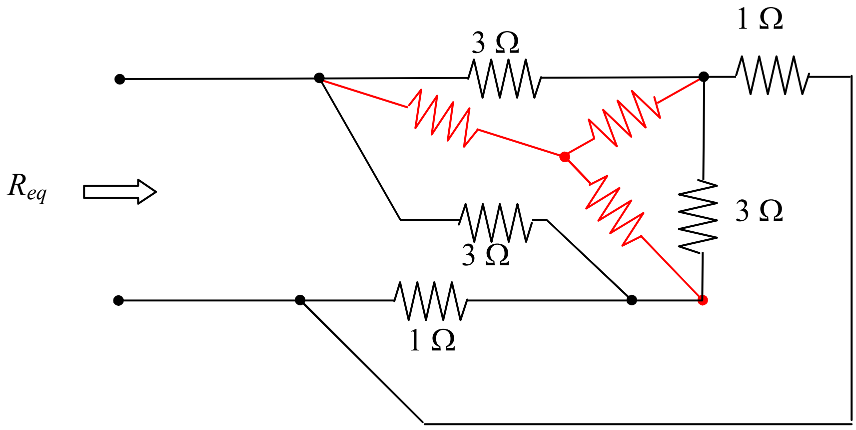
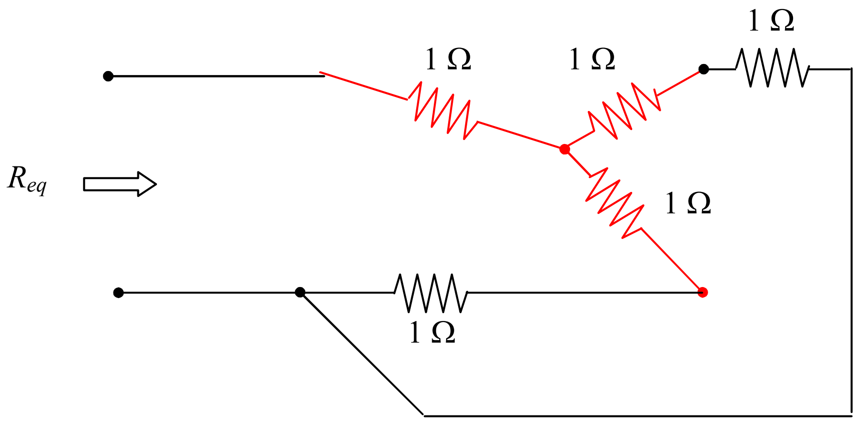
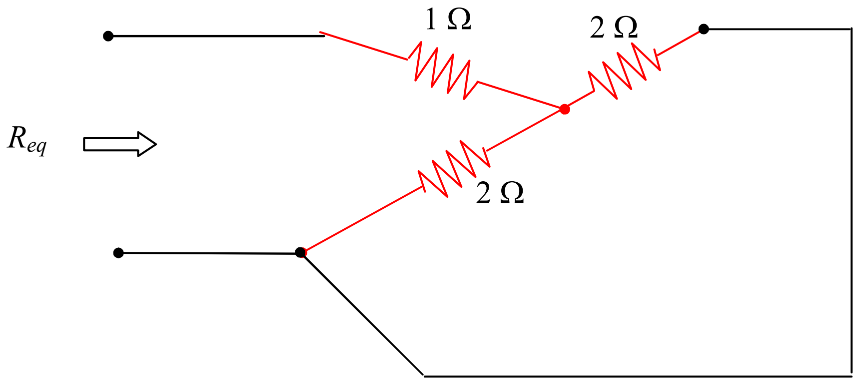
3.1

Ridisegnando il circuito senza incroci e applicando la trasformazione triangolo-stella si ottengono gli schemi seguenti.



