

UNIVERSITATEA POLITEHNICA din BUCUREŞTI

Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației

Departamentul de Dispozitive, Circuite și Arhitecturi Electronice

PROIECT 1 – DCE
Stabilizator de tensiune

Profesori coordonatori:

Ş.I. dr.ing. Miron Cristea
dr. ing. Niculina Drăghici

Student:

Popazu Andrei
Grupa 433C, Anul III

Bucureşti 2021

CUPRINS

1. Date inițiale de proiectare.....

1.1 Enunțul temei de proiectare.....	3
1.2 Schema bloc a montajului electric.....	3
1.3 Schema electrică a montajului electric.....	4

2. Conținut tehnic/științific al proiectului.....

2.1 Introducere.....	5
2.2 Descrierea funcționării schemei de proiectare.....	6
2.3 Proiectarea schemei electrice în ORCAD.....	9
2.4 BOM.....	9
2.5 Punctul static de funcționare (curent, tensiune, putere).....	10

3. Simularea montajului electric.....

3.1 Variația tensiunii de ieșire în funcție de variația tensiunii de intrare.....	17
3.2 Variația tensiunii de ieșire în funcție de variația temperaturii (protectie termică).....	18
3.3 Observarea derivei termice.....	20
3.4 Protecția la suprasarcină.....	21
3.5 Amplificarea în tensiune a amplificatorului de eroare (în buclă deschisă).....	23

4. Bibliografie și webografie.....

4.1 Bibliografie.....	24
4.2 Webografie.....	24

1. Date initiale de proiectare

1.1 Enunțul temei de proiectare (N =16)

Să se proiecteze și realizeze un stabilizator de tensiune cu ERS având următoarele caracteristici:

- Tensiunea de ieșire reglabilă în intervalul 8 – 16V;
- Element de reglaj serie;
- Sarcina la ieșire 800 Ohm;
- Deriva termică $< 2\text{mV}/^\circ\text{C}$;
- Protecție la suprasarcină prin limitarea temperaturii tranzistorului element de reglaj serie la $100\text{ }^\circ\text{C}$ și a curentului maxim la $0,4\text{A}$;
- Tensiune de intrare în intervalul $28.8 - 32$;
- Domeniul temperaturilor de funcționare: $0\text{ }^\circ\text{C} - 70\text{ }^\circ\text{C}$ (verificabil prin testare în temperatură);
- Amplificarea în tensiune minima (în buclă deschisă) a amplificatorului de eroare: minim 200;
- Semnalizarea prezenței tensiunilor de intrare/ieșire cu diodă de tip LED

Circuitul va fi proiectat și realizat sub forma unui modul electronic a cărui structură de interconectare va fi concepută în **Tehnologie SMT & PCB**.

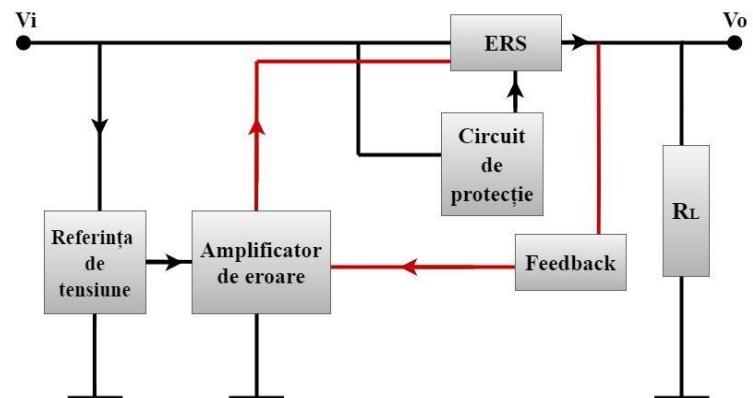
1.2 Schema bloc a montajului electric

Se observă în schemă componentele următoare:

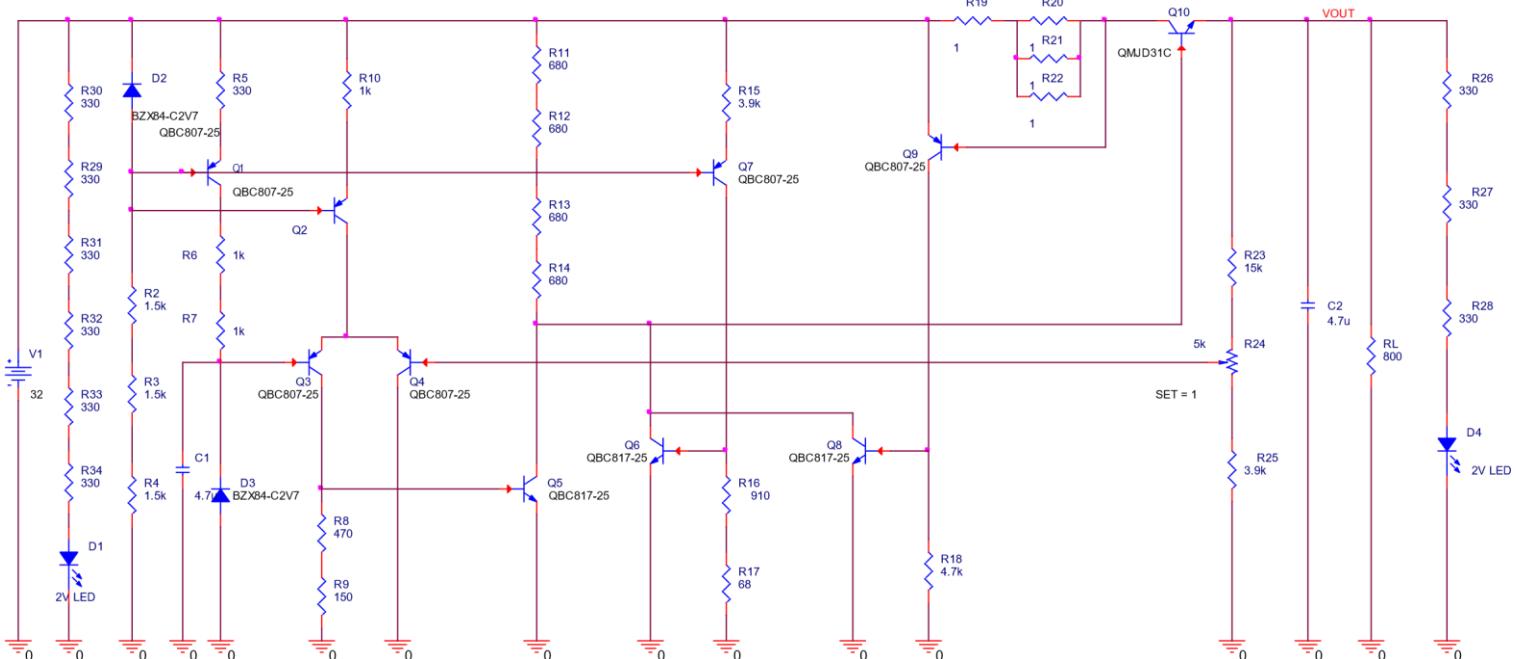
- Referință de tensiune;
- Amplificatorul de eroare;
- ERS – Elementul de reglaj serie;
- Circuitul de protecție;
- Feedback-ul;

Se utilizează o schema de stabilizator cu

element regulator serie (ERS) comandat de un amplificator de eroare care compara tensiunea data de referință cu tensiunea preluată de la ieșire prin rețea de reacție (feedback). La aceasta se adaugă și protecția la suprasarcină, prin limitarea temperaturii tranzistorului element de reglaj serie la $100\text{ }^\circ\text{C}$ și a curentului maxim la $0,4\text{A}$;



1.3 Schema electrică a stabilizatorului de tensiune cu ERS



Circuitul este compus din următoarele blocuri:

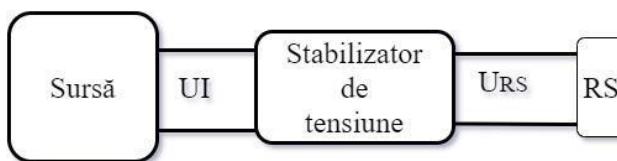
- **Referință de tensiune:** D3, împreună cu sursa de curent formată din D2, Q1, R5 și rezistențele R2,R3,R4;
- **Amplificatorul de eroare:** conține etajul diferențial format Q3,Q4, R8, R9, etajul emitor comun format din Q5, R11, R12, R13, R14, sursa de curent formată din Q2, R10, D2;
- **Circuitul de feedback:** R23, R25 și potențiometrul R24 (reglat prin SET)
- **Elementul de reglaj serie:** tranzistorul de putere Q10
- **Circuitul de protecție:** pentru limitarea curentului la 0.4A s-au folosit următoarele elemente: Q9, Q8, R18, R19, R20, R21, R22, iar pentru limitarea temperaturii tranzistorului element de reglaj serie la 100°C s-au folosit elementele de circuit: Q6, Q7, R15, R16, R17.
- **Semnalizarea cu diode LED:** au fost folosite două diode LED și rezistoarele R26-R34 care asigură un curent de aproximativ 15mA prin cele două diode.

2. Continut tehnic/stiintific al proiectului

2.1 Introducere

Pentru o funcționare corectă a aparaturii electronice și pentru asigurarea preciziei funcționării ei sunt necesare, în cele mai multe situații, tensiuni de alimentare constante. Acesta este motivul pentru care sunt utilizate stabilizatoarele de tensiune continua conectate între sursa de tensiune continua și sarcină.

Într-un circuit de alimentare, locul unui stabilizator este ilustrat în schema bloc din figura 1:

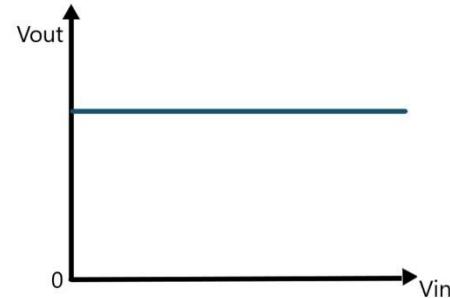


Sursa 7 adesea constituie dintr-un redresor cu filtru;
RS 7 rezistența de sarcină (consumatorul)

Figura 1

Rolul unui stabilizator ideal de tensiune este de a menține tensiunea de ieșire constantă în condițiile în care variază tensiunea de intrare, sarcina și temperatura. Deci, o caracteristică ideală a unui astfel de stabilizator ar fi practic o dreaptă orizontală, cum este ilustrat în figura 2. În cazul unui stabilizator real, nu se poate realiza o caracteristică perfect orizontală. Montajele reale se vor apropia de caracteristica de ieșire dorită în funcție de circuitele folosite.

Figura 2



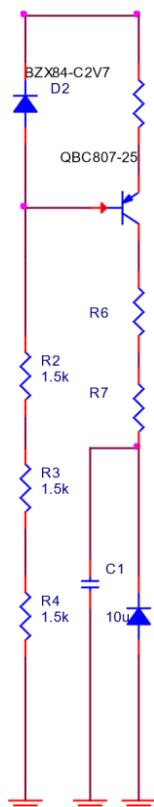
Există mai multe tipuri de stabilizatoare: parametrice, cu reacție, în comutație, însă cele mai utilizate sunt *stabilizatoarele liniare cu reacție*. Acestea se bazează pe utilizarea unei scheme de amplificator cu reacție negativă. În acest caz, tensiunea de ieșire se menține constantă printr-un proces de reglare automata la care tensiunea de ieșire sau o fracțiune din ea se compară cu tensiunea de referință. Semnalul diferență, numit și de eroare, este amplificat sau nu și comandă elementul de reglare a tensiunii de ieșire pentru a restabili valoarea precisă. Această categorie de stabilizatoare este divizată în 2 subcategorii: stabilizatoare liniare cu ERS și stabilizatoare liniare cu ERP. În lucrarea de față, se va proiecta un model de stabilizator cu element de reglaj serie.

Chiar dacă au scheme mai complexe, aceste stabilizatoare asigură un reglaj mai bun al tensiunii stabilizate și, în același timp, un randament mai mare, comparativ cu stabilizarea paralel. Uneori însă, pot apărea și probleme precum scurtcircuitarea accidentală a ieșirii la masă, care poate distrugе tranzistorul regulator serie. Pentru evitarea unor situații de acest tip: efectele unui scurtcircuit, stabilizatoarele sunt prevăzute cu circuite de protecție care limitează curentul prin sarcină la o anumită valoare (limitatoare de curent) sau circuite care deconectează alimentarea.

