

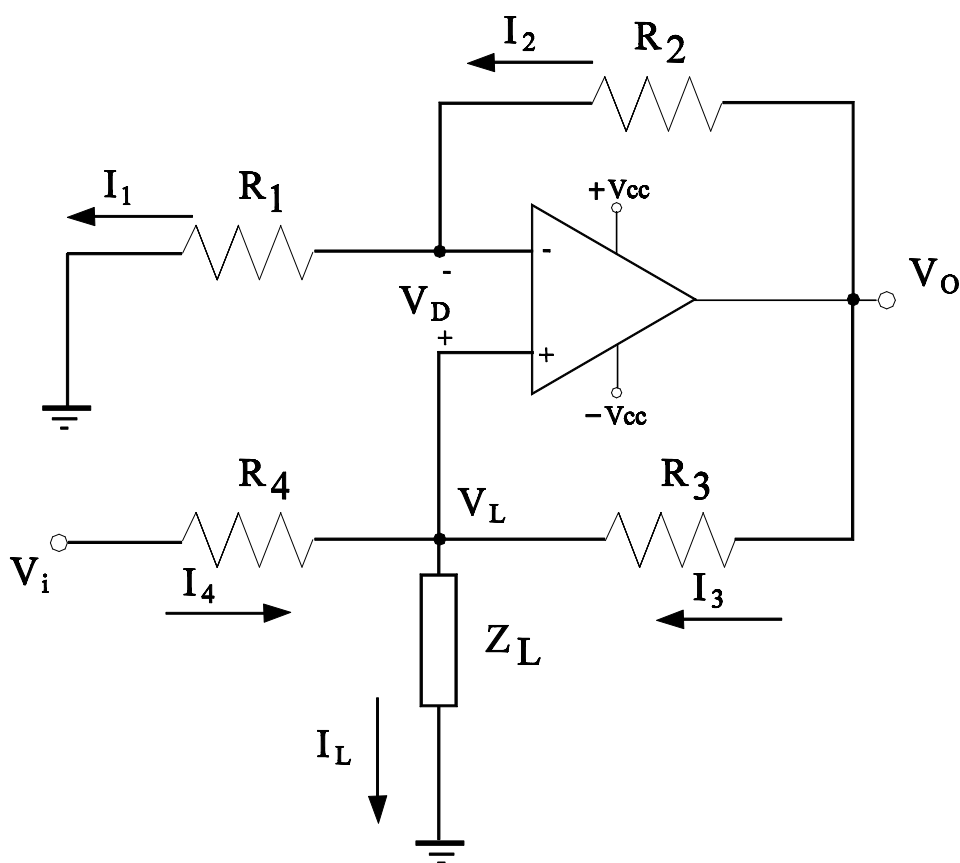
Esercizio Convertitore Tensione - Corrente

Dato il circuito di figura:

1. determinare l'espressione generale della corrente i_L e le condizioni che devono essere soddisfatte affinché la corrente dipenda solo dalla tensione di ingresso v_i .

Supponendo che $R_1=R_2=R_3=R_4=R=10\text{K}\Omega$, che $V_{cc}=30\text{V}$ e che Z_L sia una resistenza ($Z_L=R_L$):

2. determinare i valori di v_L , v_o , i_L con $R_L=0\Omega$
3. determinare v_L , v_o , i_L con $R_L=2\text{K}\Omega$
4. determinare v_L , v_o , i_L con $R_L=2\text{K}\Omega$
5. determinare il valore $R_{L\max}$ che mantiene l'operazionale ancora in zona lineare
6. determinare v_L , v_o , i_L e v_D con R_L infinito.
7. rappresentare tutti questi punti di funzionamento sulla caratteristica ingresso-uscita dell'operazionale.



