

Capitolul 6

Amplificatoare de semnal mic cu reacție negativă

Reacția negativă aplicată amplificatoarelor electronice a fost pentru prima dată folosită de Harold Black în 1927.

6.1. Definiție și clasificare

Avantajele utilizării reacției negative:

- crește precizia amplificării;
- crește banda de frecvență a amplificatorului;
- modifică în mod convenabil impedanțele de intrare și ieșire;
- micșorează neliniaritatea circuitului;
- reduce zgomotul introdus de elementele de circuit ale amplificatorului.

Dezavantajele majore ale amplificatoarelor cu reacție negativă sunt:

- creșterea complexității circuitului;
- scăderea câștigului;
- creșterea tendinței de oscilație a amplificatorului.

Schema bloc a unui amplificator cu reacție negativă:

- amplificator ideal, caracterizat de câștigul a ;
- rețea de reacție, cu funcția de transfer β ;
- circuit ce realizează operația de diferență a două semnale.

X poate fi v-tensiune sau i-curent.

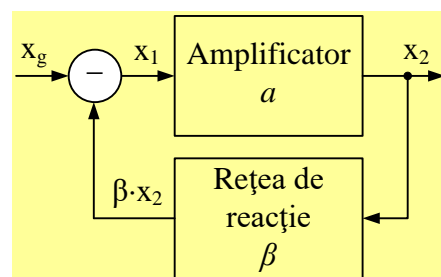


Fig. 6.1. Schema bloc a unui amplificator cu reacție.

$$x_2 = a \cdot x_1$$

$$x_1 = x_g - \beta \cdot x_2$$

$$a_f = \frac{x_2}{x_g} = \frac{a \cdot x_1}{x_1 + \beta \cdot x_2} = \frac{a \cdot x_1}{x_1 + \beta \cdot a \cdot x_1} = \frac{a}{1 + \beta \cdot a} \quad (6.1)$$

Tipuri de reacție

- reacție negativă, dacă $|a_f| < |a|$;
- reacție pozitivă, dacă $|a_f| > |a|$.

În acest capitol este abordată reacția negativă. Reacția pozitivă se utilizează în special la oscilatoare.

6.2. Efectele reacției negative asupra performanțelor amplificatorului

Desensibilizarea amplificatorului

$$\frac{da_f}{da} = \frac{d}{da} \left(\frac{a}{1 + \beta \cdot a} \right) = \frac{1}{(1 + \beta \cdot a)^2}$$

$$\frac{da_f}{a_f} = \frac{1}{(1 + \beta \cdot a)} \cdot \frac{da}{a} = \frac{1}{F} \cdot \frac{da}{a} \quad (6.2)$$

În relația anterioară, $F = 1 + \beta \cdot a$ reprezintă **factorul de desensibilizare** al amplificatorului cu reacție.

Efectul reacției negative asupra câștigului

Transmisia pe buclă a amplificatorului se notează cu T și are expresia:

$$T = \beta \cdot a$$

Dacă $T \gg 1$, din (6.1) se obține:

$$a_f \cong \frac{1}{\beta} \quad (6.3)$$

Aplicația 6.1

Se cunoaște câștigul amplificatorului de bază: $a = 10.000$.

Se cere:

- a) $\beta_1 = ?$ astfel încât $a_{f1} = 1000$;
- b) $\beta_2 = ?$ astfel încât $a_{f2} = 10$.

Rezolvare

Din relația (6.1) rezultă:

$$\beta = \frac{a - a_f}{a \cdot a_f} \quad (6.4)$$

$$\text{a) } \beta_1 = \frac{a - a_{f1}}{a \cdot a_{f1}} = \frac{10000 - 1000}{10000 \cdot 1000} = 0,0009$$

$$\text{b) } \beta_2 = \frac{a - a_{f2}}{a \cdot a_{f2}} = \frac{10000 - 10}{10000 \cdot 10} = 0,0999$$

Aplicația 6.2

Disponem de amplificatoare cu $a = 10.000 \pm 50 \%$.

Se cere:

Folosind un număr minim de amplificatoare să se realizeze un amplificator cu câștigul $a_f = 100 \pm 0,5 \%$.

Rezolvare

I. Dacă se utilizează un singur amplificator cu reacție, conform relației (6.4) este necesar ca $\beta = 0,0099$. Se obține:

$$a_{f \min} = \frac{a_{\min}}{1 + \beta \cdot a_{\min}} = \frac{5000}{1 + 0,0099 \cdot 5000} = 99,001$$

Toleranța este de aproape 1 % și nu corespunde cerințelor.

II. Dacă se utilizează două amplificatoare în cascadă, fiecare cu bucla proprie de reacție, atunci:

$$a_f = a_{f1} \cdot a_{f2} = 100, \quad a_{f1} = a_{f2}$$

$$a_{f1} = a_{f2} = \sqrt{100} = 10 \text{ și conform relației (7.4), } \beta_1 = \beta_2 = 0,0999.$$

Se obține pentru fiecare amplificator cu reacție:

$$a_{f1\min} = a_{f2\min} = \frac{a_{\min}}{1 + \beta \cdot a_{\min}} = \frac{5000}{1 + 0,0999 \cdot 5000} = 9,99001$$

$$a_{f1\max} = a_{f2\max} = \frac{a_{\max}}{1 + \beta \cdot a_{\max}} = \frac{15000}{1 + 0,0999 \cdot 15000} = 10,0033$$

Limitele câștigului total al amplificatorului cu reacție, va fi:

$$a_{f\min} = a_{f1\min} \cdot a_{f2\min} = 9,99001^2 = 99,8003$$

$$a_{f\max} = a_{f1\max} \cdot a_{f2\max} = 10,0033^2 = 100,0666$$

Conform cerințelor, $99,5 < a_{fT} < 100,5$.

Efectul reacției negative asupra benzii de frecvență a amplificatorului

Notăm:

$$\frac{a_0}{1 + \beta \cdot a_0} = a_{f0}, \quad \omega_\beta (1 + a_0 \cdot \beta) = \omega_{f\beta} \quad (6.6)$$

în care: a_{f0} este amplificarea în mijlocul benzii, cu reacție, iar $\omega_{f\beta}$ este pulsația corespunzătoare frecvenței la 3 dB pentru amplificarea cu reacție.

Produsul amplificare-bandă este constant.

Aplicația 6.3

Un amplificator este caracterizat $a_0 = 10^5$ și frecvența la 3 dB, $f_\beta = 10$ Hz.

Se cere:

- Să se determine câștigul amplificatorului cu reacție negativă dacă $f_\beta = 10$ kHz.
- Câștigul amplificatorului în buclă deschisă și cu reacție negativă, exprimat în decibeli (dB).

