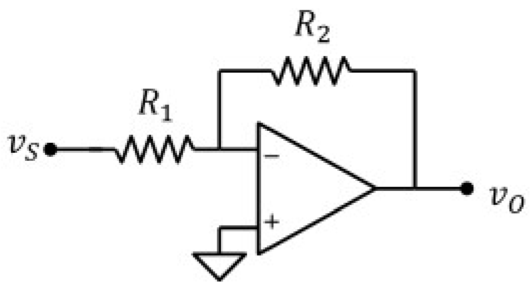
Amplificatori operazionali ideali

Esercizio 1

DATI: $R_1 = 3k\Omega$, $v_S = 6V$, $v_O = -18V$



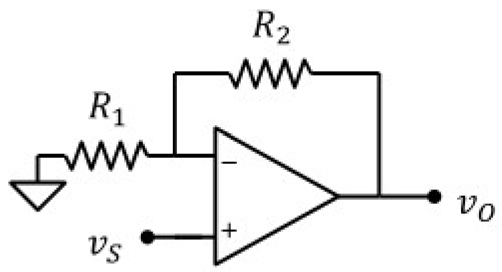
Principio del cortocircuito virtuale: $v_N = 0V \qquad v_P = v_N$

Corrente su attraverso R_1: $I_{R1} = \dfrac{v_N - v_S}{R_1} = -2 \cdot mA$

Corrente su attraverso R_2: $I_{R2} = I_{R1} \qquad \boxed{R_2 = \dfrac{v_O - v_N}{I_{R2}} = 9 \cdot k\Omega}$

Esercizio 2

DATI: $v_S = 1V$, $R_1 = 2k\Omega$, $R_2 = 5k\Omega$



1) Tensione di uscita

Si tratta di un operazionale in configurazione non invertente:

$A_v = 1 + \dfrac{R_2}{R_1} = 3.5 \qquad \boxed{v_O = v_S \cdot \left(1 + \dfrac{R_2}{R_1}\right) = 3.5\,V}$

2) Resistenza R2 affinchè $v_O = 5V$ **con** $v_S = 1V$

Guadagno richiesto: $A_v = \dfrac{v_O}{v_S} = 5$

Invertiamo la formula del guadagno: $\boxed{R_2 = R_1 \cdot (A_v - 1) = 8 \cdot k\Omega}$

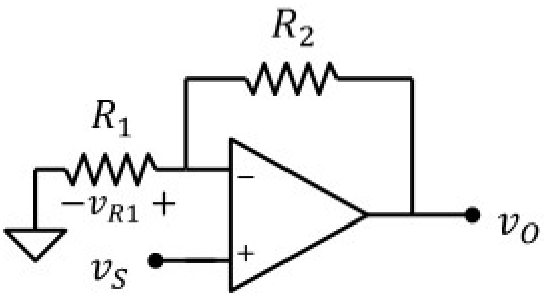
In modo alternativo, si può usare il principio del cortocircuito virtuale:

$$\frac{v_O - v_S}{R_2} = \frac{v_S - 0}{R_1}$$

$$\boxed{R_2 = R_1 \cdot \frac{v_O - v_S}{v_S} = 8 \cdot k\Omega}$$

Esercizio 3

DATI: $v_S = 10mV,\ R_1 = 1.5k\Omega,\ R_2 = 540k\Omega$



1) Il guadagno di tensione

Configurazione non invertente: $\boxed{A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 361}$

2) La tensione di uscita v_O

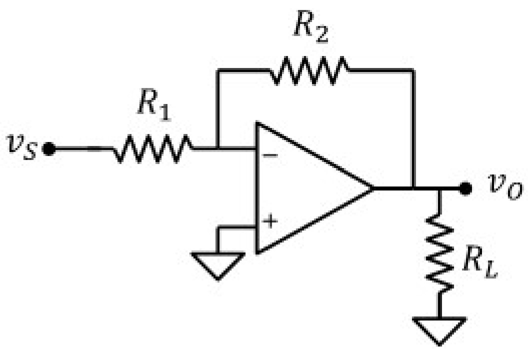
$\boxed{v_O = A_v \cdot v_S = 3.61\ V}$

3) La caduta di tensione ai capi di R_1.

$\boxed{v_{R1} = v_S = 10 \cdot mV}$ (principio del cortocircuito virtuale)

Esercizio 4

DATI: $R_1 = 2.2k\Omega,\ R_L = 10k\Omega,\ v_S = -10mV$



1) Resistenza R_2 sapendo che il guadagno ha modulo 100:

Stadio invertente, quindi il guadagno è negativo: $A_v = -100$

$A_v = \frac{-R_2}{R_1}$ $\boxed{R_2 = R_1 \cdot (-A_v) = 220 \cdot k\Omega}$

2) corrente erogata dall'operazionale

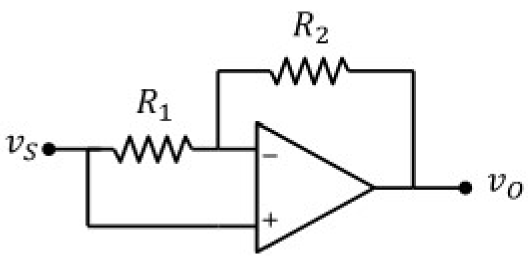
Tensione di uscita: $v_O = A_v \cdot v_S = 1\ V$

Corrente attraverso R_2 (uguale a quella su R_1): $I_{R2} = \frac{v_O - 0}{R_2} = 4.5 \cdot \mu A$

Corrente sul carico R_L: $I_{RL} = \frac{v_O}{R_L} = 100 \cdot \mu A$ $\boxed{I_O = I_{RL} + I_{R2} = 104.5 \cdot \mu A}$

Esercizio 5

DATI: $v_S = 10V,\ R_1 = 1k\Omega,\ R_2 = 1k\Omega$



principio del cortocircuito virtuale: $v_p = v_n = v_S$

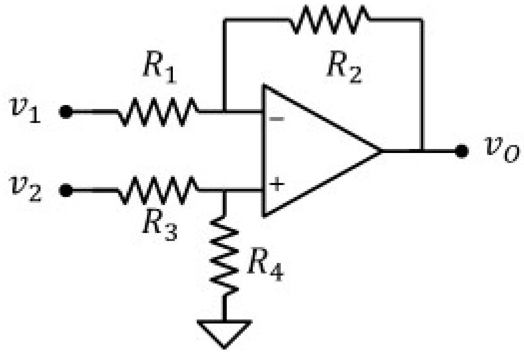
corrente attraverso R1: $I_{R1} = \frac{v_S - v_S}{R_1} = 0 \cdot mA$ $I_{R2} = I_{R1}$

tensione ai capi di R2 nulla, quindi: $\boxed{v_O = v_S = 10\ V}$

Esercizio 6

Calcolare R_1, R_2, R_3, R_4 in modo tale che:

$v_O = v_2 - 2\cdot v_1$ **e** $R_{IN2} = 3k\Omega$



Usiamo la sovrapposizione degli effetti:

ponendo $v_2 = 0$, troviamo la configurazione invertente:

$$v_O = -\frac{R_2}{R_1}\cdot v_1 \qquad -\frac{R_2}{R_1} = -2 \qquad \boxed{R_2 = 2\cdot R_1}$$

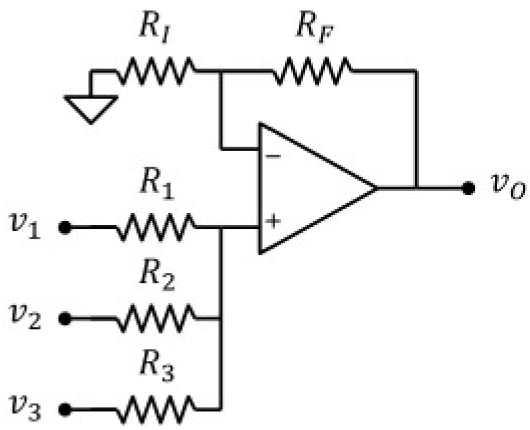
ponendo $v_1 = 0$, troviamo la configurazione non invertente:

$$v_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\cdot\frac{R_4}{R_3 + R_4}\cdot v_2 = 3\cdot\frac{R_4}{R_3 + R_4}\cdot v_2 \qquad \frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{1}{3} \qquad \boxed{R_4 = \frac{R_3}{2}}$$

Esercizio 7

1) tensione di uscita

Tensione del terminale non invertente (dalla legge di kirchhoff):



$$\frac{v_1 - v_P}{R_1} + \frac{v_2 - v_P}{R_2} + \frac{v_3 - v_P}{R_3} = 0$$

$$v_P\cdot\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) = \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3}$$

$$v_P = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)^{-1}\cdot\left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3}\right)$$

AO in configurazione non invertente

$$\boxed{v_O = \left(1 + \frac{R_F}{R_I}\right)\cdot v_P = \left(1 + \frac{R_F}{R_I}\right)\cdot\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)^{-1}\cdot\left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3}\right)}$$

2) posto $R_1 = 10k\Omega$ e $R_I = 10k\Omega$, che valore devono avere le altre resistenze per ottenere $v_O = v_1 + v_2 + v_3$?

L'uscita è data dall somma pesata degli ingressi e amplificata di $(1+R_F/R_I)$.
Il peso di ciascun ingresso è $1/R_x$ (x = 1,2,3)

Se tutti gli ingressi devono avere lo stesso peso, poniamo: $\boxed{R_2 = R_1 = 10\cdot k\Omega}$ $\boxed{R_3 = R_1 = 10\cdot k\Omega}$

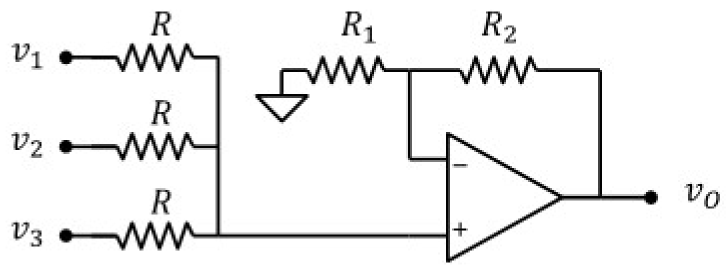
$$v_O = \left(1 + \frac{R_F}{R_I}\right)\cdot\left(\frac{v_1 + v_2 + v_3}{3}\right)$$

Per avere guadagno 1, è necessario che:

$$1 + \frac{R_F}{R_I} = 3 \qquad \boxed{R_F = 2\cdot R_I = 20\cdot k\Omega}$$

Esercizio 8

determinare il valore delle resistenze R_1 e R_2 affinché svolga la funzione



$$v_O = \frac{5}{3}\cdot\left(v_1 + v_2 + v_3\right)$$

Tensione del terminale non invertente:

$$\frac{v_1 - v_P}{R} + \frac{v_2 - v_P}{R} + \frac{v_3 - v_P}{R} = 0$$

$$v_P = \frac{v_1 + v_2 + v_3}{3}$$

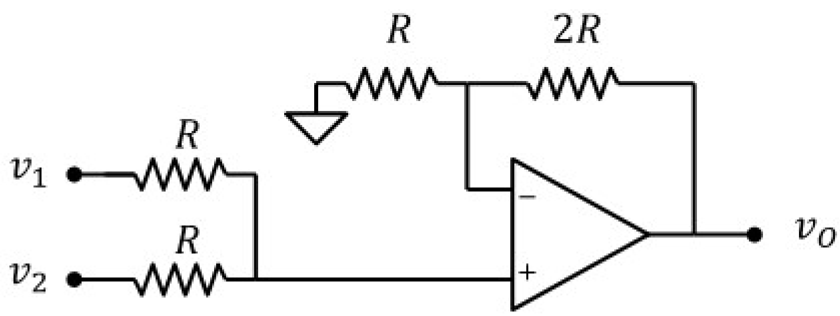
Tensione di uscita:

$$v_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\cdot v_P = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\cdot\frac{v_1 + v_2 + v_3}{3}$$

$$1 + \frac{R_F}{R_I} = 5 \qquad \boxed{R_2 = 4R_1}$$

Esercizio 9

Tensione di uscita

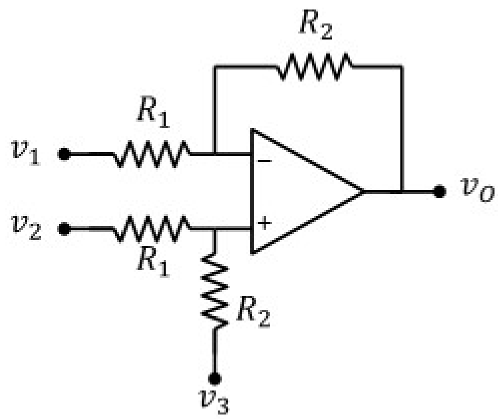


Potenziale del terminale non invertente:

$$v_P = v_1 + \frac{R}{2R}\cdot\left(v_2 - v_1\right) = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$\boxed{v_O = v_P\cdot\left(1 + \frac{2R}{R}\right) = \frac{3}{2}\left(v_1 + v_2\right)}$$

