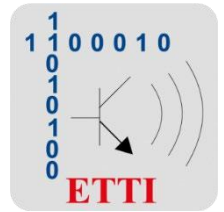




Universitatea POLITEHNICA din București
Facultatea de electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației



Proiect 1 - Dispozitive și circuite electronice

Amplificator de tensiune

Student : Olteanu Andreea-Diana

Grupa : 432C

Profesori coordonatori

Ș. I. Dr. Ing. Miron Jean CristeaDr.

Ing. Niculina Drăghici

An universitar 2023 – 2024

Cuprins

1. Date de proiectare	pg 3
2. Scheme bloc.....	pg 4
3. Schemă electrică.....	pg 5
4. Amplificator de tensiune	pg 7
5. Amplificator de bază	pg 8
a) Etaj de intrare.....	pg 8
b) Etaj intermediar	pg 10
c) Etaj final	pg 11
6. Buclă de reacție negativă	pg 13
7. Funcționalitatea circuitului	pg 14
8. Simulări	pg 15
a) Bias Point	pg 15
b) AC Sweep – Buclă închisă	pg 17
c) AC Sweep – Buclă deschisă.....	pg 18
d) AC Sweep – Impedanța de intrare	pg 20
e) AC Sweep – Domeniu de temperaturi de funcționare	pg 21
9. Bill of Materials (BOM)	pg 22
10. Concluzii.....	pg 23
11. Webografie	pg 24

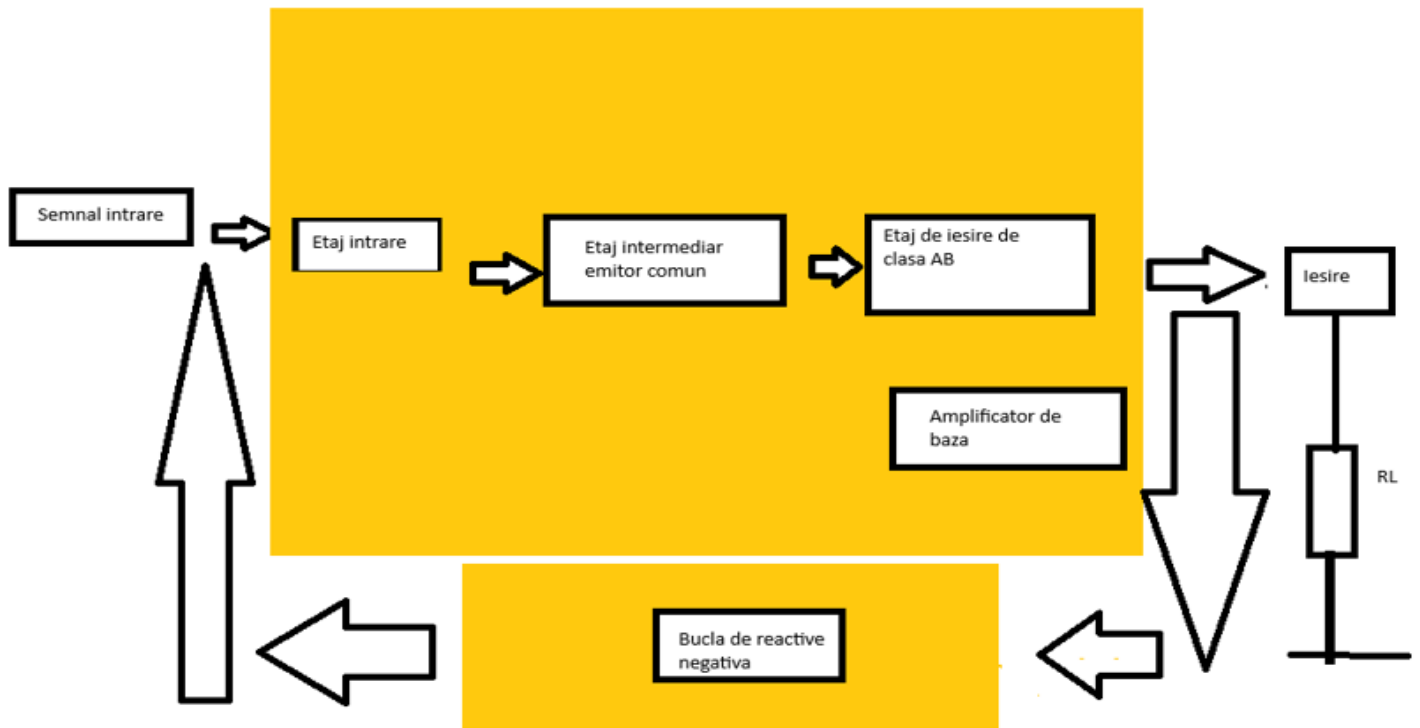
1. Date de proiectare

Să se **proiecteze și realizeze** un **amplificator de tensiune** având următoarele caracteristici:

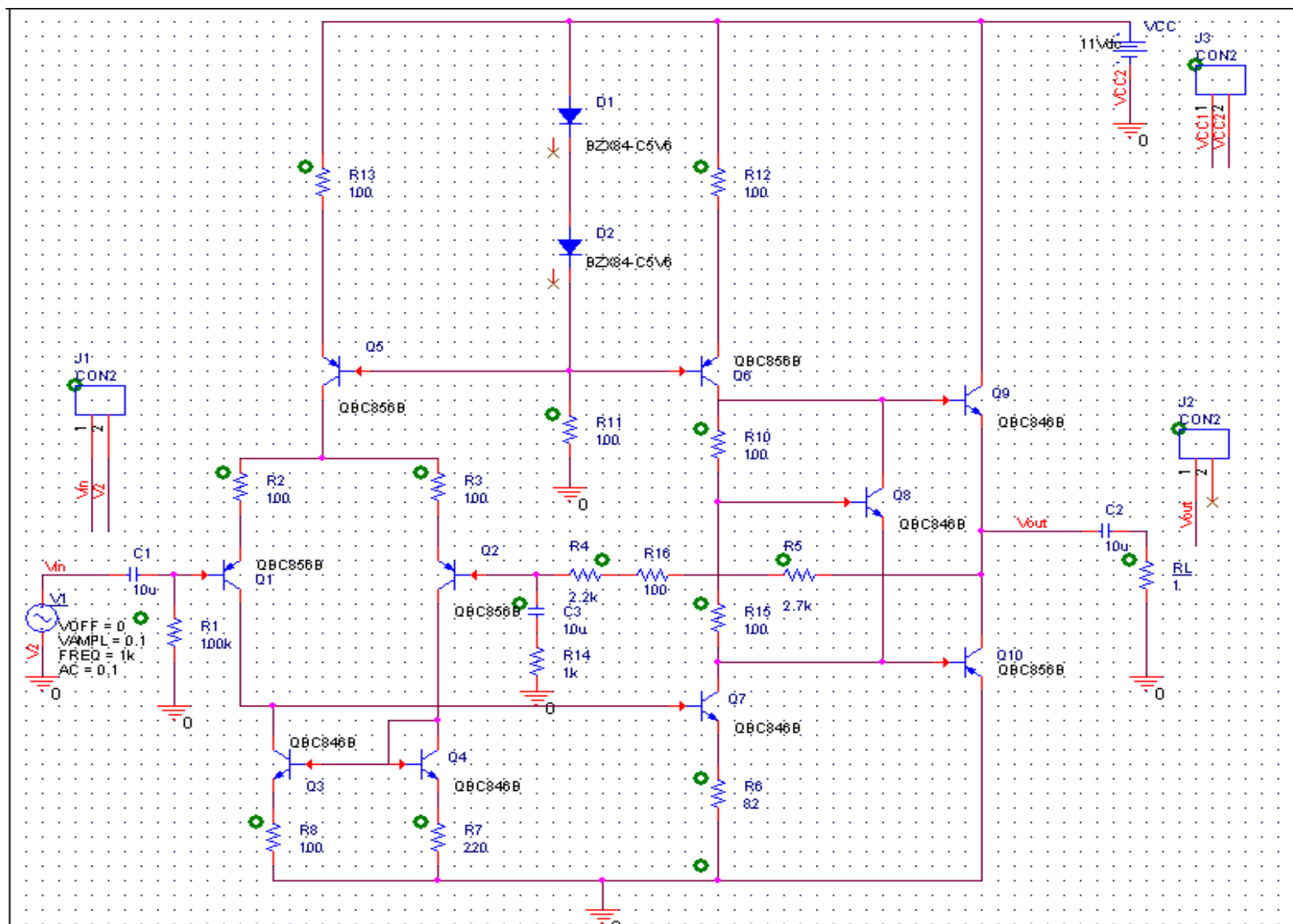
- Amplificarea de tensiune $A_v = 3 + N/2 = 6 + 3 = 6$;
- Tensiunea de intrare sinusoidală cu amplitudinea de 100mVv-v și $f=1\text{KHz}$;
- Impedanța de intrare 100k Ω (minim);
- Rezistența de sarcină 1 Ω ;
- Domeniul temperaturilor de funcționare: 0-70°C (verificabil prin testare în temperatură);
- Amplificarea în tensiune minimă (în buclă deschisă) a amplificatorului: minim 100;

