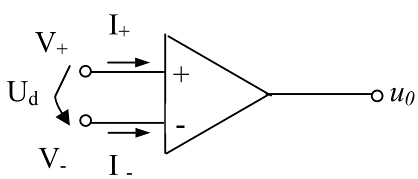
SEMINARUL 1

Structuri fundamentale cu AO ideale
Metode de analiză a circuitelor cu AO

1. Amplificatorul operațional ideal (AOI)



Valoarea tensiunii de ieşire este:

$$u_0 = A(V_+ - V_-),$$

unde *A* este amplificarea în buclă deschisă.

Pentru *cazul ideal*, impunem următoarele condiții:

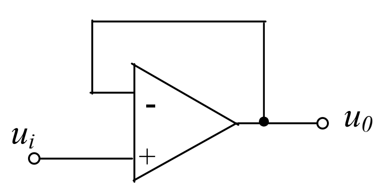
- $A = \infty$;
- $Z_{int} = \infty$, $Z_{ies} = 0$;
- $I_+ = I_- = 0$.

Fizic, tensiunea de ieşire este limitată la tensiunea de alimentare. Impedanțele de intrare pe modul diferențial sau pe modul comun sunt foarte mari. Curenții de polarizare I_+, I_- în realitate sunt foarte mici, neglijabili.

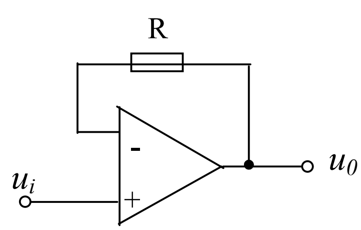
În buclă de reacție negativă avem $V_+ = V_-$, deci se va obține o nedeterminare pentru tensiunea de ieşire: $u_0 = \infty \cdot 0$. În acest caz, pentru a afla u_0, rezolvăm circuitul exterior.

2. Repetorul cu AOI

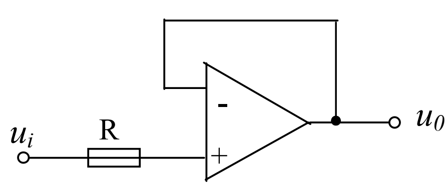
a)



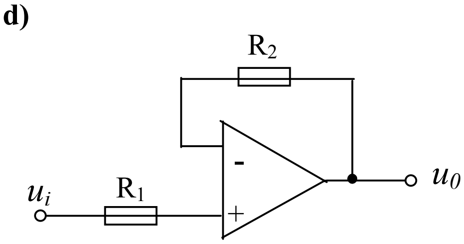
c)



b)



d)



a) intrarea + : intrarea neinversoare, semnalul vine cu acelaşi semn;
intrarea - : intrarea inversoare, semnalul vine amplificat şi cu semn schimbat.
Deoarece avem buclă de reacţie negativă, obţinem $V_+ = V_-$. Dar $V_+ = u_i$ şi $V_- = u_0$, de unde rezultă $u_0 = u_i$.

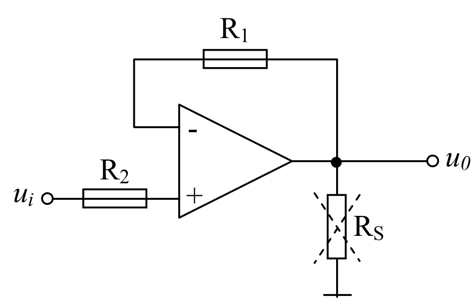
b) Cum amplificatorul este ideal => $I_+ = 0$ => tensiunea pe R este $u_R=RI_+ = 0$ => $u_i= RI_+ + V_+ = 0 + V_+ = V_+$. Dar $V_- = u_0$ şi $V_- = V_+$ de unde rezultă $u_0 =u_i$.

c) Rezistenţa R se află în buclă de reacţie negativă şi analog, avem$V_- = V_+ = u_i$, $I_- = 0$ => $V_- = u_0$, de unde rezultă $u_0 = u_i$.

