

LUCRAREA NR.11

AMPLIFICATOARE ELEMENTARE CU REACȚIE

Se studiază efectul reacției negative asupra comportării amplificatoarelor de semnal mic cu tranzistoare bipolare; se vor efectua măsurători asupra amplificărilor de tensiune, asupra impedanțelor de intrare și de ieșire și asupra benzii de trecere.

DUBLETUL SERIE

1. Dubletul serie este un amplificator de semnal mic cu reacție serie de tensiune și are schema de principiu reprezentată în *fig. 11.1*. Tranzistoarele T' și T'' împreună cu rezistențele din circuit, formează amplificatorul de bază, iar reacția de tensiune se aplică prin rezistența R_2 , în emitorul tranzistorului T' .

2. Relațiile aproximative pentru calculul amplificării de tensiune sunt:

- amplificarea de tensiune fără reacție

$$A = \frac{h'_{21} Z_{s1}}{h'_{11} + h'_{21} R_{e1}} \frac{h'_{21} R_{c2} \parallel R_2}{h''_{11}} \quad (11.1), \quad \text{unde}$$

$$Z_{s1} = R_{c1} \parallel h''_{11} \quad (11.2);$$

- factorul de reacție $\beta_r = \frac{R_{e1}}{R_{e1} + R_2}$ (11.3)

- amplificarea de tensiune cu reacție

$$A' \cong \frac{1}{\beta_r} = 1 + \frac{R_2}{R_{e1}} \quad (11.4). \text{ Ultima relație este valabilă în cazul în care } |\beta_r A| \gg 1 \quad (11.5).$$

Prin reacție negativă se îmbunătățește stabilitatea amplificării de tensiune la variații ale amplificării amplificatorului de bază, fără reacție, determinate de diferite cauze (înlocuirea componentelor defecte cu altele similare, dar nu identice, modificarea parametrilor componentelor electronice și electrice datorită variațiilor de temperatură sau ale tensiunii de alimentare, etc.).

Ca parametru cantitativ, se definește desensibilizarea produsă prin reacție prin relația

$$S_r = \frac{\frac{\Delta A'}{A'}}{\frac{\Delta A}{A}} = \frac{A'}{A} \quad (11.6)$$

3. Impedanța de intrare a dubletului serie va fi mărită datorită reacției negative aplicate în serie la intrare, iar impedanța de ieșire va fi micșorată datorită reacției negative de tensiune, astfel încât se poate considera că dubletul serie se comportă ca un amplificator de tensiune. Relațiile de

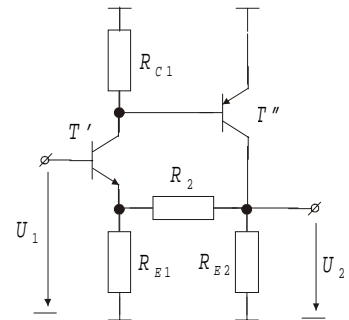


fig .11 .1

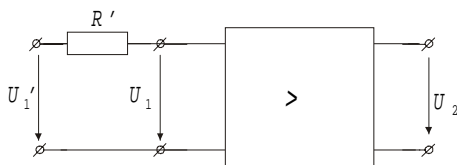


fig .11 .2

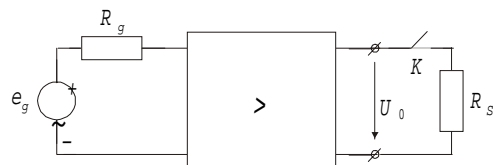


fig .11 .3

calcul, aproximative, sunt $Z_{int} = h'_{11} + h'_{21} R_{e1}$ (11.7), $Z'_{int} = Z_{int} \frac{A}{A'}$ (11.8), $Z_{ies} = R_{c2} \parallel R_2$ (11.9),

$$Z'_{ies} \cong R_{c2} \parallel \left(R_2 \frac{A'}{A} \right) \quad (11.10).$$

Impedanța de intrare, pentru dubletul serie, cu sau fără reacție, se măsoară conform schemei de măsură din *fig.* 11.2 și se determină cu relația: $\text{impedanța de intrare} = \frac{U_1 R'}{U_1' - U_1}$ (11.11) (relație valabilă pentru ambele cazuri).