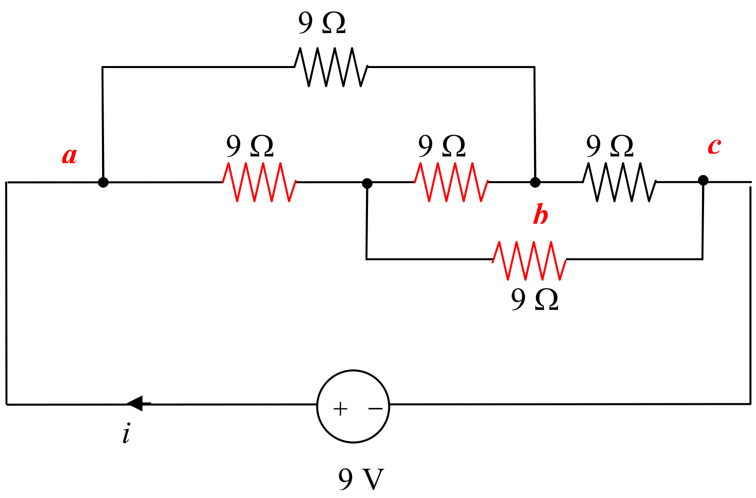


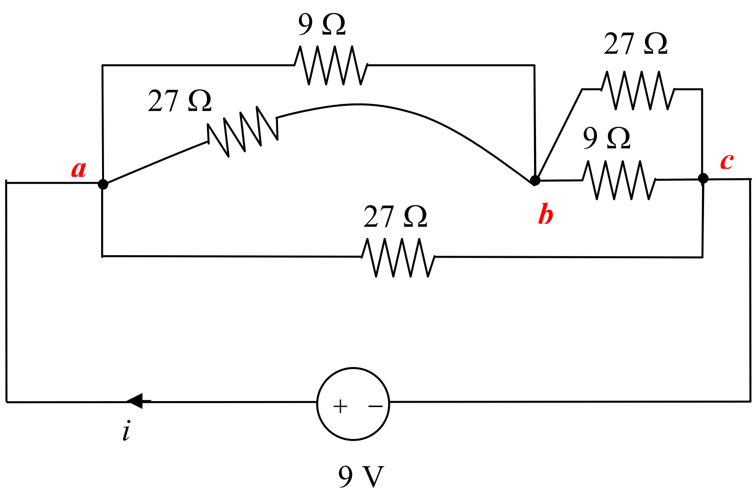


$R_{eq} = 1 + 2//2 = 2\ \Omega$

3.2

Si trasforma la stella evidenziata in rosso in un triangolo (le resistenze del triangolo sono il triplo quindi valgono 27 Ω). Le resistenze da 27 Ω vanno inserite tra i nodi a-b, b-c e c-a.





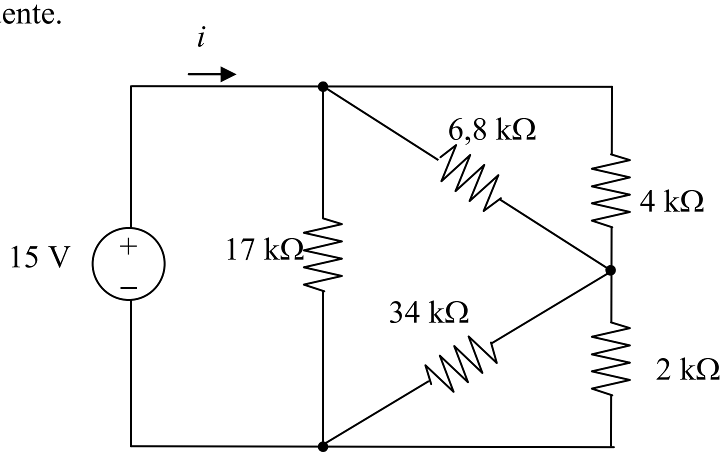
Combinando le resistenze in serie e in parallelo si ha:

$27//9 = \dfrac{27 \times 9}{27 + 9} = 6{,}75\ \Omega$ $\quad$ $6{,}75 \times 2 = 13{,}5\ \Omega$ $\quad$ $13{,}5//27 = 9\ \Omega$

La resistenza equivalente vista dal generatore è 9 Ω, quindi i = 1 A.

3.4

Applicando la trasformazione stella-triangolo alle resistenze di 2 kΩ, 4 kΩ e 10 kΩ, si ottiene lo schema nella figura seguente.



Il calcolo delle resistenze del triangolo si effettua come segue.

