

LUCRAREA II: AMPLIFICATOARE CU REACȚIE NEGATIVĂ (ARN)

MODULUL MCM5/EV

CAPITOLUL II01:

INTRODUCERE

Reacția negativă în amplificatoare reprezintă un mecanism automat de menținere a amplificării la o valoare dorită prin eliminarea influenței variației:

- parametrilor componentelor active și pasive care formează structura etajelor de amplificare;
- temperaturii;
- surselor de alimentare, etc.

Se obține astfel o stabilitate dinamică, automată, a sistemului de amplificare.

Schema bloc a unui ARN este dată în fig. II01.1, unde, semnalele s_g , s_i , s_f pot fi tensiuni sau curenți și au forme armonice de tipul

$$s = S \cdot \sin(\omega t + \phi) \quad (\text{II1.1})$$

iar blocurile componente sunt:

- **AB**- amplificatorul de bază, fără rețea de reacție, cu amplificarea egală cu a ;
- **RR**- rețeaua de reacție cu funcția de transfer egală cu f , de obicei liniară, rețeaua de reacție fiind de regulă un circuit electric pasiv;
- **C** - comparatorul de la intrare (de obicei un sumator);
- **CE**- circuitul de eșantionare de la ieșirea amplificatorului;
- **G** - generatorul (furnizează semnalul s_g);
- **R_L** - rezistența de sarcină.

Configurația din fig. II01.1 este ideală, controlul asupra semnalului de ieșire s_o bazându-se pe următorul mecanism: prin intermediul circuitului de eșantionare CE se preia de la ieșire un eșantion din semnal și îl aplică, prin intermediul rețelei de reacție RR, pe una din intrările comparatorului C de la intrare. Pe cealaltă intrare se aplică semnalul furnizat de generator astfel încât comparatorul realizează funcția de scădere și semnalul efectiv de intrare în amplificatorul de bază AB va fi:

$$s_i = s_g - s_f \quad (\text{II1.2})$$

Dar,

$$s_o = a \cdot s_i = a \cdot (s_g - s_f) \quad (\text{II1.3})$$

Funcția de transfer a circuitului de reacție RR, notată cu f , este:

$$f = s_f / s_o \quad (\text{II1.4})$$

Din (II1.3) și (II1.4) se obține:

$$s_o \cdot (1+a \cdot f) = a \cdot s_g \quad (\text{III.5})$$

Amplificarea față de generator este

$$A = \frac{s_o}{s_g} = \frac{a}{1+a \cdot f} = \frac{a}{1+T} \quad (\text{III.6})$$

unde, $T=a \cdot f$ este transmisia pe buclă, o mărime adimensională care poate fi:

- $T > 0$ - amplificatorul este cu reacție negativă deoarece câștigul se diminuează $|A| < |a|$;
- $-1 < T < 0$ - amplificatorul este cu reacție pozitivă $|A| > |a|$;
- $T = -1$ - caz în care $A \rightarrow \infty$ iar amplificatorul devine oscilator.

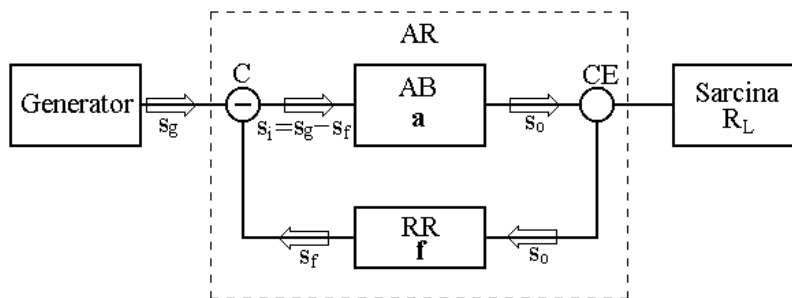


Fig. II01.1 Schema bloc a ARN /3/.

Dacă $a \gg 1$, caz uzual, atunci $T \gg 1$ iar amplificarea cu reacție devine:

$$A = \frac{a}{1+a \cdot f} = \frac{a}{\frac{1}{a} + f} \cong \frac{1}{f} \quad (\text{III.7})$$

Așadar, pentru o reacție negativă puternică, amplificarea depinde numai de mărimea factorului de transfer f al rețelei de reacție. În general RR are o structură pasivă. Ca urmare, amplificarea A nu mai depinde de structura amplificatorului de bază AB ci numai de elementele din circuitul rețelei de reacție deci, ușor de controlat și bine definită.

Avantajele aplicării reacției negative

- stabilizează câștigul cu modificarea parametrilor componentelor active și pasive ale structurii amplificatorului de bază AB, a surselor de alimentare, precum și a parametrilor de mediu;
- micșorează distorsiunile;
- extinde banda frecvențelor de lucru;
- modifică, convenabil impedanțele de intrare respectiv de ieșire în funcție de topologia amplificatorului cu reacție;
- reduce nivelul de zgomot.

Dezavantaje

- Reduce amplificarea globală de $1+T$ ori;

- Posibilitatea autooscilației. Pentru a putea fi evitată trebuie ca pentru orice frecvență pentru care există amplificare supraunitară, semnalul adus de la ieșire spre intrare de către rețeaua RR să fie în antifază (să se scadă) cu semnalul de la generator.

Desensibilizarea amplificatoarelor

Se analizează variația amplificării A cu variația amplificării amplificatorului de bază AB, a :

$$\frac{dA}{A} = \frac{a}{1+a \cdot f} \cdot \frac{da}{a} \quad (\text{III.8})$$

Variația lui A este de $(1+T)$ ori mai mică față de variația lui a deci, amplificatorul a fost desensibilizat. Cu cât marimea $(1+T)$ este mai mare cu atât amplificarea este mai puțin sensibilă la variațiile amplificării a iar la limită este cea descrisă de (III.7) dar cu prețul scăderii amplificării globale.

CAPITOLUL II02: TOPOLOGII DE AMPLIFICATOARE CU REACȚIE NEGATIVĂ

Topologiile de ARN rezultă după modul de comparare la intrare a semnalului de generator cu cel transferat de buclă și cel de eșantionare a semnalului de la ieșire. Compararea/eșantionarea se poate face în nod sau pe buclă (fig. II01.1). Rezultă patru topologii de ARN:

- **p-p**: paralel-paralel (comparare/eșantionare în nod);
- **s-s**: serie-serie (comparare/eșantionare pe buclă);
- **p-s**: paralel-serie (comparare pe nod eșantionare pe buclă);
- **s-p**: serie-paralel (comparare pe buclă eșantionare pe nod).

Topologia paralel-paralel corespunde situației în care intrările și ieșirile ARN și RR sunt conectate în paralel față de masă. Mărimea comună la intrare și la ieșire este tensiunea iar mărimea necomună este curentul.

