## I.Circuitul sumator

Circuitul sumator are structura din figura de mai jos. Circuitul are **n** intrări, la care se aplică n tensiuni de intrare şi o singură ieşire, la care este furnizată tensiunea de ieşire. Circuitul sumator are reacţie negativă prin intermediul rezistorului $\mathbf{R_F}$.

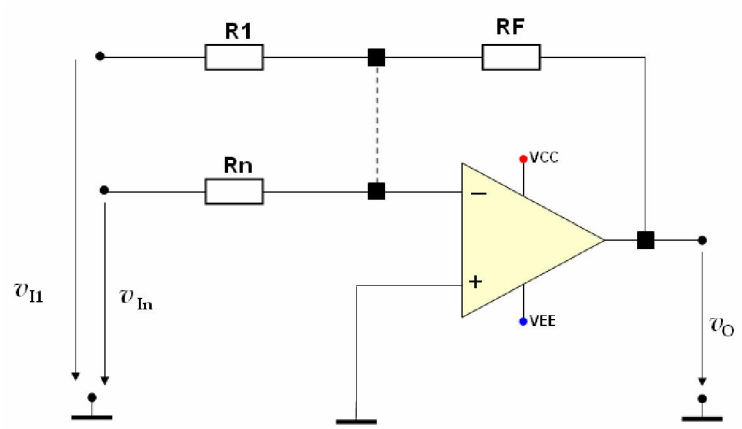



Figura 1. Circuitul sumator.

### Rezistenţa de intrare

Se poate arăta printr-un procedeu similar cu cel indicat la amplificatorul neinversor, că fiecare intrare are rezistenţa de intrare egală cu rezistenţa la care este conectată intrarea respectivă:

$$R_{ik} = R_k$$

Deoarece rezistenţa de intrareeste egală cu valoarea rezistenţei rezistorului conectat la intrarea considerată, în cazul în care această rezistenţă nu are o valoare mare, există riscul apariţiei unor peirderi de tensiune la intrarea considerată, la conectarea circuitului sumator la circuitele externe. În acest sens, se reamiteşte că la intrarea unui circuit, pierderile de tensiune se elimină dacă rezistenţa de intrare a circuitului respectiv este infinită. Soluţia la această problemă constă în conectarea la intrarea respectivă a unui amplificator repetor cu rolul de adaptor de rezistenţe, între circuitul sumator şi circuitul exterior acestuia.

### Rezistenţa de ieşire

Se poate arăta printr-un procedeu similar cu cel indicat la amplificatorul neinversor, că rezistenţa de ieşire a circuitului sumator este egală cu **0**. Din acest motiv, la ieşirea circuitului sumator nu există pierderi de tensiune. În acest sens, se reamiteşte că la ieşirea unui circuit, pierderile de tensiune se elimină dacă rezistenţa de ieşire a circuitului respectiv este nulă.

### Determinarea tensiunii de ieşire. Amplificarea în tensiune

Asemănător, pe baza procedeului de calcul a amplificării în tensiune prezentat în cursul precedent se poate demonstra că tensiunea de ieşire $\mathbf{v_O}$ se poate exprima în funcţie de tensiunile de intrare $\mathbf{v_{I1},...v_{In}}$, prin relaţia de mai jos:

$$\boxed{v_O = -\left[\left(\frac{R_F}{R_1}\right)\cdot v_{I1} + ... + \left(\frac{R_F}{R_n}\right)\cdot v_{In}\right]} \qquad 1$$

Din relaţia de mai sus, se constată că:

1. circuitul generează la ieşire **suma ponderată** a celor **n** tensiuni de intrare; coeficienţii utilizaţi în suma ponderată sunt stabiliţi prin intermendiul rapoartelor îrezistive de tipul $\mathbf{R_F/R_{intrare_n}}$.
2. semnul "-" din faţa relaţiei de mai sus indică faptul că tensiunea de ieşire este defazată cu **180**$^0$ faţă de oricare tensiune de intrare.

În continuare, pe circuitul din figura de mai jos, se prezintă modul în care se poate determina relaţia 1.

În prima etapă a analizei, se determină curenţii electrici prin rezistoarele circuitului: mai întâi se notează cu $\mathbf{i_1}$, …, $\mathbf{i_n}$ curenţii prin rezistoarele $\mathbf{R_1}$,…, $\mathbf{R_n}$; apoi, deoarece $\mathbf{i^-}$ este egal cu zero, fiind curent de intrare în AO, rezultă, pe baza TK1 aplicate în nodul la care este conectată intrarea inversoare a AO-ului, că prin $\mathbf{R_F}$ curentul este:

$$i_F = i_1 + ... + i_n$$

Deoarece AO-ul are reacţie negativă (prin $\mathbf{R_F}$), tensiunile de intrare de la cele 2 intrări ale AOului sunt egale:

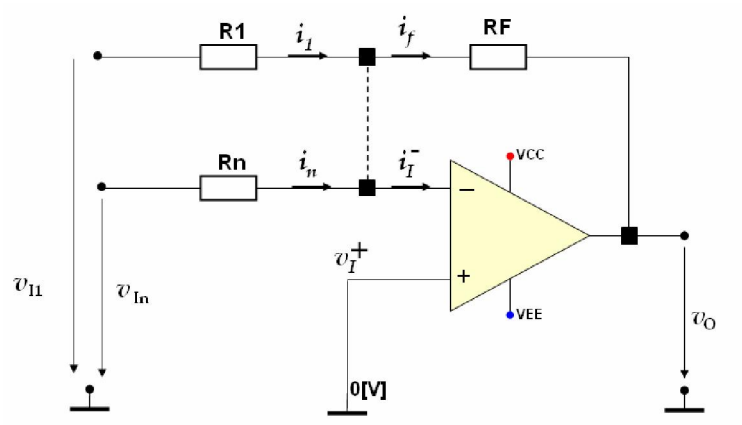
$$v_I^+ = v_I^-$$

Dar, deoarece intrarea neinversoare este conectată la masă (masa are potenţialul **0[V]**) rezultă**:**

$$v_I^+ = 0$$

Astfel, valoarea lui $\mathbf{v_I^-}$, care este tensiunea dintre nodul la care sunt conectate rezistenţele $\mathbf{R_1,\ldots R_n}$ şi $\mathbf{R_F}$ şi masa circuitului devine:

$$v_I^- = 0$$




Aplicând legea lui Ohm pe toate rezistoarele, rezultă:

$$i_1 = \frac{v_{I1} - v_I^-}{R_1} \quad si... \quad i_n = \frac{v_{In} - v_I^-}{R_n} \quad si \quad i_f = \frac{v_I^- - v_O}{R_F}$$

în care, ţinând cont de valoarea nulă a lui $\mathbf{v_I^-}$, se obţine:

$$i_1 = \frac{v_{I1} - 0}{R_1} \quad si... \quad i_n = \frac{v_{In} - 0}{R_n} \quad si \quad i_f = \frac{0 - v_O}{R_F}$$

Înlocuind expresiile de mai sus în relaţia dintre curenţii prin rezistenţele circuitului, rezultă:

$$v_O = -\left( \frac{R_F}{R_1} \cdot v_{I1} + ... + \frac{R_F}{R_n} \cdot v_{In} \right)$$

**II. Circuite diferenţiale**

Circuitele diferenţiale sunt utilizate în special în sistemele de măsură, achiziţie de date sau control. La circuitele diferenţiale, informaţia prelucrată este furnizată pe 2 canale diferite, circuitul prelucrând diferenţa dintre ele. Furnizarea informaţiei pe 2 canale permite eliminarea semnalelor parazite, care se suprapun peste informaţia utilă. Semnalele parazite sunt semnale aleatoare, generate de diverse surse (de exemplu, componentele electronice, priza de alimentare, etc.), care nu transportă nicio informaţie utilă; aceste semnale se mai numesc **zgomote** (denumirea de zgomot sugerează tocmai faptul că acest tip de semnal nu codează niciun tip de informaţie utilă). În general, variaţia maximă a acestor zgomote este redusă, aproximativ de ordinul milivolţilor. Zgomotele se suprapun peste informaţia utilă, care trebuie prelucrată de către circuit şi în consecinţă, un sistem electronic incapabil să separe, în informaţia prelucrată, informaţia utilă de zgomotul suprapus peste aceasta, poate genera şi erori. Aceste erori devin critice în momentul în care semnalul care reprezintă informaţia utilă are o variaţie comparabilă ca mărime cu variaţia zgomotului. Un exemplu de semnal a cărui variaţie este extrem de redusă este semnalul EKG, care furnizează în sistemele medicale informaţii despre bătăile inimii. În acest caz, variaţia semnalului este de aproximativ **1[mV]**, iar zgomotul este mult mai mare.

Amplificatoarele prezentate în cursul precedent (amplificatorul neinversor, respectiv inversor) nu sunt capabile să separe semnalul util de zgomot în semnalul preluat la intrarea amplificatorului respectiv. Din acest motiv, sunt necesare alte tipuri de amplificatoare şi anume amplificatoare diferenţiale, sau, ca variante mai performante, amplificatoare în punte.

**1. Amplificatorul diferenţial**

Amplificatorul diferenţial este un circuit de amplificare special, care se caracterizează prin faptul că amplifică semnalele care reprezintă informaţia utilă şi nu amplifică zgomotele: se spune că amplificatorul rejectează zgomotele. Astfel, amplificatorul diferenţial este extrem de util în aplicaţiile în care semnalele care transportă informaţia utilă sunt caracterizate de o variaţie redusă, peste care se suprapun zgomote.

Circuitul are 2 intrări, schema sa electronică fiind prezentată în Figura 2. Pentru funcţionarea corectă a circuitului, care constă în amplificarea semnalelor utile şi rejecţia zgomotelor, rezistoarele $\mathbf{R_A}$ şi $\mathbf{R_B}$ ale circuitului trebuie să fie astfel alese, încât să respecte condiţia următoare:

$$R_A = R \quad si \quad R_B = R_F$$

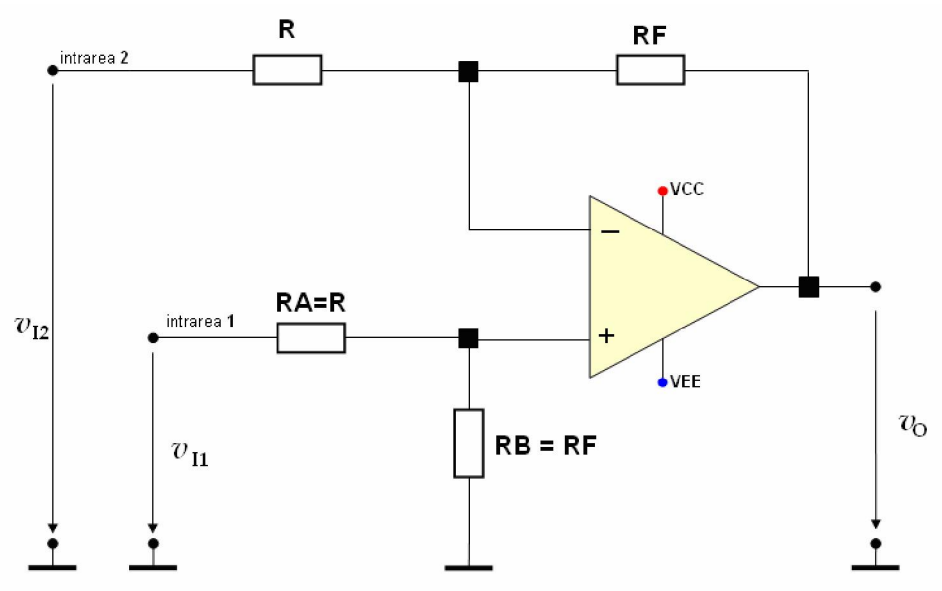



Figura 2. Amplificatorul diferenţial.

**Rezistenţa de intrare**

Se poate demonstra, prin procedeul indicat la amplificatorul neinversor, că rezistenţa de intrare a intrării **1** are valoarea:

$$R_{i1} = R$$

iar rezistenţa de intrare a intrării **2** are valoarea:

$$R_{i2} = R_A + R_B$$

După cum se observă, rezistenţele de intrare au valori care depind de rezistenţele rezistoarelor circuitului; dacă aceste rezistenţe nu au valori mari, atunci, la conectarea amplificatorului diferenţial la circuitele externe, este posibil ca la cele 2 intrări să existe pierderi de tensiune. Ţinând cont că în multe aplicaţii, tensiunile de intrare ale amplificatorului diferenţial au variaţii de valori mici, aceste pierderi de tensiune devin critice, iar acest aspect constituie un dezavantaj major al amplificatorului diferenţial. Soluţia la această problemă constă în conectarea unor amplificatoare repetoare la intrările amplificatorului diferenţial, cu scopul adaptării rezistenţelor de intrare la circuitele externe, aşa cum se va prezenta în următorul circuit diferenţial.

**Rezistenţa de ieşire**

Se poate demonstra prin procedeul indicat la amplificatorul neinversor că, rezistenţa de ieşire a amplificatorului diferenţial are valoarea **0**, ceea ce elimină pierderile de tensiune la conectarea amplificatorului diferenţial la circuitele externe.

$$R_o = 0$$

**Amplificarea în tensiune**

Diferenţa dintre cele 2 tensiuni de intrare $\mathbf{v_{I1}}$-$\mathbf{v_{I2}}$ se notează cu $\mathbf{v_{ID}}$ şi se numeşte **tensiune de intrare diferenţială,** iar raportul dintre tensiunea de ieşire $\mathbf{v_O}$ şi tensiunea de intrare diferenţială $\mathbf{v_{ID}}$ determină **factorul de amplificare în tensiune** şi se notează cu $\mathbf{A_V}$:

$$A_V = \frac{v_O}{v_{ID}} \qquad 2$$

unde

$$v_{ID} = v_{I1} - v_{I2}$$

În urma calculelor (ţinând cont de faptul că s-a considerat $\mathbf{R_A}$=$\mathbf{R}$ şi $\mathbf{R_B}$=$\mathbf{R_F}$, rezultă că tensiunea de ieşire $\mathbf{v_O}$ se poate calcula în funcţie de tensiunile de intrare $\mathbf{v_{I1}}$ şi $\mathbf{v_{I2}}$, cu relaţia de mai jos:

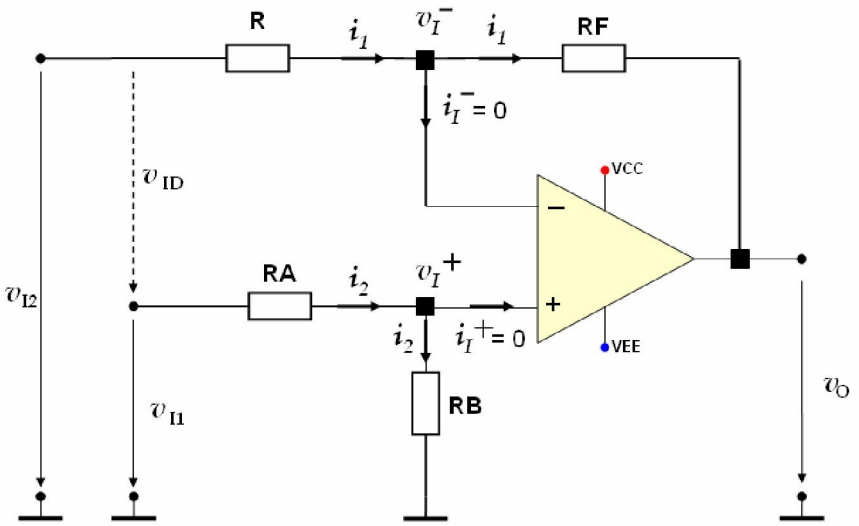
$$\boxed{v_O = \frac{R_F}{R} \cdot (v_{I1} - v_{I2})} \qquad 3$$

Din relaţia de mai sus, se constată că factorul de amplificare în tensiune este:

$$\boxed{A_V = \frac{R_F}{R}} \qquad 4$$

iar circuitul generează la ieşire o tensiune direct proporţională cu diferenţa dintre cele 2 tensiuni de intrare.

