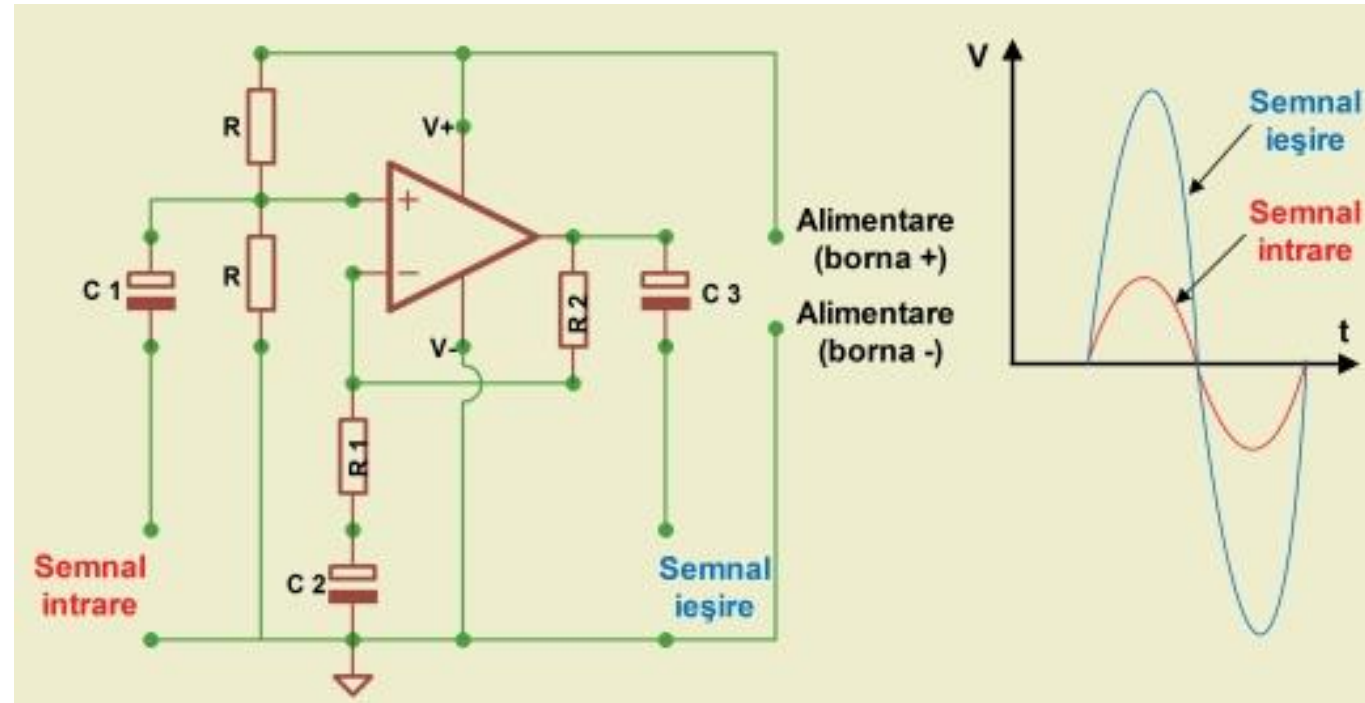


DISPOZITIVE ELECTRONICE ÎN ELECTRONICA APLICATĂ

Tema 13: AMPLIFICATOARE ELECTRONICE, DIFERENȚIALE ȘI OPERATIONALE



Amplificatorare electronice

Amplificator este termenul generic folosit pentru a descrie un circuit care produce și crește versiunea semnalului său de intrare. Dar, nu toate circuitele amplificatoare sunt la fel, deoarece sunt clasificate conform configurațiilor lor de circuit și modurile de funcționare.

În "Electronică", amplificatoarele de semnal mici sunt dispozitive utilizate în mod obișnuit deoarece au abilitatea de a amplifica un semnal de intrare relativ mic, de exemplu de la un *senzor*, cum ar fi un foto-dispozitiv, într-un semnal de ieșire mult mai mare pentru a comanda un releu, lampă, difuzor, de exemplu.

Există multe forme de circuite electronice clasificate ca amplificatoare, de la amplificatoare operaționale și amplificatoare de semnal mici până la amplificatoare de semnal mare și de putere. Clasificarea unui amplificator depinde de mărimea semnalului, mare sau mic, configurația sa fizică și modul în care procesează semnalul de intrare, adică relația dintre semnalul de intrare și curentul care circulă în sarcină.

Clasificarea amplificatorului de semnal

- **După natura semnalului amplificat:**
 - amplificatoare de tensiune
 - amplificatoare de curent
 - amplificatoare de putere
- **După tipul elementelor active folosite:**
 - cu tranzistoare
 - cu circuite integrate (operaționale)
 - magnetice
- **După banda de frecvență a semnalului amplificat:**
 - amplificatoare de curent continuu - amplifică frecvențe foarte mici
 - de audiofrecvență (joasă frecvență) $f=20\text{Hz}\dots 20\text{kHz}$
 - de radiofrecvență (întă frecvență) $f=20\text{kHz}\dots 30\text{MHz}$
 - de foarte înaltă frecvență $f=30\text{MHz}\dots 300\text{MHz}$
- **După lățimea benzii de frecvență:**
 - o de bandă îngustă $f=9\text{kHz}\dots 30\text{kHz}$
 - o de bandă largă (videofrecvență) $f=5\text{Hz}\dots 5\text{MHz}$
- **După tipul cuplajului folosit între etaje:**
 - o cu cuplaj RC
 - o cu circuite acordate
 - o cu cuplaj prin transformator
 - o cu cuplaj rezistiv (amplificatoare de curent continuu)

Clasificarea amplificatorului de semnal

Tip de semnal	Tip de configurare	Clasificare	Frecvența funcționării
Semnal mic	Emitor comun	Amplificator de clasă A	Curent direct (DC)
Semnal mare	Bază comună	Amplificator de clasă B	Frecvențe audio (AF)
	Colector comun	Amplificator de clasă AB	Frecvențe radio (RF)
		Amplificator de clasă C	Frecvențele VHF, UHF și SHF

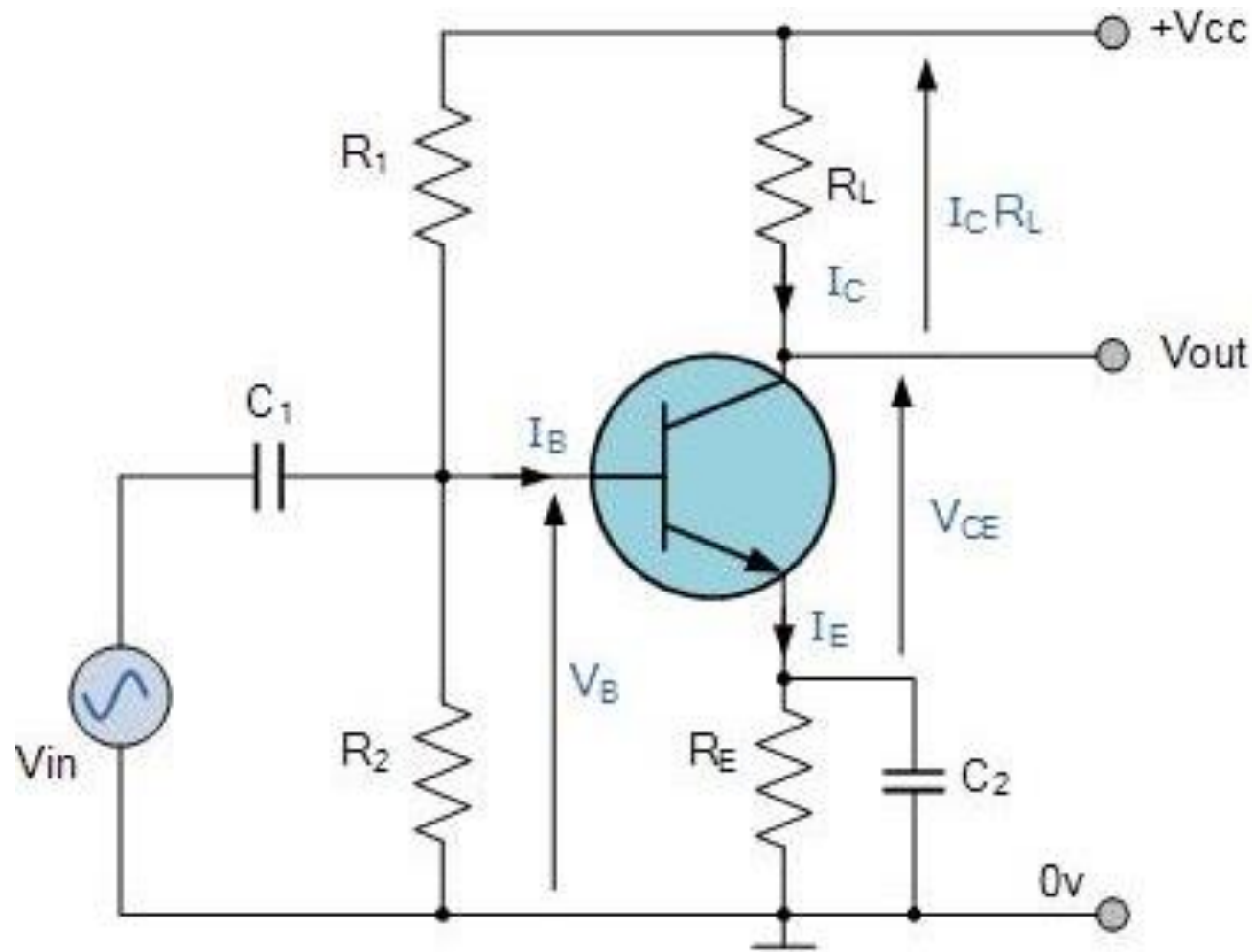
CONSTRUCȚIA AMPLIFICATORULUI CU TRANZISTOARE

Amplificatorul electronic – este un cuadripol (circuit electronic prevăzut cu o poartă de intrare și o poartă de ieșire), care are rolul de a dezvolta în circuitul de ieșire o putere mai mare decât cea din circuitul de intrare, fără a distorsiona (modifica) forma semnalului amplificat.

Un amplificator de semnal mic cu tranzistoare bipolare poate avea unul sau mai multe etaje.

- **Tranzistorul** – este elementul principal al etajului de amplificare și reprezintă elementul de amplificare.
- **Rețea de rezistoare** - care polarizează tranzistorul în curent continuu.
- **Elemente de cuplaj și separare galvanică** – se află la intrarea și ieșirea unui etaj de amplificare și au rolul de a separa semnalul de curent alternativ care trebuie amplificat, de componenta de curent continuu care polarizează tranzistorul amplificatorului. Cele mai utilizate elemente de cuplaj și separare sunt condensatoarele.

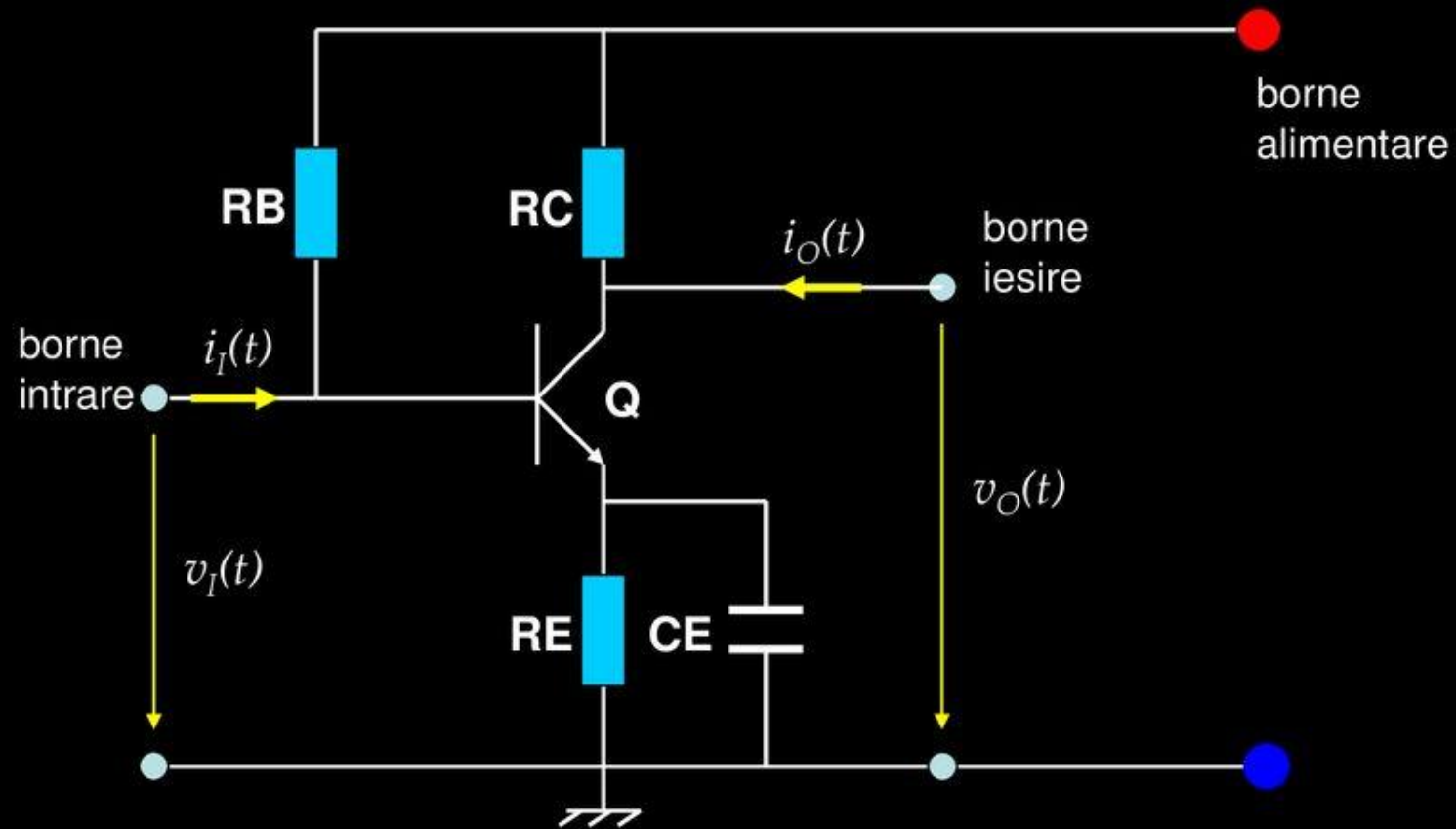
CONSTRUCȚIA AMPLIFICATORULUI CU TRANZISTOARE