Somma delle conduttanze: 0.5 + 0.25 + 0.1 = 0.85 mS

$$G_a = \frac{0.5 \times 0.25}{0.85} = 0{,}147 \text{ mS} \equiv 6{,}8 \text{ k}\Omega$$

$$G_b = \frac{0.1 \times 0.25}{0.85} = 0.0294 \text{ mS} \equiv 34 \text{ k}\Omega$$

$$G_c = \frac{0.5 \times 0.1}{0.85} = 0{,}0588 \text{ mS} \equiv 17 \text{ k}\Omega$$

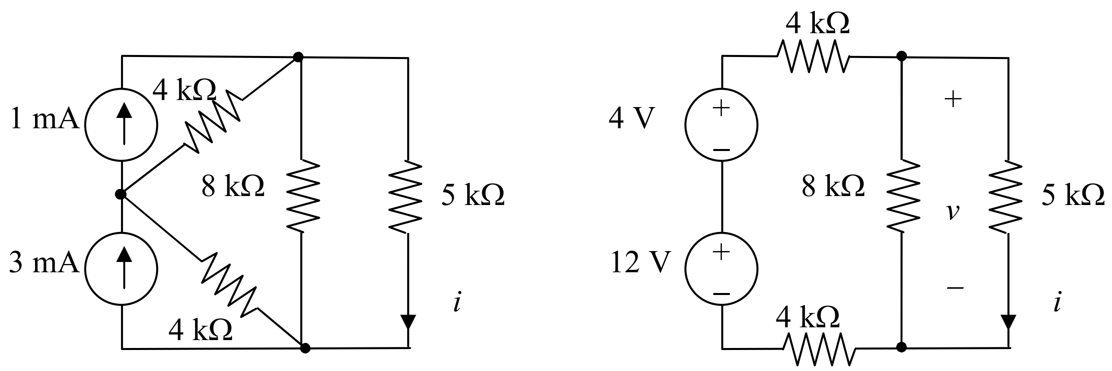
Combinando le resistenze in parallelo si ottiene la resistenza equivalente vista dal generatore:

$$R_{eq} = (4//6{,}8 + 2//34)//17 = (2{,}52 + 1{,}89)//17 \cong 3{,}5 \text{ k}\Omega$$

$$i = 15 \,/\, 3{,}5 \cong 4{,}29 \text{ mA}$$

3.5

Con la trasformazione stella-triangolo si ottiene lo schema sotto a sinistra. Con la trasformazione dei generatori si ricava lo schema a destra.



Con il teorema di Millman:

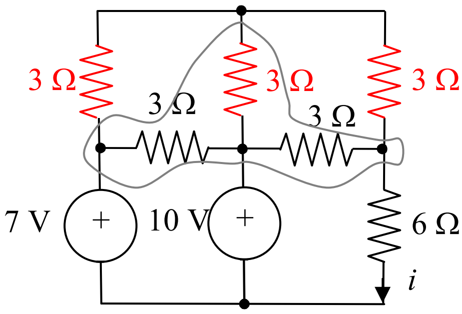
$$v = \frac{16\frac{1}{8}}{\frac{1}{8}+\frac{1}{8}+\frac{1}{5}} = \frac{40}{9}\text{ V}$$

$$i = \frac{40/9}{5 \times 10^3} = 0{,}89 \text{ mA}$$

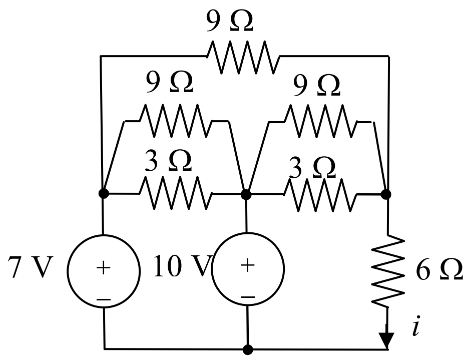
3.6

Conviene applicare la trasformazione stella-triangolo alla stella evidenziata in rosso nella figura (a) (NB: le tre resistenze centrali non formano una stella perché sono connesse al resto del circuito tramite quattro terminali). Con questa trasformazione si ottiene lo schema in (b).
Combinando le resistenze in parallelo si ottiene lo schema in (c) ($9//3 = 27/12 = 9/4 =$ 2,25 Ω). Quindi, applicando la trasformazione triangolo-stella, si ottiene il circuito in (d).
Le formule sono:

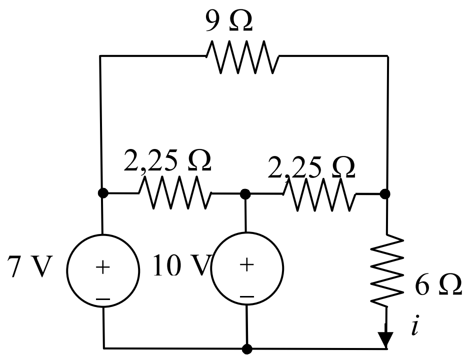
$$R_1 = R_2 = \frac{9 \times 2{,}25}{13{,}5} = 1{,}5\ \Omega \qquad\qquad R_3 = \frac{2{,}25 \times 2{,}25}{13{,}5} = 0{,}375\ \Omega$$



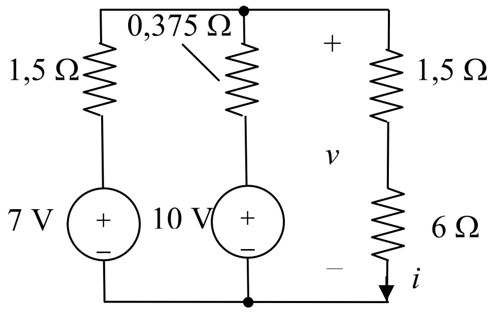
(a)



(b)



(c)



(d)

Infine, con il teorema di Millman si ricava la tensione v:

$$v = \frac{\dfrac{7}{1{,}5} + \dfrac{10}{0{,}375}}{\dfrac{1}{1{,}5} + \dfrac{1}{0{,}375} + \dfrac{1}{7{,}5}} = \frac{\dfrac{14}{3} + \dfrac{80}{3}}{\dfrac{2}{3} + \dfrac{8}{3} + \dfrac{2}{15}} = \frac{470}{52} \cong 9\ \text{V}$$

$$i = 9/7{,}5 = 1{,}2\ \text{A}$$

3.11

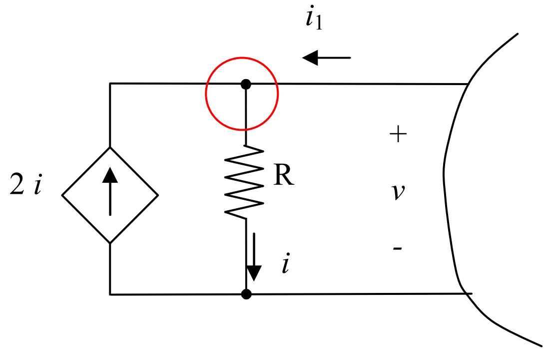
Applicando la LKC risulta che la corrente nei terminali di ingresso è nulla, quindi il bipolo equivale ad un circuito aperto.

3.12

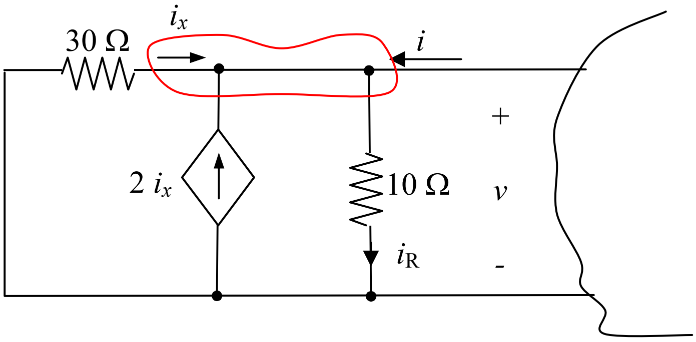
Applicando la LKC risulta che la corrente nel resistore è nulla, quindi è nulla la tensione tra i terminali del bipolo. Poiché la corrente i è diversa da zero, $v = 0 \times i \Rightarrow R_{eq} = 0$.

3.13

Con la LKC si ricava $i_1 = i - 2i = -i$. Inoltre $v = R\ i$, quindi $v = -R\ i_1 \Rightarrow R_{eq} = -R$.