Esercizio 10



DATI: $R_1 = 4k\Omega$, $R_2 = 20k\Omega$

1) Tensione di uscita in funzione di v_1, v_2, v_3

Sovrapposizione degli effetti:

segnale v_1: ($v_2 = 0$, $v_3 = 0$). *Configurazione invertente*

$$v_O = -\frac{R_2}{R_1} \cdot v_1$$

segnale v_2: ($v_1 = 0$, $v_3 = 0$). *Configurazione non invertente*

$$v_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot v_2 = \frac{R_2}{R_1} \cdot v_2$$

segnale v_3: ($v_1 = 0$, $v_2 = 0$). *Configurazione non invertente*

$$v_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_3 = v_3$$

Sommiamo gli effetti:

$$\boxed{v_O = -\frac{R_2}{R_1} \cdot v_1 + \frac{R_2}{R_1} \cdot v_2 + v_3 = \frac{R_2}{R_1} \cdot (v_2 - v_1) + v_3}$$

2a) Tensione di uscita con: $v_1 = 1V$, $v_2 = 1V$, $v_3 = 0V$

$$\boxed{v_O = \frac{R_2}{R_1} \cdot (v_2 - v_1) + v_3 = 0\,V}$$

2b) Tensione di uscita con: $v_1 = 1V$, $v_2 = 0.5V$, $v_3 = 2V$

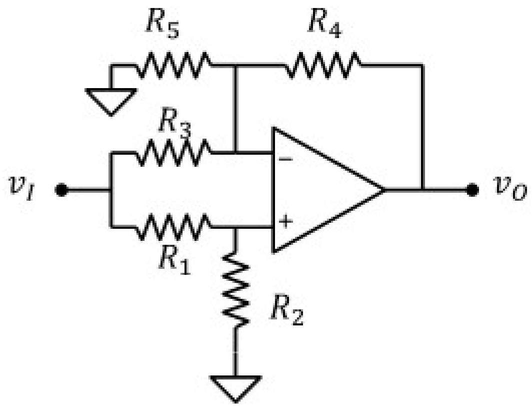
$$\boxed{v_O = \frac{R_2}{R_1} \cdot (v_2 - v_1) + v_3 = -0.5\,V}$$

2b) Tensione di uscita con: $v_1 = 1V$, $v_2 = 0.5V$, $v_3 = -1V$

$$\boxed{v_O = \frac{R_2}{R_1} \cdot (v_2 - v_1) + v_3 = -3.5\,V}$$

Esercizio 11

DATI: $R_1 = 20k\Omega,\ R_2 = 20k\Omega,\ R_3 = 5k\Omega,\ R_4 = 20k\Omega,\ R_5 = 4k\Omega$



Guadagno di tensione

$$v_P = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\cdot v_S = \frac{1}{2}\cdot v_S \qquad v_N = v_P \quad \text{(cortocircuito virtuale)}$$

Legge di kirchhoff al terminale invertente:

$$I_{R4} = I_{R5} + I_{R3}$$

Corrente attraverso R_3: $$I_{R3} = \frac{v_N - v_S}{R_3} \qquad I_{R3} = -\frac{1}{R_3}\cdot\frac{R_1}{R_1 + R_2}\cdot v_S = -\frac{1}{2}\cdot\frac{v_S}{R_3}$$

Corrente attraverso R_3: $$I_{R5} = \frac{v_N}{R_5} \qquad I_{R5} = \frac{1}{R_5}\cdot\frac{R_2}{R_1 + R_2}\cdot v_S = \frac{1}{2}\cdot\frac{v_S}{R_5}$$

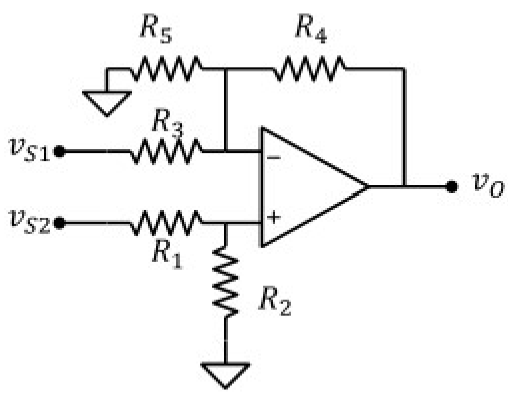
Corrente attraverso R4: $$I_{R4} = \left(\frac{1}{R_5}\cdot\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{1}{R_3}\cdot\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)\cdot v_S = \frac{1}{2}\cdot v_S\cdot\left(\frac{1}{R_5} - \frac{1}{R_3}\right)$$

Tensione di uscita: $$v_O = v_N + I_{R4}\cdot R_4 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\cdot v_S + R_4\cdot\left(\frac{1}{R_5}\cdot\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{1}{R_3}\cdot\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)\cdot v_S$$

$$\boxed{A_V = \frac{R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_4}{R_5}\cdot\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3}\cdot\frac{R_1}{R_1 + R_2} = 1}$$

Metodo alternativo.
Usiamo il circuito a lato che equivale a quello di partenza se $v_{S1} = v_{S2} = v_S$ e applichiamo la sovrapposizione degli effetti

$v_{S1} = 0$, $v_{S2} = v_S$ (*configurazione non invertente*)



R_3 e R_5 sono in parallelo. $$\frac{R_3\cdot R_5}{R_3 + R_5} = 2.22\cdot k\Omega$$

$$v_O = \left[1 + \frac{R_4\cdot(R_3 + R_5)}{R_3\cdot R_5}\right]\cdot\frac{R_2}{R_1 + R_2}\cdot v_S = 5\cdot v_S$$

$v_{S2} = 0$, $v_{S1} = v_S$ (*configurazione non invertente*)

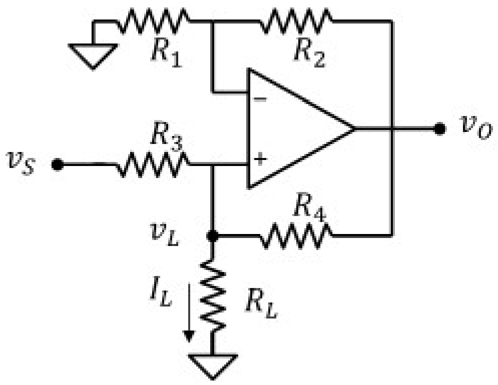
Per il principio del cortocircuito virtuale $v_P = v_N = 0$: Tensione ai capi di R_5 nulla, quindi $I_{R5} = 0$

$$v_O = -\frac{R_4}{R_3}\cdot v_S = -4\cdot v_S$$

Uniamo i risultati: $$\boxed{v_O = \left[1 + \frac{R_4\cdot(R_3 + R_5)}{R_3\cdot R_5}\right]\cdot\frac{R_2}{R_1 + R_2}\cdot v_S - \frac{R_4}{R_3}\cdot v_S = 1\cdot v_S}$$

Esercizio 12

DATI: $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$



1) Corrente che attraversa il carico R_L.

Legge di kirchhoff al nodo v_L:

$$I_L = I_{R4} + I_{R3} = \frac{v_O - v_L}{R_4} + \frac{v_S - v_L}{R_3} = \frac{v_O}{R_4} + \frac{v_S}{R_3} - v_L \cdot \frac{R_4 + R_3}{R_4 \cdot R_3}$$

Principio del cortocircuito virtuale: $v_L = v_O \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

$$I_L = \frac{v_O}{R_4} + \frac{v_S}{R_3} - v_O \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_4 + R_3}{R_4 \cdot R_3} = \frac{v_O}{R_4} + \frac{v_S}{R_3} - v_O \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1}} \cdot \frac{\frac{R_4}{R_3} + 1}{R_4} = \frac{v_S}{R_3}$$

$$\boxed{I_L = \frac{v_S}{R_3}}$$

2) Resistenza equivalente di uscita del circuito al nodo v_L

Per calcolare la resistenza equivalente, scolleghiamo il carico, annulliamo l'ingresso v_S, applichiamo una tensione v_x al terminale non invertente dell'operazionale e calcoliamo la corrente assorbita i_x

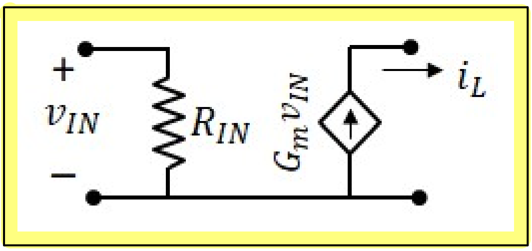
Legge di kirchhoff al nodo v_P: $I_X = \frac{v_X}{R_3} + \frac{v_X - v_O}{R_4}$

L'operazionale è in configurazione non invertente: $v_O = v_X \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$

$$I_X = \frac{v_X}{R_3} + \frac{v_X - v_X \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}{R_4} = \frac{v_X}{R_3} - \frac{v_X \frac{R_2}{R_1}}{R_4} = \frac{v_X}{R_3} - \frac{v_X}{R_3} = 0$$

$$\boxed{R_{OUT} = \frac{v_X}{I_X} = \infty}$$

3) Disegnare il modello a doppio bipolo



Guadagno di transconduttanza: $g_m = \frac{I_L}{v_S} = \frac{1}{R_3}$

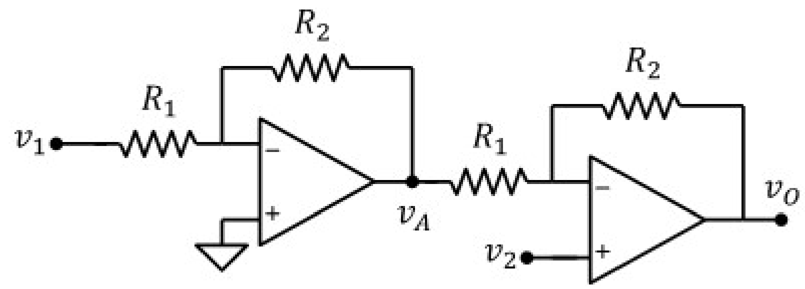
Resistenza di ingresso

$$i_S = \frac{v_S - v_L}{R_3} = \frac{v_S - R_L \cdot i_L}{R_3} = \frac{v_S - R_L \cdot \frac{v_S}{R_3}}{R_3} = v_S \cdot \frac{1}{R_3} \cdot \left(1 - \frac{R_L}{R_3}\right)$$

$$\boxed{R_{IN} = \frac{v_S}{i_S} = \frac{R_3 - R_L}{R_3^{\,2}}}$$

Esercizio 13

DATI:
$R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 1k\Omega$,
$v_1 = 10V$, $v_2 = 5V$



Calcolare la tensione di uscita
Usiamo la sovrapposizione degli effetti:

Solo il segnale v_1 ($v_2 = 0$)

primo stadio (configurazione invertente): $$v_A = -\frac{R_2}{R_1}\cdot v_1 = -10\,V$$

Secondo stadio (configurazione invertente): $$v_O = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right)\cdot\left(-\frac{R_2}{R_1}\right)\cdot v_1 = 10\,V$$

Solo il segnale v_2 ($v_1 = 0$)

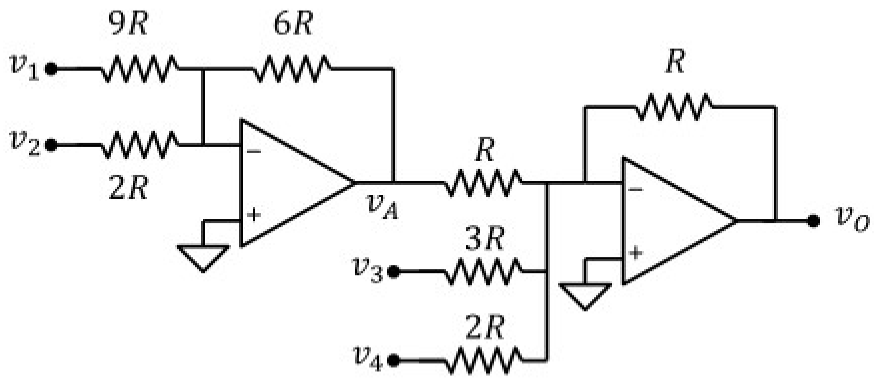
primo stadio (configurazione invertente): $$v_A = -\frac{R_2}{R_1}\cdot 0 = 0$$