Amplificatoare de semnal mic cu tranzistoare bipolare

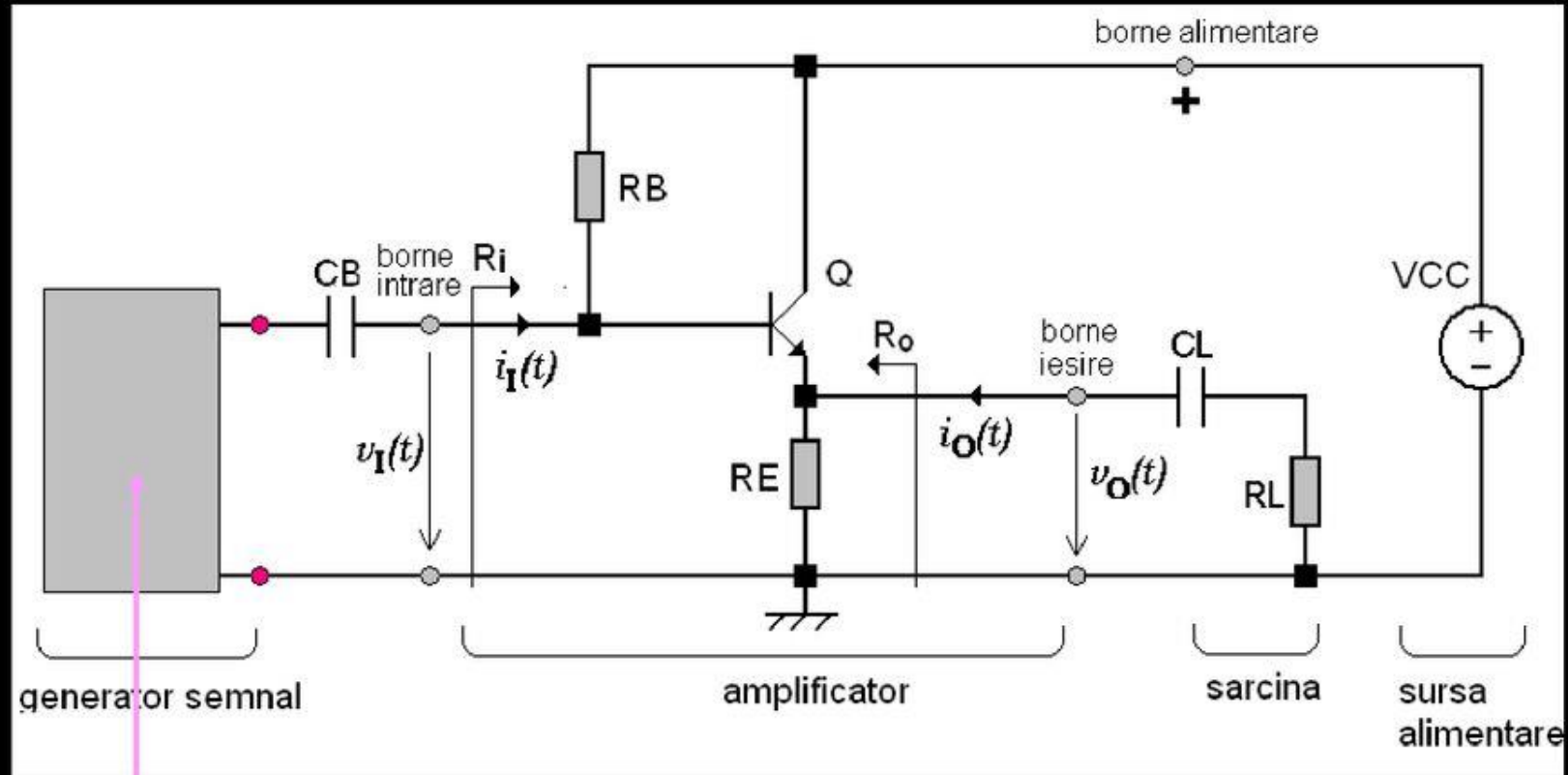
- Tipuri de amplificatoare cu tranzistoare bipolare:
 - etaj de amplificare în conexiunea EMITOR COMUN:
 - Varianta cu condensator in emitor
 - Varianta fara condensator in emitor
 - etaj de amplificare în conexiunea COLECTOR COMUN
 - etaj de amplificare în conexiunea BAZĂ COMUNĂ

Schema electrica a etajului de amplificarea cu TB în conexiunea EC



1. Bornele de alimentare: se aplică sursa de tensiune continuă, necesară furnizării energiei electrice circuitului
2. Bornele de intrare: se aplică semnalul de intrare = informația
3. Bornele de ieșire: se furnizează semnalul de ieșire = informația amplificată

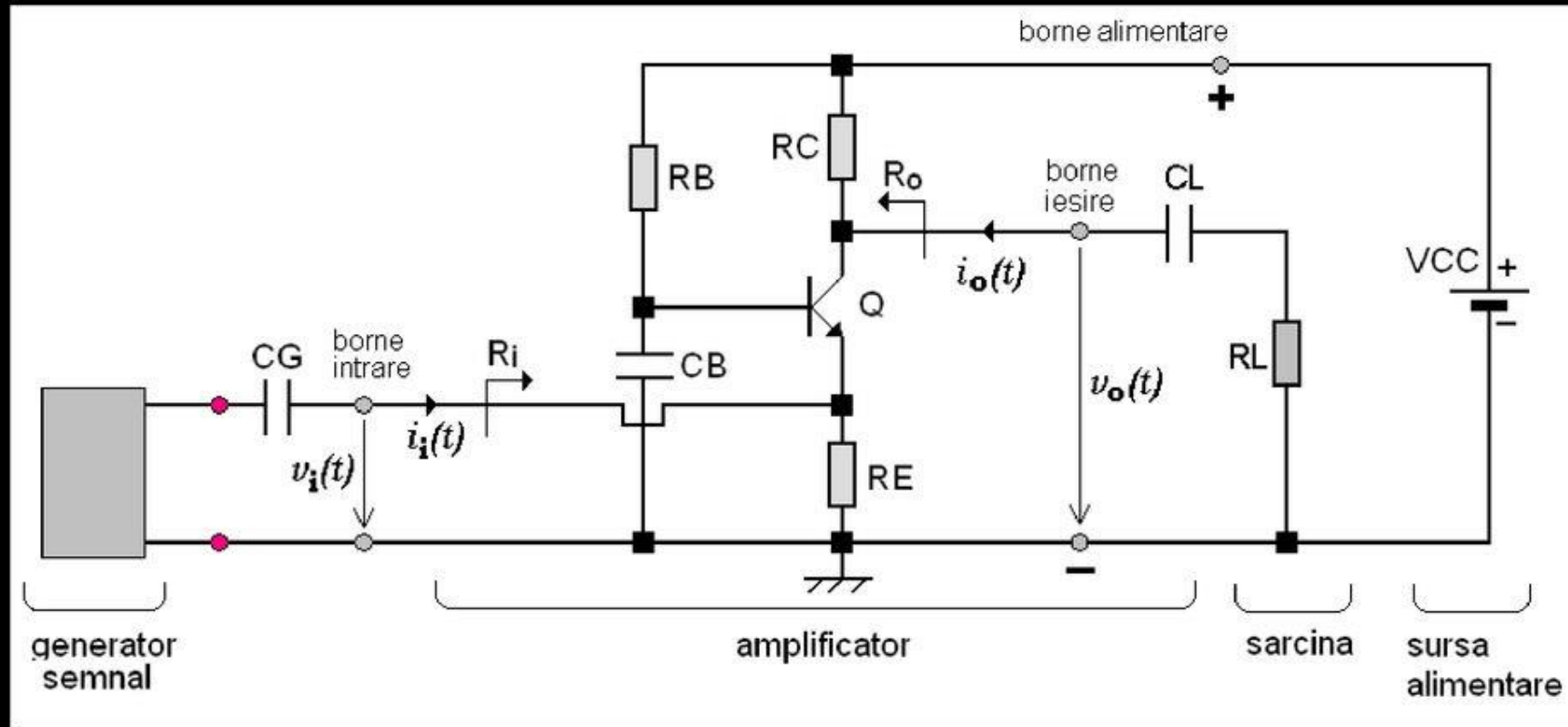
Schema electrica a amplificatorului cu TB în conexiunea CC conectat la circuitele externe – pe aceasta schema se calculeaza amplificarea reala precum si pierderile de semnal



generator de tensiune: daca marimea electrica de intrare de interes este tensiunea

generator de curent: daca marimea electrica de intrare de interes este curentul electric

**Schema electrica a amplificatorului cu TB în conexiunea BC
conectat la circuitele externe – pe aceasta schema se calculeaza
amplificarea reala precum si pierderile de semnal**

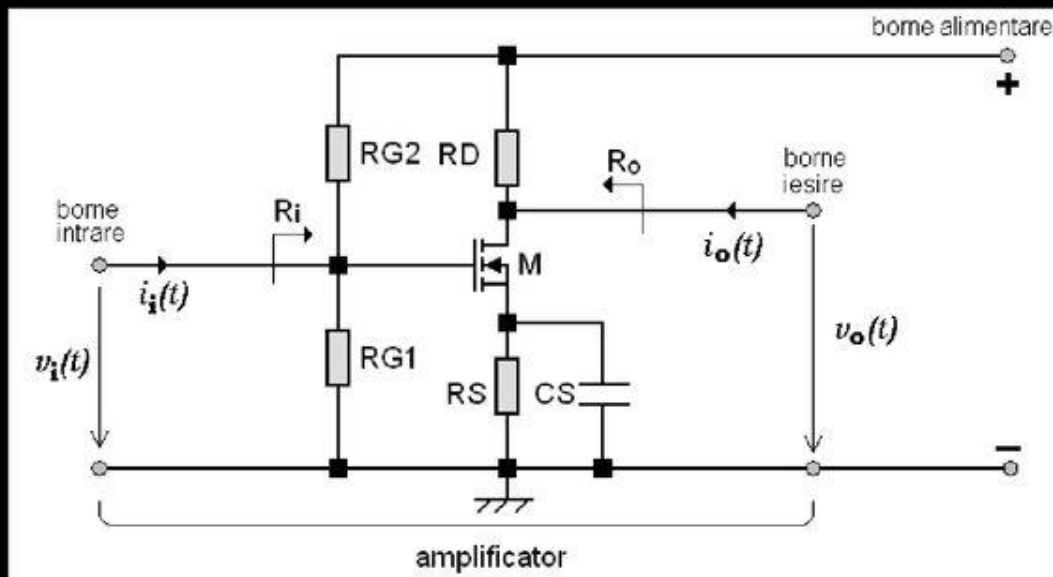


Amplificatoare cu tranzistoare MOS

Tipuri de amplificatoare de semnal mic cu tranzistoare MOS

- etaj de amplificare în conexiunea SURSĂ COMUNĂ
 - cu condensator în sursă
 - fără condensator în sursă
- etaj de amplificare în conexiunea DRENĂ COMUNĂ
- etaj de amplificare în conexiunea GRILĂ COMUNĂ

Schema electrica si relatiile de calcul ale etajului de amplificarea cu tranzistor MOS în conexiunea SC



Punctul static de funcționare

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 \rightarrow 1. \quad V_{GS} = \dots > V_{TH}$$

$$V_{GS} + I_D \cdot R_S - V_{GG} = 0 \quad 2. \quad I_D = \dots$$

$$V_{GG} = \frac{R_{G1}}{R_{G1} + R_{G2}} \cdot V_{DD}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot (R_D + R_S)$$

verificarea funcționării MOS în reg. saturație

$$V_{GS} > V_{TH} \quad \text{si} \quad V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$$

Parametrii de semnal mic ai amplificatorului:

$$R_i = R_G \quad \text{unde} \quad R_G = \frac{R_{G1} \cdot R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} \quad \text{valoare medie} = \text{zeci k}\Omega$$

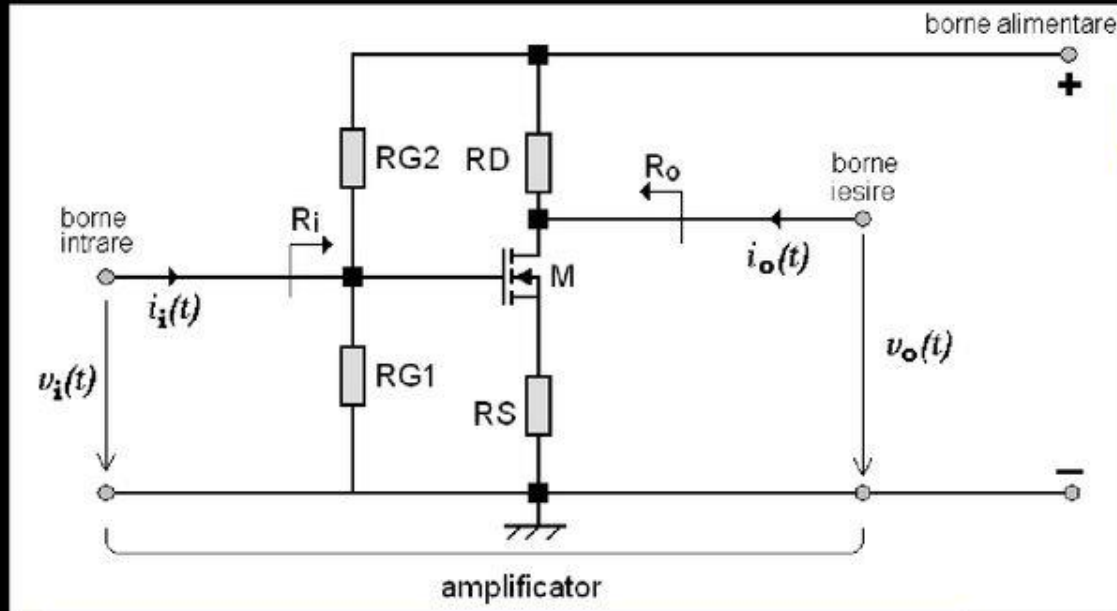
$$R_o = R_D \quad \text{valoare medie} = \text{k}\Omega$$

$$A_V = -g_m \cdot R_D \quad \text{amplificare mare; defazaj } 180^\circ$$

$$A_I = g_m \cdot R_G \quad \text{amplificare mare; defazaj } 0^\circ$$

unde: $g_m = 2 \cdot \sqrt{k \cdot I_D}$

Schema electrica si relatiile de calcul ale etajului de amplificarea cu tranzistor MOS în conexiunea SC fara condensator in sursa



Punctul static de funcționare

identic ca pentru primul amplificator

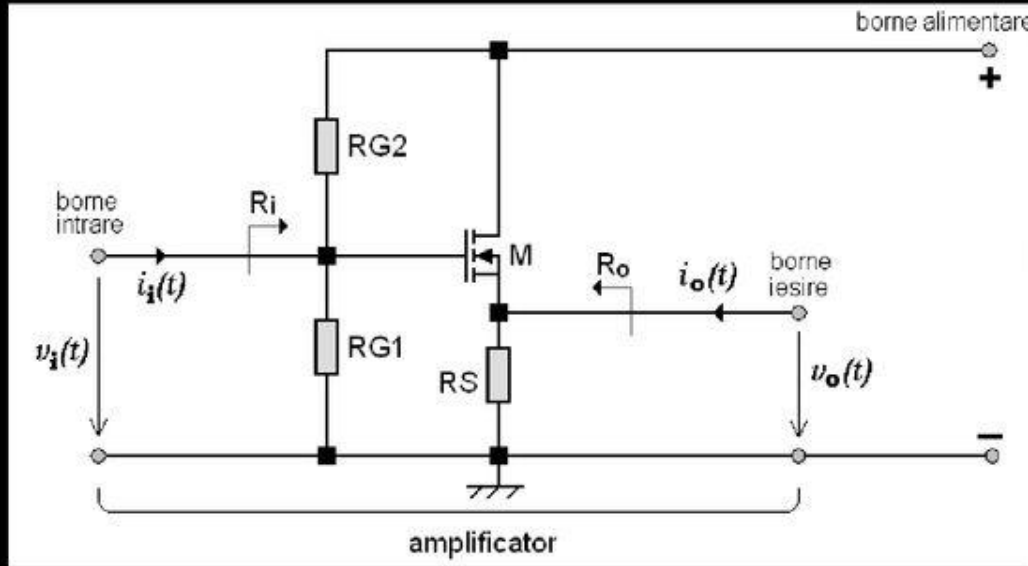
Parametrii de semnal mic ai amplificatorului

$$R_i = R_G \quad \text{unde} \quad R_G = \frac{R_{G1} \cdot R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} \quad \text{valoare medie} = \text{zeci k}\Omega$$

$$R_o = R_D \quad \text{valoare medie} = \text{k}\Omega$$

$$A_V = -\frac{R_D}{R_S} \quad \text{amplificare mică; defazaj } 180^\circ$$

Schema electrica si calculele etajului de amplificarea cu tranzistor MOS în conexiunea DC