Rezolvare

a) Din (6.6) rezultă:

$$a_{f0} = \frac{a_0}{1 + \beta \cdot a_0},$$

$$f_\beta (1 + a_0 \cdot \beta) = f_{f\beta}$$

Se obține:

$$\beta = \left(\frac{f_{f\beta}}{f_\beta} - 1 \right) \frac{1}{a_0} = \left(\frac{10^4}{10} - 1 \right) \frac{1}{10^5} = 0,00999 \cong 0,01$$

$$a_{f0} = \frac{a_0}{1 + \beta \cdot a_0} = \frac{10^5}{1 + 0,01 \cdot 10^5} \cong 100$$

b) Câștigul în decibeli, G se calculează cu relația: $G = 20 \lg |a|$

$$G_0 = 20 \lg |a_0| = 20 \lg 10^5 = 100 \text{ dB},$$

$$G_{f0} = 20 \lg |a_{f0}| = 20 \lg 10^2 = 40 \text{ dB}$$

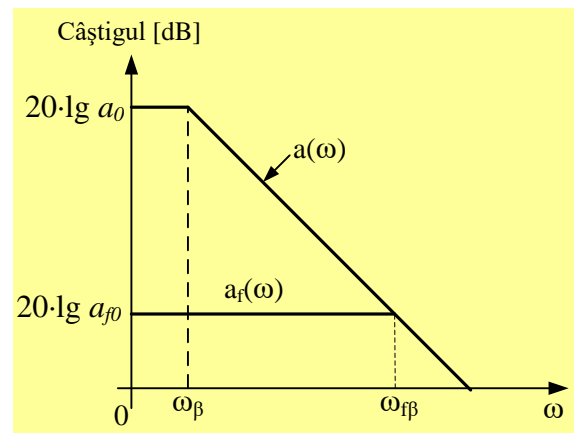


Fig. 6.2. Răspunsul în frecvență al amplificatorului, cu și fără reacție.

Efectul reacției negative asupra distorsiunilor de neliniaritate

În fig. 6.3a este reprezentată dependența semnalului de ieșire, x_2 , de semnalul de intrare, x_g , pentru un amplificator fără reacție ($x_g = x_1$ în fig. 6.1):

- pe porțiunea BC amplificarea este $a_1 = 1000$;
- pe porțiunile AB și CD amplificarea este $a_2 = 100$.

Se impune un câștig egal cu 10, rezultă $\beta = 0,099$ (vezi relația (6.4)). În aceste condiții, câștigul amplificatorului cu reacție va fi:

$$a_{f1} = 10, \quad a_{f2} = \frac{100}{1 + 0,099 \cdot 100} = 9,17$$

Rezultă că:

- liniaritatea amplificatorului a crescut considerabil;
- câștigul este mult mai mic;
- gama semnalului de intrare a crescut.

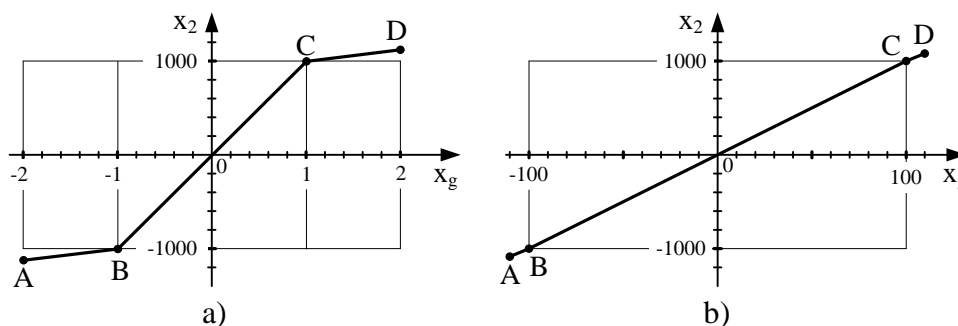


Fig. 6.3. Ilustrarea neliniarității pentru: a) un amplificator fără reacție și b) același amplificator, cu reacție negativă.

6.3. Topologiile amplificatoarelor cu reacție negativă (09 dec 2020)

x_g , x_f și x_1 pot fi toate fie i (curenți) fie u (tensiuni). La fel și x_2 . Rezultă patru topologii de reacție. Rețeaua de reacție preia o parte (eșantionează) din semnalul de la ieșire, x_2 și îl aplică la intrare pentru **comparare** cu semnalul de la sursa de semnal, x_g .

Topologii de reacție:

- reacția cu eșantionare în nod și comparare pe buclă;
- reacția cu eșantionare în nod și comparare în nod;
- reacția cu eșantionare pe buclă și comparare pe buclă;
- reacția cu eșantionare pe buclă și comparare în nod.

Reacția cu eșantionare în nod și comparare pe buclă

Alte denumiri utilizate:

- serie(in) – paralel(out);

- **tensiune(out) – serie(in)** (la ieșire mărimea comună este tensiunea, iar la intrare configurația este serie);
- **tensiune(out) – tensiune(in)** (la ieșire mărimea comună este tensiunea, iar la intrare se compară tensiuni).

Acest tip de reacție se aplică **amplificatoarelor de tensiune** (toate variabilele x sunt tensiuni).

Relații utile:

$$\beta_v = \frac{v_f}{v_o}, \quad a_v = \frac{v_o}{v_1}$$

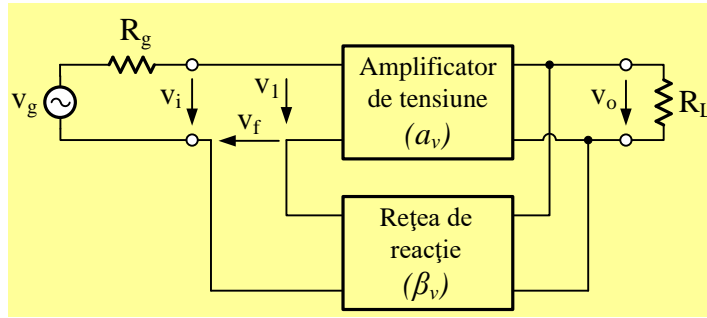


Fig. 6.4. Reacția cu eșantionare în nod și comparare pe buclă.

$$a_{vf} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{a_v}{1 + \beta_v \cdot a_v} \quad (6.7)$$

$$R_{if} = R_i(1 + T'), \quad R_{of} = \frac{R_o}{1 + T''}, \quad T = \beta_v \cdot a_v \quad (6.8)$$

unde: R_i și R_o reprezintă rezistența de intrare fără reacție; $T' = T|_{R_g \rightarrow 0}$ și $T'' = T|_{R_L \rightarrow \infty}$.

Reacția cu eșantionare în nod și comparare în nod

Alte denumiri utilizate:

- paralel(in) – paralel(out);
- tensiune – paralel;
- tensiune – curent.

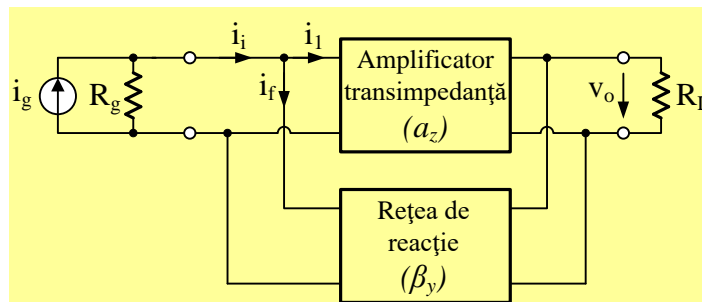


Fig. 6.5. Reacția cu eșantionare în nod și comparare în nod.

Acest tip de reacție **se aplică amplificatoarelor transimpedanță**.