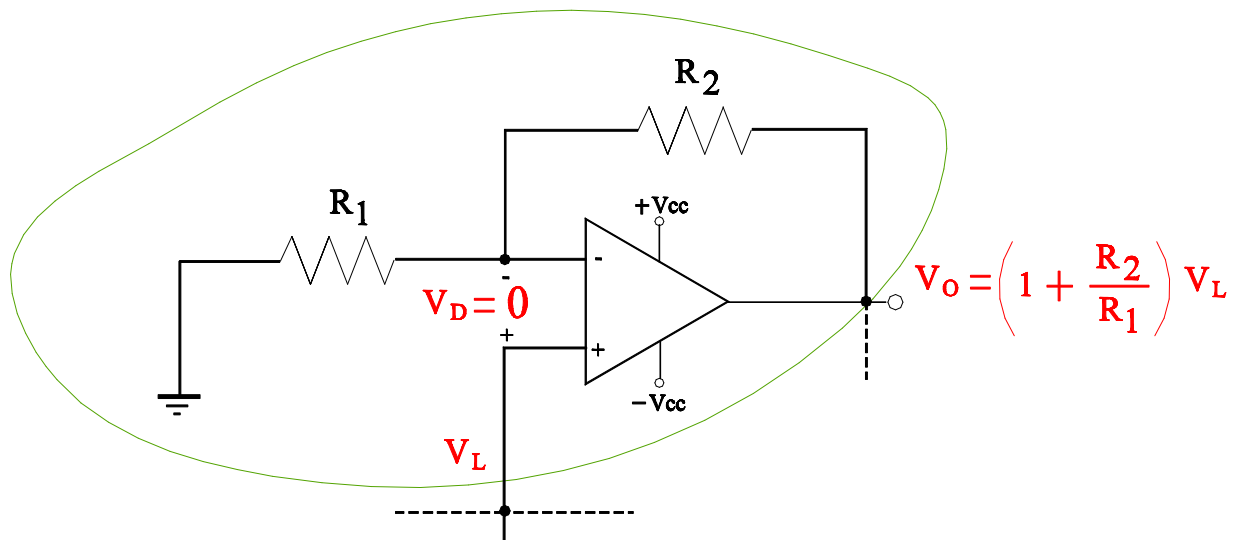
Soluzione

1.

applicando il primo p. di K. al nodo con potenziale v_L si ha:

$$i_L = i_3 + i_4 = \frac{V_o - V_L}{R_3} + \frac{V_i - V_L}{R_4}$$

Osservando che v_L e v_o sono, rispettivamente, ingresso e uscita di amplificatore con operazionale nella connessione non invertente,



si può eliminare, dalla precedente, la variabile v_o ;

$$i_L = \frac{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_L - V_L}{R_3} + \frac{V_i - V_L}{R_4} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{V_L}{R_3} - \frac{V_L}{R_3} + \frac{V_i}{R_4} - \frac{V_L}{R_4}$$

$$i_L = \frac{V_i}{R_4} + \left(\frac{R_2}{R_1 R_3} - \frac{1}{R_4}\right) V_L$$

$$i_L = \frac{V_i}{R_4} + \left(\frac{R_2 R_4 - R_1 R_3}{R_1 R_3 R_4}\right) V_L$$

Scegliendo le quattro resistenze in modo che risulti $R_2 R_4 = R_1 R_3$ si ottiene il risultato voluto:

$$\dot{i}_L = \frac{V_i}{R_4}$$

per cui la corrente $\dot{i}_L$, fissati V_i e R_4 , risulta indipendente dalla impedenza Z_L che attraversa. Ovviamente $\dot{i}_L$ e V_L sono legati dalla relazione che governa la legge del bipolo Z_L .

Nel caso particolare in cui $Z_L = R_L$ si ha:

$$\dot{i}_L = \frac{V_i}{R_4} = \frac{V_L}{R_L}$$

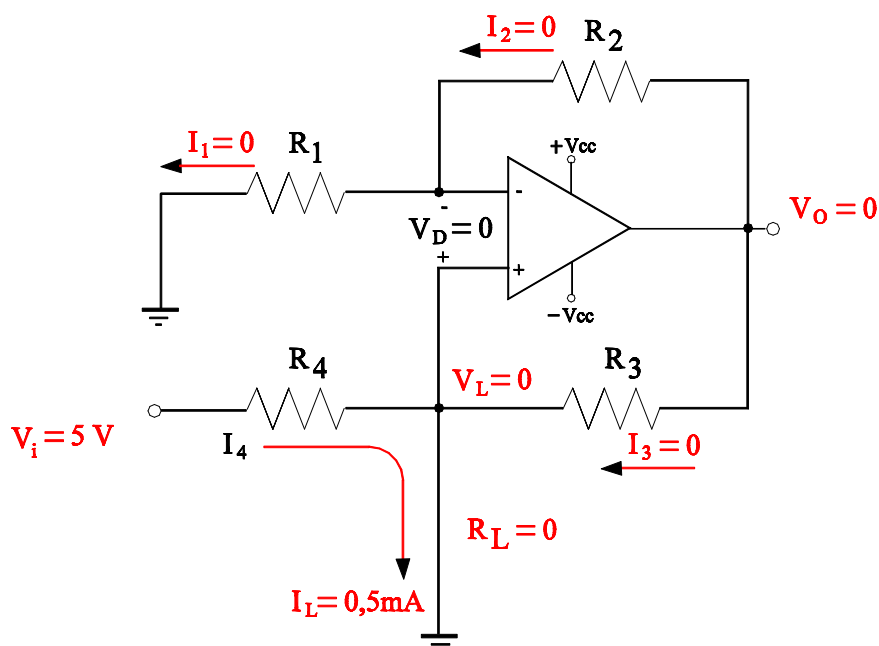
che consente di ricavare il legame di proporzionalità tra V_L e R_L con $\dot{i}_L$ costante

$$V_L = \frac{V_i}{R_4} R_L$$

Naturalmente anche V_O varia proporzionalmente a R_L dato il legame, ancora di proporzionalità, tra V_O e V_L .

Applicando questi risultati finali si può rispondere alle domande successive.

2. Con $R_L = 0$ si ha la seguente soluzione



Per la legge di Ohm applicata a R_L si impone $v_L=0$ quindi anche $v_o=0$. Con l'operazionale in zona lineare, $v_o=0$ comporta $v^-=0$ e quindi anche $i_1=i_2=0$. L'unica corrente diversa da zero è la:

$$i_L = i_4 = \frac{v_i}{R_4} = \frac{5V}{10k\Omega} = 0,5mA$$

a conferma della relazione precedente.

3. Con $R_L=2k\Omega$ si può calcolare ancora

$$i_L = \frac{v_i}{R_4} = \frac{5V}{10k\Omega} = 0,5mA$$

e quindi le correnti su tutti gli altri rami del circuito

$$v_L = \frac{R_L}{R_4} v_i = \frac{2k\Omega}{10k\Omega} 5V = 1V$$

$$v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_L = \left(1 + \frac{10k\Omega}{10k\Omega}\right) v_L = 2 \cdot v_L = 2V$$

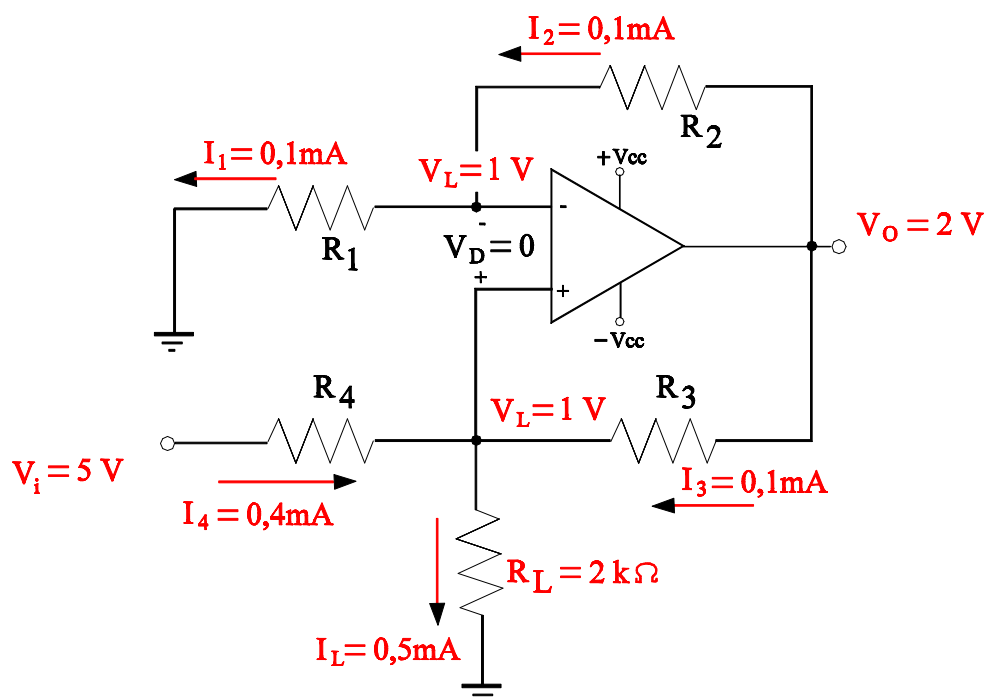
$$i_1 = \frac{v_L}{R_1} = \frac{1V}{10k\Omega} = 0,1mA$$