Secondo stadio (configurazione non invertente): $$v_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\cdot v_2 = 10\,V$$

Mettiamo insieme: $$\boxed{v_O = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2\cdot v_1 + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\cdot v_2 = 20\,V}$$

Esercizio 14

Calcolare la tensione di uscita



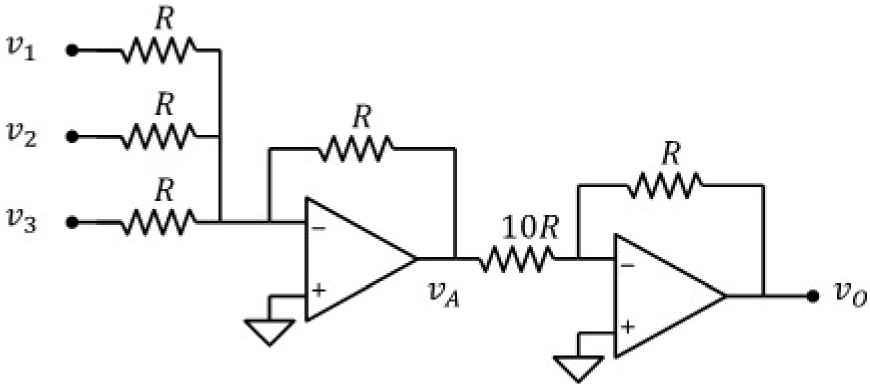
Primo stadio
(sommatore invertente a 2 ingressi):

$$v_A = -6R\cdot\left(\frac{v_1}{9R} + \frac{v_2}{2R}\right) = \frac{-2}{3}v_1 - 3v_2$$

Secondo stadio
(sommatore invertente a 3 ingressi):

$$\boxed{v_O = -R\cdot\left(\frac{v_A}{R} + \frac{v_3}{3R} + \frac{v_4}{2R}\right) = -v_A - \frac{v_3}{3} - \frac{v_4}{2} = \frac{2}{3}v_1 + 3v_2 - \frac{v_3}{3} - \frac{v_4}{2}}$$

Esercizio 15



Tensione di uscita v_O in funzione dei tre ingressi v_1, v_2 e v_3

Primo stadio (sommatore invertente):

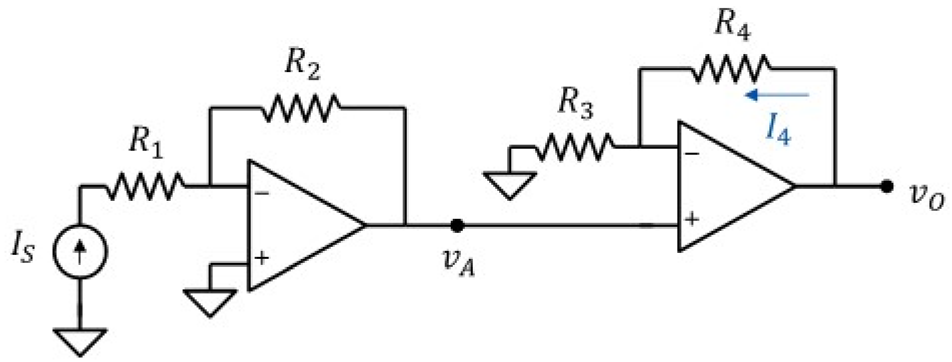
$$v_A = -R \cdot \left(\frac{v_1}{R} + \frac{v_2}{R} + \frac{v_3}{R} \right) = -(v_1 + v_2 + v_3)$$

Secondo stadio (configurazione invertente):

$$\boxed{v_O = \frac{-R}{10R} \cdot v_A = \frac{v_1 + v_2 + v_3}{10}}$$

Esercizio 16

DATI:
$R_1 = 1k\Omega,$
$R_2 = 100k\Omega,$
$R_3 = 1k\Omega,$
$I_S = 10\mu A$



1) Corrente attravreso R_4:

Pur non conoscendo la resistenza R_4, possiamo calcolare la corrente I_4 da quella che scorre su R3 (che sono uguali poichè l'ingresso dell'operazionale non assorbe corrente):

$$I_4 = \frac{v_A}{R_3}$$

Essendo nulla la corrente assorbita dall'ingresso dell'AO, per il principio del cortocircuito virtuale: $v_A = -R_2 \cdot I_S = -1\ V$

$$\boxed{I_4 = \frac{-R_2}{R_3} I_S = -1 \cdot mA}$$

2) Guadagno di transresistenza, resistenza di ingresso e di uscita:

Guadagno di transresistenza:

$$v_O = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \cdot v_A = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \cdot (-R_2 \cdot I_S)$$

$$\boxed{R_m = -R_2 \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) = -2.1 \cdot M\Omega}$$

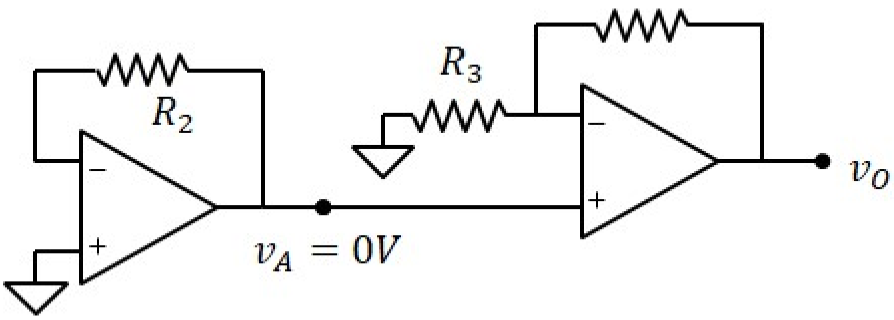
Resistenza di ingresso:

Fissiamo la tensione v_X all'ingresso, la corrente erogata dal generatore è: $i_X = \dfrac{v_X}{R_1}$

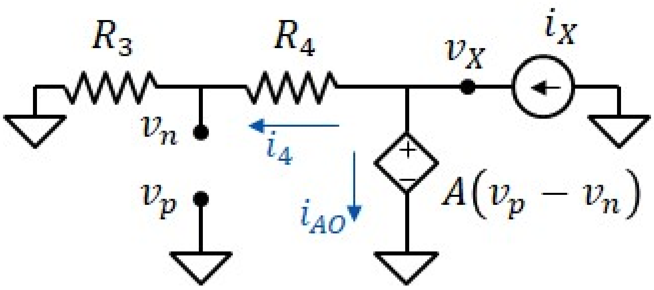
$$\boxed{R_{IN} = R_1 = 1 \cdot k\Omega}$$

Resistenza di uscita

Anulliamo i generatori indipendenti



Attenzione: l'uscita dell'operazionale è un generatore di tensione pilotato ideale. Non possiamo forzare tensione, quindi forziamo una corrente i_X e misuriamo la tensione di uscita v_X.



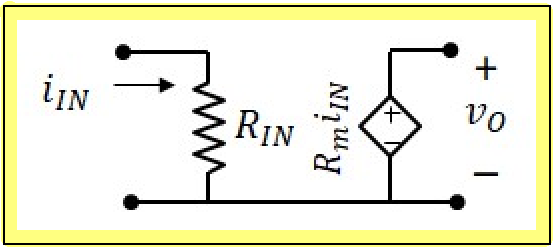
Corrente attraverso R_3: $i_3 = 0$ (R_3 è "virtualmente" cortocircuitata)

Corrente attraverso R_4: $i_4 = i_3$

Tensione v_x: $v_x = -R_4 \cdot i_4 = 0$

Resistenza di uscita: $\boxed{R_{OUT} = \frac{v_x}{i_x} = 0}$

3) Disegnare il modello a doppio bipolo



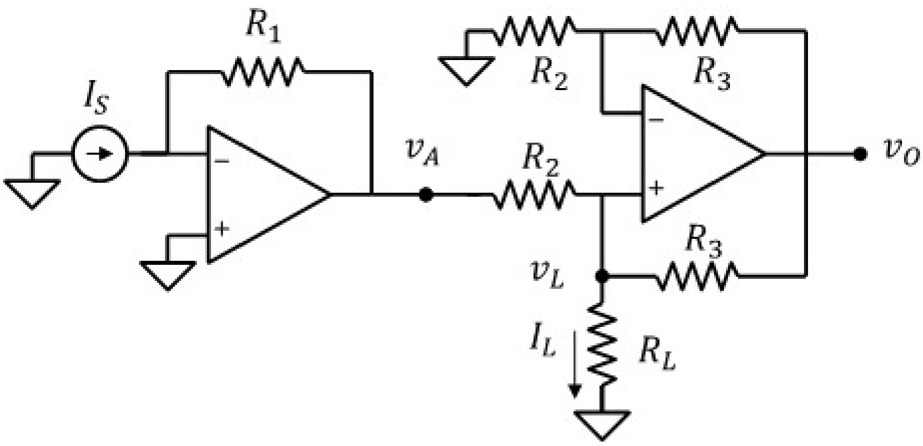
Esercizio 17

DATI:

$R_1 = 30k\Omega,$

$R_2 = 1k\Omega,$

$R_3 = 100\Omega,$



1) Guadagno di transresistenza, resistenza di ingresso e di uscita:

Resistenza di ingresso:

Il potenziale del terminale negativo è a massa virtuale, quindi non è possibile imporre tensione, imponiamo una corrente costante i_x e misuriamo la tensione v_x. $v_x = 0$ insipendemente da i_x.

$$\boxed{R_{IN} = \frac{v_x}{i_x} = 0}$$

Resistenza di uscita

imponiamo $v_L = v_x$ (quindi $v_n = v_p = v_x$) e misuriamo i_x.

$$v_o = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \cdot v_x$$

$$i_x = \frac{v_x - v_o}{R_3} + \frac{v_x}{R_2} = \frac{v_x - \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \cdot v_x}{R_3} + \frac{v_x}{R_2} = v_x \cdot \left(-\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2}\right) = 0 \qquad \boxed{R_{OUT} = \frac{v_x}{i_x} = \infty}$$

Guadagno di transresistenza:

Tesnione di uscita del primo stadio: $v_A = -R_1 \cdot I_S$

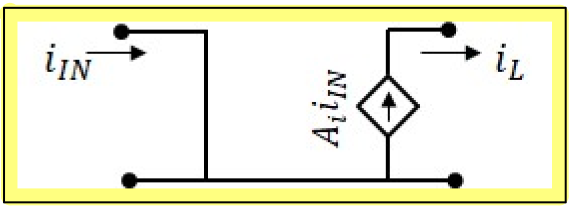
Definiamo v_L la tensione del morsetto non invertente del secondo AO, il nodo di uscita ha potenziale:

$$v_O = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \cdot v_L$$

Corrente i_L:

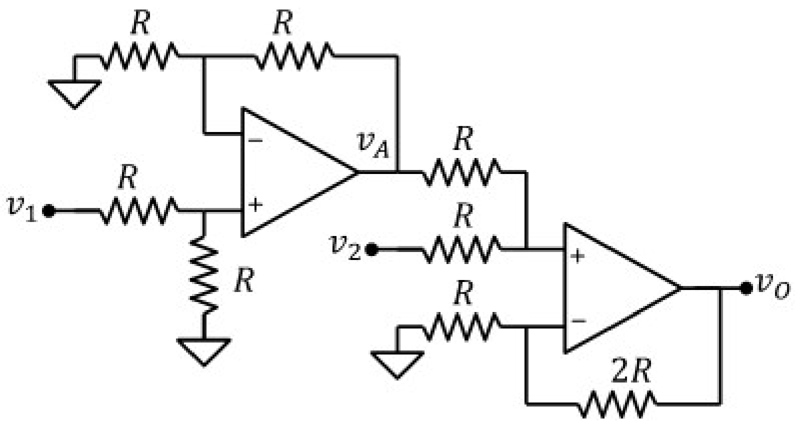
$$i_L = i_3 + i_2 = \frac{v_A - v_L}{R_2} + \frac{v_O - v_L}{R_3} = \frac{v_A}{R_2} - \frac{v_L}{R_2} + \frac{\left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \cdot v_L - v_L}{R_3} = \frac{-R_1 \cdot I_S}{R_2} \qquad \boxed{A_i = \frac{-R_1}{R_2} = -30}$$

2) Disegnare il modello a doppio bipolo



Esercizio 18

Calcolare il guadagno del circuito



Primo stadio: (configurazione non invertente):

$$v_A = \left(1 + \frac{R}{R}\right)\cdot\frac{R}{R + R}\cdot v_1 = v_1$$

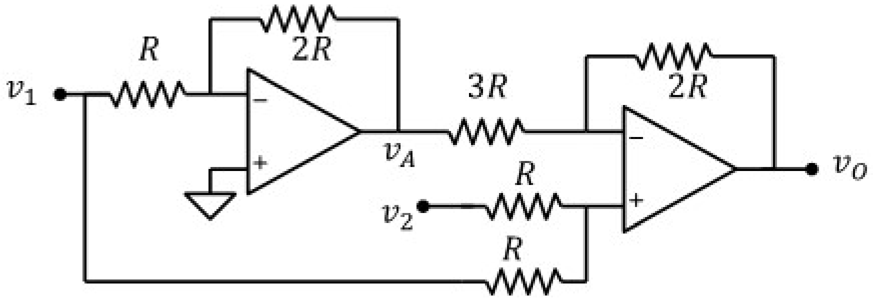
Secondo stadio: (configurazione non invertente):

potenziale dell'ingresso v_P (regola del partitore):

$$v_P = v_2 + \left(\frac{R}{R + R}\right)\cdot(v_1 - v_2) = \frac{v_1}{2} + \frac{v_2}{2}$$

$$\boxed{v_O = \left(1 + \frac{2R}{R}\right)\cdot v_P = \frac{3}{2}\cdot(v_1 + v_2)}$$

Esercizio 19



1) La tensione di uscita in funzione degli ingressi v_1 e v_2.

