

Laboratorul 4.

Aplicații de regim dinamic. Amplificatoare cu tranzistoare bipolare. Studiu de caz: Amplificatorul audio cu câștig fix și fără sistem de feedback.

1 Scopul lucrării

Măsurarea performanțelor amplificatoarelor elementare realizate cu tranzistoare bipolare în două montaje elementare utilizate ca amplificator: colector la masă (repetor pe emitor) și amplificator cu sarcină distribuită.

2 Noțiuni teoretice

2.1 Reamintire: Tranzistorul bipolar

Tranzistorul este o componentă de circuit activă, adică poate produce la ieșire un semnal de o putere mai mare decât semnalul de la intrarea lui. Această putere suplimentară provine dintr-o sursă externă (o sursă de tensiune). În montaje electronice, tranzistoarele sunt poziționate în schemă astfel încât, în funcție de semnalul de comandă, acestea distribuie către ieșire a semnalului direct de la alimentare, păstrând pe intrare o impedanță mare (consumă un curent foarte mic din semnalul de la intrare).

Tranzistorul are trei terminale: bază, emitor și colector. Pentru a evita confuziile, vom nota potențialul dintr-un terminal cu V și indice numele terminalului:

- V_B pentru potențialul din bază (măsurat față de GND), analog pentru emitor și colector.
- V_{CC} este tensiunea de alimentare care intră în colector; este mereu pozitivă;
- V_{EE} este tensiunea de alimentare care intră în emitor; este, de obicei, negativă.

Tensiunea dintre două potențiale este indicată de un dublu indice:

- U_{BE} pentru tensiunea bază-emitor;
- U_{CE} pentru tensiunea colector-emitor, etc.

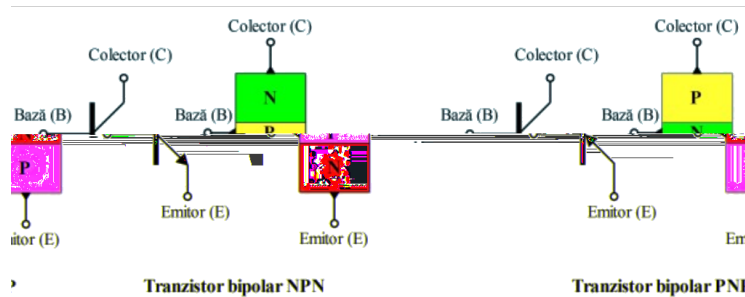


Figura 1: Simbolul și structura tranzistorului bipolar

Regimurile de funcționare ale tranzistorului bipolar

Tranzistorii bipolari sunt de două tipuri: NPN și PNP (Figura 1). La funcționarea în Regiunea Activ Normală (RAN) cei NPN respectă următoarele reguli (pentru PNP inversați sensul căderilor de tensiune):

1. În colector valoarea potențialului este mai mare decât în emitor;
2. Joncțiunile PN (bază-emitor, bază-colector) pot fi analizate similar diodelor (Figura 2). Dioda bază-emitor este polarizată direct, iar dioda bază-colector este polarizată invers;
3. Orice tranzistor are valori maxime pentru I_C , I_B și U_{CE} . Depășirea lor va duce la distrugerea tranzistorului. Alți parametri de care trebuie să ținem cont sunt: puterea disipată ($I_E \cdot U_{CE}$), temperatura de funcționare, etc;
4. Dacă primele 3 reguli sunt respectate, I_C este direct proporțional cu I_B și poate fi scris sub forma:

$$I_C = h_{fe} \cdot I_B = \beta I_B \quad (1)$$

unde h_{fe} este amplificarea de curent (în general, de ordinul sutelor). Atât I_C cât și I_E circulă înspre emitor.

Observație: Curentul de colector I_C , nu se datorează polarizării directe a "diodei" bază-colector, ci altor fenomene specifice tranzistorului. Joncțiunea bază-colector se află în conducție inversă.

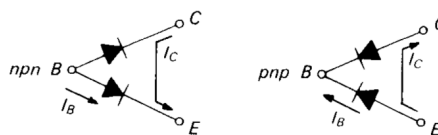


Figura 2: Tranzistorul măsurat folosind un multimetru setat pe modul "tester de diodă"

Ultima regulă ne arată și utilitatea tranzistorului: un curent mic aplicat în bază poate controla un curent mult mai mare care circulă prin colector!

Observație: h_{fe} nu este un parametru în jurul căruia am vrea să construim un circuit (adică un circuit care se bazează pe o anumită valoare a lui h_{fe}). El variază odată cu temperatura, curentul de colector I_C , și cu tensiunea colector-emitor U_{CE} (direct proporțional).

Datorită regulii 2 nu putem aplica o tensiune mare între bază și emitor deoarece dacă valoarea tensiunii din bază este mai mare cu mai mult de $0.6V - 0.8V$ decât cea din emitor, curentul crește semnificativ și poate fi depășit ușor pragul de curent maxim (ceea ce duce la distrugerea tranzistorului). De aceea, considerăm că în cazul unui tranzistor care funcționează normal $V_B \approx V_E + 0.6V$. Rezultă:

$$V_B = V_E + U_{BE} \quad (2)$$

2.1.1 Impedanța (Z)

Amplificatoarele, la modul general, sunt utilizate atât în regim continuu, cât și în regim alternativ. Deseori, amplificatoarele cu tranzistoare bipolare sunt utilizate numai în regim alternativ (iar tranzistorul operează în jurul punctului static de funcționare). Pentru a cupla regimul alternativ (variație a tensiunii) peste punctul static de funcționare (adică tranzistorul să fie utilizat într-un regim ce variază în jurul punctului static de funcționare) utilizăm componente care nu permit trecerea curentului continuu, dar se comportă ca o rezistență de valoare mică în regim alternativ (elemente de cuplaj - en. AC coupling components). Aceste elemente utilizate în amplificatoare pentru a cupla regimul dinamic (semnalul ce trebuie amplificat) sunt condensatoarele.

