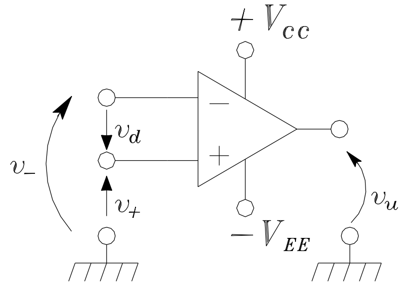
L'amplificatore operazionale ideale

Lo schema seguente è lo *schema circuitale* dell'amplificatore operazionale (*A.O.):*



$$vd = v_+ - v_-$$

$$vu = A \cdot (v_+ - v_-)$$

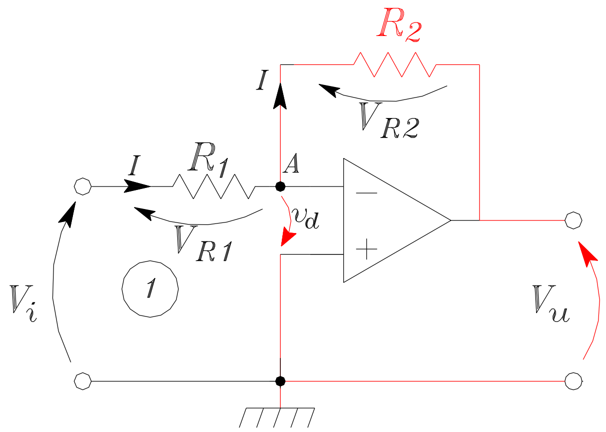
dove:

- *vu* è la tensione d'uscita;
- A fattore di amplificazione in catena aperta;
- v+ tensione applicata al morsetto non invertente;
- v- tensione applicata al morsetto invertente;

Per un A. O. ideale gli elementi caratteristici sono:

$Ri \to \infty$	: resistenza d'ingresso infinita
$Ro = 0$	: resistenza d'uscita nulla
$A \to \infty$	: amplificazione di tensione in catena aperta infinita.
$B \to \infty$	: larghezza di banda infinita
$vu=0$	: quando $v_+ = v_-$

Amplificatore operazionale ideale in schema invertente



L'obiettivo è quello di conoscere il legame tra l'uscita *(vu)* e l'ingresso *(vi),* vale a dire l'espressione parametrica dell'amplificazione (A) in catena chiusa.

Applicando il principio di Kirchhoff alla maglia 1, si ottiene:

$$vi - v_{R1} + v_d = 0$$

da cui si ricava v_{R1}: ……………………… $v_{R1} = vi + v_d$

tenuto conto che $v_d=0$, si ottiene: ………… $v_{R1} = vi$

giungendo alla conclusione che il punto **A** si comporta come se fosse collegato a massa, tant'è che è chiamata **Massa virtuale.**

La corrente che scorre nella R_1 è data da:

$$I = \frac{v_{R1}}{R_1} = \frac{vi}{R_1}$$

essendo che l'A.O. ha impedenza d'ingresso → ∞, vale a dire che non entra corrente all'interno dell'A.O., si ha che la corrente *I* attraversa pure la R_2, quindi la v_{R2} è data da:

$$v_{R_2} = R_2 \cdot I = R_2 \cdot \frac{vi}{R_1}$$

applicando Kirchhoff alla maglia esterna, si ottiene:

$$vu + v_{R2} + vd = 0$$

da cui: $$vu = -v_{R2}$$

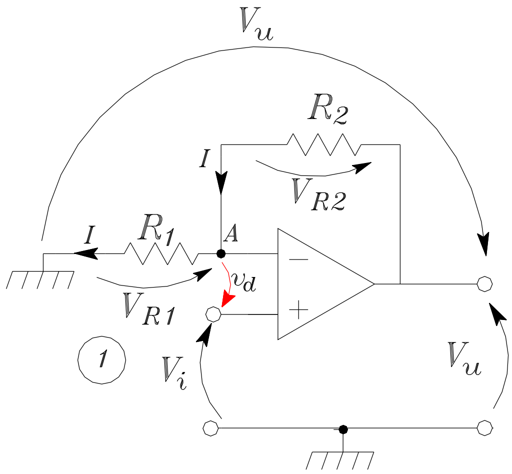
sostituendo v_{R2}:

$$vu = -R_2 \cdot \frac{vi}{R_1}$$

da cui ricavo il rapporto $A = \frac{vu}{vi}$, cioè guadagno dell'A.O. in catena chiusa

$$\boxed{A = \frac{vu}{vi} = -\frac{R_2}{R_1}}$$

Amplificatore operazionale ideale in schema non invertente



L'obiettivo è sempre quello di conoscere il legame tra l'uscita *(vu)* e l'ingresso *(vi),* vale a dire l'espressione parametrica dell'amplificazione (A) in catena chiusa.

Applicando il principio di Kirchhoff alla maglia 1, si ottiene:

$$vi - v_{R1} - v_d = 0$$

da cui si ricava v_{R1}: ……………………… $v_{R1} = vi - v_d$

tenuto conto che $v_d=0$, si ottiene: ………… $v_{R1} = vi$

La corrente che scorre nella R_1 è data da:

$$I = \frac{v_{R1}}{R_1} = \frac{vi}{R_1}$$

essendo che l'A.O. ha impedenza d'ingresso → ∞, vale a dire che non entra corrente all'interno dell'A.O., si ha che la corrente *I* attraversa pure la R_2, quindi la v_{R2} è data da:

$$v_{R_2} = R_2 \cdot I = R_2 \cdot \frac{vi}{R_1}$$

dal circuito si nota che ***vu*** è data dalla somma della caduta di tensione su R_1 e di quella su R_2, pertanto, si ha:

$$vu = v_{R2} + v_{R1}$$

sostituendo v_{R2} e v_{R1}. si ottiene :

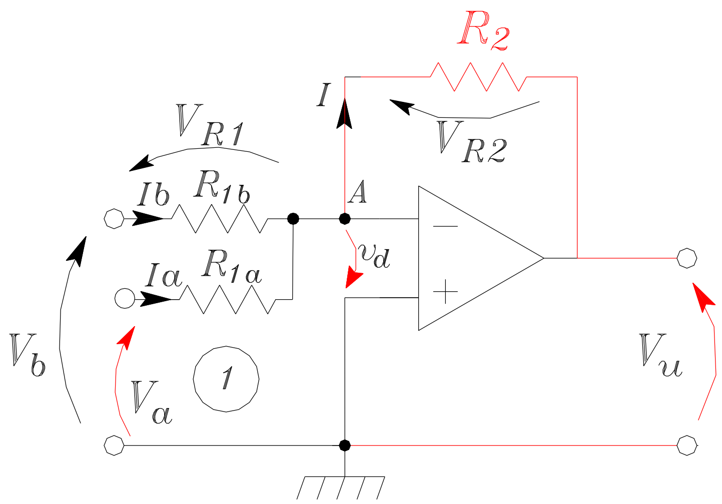
$$vu = R_2 \cdot \frac{vi}{R_1} + R_1 \cdot \frac{vi}{R_1}$$

da cui ricavo il rapporto $A = \frac{vu}{vi}$, cioè guadagno dell'A.O. in catena chiusa

$$\boxed{A = \frac{vu}{vi} = 1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

Amplificatore operazionale ideale a più ingressi

Sommatore invertente

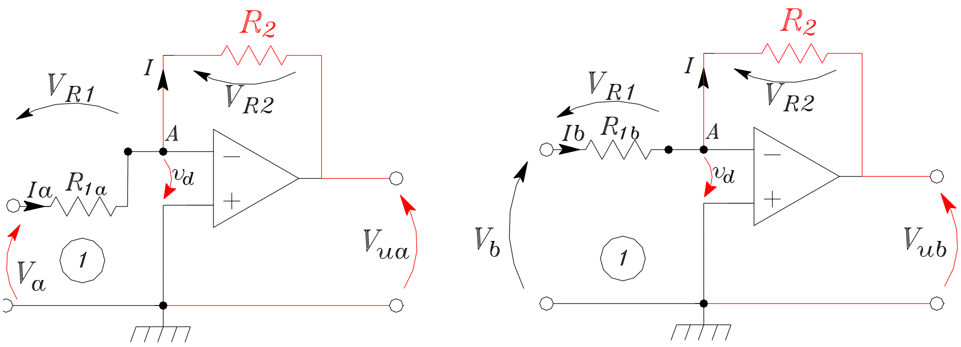


Può essere realizzato anche in configurazione non invertente.