Topologia serie-serie corespunde dispunerii în serie, pe buclă, a intrărilor și ieșirilor circuitelor AB și RR (în circuitul de intrare este conținut generatorul iar în circuitul de ieșire sarcina). Mărimea comună este curentul iar mărimea necomună care se compară/eșantionează este tensiunea.

Topologia paralel-serie corespunde dispunerii în paralel a intrărilor (în nod) și în serie pe buclă, a ieșirilor. La intrare mărimea comună este tensiunea și cea necomună este curentul iar la ieșire mărimea comună este curentul și cea necomună este tensiunea.

Topologia serie-paralel corespunde dispunerii în serie a intrărilor (în buclă) și în paralel, în nod, a ieșirilor. La intrare mărimea comună este curentul și cea necomună este tensiunea iar la ieșire mărimea comună este tensiunea și cea necomună este curentul.

Amplificarea cu reacție este definită ca fiind:

$$A = \frac{\text{mărimea comună la ieșire}}{\text{mărimea generatorului}} \quad (\text{II2.1})$$

Mărimea generatorului pentru configurația serie la intrare este v_g iar pentru configurația paralel este $i_g = v_g/R_g$.

În tabelul II01.1 se prezintă definițiile factorilor de transfer f , a și A precum și rezistențele de intrare/ieșire (R_i/R_o) pentru fiecare topologie de ARN.

Observație

Topologiile paralel produc micșorarea rezistențelor de intrare sau ieșire cu $(I+T)$ iar cele serie produc creșterea rezistențelor de intrare sau ieșire cu $(I+T)$.

La ARN reale circuitele AB și RR nu sunt independente. Teoria reacției negative se bazează pe independența celor două circuite, neglijând transferul invers pe AB și RR. Așadar, plecând de la schema ARN se diferențiază schemele electrice ale amplificatorului AB și rețelei RR. Se obțin apoi circuitele

independente AB cu funcția de transfer a și RR cu funcția de transfer f pentru care, în funcție de topologie, sunt valabile relațiile din tabelul II01.1.

Simplificarea adusă de teoria reacției este aceea că reduce analiza amplificatorului cu reacție la analiza a două circuite independente, unidirecționale, AB și RR.

Tabelul II01.1 /6/

Tipul reacției	f	a	A	R_i	R_o
p-p	$f_y = \frac{i_{if}}{v_{of}} \Big _{v_{if}=0}$	$a_z = \frac{v_{oa}}{i_g}$	$A_{z,g} = \frac{v_o}{i_g}$	$R_i^{-1} = r_i^{-1} \cdot (1+T) - R_g^{-1}$	$R_o^{-1} = r_o^{-1} \cdot (1+T) - R_L^{-1}$
s-s	$f_z = \frac{v_{if}}{i_{of}} \Big _{i_{if}=0}$	$a_y = \frac{i_{oa}}{v_g}$	$A_{y,g} = \frac{i_o}{v_g}$	$R_i = r_i \cdot (1+T) - R_g$	$R_o = r_o \cdot (1+T) - R_L$
p-s	$f_i = \frac{i_{if}}{i_{of}} \Big _{v_{if}=0}$	$a_i = \frac{i_{oa}}{i_g}$	$A_{i,g} = \frac{i_o}{i_g}$	$R_i^{-1} = r_i^{-1} \cdot (1+T) - R_g^{-1}$	$R_o = r_o \cdot (1+T) - R_L$
s-p	$f_v = \frac{v_{if}}{v_{of}} \Big _{i_{if}=0}$	$a_v = \frac{v_{oa}}{v_g}$	$A_{v,g} = \frac{v_o}{v_g}$	$R_i = r_i \cdot (1+T) - R_g$	$R_o^{-1} = r_o^{-1} \cdot (1+T) - R_L^{-1}$

Algoritmul de analiză al ARN

Algoritmul de analiză a ARN pe baza teoriei reacției negative are următoarele etape /3, 6, 10/:

- Se desenează schema de curent continuu a ARN și se determină psf -urile și parametrii dinamici ai dispozitivelor ($g_m, r_\pi, etc.$);
- Se desenează schema de curent alternativ a ARN la nivel de componente (separând AB de RR ca în schema generală din fig. II01.1) pe care se identifică:
 - nodurile de intrare (**I**) și ieșire (**O**), (unde sunt conectate generatorul, respectiv sarcina);
 - elementele rețelei de reacție negativă (RR), sau o parte din ele (sunt elementele AR prin care o parte din semnalul de ieșire se întoarce la intrare).
- Se stabilește topologia de reacție la intrare și ieșire, deci, tipul reacției. Astfel:
 - dacă RR este conectată la borna **I**, la intrare avem o configurație *paralel/nod*, mărimea comună fiind tensiunea v_i . Pentru generatorul de semnal trebuie utilizată reprezentarea paralel;
 - dacă RR nu e conectată la nodul **I**, la intrare este o configurație *serie/bucă*, mărimea comună este curentul i_i . Dacă i_i nu este mărimea comună pe circuitul de intrare se fac echivalări, folosind

teoremele electrotehnicii, pentru ca i_i să devină mărime comună.

Pentru generatorul de semnal trebuie utilizată reprezentarea serie;

- dacă RR este legată la borna O , configurația la ieșire este *paralel/nod*. Mărimea comună la ieșire este tensiunea v_o ;
- dacă RR nu este legată la borna O , atunci configurația la ieșire este *serie/bucă*. Mărimea comună este curentul i_o . Dacă i_o nu e mărimea comună, cu teoremele electrotehnicii, se modifică circuitul de ieșire astfel încât i_o să devină mărime comună.

➤ Se desenează separat circuitul RR pe care se calculează:

- factorul de reacție:

$$f = \frac{m.n.i.}{m.c.o.} \Big|_{m.c.i.=0} \quad (\text{II2.2})$$

- rezistența de intrare:

$$r_{if} = \frac{v_{if}}{i_{if}} \Big|_{m.c.o.=0} \quad (\text{II2.3})$$

- rezistența de ieșire:

$$r_{of} = \frac{v_{of}}{i_{of}} \Big|_{m.c.i.=0} \quad (\text{II2.4})$$

unde:

$m.c.i./o$ – mărimea comună de intrare/ieșire;

$m.n.i./o$ – mărimea necomună de intrare/ieșire.

