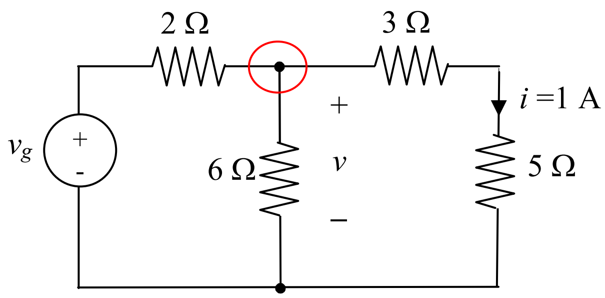
5.1
Per la proprietà di linearità la tensione v_1 può essere espressa come $v_1 = k\, i_g$, dove i_g è la corrente del generatore. Utilizzando i dati in Figura 1a abbiamo -3 = k 6, quindi k = - ½ . In Figura 1b la corrente del generatore è –4 A (il verso è opposto), quindi v_1 = - ½ (–4) = 2 V.

5.2
Applicando la LKC al nodo al centro in alto abbiamo:

$$\frac{v_g - v_x}{2} + \frac{2v_x - v_x}{3} = \frac{v_x}{6} \qquad \Rightarrow \qquad v_x = \frac{3}{2} v_g$$

5.3



Con la LKC per il nodo cerchiato si scrive

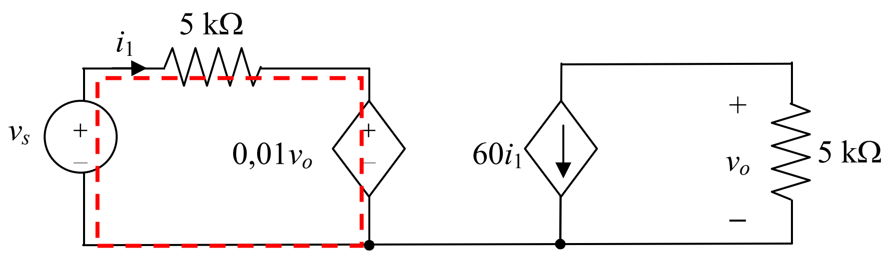
$$\frac{v - v_g}{2} + \frac{v}{6} + \frac{v}{8} = 0$$

da cui si ricava: $v_g = (19/12)v = (19/12)8i = 12{,}67$ V.

Dalla relazione precedente si ricava $i = \frac{3}{38} v_g$ quindi se v_g = 24 V, i = 1,89 A.

5.4
La tensione richiesta è $v_o = -\,5000 \times 60\, i_1$. Applicando la LKT alla maglia evidenziata si ricava:

$$i_1 = \frac{v_s - 0{,}01 v_o}{5000}$$



Sostituendo nell'espressione di v_o abbiamo l'equazione:

$$v_o = -60(v_s - 0{,}01 v_o)$$

dalla quale si ricava

$$v_o = \frac{-60 v_s}{0{,}4} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{v_o}{v_s} = -150$$

5.5

Per il principio di sovrapposizione possiamo scrivere

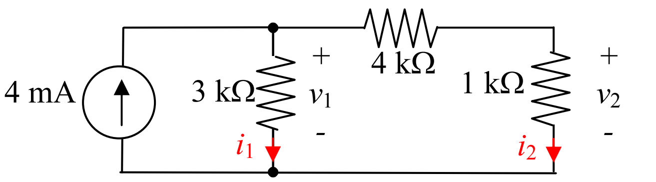
$$i = k_1 v_1 + k_2 v_2 = 1\text{A}$$

Se il generatore v_2 è spento si ha $i = k_1 v_1 = 3$A, quindi $k_2 v_2 = -2$A. Perciò, quando il generatore v_1 è spento si ha i = -2 A.

5.7

Dobbiamo studiare tre circuiti; in tutti e tre i casi si ottiene un partitore di corrente.

(I)

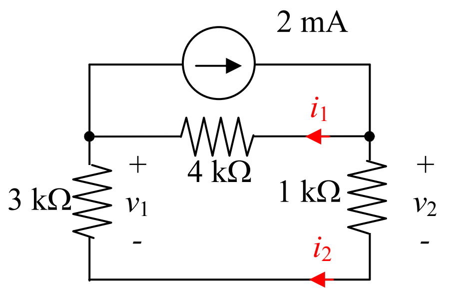


$$i_1 = 4\frac{5}{8} = 2{,}5 \text{ mA}$$

$$i_2 = 4\frac{3}{8} = 1{,}5 \text{ mA}$$

Quindi: $v_1 = 7{,}5$ V $v_2 = 1{,}5$ V.

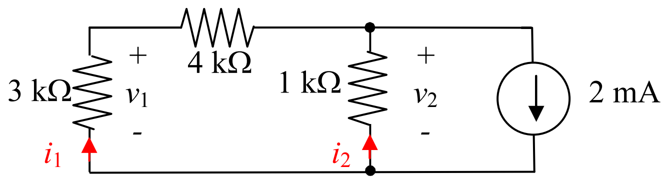
(II)



$$i_1 = 2\frac{4}{8} = 1 \text{ mA} \qquad i_2 = 2\frac{4}{8} = 1 \text{ mA}$$

$v_1 = -3$ V $v_2 = 1$ V

(III)



$$i_1 = 2\frac{1}{8} = 0{,}25 \text{ mA}$$

$$i_2 = 2\frac{7}{8} = 1{,}75 \text{ mA}$$

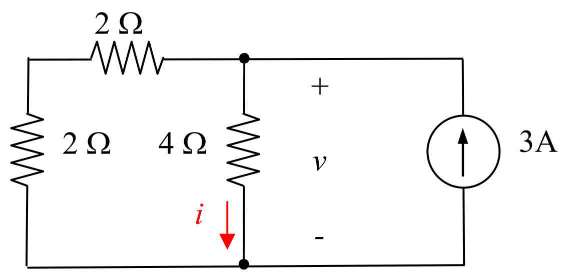
$v_1 = -\,0{,}75$ V $v_2 = -\,1{,}75$ V

Sommando i risultati parziali: $v_1 = 7{,}5 - 3 - 0{,}75 = 3{,}75$ V

$v_2 = 1{,}5 + 1 - 1{,}75 = 0{,}75$ V

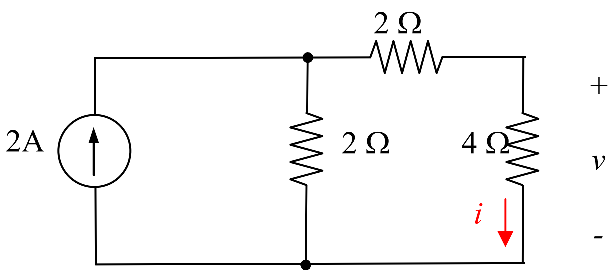
5.9

(I) E' acceso il generatore di destra.



$$i = \frac{3}{2}\,\mathrm{A} \qquad \Rightarrow \qquad v = 4\frac{3}{2} = 6\,\mathrm{V}$$

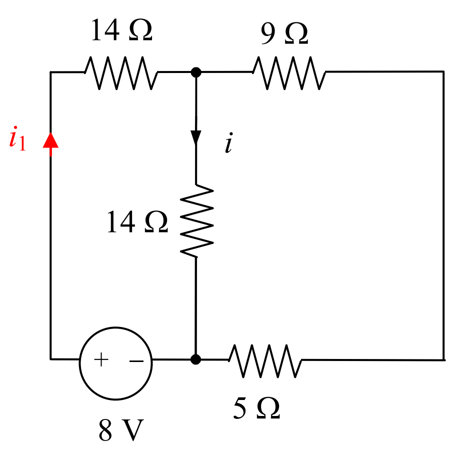
(II) E' acceso il generatore di sinistra.

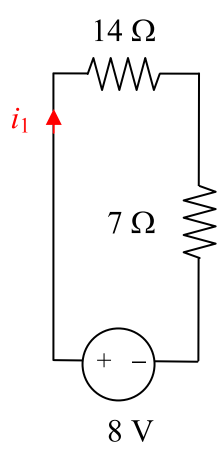


$$i = 2\frac{2}{8} = \frac{1}{2}\,\mathrm{A} \;\Rightarrow \qquad v = \frac{4}{2} = 2\,\mathrm{V}$$

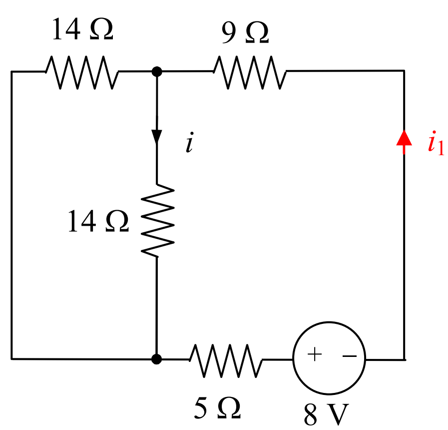
La tensione risultante è 8 V.

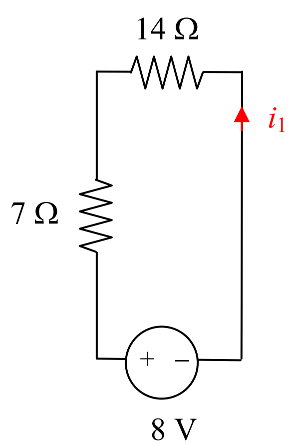
5.10





$$i_1 = 8/21\,\mathrm{A} \qquad \Rightarrow \qquad i = i_1/2 = 4/21\ \mathrm{A}$$





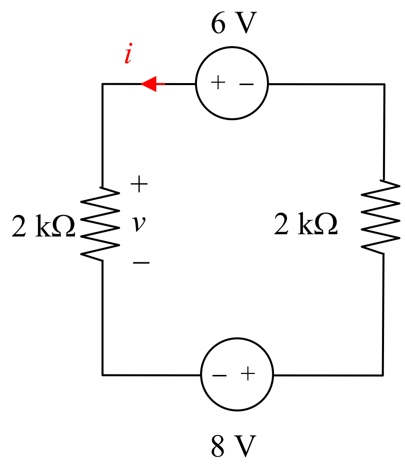
$$i_1 = -8/21\,\text{A} \quad \Rightarrow \qquad i = i_1/2 = -\,4/21\ \text{A}$$

Pertanto la soluzione è $i = 0$.

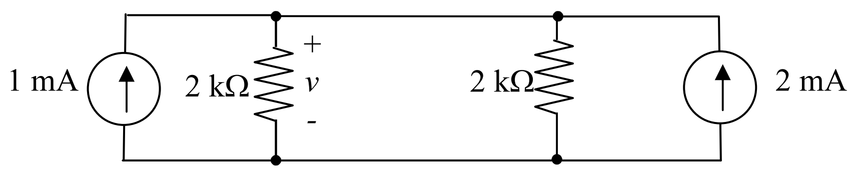
5.11

Possiamo determinare separatamente l'effetto dei generatori di tensione e quello dei generatori di corrente.
Nel primo caso, applicando il principio di sostituzione, lo schema si semplifica come nella figura seguente. E' un circuito ad una maglia per il quale si ricava:

$$i = \frac{14}{4} = 3{,}5\ \text{mA} \qquad \Rightarrow \qquad v = 7\ \text{V}$$



Nel secondo caso si ottiene lo schema seguente.



E' un circuito a due nodi per il quale si ricava:

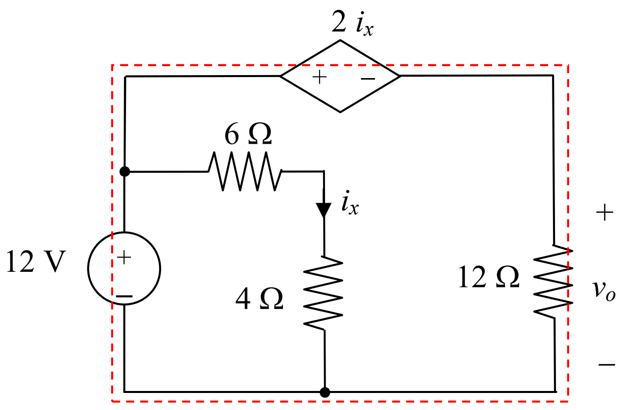
$$v = \frac{3}{1/2 + 1/2} = 3\ \text{V}$$

In conclusione $v = 10$ V.

5.12

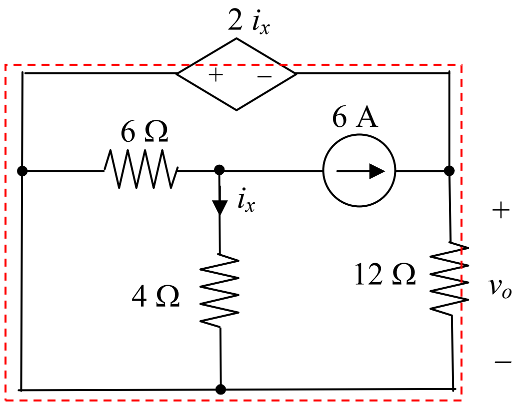
Spegnendo il generatore di corrente si ha la figura seguente, dalla quale si ricava:

$$i_x = \frac{12}{10} = 1{,}2\ \text{A} \qquad \text{LKT} \Rightarrow \qquad v_o = -2i_x + 12 = 9{,}6\ \text{V}$$



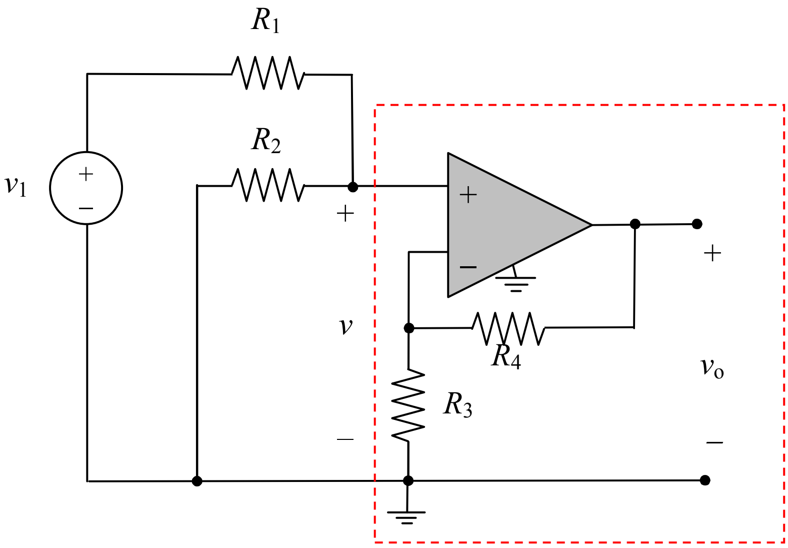
Spegnendo il generatore di tensione si ha la figura seguente; i resistori da 6 Ω e 4 Ω formano un *partitore di corrente* (sono in parallelo e la somma delle correnti è –6 A). Pertanto:

$$i_x = -6\frac{6}{10} = -3{,}6 \text{ A} \qquad \text{LKT} \Rightarrow \qquad v_o = -2i_x = 7{,}2 \text{ V}$$



Infine $v_o = 9{,}6 + 7{,}2 = 16{,}8$ V.