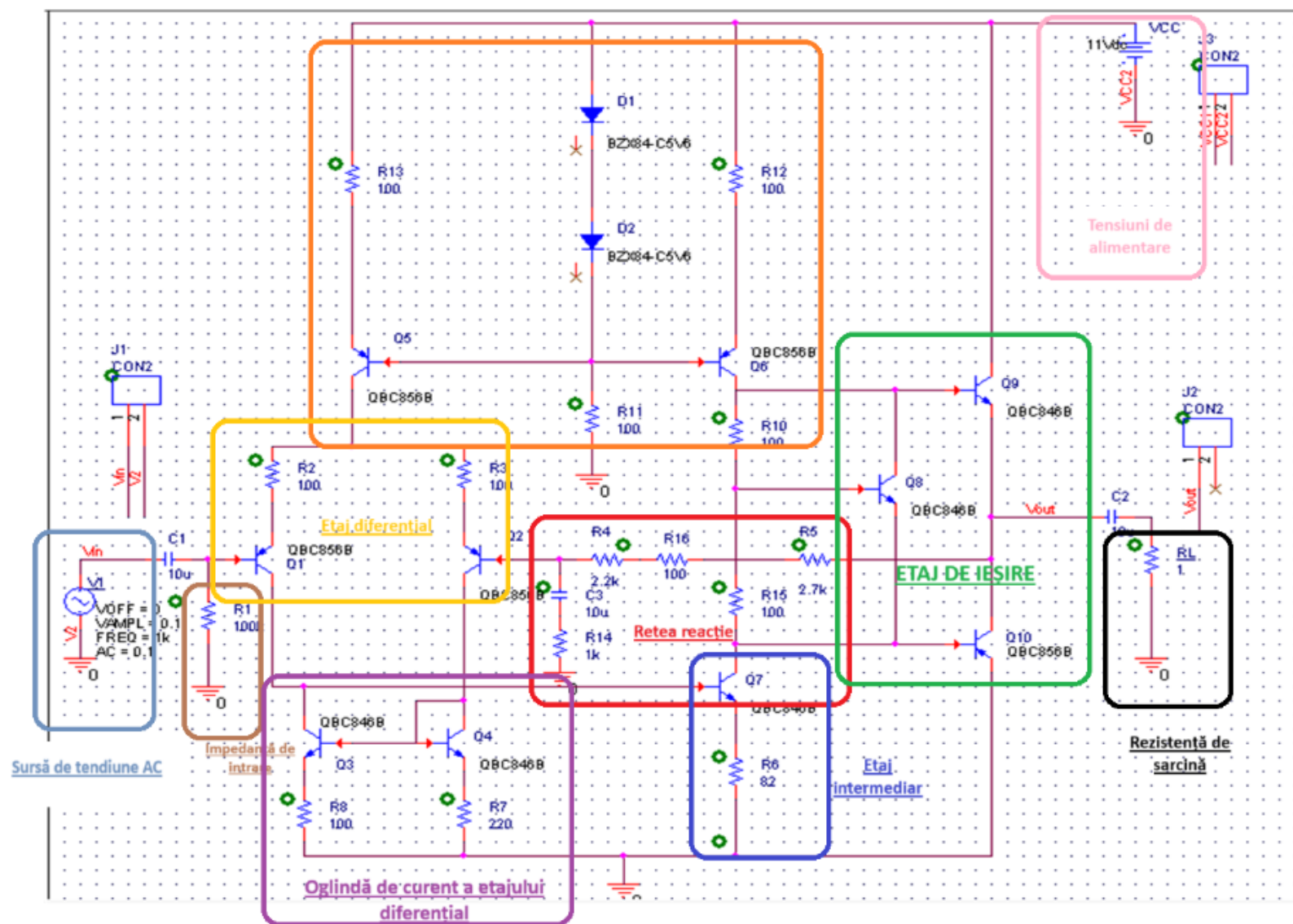
Circuitul va fi proiectat și realizat sub forma unui modul electronic a cărui structură de interconectare va fi concepută în **Tehnologie SMT & PCB**.

2. Schemă bloc



3. Schema electrică





4. Amplificator de tensiune

Amplificatorul este un circuit electronic care primește la intrare o mărime $x_i(t)$ și care generează la ieșire o mărime $x_o(t)$ care are aceeași formă de variație defazat sau nufată de semnalul de intrare dar amplificat.

Procesul de amplificare constă în modularea puterii sursei de alimentare de curent continuu conform variației de timp a semnalului de intrare.

Amplificatorul de tensiune are o intrare diferențială și o singură ieșire, ambele fiind tensiuni.

În caz ideal, valorile parametrilor specifici sunt :

- *Curenți de intrare nuli;
- *Amplificare în buclă deschisă infinită;
- *Impedanță de ieșire nulă;
- *impedanță de intrare infinită;
- *Banda de frecvență infinită.

În caz real, mai exact în cazul tematicii propuse, valorile parametrilor specifici sunt :

- *Curenți de intrare mici, de ordinul nanoAmperilor (nA);
- *Amplificare în buclă deschisă este minim 100V;
- *Impedanță de ieșire foarte mică, egală cu 1Ω ;
- *impedanță de intrare foarte mare, de ordinul kiloOhm-ilor;
- *Banda de frecvență foarte mare.

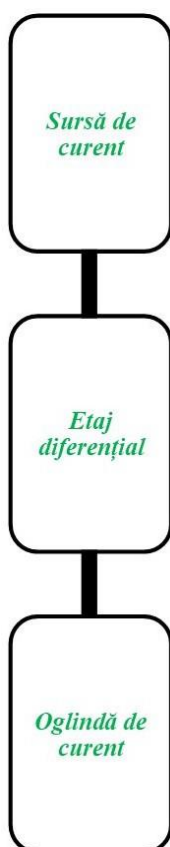
Având în vedere că tensiunii de intrare i se aplică o tensiune vârf-la-vârf egală cu 100mV și o frecvență egală cu 1kHz, va rezulta ca amplificatorul de tensiune să fiede joasă tensiune și de joasă frecvență, funcționând în parametri nominali la valori mici ale tensiunii și frecvenței.