Relații utile:

$$\beta_y = \frac{i_f}{v_o}, \quad a_z = \frac{v_o}{i_1}, \quad a_{zf} = \frac{v_o}{i_i} = \frac{a_z}{1 + \beta_y \cdot a_z} \quad (6.9)$$

$$R_{if} = \frac{R_i}{1 + T'}, \quad R_{of} = \frac{R_o}{1 + T''}, \quad T = \beta_y \cdot a_z \quad (6.10)$$

unde: R_i și R_o au aceeași semnificație ca la topologia anterioară; $T' = T|_{R_g \rightarrow \infty}$ și $T'' = T|_{R_L \rightarrow \infty}$.

Reacția cu eșantionare pe buclă și comparare pe buclă

Alte denumiri utilizate:

- serie – serie;
- curent – serie;
- curent – tensiune.

Acest tip de reacție se aplică **amplificatoarelor transadmitanță**.

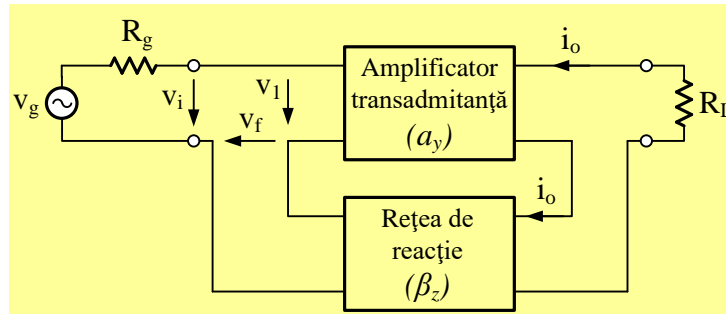


Fig. 6.6. Reacția cu eșantionare pe buclă și comparare pe buclă.

Relații utile:

$$\beta_z = \frac{v_f}{i_o}, \quad a_y = \frac{i_o}{v_i}$$

$$a_{yf} = \frac{i_o}{v_i} = \frac{a_y}{1 + \beta_z \cdot a_y} \quad (6.11)$$

$$R_{if} = R_i(1 + T'), \quad R_{of} = R_o(1 + T''), \quad T = \beta_z \cdot a_y \quad (6.12)$$

unde: $T' = T|_{R_g \rightarrow 0}$ și $T'' = T|_{R_L \rightarrow 0}$.

Reacția cu eșantionare pe buclă și comparare în nod

Alte denumiri utilizate:

- paralel(in) – serie(out);

- curent – paralel;

- curent – curent.

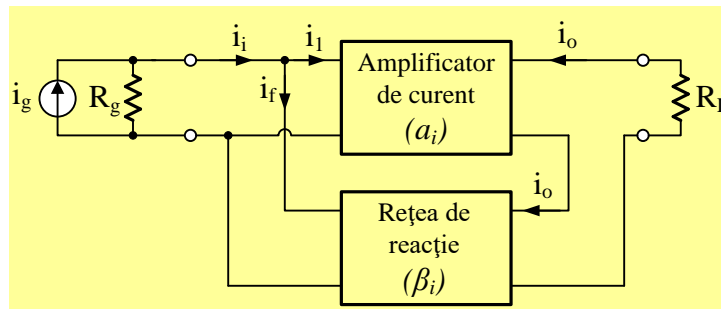


Fig. 6.7. Reacția cu eșantionare pe buclă și comparare în nod.

Acest tip de reacție se aplică amplificatoarelor de curent.

$$\text{Relații utile: } \beta_i = \frac{i_f}{i_o}, \quad a_i = \frac{i_o}{i_i}, \quad a_{if} = \frac{i_o}{i_i} = \frac{a_i}{1 + \beta_i \cdot a_i} \quad (6.13)$$

$$R_{if} = \frac{R_i}{1 + T}, \quad R_{of} = R_o(1 + T''), \quad T = \beta_i \cdot a_i \quad (6.14)$$

unde: $T' = T|_{R_g \rightarrow \infty}$ și $T'' = T|_{R_L \rightarrow 0}$.

Schema echivalentă în buclă deschisă

Relațiile de calcul pentru cele 4 topologii de reacție se pot utiliza dacă se determină parametrii amplificatorului în buclă deschisă: a , R_i , R_o și β .

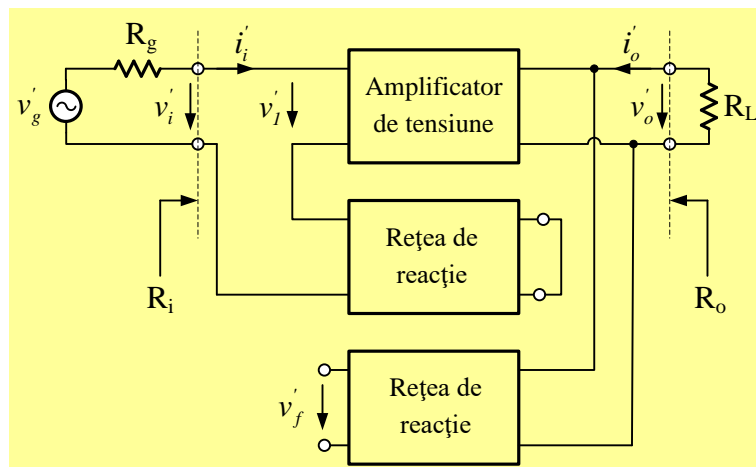


Fig. 6.8. Schema echivalentă în buclă deschisă pentru reacția cu eşantionare în nod și comparare pe buclă.

Temă: Să se deseneze schemele echivalente în buclă deschisă pentru celelalte 3 topologii de reacție. Parametrii amplificatorului în buclă deschisă sunt:

$$a_v = \frac{v_o'}{v_i'}, \quad \beta_v = \frac{v_f'}{v_o'}, \quad R_i = \frac{v_i'}{i_i'} \quad \text{și} \quad R_o = \left. \frac{v_o'}{i_o'} \right|_{v_g'=0}$$

Observații

1. Într-un amplificator cu reacție, semnalul circulă de la intrare spre ieșire prin amplificatorul de bază și de la ieșire spre intrare prin rețeaua de reacție. Deci, **rețeaua de reacție reprezintă calea de semnal de la ieșire către intrare.**
2. Dacă amplificatorul de bază, rețeaua de reacție și sarcina (la ieșire)/sursa de semnal (la intrare) sunt în paralel, atunci reacția este cu eşantionare/comparare în nod. Altfel, reacția este cu eşantionare/comparare pe buclă.

Aplicația 6.5 (02.12.24)

Pentru amplificatorul din fig. 6.11 se cunoaște: $T_1 \equiv T_2 \equiv T_3$ ($V_{BE} = 0,6 \text{ V}$, $\beta_F = h_{fe} = 200$, $I_{CB0} = 0$) și C_1, C_2, C_3 și C_4 sunt C_∞ la frecvența de lucru.

