



# *UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI*

Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia  
Informației

## **Stabilizator de tensiune cu Element de Reglaj Serie (ERS)**

N=15

Nume student: Plămădeală Catarina-  
Alexandra

Grupa: 432E

Profesori coordonatori: Dr. Ing  
Draghici Florin

Dr. Ing. Pantazica Mihaela

# Cuprins

I. Date de proiectare .....	3
II. Schemă bloc funcțională.....	3
III. Funcționare .....	5
IV. Proiectarea schematică și selecția componentelor .....	6
1. Referința de tensiune .....	6
2. Amplificatorul de eroare .....	6
3. Rețeaua de reacție .....	7
4. Circuit de protecție .....	8
V. PSF.....	9
VI. Simulări circuit .....	16
VII. Amplificare buclă deschisă.....	19
VIII. BOM .....	20

## I. Date de proiectare

Sarcina de lucru a constat în proiectarea și realizarea unui stabilizator de tensiune cu ERS având anumite caracteristici specifice fiecărui student.

În cazul meu, pentru  $N=15$  avem următoarele cerințe de îndeplinit:

- Tensiunea de la ieșire reglabilă în intervalul  $[7.5, 15]$  [V]
- Element de reglaj serie
- Sarcina la ieșire  $750[\Omega]$
- Deriva termică  $< 2\text{mV}/^\circ\text{C}$
- Protecție la suprasarcină prin limitarea temperaturii tranzistorului element de reglaj serie la  $100^\circ\text{C}$  și a curentului maxim la  $0,4\text{A}$
- Tensiune de intrare în intervalul  $[27, 30]$  [V]
- Domeniul temperaturilor de funcționare:  $0^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}$  (verificabil prin testare în temperatură)
- Amplificarea în tensiune minimă (în buclă deschisă) a amplificatorului de eroare: minim 200
- Semnalizarea prezenței tensiunilor de intrare/ieșire cu diodă

## II. Schemă bloc funcțională

Se utilizează o schema de stabilizator cu element regulator serie (ERS) comandat de un amplificator de eroare (AE) care compară tensiunea data de referință de tensiune (REF) cu tensiunea preluată de la ieșire prin rețeaua de reacție (RR). La acesta se adaugă un circuit de protecție termică și la suprasarcină.



### III. Funcționare

Stabilizatoarele de tensiune reprezintă componente esențiale în proiectarea surselor de alimentare pentru echipamentele electronice, asigurând o tensiune constantă indiferent de variațiile tensiunii de intrare sau ale sarcinii. Acestea utilizează, în mod obișnuit, proprietățile diodelor, iar cel mai simplu stabilizator este bazat pe o diodă Zener. Totuși, datorită performanțelor limitate, stabilizatorul simplu cu diodă Zener devine inadecvat pentru alimentarea circuitelor complexe. Limitările sale includ o tensiune de ieșire fixă, care nu poate fi reglată, variații semnificative ale tensiunii de ieșire în funcție de sarcină și un curent maxim furnizat relativ mic.

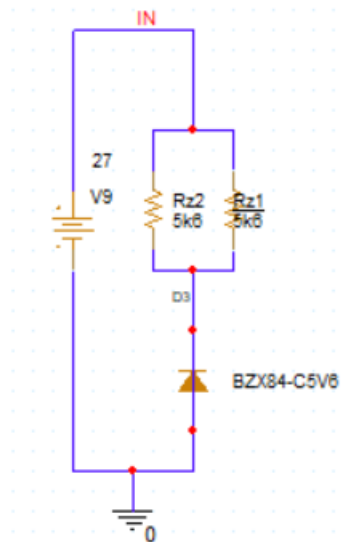
Pentru a depăși aceste limitări, stabilizatoarele avansate utilizează o arhitectură cu reacție. În acest tip de stabilizator, tensiunea de referință este furnizată de o diodă Zener conectată pe o sarcină constantă pentru a asigura stabilitatea. Un amplificator de eroare compară această tensiune de referință cu o fracțiune a tensiunii de ieșire, eșantionată printr-o rețea de reacție. Scopul amplificatorului de eroare este de a menține tensiunea diferențială la intrare aproape nulă, ceea ce contribuie la stabilitatea ieșirii.

Funcționarea elementului regulator serie, de obicei un tranzistor, este controlată prin curentul generat de amplificatorul de eroare. În cazul în care tensiunea de ieșire scade sub valoarea dorită, amplificatorul de eroare generează o tensiune diferențială pozitivă, determinând creșterea curentului prin elementul regulator serie. Aceasta duce la o creștere a tensiunii de ieșire, restabilind valoarea stabilizată. În mod similar, dacă tensiunea de ieșire crește peste valoarea nominală, tensiunea diferențială negativă reduce curentul prin elementul regulator, ceea ce scade tensiunea de ieșire, restabilind echilibrul.

În plus, stabilizatoarele moderne integrează circuite de protecție pentru a asigura siguranța și durabilitatea sistemului. Dacă temperatura elementului regulator serie crește peste o valoare critică sau dacă curentul prin acesta depășește limita admisă, circuitul de protecție intră în acțiune. Acesta închide elementul regulator, oprind complet curentul și protejând atât circuitul, cât și sarcina de eventuale deteriorări. Această combinație de stabilizare și protecție face ca astfel de circuite să fie indispensabile în aplicațiile care necesită alimentare fiabilă și precisă.

#### IV. Proiectarea schematică și selecția componentelor

##### 1. Referința de tensiune



Referința de tensiune este asigurată de o diodă Zener de 5.6V, model BZX84B5V6, selectată pentru driftul său termic redus. Dioda este polarizată în regim de curent constant prin rezistorul  $R_z$ . Pentru a asigura funcționarea corectă a diodei, care necesită un curent minim de 5mA, și pentru a nu depăși puterea maximă de 125mW, am ales două rezistoare de 5k6 în paralel, obținând astfel curentul minim de 5mA (valoarea maximă fiind de 50mA).

Curentul prin dioda Zener este dat de relația:

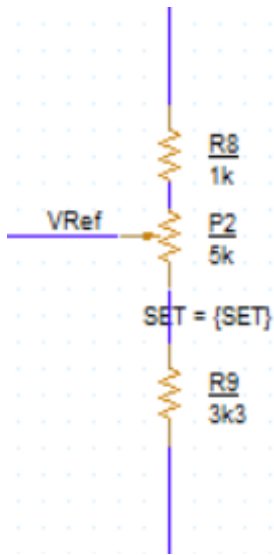
$$I_z = \frac{V_{CC} - V_Z}{R_{ech}}$$
$$R_{ech} = \frac{R_{z1} R_{z2}}{R_{z1} + R_{z2}} = \frac{5.6}{2} = 2.8 \text{ kOhm}$$

Puterea consumată în situația cea mai nefavorabilă (tensiunea de ieșire este 30V) este de 42.75mW.

##### 2. Amplificatorul de eroare

Amplificatorul de eroare constă într-un etaj diferențial cu sarcină activă, realizată sub forma unei oglinzi de curent. Etajul diferențial este construit folosind tranzistoare BJT (BC846B și BC856B) alimentate de o oglindă de curent, care este polarizată la un curent de 2mA.

Curentul din tranzistorul  $Q_4$  este preluat de  $Q_6$  și transferat către  $Q_7$ ;  $Q_6$  acționează ca referință a oglinzii, având baza legată la colector.



Diferența de curent între colectorul lui  $Q_5$  și colectorul lui  $Q_7$  constituie curentul de bază pentru configurația Darlington.

Oglinda de curent  $Q_2$ - $Q_3$  polarizează amplificatorul, având rezistențe egale în emitor, asigurând astfel același curent prin fiecare tranzistor. Curentul prin oglindă este definit de relația:

$$I = \frac{V_z - V_{BE1} - V_{CE2}}{R_2}$$

Tensiunea dintre colectorul și emitorul lui  $Q_2$  este tensiunea dintre bază și emitor, datorită scurtcircuitului dintre bază și colector.

Rezistențele din emitorul ogindei de curent au fost alese de  $1K\Omega$ , pentru a obține un curent de 4mA, care mai apoi se împarte egal prin tranzistorii etajului diferențial.