Primo stadio: configurazione invertente

$$v_A = -\frac{2R}{R}\cdot v_1 = -2v_1$$

Secondo stadio: usiamo la sovrapposizione degli effetti applicando uno alla volta i segnali v_1, v_A e v_2. Nell'analisi del secondo stadio assumiamo i tre ingressi come se fossero indipendenti.

Solo segnale v_A ($v_1 = 0$, $v_2 = 0$): configurazione invertente.

$$v_O = -\frac{2R}{3R}\cdot v_A = -\frac{2}{3}\cdot v_A$$

Solo segnale v_1 ($v_A = 0$, $v_2 = 0$): configurazione non invertente:

$$v_O = \left(1 + \frac{2R}{3R}\right)\cdot\frac{R}{R + R}\cdot v_1 = \frac{5}{6}\cdot v_1$$

Solo segnale v_2 ($v_A = 0$, $v_1 = 0$)

$$v_O = \left(1 + \frac{2R}{3R}\right)\cdot\frac{R}{R + R}\cdot v_2 = \frac{5}{6}\cdot v_2$$

Sommiamo tutto:

$$v_O = -\frac{2}{3}\cdot v_A + \frac{5}{6}\cdot v_1 + \frac{5}{6}\cdot v_2 = \frac{4}{3}\cdot v_1 + \frac{5}{6}\cdot v_1 + \frac{5}{6}\cdot v_2$$

$$\boxed{v_O = \frac{13}{6}\cdot v_1 + \frac{5}{6}\cdot v_2}$$

2) Il valore dell'ingresso v_1 tale che con $v_2 = -7.8\text{V}$ **la tensione di uscita sia** $v_O = 0\text{V}$

$$\boxed{v_1 = \frac{6\cdot v_O - 5\cdot v_2}{13} = 3\ \text{V}}$$

Esercizio 20

DATI:

$R_1 = 40k\Omega,$

$R_2 = 120k\Omega,$

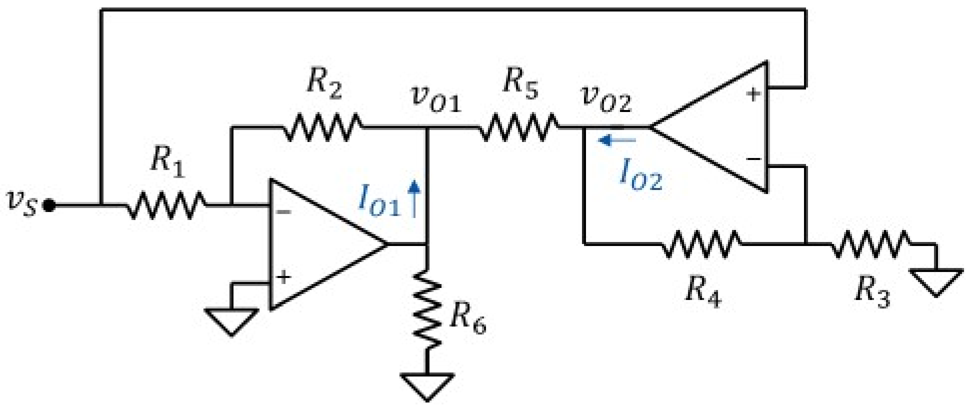
$R_3 = 20k\Omega,$

$R_4 = 80k\Omega,$

$R_5 = 8k\Omega,$

$R_6 = 6k\Omega$

$v_S = 2V$



1) I valori delle uscite v_{O1} e v_{O2}

AO1: configurazione invertente: $v_{O1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot v_S = -6\ V$

AO2: configurazione non invertente: $v_{O2} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \cdot v_S = 10\ V$

2) Le correnti erogate dagli operazionali.

AO1: $I_{O1} = \frac{v_{O1}}{R_6} + \frac{v_{O1} - v_{O2}}{R_5} + \frac{v_{O1}}{R_2} = -3.05 \cdot mA$

AO1: $I_{O2} = \frac{v_{O2}}{R_4 + R_3} + \frac{v_{O2} - v_{O1}}{R_5} = 2.1 \cdot mA$

Esercizio 21

DATI:

$R_1 = 1k\Omega$,

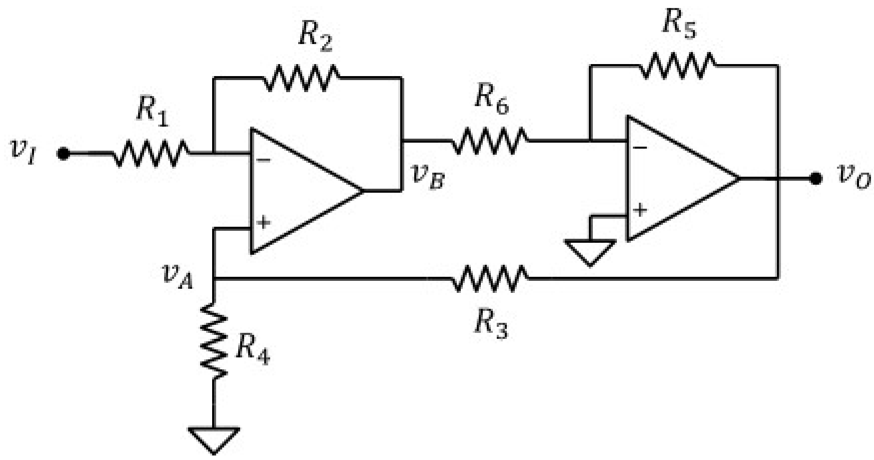
$R_2 = 3k\Omega$,

$R_3 = 6k\Omega$,

$R_4 = 2k\Omega$

$R_5 = 1k\Omega$,

$R_6 = 2k\Omega$



Calcolare il guadagno del circuito

Si tratta di un sistema retroazionato: Speziamo la catena di retroazione al nodo v_A e calcoliamo il guadagno dagli ingressi v_I e v_A all'uscita v_O:

Primo stadio.
Applicando la sovrapposizione degli effetti otteniamo:

$$v_B = v_A \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - v_I \cdot \frac{R_2}{R_1} \qquad 1 + \frac{R_2}{R_1} = 4 \qquad -\frac{R_2}{R_1} = -3$$

Secondo stadio.
Configurazione invertente:

$$v_O = -\frac{R_5}{R_6} \cdot v_B \qquad -\frac{R_5}{R_6} = -0.5$$

Complessivamente:

$$v_O = -\frac{R_5}{R_6} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot v_A + \frac{R_5}{R_6} \cdot \frac{R_2}{R_1} \cdot v_I$$

$$v_O = -A \cdot v_A + C \cdot v_I \qquad A = \frac{R_5}{R_6} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 2 \qquad C = \frac{R_5}{R_6} \cdot \frac{R_2}{R_1} = 1.5$$

Catena di retroazione:

$$v_A = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot v_O = B \cdot v_O \qquad B = \frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{1}{4}$$

$$v_O = -A \cdot B \cdot v_O + C \cdot v_I$$

$$v_O \cdot (1 + A \cdot B) = C \cdot v_I$$

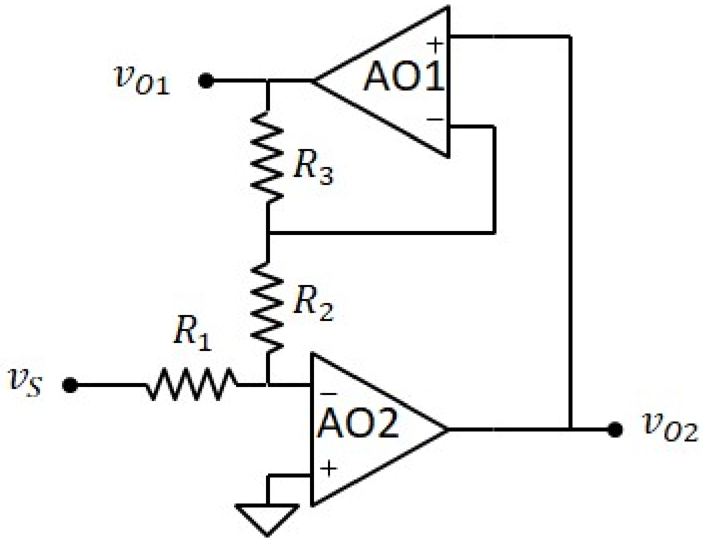
$$v_O = \frac{C}{1 + A \cdot B} \cdot v_I$$

$$\boxed{A_v = \frac{C}{1 + A \cdot B} = 1}$$

Esercizio 22

DATI: $R_1 = 10k\Omega$, $R_2 = 20k\Omega$, $R_3 = 30k\Omega$

1) I guadagni di tensione dall'ingresso v_S all' uscita v_{O1} e da v_S a v_{O2}



Per il principio del cortcircuito virtuale, il potenziale del terminale invertente di AO2 è a 0V, quindi AO1 si trova in configurazione non invertente:

$$v_{O1} = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right)\cdot v_{O2}$$

Sempre per il principio del cortocircuito virtuale, la corrente attraverso R_1 è:

$$I_{R1} = \frac{v_S}{R_1}$$

La stessa corrente passa per R_2 e R_3 poichè gli AO non assorbono corrente agli ingressi:

$$I_{R2} = I_{R3} = \frac{0 - v_{O1}}{R_2 + R_3} = \frac{v_S}{R_1}$$

Ricaviamo, quindi:

$$v_{O1} = -\frac{R_2 + R_3}{R_1}\cdot v_S \qquad v_{O2} = \frac{v_{O1}}{1 + \frac{R_3}{R_2}} = -\frac{R_2}{R_1}\cdot v_S$$

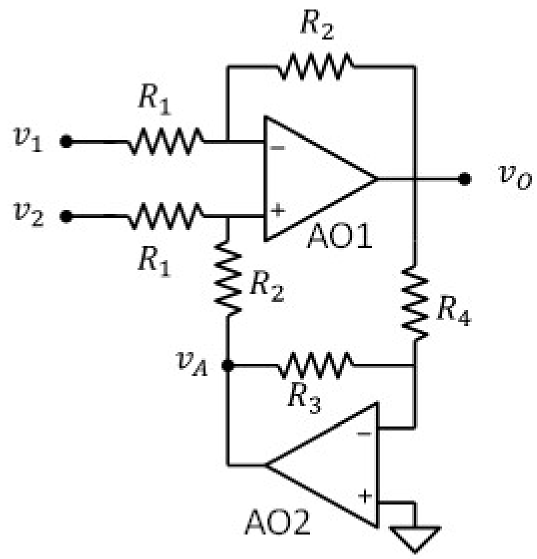
$$\boxed{A_{v1} = -\frac{R_2 + R_3}{R_1} = -5} \qquad \boxed{A_{v2} = -\frac{R_2}{R_1} = -2}$$

2) La resistenza di ingresso.

$$R_{IN} = R_1 = 10\cdot k\Omega$$

Esercizio 23

DATI:
$R_1 = 2k\Omega,\ R_2 = 10k\Omega,\ R_3 = 5k\Omega,\ R_4 = 5k\Omega$



Relazione tra gli ingressi v_1 e v_2 e la tensione di uscita v_O

Interrompiamo la catena di retroazione e calcoliamo la tensione di uscita di ciascun stadio:

Primo stadio (da v_1,v_2 a v_O): usiamo la sovrapposizione degli effetti:

$$v_O = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right)\cdot\frac{R_2}{(R_1 + R_2)}\cdot v_2 - \frac{R_2}{R_1}v_1 + \left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right)\cdot\frac{R_1}{(R_1 + R_2)}\cdot v_A$$

$$v_O = \frac{R_2}{R_1}\cdot v_2 - \frac{R_2}{R_1}v_1 + v_A = \frac{R_2}{R_1}\cdot(v_2 - v_1) + v_A$$

Secondo stadio (da v_O,a v_A): configurazione invertente:

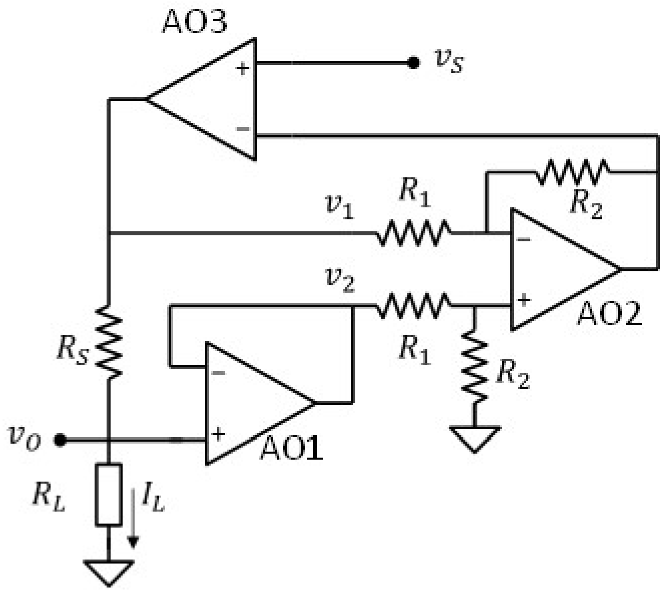
$$v_A = -\frac{R_3}{R_4}\cdot v_O = -v_O$$

Sistema in retroazione:

$$v_O = \frac{R_2}{R_1}\cdot v_2 - \frac{R_2}{R_1}v_1 + v_A = \frac{R_2}{R_1}\cdot(v_2 - v_1) + (-v_O)$$

$$\boxed{v_O = \frac{R_2}{2\cdot R_1}\cdot(v_2 - v_1)} \qquad \boxed{A_v = \frac{R_2}{2R_1} = 2.5}$$

Esercizio 24



DATI:

$R_1 = 1k\Omega,\ R_2 = 100k\Omega,\ R_S = 10k\Omega,\ R_L = 1.5M\Omega$

$v_S = -2V$

1) tensione ai capi del carico R_L e la corrente attraverso R_L

AO1 è in configurazione di inseguitore di tensione:

$$v_2 = v_O$$

AO2 è in configurazione differenziale:

$$v_{O2} = A_d \cdot (v_2 - v_1) \qquad A_d = \frac{R_2}{R_1} = 100$$

Per il cortocircuito virtuale:

$$v_{O2} = v_S \qquad v_2 - v_1 = v_O - v_1 = \frac{v_S}{A_d}$$

La caduta ai capi di R_S è: $$v_{RS} = v_1 - v_O = \frac{-v_S}{A_d}$$

La corrente che attravresa il carico I_L è la stessa che attraversa la resistenza R_S.

$$\boxed{I_L = \frac{-v_S}{A_d \cdot R_S} = 2 \cdot \mu A}$$

Tensione ai capi del carico: $$v_O = R_L \cdot I_L = 3\ V$$

2) le tensioni di uscita di tutti gli operazionali

$$\boxed{v_{O1} = v_O = 3\ V}$$

$$\boxed{v_{O3} = (R_S + R_L) \cdot I_L = 3.02\ V}$$

$$v_1 = v_{O3} \qquad v_2 = v_{O1} \qquad \boxed{v_{O2} = A_d \cdot (v_2 - v_1) = -2\ V}$$

3) Le correnti erogate dagli operazionali

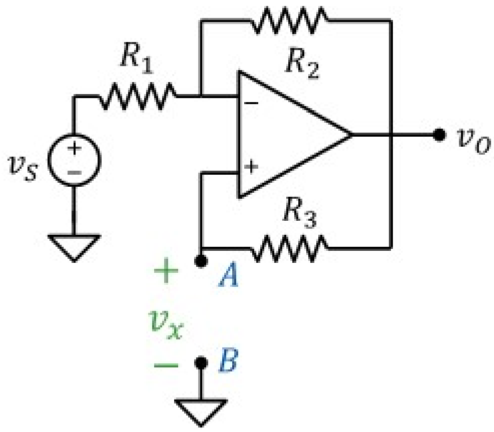
$$\boxed{I_{O1} = \frac{v_{O1}}{R_1 + R_2} = 29.7 \cdot \mu A}$$ Positiva, quindi uscente

$$\boxed{I_{O2} = \frac{v_{O2} - v_{O3}}{R_1 + R_2} = -49.7 \cdot \mu A}$$ Negativa quindi entrante

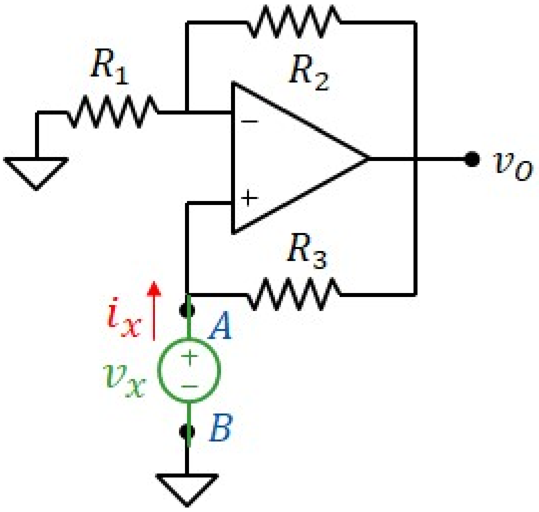
$$\boxed{I_{O3} = \frac{v_{O3} - v_{O2}}{R_1 + R_2} + I_L = 51.7 \cdot \mu A}$$ Positiva, quindi uscente

Esercizio 25

DATI: $R_1 = 5k\Omega,\ R_2 = 3k\Omega,\ R_3 = 12k\Omega,\ v_S = 2V$



1) Resistenza equivalente tra A e B



$$v_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\cdot v_X \qquad i_X = \frac{v_X - v_O}{R_3} = \frac{v_X - \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\cdot v_X}{R_3} = \frac{-R_2}{R_3\cdot R_1}$$

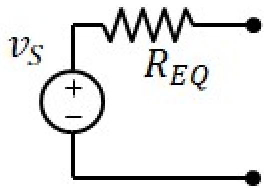
$$\boxed{R_{EQ} = \frac{-R_1\cdot R_3}{R_2} = -20\cdot k\Omega}$$

2) Modello equivalente di Thevenin tra A e B

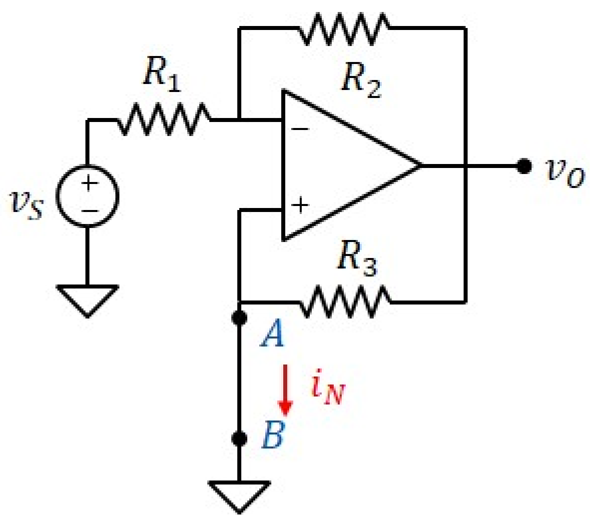
Tensione a vuoto: $v_X = v_O = v_P$ (Per R_3 non passa corrente)

corrente attraverso R_2: $i_{R2} = \frac{v_P - v_O}{R_2} = 0$

corrente attraverso R_1: $i_{R1} = \frac{v_S - v_P}{R_1} = 0$ $\boxed{v_P = v_S = 2\,V}$



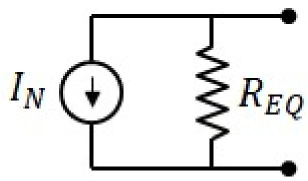
3) Modello equivalente di Norton tra A e B



$v_P = v_N = 0 \qquad v_O = \frac{-R_2}{R_1}\cdot v_S$

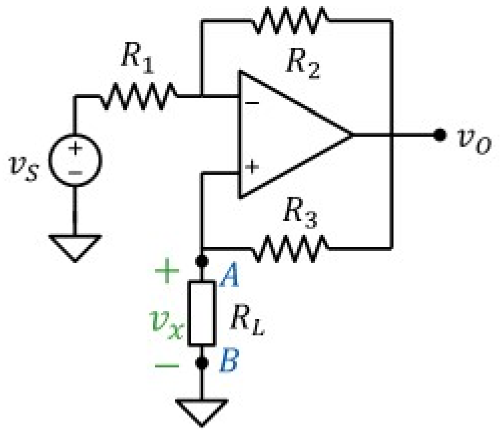
$$i_N = i_{R3} = \frac{v_O}{R_3} = \frac{-R_2}{R_1\cdot R_3}\cdot v_S$$

$$\boxed{I_N = \frac{-R_2}{R_1\cdot R_3}\cdot v_S = -0.1\cdot mA}$$



Esercizio 26

DATI: $R_1 = 10k\Omega$, $R_2 = 20k\Omega$, $R_3 = 50k\Omega$, $v_S = 1V$



1) Modello equivalente di Thevenin tra A e B

Resistenza equivalente:

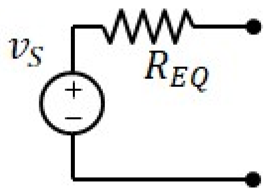
$$v_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\cdot v_X \qquad i_X = \frac{v_X - v_O}{R_3} = \frac{-R_2}{R_3 \cdot R_1}$$

$$\boxed{R_{EQ} = \frac{-R_1 \cdot R_3}{R_2} = -25 \cdot k\Omega}$$

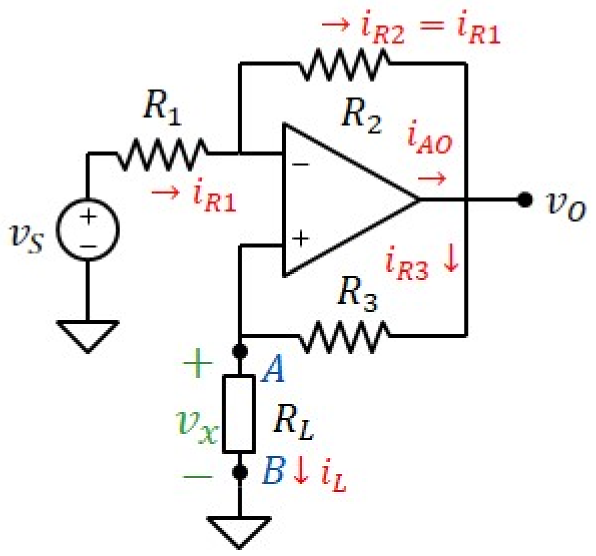
Tensione a vuoto: $v_X = v_O = v_P$ (Per R_3 non passa corrente)

corrente attraverso R_2: $i_{R2} = \dfrac{v_P - v_O}{R_2} = 0$

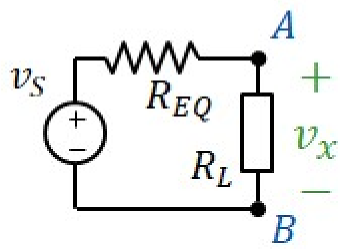
corrente attraverso R_1: $i_{R1} = \dfrac{v_S - v_P}{R_1} = 0$ $\boxed{v_P = v_S = 1\ V}$



2a) Potenziale dei nodi dell'AO, corrente erogata dall'AO e potenziale v_x con $R_L = 15k\Omega$



Determiniamo il potenziale v_X con il teorema di thevenin



$$\boxed{v_X = v_S \cdot \frac{R_L}{R_L + R_{EQ}} = -1.5\,V}$$

Dal circuito originale, noto v_X, ricaviamo dalla sovrapposizione degli effetti

$$\boxed{v_O = v_X \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - \frac{R_2}{R_1} \cdot v_S = -6.5\,V}$$

Corrente $I_{R1} = I_{R2}$ $\qquad I_{R2} = \dfrac{v_X - v_O}{R_2} = 250 \cdot \mu A$