Se cere:

- a) Să se delimiteze rețeaua de reacție și să se precizeze tipul de reacție și tipul de amplificator;
- b) Presupunând că reacția negativă este puternică, să se arate că:

$$a_{vf} = \frac{v_o}{v_i} \cong \frac{R_E + R_F}{R_E}$$

- c) Dacă $R_E = 2,4 \text{ k}\Omega$, să se determine R_F astfel încât $a_{vf} = 10$;
- d) Să se deseneze schema de curent alternativ;
- e) Să se deseneze schema de curent alternativ în buclă deschisă;
- f) Să se estimeze amplificarea în tensiune, rezistența de intrare și cea de ieșire în buclă deschisă, folosind schema de la punctul precedent. Se va considera că:

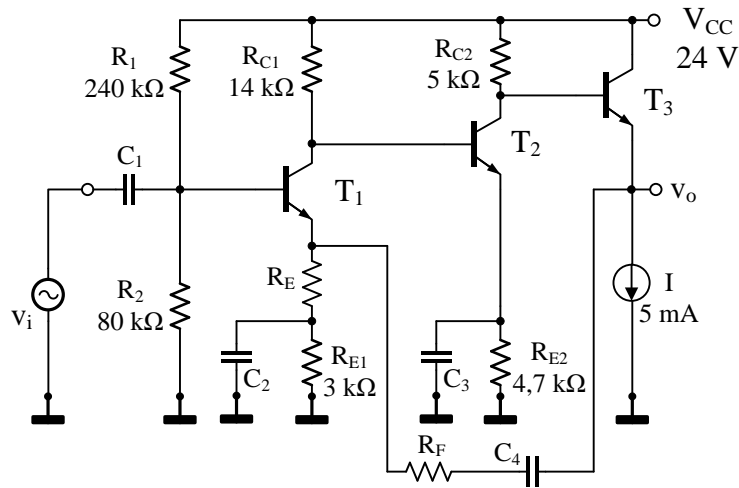


Fig. 6.11. Amplificator cu reacție negativă, cu tranzistoare bipolare.

$I_{C1} = 1 \text{ mA}$, $I_{C2} = 2 \text{ mA}$ și $I_{C3} = 5 \text{ mA}$;

g) Să se estimeze: amplificarea în tensiune, rezistența de intrare și cea de ieșire pentru amplificatorul cu reacție.

Rezolvare

a) Rețeaua de reacție este alcătuită din: R_E , R_F și C_4 . Reacția este cu eșantionare în nod (paralel la ieșire) și comparare pe buclă (serie la intrare), corespunzătoare unui amplificator de tensiune.

b) Dacă C_3 este C_∞ și $T = \beta_v \cdot a_v \gg 1$, atunci:

$$\beta_v = \frac{R_E}{R_E + R_F}$$

$$a_{vf} = \frac{a_v}{1 + \beta_v \cdot a_v} \cong \frac{1}{\beta_v} = \frac{R_E + R_F}{R_E}, \quad \text{q.e.d.}$$

c) Dacă $a_{vf} = 10$, din relația de mai sus rezultă:

$$R_F = R_E (a_{vf} - 1) = 2,4 \cdot (10 - 1) = 21,6 \text{ k}\Omega$$

d,e) Schema de curent alternativ (c. a.) a circuitului cu reacție și schema de c. a. pentru circuitul în buclă deschisă sunt ilustrate în fig. 6.12a, respectiv fig. 6.12b.

f) Parametrii dinamici ai tranzistoarelor sunt:

$$T1: \quad g_{m1} = 40 \cdot I_{C1} = 40 \cdot 1 = 40 \text{ mA/V}, \quad h_{ie1} = \frac{h_{fe1}}{g_{m1}} = \frac{200}{40} = 5 \text{ k}\Omega$$

$$T2: \quad g_{m2} = 40 \cdot I_{C2} = 40 \cdot 2 = 80 \text{ mA/V}, \quad h_{ie2} = \frac{h_{fe2}}{g_{m2}} = \frac{200}{80} = 2,5 \text{ k}\Omega$$

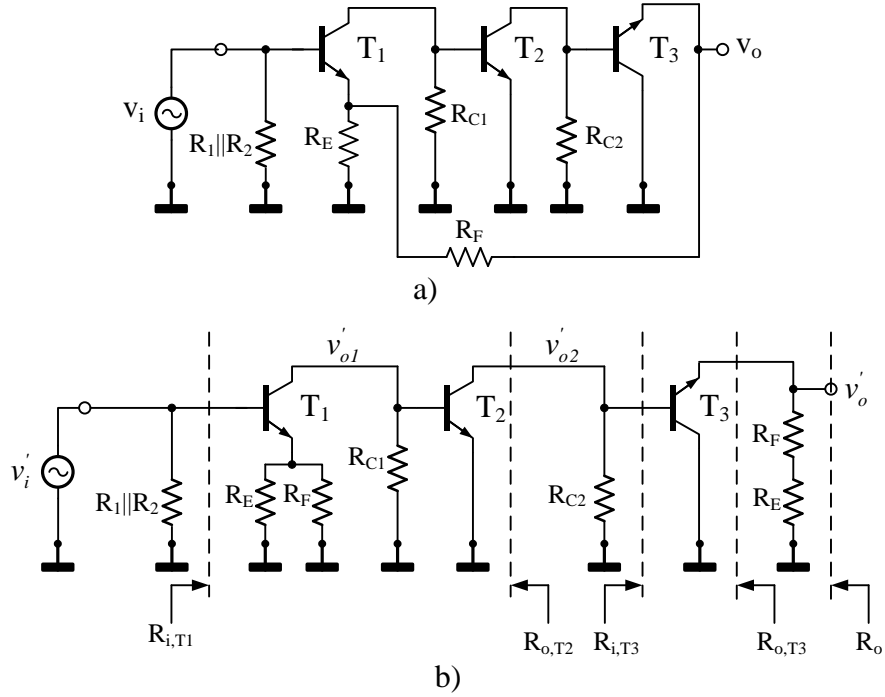


Fig. 6.12. Pentru circuitul din fig. 6.11. a) Schema de c. a. a amplificatorului cu reacție; b) Schema de c. a. a amplificatorului în buclă deschisă.

$$T3: \quad g_{m3} = 40 \cdot I_{C3} = 40 \cdot 5 = 200 \text{ mA/V}, \quad h_{ie3} = \frac{h_{fe3}}{g_{m3}} = \frac{200}{200} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_{i,T1} = \frac{v'_i}{i'_b} = h_{ie1} + (h_{fe1} + 1)(R_E \parallel R_F) = 5 + 201 \cdot \frac{2,4 \cdot 21,6}{2,4 + 21,6} \cong 439 \text{ k}\Omega$$

Presupunem $R_{o,T2} \gg R_{C2} = 5 \text{ k}\Omega$. Rezultă:

$$R_{o,T3} \cong \frac{R_{C2} + h_{ie3}}{h_{fe3} + 1} = \frac{5 + 1}{201} = 0,02985 \cong 0,03 \text{ k}\Omega = 30 \Omega$$

$$R_o = R_{o,T3} \parallel (R_E + R_F) \cong R_{o,T3} = 30 \Omega$$

$$a_v = \frac{v'_o}{v'_i} = \frac{v'_{o1}}{v'_i} \cdot \frac{v'_{o2}}{v'_{o1}} \cdot \frac{v'_o}{v'_{o2}} = a_{v1} \cdot a_{v2} \cdot a_{v3}$$