### 3. Rețeaua de reacție

Aceasta este un simplu divizor de tensiune. Tensiunea eșantionată de aceasta este comparată cu tensiunea de referință dată de dioda Zener:

$$V_{REF} = \frac{P_{out}}{P_2 + R_8 + R_9} V_{OUT}$$

Pentru a putea regla tensiunea de ieșire între 7.5 și 15V (cu plaja de eroare de 0.7 V), se alege un potențiometru de  $5 K\Omega$  ( $P_{out} = 5 K\Omega$ ) în serie cu două rezistoare, care trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

$$\frac{R_9}{R_9 + 5 K\Omega + R_8} = \frac{V_{REF}}{V_{OUT}} = \frac{5.6V}{15V}$$

$$\frac{R_9 + 5\text{ K}\Omega}{R_9 + 5\text{ K}\Omega + R_8} = \frac{V_{REF}}{V_{OUT}} = \frac{5.6\text{V}}{7.5\text{V}}$$

Pentru a se asigura că plaja de tensiune dorită este atinsă și în realitate, aceste rezistoare se vor substitui cu un rezistor de 3k3 pentru  $R_9$ , iar  $R_8$  cu un rezistor de valoare 1k.

#### 4. Circuit de protecție

##### A. Protecție termică

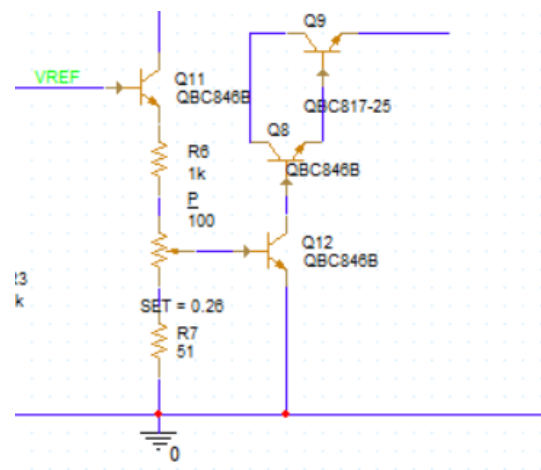
Senzorul de temperatură este  $Q_{12}$ . Acest tranzistor va fi plasat cât mai aproape de configurația Darlington pentru a realiza un bun contact termic. Tensiunea  $V_{BE}$  la care acest tranzistor poate să conducă un curent semnificativ scade cu  $2\text{mV}/^\circ\text{C}$ .

Astfel, prin ajustarea valorii potențiometrului, se setează o tensiune de referință la baza tranzistorului  $Q_{12}$ , care îl va menține în stare de blocare până când temperatura atinge aproximativ  $100^\circ\text{C}$ .

Odată ce această temperatură este depășită, tensiunea de la baza lui  $Q_{12}$  crește suficient pentru a-l deschide, moment în care  $Q_{12}$  va începe să conducă.

Prin activarea lui  $Q_{12}$ , configurația Darlington este forțată să intre în stare de blocare, reducând curentul prin circuitul de ieșire. Acest mecanism de feedback termic protejează circuitul prin limitarea curentului, împiedicând astfel supraîncălzirea tranzistorului și deteriorarea stabilizatorului de tensiune.

Prin ajustarea potențiometrului de  $100\ \Omega$ , se poate controla tensiunea  $V_{BE}$  într-un interval cuprins între  $0,22\text{ V}$  și  $0,65\text{ V}$ . O variație de temperatură de la temperatura ambiantă (aproximativ  $25^\circ\text{C}$ ) până la  $100^\circ\text{C}$  conduce la o schimbare de  $75^\circ\text{C}$ ,



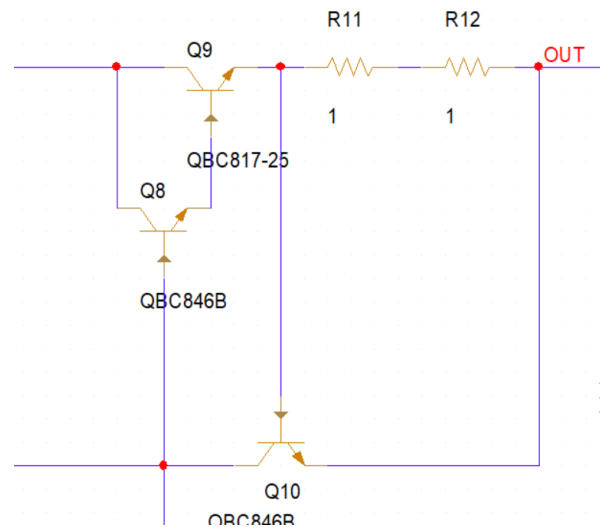


ceea ce corespunde unei variații a tensiunii de aproximativ 1,5 V. Pentru o tensiune  $V_{BE}$  inițială cuprinsă între 0,6 V și 0,7 V, tensiunea de polarizare se reduce la 0,45 V - 0,55 V la temperatura de 100 °C, evidențiind efectul variației termice asupra caracteristicilor tranzistorului.

## B. Protecție supracurent

Tranzistorul  $Q_{10}$  și toate rezistoarele din circuit reprezintă componentele implicate în protecția la suprasarcină, asigurând limitarea curentului maxim la 0.4A.

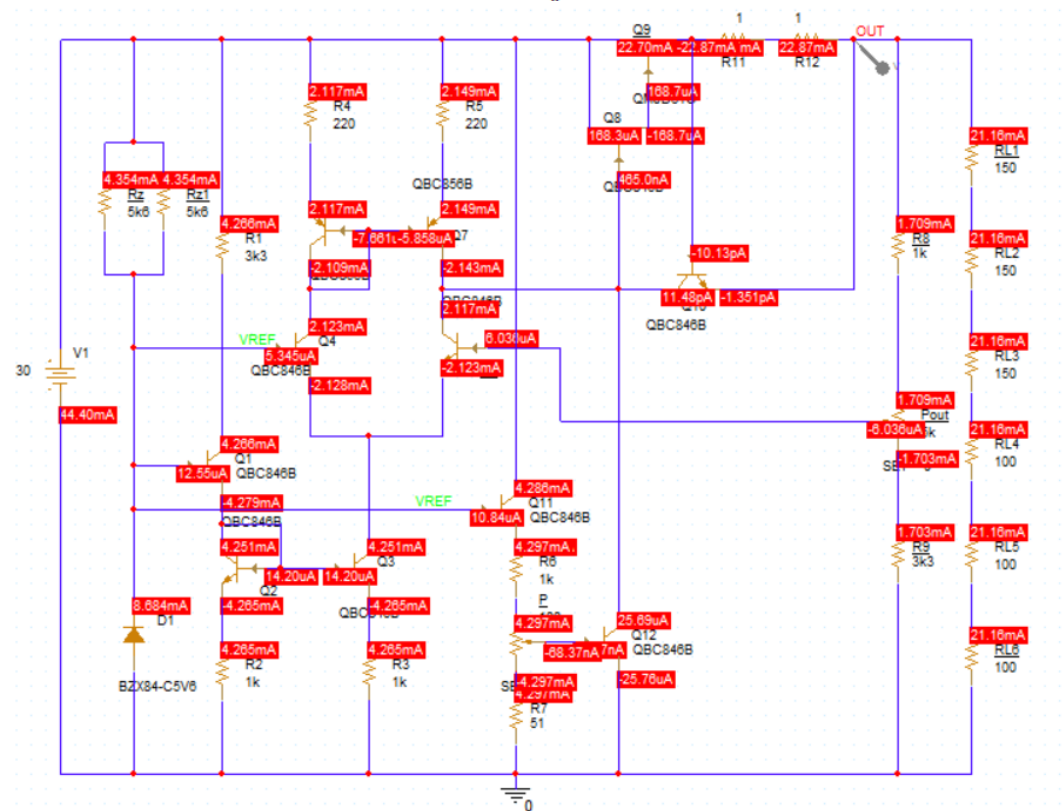
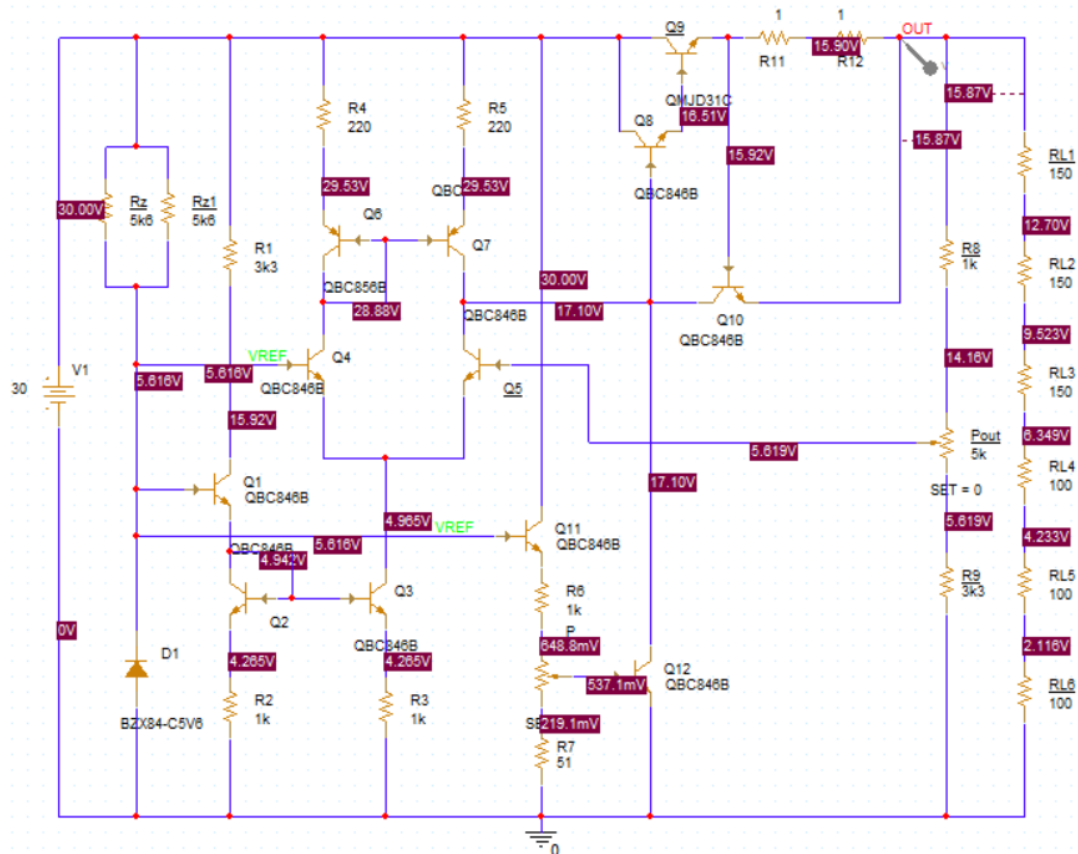
Principiul de funcționare este următorul: când curentul de ieșire depășește 0.4A, tranzistorul  $Q_{10}$  intră în conducție, preluând excesul de curent pentru a limita sarcina. Tensiunea pe un rezistor de detecție activează baza tranzistorului, care funcționează ca un by-pass, prevenind suprasarcina. La scăderea curentului sub 0.4A,  $Q_{10}$  revine la starea inițială, iar circuitul funcționează normal.