Acesta este alcătuit din 2 blocuri principale, anume amplificatorul de bază și blocul de feedback(bucula de reacție negativă), o sursă de tensiune și o rezistență de sarcină.

5. Amplificator de bază

Amplificatorul de bază este format din 3 componente, și anume etajul de intrare, etajul intermediar și etajul de ieșire.

5.a. Etaj de intrare



Etajul de intrare este reprezentat de un etaj diferențial care nu amplifică foarte mult, ci are rolul de a realiza adaptarea de impedanță între sursa de semnal și următorul etaj, adică o adaptare de la impedanța mare la impedanța mică. De asemenea, este utilizat pentru a face diferența dintre tensiunea de intrare și semnalul adus pe borna inversoare prin intermediul rețelei de reacție negativă.

Acesta este realizat din două tranzistoare bipolare, Q1 și Q2, de tip PNP, plasate "față în față", având emitoarele la comun și bazele drept intrări în amplificator, anume V+ și V- , și din două componente pasive, 2 rezistoare egale, R2s și R3, de valoare mică, anume 100Ω.

Etajului diferențial, pentru a fi un diferențial perfect stabil și mai puțin sensibil la variația de timp, i se adaugă un tranzistor Q5, de tip NPN, reprezentând de fapt un generator de curent constant, astfel, teoretic, tranzistoarelor Q1 și Q2 le sunt furnizate curenți egali, adică prin ramurile amplificatorului diferențial va circula același curent.

Pentru a se obține un generator de curent constant este necesară polarizarea unui tranzistor, anume Q5, cu o valoare de tensiune adecvată pentru a se crea un flux de curent între emitor și colector care poate fi variat modificând doar tensiunea de pe bază cu ajutorul componentelor pasive, adică a celor 2 rezistoare, R13 și R11, ambele de 100Ω.

Baza tranzistorului este polarizată cu două diode de bazate pe joncțiunea p-n, D1 și D2, deoarece acestea pot menține tensiunea de polarizare stabilă și nu generează un zgomot care ar putea deteriora circuitul, având fiecare o cădere de tensiune de 0.6V.

Având în vedere că tranzistorul Q5 nu poate corecta diferența dintre valorile curenților, în cazul în care curenții prin ramurile amplificatorului diferențial nu sunt egali, se introduce în schema o oglindă de curent, astfel realizându-se un diferențial și mai bun.

Oglinda de curent este compusă din două tranzistoare bipolare, Q3 și Q4, de tip NPN, plasate "spate în spate", având bazele la comun și din două componente pasive, 2 rezistoare, R8 și R7, de valoare mică, anume 100 Ω, respectiv 220Ω. Un tranzistor, Q4, este în scurtcircuit, adică VCB4 este egal cu 0, deoarece se dorește ca VCE4 să fie egal cu VBE4 pentru a se asigura echilibrul dintre Q1 și Q2, să circule același curent, aspect pe care sursa de curent nu îl poate realiza.

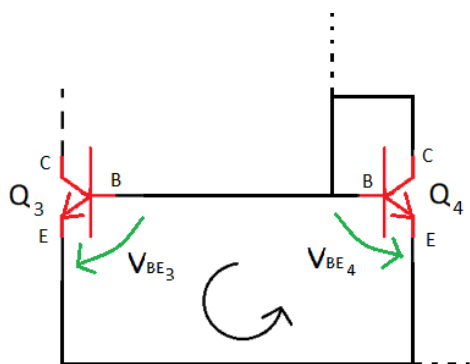
Pentru a demonstra că tensiunile bază-emitorce, VBE3 și VBE4, sunt egale, astfel pentru a dovedi rolul lor în cadrul schemei, se consideră că tranzistoarele, Q3 și Q4, sunt echivalente, adică de același tip, prin urmare se cunosc următoarele :

- *Curenții de saturație, IS3 și IS4, sunt egali;
- *Temperaturile de funcționare sunt egale;
- *Constanta lui Boltzmann (K) și sarcina electronului (q) sunt constante.

Prin urmare rezultă că tensiunile termice, Vth1 și Vth2, sunt egale, rezultând curenții de colector, IC1 și IC2, să fie egali, pe baza formulei :

$$I_c = I_s * \exp \left(\frac{V_{BE}}{V_{th}} \right)$$

Dacă curenții de colector sunt egali, atunci aplicând Kirchhoff II în buclă va rezulta că tensiunile bază-emitor, VBE3 și VBE4, sunt egale cu 0.6V :



Atunci va rezulta :

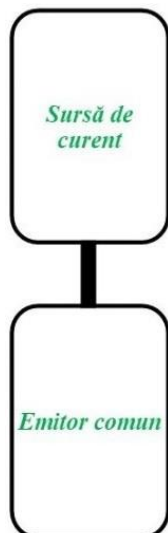
$$V_{BE3} - V_{BE4} = 0$$

$$\text{Așadar : } V_{BE3} = V_{BE4}$$



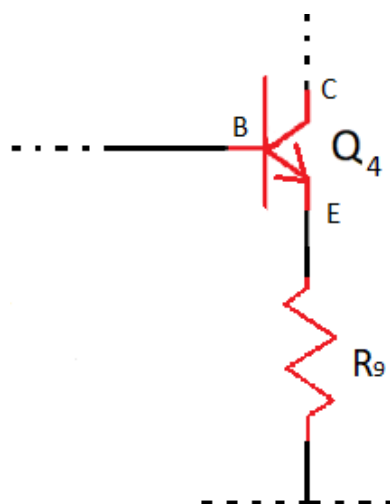
Q3 și Q4 vor asigura
că prin tranzistoarele Q1 și Q2
să circule același curent

5.b. Etaj intermediar



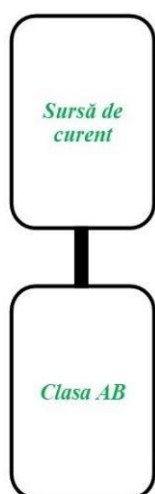
Etajul intermediar este reprezentat de o configurație emitor comun și un generator de curent constant, fiind utilizat pentru a se obține amplificarea în buclă deschisă.

Acesta este realizat dintr-un tranzistor, Q7, de tip NPN, având baza conectată la etajul de intrare. Pentru a se asigura că tranzistorul este în RAN, se adaugă în serie un rezistor, R6, astfel încât acest etaj este unul degenerat.



Având în vedere că tranzistorul Q7 este un amplificator, acesta are nevoie de o sursă de curent constant. Pentru a se obține un generator de curent constant este necesară polarizarea unui tranzistor, anume Q6, cu o valoare de tensiune adecvată pentru a se crea un flux de curent între emitor și colector care poate fi variat modificând doar tensiunea de pe bază cu ajutorul componentelor pasive, adică a celor 2 rezistoare, R12 și R11, de 100Ω.

5.c. Etaj final



Etajul final este reprezentat de o configurație combinată din clasele A și B și un generator de curent constant, având amplificarea egală cu 1 și fiind utilizat pentru a produce o eficiență mai bună decât cel în clasa A, și pentru a reduce distorsiunile prezente la clasa B.

