

Κεφάλαιο 7

Θεωρήματα κυκλωμάτων

7

Θεωρήματα κυκλωμάτων (Circuits Theorems)

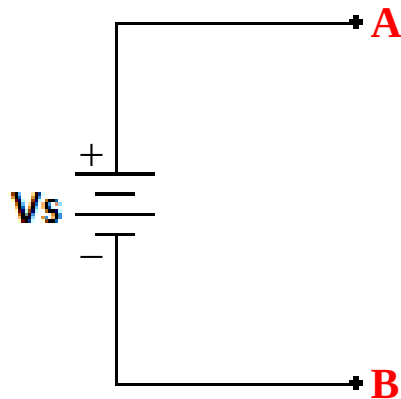
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- Η dc πηγή τάσης
- Η πηγή ρεύματος
- Μετασχηματισμοί πηγών
- Το Θεώρημα της Υπέρθεσης
- Το Θεώρημα Thevenin
- Το Θεώρημα Norton
- Το Θεώρημα Μέγιστης Μεταφοράς Ισχύος
- Μετασχηματισμοί $\Delta - Y$ και $Y - \Delta$

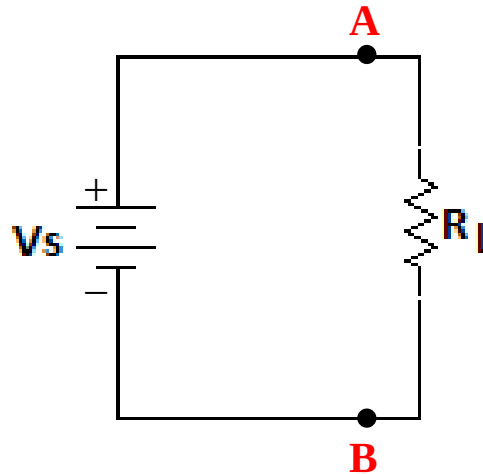
Η dc πηγή τάσης

Η ιδανική πηγή τάσης

- Δεν έχει εσωτερική αντίσταση



(α) Χωρίς φορτίο



(β) Με φορτίο R_L

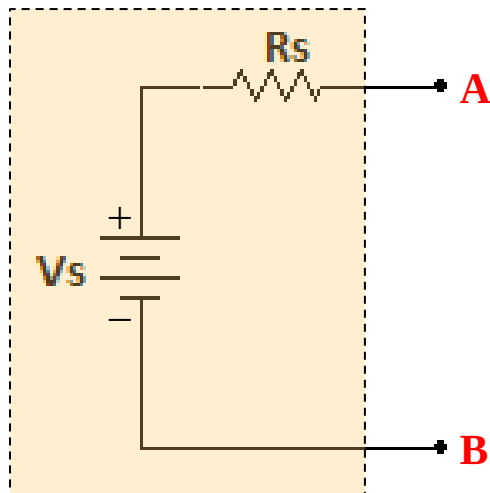
- Η τάση εξόδου V_{AB} μιας ιδανικής πηγής τάσης ισούται με την τιμή της V_s .

Που θα το βρείτε: R. J. Fowler, “ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ AC-DC”, σελ. 165-166

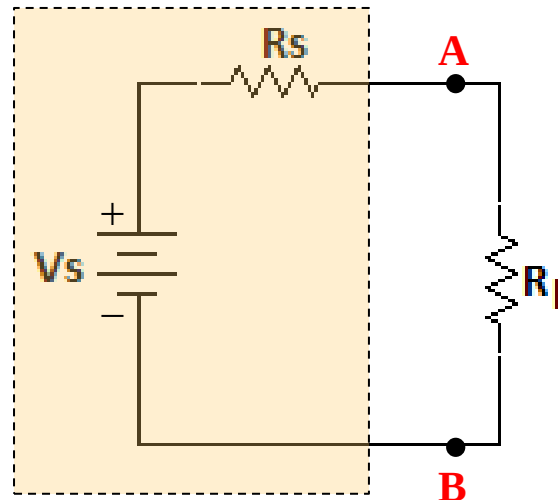
Η dc πηγή τάσης (συνέχεια)

Η πραγματική πηγή τάσης

- Έχει μη μηδενική εσωτερική αντίσταση R_S



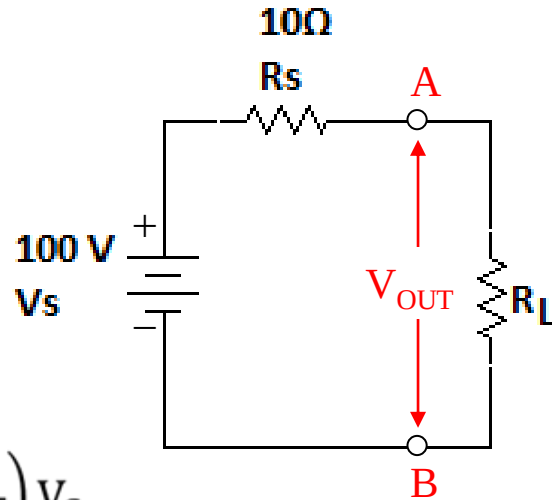
(α) Χωρίς φορτίο



(β) Με φορτίο R_L

- Η τάση εξόδου V_{AB} μιας πραγματικής πηγής τάσης είναι μικρότερη από την τιμή της V_S .
- $$V_{AB} = \left(\frac{R_L}{R_S + R_L} \right) V_S$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 7-1 Υπολογίστε την τάση εξόδου της πηγής για τις ακόλουθες τιμές R_L : 1.0 Ω , 10 Ω , 100 Ω , 560 Ω και 1.0 k Ω . Τι παρατηρείτε;