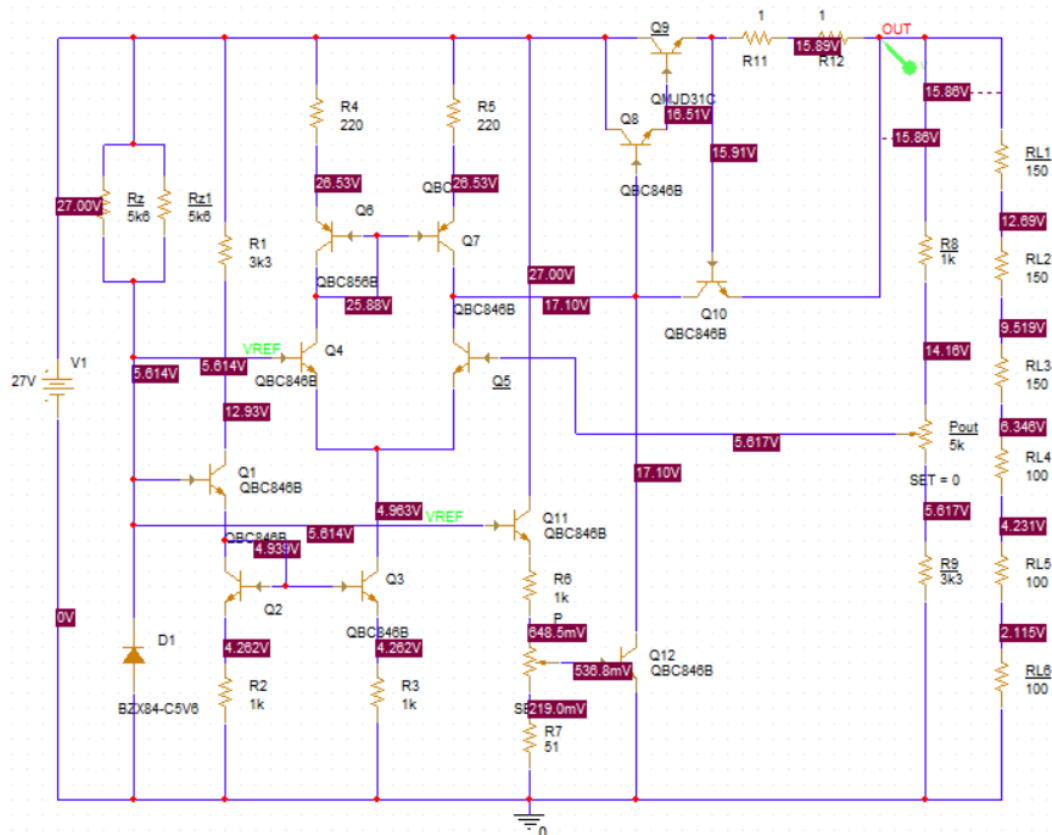
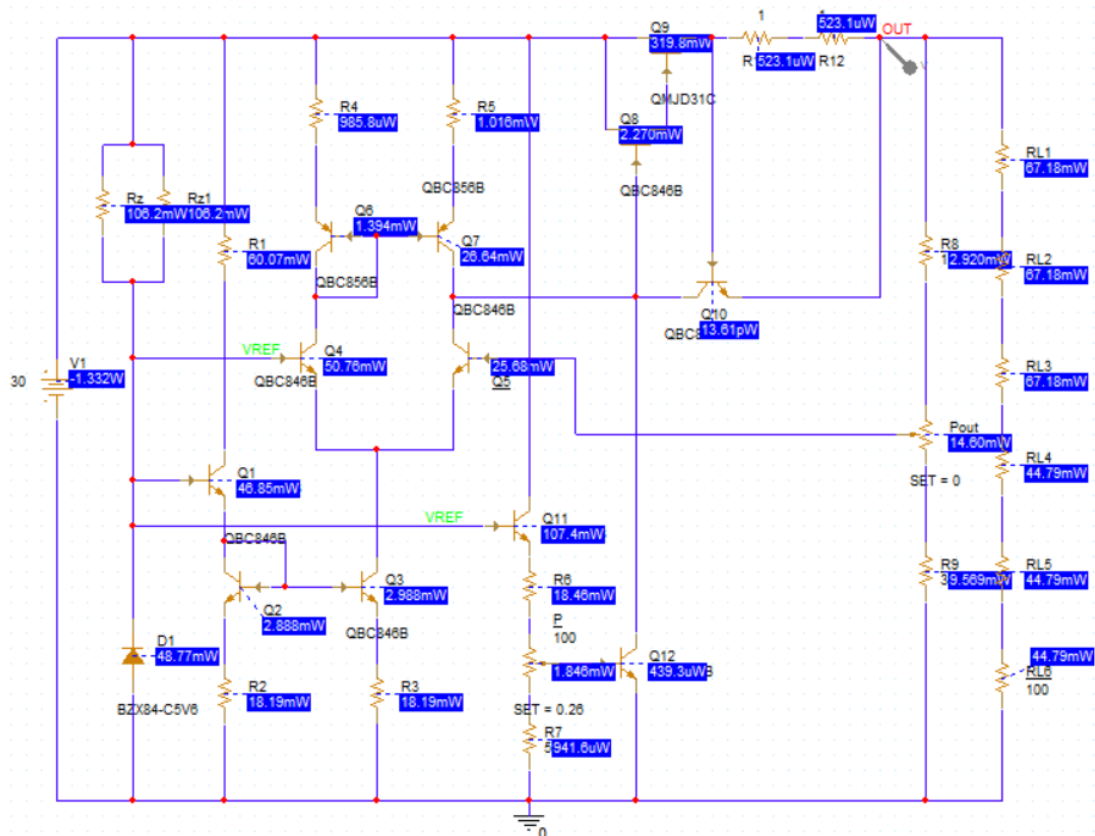


## V. PSF

În primele trei imagini se vor observa tensiunile, curenții și puterile circuitului pentru situația în care ieșirea este 15.87V și intrarea la 30V.