Impieghi:

Trova utilizzo nella miscelazione dei segnali oppure nella somma o prodotto dei medesimi per valori costanti.

Per ottenere la relazione che lega l'uscita agli ingressi, si applica il principio di sovrapposizione degli effetti, pertanto si analizzeranno separatamente i seguenti circuiti:



trattasi di due amplificatori invertenti, analizzati nelle pagine precedenti, quindi si può scaturire che:

$$vu_a = -R_2 \cdot \frac{vi_a}{R_{1a}}$$

$$vu_b = -R_2 \cdot \frac{vi_b}{R_{1b}}$$

sommandoli, per il principio di sovrapposizione degli effetti, si ottiene:

$$vu = vu_a + vu_b$$

$$\boxed{vu = -R_2 \cdot \frac{vi_a}{R_{1a}} - R_2 \cdot \frac{vi_b}{R_{1b}}}$$

casi particolari del sommatore:

sommatore a guadagno unitario:

Se tutte le resistenze hanno valore uguale, vale a dire:

$$R_2 = R_{1a} = R_{1b}$$

L'espressione della tensione d'uscita del sommatore invertente analizzato in precedenza si riduce a:

$$\boxed{vu = -(vi_a + vi_b)}$$

circuito per la media delle tensioni:

Se tutte le resistenze applicate al morsetto invertente hanno valore uguale, vale a dire:

$$R_{1a} = R_{1b} = R$$

ed $$R = 2 \cdot R_2$$

L'espressione della tensione d'uscita del sommatore invertente si riduce a:

$$vu = -R_2 \cdot \frac{vi_a}{2 \cdot R_2} - R_2 \cdot \frac{vi_b}{2 \cdot R_2}$$

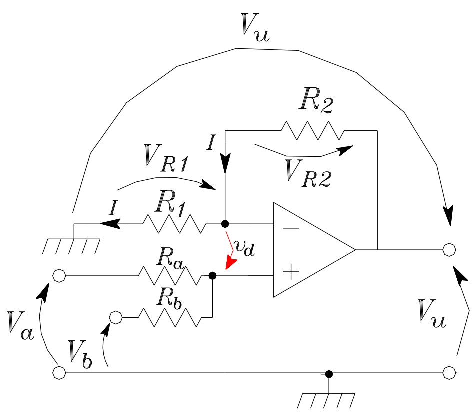
$$\boxed{vu = -\frac{(vi_a + vi_b)}{2}}$$

che rappresenta la media delle due tensioni applicate all'ingresso. Lo stesso procedimento si può applicare per più ***n*** ingressi, in tal caso il valore della R sarà $R = n \cdot R_2$ e la tensione d'uscita:

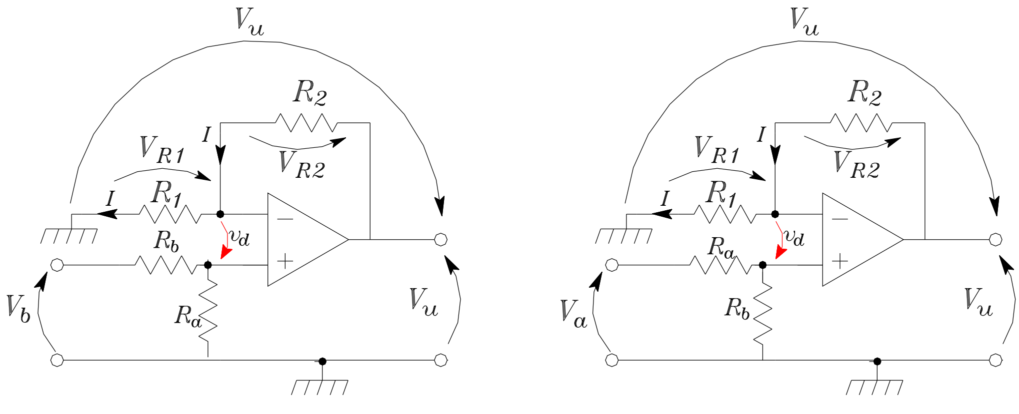
$$\boxed{vu = -\frac{va + vb + vc + \ldots + vn}{n}}$$

che rappresenta la media delle **n** tensioni applicate all'ingresso.

