

UNIVERSITATEA POLITEHNICA din BUCUREȘTI

**Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației
Departamentul de Dispozitive, Circuite și Arhitecturi Electronice**



PROIECT 1 – DCE -Etapa de simulare- Stabilizator de tensiune cu Element de Reglaj Serie

Profesori coordonatori:

Cristea Miron
Drăghici Niculina

Student:

Neata Adrian-Mihai
Grupa 433C
Anul III

București 2021

CUPRINS

1. Copertă

2. Cuprins

3. Date inițiale de proiectare

3.1 Enunțul temei de proiectare

3.2 Schema bloc a montajului electric

3.3 Schema electrică a montajului electric

4. Conținut tehnic/științific al proiectului

4.1 Descrierea funcționării schemei de proiectare

4.2 Proiectarea schemei electrice și determinarea puterilor consumate de componente

4.3 „Bill of materials” (BOM)

5. Simularea montajului electric

5.1 Variația tensiunii de ieșire în funcție de variația tensiunii de intrare

5.2 Variația tensiunii de ieșire în funcție de poziția potentiometrului

5.3 Variația tensiunii de ieșire în funcție de temperatura

5.4 Derivarea termică la temperaturi normale de funcționare

5.5 Variația curentului de ieșire în funcție de rezistența de sarcină

6. Bibliografie

3.Date initiale de proiectare

3.1 Tema de proiectare

Tema proiectului este proiectarea unui stabilizator de tensiune cu element de reglaj serie cu urmatoarele specificatii:

-Tensiune de iesire reglabila in intervalul 8.5-17V

-Sarcina la iesire de 850 Ω

-Derivatie termica < 2mV/ $^{\circ}\text{C}$

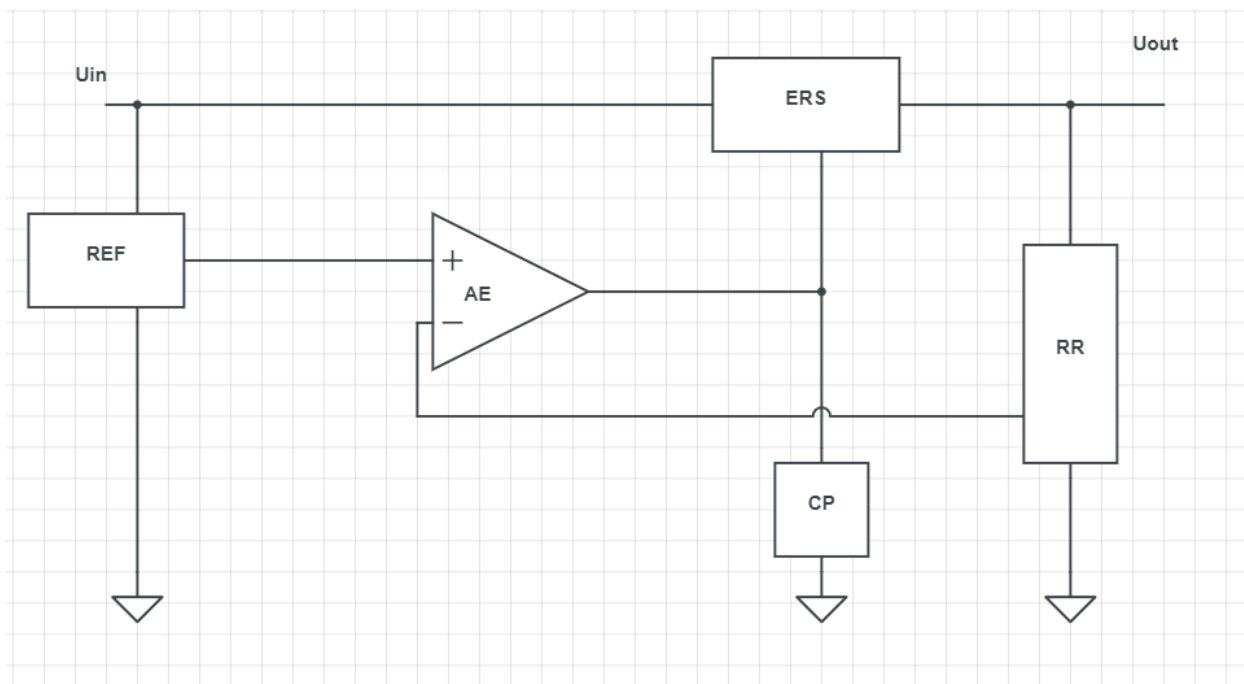
-Tensiunea de alimentare intre 30.6 si 34V

-Protectie la suprasarcina prin limitarea temperaturii elementului de reglaj serie la 100 $^{\circ}\text{C}$ si limitarea curentului de iesire la 0.4A.

Stabilizatorul va fi construit folosind doar tranzistoare BJT sau MOS-FET , iar toate componentele vor fi de tipul SMD, circuitul fiind proiectat pe un PCB.

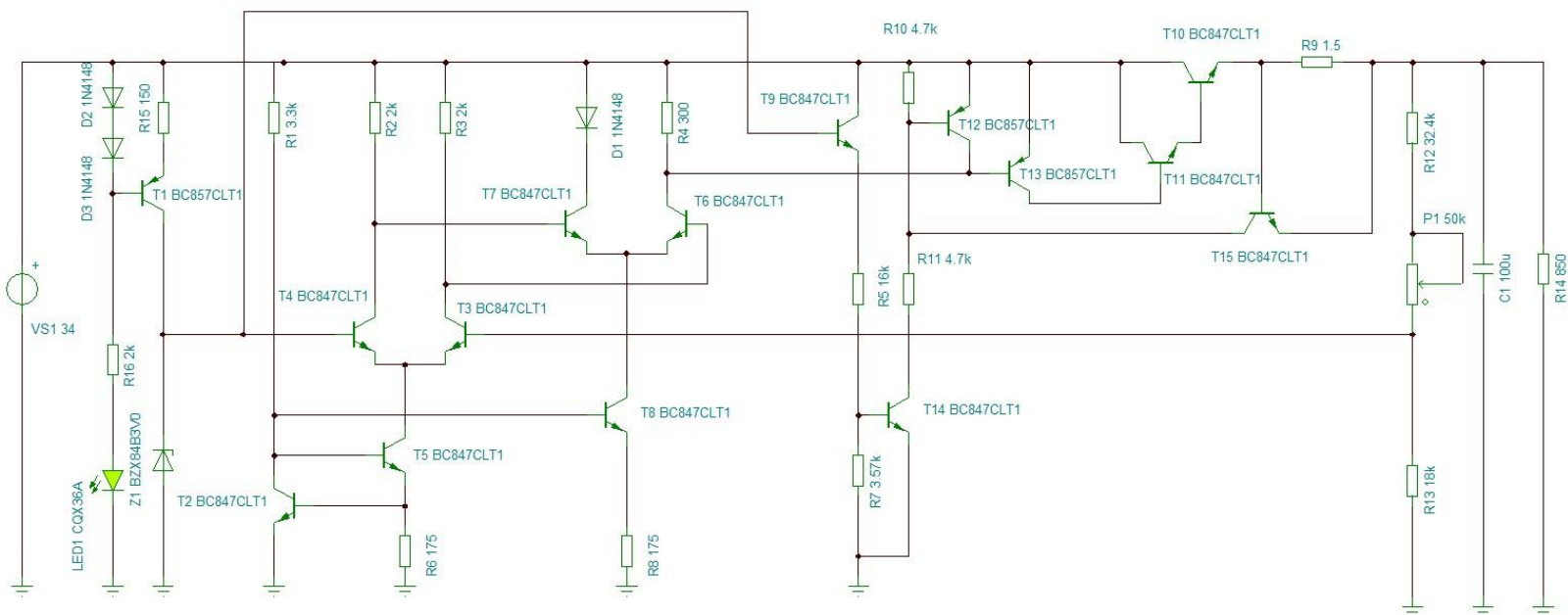
Domeniul de functionare in temperatura este de 0-70 $^{\circ}\text{C}$, iar prezenta la iesire si la intrare a tensiunii va fi detectata de un LED.