5.13
Spegnendo il generatore v_2 si ottiene lo schema seguente.



A causa del c.a. virtuale, i resistori R_1 ed R_2 formano un partitore di tensione:

$$v = v_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

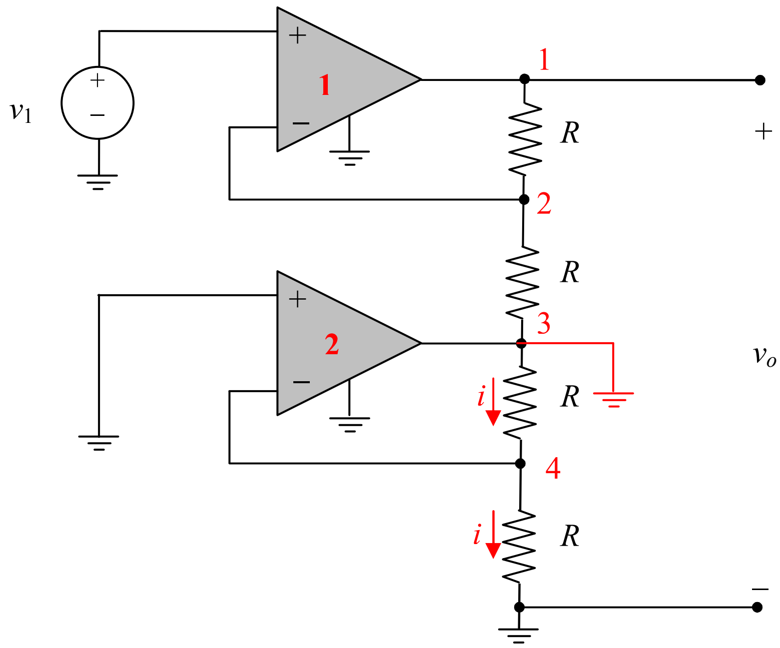
L'operazionale realizza un amplificatore non invertente, pertanto

$$v_o = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) v = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \frac{v_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Nell'altro caso il procedimento è identico.

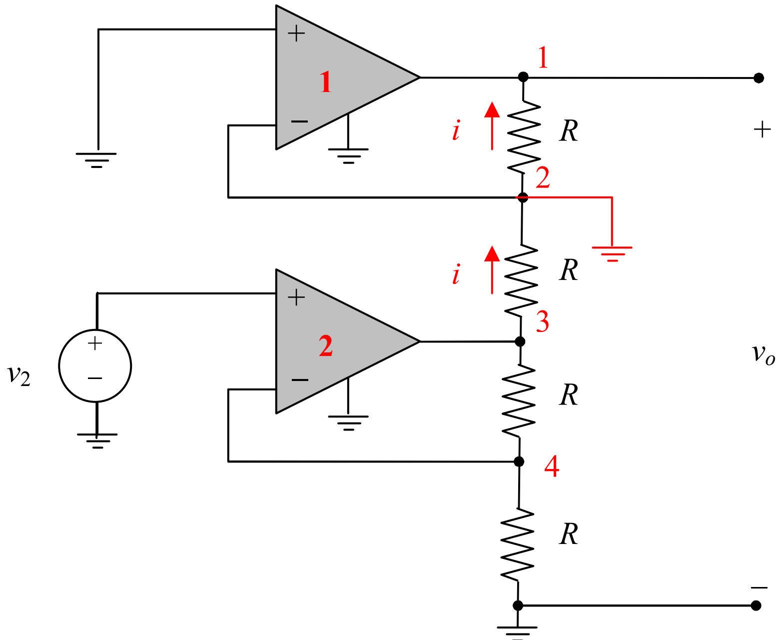
5.14

Spegnendo il generatore v_2 si ha lo schema accanto.



Il nodo 4 ha potenziale zero, per il c.c. virtuale dell'operazionale 2; quindi i = 0 e il nodo 3 ha potenziale zero. L'operazionale 1 si comporta come un amplificatore non invertente, la cui tensione di uscita è $v_{13} = 2v_1$; infine $v_o = v_{13} = 2\ v_1$.

Spegnendo il generatore v_1 si ha lo schema seguente.

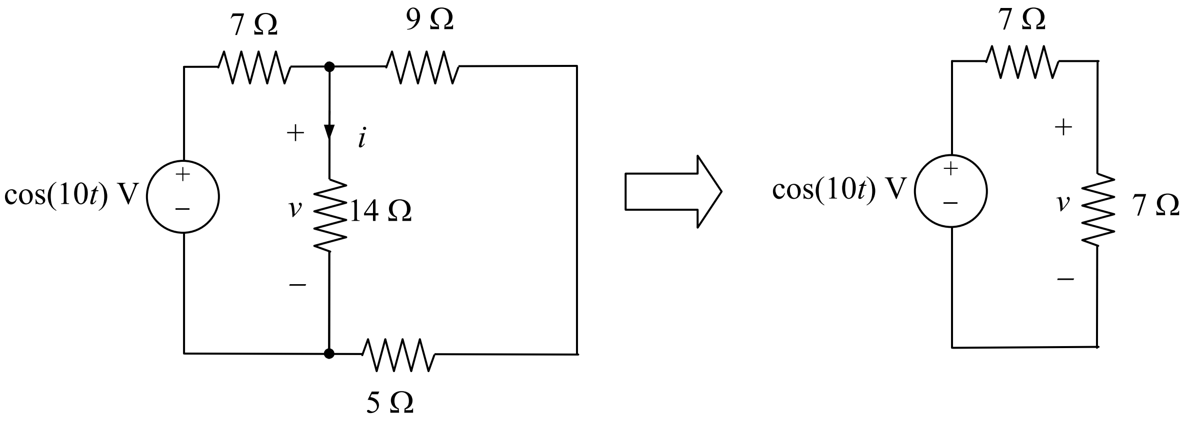


Il nodo 2 ha potenziale zero, per il c.c. virtuale dell'operazionale 1. L'operazionale 2 si comporta come un amplificatore non invertente, perciò la tensione del nodo 3 rispetto a terra è $2v_2$. Quindi $v_{32} = 2v_2$ e $i = 2v_2/R$. Infine $v_o = v_{12} = -Ri = -2\ v_2$.

Pertanto $v_o = 2(v_1 - v_2)$.

5.15

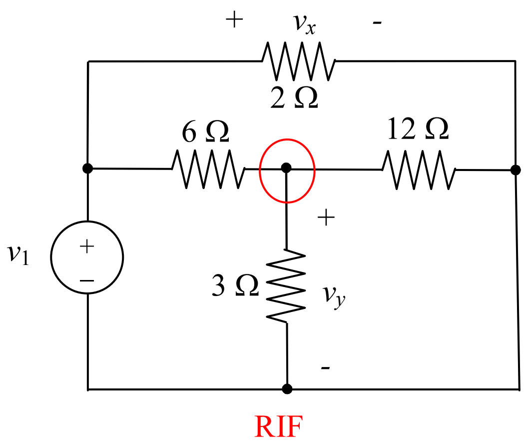
Quando è spento il generatore con ω=5 si ha lo schema seguente.



La tensione v vale (1/2) cos(10 t) V; quindi $i = v/14 = (1/28)$ cos(10 t) V.
Nell'altro caso il procedimento è identico.

5.16

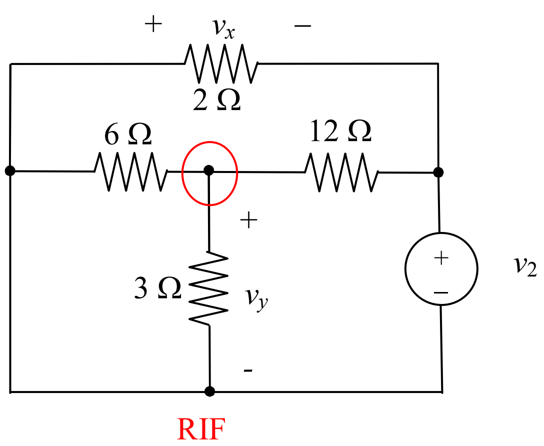
Spegnendo il generatore v_2 si ha la figura seguente.



La tensione v_x coincide con v_1. Applicando la LKC al nodo cerchiato si ottiene

$$\frac{v_y - v_1}{6} + \frac{v_y}{3} + \frac{v_y}{12} = 0$$

da cui si ricava $v_y = (2/7)\, v_1$.
Spegnendo il generatore v_1 si ha la figura seguente.



La tensione v_x è uguale a $-v_2$. Applicando la LKC al nodo cerchiato si ottiene

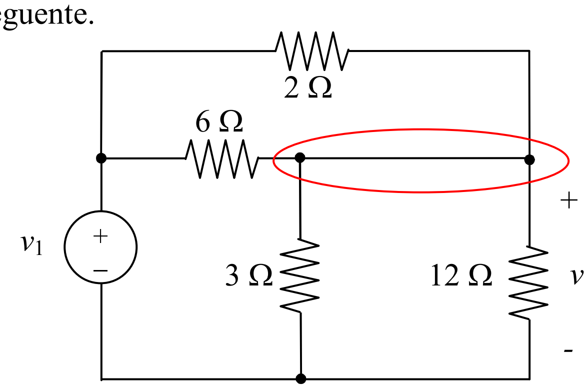
$$\frac{v_y - v_2}{12} + \frac{v_y}{3} + \frac{v_y}{6} = 0$$

da cui si ricava $v_y = (1/7)\, v_2$.

In conclusione: $v_x = v_1 - v_2$ $v_y = \frac{2}{7} v_1 + \frac{1}{7} v_2$

5.17

Spegnendo il generatore v_2 si ha la figura seguente.

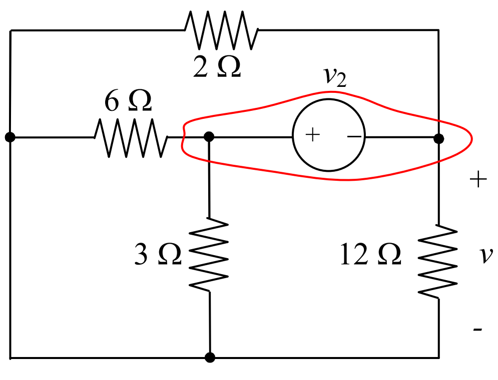


Applicando la LKC alla linea chiusa evidenziata si ottiene

$$\frac{v - v_1}{6} + \frac{v}{3} + \frac{v}{12} + \frac{v - v_1}{2} = 0$$

da cui si ricava $v = (8/13)\, v_1$.

Spegnendo il generatore v_1 si ha la figura seguente.



Applicando la LKC al super-nodo si ottiene

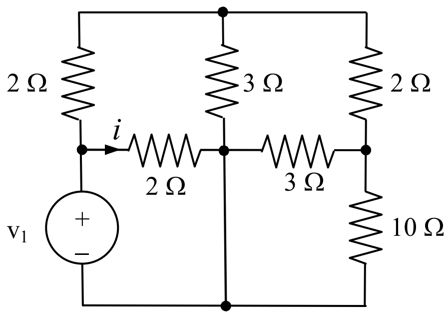
$$\frac{v_a}{6} + \frac{v_a}{3} + \frac{v}{12} + \frac{v}{2} = 0$$

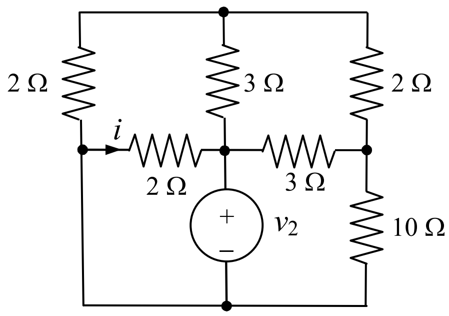
dove $v_a = v_2 + v$. Sostituendo si ricava $v = -(6/13)\, v_1$.

5.18

Spegnendo il generatore v_2 si ha lo schema seguente (a sinistra). La tensione ai capi del resistore da 2 Ω è v_1 quindi $i = v_1/2$.

Spegnendo il generatore v_1 si ha lo schema a destra. La tensione ai capi del resistore da 2 Ω è $-v_2$ quindi $i = -v_2/2$.

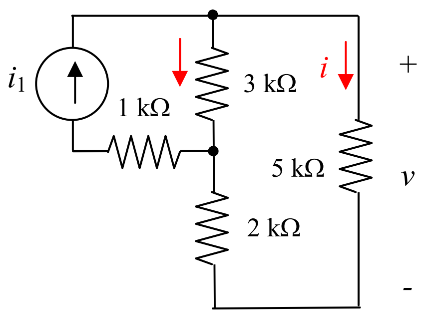


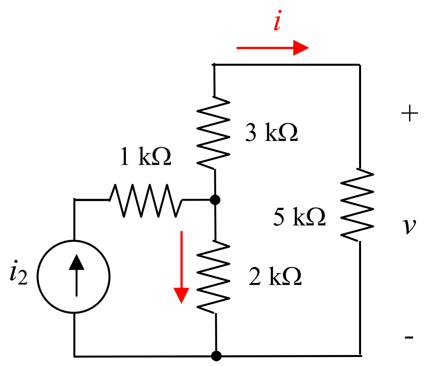


5.19

Spegnendo il generatore i_2 si ottiene un partitore di corrente con resistenze di 3 kΩ e 7 kΩ (sotto a sinistra). La corrente nel resistore da 5 kΩ è $i = \frac{3}{10} i_1$ quindi $v = 1500 i_1$.

Spegnendo il generatore i_1 si ha il partitore di corrente con 2 kΩ e 8 kΩ (a destra). La corrente nel resistore da 5 kΩ è $i = \frac{2}{10} i_2$ quindi $v = 1000 i_2$.





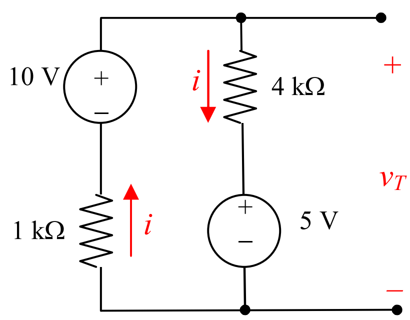
5.21

Ricaviamo v_T dallo schema a morsetti aperti; dalla equazione LKT della maglia si ricava:

$$i = \frac{10-5}{5k} = 1\,\mathrm{mA}$$

Quindi

$$v_T = 4i + 5 = 9\ \mathrm{V}$$



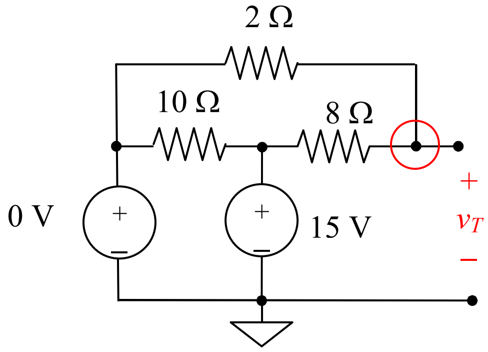
Spegnendo i generatori indipendenti si ottiene il parallelo delle due resistenze: $R_T = 0{,}8\,\mathrm{k\Omega}$.

5.22

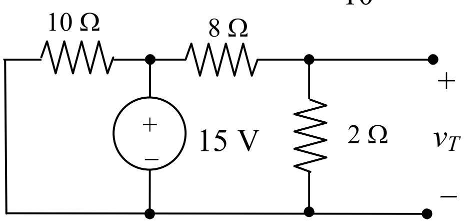
Per la tensione a vuoto possiamo utilizzare l'analisi nodale (figura seguente). Il corto circuito equivale ad un generatore di tensione di 0V, perciò è sufficiente scrivere la LKC per il nodo evidenziato:

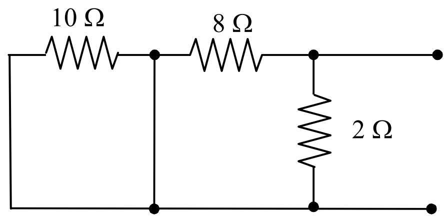
$$\frac{v_T - 15}{8} + \frac{v_T - 0}{2} = 0$$

La soluzione è $v_T = 3$ V.