T₁ este în conexiunea sarcină distribuită.

$$a_{v1} = \frac{v'_{o1}}{v'_i} \cong -\frac{R_{C1} \parallel h_{ie2}}{R_E \parallel R_F} = -\frac{14 \cdot 2,5}{14 + 2,5} \cdot \frac{2,4 + 21,6}{2,4 \cdot 21,6} = -0,982 \cong -1$$

T₂ este în conexiunea emitor comun.

$$R_{i,T3} = h_{ie3} + (h_{fe3} + 1)(R_E + R_F) = 1 + 201 \cdot 24 = 4825 \text{ k}\Omega \gg R_{C2}$$

$$a_{v2} = \frac{v'_{o2}}{v'_{o1}} \cong -g_{m2} \cdot R_{C2} \parallel R_{i,T3} \cong -g_{m2} \cdot R_{C2} = -80 \cdot 5 = -400$$

T₃ este în conexiunea colector comun (repetor pe emitor).

$$a_{v3} \cong 1$$

Amplificarea în tensiune în buclă deschisă este:

$$a_v = \frac{v_o'}{v_i} = a_{v1} \cdot a_{v2} \cdot a_{v3} = (-1) \cdot (-400) \cdot 1 = 400$$

$$T = T' = T'' = \beta_v \cdot a_v = 0,1 \cdot 400 = 40$$

$$R_{i,T1f} = R_{i,T1}(1 + T') = 439 \cdot 41 = 17999 \text{ k}\Omega \cong 18 \text{ M}\Omega \gg R_1 \parallel R_2$$

$$R_{i,f} = R_1 \parallel R_2 \parallel R_{i,T1f} \cong R_1 \parallel R_2 = \frac{80 \cdot 240}{80 + 240} = 60 \text{ k}\Omega$$

Deoarece R_1 și R_2 sunt în paralel pe intrarea amplificatorului, acestea nu sunt influențate de reacția negativă.

$$R_{o,f} = \frac{R_o}{1 + T''} = \frac{30}{1 + 40} = 0,73 \Omega$$

$$a_{vf} = \frac{a_v}{1 + \beta_v \cdot a_v} = \frac{400}{1 + 0,1 \cdot 400} = 9,756$$

Pentru un câștig în tensiune egal cu 10, trebuie recalculată rezistența R_F .

Aplicația 6.6

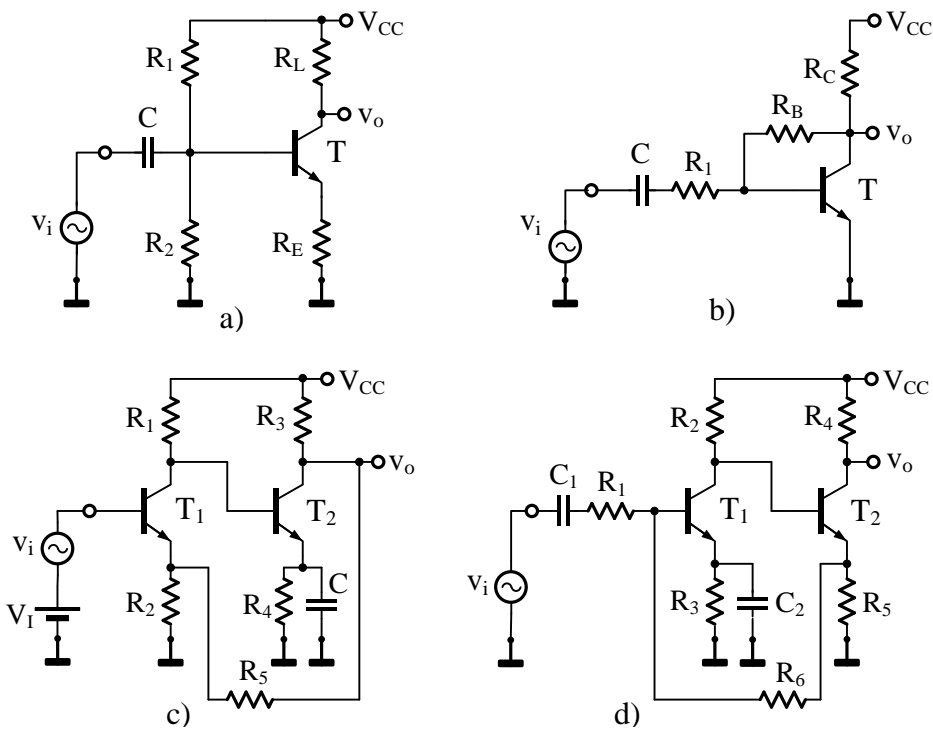


Fig. 6.13. Amplificatoare cu reacție negativă.

Pentru amplificatoarele cu reacție negativă din fig. 6.13 se va considera că: transmisia pe buclă, $T \gg 1$ și condensatoarele de tip C_∞ la frecvența de lucru.

Se cere:

- Să se identifice tipul de reacție și rețeaua de reacție;
- Să se precizeze tipul de amplificator și expresia ce aproximează amplificarea.

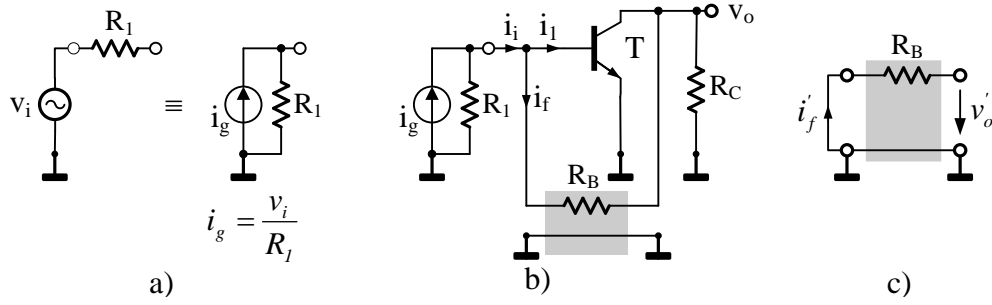


Fig. 6.14. Pentru circuitul din fig. 6.13b: a) echivalarea Norton; b) schema de c. a.; c) circuitul pentru calculul funcției de transfer a rețelei de reacție.

