

Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București
Facultatea de Electronica , Telecomunicatii si Tehnologia Informatiei

Referat : Etapa I

Proiect 1 – Circuite electronice fundamentale 2

Tema:

Stabilizator de tensiune cu Element de Reglaj Serie

Tufan Octavian Ioan

Grupa : 432E

Bucuresti 2024

Date initiale de proiectare stabilizator de tensiune cu ERS:

- $N=21$;
- Tensiunea de iesire reglabila in intervalul: $U_0=(0,5N\div N)=(10,5\div 21)$ V;
- Element de reglaj serie;
- Sarcina la iesire $50N[\Omega]\rightarrow R_L=1050\Omega$
- Deriva termică $< 2mV/OC$;
- Protecție la suprasarcină prin limitarea temperaturii tranzistorului element de reglaj serie la $100^{\circ}C$, si a curentului maxim la 0,4A;
- Tensiune de intrare in intervalul : $U_i=(1,8N\div 2N)=(37,8\div 42)$ V;
- Domeniul temperaturilor de funcționare: 00-700C (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 de tip LED.

Cerinte privind proiectarea:

- Dimensiunile PCB: 40mm x 40mm;
- Material FR4, dublu strat/ grosimea foliei de cupru 18 μm , grosimea plăcii 1,6 mm;
- Toate componentele se vor plasa pe fața superioară a plăcii, TOP;
- Componente pasive SMD chip 0805;
- Se pot folosi numai tranzistoare bipolare și TEC-MOS în capsule SMD (SOT 23, D PAK). Tranzistoarele TEC-J pot fi utilizate numai dacă se justifică necesitatea acestora.
- Puncte de test: dreptunghiulare, maxim 4 – justificate de planul de testare;
- Originea (punctul de coordonate (0,0)) va fi plasat în colțul din stânga-jos al plăcii de cablaj imprimat, astfel toate elementele proiectului vor avea coordonate pozitive;
- Față de marginea plăcii, se va păstra o gardare („clearance”) de 1 mm; aici nu vor fi plasate componente, trasee, texte, etc.;
- Placa va fi prevăzută cu 2 markeri fiduciali globali pe layerul TOP, la distanța de 200 mil față de marginea plăcii, plasați convenabil; acești markeri vor exista și pe layerul Solder Paste Top (suprapuși peste cei de pe TOP); vor fi utilizați în momentul alinierii șablonului cu placa. Marcajul fiducial va fi un cerc cu diametru de 1 mm pe layerul respectiv, aflat într-un spațiu circular de diametru minim dublu față de cercul interior, în care nu se va afla nimic pe nici un layer; 1 | 6
- Se va acorda o atenție sporită layer-ului Mască de inscripționare (Silk Screen); acesta nu trebuie să se regăsească pe pad-urile componentelor;
- Se va genera un nou layer neelectric, MECANIC. Acesta va conține: conturul plăcii, desenul de găurire („drill drawing”) și tabelul de găurire („drill chart/table”, „drill legend”), o secțiune transversală prin circuitul imprimat proiectat („layer stack-up”) și informațiile mecanice necesare pentru fabricația PCB;
- Cotele de gabarit/dimensiunile plăcii nu trebuie să se regăsească pe layer-ul electric TOP; acestea, dacă există, se vor plasa pe un layer neelectric mecanic;

◆ Placa va fi prevăzută cu elementele de identificare ale proiectantului (nume, prenume, grupă, CEF2-P 2024-2025).

Pentru traseele de interconectare se dau următoarele lățimi:

- ◆ Curent de 1A - 26 mil;
- ◆ Curent de sute de mA - 18 mil;
- ◆ Semnal - 16 mil.

Spațierea, în toate cazurile, va fi de 14 mil.

Găurile de trecere pentru semnale (vias-uri) vor avea diametrul de 0,4 mm.

Fișierele Gerber - standard 274X și fișierul Excellon trebuie să conțină următoarele informații:

- ◆ Conturul plăcii (board outline);
- ◆ Layer electric TOP;
- ◆ Layer electric BOTTOM;
- ◆ Layer neelectric Mască de inscripționare (Silk Screen Top);
- ◆ Layer neelectric Mască de protecție (Solder Mask Top și Bottom);
- ◆ Layer neelectric Șablon (Solder Paste Top);
- ◆ Lista de aperturi și fișierul de găurire.

INTRODUCERE

Stabilizatorul de tensiune este un circuit electronic ce ofera la iesire o tensiune continua,constanta la variatiile(intre anumite limite) ale:

- Tensiunii de intrare : $\Delta v_i = v_i$;
- Curentului de iesire (sarcinii) : $\Delta i_o = -i_o$;
- Temperaturii: ΔT ;

Stabilizatoarele liniare serie sunt circuite la care elementul de reglaj actioneaza continuu pentru a avea o tensiune constanta la iesire.

In structura lor apar cel putin doua subcircuite :

- **Referinte de tensiune (REF)** , acesta asigura o tensiune constanta la bornele sale pentru un domeniu restrains al curentului de iesire.
- **Blocul de comanda si reglaj serie**, compus dintr-un element de reglaj serie (ERS) si un amplificator de eroare. ERS se comporta ca o rezistenta ce isi modifica valoarea in functie de tensiunea de intrare.

