Proiect Dispozitive și Circuite Electronice

Olteanu Rareș Cristian

Grupa: 434D

Stabilizator de tensiune cu element regulator serie

*Universitatea Politehnica din Bucureşti - Facultatea de Electronică şi Telecomunicaţii*

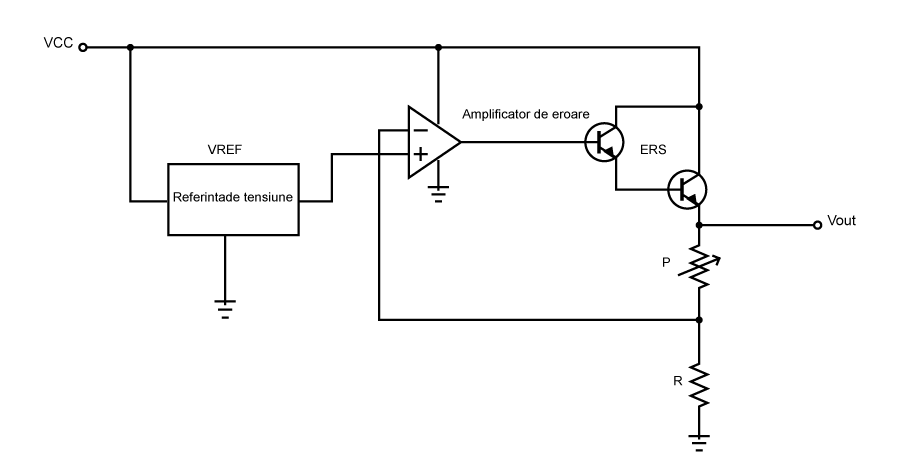
Prof. Coordonator: Drăghici Florin

# 1. Stabilizatoarele de tensiune cu element de reglaj serie (ERS)

Stabilizatoarele de tensiune cu element de reglaj serie, care utilizează amplificatoare de eroare, sunt sisteme complexe, proiectate pentru a menține o tensiune constantă la ieșire în ciuda variațiilor de sarcină sau tensiune de intrare. Aceste stabilizatoare funcționează conform principiului reacției negative și sunt frecvent utilizate datorită preciziei și fiabilității lor.

## 1.1. Configurația generală a stabilizatoarelor cu amplificator operațional

Aceste stabilizatoare folosesc amplificatoare operaționale (AO) ca amplificatoare de eroare în configurație neinversoare. În această configurație avem:

1. **Intrarea neinversoare** primește o tensiune de referință (denumită *Vref*​), generată de obicei de un stabilizator parametric, cum ar fi unul cu diodă Zener.
2. **Intrarea inversoare** primește o fracțiune din tensiunea de ieșire, preluată printr-un divizor de tensiune. Divizorul este format din rezistențe care ajustează nivelul semnalului proporțional cu tensiunea de ieșire.

(Fig. 1) Schema bloc a stabilizatorului de tensiune cu ERS

## 1.2. Funcționarea amplificatorului operațional

Amplificatorul operațional are un **factor de amplificare foarte mare** în buclă deschisă. Acest lucru determină ca diferența de potențial între intrările inversoare și neinversoare să fie extrem de mică în timpul funcționării normale. Prin urmare, orice modificare a tensiunii de ieșire care creează o diferență între aceste două intrări va genera o **tensiune diferențială** la ieșirea AO. Această tensiune va fi folosită pentru a corecta variația prin comanda elementului de reglaj serie, restabilind echilibrul.

## 1.3. Principiul funcționării

Stabilizatoarele liniare de tensiune continuă (SLTC) se bazează pe:

* **Conexiunea cu reacție negativă**, care monitorizează și ajustează continuu tensiunea de ieșire (P – potențiometrul si R – rezistenta, Fig. 1)
* **Comparația între tensiunea de ieșire și tensiunea de referință**, realizată de amplificatorul de eroare.