Λύση $V_{OUT} = V_{AB} = \left(\frac{R_L}{R_S + R_L} \right) V_S$

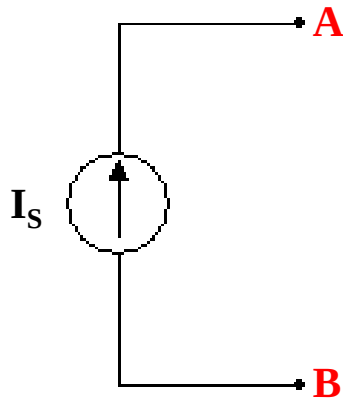
- Για $R_L = 1.0\ \Omega$: $V_{OUT} = \left(\frac{1.0\Omega}{10\Omega + 1.0\Omega} \right) 100\text{V} = \mathbf{9.1\ V}$
- Για $R_L = R_S = 10\ \Omega$: $V_{OUT} = \left(\frac{10\Omega}{10\Omega + 10\Omega} \right) 100\text{V} = \mathbf{50\ V}$
- Για $R_L = 100\ \Omega$: $V_{OUT} = \left(\frac{100\Omega}{10\Omega + 100\Omega} \right) 100\text{V} = \mathbf{91\ V}$
- Για $R_L = 560\ \Omega$: $V_{OUT} = \left(\frac{560\Omega}{10\Omega + 560\Omega} \right) 100\text{V} = \mathbf{98\ V}$
- Για $R_L = 1000\ \Omega$: $V_{OUT} = \left(\frac{1000\Omega}{10\Omega + 1000\Omega} \right) 100\text{V} = \mathbf{99\ V}$

Όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο (R_L) σε σχέση με την εσωτερική αντίσταση (R_S) μιας πηγής τάσης τόσο η τάση εξόδου (V_{OUT}) πλησιάζει την ονομαστική της τιμή (V_S).

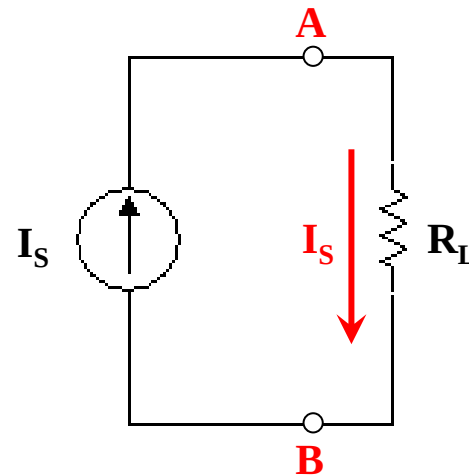
Η πηγή ρεύματος

Η ιδανική πηγή ρεύματος

- Δεν έχει εσωτερική αντίσταση
- Το βέλος δείχνει τη διεύθυνση του ρεύματος της πηγής, I_S .



(α) Χωρίς φορτίο



(β) Με φορτίο R_L

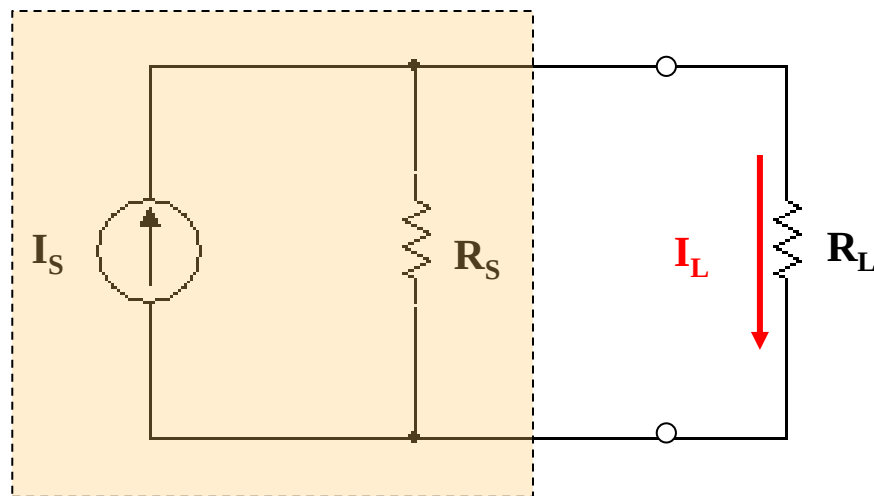
- Το ρεύμα που παράγει μια ιδανική πηγή ρεύματος στο φορτίο R_L είναι σταθερό και ισούται με την ονομαστική τιμή της I_S .