➤ Se stabilește schema circuitului a denumit și *amplificator în buclă deschisă* (ABD). Pentru aceasta amplificatorul de bază - AB (AB este ceea ce rămâne din ARN după îndepărtarea RR) se completează:

- la intrare cu R_g și r_{if} care se dispun:
 - în paralel, între nodul I și masă dacă configurația la intrare este *paralel*;
 - în serie cu intrarea AB, în cazul în care configurația la intrare este *serie*.
- la ieșire cu R_L și r_{of} care se dispun:
 - în paralel între nodul O și masă dacă configurația la ieșire este *paralel*;
 - în serie cu ieșirea AB dacă configurația la ieșire este *serie*.

Circuitul a se atacă cu un generator ideal:

- de curent (i_g) în cazul în care configurația la intrare este paralel;
- de tensiune (v_g) în cazul în care configurația la intrare este serie.

➤ Pe schema circuitului a se calculează:

- amplificarea:

$$a = \frac{m.c.o.}{m.g.} \quad (\text{II2.5})$$

- rezistențele de intrare/ieșire: r_i / r_o .

➤ Se determină mărimile asociate ARN (vezi Tabelul 2.1):

- transmisia pe buclă:

$$T = a \cdot f \quad (\text{II2.6})$$

- amplificarea:

$$A = \frac{a}{1+T} \quad (\text{II2.7})$$

- rezistențele de intrare/ieșire: R_i / R_o .

Observații

- T e o mărime adimensională. Pentru reacție negativă trebuie $T > 0$.
- Cu teoria reacției pentru fiecare topologie se determină conform tabelului 2.1 o anumită amplificare. Orice altă amplificare poate fi dedusă ulterior folosind relațiile generale între aceste mărimi.

CAPITOLUL II03: AMPLIFICATOARE CU REACȚIE NEGATIVĂ – EXEMPLE DE CIRCUITE

În ceea ce urmează se vor prezenta cele patru topologii de ARN implementate la nivel de circuit. Două dintre exemplele analizate teoretic (p-p și s-p) sunt similare cu circuitele pe care se vor face măsurători și simulări.

II03.1 ARN paralel-paralel

Schema din fig. II03.1a reprezintă un amplificator cu reacție negativă paralel-paralel în care rețeaua de reacție este circuitul pasiv format din R_f și C_f . Condensatoarele C_1 , C_2 , C_3 și C_f sunt alese astfel încât să fie un scurt-circuit la frecvența semnalului furnizat de generator (amplificatorul lucrează în bandă).

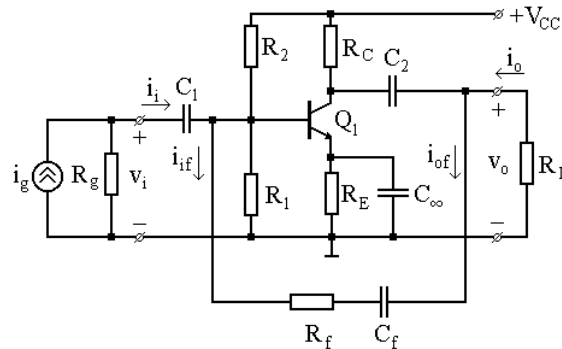


Fig. II03.1a Amplificator cu reacție negativă paralel-paralel (ARN p-p).

În fig. II03.1b este dată schema de curent alternativ a amplificatorului cu reacție negativă paralel-paralel din fig. II03.1a, în care, $R_{BB} = R_1 // R_2$.

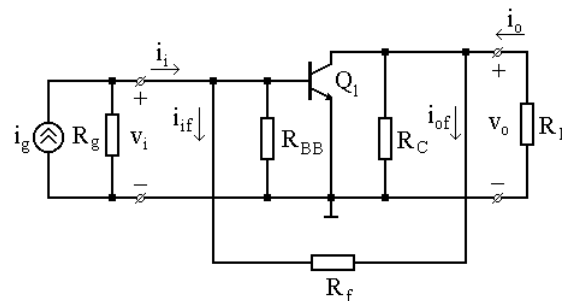


Fig. II03.1b Schema de curent alternativ a ARN p-p.

Mărimile comune la intrare și la ieșire sunt tensiunile v_i , respectiv, v_o . Rețeaua de reacție RR este prezentată în fig. II03.c.

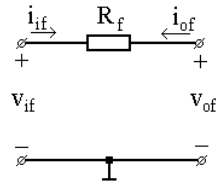


Fig. II03.1c Rețeaua de reacție p-p.

Calculul parametrilor rețelei de reacție:

$$f_y = \frac{m.n.i.}{m.c.o.} \Big|_{m.c.i.=0} = \frac{i_{if}}{v_{of}} \Big|_{v_{if}=0} = -\frac{1}{R_f} \quad (II3.1)$$

$$r_{if} = \frac{v_{if}}{i_{if}} \Big|_{m.c.o.=0} = \frac{v_{if}}{i_{if}} \Big|_{v_{of}=0} = R_f \quad (II3.2)$$

$$r_{of} = \frac{v_{of}}{i_{of}} \Big|_{m.c.i.=0} = \frac{v_{of}}{i_{of}} \Big|_{v_{if}=0} = R_f \quad (II3.3)$$

Se construiește amplificatorul în buclă deschisă (ABD) - fig. II03.1d. Cum topologia la intrare este paralel, ABD se va ataca cu generator de curent ideal.

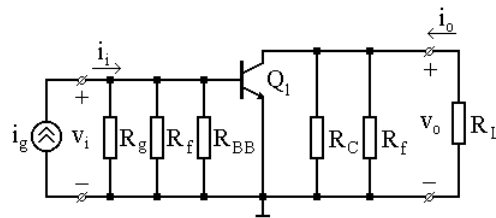


Fig. II03.1d Amplificatorul în buclă deschisă al ARN p-p.

Se calculează a_{zg} , r_i și r_o :

$$a_{zg} = \frac{v_o}{i_g} = -g_m \cdot (R_C \parallel R_f \parallel R_L) \cdot (R_f \parallel R_{BB} \parallel r_\pi) \quad (II3.4)$$

$$r_i = R_f \parallel R_{BB} \parallel r_\pi \quad (II3.5)$$

$$r_o = R_C \parallel R_L \parallel r_{OT} \quad (II3.6)$$

Transmisia pe buclă este:

$$T = a_{zg} \cdot f_y = \frac{a_{zg}}{R_f} > 0 \quad (II3.7)$$

Se estimează valorile pentru amplificarea și rezistențele de intrare/ieșire pentru amplificatorul cu reacție:

$$A_{zg} \Big|_{T \gg 1} \cong \frac{1}{f_y} \quad (II3.8)$$

$$R_i^{-1} = r_i^{-1} \cdot (1+T) - R_g^{-1} \quad (II3.9)$$

$$R_o^{-1} = r_o^{-1} \cdot (1+T) - R_L^{-1} \quad (II3.10)$$

II03.2 ARN paralel-serie

În fig. II03.2a este dat un amplificator cu reacție negativă paralel-serie. Amplificatorul de bază este realizat cu tranzistoarele bipolare Q_1 , Q_2 . Rețeaua de reacție este formată din componentele pasive R_{E2} , R_f și C_f . Valorile condensatoarelor din circuit sunt alese astfel încât acestea, în curent alternativ, să fie un scurt-circuit la frecvența semnalului furnizat de generator (amplificatorul lucrează în bandă).

