



Universitatea POLITEHNICA din București

Facultatea de electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației



PROIECT 1

DISPOZITIVE SI CIRCUITE ELECTRONICE

AMPLIFICATOR DE TENSIUNE

PROFESORI COORDONATORI: Ș. I. Dr. Ing. Miron Jean Cristea

Dr. Ing. Niculina Drăghici

STUDENT: ANDRONE IONUȚ

GRUPA 432C

CUPRINS

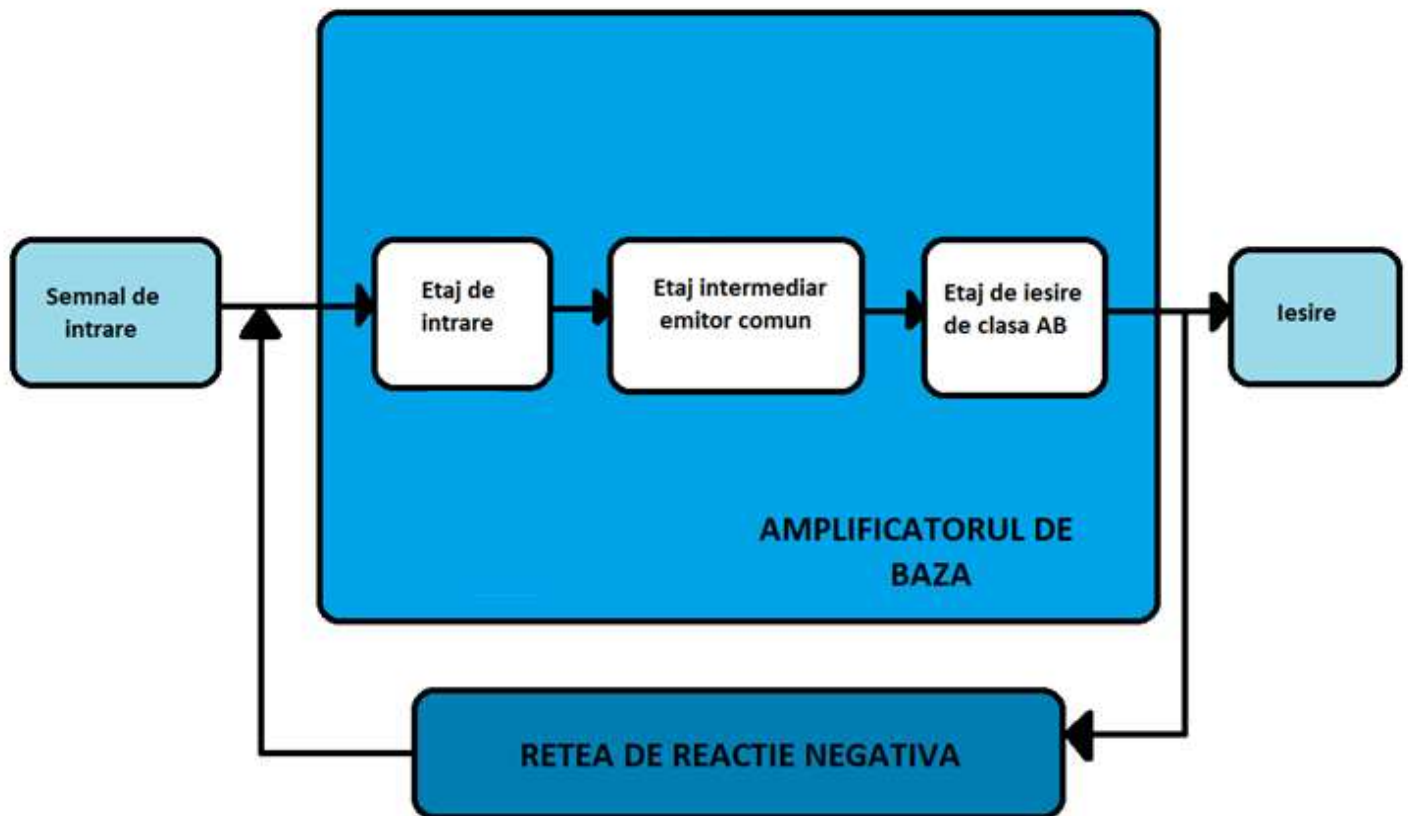
1. Tema proiectului.....	pag. 3
2. Schema bloc.....	pag. 3
3. Schema electrica.....	pag. 4
4. Detalii de proiectare.....	pag. 4
4.1. Etajul diferential.....	pag. 6
4.2. Etajul emitor comun degenerat.....	pag. 6
4.3. Etajul de iesire in clasa AB.....	pag. 6
4.4. Sursa de curent.....	pag. 7
4.5. Oglinda de curent.....	pag. 7
5. Functionalitatea circuitului.....	pag. 8
6. Punctul static de functionare.....	pag. 9
7. Amplificarea in bucla inchisa.....	pag. 13
8. Amplificarea in bucla deschisa.....	pag. 14
9. Impedanta de intrare.....	pag. 15
10. Analiza domeniului temperaturilor de functionare.....	pag. 15
11. Bill of materials (BOM).....	pag. 16
12. Bibliografie.....	pag. 16

1. TEMA PROIECTULUI (N=3):

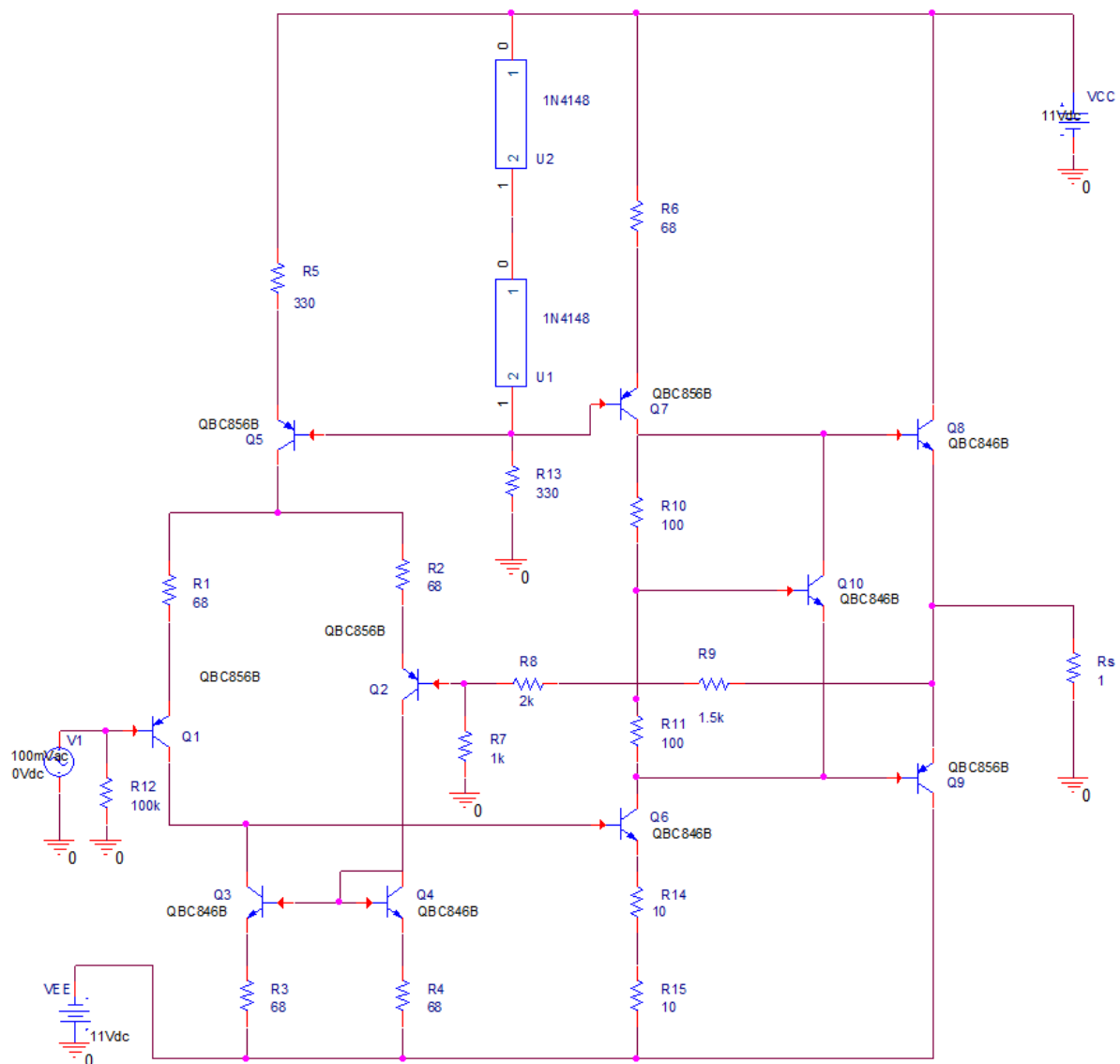
Sa se proiecteze și realizeze un amplificator de tensiune avand urmatoarele caracteristici:

- ♦ Amplificarea de tensiune $A_v = 3 + N/2 = 3 + 1.5 = 4.5$
- ♦ Tensiunea de intrare sinusoidala cu amplitudinea de **100mVv-v** și $f=1\text{KHz}$;
- ♦ Impedanta de intrare **100k Ω** ;
- ♦ Rezistenta de sarcina **1 Ω** ;
- ♦ Domeniul temperaturilor de functionare: **0°C - 70°C** (verificabil prin testare în temperatura);
- ♦ Amplificarea in tensiune minima (în buclă deschisa) a amplificatorului: minim **200**;
- ♦ Semnalizarea prezenței tensiunilor de intrare/iesire cu dioda de tip LED.

2. SCHEMA BLOC A CIRCUITULUI



3. Schema electrica (in bucla inchisa)



4. Detalii de proiectare

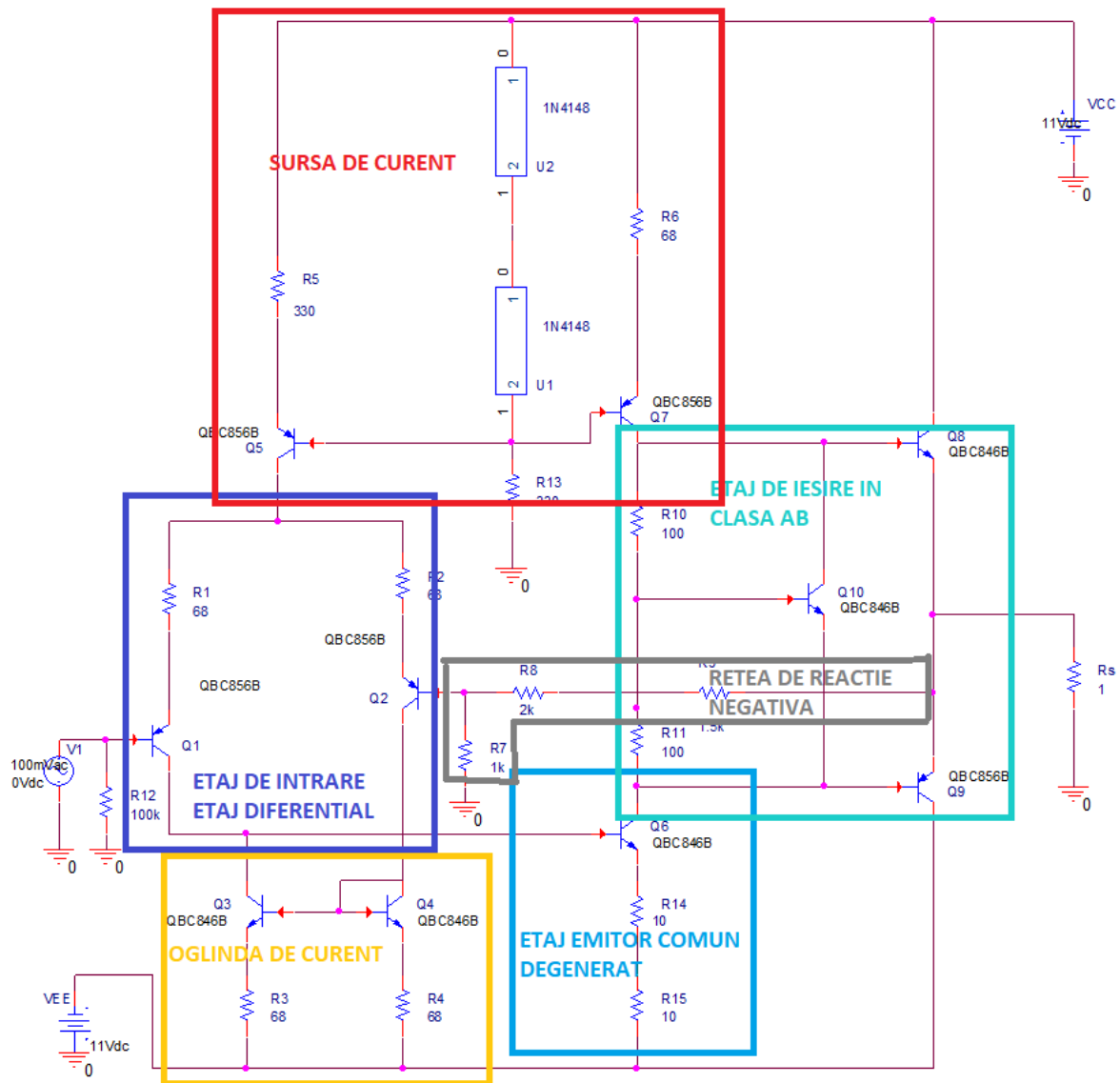
Circuitul este un amplificator de joasa frecventa cu reactie serie-paralel. Acesta este alcatuit din amplificatorul de baza si reteaua de reactie negativa. Amplificatorul de baza este la randul sau alcatuit din urmatoarele blocuri:

- Etajul de intrare: Etajul diferential
- Etajul intermediar: Etajul emitor comun degenerat
- Etajul de iesire: Etajul de clasa AB

Amplificatorul de baza prezinta totodata si alte 2 blocuri esentiale pentru functionarea circuitului:

- Sursa de curent
- Oglinda de curent

In figura urmatoare se evidentiaza fiecare bloc:

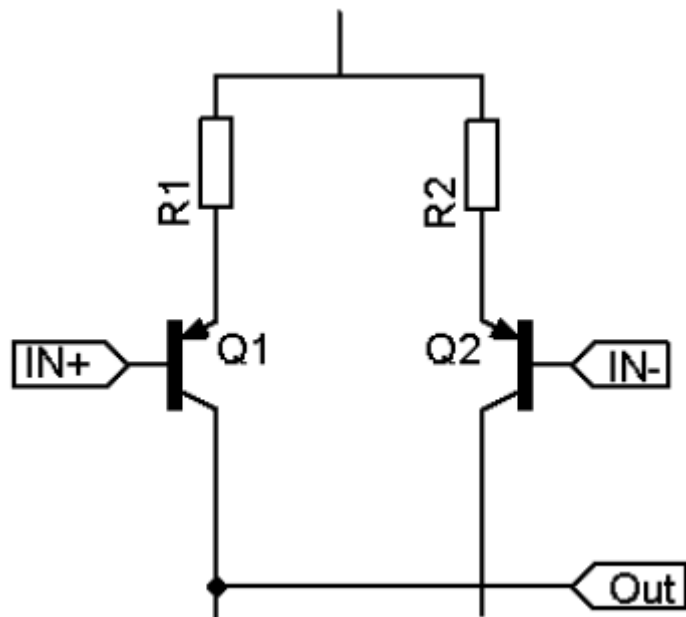


In continuare se va prezenta rolul fiecarui bloc in functionarea amplificatorului.

4.1. ETAJUL DIFERENTIAL

Etajul de intrare este realizat cu ajutorul unui amplificator diferential.

Amplificatorul diferential este un montaj electronic cu 2 intrari ce are rolul de a amplifica diferenta dintre semnalele aplicate la intrare.