$$i_2 = \frac{v_o - v_L}{R_2} = \frac{2V - 1V}{10k\Omega} = 0,1mA$$

$$i_3 = \frac{v_o - v_L}{R_3} = \frac{2V - 1V}{10k\Omega} = 0,1mA$$

$$i_4 = \frac{v_i - v_L}{R_4} = \frac{5V - 1V}{10k\Omega} = 0,4mA$$

Questi valori sono rappresentati nel seguente schema e, applicando il primo principio di K. ai nodi si nota la perfetta coerenza dei risultati ottenuti.



4. Con $R_L = 10k\Omega$ si ha ancora

$$i_L = \frac{V_i}{R_4} = \frac{5V}{10k\Omega} = 0,5mA$$

e quindi le correnti su tutti gli altri rami del circuito

$$V_L = \frac{R_L}{R_4} V_i = \frac{10k\Omega}{10k\Omega} 5V = 5V$$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_L = \left(1 + \frac{10k\Omega}{10k\Omega}\right) V_L = 2 \cdot V_L = 10V$$

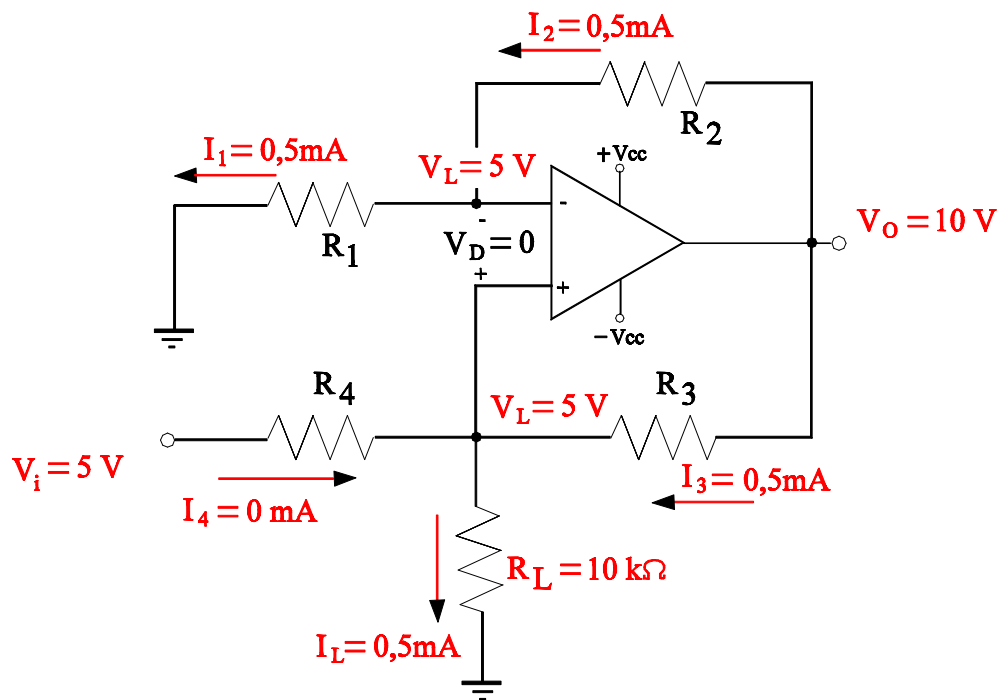
$$i_1 = \frac{V_L}{R_1} = \frac{5V}{10k\Omega} = 0,5mA$$