Acesta este realizat din două tranzistoare denumite pereche de tranzistori de ieșire, Q9, de tip NPN, și Q10, de tip PNP, care au emitoarele la comun și care creează forma de undă "înapoi/înainte". De asemenea se folosește alt tranzistor, Q8, de tip NPN, în scurtcircuit ($V_{CB} = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} = 0 + 0.6 = 0.6V$), deoarece prezența lui este importantă în momentul în care semnalul trece de pe o semialternanță pe alta, adică de pe plus pe minus, când va exista porțiunea în care Q9 și Q10 vor fi pornite.

Se folosește amplificatorul de clasa AB deoarece acesta corectează dezavantajele întâlnite la amplificatoarele din clasele A și B, anume :

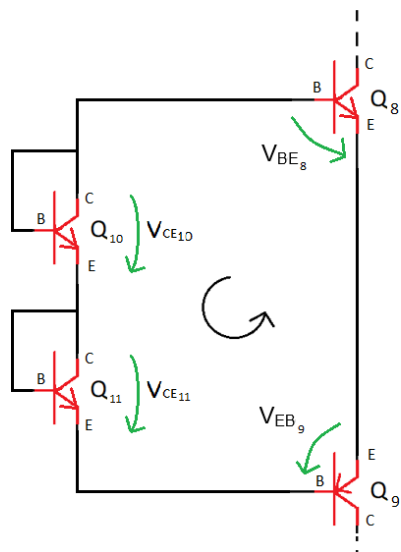
- *Creșterea randamentului;
- *Probleme cauzate de încălzirea tranzistorilor;
- *Cantități mari de distorsiuni încrucișate.

Având în vedere că Q9 este în domeniul pozitiv, iar Q10 este în domeniul negativ, acestea se vor porni și opri, rezultând curgerea curentului de la pozitiv la negativ. Când semnalul este pe semialternanța pozitivă (valori pozitive ale semnalului de intrare), atunci Q9 va fi deschis iar Q10 închis deoarece tensiunea pozitivă pică pe V_{BE9} și pe V_{BE10} , însă datorită naturii lui Q10 (PNP), ar fi trebuit ca V_{EB10} să aibă valoare pozitivă. Când semnalul este pe semialternanța negativă (valori negative ale semnalului de intrare), atunci Q9 va fi închis iar Q10 deschis deoarece tensiunea negativă pică pe V_{BE9} și pe V_{BE10} , însă datorită naturii lui Q10 (NPN), ar fi trebuit ca V_{EB10} să aibă valoare negativă.

Avantajul amplificatoarelor AB, în momentul în care curentul este comutat de la pozitiv la negativ este că fiecare tranzistor începe să pornească înainte ca ultimul să se oprească, rezultând o suprapunere a curentului electric, cunoscut sub numele de curent de repaus.

Curentul electric circulă tot timpul cel puțin unul dintre tranzistorii menținând distorsiunea de încrucișare la un nivel minim deoarece curentul nu este niciodată redus la valoarea zero deoarece cele două tranzistoare au tensiune foarte mică de polarizare, în mod tipic de 5-10% din curentul de repaus pentru a deschide tranzistorii chiar deasupra punctului de trecere prin zero a semnalului.

Dacă se aplică Kirchhoff II în buclă :



Q_{10} și Q_{11} sunt în scurtcircuit deoarece se dorește ca $V_{CE10} = V_{CE11} = 0.6V$. Pentru a oferi stabilitate Q_8 și Q_9 .

Atunci va rezulta :
 $U_{CE_{10}} + U_{CE_{11}} = V_{BE_8} + V_{EB_9}$



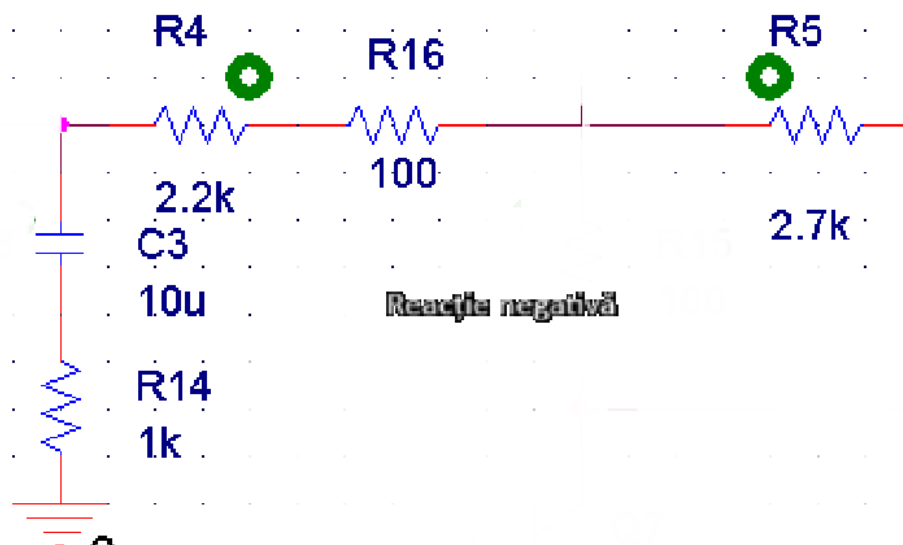
Se obține un curent I_Q care ajută la trecerea de pe semialternanța pozitivă pe negativă

6. Buclă de reacție negativă

Bucla de reacție negativă are rolul de a culege o fracțiune din semnalul de la ieșire și a îl întoarce la intrarea negativă realizându-se diferența dintre semnalul de intrare și semnalul adus la intrarea negativă. Aceasta este constituită din divizorul de tensiune format din componente pasive, anume din 4 rezistențe, R5, R4, R14 și R16, în care R14 este conectat la masă, iar R5 la ieșire.

Pentru a se obține amplificarea de 6, valorile celor 4 rezistențe au fost alese :

- * $R4 = 2.2k\Omega$;
- * $R16 = 100\Omega$;
- * $R5 = 2.7k\Omega$;
- * $R14 = 1k\Omega$;



De asemenea, rețeaua de reacție negativă are un rol important în ceea ce privește stabilitatea amplificatorului și imunitatea acestuia la oscilații.

7. Funcționalitatea circuitului

Circuitul este format din sursă de tensiune de intrare de curent alternativ cu $A_v = 100\text{mV}$ și $f = 1\text{kHz}$, impedanța de intrare de $100\text{k}\Omega$, structura internă a amplificatorului operațional, fiind la rândul său compus din 3 etaje, de intrare, intermediar și de ieșire, buclă de reacție negativă, impedanță de sarcină de 1Ω și surse de tensiune de alimentare de curent continuu de 11V , respectiv -11V .

Acest circuit are rolul de a amplifica diferența dintre semnalele de intrare aplicate, acest proces având loc astfel :

- *Etajul de intrare, construit cu 2 tranzistoare PNP, face diferența dintre semnalele de intrare aplicate, acesta fiind asigurat de sursa de curent și de oglinda de curent că circulă același curent prin ramurile sale;

- *În buclă închisă, reacția negativă, alcătuită din 4 rezistoare, este cea care asigură amplificarea la o valoare aproximativ egală cu 6;

- *În bucla deschisă, etajul intermediar, fiind reprezentat amplificarea tip emitor-comun, are rolul de a asigura o amplificare de minim 100, fiind etajul care amplifică cel mai mult;

- *Etajul de ieșire este utilizat pentru a prelua semnalul de intrare amplificat din colectorul tranzistorului Q7, iar în funcție de semialternanța sa (pozitiv/negativ), unul dintre tranzistori va fi deschis, având rolul de a realiza adaptarea către RL, rezistența de sarcină.