SCHEMA BLOC:

- Referinta de tensiune;
- Amplificator de eroare;
- Element de reglaj serie implementat PNP;
- Rețea de reacție negativă;
- Circuit de protecție la suprasarcina;
- Circuit de protectia la temperatura;

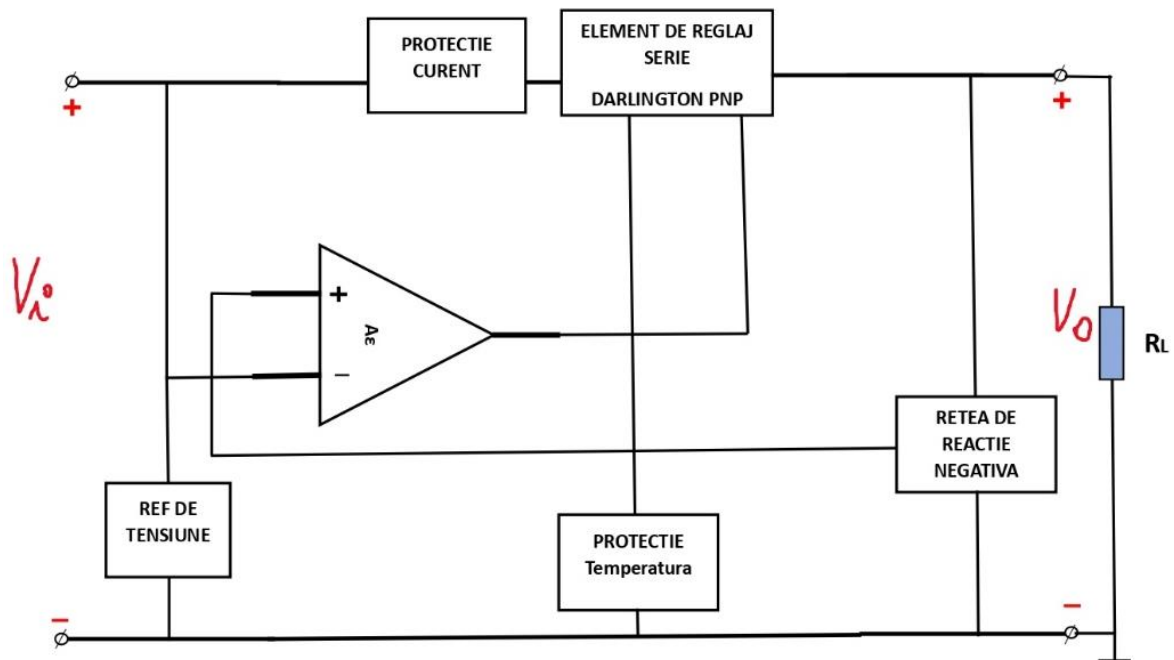


Figura 1 Schema bloc

The diagram shows a 5V LED driver circuit with the following components and labels:

- REF DE TENSIUNE** (Voltage Reference): A yellow box containing a Zener diode D1 (BZX84-C8V2).
- AMPLIFICATOR DIFERENTIAL** (Differential Amplifier): A blue box containing a differential amplifier stage with transistors Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10, Q11 and resistors R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13.
- PROTECTIA CURENT** (Current Protection): A red box containing a current sense amplifier with resistors RSC1, RSC2, RSC3, RSC4, RSC5.
- PROTECTIE TEMPERATURA** (Temperature Protection): A purple box containing a temperature protection circuit with transistors Q9, Q10 and resistors R12, R13.
- RETEA DE REACTIE NEAGATIV** (Negative Feedback Network): A black box containing a feedback network with resistors R8, R9, R10, R11 and a capacitor C1.
- TRANSISTOR DARLINGTON PNP** (PNP Darlington Transistor): A green box containing a PNP Darlington transistor Q6.

The circuit is powered by a 5V supply (V1) and includes a 5V LED (D2) and a 5V LED (D3). The output is connected to a load (RL1-RL5) and a feedback network (R1-RL5). The circuit is protected by a current sense amplifier (PROTECTIA CURENT) and a temperature protection circuit (PROTECTIE TEMPERATURA).

Circuitul este compus din urmatoarele blocuri:

- 5

Prezentarea alegerii modelelor de rezistoare, tranzistoare si diode:

1.Referinta de tensiune:

Este data de dioda Zener D2 de 8.2V. Dioda se polarizeaza in current prin gruparea echivalenta RE1 realizata din rezistentele R1,R2,R3,R4. Rezistoarele se aleg astfel incat puterea disipata pe acestea sa nu depaseasca valoarea de 0.125mW, vrem o putere apropiata de 50% din Pmax a acestora pentru a nu incalzi prea rapid.

Se alege dioda : Cod BZX84C8V2 , SMD , SOT 23 , Vz = 8,2V , ± 5% , 0,25W,Izmin=5 mA.

RE1 se alege astfel incat dioda sa intre in strapungere Iz>Izmin.

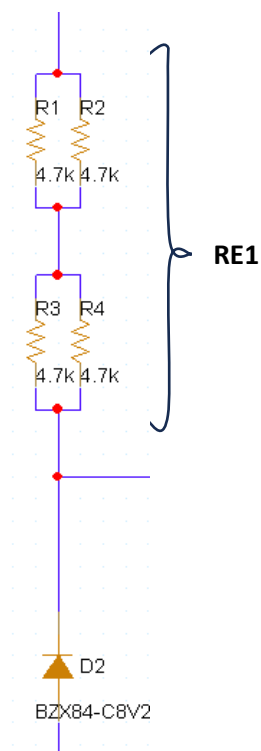


Figura 3 Referinta de tensiune

2.Amplificatorul diferential de eroare:

Vrem ca prim pas sa testam daca Dioda Zenner D2 este in strapungere la V1=V1max & V1=V1min;

$$RE1 = R1 || R2 + R3 || R4 = 4,7k$$

$$-V1 + Rechiv * Iz + Vz = 0$$

$$Iz' = \frac{V1' - Vz}{RE1} = \frac{42V - 8,2V}{4.7k} = \frac{33,8V}{4.7k} = 7,19mA$$

$$I_{Z''} = \frac{V_{1''} - V_Z}{R_{E1}} = \frac{37,8V - 8,2V}{4,7k} = \frac{29,6V}{4,7k} = 6,29mA$$

=> *Dioda este in strapungere in ambele cazuri.*

Alfam curentul din emitorul lui Q3 si Q4:

Q3 si Q4 se aleg ca tranzistoare NPN de mica putere modelul BC846B, nu ar trebuii sa avem puteri mari pe acestea.

$$-V_Z + V_{BE3} + R_7 * I_E = 0$$

$$I_E = \frac{V_Z - V_{BE3}}{R_7} = \frac{8,2V - 0,6V}{2,7k} = 2,81mA$$

$$I_E = I_{C1} + I_{C2}$$

$I_{C1} = I_{C2}$, deoarece avem o oglinda de current formata din Q1 ,Q2 si rezistentele R5,R6.