Parametrii de semnal mic

$$R_i = R_G \quad \text{unde} \quad R_G = \frac{R_{G1} \cdot R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} \quad \text{valoare medie} \\ = \text{zeci k}\Omega$$

$$R_o = \frac{1}{g_m + \frac{1}{R_S}} \quad \text{valoare mică} = \text{zeci } \Omega$$

$$A_V = 1 \quad \text{nu amplifică; defazaj } 0^\circ$$

$$A_I = -g_m \cdot R_G \quad \text{amplificare mare; defazaj } 180^\circ$$

$$g_m = 2 \cdot \sqrt{k \cdot I_D}$$

Punctul static de funcționare

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 \quad \rightarrow \quad 1. \quad V_{GS} = \dots$$

$$V_{GS} + I_D \cdot R_S - V_{GG} = 0 \quad 2. \quad I_D = \dots$$

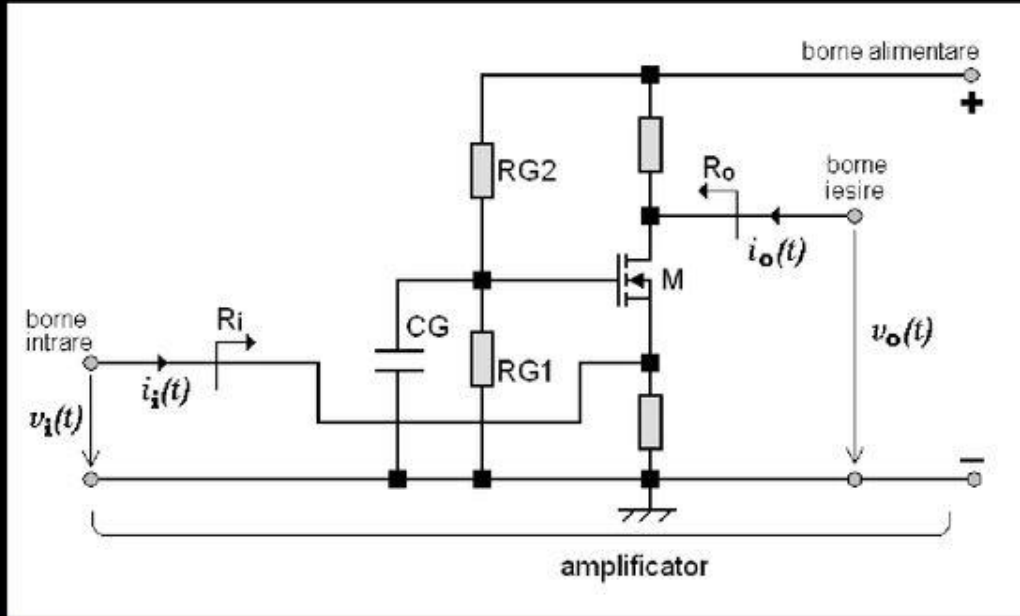
$$V_{GG} = \frac{R_{G1}}{R_{G1} + R_{G2}} \cdot V_{DD}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_S$$

verificarea funcționării MOS în reg. saturație

$$V_{GS} > V_{TH} \quad \text{si} \quad V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$$

Schema electrica si relatiile de calcul ale etajului de amplificarea cu tranzistor MOS în conexiunea GC



Punctul static de funcționare

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 \rightarrow 1. \ V_{GS} = \dots$$

$$V_{GS} + I_D \cdot R_S - V_{GG} = 0 \rightarrow 2. \ I_D = \dots$$

$$V_{GG} = \frac{R_{G1}}{R_{G1} + R_{G2}} \cdot V_{DD}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot (R_D + R_S)$$

verificarea funcționării MOS în reg. saturație

$$V_{GS} > V_{TH} \quad \text{si} \quad V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$$

Parametrii de semnal mic

$$R_i = \frac{1}{g_m + \frac{1}{R_S}}$$

valoare mică = zeci Ω

$$R_o = R_D$$

valoare medie = k Ω

$$A_V = g_m \cdot R_D$$

amplificare mare; defazaj 0°

$$A_I = -\frac{g_m}{g_m + \frac{1}{R_S}}$$

nu amplifică; defazaj 180°

$$g_m = 2 \cdot \sqrt{k \cdot I_D}$$

AMPLIFICATOARE DE PUTERE

Amplificatoarele de putere sunt amplificatoare de semnal mare (semnalele utilizate au valori mult mai mari decât a amplificatoarelor de semnal mic).

La aceste amplificatoare accentul se pune pe amplificarea puterii.

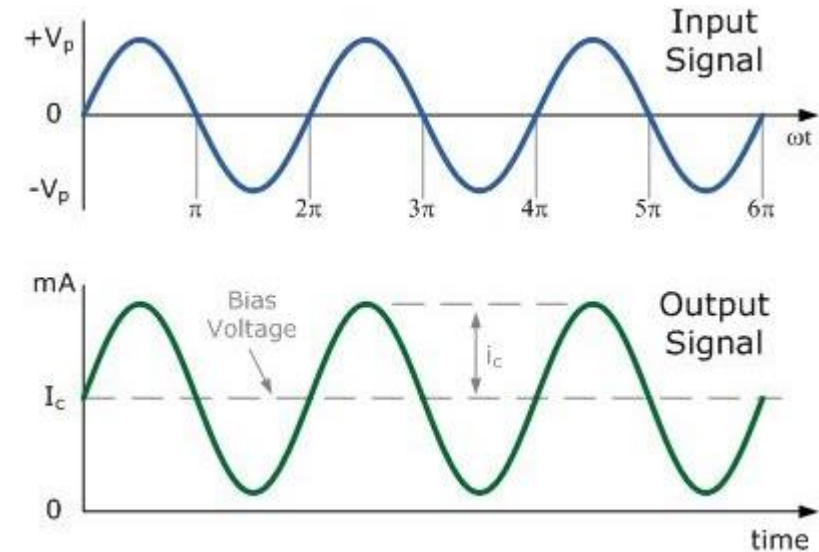
Amplificatoarele de putere se utilizează ca etaj final al receptoarelor sau emițătoarelor de telecomunicații, asigurând semnale de putere către difuzoare sau către antenele de emisie.

În funcție de timpul din cadrul unei perioade complete a semnalului alternativ în care amplificatorul funcționează în regiunea liniară, amplificatoarele de putere se împart în mai multe categorii:

- **Amplificatoare în clasă A** – funcționează în regiunea liniară pe întreaga perioadă de 360° a semnalului de intrare
- **Amplificatoare în clasă B** – funcționează în regiunea liniară într-un interval de 180° al perioadei semnalului de intrare
- **Amplificatoare în clasă AB** – funcționează în regiunea liniară într-un interval puțin peste 180° al perioadei semnalului de intrare
- **Amplificatoare în clasă C** – funcționează în regiunea liniară într-un interval mult mai mic de 180° al perioadei semnalului de intrare

Operarea amplificatorului clasa A

- Operarea **amplificatorului clasa A** este în cazul în care întreaga formă de undă a semnalului de intrare este reprodusă cu fidelitate la ieșirea amplificatorului, deoarece tranzistorul este perfect polarizat în regiunea sa activă, astfel încât niciodată nu atinge nici una din regiunile sale de tăiere sau de saturație. Aceasta înseamnă că semnalul de intrare AC este perfect "centrat" între limitele de semnal superioare și inferioare ale amplificatorului, după cum se arată.

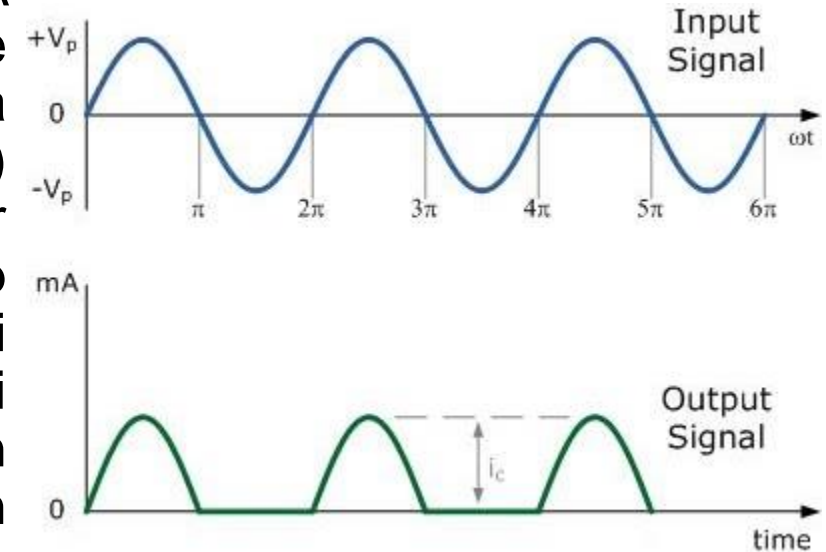


În această configurație, amplificatorul clasă A utilizează același tranzistor pentru ambele jumătăți ale formei de undă de ieșire și datorită aranjamentului său de polarizare, tranzistorul de ieșire are întotdeauna curent care trece prin el, chiar dacă nu există semnal de intrare. Cu alte cuvinte, tranzistorul de ieșire nu comută niciodată "OFF". Acest lucru are ca rezultat faptul că tipul de operare clasă A este foarte ineficient, deoarece convertirea puterii de alimentare DC la puterea semnalului AC livrată la sarcină este de obicei foarte scăzută.

În general, tranzistorul de ieșire al unui amplificator clasă A devine foarte fierbinte chiar și atunci când nu există semnal de intrare, astfel încât este necesară o anumită formă de radiator de căldură. Curentul direct care curge prin tranzistorul de ieșire (I_c) atunci când nu există semnal de ieșire va fi egal cu curentul care trece prin sarcină. Deci, un amplificator clasă A este foarte ineficient, deoarece majoritatea puterii DC este convertită în căldură.

Operarea amplificatorului clasă B

- Spre deosebire de modul de funcționare a amplificatorului clasă A de mai sus, care folosește un singur tranzistor pentru etajul de putere de ieșire, **amplificatorul clasă B** utilizează două tranzistoare complementare (NPN și PNP sau NMOS și PMOS) pentru fiecare alternanță din forma de undă de ieșire. Un tranzistor conduce pentru o alternanță a formei de undă a semnalului, în timp ce celălalt conduce pentru cealaltă alternanță sau opusă a formei de undă a semnalului. Aceasta înseamnă că fiecare tranzistor își petrece jumătate din timpul său în regiunea activă și jumătate din timpul său în regiunea de tăiere, amplificând astfel doar 50% din semnalul de intrare.



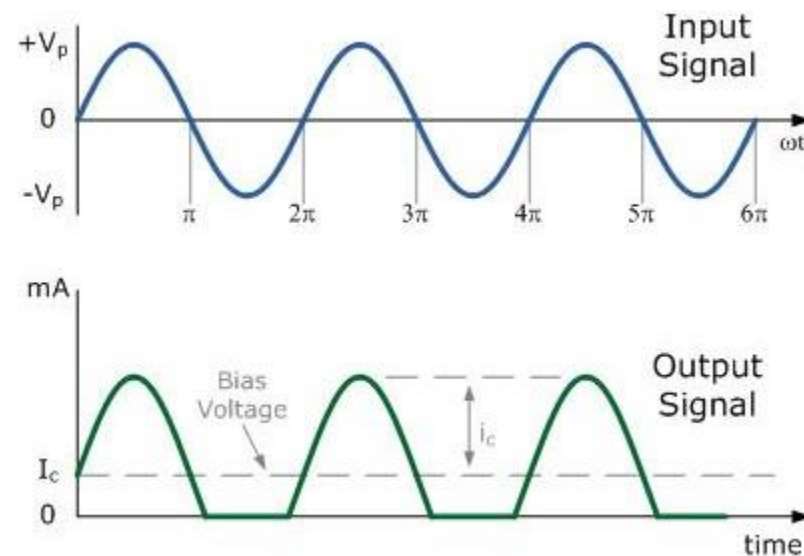
Operarea în clasă B nu are o tensiune de polarizare DC directă ca la amplificatorul clasă A, dar în schimb tranzistorul conduce numai atunci când semnalul de intrare este mai mare decât tensiunea bază-emitor și pentru dispozitivele cu siliciu este de aproximativ 0,7V. Prin urmare, la zero intrare există zero ieșire. Acest lucru are ca rezultat numai jumătate din semnalul de intrare prezentat la ieșirea amplificatoarelor care dă o cantitate mai mare de eficiență a amplificatorului, după cum se arată mai jos.

Operarea amplificatorului clasa B

- Într-un amplificator clasă B, nu se folosește tensiune DC pentru a polariza tranzistoarele, astfel încât pentru ca tranzistoarele de ieșire să înceapă să conducă fiecare alternanță din forma de undă, atât pozitivă, cât și negativă, au nevoie ca tensiunea bază-emitor V_{be} să fie mai mare decât 0,7 V, necesară pentru ca un tranzistor bipolar să înceapă să conducă.
- Apoi, partea inferioară a formei de undă de ieșire care este sub această fereastră de 0,7 V nu va fi reprodusă cu precizie, rezultând o zonă distorsionată a formei de undă de ieșire, deoarece un tranzistor comută "OFF", așteptând ca celălalt să comute înapoi "ON". Rezultatul este că există o mică parte a formei de undă de ieșire la trecerea prin punctul zero de tensiune care va fi distorsionată. Acest tip de distorsiune se numește **distorsiune Crossover**.

Operarea amplificatorului clasă AB

- **Amplificatorul clasă AB** este un compromis între configurațiile clasă A și clasă B de mai sus. În timp ce operarea de clasă AB folosește încă două tranzistoare complementare în etajul de ieșire, se aplică o tensiune de polarizare foarte mică în Baza tranzistorului pentru a-l duce în regiunea de tăiere atunci când nu există semnal de intrare.
- Un semnal de intrare va determina funcționarea tranzistorului normală în regiunea activă, eliminând astfel orice distorsiune crossover care este prezentă în configurațiile clasă B. Un mic curent de colector va curge atunci când nu există semnal de intrare, dar este mult mai mic decât cel pentru configurația amplificatorului clasă A.



Aceasta înseamnă că tranzistorul va fi "ON" pentru mai mult de o alternanță a formei de undă. Acest tip de configurație a amplificatorului îmbunătățește atât eficiența, cât și liniaritatea circuitului amplificator, comparativ cu o configurație clasă A pură.

Clasa de operare pentru un amplificator este foarte importantă și se bazează pe cantitatea de polarizare a tranzistorului necesară pentru funcționare, precum și pe amplitudinea necesară pentru semnalul de intrare. Clasificarea amplificatorului ia în considerare porțiunea semnalului de intrare în care conduce tranzistorul, determinând atât eficiența, cât și cantitatea de putere pe care ambele tranzistoare de comutare o consumă și o disipă, sub formă de căldură risipită. Atunci, putem face o comparație între cele mai comune tipuri de clasificări ale amplificatoarelor în tabelul următor.

Clase de amplificatoare de putere

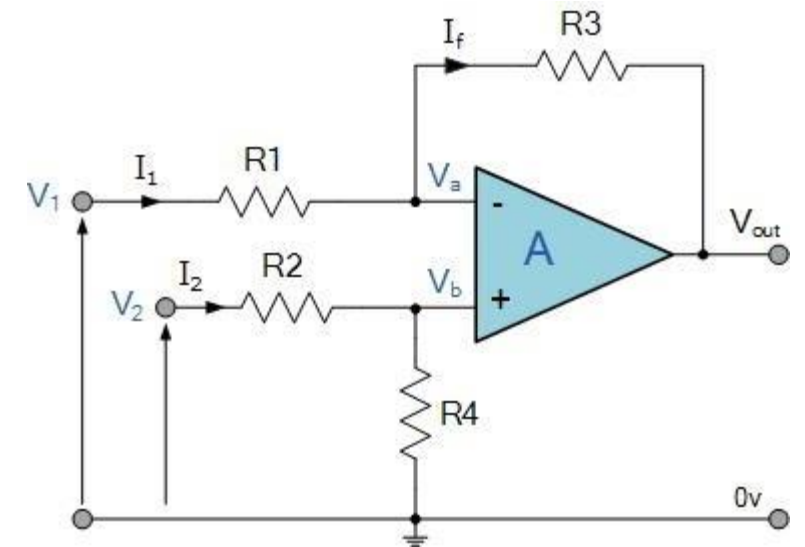
Clasă	A	B	C	AB
Unghiul de conducție	360°	180°	Mai puțin de 90°	180 până la 360°
Poziția punctului Q	Punct central pe linia de sarcină	Exact pe axa X	Sub axa X	Între axa X și linia de sarcină centrală
Eficiența generală	Slabă 25 până la 30%	Mai bună 70-80%	Mai mare de 80%	Mai bună decât A, dar mai mică decât B, 50 până la 70%
Distorsiunea semnalului	Nu, dacă este corect polarizat	La punctul de trecere al axei X	Cantități mari	Cantități mici

Anumite tipuri de amplificatoare, în special tipurile clasă "A", pot necesita tranzistoare de putere mai mari, radiatoare de căldură mai scumpe, ventilatoare de răcire sau chiar o creștere a mărimii sursei de alimentare necesare pentru a furniza puterea suplimentară pierdută cerută de amplificator. Puterea transformată în căldură de la tranzistoare, rezistoare sau orice altă componentă care contează, face orice circuit electronic ineficient și va duce la defectarea prematură a dispozitivului.