In alternativa, possiamo disegnare il circuito come nella figura sotto a sinistra. Il resistore da 10 Ω può essere eliminato per il principio di sostituzione. La tensione a vuoto si ricava con la formula del partitore di tensione: $v_T = 15\frac{2}{10} = 3$ V

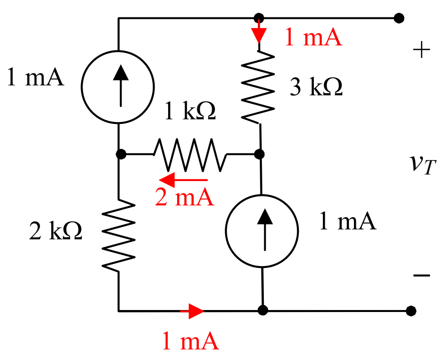


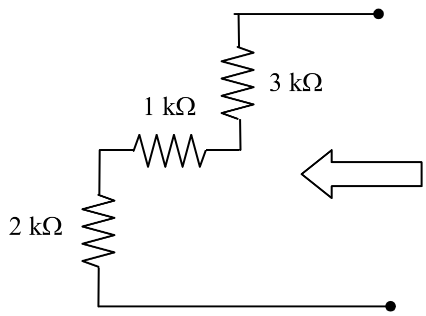


Lo schema per ricavare la resistenza equivalente è mostrato nella figura precedente. Il resistore da 10 Ω è cortocircuitato quindi non conta. La resistenza equivalente è il parallelo tra 2 ohm e 8 ohm e vale 1,6 Ω.

5.23

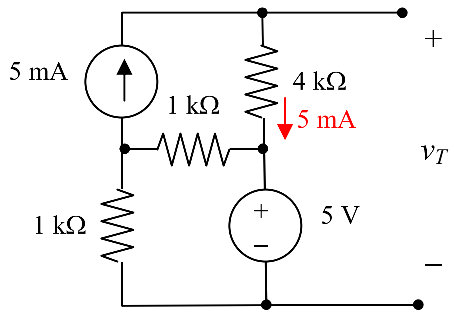
Con i morsetti aperti si verifica facilmente che le correnti circolano come nella figura sotto a sinistra. Quindi $v_T = 3$ V + 2 V + 2 V = 7 V. Per la resistenza equivalente si fa riferimento allo schema sotto a destra: $R_T = 6$ kΩ.

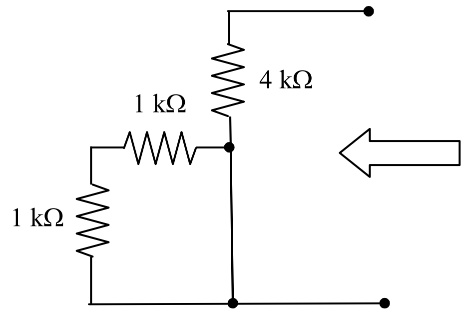




5.24

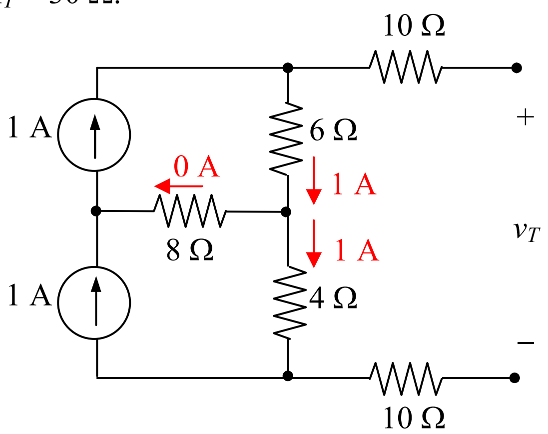
Con i morsetti aperti si verifica facilmente che la corrente circola come nella figura sotto a sinistra. Quindi $v_T = 5\times10^{-3}\times4\times10^{3} + 5 = 25$ V. Per la resistenza equivalente si fa riferimento allo schema sotto a destra: $R_T = 4$ kΩ.

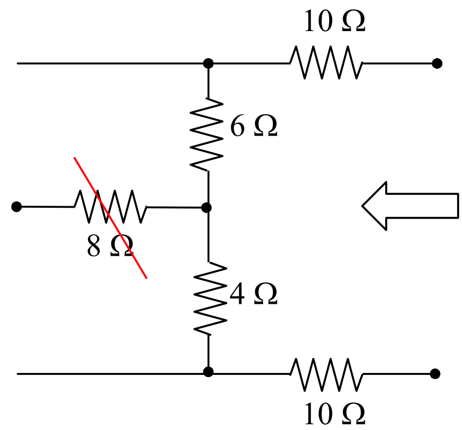




5.25

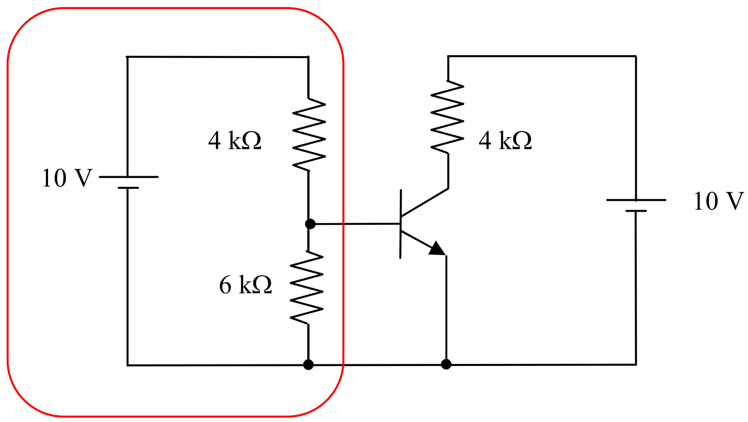
Con i morsetti aperti si verifica facilmente che le correnti circolano come nella figura sotto a sinistra. Quindi $v_T = 6 + 4 = 10$ V. Per la resistenza equivalente si fa riferimento allo schema sotto a destra: $R_T = 30\ \Omega$.



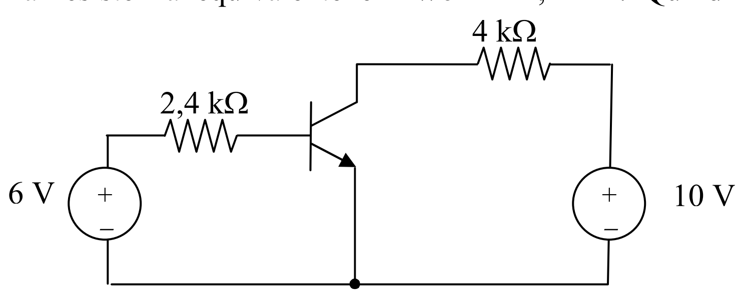


5.26

Per il principio di sostituzione, lo schema si può disegnare come nella figura seguente.

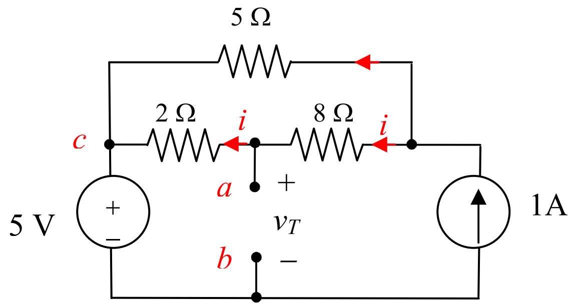


Applicando il teorema di Thevenin al bipolo nel riquadro, si ottiene una tensione a vuoto $v_T = 10\frac{6}{10} = 6$ V; la resistenza equivalente è 4k//6k = 2,4 kΩ. Quindi il circuito equivale al seguente.

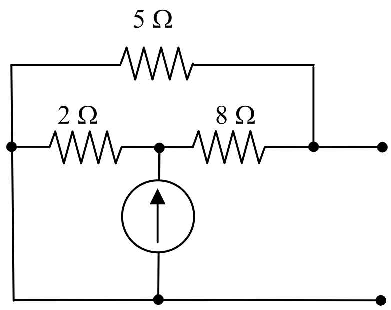


5.28

Con i morsetti aperti, i resistori da 5 Ω e da (2+8) Ω formano un partitore di corrente; la corrente i vale 1×5/15 = 1/3 A. Applicando la LKT alla sequenza *a-b-c-a* si ricava $v_T = 2\times1/3 + 5 \cong 5{,}67$ V.



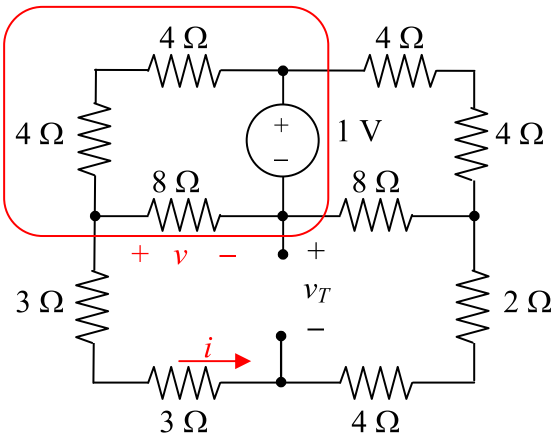
Per la resistenza equivalente possiamo considerare lo schema seguente con un generatore di corrente. Si nota che le resistenze da 5 Ω e 8 Ω sono in serie. La resistenza complessiva di 13 Ω è in parallelo alla resistenza da 2 Ω. Quindi $R_T = \dfrac{13\times2}{13+2} \cong 1{,}74$ Ω.



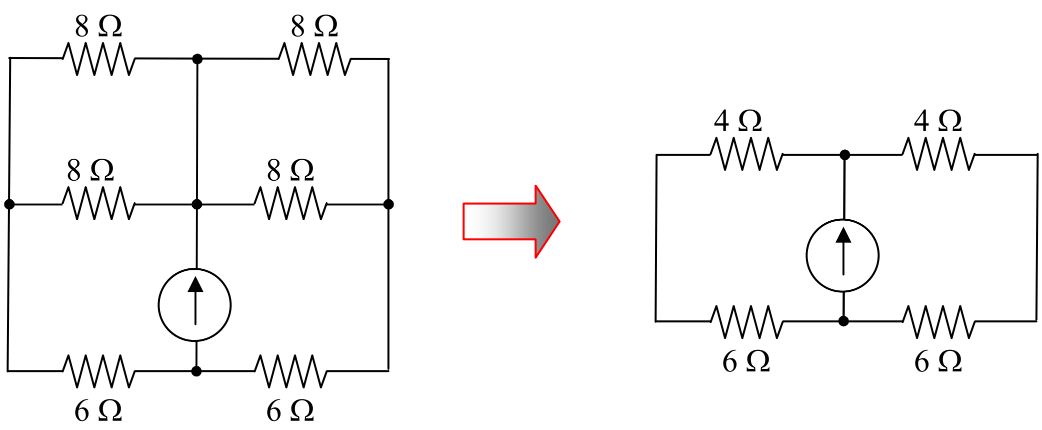
5.29

Il circuito con i morsetti aperti è mostrato nella figura seguente. Il circuito presenta una evidente simmetria perciò la corrente i deve essere nulla (perché dovrebbe scorrere in un verso piuttosto che nell'altro?).

Poiché i = 0 la parte di circuito nel riquadro rappresenta un partitore di tensione con le resistenze identiche (8 Ω): v =0,5 V. Applicando la LKT abbiamo $v_T = - v = -$ 0,5 V.



Per la resistenza equivalente consideriamo gli schemi nella figura seguente, da cui si deduce R_T = 5 Ω.

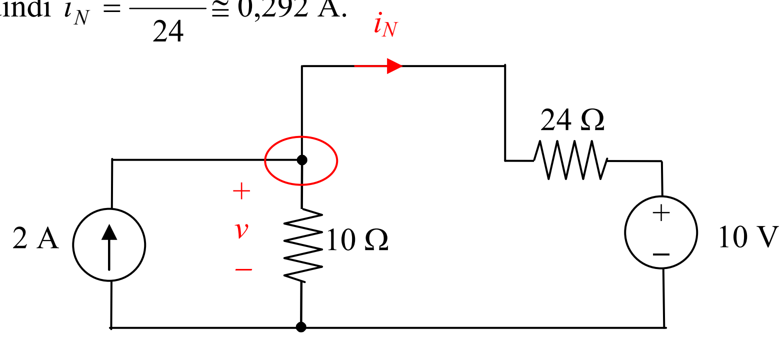


5.32

Il circuito per determinare la corrente di corto circuito è mostrato nella figura seguente. Con la LKC per il nodo cerchiato si scrive:

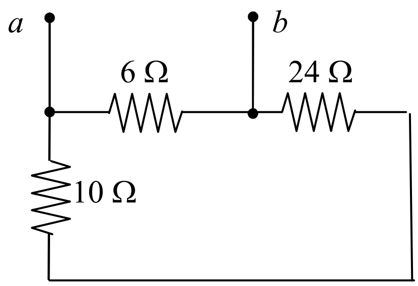
$$\frac{v}{10}+\frac{v-10}{24}=2$$

La soluzione è $v \cong 17$ V. Quindi $i_N=\dfrac{v-10}{24}\cong 0{,}292$ A.



Per la resistenza equivalente si fa riferimento allo schema seguente:

$R_N = 6//34 = 5{,}1\ \Omega$.

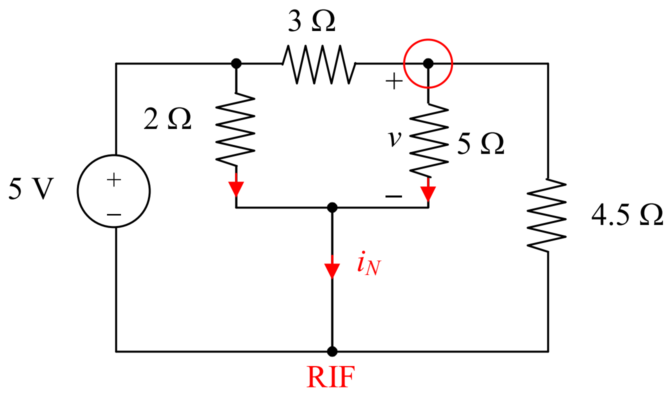


5.33

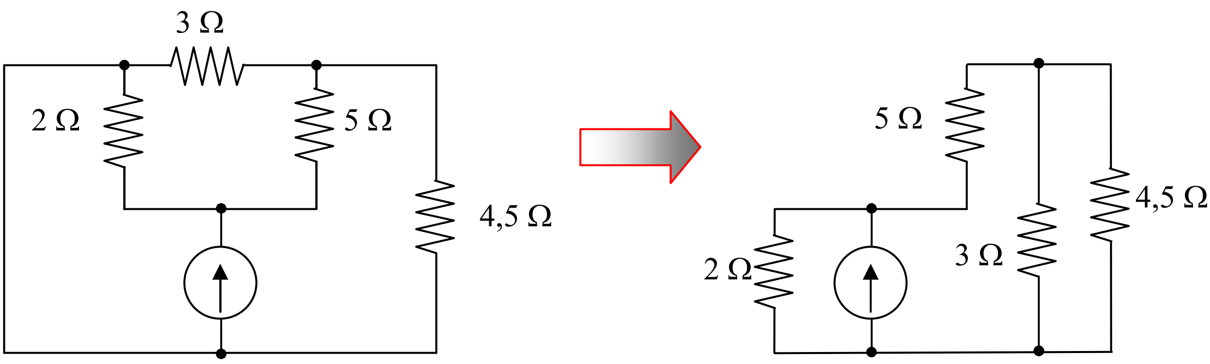
Lo schema per determinare la corrente di c.c. è mostrato nella figura seguente. Scrivendo la LKC per il nodo cerchiato si ha:

$$\frac{v-5}{3}+\frac{v}{5}+\frac{v}{4{,}5}=0$$

La soluzione è $v = 75/34 \cong 2{,}2$ V. Infine, con la LKC: $i_N = 5/2 + 2{,}2/5 = 2{,}94$ A.