3.2 Schema bloc a montajului electric



Schema bloc a stabilizatorului consta in **circuitul de referinta** (REF) care creeaza o tensiune de referinta, fixa. Blocul AE reprezinta **amplificatorul de eroare** care compara tensiunea de referinta cu tensiunea preluata de la iesire din **retea de reactie** (RR). ERS este blocul ce formeaza **elementul de reglaj serie** care este comandat de amplificatorul de eroare. La acesta se adauga **circuitul de protectie** (CP) la suprasarcina care limiteaza curentul de iesire si temperatura de functionare a ERS-ului.

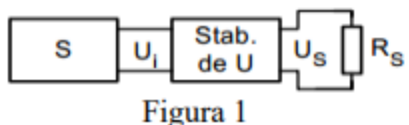
3.3 Schema electrică a montajului electric



4. Conținut tehnic/științific al proiectului

4.1 Descrierea funcționării schemei de proiectare

Pentru multe aplicatii in electronica avem nevoie de o alimentare constanta si fixa, fara variatii neasteptate, fie pentru precizia montajului electric sau fiabilitatea acesteia. Din aceste motive, intre alimentare si circuitul propriu -zis se monteaza un stabilizator de tensiune, acesta tinand tensiunea de iesire constanta, indiferent de variatiile alimentarii sau a sarcinii.



Conform schemei bloc de mai sus putem reprezenta pentru ce se foloseste acest circuit de stabilizare, R_s reprezentand rezistenta de intrare a oricarui circuit pentru care dorim o alimentare constanta, iar sursa S alimentarea care nu este la fel de stabila pe cat am dori.

Un stabilizator ideal mentine tensiunea de iesire constanta in orice conditie de temperatura, sarcina, variatii ale sursei de tensiune etc. Totusi, in realitate nu o sa avem o iesire ideala unde caracteristica de transfer este complet dreapta ($dU_{out}/dt=0$), dar ne putem apropia de acest caz ideal in functie de complexitatea circuitului folosit.

Sunt trei tipuri de stabilizatoare de tensiune:

- Stabilizatoare parametrice
- Stabilizatoare liniare cu reactie
- Stabilizatoare in comutatie

Desigur, cand conectam un circuit intre sursa si sarcina ne asteptam sa avem pierderi de putere activa, lucru ce dorim sa eliminam pe cat posibilul. Cele mai folosite stabilizatoare in ziua de astazi sunt cele in comutatie, oferind o eficienta de 80-90%, fata de cele liniare cu reactie, care au $\sim 50-60\%$. Dezavantajul este insa ca cele in comutatie sunt foarte greu de proiectat, si nu sunt potrivite pentru aplicatii unde diferenta dintre valoarea tensiunii de la sursa si cea dorita este foarte mica. Cele liniare insa sunt foarte bune pentru acest tip de utilizare, oferint o eficienta buna si o stabilizare aproape ideala. Acestea sunt deseori folosite pentru alimentarea unui procesor, acesta fiind extrem de sensibil la variatiile alimentarii, iar diferenta dintre sarcina si tensiunea de iesire este mica (de ex empla: Sarcina de 3.3V stabilizata la 1.2V pentru procesor).

Stabilizatoarele cu reactie pot fi de 2 feluri:

- Cu element de reglaj serie
- Cu element de reglaj paralel

Noi folosim element de reglaj serie. Acesta functionaza prin reglarea curentului de iesire cand se schimba valoarea sarcinii pentru a mentine valoarea setata de noi constanta. Amplificatorul de eroare determina prin reactie daca iesirea scade sub valoarea dorita si astfel fie creste curentul sau il scade(daca iesirea creste cand scade valoarea rezistentei de sarcina).

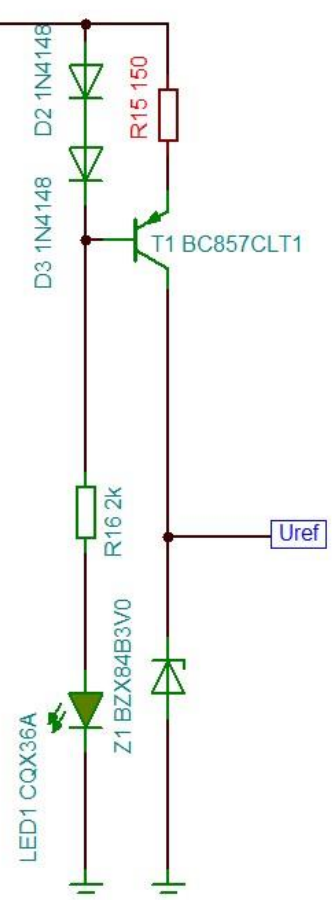
4.2 Proiectarea schemei electrice si determinarea puterilor consumate de componente

Referinta de tensiune

Tensiunea de referinta este oferita de o dioda zener de 3V care va fi alimentata la curent constant. Curentul constant este realizat din sursa de curent cu tranzistorul PNP bipolar si doua diode. Astfel, cum cele diode in regim de polarizare directa au fiecare un $V_{on} = 0.7V$, unul dintre aceste tensuni se anuleaza cu V_{eb} -ul tranzistorului, astfel avem pe R15 o tensiune constanta de 0.7V.

Alegem valoarea acestuia de 150 de ohmi pentru a avea un curent de aproximativ 5mA, mai mult decat suficient pentru a alimenta dioda zener. Pe ramura cu diodele se alege un rezistor pentru a limita curentul $I_{LED} \cong 15mA$, pentru a mentine diodele cu destul curent astfel incat sa se mentina $V_{on} = 0.6-0.7V$, iar LED-ul sa aiba suficient curent astfel incat sa fie aprins. Astfel, cum pe R16 va cadea o tensiune de $(30.6 \text{ sau } 34) - 1.2V$, o valoare de 2k este suficienta pentru a mentine aproximativ 15mA curentul prin acea ramura.

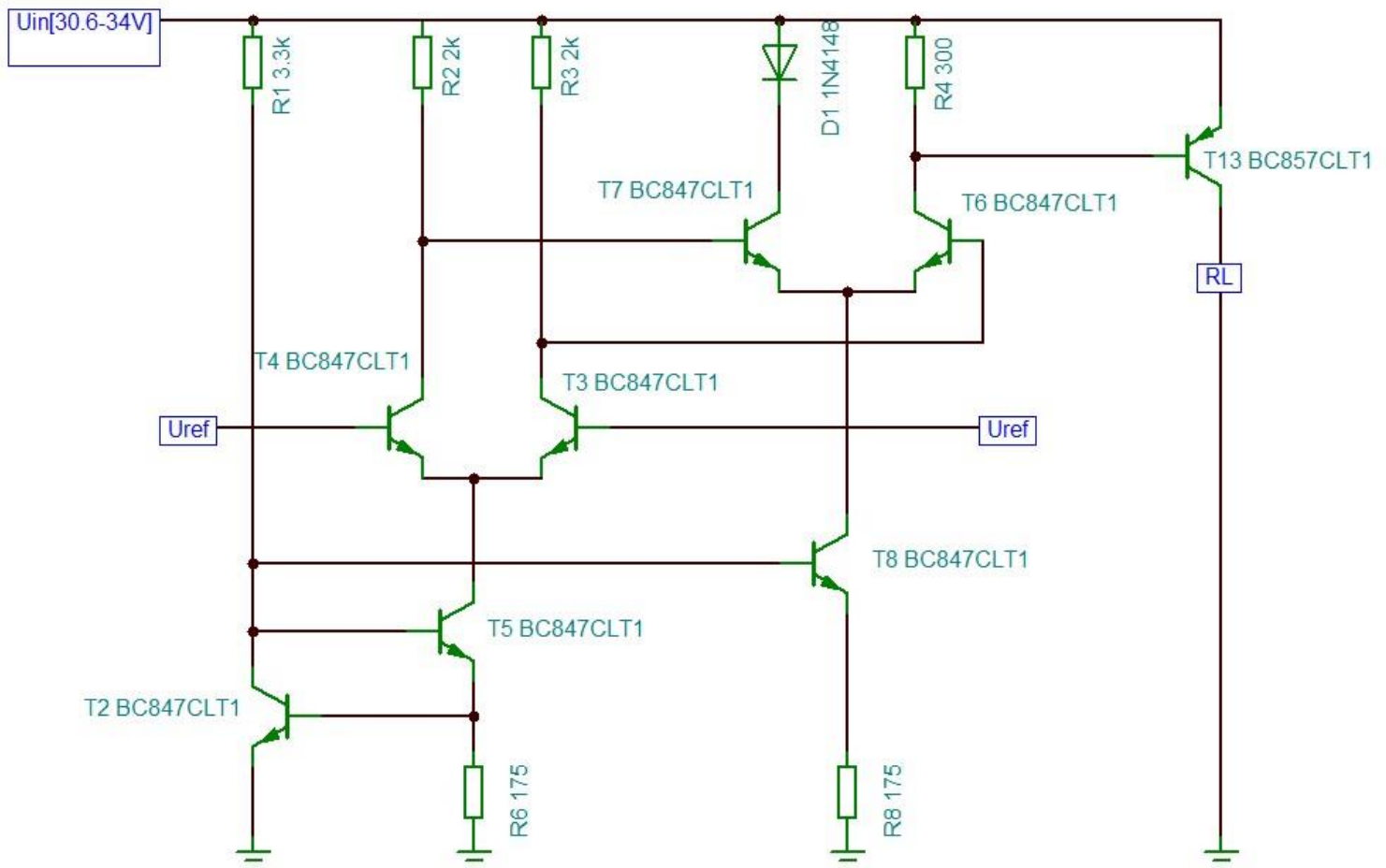
Alegem componentele pentru cel mai rau caz (alimentare 34V), valorile curentilor si a tensiunilor sunt calculate de catre simulator. Pentru a asigura fiabilitate, se utilizeaza componente cu $P_T > 2P_{sim}$, unde P_T -Puterea disipata maxima prin caldura data de fabricant, iar P_{sim} -puterea pe care o consuma in circuit componenta respectiva in simulare. Rezistoarele vor fi de tip SMD, de marime 0805 si de tehnologie thin film(R15) si thick film (R16).



