

Proiect Dispozitive și Circuite Electronice

Olteanu Rareș Cristian

Grupa: 434D

Stabilizator de tensiune cu element regulator serie

Universitatea Politehnica din București - Facultatea de Electronică și Telecomunicații

Prof. Coordonator: Drăghici Florin

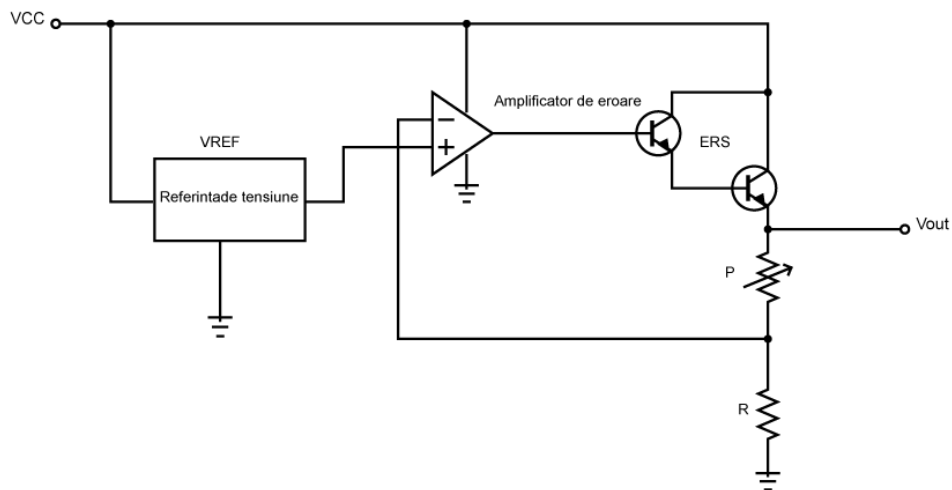
1. Stabilizatoarele de tensiune cu element de reglaj serie (ERS)

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 V_{ref}), 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 și *R* – rezistența, 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 (S_o)** - reprezintă capacitatea stabilizatorului de a menține tensiunea constantă în fața variațiilor de intrare. Valori mai mari indică o performanță superioară.
2. **Rezistența de ieșire (R_o)** - 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 (K_T)** - 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 (A_v) este determinat de relația matematică:

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

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

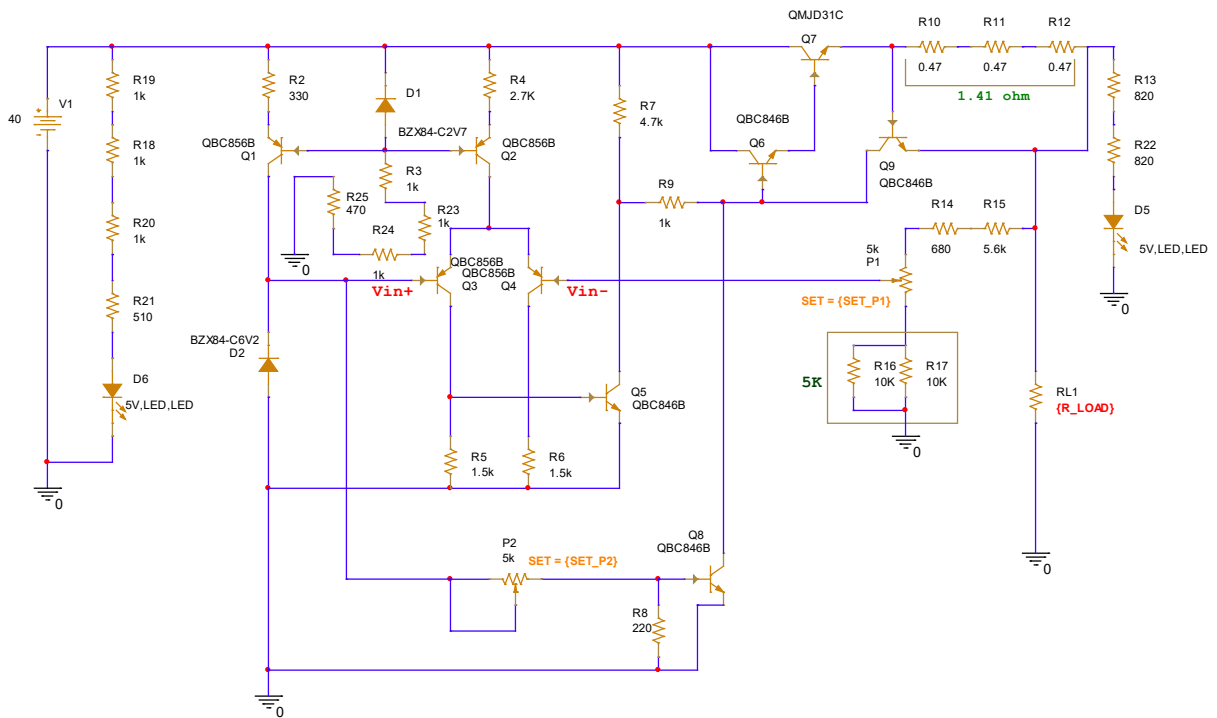
Pe lângă etajele de amplificare, circuitul este completat de următoarele componente:

- **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.