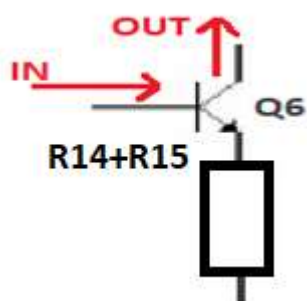


In schema amplificatorului, etajul diferential este format din tranzistoarele PNP Q1 si Q2 de tipul BC856B si rezistentele de aceeasi valoare $R1=R2 = 68\Omega$.

Acest etaj este esential pentru functionarea circuitului si totodata pentru a ajunge la amplificarea dorita.

Etajul face diferenta dintre tensiunea sinusoidala aplicata la intrare (in baza tranzistorului Q1) si semnalul adus in baza tranzistorului Q2 (prin intermediul reactiei negative). Acesta totodata realizeaza o amplificare ridicata in conditii de deriva minima si un raport semnal-zgomot favorabil.

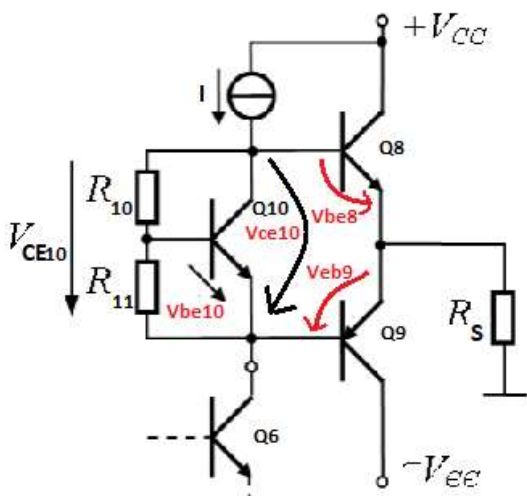
4.2. ETAJUL EMITOR COMUN DEGENERAT



Etajul emitor comun este etajul intermediar ce ajuta la o amplificare mai mare a semnalului. Acesta are rolul esential de adaptare spre blocul de iesire.

Etajul este un "degenerat" deoarece are legate si rezistentele in serie R14 si R15 de emitorul tranzistorului Q6.

4.3. ETAJUL DE IESIRE IN CLASA AB



Etajul de iesire consta intr-un etaj de clasa AB, mai precis o configuratie folosita pentru evitarea ambalarii termice a acestuia.

Tranzistoarele Q8 si Q9 sunt polarizate prin multiplicarea tensiunii baza-emitor a tranzistorului NPN Q10 (V_{be10}).

Din schema putem observa ca $V_{ce10} = V_{be8} + V_{be9}$. Dar in acelasi timp se formeaza si un divizor de tensiune in baza tranzistorului Q10.

Asadar se poate scrie ca: $V_{be10} = V_{ce} \frac{R11}{R11+R10}$ deci $V_{ce10} = V_{be10} \left(1 + \frac{R10}{R11}\right)$.

Din acest motiv am ales rezistentele $R_{10} = R_{11}$ egale in circuit, pentru a obtine $V_{ce10} = 2V_{be10}$. Astfel fortam tranzistoarele Q8 si Q9 sa lucreze in RAN, considerand ca tranzistoarele au tensiunile dintre baza-emitor aproximativ egale:

$$2V_{be10} = V_{be8} + V_{be9}.$$

Evitarea ambalarii termice a etajului de la iesire poate fi demonstrata astfel:

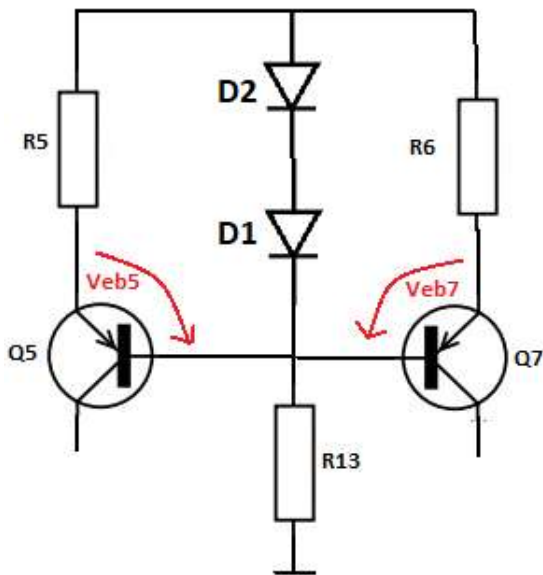
Consideram ca prin tranzistoarele Q8 si Q9 trece curentul I_Q iar prin rezistenta de sarcina trece un curent neglijabil in raport cu I_Q .

Stim ca $V_{ce10} = V_{be8} + V_{be9}$ si ca $V_{ce10} = V_{be10}(1 + \frac{R_{10}}{R_{11}})$ deci putem sa scriem ca

$$V_{th}[\ln(\frac{I_Q}{I_{s8}}) + \ln(\frac{I_Q}{I_{s9}})] = (1 + \frac{R_{10}}{R_{11}})V_{th}\ln(\frac{I_{c10}}{I_{s10}}) \text{ asadar deducem ca:}$$

$I_Q = \sqrt{I_{s1}I_{s2}(\frac{1}{I_{s10}})^{(1+\frac{R_{10}}{R_{11}})}}$. In concluzie curentul I_Q nu va depinde de temperatura, ci doar de parametrii de model si rezistentele R_{10} si R_{11} .

4.4. SURSA DE CURENT

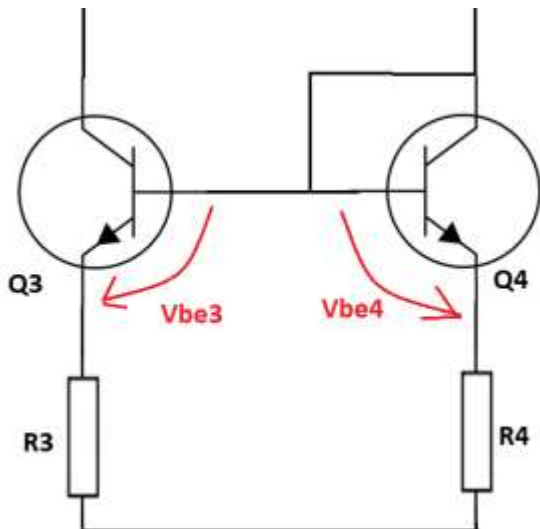


Sursa de curent are rolul de a furniza un curent constant, fortand impreuna cu oglinda de curent ca cele 2 tranzistoare din etajul diferential (Q1 si Q2) sa absoarba curenti de aceeasi valoare.

$I_{c5} = \frac{2V_d - V_{be5}}{R_5}$. In acest caz am notat $V_{d3} = V_{d2} = V_d$ deoarece diodele D1 si D2 sunt de acelasi tip.

Totodata, sursa de curent alimenteaza si etajul intermediar emitor-comun cu ajutorul tranzistorului Q7.

4.5. OGLINDA DE CURENT



Oglinda de curent se defineste ca un repetor de curent cu schimbarea punctului de referinta al sarcinii.

In schema amplificatorului, oglinda de curent este formata din tranzistoarele Q3 si Q4, care sunt de acelasi tip. Asadar au aceeasi parametrii de model, inclusiv curentul de saturatie $I_{s3} = I_{s4}$. Daca tranzistoarele functioneaza la ceeasi temperatura: $V_{th3} = V_{th4}$.

Stiind in plus ca $V_{be3} = V_{be4}$ atunci rezulta ca $I_{c3} = I_{c4}$ deci $I_{c1} = I_{c2}$, in conditiile in care curentii prin bazele tranzistoarelor sunt neglijabili.