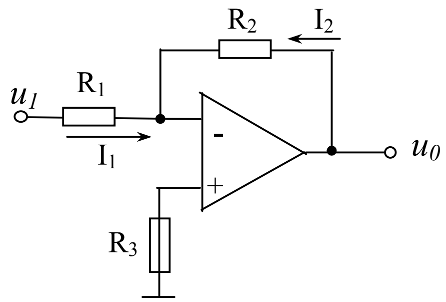
d) Rezistenţa R_2 se află în buclă de reacţie negativă şi analog, avem $V_- = V_+$, $I_+ = I_- = 0$ => $R_1I_+ = R_2I_- = 0$ => $u_0 = u_i$.

În practică putem proceda la simplificarea schemei, utilizând următoarele reguli ce reies din observaţiile anterioare:

- dacă o rezistenţă este înseriată cu intrarea unui AO ideal, atunci ea se poate scurtcircuita (se poate înlocui cu un fir);
- dacă o rezistenţă se află între ieşirea unui AO şi masă atunci se poate elimina, deoarece tensiunea de la ieşirea unei structuri cu AO nu depinde de sarcină, ci se modifică doar curentul prin acesta;
- dacă o rezistenţă se găseste între două ieşiri de AO atunci ea se poate elimina;
- dacă o rezistenţă se găseşte între două potenţiale fixe (de exemplu două puncte de masă), ea se poate elimina (o ştergem din schemă).



3. Inversorul



Formula:

$$u_0 = -\frac{R_2}{R_1} u_i \qquad (1.3.1)$$

R_3 este înseriată cu intrarea V_+, deci se poate scurtcircuita;

R_2 se află în bucla de reacție negativă;

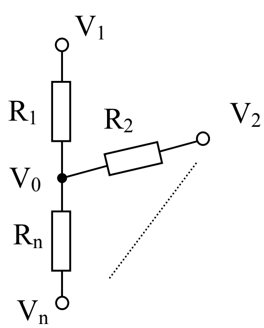
Vom avea $V_- = V_+ = 0$, deci nodul de pe borna inversoare este un punct virtual de masă. $I_- = I_+ = 0$.

Scriind o ecuație Kirchhoff I în acest nod, avem:

$$I_1 + I_2 = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{u_i - 0}{R_1} + \frac{u_o - 0}{R_2} = 0 \Rightarrow u_0 = -\frac{R_2}{R_1} u_i$$

Metoda potențialelor la noduri



$$V_0 \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{R_k} = \sum_{k=1}^{n} \frac{V_k}{R_k}$$

(Potențialul din nodul 0) x (suma tuturor admitanțelor din nodul 0) = (suma curenților de scurtcircuit din nodul 0)

Deci putem rezolva circuitul scriind metoda potențialelor în nodul de la borna "-":

$$0\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{u_i}{R_1} + \frac{u_0}{R_2} \Rightarrow u_0 = -\frac{R_2}{R_1} u_i$$

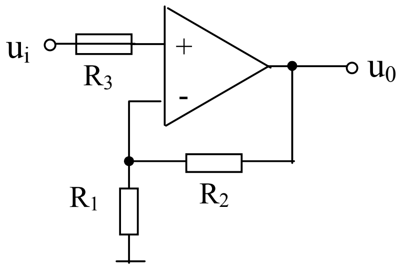
Temă:

Să se demonstreze formula amplificatorului inversor ideal folosind cunoştințele de tehnica reacției învățate.