$$i_2 = \frac{V_o - V_L}{R_2} = \frac{10V - 5V}{10k\Omega} = 0,5mA$$

$$i_3 = \frac{V_o - V_L}{R_3} = \frac{10V - 5V}{10k\Omega} = 0,5mA$$

$$i_4 = \frac{V_i - V_L}{R_4} = \frac{5V - 5V}{10k\Omega} = 0mA$$

Questi valori sono rappresentati nel seguente schema e, applicando il primo principio di K. ai nodi si nota la perfetta coerenza dei risultati ottenuti.



5. Il valore di R_{Lmax} si ottiene il valore della resistenza di carico che produce il massimo valore di uscita, $v_o=v_{cc}=30V$, con operazionale ancora in zona lineare.

$$V_{L \max} = \frac{V_{o \max}}{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)} = \frac{V_{o \max}}{\left(1 + \frac{10k\Omega}{10k\Omega}\right)} = \frac{30}{2} = 15V$$

$$R_{L \max} = R_4 \frac{V_L}{V_i} = 10k\Omega \frac{15V}{5V} = 30k\Omega$$

Con procedimento analogo ai precedenti si ottengono le correnti sulle resistenze

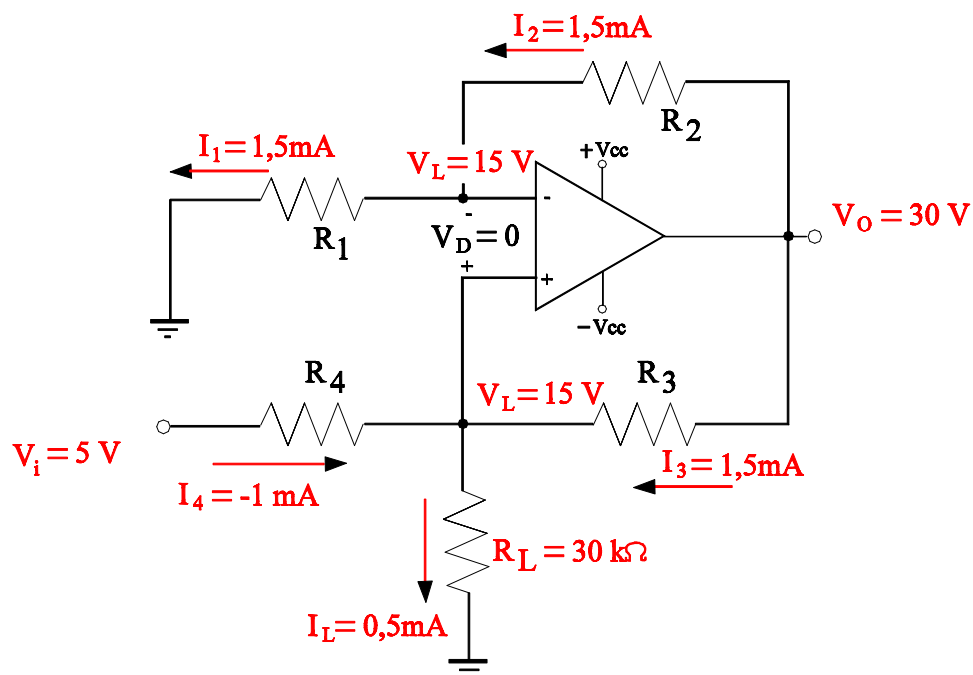
$$i_L = \frac{V_i}{R_4} = \frac{5V}{10k\Omega} = 0,5mA$$