Rezolvare

Circuitul din fig. 6.13a

a) Reacția este de tip serie-serie (cu eșantionare pe buclă și comparare pe buclă). Rețeaua de reacție este alcătuită din rezistorul R_E .

b) Amplificatorul este de tip transadmitanță. Funcția de transfer a rețelei de reacție este:

$$\beta_z = R_E,$$

$$a_{yf} = \frac{i_o}{v_i} = \frac{a_y}{1 + \beta_z \cdot a_y}$$

Deoarece $T = \beta_z \cdot a_y \gg 1$, rezultă:

$$a_{yf} \cong \frac{1}{\beta_z} = \frac{1}{R_E}$$

Circuitul din fig. 6.13b

a) Deoarece reacția este de tip paralel – paralel (eșantionare în nod și comparare în nod) este necesar să se echivaleze circuitul serie compus din sursa de tensiune v_i și rezistorul R_1 , cu un circuit paralel ce conține un generator de curent și un rezistor (echivalare Norton), așa cum este ilustrat în fig. 6.14a. Rezultă schema de c. a. din fig. 6.14b, în care se evidențiază mai ușor tipul de reacție (precizat mai sus) și rețeaua de reacție, alcătuită din rezistorul R_B .

b) Amplificatorul este de tip transimpedanță. Deoarece la intrarea amplificatorului, reacția este de tip paralel (comparare în nod), pentru determinarea funcției de transfer a rețelei de reacție, β_y , bornele rețelei dinspre intrarea amplificatorului se pun în scurtcircuit, ca în fig. 6.14c. Se poate scrie:

$$v_o' = -R_B \cdot i_f' \Rightarrow \beta_y = \frac{i_f'}{v_o'} = -\frac{1}{R_B}$$

Deoarece $T = \beta_y \cdot a_z \gg 1$, rezultă: $a_{zf} = \frac{v_o}{i_i} = \frac{a_z}{1 + \beta_y \cdot a_z} \cong \frac{1}{\beta_y} = -R_B$

Observație

Rezistența R_1 a fost înglobată în sursa de semnal.

Circuitul din fig. 6.13c

a) În fig. 6.15a este ilustrată schema de c. a. pentru acest circuit. Reacția este de tip serie – paralel (eșantionare în nod și comparare pe buclă). O schemă asemănătoare a fost analizată în aplicația 6.5. Rețeaua de reacție este alcătuită din rezistoarele R_2 și R_5 .

b) Amplificatorul este de tensiune. Funcția de transfer a rețelei de reacție (care este un divizor de tensiune) a fost determinată în aplicația 6.5. Bornele rețelei dinspre intrarea amplificatorului rămân în gol deoarece reacția este de tip serie la intrare (comparare pe buclă).

$$v'_f = \frac{R_2}{R_2 + R_5} \cdot v'_o \Rightarrow \beta_v = \frac{v'_f}{v'_o} = \frac{R_2}{R_2 + R_5}$$

Deoarece $T = \beta_v \cdot a_v \gg 1$, rezultă:

$$a_{vf} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{a_v}{1 + \beta_v \cdot a_v} \cong \frac{1}{\beta_v} = 1 + \frac{R_5}{R_2}$$

Circuitul din fig. 6.13d

a) Deoarece reacția este de tip paralel – serie (eșantionare pe buclă și comparare în nod) este necesar să se facă echivalarea circuitului serie compus din sursa de tensiune v_i și rezistorul R_1 , cu un circuit paralel (ca la circuitul din fig. 6.13b). Schema de c. a. pentru acest circuit, în care s-a ținut cont și de echivalarea de mai sus, este ilustrată în fig. 6.16b. Rețeaua de reacție este alcătuită din rezistoarele R_5 și R_6 .

b) Amplificatorul este de curent. Deoarece reacția este de tip paralel la intrarea amplificatorului, în schema pentru determinarea funcției de transfer a rețelei de reacție, β_i , bornele acesteia dinspre intrarea amplificatorului se pun în scurtcircuit, ca în fig. 6.16b. β_i corespunde divizorului de curent realizat cu R_5 și R_6 .

$$i'_f = -\frac{R_5}{R_5 + R_6} \cdot i'_o \Rightarrow \beta_i = \frac{i'_f}{i'_o} = -\frac{R_5}{R_5 + R_6}$$

Deoarece $T = \beta_i \cdot a_i \gg 1$, rezultă:

$$a_{if} = \frac{i_o}{i_i} = \frac{a_i}{1 + \beta_i \cdot a_i} \cong \frac{1}{\beta_i} = -\left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right)$$

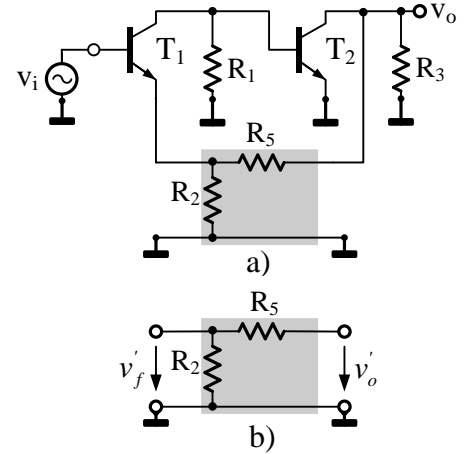


Fig. 6.15. Pentru circuitul din fig. 6.13c: a) schema de c. a.; b) circuitul pentru calculul funcției de transfer a rețelei de reacție.

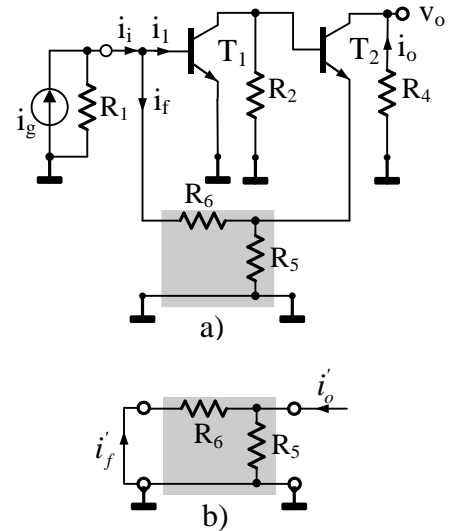
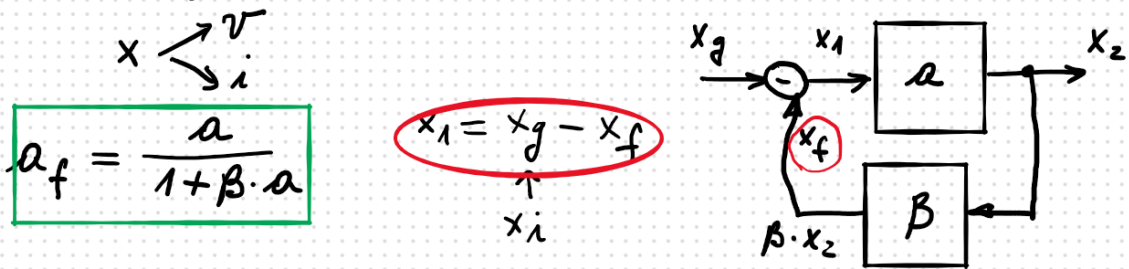


Fig. 6.16. Pentru circuitul din fig. 6.13d: a) schema de c. a.; b) circuitul pentru calculul funcției de transfer a rețelei de reacție.