Se aleg 2 rezistente de 1kohmi pentru R16, pentru a insumati puterea disipata pe un singur rezistor.

Componenta	U[V]/U _{CE} [V]	I[mA]	P [mW]	Componenta aleasa
D2,D3 [Conductie]	0.726	14.94	10.84644	1N4148WS – 200mW
T1 [RAN]	30.24	5.13	155.1312	BC847BHZGT116 -350mW NPN, 45 V (farnell.com)
R16	29.88	14.94	446.4072	2x CRGS0805J1K0 - Te Connectivity - SMD Chip Resistor, 1 kohm, ± 5% 500mW
R15	0.769	5.13	3.94497	MCWR08X1500FTL - Multicomp Pro - SMD Chip Resistor, 150 ohm, ± 1% 125mW
Z1	3.04	5.13	15.5952	BZX84-B3V0,215 – Zener 3 V, 250 mW

Amplificatorul de eroare



Pentru a obtine o amplificare in bucla deschisa de minim 200 am ales o schema cu doua etaje de amplificare diferentiala in cascada si un etaj de conversie tensiune in curent.

Primul etaj diferential (T4,T3,R2,R3) este alimentat printr-o sursa de curent folosind T5 si ca referinta tensiunea V_{be} a lui T2 pentru rezistorul R6. Astfel avem pe R6 o tensiune aproape fixa de 0.6V si putem seta valoarea curentului prin etaj prin setarea valorii lui R6. Al doilea etaj format din T7 si T6 este alimentat in mod analog de T8 si R8, folosind ca referinta tensiunea $V_{BE5} + V_{BE2} \cong 1.2V$

Componenta	U[V]/U _{CE}	I[mA]	P[mW]	Componenta aleasa
R1	32.53	9.857	320.6482	CRCW08053K30FKEAHP -3.3kohmi 500mW
R2	4.324	2.16	9.33984	MCWR08X2001FTL - 2 kohm, ± 1% 125mW
R3	4.35	2.1745	9.459075	MCWR08X2001FTL - 2 kohm, ± 1% 125mW
R4	0.419	1.3966	0.585175	MCWR08X3000FTL – 300ohmi 125mW
R8	0.767	4.38	3.35946	ERJP06F1740V - P 174 ohm, ± 1% 500mW
R6	0.756	4.3225	3.26781	ERJP06F1740V - P 174 ohm, ± 1% 500mW
T2 [RAN]	1.472	9.857	14.5095	BC847C – NPN-250mW
T3 [RAN]	27.3225	2.1745	59.41278	BC847C – NPN-250mW
T4 [RAN]	27.3425	2.16	59.0598	BC847C – NPN-250mW
T5 [RAN]	1.5711	4.3225	6.79108	BC847C – NPN-250mW
T6 [RAN]	4.6	1.3966	6.42436	BC847C – NPN-250mW
T7 [RAN]	4.37	2.97	12.9789	BC847C – NPN-250mW
T8 [RAN]	28.213	4.38	123.5729	BC847C – NPN-250mW
T13 [RAN]	15	176.75e-6	0.002651	BC847C – NPN-250mW
D1 [Conductie]	0.655	2.97	1.94535	1N4148WS – 200mW

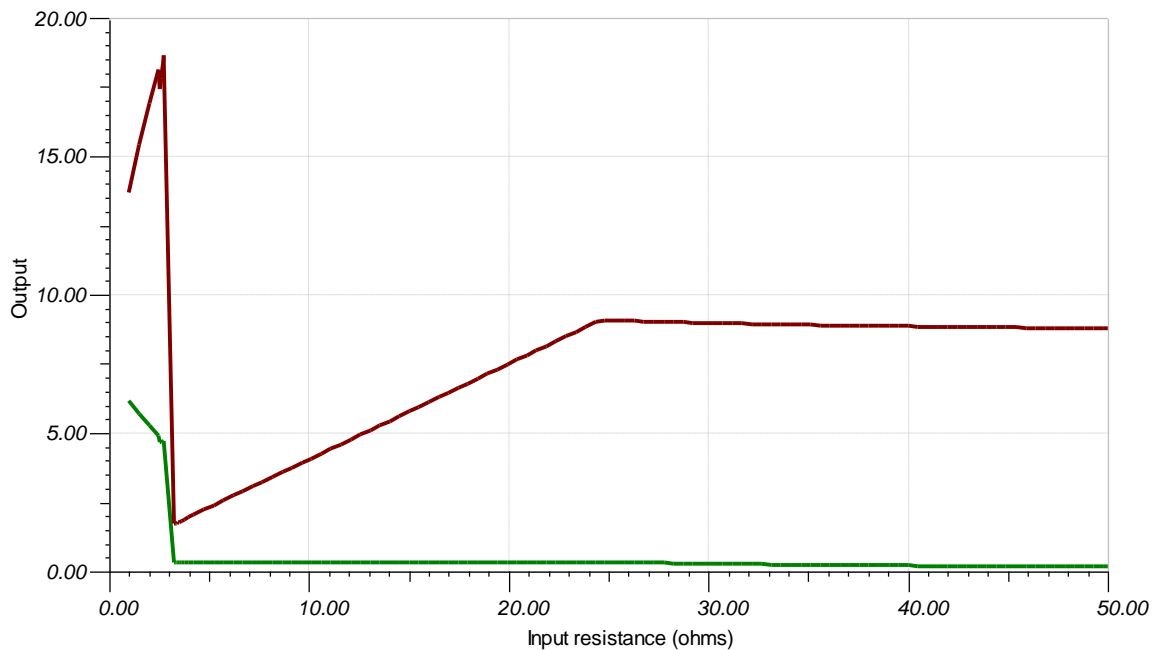
Elementul de reglaj serie

Elementul de reglaj serie este format din doua tranzistoare in serie. Primul tranzistor in serie cu alimentarea trebuie sa fie un tranzistor de putere, deoarece o mare parte din tensiunea de alimentare cade pe acesta si este strapuns de un curent de marimi destul de mari.

Trebuie sa luam cel mai nefavorabil caz, intrucat tensiunea de iesire este variabila intre 8.5-17V, si intrarea la fel este intre 30.6 si 34V. In cel mai rau caz, din punct de vedere a caderii de tensiune, este cand intrarea este maxima: $U_{max} = 34V$ si iesirea este minima: $U_{min} = 8.5V$.

Astfel, $U_{CE} = 34 - 8.5 = 25.5V$. Tensiunea ce cade pe rezistenta de protectie R9 este foarte mica, deci o putem neglija.

Din punct de vedere al curentului, acesta este limitat prin protectie la maxim 0.4A, deci astfel daca sarcina scade brusc ne asteptam ca prin tranzistor sa circule un curent pana in 0.4A pana cand circuitul de protectie este activat. Totodata, cand se activeaza circuitul de protectie acesta scade tensiunea de iesire pentru a mentine curentul constant sub 0.4A, dar totusi apropiat. Cand scade tensiunea de iesire, creste tensiunea pe tranzistorul in serie cu sursa de alimentare.