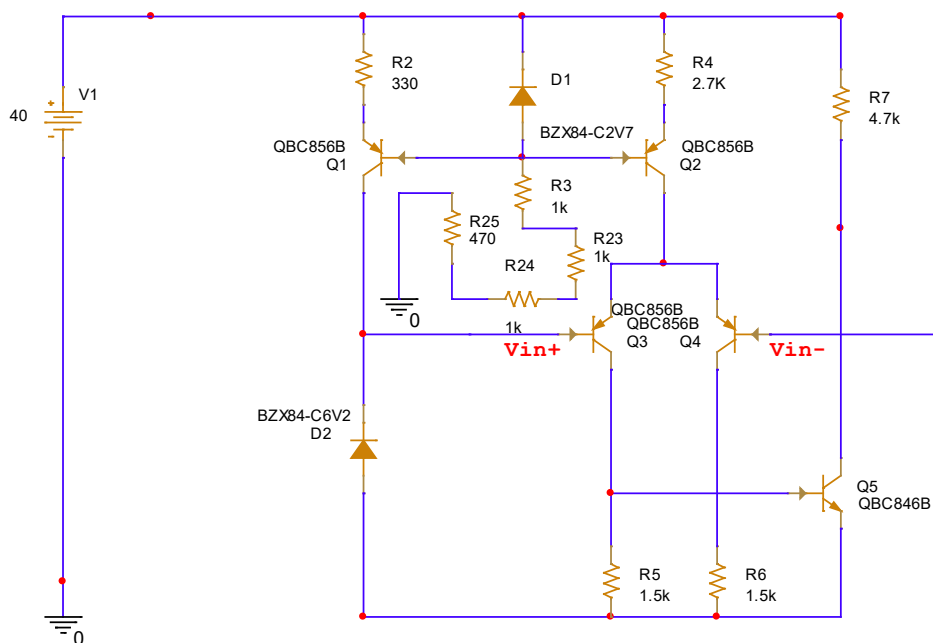
- **Rețea de reacție**, utilizată pentru controlul precis al tensiunii de ieșire prin ajustarea amplificării și stabilității circuitului.

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 referință și 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** (D_2), alimentată printr-un curent constant asigurat de tranzistorul Q_1 și rezistența R_2 . Alegerea diodei Zener se face astfel încât tensiunea sa nominală (V_Z) să fie mai mică decât tensiunea minimă ce trebuie obținută la ieșire (V_{\min}). În acest caz, s-a optat pentru o diodă Zener cu $V_Z = 6.2V$. (Fig. 3)

Curentul constant prin dioda Zener D_2 este generat de tranzistorul Q_1 , 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 Q_3 și Q_4 . Acesta este alimentat printr-o **sursă de curent constant**, formată din tranzistorul Q_2 și rezistența R_4 . (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 D_1 este utilizată pentru a menține tensiunea constantă pe sursele de curent constant. Aceasta fixează tensiunea pe rezistențele R_2 și R_4 , ceea ce contribuie la stabilizarea generală a circuitului. (Fig. 3)

Astfel, integrarea diodei D_1 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 Q_1 intră în conducție prin intermediul rezistorului R_1 . Curentul furnizat de această sursă poate fi calculat utilizând formula:

$$I_{C_1} = \frac{v_z - v_{BE}}{R_2}$$

$$I_{C_1} = 6mA$$

Curentul prin etajul diferențial este stabilit de rezistența R_4 , având la borne o tensiune de aproximativ:

$$v_z - v_{BE}$$

Astfel, curentul I_{C2} este calculat ca:

$$I_{C2} = 0.8mA$$

Cum curentul colector al tranzistoarelor Q_3 și Q_4 este împărțit egal:

$$I_{C3} + I_{C4} = \frac{I_{C2}}{2} \rightarrow I_{C3} = I_{C4} = 0.4mA$$

Rezistențele R_5 și R_6 furnizează curentul de polarizare pentru etajul următor. Rezistorul R_5 este dimensionat astfel încât să asigure o cădere de tensiune minimă de 0.6V, necesară pentru a aduce în conducție tranzistorul Q_5 .

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 Q_3 și Q_4 este limitat la 0.4mA.

2.3.2. Etajul amplificator în tensiune

Etajul de amplificare în tensiune este format dintr-un singur tranzistor bipolar Q_5 , configurat ca **emitor comun**. Sarcina acestui etaj este rezistorul R_7 .