Deci, de ce utilizați un amplificator clasă A dacă eficiența acestuia este mai mică de 40% în comparație cu un amplificator clasă B care are o eficiență mai mare de peste 70%. În principiu, un amplificator clasă A dă o ieșire mult mai liniară, ceea ce înseamnă că are **liniaritate** peste un răspuns mai mare în frecvență, chiar dacă consumă cantități mari de putere DC.

Amplificator diferențial

- Dar, deoarece un A.O. standard are două intrări, care inversează și nu inversează, putem conecta semnale la ambele intrări, producând în același timp un alt tip comun de circuit A.O. numit **amplificator diferențial**.
- Practic, toate A.O. sunt "Amplificatoare diferențiale" datorită configurației lor de intrare. Dar, prin conectarea unui semnal de tensiune pe un terminal de intrare și un alt semnal de tensiune pe celălalt terminal de intrare tensiunea de ieșire rezultată va fi proporțională cu „diferența“ dintre cele două semnale de tensiune de intrare V_1 și V_2 .
- Deci, *amplificatorul diferențial* amplifică diferența dintre două tensiuni care fac acest tip de circuit A.O. un **scăzător** spre deosebire de un amplificator sumator care adună sau însumează împreună tensiunile de intrare. Acest tip de circuit A.O. este cunoscut sub numele de configurație de **amplificator diferențial** și este prezentat mai jos:



Amplificator diferențial

Conectând fiecare intrare la rândul său la 0 V la masă, putem folosi suprapunerea pentru a rezolva tensiunea de ieșire V_{out} . Atunci, funcția de transfer pentru un circuit **amplificator diferențial** este dată de:

$$I_1 = \frac{V_1 - V_a}{R_1}, \quad I_2 = \frac{V_2 - V_b}{R_2}, \quad I_f = \frac{V_a - (V_{out})}{R_3}$$

Punctul de însumare $V_a = V_b$

$$V_b = V_2 \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} \right)$$

și

Dacă $V_2 = 0$ atunci

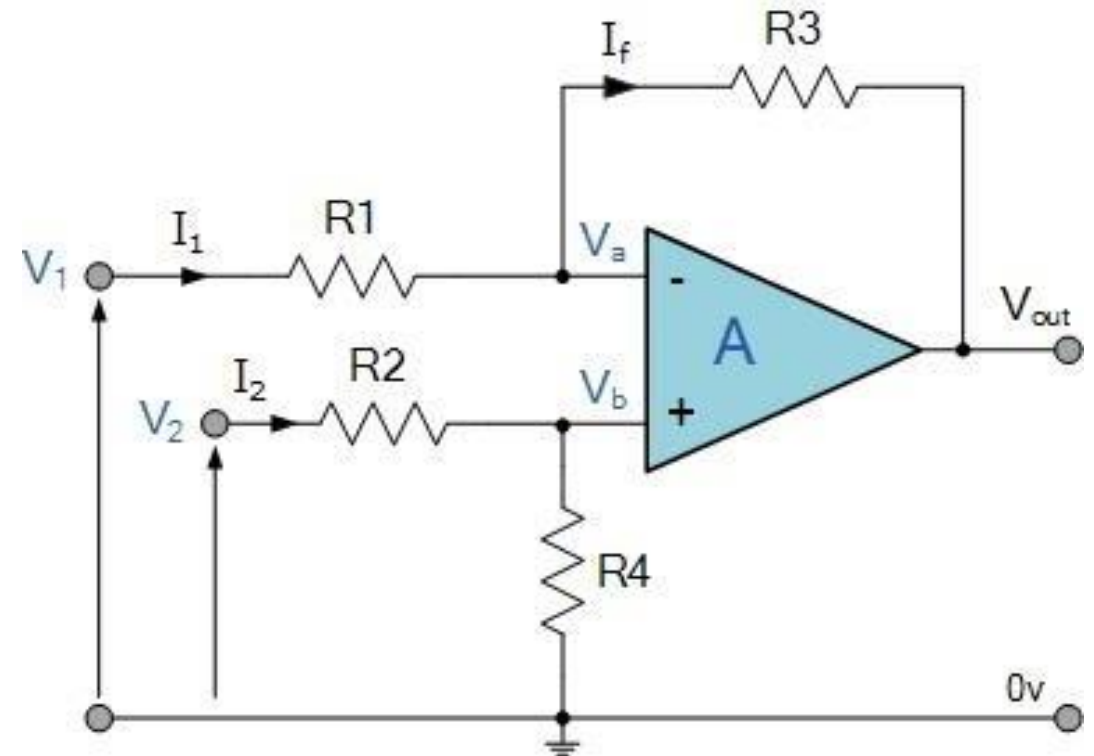
$$V_{out(a)} = -V_1 \left(\frac{R_3}{R_1} \right)$$

Dacă $V_1 = 0$ atunci

$$V_{out(b)} = V_2 \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) \left(\frac{R_1 + R_3}{R_1} \right)$$

$$V_{out} = -V_{out(a)} + V_{out(b)}$$

$$\therefore V_{out} = -V_1 \left(\frac{R_3}{R_1} \right) + V_2 \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) \left(\frac{R_1 + R_3}{R_1} \right)$$

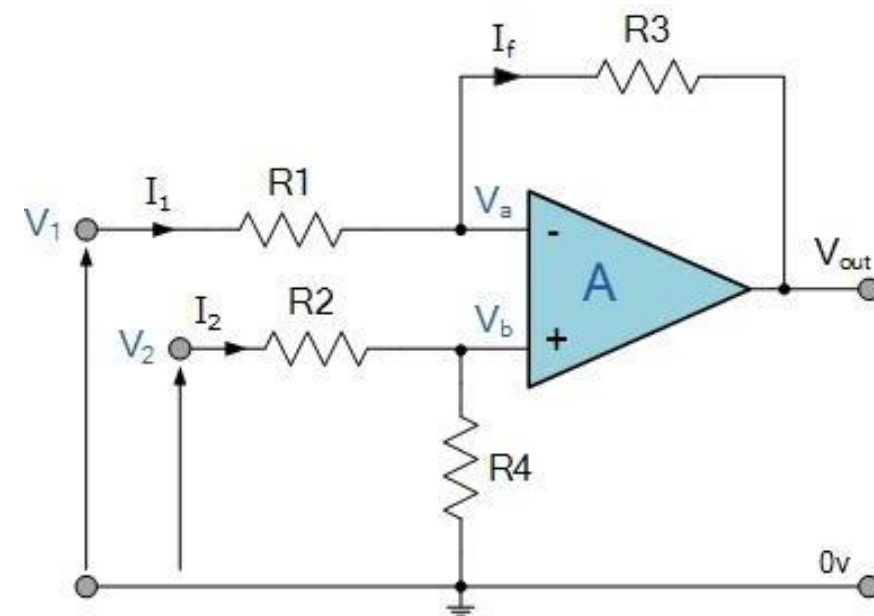


Ecuția amplificatorului diferențial

- Când rezistoarele $R1 = R2$ și $R3 = R4$, funcția de transfer de mai sus pentru amplificatorul diferențial poate fi simplificată la următoarea expresie:

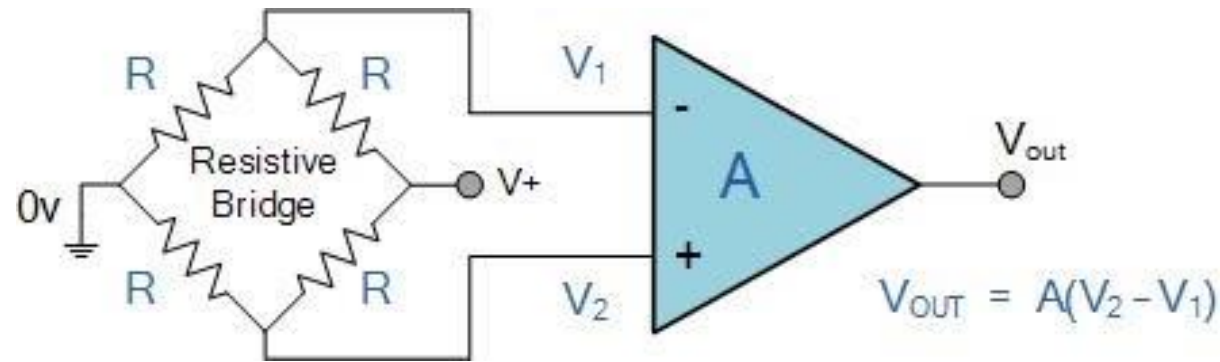
$$V_{OUT} = \frac{R_3}{R_1} (V_2 - V_1)$$

- Dacă toate rezistoarele au aceeași valoare ohmică, adică $R1 = R2 = R3 = R4$ atunci circuitul va deveni **amplificator diferențial cu câștig unitate** și câștigul de tensiune al amplificatorului va fi exact unu sau unitate. Atunci expresia de ieșire ar fi pur și simplu $V_{out} = V_2 - V_1$.
- De asemenea, rețineți că, dacă intrarea V_1 este mai mare decât intrarea V_2 , suma tensiunii de ieșire va fi negativă, iar dacă V_2 este mai mare decât V_1 , suma tensiunii de ieșire va fi pozitivă.



Amplificator diferențial cu punte Wheatstone

- Circuitul **amplificator diferențial** este un circuit A.O. foarte util și prin adăugarea mai multor rezistoare în paralel cu rezistoarele de intrare R_1 și R_3 , circuitul rezultat poate fi făcut fie să „adune“ fie să „scadă“ tensiunile aplicate la intrările respective. Una dintre cele mai comune metode de a face acest lucru este de a conecta o „punte rezistivă“, numită în mod obișnuit *Punte Wheatstone*, la intrarea amplificatorului.



Circuitul standard de amplificator diferențial devine acum un comparator de tensiune diferențială prin compararea unei tensiuni de intrare cu cealaltă. De exemplu, prin conectarea unei intrări la o referință de tensiune fixă setată la un braț al rețelei de punte rezistivă și cealaltă la un "termistor" sau la un "rezistor dependent de lumină", circuitul amplificator poate fi utilizat pentru a detecta nivelele de temperatură sau de lumină, fie scăzut, fie ridicat, deoarece tensiunea de ieșire devine o funcțieliniară de variațiile din brațul activ al punții rezistive.

Amplificator diferențial activat de lumină

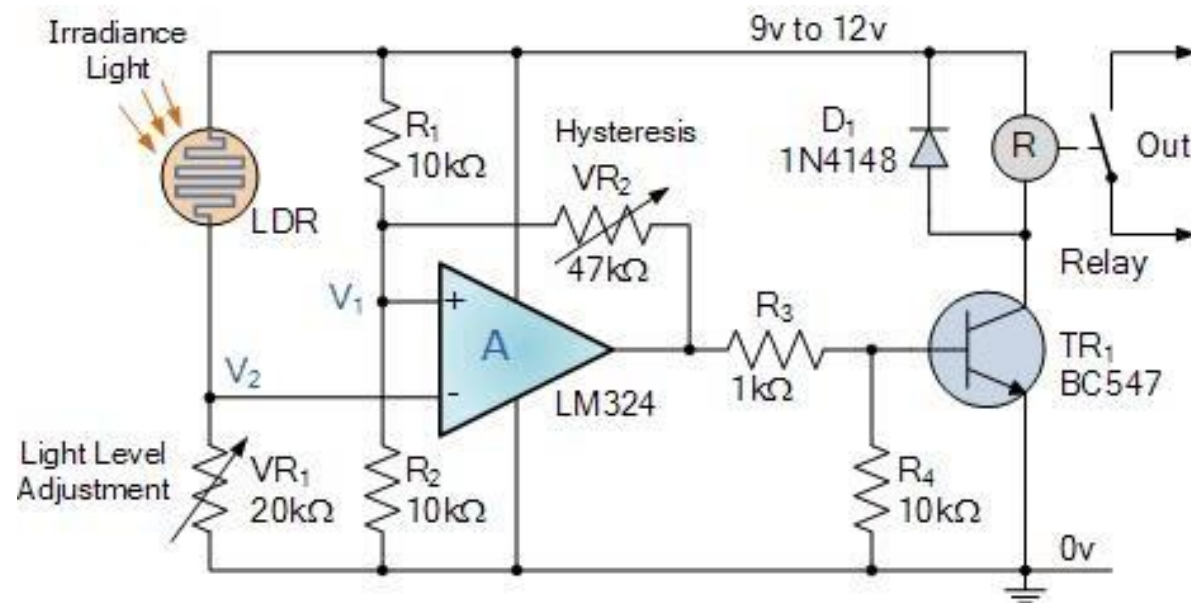
Aici circuitul de mai sus acționează ca un comutator activat de lumină care comută releul de ieșire fie "ON", fie "OFF", deoarece nivelul luminii detectat de rezistorul LDR depășește sau scade sub o valoare prestabilită. O referință de tensiune fixă este aplicată la terminalul de intrare neinversoare a A.O. prin rețeaua de divizare a tensiunii R1 - R2.

Valoarea tensiunii la V1 stabilește punctul de declanșare al A.O. cu un potențiometrul de feedback VR2 folosit pentru a seta histerezisul de comutare. Acesta este diferența dintre nivelul luminii pentru "ON" și nivelul luminii pentru "OFF".

Al doilea braț al amplificatorului diferențial constă dintr-un rezistor standard dependent de lumină, cunoscut și ca un senzor fotorezistiv LDR care își schimbă valoarea rezistivă (de aici și numele său) cu cantitatea de lumină pe celula sa, deoarece valoarea lui rezistivă este o funcție de iluminare.

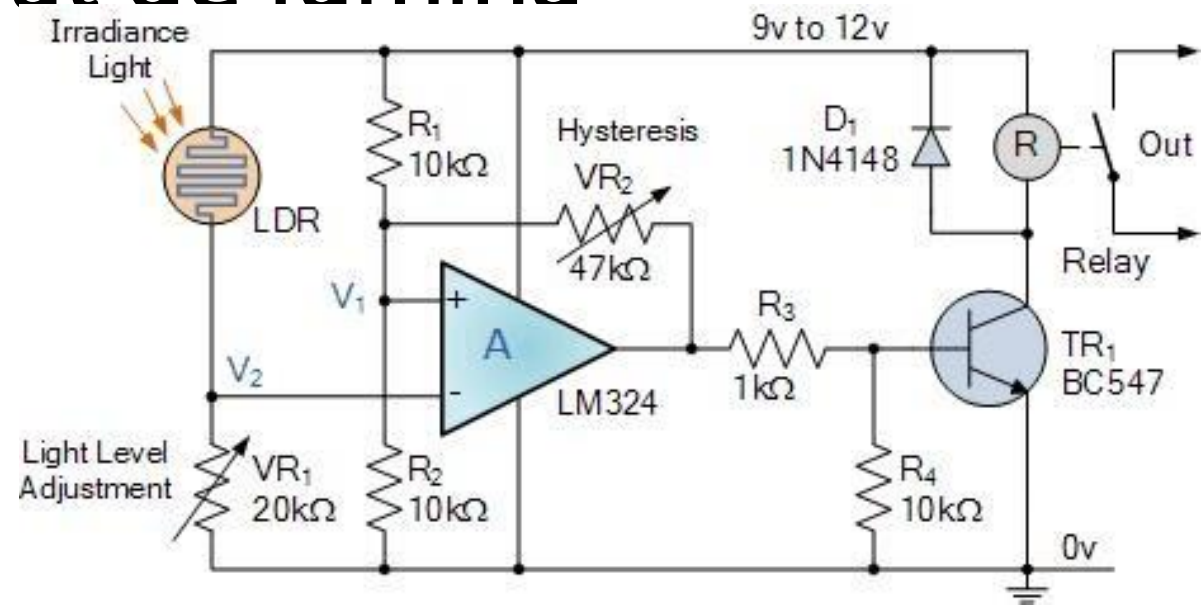
LDR poate fi orice tip de celulă fotoconductivă cu cadmiu-sulfură (CdS), cum ar fi NORP12 comun, care are o gamă rezistivă între aproximativ 500 Ω în lumina soarelui până la aproximativ 20 k Ω sau mai mult în întuneric.