Măsurarea impedanței de ieșire se face conform schemei de măsură din *fig.* 11.3, determinându-se amplificările de tensiune în gol și în sarcină: $\text{impedanța de ieșire} = Z_s \left(\frac{A_\infty}{A} - 1 \right) = Z_s \left(\frac{U_{0\infty}}{U_0} - 1 \right)$ (11.12), relație valabilă atât pentru circuitul cu reacție cât și pentru cel fără reacție.

4. Comportarea în frecvență a dubletului serie este determinată atât de elementele reactive parazite ale schemei cât și de dependența parametrilor tranzistoarelor de frecvență; în cazul circuitului din *fig.* 11.5, se folosește o capacitate C_1 care introduce un pol dominant în funcția de transfer, fixând frecvența limită de sus, f_s , la o valoare relativ mică pentru amplificatorul fără reacție (se asigură, în acest fel, și o stabilitate a amplificatorului în cazul aplicării reacției negative, în sensul evitării oscilațiilor). Pentru circuitul cu reacție se obține o frecvență limită de sus, f_s' , mai mare, dată de relația $f_s' = f_s \frac{A}{A'}$ (11.13).

DUBLETUL PARALEL

1. Dubletul paralel este un amplificator cu reacție paralel de tensiune și are schema reprezentată în *fig.* 11.4.

Tranzistoarele T' și T'' , împreună cu rezistențele din circuit formează amplificatorul de bază, iar reacția se aplică prin rezistența R_2 . De remarcat că rezistența R_1 este strict necesară pentru ca reacția să se poată aplica. Tensiunea de ieșire se poate culege fie din colectorul tranzistorului T'' (U_2' , în fază cu e_g), fie din emitorul tranzistorului T'' (U_2'' , în antifază cu e_g).

2. Amplificările de tensiune pentru circuitul cu reacție, pentru cele două ieșiri vor fi $A_1' = \frac{U_2'}{e_g}$ (11.14) și

$$A_2' = \frac{U_2''}{e_g} \quad (11.14')$$

Pentru semnale sinusoidale cu frecvența situată în banda de trecere a amplificatorului, amplificările vor avea expresiile: $A_1' = \frac{R_2}{R_1} \frac{\beta_r A_1}{1 - \beta_r A_1}$ (11.15) cu $\beta_r = \frac{R_1 \parallel Z_{\text{int}}}{R_2 + R_1 \parallel Z_{\text{int}}}$ (11.16) unde

$Z_{\text{int}} \cong h'_{11}$ pentru schema de principiu din *fig.* 11.4, respectiv $Z_{\text{int}} = R_b \parallel h'_{11}$ (11.17') pentru schema electrică din *fig.* 11.5; $A_2'' = -A_1' \frac{R_{c2} \parallel R_2}{R_{c2}}$ (11.18).

În aceste relații, A_1 este amplificarea amplificatorului de bază, adică $A_1 = \frac{h'_{21} Z_{s1}}{h'_{11}}$ (11.19) cu

$$Z_{s1} \cong R_{c1} \parallel (h''_{11} + h''_{21} R_{e2} \parallel R_2) \quad (11.20), \text{ iar } A_2 = A_1 \frac{-R_{c2}}{R_{e2} \parallel R_2} \quad (11.21).$$

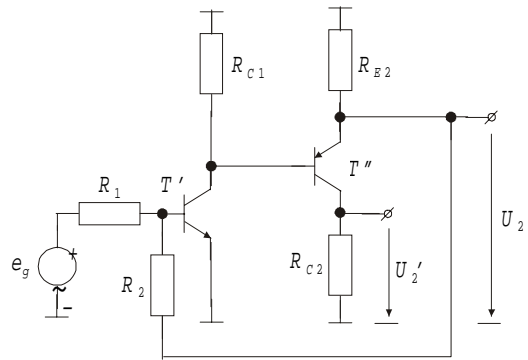


fig. 11.4

În condițiile în care $|\beta_r A_1| \gg 1$ (11.22) și $R_2 \gg R_{c2}$ (11.23), se obțin relațiile aproximative $A'_1 \cong -\frac{R_2}{R_1}$ (11.15') respectiv $A'_2 \cong \frac{R_2}{R_1} \frac{R_{c2}}{R_{e2}}$ (11.18').