Cu o caracteristica de transfer observam ca ajunge tensiunea de intrare cel mai putin la 1.8V, astfel tensiunea maxima $V_{CEmax} = 34 - 1.8 = 32.8V$. Saritura de curent si tensiune este o eroare de simulator, deoarece aceste valori nu apar in simulare de tip Bias point.

In momentul V_{CEMAX} avem curentul aproximativ 0.34A. Astfel, putem calcula $P_{MAX} = 11.316W$.

Astfel, alegem un tranzistor de putere SMD de 20W.

Componenta	U[V]/U _{CE}	I[mA]	P[mW]	Componenta aleasa
T10 [RAN] Situatie maximala	32.8	344	11.316k	MJD44E3T4G -BJT NPN 20W SMD capsula TO-252
T10 [RAN] R _L =850 ohmi	25.5	10.29	262.395	MJD44E3T4G -BJT NPN 20W SMD capsula TO-252

Reteaua de reactie

Cum se doreste ca iesirea sa fie reglabila intre 8.5V si 17V, este foarte utila folosirea unui potentiometru care sa schimbe valorile rezistentelor din circuitul de reactie.

Ca formula in acest circuit, se poate deduce urmarind tensiunea de referinta.

Cele doua rezistoare R12 si R13 formeaza un divizor de tensiune pentru iesire.

Stiim ca $U_{R13} = U_{REF}$

$$U_{R13} = \frac{U_{out} \cdot R_{13}}{R_{13} + R_{12}} \Rightarrow U_{ref} = \frac{U_{out} \cdot R_{13}}{R_{13} + R_{12}} \Rightarrow$$

$$U_{out} = U_{ref} \cdot \frac{R_{13} + R_{12}}{R_{13}}$$

Notam raportul $\frac{R_{12}}{R_{13}} = x$

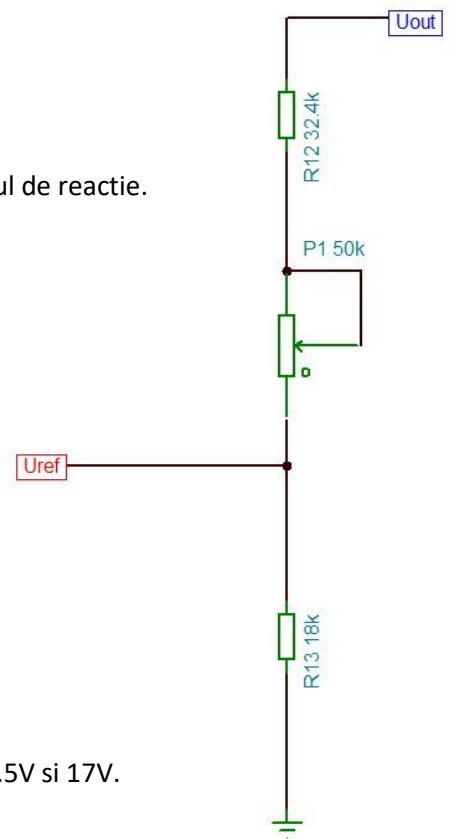
$$\Rightarrow U_{out} = U_{ref} \cdot (1 + x) \Rightarrow U_{out} = 3(1 + x)$$

Astfel, trebuie sa alegem rezistentele astfel incat iesirile sa fie intre intrervalul 8.5V si 17V.

$$8.5 = 3(1 + x) \Rightarrow x_1 = 1.833$$

$$17 = 3(1 + x) \Rightarrow x_2 = 4.667$$

Vom folosi un potentiometru in serie cu R12 pentru a creste valoarea combinata a celor doua rezistente. Astfel, raportul devine $x = (R_{12} + P) / R_{13}$. Prin schimbarea setarii potentiometrului putem modifica raportul.



Astfel, trebuie sa alegem ca atunci cand potentiometrul este setat la 0%, raportul sa fie egal cu 1.833 (pentru a avea iesire minima), iar cand potentiometrul are valoarea 100%, raportul sa fie egal cu 4.667

Astfel, alegem valoarea potentiometrului de 50k.

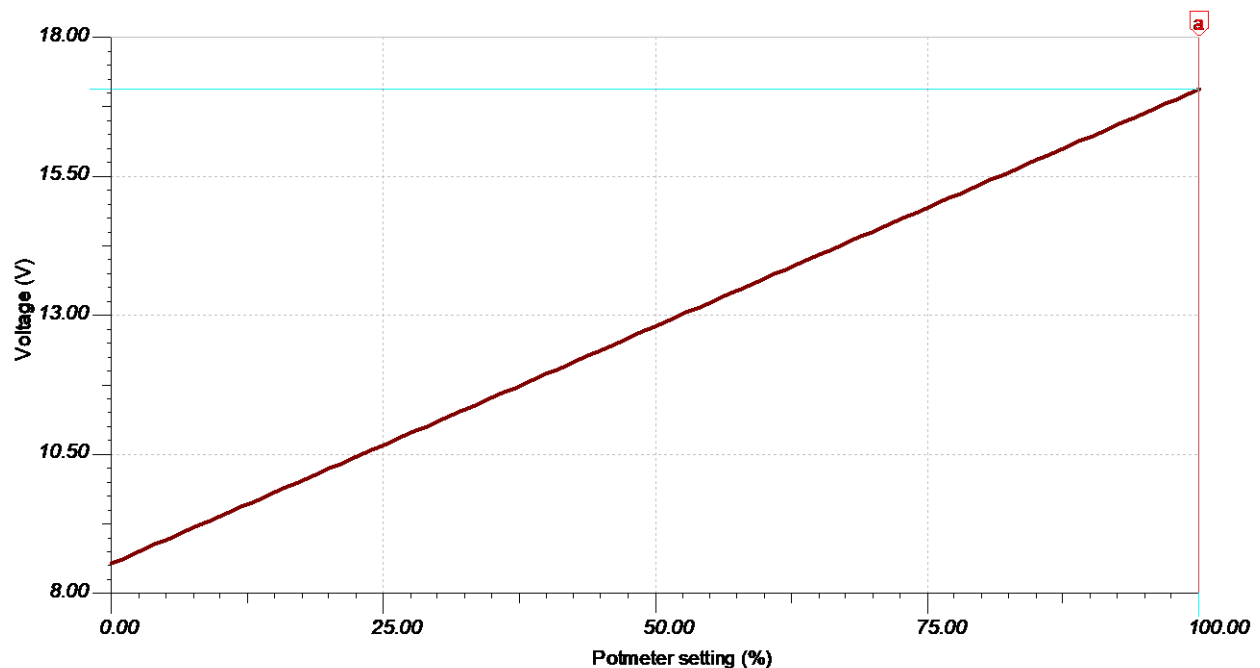
Fie ecuatiile unde: $x_1 = R_{12}, x_2 = R_{13}$

$$\frac{x_1}{x_2} = 1.833 \Rightarrow x_1 = x_2 \cdot 1.833$$

$$\frac{x_1 + 50}{x_2} = 4.667 \Rightarrow x_1 = x_2 \cdot 4.667 - 50$$

$$\Rightarrow x_2 \cdot 1.833 = x_2 \cdot 4.667 - 50 \Rightarrow x_2 = 17.6429k\Omega, x_1 = 32.3395k\Omega$$

Alegem valori cat mai apropiate pentru rezistoarele reale: $x_2=18k\Omega$, iar $x_1=32.4k\Omega$