În continuare, pe circuitul din figura de mai jos, se prezintă modul în care se poate determina relaţia 3.




Circuitul de calcul al factorului de amplificare în tensiune pentru modul diferenţial de lucru al amplificatorului diferenţial.

**1**. se determină curenţii prin rezistoarele circuitului: mai întâi se notează cu $\mathbf{i_1}$ curentul prin **R** şi cu $\mathbf{i_2}$ curentul prin $\mathbf{R_A}$; apoi, se ţine cont de faptul că valorile curenţilor de intrare în AO, $\mathbf{i^-}$ şi $\mathbf{i^+}$ sunt egale cu

zero; rezultă, pe baza TK1 aplicată în nodul la care este conectată intrarea inversoare, respectiv neinversoare a AO-ului, că prin $\mathbf{R_F}$ curentul este tot $\mathbf{i_1}$, iar prin $\mathbf{R_B}$ curentul este tot $\mathbf{i_2}$, respectiv;
**2**. deoarece AO-ul are reacţie negativă (prin $\mathbf{R_F}$), tensiunile de intrare de la cele 2 intrări ale amplificatorului sunt egale:

$$v_I^+ = v_I^-$$

unde $\mathbf{v_I^+}$ este tensiunea din nodul la care este conectată intrarea neinversoare a AO-ului, până la masă**,** iar $\mathbf{v_I^-}$ este tensiunea din nodul la care este conectată intrarea inversoare a AO-ului, până la masă.
**3**. aplicând legea lui Ohm pe toate rezistoarele circuitului rezultă:

$$i_1 = \frac{v_{I2} - v_I^-}{R} \quad si \quad i_1 = \frac{v_I^- - v_O}{R_F} \qquad\qquad i_2 = \frac{v_{I1} - v_I^+}{R_A} \quad si \quad i_2 = \frac{v_I^+ - 0}{R_B}$$

Ţînând cont de egalitatea $v_I^+ = v_I^-$ în relaţiile de mai sus, rezultă că $\mathbf{v_O}$ se poate calcula în funcţie de $\mathbf{v_{I1}}$ şi $\mathbf{v_{I2}}$ cu relaţia:

$$v_O = \left[\left(1 + \frac{R_F}{R}\right) \cdot \left(\frac{R_B}{R_A + R_B}\right) \cdot v_{I1} - \left(\frac{R_F}{R}\right) \cdot v_{I2}\right]$$

Dar, deoarece $\mathbf{R_A=R}$ şi $\mathbf{R_B=R_F}$, rezultă: $v_O = \frac{R_F}{R} \cdot (v_{I1} - v_{I2})$

**Rejecţia zgomotului la ieşirea amplificatorului diferenţial**

În circuitele practice, zgomotele afectează similar canalele de informaţii. Din acest motiv, pentru un amplificator diferenţial, zgomotele afectează în mod similar cele două intrări ale sale. Efectul zgomotelor este modelat printr-o sursă de tensiune $\mathbf{v_Z}$, care se adună la sursa de tensiune care modelează informaţia utilă. În acest caz, tensiunea aplicată pe intrarea **1**, notată de această dată $\mathbf{v_1}$, se reprezintă ca suma dintre tensiunea care reprezintă informaţia utilă, $\mathbf{v_{I1}}$ şi tensiunea de zgomot, $\mathbf{v_Z}$:

$$v_1 = v_{I1} + v_Z$$

iar tensiunea aplicată pe intrarea 2, notată de această dată $\mathbf{v_2}$, se reprezintă ca suma dintre tensiunea care reprezintă informaţia utilă, $\mathbf{v_{I2}}$ şi tensiunea de zgomot, $\mathbf{v_Z}$:

$$v_2 = v_{I2} + v_Z$$

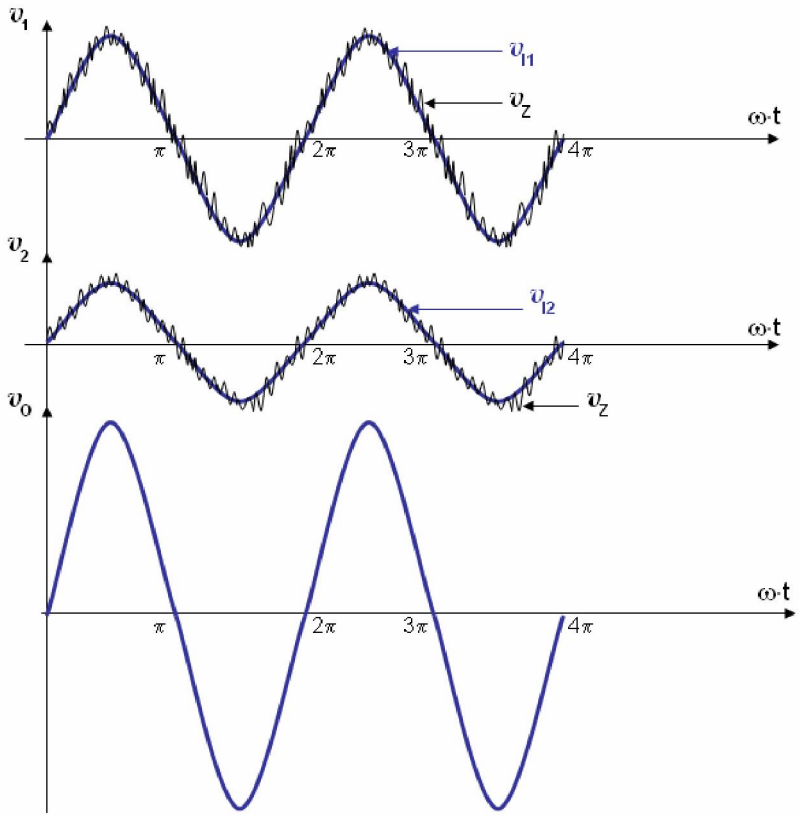
În relaţiile de mai sus, s-a ţinut cont de faptul că zgomotul afectează în mod similar ambele intrări, şi din acest motiv, tensiunea de zgomot este aceeaşi pe ambele intrări.

În acest caz, tensiunea de ieşire a amplificatorului diferenţial are următoarea relaţie:

$$v_O = \frac{R_F}{R} \cdot (v_1 - v_2) = \frac{R_F}{R} \cdot [(v_{I1} + v_Z) - (v_{I2} + v_Z)] = \frac{R_F}{R} \cdot (v_{I1} + v_Z - v_{I2} - v_Z) = \frac{R_F}{R} \cdot (v_{I1} - v_{I2})$$

Aşadar,
$$v_O = \frac{R_F}{R} \cdot (v_{I1} - v_{I2})$$

relaţie din care se observă faptul că semnalul de zgomot nu se regăseşte în tensiunea de ieşire, care reprezintă diferenţa dintre semnalele utile, amplificată cu raportul rezistiv $\mathbf{R_F/R}$. În figura de mai jos se prezintă modul în care zgomotul este rejectat în forma de undă a tensiunii de ieşire.




Eliminarea semnalelor de zgomot din semnalele utile, la ieşirea amplificatorului diferenţial.

Observaţie: Reglarea valorii modulului amplificării în tensiune este dificil de realizat pentru acest circuit. În mod normal, într-un circuit practic, acest tip de reglaj se efectuează prin intermediul unui potenţiometru utilizat în locul rezistorului $\mathbf{R_F}$. Dar, pentru rejecţia zgomotelor, este necesar ca rezistorul $\mathbf{R_B}$ să "urmărească" valorile potenţiometrului, ceea ce este dificil de realizat (aşa cum s-a precizat de la început, $\mathbf{R_B}$ trebuie să fie egal cu $\mathbf{R_F}$ pentru rejecţia zgomotelor).

**2. Amplificatorul de instrumentaţie**

Acest tip de amplificator este unul din cele mai utile, precise şi versatile circuite electronice, utilizat în principal în sistemele de achiziţie de date. Structura amplificatorului de instrumentaţie este prezentată în Figura 3. Se observă că amplificatorul de instrumentaţie are, pe cele 2 intrări ale sale, 2 repetoare de tensiune. Aşa cum s-a precizat în cursul precedent, rezistenţa de intrare a repetoarelor de tensiune este infinită, deci şi amplificatorul de instrumentaţie are rezistenţe de intrare infinite (foarte mari), motiv pentru care nu vor exista pierderi de tensiune la intrările acestui circuit. Totodată, se observă că ieşirile celor 2 repetoare de tensiune sunt conectate la intrările unui amplificator diferenţial. Din acest motiv, toate avantajele specifice amplificatorului diferenţial sunt valabile şi pentru amplificatorul de

instrumentaţie. Deci, amplificatorul de instrumentaţie poate fi utilizat pentru amplificarea semnalelor de variaţie redusă, fiind capabil să rejecteze zgomotul din circuit.

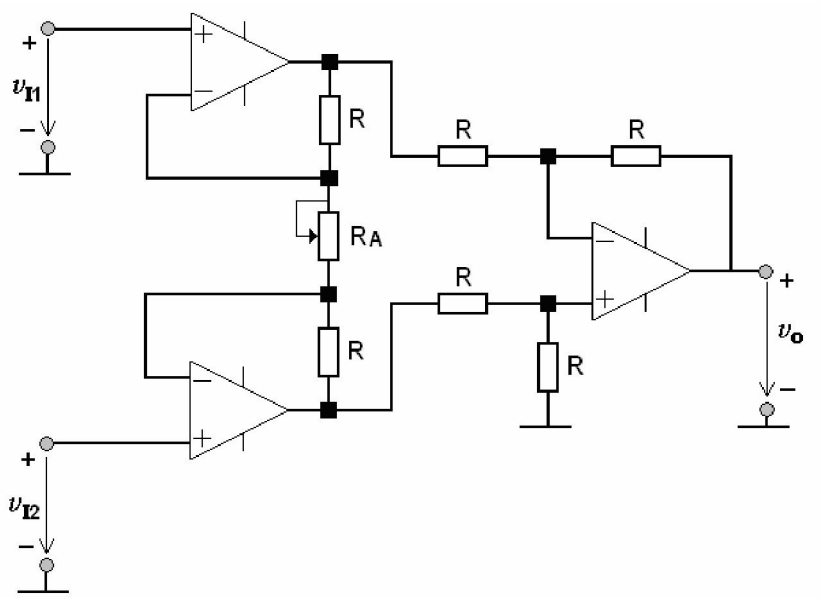



Figura 3. Amplificatorul de instrumentaţie.