Lo schema per il calcolo della resistenza equivalente può essere disegnato come nella figura sotto a destra. Si vede che $R_N = [(3//4,5) + 5]//2 \cong 1,546\ \Omega$.

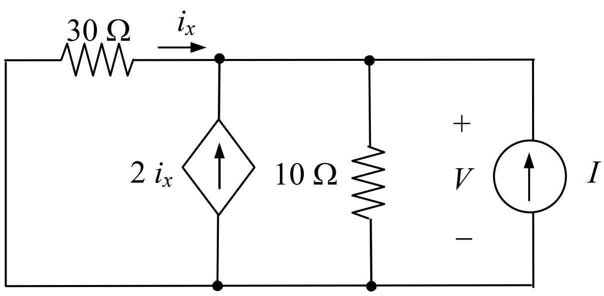


5.35

La tensione a vuoto è nulla poiché nel bipolo non ci sono generatori indipendenti.
Lo schema per ricavare la resistenza equivalente è mostrato di seguito. Con la LKC si ricava:

$$\frac{V}{30} + \frac{2V}{30} + \frac{V}{10} = I$$

La soluzione è V = 5 I, quindi $R_T = 5\ \Omega$.



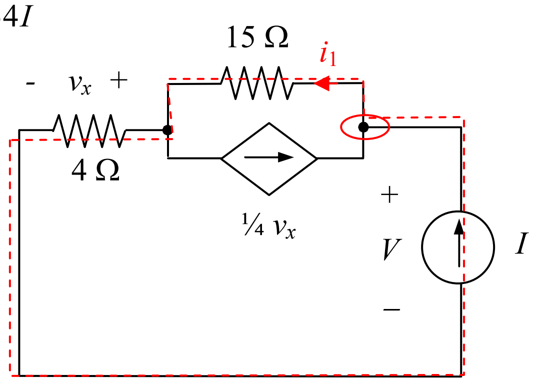
5.36

Quando i morsetti sono aperti la corrente nella resistenza da 4 Ω è nulla, quindi è nulla anche la corrente del generatore controllato. Perciò anche il resistore da 15 Ω non ha corrente e $v_T = 8$ V.

Lo schema per ricavare la resistenza equivalente è mostrato sotto. La corrente nel resistore da 4 Ω è uguale ad I, quindi $v_x = 4\ I$. Con la LKC si verifica che $i_1 = 2\ I$. Infine con la LKT:

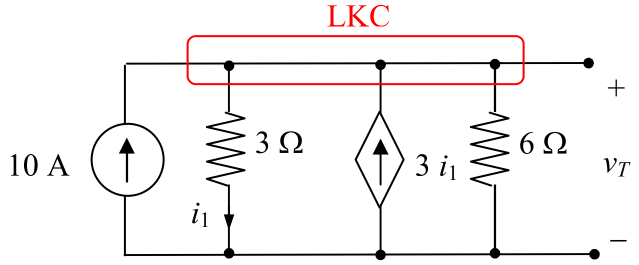
$$V = 15 i_1 + 4I = 34I$$

quindi $R_T = 34\ \Omega$.



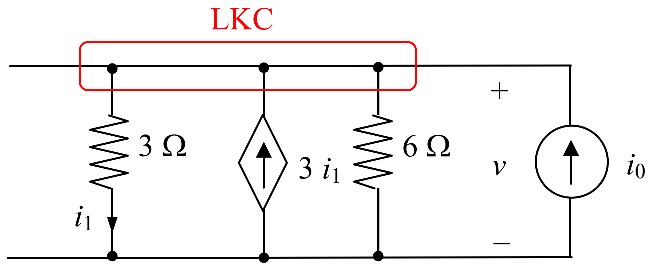
5.37

Tensione a vuoto.



$$10 + 3\left(\frac{v_T}{3}\right) = \frac{v_T}{3} + \frac{v_T}{6} \qquad \Rightarrow \qquad v_T = -20\ \text{V}$$

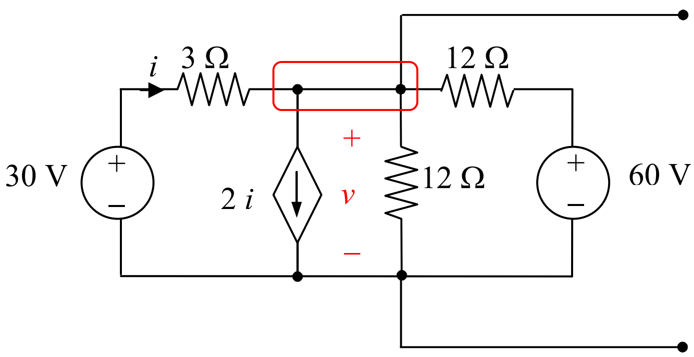
Resistenza equivalente.



$$i_0 + 3\left(\frac{v}{3}\right) = \frac{v}{3} + \frac{v}{6} \qquad \Rightarrow \qquad v = -2\ i_0 \Rightarrow \qquad R_T = -2\ \Omega.$$

5.38

Lo schema per ricavare la tensione a vuoto è mostrato sotto.



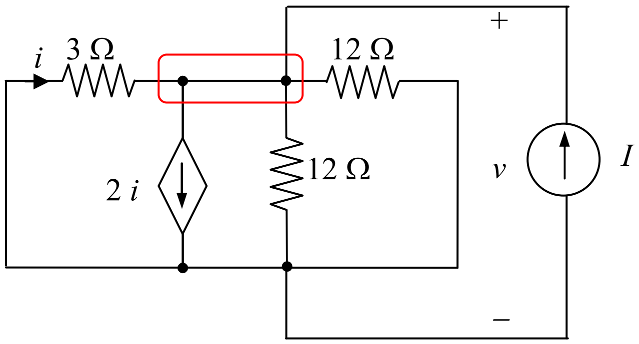
Applicando la LKC alla linea chiusa si scrive:

$$\frac{v-30}{3}+2\left(\frac{30-v}{3}\right)+\frac{v}{12}+\frac{v-60}{12}=0$$

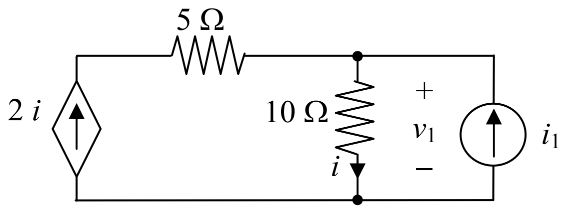
La soluzione è: $v = 30$ V $= v_T$.
Per la resistenza equivalente si considera lo schema seguente. Applicando la LKC alla linea chiusa si scrive:

$$\frac{v}{3}+2\left(-\frac{v}{3}\right)+\frac{v}{12}+\frac{v}{12}=I$$

La soluzione è $v = -6\ I$; la resistenza equivalente è $-6\ \Omega$.



5.39
La corrente di c.c. è nulla poiché nel bipolo non ci sono generatori indipendenti.
La resistenza equivalente si ricava dallo schema seguente.

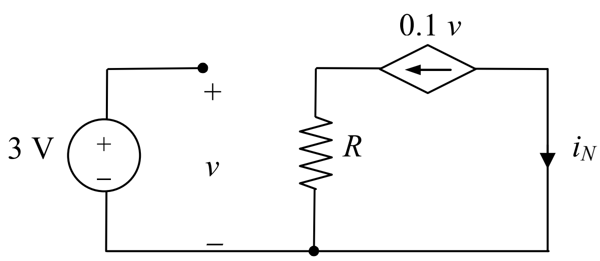


Con la LKC abbiamo:

$$2i+i_1=i$$

dove $i=v_1/10$; sostituendo si ricava $v_1=-10i_1$, perciò $R_T = -10\ \Omega$.

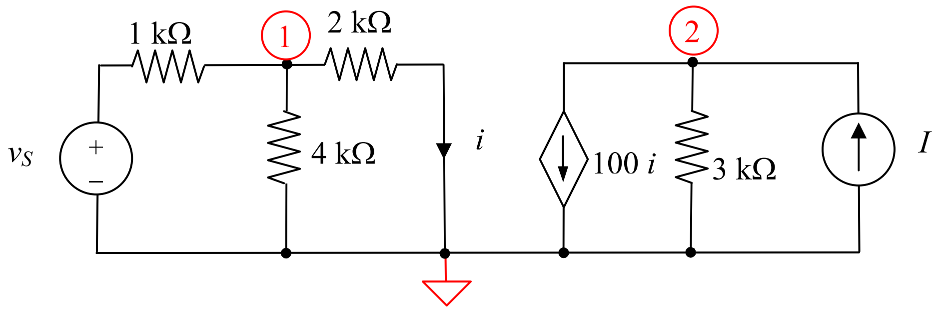
5.40
Chiudendo i morsetti in c.c. si ha lo schema seguente, da cui si ricava $i_N=-0{,}1v=-0.3$ A



Spegnendo il generatore di tensione, il bipolo equivale ad un circuito aperto poiché la corrente 0,1v si annulla.

5.41

(1) Ricaviamo simultaneamente v_T ed R_T applicando l'analisi nodale al circuito seguente.



LKC nodo 1: $$\frac{v_1}{4}+\frac{v_1-v_S}{1}+\frac{v_1}{2}=0$$

LKC nodo 2: $$100\frac{v_1}{2}+\frac{v_2}{3}=I\times 10^3$$

Sistema:

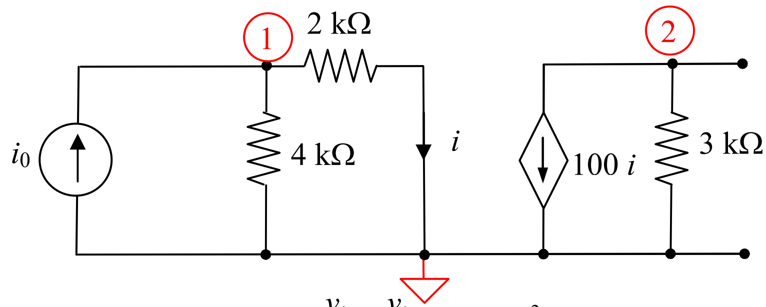
$$\begin{bmatrix}1{,}75 & 0\\ 50 & 1/3\end{bmatrix}\begin{bmatrix}v_1\\ v_2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}v_S\\ I\times 10^3\end{bmatrix}$$

Soluzione:

$$v_2=\frac{\begin{vmatrix}1{,}75 & v_S\\ 50 & I\times 10^3\end{vmatrix}}{0{,}583}=3001\,I-85{,}76\,v_S$$

Pertanto v_T = - 85,76 v_S, $R_T \cong$ 3 kΩ.

(2) Per ricavare la resistenza equivalente del bipolo indicato si considera lo schema seguente.

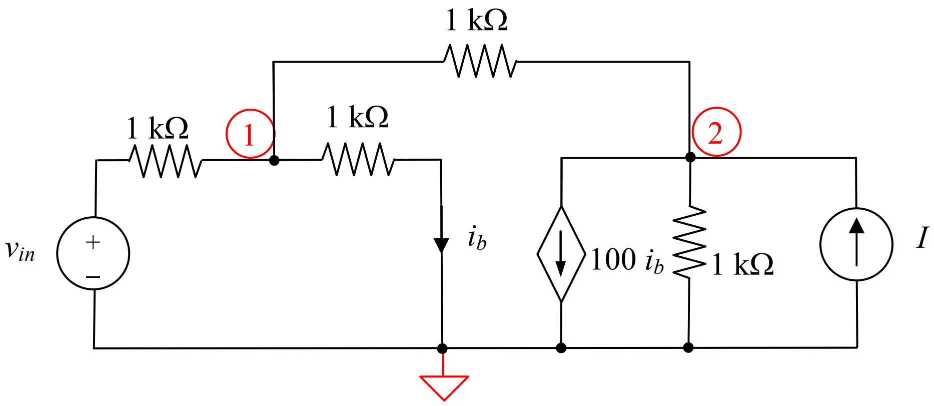


LKC nodo 1: $$\frac{v_1}{4}+\frac{v_1}{2}=i_0\times 10^3$$

Soluzione: $v_1=(4/3)\times 10^3 i_0$. Pertanto R_{eq} = 4/3 kΩ.

5.43

Si applica l'analisi nodale al circuito seguente ricavando v_T ed R_T.



LKC nodo 1: $v_1 - v_{in} + v_1 + v_1 - v_2 = 0$

LKC nodo 2: $100v_1 + v_2 + v_2 - v_1 = I \times 10^3$

Sistema:

$$\begin{bmatrix} 3 & -1 \\ 99 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{in} \\ I \times 10^3 \end{bmatrix}$$

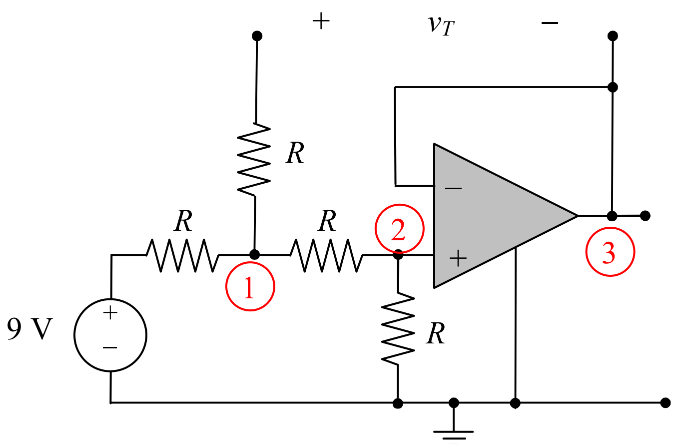
Soluzione:

$$v_2 = \frac{\begin{vmatrix} 3 & v_{in} \\ 99 & I \times 10^3 \end{vmatrix}}{105} = 28{,}57\, I - 0{,}94\, v_{in}$$

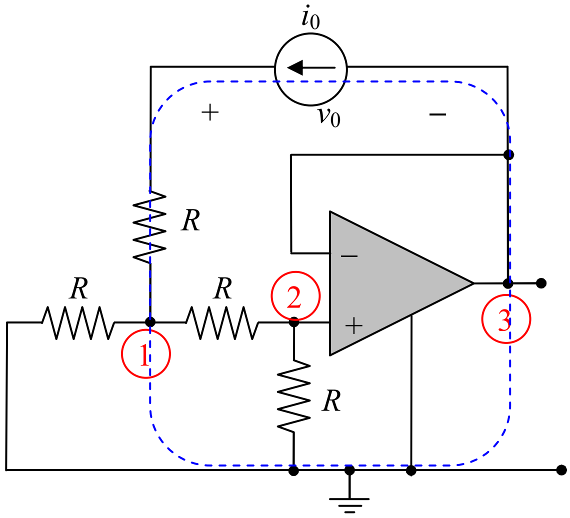
Pertanto $v_T = -0{,}94\, v_{in}$, $R_T = 28{,}57\ \Omega$.

