

Lucrarea 9. Analiza în regim variabil de semnal mic a unui circuit de amplificare cu tranzistor bipolar

Scopul lucrării: determinarea parametrilor de semnal mic ai unui circuit de amplificare cu tranzistor bipolar.

Cuprins

I. Noțiuni introductive.

II. Determinarea prin măsurători a parametrilor de funcționare ai unui amplificator de semnal mic;

III. Simularea în Orcad a unui amplificator de semnal mic cu tranzistor bipolar.

I. Noțiuni introductive.

Tranzistoarele bipolare sunt dispozitive semiconductoare cu trei terminale, denumite, Emitor, Bază, Colector, utilizate în numeroase aplicații, printre care și în circuitele de amplificare. Rolul unui circuit de amplificare este de a mări puterea electrică a semnalului aplicat la bornele sale de intrare, care reprezintă informația, fără să modifice conținutul, altfel spus, fără să o distorsioneze. Acest lucru se realizează prin creșterea **amplitudinii** semnalului aplicat la bornele de intrare (vezi Figura 1 pentru recapitularea noțiunii de amplitudine). Aadar, creșterea amplitudinii semnalului aplicat la intrarea circuitului nu trebuie să determine modificarea formei de undă a semnalului rezultat la bornele de ieșire ale acestuia; altfel spus, amplificatorul nu trebuie să distorsioneze forma de undă a semnalului de ieșire.

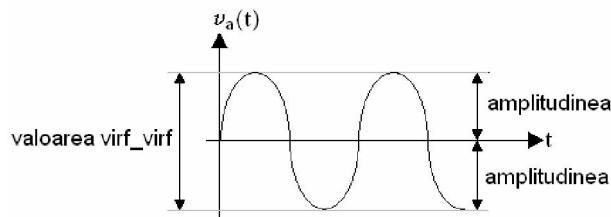


Figura 1. Amplitudinea și valoarea vârf-vârf a unui semnal sinusoidal.

În cazul în care amplificatorul este construit pe baza unui tranzistor bipolar, pentru evitarea apariției distorsiunilor în forma de undă a semnalului de ieșire, este necesar ca funcționarea tranzistorului bipolar să fie menținută permanent în **Regiunea Activ Normal** – prescurtat **RAN**. Pentru menținerea funcționării tranzistorului bipolar în **RAN**, trebuie satisfăcute următoarele 2 condiții:

$$V_{CE} \in [0,5[V] \div (V_{CC} - 0,5[V])] \quad \mathbf{1}$$

unde V_{CC} este valoarea tensiunii de alimentare.

Pentru menținerea funcționării tranzistorului bipolar în RAN, **variația curenților** variabili prin terminalele tranzistoarelor precum și **variația tensiunilor** variabile între terminalele tranzistorului nu

Lucrarea 9. Analiza în regim variabil de semnal mic a unui circuit de amplificare cu tranzistor bipolar

trebuie să depășească anumite limite maxime. Această cerință poate fi satisfăcută numai dacă amplitudinea tensiunii de intrare, notată V_i , nu depășește o valoare maximă, notată $V_{i\max}$. Dacă amplitudinea tensiunii de intrare în amplificator depășește acest prag, atunci circuitul introduce distorsiuni în forma de undă a tensiunii de ieșire, datorită faptului că funcționarea tranzistorului bipolar iese din **RAN** și ajunge în regiunea de saturație, respectiv în regiunea de blocare.

În cazul în care semnalele de intrare și de ieșire ale amplificatorului sunt reprezentate prin intermediul tensiunilor, parametrul care furnizează informații despre nivelul creșterii amplitudinii semnalului de intrare este reprezentat de cît factorul de amplificare în tensiune, notat A_V și definit prin relația generală :

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \quad 2$$

unde V_o reprezintă amplitudinea tensiunii de ieșire a amplificatorului, iar V_i reprezintă amplitudinea tensiunii de intrare a amplificatorului.

Valoarea amplificării în tensiune A_V depinde de **frecvența** semnalului de intrare în circuit, notată ν_I . Astfel, există un domeniu de valori pentru frecvența semnalului de intrare ν_I , în care valoarea parametrului A_V este constantă. Această valoare se numește **amplificarea în bandă** a circuitului de amplificare.

II. Determinarea prin măsurători a parametrilor unui amplificator de semnal mic

Pentru determinarea parametrilor amplificatorului se parcurg următorii pași, iar rezultatele obținute se completează în Tabelul 1.