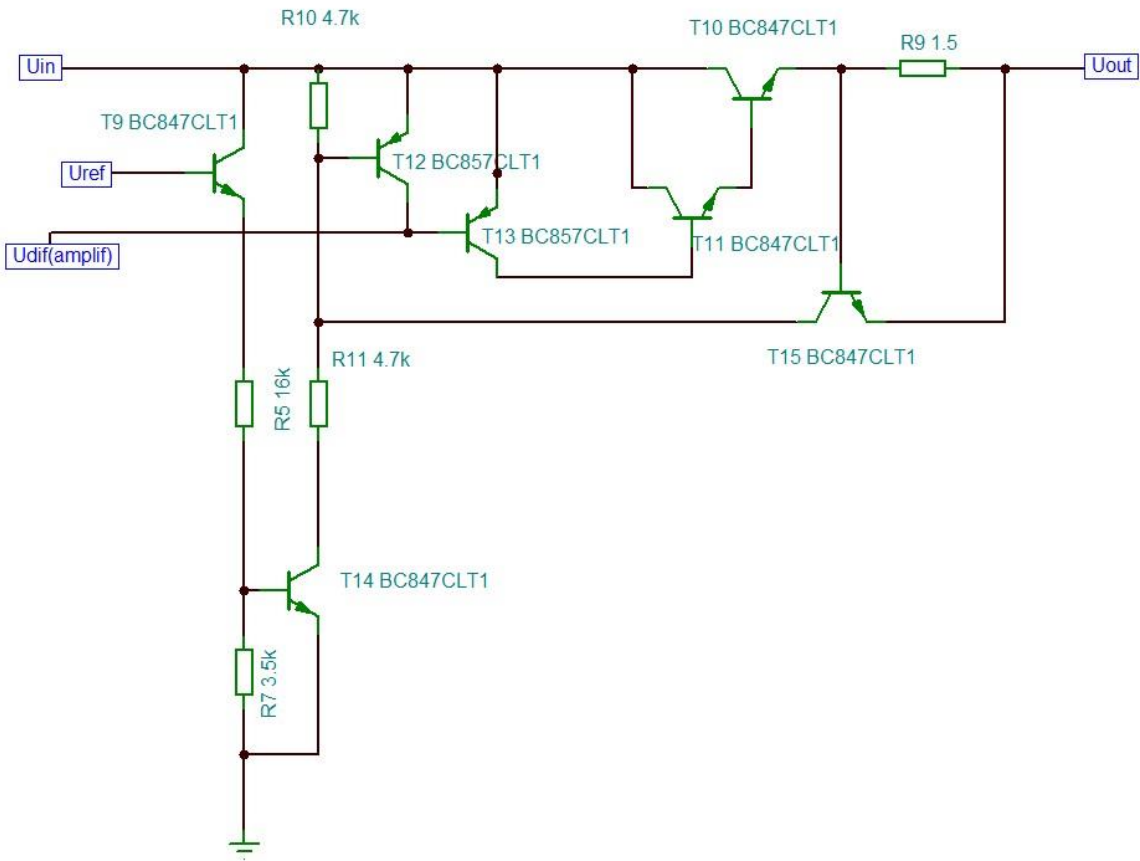
Daca efectuam o caracteristica de transfer a tensiunii de iesire fata de setarea potentiometrului, vedem ca avem o tensiune de iesire 8.53V la setarea 0% si 17.067V la 100%. Astfel, iesirea este reglabila in intervalul [8.5,17] V.

Valorile rezistentelor sunt mari, de ordinul zecilor de kilohmi pentru a limita curentul prin rezistente si astfel limitand disiparea de putere inutila. Vom avea 2 cazuri pentru a calcula PSF-ul, atunci cand P1 e la 0% si la 100%

Componenta	U[V]	I[mA]	P[mW]	Componenta aleasa
P1 (0%)	0	0.304	0	SM-42TX503 - Nidec Copal Electronics - Trimpot, Multi Turn, RuO2 Cermet (farnell.com)
R12 (0%)	5.53	0.304	1.659	1676305-3 - Holsworthy - Te Connectivity - SMD Chip Resistor, 32.4 kohm, ± 0.1% (farnell.com)
R13 (0%)	3	0.301	0.9	WF08U1802BTL - Walsin - SMD Chip Resistor, 18 kohm, ± 0.1% (farnell.com)
P1 (100%)	9.54	0.3	2.862	-
R12 (100%)	5.53	0.304	1.659	-
R13 (100%)	3	0.3	0.9	-

Alegem rezistente de precizie pentru nu a avea variatie prea mare la raportul rezistentelor.

Circuitul de protectie



Circuitul de protectie impotriva suprasarcinii de temperatura sau current este format dintr-un senzor de temperatura si un senzor de curent.

Ca circuit de protectie impotriva temperaturii se foloseste ca senzor de temperatura tranzistorul T14 si divizorul de tensiune format din R5 si R7 si tranzistorul T9.

Stiim ca tranzistorul de tip BC847 este pornit la un $V_{BE} \cong 0.6 - 0.7V$, dar totodata stiim faptul ca la temperatura de $100^\circ C$ acestuia ii scade tensiunea de BAZA V_{BE} pe la $0.4-0.5V$, lucru ce se afla in foaia de catalog in graficul dependentei V_{be} in functie de temperatura. Astfel, vom seta prin rezistorul R7 un V_{be} constant intre $0.4-0.5V$. Astfel, la temperaturi normale, tranzistorul T14 este blocat si are un curent $I_C \sim 0$. Astfel, cand ansamblul ajunge la o temperatura de $100^\circ C$, acesta se deschide, tensiunea de $0.4-0.5V$ fiind destul de mare pentru a trece in BAZA, si opreste ERS din functionare, tensiunea la iesire scazand dramatic. Folosind T9 conectat cu baza la tensiunea de referinta, vom avea potentialul $V_E = 3 - 0.6 = 2.7V$, si folosind un divizor de tensiune format din R5 si R7, setam pe $U_{R7} = 0.4-0.5V$.

Ca circuit de protectie la supracurent se foloseste tranzistorul T15 si rezistorul R9. Rezistorul R9 este folosit ca un "shunt" pentru a converti din curent in tensiune si este conectat la V_{be} -ul tranzistorului T15. Cum dorim curent maxim de iesire $0.4A$, vom alege o valoare pentru R9 astfel incat la valoarea curentului de $0.4A$, acesta sa aiba caderea de tensiune pe el aproximativ $0.6V$, rezultand in T15 deschizandu-se. Se alege R9: $R9 = V_{be} / 0.4A \Rightarrow R9 = 1.5\Omega$. Pentru orice curent sub $0.4A$, tensiunea ar trebuie sa fie: $U_{R9} < 0.6V$, mentinand T15 blocat. Astfel, cand se apropie de valoarea de $0.4A$, tranzistorul T15 se deschide si incepe sa preia din curentul de iesire, ajungand sa inchida pana la urma ERS-ul. Din acest motiv, pe PCB tranzistorul T14 ar trebui montat lipit de T10, pentru a prelua caldura de la acesta si sa aiba aproximativ aceeasi temperatura.

Tipul de tranzistor T10 si PSF-ul lui s-a decis deja.

Shuntul R13 ar avea in mod teoretic o valoare maxima de putere $P_{R13} = I^2 R9 = 0.16 * 1.5 = 0.24 W$. Ar fi indicat sa se aleaga astfel un rezistor de precizie si de putere $0.5W-1W$. Cea mai apropiata valoare gasita a fost de 1.8Ω cu $P=500mW$

In conditii normale T14, T15 sunt blocati, deci puterea pe acestia este aproape nula.

T12, T13 au curent de colector impartit la β^2 sau chiar β^3 . Cum pentru un tranzistor de putere $h_{fe} \sim 1000$, putem spune ca curentii prin acestia sunt aproape nuli, deci din nou putere neglijabila.

In conditii de supra sarcina ($R_L \rightarrow 0$):

T15 are $U_{ce} = 31.6V$ si $I_{ce} = 0.15 mA \Rightarrow P = \sim 33mW$

In conditii de temperatura ($T \rightarrow$

$100^\circ C$)

T14: $U_{ce} = 32.9V$ iar $I_c = 0.12mA \Rightarrow P_{T14} = 3.948mW$

In regim normal de functionare($R_L=850\Omega$, $T<70^\circ\text{C}$) :

Componenta	U[V]/U _{CE}	I[mA]	P[mW]	Componenta aleasa
R10	1.05e-3	223e-6	Ne glijabil	MCWR08X4701FTL - Multicomp Pro - SMD Chip Resistor, 4.7 kohm, ± 1% (farnell.com) 125mW Thick Film
R11	1.05e-3	223e-6	neglijabil	MCWR08X4701FTL - Multicomp Pro - SMD Chip Resistor, 4.7 kohm, ± 1% (farnell.com) 125mW Thick Film
R5	1.98	0.123	0.24354	ERA6AEB163V - Panasonic - SMD Chip Resistor, 16 kohm, ± 0.1% 125mW Thin Film
R7	0.4325	0.123	0.0531975	PCF0805R-3K57BT1 - Tt Electronics / Welwyn - SMD Chip Resistor, 3.57 kohm, ± 0.1% 100mW Thin Film
R9	17.87e-3	10.21	0.1808444	ERJP6WF1501V - Panasonic - SMD Chip Resistor, 1.5 kohm, ± 1% 500mW Thick Film
T9[RAN]	31.6	0.123	3.8868	BC847C – NPN-250mW
T11[Blocare]	24.7	neglijabil	neglijabil	BC847C – NPN-250mW
T12[Blocare]	0.4	neglijabil	neglijabil	BC847C – NPN-250mW
T13[Blocare]	24.15	neglijabil	neglijabil	BC847C – NPN-250mW
T14[Blocare]	33.997	neglijabil	neglijabil	BC847C – NPN-250mW
T15[Blocare]	25.47	neglijabil	neglijabil	BC847C – NPN-250mW