Curentul prin R_7 poate fi determinat cunoscând că tensiunea la bornele acestuia este aproape întotdeauna egală cu:

$$V_{CC} - V_{OUT} + 2V_{BE}$$

Această configurație asigură funcționarea stabilă și precisă a circuitului.

Curentul I_{C5} este egal cu curentul I_{R7} , iar relația acestuia poate fi exprimată astfel:

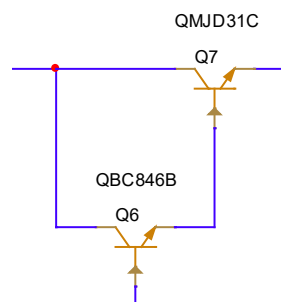
$$I_{C5} = I_{R7} = \frac{V_{CC} - V_{OUT} + 2V_{BE}}{R_7}$$

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:

$$A_{V5} = \frac{R_7}{R_{E5}}$$

$$\text{Unde } R_{E5} = \frac{V_T}{I_C}, \text{ rezulta } R_{E5} = \frac{25mV}{4mA} \cong 6\Omega$$

$$R_7 = 4.7k\Omega, \text{ rezulta } A_{V5} \cong 780$$



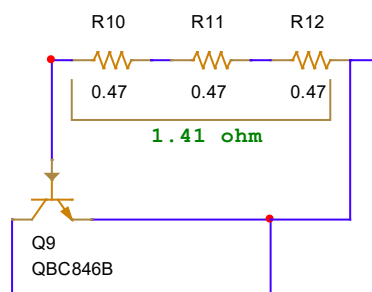
(Fig. 4) Elementul regulator serie

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** (Q_6 și Q_7). 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 10^4 . (Fig. 4)

Tranzistorul final este Q_7 , 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 $Q_9 + R_{10} + R_{11} + R_{12}$ este realizat cu un tranzistor bipolar NPN. Tensiunea V_{BE} a tranzistorului este generată de căderea de tensiune pe aceste rezistoare. Astfel, la curenți mari ($>0.5A$), tranzistorul Q_9 va intra în conducție și va limita curentul de bază al regulatorului serie.

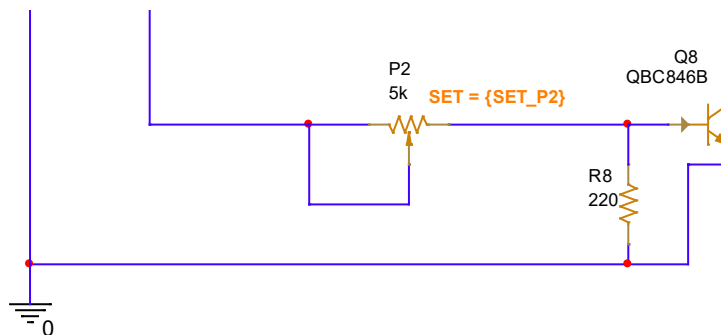
Pentru a obține o valoare precisă de 1.4Ω , au fost utilizate trei rezistoare în serie.

Dimensionarea rezistorului se face conform relației:

$$R = \frac{V_{BE}}{I_{OMAX}}$$

$$R = R_{10} + R_{11} + R_{12}$$

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.

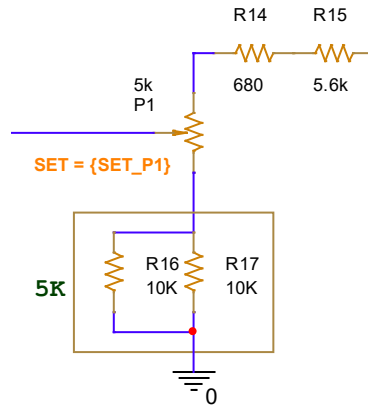
Tensiunea bază-emitor pentru Q₈ este stabilită de divizor la un nivel care împiedică intrarea în conducție a tranzistorului Q₈ (aproximativ 400 mV). Totuși, la temperaturi ridicate, datorită coeficientului termic negativ al joncțiunilor din siliciu (-2 mV/°C), potențialul stabilit de divizor devine suficient 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 V_{BE} este stabilit la aproximativ 400 mV conform raportului dintre P₂ și R₈, după relația:

$$V_{BE8} = V_{ref} \times \frac{P_2}{R_8 + P_2}, \text{ unde } V_{ref} = 6.2V$$

Din potențiometrul P_2 se reglează cu precizie valoarea temperaturii la care acționează protecția. În acest caz a fost reglat la 0.505 (2,525k Ω)



(Fig. 7) Rețeaua de reacție negativă

2.7. Rețeaua de reacție negativă

Rețeaua de reacție negativă este formată din potențiometrul P_1 și două grupuri de rezistențe: R_{14} , R_{15} și R_{16} , R_{17} . Acestea realizează un divizor de tensiune variabil din potențiometru care are ca scop reglarea tensiunii de ieșire.