2.2 Descrierea funcționării schemei de proiectare

Se vor descrie blocurile ce constituie stabilizatorul liniar de tensiune cu ERS:

○ Referința de tensiune:



Referința de tensiune constă într-o diodă Zener având $V_z = 2,7V$, aleasă din anexa a, folosind codul BZX84-C2V7. Această diodă este polarizată [R5330](#) la un curent constant introdus de sursa de curent formată din:

- Tranzistorul pnp Q1, ales din anexa: QBC807-25;
- Dioda Zener D2 – BZX84-C2V7; -
- Rezistorul R5, 330 Ohm.

Pentru asigurarea faptului că dioda D2 este în stabilizare, am calculat ca

$I_{z2} > I_{zmin} = 5mA$. Considerând curentul de bază prin Q1 neglijabil în raport cu I_{zmin} , curentul I_{z2} este aproximativ egal cu curentul ce trece prin rezistențele R2-R4. Deci, $I_{z2} \cdot (R2+R3+R4) = 32 V - 2,7V = 29,3V$. Astfel, $I_{z2} = 29,3/4,5k = 6,51 mA$ (aprox) $> 5mA$.

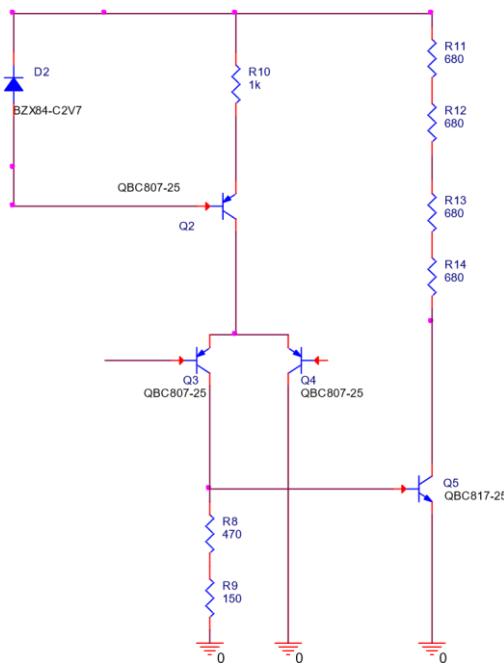
Din moment ce dioda D2 se află în stabilizare, iar tensiunea emitor-bază a tranzistorului este 0.6V, tensiunea pe rezistorul R5 este egală cu:

$$V_{R5} = V_{z2} - V_{EB1} = 2,1 V. Valorea rezistorului R5 a fost aleasă astfel încât$$

prin dioda de referință D3 să treacă un curent mai mare decât I_{zmin} , ceea ce se confirmă, deoarece $I_{R5} = 2,1/330 = 6,3mA$ (aprox) $> 5mA$. Astfel, dioda D3 (referința de tensiune) se află în stabilizare.

De asemenea, rezistoarele R6, R7 au fost plasate în schemă pentru a scădea puterea disipată de tranzistorul Q1, iar condensatorul C1, de 4.7uF a fost pus pentru a elimina eventualele variații bruște ale tensiunii de referință.

○ Amplificatorul de eroare



Se observă generatorul de curent constant compus din:

- Q2 – tranzistor pnp QBC807-25; -
- Dioda Zener D2 – BZX84-C2V7; -
- Rezistorul R10 de 1kOhm.

Am demonstrat anterior că dioda D2 se află în stabilizare, deci $V_Z = 2.7V$. Știm că tensiunea emitor-bază pe Q2 este aprox. 0.6V, ceea ce înseamnă că pe rezistorul R10 tensiunea este de 2.1V, generatorul de curent debitând astfel un curent de 2,1mA. Pentru etajul diferențial au fost alese tranzistoarele Q3 și Q4 – tranzistoare pnp QBC807-25.

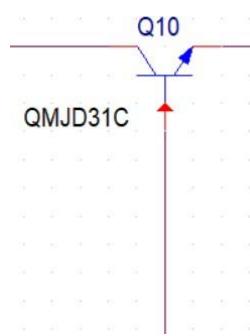
Valorile rezistențelor R8 și R9 au fost alese astfel încât tensiunea pe rezistența lor echivalentă să fie egală cu tensiunea V_{BE} a tranzistorului Q5. Deci tensiunea pe acestea este egală cu tensiunea de străpungere a joncțiunii emitorbază a lui Q5 la un curent de aproximativ

$I_{R8-9} = 1$ mA. Astfel, diferența de $2,1-1\text{mA}=1,1\text{mA}$ este preluată de tranzistorul Q4. Etajul emitor comun este compus

din tranzistorul Q5 – tranzistor npn – QBC817-25, împreună cu rezistențele R11-R14. Au fost alese 4 rezistențe de 680 Ohm, care au rezistența echivalentă

2720 Ohm, pentru ca puterea disipată de fiecare dintre acestea să se încadreze în valorile impuse în fișa de date.

○ Elementul de reglaj serie



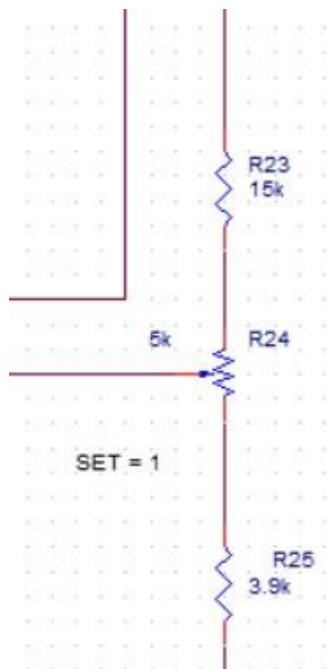
Elementul regulator serie a fost ales drept un tranzistor bipolar de putere, de tip QMJD31CG SMD, NPN, 100V, 3A, 15W. Puterea maximă disipată de acest tranzistor pentru rezistența de sarcină dată de 800 Ohm și o tensiune de alimentare de 32V este dată de relația:

Pentru V_{out} maxim se obține o putere maximă de 544mW pe acest tranzistor, fiind mai mică

$$P_{max} = (V_{in} - V_{out}) * \left(\frac{V_{out}}{R_L} + \frac{V_{out} - V_{led}}{R_{26} + R_{27} + R_{28}} \right)$$

decât puterea maximă admisibilă disipată de tranzistor la o temperatură ambientală de 75°C, după cum reiese din graficul Power Derating din fișa de catalog. De asemenea, la 100°C tranzistorul va fi blocat de circuitul de protecție termică.

○ Rețeaua de reacție – feedback

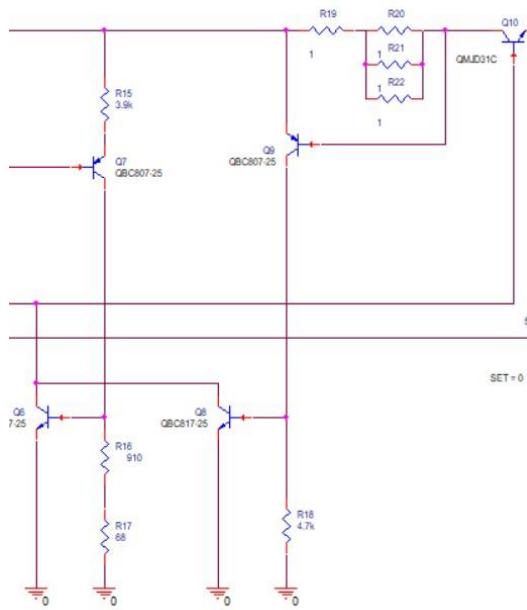


Rețeaua de reacție este formată dintr-un divizor de tensiune. Astfel că circuitul funcționează în felul următor: o parte din tensiunea de la ieșire este dată intrării inversoare (Q4) a amplificatorului de eroare, fiind comparată cu tensiunea dată de referință. Ținând cont că potențialul de pe intrarea inversoare a amplificatorului diferențial este constant egal cu tensiunea de referință, tensiunea de ieșire a stabilizatorului va fi calculată cu ajutorul acestei rețele, formată din două rezistoare și un potențiometru:

$$V_{out} = V_{ref} \cdot \frac{R23 + R24 + R25}{(1 - SET) * R24 + R25}$$

Rezistențele R23 și R25 au fost alese astfel încât Vout să se încadreze între 16,53V și 7,232V, un interval acoperitor pentru tensiunile de ieșire cerute, acestea fiind de 8-16 V.

○ Circuitul de protecție

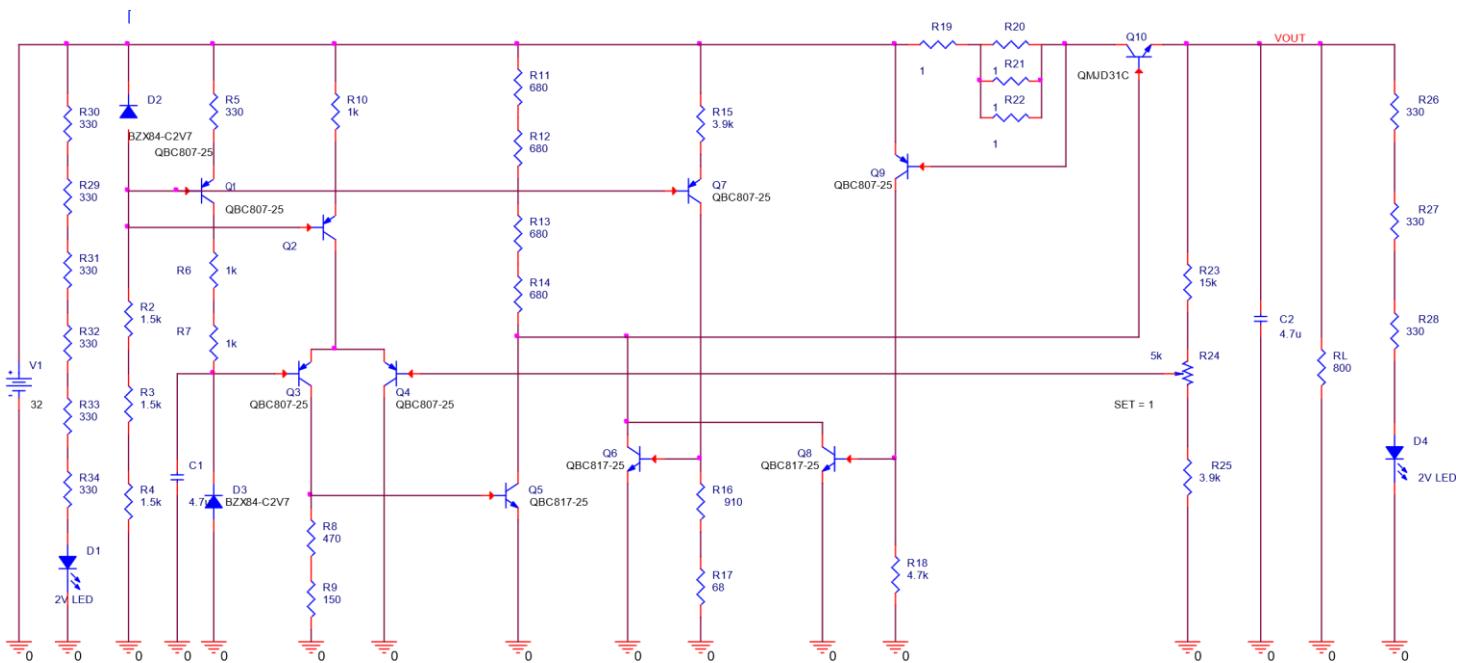


Circuitul de protecție este divizat în protecția la supratemperatură și protecția la supracurent.

Protecția termică este formată din sursa de curent compusă din Q7 și R15 și D2. Curentul generat are o valoare aproximativ egală cu $550\mu A$, iar la temperatura de $100^{\circ}C$, acesta asigura o tensiune pe rezistoarele R16, R17 egală cu V_{BEon} al tranzistorului Q6. Astfel, la temperatura dată, în momentul în care tranzistorul nu mai este blocat, acesta tragе currentul din baza elementului de reglaj, iar tensiunea de ieșire o să scadă la 0.

Protecția la supracurent este formată din tranzistoarele Q8, Q9 și rezistențele R18-R22. În momentul în care prin rezistoarele R19-R22 trece un curent de $0.4A$, se va deschide tranzistorul Q9, apărând astfel o tensiune pe R18 suficient de mare încât să deschidă tranzistorul Q8, care, la fel ca la protecția anterioară o să tragă curent din baza elementului de reglaj. De precizat faptul că au fost alese tranzistoare de același model ca în blocurile descrise anterior.