Pentru amplificatorul de instrumentaţie, se poate demonstra că tensiunea de ieşire a amplificatorului depinde de tensiunile de intrare conform relaţiei

$$v_O = \left(1 + 2 \cdot \frac{R}{R_A}\right) \cdot (v_{I1} - v_{I2}) \qquad 5$$

de unde, factorul de amplificare în tensiune este

$$A_V = +\left(1 + 2 \cdot \frac{R}{R_A}\right) \qquad 6$$

Doarece $\mathbf{R_A}$ este potenţiometru, rezultă că valoarea factorului de amplificare în tensiune se poate regla foarte uşor, deoarece cele 2 rezistenţe electrice **R** şi $\mathbf{R_A}$ nu trebuie să îndeplinească nicio condiţie specială, în scopul rejecţiei semnalelor din circuit.

**3. Amplificatoare în punte**

Amplificatoarele diferenţiale sunt utilizate şi pentru construirea unei clase speciale de circuite, larg utilizate în sistemele electronice de măsură, denumite amplificatoare în punte. Acest tip de amplificatoare sunt utilizate pentru, măsurarea/determinarea valorii mărimii electrice generate la ieşirea unui traductor, care, în acest caz reprezintă un dispozitiv care realizează conversia variaţiei unei mărimi fizice a mediului ambiant într-o variaţie $\Delta\mathbf{R}$ a unei rezistenţe. De exemplu, termistorul este un traductor a cărui rezistenţă variază atunci când temperatura mediului în care lucrează circuitul electronic variază. De asemenea, o celulă fotoconductivă reprezintă un traductor a cărei rezistenţă variază în funcţie de intensitatea luminoasă.

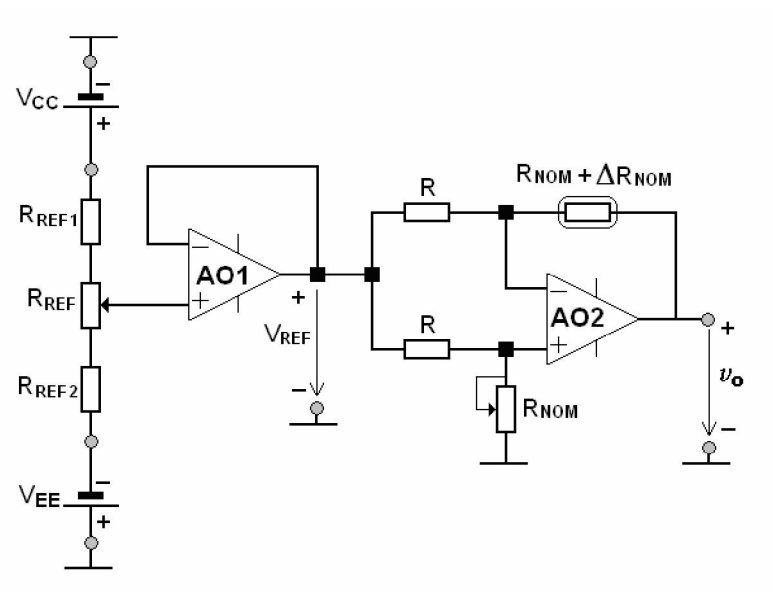



Figura 4. Amplificatorul în punte.

Structura amplificatorului în punte este prezentată în Figura 4, în care traductorul este reprezentat prin intermediul unei rezistenţe nominale $\mathbf{R_{NOM}}$, sumată cu variaţia acesteia $\Delta\mathbf{R_{NOM}}$, unde $\mathbf{R_{NOM}}$ reprezintă valoarea nominală a rezistenţei traductorului (valoarea acestei rezistenţe în absenţa mărimii fizice monitorizate), iar $\Delta\mathbf{R_{NOM}}$ reprezintă variaţia rezistenţei nominale $\mathbf{R_{NOM}}$, cauzată de variaţia mărimii fizice monitorizate.

Primul amplificator operaţional, notat AO1, formează, împreună divizorul rezistiv compus din rezistoarele $\mathbf{R_{REF1}}$, $\mathbf{R_{REF2}}$ şi potenţiometrul $\mathbf{R_{REF}}$, o referinţă de tensiune. Referinţa de tensiune reprezintă o sursă de tensiune continuă şi este necesară pentru funcţionarea punţii amplificatorului. Puntea amplificatorului este compusă din rezistenţa traductorului, precum şi din rezistoarele **R** şi potenţiometru $\mathbf{R_{NOM}}$.