Știm că $V_{out\ min} = 10V$, $V_{out\ max} = 20V$, $V_{ref} = 6.2V$

$$R = \frac{6.2}{10} = 0.62k\Omega$$

$$V_{ref} = V_{out\ min} \times \frac{P_1 + R_{16} \parallel R_{17}}{P_1 + R_{16} \parallel R_{17} + R_{14} + R_{15}} = 10V \times \frac{10}{10 + 6.28}k\Omega = 6.14V$$

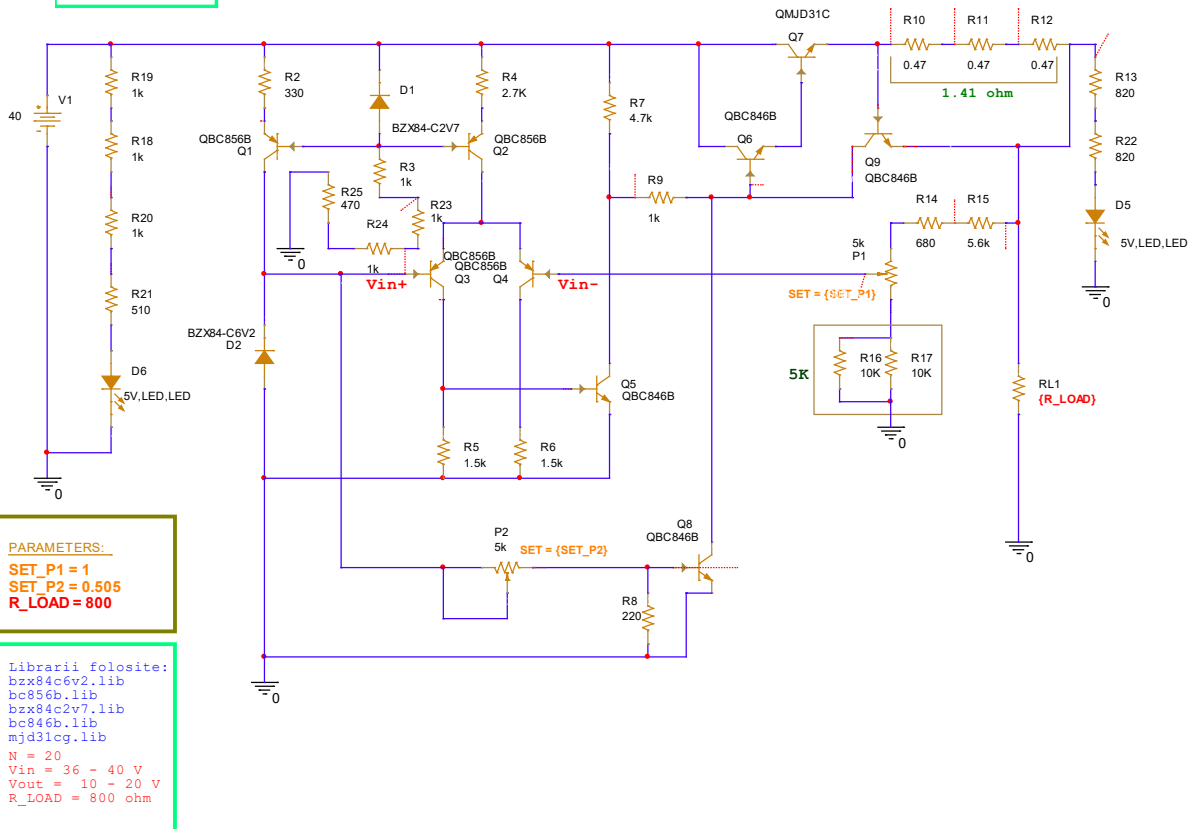
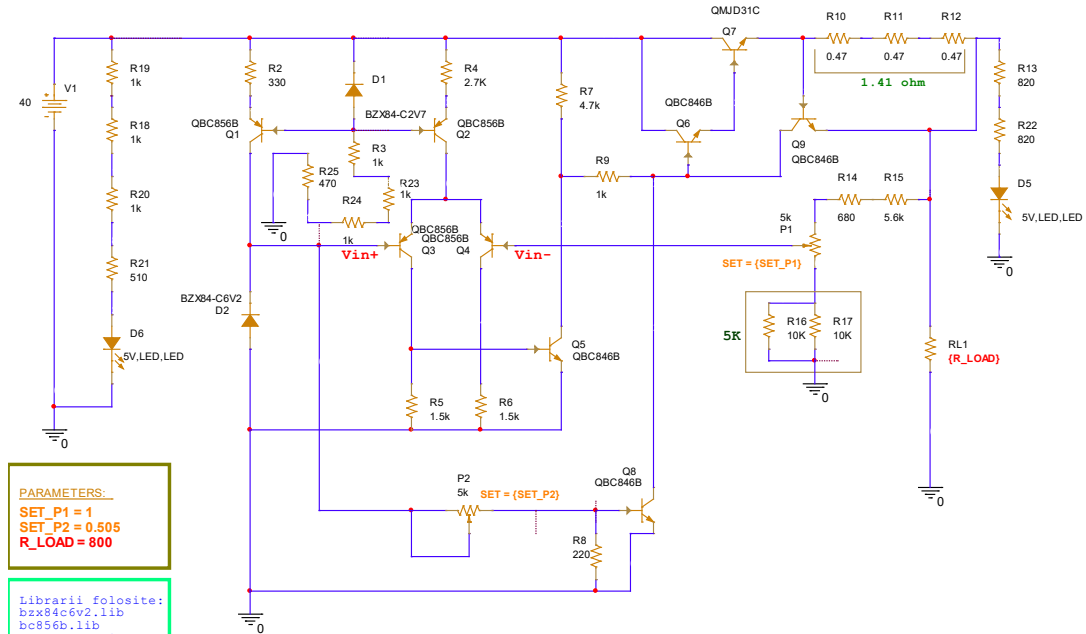
$$R = \frac{6.2}{20} = 0.31k\Omega$$