Alegem Q1,Q2 ca tranzistoare PNP de mica putere modelul BC856B, puterea disipata pe cele doua tranzistoare va fi de valori mici.

$$\Rightarrow I_E = 2I_C \Rightarrow I_C = \frac{I_E}{2} = \frac{2,81mA}{2} = 1,4mA$$

Vrem sa alegem rezistentele R5,R6 astfel incat sa nu blocheze tranzistoarele din oglinda,cele care seteaza curentii I_{C1} si I_{C2} .

SCHEMA ELECTRICA A AMPLIFICATORULUI DIFERENTIAL IN BUCLA DESCHISA:

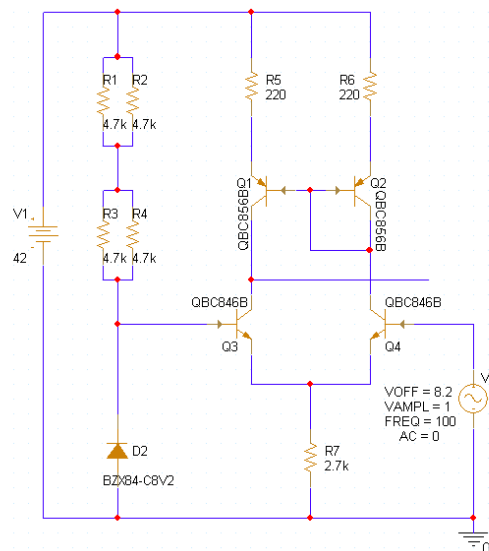


Figura 4 Amplificatorul diferential in bucla deschisa

Amplificarea in bucla deschisa este luata de pe borna pozitiva , reactia fiind una pozitiva, inversata ulterior de blocul Darlington PNP, bornele inversandu-se intre ele.

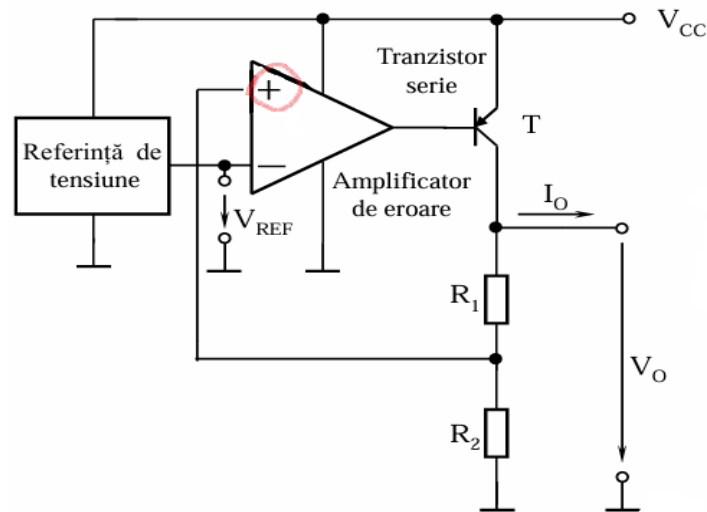


Figura 5 Exemplu de inversare a bornelor

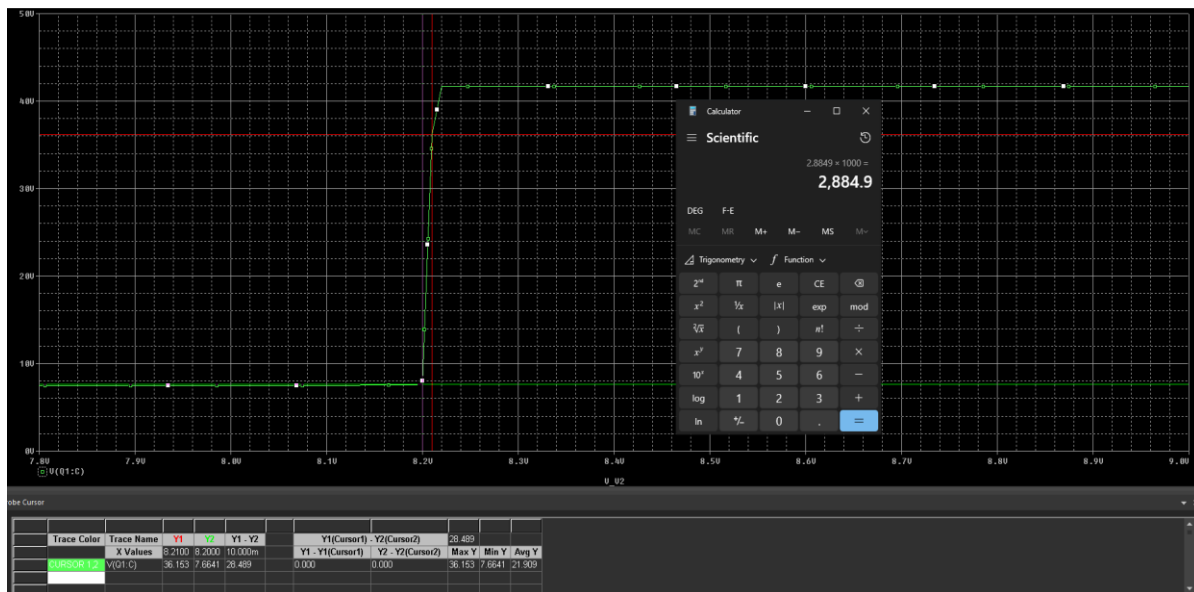


Figura 6 Calculul amplificarii in bucla deschisa

$$V_{in_amplif} = 8,21 - 8.2 = 10mV$$

$$A = \frac{V_{out_amplif}}{V_{in_amplif}} = \frac{28,489V}{10mV} = 2884,9$$

3. Reteaua de reactie negativa:

Aceasta este un divizor rezistiv format din rezistentele R8, R9, R10. R9 este potentiometrul reglabil, acestea se aleg convenabil pentru a ajunge la intrarea negativa a amplificatorului de eroare diferential aproape egal cu ce este la cea pozitiva unde este aflata tensiunea de referinta .

Am ales R9 potentiometru de 10k modelul 3314G-1-103E de la BOURNS.