1. Se verifică la sursa de alimentare dacă aceasta este decuplată de la placa de test (dacă ledul **ON** de pe panoul frontal al aparatului este stins); dacă nu este decuplată, atunci se apasă butonul **OUTPUT** al sursei de alimentare și se decuplează sursa de alimentare (se stinge ledul **ON** de pe panoul frontal al aparatului).

2. Se realizează circuitul practic din Figura 2 (la care încă nu se conectează generatorul de semnal); valoarea rezistenței R_C depinde de masa de lucru; sursa de alimentare se reglează la valoarea $V_{CC}=10[V]$; se setează multimetrul digital pe gama **20V** din secțiunea **DCV**.

Lucrarea 9. Analiza în regim variabil de semnal mic a unui circuit de amplificare cu tranzistor bipolar

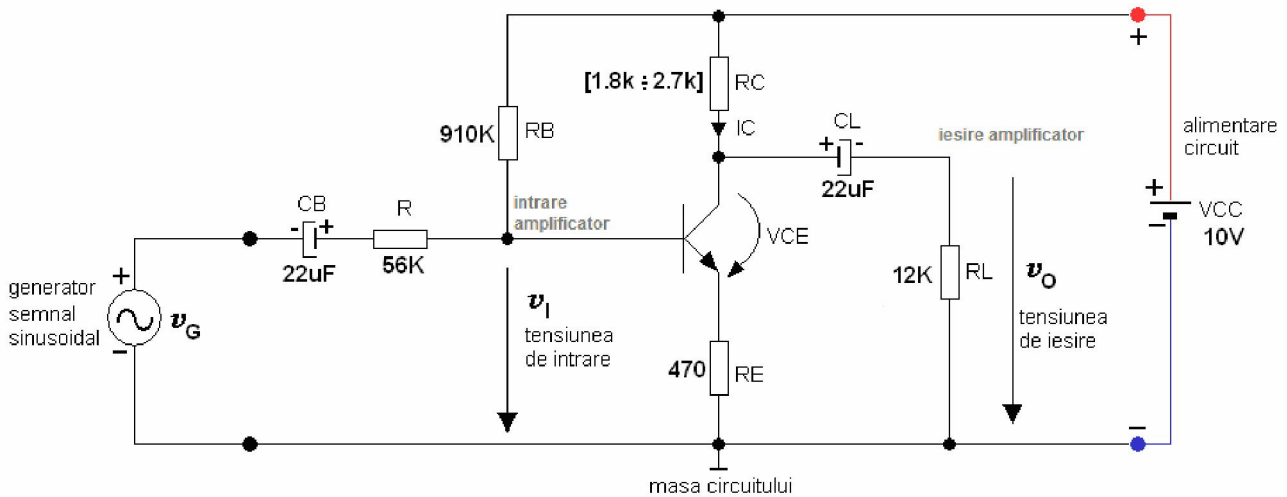


Figura 2. Circuit de amplificare cu tranzistor bipolar.

3. După realizarea circuitului și setarea multimetrului se cheamă cadrul didactic pentru verificarea acestora.

4. Se cuplează sursa de alimentare la circuit, prin apăsarea comutatorului **OUTPUT** de pe panoul frontal al echipamentului electronic (se constată aprinderea led-ului **ON** de pe panoul frontal).

A. Determinarea Punctului Static de Funcționare al tranzistorului bipolar

5. Se măsoară tensiunea continuă V_{CE} (tensiunea dintre colector și emitor) cu multimetru digital; în acest scop se poziționează testerele de măsurare ale aparatului astfel: testerul care este conectat la borna “+” a voltmetrului se aplică pe colectorul tranzistorului, iar testerul care este conectat la borna “-” a voltmetrului se aplică pe emitorul tranzistorului;

6. Se verifică dacă este satisfăcut condiția 1; dacă nu este satisfăcut, atunci tranzistorul bipolar nu funcționează în RAN, iar circuitul nu funcționează corect; în acest caz se va chema cadrul didactic.

7. Se determină valoarea curentului continuu I_C din colectorul tranzistorului; acesta se va determina indirect, cu ajutorul legii lui Ohm prezentate în relația 3; în acest sens, cu multimetru digital setat **ca la punctul precedent**, se măsoară tensiunea continuă pe rezistorul R_C în modul următor: testerul care este conectat la borna “+” a voltmetrului se aplică pe terminalul superior al rezistorului R_C , iar testerul care este conectat la borna “-” a voltmetrului se aplică pe terminalul inferior al rezistorului R_C ;

$$I_C = \frac{V_{RC}}{R_C}$$

3

Lucrarea 9. Analiza în regim variabil de semnal mic a unui circuit de amplificare cu tranzistor bipolar

Perechea de mrimi electrice continue I_C , V_{CE} reprezintă **Punctul Static de Funcționare** al tranzistorului. Determinarea acestuia este necesară pentru estimarea regiunii în care funcționează tranzistorul, la alimentarea circuitului. Valorile obținute se introduc în Tabelul 1.