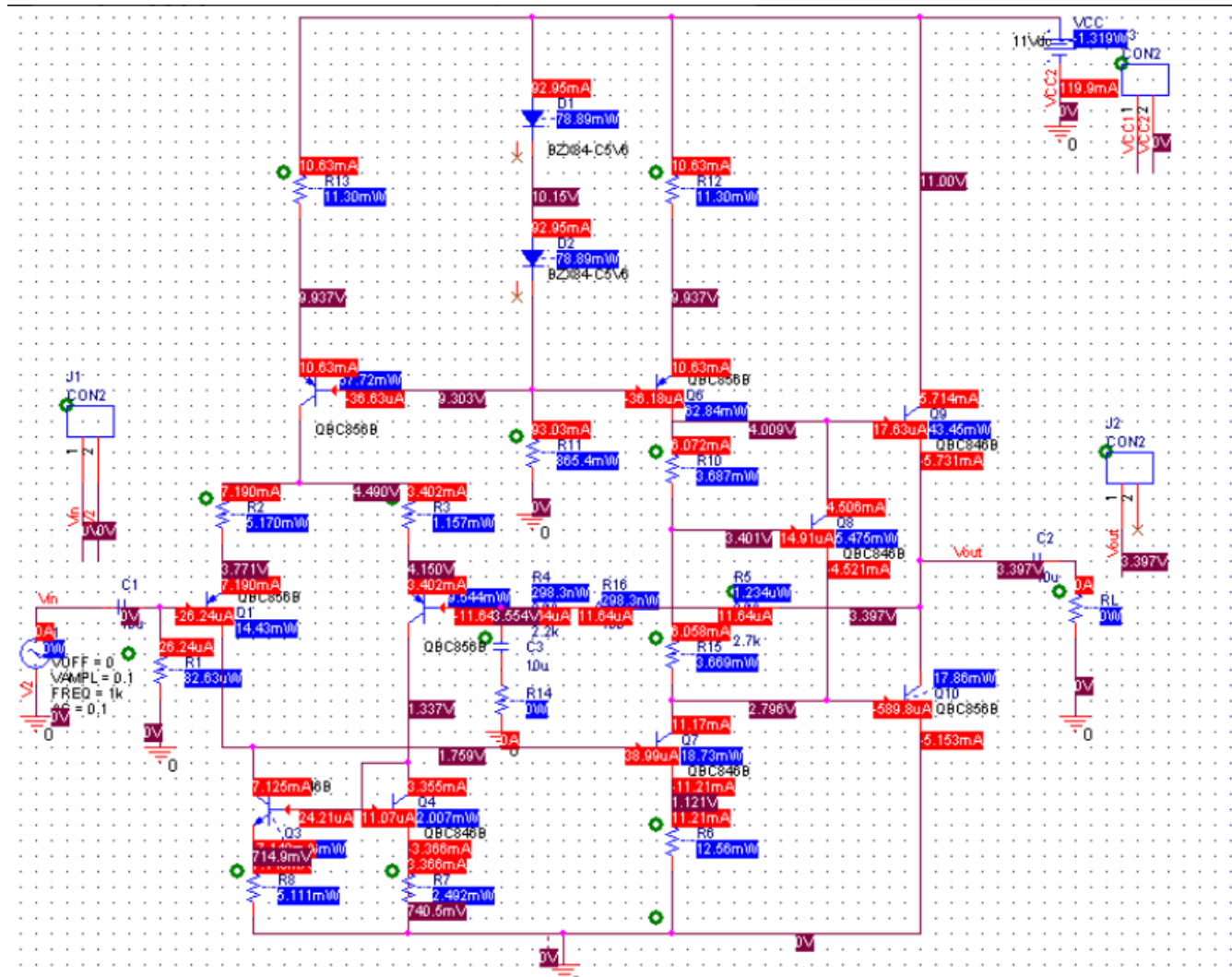
- *Cele 2 generatoare de curent asigură furnizarea de curent constant pentru cele 3 etaje, fiind nevoie ca tranzistoarele Q5 și Q7 să fie polarizate cu o anumită valoare a tensiunii pentru a se crea flux de curent între emitor și colector.

- *Oglinda de curent, pentru etajul diferențial, are rolul de a corecta diferența de valori ale curenților prin ramuri astfel : Dacă sursa de curent furnizează diferențialul cu un curent constant de o anumită valoare, atunci jumătate din curent va fi absorbit tranzistorul Q3, iar cealaltă jumătate de Q4, reflectând un curent într-o parte a circuitului din altă parte.

8. Simulări

8.a. Simulare Bias Point

Această simulare este efectuată pentru a putea determina punctul static de funcționare al tranzistoarelor și pentru a verifica curenții care circulă prin componente și puterile acestora ca să nu depășească puterea maximă.



Se observă următorul aspect, curenții sunt de ordinal mA pretutindeni, mai puțin în bazele tranzistoarelor unde sunt considerați neglijabili.

Puterile componentelor(determinate de Bias Point nu depășesc puterile maxime admise din foile decatalog :