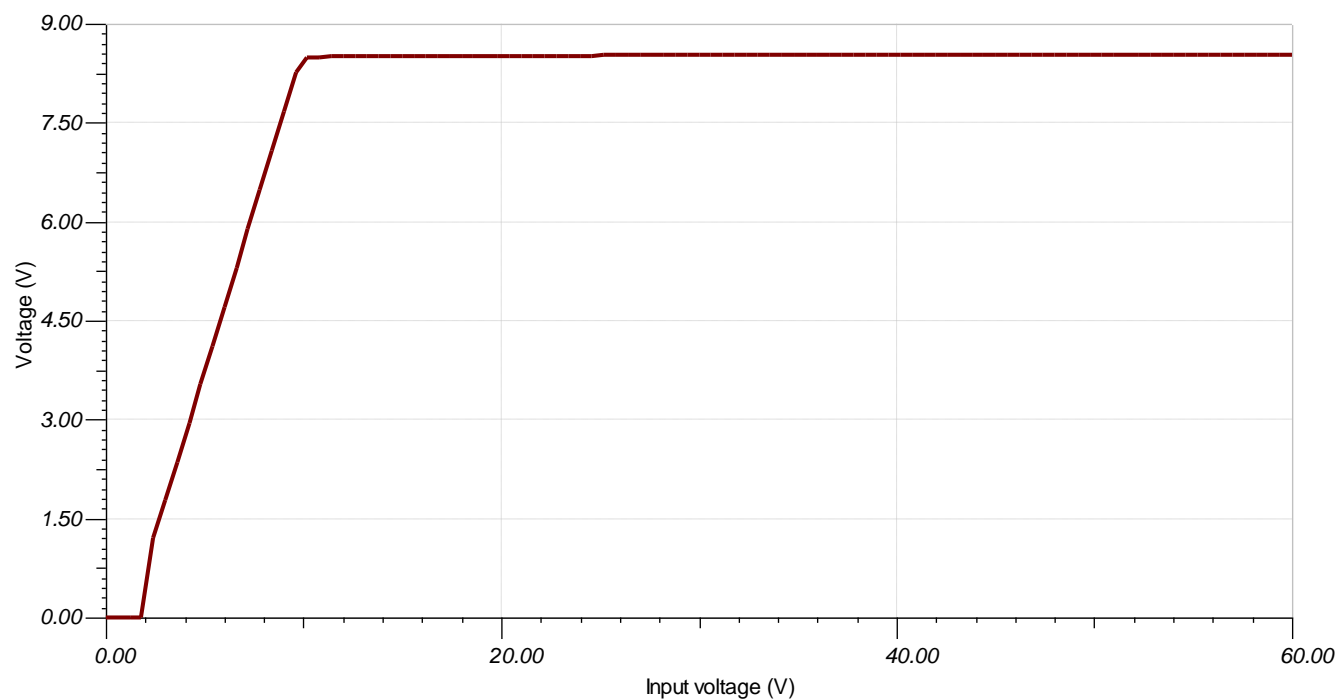
4.3 Bill of materials(BOM)

Componenta	Footprint	P[mW]	Componenta aleasa
D2,D3 [Conductie]	SOD-323FL	200	1N4148WS – 200mW
T1 [RAN]	SOT-23	250	BC857 – 250mW
R16	0805	125	ERJ6ENF3002V – 30kohm-125mW
R15	0805	125	MCTC0525B1000T5G - SMD 100ohm, ± 0.1% 125mW
Z1	3V	125	BZX84-B3V0,215 – Zener 3 V, 250 mW
R1	0805	500	CRCW08053K30FKEAHP - 3.3kohmi 500mW
R2	0805	125	MCWR08X2001FTL - 2 kohm, ± 1% 125mW
R3	0805	125	MCWR08X2001FTL - 2 kohm, ± 1% 125mW
R4	0805	125	MCWR08X3000FTL – 300ohmi 125mW
R8	0805	500	ERJP06F1740V - P 174 ohm, ± 1% 500mW
R6	0805	500	ERJP06F1740V - P 174 ohm, ± 1% 500mW
T2 [RAN]	SOT-23	250	BC847C – NPN-250mW
T3 [RAN]	SOT-23	250	BC847C – NPN-250mW
T4 [RAN]	SOT-23	250	BC847C – NPN-250mW
T5 [RAN]	SOT-23	250	BC847C – NPN-250mW
T6 [RAN]	SOT-23	250	BC847C – NPN-250mW
T7 [RAN]	SOT-23	250	BC847C – NPN-250mW
T8 [RAN]	SOT-23	250	BC847C – NPN-250mW
T13 [RAN]	SOT-23	250	BC847C – NPN-250mW
D1 [Conductie]	SOD-323FL	200	1N4148WS – 200mW
T10 [RAN]	TO-252 (DPAK)	200	MJD44E3T4G -BJT NPN 20W SMD
P1 (0%)	N/A	250	SM-42TX503 -250mW

R12 (0%)	0805	100	1676305-3 -r, 32.4 kohm, ± 0.1% (farnell.com)
R13 (0%)	0805	100	WF08U1802BTL - Walsin - SMD Chip Resistor, 18 kohm, ± 0.1% (farnell.com)
R10	0805	125	MCWR08X4701FTL - Multicomp Pro - SMD Chip Resistor, 4.7 kohm, ± 1% (farnell.com) 125mW Thick Film
R11	0805	125	MCWR08X4701FTL - Multicomp Pro - SMD Chip Resistor, 4.7 kohm, ± 1% (farnell.com) 125mW Thick Film
R5	0805	125	ERA6AEB163V - Panasonic - SMD Chip Resistor, 16 kohm, ± 0.1% 125mW Thin Film
R7	0805	100	PCF0805R-3K57BT1 - Tt Electronics / Welwyn - SMD Chip Resistor, 3.57 kohm, ± 0.1% 100mW Thin Film
R9	0805	500	ERJP6WF1501V - Panasonic - SMD Chip Resistor, 1.5 kohm, ± 1% 500mW Thick Film
T9[RAN]	SOT-23	250	BC847C – NPN-250mW
T11[Blocare]	SOT-23	250	BC847C – NPN-250mW
T12[Blocare]	SOT-23	250	BC847C – NPN-250mW
T13[Blocare]	SOT-23	250	BC847C – NPN-250mW
T14[Blocare]	SOT-23	250	BC847C – NPN-250mW
T15[Blocare]	SOT-23	250	BC847C – NPN-250mW