B. Determinarea rezistenței de intrare a amplificatorului

1. Se reglează generatorul de semnal astfel încât să genereze o tensiune sinusoidală, notată v_G , cu următorii parametri: amplitudine $V_g=0,5[V]$ și frecvență $f=1[kHz]$.

2. După realizarea reglajului menționat, se va chema cadrul didactic pentru verificarea acestuia;

3. Semnalul generat de către generatorul de semnal se introduce la intrarea circuitului, cu borna + a cablului de semnal conectat la terminalul stâng al condensatorului **CB**, iar masa cablului de semnal conectat la masa circuitului, așa cum este precizat în Figura 2.

4. Se vizualizează pe ecranul osciloscopului, prin intermediul sondei de măsură, tensiunea la intrare v_I (vezi Figura 2 pentru identificarea pe circuit a acestei tensiuni). În acest scop, masa sondei se va conecta la masa circuitului, iar firul cald al sondei se va aplica în baza tranzistorului.

5. Pe forma de undă observată pe ecranul osciloscopului, se măsoară amplitudinea tensiunii de intrare v_I . Se remarcă faptul că amplitudinea V_i a tensiunii de intrare în amplificator este mai mică decât amplitudinea V_g a tensiunii furnizate de generatorul de semnal, de unde se deduce că există o **pierdere de semnal la intrarea circuitului**. Acest fenomen este datorat neadaptării valorii rezistenței de intrare a amplificatorului la valoarea rezistenței de ieșire a generatorului de semnal, care este egală cu $50[\Omega]$, valoare indicată pe panoul frontal al aparatului, în dreptul mufei la care este conectat cablul de semnal.

6. Se calculează valoarea rezistenței de intrare a amplificatorului, notată cu R_i , cu relația 4.

$$R_i = \frac{V_i}{V_g - V_i} \cdot (R + R_g) \quad 4$$

unde R_g reprezintă valoarea rezistenței de ieșire a generatorului de semnal, egală cu $50[\Omega]$. Din relația 4 se remarcă faptul că la un amplificator de tensiune, pierderile de semnal la intrarea circuitului se pot evita dacă valoarea $R_i \rightarrow \infty$ (adică dacă valoarea rezistenței de intrare a amplificatorului este foarte mare). Numai în acest caz $V_i = V_g$, deci nu sunt pierderi de semnal la intrarea circuitului. Valoarea calculată pentru R_i se trece în Tabelul 1.

Lucrarea 9. Analiza în regim variabil de semnal mic a unui circuit de amplificare cu tranzistor bipolar

C. Determinarea amplificării în tensiune în band

1. Se vizualizează pe ecranul osciloscopului, prin intermediul sondei de măsurare, tensiunea la ieșire v_o (vezi Figura 2 pentru identificarea pe circuit a acestei tensiuni). În acest scop, masa sondei se va conecta la masa circuitului, iar firul cald al sondei se va aplica pe terminalul superior al rezistorului R_L .
2. Pe forma de undă observată pe ecranul osciloscopului, se măsoară amplitudinea V_o a tensiunii de ieșire și apoi se calculează amplificarea în tensiune A_V a circuitului cu relația generală 2. Pentru măsurarea corectă a amplitudinii, se recomandă vizualizarea Figurii 1, care explică diferența dintre valoarea vârf la vârf și amplitudine. Valoarea obținută se trece în Tabelul 1.

D. Determinarea frecvenței superioare f_s a circuitului.

Valoarea amplificării în tensiune a circuitului depinde de frecvența semnalului de intrare. Se constată că începând de la o anumită valoare a frecvenței, amplificarea în tensiune scade, pe măsură ce frecvența semnalului de intrare crește.

1. Se calculează valoarea vârf la vârf pe care tensiunea de ieșire o atinge la frecvența egală cu valoarea frecvenței superioare, cu relația:

$$V_{o_vrf_vrf} \Big|_{f=f_s} = 2 \cdot 0,7 \cdot A_V \cdot V_i \quad 5$$

unde A_V are valoarea calculată la punctul C.2 iar V_i este amplitudinea semnalului sinusoidal, măsurată la punctul B.5.