6.3. Topologiile amplificatoarelor cu reacție negativă



$$a_f = \frac{a}{1 + \beta \cdot a}$$

$$x_1 = x_g - x_f$$

a) intrare-serie, iesire-paralel

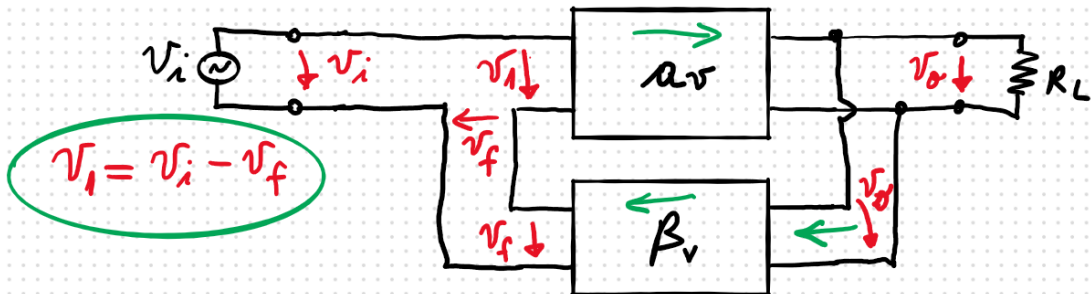
EV-CB

exantionare in nod n comparare pe buclă

↑
out

↑
in

$v_2 \rightarrow v_o$



$$a_{vf} = \frac{a_v}{1 + \beta_v \cdot a_v}$$

$$\beta_v \cdot a_v \gg 1 \Rightarrow a_{vf} \approx \frac{1}{\beta_v}$$

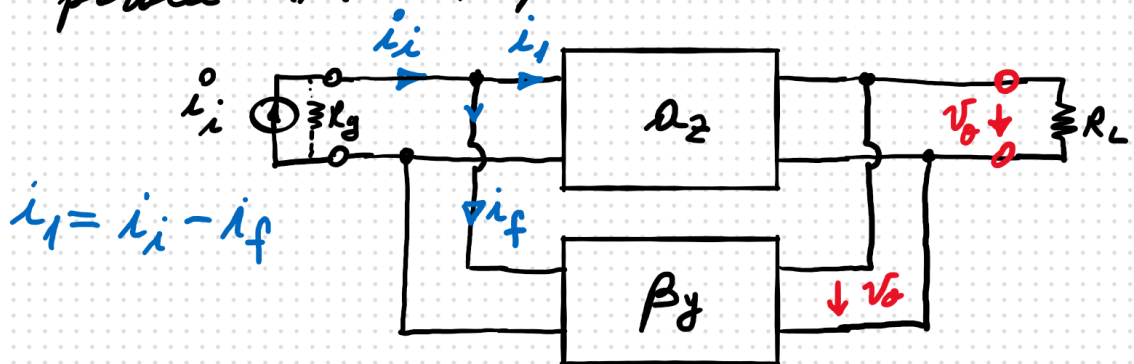
R_i - rez. de intrare a amplif. de baza
 R_o rez. de iesire

$$R_{i,f} = R_i (1 + T') \quad , \quad T' = T (R_g \rightarrow 0)$$

$$R_{o,f} = \frac{R_o}{1 + T''} \quad , \quad T'' = T (R_L \rightarrow \infty)$$

$$T = \beta_v \cdot a_v$$

b) Reactie $EN-CN$
parallel-introre, parallel le ierice



$$a_{zf} = \frac{v_o}{i_i} = \frac{a_z}{1 + \beta_f \cdot a_z}$$

R_i - foră reacție (în buclă de reacție)
 R_o - — " — — " —

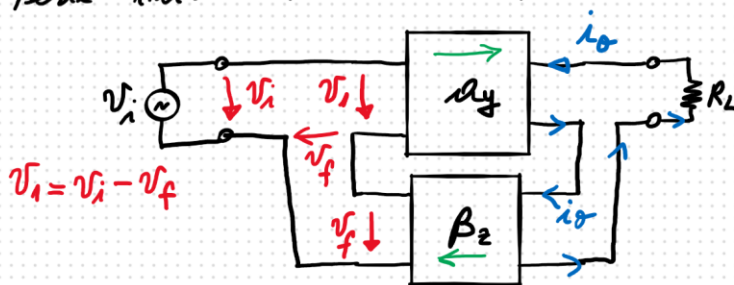
$$R_{if} = \frac{R_i}{1 + \tau'}$$

$$T' = \tau \mid_{R_g \rightarrow \infty}$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1+T''}, \quad T'' = T |_{R_L \rightarrow \infty}$$

$$T = \beta_g \cdot a_z$$

c) Reacția cu EB - CB
serie - intrare în serie la ieșire



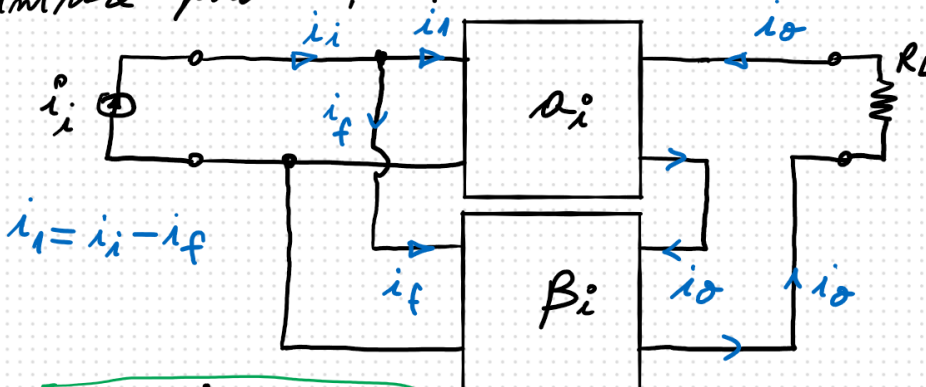
$$A_{yf} = \frac{i_o}{v_i} = \frac{a_y}{1 + \beta_z \cdot a_y}$$

R_i, R_o (în buclă deschisă)

$$R_{if} = R_i (1 + T') \quad , \quad T' = T |_{R_L = 0}$$

$$R_{of} = R_o (1 + T'') \quad , \quad T'' = T |_{R_L \rightarrow \infty}$$

d) Reacția cu EB în CN
intrare - paralel în ieșire - serie



$$A_{if} = \frac{i_o}{i_i} = \frac{a_i}{1 + \beta_i \cdot a_i}$$

R_i, R_o - - -

$$R_{if} = \frac{R_i}{1 + T}$$

$$R_{of} = R_o (1 + T)$$

Ap. G. G. Sch. b

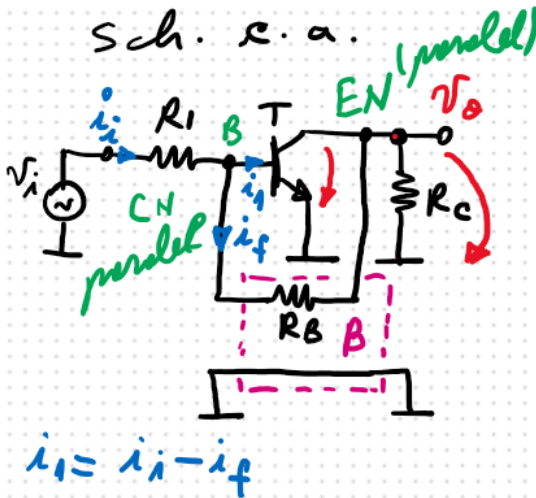
a) Tipul de s.m.

b) Rețea de reacție

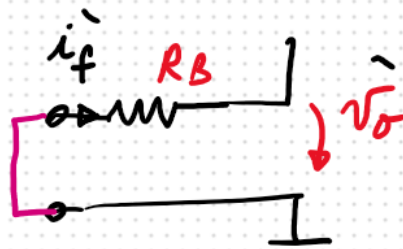
c) $a_f = ?$

Sch. b)

Sch. c. a.