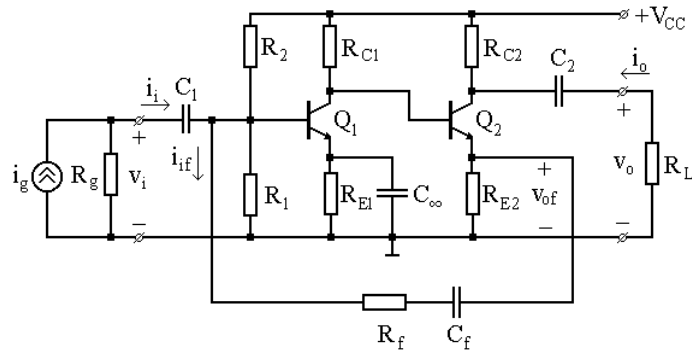


Fig. II03.2a Amplificator cu reacție negativă paralel-serie (ARN p-s).

Schema de curent alternativ este prezentată în fig. II03.2b. Pe această schemă $R_{BB}=R_1//R_2$.

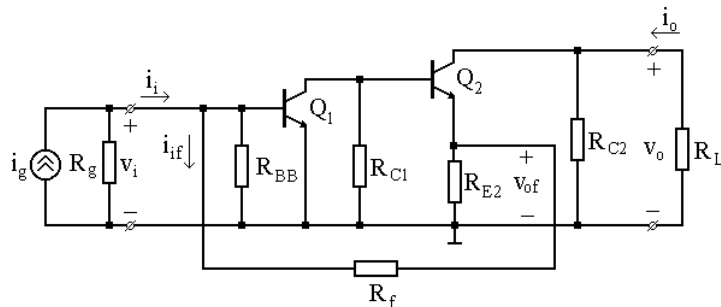


Fig. II03.2b Schema de curent alternativ a ARN p-s.

Pentru ARN p-s mărimea comună de la intrare este tensiunea (v_i) iar mărimea comună la ieșire este curentul (i_o).

Rețeaua de reacție RR este prezentată în fig. II03.2c.

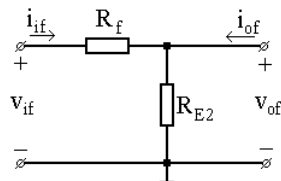


Fig. II03.2c Rețeaua de reacție p-s.

Calculul parametrilor specifici rețelei de reacție:

$$f_i = \frac{m.n.i.}{m.c.o.} \Big|_{m.c.i.=0} = \frac{i_{if}}{i_{of}} \Big|_{v_{if}=0} = -\frac{R_{E2}}{R_{E2} + R_f} \quad (II3.11)$$

Modul de calcul are în vedere îndeplinirea condiției $V_{if}=0$

$$r_{if} = \frac{v_{if}}{i_{if}} \Big|_{m.c.o.=0} = \frac{v_{if}}{i_{if}} \Big|_{i_{of}=0} = R_f + R_{E2} \quad (II3.12)$$

$$r_{of} = \frac{v_{of}}{i_{of}} \Big|_{m.c.i.=0} = \frac{v_{of}}{i_{of}} \Big|_{v_{if}=0} = R_f \parallel R_{E2} \quad (II3.13)$$

Se construiește **ABD** (fig. II03.2d).

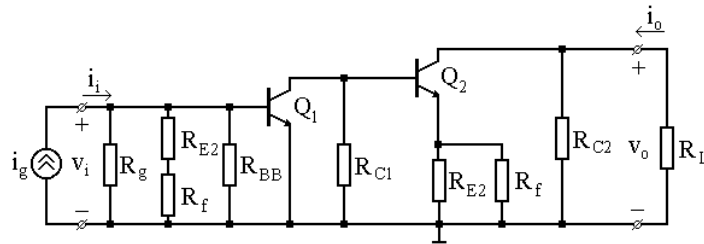


Fig. II03.2d Amplificatorul în buclă deschisă al ARN p-s.

Se calculează a_{ig} , r_i și r_o :

$$a_{ig} = \frac{i_o}{i_g} = -\beta_{o1} \cdot \beta_{o2} \frac{R_{C1} \cdot (R_{iEchiv.})}{(R_{iEchiv.} + r_{\pi1}) \cdot [r_{\pi2} + (\beta_{o2} + 1) \cdot (R_{E2} \parallel R_f) + R_{C1}]} \quad (II3.14)$$

$$r_i = \frac{v_i}{i_g} \Big|_{v_o=0} = R_g \parallel \left[(R_{E2} + R_f) \parallel R_{BB} \parallel r_{\pi1} \right] \quad (II3.15)$$

$$r_o = \frac{v_o}{i_o} \Big|_{i_g=0} = R_L \parallel R_{C2} + r_{oT2} \quad (II3.16)$$

$$\text{unde: } R_{iEchiv.} = R_g \parallel R_{BB} \parallel (R_{E2} + R_f) \quad (II3.17)$$

Transmisia pe buclă este:

$$T = a_{ig} \cdot f_i = \frac{a_{ig}}{R_{E2}} \cdot (R_{E2} + R_f) \gg 0 \quad (II3.18)$$

Se estimează valorile amplificării și rezistențelor de intrare/ieșire pentru amplificatorul cu reacție p-s:

$$A_{ig} = \frac{a_{ig}}{1 + T} \quad (II3.19)$$

$$R_i = \left[r_i^{-1} \cdot (1 + T) - R_g^{-1} \right]^{-1} \quad (II3.20)$$

$$R_o = r_o \cdot (1 + T) - R_L \quad (II3.21)$$

II03.3 ARN serie-paralel

Schema unui ARN s-p este dată în fig. II03.3a. Configurația serie la intrare impune ca mărimea comună să fie curentul iar topologia paralel la ieșire forțează ca mărime comună tensiunea. Amplificatorul de bază este realizat prin cascada etajelor de amplificare realizate cu tranzistoarele bipolare Q_1 și Q_2 . RRN este formată din componentele pasive R_{E1} , R_f și C_f . Ca și la topologiile prezentate anterior condensatoarele din circuit sunt alese astfel încât acestea, în curent alternativ, să fie un scurt-circuit la frecvența semnalului furnizat de generator.