Circuitele care conțin condensatoare și bobine sunt mai complicate decât cele care conțin doar rezistențe deoarece condensatorul și bobina sunt componente reactive (adică comportamentul lor este dependent de frecvență). Cu toate acestea, ele sunt elemente liniare.

Ieșirea unui circuit liniar (adică format doar din componente liniare precum: rezistențe, condensatoare, bobine și amplificatoare liniare) la intrarea căruia aplicăm un semnal sinusoidal este tot un semnal sinusoidal (își păstrează forma de undă), de aceeași frecvență. (ideal) Semnalul de ieșire poate să difere față de semnalul de la intrare din punct de vedere al amplitudinii și al fazei (poate fi defazat față de semnalul de la intrare).

Putem să generalizăm legea lui Ohm, înlocuind termenul "rezistență" cu "impedanță" pentru a descrie orice circuit care conține astfel de componente liniare pasive. Rezultă:

$$I = \frac{U}{Z} \quad (3)$$

unde U este tensiunea printr-un circuit de impedanță Z , pentru un curent I .

Puteți privi impedanța ca o "rezistență generalizată"; rezistorii au rezistență electrică, condensatoarele și bobinele au reactanță. Cu alte cuvinte:

impedanță = rezistență + reactanță.

Putem, astfel, să folosim termenul impedanță când vorbim doar de rezistențe sau doar de condensatoare deoarece le include pe amândouă (rezistență și reactanță).

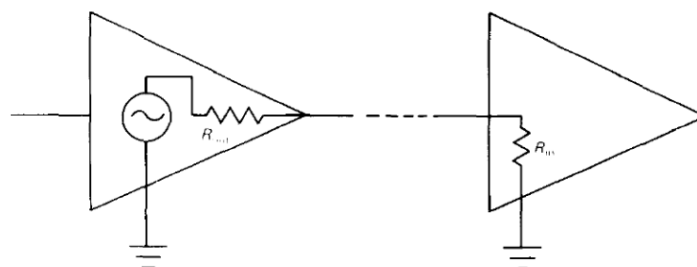


Figura 3: Etaje/blocuri într-un circuit care au impedanțe de intrare și de ieșire

În circuite, ieșirea nu este lăsată în gol. Ea poate fi folosită pentru a comanda un alt etaj de amplificare (a cărui impedanță de intrare este Z_{in}) sau debitează putere pe o sarcină (ex: difuzor) (Figura 3). În cazul în care discutăm despre comanda aplicată intrării unui etaj de amplificare folosind ieșirea unui etaj anterior sau a altei surse de semnal, pentru ca semnalul să nu se degradeze, este de preferat ca impedanța de la ieșirea unui etaj să fie foarte mică, iar impedanța de intrare a următorului etaj să fie foarte mare.

Pentru a înțelege de ce este corectă afirmația de mai sus trebuie să ne întoarcem la sursele de tensiune. Fie divizorul de tensiune din Figura 4a. Acesta poate fi echivalat conform teoremei lui Thevenin cu o singură sursă de tensiune în serie cu o rezistență, pe care o considerăm rezistența internă a sursei Thevenin (Figura 4b).

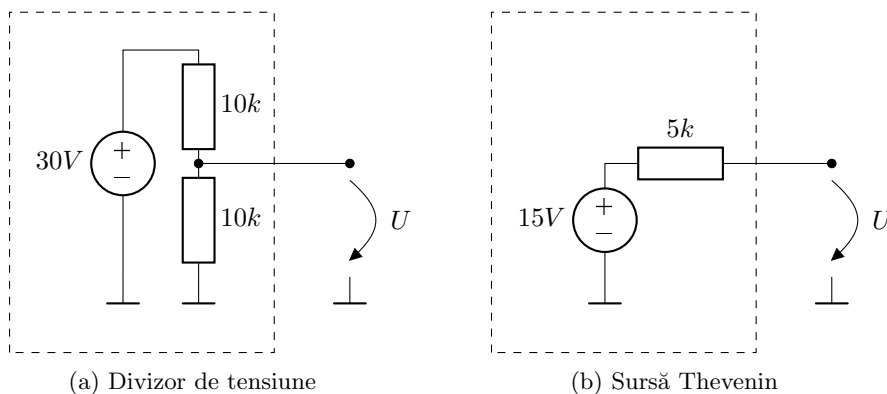


Figura 4: Divizor de tensiune echivalat cu Thevenin

Dacă vom conecta o sarcină la ieșirea sursei echivalate Thevenin, tensiunea de ieșire va scădea considerabil (amintiți-vă exercitiul, de la prima lucrare, cu sursa de tensiune din care trăgeam curent printr-o rezistență de sarcină). Acest lucru se datorează rezistenței interne foarte mari a sursei Thevenin ($5k\Omega$).

Ideal ar fi să obținem este o sursă ideală de tensiune, la care ieșirea nu se modifică indiferent de curentul absorbit de sarcină. Știm că o astfel de sursă are rezistența internă 0. Deci, ar trebui și ca rezistența internă a sursei noastre Thevenin să fie cât mai mică. Dacă înlocuim termenul "rezistență" cu "impedanță" rezultă că **impedanța de ieșire trebuie să fie cât mai mică.**

Observație: Este suficient ca, pentru a nu afecta semnalul, impedanța de ieșire să fie de cel puțin un ordin de mărime mai mică decât impedanța de intrare a următorului etaj.