Calcul β



$$v_o' = -R_B \cdot i_f'$$

$$\beta_f = \frac{i_f'}{v_o'} = -\frac{1}{R_B}$$

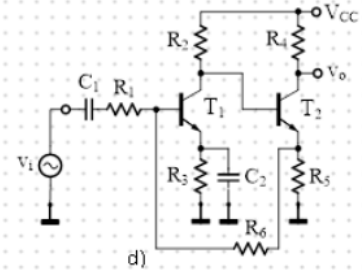
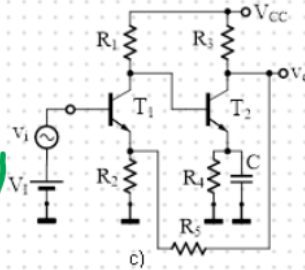
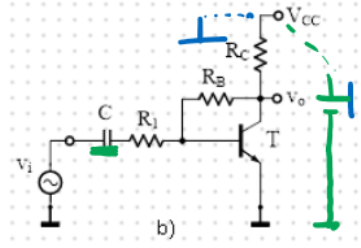
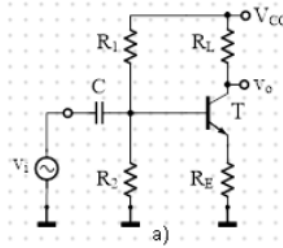


Fig. 6.13. Amplificatoare cu reacție negativă.

a) intrare - paralel
ieșire - paralel
EN - CN

b) R_B

$$c) a_{zf} = \frac{v_o}{i_i} = \frac{a_z}{1 + \beta_f \cdot a_z}$$

$$a_{zf} \approx \frac{1}{\beta_f} = -R_B$$

$$v_o' = -R_B \cdot i_f'$$

$$\beta_f = \frac{i_f'}{v_o'} = -\frac{1}{R_B}$$

Ap. G.G. Sch. c.

Sch. c)

Sch. c.a.

$$v_i = v_i - v_f$$

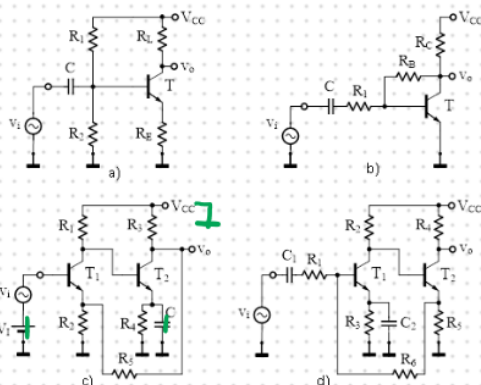
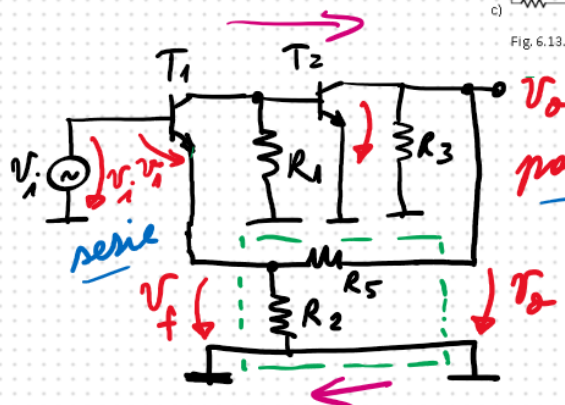


Fig. 6.13. Amplificatoare cu reacție negativă.

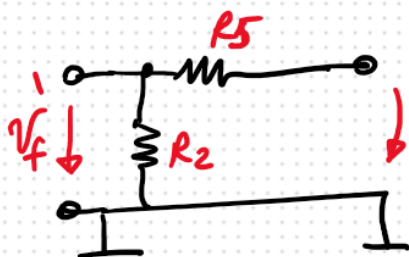


a) in-serie
out-paralel

b) R_5, R_2

$$c) A_{vf} = \frac{v_o}{v_i}$$

$$A_{vf} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{A_v}{1 + \beta_v \cdot A_v} \approx \frac{1}{\beta_v} = 1 + \frac{R_5}{R_2}$$



$$\beta_v = \frac{v_f'}{v_o'} = \frac{R_2}{R_5 + R_2}$$

$$v_f' = \frac{R_2}{R_5 + R_2} v_o'$$

Ap. G.G.
Sch. d

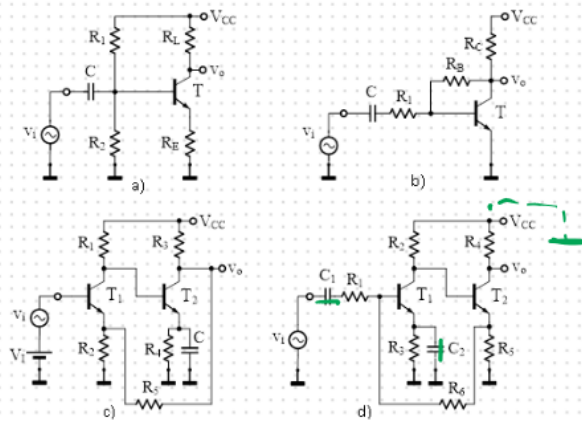
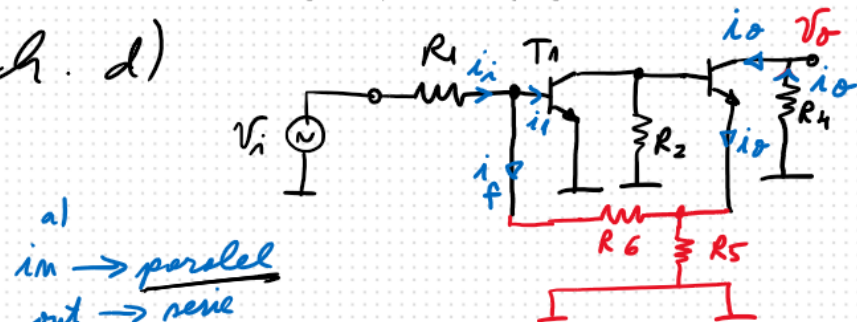


Fig. 6.13. Amplificatoare cu reacție negativă.

Sch. d)

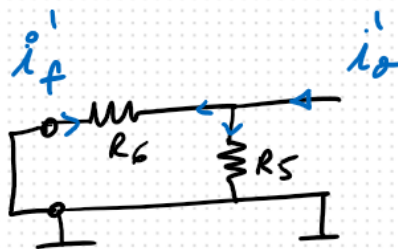


a)
im → paralel
out → serie

b) R_6, R_5

c)

$$a_{if} = \frac{i_o}{i_i} = \frac{a_i}{1 + \beta_i a_i} \approx \frac{1}{\beta_i}$$



$$i'_f = \frac{-R_5}{R_5 + R_6} i'_o$$

$$\beta_i = \frac{i'_f}{i'_o} = - \frac{R_5}{R_5 + R_6}$$

$$a_{if} \approx \frac{1}{\beta_i} = - \left(1 + \frac{R_6}{R_5} \right)$$