$$V_{ref} = V_{out\ min} \times \frac{R_{16} \parallel R_{17}}{P_1 + R_{16} \parallel R_{17} + R_{14} + R_{15}} = 10V \times \frac{5}{10 + 6.28}k\Omega = 6.14V$$

Din aceste relații, am ales valorile:

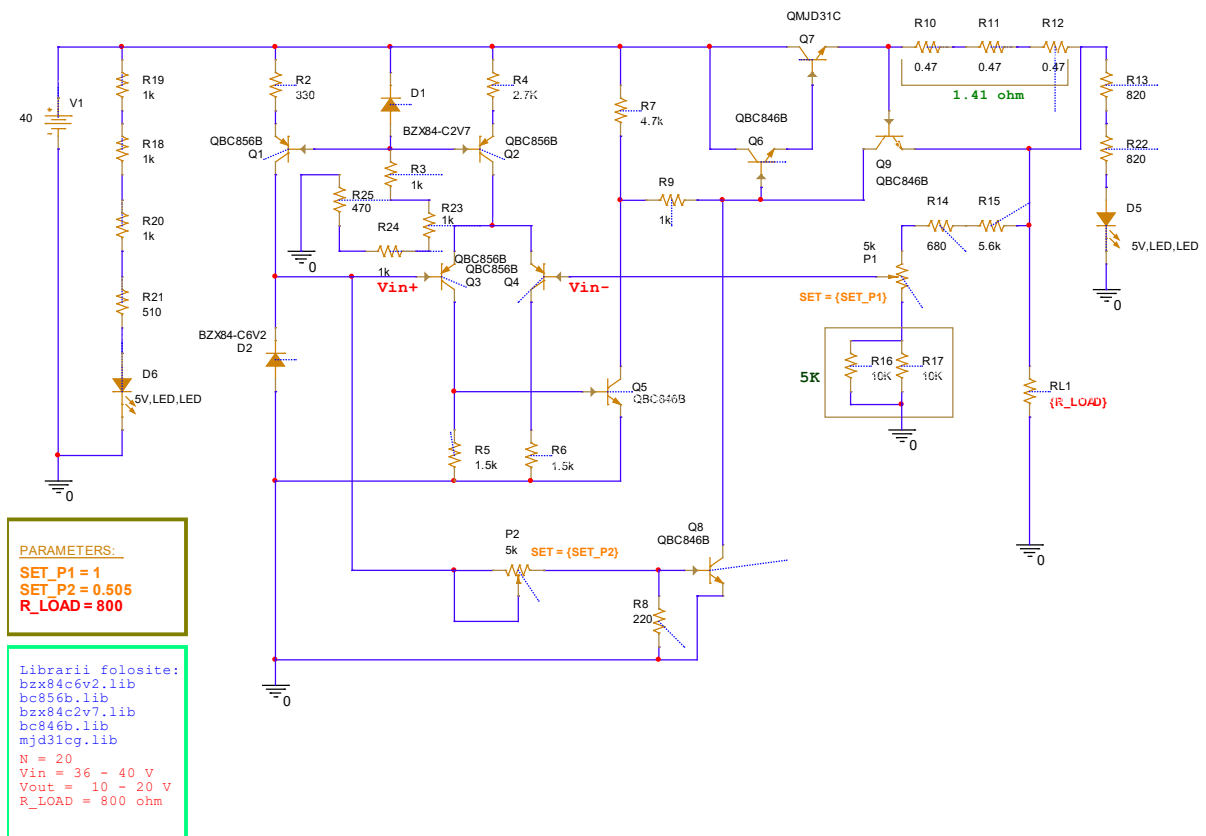
$$R_{14} = 0.6k\Omega, R_{15} = 5.6k\Omega, R_{16} = R_{17} = 10k\Omega (R_{16} \parallel R_{17} = 5k\Omega), P_1 = 5k\Omega$$

