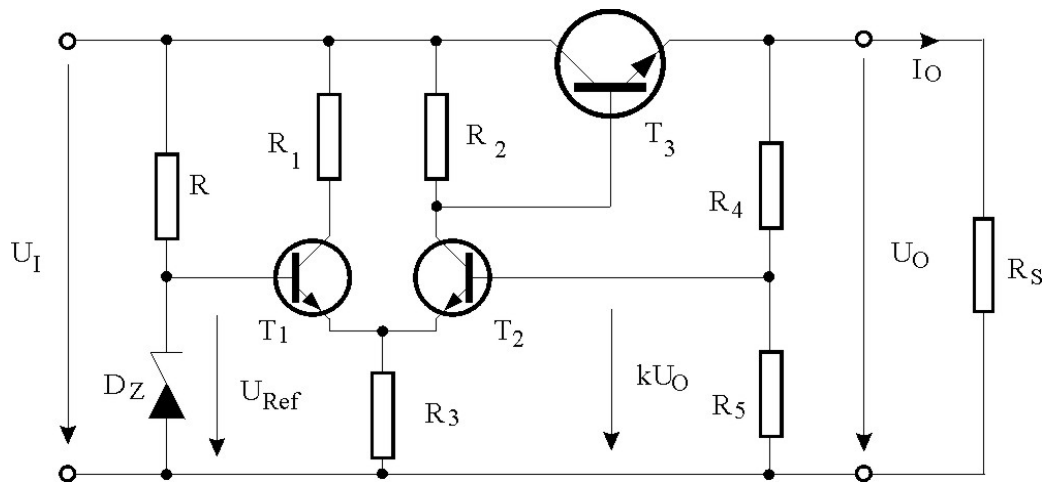


Fig. 6.7. Stabilizator serie cu reacție și amplificator diferențial

### 6.3.2. Stabilizatoare paralel

Schema bloc a unui stabilizator de tip paralel este prezentată în figura 6.8. Se pot observa și aici componentele amintite la începutul paragrafului.

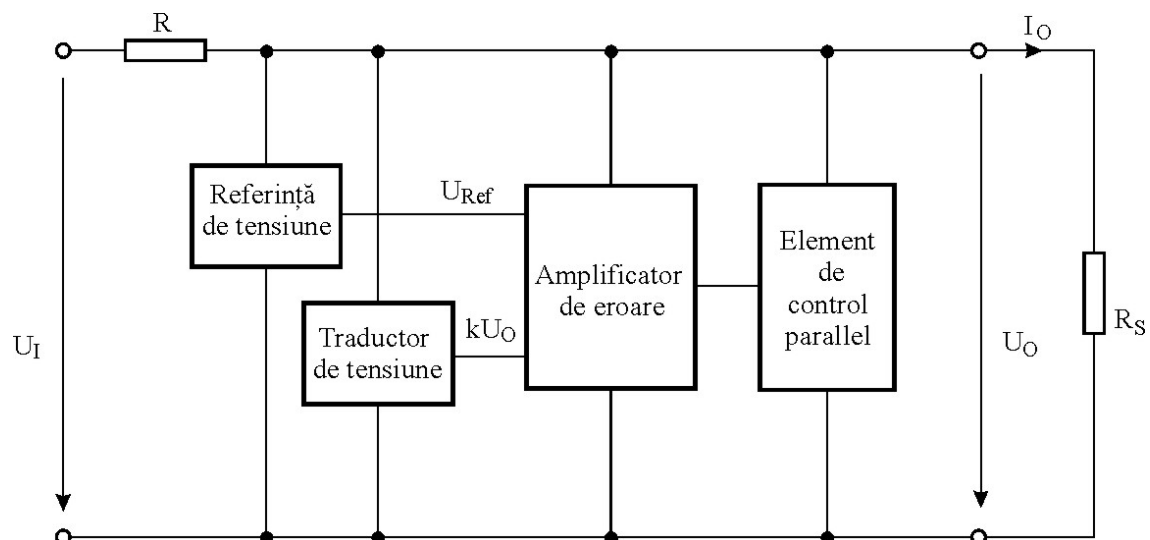


Fig. 6.8. Schema bloc a unui stabilizator paralel cu reacție.

Cel mai simplu stabilizator cu reacție paralel utilizează un stabilizator parametric cu diodă Zener ca referință de tensiune și un tranzistor care are simultan rol de comparator și element de control serie a cărei schemă este prezentată în figura 6.9.