2.3 Proiectarea schemei electrice în Orcad



2.4 Bill of materials

Sunday, Saturday 13, 2021 21:00:50

Bill Of Materials

Item	Quantity	Reference	Part
------	----------	-----------	------

1	2	C1,C2	4.7u
2	2	D1,D4	2V LED
3	2	D2,D3	BZX84-C2V7
4	6	Q1,Q2,Q3,Q4,Q7,Q9	QBC807-25
5	3	Q5,Q6,Q8	QBC817-25
6	1	Q10	QMJD31C
7	1	RL	800
8	3	R2,R3,R4	1.5k
9	10	R5,R26,R27,R28,R29,R30,	330
		R31,R32,R33,R34	
10	3	R6,R7,R10	1k
11	1	R8	470
12	1	R9	150
13	4	R11,R12,R13,R14	680
14	2	R15,R25	3.9k
15	1	R16	910
16	1	R17	68
17	1	R18	4.7k
18	4	R19,R20,R21,R22	1
19	1	R23	15k
20	1	R24	5k

2.5 Punctul static de funcționare (current, tensiune, putere)

În simulările ce urmează se va ține cont de valorile tensiunilor de intrare 28.8 V – 32 V, precum și de poziția potențiometrului. Ținând cont de această poziție, în calculele anterioare s-a precizat faptul că intervalul tensiunilor de ieșire a fost ales acoperitor pentru intervalul cerut, astfel încât:

- pentru tensiunea de intrare de 28.8V:
 - ♦ SET = 0 ⑦ Vout = 7.231V
 - ♦ SET = 1 ⑦ Vout = 16.53V

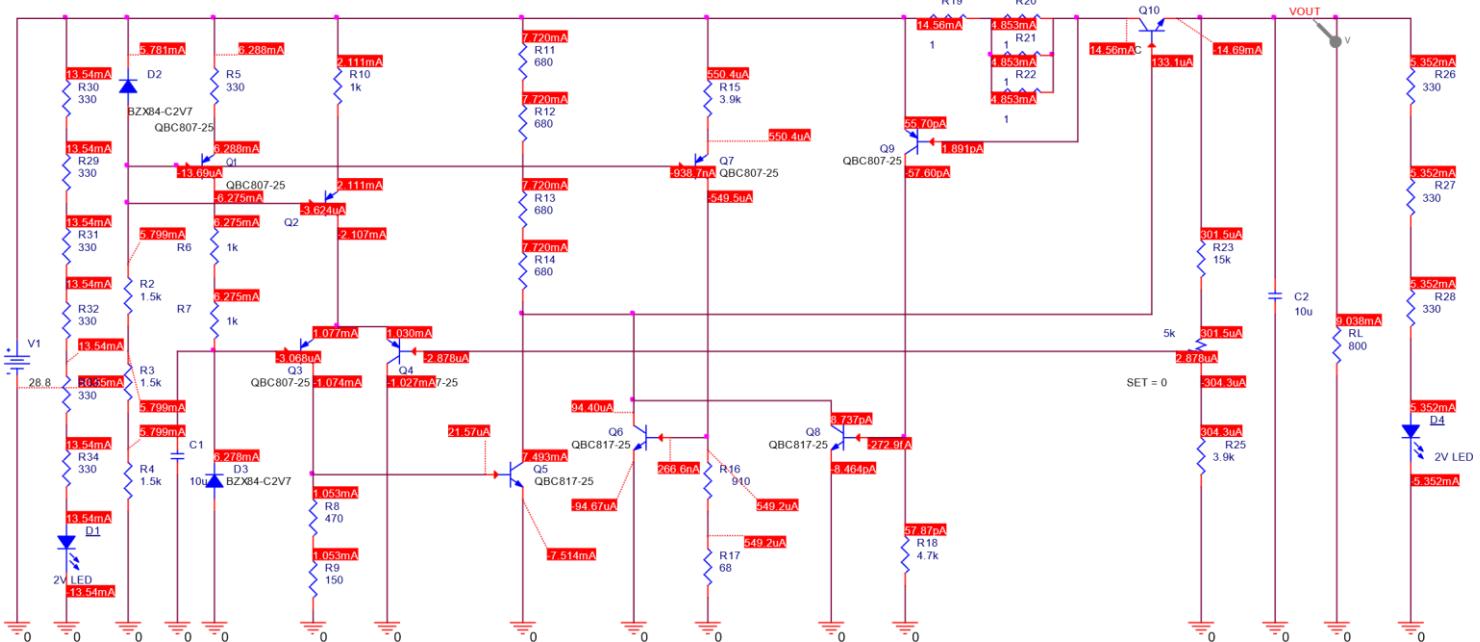
Deci, pentru această tensiune de intrare, intervalul în care ia valori tensiunea de ieșire este [7.231V;16.53V], interval ce cuprinde domeniul de valori cerut: [8V;16V].

- pentru tensiunea de intrare de 32V: ♦
 SET = 0 ⑦ Vout = 7.232V
 ♦ SET = 1 ⑦ Vout = 16.53V

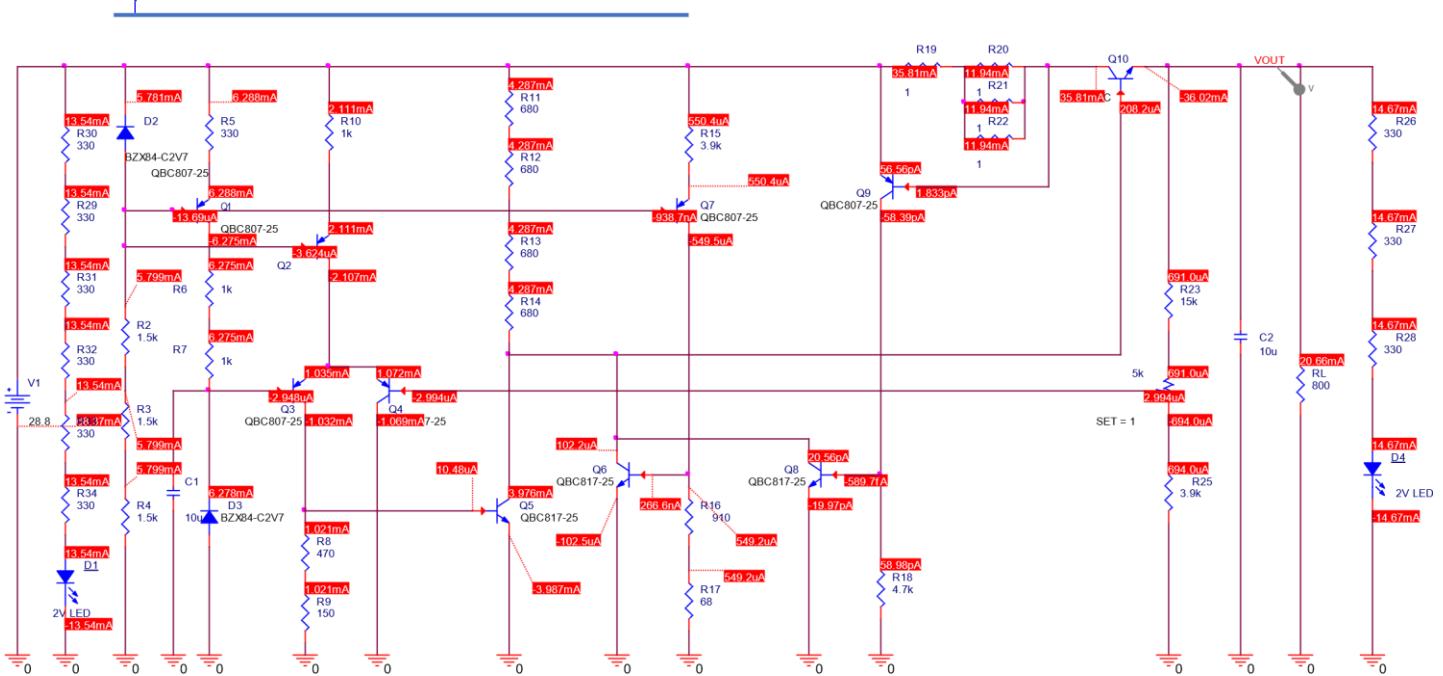
Deci, pentru această tensiune de intrare, intervalul în care ia valori tensiunea de ieșire este [7.232V;16.53V], — interval ce cuprinde domeniul de valori cerut: [8V;16V].

Se va face câte o analiză BIAS POINT pentru fiecare dintre cazurile următoare:

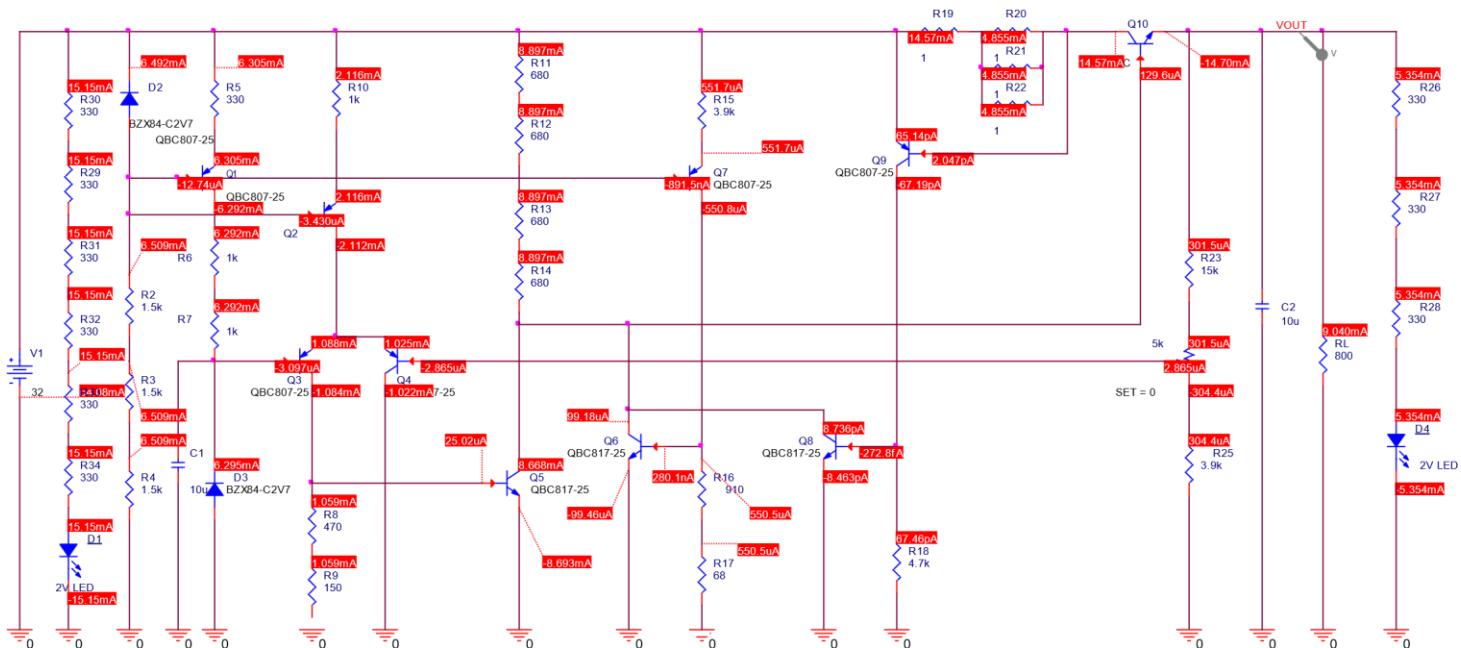
PSF – CURENTI – Vin = 28.8V – SET = 0



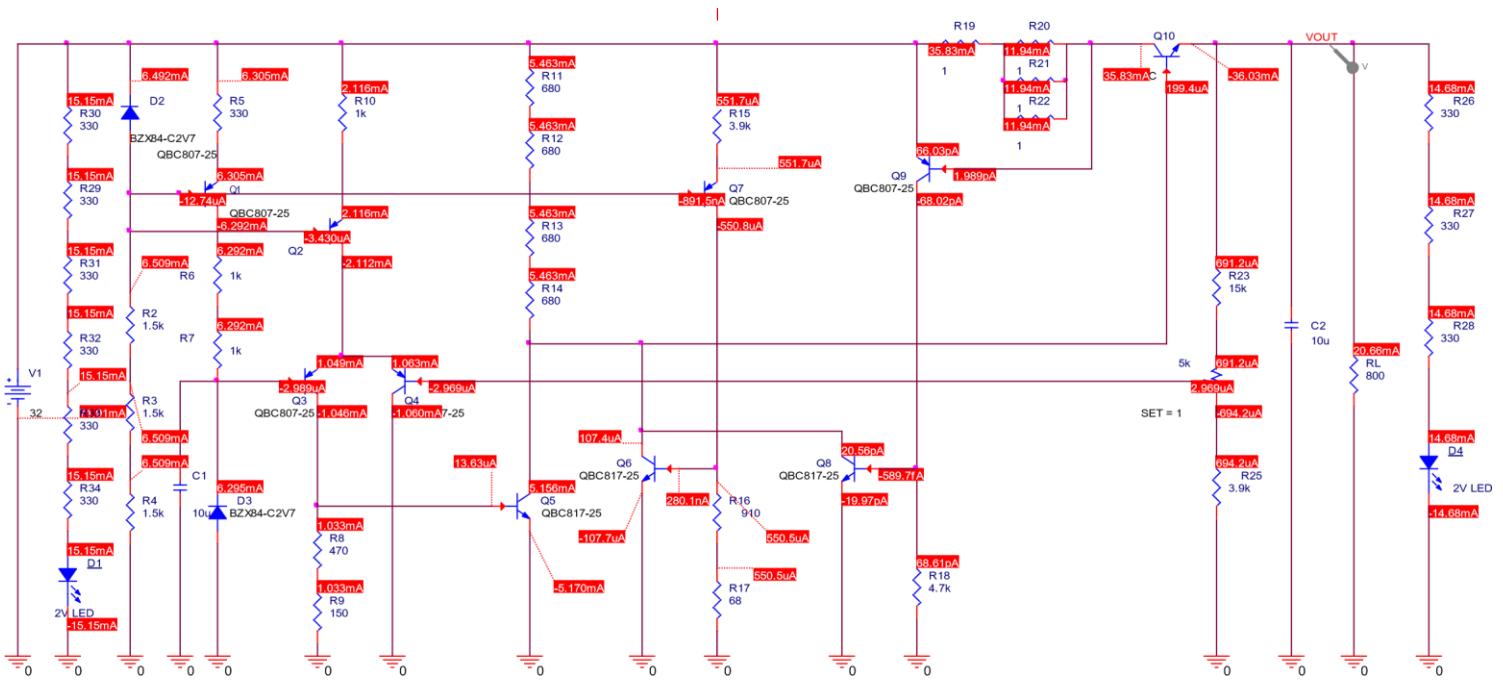
PSF – CURENTI – Vin = 28.8V – SET = 1



PSF – CURENȚI – Vin = 32V – SET = 0

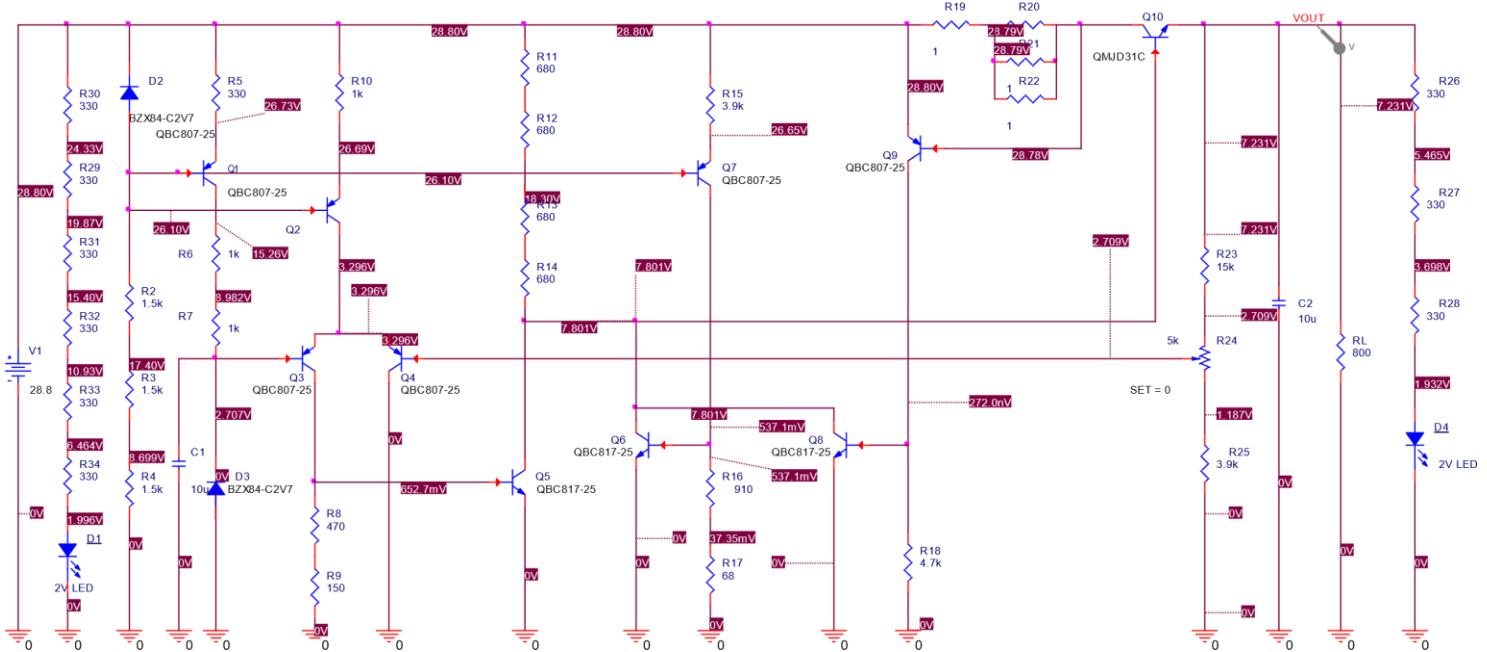


PSF – CURENTI – Vin = 32V – SET = 1

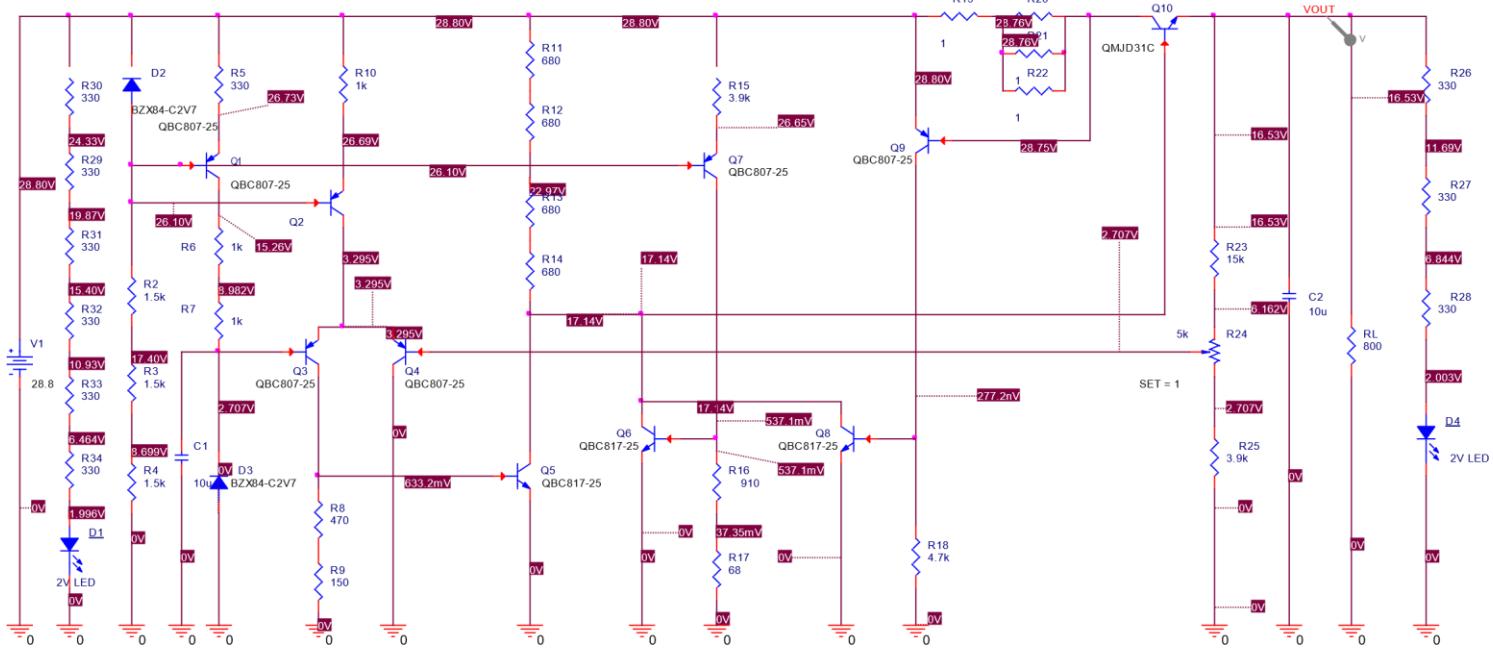




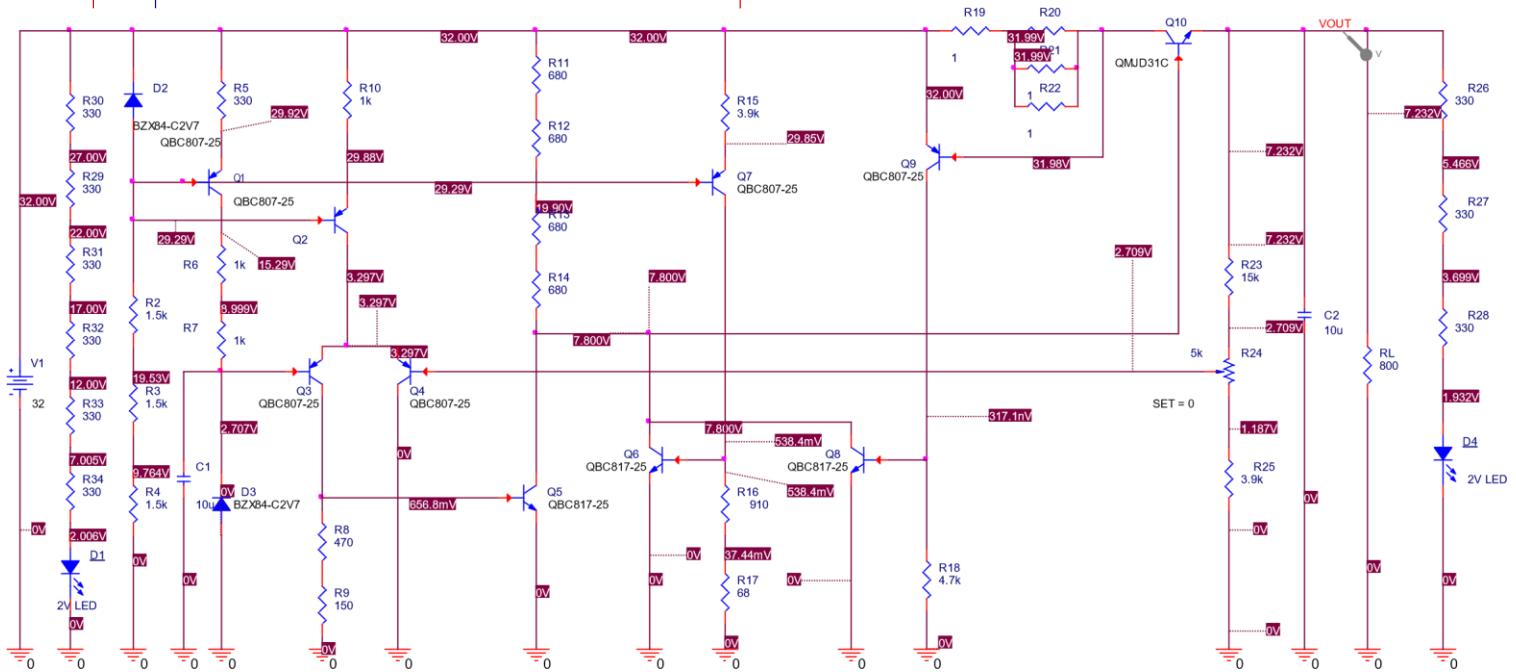
PSF – TENSIUNI – Vin = 28.8V – SET = 0



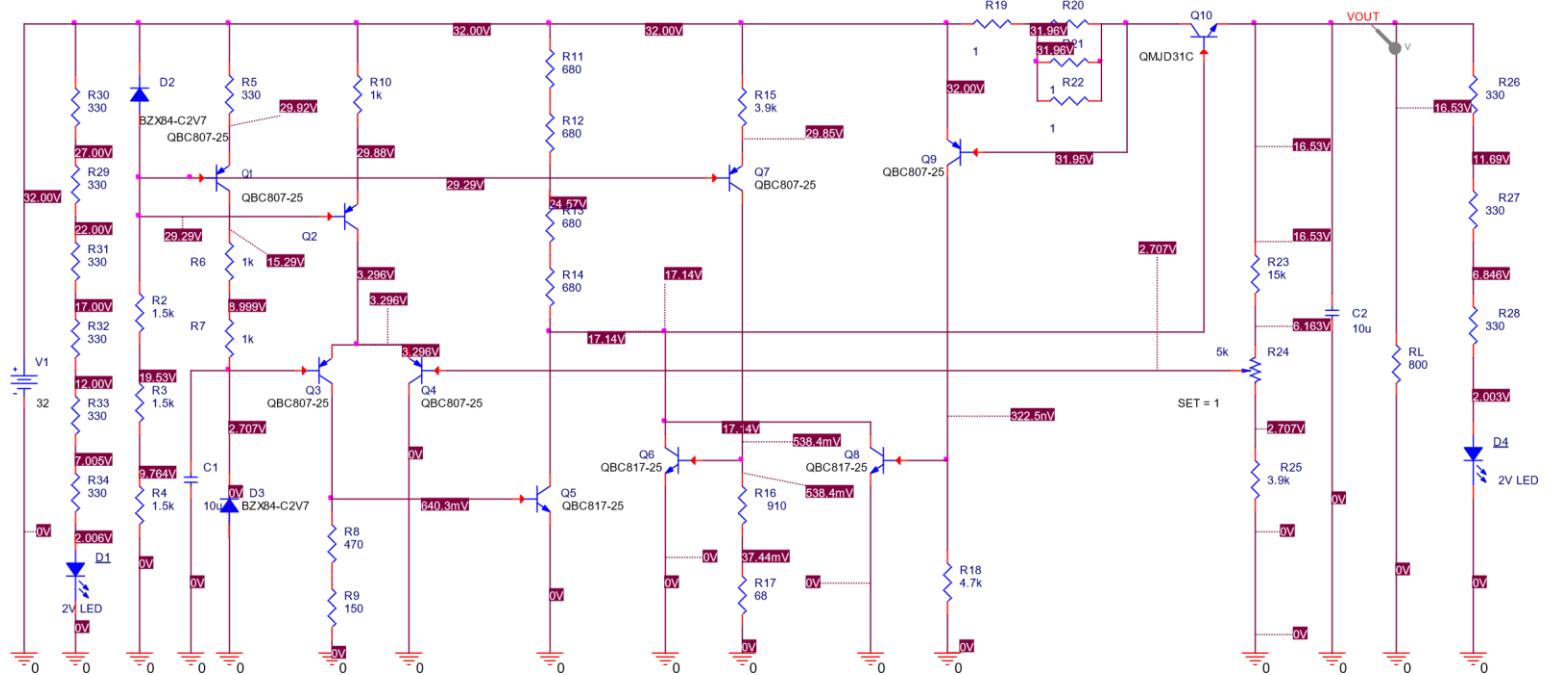
PSF – TENSIUNI – Vin = 28.8V – SET = 1



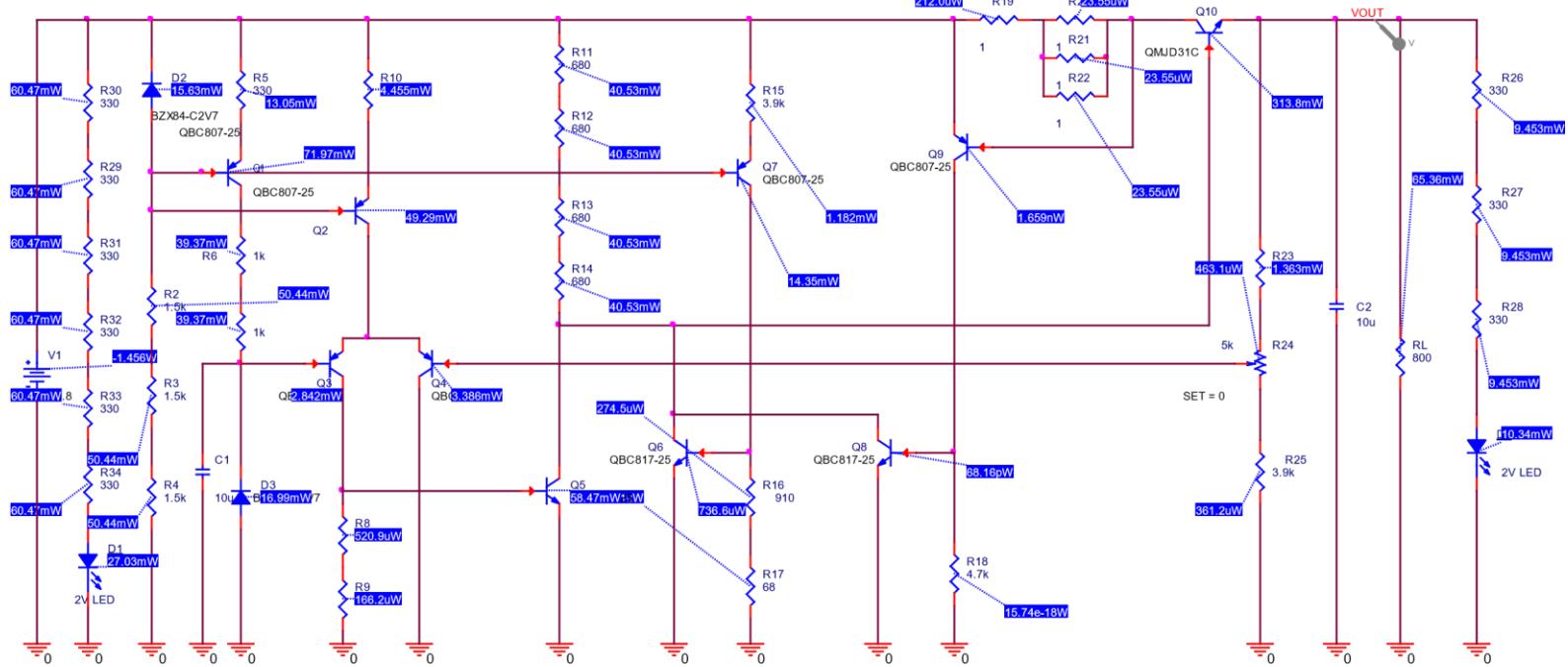
PSF – TENSIUNI – Vin = 32V – SET = 0