3.14



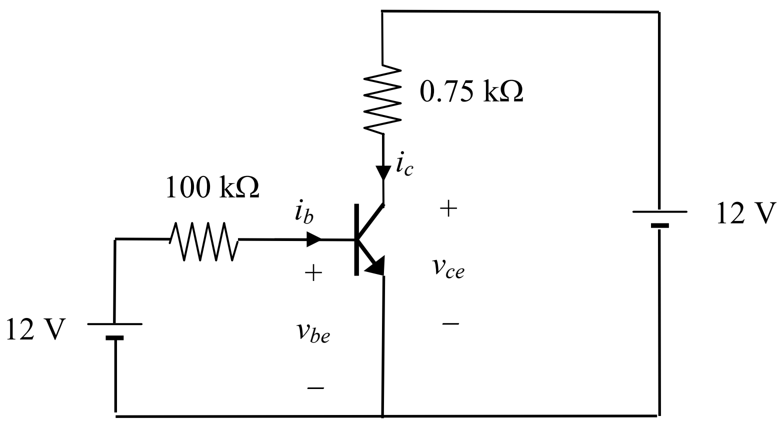
$$i_x + 2i_x + i - i_R = 0$$

$$-\frac{v}{30} - 2\frac{v}{30} + i - \frac{v}{10} = 0 \qquad \Rightarrow \qquad v = 5\ i$$

La resistenza equivalente è 5 Ω.

3.15

Lo schema equivale al seguente.

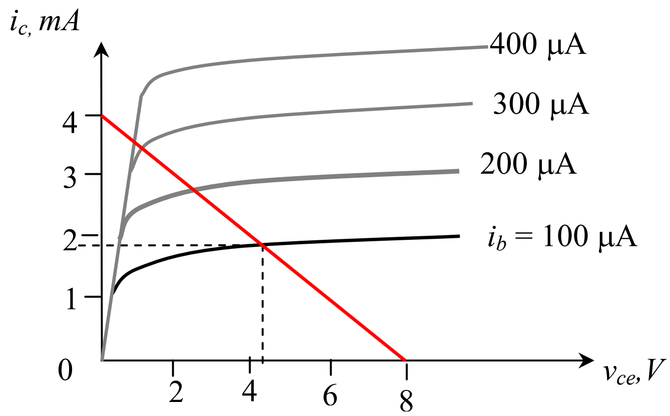


Applicando la LKT alla maglia di sinistra si ricava: i_b = (12-0.7)/100 = 0.113 mA. La corrente i_c è 80 i_b = 9.04 mA. Applicando la LKT alla maglia di destra si scrive l'equazione v_{ce} -12 + 750 i_c = 0 da cui si ricava v_{ce} = 5,22 V.

3.16

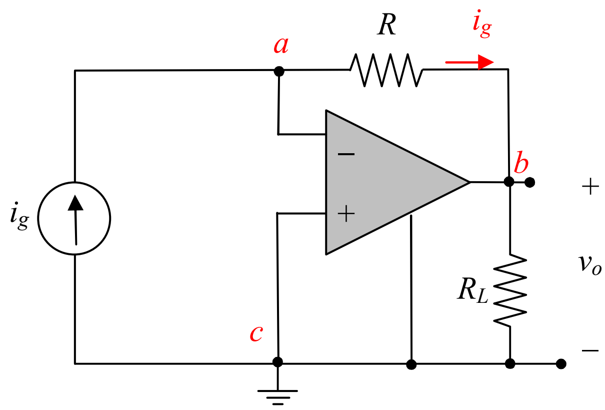
Applicando la LKT alla maglia di sinistra si ricava: $i_b = (8\text{-}0.5)/75 = 0.1$ mA = 100 μA.

Applicando la LKT alla maglia di destra si scrive l'equazione v_{ce} -8 + 2000 i_c = 0, che rappresenta una retta sul piano v_{ce}, i_c (figura seguente). La retta intercetta gli assi in (8 V, 0) e (0, 4 mA). L'intersezione tra la retta e la caratteristica per i_b = 100 μA fornisce il punto di lavoro, che corrisponde a $v_{ce} \cong 4{,}3$ V e $i_c \cong 1{,}8$ mA.



3.18

A causa del c.a. virtuale la corrente i_g scorre nel resistore R. Applicando la LKT alla sequenza **a-b-c-a** , e tenendo conto del c.c. virtuale, si ottiene $v_o = - R\, i_g$.