Corrente I_{R3} $\qquad I_{R3} = \dfrac{v_O - v_X}{R_3} = -100 \cdot \mu A$

Corrente erogata dall'AO: $\boxed{I_{AO} = I_{R3} - I_{R2} = -350 \cdot \mu A}$

2b) Potenziale dei nodi dell'AO, corrente erogata dall'AO e potenziale v_x con $R_L = 50k\Omega$

$$\boxed{v_X = v_S \cdot \frac{R_L}{R_L + R_{EQ}} = 2\ V}$$

$$\boxed{v_O = v_X \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - \frac{R_2}{R_1} \cdot v_S = 4\ V}$$

Corrente $I_{R1} = I_{R2}$ $$I_{R2} = \frac{v_X - v_O}{R_2} = -100 \cdot \mu A$$

Corrente I_{R3} $$I_{R3} = \frac{v_O - v_X}{R_3} = 40 \cdot \mu A$$

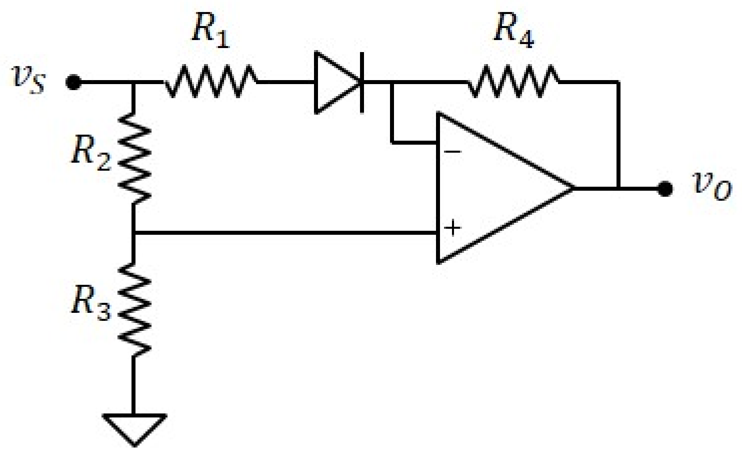
Corrente erogata dall'AO: $\boxed{I_{AO} = I_{R3} - I_{R2} = 140 \cdot \mu A}$

Esercizio 27

DATI:

$R_1 = 10k\Omega,\ R_2 = 10k\Omega,\ R_3 = 30k\Omega,\ R_4 = 60k\Omega$

$V_{ON} = 0.5V$



Tracciare la transcaratteristica $v_O(v_S)$

Caso 1) D1 OFF: Inseguitore di tensione

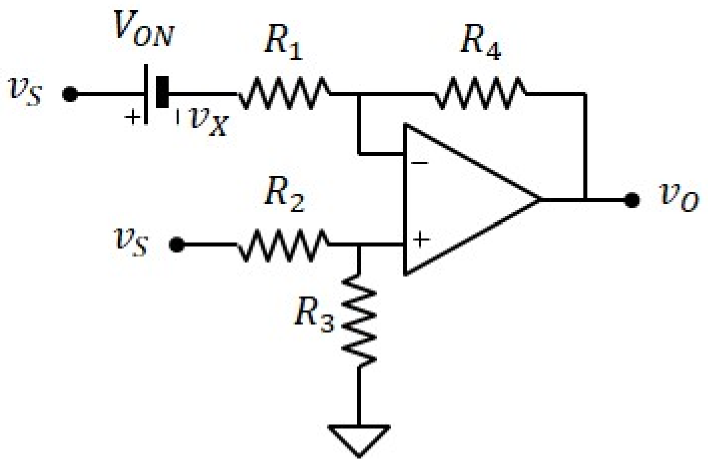
$$\boxed{v_O = v_P = v_S \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3}} \qquad \frac{R_3}{R_2 + R_3} = \frac{3}{4}$$

verifica del diodo:

$$V_D = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \cdot v_S < V_{ON} \qquad \boxed{v_S < \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \cdot V_{ON}}$$

Caso 2) D1 ON: ridisegnamo il circuito in questo modo

Definiamo $v_X = v_S - V_{ON}$ il potenziale del nodo X, otteniamo la configurazione differenziale risolvibile con la sovrapposizione degli effetti:



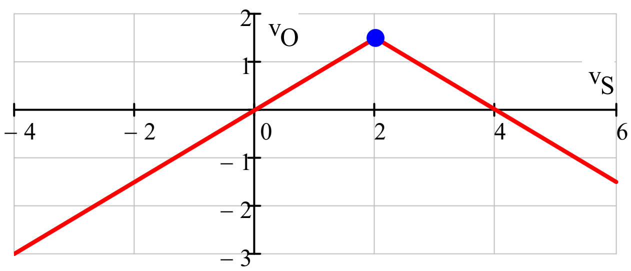
$$v_O = \left(1 + \frac{R_4}{R_1}\right) \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot v_S - \frac{R_4}{R_1}\left(v_S - V_{ON}\right)$$

$$\boxed{v_O = \left[\left(1 + \frac{R_4}{R_1}\right) \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} - \frac{R_4}{R_1}\right] \cdot v_S + \frac{R_4}{R_1} V_{ON}}$$

$$\left(1 + \frac{R_4}{R_1}\right) \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} - \frac{R_4}{R_1} = -0.75 \qquad \frac{R_4}{R_1} \cdot V_{ON} = 3\ V$$

verifica del diodo:

$$I_D = v_S - V_{ON} - v_S \cdot \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) > 0 \qquad v_S \cdot \left(\frac{R_2}{R_2 + R_3}\right) > V_{ON} \qquad \boxed{v_S > \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \cdot V_{ON}}$$

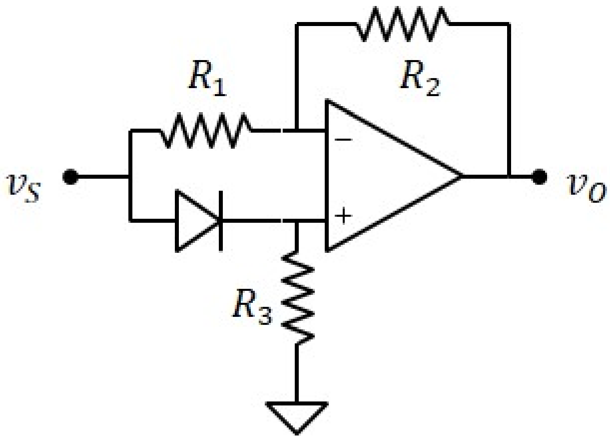


Punti di spezzamento:

$$\boxed{v_{S1} = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \cdot V_{ON} = 2\ V} \qquad \boxed{v_{O1} = \frac{R_3}{R_2} \cdot V_{ON} = 1.5\ V}$$

Esercizio 28

DATI:
$R_1 = 10k\Omega,\ R_2 = 30k\Omega,\ R_3 = 10k\Omega$



Tracciare la transcaratteristica $v_O(v_S)$

Caso 1) D1 OFF: Configurazione invertente

$$\boxed{v_O = \frac{-R_2}{R_1}\cdot v_S = -3\cdot v_S}$$

verifica del diodo:

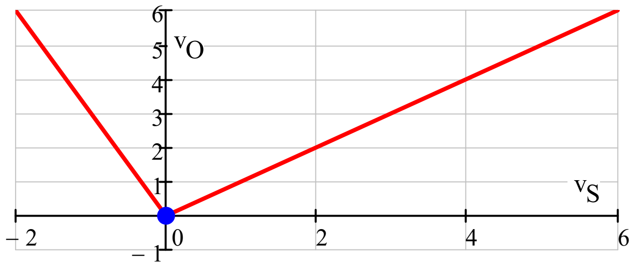
$V_D = v_S - 0 < 0$ $\boxed{v_S < 0}$

Caso 2) D1 ON:

$v_P = v_S$ $v_N = v_P$ $I_{R1} = \frac{v_N - v_S}{R_1} = 0\cdot mA$ $\boxed{v_O = v_S + R_4\cdot I_{R1} = 1\cdot v_S}$

verifica del diodo:

$I_D = \frac{v_S}{R_1} > 0$ $\boxed{v_S > 0}$

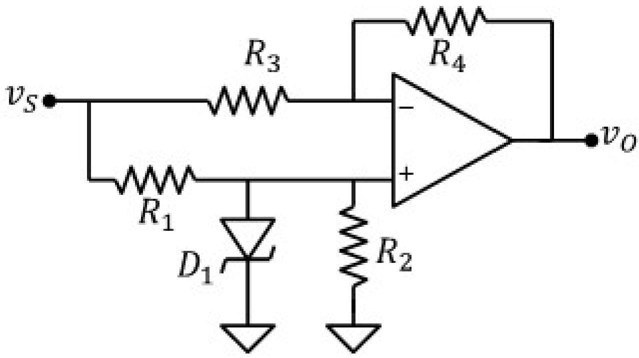


Punti di spezzamento: $\boxed{v_{S1} = 0V}$ $\boxed{v_{O1} = 0V}$

Esercizio 29

DATI: $R_1 = 10k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, $R_3 = 25k\Omega$, $R_4 = 5k\Omega$

$V_{ON} = 0$, $V_Z = 5V$



Tracciare la transcaratteristica $v_O(v_S)$

Caso 1) D1 ON: Configurazione invertente con ingresso v_S:

$$\boxed{v_O = -\frac{R_4}{R_3}\cdot v_S = -\frac{1}{5}\cdot v_S}$$

verifica del diodo: $I_D = \frac{v_S}{R_1} > 0$ $\boxed{v_S > 0}$

Caso 2) D1 OFF: Configurazione differenziale:

$$\boxed{v_O = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\cdot\left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)v_S - \frac{R_4}{R_3}\cdot v_S = \frac{2}{5}\cdot v_S}$$

verifica del diodo: $V_D = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\cdot v_S$

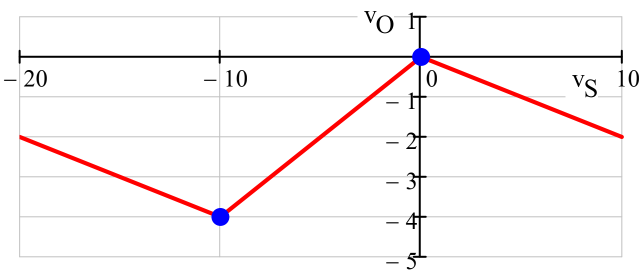
$$-V_Z < \frac{R_2}{R_1 + R_2}\cdot v_S < 0$$

$$\boxed{-V_Z\cdot\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) < v_S < 0}$$

Caso 3) D1 ZENER: Configurazione differenziale:

$$\boxed{v_O = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)(-V_Z) - \frac{R_4}{R_3}\cdot v_S}$$

verifica del diodo: $I_D = \frac{v_S + V_Z}{R_1} - \frac{-V_Z}{R_2} < 0$ $\boxed{v_S < -V_Z\cdot\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)}$



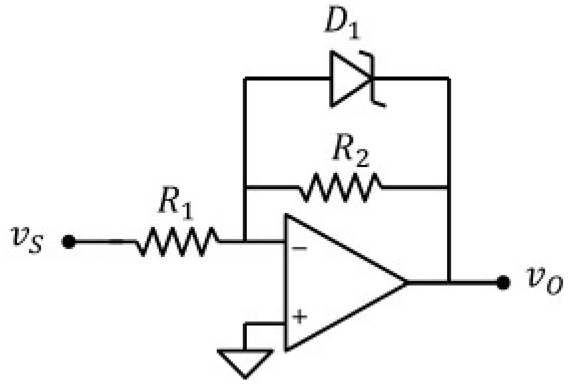
Punti di spezzamento:

$$\boxed{v_{S1} = -V_Z\cdot\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = -10\,V} \qquad \boxed{v_{O1} = -\frac{2}{5}V_Z\cdot\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = -4\,V}$$

$$\boxed{v_{S2} = 0V} \qquad \boxed{v_{O2} = 0V}$$

Esercizio 30

DATI: $R_1 = 10k\Omega$, $R_2 = 40k\Omega$, $V_{ON} = 0$, $V_Z = 12V$



Tracciare la transcaratteristica $v_O(v_S)$

Caso 1) D1 ON: Inseguitore di tensione con ingresso 0V:

$$\boxed{v_O = 0V}$$

verifica del diodo: $I_D = \dfrac{v_S}{R_1} > 0$ $\quad \boxed{v_S > 0}$

Caso 2) D1 OFF: Configurazione invertente

$$\boxed{v_O = -\frac{R_2}{R_1}\cdot v_S = -4\cdot v_S}$$

verifica del diodo: $V_D = -v_O = \dfrac{R_2}{R_1}\cdot v_S$

$$-V_Z < \frac{R_2}{R_1}\cdot v_S < 0 \qquad \boxed{-V_Z\cdot\frac{R_1}{R_2} < v_S < 0}$$