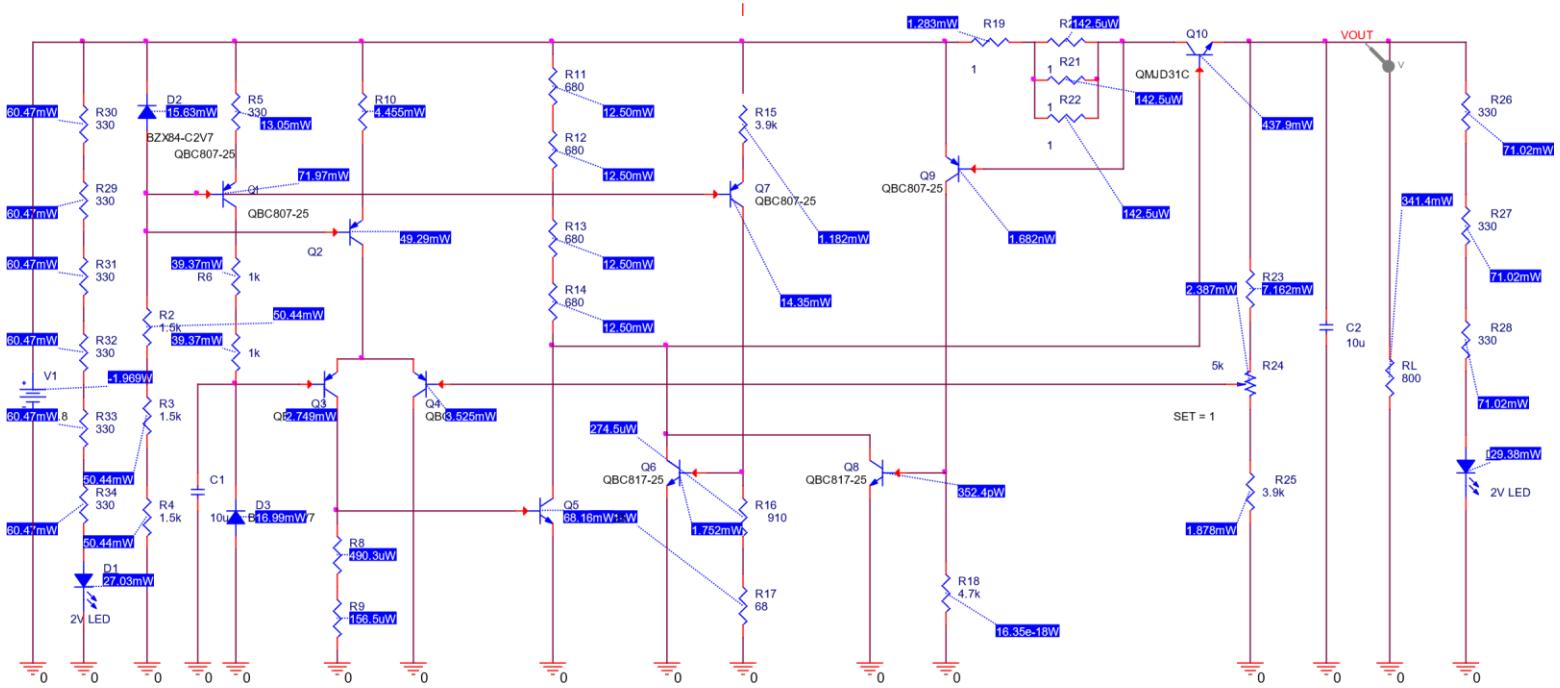
PSF – TENSIUNI – Vin = 32V – SET = 1



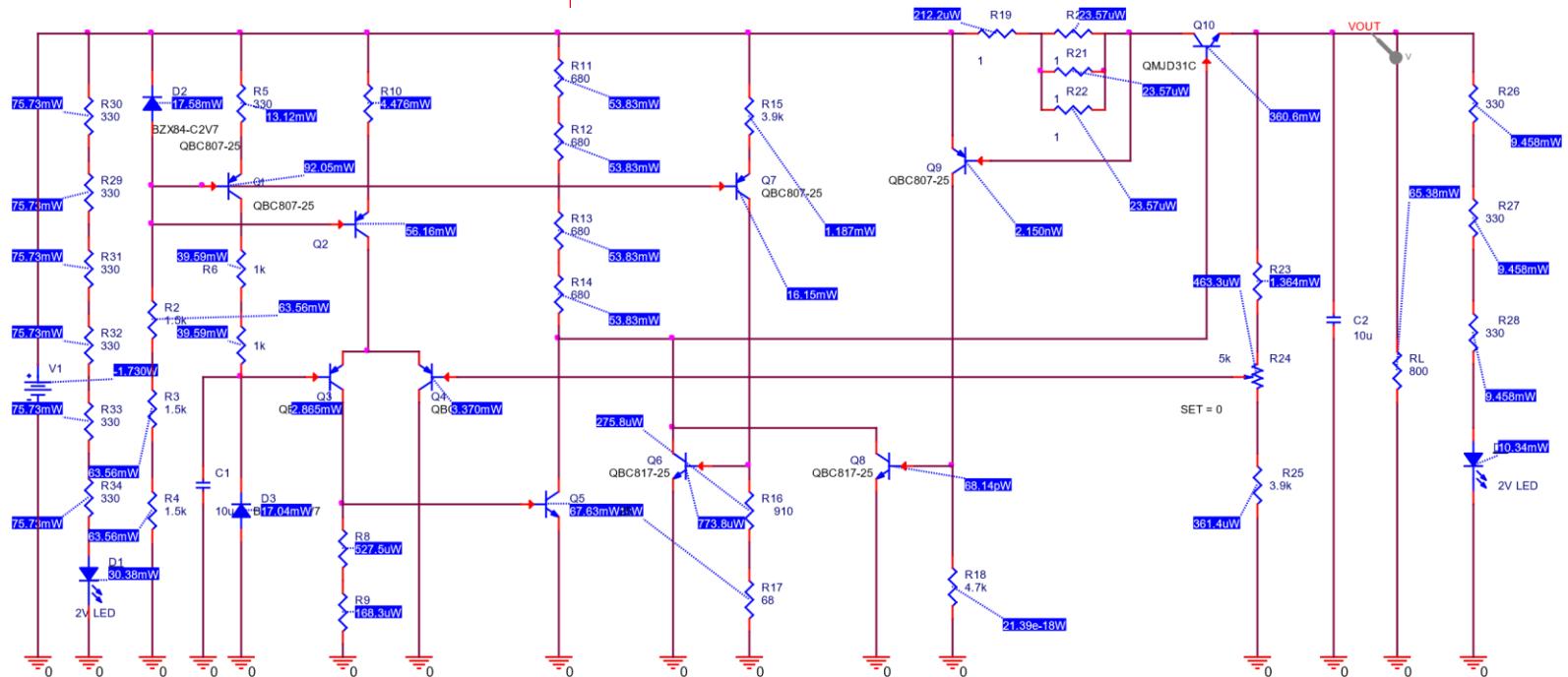
PSF – PUTERI – Vin = 28.8V – SET = 0



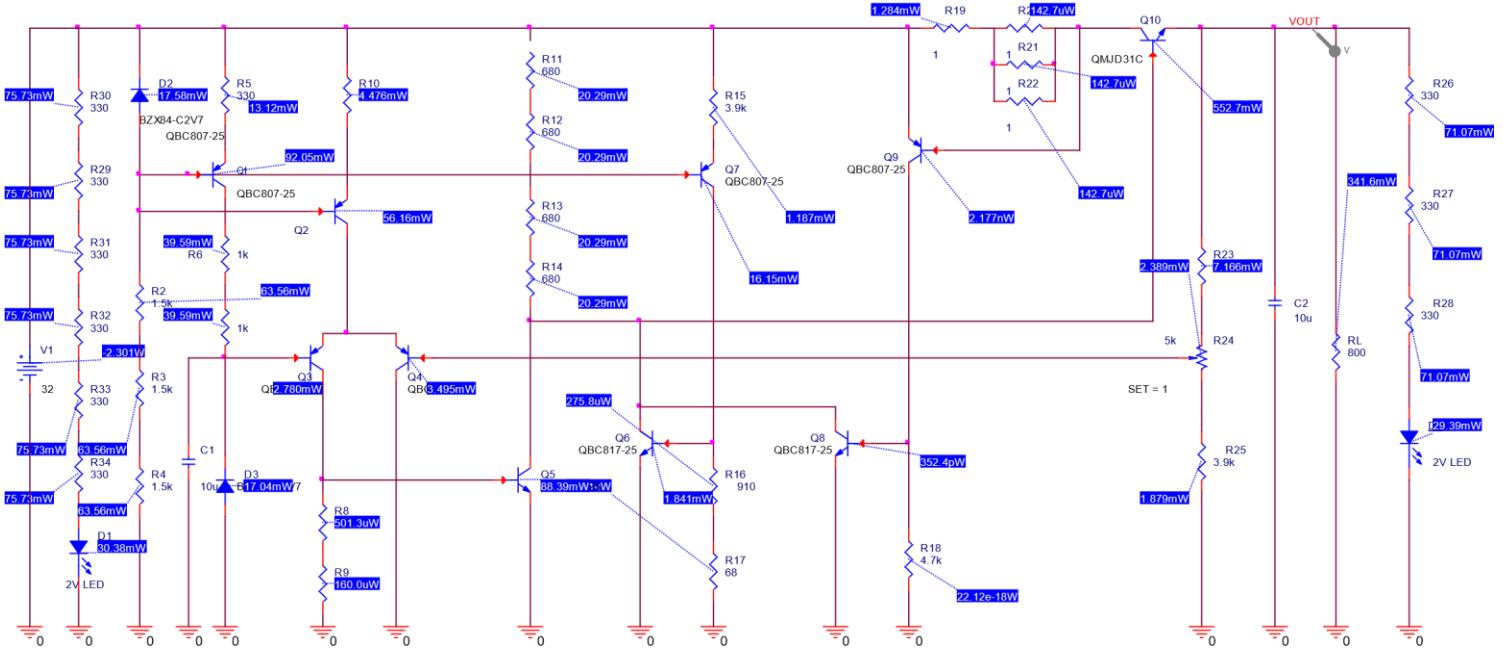
PSF – PUTERI – Vin = 28.8V – SET = 1



PSF – PUTERI – Vin = 32V – SET = 0



PSF – PUTERI – Vin = 32V – SET = 1

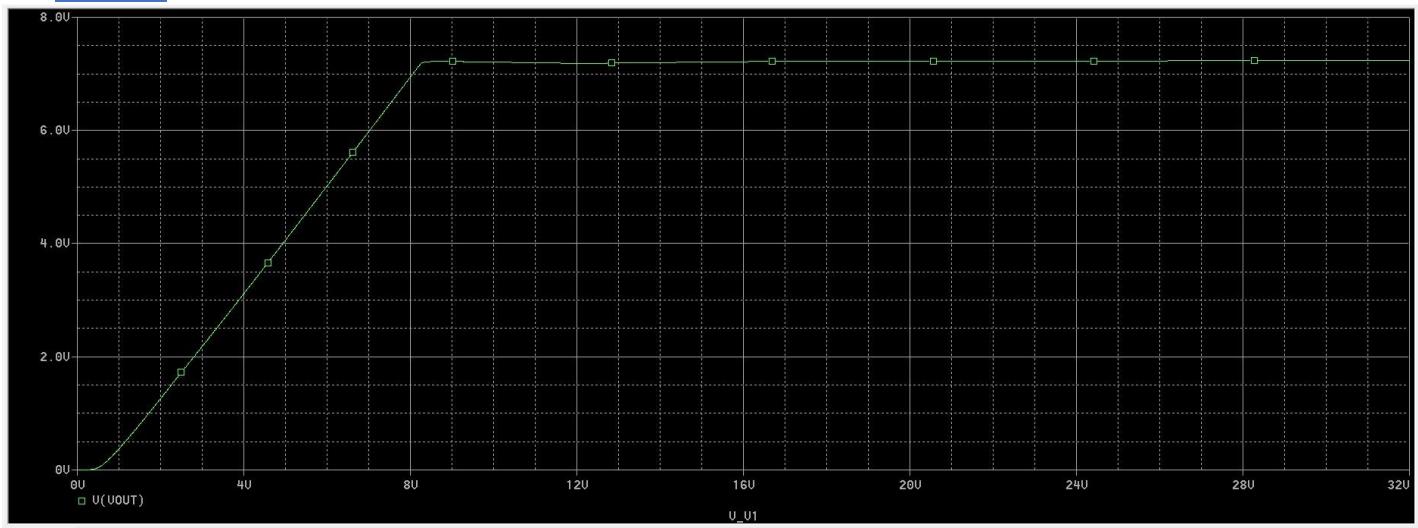


3. Simularea montajului electric

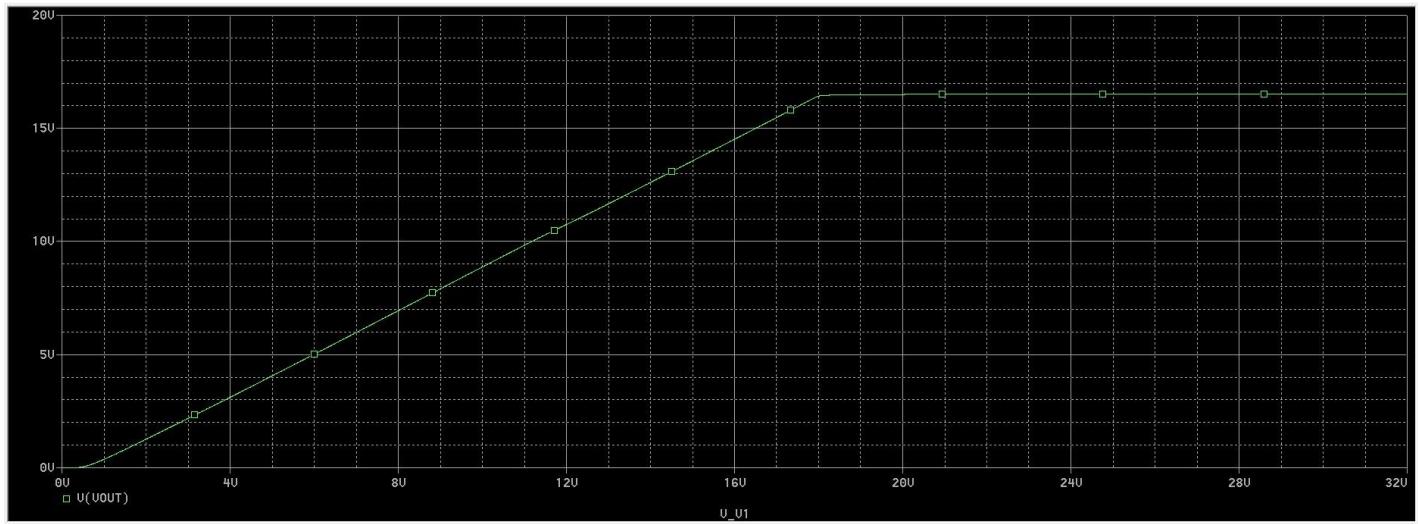
3.1 Variatia tensiunii de ieșire în funcție de variația tensiunii de intrare

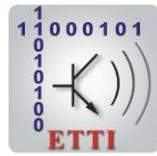