Tensiunea de pe R10 este o fractiune din tensiunea de iesire.

$$V_{fo} = V_o \frac{R_{10}}{R_{10} + R_8}$$

La valoarea SET=1 ,rezistenta R13 se va duce toata catre ground adica pe R10, iar la SET=0, rezistneta R13 se va duce catre VCC ,catre R8.

Am ales R8=5.6k modelul 0805S8J0562T5E de la ROYAL OHM ,iar R9=10k modelul 0805S8J0103T5E tot de la ROYAL OHM.

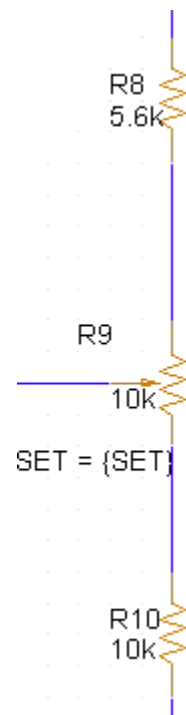


Figura 7 Reteaua de reactie negativa

4.Regulator Serie:

Elementul de reglaj serie este alcatuit din tranzistoarele Q5,Q6, ,Q7 si rezistoarele din emitorul lor.

Tranzistorul Q5 este conectat la iesirea amplificatorului diferential ,acesta a fost ales PNP pentru a inversa bornele amplificatorului ,facand din reactive pozitiva reactie negativa, emitorul lui Q5 este conectat in baza gruparii dintre Q6 si Q7,acesti doi tranzistori formeaza unul echivalent, emitorul lui Q6 este conectat la Vin prin REQ7. Emitorul lui Q7 este conectat prin REQ7 LA Vin. Colectorul lui Q6 este conectat la colectorul lui Q7,bazele fiind de asemenea conectate intre ele, aceasta formatie creeaza un transistor Echivalent ce are ca rol injumatatirea puterii de pe tranzistori.

Tranzistorul echivalent si tranzistorul Q5 modelul QBC546B de mica putere, formeaza astfel gruparea Darlington implementata cu tranzistoare PNP, care este elemental de reglaj serie.

Q7,Q6 au fost alese tranzistoare de putere modelul MJD32CG de la ON Semiconductor, au fost alese de putere pentru ca in cazul unui scurtcircuit sau a unui test cu o sursa de curent la un curent mai ridicat o sa avem niste puteri foarte mari pe acestia.

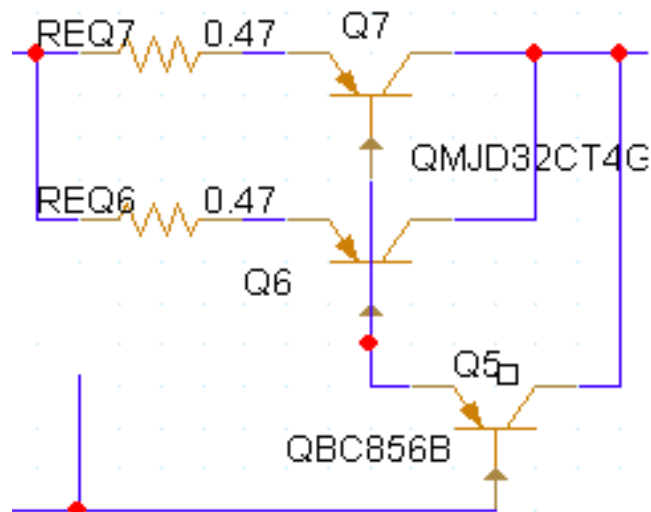


Figura 8 Elementu de reglaj serie

5. Protectie la suprasarcina:

Este formata din RSC si tranzistorul Q8 PNP de mica putere modelul QBC546B de mica putere, ,acesta are rolul sa limiteze curentul maxim de la iesire la 0,4mA. Aceasta limiteaza curentul din baza Darlington-ului.

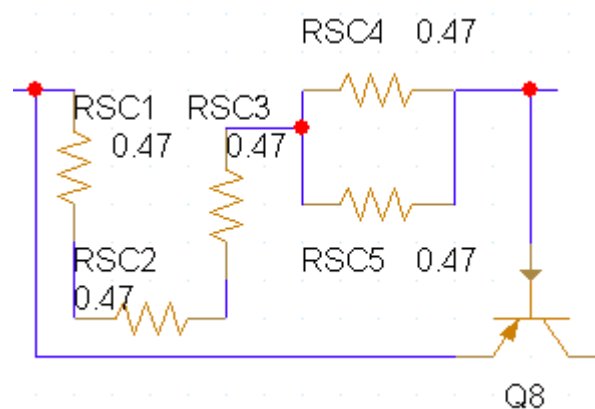
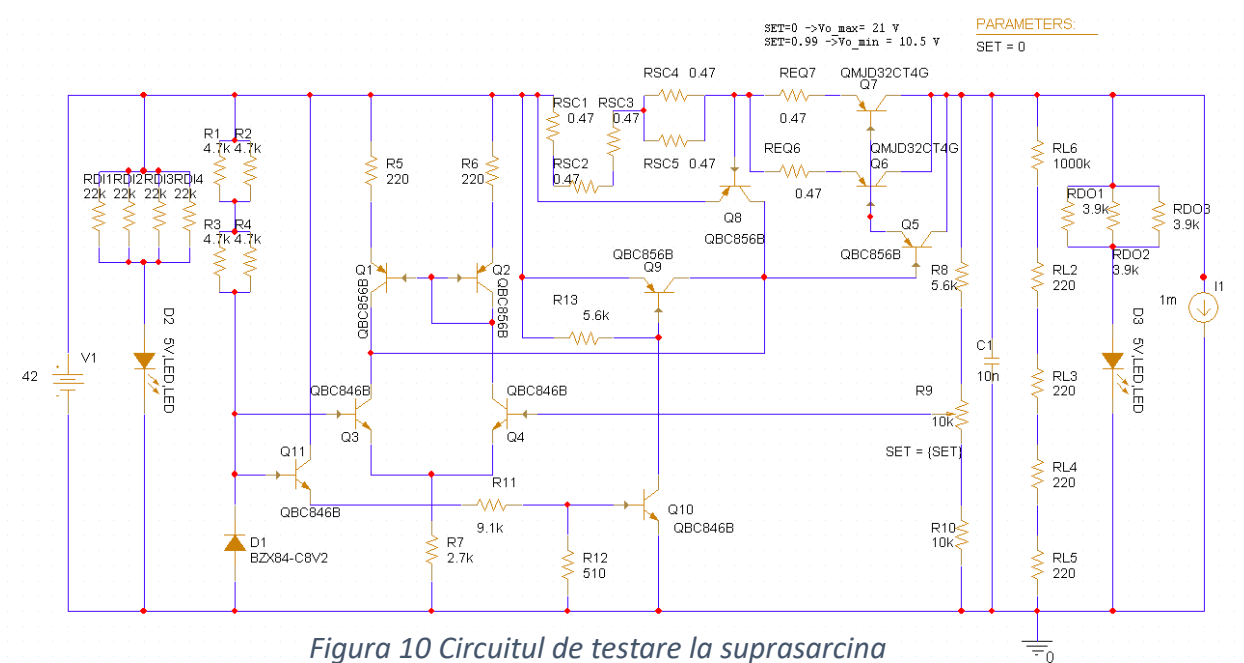