Που θα το βρείτε: R. J. Fowler, “ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ AC-DC”, σελ. 174-175

Η πηγή ρεύματος

Η πραγματική πηγή ρεύματος

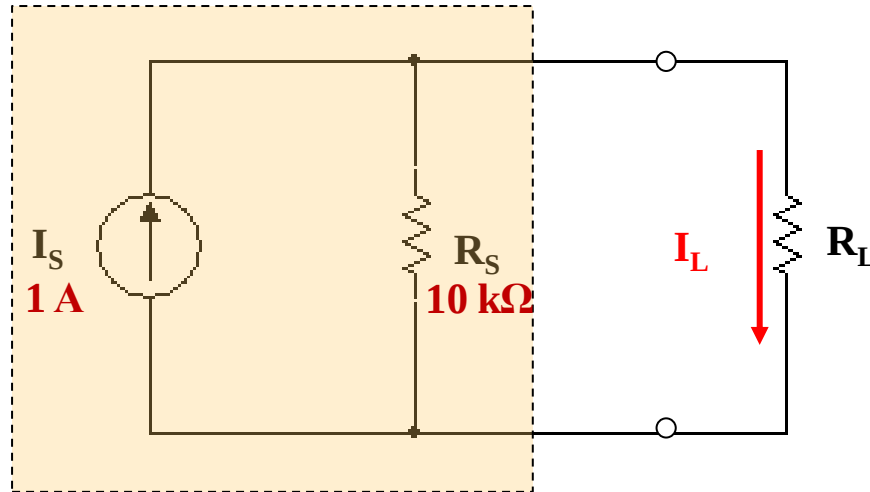
- Έχει μη μηδενική εσωτερική αντίσταση R_S



- Το ρεύμα I_L με το οποίο τροφοδοτεί μια πραγματική πηγή ρεύματος το φορτίο R_L είναι μικρότερο από την ονομαστική τιμή της I_S .

- $$I_L = \left(\frac{R_S}{R_S + R_L} \right) I_S$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 7-2 Υπολογίστε το ρεύμα (I_L) στο φορτίο για τις ακόλουθες τιμές R_L : 100Ω , 560Ω και $1.0\text{ k}\Omega$. Τι παρατηρείτε;

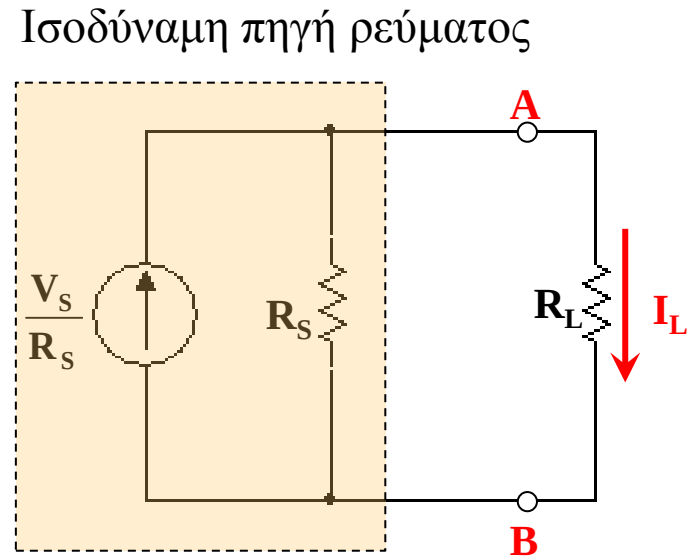
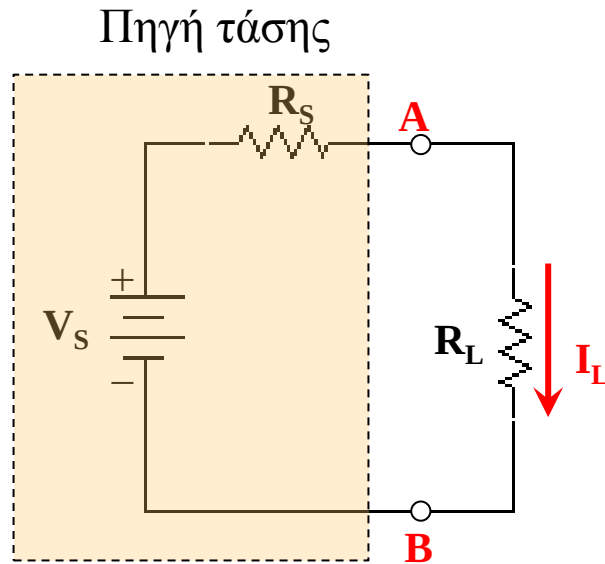


Λύση $I_L = \left(\frac{R_S}{R_S + R_L} \right) I_S$

- Για $R_L = 100\ \Omega$: $I_L = \left(\frac{10\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega + 0.1\text{k}\Omega} \right) 1\text{A} = \mathbf{0.99\text{ A}}$
- Για $R_L = 560\ \Omega$: $I_L = \left(\frac{10\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega + 0.56\text{k}\Omega} \right) 1\text{A} \approx \mathbf{0.95\text{ A}}$
- Για $R_L = 1\text{ k}\Omega$: $I_L = \left(\frac{10\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega} \right) 1\text{A} \approx \mathbf{0.91\text{ V}}$

Όσο μικρότερο είναι το φορτίο (R_L) σε σχέση με την εσωτερική αντίσταση (R_S) της πηγής ρεύματος, τόσο το ρεύμα εξόδου (φορτίου), I_L , πλησιάζει την ονομαστική της τιμή (I_S).