## 1.4. Indicatori de performanță ai stabilizatoarelor liniare

Calitatea unui stabilizator este determinată de mai mulți parametri esențiali:

1. **Coeficientul de stabilizare (*S0*​)** - reprezintă capacitatea stabilizatorului de a menține tensiunea constantă în fața variațiilor de intrare. Valori mai mari indică o performanță superioară.
2. **Rezistența de ieșire (*R0*​)** - influențează cât de mult scade tensiunea la ieșire pe măsură ce crește curentul de sarcină. Rezistența scăzută este dorită pentru o stabilitate mai bună.
3. **Coeficientul de temperatură (*KT*​)** - exprimă sensibilitatea stabilizatorului la variațiile de temperatură. O valoare mică asigură o performanță constantă în condiții de mediu diferite.

## 1.5. Protecții integrate în stabilizatoare

Pentru a preveni deteriorarea circuitului în condiții de suprasarcină sau scurtcircuit, majoritatea stabilizatoarelor liniare moderne includ:

* **Circuite de limitare a curentului de ieșire**, care previn suprasolicitarea regulatorului serie. Această limitare poate fi:

1. **Simplă**, protejând doar împotriva curentului excesiv.
2. **Cu întoarcerea curentului**, unde, în cazul unui scurtcircuit, se reduce și puterea disipată de regulator.

## 1.6. Structura amplificatorului de eroare

S-a utilizat o configurație de **amplificator operațional neinversor**, în care factorul de amplificare în tensiune (Av​) este determinat de relația matematică:

Pentru implementarea amplificatorului de eroare, s-a adoptat o arhitectură clasică de **amplificator operațional în clasa A**, care este structurată în două secțiuni principale:

1. **Secțiunea de intrare și semnal mic**, responsabilă pentru adaptarea impedanțelor și procesarea semnalului de mică amplitudine.
2. **Secțiunea de amplificare în tensiune**, care realizează o amplificare semnificativă a semnalului.

Această divizare permite utilizarea etajelor specializate fie pentru **amplificare în curent**, fie pentru **amplificare în tensiune**, optimizând astfel performanța generală a circuitului.

### 1.6.1. Etajele amplificatorului

#### a) Etajul de intrare

Etajul de intrare este configurat ca **amplificator diferențial**, având rolul principal de a asigura **adaptarea impedanței** între sursa de semnal (impedanță mare) și etajele ulterioare (impedanță mică). Acesta funcționează conform principiului de **transconductanță**, transformând semnalul de intrare de tip tensiune într-un semnal de tip curent.

#### b) Etajul de amplificare în tensiune

Al doilea etaj, dedicat amplificării semnalului, este de tip **trans impedanță** și transformă curentul provenit de la etajul de intrare într-un semnal de tensiune de amplitudine mare. Amplificarea în tensiune a acestui etaj este extrem de mare în **regim de buclă deschisă**. Pentru a asigura o funcționare stabilă și o amplificare utilă, se implementează obligatoriu o **buclă de reacție negativă**, care reduce amplificarea totală la o valoare controlată.

### 1.6.2. Caracteristici funcționale ale etajelor amplificatorului

Etajele amplificatorului sunt conectate în **cascadă**, ceea ce determină înmulțirea factorilor de amplificare individuali. Cu toate acestea, **etajul pilot** contribuie majoritar la amplificarea totală în tensiune a amplificatorului.

## 1.7. Componente adiționale

Pe lângă etajele de amplificare, circuitul este completat de următoarele componente:

* **Circuite de protecție**, care asigură fiabilitatea în condiții de funcționare anormală (suprasarcină, temperatură, etc.).
* **Generator de tensiune de referință**, care furnizează un semnal stabil utilizat ca punct de comparație pentru amplificatorul de eroare.
* **Rețea de reacție**, utilizată pentru controlul precis al tensiunii de ieșire prin ajustarea amplificării și stabilității circuitului.