În următoarele imagini se vor observa punctele statice de funcționare pentru aceeași ieșire (15.87V), dar tensiunea de intrare la 27V.





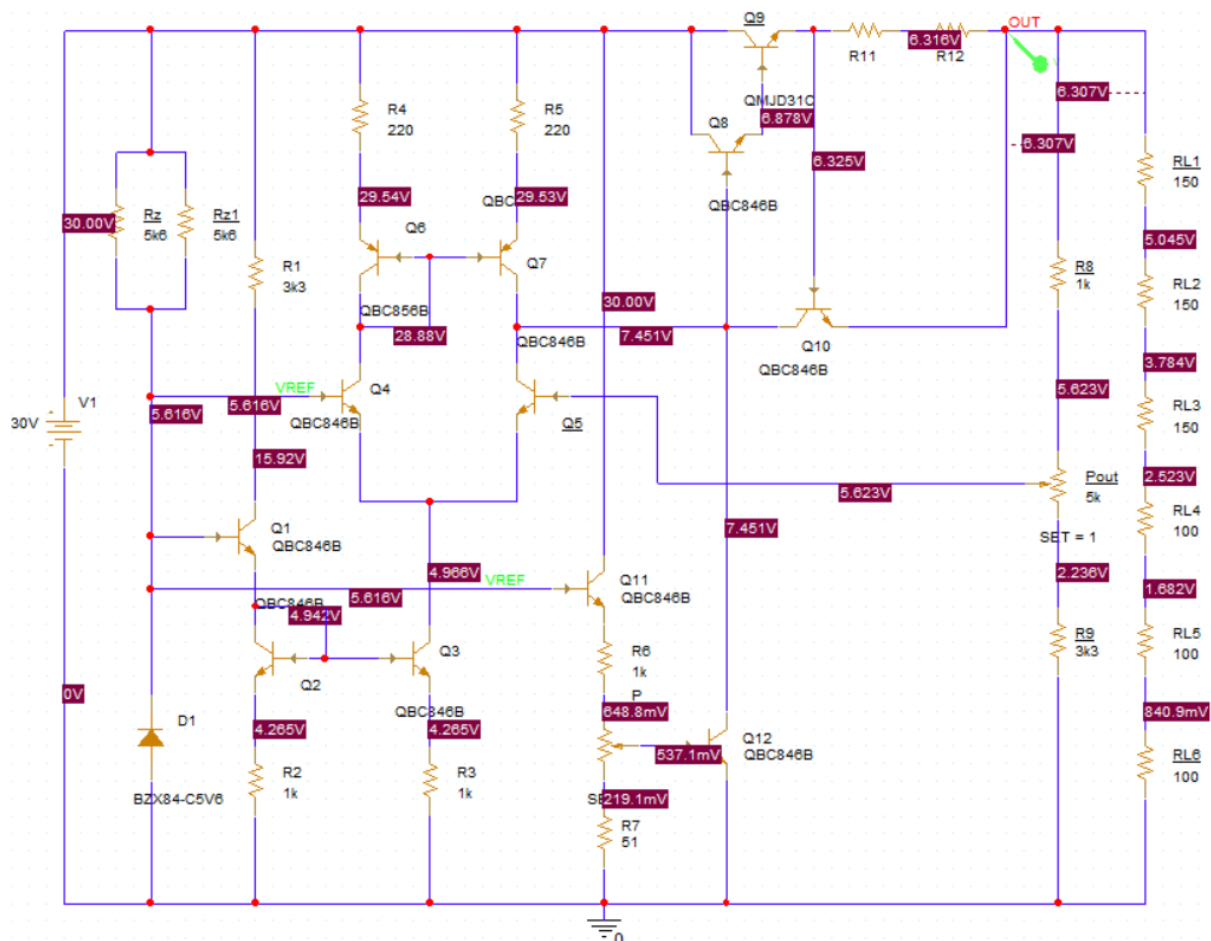


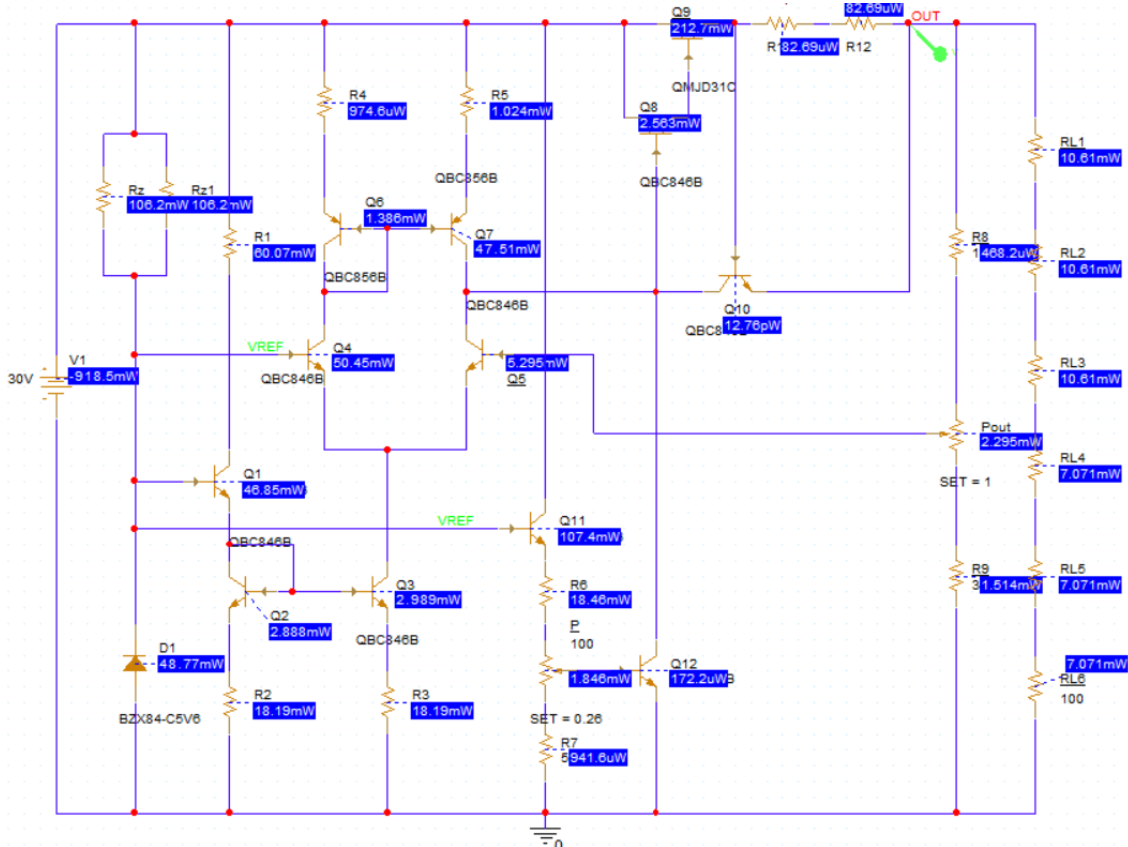
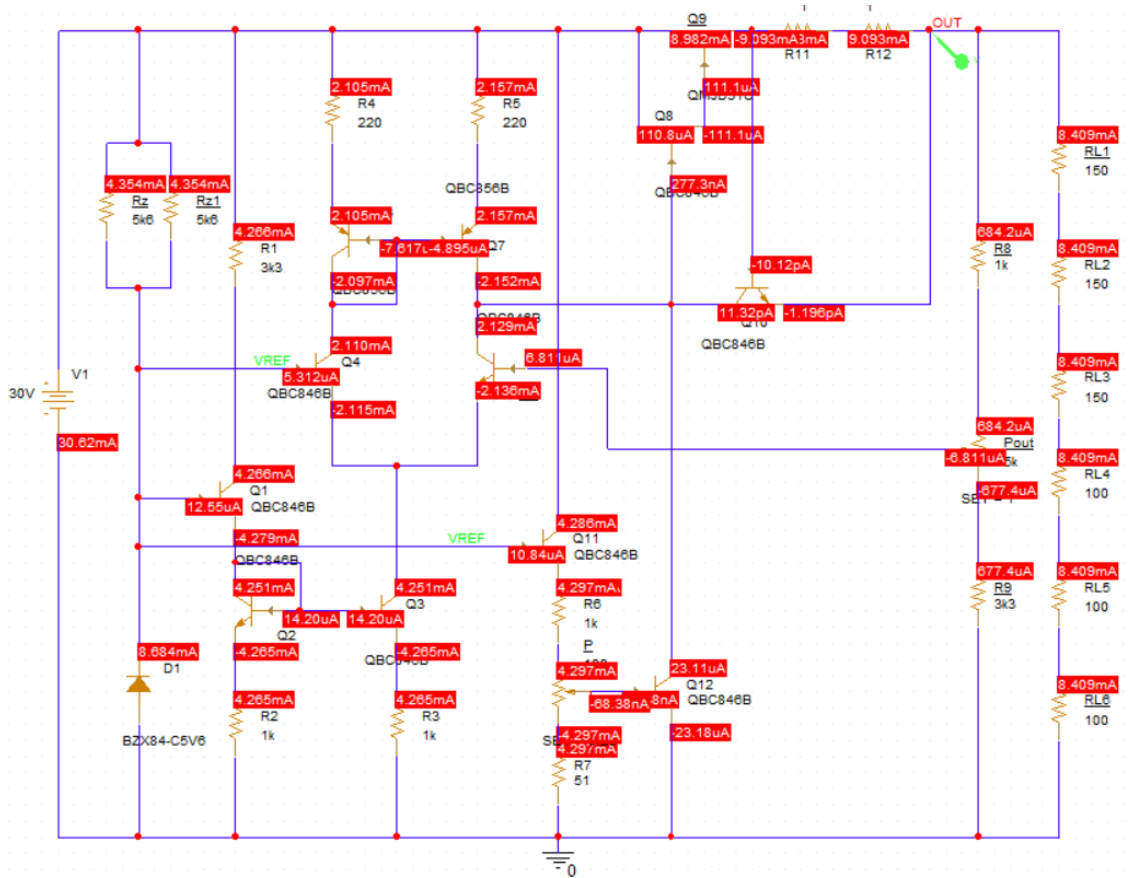
Tranzistorul Q9 (model QBC846B) are o putere maximă de disipare specificată de 15W, însă, în acest caz, disipă 214 mW. Pentru a asigura funcționarea corectă și fiabilă a circuitului, s-a decis înlocuirea tranzistorului Q9 cu un model care poate suporta o putere de disipare mai mare.