Referinţa de tensiune trebuie să genereze la bornele sale de ieşire o tensiune de referinţă $\mathbf{V_{REF}}$, a cărei valoare să nu depindă de circuitul extern, conectat la bornele sursei respective. Pentru satisfacerea acestei condiţii, este necesar ca sursa de tensiune să aibă o rezistenţă de ieşire foarte mică (în acest caz, mai mică decât valoarea $\mathbf{R_{NOM}}$ a traductorului), ideal de valoare zero. Din acest motiv, amplificatorul operaţional AO1 este conectat în circuit, îndeplinind rolul de repetor de tensiune. Rezistenţa de ieşire a referinţei de tensiune este chiar rezistenţa de ieşire a repetorului de tensiune, care, aşa cum s-a arătat în cursul precedent, are valoare zero. Totodată, datorită faptului că rezistenţa de intrare a repetorului de tensiune este infinită, valoarea tensiunii generate la bornele de ieşire ale sursei depinde numai de valorile elementelor $\mathbf{R_{REF1}}$, $\mathbf{R_{REF2}}$ şi poziţia cursorului $\mathbf{R_{REF}}$.

Se poate demonstra că valoarea tensiunii generate la bornele de ieşire ale sursei de tensiune $\mathbf{V_{REF}}$ poate fi reglată în domeniul de valori:

$$V_{REF} \in \left[ -\frac{R_{REF} + R_{REF1}}{R_{REF} + R_{REF1} + R_{REF2}} \cdot V_{EE} \quad \div \quad \frac{R_{REF} + R_{REF2}}{R_{REF} + R_{REF1} + R_{REF2}} \cdot V_{CC} \right]$$

Pentru amplificatorul în punte, se poate demonstra că tensiunea de la ieşirea acestuia $\mathbf{v_o}$ este direct proporţională cu variaţia $\Delta\mathbf{R_{NOM}}$ a rezistenţei traductorului:

$$v_O = -\frac{V_{REF}}{R_{NOM} + R} \cdot \Delta R_{NOM}$$

de unde rezultă că acest circuit măsoară, prin intermediul variaţiei $\Delta\mathbf{R_{NOM}}$, variaţia mărimii fizice monitorizate. În cazul în care rezistenţa traductorului se află exact la valoarea nominală $\mathbf{R_{NOM}}$, se spune că sistemul de măsură, amplificatorul în acest caz, se află într-o stare de echilibru. La echilibru, $\Delta\mathbf{R_{NOM}}$ este zero, iar tensiunea de ieşire $\mathbf{v_O}$ a amplificatorului are valoarea zero volţi. Amplificatorul sesizează şi măsoară ieşirea sistemului de măsură din această stare de echilibru, deoarece numai în acest caz $\Delta\mathbf{R_{NOM}}$ este diferită de zero.

Modul de utilizare al acestui circuit implică realizarea unui reglaj pentru calibrare, înainte de oricare operaţiune de măsurare şi anume, care presupune operaţiile:

1. plasarea traductorului în mediul în care se urmăreşte monitorizarea unei mărimi electrice.
2. ajustarea poziţiei cursorului potenţiometrului $\mathbf{R_{NOM}}$ până când valoarea tensiunii de ieşire $\mathbf{v_O}$ este zero.

Revenind la amplificatorul în punte, în unele aplicaţii este necesar ca traductorul să fie conectat la masa circuitului. În acest caz, rezultă varianta de amplificator în puncte prezentată în Figura 5, unde sursa de tensiune continuă $\mathbf{V_{REF}}$ se poate construi ca în Figura 4.

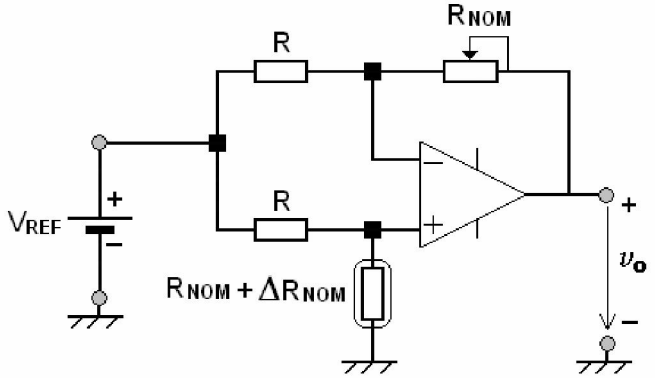



Figura 5. Amplificatorul în punte – varianta cu traductor conectat la masa circuitului.

Pentru această variantă de amplificator, se poate demonstra că ecuaţia de funcţionare este următoarea:

$$v_O = -\frac{V_{REF}}{R_{NOM} + R} \cdot \Delta R_{NOM}$$

Din relaţia de mai sus se observă că tensiunea de ieşire $\mathbf{v_O}$ depinde neliniar de variaţia rezistenţei traductorului $\Delta\mathbf{R_{NOM}}$.

În multe aplicaţii, pentru prelucrarea mai simplă a informaţiilor, sunt utilizate circuite de liniarizare.