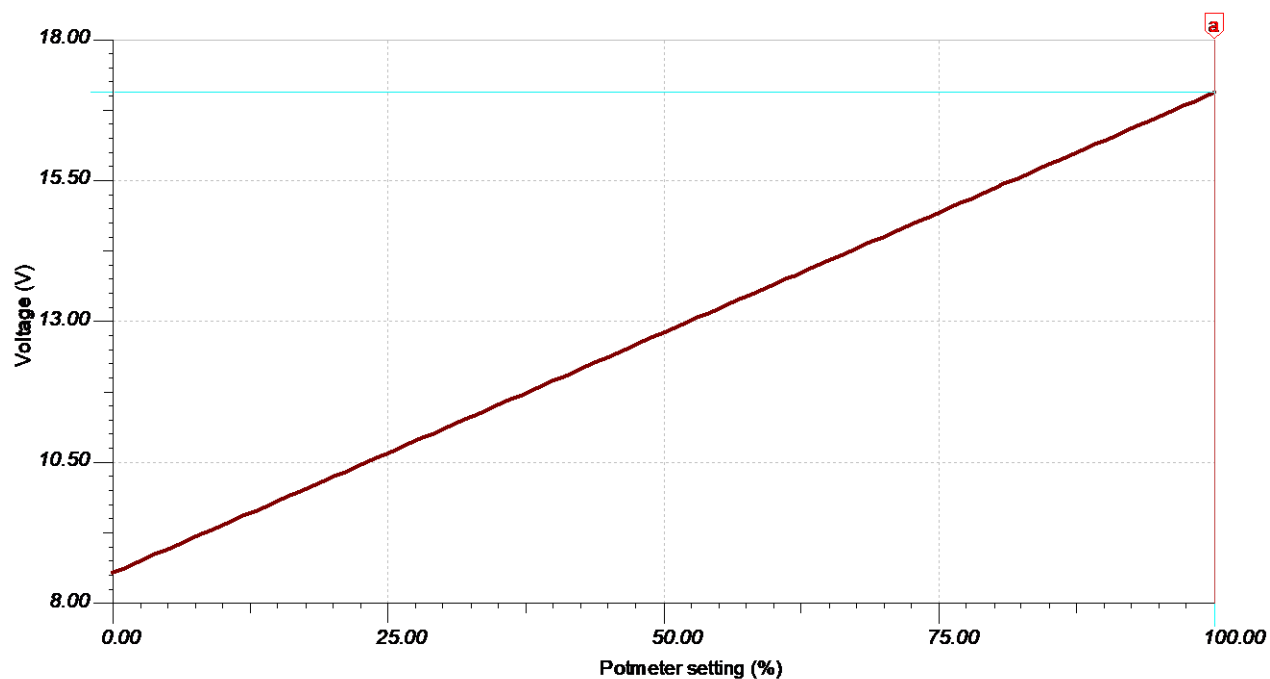
4. Simularea montajului electric

- Variatia tensiunii de iesire in functie de variatia tensiunii de intrare:

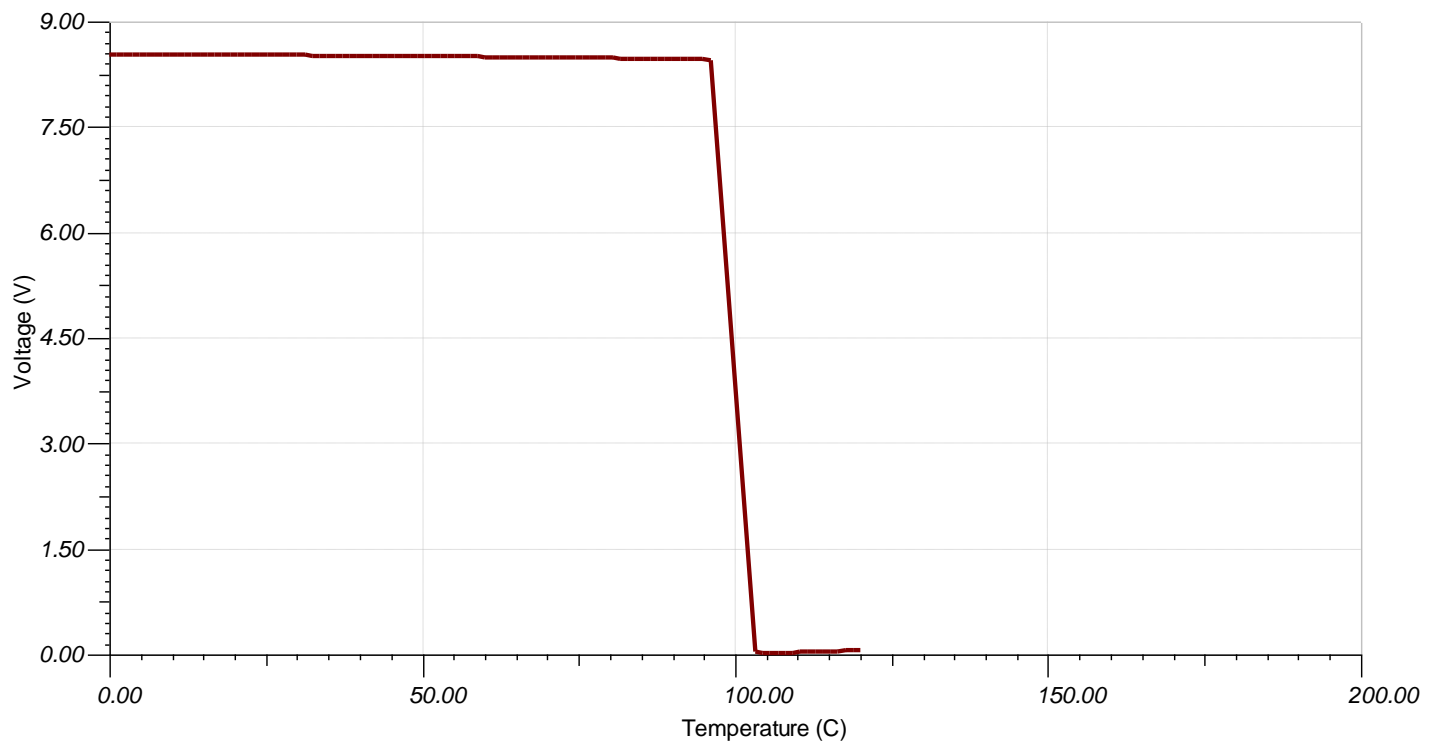


Performantele sunt bune, avem o variatie de $\sim 0.5\text{mV/V}$

- Variatia tensiunii de iesire in functie pozitia potentiometrului

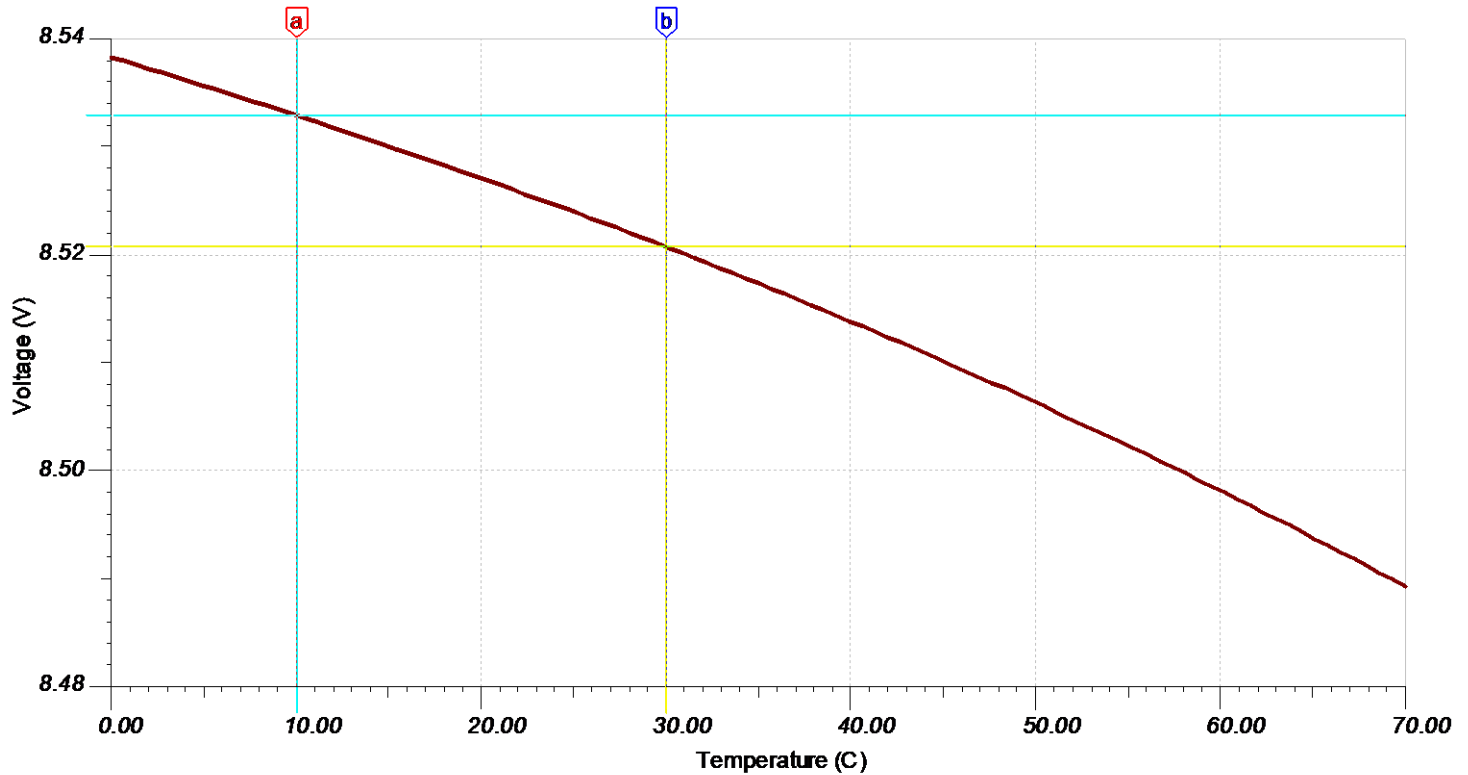


- **Variatia tensiunii de iesire in functie de temperatura**



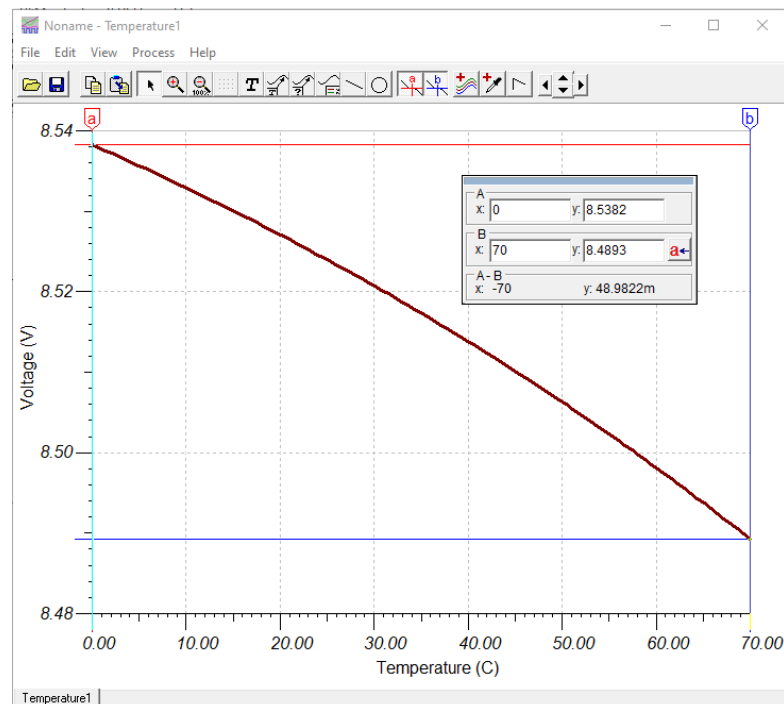
Se observa cum la temperatura de 100 °C tensiunea de iesire brusc scade pana la valoarea de aproape 0V. Astfel, cu siguranta temperatura elementului de reglaj serie scade si se revine la functionare normala

- Derivarea termica la temperaturi normale de functionare

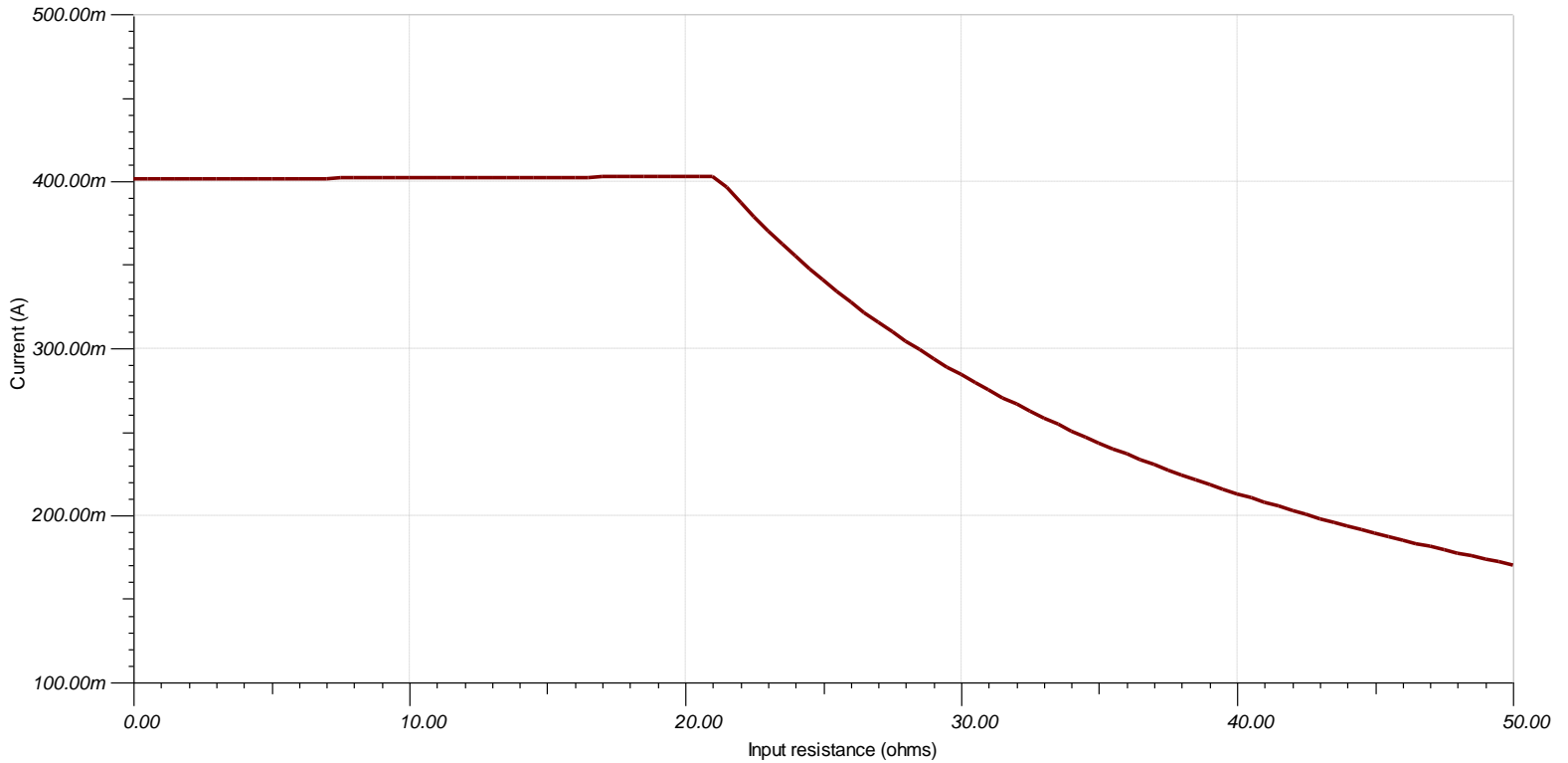


Derivarea termica a tensiunii de iesire este una foarte buna, lucru care este de asteptat, U_{out} fiind dependent termic doar de V_Z ,

$(U_{out} = V_Z \cdot \frac{R_{13} + R + 12}{R_{13}})$, iar o dioda zener de obicei are derivare termica foarte buna, $< 2\text{mV}/^\circ\text{C}$. In acest caz avem o derivare termica de $\frac{48.9822}{70} \cong 0.7\text{ mV}/^\circ\text{C}$



- **Variatia curentului de iesire in functie de rezistenta de sarcina**



Observam cum circuitul de protectie la supracurent functioneaza cum trebuie. Cand rezistenta de intrare scade , curentul creste extrem de mult cum ne am astepta. Totusi, observam cum curentul este limitat la 0.4A, indiferent de cat de mult scade rezistenta de sarcina.

Bibliografia

- D. Dascălu, L. Turic, I. Hoffman – „Circuite Electronice” – Ed. Didactică și Pedagogică – 1981
- D.D. Sandu - „Dispozitive și Circuite Electronice” – Ed. Didactică și Pedagogică – 1975
- Gh. Brezeanu, F. Drăghici, F. Mitu, Gh. Dilimăț – „Dispozitive Electronice”, „Circuite Electronice Fundamentale”
- Gh. Brezeanu, F. Drăghici – “Circuite Electrice Fundamentale”, -Editura Niculescu
- Notițe de curs DE CEF – prof. Gheorghe Brezeanu, George Pristavu
- Notițe de curs CEF – prof. Florin Draghici, Florin Mitu
- <http://www.ecircuitcenter.com/>
- <https://www.electronics-tutorials.ws/>