$$i_1 = \frac{V_L}{R_1} = \frac{15V}{10k\Omega} = 1,5mA$$

$$i_2 = \frac{V_o - V_L}{R_2} = \frac{30V - 15V}{10k\Omega} = 1,5mA$$

$$i_3 = \frac{V_o - V_L}{R_3} = \frac{30V - 15V}{10k\Omega} = 1,5mA$$

$$i_4 = \frac{V_i - V_L}{R_4} = \frac{5V - 15V}{10k\Omega} = -1mA$$



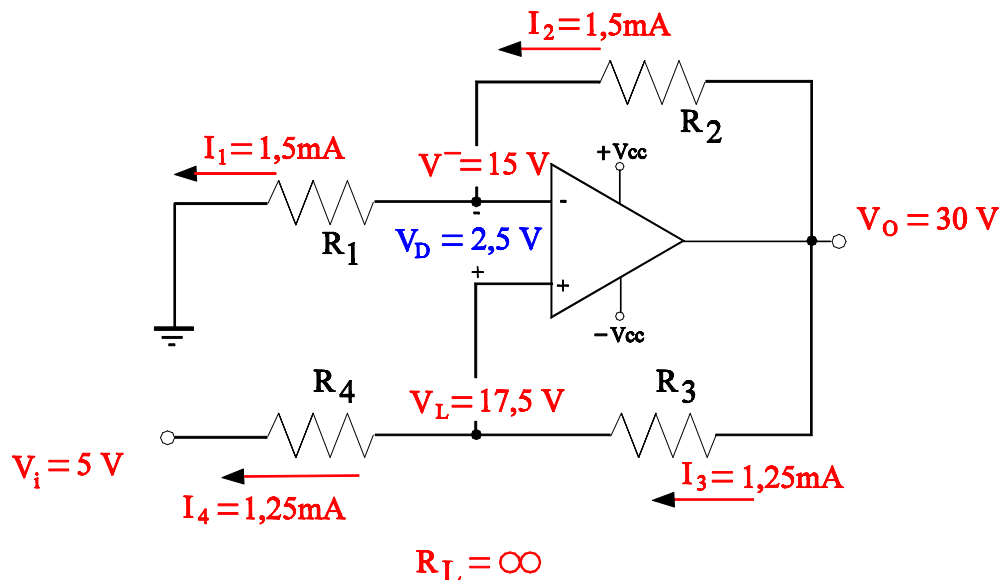
Anche in questo caso il primo p. di K. è pienamente soddisfatto.

In tutti questi casi il funzionamento in zona lineare dell'operazionale ha garantito il risultato fondamentale

$$i_L = \frac{V_i}{R_4} = \frac{5V}{10k\Omega} = 0,5mA = \text{costante}$$

per cui il circuito analizzato risulta essere un **generatore a corrente costante**.

6. Con il valore infinito di R_L si ottiene il seguente circuito



==

I valori delle correnti e dei potenziali ai nodi si calcolano facilmente

$$i_L = 0$$

$$i_1 = i_2 = \frac{V_o}{R_1 + R_2} = \frac{30V}{20k\Omega} = 1,5mA$$

$$i_3 = i_4 = \frac{V_o - V_i}{R_3 + R_4} = \frac{30V - 5V}{20k\Omega} = 1,25mA$$

$$V_L = V_i + R_3 i_4 = V_i + R_3 \frac{V_o - V_i}{R_3 + R_4} = \frac{V_o + V_i}{2} = \frac{30V + 5V}{2} = 17,5V$$

$$V^- = V_o \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{V_o}{2} = 15V$$

$$V_D = V_L - V^- = 17,5V - 15V = 2,5V > 0 \text{ operazionale in saturazione}$$

In questo ultimo caso non si ha più il funzionamento a corrente costante ($i_L=0$) infatti l'operazionale è uscito decisamente dalla zona lineare.

7. Il seguente grafico mostra i cinque punti di funzionamento dell'operazionale sulla sua caratteristica ingresso-uscita.