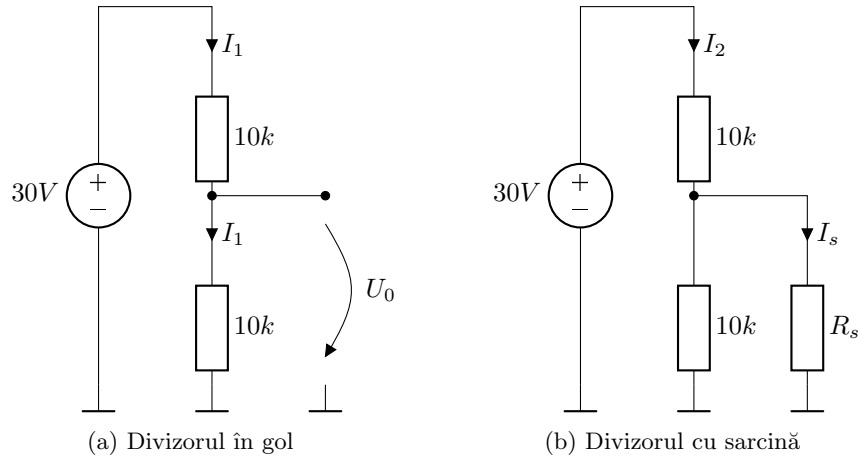


Figura 5: Divizorul de tensiune

Observație: Putem explica deteriorarea tensiunii la ieșirea sursei Thevenin folosind schema divizorului de tensiune. Știm că în demonstrarea formulei divizorului de tensiune presupunem că nu avem nicio sarcină la ieșirea divizorului (Figura 5a), de unde rezultă curentul prin rezistențele de $10k\Omega$:

$$I_1 = \frac{30V}{10k\Omega + 10k\Omega} \quad (4)$$

Dacă conectăm o sarcină, curentul prin rezistențele de $10k\Omega$ nu va mai fi cel din formula 4, deoarece va trece curent și prin sarcină. Adică va fi egal cu:

$$I_2 = \frac{30V}{10k\Omega + 10k\Omega || R_{sarcina}} \quad (5)$$

Adică valoarea tensiunii la ieșire va depinde de valoarea curentului prin rezistența de jos (cea în paralel cu R_s). Curentul prin ea va fi egal cu $I_2 - I_1$, adică ne dorim ca I_s să fie cât mai mic. Acest lucru înseamnă o rezistență de sarcină cât mai mare. **Rezultă că impedanța de intrare a următorului etaj trebuie să fie cât mai mare pentru a nu influența (degrada) semnalul de la ieșirea etajului anterior (adică să tragă cât mai puțin curent).**

2.2 Aspecte matematice detaliate: Noțiuni generale despre amplificatoare

Modelul general al unui amplificator electronic este prezentat în Figura 6. Se remarcă:

- u_g - semnalul preluat de la un generator de semnal (care poate fi un generator de semnal / un senzor / un traductor);
- Z_g - impedanța de ieșire a generatorului de semnal - utilizată pentru a modela un generator neideal;
- Z_i - impedanța de intrare a amplificatorului;
- u_o - tensiunea de ieșire generată de amplificator, înainte de Z_o ;
- Z_o - impedanța de ieșire a amplificatorului;
- Z_s - impedanța de sarcină (în general un amplificator va avea conectată pe ieșire o sarcină; exemplu: o boxă audio, în cazul unui amplificator audio).

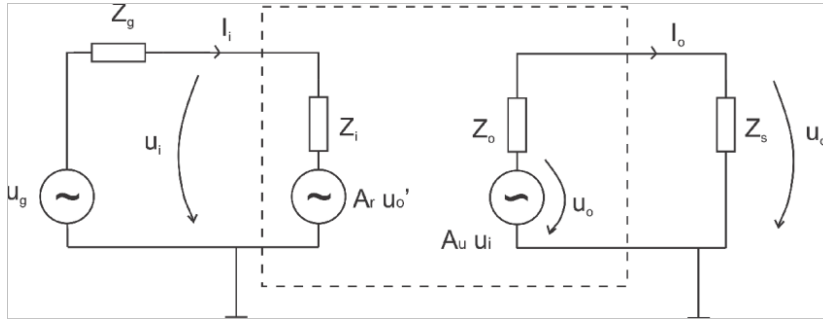


Figura 6: Modelul general pentru un amplificator electronic

Pe baza Figurii 6, se pot defini relațiile:

$$u_i = u_g \frac{Z_i}{Z_i + Z_g} \quad (6)$$

$$u_o' = u_o \frac{Z_s}{Z_s + Z_o} \quad (7)$$

În mod ideal, ne dorim ca $u_i = u_g$. Cum Z_g este specifică generatorului de semnal, se impune astfel condiția ca pentru amplificator ideal, Z_i să tindă la infinit (conform ecuației 6). Similar, vrem $u_o' = u_o$. Cum Z_s depinde de aplicația pentru care este utilizat amplificatorul, se impune astfel condiția ca Z_o să fie cât mai mică - preferabil mult mai mică decât sarcina de pe ieșire (conform Ecuației 7). Pentru amplificator ideal, $Z_o = 0$.