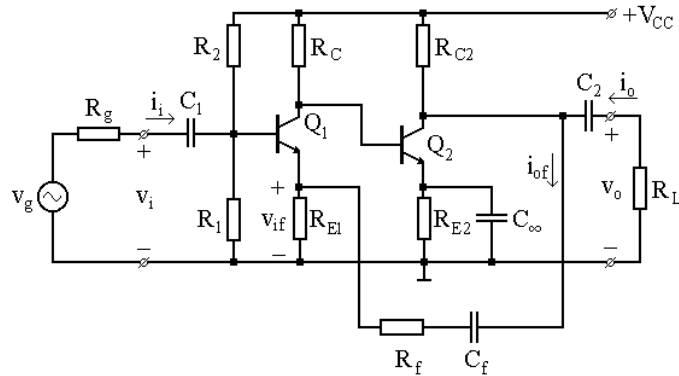


Fig. II03.3a Amplificator cu reacție negativă serie - paralel (ARN s-p).

În fig. II03.3b este dată schema de curent alternativ a ARN s-p.

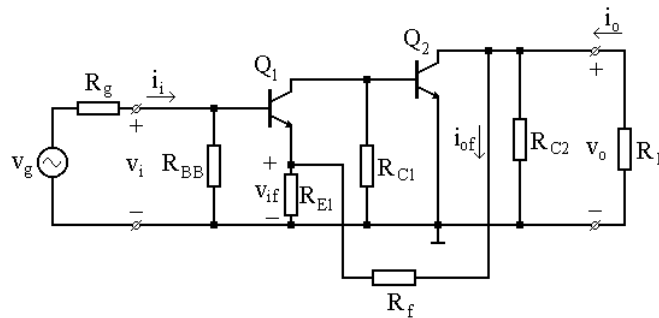


Fig. II03.3b Schema de curent alternativ a ARN s-p.

Analiza RRN se realizează pe circuitul din fig. II03.3c.

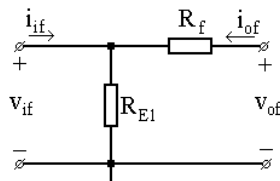


Fig. II03.3c Rețeaua de reacție s-p.

Mărimile specifice rețelei de reacție sunt

$$f_v = \frac{m.n.i}{m.c.o} \Big|_{mci=0} = \frac{v_{if}}{v_{of}} \Big|_{iif=0} = \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_f} \quad (\text{II3.22})$$

$$r_{if} = \frac{v_{if}}{i_{if}} \Big|_{vof=0} = R_f \parallel R_{E1} \quad (\text{II3.23})$$

$$r_{of} = \frac{v_{of}}{i_{of}} \Big|_{iif=0} = R_f + R_{E1} \quad (\text{II3.24})$$

ABD pentru ARN s-p este dat în fig. II03.3d.

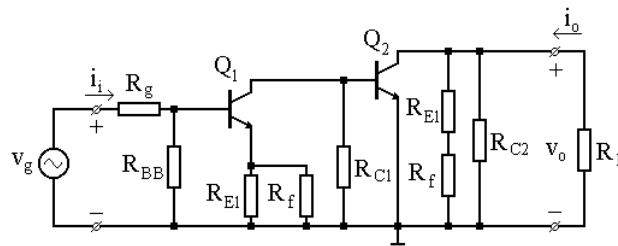


Fig. II03.3d Amplificatorul în buclă deschisă al ARN s-p.

Se calculează a_{vg} , r_b și r_o

$$a_{vg} = \frac{v_o}{v_g} = \beta_{o2} \cdot \beta_{o1} \frac{R_{C1} \cdot R_{oEchiv}}{(R_{C1} + r_{\pi 2}) \cdot [r_{\pi 1} + (R_{E1} \parallel R_f) \cdot (\beta_{o1} + 1)]} \quad (\text{II3.25})$$

$$r_i = R_{BB} \parallel [r_{\pi 1} + (\beta_{o1} + 1)(R_{E1} \parallel R_f)] \quad (\text{II3.26})$$

$$r_o = R_{oEchiv} + r_{oT2} \quad (\text{II3.27})$$

unde, $R_{oEchiv} = R_{C2} \parallel R_L \parallel (R_{E1} + R_f)$

Transmisia pe buclă este $T = a_{vg} \cdot f_v > 0$.

Se estimează valorile pentru amplificarea și rezistențele de intrare/ieșire la amplificatorul cu reacție s-p:

$$A_{vg} = \frac{a_{vg}}{1 + T} \quad (\text{II3.28})$$

$$R_i = r_i \cdot (1 + T) - R_g \quad (\text{II3.29})$$

$$R_o^{-1} = r_o^{-1} \cdot (1 + T) - R_L^{-1} \quad (\text{II3.30})$$

II03.4 ARN serie-serie

ARN s-s este dat în fig. II03.4a. Configurația serie la intrare/ieșire impune ca mărimea comună să fie curentul. Amplificatorul de bază este realizat prin cascada etajelor de amplificare realizate cu tranzistoarele bipolare Q_1 , Q_2 și Q_3 . RRN este formată din componentele pasive R_{E1} , R_{E3} , R_f și C_f . Condensatoarele din circuit sunt alese astfel încât acestea, în curent alternativ, să fie un scurt-circuit la frecvența semnalului furnizat de generator.

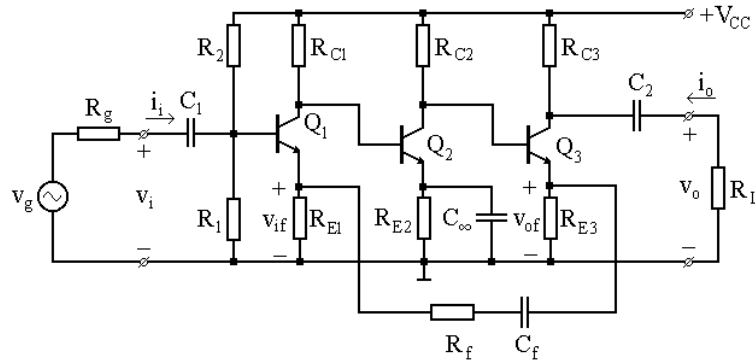


Fig. II03.4a Amplificator cu reacție negativă serie-serie (ARN s-s).

În fig. II03.4b este desenată schema de curent alternativ a circuitului din fig. II03.4a.