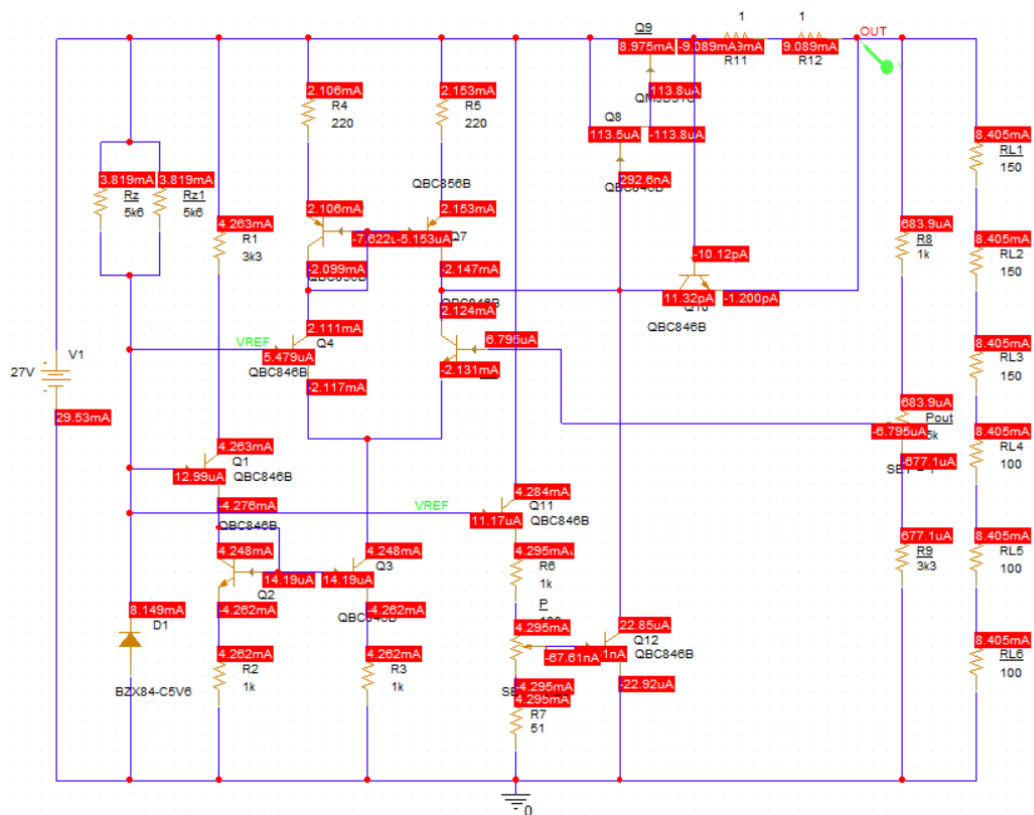
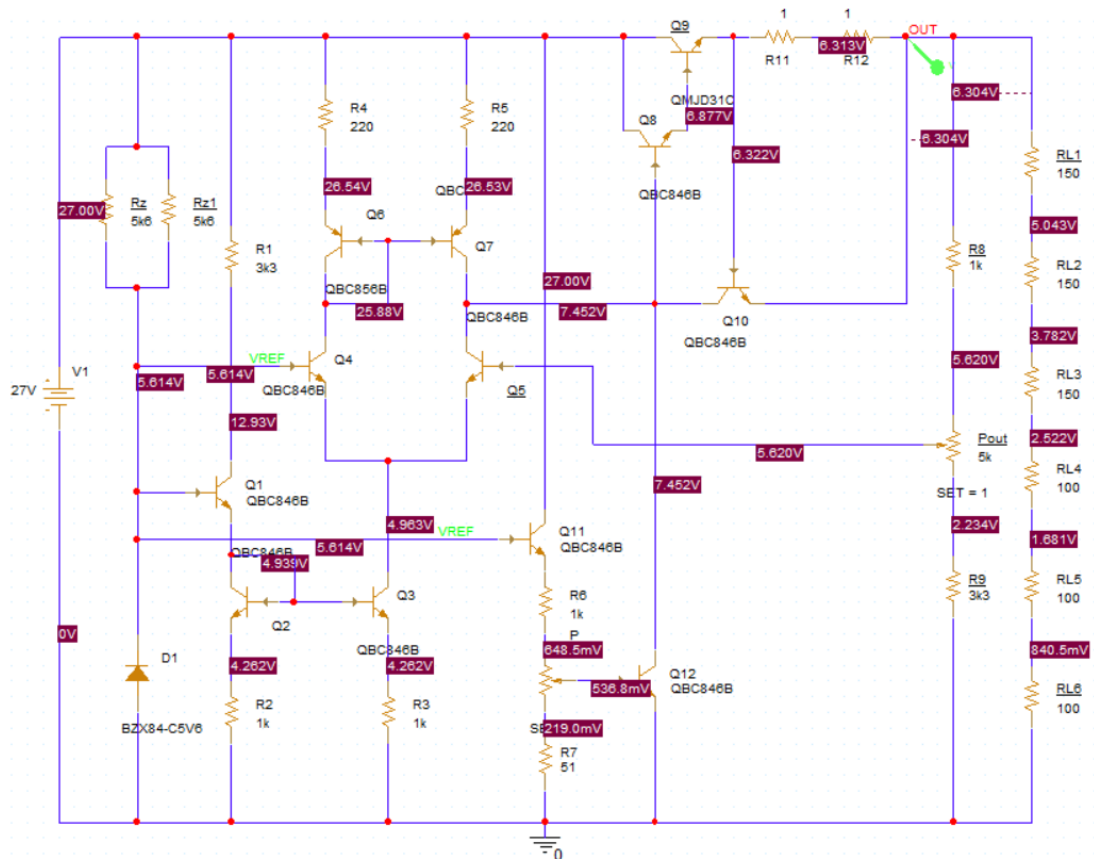
În ceea ce privește rezistențele din circuit, puterea maximă de disipare pentru fiecare rezistor este de 125 mW. Pentru a evita depășirea acestei limite, sarcina inițială de  $750\ \Omega$  a fost divizată în șase rezistoare conectate în serie, fiecare având o valoare de  $125\ \Omega$ . Astfel, puterea disipată pe fiecare rezistor este uniform distribuită și menținută sub valoarea maximă admisă.