Sommatore non invertente



Per ottenere la relazione che lega l'uscita agli ingressi, si applica il principio di sovrapposizione degli effetti, pertanto si analizzeranno separatamente i seguenti circuiti:



Sono due amplificatori non invertenti con un partitore di tensione in ingresso.
Applicando il partitore di tensione all'ingresso del primo circuito ottengo:

$$v+ = vb \cdot \frac{Ra}{Ra + Rb}$$

essendo che *vd=0* si ricava che: $v_+ = v_- = V_{R1}$, ricordando che trattasi di un amplificatore non invertente si ottiene:

$$vu = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \cdot \frac{Ra}{Ra + Rb} \cdot vb$$

lo stesso vale per il circuito con *vb=0*, ottenendo:

$$vu = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \cdot \frac{Rb}{Ra + Rb} \cdot va$$

sommando le due uscite:

$$vu = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \cdot \left(\frac{Rb}{Ra + Rb} \cdot va + \frac{Ra}{Ra + Rb} \cdot vb\right)$$

se moltiplico e divido ***va*** per ***Ra***, ed ***vb*** per ***Rb*** si ottiene:

$$vu = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \cdot \left(\frac{Rb \cdot Ra}{Ra + Rb} \cdot \frac{va}{Ra} + \frac{Ra \cdot Rb}{Ra + Rb} \cdot \frac{vb}{Rb}\right)$$

da cui si ricava:

$$\boxed{vu = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \cdot (Ra \,//\, Rb)\left(\frac{va}{Ra} + \frac{vb}{Rb}\right)}$$

<u>esercizio:</u>

Si determini l'andamento del segnale presente all'uscita dello schema seguente, nel quale un sommatore in connessione invertente pilota un amplificatore anch'esso invertente.

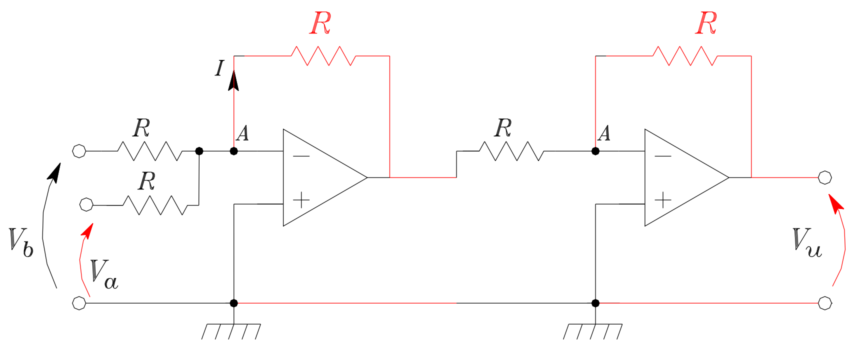
va: onda triangolare avente valor massimo $Va_M = 2$ [V] e frequenza *fa*= 100 [Hz]

vb: onda quadra di ampiezza Vb_M=2 [V] e frequenza $f_b = f_a / 2 = 50$ [Hz] e fase coincidente con quella dell'onda triangolare.

R = 10 kΩ

V_{CC}= + 15 V

V_{EE}= - 15 V



Soluzione:

si ricorda che per uno stadio amplificatore invertente vale la seguente relazione:

$$A = \frac{vu}{vi} = -\frac{R_2}{R_1}$$

essendo $R_2 = R_1 = R$ questo stadio ha il compito di l'uscita ottenuta dal sommatore per (- 1).