Această arhitectură permite obținerea unei amplificări eficiente, cu performanțe stabile și adaptabile diverselor aplicații.

# 2. Funcționarea schemei



(Fig. 2) Schema circuit stabilizator de tensiune cu ERS



(Fig. 3) Tensiunea de referința si amplificatorul de eroare diferențial

Proiectul a fost realizat pentru N = 20

## 2.1. Referința de tensiune

Referința de tensiune este generată cu ajutorul unei **diodă Zener** (D2​), alimentată printr-un curent constant asigurat de tranzistorul Q1 și rezistența R2​. Alegerea diodei Zener se face astfel încât tensiunea sa nominală (VZ) să fie mai mică decât tensiunea minimă ce trebuie obținută la ieșire (Vmin). În acest caz, s-a optat pentru o diodă Zener cu VZ ​= 6.2V. (Fig. 3)

Curentul constant prin dioda Zener ​D2 este generat de tranzistorul Q1​, care formează o sursă de curent constant. Aceasta asigură o tensiune de referință stabilă pentru funcționarea optimă a schemei.

## 2.2. Etajul diferențial

Elementul central al schemei este **amplificatorul diferențial**, realizat cu tranzistoarele Q3​ și Q4​. Acesta este alimentat printr-o **sursă de curent constant**, formată din tranzistorul ​Q2 și rezistența R4​. (Fig. 3)

Rolul acestui etaj este de a realiza atât **amplificarea în tensiune**, cât și **amplificarea în curent**. Pentru îndeplinirea acestor sarcini se folosesc etaje specializate:

* **Etajul de intrare** facilitează adaptarea între sursa de semnal și amplificator.
* În plus, contribuie la **eliminarea fluctuațiilor** provenite de la sursa de alimentare, având un impact direct asupra raportului semnal-zgomot.

## 2.3. Stabilizarea tensiunii

Pentru a îmbunătăți stabilitatea circuitului, o diodă D1 este utilizată pentru a menține tensiunea constantă pe sursele de curent constant. Aceasta fixează tensiunea pe rezistențele R2​ și R4​, ceea ce contribuie la stabilizarea generală a circuitului. (Fig. 3)

Astfel, integrarea diodei D1​ reduce variațiile nedorite, îmbunătățind performanțele sursei de alimentare și menținând parametrii tensiunii de ieșire în limite stricte.

La pornire, **joncțiunea bază-emitor (BE)** a tranzistorului Q1​ intră în conducție prin intermediul rezistorului R1​. Curentul furnizat de această sursă poate fi calculat utilizând formula:

Curentul prin etajul diferențial este stabilit de rezistența R4, având la borne o tensiune de aproximativ:

Astfel, curentul IC2​ este calculat ca:

Cum curentul colector al tranzistoarelor Q3​ și Q4​ este împărțit egal:

→

Rezistențele R5​ și R6​ furnizează curentul de polarizare pentru etajul următor. Rezistorul R5​ este dimensionat astfel încât să asigure o cădere de tensiune minimă de 0.6V, necesară pentru a aduce în conducție tranzistorul Q5​.

### ****2.3.1. Componentele utilizate****

* Etajul diferențial este realizat cu tranzistoare bipolare PNP de tipul **BC856**.
* Etajul de emitor comun utilizează un tranzistor NPN de tipul **BC846**.

Aceste tranzistoare sunt adecvate, deoarece:

* Tensiunea de alimentare a circuitului este de 40V.
* Curentul colector pentru fiecare tranzistor diferențial Q3​ și Q4 este limitat la 0.4mA.

### 2.3.2. Etajul amplificator în tensiune

Etajul de amplificare în tensiune este format dintr-un singur tranzistor bipolar Q5​, configurat ca **emitor comun**. Sarcina acestui etaj este rezistorul R7​.