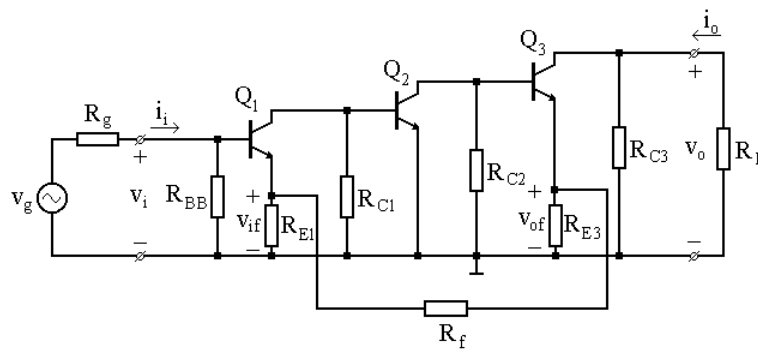


Fig. II03.4b Schema de curent alternativ a ARN s-s.

Calcularea parametrilor specifici RR este se realizează pe fig. II03.4c

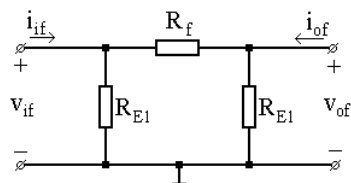


Fig. II03.4c Rețeaua de reacție s-s.

$$f_z = \frac{m.n.i}{m.c.o} \Big|_{mci=0} = \frac{v_{if}}{i_{of}} \Big|_{iif=0} = \frac{R_{E1} \cdot R_{E3}}{R_{E1} + R_f + R_{E3}} \quad (\text{II3.31})$$

$$r_{if} = \frac{v_{if}}{i_{if}} \Big|_{iof=0} = R_{E1} \parallel (R_f + R_{E3}) \quad (\text{II3.32})$$

$$r_{of} = \frac{v_{of}}{i_{of}} \Big|_{iif=0} = R_{E3} \parallel (R_f + R_{E1}) \quad (\text{II3.33})$$

Amplificatorul în buclă deschisă corespunzător ARN s-s este dat în fig. II03.4d.

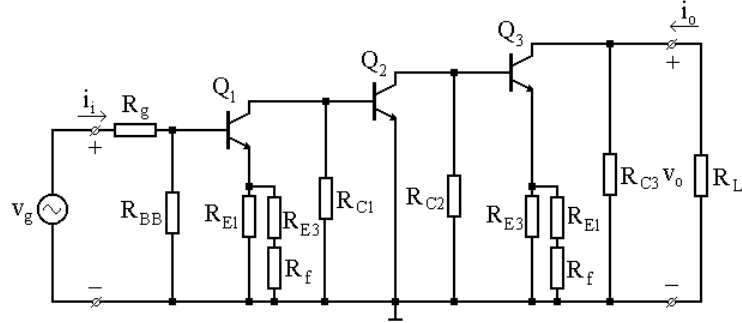


Fig. II03.4d Amplificatorul în buclă deschisă al ARN s-s.

$$a_{yg} = \frac{i_o}{v_g} = \beta_{01} \cdot \beta_{02} \cdot \beta_{03} \cdot \frac{R_{C1} \cdot R_{C2}}{[R_{C2} + r_{\pi 3} + (\beta_{03} + 1)r_{E3}] \cdot (R_{C1} + r_{\pi 2})} \cdot r_{ia}^{-1} \quad (\text{II3.34})$$

unde,

$$r_{E3} = R_{E3} \parallel (R_f + R_{E1}) \quad (\text{II3.35})$$

$$r_{ia} = R_g + R_{BB} \parallel \left\{ r_{\pi 1} + (\beta_{01} + 1) \cdot [R_{E1} \parallel (R_{E3} + R_f)] \right\} \quad (\text{II3.36})$$

$$r_o = R_L \parallel R_{C3} + r_{oT} \quad (\text{II3.37})$$

$$T = a_{yg} \cdot f_Z = \frac{a_{yg} \cdot R_{E1} \cdot R_{E3}}{R_{E1} + R_{E3} + R_f} \gg 1 \quad (\text{II3.38})$$

$$A_{yg} = \frac{a_{yg}}{1 + T} \quad (\text{II3.39})$$

$$R_i = r_{ia} \cdot (1 + T) - R_g \quad (\text{II3.40})$$

$$R_o = r_o \cdot (1 + T) - R_L \quad (\text{II3.41})$$

CAPITOLUL II04: DETERMINĂRI EXPERIMENTALE

II04.1 OBIECTIVE DETERMINĂRI EXPERIMENTALE

- Fixarea și măsurarea punctelor statice de funcționare ale tranzistoarelor bipolare care compun etajele de amplificare;
- Măsurarea curentului de bază și a curentului de colector în regim dinamic (semnal alternativ cu frecvența cuprinsă între 1-20KHz);
- Identificarea topologiei aplicatorului cu reacție negativă prezentat
- Determinarea amplificării A a ARN în buclă închisă;
- Determinarea rezistenței de intrare R_i a ARN în buclă închisă;
- Determinarea rezistenței de ieșire R_o a ARN în buclă închisă;
- Determinarea amplificării a pentru ABD;
- Determinarea rezistenței de intrare r_i a ABD;
- Determinarea rezistenței de ieșire r_o a ABD.

II04.2 APARATE NECESARE

- Sursă de alimentare PS1-PSU/EV sau PSLC/EV, unitate de control individual SIS1/SIS2/SIS3 (opțional);
- Modulul MCM5/EV (modulul poate lucra în mod independent. *La utilizarea unității de management extern cele 4 comutatoarele trebuie să fie pe poziția închis iar cele 8 comutatoare trebuie să fie pe poziția deschis*);
- Multimetru;
- Osciloscop;
- Generator de semnal.

II04.3 DESFĂȘURAREA LUCRĂRII

MCM-5	Deconectați toate șunturile
Montați SIS1	Setați toate comutatoarele pe deschis

Se pornește de la modulul aflat pe placa MCM-5 cu schema electrică prezentată în Anexa A, fig. A01.

Configurarea ARN

Se construiește schema electrică de măsură a amplificatorului cu reacție negativă paralel-serie, buclă închisă, (fig. II04.1) prin scurtcircuitele realizate cu șunturile: $J_2, J_5, J_6, J_{11}, J_{15}, J_{17}, J_{13}, J_{29}, J_{26}, J_{43}, J_{42}, J_{44}, J_{47}$ precum și rețeaua R_f, C_f între J_{32} și J_{39} .

Generatorul de semnal se fixează între punctul I și masă.