Celula fotoconductivă NORP12 are un răspuns spectral similar cu cel al ochiului uman, ceea ce îl face ideal pentru utilizarea în aplicațiile de control al iluminării. Rezistența fotocelulei este proporțională cu nivelul luminii și scade cu creșterea intensității luminii, astfel încât nivelul de tensiune la V2 se va schimba deasupra sau sub punctul de comutare care poate fi determinat de poziția lui VR1.



Amplificator diferențial activat de lumină

Atunci, prin reglarea excursiei nivelului de lumină sau a poziției setate cu potențiometrul VR1 și histerezisul de comutare cu ajutorul potențiometrului VR2 poate fi realizat un comutator precis sensibil la lumină. În funcție de aplicație, ieșirea de la A.O. poate comuta direct sarcina sau poate folosi un tranzistor pentru a controla un releu sau chiar lămpi. De asemenea, este posibil să se detecteze temperatura utilizând acest tip de configurație simplă a circuitului prin înlocuirea rezistorului dependent de lumină cu un termistor. Prin schimbarea pozițiilor VR1 și LDR, circuitul poate fi utilizat pentru detectarea fie a luminii sau a întunericului, fie a căldurii sau a frigului cu ajutorul unui termistor.



O limitare majoră a acestui tip de schemă a amplificatorului este aceea că impedanțele sale de intrare sunt mai scăzute în comparație cu cele ale altor configurații ale A.O., de exemplu, un amplificator ne-inversor (cu o singură intrare).

Fiecare sursă de tensiune de intrare trebuie să conducă curentul printr-o rezistență de intrare, care are o impedanță mai mică decât cea a intrării A.O. Acest lucru poate fi bun pentru o sursă de impedanță scăzută, cum ar fi circuitul punte de mai sus, dar nu atât de bun pentru o sursă de impedanță mare.

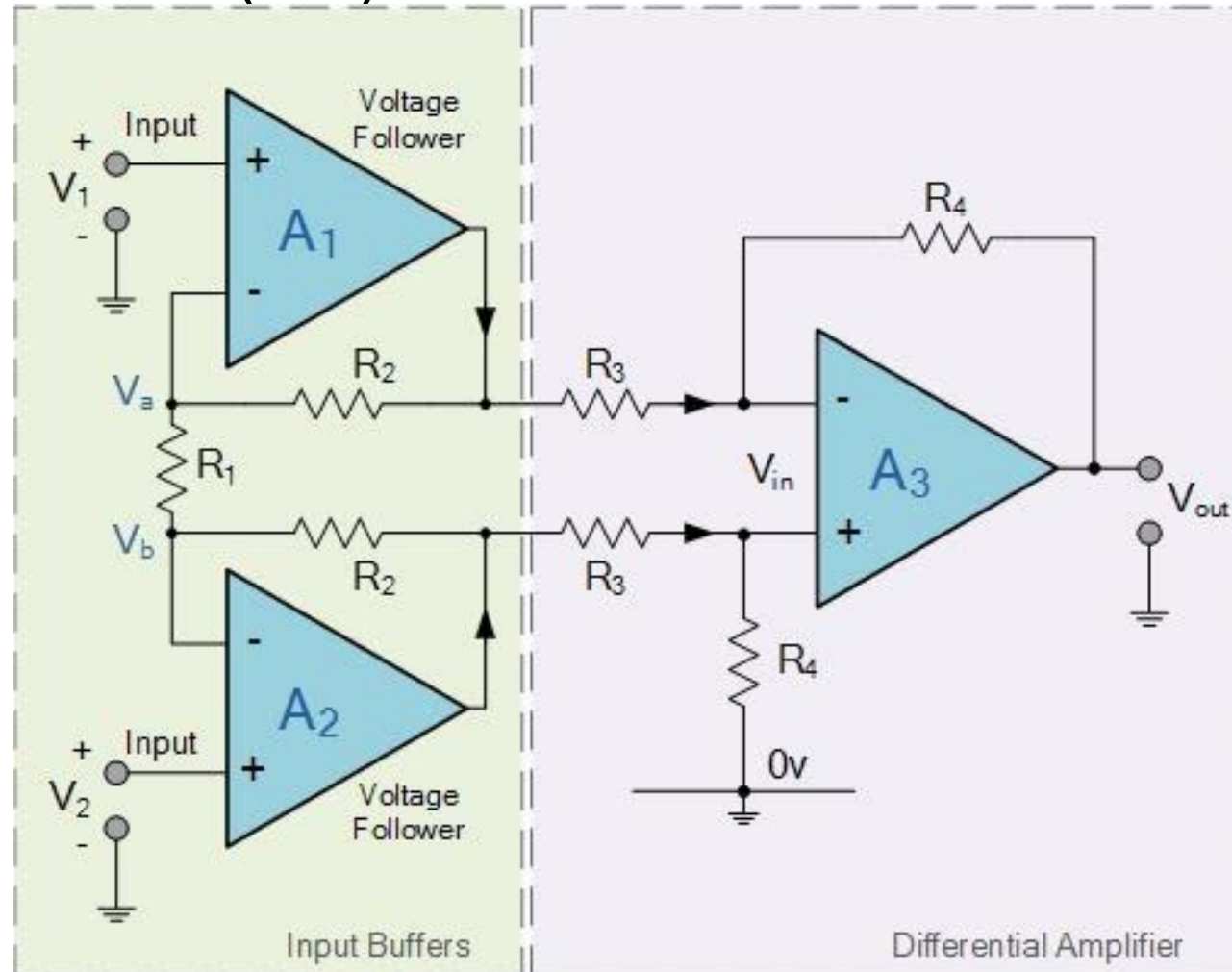
O modalitate de a depăși această problemă este de a adăuga un amplificator buffer cu câștig unitate, cum ar fi repetorul de tensiune din tutorialul anterior la fiecare rezistor de intrare. Acest lucru ne dă un circuit de amplificare diferențial cu impedanță de intrare foarte mare și impedanță redusă de ieșire, deoarece constă din două buffer-e ne-inversoare și un amplificator diferențial. Aceasta formează apoi baza pentru majoritatea "Amplificatoarelor de instrumentație".

Amplificator de instrumentație

- **Amplificatorul de instrumentație** (in-amp) este un amplificator diferențial cu câștig foarte mare, care are o impedanță mare de intrare și o ieșire cu un singur capăt. Amplificatorul de instrumentație este folosit în principal pentru a amplifica semnale diferențiale foarte mici de la mărci tensometrice, termocuple sau dispozitive de detectare a curentului în sistemele de comandă a motorului.
- Spre deosebire de A.O. standard în care câștigul în buclă închisă este determinat de un feedback extern rezistiv conectat între terminalul de ieșire și un terminal de intrare, fie pozitiv, fie negativ, amplificatorul de instrumentație are un rezistor de feedback intern care este efectiv izolat de terminalele de intrare deoarece semnalul de intrare este aplicat pe două intrări diferențiale, V_1 și V_2 .
- Amplificatorul de instrumentație are, de asemenea, un raport foarte bun de rejectare a modului comun CMRR (ieșire zero atunci când $V_1 = V_2$) cu mult peste 100 dB la DC.

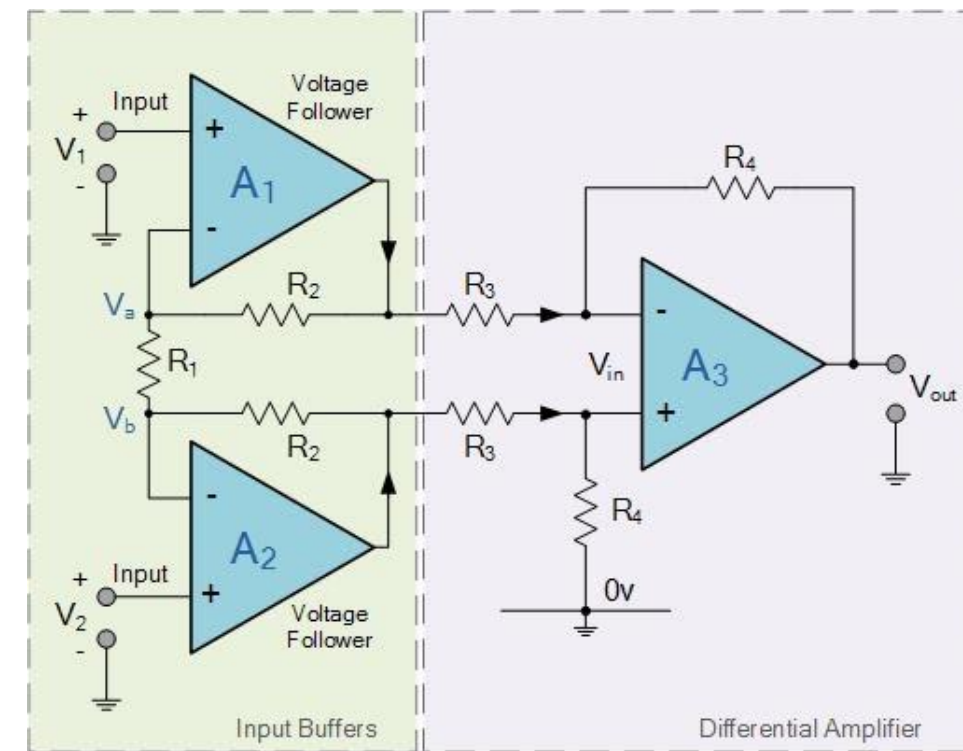
Amplificator de instrumentație

Un exemplu tipic al unui amplificator de instrumentație cu trei A.O. cu o impedanță de intrare mare (Z_{in})



Amplificator de instrumentație

- Cele două amplificatoare ne-inversoare formează un etaj de intrare diferențială care acționează ca amplificatoare tampon cu un câștig de $1 + 2R_2/R_1$ pentru semnale de intrare diferențiale și câștigul unitate pentru semnalele de intrare de mod comun. Deoarece amplificatoarele A_1 și A_2 sunt amplificatoare cu feedback negativ în buclă închisă, se poate aștepta ca tensiunea la V_a să fie egală cu tensiunea de intrare V_1 . La fel, tensiunea la V_b este egală cu valoarea la V_2 .



Deoarece A.O. nu au curent la terminalele lor de intrare (masă virtuală), același curent trebuie să curgă prin cele trei rețele de rezistoare R_2 , R_1 și R_2 conectate pe ieșirile A.O. Aceasta înseamnă că tensiunea la capătul superior al lui R_1 va fi egală cu V_1 , iar tensiunea la capătul inferior al lui R_1 va fi egală cu V_2 .

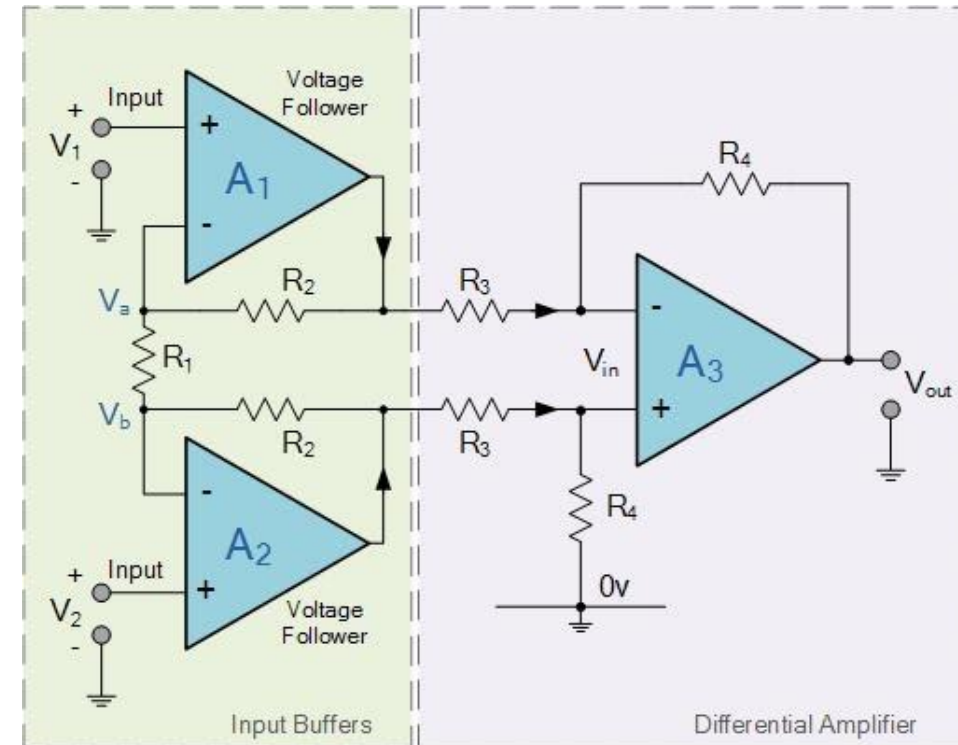
Aceasta produce o cădere de tensiune pe rezistorul R_1 care este egală cu diferența de tensiune dintre intrările V_1 și V_2 , tensiunea de intrare diferențială, deoarece tensiunea la joncțiunea de însumare a fiecărui amplificator V_a și V_b este egală cu tensiunea aplicată intrărilor sale pozitive.

Totuși, dacă se aplică o tensiune de mod-comun la intrarea amplificatoarelor, tensiunile de pe fiecare parte a lui R_1 vor fi egale și nici un curent nu va curge prin acest rezistor. Deoarece nici un curent nu curge prin R_1 (nici prin ambele rezistoare R_2 , amplificatoarele A_1 și A_2 vor funcționa ca repetoare (buffere) cu câștig unitate. Deoarece tensiunea de intrare la ieșirile amplificatoarelor A_1 și A_2 apare diferențial pe cele trei rețele de rezistoare, câștigul diferențial al circuitului poate fi variat prin modificarea valorii R_1 .

Amplificator de instrumentație

- ieșirea de tensiune de la A.O. diferențial A3 acționează ca un scăzător, este pur și simplu diferența dintre cele două intrări ale sale ($V_2 - V_1$) și amplificată de câștigul lui A3 care poate fi unu, unitatea (presupunând că $R_3 = R_4$). Atunci, avem o expresie generală pentru câștigul global de tensiune al circuitului amplificator de instrumentație ca:

$$V_{OUT} = (V_2 - V_1) \left[1 + \frac{2R_2}{R_1} \right] \left(\frac{R_4}{R_3} \right)$$

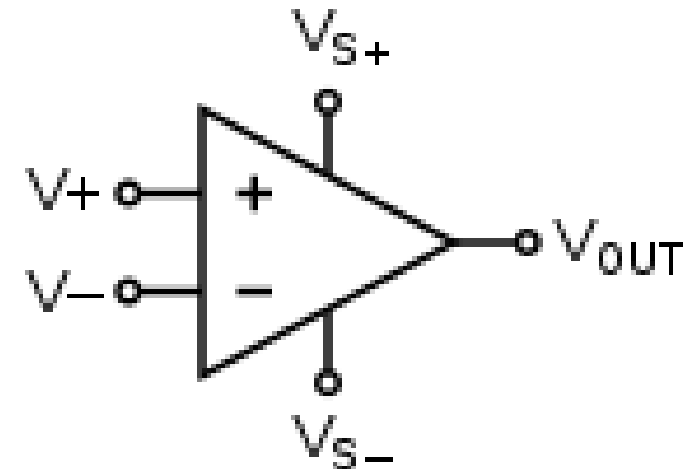


Amplificatorul operațional

- Amplificatorul operațional sau op-amp, așa cum este mai des numit, reprezintă unul dintre blocurile de bază ale circuitelor electronice analogice.
- *Amplificatoarele operaționale* sunt dispozitive lineare care au toate proprietățile necesare pentru amplificarea DC aproape ideală și, prin urmare, sunt utilizate în mod extensiv în condiționarea semnalului, filtrarea sau pentru a efectua operații matematice cum ar fi adunarea, scăderea, integrarea și diferențierea.
- Un **amplificator operațional**, op-amp pe scurt, este fundamental un dispozitiv de amplificare a tensiunii, conceput pentru a fi utilizat cu componente externe de feedback cum ar fi rezistoare și condensatoare între terminalele sale de ieșire și de intrare. Aceste componente de feedback determină funcția rezultată sau "funcționarea" amplificatorului și datorită diferitelor configurații de feedback, fie rezistive, capacitive sau ambele, amplificatorul poate efectua o varietate de operații diferite, dând naștere numelui său de "Amplificator operațional =A.O.".