Indicație:

$$u_0 = A_u \cdot u_i, \text{ unde } A_u = \lim_{A \to \infty} \frac{A_a}{1 - A_\beta}$$

4. Neinversorul



Formula:

$$u_0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) u_i$$

R_3 se poate scurcircuita;
R_2 se află în buclă de reacție negativă; $V_- = V_+ = u_i$;

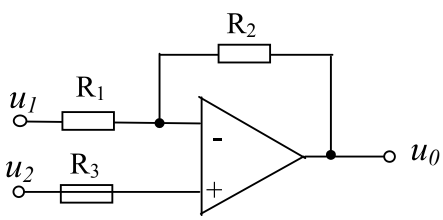
a) $I_- = 0 \Rightarrow I_{R2} = I_{R1} = I$ şi deci R_1 şi R_2 formează un divizor de tensiune=>

$$U_{R1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u_0 = V_- = u_i \Rightarrow u_0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) u_i$$

b) Aplicăm metoda potențialelor la noduri în borna "-":

$$u_i \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{0}{R_1} + \frac{u_0}{R_2} \Rightarrow u_0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) u_i$$

5. Amplificator inversor - neinversor



$$u_0(u_1, u_2) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) u_2 - \frac{R_2}{R_1} u_1$$

a) Metoda superpoziției:

$$u_0(u_1, u_2) = u_0(u_1)\big|_{u_2 = 0} + u_0(u_2)\big|_{u_1 = 0}$$

Dacă $u_2 = 0$ avem o structură inversoare şi deci:

$$u_0(u_1)\big|_{(u_2 = 0)} = -\frac{R_2}{R_1} u_1$$

Dacă $u_1 = 0$ avem o structură neinversoare şi deci:

$$u_0(u_2)\big|_{(u_1 = 0)} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) u_2$$

Rezultă:

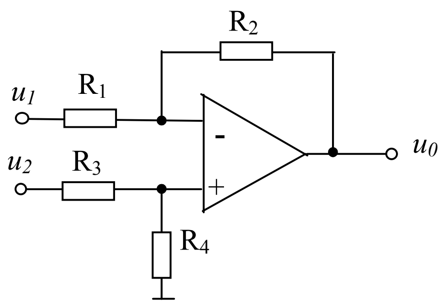
$$u_0(u_1, u_2) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) u_2 - \frac{R_2}{R_1} u_1$$

b) Metoda potențialelor la noduri în borna “-”: $V_+ = V_- = u_2$ =>

$$u_2\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)=\frac{u_1}{R_1}+\frac{u_0}{R_2} \Rightarrow u_0=\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)u_2-\frac{R_2}{R_1}u_1$$

NOTĂ: Metoda potențialelor la noduri nu se scrie pe ieşirea unui AO.

6. Circuitul de scădere

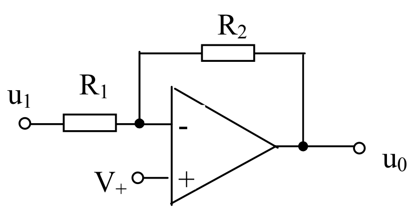


$$u_0=\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{R_4}{R_3+R_4}u_2-\frac{R_2}{R_1}u_1$$

R_2 se află în bucla de reacție negativă;
$I_+ = 0$ deci R_3 şi R_4 formează un divizor de tensiune, de unde rezultă:

$$V_+=\frac{R_4}{R_3+R_4}u_2$$

Se obține deci un amplificator inversor – neinversor:



$$u_0=\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)V_+-\frac{R_2}{R_1}u_1$$

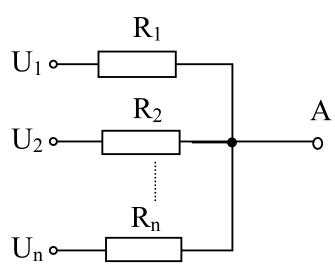
Înlocuind rezultă:

$$u_0=\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{R_4}{R_3+R_4}u_2-\frac{R_2}{R_1}u_1$$

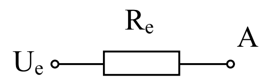
Pentru $R_4 / R_3 = R_2 / R_1 = k$ obținem $u_0 = k(u_2 – u_1)$, iar pentru $R_4 = R_3$ şi $R_2 = R_1$ (caz particular k = 1), obținem $u_0 = u_2 – u_1$, caz folosit în cele mai multe situații.