2. Se vizualizează pe ecranul osciloscopului, prin intermediul sondei de măsurare, tensiunea la ieșire v_o .
3. Se măsoară **amplitudinea tensiunii de intrare constantă** (nu se modifică poziția potențiometrului **AMPL** de la generatorul de semnal) și se crește semnificativ valoarea frecvenței semnalului v_G , de la generatorul de semnal, din comutatorul gamelor de frecvență **Æ** sau **FREQUENCY** precum și din comutatorul de reglaj fin **VARIABLE**, până când se constată că valoarea vârf-vârf (vezi Figura 1 pentru semnificația acestei valori) a tensiunii v_o devine egală cu valoarea calculată cu ajutorul relației 5.
5. Când se constată că valoarea vârf-vârf a tensiunii v_o devine egală cu valoarea calculată cu ajutorul relației 5, se citește de pe ecranul generatorului de semnal valoarea frecvenței semnalului la care lucrează amplificatorul. Valoarea citită reprezintă valoarea frecvenței superioare a circuitului de amplificare, notată f_s . Valoarea măsurată se trece în Tabelul 1.

E. Determinarea valorii maxime a tensiunii de intrare, până la care circuitul poate amplifica fără să distorsioneze forma de undă a tensiunii de ieșire

1. Se măsoară de la generatorul de semnal frecvența semnalului v_G la valoarea **1[kHz]**.

Lucrarea 9. Analiza în regim variabil de semnal mic a unui circuit de amplificare cu tranzistor bipolar

2. Se vizualizează pe ecranul osciloscopului, prin intermediul sondei de măsurare, tensiunea la ieşire v_O .
3. Se creşte de la generatorul de semnal amplitudinea tensiunii v_G până când se observă că forma de undă a tensiunii de ieşire v_O , vizualizată pe ecranul osciloscopului, se distorsionează (începe să nu mai fie sinusoidal); când se constată acest lucru, se opreşte creşterea amplitudinii tensiunii de la generator.
4. Se vizualizează pe ecranul osciloscopului, prin intermediul sondei de măsurare, tensiunea de intrare v_I . Se determină amplitudinea acestei tensiuni. Valoarea astfel măsurată, reprezintă amplitudinea maximă a tensiunii de intrare v_I , notată V_{imax} , pe care circuitul de amplificare o poate amplifica fără să introducă distorsiuni în forma de undă a tensiunii de ieşire v_O . Valoarea măsurată se trece în Tabelul 1.

III. Simularea în Orcad a unui amplificator de semnal mic

Se simulează circuitul din Figura 3, iar rezultatele obţinute se trec în Tabelul 2, în câmpurile corespunzătoare măsurimilor electrice determinate. Modelul tranzistoarelor utilizat în simulare este specificat în tabelul de mai jos. Pentru sursa de tensiune v_G , tipul sursei depinde de tipul analizei şi se va specifica pe parcurs.

Masa 1	Masa 2	Masa 3	Masa 4	Masa 5	Masa 6
Q2N2218	Q2N2219	Q2N2270	Q2N2282	Q2N2369	Q2N2509

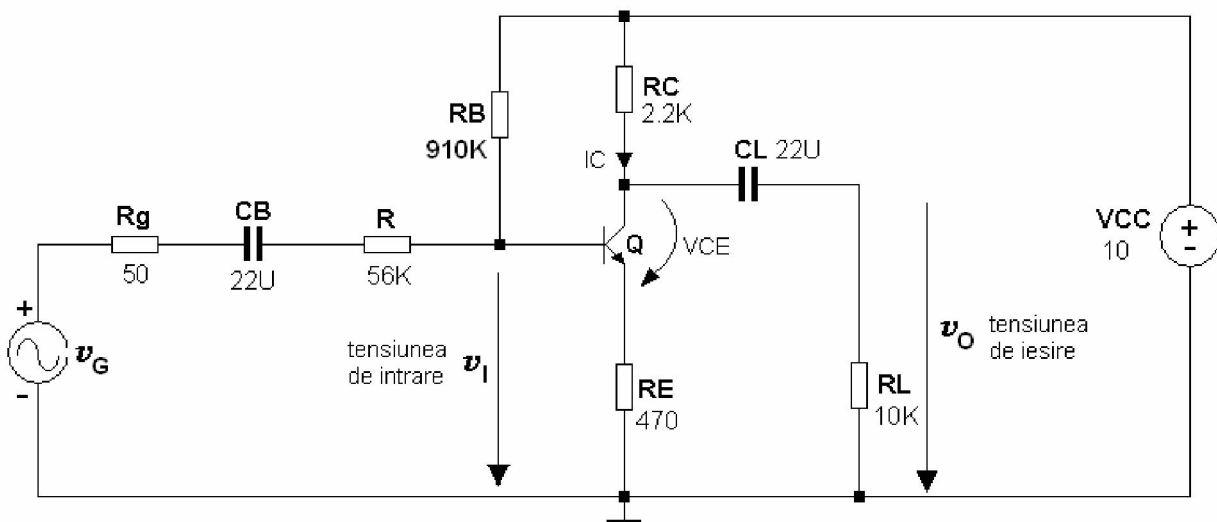


Figura 3. Circuit de amplificare cu tranzistor bipolar.