Pentru această simulare ne vom folosi de un marker de tensiune la ieșire și, de asemenea, de un net alias notat VOUT. Se va reprezenta graficul tensiunii de ieșire în funcție de tensiunea de la intrare în fiecare dintre cele 2 cazuri: SET = 0 și SET = 1.

SET = 0



SET = 1





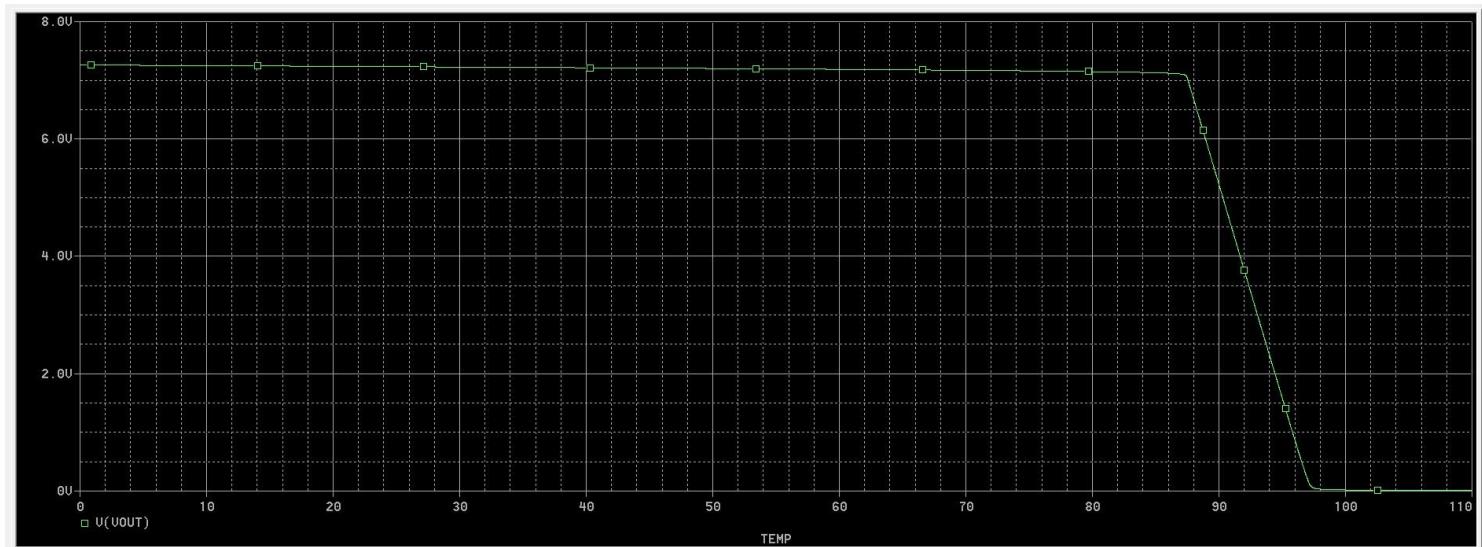
Observație: În ambele cazuri se observă cum tensiunea de ieșire se stabilizează la valorile din marginile intervalului acoperitor. Pentru alte reglaje ale SET-ului se pot stabiliza și tensiunile de 8V, respective 16V.