5.44

Per la tensione a vuoto si considera lo schema mostrato nella figura seguente. I tre resistori in serie formano un partitore di tensione, quindi la tensione del nodo 1 è $v_1 = 9\frac{2R}{3R} = 6$ V. L'operazionale funziona da inseguitore quindi: $v_3 = v_2 = 9\frac{R}{3R} = 3$ V. Infine $v_T = v_1 - v_3 = 3$ V.



Per ricavare la resistenza equivalente si utilizza lo schema seguente.



LKC nodo 1: $$\frac{v_1}{R}+\frac{v_1-v_2}{R}=i_0$$

LKC nodo 2: $$\frac{v_1-v_2}{R}=\frac{v_2}{R}$$

Sistema:

$$\begin{bmatrix} 2 & -1 \\ 1 & -2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} Ri_0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Soluzione:

$$v_1=\frac{\begin{vmatrix} Ri_0 & -1 \\ 0 & -2 \end{vmatrix}}{-3}=(2/3)\,R\,i_0 \qquad v_2=\frac{\begin{vmatrix} 2 & Ri_0 \\ 1 & 0 \end{vmatrix}}{-3}=(1/3)\,R\,i_0$$

Applicando la LKT al percorso tratteggiato si scrive la relazione

$$Ri_0+v_1-v_3-v_0=0$$

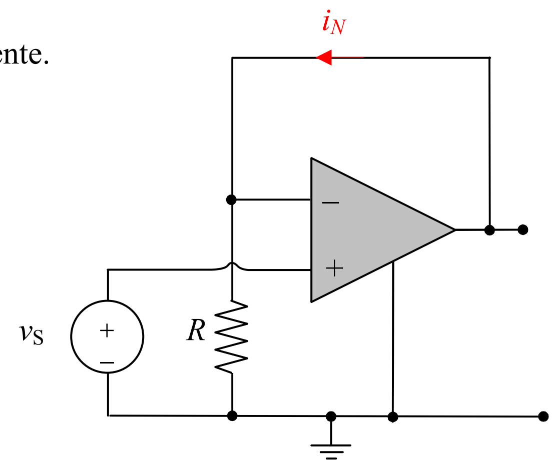
da cui si ricava ($v_3 = v_2$):

$$v_0=Ri_0+\frac{2}{3}Ri_0-\frac{1}{3}Ri_0=\frac{4}{3}Ri_0$$

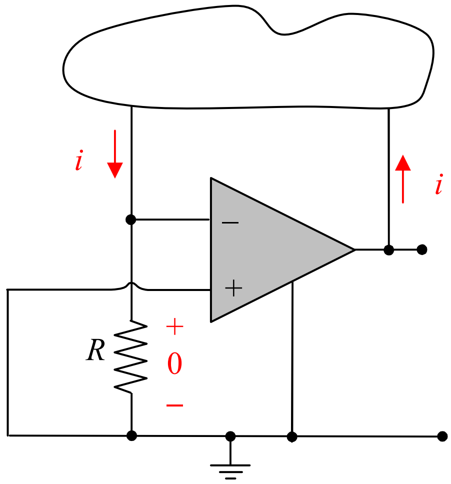
Pertanto $R_T = (4/3)\,R$.

5.45

La corrente di c.c. si ricava dallo schema seguente.

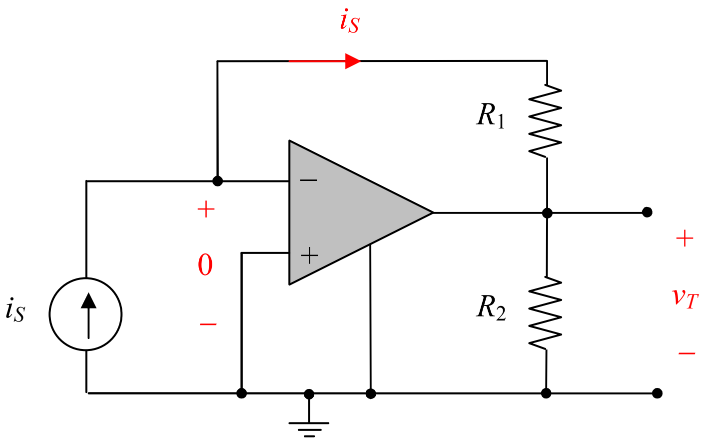


La corrente di c.c. coincide con la corrente nel resistore. La tensione ai capi del resistore è v_S quindi $i_N = v_S / R$.
Per ricavare la resistenza equivalente si considera il circuito seguente. Poiché la tensione del resistore è nulla, la corrente i deve essere nulla, quindi $R_N = \infty$.

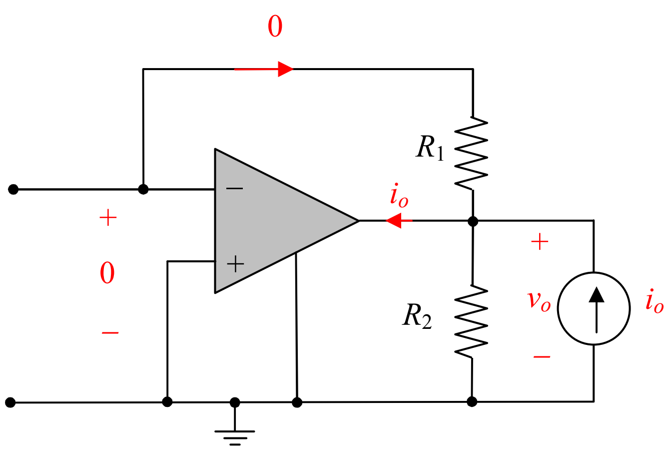


In definitiva, il bipolo equivale ad un generatore indipendente di corrente (il bipolo equivalente di Thevenin non esiste).

5.46
Con riferimento allo schema seguente, con la LKT si verifica facilmente che $v_T = - R_1 i_S$.

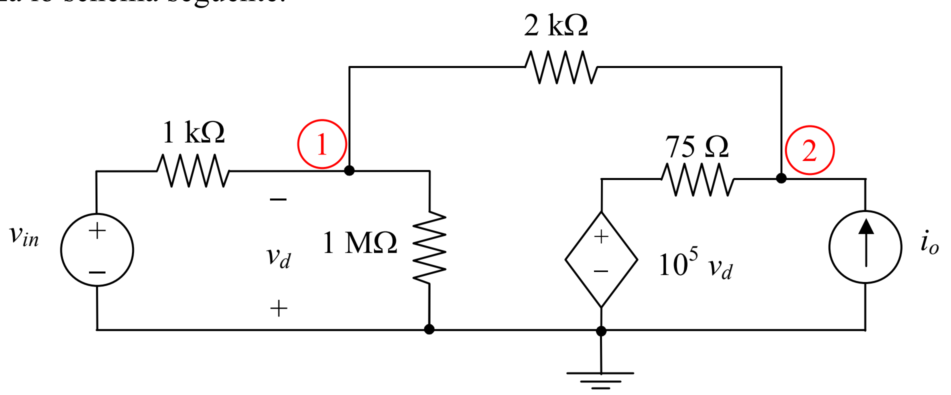


Con riferimento allo schema seguente, con la LKT si verifica che $v_o = 0$ per ogni valore di i_o, quindi $R_T = 0\ \Omega$.



5.47

Si utilizza lo schema seguente.



LKC nodo 1: $$\frac{v_1 - v_{in}}{10^3} + \frac{v_1}{10^6} + \frac{v_1 - v_2}{2\times10^3} = 0$$

LKC nodo 2: $$\frac{v_2 - v_1}{2\times10^3} + \frac{v_2 + 10^5 v_1}{75} = i_o$$

Trascurando 10^{-6} rispetto a 10^{-3} nella prima equazione si ottiene il sistema

$$\begin{bmatrix} 1{,}5 & -0{,}5 \\ 1333 & 0{,}0138 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{in} \\ i_o \end{bmatrix}$$

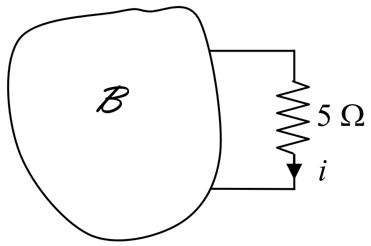
Soluzione:

$$v_2 = \frac{\begin{vmatrix} 1{,}5 & v_{in} \\ 1333 & i_o \end{vmatrix}}{666{,}5} = 2{,}25\times10^{-3}\ i_o - 2\ v_{in}$$

Quindi $v_T = -2\ v_{in}$, $R_T = 2{,}25$ mΩ.

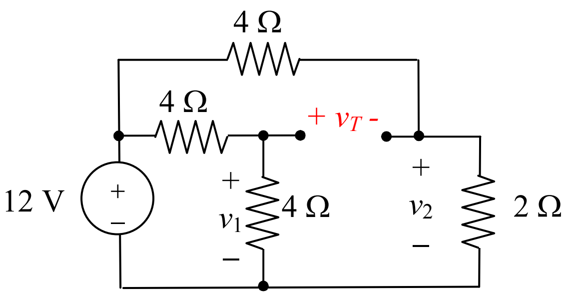
5.48

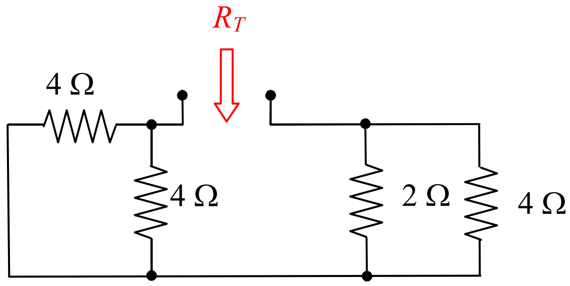
Con riferimento alla figura seguente, possiamo sostituire il bipolo $\mathcal{B}$ con il suo equivalente di Thevenin.



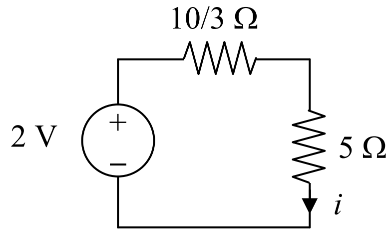
Il circuito per ricavare la tensione a vuoto è mostrato sotto a sinistra. Esso consiste in due partitori di tensione:

$$v_T = v_1 - v_2 = 12\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right) = 2\ \text{V}$$





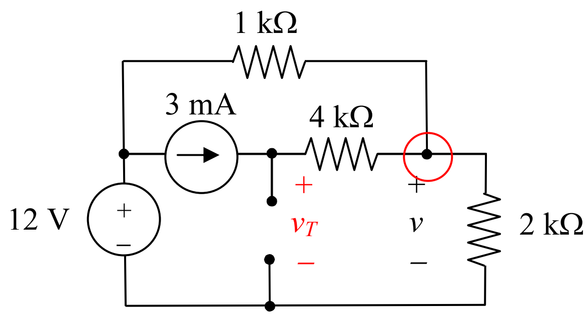
Il circuito per ricavare la resistenza equivalente è mostrato sopra a destra: $R_T = 2 + 2 // 4 = 10/3\,\Omega$.
Il circuito originale equivale al seguente.



La corrente è $i = \dfrac{2}{5 + 10/3} = 0{,}24$ A.

5.49

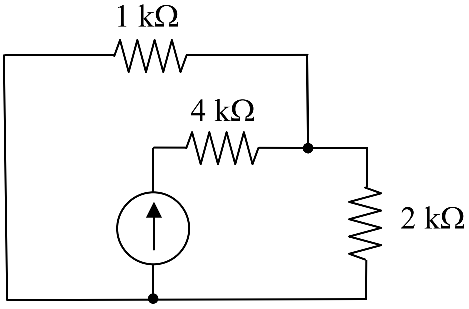
Possiamo sostituire il bipolo collegato al resistore con il suo equivalente di Thevenin. Il circuito per ricavare la tensione a vuoto è mostrato di seguito.

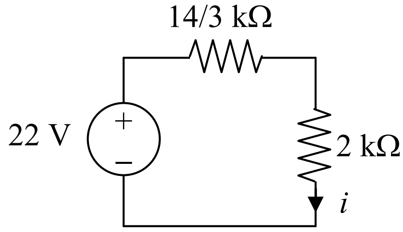


Applicando la LKC al nodo cerchiato abbiamo:

$$\frac{12 - v}{10^3} + 3 \times 10^{-3} = \frac{v}{2 \times 10^3}$$

la cui soluzione è v = 10 V. Pertanto v_T = 3 mA×4 kΩ + v = 22 V. La resistenza equivalente si ricava dallo schema seguente (a sinistra): R_T = 4k+(1k//2k) = 14/3 kΩ.



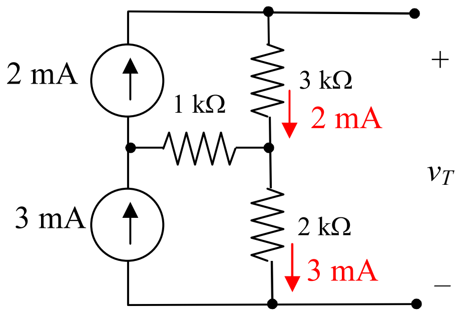


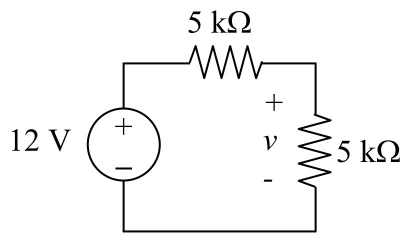
La corrente i si ottiene dal circuito equivalente (sopra a destra):

$$i = \frac{22}{2 + 14/3} = 3{,}3 \text{ mA}$$

5.50

Possiamo sostituire il bipolo collegato al resistore da 5 kΩ con il suo equivalente di Thevenin. Il bipolo con i morsetti aperti è mostrato di seguito.

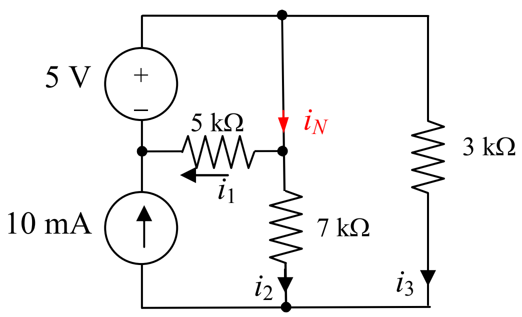


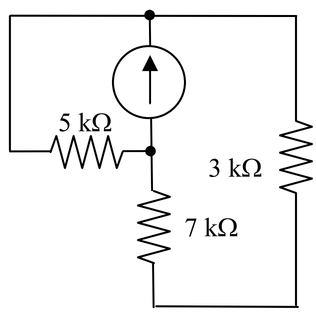


La tensione a vuoto è $v_T = 3k \times 2m + 2k \times 3m = 12\,\text{V}$.
Spegnendo i generatori di corrente si ricava la resistenza equivalente R_T = 3k+2k = 5 kΩ.
La tensione v (= 6 V) si ottiene dal circuito sopra a destra.