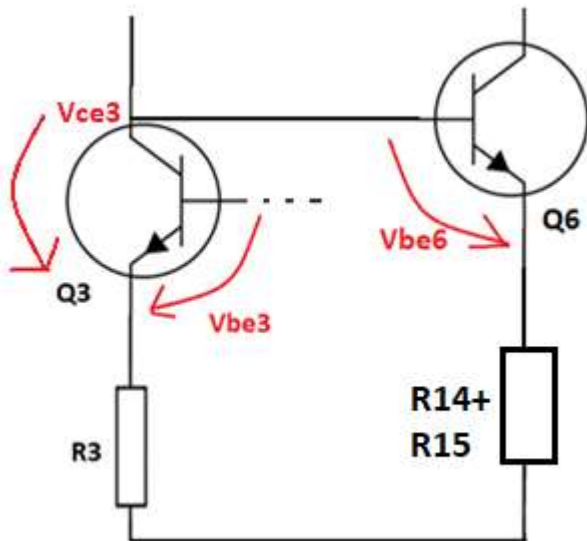
Amplificatorul diferential impreuna cu oglinda de curent ofera performante mult mai bune.

5. FUNCTIONALITATEA CIRCUITULUI

Semnalul de intrare are o forma sinusoidala de amplitudine varf-la-varf de 100mV si o frecventa de 1kHz. Dupa cum se poate observa, impedanta de intrare este dictate de valoarea rezistentei R12. Pentru a indeplini cerinta temei si anume de a obtine o impedanta de intrare de 100 kΩ, am ales valoarea rezistentei 100kΩ. Explicatia este data de faptul ca impedanta de intrare este gruparea paralel dintre R12 si rezistenta de intrare in baza tranzistorului Q1. Cea din urma are o valoare de ordinul MΩ, astfel fiind anulata de valoarea lui R12.

Am ales valoarea tensiunilor de alimentare de 11V respectiv -11V pentru a putea obtine o amplificare in bucla deschisa mai mare de 200.

Alimentarea circuitului se realizeaza cu ajutorul sursei de curent Q5 ce determina pe etajul de intrare 2 curenti egali si constanti $I_{c1}=I_{c2}=1.4$ mA. Diodele D1 si D2 au rolul de a mentine tranzistoarele Q5, respectiv Q7 in RAN. Tranzistoarele Q3 si Q4 au rolul de a forma o oglinda de curent ce forteaza cei 2 curenti din etajul initial sa fie egali. Etajul diferential cu iesire asimetrica este urmat de etajul emitor comun degenerat, realizat cu ajutorul tranzistorului bipolar NPN Q6. Dioda D1 are rolul de a mentine Q3 in RAN astfel:



Conditia ca Q3 sa fie in RAN este ca $V_{ce3} \geq V_{be3}$.

Daca nu am pune o rezistenta, pe care are loc o cadere de tensiune nu am putea indeplini conditia ca tranzistorul Q3 sa fie in RAN:

$$U_{ce3} + U_{R3} = V_{be6} + U_{R14} + U_{R15} .$$

Curentul prin colectorul lui Q6 de 12.8 mA este asigurat tot prin intermediul sursei de curent, formata de data aceasta de tranzistorul PNP Q7.

Etajul intermediar este urmat de etajul de clasa AB, format din tranzistoarele Q8 si Q9. Tranzistorul Q10 nu are un rol in amplificarea circuitului, ci doar asigura impreuna cu rezistentele R10 si R11 faptul ca tranzistoarele bipolare Q8 si Q9 sunt polarizate prin multiplicarea tensiunii baza-emitor. Prin tranzistoarele ce formeaza etajul de iesire, sunt asigurati curentii $I_{c8} = 6.9$ mA respectiv $I_{c9} = 6.9$ mA.

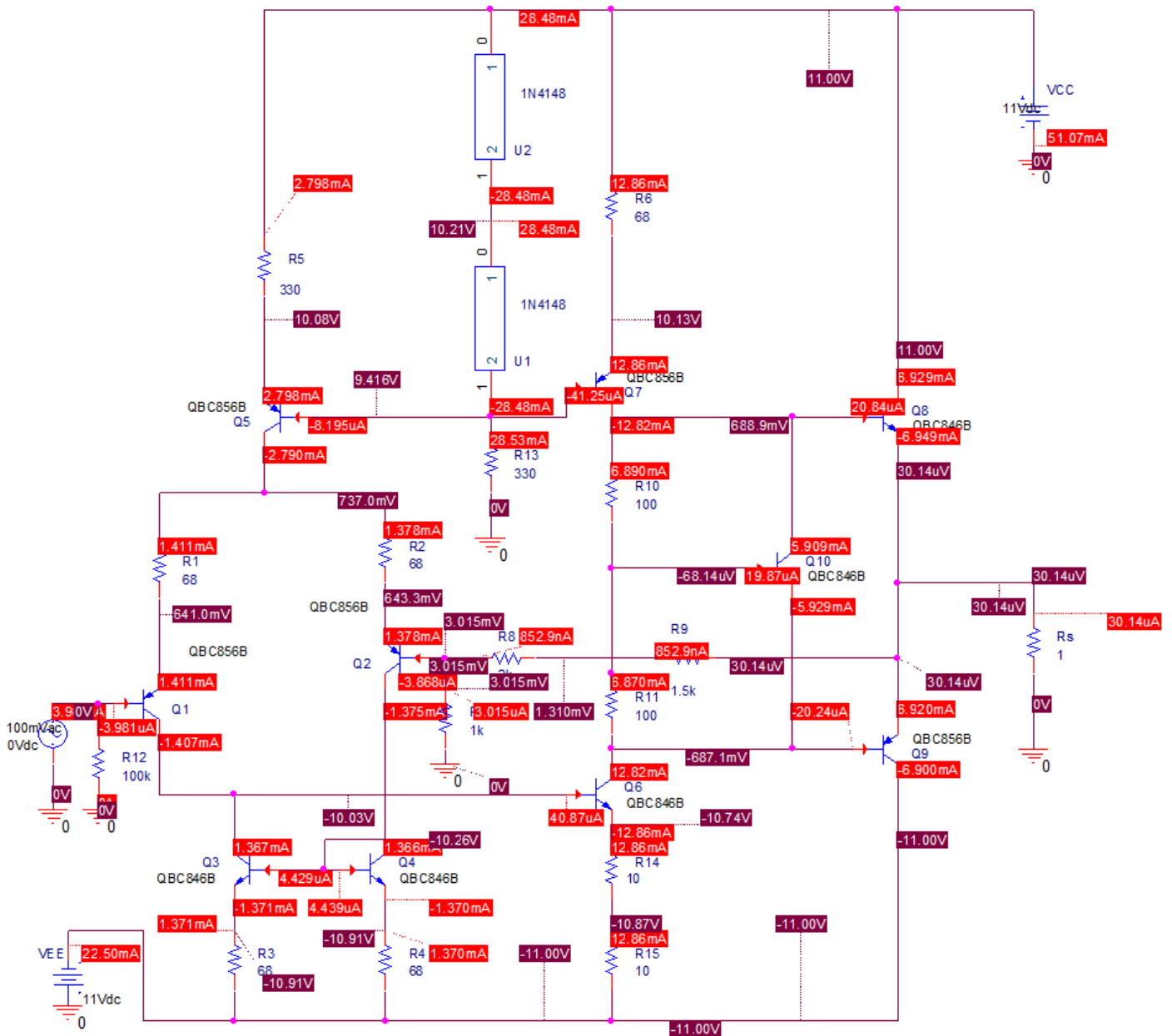
Cele trei etaje de amplificare formeaza de fapt structura interna a unui amplificator operational.

Bucla de reactie negativa este formata de rezistentele R8, R9 si R7. Aceasta are intrarea la iesirea din amplificator si iesirea la intrarea in amplificator (in baza lui Q2).