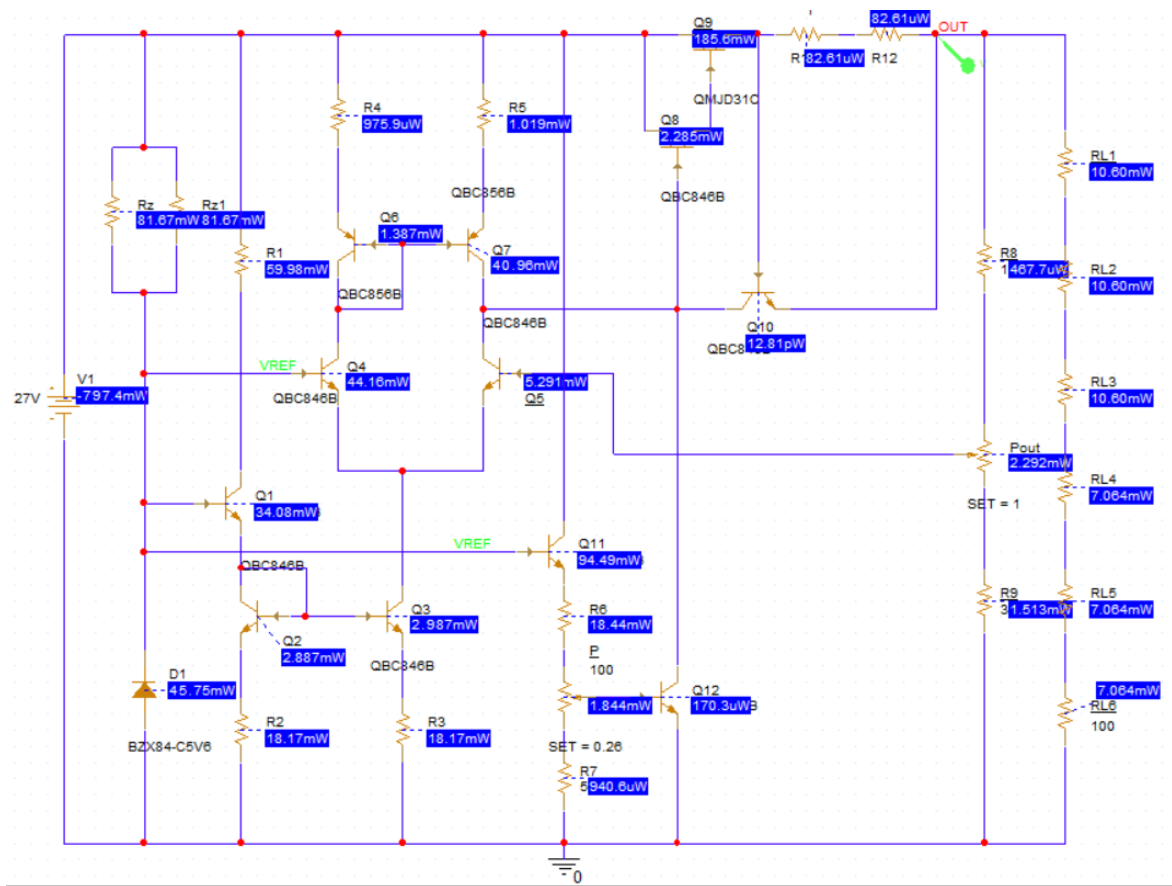
De asemenea, pentru polarizarea diodei Zener, au fost utilizate două rezistoare conectate în paralel. Această configurație permite împărțirea curentului între rezistoare, reducând astfel puterea disipată de fiecare în parte și sporind durabilitatea circuitului.

În următoarele imagini se observă PSF cazul când ieșirea este minimă, cu intrări diferite (27 și 30V).







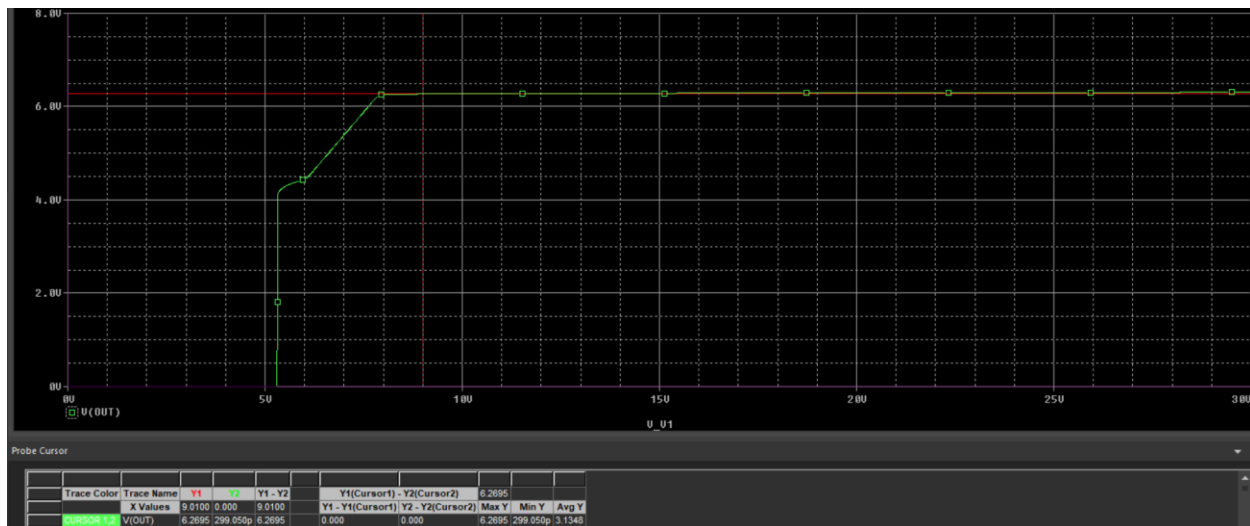
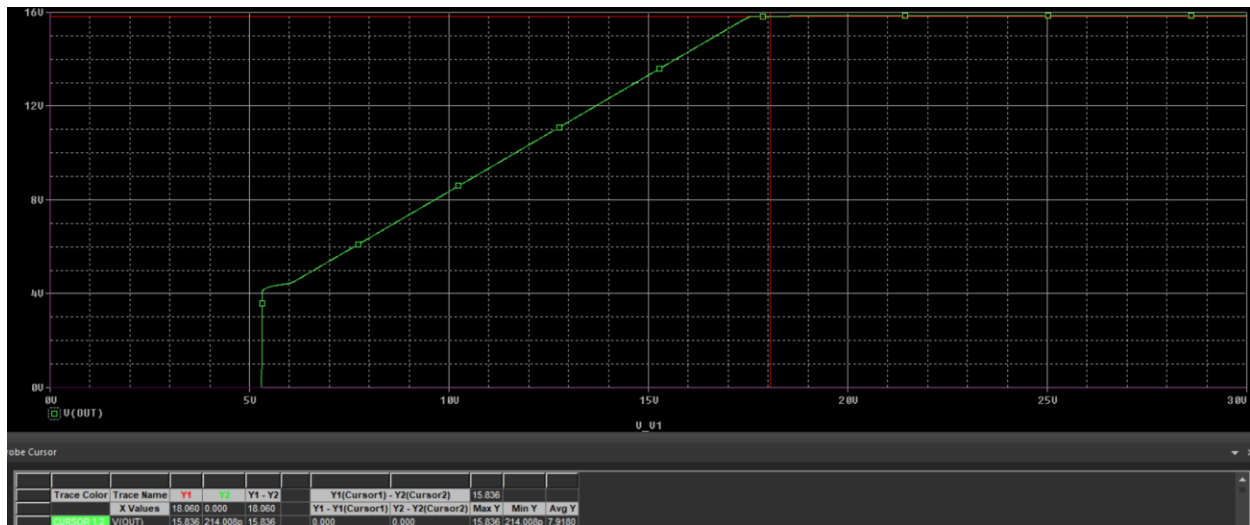