Figura 9 Protectia la suprasarcina

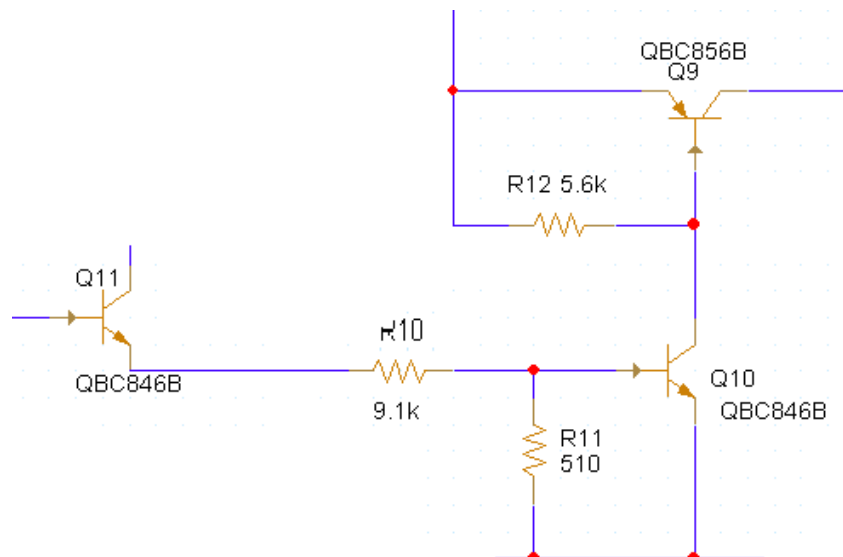
Testul la suprasarcina se face utilizand o sursa de curent la iesire si punand in locul rezistentei de sarcina o rezistenta mare de valori peste 100kohm. Putem testa prin simulare de tip PSF , punand o valoare de peste 400mA sursei de curent I1 sau prin DC SWEEP la aceasta.



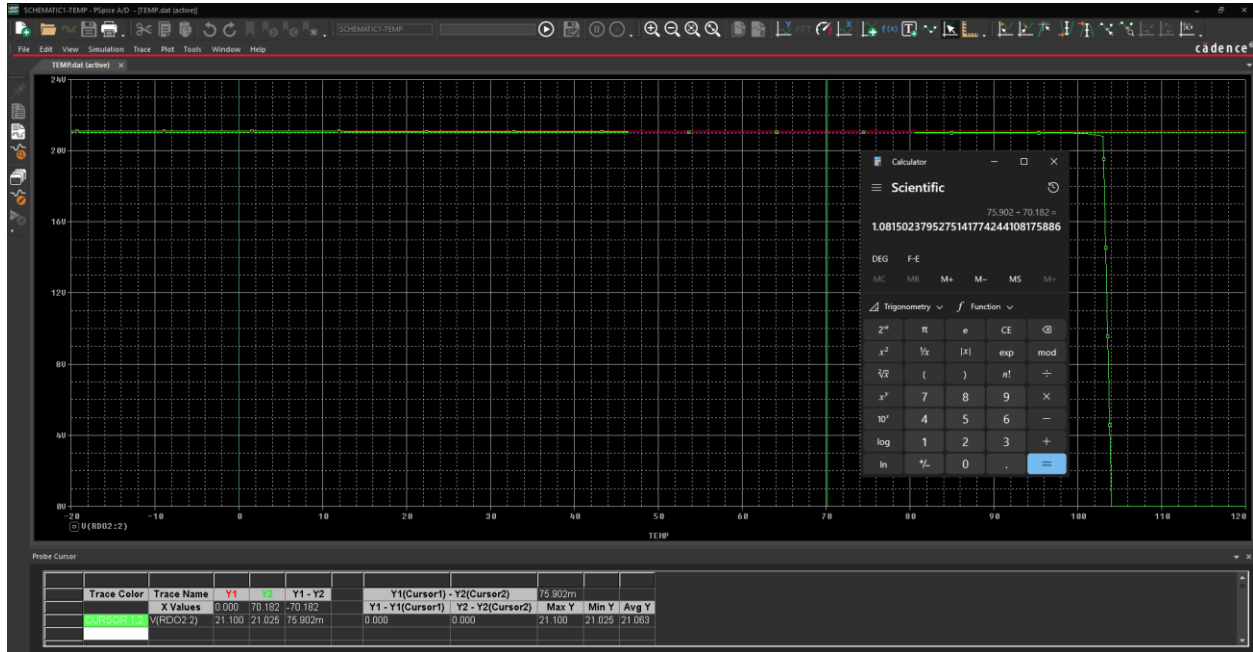
5. Protectie Termica:

Formata din Q9 tranzistor de mica putere PNP modelul QBC546B ,R12,Q10 NPN de mica putere modelul QBC546B, R12, Q10 NPN de mica putere modelul QBC546B, R12, R11, R10 , Q11 NPN de mica putere modelul;

Q11 este un repetor de tensiune al tensiunii de referinta ,rezistorii R11,R10 formeaza un divizor rezistiv ,vrem sa avem in acel potential aproximativ 400mV, pentru a deschide tranzistorul Q10 care este legat de baza lui Q11, emitorul lui Q 11 este conectat la Vin,iar colectorul in baza Darlington-ului,acesta trebuie sa ridice baza Darlington-ului pentru a opri circuitul in momentul in care se detecteaza o temperatura de 100 de grade.