Amplificarea totala in bucla inchisa este data chiar de valoarea rezistentelor ce formeaza bucla de reactie:

$$A = 1 + \frac{R9+R8}{R7}$$

6. PUNCTUL STATIC DE FUNCTIONARE



Q1: $V_{ec1} = 10.6 \text{ V} \geq V_{eb1} \Rightarrow Q1$ este in RAN

$$V_{eb1} = 0.64V$$
$$I_{C1} = 1.4 \text{ mA}$$

Q2: $V_{ec2} = 10.6 \text{ V} \geq V_{eb2} \Rightarrow Q2$ este in RAN

$$V_{eb2} = 0.61V$$
$$I_{C2} = 1.37 \text{ mA}$$

Q3: $V_{ce3} = 0.88 \text{ V} \geq V_{be3} \Rightarrow Q3$ este in RAN

$$V_{be3} = 0.65V$$
$$I_{c3} = 1.37 \text{ mA}$$

Q4: $V_{ce4} = 0.65 \text{ V} \geq V_{be4} \Rightarrow Q4$ este in RAN

$$V_{be4} = 0.65 \text{ V}$$

$$I_{c4} = 1.36 \text{ mA}$$

Q5: $V_{ce5} = 9.3 \text{ V} \geq V_{be5} \Rightarrow Q5$ este in RAN

$$V_{be5} = 0.66 \text{ V}$$

$$I_{c5} = 2.8 \text{ mA}$$

Q6: $V_{ce6} = 10 \text{ V} \geq V_{be6} \Rightarrow Q6$ este in RAN

$$V_{be6} = 0.71 \text{ V}$$

$$I_{c6} = 12.8 \text{ mA}$$

Q7: $V_{ce7} = 9.4 \text{ V} \geq V_{be7} \Rightarrow Q7$ este in RAN

$$V_{be7} = 0.71 \text{ V}$$

$$I_{c7} = 12.8 \text{ mA}$$

Q8: $V_{ce8} = 11 \text{ V} \geq V_{be8} \Rightarrow Q8$ este in RAN

$$V_{be8} = 0.68 \text{ V}$$

$$I_{c8} = 6.9 \text{ mA}$$

Q9: $V_{ce9} = 11 \text{ V} \geq V_{be9} \Rightarrow Q9$ este in RAN

$$V_{be9} = 0.68 \text{ V}$$

$$I_{c9} = 6.9 \text{ mA}$$

Q10: $V_{ce10} = 1.36 \text{ V} \geq V_{be10} \Rightarrow Q10$ este in RAN

$$V_{be10} = 0.68 \text{ V}$$

$$I_{c10} = 5.9 \text{ mA}$$

Observam din simulare faptul ca curentii prin bazele tranzistoarelor sunt de ordinul μV asadar ii vom considera neglijabili.

Prin intermediul PSF-ului verificam si daca componentele circuitului se incadreaza in limitele caracteristice din foile de catalog.

De exemplu:

- Pentru DIODE:

MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)			
PARAMETER	SYMBOL	VALUE	UNIT
Power dissipation	P_D	500	mW
Non-repetitive peak reverse voltage	V_{RSM}	100	V
Repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	75	V
Repetitive peak forward current	I_{FRM}	300	mA
Mean forward current	I_O	150	mA
Non-repetitive peak forward surge current Tp = 1s square waveform Tp = 8.3ms single half sine waveform	I_{FSM}	0.5 2.0	A
Thermal resistance form junction ambient (Note 1)	$R_{\theta JA}$	375	$^\circ\text{C/W}$
Junction and storage temperature range	T_J, T_{STG}	- 55 to +175	$^\circ\text{C}$

- Maximum ratings ²⁾**

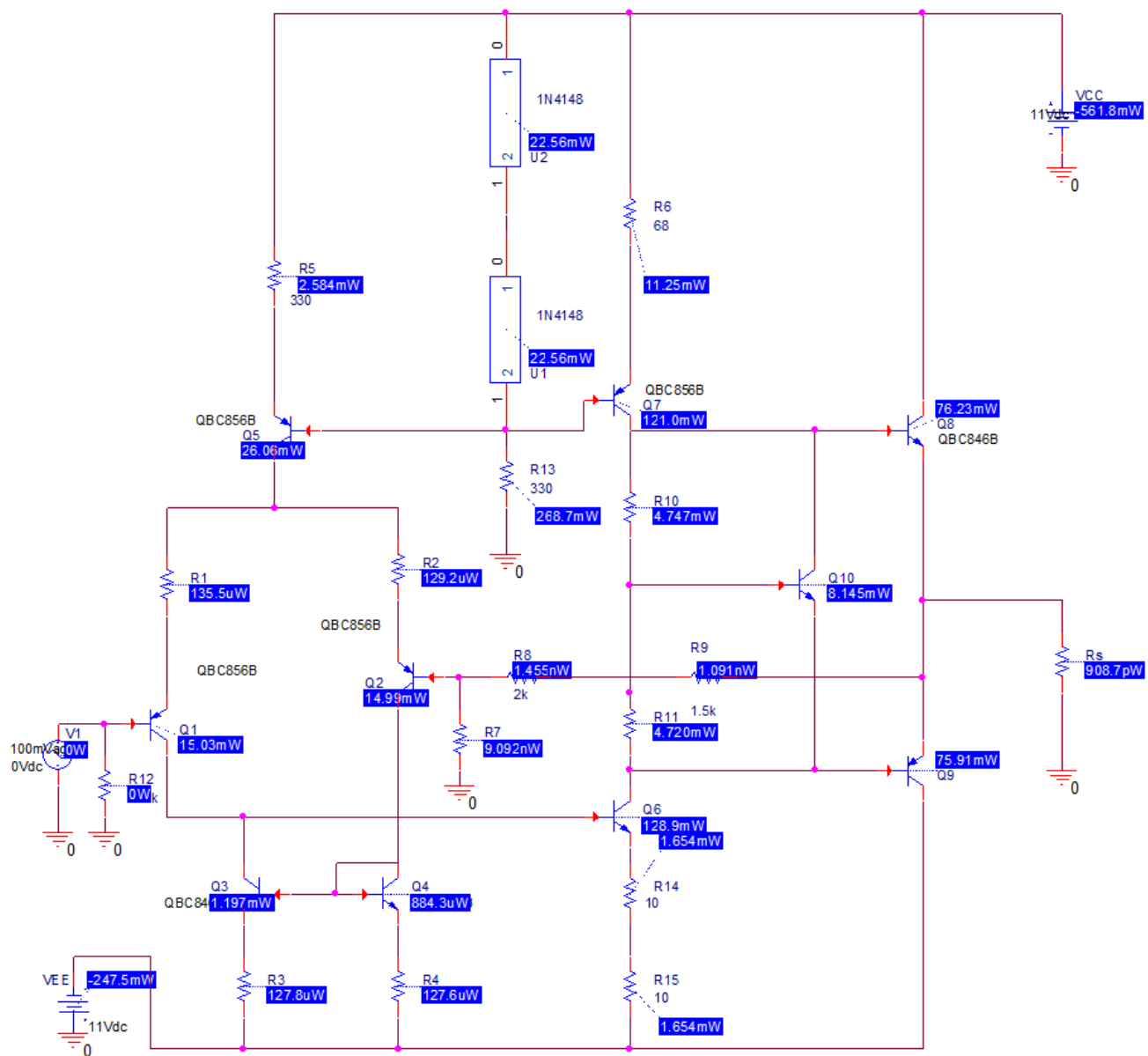
Grenzwerte ²⁾

- Maximum ratings ²⁾**

Grenzwerte ²⁾

- | Type | Power Rating at 70°C | Max. Working Voltage | Max. Overload Voltage | Operating Temp. (°C) | Tolerance % | Resistance Range | Standard Series | Dimension (mm) | | | | |
|------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------------|------------------|-------------------|----------------|--|-----------|----------------|----------------|
| | | | | | | | | L | W | H | ℓ ₁ | ℓ ₂ |
| 0805 | 1/8W-S
1/10W | 2A | 4A | -55~+155 | Jumper | < 50 m Ω | E96
E24
E24 | 2.00±0.15 | 1.25 ^{+0.15} _{-0.10} | 0.55±0.10 | 0.40±0.20 | 0.40±0.20 |
| | | 150V | 300V | | ±1 | 10 Ω -1M Ω | | | | | | |
| | | | | | ±2 | 1 Ω -10M Ω | | | | | | |
| | | | | | ±5 | 1 Ω -10M Ω | | | | | | |