Curentul prin R7​ poate fi determinat cunoscând că tensiunea la bornele acestuia este aproape întotdeauna egală cu:

Această configurație asigură funcționarea stabilă și precisă a circuitului.

Curentul IC5 este egal cu curentul IR7, iar relația acestuia poate fi exprimată astfel:

Amplificarea în tensiune a etajului emitor comun depinde de rezistența internă de emitor și de rezistența văzută în colector (adică a sursei de curent). Aceasta se poate calcula folosind formula:

Unde , rezulta

, rezulta



(Fig. 4) Elementul regulator serie

## 2.4. Elementul regulator serie (ERS)

Elementul regulator serie este realizat pe baza unei conexiuni de **colector comun**. Acest tip de etaj oferă doar amplificare în curent și este numit și **etaj final**, deoarece asigură adaptarea către impedanța sarcinii. Scopul acestui etaj este să amplifice în curent, menținând în același timp o amplificare unitară în tensiune.

Pentru a asigura condiția de amplificare unitară în tensiune, vom utiliza o conexiune de tip **colector comun** realizată cu două tranzistoare bipolare în configurație **Darlington** (Q6 si Q7). Această configurație oferă cea mai mare amplificare în curent posibilă. Factorii de amplificare ai celor două tranzistoare se înmulțesc, rezultând o amplificare în curent de ordinul 104. (Fig. 4)

Tranzistorul final este Q7, care conduce cea mai mare parte a curentului. Din acest motiv, a fost ales modelul **MJD31**, deoarece poate suporta curenți de până la **3A** și poate disipa o putere mai mare decât alte modele de tranzistoare (pana la 25W, comparat cu altele care suporta pana la 250mW).



(Fig. 5) Circuitul de protecție la supracurent

## 2.5. Circuitul de protecție la supracurent

Circuitul de protecție la supracurent Q9 + R10 + R11 + R12 este realizat cu un tranzistor bipolar NPN. Tensiunea VBE a tranzistorului este generată de căderea de tensiune pe aceste rezistoare. Astfel, la curenți mari (>0.5A), tranzistorul Q9 va intra în conducție și va limita curentul de bază al regulatorului serie.

Pentru a obține o valoare precisă de 1.4 Ω, au fost utilizate trei rezistoare în serie.

Dimensionarea rezistorului se face conform relației:

R = R10 + R11 + R12

Astfel, pentru un curent maxim de 0.5 A, rezultă o valoare de aproximativ 1.4 Ω pentru R.



(Fig. 6) Circuitul de protecție la temperatură

## 2.6. Circuitul de protecție la temperatură

Circuitul de protecție la temperatură este realizat cu Q8 și un divizor rezistiv format din P2 și R8.

Tensiunea bază-emitor pentru Q8 este stabilită de divizor la un nivel care împiedică intrarea în conducție a tranzistorului Q8 (aproximativ 400 mV). Totuși, la temperaturi ridicate, datorită coeficientului termic negativ al joncțiunilor din siliciu (−2 mV/°C), potențialul stabilit de divizor devine suficient de mare pentru ca Q8 să intre în conducție.

Astfel, la temperaturi de peste **120°C**, se limitează curentul de bază al regulatorului serie, iar tensiunea de la ieșire scade către 0.

Potențialul VBE​ este stabilit la aproximativ 400 mV conform raportului dintre P2 și R8, după relația:

, unde

Din potențiometrul P2 se reglează cu precizie valoarea temperaturii la care acționează protecția. In acest caz a fost reglat la 0.505 (2,525kΩ)

(Fig. 7) Rețeaua de reacție negativă

## 2.7. Rețeaua de reacție negativă

Rețeaua de reacție negativă este formata din potențiometrul P1 si doua grupuri de rezistente: R14, R15 si R16, R17 . Acestea realizează un divizor de tensiune variabil din potențiometru care are ca scop reglarea tensiunii de ieșire.