Μετατροπή πηγής τάσης σε ισοδύναμη πηγή ρεύματος: Απόδειξη



Το ρεύμα στο φορτίο R_L

- από το νόμο του Ohm:

$$I_L = \frac{V_S}{R_T} = \frac{V_S}{R_S + R_L}$$

- από τον τύπο του διαιρέτη τάσης:

$$I_L = \frac{R_S}{R_S + R_L} I_S = \frac{R_S}{R_S + R_L} \frac{V_S}{R_S} = \frac{V_S}{R_S + R_L}$$

Η τάση εξόδου V_{AB}

- από τον τύπο του διαιρέτη τάσης:

$$V_{AB} = \frac{R_L}{R_S + R_L} V_S$$

- από το νόμο του Ohm:

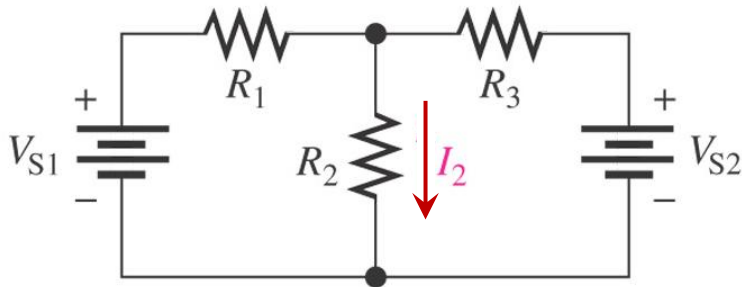
$$V_{AB} = I_L \cdot R_L = \frac{V_S}{R_S + R_L} R_L$$

Το Θεώρημα της Υπέρθεσης (Superposition Theorem)

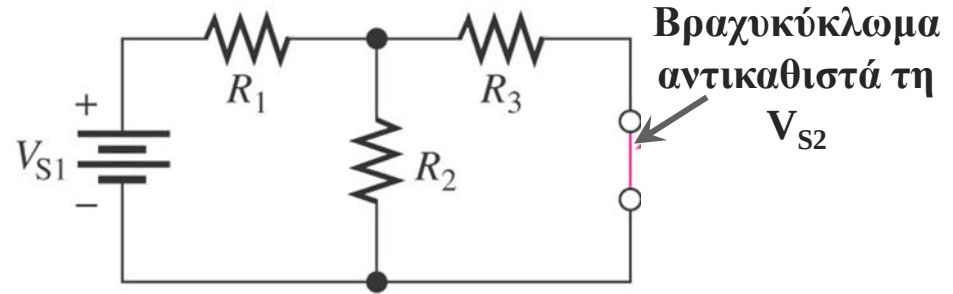
- Το θεώρημα της υπέρθεσης είναι ένας τρόπος να αναλύουμε κυκλώματα **πολλαπλών πηγών** (κυκλώματα στα οποία υπάρχουν περισσότερες από μια πηγές).
- Το ρεύμα σε έναν οποιοδήποτε κλάδο του κυκλώματος ισούται με το άθροισμα των επιμέρους ρευμάτων που προκαλεί η κάθε πηγή ξεχωριστά.
- Η χρήση του θεωρήματος υπέρθεσης:
 1. Λύνουμε το κύκλωμα κάθε φορά διατηρώντας μόνο μια πηγή, αντικαθιστώντας όλες τις υπόλοιπες με βραχυκύκλωμα.
 2. Σε κάθε κλάδο, προσθέτουμε όλα τα επιμέρους ρεύματα που οφείλονται σε κάθε πηγή ξεχωριστά.

Που θα το βρείτε: R. J. Fowler, “ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ AC-DC”, σελ. 160-164

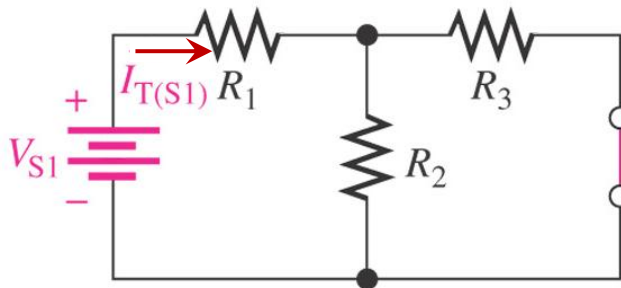
ΕΙΚΟΝΑ 6-14 Ένα παράδειγμα εφαρμογής του θεωρήματος της υπέρθεσης.



Το πρόβλημα: Να βρούμε το I_2



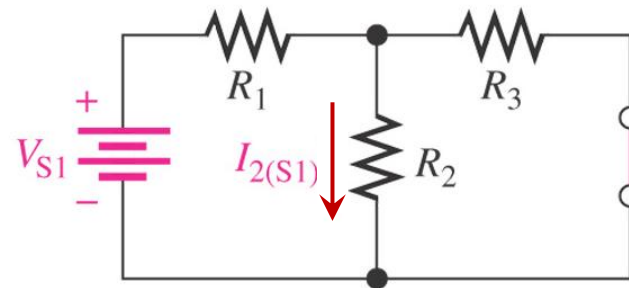
1. Αντικαθιστούμε τη V_{S2} με βραχυκύκλωμα