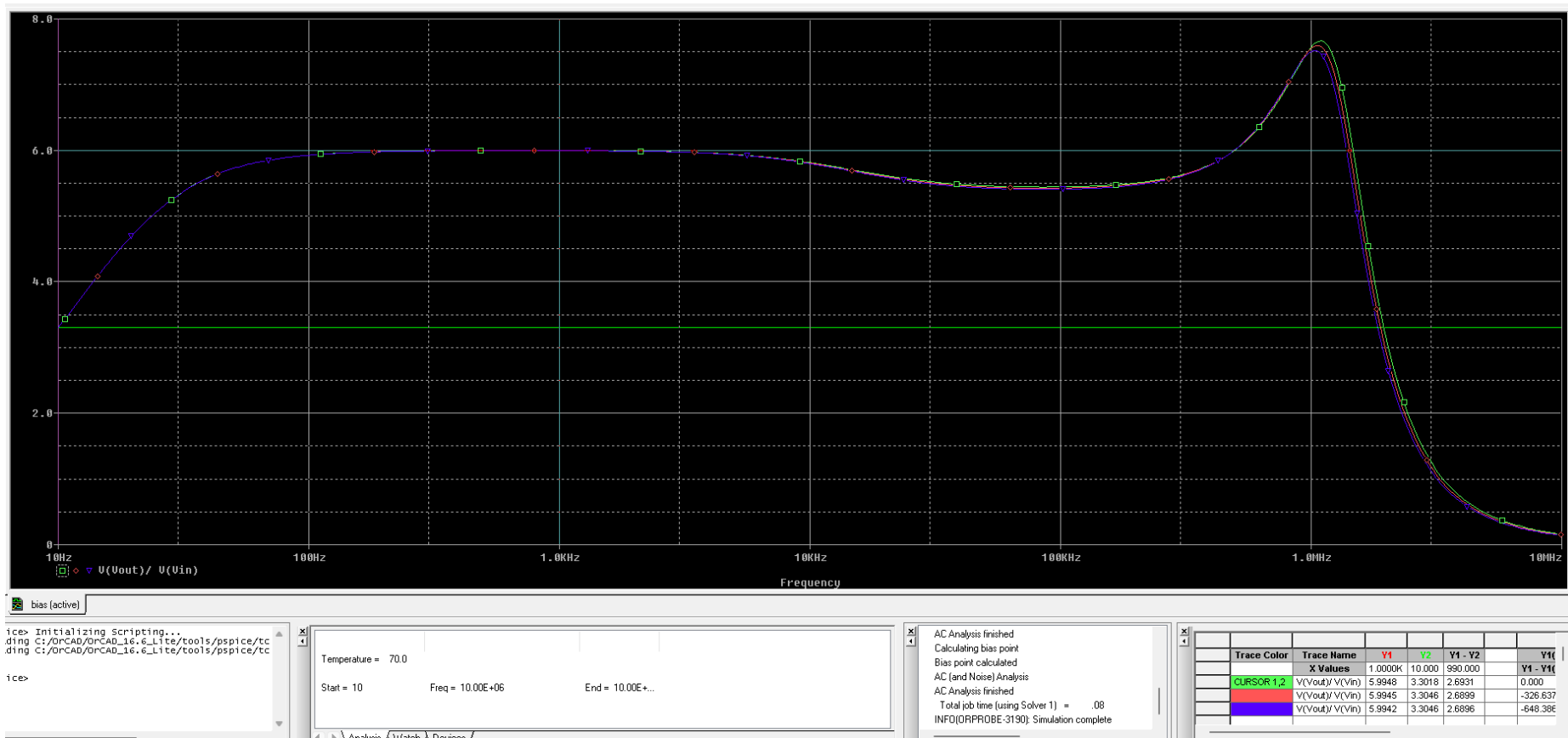
Componentă	Denumire	Cod	Putere*	Putere max
Rezistor	R1	R	32.63uW	125mW
	R2		5.170mW	
	R3		1.157mW	
	R4		298.3nW	
	R5		1.234uW	
	R6		12.56mW	
	R7		2.492mW	
	R8		5.111mW	
	R10		3.687mW	
	R11		365.4mW	
	R12		11.30mW	
	R13		11.30mW	
	R14		0W	
	R15		3.669mW	
	R16		298.3nW	
	Diodă		D1	
D2		92.95mW		
Tranzistor NPN	Q3	QBC846B	4.5mW	250mW
	Q4		2.007mW	
	Q7		18.73mW	
	Q8		5.475mW	
	Q9		43.45mW	
Tranzistor PNP	Q1	QBC856B	14.43mW	250mW
	Q2		9.544mW	
	Q5		87.72mW	
	Q6		82.84mW	
Q10			17.86mW	

8.b. Simulare AC Sweep – Buclă închisă

Amplificarea în buclă închisă se poate determina utilizând formula : $A_v = \frac{V_{oot}}{V_{iin}} = 6$

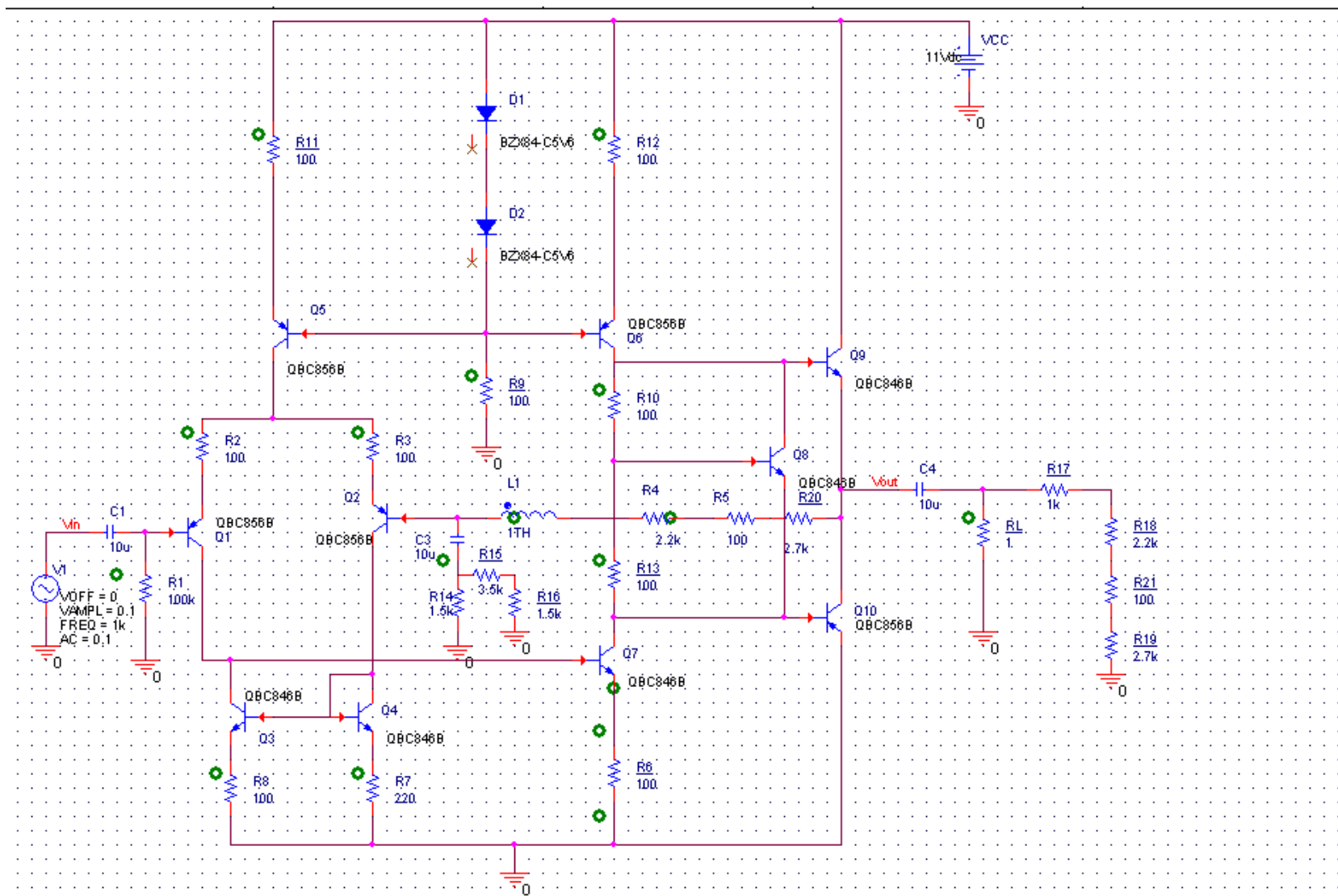
Pentru simulare s-au setat markerul la ieșire, Start Frequency 10, End Frequency 10meg și Points/Decade 9.

În urma simulării, se observă că amplificarea care se obține este egală cu 5.9946, aproximativ valoarea teoretică.