3. Punct static de funcționare (simulari)



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

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

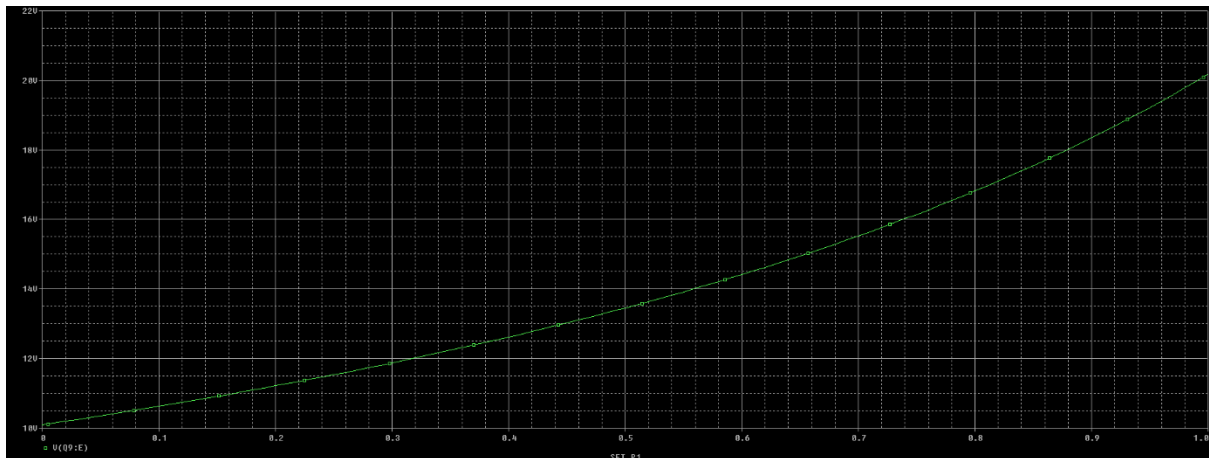


(Fig. 10) Punct static de funcționare – afișare puteri disipate

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

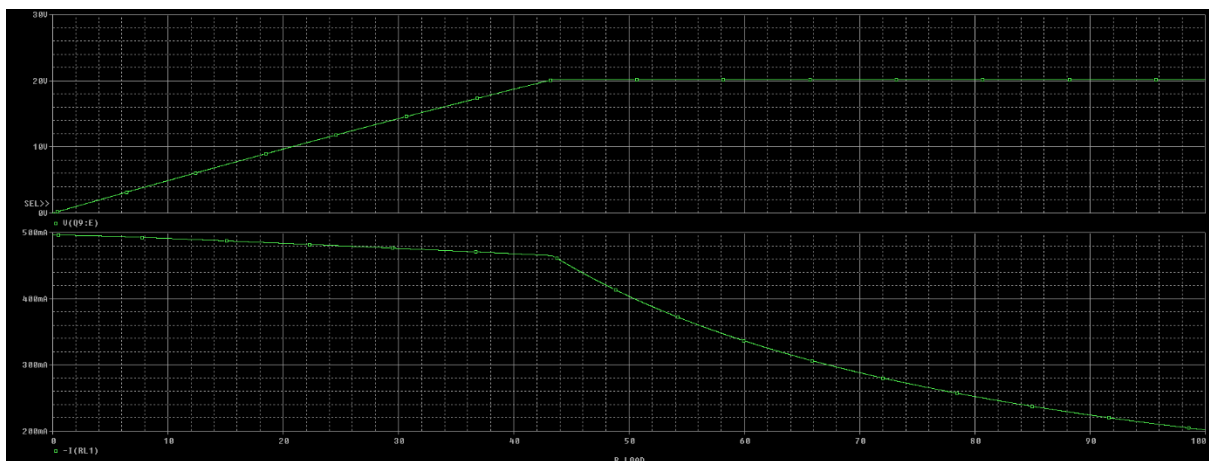
4. Simulări funcționalitate

4.1. Reglajul tensiunii de ieșire din potențiometrul P_1