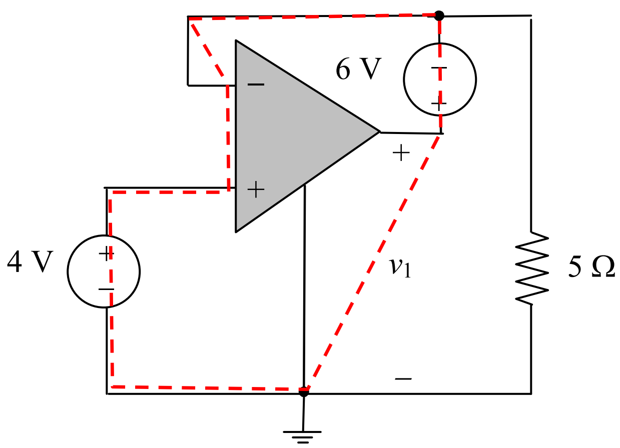


3.21

Applicando la LKT al percorso evidenziato nella figura seguente si ricava:

$$4 - v_1 + 6 = 0$$

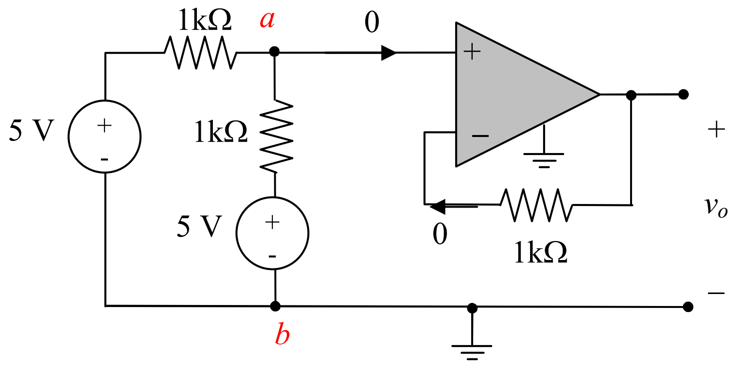
da cui $v_1 = 10$ V.



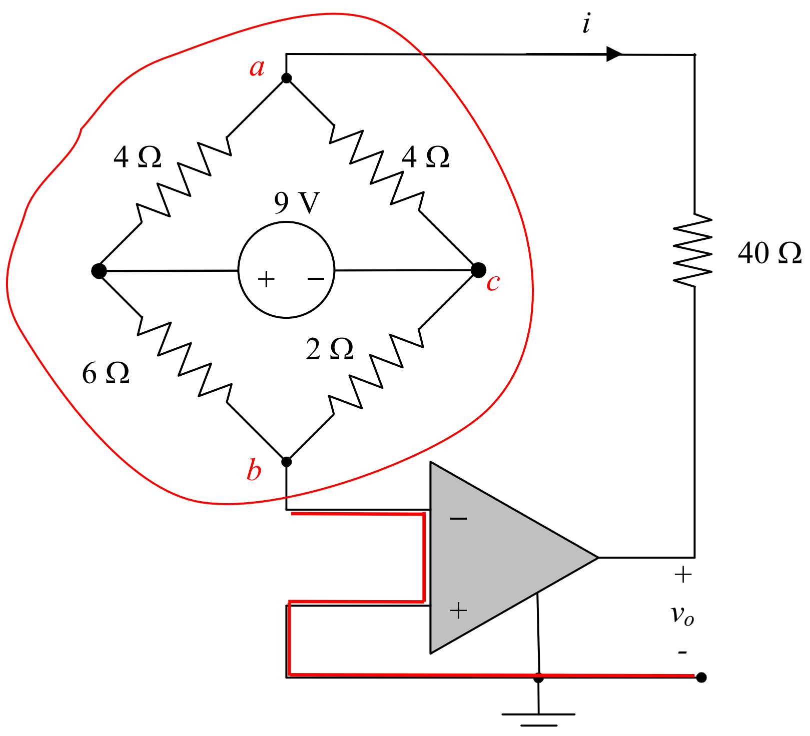
3.22
Poiché le correnti di ingresso dell'op-amp sono nulle, possiamo applicare il teorema di Millman per ricavare la tensione tra i nodi a e b:

$$v_{ab} = \frac{5+5}{2} = 5 \text{ V}$$

L'operazionale si comporta da inseguitore quindi $v_o = v_{ab} = 5$ V.