3. Impedanța de intrare în dubletul paralel este dată de relația $\frac{1}{Z'_{int}} = \frac{1}{Z_{int}} + \frac{1-A_1}{R_2}$ (11.24).

Datorită reacției negative paralel, impedanța de intrare în dubletul paralel este micșorată foarte mult.

Impedanțele de ieșire din dublet vor fi $Z_{ies2} = R_{c2}$ (11.25), $Z'_{ies2} = R_{c2}$ (11.26) respectiv $Z_{ies1} = R_{e2} \parallel \left(\frac{1}{S''_2} + \frac{R_{e1}}{h''_{21}} \right) \cong \frac{h''_{11} + R_{e1}}{h''_{21}}$ (11.27), $Z'_{ies1} = R_{e2} \parallel \left(\frac{1}{1-\beta_r A_1} \frac{h''_{11} + R_{e1}}{h''_{21}} \right)$ (11.28).

Impedanța de ieșire din colectorul tranzistorului T'' rămâne aceeași și după aplicarea reacției, tranzistorul T'' comportându-se ca un generator de curent cu impedanță de ieșire foarte mare. Impedanța de ieșire din emitorul tranzistorului T'' , inițial foarte mică, este micșorată și mai mult datorită reacției de tensiune a circuitului aplicată din emitorul tranzistorului T'' .

Măsurarea impedanțelor de intrare și de ieșire se face conform schemelor de măsură din fig. 11.2 și respectiv, fig. 11.3, folosindu-se aceleași relații pentru calcul.

4. În privința comportării în frecvență a dubletului paralel se pot face aceleași observații ca și în cazul dubletului serie.

DESFĂȘURAREA LUCRĂRII

1. Se identifică montajul din fig. 11.5, trecând pe schemă valorile tuturor componentelor și tipul tranzistoarelor utilizate. Se alimentează circuitul cu $E_C = 18$ V la borna 2 față de masă și se măsoară punctele statice de funcționare ale tranzistoarelor. Știind că tranzistoarele au parametrii

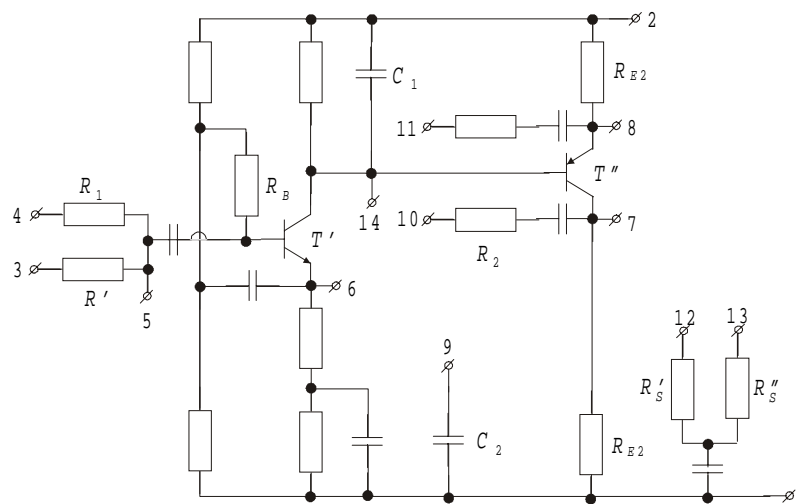


fig. 11.5

$h'_{21} \cong h''_{21} \cong 200$, se vor determina parametrii h'_{11} și h''_{11} , luând $S = 40I_C$ și $h_{11}S = h_{21}$.

2 Se realizează montajul de dublet serie pentru care emitorul tranzistorului T' se decuplează la masă prin capacitatea C_2 (se conectează împreună bornele 8 și 9). Amplificatorul fără reacție se realizează conectând rezistența R'_2 la masă (borna 10 la masă) pentru a lua în considerație încărcarea produsă de rețeaua de reacție (dubletul serie) se realizează conectând împreună bornele 10 și 6. Amplificarea amplificatorului de bază se poate modifica prin schimbarea impedanței de sarcină din colectorul tranzistorului și anume, cuplând o rezistență suplimentară prin legarea împreună a bornelor 12 și 14.