2.2.1 Montaje fundamentale cu tranzistoare bipolare

Cele trei scheme fundamentale și amplificatorul cu sarcină distribuită sunt prezentate în Figura 7, sub forma schemelor de principiu. Pentru fiecare dintre ele se definesc:

- amplificarea de tensiune: $\frac{U_o}{U_i}$ (pentru Z_s dat);
- amplificarea de curent: $\frac{I_o}{I_i}$ (pentru Z_s dat);

- impedanța de intrare: $\frac{U_i}{I_i}$ (pentru Z_s dat) ;
- impedanța de ieșire: $\frac{U_o}{I_o}$ (pentru Z_g dat).

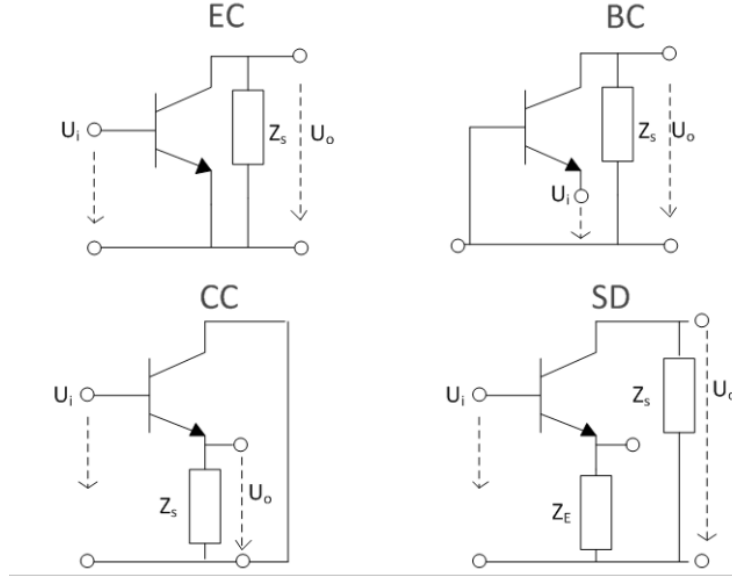


Figura 7: Conexiunile fundamentale ale tranzistorului bipolar (scheme de principiu)

Parametrii tranzistorului bipolar în regim dinamic

Pentru modelarea funcționării tranzistorului bipolar la frecvențe joase, se poate utiliza modelul cu parametri hibrizi:

$$u_{be} = h_i i_b + h_r u_{ce} \quad (8)$$

$$i_c = h_f i_b + h_o u_{ce} \quad (9)$$

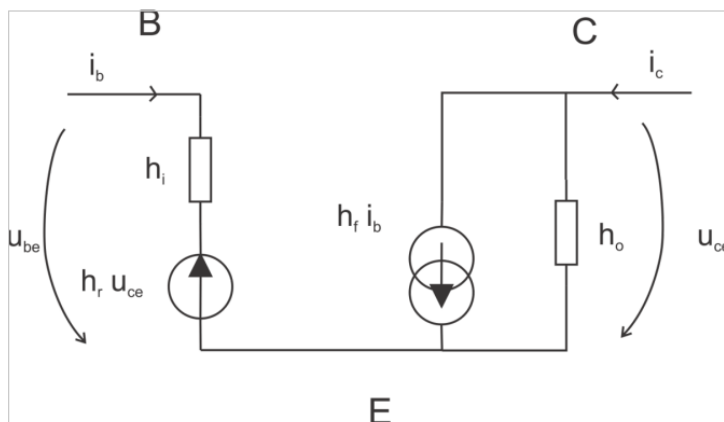


Figura 8: Modelul TBIP cu parametri hibrizi

Se pot determina câte un set de parametri h pentru fiecare tip de conexiune. În practică, cei mai întâlniți sunt parametrii h pentru conexiunea emitor comun.

Mărimile caracteristice amplificatorului cu tranzistor

Pentru cele patru scheme din Figura 7, mărimile caracteristice se determină teoretic, cunoscând parametrii h ai tranzistorului în punctul static de funcționare și valorile din circuitul de polarizare. Circuitul de polarizare utilizat pentru montajul din această lucrare, ce va avea o influență directă asupra parametrilor, este prezentat în Figura 9.

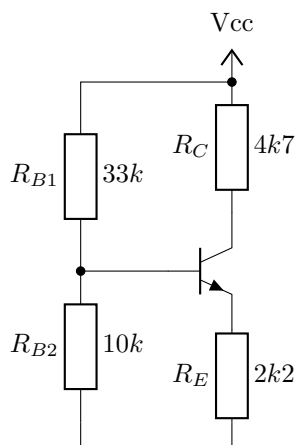


Figura 9: Schema de polarizare utilizată pentru lucrarea de laborator

	EC	BC	CM	SD
A_u	$-\frac{h_f}{h_i} R_C \parallel Z_S$	$\frac{(R_C \parallel Z_S) h_f}{h_i}$	≈ 1	$-\frac{R_C \parallel Z_S}{R_E}$
A_i	$\approx h_f$	≈ -1	$\approx -h_f$	$\approx h_f$
Z_i	$\approx h_i$	$\approx \frac{h_i}{h_f}$	$R_B \parallel (h_i + (R_E \parallel R_S) h_f)$	$R_B \parallel (h_i + R_E h_f)$
Z_o	$\approx R_C$	$\approx R_C$	$R_E \parallel (\frac{R_B + h_i}{h_f})$	$\approx R_C$

Tabela 1: Aproximații pentru A_u , A_i , Z_i , Z_o , utilizând modelul simplificat și considerând schema de polarizare