Caso 3) D1 ZENER:

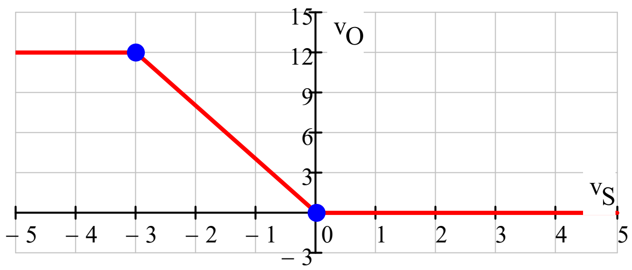
$$\boxed{v_O = V_Z = 12\,V}$$

verifica del diodo: $I_D = \dfrac{v_S}{R_1} + \dfrac{v_O}{R_2} = \dfrac{v_S}{R_1} + \dfrac{V_Z}{R_2} < 0$ $\quad \boxed{v_S < -v_Z\cdot\dfrac{R_1}{R_2}}$

Punti di spezzamento:

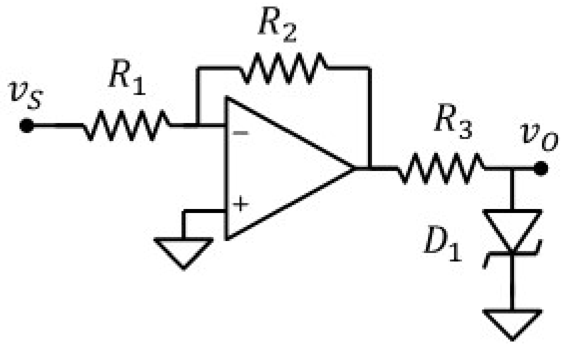
$$\boxed{v_{S1} = -V_Z\cdot\frac{R_1}{R_2} = -3\,V} \qquad \boxed{v_{O1} = V_Z = 12\,V}$$

$$\boxed{v_{S2} = 0V} \qquad \boxed{v_{O2} = 0V}$$



Esercizio 31

DATI: $R_1 = 10\text{k}\Omega,\ R_2 = 20\text{k}\Omega,\ R_3 = 100\Omega,\ V_{ON} = 0,\ V_Z = 10\text{V}$



Tracciare la transcaratteristica $v_O(v_S)$

Tensione di uscita dell'operazionale:

$$v_{AO} = \frac{-R_2}{R_1} \cdot v_S = -2 \cdot v_S$$

Caso 1) D1 ON: $\boxed{v_O = 0V}$

valido se: $i_D = \frac{v_{AO}}{R_3} > 0 \qquad v_{AO} = \frac{-R_2}{R_1} \cdot v_S > 0 \qquad \boxed{v_S < 0}$

Caso 2) D1 OFF: (per R_3 non passa corrente) $\boxed{v_O = -\frac{R_2}{R_1} \cdot v_S = -2 \cdot v_S}$

valido se: $-V_Z < V_D < 0$

tensione ai capi del diodo: $V_D = v_O = -\frac{R_2}{R_1} \cdot v_S$

$$0 < \frac{R_2}{R_1} \cdot v_S < -V_Z \qquad \boxed{0 < v_S < V_Z \cdot \frac{R_1}{R_2}}$$

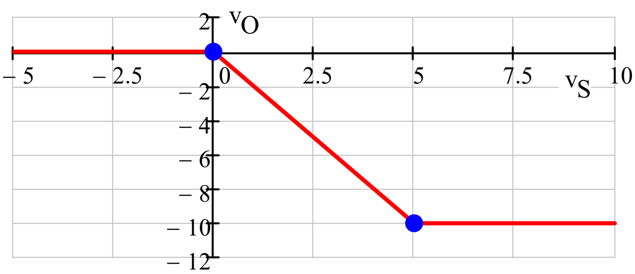
Caso 3) D1 ZENER: $\boxed{v_O = V_Z = 10\,V}$

valido se: $I_D = \frac{v_{AO} - (-V_Z)}{R_3} < 0 \qquad \frac{-R_2}{R_1} \cdot v_S < -V_Z \qquad \boxed{v_S > V_Z \cdot \frac{R_1}{R_2}}$

Punti di spezzamento:

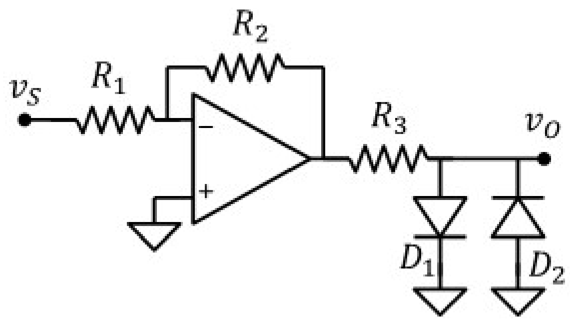
$\boxed{v_{S1} = 0V}$ $\qquad$ $\boxed{v_{O1} = 0V}$

$\boxed{v_{S2} = V_Z \cdot \frac{R_1}{R_2} = 5\,V}$ $\qquad$ $\boxed{v_{O2} = -V_Z = -10\,V}$



Esercizio 32

DATI: $R_1 = 10k\Omega,\ R_2 = 5k\Omega, R_3 = 100\Omega,\ V_{ON} = 0.7V$



Tracciare la transcaratteristica $v_O(v_S)$

Tensione di uscita dell'operazionale:

$$v_{AO} = \frac{-R_2}{R_1} \cdot v_S = -0.5 \cdot v_S$$

Caso 1) D1 OFF - D2 OFF: $\boxed{v_O = -\frac{R_2}{R_1} \cdot v_S = -0.5 \cdot v_S}$

Tensione ai capi dei diodi: $V_{D1} = v_O \qquad V_{D2} = -v_O$

valido se: $V_{D1} < V_{ON} \qquad v_O < V_{ON}$

$V_{D2} < V_{ON} \qquad v_O > -V_{ON}$

Uniamo le due condizioni: $-V_{ON} < v_O < V_{ON}$

$$\boxed{-V_{ON} \cdot \frac{R_1}{R_2} < v_S < V_{ON} \cdot \frac{R_1}{R_2}}$$

Caso 2) D1 ON - D2 OFF: $\boxed{v_O = V_{ON} = 0.7\,V}$

valido se: $I_{D1} = \frac{v_{AO} - v_O}{R_2} > 0 \qquad v_{AO} > v_O \qquad \frac{-R_2}{R_1} \cdot v_S > V_{ON} \qquad \boxed{v_S < -V_{ON} \cdot \frac{R_1}{R_2}}$

$V_{D2} < V_{ON} \qquad V_{D2} = -V_{ON} = -0.7\,V$

Caso 3) D1 OFF - D2 ON: $\boxed{v_O = -V_{ON} = -0.7\,V}$

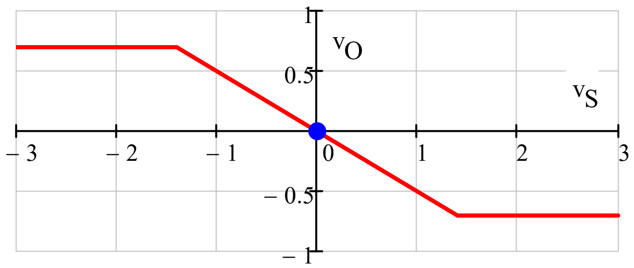
valido se: $V_{D1} < V_{ON} \qquad V_{D1} = -V_{ON} = -0.7\,V$

$I_{D2} = \frac{v_O - v_{AO}}{R_2} > 0 \qquad v_O > v_{AO} \qquad -V_{ON} > \frac{-R_2}{R_1} \cdot v_S \qquad \boxed{v_S > V_{ON} \cdot \frac{R_1}{R_2}}$

Caso 4) D1 ON - D2 ON: $v_O = V_{ON} = -V_{ON}$ impossibile

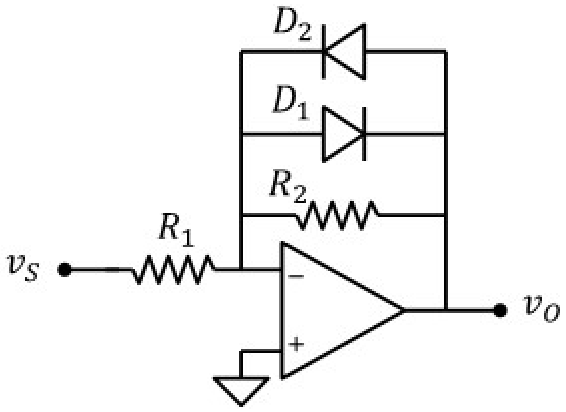
Punti di spezzamento: $\boxed{v_{S1} = -V_{ON} \cdot \frac{R_1}{R_2} = -1.4\,V} \qquad \boxed{v_{O1} = V_{ON} = 0.7\,V}$

$\boxed{v_{S2} = V_{ON} \cdot \frac{R_1}{R_2} = 1.4\,V} \qquad \boxed{v_{O2} = -V_{ON} = -0.7\,V}$



Esercizio 33

DATI: $R_1 = 10k\Omega$, $R_2 = 20k\Omega$, $V_{ON} = 0.8V$



Tracciare la transcaratteristica $v_O(v_S)$

Caso 1) D1 OFF - D2 OFF: $\boxed{v_O = -\frac{R_2}{R_1}\cdot v_S = -2\cdot v_S}$

Tensione ai capi dei diodi: $V_{D1} = -v_O$ $\quad V_{D2} = v_O$

valido se: $V_{D1} < V_{ON}$ $\quad v_O > -V_{ON}$

$V_{D2} < V_{ON}$ $\quad v_O < V_{ON}$

Uniamo le due condizioni: $-V_{ON} < v_O < V_{ON}$

$$\boxed{-V_{ON}\cdot\frac{R_1}{R_2} < v_S < V_{ON}\cdot\frac{R_1}{R_2}}$$

Caso 2) D1 ON - D2 OFF: $\boxed{v_O = -V_{ON} = -0.8\,V}$

valido se: $I_{D1} = \frac{v_S}{R_1} + \frac{v_O}{R_2} > 0$ $\quad \boxed{v_S > V_{ON}\cdot\frac{R_1}{R_2}}$

$V_{D2} < V_{ON}$ $\quad V_{D2} = -V_{ON} = -0.8\,V$

Caso 3) D1 OFF - D2 ON: $\boxed{v_O = V_{ON} = 0.8\,V}$

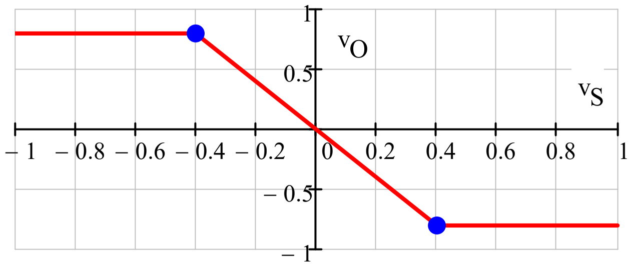
valido se: $V_{D1} < V_{ON}$ $\quad V_{D1} = -V_{ON} = -0.8\,V$

$I_{D2} = -\left(\frac{v_S}{R_1} + \frac{v_O}{R_2}\right) > 0$ $\quad \boxed{v_S < -V_{ON}\cdot\frac{R_1}{R_2}}$

Caso 4) D1 ON - D2 ON: $v_O = V_{ON} = -V_{ON}$ impossibile

Punti di spezzamento: $\boxed{v_{S1} = -V_{ON}\cdot\frac{R_1}{R_2} = -0.4\,V}$ $\quad \boxed{v_{O1} = V_{ON} = 0.8\,V}$

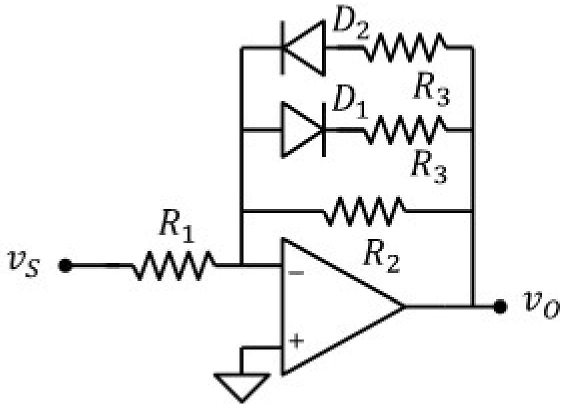
$\boxed{v_{S2} = V_{ON}\cdot\frac{R_1}{R_2} = 0.4\,V}$ $\quad \boxed{v_{O2} = -V_{ON} = -0.8\,V}$