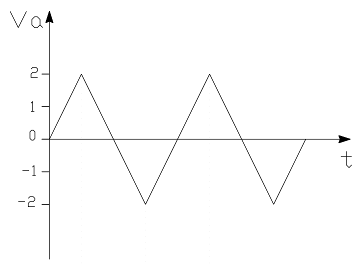
Altresì si evidenzia che il primo stadio è un circuito sommatore invertente a guadagno unitario dato che

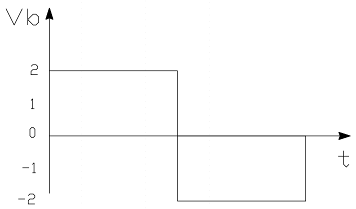
R_{1a}=R_{1b}=R_2 (vedasi pag. 5)

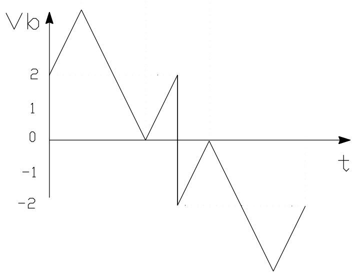
Pertanto l'uscita del circuito complessivo sarà:

$$vu = -(vu_a + vu_b) \cdot (-1)$$

$$vu = (vu_a + vu_b)$$



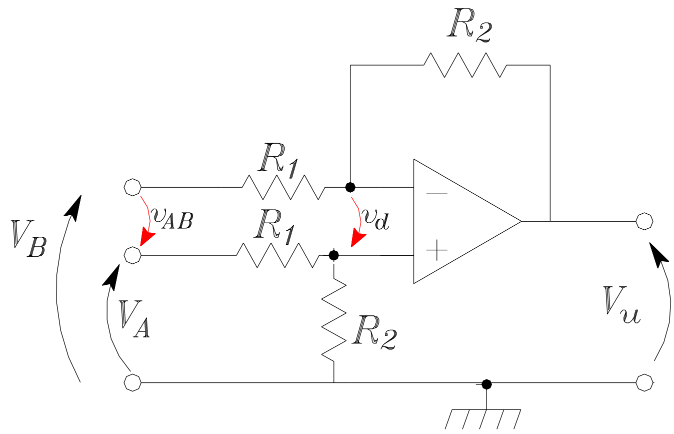




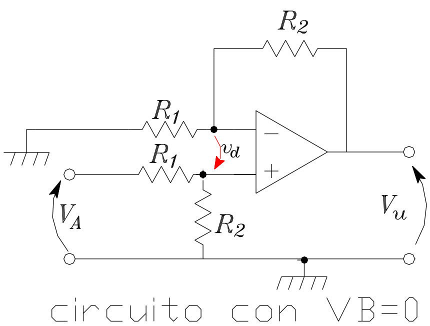
La connessione differenziale ideale

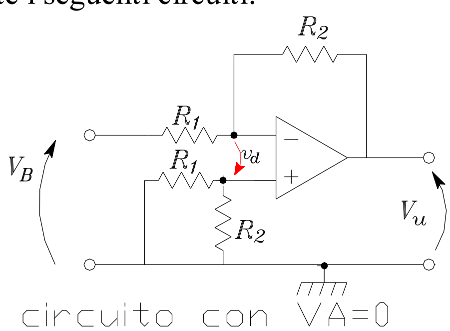
Ha il compito di amplificare la differenza di potenziale presente tra i suoi ingressi.

Schema e relazioni fondamentali



Per ottenere la relazione che lega l'uscita agli ingressi, si applica il principio di sovrapposizione degli effetti, pertanto si analizzeranno separatamente i seguenti circuiti:





Circuito con VB=0

Trattasi di un amplificatore non invertente, pertanto

$$vua = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot va \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

circuito con VA=0

Trattasi di un amplificatore invertente, pertanto

$$vub = vb \cdot \left(-\frac{R_2}{R_1}\right)$$

sommando le due uscita, si ottiene:

$$vu = vua + vub = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot va \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + vb\left(-\frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$\boxed{vu = \frac{R_2}{R_1} \cdot (va - vb)}$$