Calculul derivei termice/Tensiunea de iesire in functie de temperatura



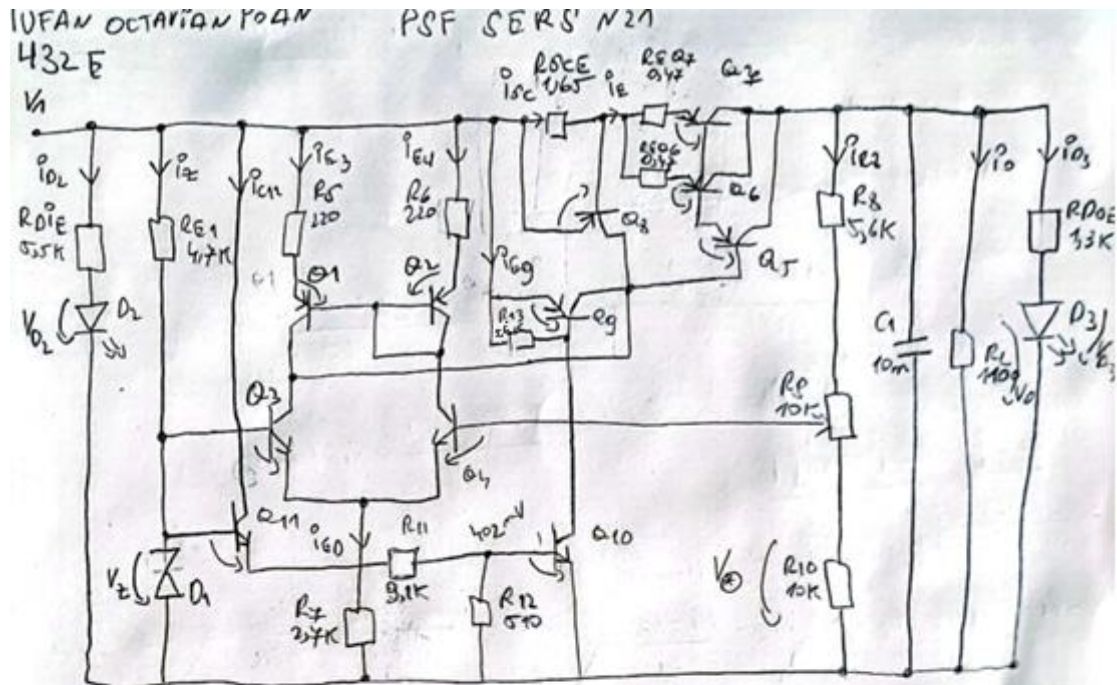
$$\frac{\Delta V_0}{\Delta T} = \frac{75.902m}{-70.182} = -1.081mV/^{\circ}C$$

Tensiunea de iesire in functie de variatia potentiometrului



DEMONSTRATIA ALEGERILOR MODELELOR

CALCULUL ANALITIC



$$V_1 \in [37,8; 42]$$

D2 LED: Testăm dacă ursețul este suficient pentru aprindere.

$$-V_1 + R_{D1E} \cdot I_{D2} + V_{D2} = 0 \Rightarrow I_{D2} = \frac{V_1 - V_{D2}}{R_{D1E}} = \begin{cases} I_{D2}' = \frac{V_{1min} - V_{D2}}{R_{D1E}} = \frac{37,8 - 3,2}{5,5K} = 6,29mA > 3mA \\ I_{D2}'' = \frac{V_{1max} - V_{D2}}{R_{D1E}} = \frac{42 - 3,2}{5,5K} = 7,05mA > 3mA \end{cases}$$

\Rightarrow LED-ul este aprins la ambele cazi

D3 LED: Testăm dacă ledul este aprins in abile urzi.

Vrem să vedem cât este V_{\otimes} , o fracție din V_0

$$V_{\otimes} = V_0 \cdot \frac{R_{10}}{R_{10} + R_3}, \text{ luând în considerare potențometrul:}$$

$$I_{BE4} = 0 \Rightarrow V_{\otimes} = V_{0max} \cdot \frac{R_{10}}{R_{10} + R_3 + R_9}$$

$$\Rightarrow -V_{\otimes} + V_{BE4} - V_{BE3} + V_z = 0 \Rightarrow -V_{0max} \cdot \frac{R_{10}}{R_{10} + R_3 + R_9} + V_z = 0$$

$$\Rightarrow V_{0max} = \frac{V_z (R_{10} + R_3 + R_9)}{R_{10}} = \frac{8,2 (10 + 5,6 + 10)}{10} = \frac{8,2 \cdot 25,6}{10} = 20,99V$$

(7)

$$D_3 \text{ în cazul } S_{ET}=0: -V_{D_3} + R_{D_3} I_{D_3} + V_{D_3} = 0 \Rightarrow I_{D_3} = \frac{V_{omax} - V_{D_3}}{R_{D_3}} = \frac{20,98 - 3,2}{1,3k} = 13,68 \text{ mA} > 3 \text{ mA}$$

$$II \ S_{ET}=1 \Rightarrow V_{\text{ce}} = V_{omim} \cdot \frac{R_{10} + R_9}{R_{10} + R_8 + R_9}$$

$$\Rightarrow V_{omim} = V_2 \cdot \frac{(R_{10} + R_8 + R_9)}{R_{10} + R_9} = 3,2 \cdot \frac{(10 + 5,6 + 10)}{10 + 10} = \frac{3,2 \cdot 25,6}{20} = 10,496 \text{ V}$$

$$D_3 \text{ în cazul } S_{ET}=1: I_{D_3} = \frac{V_{omim} - V_{D_3}}{R_{D_3}} = \frac{10,496 - 3,2}{1,3k} = 5,61 \text{ mA} > 3 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow V_{D_3} \in [10,496; 20,98] \text{ V}$$