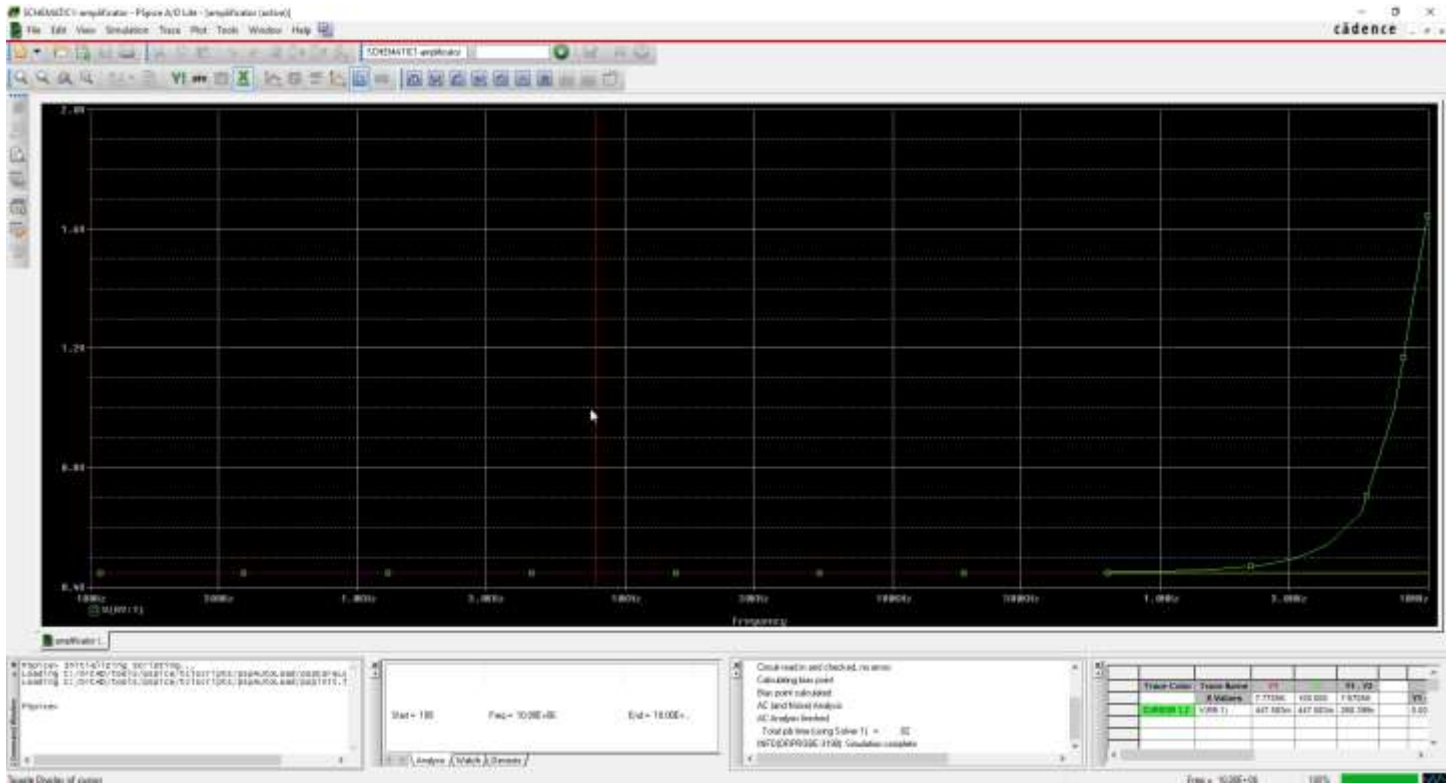
Verificam si puterile electrice ale circuitului, si observam ca se incadreaza in limitele impuse de foile de catalog ale componentelor:



7. AMPLIFICAREA IN BUCLA INCHISA:

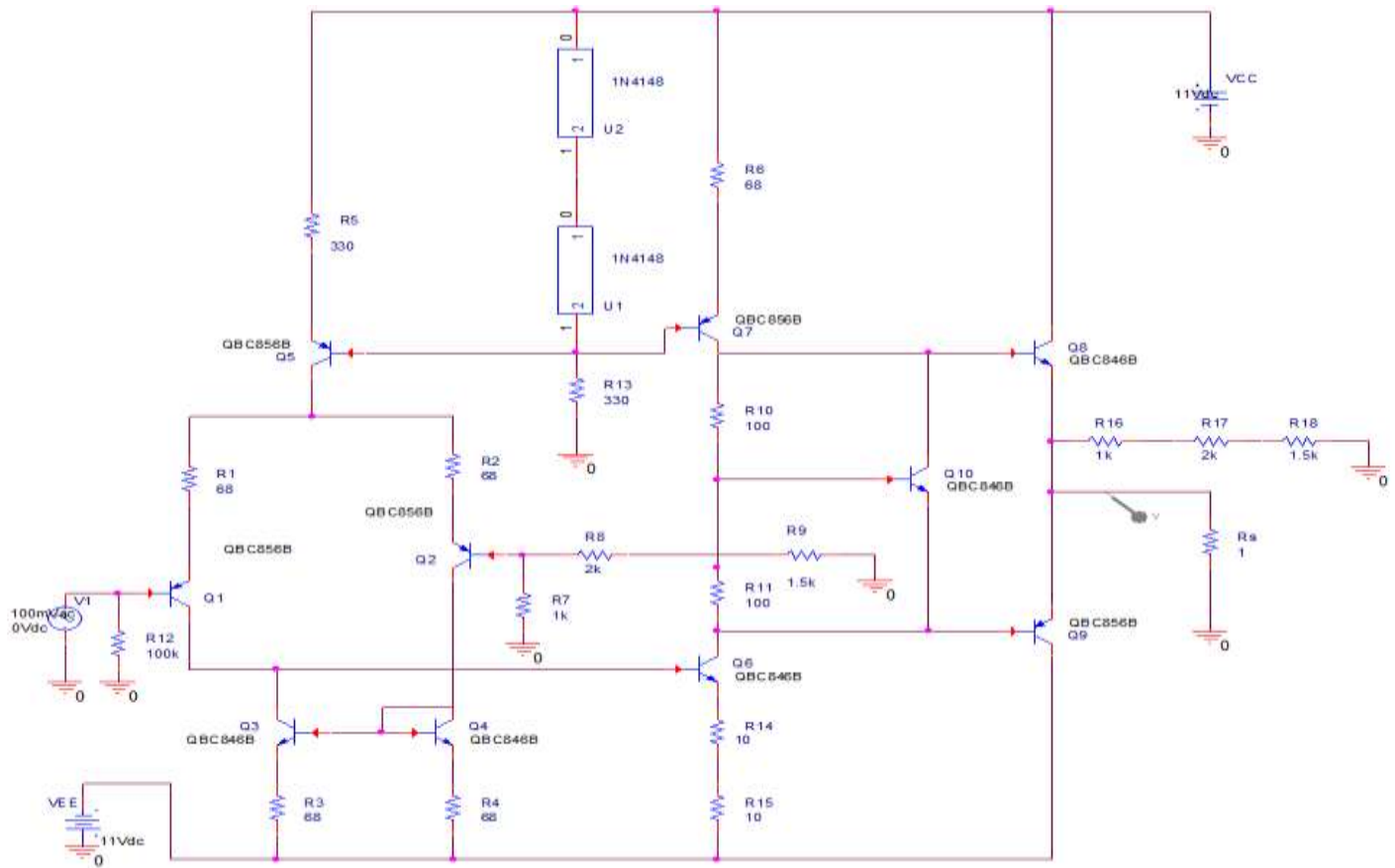
Amplificarea in bucla inchisa se poate calcula ca si $A = 1 + \frac{R9+R8}{R7} = 1 + \frac{1.5k\Omega+2k\Omega}{1k\Omega} = 1 + 3.5 = 4.5$

Putem observa din simulare ca obtinem amplificarea de cat ne dorim si anume **4.47** , cu o eroare de 0.67% fata de ce am dorit sa obtinem.