2.1 Se măsoară amplificarea de tensiune și impedanța de intrare pentru amplificatorul fără și cu reacție. Pentru aceasta, se aplică la borna 3 semnal sinusoidal cu frecvența 500 Hz și cu valoarea eficace astfel încât la ieșire, pe colectorul tranzistorului T'' să se măsoare tensiune $V_7=1000$ mV. Se măsoară V_5 și V_3 . Se determină apoi amplificările de tensiune și impedanțele de intrare cu relațiile :-

	V_7	cu amplificarea normală		cu amplificarea redusă	
		V_5	V_3	V_5	V_3
	mV	mV	mV	mV	mV
faa reacție	1000				
cu reacție	1000				

Tabelul 11.1

amplificarea de tensiune $\frac{V_7}{V_5}$, impedanța de intrare $\frac{V_5}{V_3 - V_5} R'$ iar rezultatele se trec în tabelul 11.2,

	cu amplificarea normală				cu amplificarea redusă			
	A	A'	Z_{int}	Z'_{int}	A	A'	Z_{int}	Z'_{int}
	-	-	$k\Omega$	$k\Omega$	-	-	$k\Omega$	$k\Omega$
măsurat								
calculat								

Tabelul 11.2

Tabelul 2 se va completa și cu valorile calculate pentru amplificările de tensiune, cu relațiile (11.1) și (11.4) și pentru impedanțele de intrare, cu relațiile (11.7) și (11.8). Se vor justifica diferențele între valorile calculate și cele măsurate.

2.2 Se studiază efectul micșorării amplificării amplificatorului de bază asupra performanțelor amplificatorului cu reacție. Se micșorează amplificarea amplificatorului de bază prin conectarea împreună a bornelor 12 și 14 și se repetă măsurătorile de la punctul precedent. Rezultatele măsurătorilor sunt trecute în tabelul 11.1 iar rezultatele calculului în tabelul 11.2 (se va ține seama de faptul că Z_{s1} din relația (11.1) devine $Z_{s1} = R_{c1} \parallel h'_{11} \parallel R'_2$). Se compară rezultatele obținute cu cele de la punctul precedent pentru ambele cazuri.

Se calculează desensibilitatea produsă de reacție, definită prin relația (11.6), verificându-se și valoarea teoretică a acesteia.

2.3 Se determină impedanțele de ieșire pentru amplificatorul fără reacție, cu amplificarea normală. Se folosește schema de măsură din fig.11.3, în care $Z_s = R'_s$. Se aplică la borna 5 semnal sinusoidal cu frecvența de 500 Hz și cu valoarea eficace care determină $V_7=1000$ mV în gol. Se măsoară apoi V_7 în prezența rezistenței de sarcină R'_s (se cuplează bornele 12 și 7) și se calculează impedanțele de ieșire cu relația (11.12).

2.4 Se aplică semnal sinusoidal de amplitudine 2 mV la intrarea 5 și se trasează caracteristica de frecvență a amplificatorului fără reacție măsurând $V_7 = V_7(f)$, frecvența reglându-se în scară logaritmică. Se determină frecvența limită de sus, f_s , pe graficul executat la scară logaritmică, atunci când modulul amplificării de tensiune a scăzut cu 3 dB față de valoarea de la frecvențe medii (adică 500 Hz).

Se realizează amplificatorul cu reacție și se repetă măsurătorile luând $V_5=100$ mV. Se reprezintă caracteristica de frecvență pe același grafic și se determină noua frecvență limită de sus, f'_s ; se verifică relația (11.13).

3. Se realizează montajul dublet paralel conectând borna 6 la borna 9. Amplificatorul fără reacție se realizează conectând borna 11 la masă (pentru a ține seama de încărcarea amplificatorului de bază de către circuitul de reacție) se obține cuplând borna 11 cu borna 5. Rezistența R_1 din schema de principiu, fig. 11.4, va fi de 1 k Ω .

3.1 Se măsoară amplificările de tensiune definite prin relațiile (11.14) și (11.14'). În acest scop, se aplică la borna 4 semnal sinusoidal cu frecvența de 500 Hz și cu valoarea eficace astfel încât tensiunea de ieșire la colectorul tranzistorului tranzistorului T'' (borna 7) să se fie $V_7=1800$ mV (valoare eficace). Se măsoară tensiunile V_8, V_4 și V_5 , întâi pentru amplificatorul fără reacție și apoi pentru cel cu reacție. Rezultatele sunt trecute în tabelul 11.3.