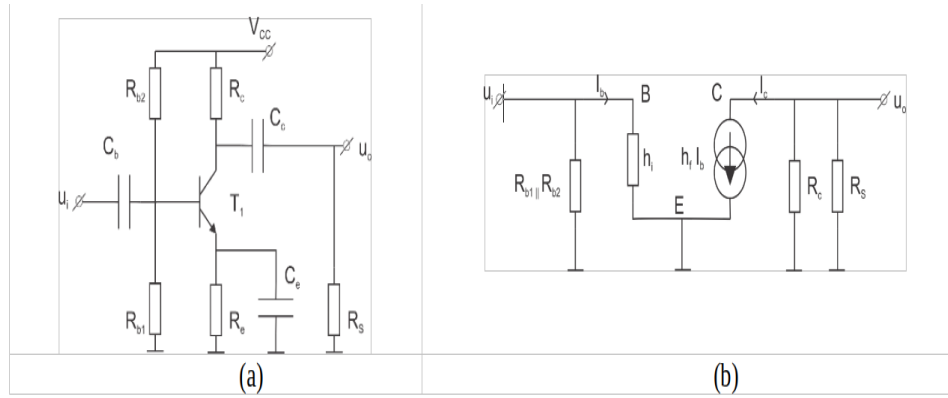


Figura 10: Schema completă pentru conexiunea emitor comun, inclusiv schema de polarizare (a), respectiv schema echivalentă în regim dinamic (b), utilizând modelul cu parametri h simplificat

În relațiile de calcul, date în Tabelul 1:

- Z_s reprezintă impedanța de sarcină;
- Z_g reprezintă impedanța generatorului de semnal;
- R_B reprezintă notația folosită pentru $R_{B1} \parallel R_{B2}$

Pentru determinarea amplificării de tensiune, a amplificării de curent și a impedanței de intrare se folosește schema de măsurare din Figura 11, în care mărimile ce pot fi măsurate direct sunt tensiunile U_g , U_i , U_o .

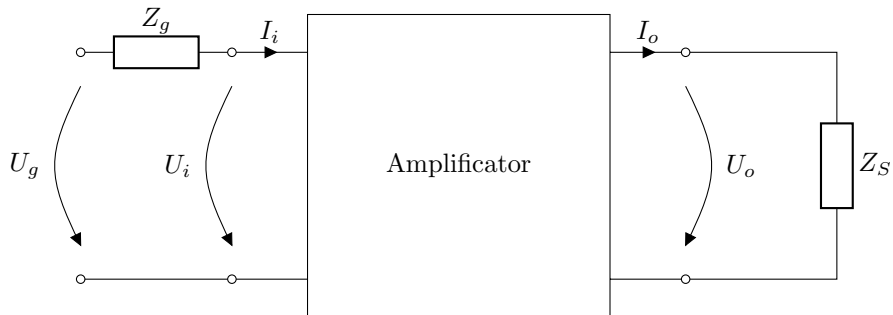


Figura 11: Schema pentru determinarea A_u , A_i , Z_i

Se deduc ușor relațiile:

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} \quad (10)$$

$$A_i = \frac{U_o}{U_g - U_i} \frac{Z_g}{Z_s} \quad (11)$$

$$Z_i = \frac{U_i}{U_g - U_i} Z_g \quad (12)$$

Impedanța de ieșire

Pentru măsurarea impedanței de ieșire se folosește schema de măsură din Figura 12, în care este rezistența de ieșire a generatorului de semnal.

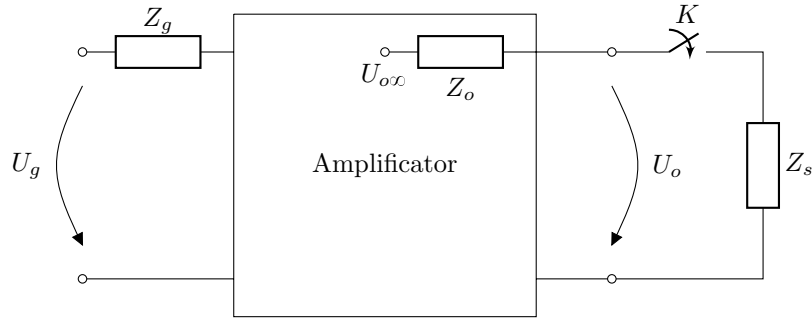


Figura 12: Schema pentru măsurarea impedanței de ieșire

$$Z_o = \frac{U_{o\infty} - U_o}{\frac{U_o}{Z_s}} \quad (13)$$

$$Z_o = Z_s \left(\frac{U_{o\infty}}{U_o} - 1 \right) \quad (14)$$

Unde:

- $U_{o\infty}$ este tensiunea de ieșire în gol ($Z_s \rightarrow \infty$);
- U_o este aceeași tensiune de ieșire, măsurată cu rezistența de sarcină Z_s (ambele pentru aceeași tensiune de intrare U_g).

De remarcat, conform Tabelului 1, faptul că impedanța de ieșire (Z_{out}) este puternic dependentă de valorile rezistențelor din circuitul de polarizare.

Din punct de vedere al raportului dintre ieșire și intrare, definim trei tipuri de amplificări: **Amplificare în tensiune**, **Amplificare în curent**, **Amplificare de putere**.

- În circuitele electronice importanța amplificărilor în circuit este puternic dependentă de tipul aplicației. De exemplu în cazul aparatelor care amplifică un semnal de amplitudine de ordinul milivolților - aparate de electrocardiogramă (EKG), electroencefalogramă (EEG), citirea semnalelor de la termocuple, etc - în scopul vizualizării și analizei semnalului de la intrare **ne interesează**

amplificarea în tensiune. Întrucât ieșirea este utilizată de către un bloc de măsură (curentul absorbit de acesta este maximum de ordinul miliamperilor), amplificarea de putere nu este relevantă pentru acest exemplu. Următorul **parametru important este impedanța de intrare**, care trebuie să fie cât mai mare posibil (de ordinul $M\Omega$ / $G\Omega$) pentru a nu afecta calitatea semnalelor.