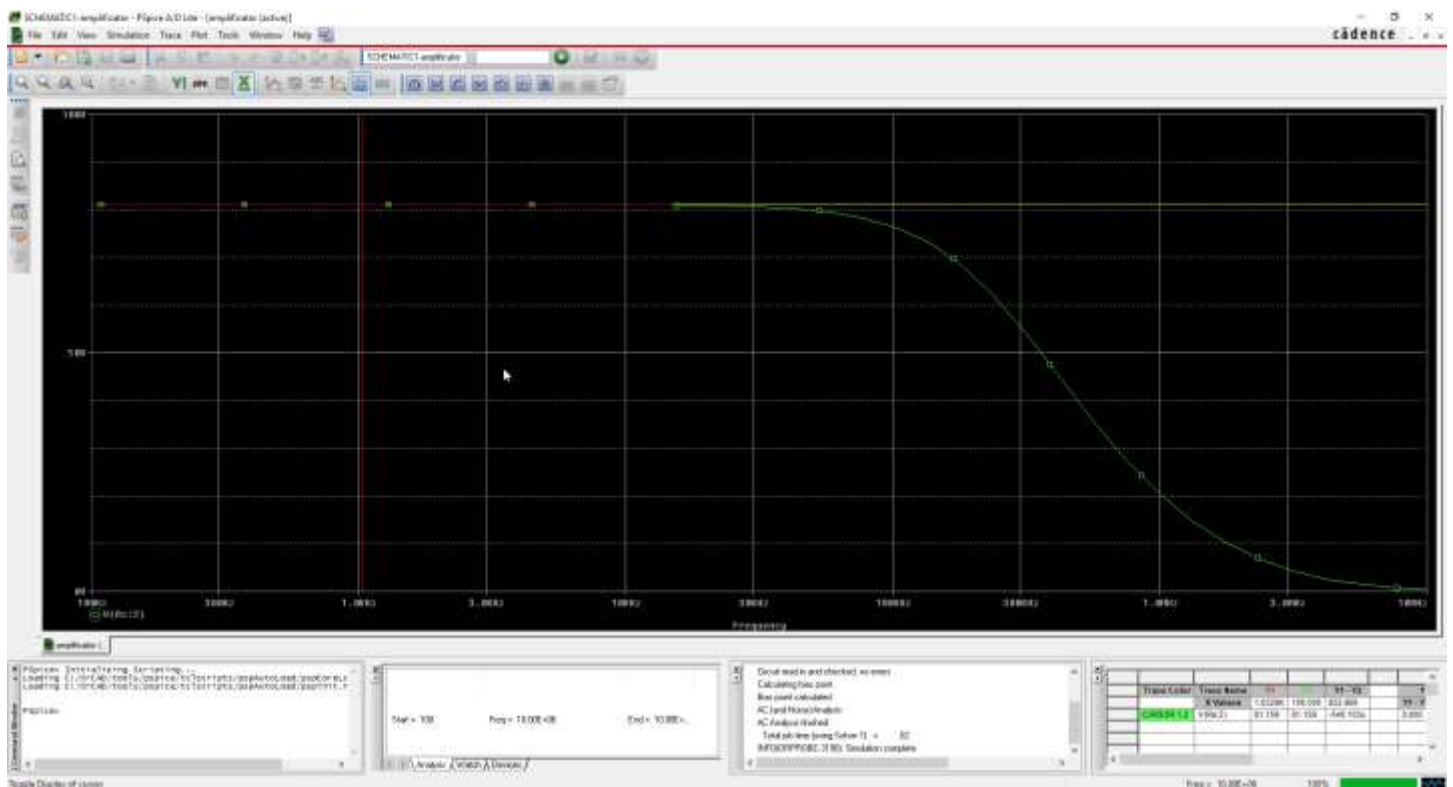


8. AMPLIFICAREA IN BUCLA DESCHISA:

Circuitul pentru amplificarea in bucla deschisa este:

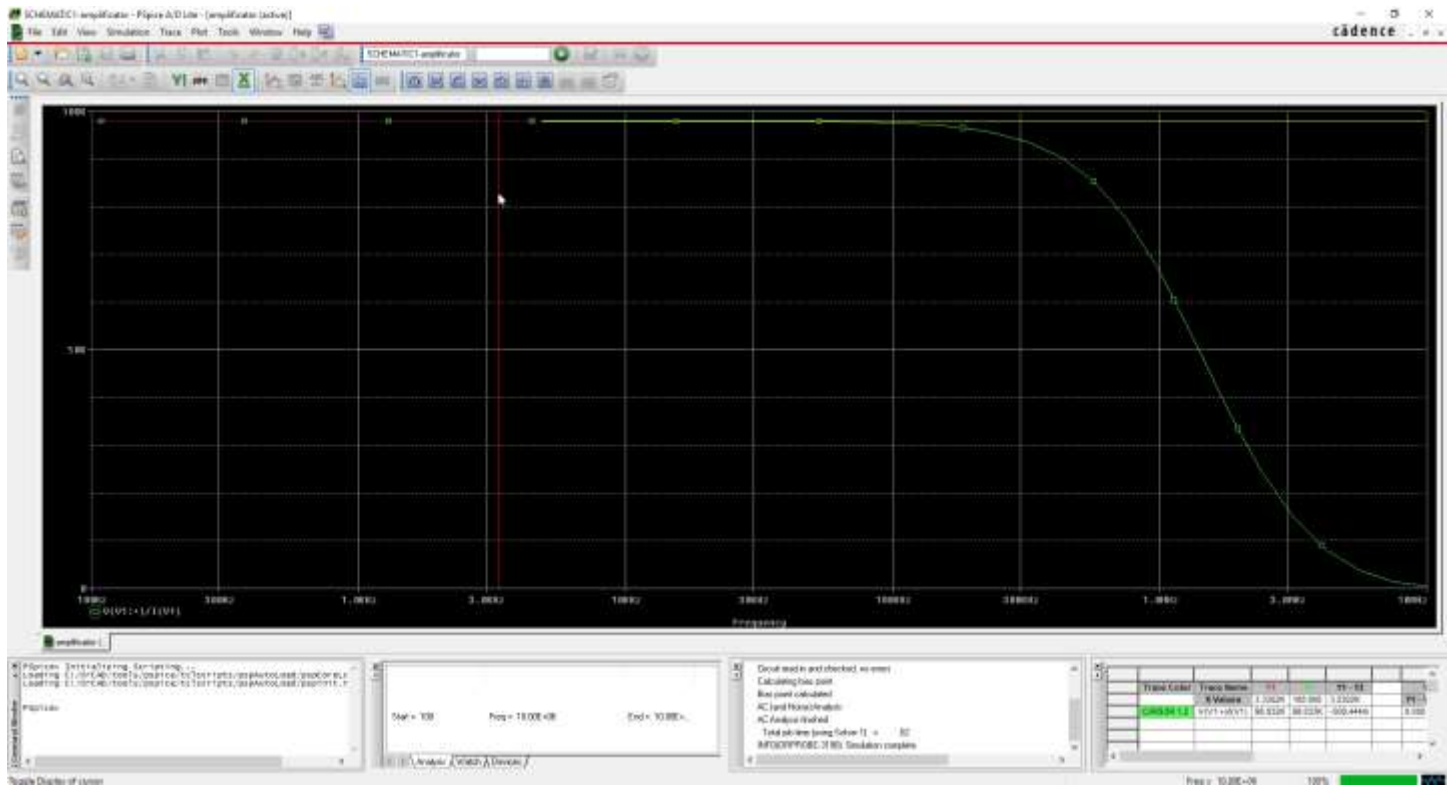


Dorim sa obtinem o amplificare in bucla deschisa mai mare de 200. Din simulare obtinem o amplificare de 810:



9. IMPEDANTA DE INTRARE

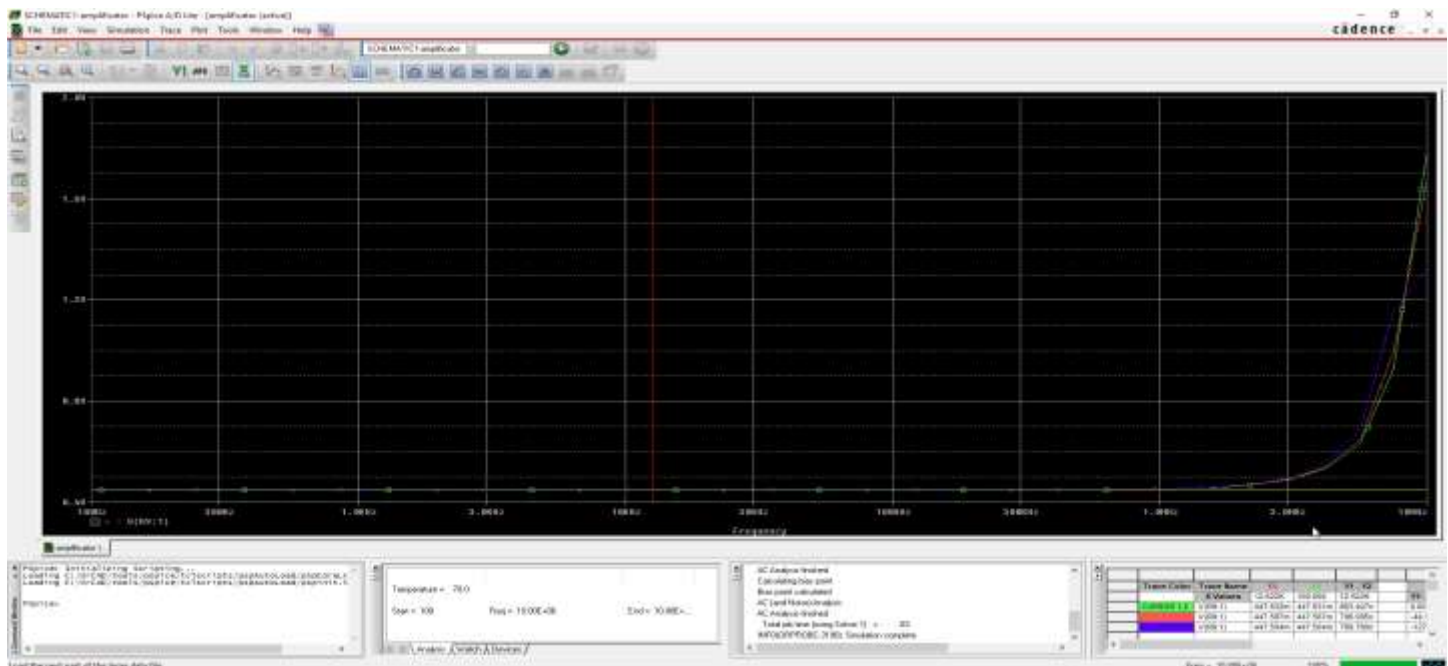
Se doreste sa se obtina o impedanta de intrare de 100 k Ω . Am plasat in circuit rezistenta R12 de 100k Ω . Rezistenta de intrare in baza tranzistorului Q1 este de ordinul M Ω , asadar in paralel cu rezistenta R12,asadar in mod ideal o putem neglija. Din simulare se obtine o impedanta de intrare de 98 k Ω , cu o eroare de 2% fata de ce doream sa obtinem.

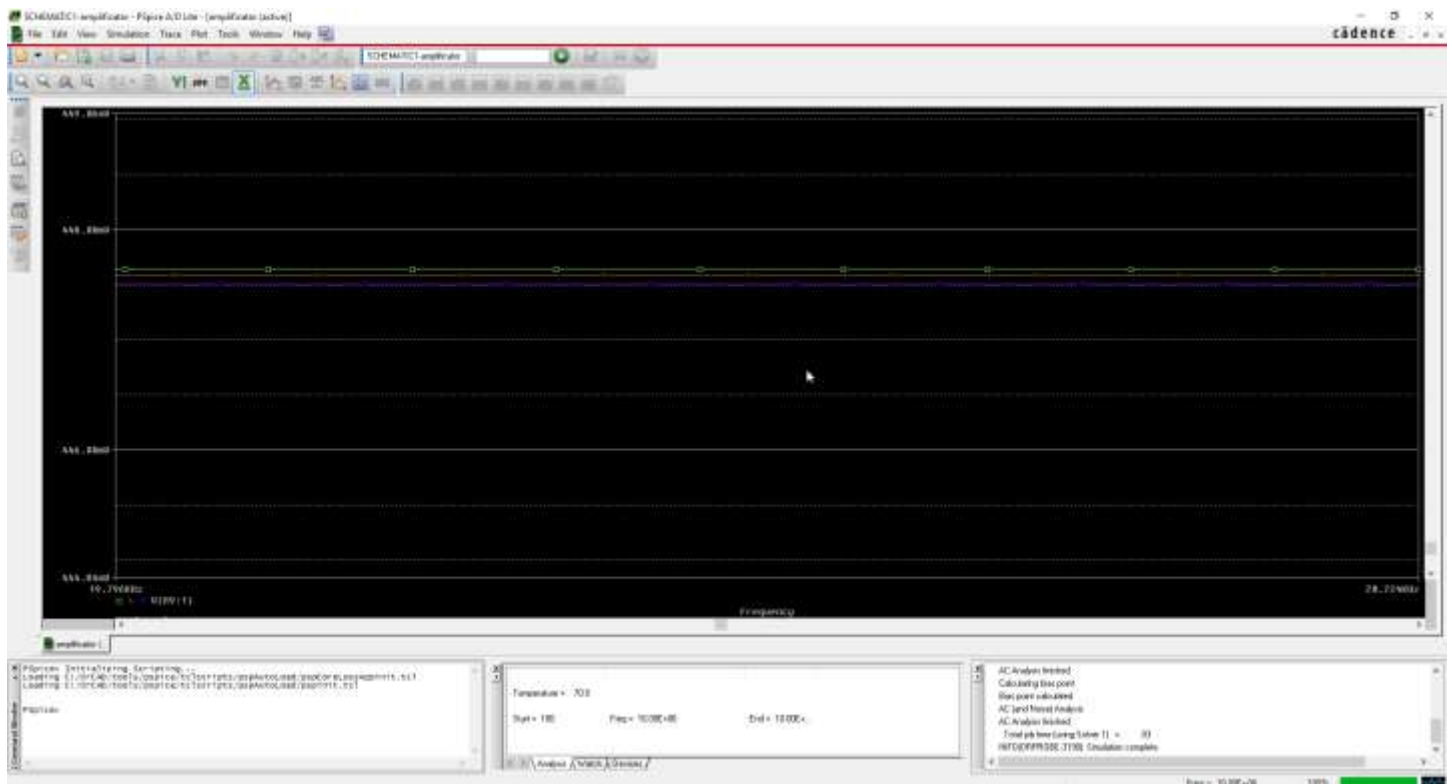


10. ANALIZA DOMENIULUI TEMPERATURILOR DE FUNCTIONARE:

Vom analiza comportamentul amplificatorului in intervalul de temperaturi 0°C-70°C:

Alegem 3 temperaturi din acest interval: 0°C, 25°C, 70°C:





11. BILL OF MATERIALS

```

1: 1 5 Q1,Q2,Q5,Q7,Q9 QBC856B
2: 2 5 Q3,Q4,Q6,Q8,Q10 QBC846B
3: 3 1 Rs 1
4: 4 5 R1,R2,R3,R4,R6 68
5: 5 2 R5,R13 330
6: 6 1 R7 1k
7: 7 1 R8 2k
8: 8 1 R9 1.5k
9: 9 2 R10,R11 100
10: 10 1 R12 100k
11: 11 2 R14,R15 10
12: 12 2 U1,U2 1N4148
13:

```

12. BIBLIOGRAFIE

- G. Brezeanu, F. Draghici, F. Mitu, G. Dilimot, Circuite electronice fundamentale, Ed. IT Grup, Bucuresti.
- <https://wiki.dcae.pub.ro/>
- Cursul de circuite integrate analogice, Etaje de iesire, Cosmin Popa
- <http://www.dce.pub.ro/>