## VI. Simulări circuit

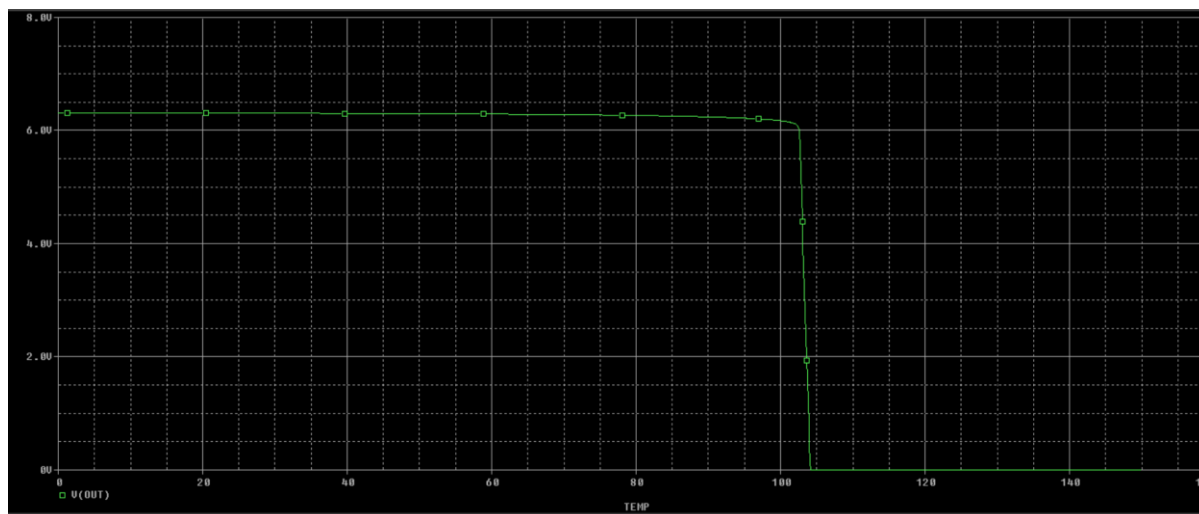
Simulările efectuate pe baza circuitului au fost realizate cu scopul de a verifica buna funcționare a acestuia și de a demonstra conformitatea cu parametrii specificați în cerințe. Aceste simulări au permis analiza comportamentului circuitului în condiții variate de operare, evidențiind atât stabilitatea cât și eficiența sa în îndeplinirea funcțiilor proiectate.

În imaginile prezentate se observă variația tensiunii de ieșire în funcție de tensiunea de intrare. Circuitul demonstrează o performanță de stabilizare eficientă, menținând tensiunea de ieșire constantă la valoarea de 15,8 V pentru un interval al tensiunii de intrare care începe de la valoarea minimă de 18V, iar la 6.3V pentru tensiunea minima de 9V. Această caracteristică evidențiază capacitatea circuitului de a asigura o ieșire stabilă, în conformitate cu specificațiile impuse.

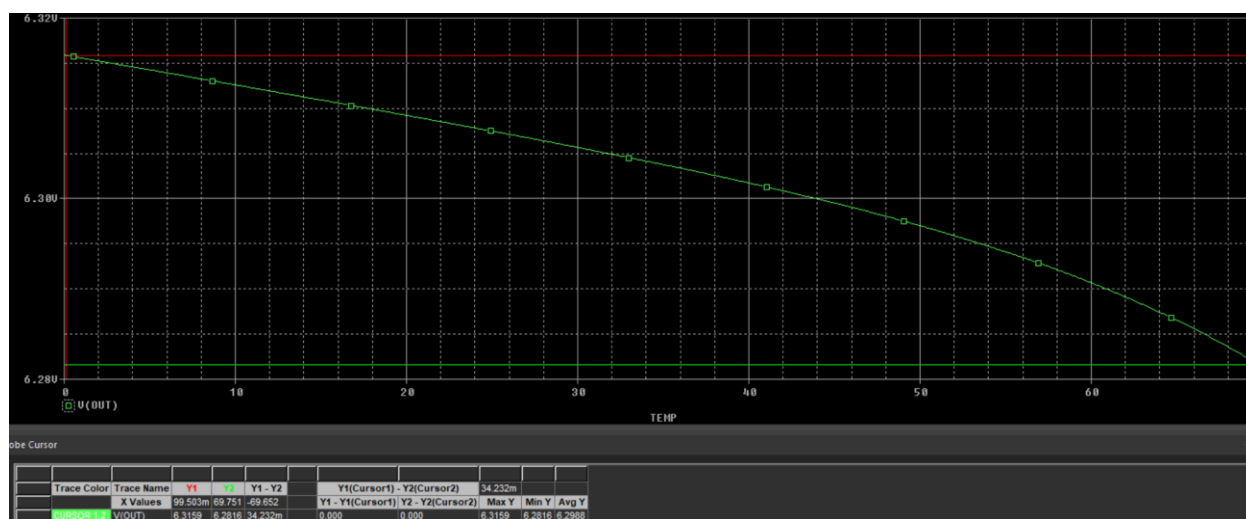




În continuare, se poate observa efectul temperaturii asupra funcționării circuitului. Până la o temperatură de 100 °C, tensiunea de ieșire rămâne constantă, ceea ce indică o bună stabilitate termică a circuitului. Odată ce temperatura atinge această valoare critică, tensiunea de ieșire scade brusc la 0 V. Acest comportament confirmă activarea corectă a circuitului de protecție termică, prevenind deteriorarea componentelor electronice în condiții de supraîncălzire.

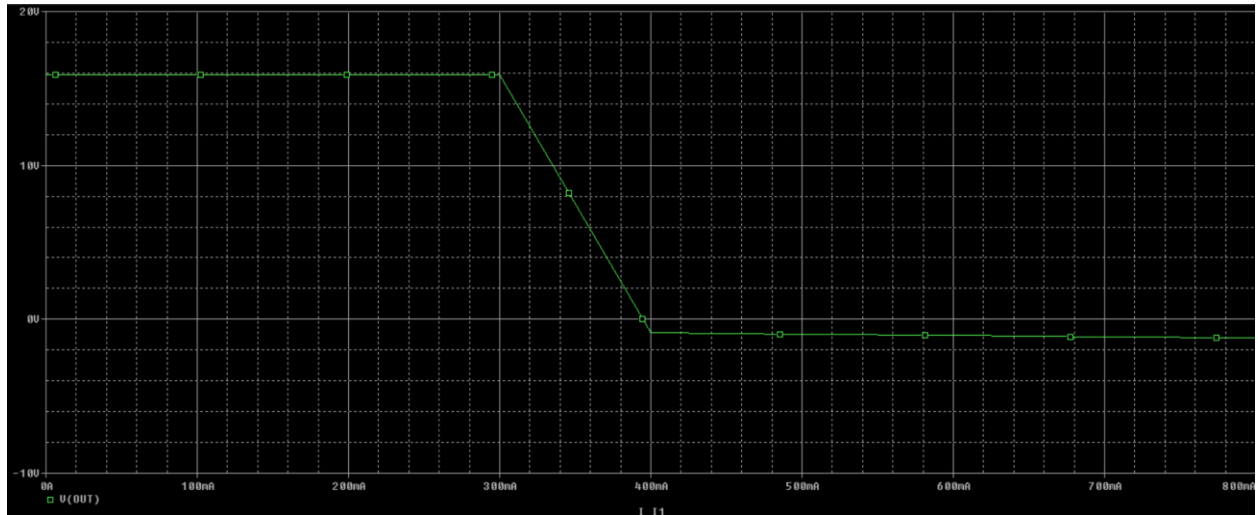


În imaginea următoare este evidențiată deriva termică a circuitului, care trebuie să fie mai mică de  $2 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ , conform cerințelor. Variația totală a tensiunii de ieșire este de  $34 \text{ mV}$  pentru un interval de temperatură de  $75^{\circ}\text{C}$ , ceea ce conduce la o derivă termică calculată de aproximativ  $0,48 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ . Acest rezultat demonstrează o performanță termică foarte bună a circuitului, respectând specificațiile impuse.