2. Βρίσκουμε την ολική αντίσταση και το ολικό ρεύμα από την πηγή V_{S1} :

$$R_{T(S1)} = R_1 + R_2 \parallel R_3$$

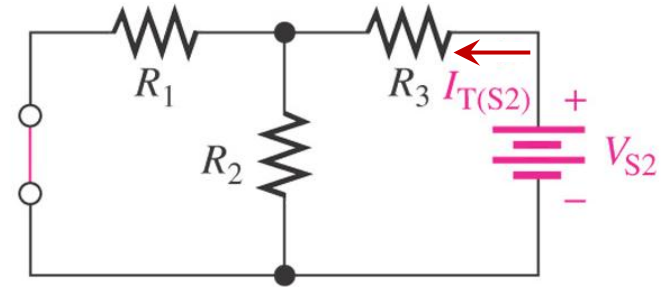
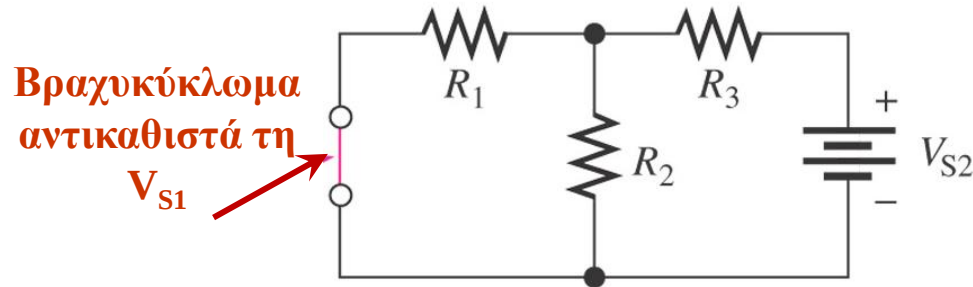
$$I_{T(S1)} = V_{S1} / R_{T(S1)}$$



3. Υπολογίζουμε (με το τύπο του διαιρέτη ρεύματος) το I_2 που οφείλεται στη V_{S1} :

$$I_{2(S1)} = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) I_{T(S1)}$$

ΕΙΚΟΝΑ 6-14 (συνέχεια)

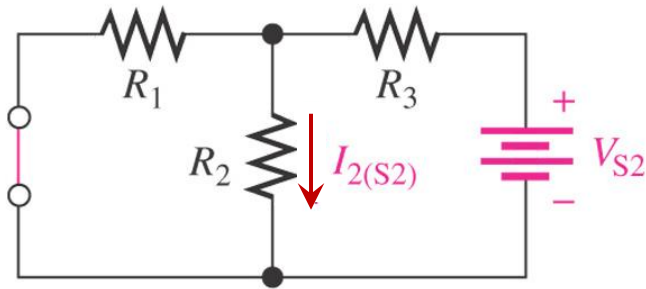


4. Αντικαθιστούμε τη V_{S1} με βραχυκύκλωμα

5. Βρίσκουμε την ολική αντίσταση και το ολικό ρεύμα από την πηγή V_{S2} :

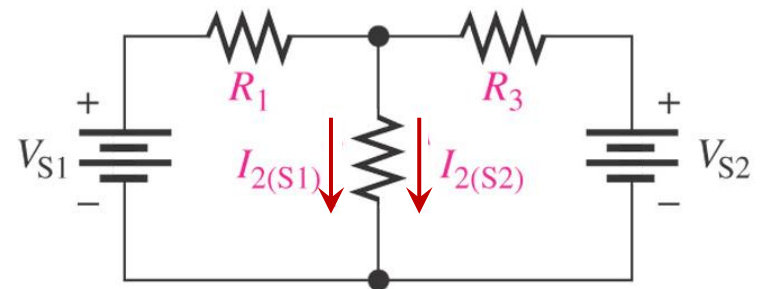
$$R_{T(S2)} = R_3 + R_1 \parallel R_2$$

$$I_{T(S2)} = V_{S2} / R_{T(S2)}$$



6. Υπολογίζουμε (με το τύπο του διαιρέτη ρεύματος) το I_2 που οφείλεται στη V_{S2} :

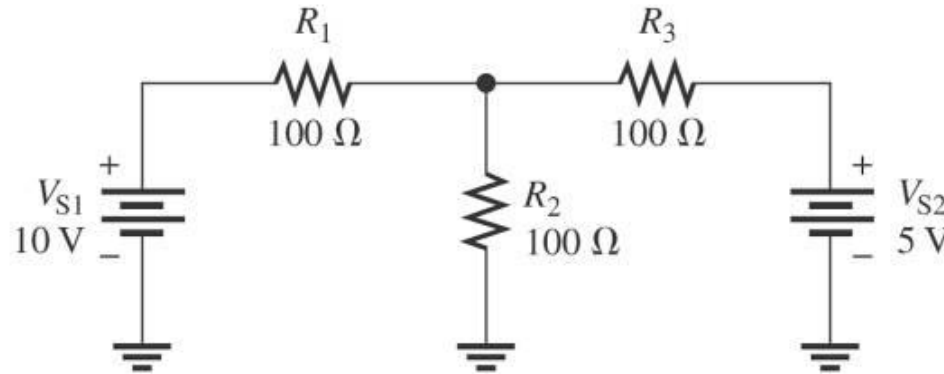
$$I_{2(S2)} = \left(\frac{R_1}{R_2 + R_1} \right) I_{T(S2)}$$



7. Προσθέτουμε τα $I_{2(S1)}$ και $I_{2(S2)}$ για να πάρουμε το πραγματικό ρεύμα I_2 (είναι στην ίδια κατεύθυνση):