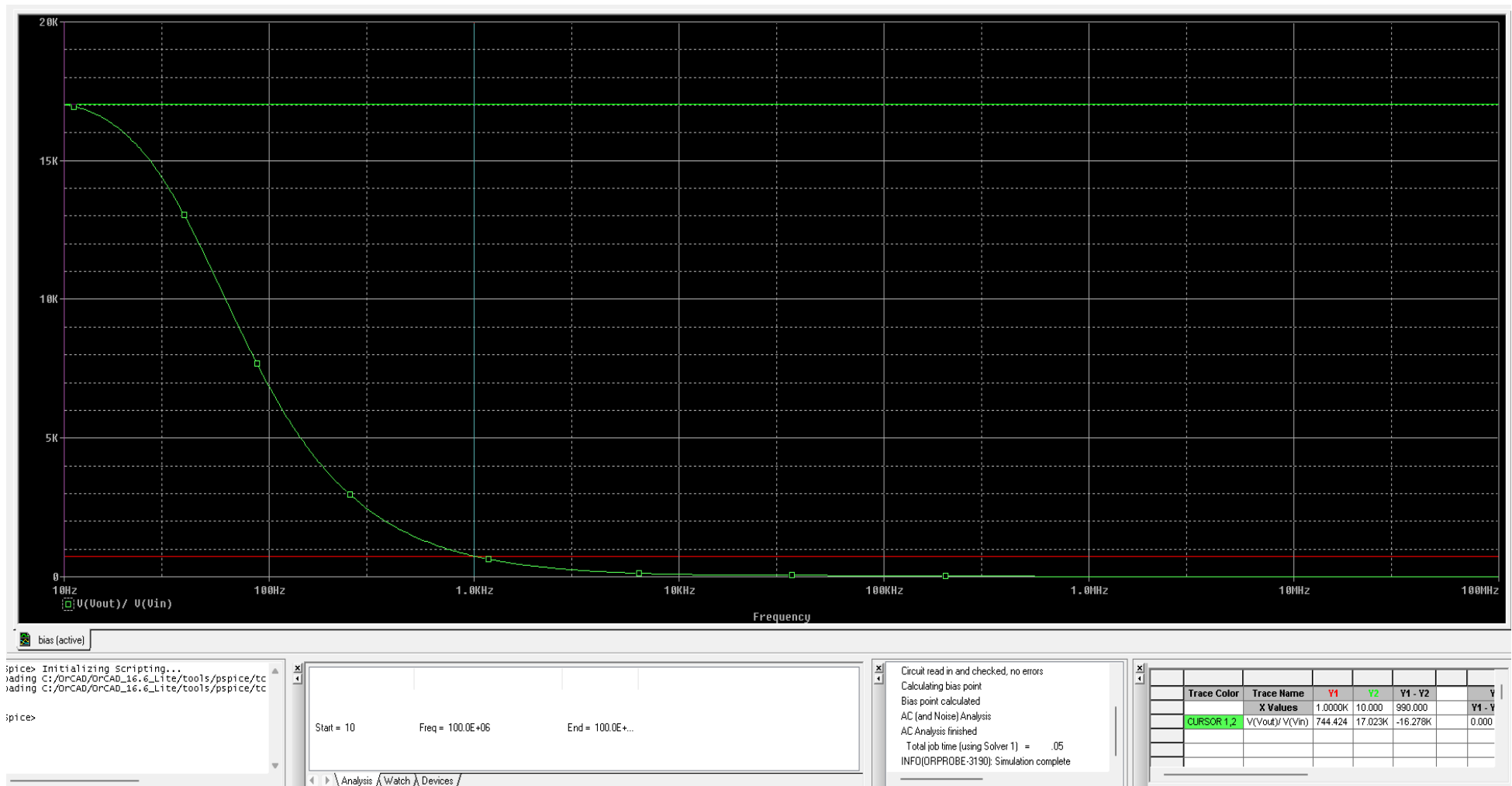


8.c. Simulare AC Sweep – Buclă deschisă

Amplificarea în buclă deschisă trebuie să fie minim 100, acest lucru fiind dovedit în urma simulării.



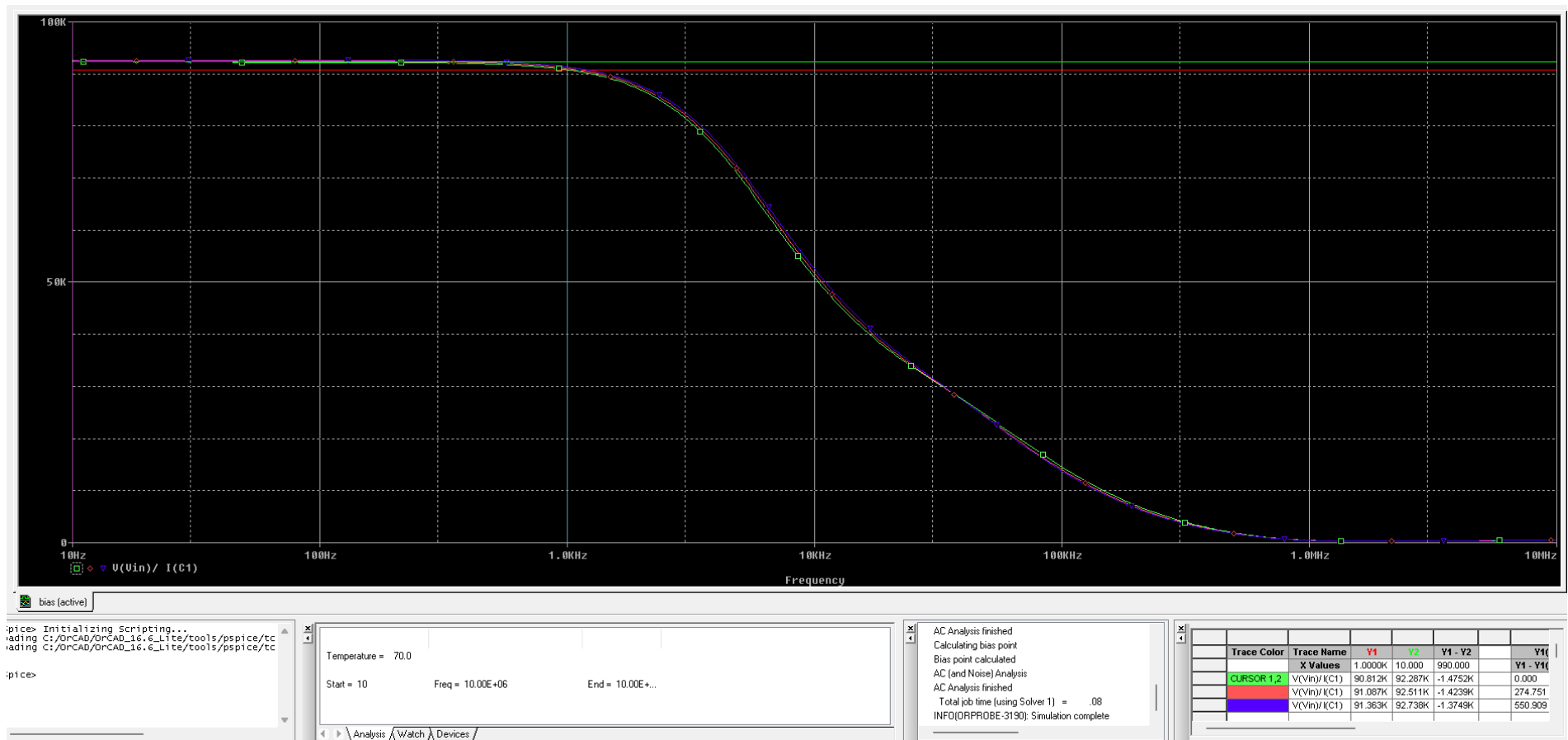
Pentru simulare s-au setat markerul la ieșire, Start Frequency 10, End Frequency 10meg și Points/Decade 9.În urma simulării, se observă că amplificarea care se obține este egală cu 744.424.



8.d. Simulare AC Sweep – Impedanța de intrare

Pentru a se putea obține o impedanță de intrare de $100\text{k}\Omega$ se realizează simularea punând markerul la intrare și setându-se Start Frequency 10, End Frequency 10meg și Points/Decade 9.