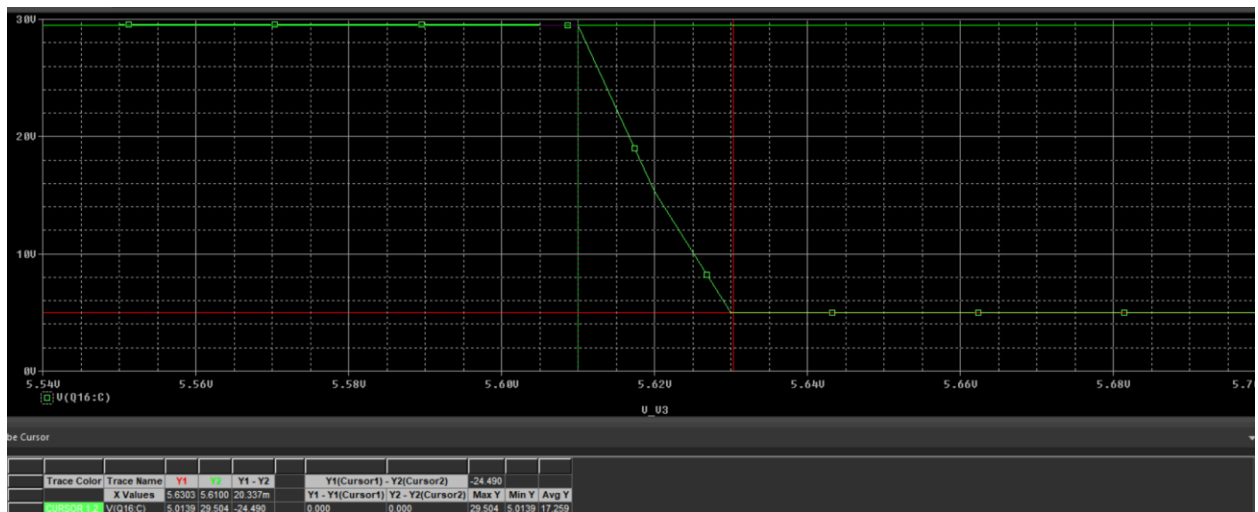
În continuare, se evidențiază funcționarea protecției la suprasarcină (protecția la curent), care asigură siguranța circuitului în cazul unui curent excesiv. Conform simulărilor, atunci când curentul depășește pragul de  $0,3 \text{ A}$ , tensiunea de ieșire

scade la 0 V. Acest comportament confirmă activarea corectă a mecanismului de protecție, prevenind deteriorarea componentelor și menținând integritatea circuitului.



## VII. Amplificare buclă deschisă

Pentru amplificarea într-o buclă deschisă, am eliminat feedback-ul negativ și am realizat simulări pentru a analiza impactul acestei modificări asupra comportamentului sistemului. Astfel, am determinat panta caracteristicii de amplificare, observând efectele asupra stabilității și performanței sistemului.



Din graphic reiese că panta, adică amplificarea în buclă deschisă este aproximativ 1204.

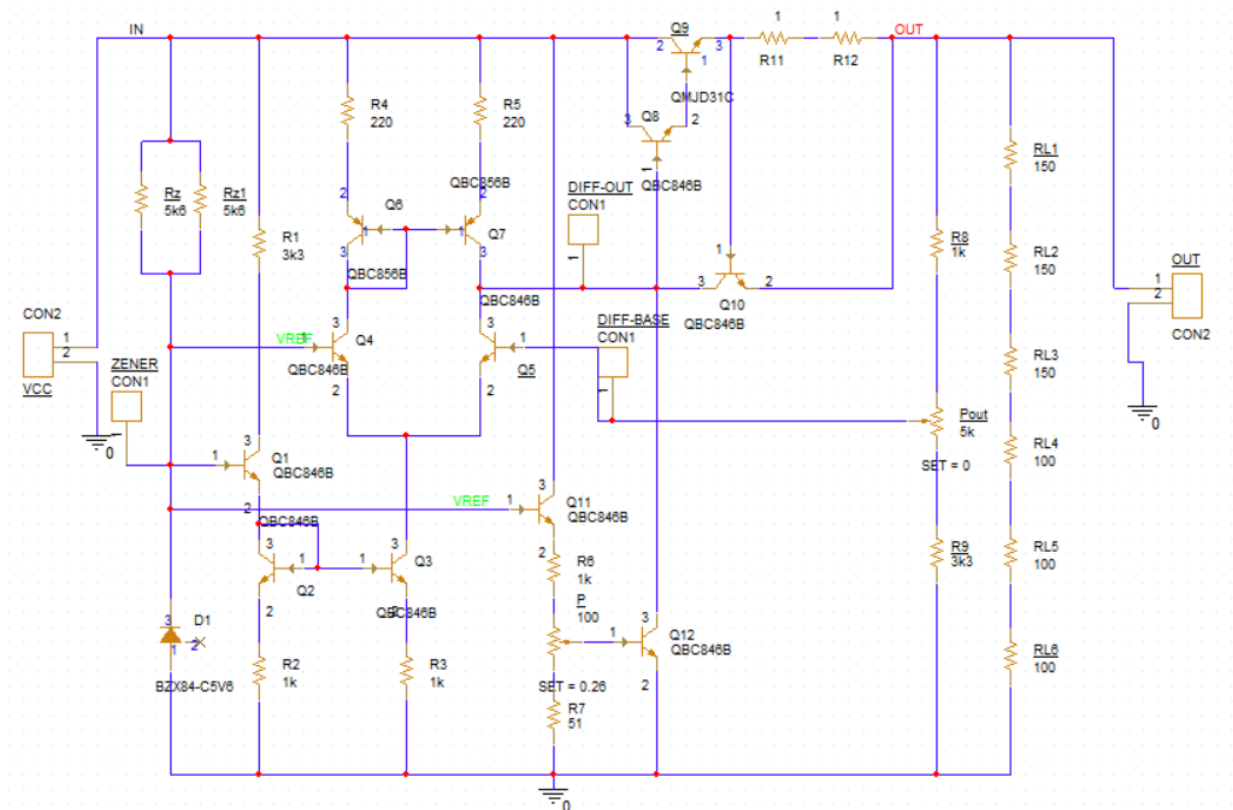
## VIII. BOM

Numele componentei	Număr folosire	Referință componente
QBC846B	9	$Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_8, Q_{10}, Q_{11}, Q_{12}$
SMD0805-1k-5%	4	$R_2, R_3, R_6, R_8$
SMD0805-100R-5%	3	$R_{L4}, R_{L5}, R_{L6}$
SMD0805-150R-5%	3	$R_{L1}, R_{L2}, R_{L3}$
SMD0805-220R-5%	2	$R_4, R_5$
SMD0805-5k6-5%	2	$R_z, R_{z1}$
SMD0805-1R-5%	2	$R_{11}, R_{12}$
SMD0805-3k3-5%	2	$R_1, R_9$
QBC856B	2	$Q_6, Q_7$
SMD0805-51R-5%	1	$R_7$
BZX84-C5V6	1	$D_1$
1804GSMD-100R	1	$P$
QMJD31C	1	$Q_9$
3314G-1-502E	1	$P_{out}$

## IX. Layout

În cadrul etapei de layout, au fost realizate mai multe modificări și optimizări pentru a îmbunătăți funcționalitatea și testabilitatea circuitului. S-au adăugat footprint-urile corespunzătoare componentelor din schemă, eliminând în același timp alimentarea inițială directă. Pentru a asigura o configurare mai flexibilă, s-au introdus jumpere cu 2 pini pentru alimentare și ieșire. De asemenea, au fost integrate trei puncte de test prin intermediul jumperelor cu câte un pin, având roluri specifice: verificarea tensiunii pe diodele Zener, evaluarea eficienței reacției negative și monitorizarea tensiunii de ieșire la nivelul diferențialului.

Aceste ajustări au fost realizate cu scopul de a facilita testarea și validarea circuitului în condiții practice.



În procesul de așezare a componentelor pe placă, s-a ținut cont de accesibilitatea și funcționalitatea acestora. Alimentarea, ieșirea și punctele de test au fost poziționate pe marginea plăcii, împreună cu potentiometrele, pentru a fi ușor accesibile utilizatorului. Tranzistorul de putere a fost amplasat în centrul plăcii, pentru a optimiza disiparea termică, iar tranzistorul responsabil cu detectarea temperaturii a fost poziționat cât mai aproape de perechea de tranzistori Darlington, pentru a asigura o monitorizare precisă și o reacție rapidă la variațiile de temperatură. Configurația a fost gândită astfel încât să îmbine performanța cu practicabilitatea.

De asemenea, plasarea conexiunilor între componente a fost optimizată astfel încât să fie necesare doar 8 via-uri, minimizând complexitatea rutării și maximizând eficiența designului.