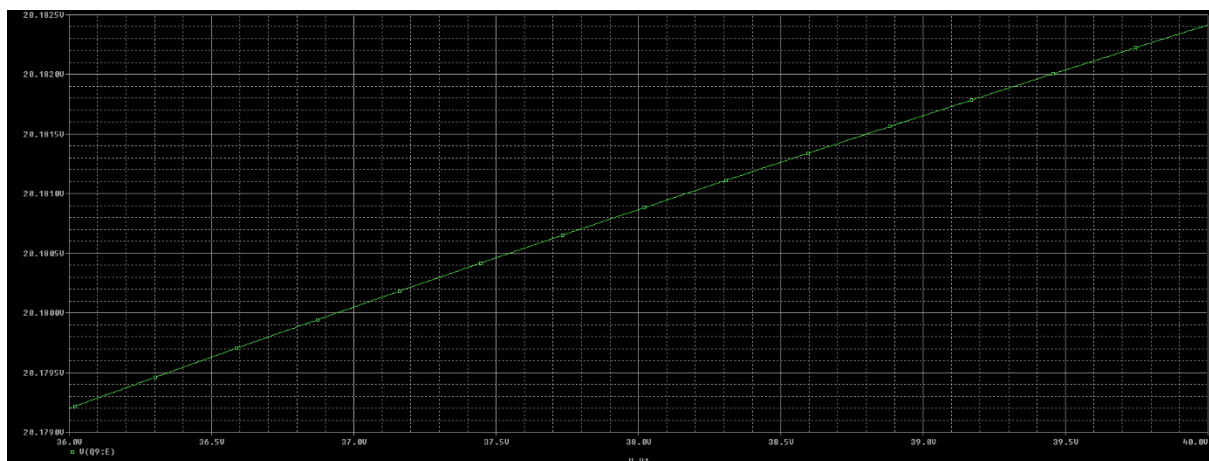
(Fig. 11) Graficul variației tensiunii de ieșire din P_1

4.2. Variația rezistenței de sarcină R_{LOAD}



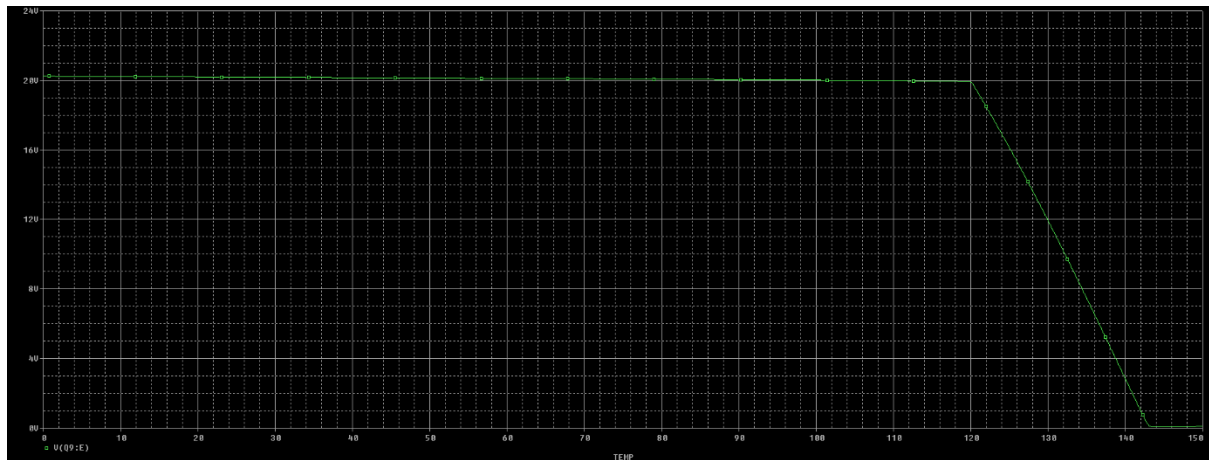
(Fig. 12) Graficul variației rezistenței de sarcină, protecția la supra-curent

4.3. Variația tensiunii de intrare



(Fig. 13) Graficul variației tensiunii de intrare între 36÷40V

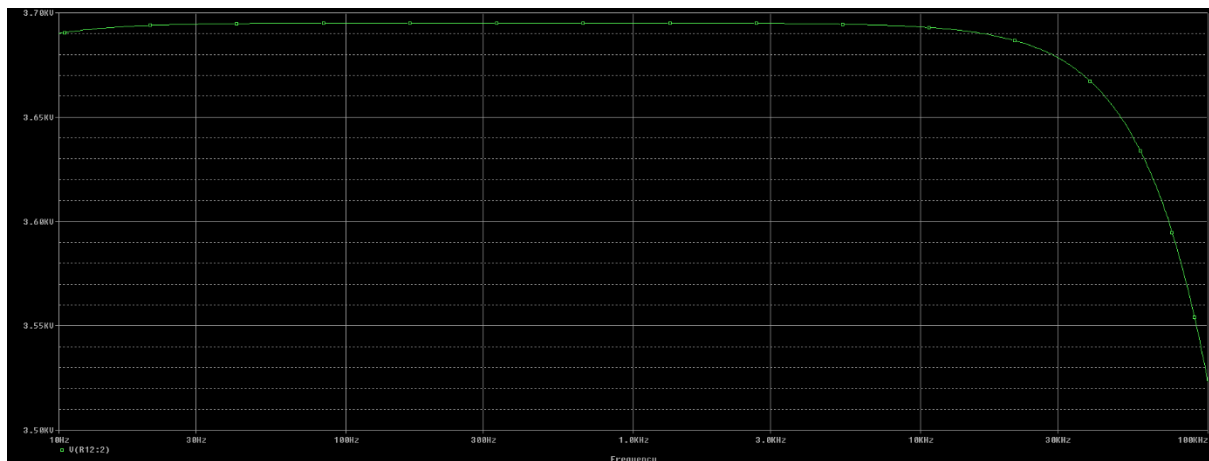
4.4. Variația temperaturii, protecția de temperatura