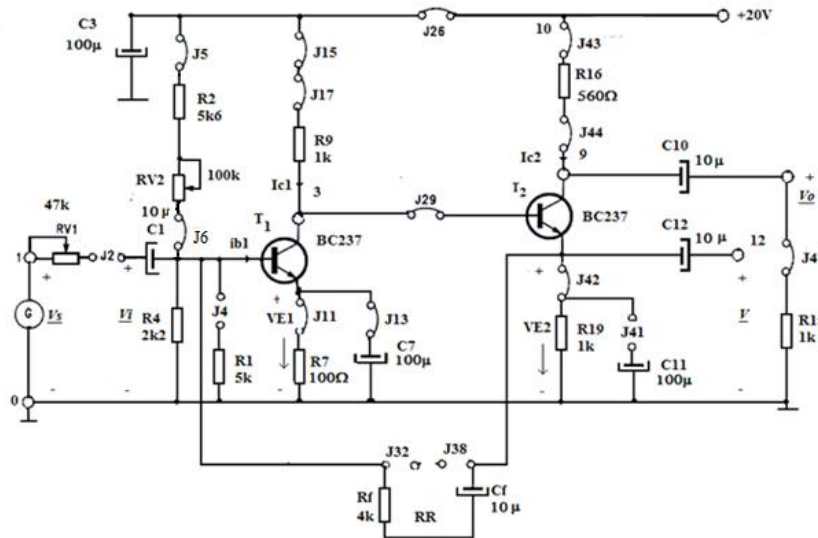


Fig. II04.1 Schema electrică a amplificatorului cu reacție negativă paralel-serie.

II04.3.1 Modul de lucru

Măsurători de curent continuu pe ARN

Se alimentează montajul aplicator cu schema electrică din fig. II04.1 cu tensiunea $V_{cc}=20V$.

Cu ajutorul potențimetrului R_{V2} se fixează tensiunea continuă V_{E1} la valoarea înscrisă în Tabelul 4.1. Curenții I_{C1} și I_{C2} se determină indirect, măsurându-se tensiunile de curent continuu față de masă, pe rezistențele R_{E1} (R_7) respectiv pe R_{E2} (R_{19}). Valorile acestor rezistoare se citesc pe schema electrică prezentată în fig. II04.1.

Se calculează:

$$I_{C1} = \frac{V_{E1}}{R_{E1}} \quad (II4.1)$$

$$I_{C2} = \frac{V_{E2}}{R_{E2}} \quad (II4.2)$$

Se fixează cursorul potențimetrului R_{V1} la jumătatea cursei ($\approx 23,5k\Omega$). Această valoare va fi cea a rezistenței de măsură a curentului de bază i_b .

Măsurători de curent alternativ pe ARN

Se conectează generatorul de semnal G între punctele I și 0 (fig. II04.1) și se ajustează frecvența semnalului de generator la valoarea de 1KHz. Se setează nivelul semnalului astfel încât semnalul V_i să aibă valoarea RMS cuprinsă între 5mV-10mV (măsurat cu osciloscopul).

Utilizând osciloscopul se măsoară valoarea RMS pentru tensiunea \underline{V}_s (furnizată de generator) și tensiunile de ieșire \underline{V}_o și \underline{V} (fig. II04.1). Valorile măsurate se trec în Tabelul II04.1.

Tabelul II04.1

Tip amp.	ARN Buclă închisă paralel/serie		Amplificator de bază buclă deschisă	
	$V_{E1}/I_{C1}=1V/10mA$	$V_{E1}/I_{C1}=1,5V/15mA$	$V_{E1}/I_{C1}=1V/10mA$	$V_{E1}/I_{C1}=1,5V/15mA$
PSF	$V_{E2}/I_{C2}=\text{=}$	$V_{E2}/I_{C2}=\text{=}$	$V_{E2}/I_{C2}=\text{=}$	$V_{E2}/I_{C2}=\text{=}$
V_i [mV]	5	5	5	5
V_s [mV]				
V_o [mV]				
V [mV]				
A_z [k Ω]			-	-
A_i			-	-
a_z [k Ω]	-	-		
a_i	-	-		
r_i [k Ω]			-	-
R_i [k Ω]	-	-		
A_v				
I_b [μA]				
R_o [k Ω]			-	-
r_o [k Ω]	-	-		

MCM-4	Deconectați toate șunturile
Montați SIS1	Setați toate comutatoarele pe deschis

Configurarea ABD

Se construiește amplificatorul în buclă deschisă - ABD prezentat în fig. II04.2. prin efectuarea scurtcircuitelor realizate cu șunturile $J_2, J_5, J_6, J_{11}, J_{15}, J_{17}, J_{13}, J_{29}, J_{26}, J_{43}, J_{42}, J_{44}, J_{47}$.

Se debranzează rețeaua de reacție R_f, C_f care a fost conectată pentru ARN între J_{32} și J_{38} .

Se atașează la J_4 capacitorul $C_f = 10\mu$ cu minusul spre masă (terminalul marcat cu “-”, la masă).

! Condensatorul C_f este unul electrolitic. Nerespectarea polarității atrage distrugerea acestui condensator.

Se atașează la **J41** rezistorul $R_f = 4k\Omega$.

Măsurători de curent continuu pe ABD

Se alimentează montajul aplicator cu schema electrică din II04.2. cu tensiunea $V_{cc}=20V$.

Tensiunea de curent continuu V_{E1} se fixează cu ajutorul potențiometrului R_{V2} astfel încât să aibă valoarea înscrisă în Tabelul 4.1.

Se determină I_{C1} și I_{C2} printr-o procedură similară cu cea de la ARN.

Măsurători de curent alternativ pe ABD

Se conectează generatorul de semnal G între punctele I și 0 (fig. II04.2) și se reglează frecvența semnalului de generator la valoarea de 1KHz. Se setează nivelul semnalului astfel încât semnalul V_i să aibă valoarea RMS cuprinsă între 5mV-10mV (măsurat cu osciloscopul).

Utilizând osciloscopul se măsoară valoarea RMS pentru tensiunea v_s (furnizată de generator) și tensiunile de ieșire V_o și V (fig. II04.2). Valorile măsurate se trec în Tabelul 4.1.

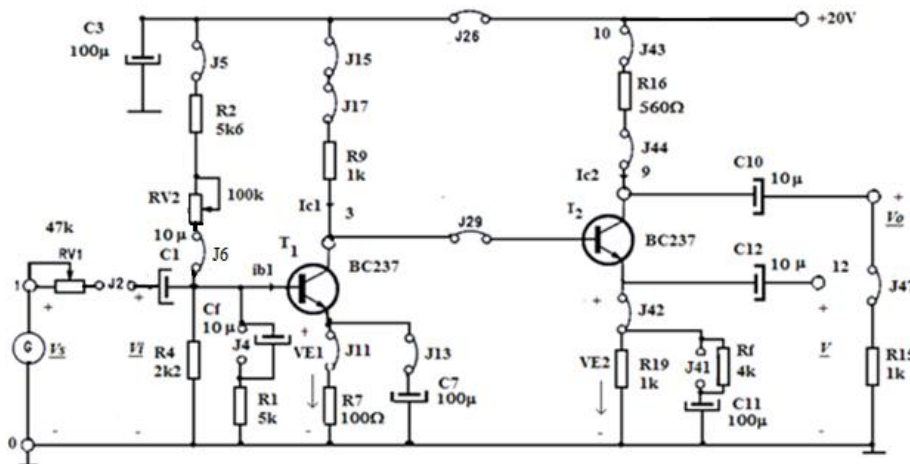


Fig. II04.2 Schema electrică a ABD.