- În cazul circuitelor în care o ieșire de semnal - sau o referință de tensiune - (care nu este proiectată să mențină tensiunea constantă la ieșire pentru curenți mai mari de ordinul miliamperilor) trebuie utilizată de către un circuit cu o impedanță de intrare mică (de ordinul zecilor sau sutelor de Ω), care ar consuma curenți de zeci de miliamperi din sursa de semnal, se utilizează amplificatoare repetitoare, unde parametrii de interes sunt **amplificarea de curent și impedanța de intrare**. Amplificatorul de curent, numit și **repetor de tensiune**, are amplificarea în tensiune unitară, adică repetă tensiunea de la intrare, asigurând o impedanță mare la intrare, ceea ce permite minimizarea curentului absorbit de la sursa de comandă. Circuitul repetor furnizează pe ieșire un semnal de amplitudine aproximativ egală cu cel de la intrare, în fază și asigură o impedanță mică a ieșirii.
- În circuitele unde semnalul de intrare trebuie amplificat atât în tensiune, cât și în curent - e.g. amplificatoarele audio care folosesc un semnal de intrare de ordinul sutelor de milivolți, îl amplifică, obținând la ieșire tensiuni de ordinul zecilor de volți și curenți de ordinul amperilor sau zecilor de amperi - este importantă **atât amplificarea în tensiune, cât și cea în curent**, precum și **cea de putere**. Este necesar impedanța de intrare să fie mare, și cea de ieșire mică.

O alta caracteristică importantă a amplificatoarelor o reprezintă **distorsiunile** (factorul de distorsiune) care ne oferă detalii legate de modificările introduse de circuit asupra semnalului. Cu cât distorsiunile sunt mai mici, cu atât semnalul de la ieșire este mai asemănător cu cel de la intrare din punct de vedere al formei de undă (amplificatorul are o fidelitate mai mare).

2.3 Circuite cu tranzistoare bipolare

Tranzistorul în montaj de amplificator de putere (și de tensiune și de curent)

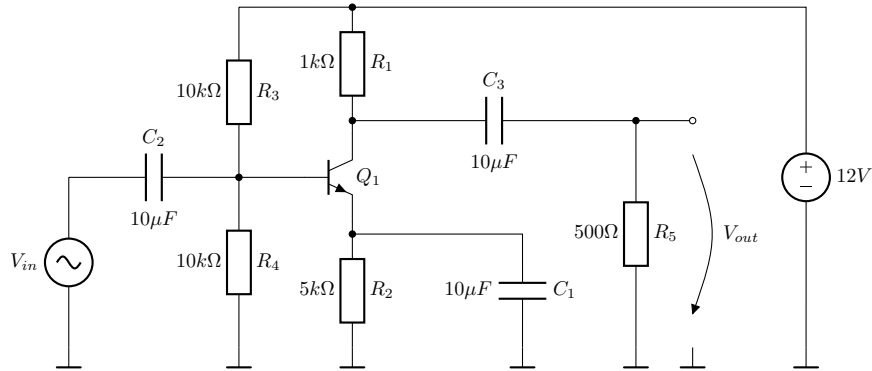


Figura 13: Circuitul complet pentru conexiunea Emitor Comun

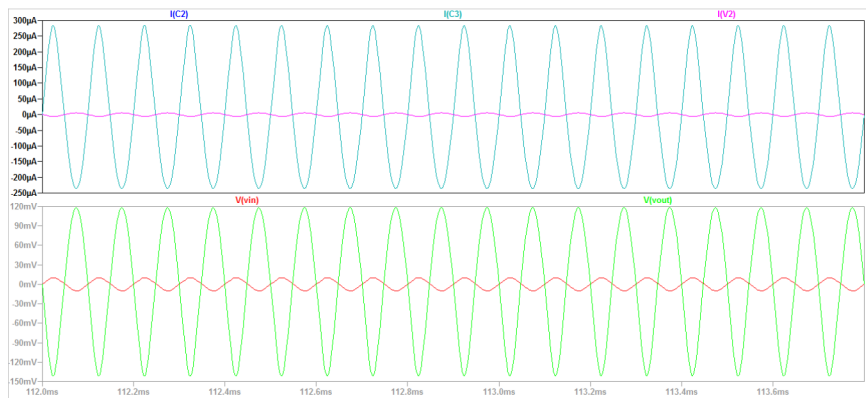


Figura 14: Graficele curentului de intrare - $I(V2)$ și a curentului de ieșire - $I(C3)$ precum și a tensiunii de intrare $V(vin)$ și a tensiunii de ieșire $V(vout)$