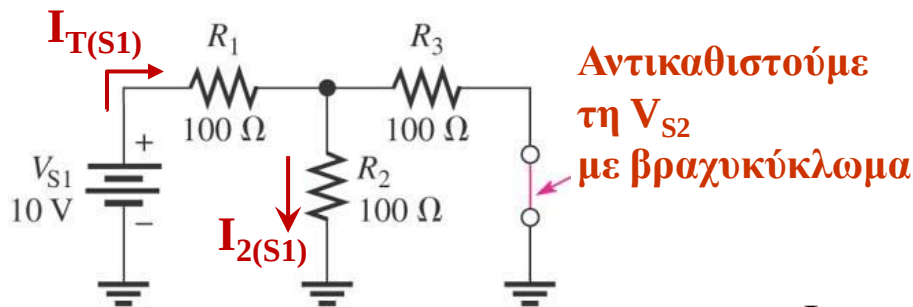
$$I_2 = I_{2(S1)} + I_{2(S2)}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6-18 Βρείτε το ρεύμα μέσα από την R_2 και την τάση στα άκρα της στην παρακάτω εικόνα χρησιμοποιώντας το θεώρημα της υπέρθεσης.



Λύση

Βρίσκουμε το ρεύμα μέσω της R_2 , που οφείλεται στην πηγή V_{S1}



$$R_{T(S1)} = R_1 + \frac{R_3}{2} = 100 \Omega + 50 \Omega = 150 \Omega$$

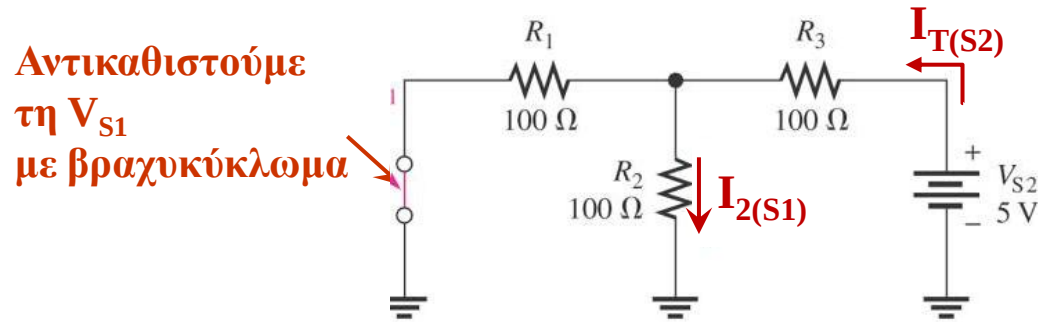
$$I_{T(S1)} = \frac{V_{S1}}{R_{T(S1)}} = \frac{10 \text{ V}}{150 \Omega} = 66.7 \text{ mA}$$

$$I_{2(S1)} = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) I_{T(S1)} = \left(\frac{100 \Omega}{200 \Omega} \right) 66.7 \text{ mA} = 33.3 \text{ mA}$$

Σημειώστε ότι αυτό το ρεύμα είναι προς τα κάτω στην R_2 .

Λύση (συνέχεια)

Βρίσκουμε το ρεύμα μέσω της R_2 , που οφείλεται στην πηγή V_{S2}



$$R_{T(S2)} = R_3 + \frac{R_1}{2} = 100\ \Omega + 50\ \Omega = 150\ \Omega$$

$$I_{T(S2)} = \frac{V_{S2}}{R_{T(S2)}} = \frac{5\text{ V}}{150\ \Omega} = 33.3\text{ mA}$$

$$I_{2(S2)} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) I_{T(S2)} = \left(\frac{100\ \Omega}{200\ \Omega} \right) 33.3\text{ mA} = 16.7\text{ mA}$$

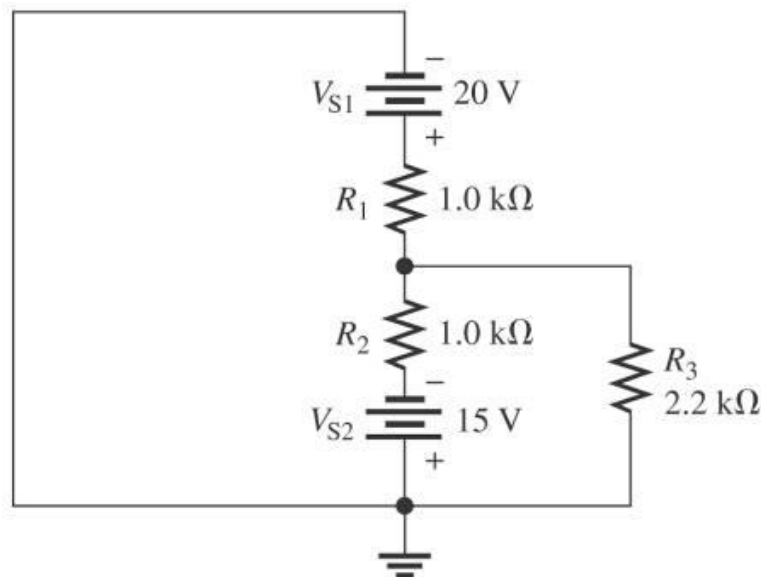
Σημειώστε ότι και αυτό το ρεύμα είναι προς τα κάτω στην R_2 .