Știm că

Din aceste relații, am ales valorile:

# PSF - TENSIUNI3. Punct static de funcționare (simulari)

PSF - CURENTI

(Fig. 8) Punct static de funcționare – afișare tensiuni

(Fig. 9) Punct static de funcționare – afișare curenți



(Fig. 10) Punct static de funcționare – afișare puteri disipate

Se poate observa alegerea corecta a componentelor electrice si folosirea lor corespunzătoare. Au fost respectate toate cerințele impuse de producător, ba chiar la majoritatea a fost lăsata o marjă pentru siguranță.

# 4. Simulări funcționalitate

## 4.1. Reglajul tensiunii de ieșire din potențiometrul P1

(Fig. 11) Graficul variației tensiunii de ieșire din P1

## 4.2. Variația rezistenței de sarcina RLOAD

(Fig. 12) Graficul variației rezistentei de sarcina, protecția la supra-curent

## 4.3. Variația tensiunii de intrare

A graph with green line

Description automatically generated(Fig. 13) Graficul variației tensiunii de intrare intre 36÷40V

## 4.4. Variația temperaturii, protecția de temperatura

A grid with green lines

Description automatically generated(Fig. 14) Graficul variației temperaturii, simulare pentru protecția de temperatura

Deriva termica este aproximativ 1.5mV/°C

## 4.5. Simularea amplificării in buclă deschisă

(Fig. 15) Graficul A screen shot of a black screen

Description automatically generatedamplificării de tensiune in buclă deschisă

Amplificatorul de eroare are AV > 3690

# 

# 5. Transfer Capture-PCB

A computer circuit board with many different colored lines

Description automatically generated(Fig. 16) PCB Design

Cuprins

[1. Stabilizatoarele de tensiune cu element de reglaj serie (ERS) 1](#_Toc185077428)

[1.1. Configurația generală a stabilizatoarelor cu amplificator operațional 1](#_Toc185077429)

[1.2. Funcționarea amplificatorului operațional 2](#_Toc185077430)

[1.3. Principiul funcționării 2](#_Toc185077431)

[1.4. Indicatori de performanță ai stabilizatoarelor liniare 2](#_Toc185077432)

[1.5. Protecții integrate în stabilizatoare 3](#_Toc185077433)

[1.6. Structura amplificatorului de eroare 3](#_Toc185077434)

[1.6.1. Etajele amplificatorului 4](#_Toc185077435)

[1.6.2. Caracteristici funcționale ale etajelor amplificatorului 4](#_Toc185077436)

[1.7. Componente adiționale 4](#_Toc185077437)

[2. Funcționarea schemei 6](#_Toc185077438)

[2.1. Referința de tensiune 7](#_Toc185077439)

[2.2. Etajul diferențial 7](#_Toc185077440)

[2.3. Stabilizarea tensiunii 7](#_Toc185077441)

[2.3.1. Componentele utilizate 8](#_Toc185077442)

[2.3.2. Etajul amplificator în tensiune 8](#_Toc185077443)

[2.4. Elementul regulator serie (ERS) 10](#_Toc185077444)

[2.5. Circuitul de protecție la supracurent 10](#_Toc185077445)

[2.6. Circuitul de protecție la temperatură 11](#_Toc185077446)

[2.7. Rețeaua de reacție negativă 12](#_Toc185077447)

[3. Punct static de funcționare (simulari) 13](#_Toc185077448)

[4. Simulări funcționalitate 15](#_Toc185077449)

[4.1. Reglajul tensiunii de ieșire din potențiometrul P1 15](#_Toc185077450)

[4.2. Variația rezistenței de sarcina RLOAD 15](#_Toc185077451)

[4.3. Variația tensiunii de intrare 15](#_Toc185077452)

[4.4. Variația temperaturii, protecția de temperatura 16](#_Toc185077453)

[4.5. Simularea amplificării in buclă deschisă 16](#_Toc185077454)

[5. Transfer Capture-PCB 17](#_Toc185077455)