3.2 Variatia tensiunii de ieșire în funcție de variația temperaturii

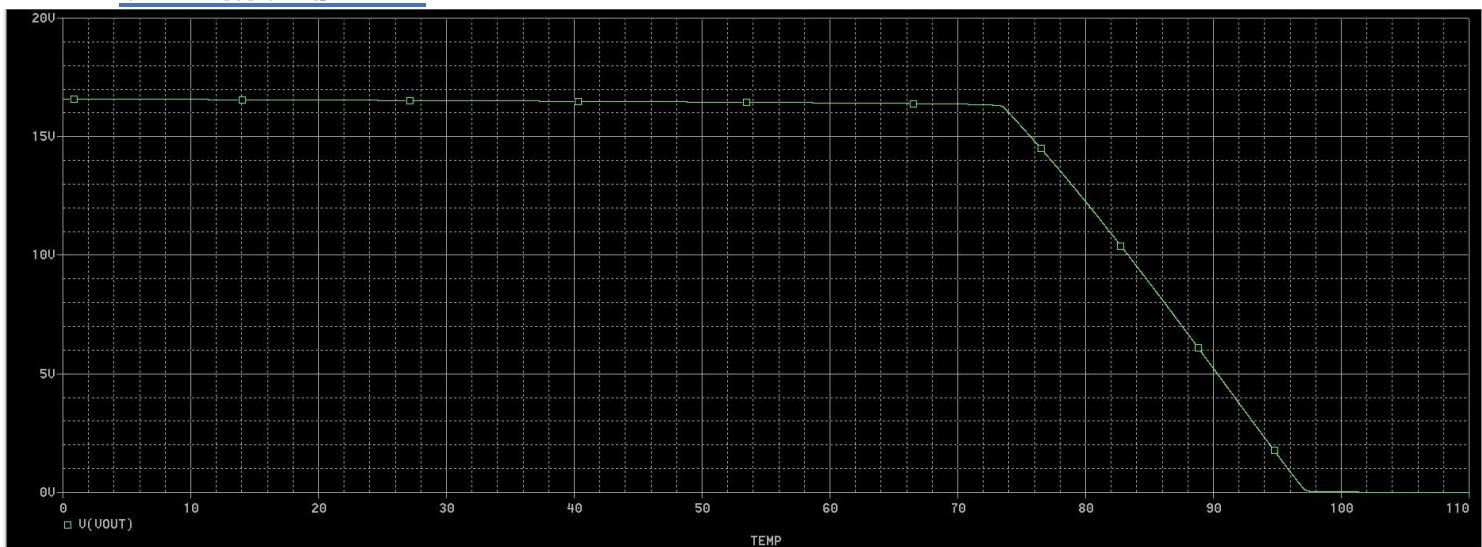
(protectia termică)

În această simulare vom analiza variația tensiunii de ieșire în funcție de variația temperaturii, ținând cont de ambele tensiuni de intrare, dar și de valoarea potențiometrului. Se va observa cum $V_{OUT} = 0$ la temperatura de 100°C , deci practic se verifică funcționarea protecției termice.

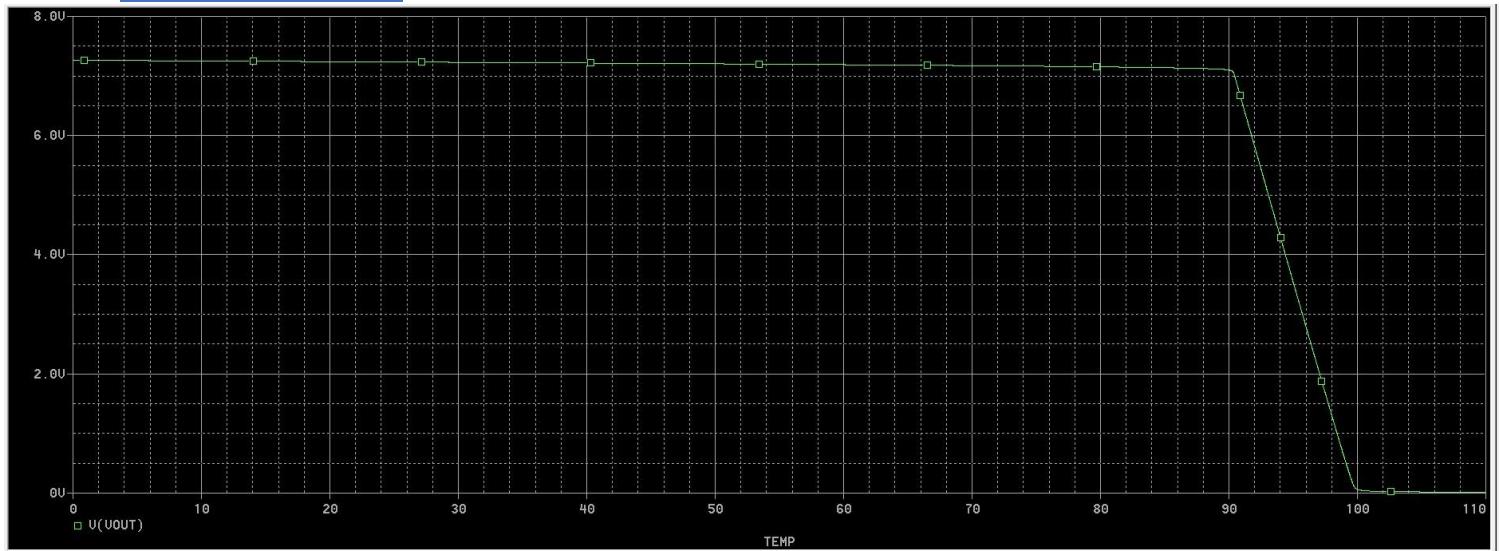
$V_{IN} = 28.8\text{V} - SET = 0$



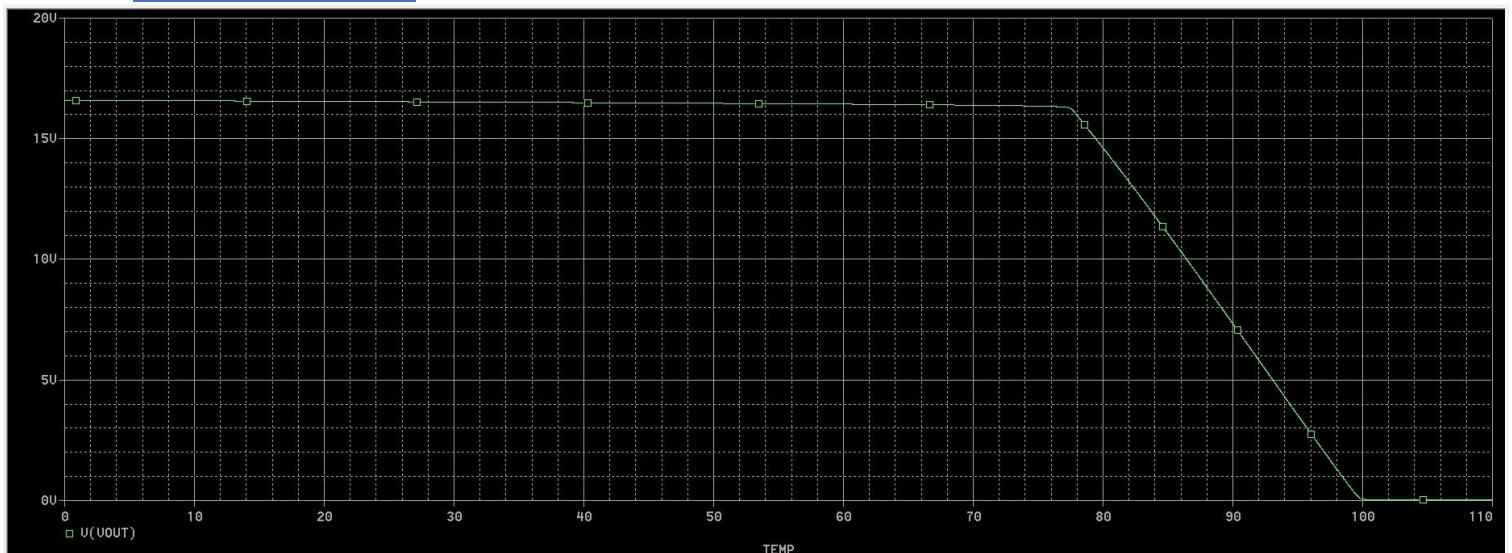
$V_{IN} = 28.8\text{V} - SET = 1$



Vin = 32V – SET = 0



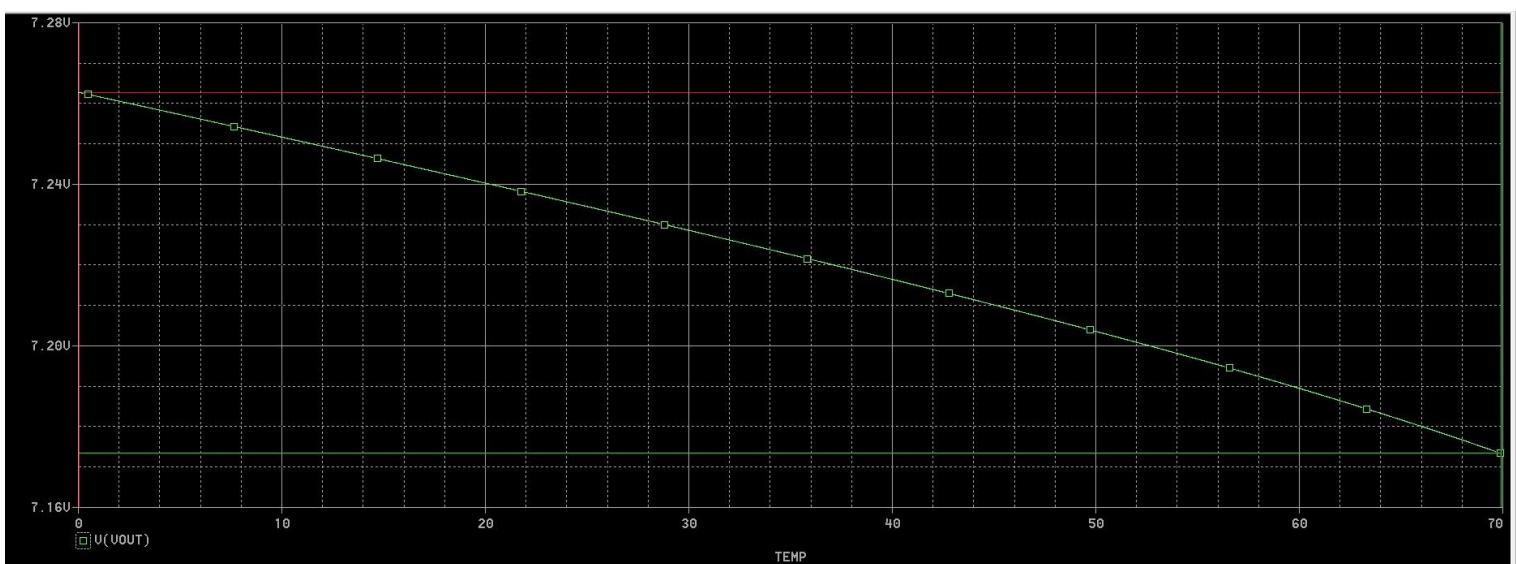
Vin = 32V – SET = 1



Observație: Pentru afișarea acestor grafice s-a făcut o simulare DC Sweep și s-a variat temperatura între o valoare de start de 0°C, o valoare de stop de 100°C și un increment de 0.01.