6. Echivalarea Thévenin

Exemplul 1:



⇔



$U_e = (V_A)_{gol}$
$R_e = (R_A)_{circ.\ pasivizat}$

Pentru n = 2, putem scrie:

a) superpoziție:

$$V_A = V_A(u_1, u_2) = V_A(u_1)|_{u2=0} + V_A(u_2)|_{u1=0}$$

$$V_A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} u_2$$

b) potențiale la noduri:

$$V_A \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2}$$

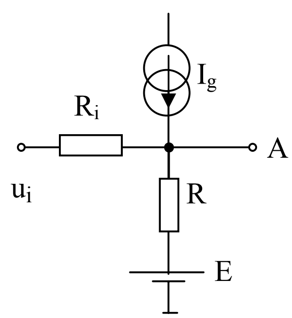
În general, avem:

$$\begin{cases} V_A \sum \frac{1}{R_k} = \sum \frac{V_K}{R_K}, \\ R_e = R_1 \parallel R_2 \parallel ... \parallel R_n \end{cases}$$

$$V_A = \frac{\sum \frac{V_K}{R_K}}{\sum \frac{1}{R_K}} = R_e \sum \frac{V_K}{R_K}$$

Un alt exemplu de echivalare Thévenin este următorul:

Exemplul 2:



$R_e = R_i \parallel R_E$

a) superpoziție:

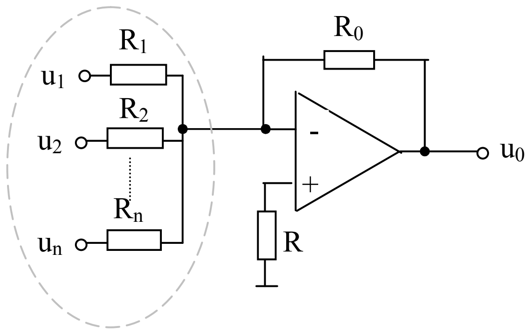
$$V_A = V_A(u_i)|_{\substack{E=0 \\ Ig=0}} + V_A(E)|_{\substack{ui=0 \\ Ig=0}} + V_A(I_g)|_{\substack{ui=0 \\ E=0}}$$

$$V_A = \frac{R_E}{R_E + R_i} u_i + \frac{R_i}{R_E + R_i} E + R_E \parallel R_i I_g$$

b) potențiale la noduri:

$$V_A \left(\frac{1}{R_E} + \frac{1}{R_i} \right) = I_g + \frac{u_i}{R_i} + \frac{E}{R_E}$$

7. Sumatorul inversor

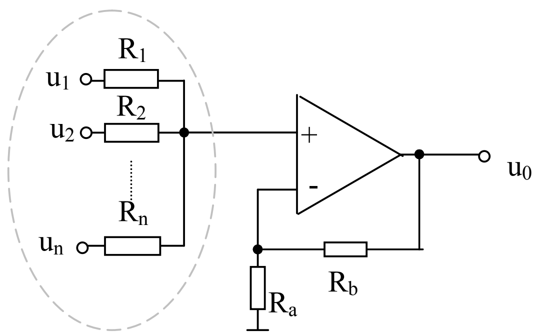


$MPN(-):$

$$0\sum_{0}^{n}\frac{1}{R_K}=\frac{u_0}{R_0}+\sum_{1}^{n}\frac{u_k}{R_k}$$

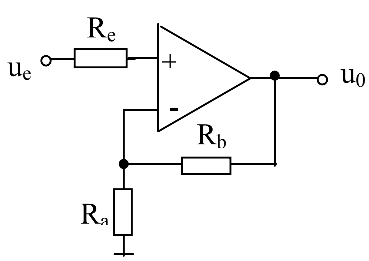
$$u_0=-R_0\sum_{1}^{n}\frac{u_k}{R_k}$$

8. Sumatorul neinversor



Echivalăm Thévenin:

$$u_e=\frac{\sum\frac{u_K}{R_K}}{\sum\frac{1}{R_k}}$$



$$u_0=\left(1+\frac{R_b}{R_a}\right)u_e$$