3.23
Applicando la LKC alla linea chiusa rossa si deduce $i = 0$. La tensione ai capi della resistenza da 40 Ω è nulla; perciò, tenendo conto anche del corto circuito virtuale, la tensione v_o coincide con la tensione v_{ab}. Inoltre, per la LKT, $v_{ab} = v_{ac} - v_{bc}$.
La tensione v_{ac} si ricava dal partitore 4Ω-4Ω e vale 9/2 = 4.5 V. La tensione v_{bc} si ricava dal partitore 6Ω-2Ω e vale 9x2/8=9/4 = 2,25 V. In conclusione v_{ab} = 4,5 – 2,25 = 2,25 V.



3.24
Si tratta di un amplificatore non invertente. La tensione di uscita è 8(1+5/4) = 18 V.

3.25

Si tratta di un amplificatore invertente. La tensione di uscita è 6 mV ×(-30/3) = - 60 mV.

3.27

Nell'ingresso dell'operazionale non scorre corrente, e le resistenze da 4 Ω formano un partitore di tensione. L'ingresso non invertente ha pertanto una tensione di 5 V rispetto a terra. La stessa tensione si trova ai capi del resistore da 5 Ω, per il c.c. virtuale. La corrente i_o scorre nelle resistenze da 8 Ω e 5 Ω che risultano in serie, pertanto i_o = 5/5 = 1 A.

3.28

Poiché le correnti di ingresso dell'op-amp sono nulle, possiamo applicare il teorema di Millman per ricavare la tensione dell'ingresso non invertente:

$$v_+ = \frac{\dfrac{v_1}{R_1} + \dfrac{v_2}{R_2}}{\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}} = \frac{R_2 v_1 + R_1 v_2}{R_1 + R_2}$$

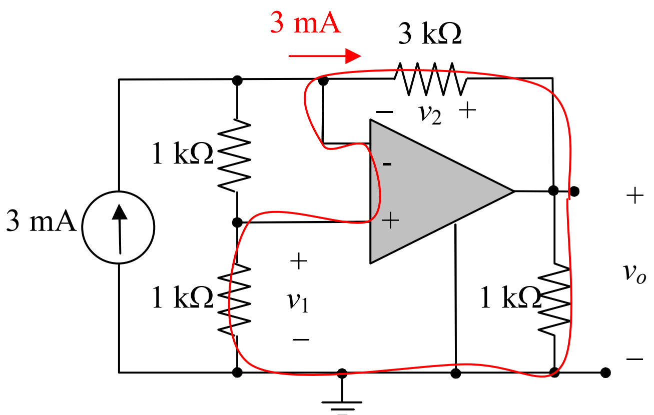
L'operazionale si comporta da amplificatore non invertente, dunque

$$v_o = v_+\left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)$$

Combinando le due relazioni si ricava v_o. La tensione di uscita è uguale a v_1+v_2 se R_4=R_3 e R_2=R_1.

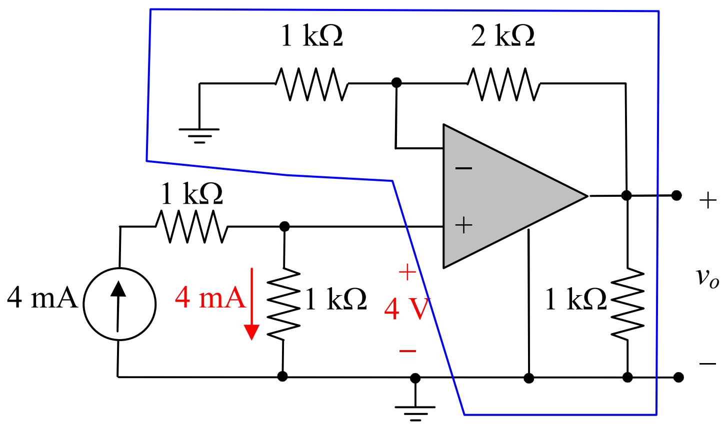
3.29

A causa del c.a. virtuale, i resistori da 1 kΩ hanno la stessa corrente. Inoltre questa è nulla perché il resistore più in alto è cortocircuitato dai terminali di ingresso dell'operazionale. Dunque la corrente del generatore scorre nel resistore di 3 kΩ. Grazie alla LKT possiamo affermare che $v_o = v_2 + v_1 = -3\times10^{-3}\times3\times10^{3} + 0 = -9$ V.