Και τα δύο συνιστώντα ρεύματα έχουν την ίδια κατεύθυνση, συνεπώς, τα προσθέτουμε.

$$I_2 = I_{2(S1)} + I_{2(S2)} = 33.3\text{ mA} + 16.7\text{ mA} = \mathbf{50\text{ mA}}$$

Η τάση στα άκρα της R_2 είναι $V_2 = I_2 \cdot R_2 = (50\text{ mA})(100\ \Omega) = \mathbf{5\text{ V}}$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6-19 Βρείτε το ρεύμα και την τάση στην R_3 στο κύκλωμα της παρακάτω εικόνας.



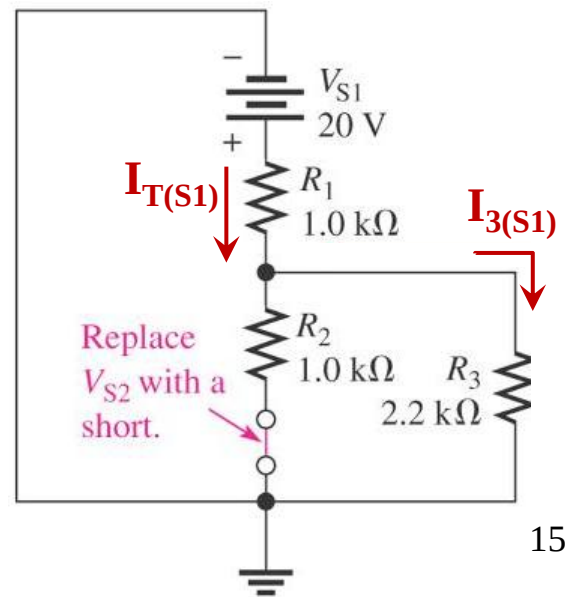
Λύση

Βρίσκουμε το ρεύμα μέσω της R_3 , που οφείλεται στην πηγή V_{S1}

$$R_{T(S1)} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 1.0 \text{ k}\Omega + \frac{(1.0 \text{ k}\Omega)(2.2 \text{ k}\Omega)}{3.2 \text{ k}\Omega} = 1.69 \text{ k}\Omega$$

$$I_{T(S1)} = \frac{V_{S1}}{R_{T(S1)}} = \frac{20 \text{ V}}{1.69 \text{ k}\Omega} = 11.8 \text{ mA}$$

$$I_{3(S1)} = \left(\frac{R_2}{R_2 + R_3} \right) I_{T(S1)} = \left(\frac{1.0 \text{ k}\Omega}{3.2 \text{ k}\Omega} \right) 11.8 \text{ mA} = 3.69 \text{ mA}$$



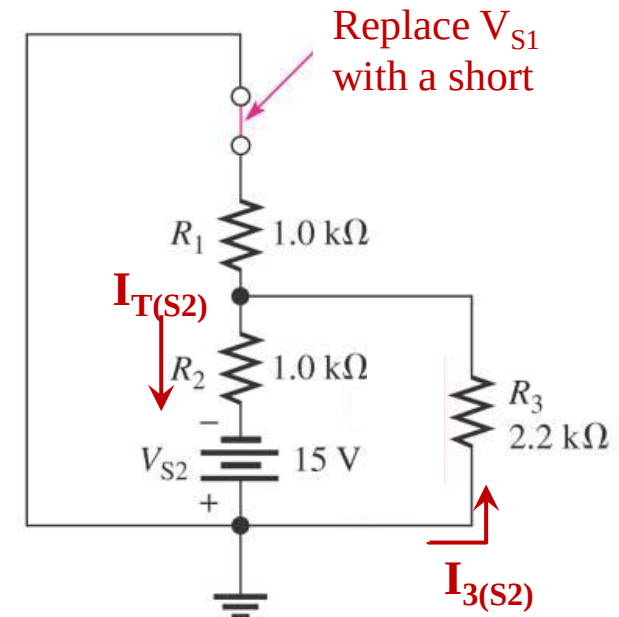
Λύση (συνέχεια)

Βρίσκουμε το ρεύμα μέσω της R_3 , που οφείλεται στην πηγή V_{S2}

$$R_{T(S2)} = R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} = 1.0 \text{ k}\Omega + \frac{(1.0 \text{ k}\Omega)(2.2 \text{ k}\Omega)}{3.2 \text{ k}\Omega} = 1.69 \text{ k}\Omega$$

$$I_{T(S2)} = \frac{V_{S2}}{R_{T(S2)}} = \frac{15 \text{ V}}{1.69 \text{ k}\Omega} = 8.88 \text{ mA}$$

$$I_{3(S2)} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_3} \right) I_{T(S2)} = \left(\frac{1.0 \text{ k}\Omega}{3.2 \text{ k}\Omega} \right) 8.88 \text{ mA} = 2.78 \text{ mA}$$



Το ολικό ρεύμα μέσω της R_3 είναι

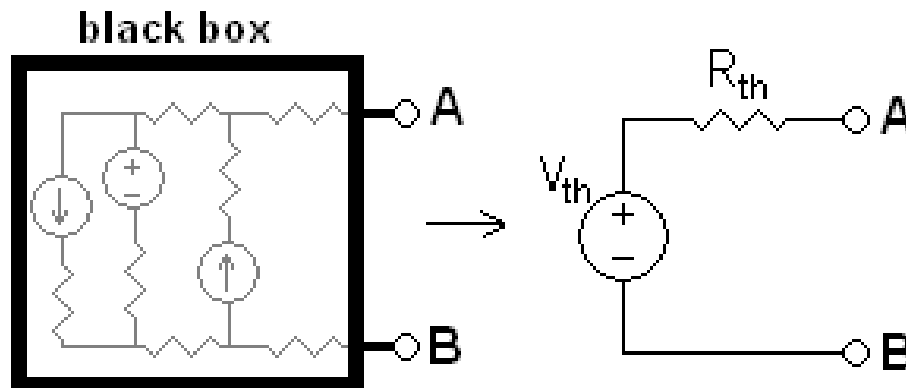
$$I_3 = I_{3(S1)} - I_{3(S2)} = 3.69 \text{ mA} - 2.78 \text{ mA} = \mathbf{910 \text{ }\mu\text{A}} \text{ (γιατί αφαιρούμε;)}$$