CALCUL I_2 :

CONSIDERĂM $I_{B3} < I_2$ și $I_{B11} < I_2$

$$-V_1 + R_{E1} \cdot I_2 + V_2 = 0 \Rightarrow I_2 = \frac{V_1 - V_2}{R_{E1}} = \begin{cases} I_2'' = \frac{V_{1max} - 3,2}{4,7k} = \frac{42 - 3,2}{4,7k} = 7,18 \text{ mA} > 5 \text{ mA} \\ I_2' = \frac{V_{1min} - 3,2}{4,7k} = \frac{37,8 - 3,2}{4,7k} = 6,29 \text{ mA} > 5 \text{ mA} \end{cases}$$

CALCULUL I_{C11} :

Această este protecția la temperatură, iar tranzistoarele sunt blocate la temp. camerei (25°C) până la atingerea de 100°C. Potencialul din divizorul de tensiune R_{11}, R_{12} returnează acel mod la aproximativ 400 mV.

CALCULUL I_{SC} :

Protecția la supraîncălzire protejează atât la un scurtcircuit provocat în circuit cât și la un test cu o mîșcă de curent.

$$R_{OCF} I_{SC} = V_{EB2} = 0 \Rightarrow I_{SC} = \frac{V_{EB2}}{R_{OCF}} = \frac{0,6}{1,65} \approx 370 \text{ mA}, \text{ deci } I_{amax} = 400 \text{ mA}, \text{ în mîșcă de curent ce este totuși neregulă.}$$

LA 100°C I_{C11} :

CONSIDERĂM $I_{B10} < I_{C11}$

$$-V_2 + V_{BE1} + I_{C11} (R_{11} + R_{12}) = 0 \Rightarrow I_{C11} = \frac{V_2 - V_{BE1}}{R_{11} + R_{12}} = \frac{3,2 - 0,6}{9,16k} = 0,79 \text{ mA}$$

$\Rightarrow R_{12} \cdot I_{C11} - V_{BE10} = 0 \Rightarrow V_{BE10} = 0,79 \cdot 510 = 402,9 \text{ mV}$, ceea ce face circuitul să protejeze la o temp de 100°C

(2)

CALCULUL I_{E0} :

$$-V_z + V_{BE3} + I_{E0} \cdot R_z = 0 \Rightarrow I_{E0} = \frac{V_z - V_{BE3}}{R_z} = \frac{3,2 - 0,6}{2,7k} = 2,31 \text{ mA}$$

$$I_{E0} = I_{E3} + I_{E4}$$

Oprirea de wet funcție din Q_1, Q_2, R_5, R_6 face ca $I_{C3} \approx I_{C4}$

$$\Rightarrow I_{E0} = 2I_{E3} = 2I_{E4} \Rightarrow I_{E3} = \frac{I_{E0}}{2} = \frac{2,31}{2} = 1,155 \text{ mA} = I_{E4}$$

CALCULUL I_{O1} :

$$I_{Omax} = \frac{V_{Omax}}{R_L} = \frac{20,38}{1,1k} = 18,53 \text{ mA}$$

$$I_{Omin} = \frac{V_{Omin}}{R_L} = \frac{10,496}{1,1k} = 9,54 \text{ mA}$$

CALCULUL I_{R3} :

$$C_A + I_{ET} = 0$$

$$-V_{Omax} + I_{R3} (R_3 + R_9) + V_{BE4} - V_{BE3} + V_z = 0$$

$$\Rightarrow I_{R3} = \frac{V_{Omax} - V_z}{R_3 + R_9} = \frac{20,38 - 3,2}{15,6k} = 0,991 \text{ mA} \approx 990 \mu A$$

$$C_A + I_{ET} = 1$$

$$-V_{Omin} + I_{R3} \cdot R_3 + V_{BE4} - V_{BE3} + V_z = 0 \Rightarrow I_{R3} = \frac{V_{Omin} - V_z}{R_3} = \frac{10,496 - 3,2}{5,6k} = 1,303 \text{ mA}$$

CALCULUL CURENȚILOR DIN DARLINGTON:

Q_7, Q_6 funcționează în tranziție echilibrată, $R_{E7} \approx R_{E6}$ face ca tensiunile $V_{BE7} \approx V_{BE6} \Rightarrow$ Putem considera pe acest tranziție echilibrată ca la $\frac{I}{2}$.

$$I_{E7} \approx I_{E6} \Rightarrow I_{C7} \approx I_{E7} \text{ (caz nu are caz de saturare)}$$

$$C_A + I_{ET} = 0$$

$$I_{E7} = 0$$

$$I_{R3} + I_{Omax} + I_{O3} = 18,53 + 13,63 = 32,16 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_{E7} = \frac{I_{O3}}{2} = \frac{32,16}{2} = 16,08 \text{ mA}$$

(3)

Neglijăm P_{R3} , deoarece este un curent de valoare μA .

$$I_B = I_{B1} + I_{B2} = 1,12 + 0,1 = 1,22 \text{ mA}$$

$$\beta_{A2} \approx \beta_{B1} = 1$$

$$I_{E1} = I_{Omin} + I_{O3} = 9,54 + 5,61 \text{ mA} = 15,12 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_{E7} = \frac{I_{E1}}{2} = I_{E6} = \frac{15,12}{2} = 7,56 \text{ mA}$$

$\Rightarrow I_{E5}$ este un curent mic deoarece este curentul din baza tranzistorului echivalent, vezi calculele date pentru curent de ieșire maximă ($P_{ET} = 0$)

$$I_{E5} = \frac{I_{E6}}{\beta_6} + \frac{I_{E7}}{\beta_7} = \frac{7,56}{50} + \frac{7,56}{50} = 0,65 \text{ mA} = 650 \mu A$$

I_{E5} este foarte mic, deoarece face parte din protecția la temperatură, acesta reacționează la timp anume.