Se determină amplificările de tensiune și impedanțele cu relațiile : (amplificarea de

	V_7	V_8	V_4	V_5
	mV	mV	mV	mV
fără reacție				
cu reacție				

Tabelul 11.3

tensiune) $_1 \frac{V_7}{V_4}$, (amplificarea de tensiune) $_2 \frac{V_8}{V_4}$, impedanța de intrare $\frac{V_5}{V_4 - V_5} R_1$, iar rezultatele se trec în tabelul 11.4.

	A_1	A_2	Z_{int}	A_1	A_2	Z'_{int}
	-	-	$k\Omega$	-	-	$k\Omega$
masurat						
calculat						

Tabelul 11.4

Tabelul 11.4 se va completa și cu valorile calculate pentru cele 6 mărimi cu relațiile (11.15) și (11.24). Se vor justifica diferențele între valorile măsurate și cele calculate.

3.2 Se măsoară impedanțele de ieșire pentru cele două ieșiri ale circuitului. Pentru aceasta, pentru amplificatorul fără reacție, în aceleași condiții de excitație ($V_7=1000$ mV, fără rezistență de sarcină) se măsoară tensiunea V_7' în prezența sarcinii și R_s' (adică bornele 7 și 12 legate împreună) și se determină $Z_{ies2} = R_2' \left(\frac{V_7}{V_7'} - 1 \right)$; se măsoară apoi V_8 și V_8' în cazul cuplării sarcinii în emitorul

tranzistorului (bornele 13 și 8 cuplate împreună) și se determină $Z_{ies1} = R_2'' \left(\frac{V_8}{V_8'} - 1 \right)$. Se repetă măsurătorile pentru amplificatorul cu reacție și rezultatele se trec în tabelul 11.5.

În acest tabel se vor trece și valorile calculate cu relațiile (11.25) și (11.28) care se vor compara cu cele măsurate.

3.3 Se aplică semnal sinusoidal de 2 mV la intrarea 4 și se trasează caracteristica de frecvență a amplificatorului fără reacție, măsurând $V_8 = V_8(f)$, frecvența reglându-se în scară logaritmică. Se

	V_7	V_7'	V_8	V_8'	Z_{iesol}	Z_{iesem}
	mV	mV	mV	mV	$k\Omega$	$k\Omega$
fără reacție						
cu reacție						

Tabelul 11.5

determină frecvența limită de sus, f_s , pe graficul din anexa la referat executat la scară logaritmică, ca fiind frecvența la care modulul amplificării de tensiune a scăzut cu 3 dB față de valoarea de la frecvențe medii. Se realizează amplificatorul cu reacție și se repetă măsurătorile luând $V_4=200$ mV. Se reprezintă caracteristica de frecvență pe același grafic și se determină f_s' .

4. Referatul va conține:

- pentru dubletul serie:

- schema de principiu cu relațiile de calcul pentru amplificarea de tensiune și impedanțele de intrare și de ieșire;
- schema electrică cu valorile tuturor elementelor
- punctele statice de funcționare ale tranzistoarelor și parametrii dinamici ai acestora;
- tabelul 11.1 cu rezultatele măsurătorilor și tabelul 11.2 completat cu determinările rezultate din măsurători și cu valorile calculate pentru amplificări și impedanțe;
- rezultatele măsurătorilor pentru impedanța de ieșire;
- rezultatele măsurătorilor și ale determinărilor efectuate pentru amplificatorul cu amplificare redusă, inclusiv desensibilizarea produsă de reacție;
- caracteristicile de frecvență realizate pe același grafic cu determinările frecvențelor limită de sus;
- *pentru dubletul paralel:*
- schema de principiu cu relațiile de calcul pentru amplificări, impedanțe de intrare și impedanțe de ieșire;
- schema electrică utilizată, cu valorile tuturor elementelor;
- tabelele 11.3 și 11.4 cu rezultatele măsurătorilor și ale determinărilor efectuate privind amplificările de tensiune și impedanțele de intrare;
- tabelul 11.5 cu rezultatele măsurătorilor efectuate asupra impedanțelor de ieșire;
- caracteristicile de frecvență desenate pe același grafic cu determinările frecvențelor limită de sus.

Se vor justifica eventualele diferențe între valorile mărimilor determinate în laborator și cele calculate teoretic.