Amplificatorul operațional

- Un A.O. este în principiu un dispozitiv cu trei terminale care constă din două intrări de impedanță ridicată. Una dintre intrări este denumită Inverting Input (intrare inversoare), marcată cu un semn "minus" (-). Cealaltă intrare se numește Non-inverting Input (intrare neinversoare), marcată cu un semn "plus" (+).
- Un al treilea terminal reprezintă portul de ieșire al A.O., care poate absorbi sau furniza fie o tensiune, fie un curent. Într-un A. O. liniar, semnalul de ieșire este factorul de amplificare, cunoscut sub numele de câștigul amplificatorului (A) înmulțit cu valoarea semnalului de intrare și în funcție de natura acestor semnale de intrare și ieșire, pot exista patru clasificări diferite ale câștigului unui amplificator operațional.
- **Tensiune** - tensiune "in" și tensiune "out"
- **Curent** - curent "in" și curent "out"
- **Transconductanță** - tensiune "in" și curent "out"
- **Transrezistență** - curent "in" și tensiune "out"

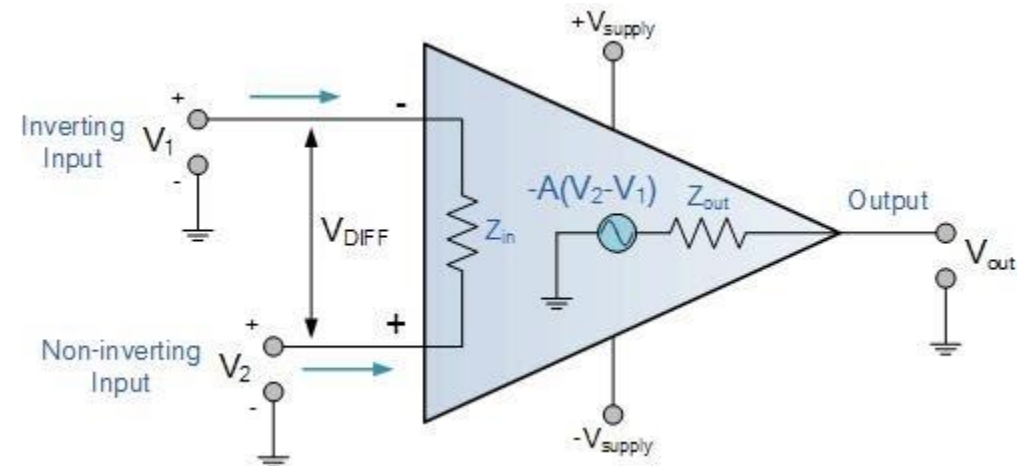


Circuitul echivalent al unui amplificator operațional ideal

- Parametrii A. O. și caracteristica idealizată

Câștigul în buclă deschisă (Avo)

Infinit - Funcția principală a unui A. O. este amplificarea semnalului de intrare, iar un câștig în buclă deschisă mai mare este mai bun. Câștigul în buclă deschisă este câștigul A.O. fără feedback pozitiv sau negativ, iar pentru un astfel de amplificator câștigul va fi infinit, dar valorile reale tipice variază de la aproximativ 20.000 la 200.000.



Impedanța de intrare ZIN

Infinită - Impedanța de intrare este raportul dintre tensiunea de intrare și curentul de intrare și se presupune că este infinită pentru a împiedica orice curent care curge de la sursa de alimentare în circuitele de intrare ale amplificatorului ($I_{IN} = 0$). A.O. reale au curenți de scăpări de la câțiva picoamperi la câțiva miliamperi.

Impedanța de ieșire Zout

Zero - Impedanța de ieșire a A.O. ideal este considerată a fi zero acționând ca o sursă de tensiune internă perfectă, fără rezistență internă, astfel încât să poată furniza cât mai mult curent la sarcină. Această rezistență internă este efectiv în serie cu sarcina, reducând astfel tensiunea de ieșire disponibilă pentru sarcină. A.O. reale au impedanțe de ieșire în gama de 100-20 k Ω .

- **Lățimea de bandă BW**

- *Infinită* - Un A.O. ideal are un răspuns infinit în frecvență și poate amplifica orice semnal de frecvență de la DC la cele mai înalte frecvențe AC, deci se presupune că are o lățime de bandă infinită. Cu A.O. real, lățimea de bandă este limitată de produsul Gain-Bandwidth (GB), care este egal cu frecvența la care câștigul amplificatorului devine unitate.

- **Tensiunea de offset (VIO)**

- *Zero* - Ieșirea amplificatorului va fi zero atunci când diferența de tensiune între intrările inversoare și non-inversoare este zero, aceeași sau când ambele intrări sunt la masă. A.O. real are o anumită cantitate de tensiune de offset la ieșire.

Din aceste caracteristici "idealizate" de mai sus, putem observa că rezistența de intrare este infinită, astfel încât nici un curent nu curge în niciunul dintre terminalele de intrare (regula de curent) și tensiunea de offset de intrare diferențială este zero (regula de tensiune). Este important să ne amintim aceste două proprietăți, deoarece ne vor ajuta să înțelegem funcționarea A.O. în ceea ce privește analiza și proiectarea circuitelor A.O.

Totuși, A.O. reale, cum ar fi comunul $\mu A741$, de exemplu, nu au câștig sau lățime de bandă infinite, dar au un "câștig în buclă deschisă" tipic, definit ca amplificarea de ieșire a amplificatorului fără semnale de reacție externe conectate la acesta și pentru un A.O. tipic este de aproximativ 100 dB la DC (zero Hz). Acest câștig de ieșire scade liniar cu frecvența până la "Câștig unitate" sau 1, la aproximativ 1 MHz și acest lucru este prezentat în următoarea curbă de răspuns a câștigului în buclă deschisă.

Curba de răspuns în frecvență în buclă deschisă

Din această curbă de răspuns în frecvență se poate observa că produsul câștigului cu lățimea de bandă față de frecvență este constant în orice punct de-a lungul curbei. De asemenea, frecvența câștigului unitate (0 dB) determină, de asemenea, câștigul amplificatorului în orice punct de-a lungul curbei. Această constantă este în general cunoscută sub numele de Produs Gain Bandwidth sau GBP. Prin urmare:

$$\text{GBP} = \text{câștig} \times \text{lățime de bandă} = A \times \text{BW}$$

De exemplu, din graficul de mai sus câștigul amplificatorului la 100 kHz este dat ca 20 dB sau 10, atunci produsul câștig - lățime de bandă este calculat ca:

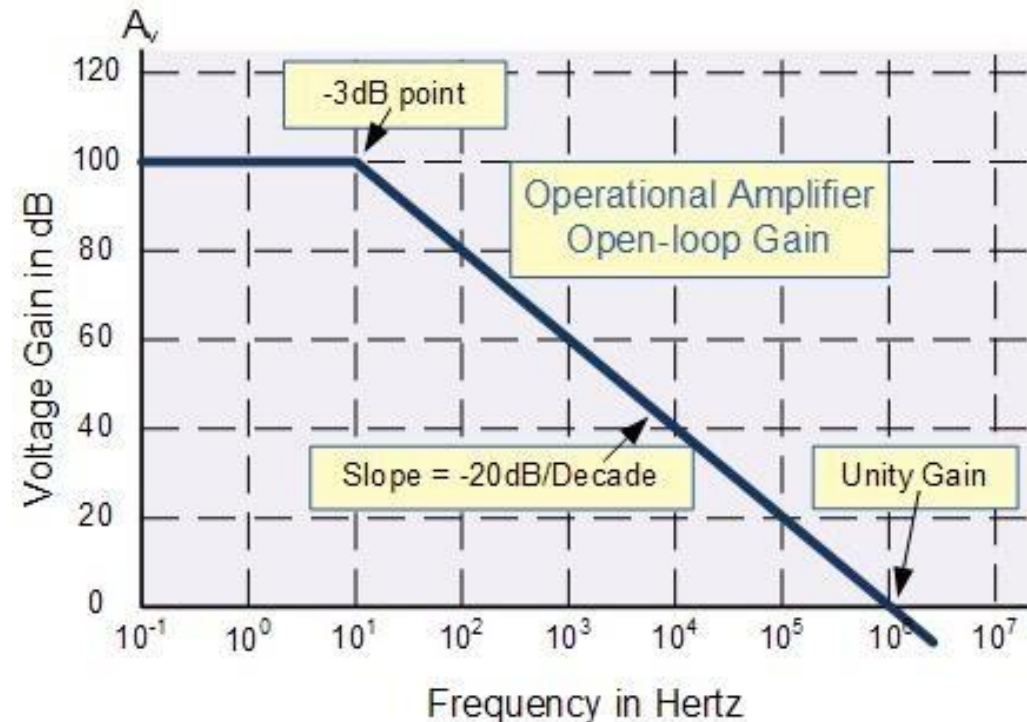
$$\text{GBP} = A \times \text{BW} = 10 \times 100.000 \text{ Hz} = 1.000.000$$

În mod similar, câștigul A.O. la 1 kHz = 60 dB sau 1000, prin urmare GBP este dat ca:

$$\text{GBP} = A \times \text{BW} = 1.000 \times 1.000 \text{ Hz} = 1.000.000. \text{ La fel!}$$

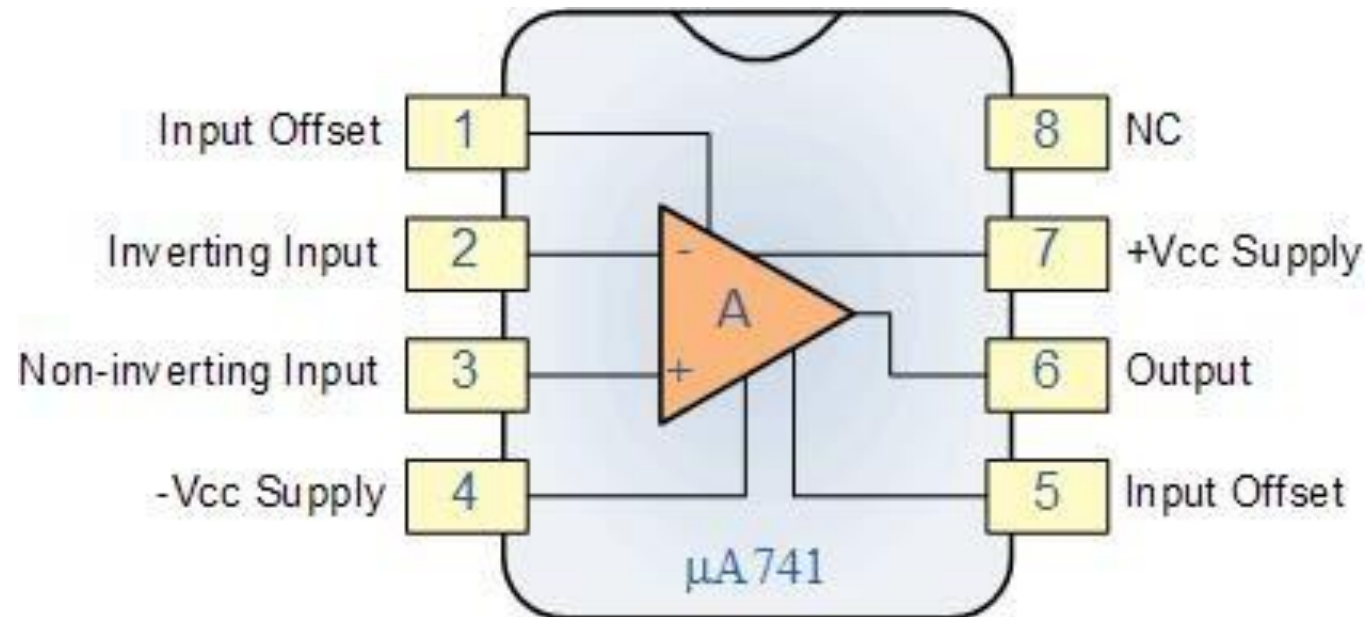
Câștigul de tensiune (AV) al A.O. poate fi găsit utilizând următoarea formulă: Câștig de tensiune, (A) = $\frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}}$

și în Decibeli sau (dB) este dat ca: $20 \log(A)$ sau $20 \log \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}}$ în dB



Amplificatorul operațional

- Există un număr foarte mare de IC cu A.O. disponibile pentru a se potrivi fiecărei aplicații posibile de la configurații bipolare standard, de precizie, de mare viteză, zgomot redus, de înaltă tensiune etc, la configurații standard cu tranzistoare FET cu joncțiune.
- A.O. sunt disponibile în ambalaje IC de câte un amplificator unic, dual sau quad în cadrul unui singur dispozitiv. Cel mai frecvent utilizat din toate A.O. din kiturile și proiectele electronice de bază este standardul industrial $\mu\text{A}-741$.



Amplificatorul operațional inversor

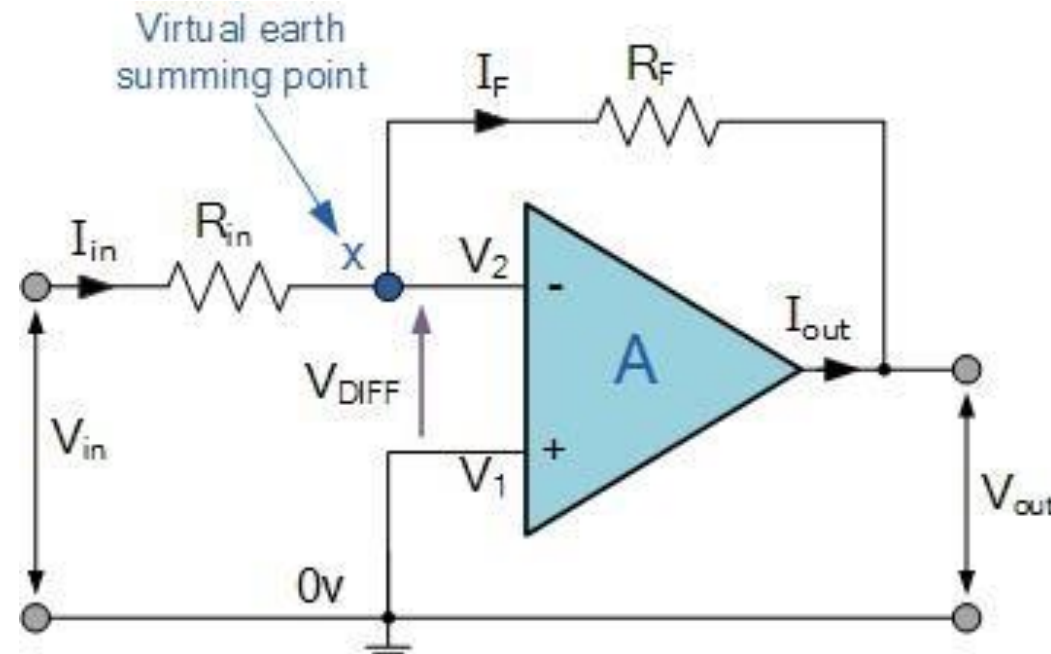
- Am văzut **câștigul în buclă deschisă** (A_{vo}) al unui A.O. poate fi foarte ridicat, până la 1.000.000 (120 dB) sau mai mult.
- Totuși, acest câștig foarte mare nu este real util pentru noi, făcând amplificatorul atât instabil cât și greu de controlat, deoarece cel mai mic semnal de intrare, doar câteva microvolți (μV) ar fi suficient pentru a provoca tensiunea de ieșire să fie saturată și să oscileze spre una sau cealaltă dintre șinele de alimentare cu tensiune, pierzând controlul complet al ieșirii.
- Deoarece câștigul DC în buclă deschisă al unui A.O. este extrem de ridicat, ne putem permite să pierdem o parte din acest câștig prin conectarea unui rezistor adecvat peste amplificator de la terminalul de ieșire înapoi la terminalul de intrare inversor pentru a reduce și a controla câștigul global al A.O. Aceasta produce un efect cunoscut în mod obișnuit ca feedback (reacție) negativ și, astfel, produce un sistem bazat pe un A.O. foarte stabil.
- **Feedback negativ** este procesul de "redirectionare" a unei fracții din semnalul de ieșire înapoi la intrare, dar pentru a face feedback negativ, trebuie să-l readucem la terminalul negativ sau "intrare inversoare" al A.O. folosind un rezistor de feedback extern numit R_f . Această conexiune de feedback între ieșire și intrarea inversoare forțează tensiunea de intrare diferențială spre zero.