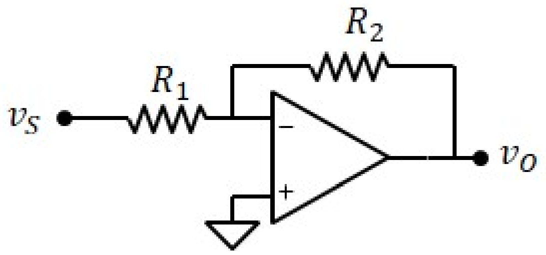
Esercizio 34

DATI: $R_1 = 9k\Omega$, $R_2 = 9k\Omega$, $R_3 = 1k\Omega$, $V_{ON} = 0.75V$

Tracciare la transcaratteristica $v_O(v_S)$



Caso 1) D1 OFF - D2 OFF:



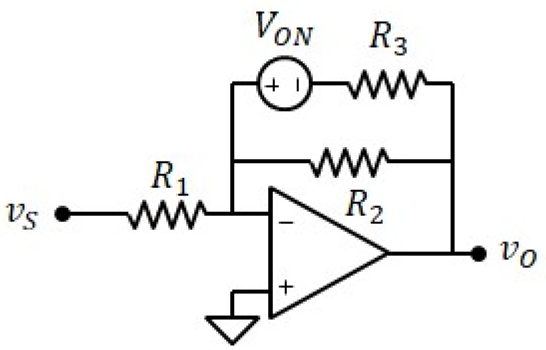
$$\boxed{v_O = -\frac{R_2}{R_1}\cdot v_S = -1\cdot v_S}$$

valido se: $V_{D1} = -v_O < V_{ON}$ $\quad v_O > -V_{ON}$

$V_{D2} = v_O < V_{ON}$ $\quad v_O < V_{ON}$

Uniamo le due condizioni: $\boxed{-\frac{R_1}{R_2}\cdot V_{ON} < v_S < V_{ON}\cdot\frac{R_1}{R_2}}$

Caso 2) D1 ON - D2 OFF:



Legge di kirchhoff: $I_{R1} + I_{R2} - I_D = 0$

$$I_{R1} = \frac{v_S}{R_1} \qquad I_{R2} = \frac{v_O}{R_2} \qquad I_D = \frac{-V_{ON} - v_O}{R_3}$$

$$\frac{v_S}{R_1} + \frac{v_O}{R_2} = \frac{-V_{ON} - v_O}{R_3}$$

$$v_O = \left(\frac{-V_{ON}}{R_3} - \frac{v_S}{R_1}\right)\cdot\frac{R_2\cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{-R_2\cdot V_{ON}}{R_2 + R_3} - \frac{v_S}{R_1}\cdot\frac{R_2\cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

In alternativa è possibile usare la sovrapposizione degli effetti

$v_{ON} = 0$ $\qquad v_O = -v_S\cdot\frac{R_2\cdot R_3}{R_2 + R_3}\cdot\frac{1}{R_1}$

$v_S = 0$ $\qquad v_O = -V_{ON}\cdot\frac{R_2}{R_2 + R_3}$

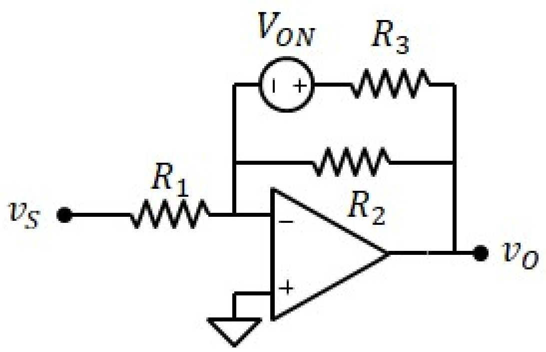
$$\boxed{v_O = -v_S\cdot\frac{1}{R_1}\cdot\frac{R_2\cdot R_3}{R_2 + R_3} - \frac{R_2\cdot V_{ON}}{R_2 + R_3}}$$

Valido se: $V_{D2} = v_O < V_{ON}$ $\qquad -v_S\cdot\frac{1}{R_1}\cdot\frac{R_2\cdot R_3}{R_2 + R_3} - \frac{R_2\cdot V_{ON}}{R_2 + R_3} < V_{ON}$ $\qquad v_S > -V_{ON}\cdot\frac{R_1}{R_2}$

$I_{D1} = \frac{-V_{ON} - v_O}{R_3} > 0$ $\qquad v_O < -V_{ON}$ $\qquad v_S > V_{ON}\cdot\frac{R_1}{R_2}$

$$\boxed{v_S > V_{ON}\cdot\frac{R_1}{R_2}}$$

Caso 3) D1 OFF - D2 ON:



Usando la sovrapposizione degli effetti:

$v_{ON} = 0$ $\qquad v_O = -v_S\cdot\frac{R_2\cdot R_3}{R_2 + R_3}\cdot\frac{1}{R_1}$

$v_S = 0$ $\qquad v_O = V_{ON}\cdot\frac{R_2}{R_2 + R_3}$

$$\boxed{v_O = -v_S\cdot\frac{1}{R_1}\cdot\frac{R_2\cdot R_3}{R_2 + R_3} + \frac{R_2\cdot V_{ON}}{R_2 + R_3}}$$

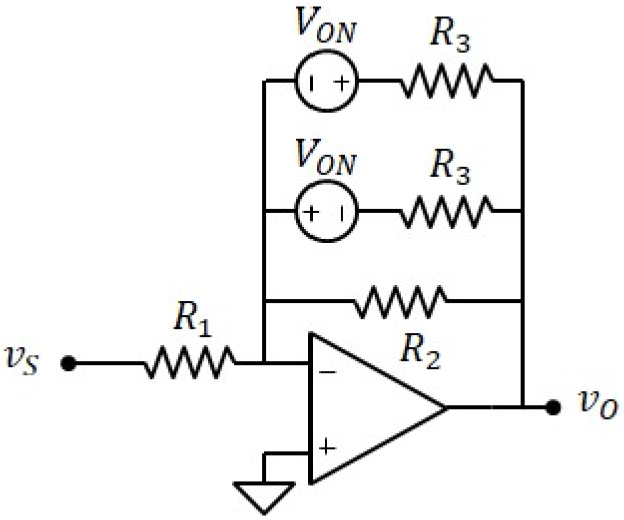
Valido se:

$$V_{D1} = -v_O < V_{ON} \qquad v_S \cdot \frac{1}{R_1} \cdot \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} - \frac{R_2 \cdot V_{ON}}{R_2 + R_3} < V_{ON} \qquad v_S < V_{ON} \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

$$I_{D2} = \frac{v_O - V_{ON}}{R_3} > 0 \qquad v_O > V_{ON} \qquad v_S < -V_{ON} \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

$$\boxed{v_S < -V_{ON} \cdot \frac{R_1}{R_2}}$$

<u>Caso 4) D1 ON - D2 ON</u>: $v_O = V_{ON} = -V_{ON}$ impossibile



Usando la sovrapposizione degli effetti:

$$V_{ON} = 0 \qquad v_O = -v_S \cdot \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} \cdot \frac{1}{R_1}$$

$$v_S = 0 \qquad v_O = \frac{2 \cdot V_{ON}}{2 \cdot R_3} \cdot R_3 - V_{ON} = 0$$

$$\boxed{v_O = -v_S \cdot \frac{1}{R_1} \cdot \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}}$$

Valido se:

$$I_{D1} = \frac{-V_{ON} - v_O}{R_3} > 0 \qquad v_O < -V_{ON}$$

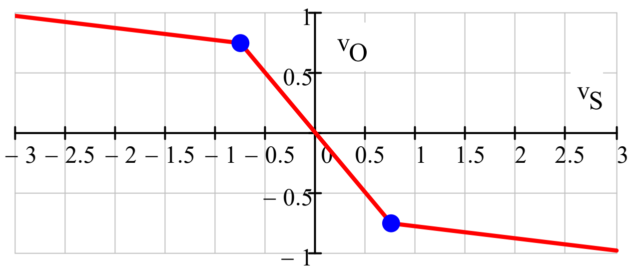
impossibile

$$I_{D2} = \frac{v_O - V_{ON}}{R_3} > 0 \qquad v_O > V_{ON}$$

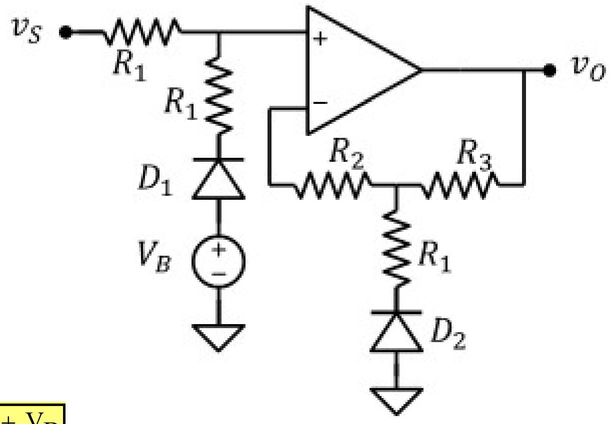
<u>Punti di spezzamento:</u>

$$\boxed{v_{S1} = -V_{ON} \cdot \frac{R_1}{R_2} = -0.75\ \text{V}} \qquad \boxed{v_{O1} = V_{ON} = 0.75\ \text{V}}$$

$$\boxed{v_{S2} = V_{ON} \cdot \frac{R_1}{R_2} = 0.75\ \text{V}} \qquad \boxed{v_{O2} = -V_{ON} = -0.75\ \text{V}}$$



Esercizio 35



DATI: $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, $R_3 = 2k\Omega$, $V_B = 5V$, $V_{ON} = 0$

Tracciare la transcaratteristica $v_O(v_S)$

Caso 1) D1 OFF, D2 OFF: Inseguitore di tensione: $\boxed{v_O = v_S}$

verifica della polarizzazione dei diodi:

$v_{D1} = V_B - v_S < V_{ON}$ $\quad \boxed{v_S > V_B}$ (condizione più forte)

$v_{D2} = 0 - v_S < V_{ON}$ $\quad v_S > 0$

Caso 2) D1 ON, D2 OFF: Inseguitore di tensione: $\boxed{v_O = v_P = \dfrac{v_S + V_B}{2}}$

verifica della polarizzazione dei diodi:

$$I_{D1} = \frac{V_B - v_S}{2R_1} > 0 \qquad V_B - v_S > 0 \qquad v_S < V_B$$

$$v_{D2} = 0 - v_P < V_{ON} \qquad \frac{v_S + V_B}{2} > V_{ON} \qquad v_S > -V_B \qquad \boxed{-V_B < v_S < V_B}$$

Caso 3) D1 OFF, D2 ON: *Configurazione non invertente* $\quad v_O = v_S \cdot \left(1 + \dfrac{R_3}{R_2}\right)$

verifica della polarizzazione dei diodi:

$$v_{D1} = V_B - v_S < V_{ON} \qquad v_S > v_B$$

$$I_{D2} = \frac{0 - v_O}{R_1 + R_2} > 0 \qquad v_O < 0 \qquad v_S < 0$$

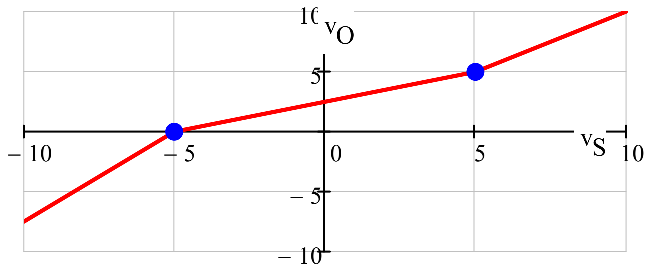
impossibile!

Caso 4) D1 ON, D2 ON: *Configurazione non invertente con ingresso:* $\boxed{v_O = v_P \cdot \left(1 + \dfrac{R_3}{R_1}\right) = \left(1 + \dfrac{R_3}{R_1}\right) \cdot \dfrac{v_S + V_B}{2}}$

verifica della polarizzazione dei diodi:

$$I_{D1} = \frac{V_B - v_S}{2R_1} > 0 \qquad v_S < V_B$$

$$I_{D2} = \frac{0 - v_O}{R_1 + R_2} > 0 \qquad v_O < 0 \qquad v_S + V_B < 0 \qquad \boxed{v_S < -V_B}$$



Punti di spezzamento:

$\boxed{v_{S1} = -V_B = -5\text{ V}}$ $\quad \boxed{v_{O1} = V_B = 5\text{ V}}$

$\boxed{v_{S2} = V_B = 5\text{ V}}$ $\quad \boxed{v_{O2} = -V_B = -5\text{ V}}$