Lucrarea 9. Analiza în regim variabil de semnal mic a unui circuit de amplificare cu tranzistor bipolar

1. La intrarea circuitului se aplică o sursă de tensiune v_G sinusoidală (de tipul **VSIN**) de amplitudine $V_g=200[mV]$, valoare medie $0[V]$ și frecvență $1[kHz]$.
2. Se efectuează asupra circuitului o analiză de tipul **Bias Point** și se determină valoarea PSF-ului tranzistorului. Se verifică dacă circuitul funcționează în RAN; verificarea se realizează după condiția **1**. În caz contrar există greșeli în editarea circuitului. Acestea trebuie eliminate în acest stadiu, altfel rezultatele de la punctele următoare sunt eronate.
3. Se efectuează asupra circuitului o analiză de tipul **Time Domain**, pentru vizualizarea a $n=5$ perioade ale tensiunii de intrare v_i , respectiv ale tensiunii de ieșire v_o . Pe formele de undă astfel obținute se va observa defazajul de 180^0 care există între cele două tensiuni, apoi se vor măsura, cu ajutorul cursorului, **amplitudea** fiecărui semnal vizualizat.
4. Se va calcula modulul amplificării în tensiune a circuitului, precum și rezistența de intrare în amplificator, pe baza relațiilor 2, respectiv 4. **În determinarea valorii amplitudinilor cerute, se va ține cont de toate zecimalele cu care măsurimile sunt afișate (în special în cazul lui V_i).**
5. Se efectuează asupra circuitului o analiză de tipul **AC Sweep**, pentru vizualizarea variației în domeniul frecvență a tensiunii de ieșire. În acest scop, sursa de tensiune de tipul **VSIN** se elimină din circuit și în locul acesteia se introduce o nouă sursă de tensiune, de tipul **VAC**, cu următorii parametri: amplitudine $200[mV]$, și valoare medie $0[V]$. Domeniul de frecvență în care se realizează analiza este variabil (variat) logaritmic pe domeniul de valori $0.1[Hz] \div 1000[MHz]$. Pentru analiza respectivă, se vor utiliza **100** puncte de analiză pe decadă. Specificarea parametrilor analizei **AC Sweep** este precizată în lucrarea de laborator 1. Se vizualizează variația amplitudinii tensiunii de ieșire v_o în domeniul de frecvență stabilit prin parametrii analizei, și pe graficul vizualizat, se determină, cu ajutorul cursorului, frecvența superioară a amplificatorului, notată f_s . Determinarea parametrului f_s se desfășoară astfel: se măsoară cu ajutorul cursorului valoarea maximă a amplitudinii tensiunii de ieșire v_o , valoare notată V_{oB} . Apoi, se va deplasa cursorul pe graficul obținut, spre direcția frecvențelor mari, până când amplitudinea tensiunii de ieșire v_o scade la valoarea $V_{oB}/\sqrt{2}$. Când cursorul ajunge în punctul respectiv, se citește pe axa OX valoarea frecvenței. Valoarea determinată astfel reprezintă frecvența superioară f_s a amplificatorului.

Lucrarea 9. Analiza în regim variabil de semnal mic a unui circuit de amplificare cu tranzistor bipolar

Lucrarea 9. Analiza în regim variabil de semnal mic a unui circuit de amplificare cu tranzistor bipolar

Nume, Prenume, Grupa:

1.	2.	3.
-----------	-----------	-----------

Tabelul 1. Parametrii amplificatorului realizat experimental

I_C	
V_{CE}	
V_i	
R_i	
V_o	
A_v	
f_S	
V_{imax}	

Tabelul 2. Parametrii amplificatorului simulat

I_C	
V_{CE}	
V_i	
R_i	
V_o	
A_v	
f_S	

R spunde i la întrebarea:

Care este cauza apariției distorsiunilor în forma de undă a tensiunii de ieșire, la amplificatorul studiat?