Amplificatorul operațional inversor

- Acest efect produce un circuit în buclă închisă la amplificator, rezultând câștigul amplificatorului denumit acum **câștigul său în buclă închisă**. Deci, un amplificator inversor în buclă închisă utilizează feedback negativ pentru a controla cu exactitate câștigul total al amplificatorului, dar cu reducerea câștigului amplificatorului.
- Această reacție negativă are ca rezultat un terminal de intrare inversor care are un semnal diferit față de tensiunea de intrare reală, deoarece va fi suma tensiunii de intrare plus tensiunea de reacție negativă care îi conferă eticheta sau termenul de *punct Sumator*. Prin urmare, trebuie să separăm semnalul real de intrare de la intrarea inversoare utilizând un **rezistor de intrare** R_{in} .
- Deoarece nu folosim intrarea pozitivă neinversoare, aceasta este conectată la un terminal comun de masă sau tensiune zero, după cum se arată mai jos, dar efectul acestui circuit de feedback cu buclă închisă are ca rezultat potențialul de tensiune la intrarea inversoare să fie egal cu cel de la intrarea neinversoare producând un punct de însumare *Virtual Earth* (*masă virtuală*), deoarece acesta va avea același potențial ca intrarea de referință la masă. Cu alte cuvinte, A.O. devine un "amplificator diferențial".

Configurația amplificatorului operațional inversor

- În acest circuit de **amplificator inversor**, **A.O.** este conectat cu feedback pentru a produce o operație în buclă închisă. Când se ocupă cu A.O., există două reguli foarte importante de reținut la amplificatorul inversor, acestea fiind: "Nu circulă curent în terminalul de intrare" și " V_1 este întotdeauna egal cu V_2 ". Cu toate acestea, în circuitele A.O. reale, ambele aceste reguli sunt ușor rupte.
- Acest lucru se datorează faptului că joncțiunea semnalului de intrare și de reacție (X) are același potențial ca intrarea pozitivă (+) care este la zero volți sau la masă, atunci joncțiunea este un "**Pământ virtual**". Din cauza acestui nod de pământ virtual, rezistența de intrare a amplificatorului este egală cu valoarea rezistorului de intrare R_{in} și câștigul în buclă închisă a amplificatorului inversor poate fi reglat de raportul celor două rezistoare externe.



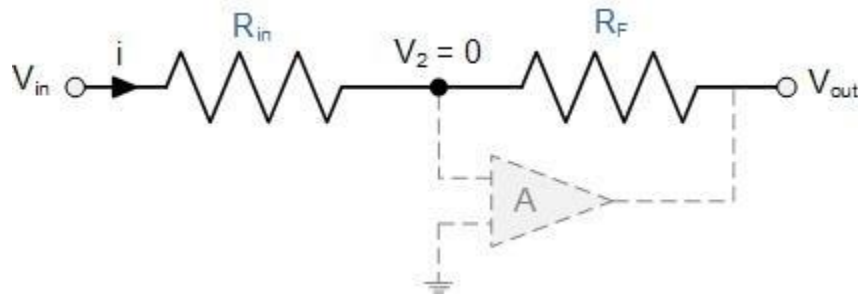
Configurația amplificatorului operațional inversor

Am spus mai sus că există două reguli foarte importante care trebuie amintite despre **Amplificatoarele inversoare** sau despre orice A.O. pentru acea problemă și acestea sunt:

- Nu există fluxuri de curent în terminalele de intrare
- Tensiunea de intrare diferențială este zero deoarece $V_1 = V_2 = 0$ (pământ virtual)

Atunci, folosind aceste două reguli, putem deduce ecuația pentru calcularea câștigului în buclă închisă a unui amplificator inversor, folosind principiile de bază.

Curentul (i) curge prin rețeaua rezistoarelor așa cum este arătat.



$$i = \frac{V_{in} - V_{out}}{R_{in} + R_f}$$

$$\text{therefore, } i = \frac{V_{in} - V_2}{R_{in}} = \frac{V_2 - V_{out}}{R_f}$$

$$i = \frac{V_{in}}{R_{in}} - \frac{V_2}{R_{in}} = \frac{V_2}{R_f} - \frac{V_{out}}{R_f}$$

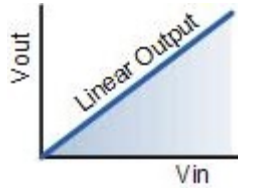
$$\text{so, } \frac{V_{in}}{R_{in}} = V_2 \left[\frac{1}{R_{in}} + \frac{1}{R_f} \right] - \frac{V_{out}}{R_f}$$

$$\text{and as, } i = \frac{V_{in} - 0}{R_{in}} = \frac{0 - V_{out}}{R_f} \quad \frac{R_f}{R_{in}} = \frac{0 - V_{out}}{V_{in} - 0}$$

$$\text{the Closed Loop Gain (A}_v\text{) is given as, } \frac{V_{out}}{V_{in}} = - \frac{R_f}{R_{in}}$$

Configurația amplificatorului operațional inversor

- unci, **câștigul de tensiune în buclă închisă** al unui amplificator inversor este dat de: $\text{Gain (A}_v) = \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = -\frac{R_f}{R_{\text{in}}}$
- și acest lucru poate fi transpus pentru a da V_{out} ca: $V_{\text{out}} = -\frac{R_f}{R_{\text{in}}} \times V_{\text{in}}$



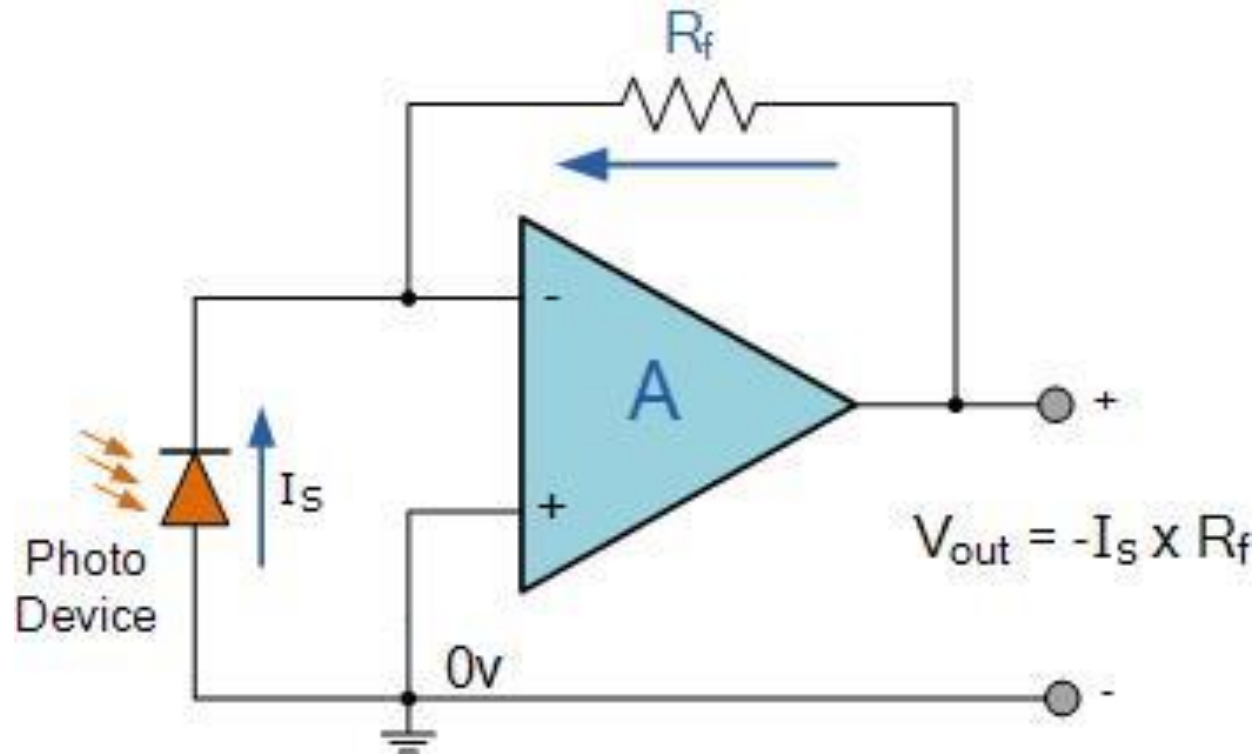
Semnul negativ din ecuație indică o inversare a semnalului de ieșire față de intrare, deoarece este defazat cu 180°. Acest lucru se datorează faptului că feedback-ul este negativ în valoare.

Ecuția pentru tensiunea de ieșire V_{out} arată, de asemenea, că circuitul este liniar pentru un câștig fix al amplificatorului deoarece $V_{\text{out}} = V_{\text{in}} \times \text{Gain}$. Această proprietate poate fi foarte utilă pentru conversia unui semnal mai mic al sensorului la o tensiune mult mai mare.

O altă aplicație utilă a unui amplificator inversor este cea a unui circuit "amplificator transrezistență". Un **amplificator de transrezistență**, cunoscut și ca un "amplificator transimpedanță", este în esență un convertor curenți-tensiune (Curenți "in" și tensiune "out"). Acestea pot fi utilizate în aplicații de mică putere pentru a converti un curent foarte mic, generat de un dispozitiv fotodiodă sau fotodetecție, într-o tensiune de ieșire utilizabilă, care este proporțională cu curentul de intrare.

Circuit amplificator de transrezistență

Circuitul simplu de mai sus, activat de lumină, convertește un curent generat de fotodiodă într-o tensiune. Rezistorul de reacție R_f stabilește punctul de tensiune de funcționare la intrarea inversoare și controlează cantitatea de ieșire. Tensiunea de ieșire este dată de $V_{out} = I_s \times R_f$. Prin urmare, tensiunea de ieșire este proporțională cu cantitatea de curent de intrare generat de fotodiodă.



A.O. inversor. Exemplul

- Găsiți câștigul în buclă închisă a următorului circuit de amplificare inversor.

Folosind formula găsită anterior pentru câștigul circuitului

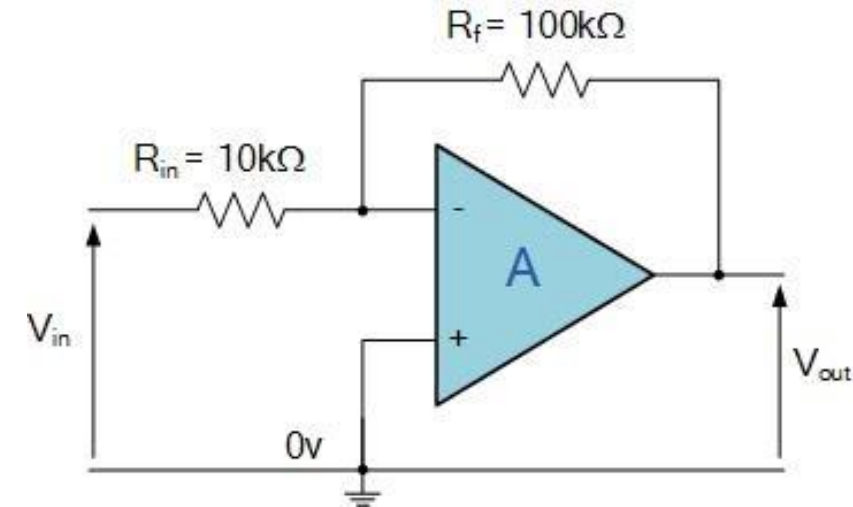
$$\text{Gain (Av)} = \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = -\frac{R_f}{R_{\text{in}}}$$

putem înlocui acum valorile rezistoarelor în circuit după cum urmează,

$$R_{\text{in}} = 10 \text{ k}\Omega \text{ și } R_f = 100 \text{ k}\Omega$$

iar câștigul circuitului este calculat astfel: $-R_f/R_{\text{in}} = -100 \text{ k}/10 \text{ k} = -10$

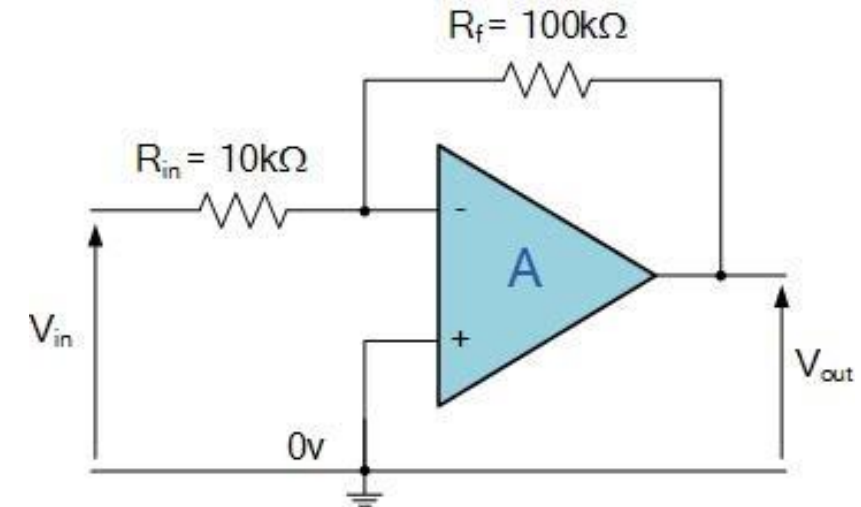
Prin urmare, câștigul în buclă închisă a circuitului amplificator inversor de mai sus este dat de **-10** sau **20 dB** ($20 \log(10)$).



A.O. inversor. Exemplul

- Câștigul circuitului original trebuie să fie mărit la 40 (32 dB), găsiți noile valori ale rezistoarelor necesare.
- Presupunând că rezistorul de intrare trebuie să rămână la aceeași valoare de 10 K Ω , atunci prin rearanjarea formulei de câștig a tensiunii în buclă închisă putem găsi noua valoare necesară pentru rezistorul de reacție R_f .

$$\begin{aligned}\text{Gain} &= R_f/R_{in} \\ \text{prin urmare, } R_f &= \text{Gain} \times R_{in} \\ R &= 40 \times 10.000 \\ R_f &= 400.000 \text{ sau } 400 \text{ K}\Omega\end{aligned}$$



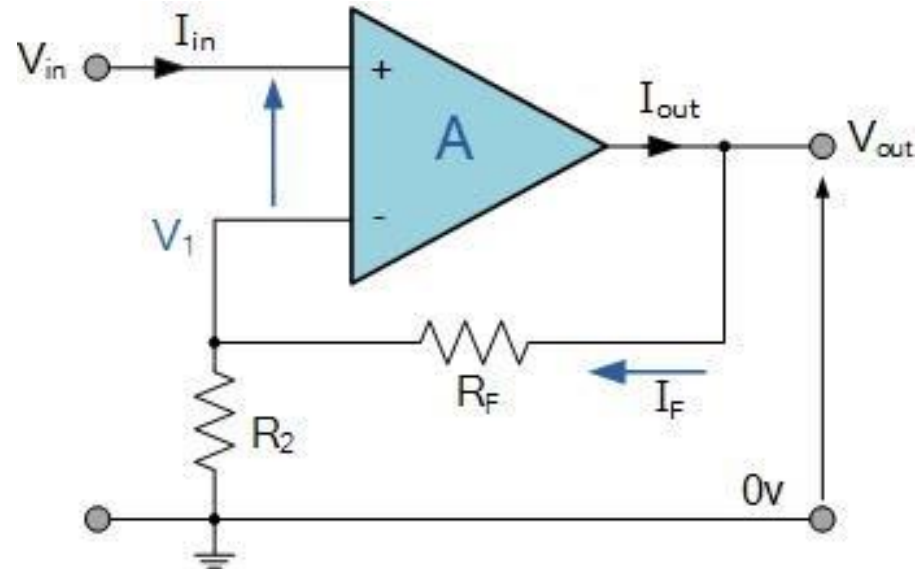
Noile valori ale rezistoarelor necesare circuitului pentru a avea un câștig de **40** ar fi:

$$R_{in} = 10 \text{ K}\Omega \text{ și } R_f = 400 \text{ K}\Omega$$

Formula ar putea fi, de asemenea, rearanjată pentru a da o nouă valoare lui R_{in} , menținând aceeași valoare a lui R_f . Un ultim punct de reținut despre configurația **amplificatorului inversor** pentru un A.O., dacă cele două rezistoare au valoare egală $R_{in} = R_f$ atunci câștigul amplificatorului va fi **-1** producând o formă complementară a tensiunii de intrare la ieșirea lui ca $V_{out} = -V_{in}$. Acest tip de configurație a amplificatorului inversor este numit în general Unity Gain Inverter sau pur și simplu un *Inverting Buffer (buffer inversor sau inversor cu câștig unitate)*.