3.30

A causa del c.a. virtuale, la corrente del generatore scorre nel resistore da 1 kΩ, come mostrato nella figura seguente. Perciò la tensione dell'ingresso non invertente è 4 V. L'operazionale, con le resistenze da 1 kΩ e 2 kΩ, costituisce un amplificatore non invertente, pertanto la tensione di uscita è v_o = 4(1+2) = 12 V.



3.31

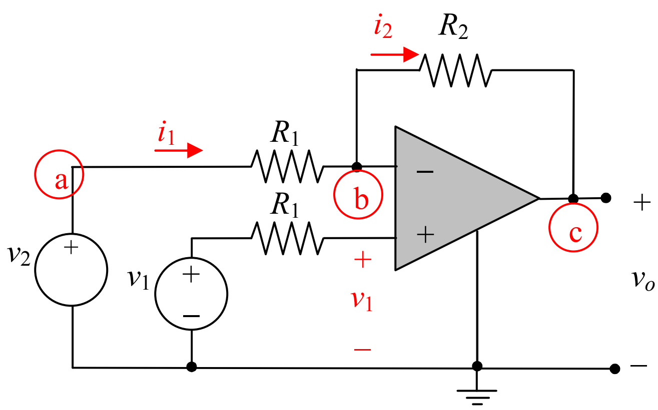
Il resistore da 6 kΩ ha la stessa corrente di R_1 cioè 1 mA, pertanto la sua tensione è 6 V. La tensione ai capi di R_1 è 9 - 6 = 3 V. Quindi R_1 = 3/1 mA = 3 kΩ.

Per il c.c. virtuale il resistore da 1 kΩ ha tensione uguale alla tensione su R_1, cioè 3 V, dunque la corrente è 3 mA. Anche la corrente in R_2 è 3 mA. Applicando la LKT abbiamo 3 V = - $R_2 \times 3 \times 10^{-3}$+ 6 V da cui ricaviamo R_2 = 1 kΩ.

3.32

Il resistore R_1 in serie al generatore v_1 non è percorso da corrente, pertanto l'ingresso non invertente ha tensione v_1. Applicando la LKT abbiamo: $v_{ab} = v_2 - v_1$ e $v_{bc} = v_1 - v_o$. Infine, applicando la LKC al nodo b:

$$i_1 = i_2 \Rightarrow \qquad \frac{v_2 - v_1}{R_1} = \frac{v_1 - v_o}{R_2} \qquad \Rightarrow \qquad v_o = v_1\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - v_2\frac{R_2}{R_1}$$



3.33

La tensione su R_1 è nulla per il c.c. virtuale, quindi è nulla anche la corrente in R_1. Per la LKC è nulla anche la corrente in R_2 e quindi la tensione di R_2. Applicando la LKT intorno all'operazionale si ricava $v_o = 0$.

3.34

Le correnti i_1, i_2 e i_3 sono le stesse del circuito in (b) poiché il terminale di destra dei tre resistori in (a) ha il potenziale di terra per ogni posizione degli interruttori.

Perciò la corrente i_1 è uguale a E/(2*R*). Per ottenere le altre correnti osserviamo che il circuito in (b) è una *rete a scala* con $R_1 = R$ e $R_2 = 2R$, chiusa sulla resistenza caratteristica $R_0 = 2R$ (Figura 2.97 a pag. 63). Essendo la rete chiusa sulla propria resistenza caratteristica, le tensioni v_a e v_b sono in progressione geometrica: v_a = ½ E, v_b = ¼ E. Quindi $i_2 = v_a/(2R)$ = E/(4R), i_3 = E/(8R). Tornando allo schema in (a) vediamo che $v_o = -R_o\, i$, essendo i la corrente che scorre in R_o, pertanto

$$v_o = -\frac{ER_o}{R}\left(\frac{1}{2}b_1 + \frac{1}{4}b_2 + \frac{1}{8}b_3\right)$$

La tensione massima corrisponde ai bit 111, quindi la condizione richiesta è

$$7 = \frac{ER_o}{R}0{,}875 \qquad \Rightarrow \qquad \frac{ER_o}{R} = 8\ \mathrm{V}$$