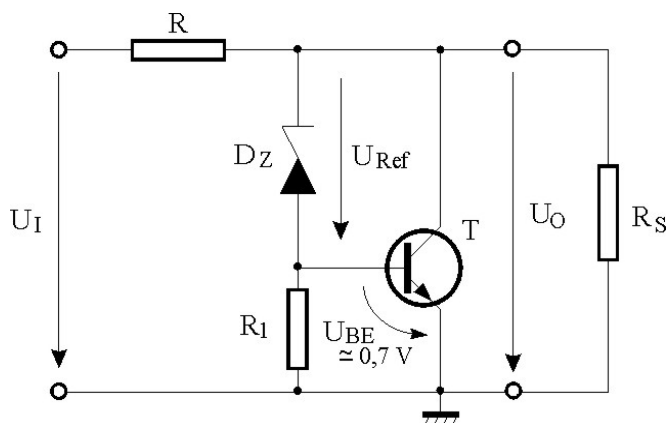


Fig. 6.9. Stabilizator serie cu diodă Zener și tranzistor

Funcționarea schemei poate fi apreciată printr-o analiză directă. Se vede că:

$$U_O = U_{Ref} + U_{BE}$$

Unde  $U_{Ref}$  se presupune constantă. Deoarece tensiunea  $U_{BE}$  a unui tranzistor are variații mici pentru un domeniu întins de curenți se poate aprecia că:

$$U_O \approx \text{constantă}$$

Schema are avantajul față de stabilizatorul parametric că rezistența internă este mult mai mică, similar cu cazul serie (relația 6.8).

Un exemplu de stabilizator cu reacție, paralel este prezentat în figura 6.10

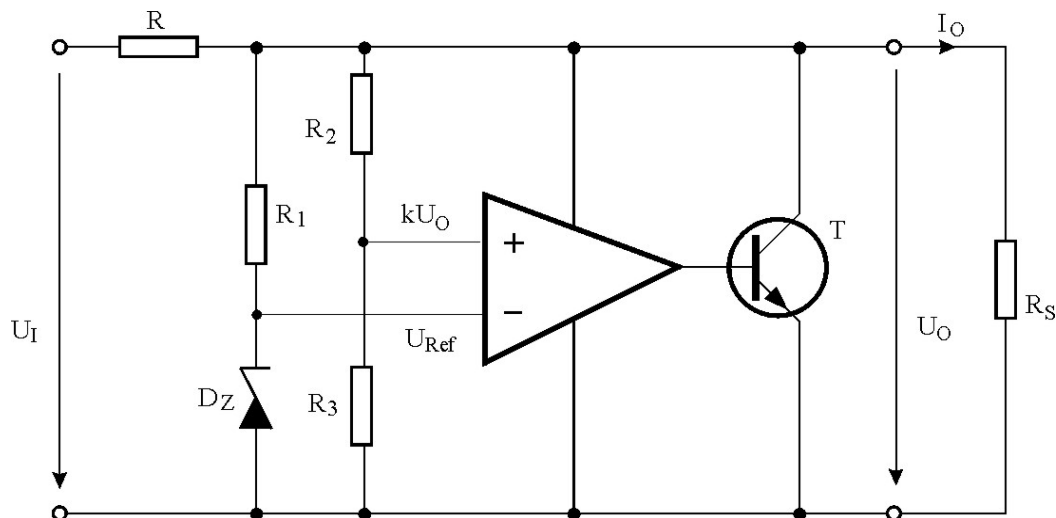


Fig. 6.10. Stabilizator paralel cu reacție și amplificator operational



### 6.3.3. Elementul de control

Elementul de control este, la schemele cu reacție prezentate, un tranzistor. Obișnuit schemele utilizează combinații de tranzistoare ca elemente de reglaj serie sau paralel.

Atunci când curenții de ieșire sunt mari se alege ca tranzistorul să fie format din două tranzistoare identice, puse în paralel ca în figura 6.11:

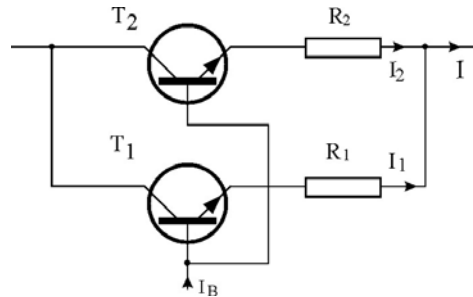


Fig. 6.11. Conectarea în paralel a două tranzistoare de putere

Deoarece tranzistoarele pot avea diferențe notabile între curenții principali funcție de tensiunea bază-emitor, fapt ce ar avea ca urmare o diferență similară de încărcare (putere disipată) și în consecință posibilitatea ambalării termice a celui mai solicitat, se utilizează rezistente de egalizare, de valoare mică, conectate în serie cu emitoarele.

O a doua combinație este conexiunea Darlington (figura 6.12) care conduce la micșorarea rezistenței interne. Aceasta depinde, la amplificatoarele cu reacție, atât de amplificarea amplificatorului cât și de factorul de amplificare al tranzistorului regulator.

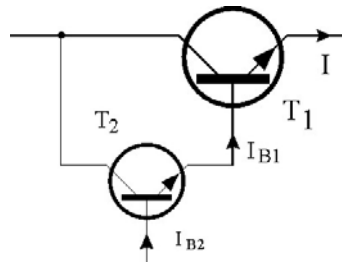


Fig. 6.12. Conexiunea Darlington două tranzistoare.