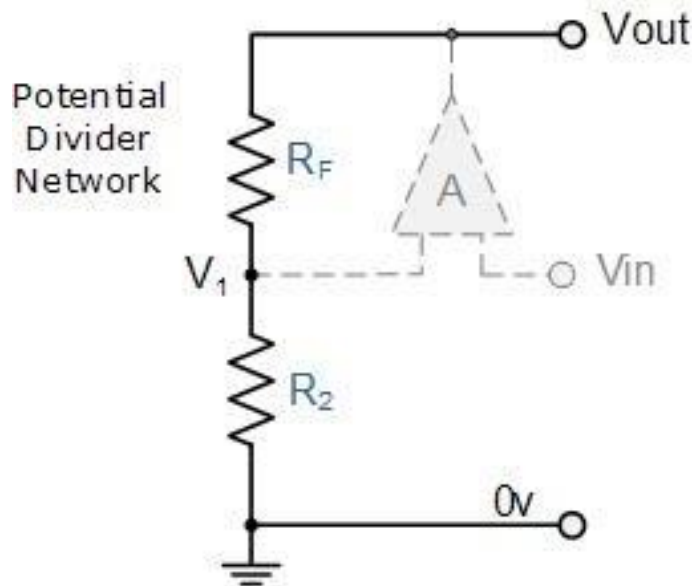
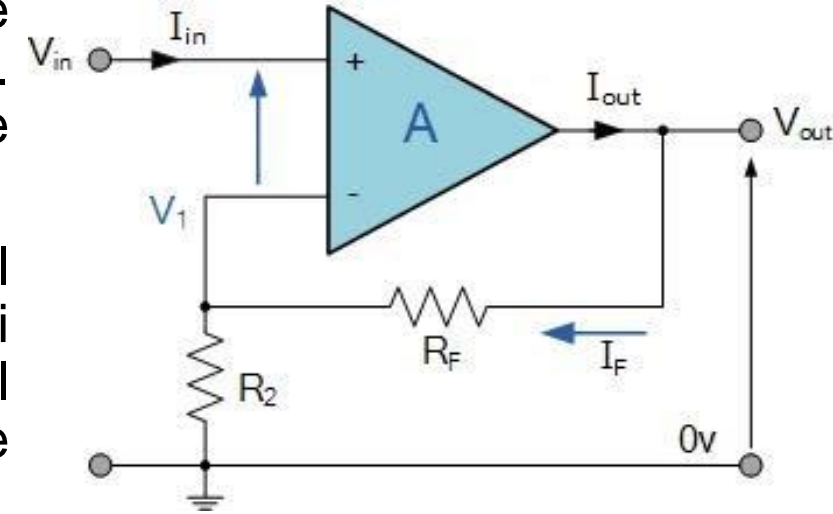
Amplificator operațional neinvertor

- În această configurație, semnalul de tensiune de intrare (V_{in}) este aplicat direct la terminalul de intrare neinvertor (+), ceea ce înseamnă că câștigul de ieșire al amplificatorului devine „pozitiv” în valoare, în contrast cu circuitul „Amplificator inversor” al cărui câștig de ieșire este negativ în valoare. Rezultatul este că semnalul de ieșire este "în fază" cu semnalul de intrare.
- Controlul de feedback al A.O. neinvertor este realizat prin aplicarea unei mici părți a semnalului de tensiune de ieșire către terminalul de intrare inversoare (-) prin intermediul unei rețele de divizare a tensiunii $R_F - R_2$, producând din nou feedback negativ. Această configurație de buclă închisă produce un circuit amplificator neinvertor cu o stabilitate foarte bună, o impedanță foarte mare de intrare, R_{in} se apropie de infinit, deoarece nu circulă curent în terminalul de intrare pozitivă, (condiții ideale) și o impedanță de ieșire redusă R_{out} , așa cum se arată de mai jos.



Configurația A.O. ne-inversor

- Am spus că pentru un A.O. ideal "Nu curge curent în terminalul de intrare" al amplificatorului și că "V1 este întotdeauna egal cu V2". Acest lucru se datorează faptului că joncțiunea semnalului de intrare și de reacție (V1) are același potențial.
- Cu alte cuvinte, joncțiunea este un punct de însumare "virtual pământ". Din cauza acestui nod de pământ virtual, rezistoarele R_F și R_2 formează o rețea divizor de potențial simplă pe amplificatorul neinversor, câștigul de tensiune al circuitului fiind determinat de rapoartele R_2 și R_F , așa cum se arată mai jos.



Atunci, folosind formula pentru a calcula tensiunea de ieșire a unei rețele divizor de potențial, putem calcula câștigul de tensiune în buclă închisă (AV) a **amplificatorului neinversor**, după cum urmează:

$$V_1 = \frac{R_2}{R_2 + R_F} \times V_{OUT}$$

Rețea echivalentă a divizorului de potențial

Ideal Summing Point: $V_1 = V_{IN}$

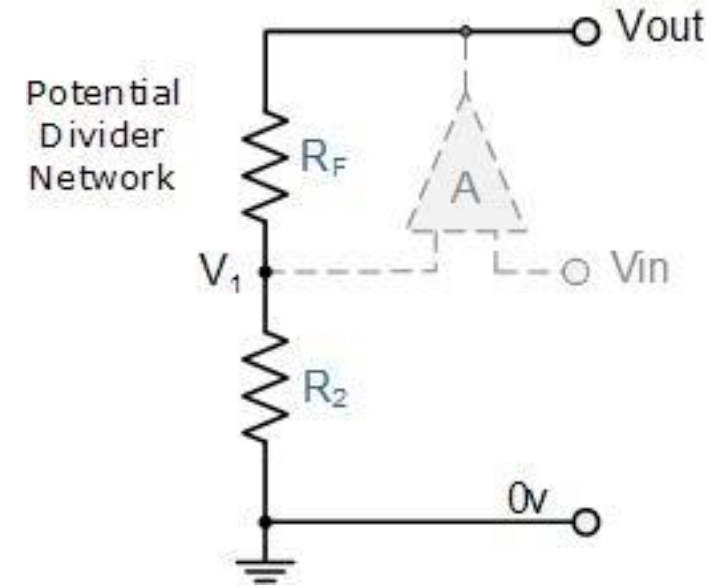
Voltage Gain, $A_{(V)}$ is equal to: $\frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$

$$\text{Then, } A_{(V)} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R_2 + R_F}{R_2}$$

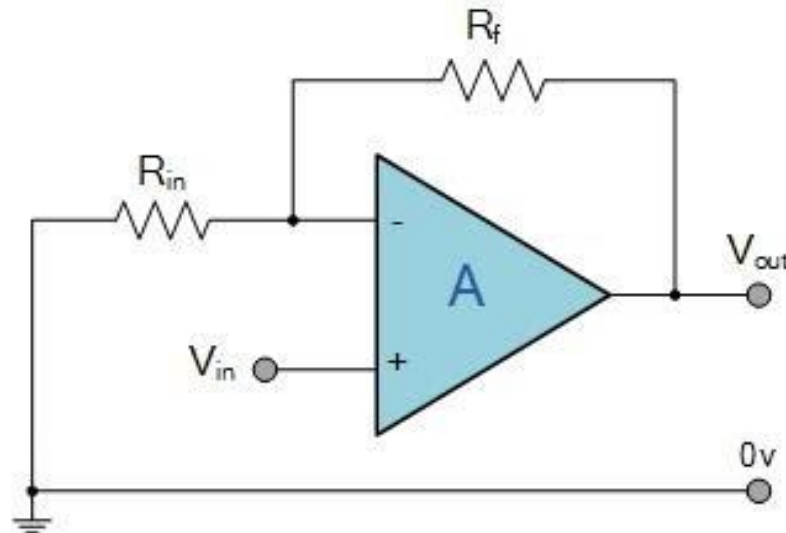
$$\text{Transpose to give: } A_{(V)} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = 1 + \frac{R_F}{R_2}$$

- Atunci câștigul de tensiune în buclă închisă al unui **amplificator operațional neinversor** va fi dat de:

$$A_{(V)} = 1 + \frac{R_F}{R_2}$$



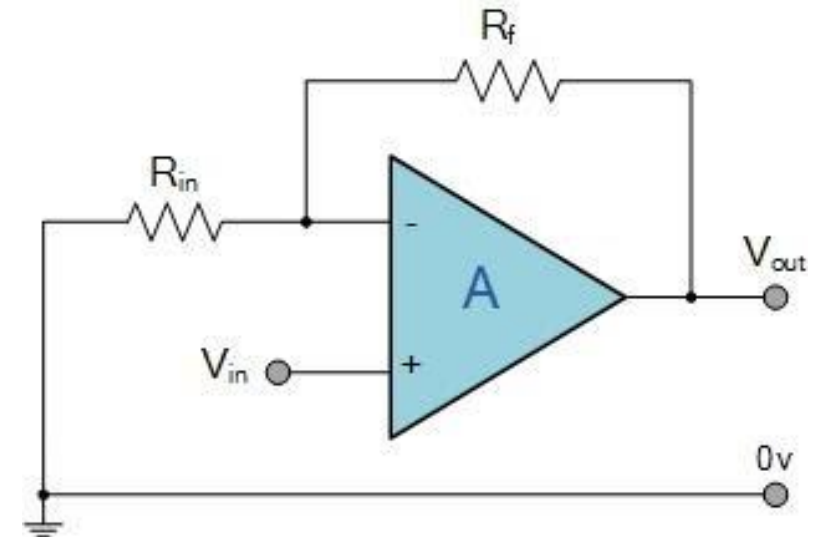
- Putem vedea din ecuație că câștigul în buclă închisă total al unui amplificator neinversor va fi întotdeauna mai mare, dar niciodată mai puțin decât unu (unitate), este pozitiv în natură și este determinat de raportul dintre valorile lui R_f și R_2 .
- Dacă valoarea rezistorului de feedback R_f este zero, câștigul amplificatorului va fi exact egal cu unu (unitate). Dacă rezistorul R_2 este zero, câștigul se va apropia de infinit, dar în practică va fi limitat la câștigul diferențial, în buclă deschisă, al A.O. (A_o).
- Putem converti cu ușurință configurația unui amplificator operațional inversor într-o configurație a amplificatorului neinversor prin simpla schimbare a conexiunilor de intrare, așa cum se arată.



Repetor de tensiune (Buffer cu câștig unitar)

- Dacă am făcut rezistorul de feedback R_f egal cu zero ($R_f = 0$) și rezistorul R_2 egal cu infinit ($R_2 = \infty$), atunci circuitul ar avea un câștig fix de "1" deoarece toată tensiunea de ieșire ar fi prezentă pe terminalul de intrare inversor (feedback negativ). Acest lucru ar produce un tip special de circuit amplificator neinversor numit **repetor de tensiune** sau numit, de asemenea, un "buffer cu câștig unitate".
- Deoarece semnalul de intrare este conectat direct la intrarea neinversoare a amplificatorului, semnalul de ieșire nu este inversat, rezultând o tensiune de ieșire egală cu tensiunea de intrare, $V_{out} = V_{in}$. Aceasta face ca circuitul **repetor de tensiune să fie** ideal ca circuit tampon cu câștig unitate datorită proprietăților sale de izolare.

Avantajul repetorului de tensiune cu câștig unitate este că poate fi utilizat atunci când adaptarea impedanței sau izolarea circuitului este mai importantă decât amplificarea deoarece el menține tensiunea semnalului. Impedanța de intrare a circuitului de urmărire a tensiunii este foarte mare, de obicei deasupra $1\text{ M}\Omega$, deoarece este egală cu cea a rezistenței de intrare a amplificatoarelor operaționale înmulțită cu câștigul său ($R_{in} \times A_o$). De asemenea, impedanța de ieșire este foarte scăzută, deoarece se presupune o condiție de A.O. ideal.



Repetor de tensiune neinversor

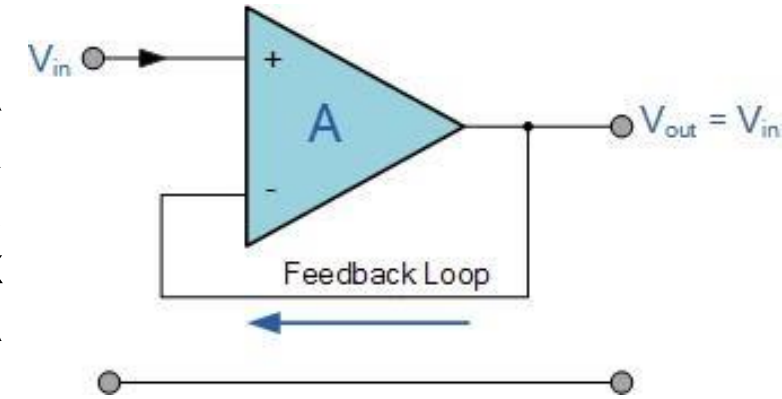
- In această configurație de circuit neinversor, impedanța de intrare R_{in} a crescut la infinit și impedanța de feedback R_f s-a redus la zero. Ieșirea este conectată înapoi direct la intrarea inversoare negativă astfel că feedback-ul este 100% și V_{in} este exact egală cu V_{out} dând un câștig fix de 1 sau unitate. Deoarece tensiunea de intrare V_{in} este aplicată la intrarea neinversoare câștigul amplificatorului este dat de:

$$V_{out} = A(V_{in})$$

$$(V_{in} = V_{+}) \text{ and } (V_{out} = V_{-})$$

$$\text{therefore Gain, } (A_v) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = +1$$

Deoarece nu intră curent în terminalul de intrare neinversor, impedanța de intrare este infinită (A.O. ideal) și nici un curent nu trece prin bucla de feedback, astfel încât orice valoare de rezistență poate fi plasată în bucla de feedback fără a afecta caracteristicile circuitului deoarece nu se disipă nici o tensiune peste aceasta, debit de curent zero, zero cădere de tensiune, pierdere de putere zero.



Deoarece curentul de intrare este zero, dând zero putere de intrare, repetorul de tensiune poate realiza un câștig de putere mare. Totuși, în majoritatea circuitelor reale de buffer cu câștig unitate, este necesar un rezistor mic (de obicei 1 k Ω) pentru a reduce orice curenți de scăpări de intrare offset și, de asemenea, dacă amplificatorul operațional are un tip de feedback de curent.

Repetor de tensiune neinversor

- Repetorul de tensiune, sau buffer cu câștig unitate, este un tip special și foarte util de circuit de **amplificare neinversor** care este utilizat în mod obișnuit în circuitele electronice pentru circuitele izolate unul față de celălalt, în special în filtrele active de tip *Variabile de stare de înalt ordin* sau Sallen-Key pentru a separa un etaj de filtru de altul. IC-uri cu buffer digital tipic disponibile sunt buffer-ul 74LS125 Quad 3-state sau mai comunul buffer 74LS244 octal.
- În final, câștigul de tensiune în buclă închisă al unui circuit de urmărire a tensiunii este "1" sau **unitate**. Câștigul de tensiune în buclă deschisă al unui amplificator operațional fără feedback este **infinit**. Atunci selectând cu grijă componentele de feedback, putem controla cantitatea de amplificare produsă de un amplificator operațional neinversor oriunde de la unu la infinit.