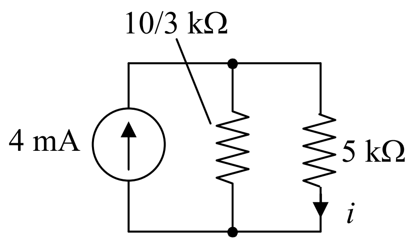
5.51

Possiamo sostituire il bipolo collegato al resistore da 5 kΩ con il suo equivalente di Norton. Il circuito per ricavare la corrente di c.c. è mostrato sotto a sinistra.



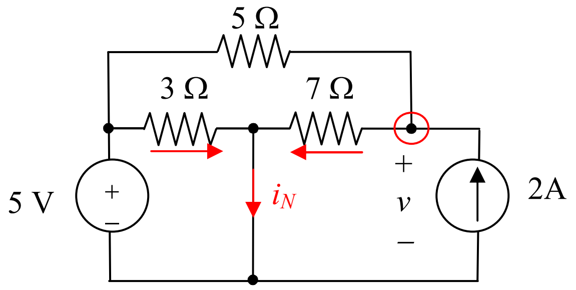


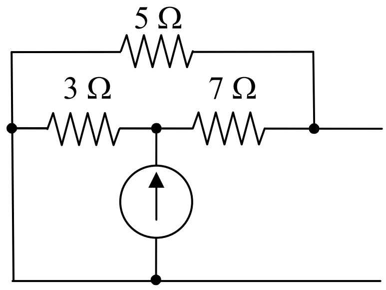
Per la LKC possiamo scrivere: $i_N = i_1 + i_2$, dove i_1 = 5/5k = 1 mA. Inoltre, considerando il partitore di corrente (7kΩ, 3kΩ) si ottiene $i_2 = 10\dfrac{3}{10}$ = 3 mA. Quindi i_N = 4 mA. La resistenza equivalente si ricava dallo schema destra: R_N = 10k//5k = 10/3 kΩ. La corrente i si ottiene dal circuito equivalente mostrato di seguito: $i = 4\,\dfrac{10/3}{5+10/3}$ = 1,6 mA.



5.52

Possiamo sostituire il bipolo collegato al resistore R con il suo equivalente di Norton. Il circuito per ricavare la corrente di c.c. è mostrato sotto a sinistra.





Applicando la LKC al nodo cerchiato abbiamo:

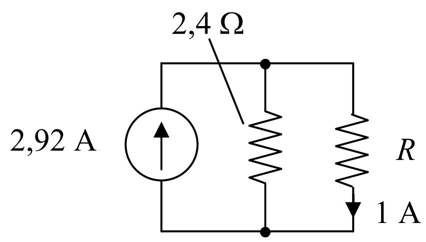
$$\frac{v-5}{5}+\frac{v}{7}=2$$

la cui soluzione è v = 8,75 V. Pertanto $i_N=\frac{5}{3}+\frac{8,75}{7}\cong$ 2,92 A. La resistenza equivalente si ricava dallo schema sopra a destra: R_N = 12//3 = 2,4 Ω. Il circuito equivalente è mostrato sotto.

Con la formula del partitore di corrente abbiamo:

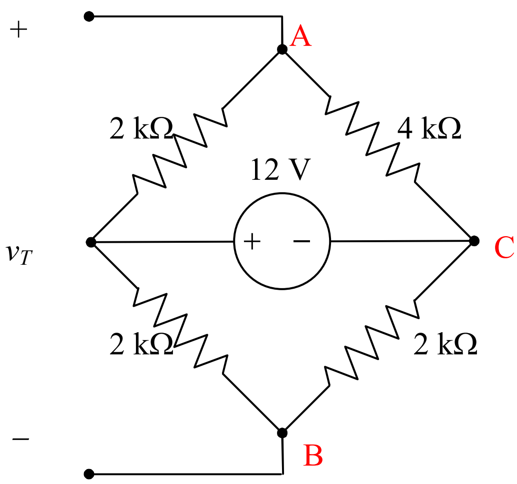
$$1=2{,}92\frac{2{,}4}{2{,}4+R}$$

la cui soluzione è R = 4,6 Ω.



5.53

Si applica il teorema di Thevenin al bipolo accanto.



La tensione a vuoto è $v_T = v_{AC} - v_{BC}$. Le due tensioni si ricavano considerando i partitori di tensione:

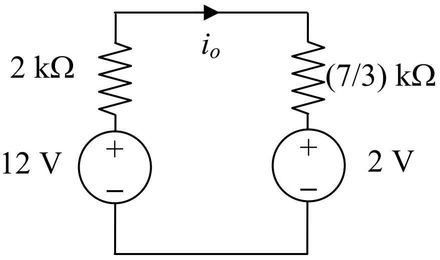
$$v_{AC}=12\frac{4}{4+2}=8\text{ V} \qquad v_{BC}=12\frac{2}{2+2}=6\text{ V}$$

Quindi v_T = 2 V. Spegnendo il generatore di tensione si ricava la resistenza equivalente:

$$R_T = 2k\,//\,4k + 2k\,//\,2k = \frac{4}{3}k + 1k = \frac{7}{3}\,\text{k}\Omega$$

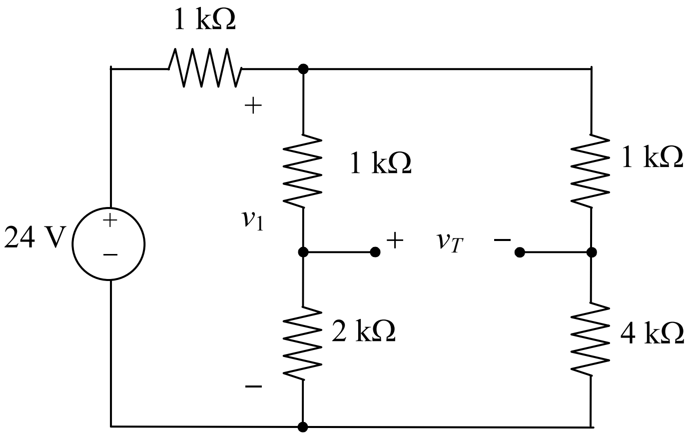
La corrente i_o può essere ricavata facilmente dallo schema equivalente mostrato di seguito:

$$i_o = \frac{12-2}{2k+\frac{7}{3}k} = \frac{30}{13}\,\text{mA} \cong 2{,}3\ \text{mA}$$



5.54

Si applica il teorema di Thevenin ai terminali di R. Per la tensione a vuoto si considera lo schema seguente.



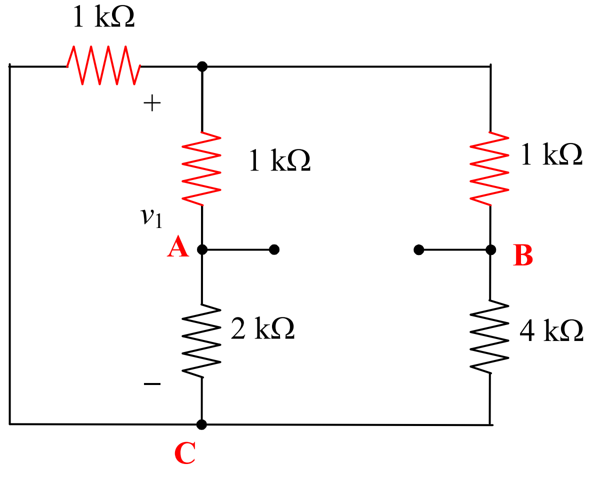
Combinando le quattro resistenze del ponte si ottiene la resistenza 3kΩ//5kΩ = 1,875 kΩ. Con la formula del partitore di tensione si ricava la tensione v_1:

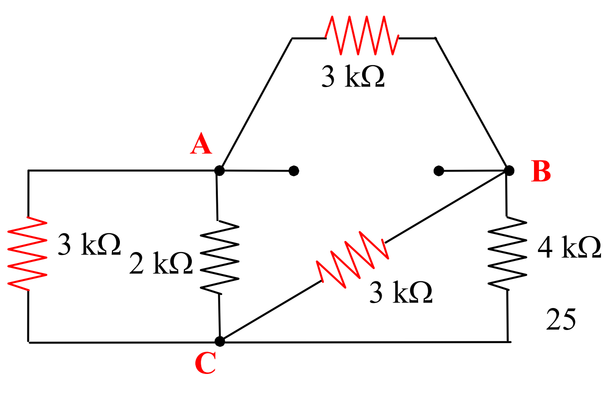
$$v_1 = 24\frac{1{,}875}{1{,}875+1} = 15{,}65\ \text{V}$$

Quindi, con il *principio di sostituzione* e considerando i due partitori, si ricava:

$$v_T = v_1\left(\frac{2}{3}-\frac{4}{5}\right) = -\,2{,}09\ \text{V}$$

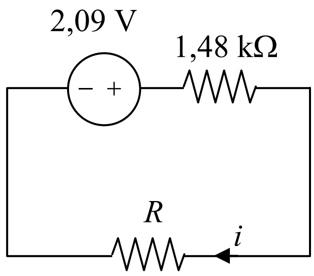
Per la resistenza di Thevenin si considera lo schema sotto a sinistra. Applicando la trasformazione stella-triangolo alle tre resistenze da 1 kΩ si ottiene lo schema a destra. La resistenza equivalente è: R_T = (2k//3k + 3k//4k)//3k= (1,2k +1,71k)//3k = 1,48 kΩ.





Sostituendo il bipolo equivalente di Thevenin (figura seguente) si ricava l'espressione della corrente:

$$i(mA) = \frac{2{,}09}{R + 1{,}48} < 1 \quad \Rightarrow \qquad R > 0{,}61 \text{ k}\Omega$$



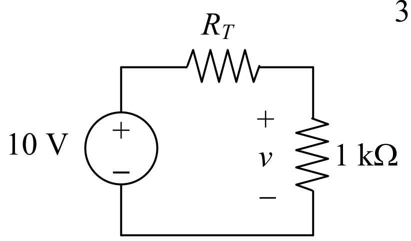
5.55

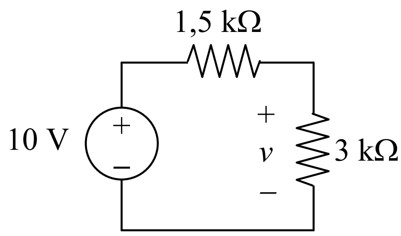
Con i dati si può disegnare lo schema sotto a sinistra, da cui si ricava:

$$v = 10\frac{1}{1 + R_T} = 4 \text{ V} \quad \Rightarrow \qquad R_T = 1{,}5 \text{ k}\Omega$$

Considerando lo schema a destra si ottiene:

$$v = 10\frac{3}{3 + 1{,}5} = 6{,}67 \text{ V}$$

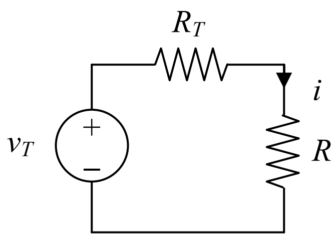




5.57

Sostituendo il bipolo con il circuito equivalente di Thevenin abbiamo la relazione:

$$v_T = (R + R_T)i$$



Utilizzando i dati abbiamo le due equazioni (le resistenze sono in kΩ e le correnti in mA)

$$v_T = (2 + R_T)4 \qquad\qquad v_T = (5 + R_T)2$$

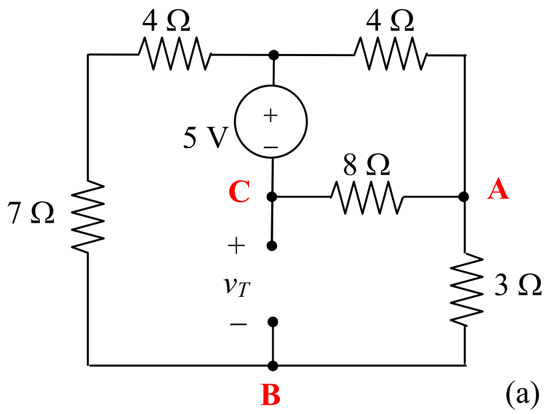
la cui soluzione è: R_T= 1 kΩ, v_T= 12 V. Infine $i = \frac{12}{3+1} = 3$ mA.

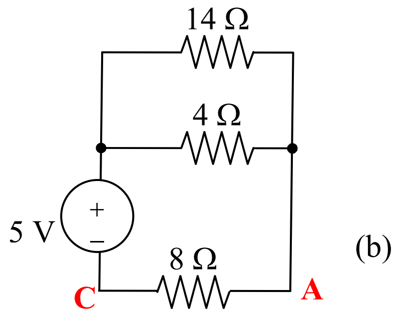
5.58

La tensione a vuoto si ottiene per $R \to \infty$ e vale 10 V. La corrente di c.c. è 4 A. Quindi R_T = 10/4= 2,5 Ω.

5.60

Si ricava il circuito equivalente di Thevenin del bipolo resistivo lineare collegato al diodo.
Per la tensione a vuoto si fa riferimento allo schema in Figura (a), che può essere semplificato come mostrato in (b), combinando le tre resistenze in serie (4+7+3).





Dallo schema in (b), con la formula del partitore di tensione, si ricava (14//4 = 3,1 Ω):

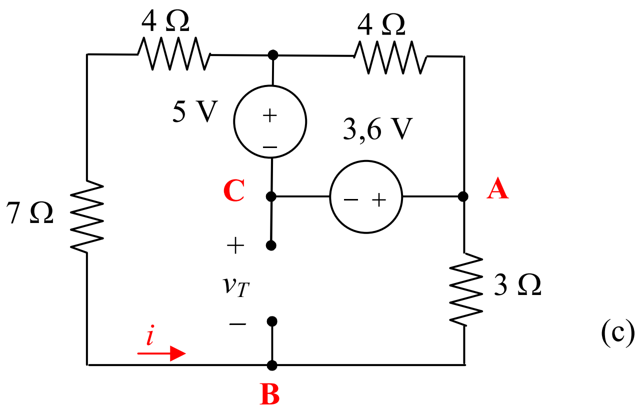
$$V_{AC} = 5\frac{8}{3{,}1+8} \cong 3{,}6 \text{ V}$$

Dallo schema in (c) si ricava:

$$i = \frac{5-3{,}6}{14} = 0{,}1 \text{ A}$$

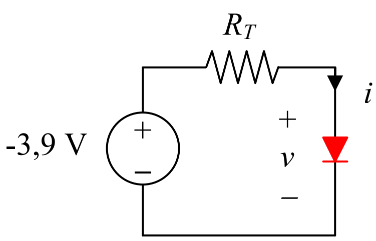
Infine, con la LKT

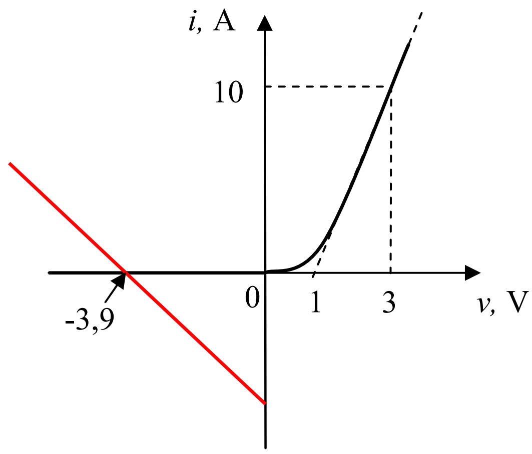
$$v_T = -3{,}6 - 3\times 0{,}1 = -3{,}9 \text{ V}$$



(In alternativa si può applicare la trasformazione stella-triangolo alle tre resistenze da 4, 8 e 3 ohm)

Sostituendo il bipolo equivalente di Thevenin si ottiene lo schema seguente.