II04.3.2 PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE

Cu valorile din tabelul 4.1 se determină pentru ARN (buclă închisă):

Amplificarea transimpedanță

$$A_z = R_s \cdot \frac{v_o}{v_s - v_i} \tag{II4.3}$$

unde, $R_S = R_{VI} = 23,5k\Omega$.

Amplificarea de curent:

$$A_i = \frac{R_S}{R_{Lechiv}} \cdot \frac{v_o}{v_s - v_i} \quad (\text{II4.4})$$

unde, $R_{Lechiv} = R_{I5} // R_{I6} = 359\Omega$.

Rezistența de intrare:

$$R_i = \frac{v_i}{i_b} = R_S \cdot \frac{v_i}{v_s - v_i} \quad (\text{II4.5})$$

Amplificarea în tensiune:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} \quad (\text{II4.6})$$

Curentul de intrare:

$$i_b = \frac{v_s - v_i}{R_S} \quad (\text{II4.7})$$

Rezultatele se trec în tabelul II04.1. Cu valorile din tabelul II04.1 pentru amplificatorul ABD prezentat în fig II04.2 se calculează:

Amplificarea transimpedanță

$$a_z = R_S \cdot \frac{v_o}{v_s - v_i} \quad (\text{II4.8})$$

unde, $R_S = R_{VI} = 23,5k\Omega$.

Amplificarea de curent:

$$a_i = \frac{R_S}{R_{Lechiv}} \cdot \frac{v_o}{v_s - v_i} \quad (\text{II4.9})$$

unde, $R_{Lechiv} = R_{I5} // R_{I6} = 359\Omega$.

Rezistența de intrare:

$$r_i = \frac{v_i}{i_b} = R_S \cdot \frac{v_i}{v_s - v_i} \quad (\text{II4.10})$$

Amplificarea în tensiune raportată la intrare:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} \quad (\text{II4.11})$$

Verificarea rezultatelor experimentale

Utilizând relația (II4.12) rezultă factorul de transfer al rețelei de reacție din schema experimentală:

$$f_i = \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_f} = \frac{1}{5} \quad (\text{II4.12})$$

Se determină: $T = a_i f_i$

Se verifică apoi condițiile (II4.13), (II4.14), (II4.15)

$$R_i = \frac{r_i}{1 + T} \quad (\text{II4.13})$$

$$R_o = r_o \cdot (1 + T) \quad (\text{II4.14})$$

Amplificarea de curent este:

$$A_i = \frac{a_i}{1 + a_i f_i} \quad (\text{II4.15})$$

CAPITOLUL II05:

INTREBĂRI ȘI EXERCITII

II05.1 OBIECTIVE

- Aprofundarea cunoștințelor obținute

III05.2 ÎNTREBĂRI

I1. Pentru circuitul din fig. II04.1 se consideră ieșirea în emitorul tranzistorului T_2 . Ce topologie de reacție negativă are acest amplificator?

- a) paralel - paralel;
- b) serie - paralel;
- c) paralel - serie;
- d) serie - serie;
- e) nu este un amplificator cu reacție negativă.

I2. În cazul în care circuitul din fig. II04.1 are ieșirea în emitorul tranzistorului T_2 amplificarea transimpedanță calculată în bandă are valoarea:

- a) $2\text{k}\Omega$;
- b) $-1\text{k}\Omega$;
- c) $-4\text{k}\Omega$;
- d) $5\text{k}\Omega$;
- e) $-10\text{k}\Omega$.

I3. În cazul în care circuitul din fig. II04.1 are ieșirea în emitorul tranzistorului T_2 factorul de reacție are valoarea:

- a) $-0,25\text{k}\Omega$;
- b) $-0,1\text{k}\Omega$;
- c) $-4\text{k}\Omega$;
- d) $5\text{k}\Omega$;
- e) $1\text{k}\Omega$.

I4. Reacția negativă aplicată paralel într-un nod:

- a) crește rezistența nodului de $I+T$ ori;
- b) scade rezistența nodului de $I+T$ ori;
- c) nu influențează rezistența nodului în care se aplică;
- d) crește rezistența nodului cu $I+T$;
- e) scade rezistența nodului cu $I+T$;

I5. Condesatorul C_f din fig. II04.1 are rolul:

- a) de a separa în curent continuu nodurile între care este conectat;
- b) de scădere a amplificării amplificatorului cu reacție negativă;
- c) de creștere a amplificării amplificatorului cu reacție negativă;
- d) de micșorare a rezistenței de intrare;
- e) de creștere a rezistenței de intrare.

I6. Rezistorul R_f din fig. II04.1 face parte din:

- a) rețeaua care stabilește $p.s.f$ -ul tranzistorului T_1 ;
- b) rețeaua care stabilește $p.s.f$ -ul tranzistorului T_2 ;
- c) rețeaua de reacție negativă;
- d) rețeaua care stabilește $p.s.f$ -ul tranzistoarelor T_1 și T_2 ;
- e) de creștere a rezistenței de intrare.

I7. Potențiometrul R_{v2} din fig. II04.1 are rolul de a regla:

- a) $p.s.f$ -ul tranzistoarelor T_1 și T_2 ;
- b) $p.s.f$ -ul tranzistorului T_1 ;
- c) $p.s.f$ -ul tranzistorului T_2 ;
- d) factorul de reacție;
- e) nivelul semnalului de generator aplicat la intrarea ARN .

I8. Scurtcircuitarea condensatorului C_7 din fig. II04.1 duce la modificarea:

- a) nivelului semnalului de generator aplicat la intrarea circuitului
- b) $p.s.f$ -ului tranzistorului T_1 ;
- c) $p.s.f$ -ului tranzistorului T_2 ;
- d) factorul de reacție;
- e) $p.s.f$ -ului tranzistoarelor T_1 și T_2 ;

I9. Potențiometrul R_{v1} din fig. II04.1 are rolul de a regla:

- a) factorul de reacție;
- b) $p.s.f$ -ul tranzistorului T_1 ;
- c) $p.s.f$ -ul tranzistoarelor T_1 și T_2 ;
- d) nivelul semnalului de generator aplicat la intrarea ARN ;
- e) $p.s.f$ -ul tranzistorului T_2 .