CALCULUL V_{EC5}, V_{CE} :

$$(Q_2) \quad V_{EC2} = V_{EB2} = 9,6 \text{ V}$$

$$(Q_6) \quad -V_1 + R_{DCE} \cdot I_{DC} + V_{EC7} + V_0 = 0$$

neglijabil

$$2) V_{EC7} = V_1 - V_0 = \begin{cases} V_{EC7}^1 = 42 - 21 = 21 \text{ V} \\ V_{EC7}^2 = 42 - 10,5 = 31,5 \text{ V} \end{cases} \Rightarrow V_{EC7} \in [21, 31,5] \text{ V}$$

$$V_{EC7} = V_{EC6} \rightarrow \text{nu se poate}$$

$$(Q_5) \quad 2) V_{EC5} = V_{in} - 2V_{EB} - V_{out} = \begin{cases} V_{EC5}^1 = 42 - 22,2 = 19,8 \text{ V} \\ V_{EC5}^2 = 42 - 11,7 = 30,3 \text{ V} \end{cases} \Rightarrow V_{EC5} \in [19,8, 30,3] \text{ V}$$

(4)

$$(Q_1) -V_{R_2} + \underbrace{R_6 \cdot I_{E4}}_{+mc} + V_{EB2} + V_{CE4} - V_{BE3} + V_2 = 0$$

$$V_{CE4} = V_{R_2} - V_2 - R_6 I_{E4}$$

$$\begin{cases} V_{CE4min} = 37,8 - 3,2 - 0,22 \cdot 1,4 = 29,3 \\ V_{CE4max} = 42 - 3,2 - 0,22 \cdot 1,4 = 33,5 \end{cases} \Rightarrow \underline{V_{CE4} \in [29,3, 33,5]}$$

$$(Q_2) -V_2 + V_{BE3} - V_{CE3} - 3V_{EB} + V_0 = 0$$

$$V_{CE3} = V_0 - V_2 - 2V_{EB} = 42 - 3,2 - 1,2 = 42 - 9,4 = 32,6 = V_{CE3max}$$

$$37,8 - 3,2 - 1,2 = 29,4 = V_{CE3min} \Rightarrow \underline{V_{CE3} \in [29,4, 32,6]}$$

$$(Q_1') R_5 \cdot I_{E3} - 3V_{EB} + V_{EC1} = 0 \Rightarrow V_{EC1} = 3V_{EB} - R_5 I_{E3} = 12,3 - 0,22 \cdot 1,4 = 11,5V$$

CALCULUL PUTERIIlor:

D_1 diode zener:

$$P_{D1}' = I_2' \cdot V_2 = 3,2 \cdot 5,61 = 18,0mW < 46mW < 250mW$$

$$P_{D1}'' = I_2'' \cdot V_2 = 3,2 \cdot 7,18 = 23,0mW$$

D_2 rezistentă R_{D1E} :

$$P_{R_{D1E}}' = R_{D1E} \cdot I_{D1}'^2 = 5,5 \cdot 6,28^2 = 217mW > 125mW \rightarrow \text{este pusă în 4 rez de 22K în paralel}$$

$$P_{R_{D1E}}'' = R_{D1E} \cdot I_{D1}''^2 = 5,5 \cdot 7,05^2 = 273mW > 125mW$$

$$P_{D2}' = V_{D2} \cdot I_{D2}' = 3,2 \cdot 6,28 = 20,1mW < 110mW$$

$$P_{D2}'' = V_{D2} \cdot I_{D2}'' = 3,2 \cdot 7,05 = 22,6mW < 110mW$$

D_3 rezistentă R_{D3} :

$$P_{R_{D3}}' = R_{D3} \cdot I_{D3}'^2 = 1,3 \cdot 13,68^2 = 243mW > 125mW \rightarrow \text{este pusă în 3 rez de 3,3K în paralel}$$

$$P_{D3}'' = V_{D3} \cdot I_{D3}'' = 3,2 \cdot 13,68 = 43,776mW$$

(5)

Q1:

$$P_{d,max} = V_{EC1,max} \cdot I_{C1}^2 = 1,5 \cdot 1,4^2 = 2,94 \text{ mW} < 250 \text{ mW}$$

Q2:

$$P_{d,max} = V_{EC2} \cdot I_{C2}^2 = 0,6 \cdot 1,4^2 = 1,17 \text{ mW} < 250 \text{ mW}$$

Q3:

$$P_{d,min} = V_{EC3,min} \cdot I_{C3}^2 = 23,4 \cdot 1,4^2 = 58,66 \text{ mW} < 250 \text{ mW}$$

$$P_{d,max} = V_{EC3,max} \cdot I_{C3}^2 = 32,6 \cdot 1,4^2 = 63,88 \text{ mW} < 250 \text{ mW}$$

Q4:

$$P_{d,min} = V_{EC4,min} \cdot I_{C4}^2 = 28,3 \cdot 1,4^2 = 57,42 \text{ mW} < 250 \text{ mW}$$

$$P_{d,max} = V_{EC4,max} \cdot I_{C4}^2 = 33,5 \cdot 1,4^2 = 65,66 \text{ mW} < 250 \text{ mW}$$

Q5:

$$P_{d,min} = V_{EC'} \cdot I_{C5} = 19,8 \cdot 0,3 = 5,84 \text{ mW} < 250 \text{ mW}$$

$$P_{d,max} = V_{EC''} \cdot I_{C5} = 30,3 \cdot 0,65 = 19,6 \text{ mW} < 250 \text{ mW}$$

Q6, Q7:

$$P_{d,min} = V_{EC6'} \cdot I_{C6} = V_{EC7''} \cdot I_{C7} = 31,5 \cdot 7,56 = 238 \text{ mW} < 15 \text{ W}$$

$$P_{d,max} = V_{EC6''} \cdot I_{C6} = V_{EC7'} \cdot I_{C7} = 217 \cdot 16,38 = 343 \text{ mW} < 15 \text{ W}$$

pentru R_L :

$$P_{R_L,max} = R_L \cdot I_{O,max}^2 = 1,1 \cdot 18,081^2 = 364 \text{ mW} > 125 \text{ mW}$$

$$P_{R_L,min} = R_L \cdot I_{O,min}^2 = 1,1 \cdot 9,54^2 = 100 \text{ mW} < 125 \text{ mW}$$

Au des se fac rezistență echivalentă de $5 \text{ m}\Omega$ de 220Ω în serie
pentru a putea disipa puterea.

⑥