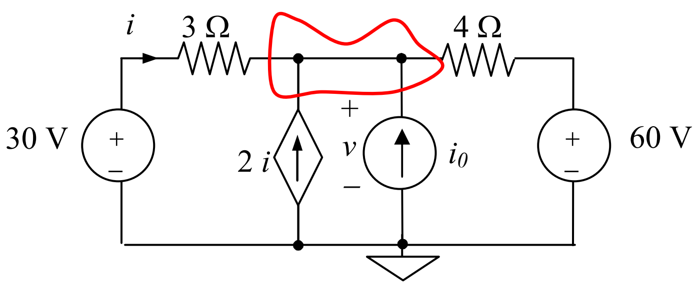
La LKT fornisce l'equazione della retta di carico:

$$3{,}9 + R_T i + v = 0$$

Qualunque sia il valore di R_T, la retta di carico intercetta la caratteristica del diodo in $v = -3{,}9$ V, $i =$ 0 A.

5.61

Si ricavano i parametri del bipolo di Thevenin utilizzando lo schema seguente e applicando l'analisi nodale.



Equazione LKC: $$\frac{30-v}{3} + 2\left(\frac{30-v}{3}\right) + i_0 + \frac{60-v}{4} = 0$$

Soluzione:

$$v = 36 + 0{,}8 i_0$$

Quindi

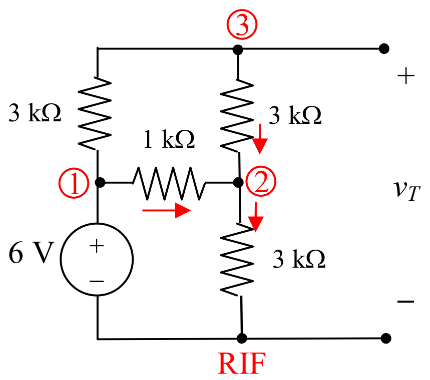
$$v_T = 36\,\text{V} \qquad R_T = 0{,}8\,\Omega$$

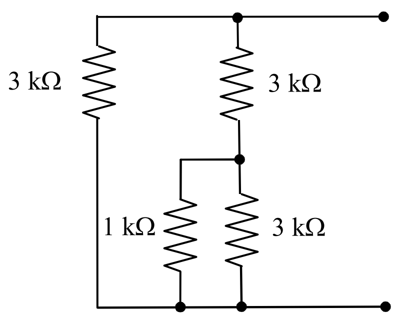
Infine

$$P_{\max} = \frac{v_T^2}{4R_T} = 405\ \text{W}$$

5.62

Dobbiamo determinare il bipolo equivalente di Thevenin ai capi di R. Per la tensione a vuoto si considera lo schema seguente a sinistra (NB: le due resistenze da 3 kΩ in alto sono in serie).





LKC nodo 2: $$\frac{6-v_2}{1} + \frac{6-v_2}{6} = \frac{v_2}{3} \quad\Rightarrow\quad v_2 = \frac{14}{3}\,\text{V}$$

Abbiamo inoltre le seguenti tensioni: $v_{12} = 6 - v_2 = 4/3$ V; $v_{32} = v_{12}/2 = 2/3$ V. Infine $v_T = v_{32} + v_2 = 16/3$ V. Per la resistenza equivalente possiamo fare riferimento allo schema a destra:

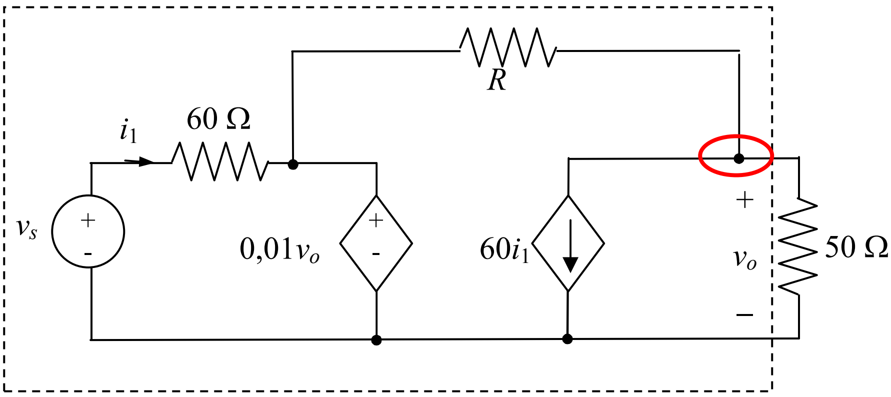
$$R_T = \left(3 + \frac{3}{4}\right) // 3 = \frac{5}{3}\,\text{k}\Omega$$

Per il teorema del massimo trasferimento di potenza, il valore di R che assorbe la massima potenza coincide con R_T. Inoltre la potenza massima è

$$P_{\max} = \frac{v_T^2}{4R_T} = \frac{(16/3)^2}{4(5/3)} = \frac{64}{15} \cong 4{,}27\ \text{mW}$$

5.63

Applicando il teorema di Thevenin al bipolo nel riquadro, sia la tensione a vuoto v_T sia la resistenza equivalente R_T sono funzioni di R, mentre il carico è noto (50 Ω). In questo caso non possiamo applicare il teorema del massimo trasferimento di potenza (valido se v_T ed R_T sono fisse mentre R_L è incognita). Per risolvere l'esercizio dobbiamo ricavare la potenza assorbita dal resistore di 50 Ω in funzione di R e determinare il massimo.



Applicando la LKC al nodo cerchiato si scrive l'equazione seguente

$$60\left(\frac{v_s - 0{,}01v_o}{60}\right) + \frac{v_o}{50} = \frac{0{,}01v_o - v_o}{R}$$

Soluzione:
$$v_o = -\frac{v_s}{\dfrac{0{,}99}{R} + 0{,}01}$$

La potenza assorbita dal resistore è

$$P = \frac{v_o^2}{50}$$

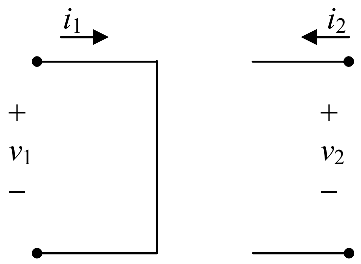
Affinché la potenza sia massima deve essere massimo il valore assoluto di v_o quindi $R \rightarrow \infty$ (il resistore va eliminato). La potenza massima è

$$P = \frac{100^2 v_s^2}{50} = 200 v_s^2$$

5.64

(a) Con riferimento alla figura seguente abbiamo le seguenti relazioni: v_1=0, i_2=0; l'unica rappresentazione che si può ricavare è quella con la matrice ibrida 1, che è nulla:

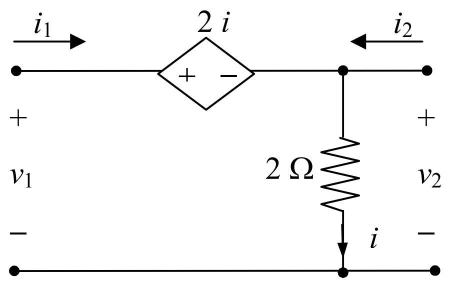
$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$



(b) Con riferimento alla figura seguente abbiamo le seguenti relazioni

$$i_1 + i_2 = i = \frac{v_2}{2} \qquad (1)$$

$$v_1 - v_2 = 2i = v_2 \qquad (2)$$



La (1) e la (2) possono essere riscritte nella seguente forma

$$v_2 = 2i_1 + 2i_2$$

$$v_1 = 2v_2 = 4i_1 + 4i_2$$

da cui si deduce la rappresentazione con la matrice **R**:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 4 & 4 \\ 2 & 2 \end{bmatrix}$$

Poiché **R** non è invertibile, la matrice **G** non esiste.
La (2) e la (1) equivalgono alle seguenti relazioni

$$v_1 = 2v_2$$

$$i_2 = -i_1 + \frac{v_2}{2}$$

da cui si ricava la matrice **H**:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ -1 & 1/2 \end{bmatrix} \qquad \Rightarrow \qquad \mathbf{H'} = \mathbf{H}^{-1} = \begin{bmatrix} 1/4 & -1 \\ 1/2 & 0 \end{bmatrix}$$

Infine, le relazioni precedenti equivalgono alle seguenti

$$v_1 = 2v_2$$

$$i_1 = \frac{v_2}{2} - i_2$$

dalle quali si ricava la matrice di trasmissione:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 1/2 & 1 \end{bmatrix} \qquad \Rightarrow \qquad \mathbf{T'} = \mathbf{T}^{-1} = \begin{bmatrix} 1/2 & 0 \\ -1/4 & 1 \end{bmatrix}$$

5.65

Con la LKT e la LKC si ricavano le relazioni seguenti:

$$i_1 = \frac{v_1 - v_2}{4} \qquad (1)$$

$$i_2 = \frac{v_2}{2} + 4i_1$$

Sostituendo la prima nella seconda si ottiene:

$$i_2 = v_1 - \frac{v_2}{2} \qquad (2)$$

Le relazioni (1) e (2) corrispondono alla seguente matrice **G**:

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 0{,}25 & -0{,}25 \\ 1 & -0{,}5 \end{bmatrix} \text{ S}$$

5.66

Con la LKT e la LKC si ricavano le relazioni seguenti:

$$v_1 = 10^3 i_1 + 2 \times 10^3 (i_1 + i_2)$$

$$v_2 = 10^3 i_1 + 4 \times 10^3 i_2 + 2 \times 10^3 (i_1 + i_2)$$

che corrispondono alla seguente matrice:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 3 & 6 \end{bmatrix} \text{ k}\Omega$$

5.67

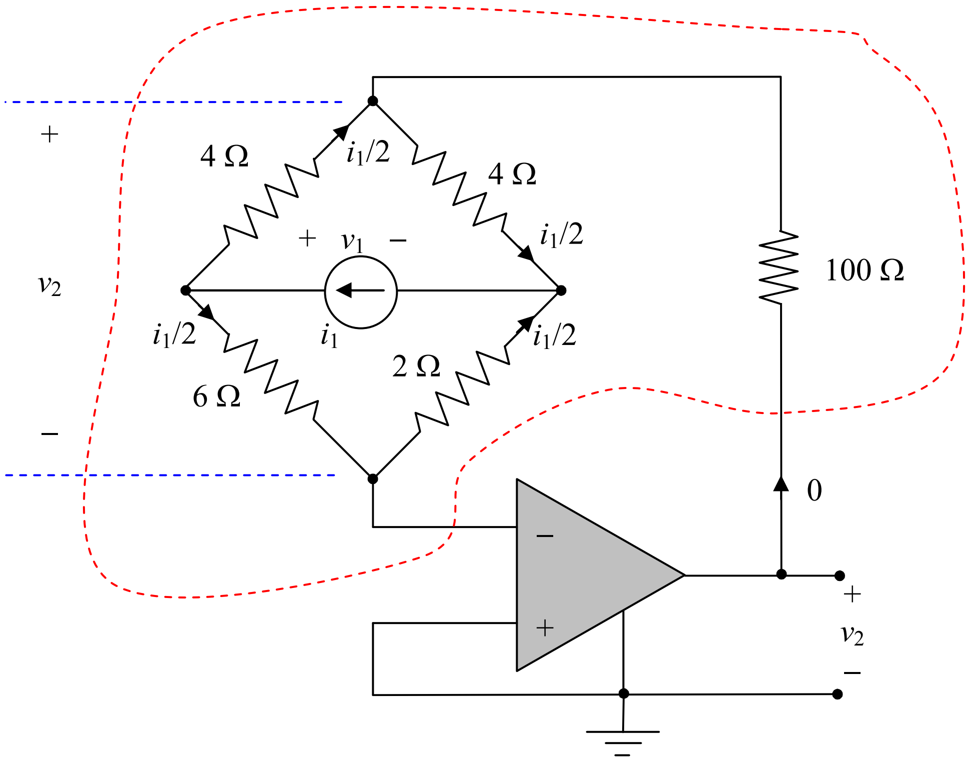
(a) Valgono le relazioni $i_1 = i_2 = 0$, che corrispondono alla matrice **G = 0**.

(b) Nella figura seguente è riportato lo schema per ricavare i parametri r_{11} e r_{21}. La porta 2 è aperta, mentre la porta 1 è chiusa su un generatore di corrente. Per la LKC e il c.a. virtuale, la corrente nel resistore da 100 Ω è nulla. Pertanto, tenendo conto anche del c.c. virtuale, la tensione v_2 coincide con la tensione della diagonale del ponte. La corrente i_1 si divide a metà nei due rami del partitore di corrente con la stessa resistenza. Quindi:

$$v_1 = 8\frac{i_1}{2} = 4i_1 \qquad (1)$$

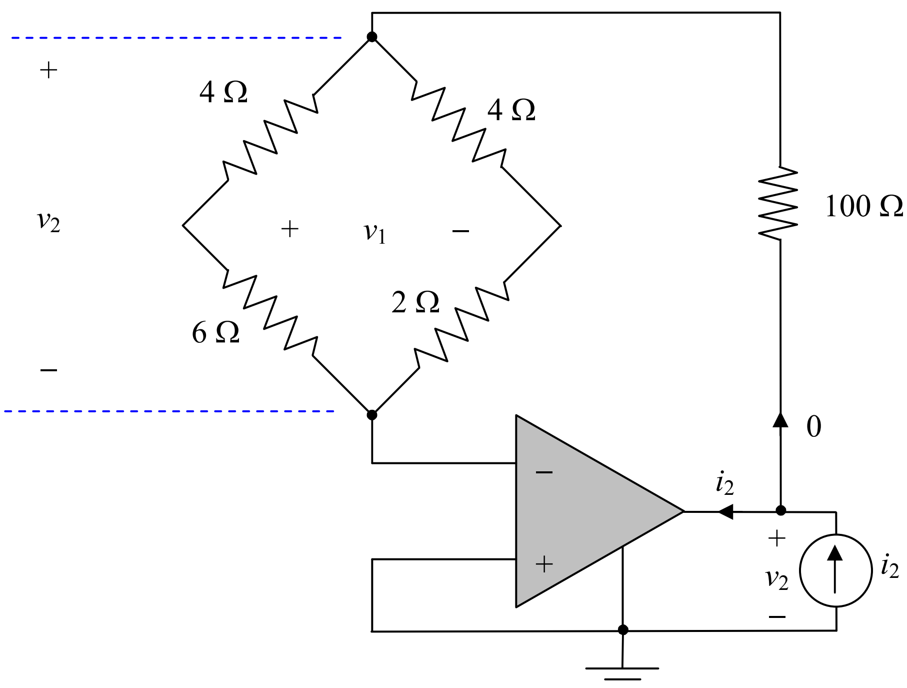
$$v_2 = 4\frac{i_1}{2} - 2\frac{i_1}{2} = i_1 \qquad (2)$$

dalle quali si ricavano $r_{11} = 4\ \Omega$, $r_{21} = 1\ \Omega$.