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

Deriva termica este aproximativ $1.5\text{mV}/^{\circ}\text{C}$

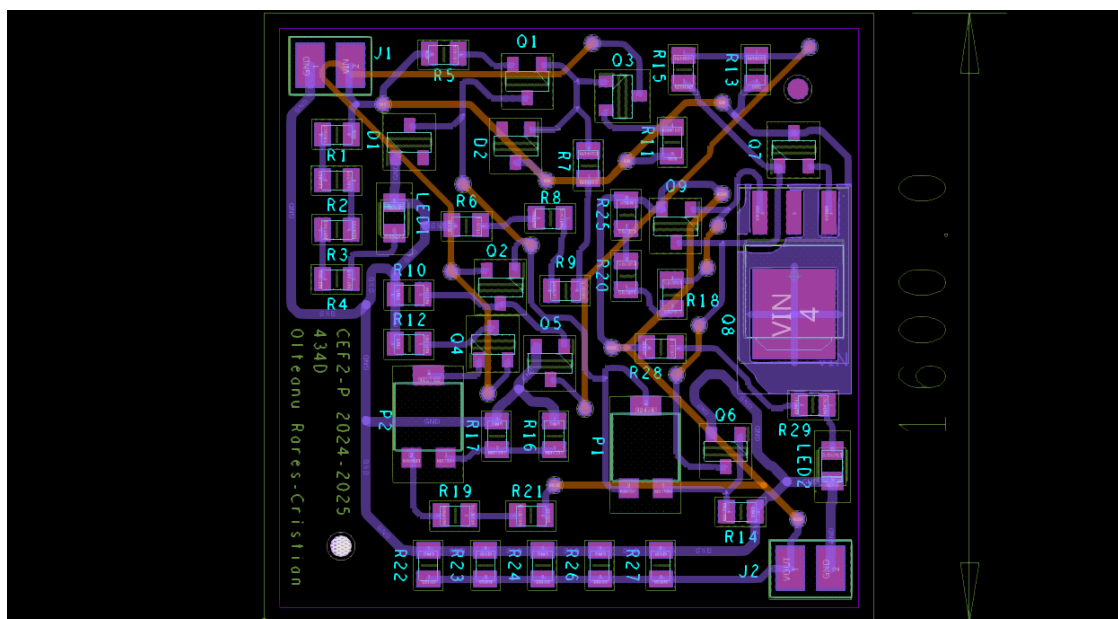
4.5. Simularea amplificării în buclă deschisă



(Fig. 15) Graficul amplificării de tensiune în buclă deschisă

Amplificatorul de eroare are $A_v > 3690$

5. Transfer Capture-PCB



(Fig. 16) PCB Design

Cuprins

1. Stabilizatoarele de tensiune cu element de reglaj serie (ERS)	1
1.1. Configurația generală a stabilizatoarelor cu amplificator operațional	1
1.2. Funcționarea amplificatorului operațional	2
1.3. Principiul funcționării	2
1.4. Indicatori de performanță ai stabilizatoarelor liniare	2
1.5. Protecții integrate în stabilizatoare	3
1.6. Structura amplificatorului de eroare	3
1.6.1. Etajele amplificatorului	4
1.6.2. Caracteristici funcționale ale etajelor amplificatorului	4
1.7. Componente adiționale	4
2. Funcționarea schemei	6
2.1. Referința de tensiune	7
2.2. Etajul diferențial	7
2.3. Stabilizarea tensiunii	7
2.3.1. Componentele utilizate	8
2.3.2. Etajul amplificator în tensiune	8
2.4. Elementul regulator serie (ERS)	10
2.5. Circuitul de protecție la supracurent	10
2.6. Circuitul de protecție la temperatură	11
2.7. Rețeaua de reacție negativă	12
3. Punct static de funcționare (simulari)	13
4. Simulări funcționalitate	15
4.1. Reglajul tensiunii de ieșire din potențiometrul P_1	15
4.2. Variația rezistenței de sarcină R_{LOAD}	15
4.3. Variația tensiunii de intrare	15
4.4. Variația temperaturii, protecția de temperatura	16
4.5. Simularea amplificării în buclă deschisă	16
5. Transfer Capture-PCB	17