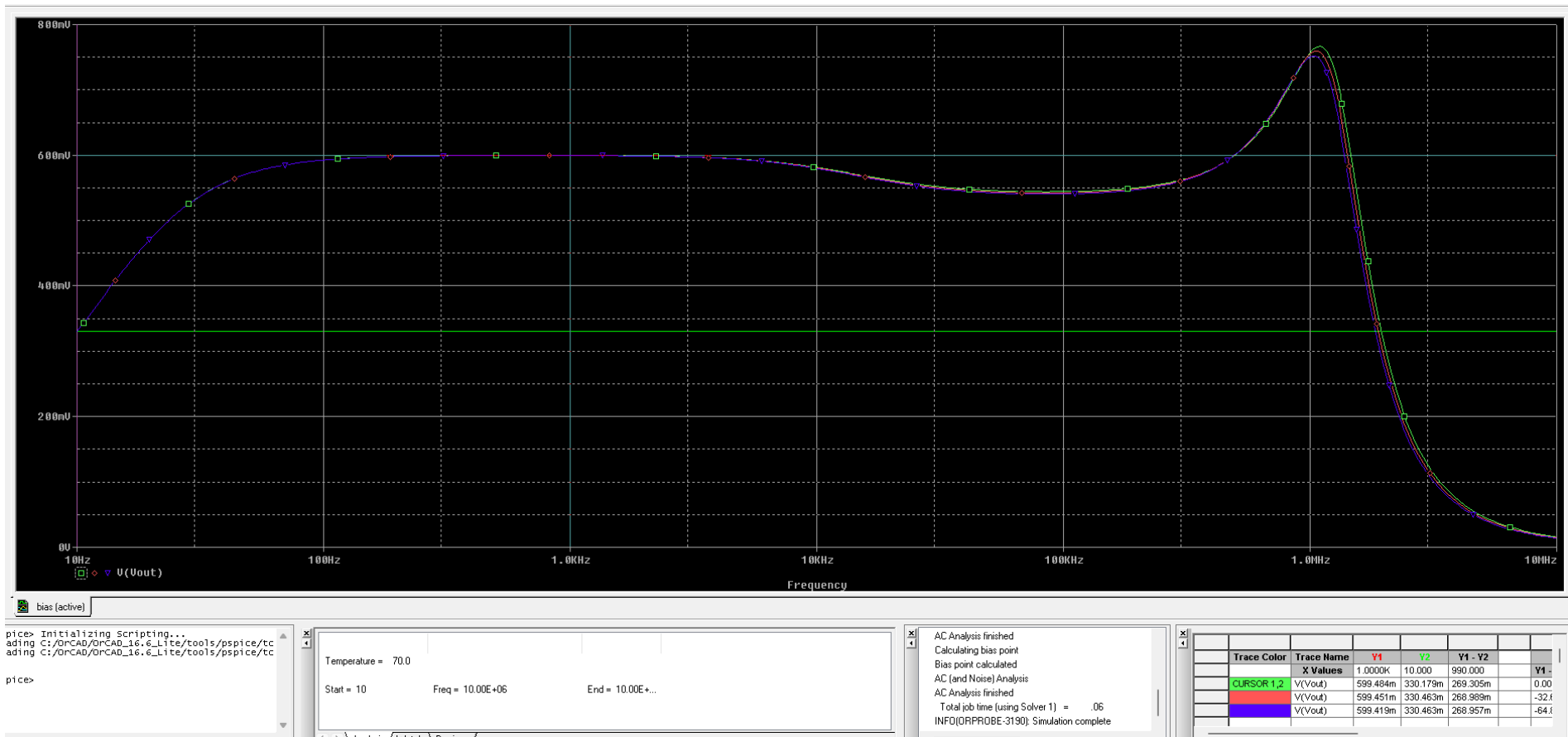
În urma simulării, se observă că impedanța de intrare care se obține este egală cu 90.812k , aproximativ valoarea teoretică, fiind egală cu raportul dintre tensiunea de intrare, $V(V_{in})$, și curentul de intrare, $I(C1)$.



8.e. Simulare AC Sweep – Domeniu de temperaturi de funcționare

Pentru a se putea obține intervalul de temperaturi 0° - 70° se realizează simularea punând markerul la ieșire și setându-se Start Frequency 10, End Frequency 10meg și Points/Decade 9. De asemenea s-a ales opțiunea Temperature cu setarea de a serepeta simularea pentru fiecare temperatură, anume : 0° , 35° , 70° .

Valorile amplitudinilor determinate prin această simulare sunt : 599.484 mV, 599.451 mV, 599.419V.



9. Bill of Materials (BOM)

Bill of Materials (BOM) specifică lista componentelor circuitului :

1	3	C1,C2,C3	10u	
2	2	D1,D2	BZX84-C5V6	
3	3	J1,J2,J3	CON2	
4	5	Q1,Q2,Q5,Q6,Q10	QBC856B	
5	5	Q3,Q4,Q7,Q8,Q9	QBC846B	
6	1	RL	1	
7	1	Ri	100k	
8	9	R1,R2,R3,R5,R6,R7,R9,R10, R14		100
9	1	R4	220	
10	1	R8	82	
11	1	R11	2.2k	
12	1	R12	2.7k	
13	1	R13	1k	

10. Concluzii

Acest proiect a avut ca scop realizarea unui amplificator de tensiune și de a realiza simulări în AC Sweep pe baza acestuia.

Circuitul construit din 31 de componente, adică din rezistoare, tranzistoare, diode, își îndeplinește funcția de a amplifica, atât în bucla închisă, cât și în bucla deschisă.

Prin conținutul acestei lucrări, s-au făcut explicații teoretice de funcționalitate al fiecărui bloc al etajelor amplificatorului operațional, al reacției negative și simulări adecvate cerințelor impuse.

11. Webografie

1. Wikipedia.org
 - a. <https://ro.wikipedia.org/wiki/Amplificator>
 - b. https://en.wikipedia.org/wiki/Current_source
2. Wiki.dce.pub.ro
 - a. https://wiki.dcae.pub.ro/images/1/11/CIA_CP_Curs_5.pdf
 - b. https://wiki.dcae.pub.ro/images/e/ec/CIA_CP_Curs_6.pdf
3. tme.eu
 - a. <https://www.tme.eu/ro/details/smd0805-1r/rezistente-smd/royal-ohm/0805s8j010jt5e/>
 - b. <https://www.tme.eu/ro/details/wf08p-82r-5%25/rezistente-smd/walsin/wf08p820jtl/>
 - c. <https://www.tme.eu/ro/details/smd0805-100r/rezistente-smd/royal-ohm/0805s8j0101t5e/>
 - d. <https://www.tme.eu/ro/details/smd0805-220r-1%25/rezistente-smd/royal-ohm/0805s8f2200t5e/>
 - e. https://www.tme.eu/ro/details/ce10_50-smd/condensatoare-electrolitice-smd/
 - f. <https://www.tme.eu/ro/details/bzx84b5v6-dio/diode-zener-smd/diotec-semiconductor/bzx84b5v6/>
 - g. <https://www.tme.eu/ro/details/bc856b-dio/tranzistori-smd-pnp/diotec-semiconductor/bc856b/>
 - h. <https://www.tme.eu/ro/details/bc846b-dio/tranzistori-smd-npn/diotec-semiconductor/bc846b/>