Nella figura seguente è riportato lo schema per ricavare i parametri r_{12} e r_{22}. La porta 1 è aperta, mentre la porta 2 è chiusa con un generatore di corrente. Per la LKC e il c.a. virtuale, la corrente nel resistore da 100 Ω è nulla. Nei quattro resistori del ponte non scorre corrente (sono in serie quindi per la LKT: 16 i = 0). Pertanto $v_1 = v_2 = 0 \Rightarrow r_{12} = r_{22} = 0$. La matrice **R** è la seguente:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 4 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \Omega$$



Poiché **R** non è invertibile, **G** non esiste. Le relazioni (1) e (2) si possono riscrivere

$$i_1 = \frac{v_1}{4}$$

$$v_2 = \frac{v_1}{4}$$

dalle quali si ottiene la matrice ibrida 2:

$$\mathbf{H'} = \begin{bmatrix} 1/4 & 0 \\ 1/4 & 0 \end{bmatrix}$$

Poiché **H’** non è invertibile, **H** non esiste. Le relazioni (1) e (2) si possono riscrivere

$$v_1 = 4v_2$$
$$i_1 = v_2$$

dalle quali si ottiene la matrice di trasmissione

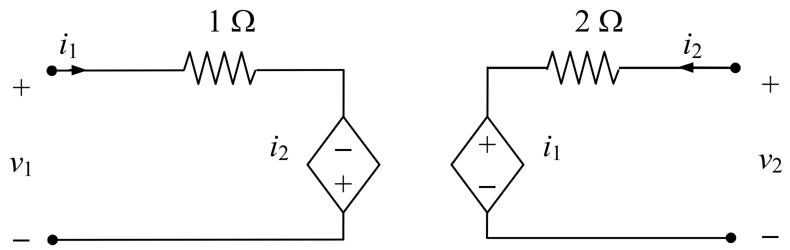
$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 4 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Poiché **T** non è invertibile, **T’** non esiste.

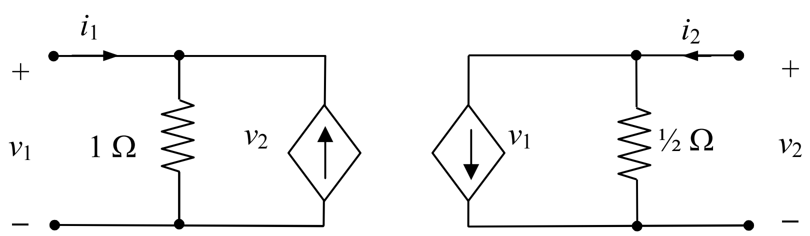
5.68

Utilizzando i circuiti equivalenti a pag. 177 del libro si ottengono gli schemi seguenti per le tre matrici nell’ordine.

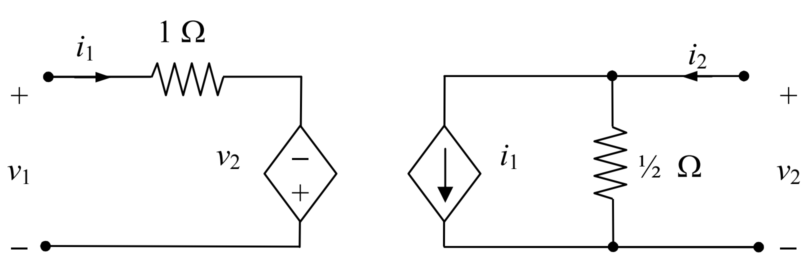
R



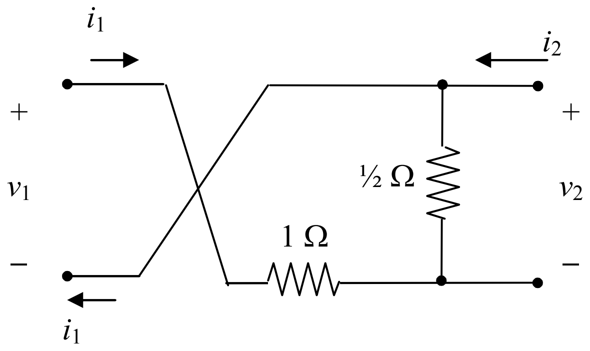
G



H

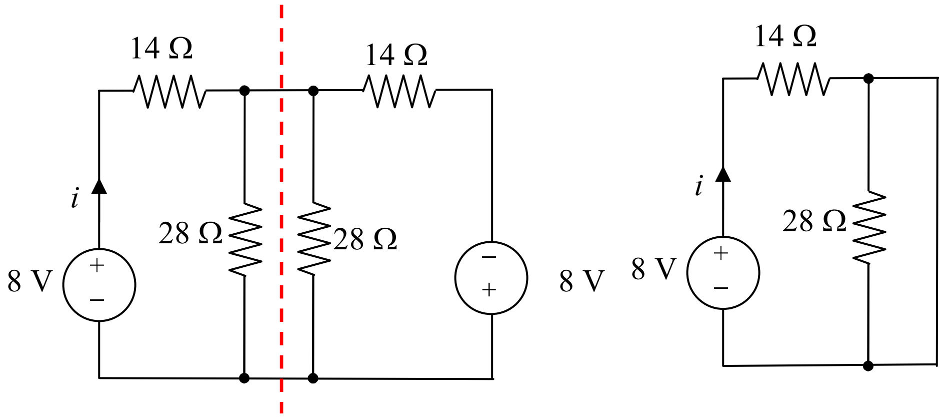


Tali realizzazioni non sono uniche. Ad esempio, la matrice **H** corrisponde anche al doppio bipolo riportato sotto.



5.69

Il circuito è equivalente allo schema sotto a sinistra, che presenta un asse di simmetria con due generatori antisimmetrici.

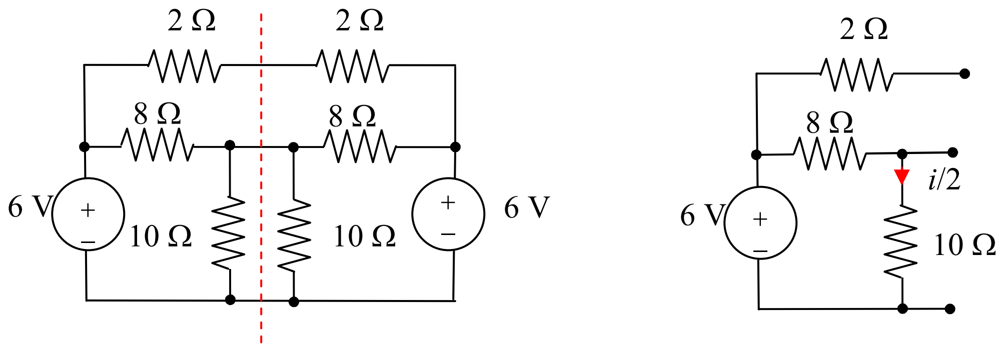


Pertanto il calcolo della corrente *i* può essere effettuato considerando lo schema a destra:

$$i = \frac{8}{14} \cong 0{,}57 \text{ A}$$

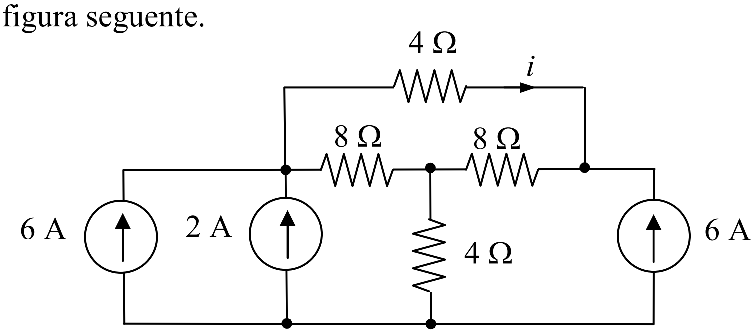
5.70

Il circuito può essere disegnato come mostrato sotto a sinistra, evidenziando l'asse di simmetria. La corrente nella resistenza da 10 Ω è pari alla metà della corrente *i*, e si può ricavare dallo schema semplificato a destra: $i/2 = 6/18 = 1/3\,\text{A}$, quindi $i = 2/3$ A.

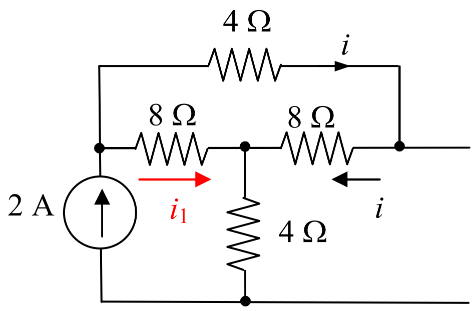


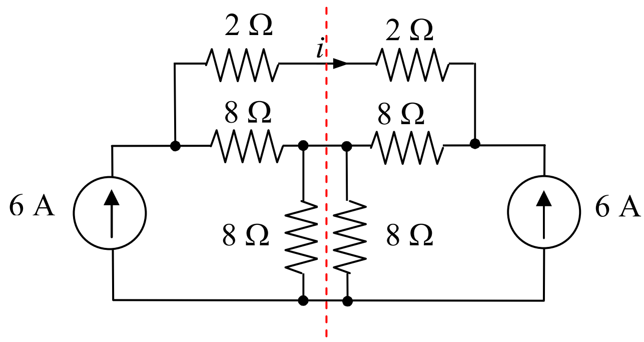
5.71

Lo schema equivale alla figura seguente.



Per la proprietà di sovrapposizione, possiamo calcolare l'effetto del generatore da 2 A e l'effetto dei due generatori da 6 A, funzionanti contemporaneamente. Quando è acceso il solo generatore da 2 A si ha lo schema nella figura sotto a sinistra.



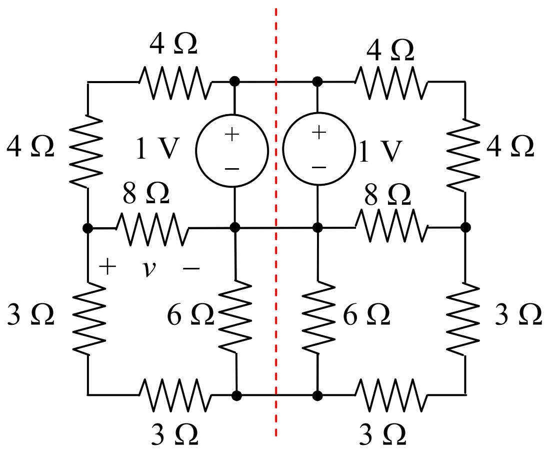


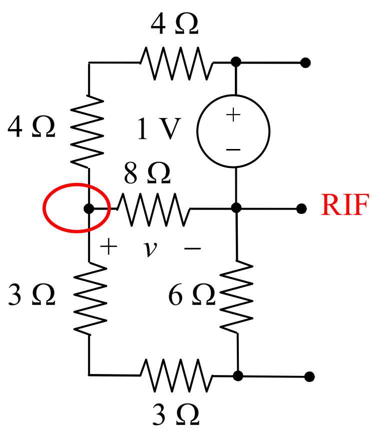
La corrente del generatore si ripartisce tra le resistenze di 8 Ω (i_1) e 12 Ω (i). Perciò la corrente i si ricava con la formula del partitore di corrente: $i = 2\dfrac{8}{20} = 0{,}8\ \text{A}$.

Quando sono inseriti entrambi i generatori da 6 A si ha lo schema nella figura sopra a destra. Poiché il circuito è simmetrico con eccitazioni simmetriche, la corrente i è nulla. Pertanto il valore di i coincide con quello ottenuto in precedenza (0,8 A).

5.72

Il circuito equivale alla figura sotto a sinistra, in cui è evidenziato l'asse di simmetria. Poiché i generatori sono simmetrici, la tensione v si può ricavare dallo schema a destra, mediante l'analisi nodale.



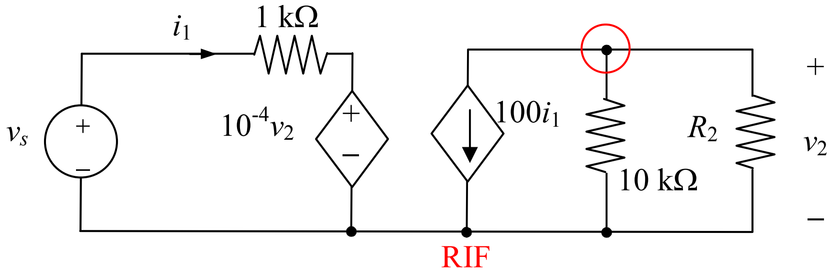


Equazione LKC: $\frac{v-1}{8}+\frac{v}{12}+\frac{v}{8}=0$

Soluzione: $v = 0{,}375\,\mathrm{V}$

5.73

Sostituendo al transistor il circuito equivalente con i parametri *h* (Fig. 5.84 a pag. 188 del libro) si ottiene lo schema seguente.



L'ingresso dell'amplificatore è rappresentato dalla tensione v_s, mentre v_2 è l'uscita; il *guadagno di tensione* è $A_v = v_2/v_s$. Per ricavarlo, applichiamo la LKC al nodo cerchiato:

$$v_2/R_2 + 10^{-4}\, v_2 + 100\, i_1 = 0$$

La corrente i_1 ha l'espressione

$$i_1 = \frac{v_s - 10^{-4} v_2}{10^3}.$$

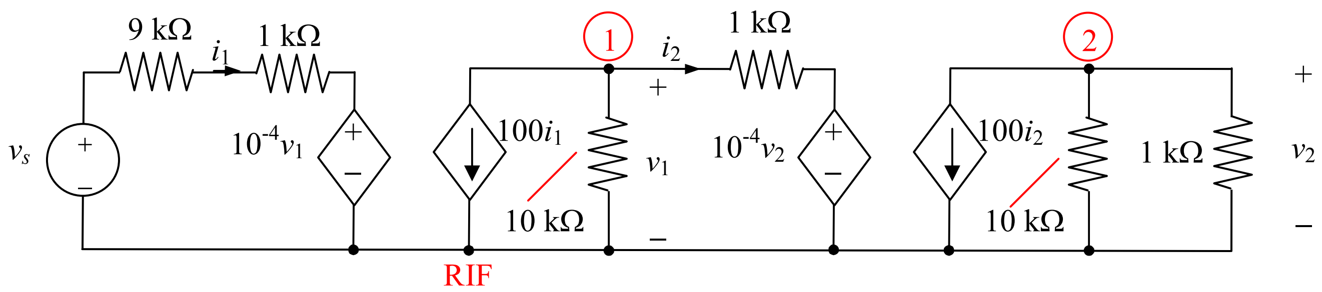
Sostituendo si ottiene:

$$A_v = \frac{v_2}{v_s} = -\frac{0{,}1R_2}{1+10^{-4}R_2 - 10^{-5}R_2}$$

Imponendo A_v = -25 si ricava R_2 = 250,2 Ω.

5.74

Sostituendo ai transistor il circuito equivalente con i parametri *h* (Fig. 5.84 a pag. 188 del libro) si ottiene lo schema seguente.



Con l'analisi nodale si scrivono le equazioni seguenti.

LKC nodo 1: $10^{-3}\,(v_1 - 10^{-4}\,v_2) + 10^{-4}\,v_1 + 100\left(\dfrac{v_s - 10^{-4}v_1}{10^4}\right) = 0$

LKC nodo 2: $10^{-3}\,v_2 + 10^{-4}\,v_2 + 100\left(\dfrac{v_1 - 10^{-4}v_2}{10^3}\right) = 0$

Sistema:

$$\begin{bmatrix} 0{,}001099 & -10^{-7} \\ 0{,}1 & 0{,}00109 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -10^{-2}v_s \\ 0 \end{bmatrix}$$

Soluzione:

$$v_2 = \frac{\begin{vmatrix} 0{,}001099 & -10^{-2}v_s \\ 0{,}1 & 0 \end{vmatrix}}{1{,}208\times 10^{-6}} = 827{,}8\ v_s$$