Tranzistorul bipolar utilizat ca repetor de tensiune

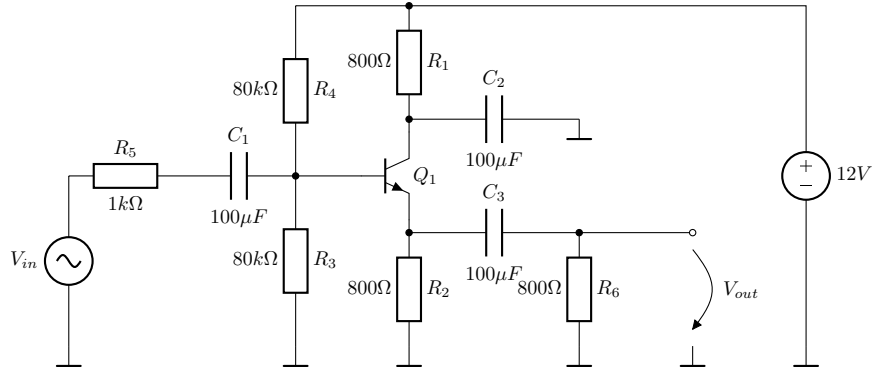


Figura 15: Schema montajului Repetor pe Emitter - Colector la masă

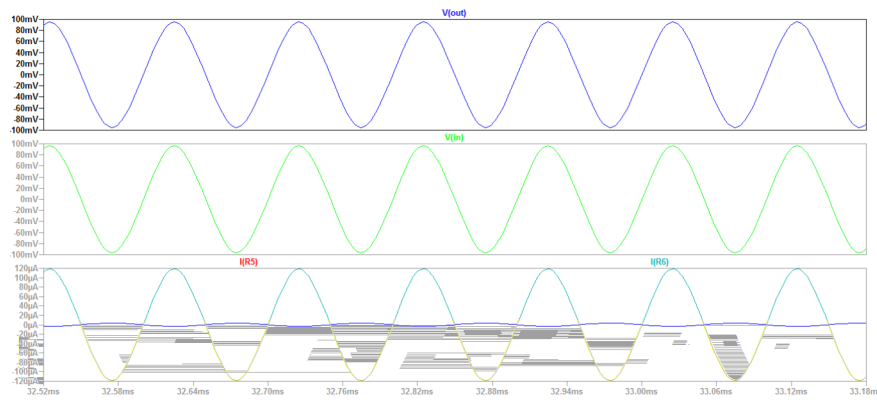


Figura 16: Comparație între tensiunea de intrare și ieșire precum și a curenților de intrare $I(R5)$ și de ieșire $I(R6)$

Analizând formele de undă ale tensiunilor de intrare și ieșire observăm că amplitudinea semnalului de ieșire este aproximativ egală cu cea a semnalului de la intrare, iar cele două semnale sunt în fază. Datorită faptului că montajul Colector la masă **repetă** semnalul, el se mai numește **Repetor pe emitor**.

Putem observa în schimb că, deși amplificarea în tensiune este unitară, montajul este caracterizat prin amplificarea în curent. El este utilizat în montaje unde sursa de semnal nu poate furniza curenți mari (microamperi) iar la ieșire semnalul furnizat poate susține curenți de zeci sau sute de ori mai mari.

3 Desfășurarea lucrării

În cadrul acestui laborator veți construi montajul folosind plăci de test care nu necesită lipirea componentelor, ci doar plasarea lor în sloturi și interconectarea lor folosind conductori special dedicați.

În interiorul breadboard-ului există bare care realizează interconexiunea pe o linie, iar pe laterale - pe barele dedicate distribuției alimentării (notate cu + și -) legăturile sunt făcute pe coloană.

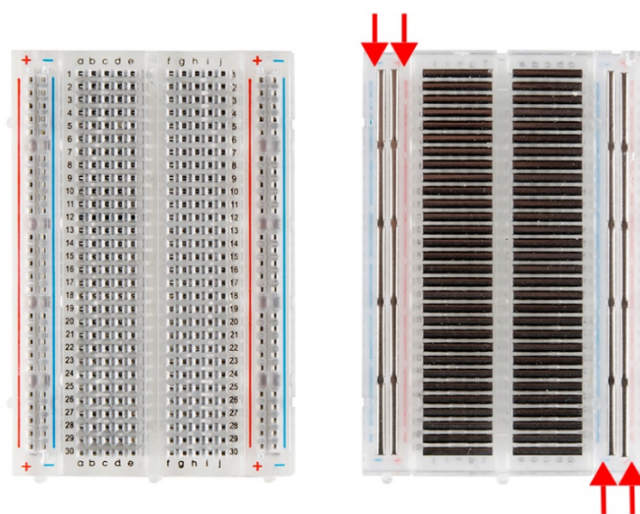


Figura 17: Breadboard-ul și conexiunile interne

Exemplu de realizare a unui circuit simplu - un LED înseriat cu o rezistență și întreg ansamblul alimentat de la o baterie.

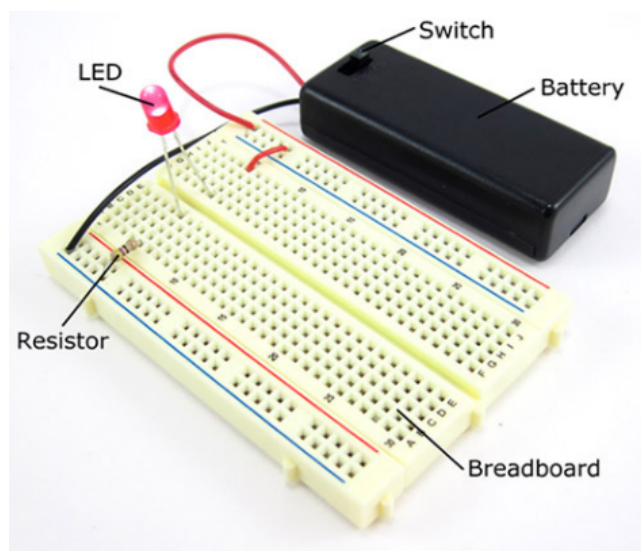


Figura 18: Exemplu de utilizare

Amplificatorul cu câștig fix, fără buclă de reglaj: În cadrul acestui laborator veți construi un amplificator audio format din 2 etaje de amplificare, fără buclă de reglaj (intrarea nu "știe" cum variază ieșirea).