**III. Circuitul de integrare (integratorul).**
Schema electronică a circuitul de integrare este prezentată în Figura 6. Comportamentul acestui circuit depinde de parametrul său, denumit constantă de timp, definit conform următoarei relaţii:

$$\boxed{\tau = R \cdot C}$$

constanta de timp a circuitului

Funcţionarea circuitului de integrare depinde de perioada tensiunii aplicate la intrarea sa. Astfel, dacă perioada **T** a tensiunii de intrare $\mathbf{v_I}$ este mai mare decât valoarea lui τ, tensiunea de ieşire $\mathbf{v_O}$ este direct proporţională cu integrala tensiunii de intrare $\mathbf{v_I}$, calculată pe domeniul de integrare **[0, t]**, de unde şi denumirea de circuit de integrare:

$$\boxed{v_O(t) = V_C(0) + \frac{1}{R \cdot C} \cdot \int_0^t v_I(t)dt}$$

ecuaţia de funcţionare a circuitului de integrare, dacă **T** > τ

unde $\mathbf{V_C(0)}$ reprezintă valoarea tensiunii pe condensatorul **C** la momentul iniţial de timp **t = 0.** Dacă perioada **T** a tensiunii de intrare $\mathbf{v_I}$ este mai mică decât constanta de timp a circuitului, **T** < τ, atunci efectul de integrare introdus de către circuit se pierde, iar tensiunea de ieşire tinde **0**.

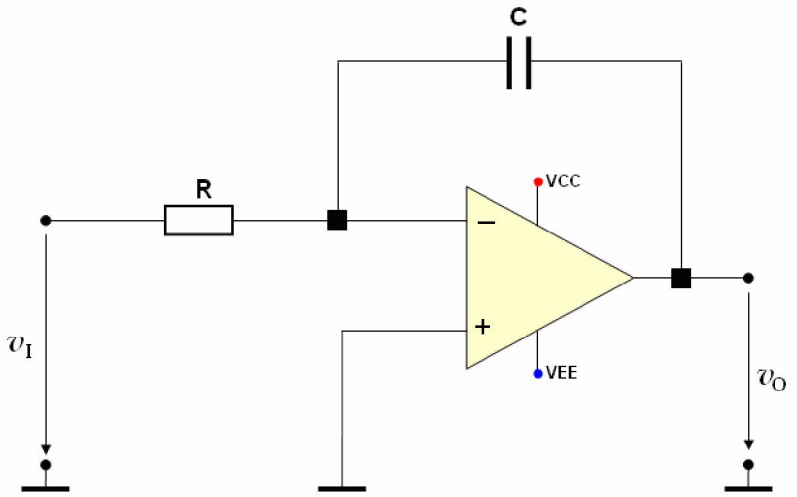



Figura 6. Circuitul integrator.

Circuitul integrator este utilizat pentru generarea semnalelor triunghiulare, dar şi în filtre active de tensiune.

**IV. Circuitul de derivare (derivatorul).**
Schema electronică a circuitul de derivare este prezentată în Figura 7. Comportamentul acestui circuit depinde de parametru său, denumit constantă de timp, definit conform următoarei relaţii:

$$\boxed{\tau = R \cdot C}$$

constanta de timp a circuitului

Funcţionarea circuitului de derivare depinde de perioada tensiunii aplicate la intrarea sa. Astfel, dacă perioada **T** a tensiunii de intrare $\mathbf{v_I}$ este mai mică decât valoarea lui $\tau$, tensiunea de ieşire $\mathbf{v_O}$ este direct proporţională cu derivata tensiunii de intrare $\mathbf{v_I}$, calculată pe domeniul de integrare **[0, t]**, de unde şi denumirea de circuit de derivare:

$$\boxed{v_O(t) = -R \cdot C \cdot \frac{dv_I}{dt}}$$

ecuaţia de funcţionare a circuitului de derivare, dacă $\mathbf{T} < \tau$

Dacă perioada **T** a tensiunii de intrare $\mathbf{v_I}$ este mai mare decât constanta de timp a circuitului, $\mathbf{T} > \tau$, atunci efectul de derivare introdus de către circuit se pierde, iar tensiunea de ieşire tinde la **0**.

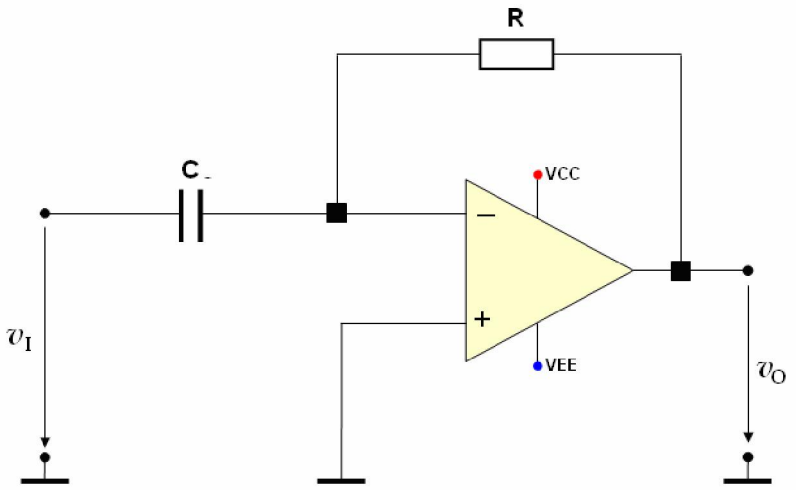



Figura 7. Circuitul derivator.

Circuitul derivator este utilizat în filtre active de tensiune.