### 6.3.4. Protecția stabilizatoarelor

O problema principală a stabilizatoarelor de tensiune cu element de reglaj serie este protecția la suprasarcină sau la scurtcircuit.

Protecțiile asigură obișnuit două tipuri de caracteristici curent tensiune pentru stabilizatoarele serie, prezentate în figura 6.13.

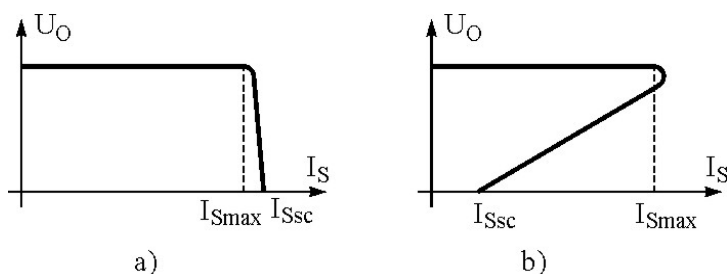


Fig. 6.13. Tipuri de caracteristici curent tensiune.

Prima limitează curentul după trecerea de punctul de curent maxim și conduce la un curent de scurtcircuit puțin mai mare decât curentul maxim (6.13a). În acest fel însă puterea disipată pe tranzistor este mult mai mare decât puterea rezultată din funcționarea în domeniul normal. Stabilizatorul nu poate rămâne în regim de scurtcircuit decât un timp limitat.

A doua produce o întoarcere a caracteristicii și un curent de scurtcircuit mult mai mic decât (6.13b). În acest fel puterea disipată pe tranzistor este comparabilă cu puterea rezultată din funcționarea în domeniul normal. Stabilizatorul poate rămâne în regim de scurtcircuit fără riscuri.

În figura 6.14 este prezentată varianta de schema ce produce doar limitarea curentului.

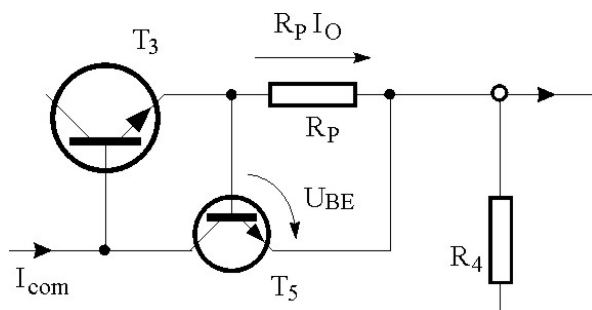


Fig. 6.14. Schemă de protecție cu limitarea curentului.

$T_3$  este elementul de reglaj serie iar  $R_P$  este o rezistență mică prin care trece curentul de sarcină  $I_O$  care produce o tensiune pe aceasta egală cu  $R_P I_O$ .  $T_5$  este tranzistorul de protecție.

Pentru  $I_O < I_{max}$  tensiunea  $R_P I_O < U_{BE}$  de deschidere a tranzistorului de protecție. Si acesta este blocat. La valori  $I_O > I_{max}$   $T_5$  se deschide și preia din curentul de comandă furnizat de amplificatorul de eroare. Se realizează o limitare a curentului de sarcină.

În figura 6.15 este prezentată varianta de schema ce produce micșorarea curentului de scurtcircuit.

Se observa că, pentru tranzistorul de protecție,  $T_5$ :

$$U_{BE} = R_P I_O - k U_O$$

După deschiderea  $T_5$ , prin acțiunea de deviere a curentului, tensiunea de ieșire  $U_O$  scade, scade  $kU_O$  și deci  $U_{BE}$  crește și deci și curentul preluat de la amplificatorul de eroare. Se micșorează, nu doar se limitează curentul de comandă al tranzistorului principal și deci și curentul principal.

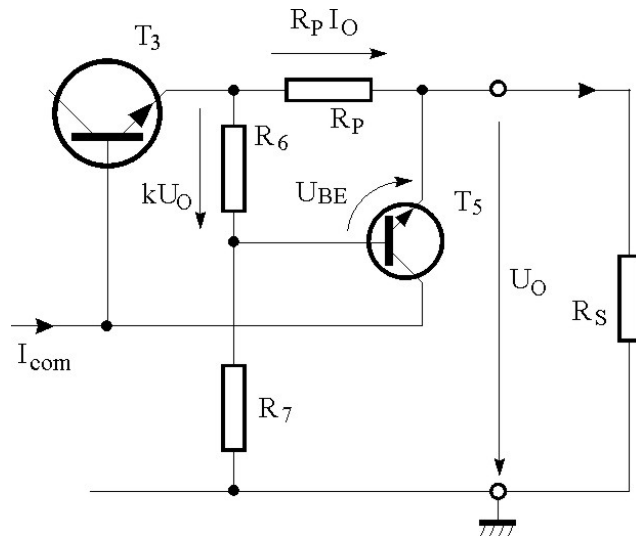


Fig. 6.15. Schemă de protecție cu micșorarea curentului de scurtcircuit.