- Amplificatorul de tip sarcină distribuită (cunoscută ca emitor degenerat - en. *degenerated emitter*) ne va oferi un câștig în tensiune de valoare fixă, slab dependent de amplificarea tranzistorului, dar puternic dependent de raportul $R_c \parallel Z_s$. Acest amplificator furnizează mai departe semnalul etajului următor, care poate fi interpretat ca "sarcina" acestui etaj.
- Amplificatorul de tip colector comun, cunoscut sub numele de *repetor pe emitor*, care primește semnalul de la etajul anterior. Acest etaj de amplificare are rolul de a **repetea** semnalul primit la intrare, dar poate furniza curenți mai mari pe ieșire (curenți proveniți din alimentare, nu se la sursa de semnal). Acest etaj poate fi interpretat ca *izolator de impedanță*.

În cadrul laboratorului veți construi în zone apropiate ale bread-board-ului cele două amplificatoare cu tranzistoare. Le veți studia comportamentul cantitativ și calitativ, în mod individual. Apoi, veți conecta ieșirea amplificatorului sarcină distribuită la intrarea amplificatorului tip colector-comun și veți lega ca sarcină difuzorul. Semnalul de intrare va fi, la alegere, provenit din sursa de semnal sau din cadrul unei surse audio, prin cablul jack existent la masa de lucru.

Implementați pe breadboard schema pentru polarizare în curent continuu pentru cele două montaje ce utilizează tranzistoare de tip NPN (BC547C). Folosind acest circuit fixăm un **Punct Static de Funcționare** pentru tranzistor. Utilizați valorile rezistențelor pentru montaj (valori din Figura 20) . Identificați valorile rezistențelor folosind codul culorilor. Tranzistorul utilizat în cadrul montajului va fi BC547C. Identificați terminalele componente fizice pentru plasarea sa corectă în circuit pe baza figurii de descriere.

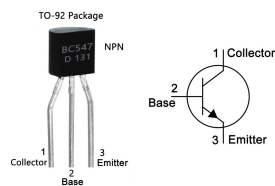


Figura 19: Identificarea pinilor pentru BC547

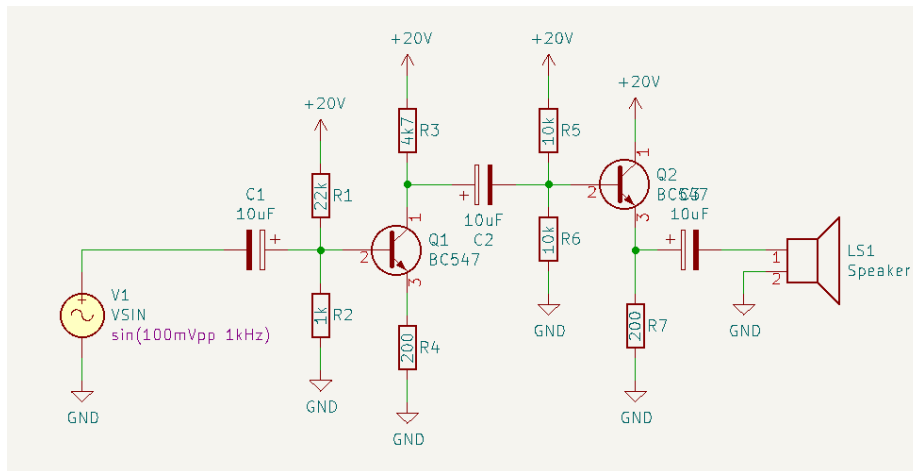


Figura 20: Schema completă a montajului de laborator de amplificator audio

Se dorește observarea comportării tranzistorului ca amplificator în diferite montaje elementare (sarcină distribuită și colector comun) și influența punctului static de funcționare asupra caracteristicilor amplificatorului. Pentru aceasta se măsoară amplitudinea semnalelor de intrare (U_i), de ieșire (U_o) și se calculează amplificările de tensiune la mers în gol și în sarcină (A_u)

3.1 Determinarea punctelor statice de funcționare (PSF)

Determinarea punctului static de funcționare pentru fiecare tranzistor din circuit.

În acest scop se vor utiliza bornele u_C și u_E pentru măsurarea U_{CE} , respectiv V_{CC} și u_C pentru măsurarea căderii de tensiune pe rezistența R_C , în scopul determinării I_C .

Se măsoară parametrii tranzistorului în punctele statice de funcționare:

- tensiunea colector-emitor (U_{CE}) și
- curentul prin colector (I_C).

3.2 Determinarea amplificării fiecărui etaj

Se realizează, pe rând, montajele pentru colector la masă (Figura ??) și apoi cel de sarcină distribuită. Pentru cuplarea regimului alternativ cu regimul continuu în care se afla tranzistorul, utilizați condensatoare conform schemelor. Amplitudinea semnalului U_g se setează, la $0.1V_{pp}$ pentru ambele montaje (testarea lor) Frecvența semnalului de intrare va fi setată la $1kHz$ pentru EC.

Pentru fiecare dintre acestea se măsoară amplitudinile semnalelor de intrare (U_i), de ieșire (U_o).

Se calculează amplificările de tensiune (A_U), **pentru conexiunile sarcină distribuită și colector comun.**

Variați tensiunea de alimentare de la 15V la 22V Cum influențează PSF-ul caracteristicile amplificatorului pentru fiecare montaj? Depinde amplificarea de tensiunea de alimentare?

3.3 Conectarea difuzorului

- Conectați difuzorul la ieșirea etajului Sarcină Distribuie. Ce se întâmplă cu semnalul de ieșire când conectați sarcina?
- În cazul montajului complet, verificați amplitudinea ieșirii cu și fără difuzor conectat. Ce observați? Scade la fel de mult amplitudinea semnalului? Motivați de ce.