3.3 Observarea derivei termice

Observăm că deriva termică este aceeași cu panta graficului tensiunii V_{out} în funcție de temperatură. Astfel, folosind cei doi cursori plasați la 0°C și 70°C , se calculează automat diferența între y_1 și y_2 , care se împarte la intervalul de temperatură. Deci, din calcul se obține o valoare de $89.294\text{mV}/70^{\circ}\text{C} = 1.28 \text{ mV}^{\circ}\text{C} < 2 \text{ mV}^{\circ}\text{C}$

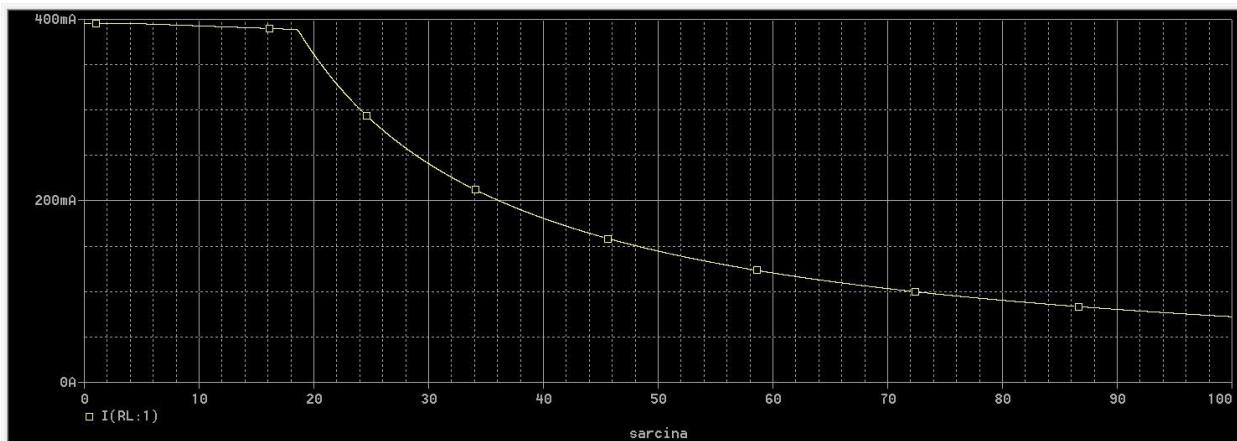


3.4 Protectia la suprasarcina

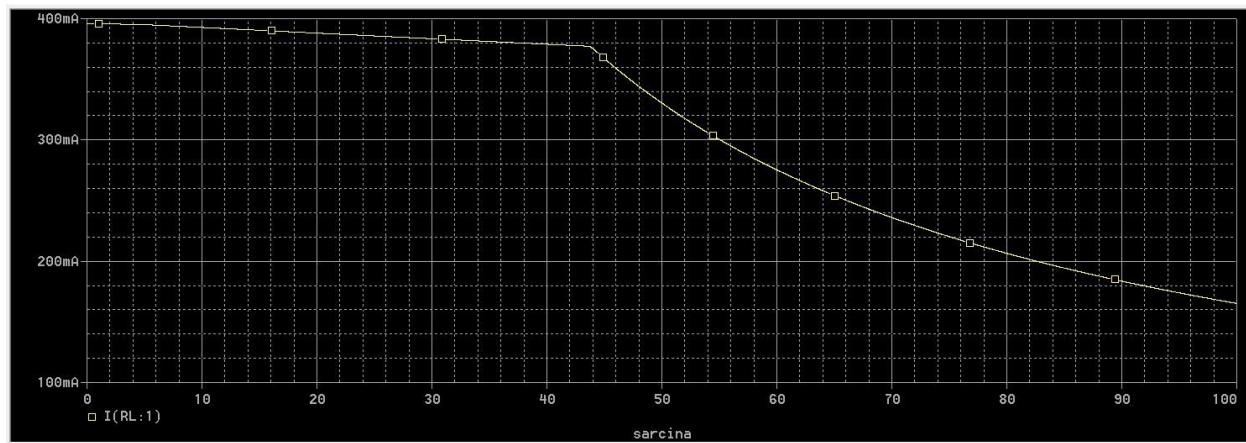
Se folosește o probă de curent, plasată la intrare în rezistență de sarcină pentru a putea vizualiza curentul la ieșirea stabilizatorului. De asemenea, folosim un parametru PARAM pentru a varia rezistența de sarcină RL. Astfel, vom face o simulare DC SWEEP ⑦ Global parameter ⑦ sarcina.

Se observă că în momentul în care rezistența de sarcină ia valori mici, curentul de ieșire din stabilizator se oprește la 0.4A. Tensiunea de ieșire începe să scadă din momentul în care curentul se stabilizează la valoarea cerută, deci pentru rezistențe de sarcină mici.

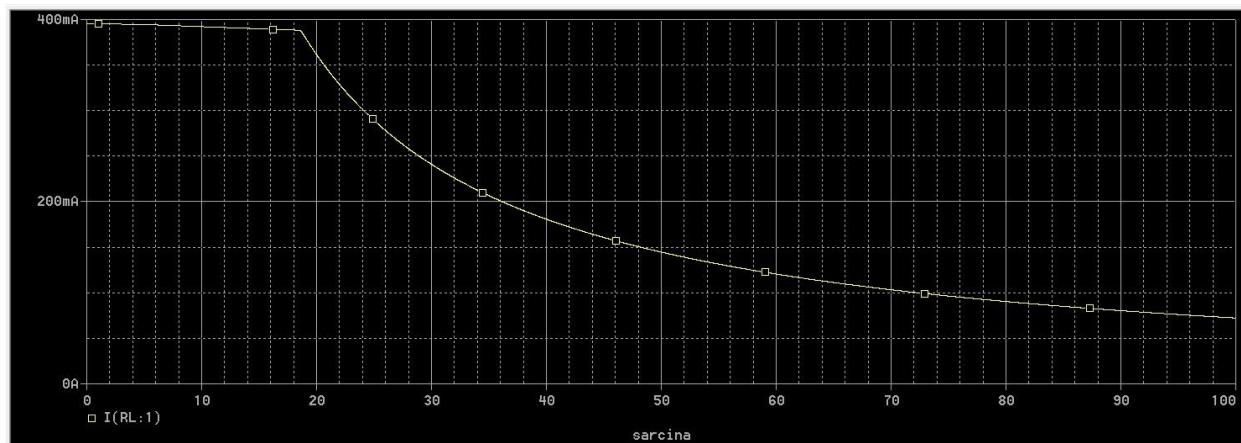
Vin= 28.8V – SET = 0



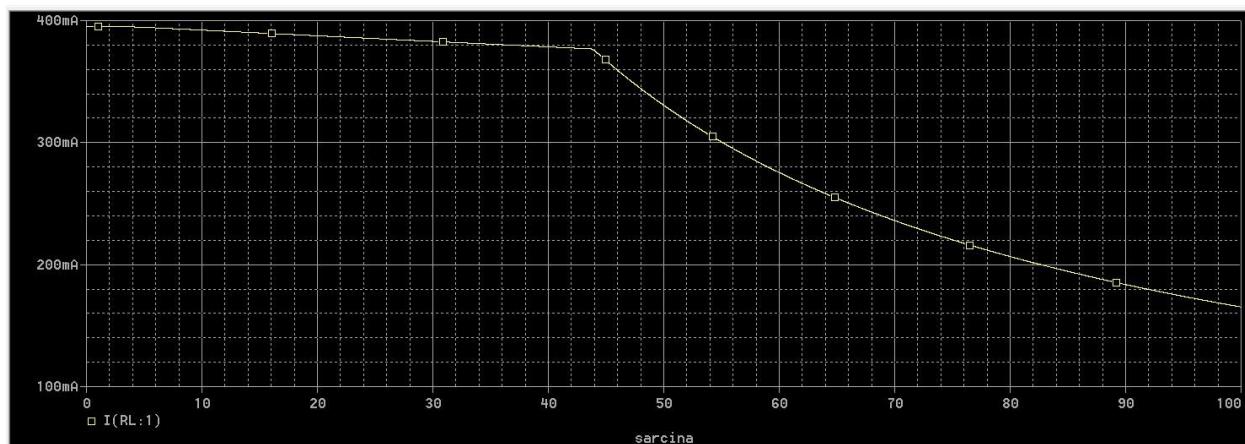
Vin= 28.8V – SET = 1



V_{in} = 32V - SET = 0



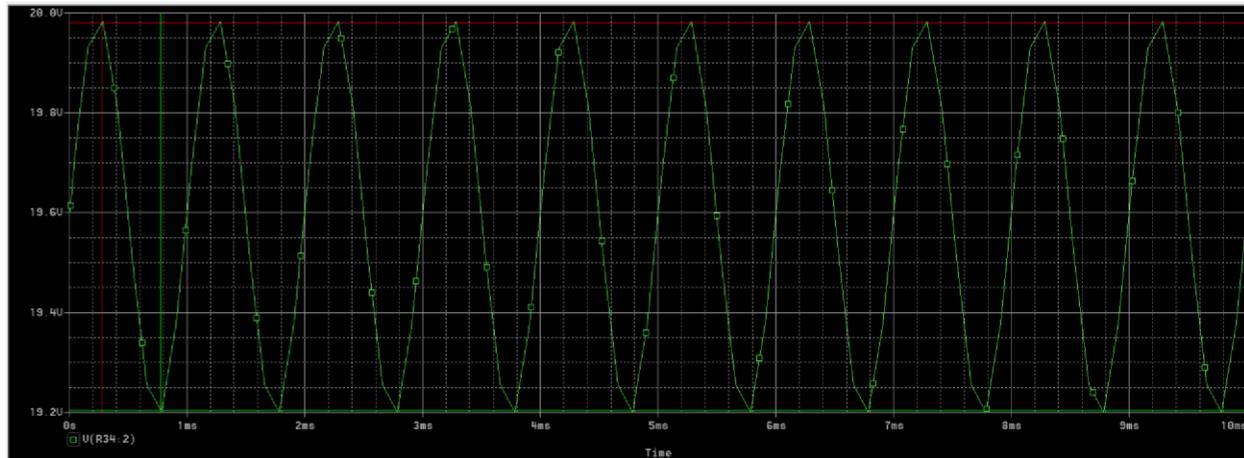
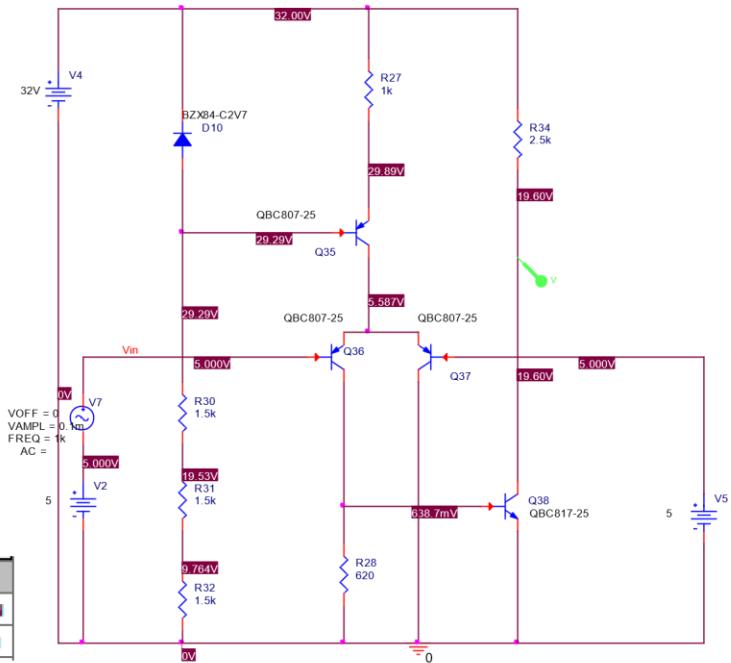
V_{in} = 32V - SET = 1



3.5 Amplificarea (în buclă deschisă) în tensiune a amplificatorului de eroare

Pentru a măsura această amplificare, am eliminat rețeaua de reacție negativă și am polarizat intrările amplificatorului de eroare, plasând câte o sursă de tensiune continuu în baza lui Q36 și Q37. De asemenea, la intrarea prin Q36 am plasat și o sursă de semnal sinusoidal, setând amplitudinea $V_{AMPL} = 0.1\text{mV}$, semnalul de intrare având deci o amplitudine vârf la vârf de 0.2mV . Am setat, de asemenea, frecvența de 1kHz . Realizând o analiză Time Domain (Transient), am obținut următorul grafic al semnalului de la ieșire:

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	277.376u	777.453u	-500.077u
CURSOR 1,2	V(R34:2)	19.980	19.204	775.879m



Se observă astfel, din măsurările efectuate folosind cei doi markeri, că amplitudinea vârf la vârf a semnalului de la ieșire este egală cu aproximativ 776mV . Amplificarea a fost calculată drept raportul între cele două amplitudini:

$$a = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{776\text{mV}}{0.2\text{mV}} = 3880 > 200$$

4. Bibliografie și webografie

4.1 Bibliografie

BREZEANU GH., DRĂGHICI F., DILIMOT GH., MITU F., Circuite electronice fundamentale, Bucureşti, Editura ROSETTI EDUCATIONAL, 2009

4.2 Webografie

<https://www.electronicshub.org/>

<https://www.electronics-tutorials.ws/>

<https://www.desmos.com/>