και η τάση στα άκρα της $V_{R3} = I_3 \cdot R_3 = (910 \text{ }\mu\text{A})(2.2 \text{ k}\Omega) \cong \mathbf{2 \text{ V}}$

Το Θεώρημα Thevenin

(Thevenin's Theorem)

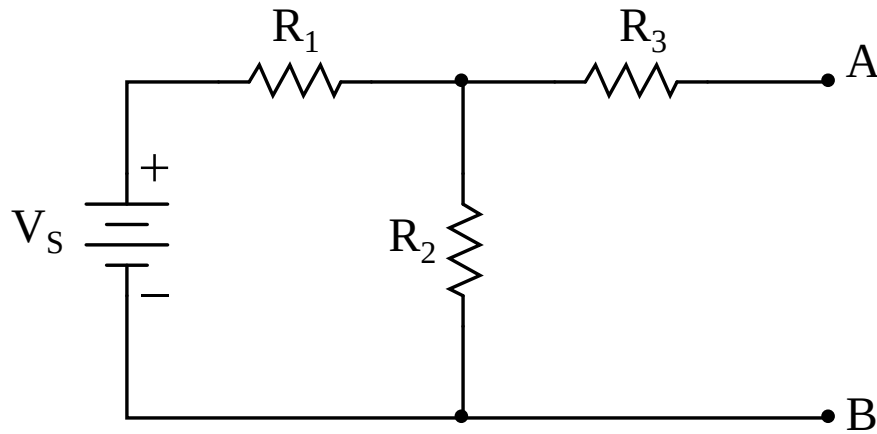
- Το θεώρημα Thevenin μας παρέχει μια μέθοδο για την απλοποίηση ενός κυκλώματος με τη μετατροπή του σε ένα στάνταρ ισοδύναμο κύκλωμα
- Το **ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin** οποιουδήποτε κυκλώματος δύο ακροδεκτών αποτελείται από μια ισοδύναμη πηγή τάσης (V_{th}) και μια ισοδύναμη αντίσταση (R_{th})



Η Ισοδύναμη Τάση (V_{TH}) και Ισοδύναμη Αντίσταση (R_{TH}) Thevenin

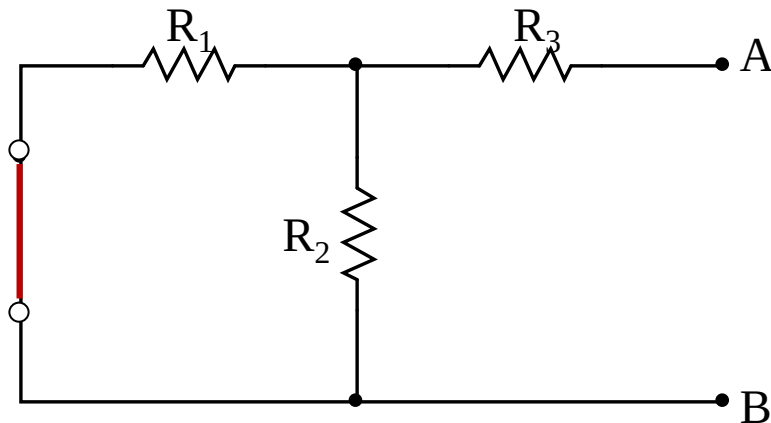
- Η **ισοδύναμη τάση Thevenin (V_{TH})** είναι η τάση ανοικτού κυκλώματος (χωρίς φορτίο) μεταξύ των δύο ακροδεκτών του κυκλώματος
- Η **ισοδύναμη αντίσταση Thevenin (R_{TH})** είναι η ολική αντίσταση που φαίνεται μεταξύ των δύο ακροδεκτών όταν άλλες οι πηγές τάσης στο κύκλωμα αντικατασταθούν με βραχυκυκλώματα και όλες οι πηγές ρεύματος αντικατασταθούν με ανοικτά κυκλώματα.

ΕΙΚΟΝΑ 6-9 Παράδειγμα απλοποίησης ενός κυκλώματος με το θεώρημα Thevenin.



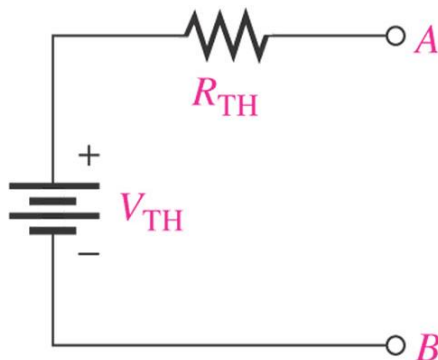
(α) Υπολογίζουμε τη V_{TH} μεταξύ των ακροδεκτών A και B

$$V_{TH} = V_{AB} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_S$$



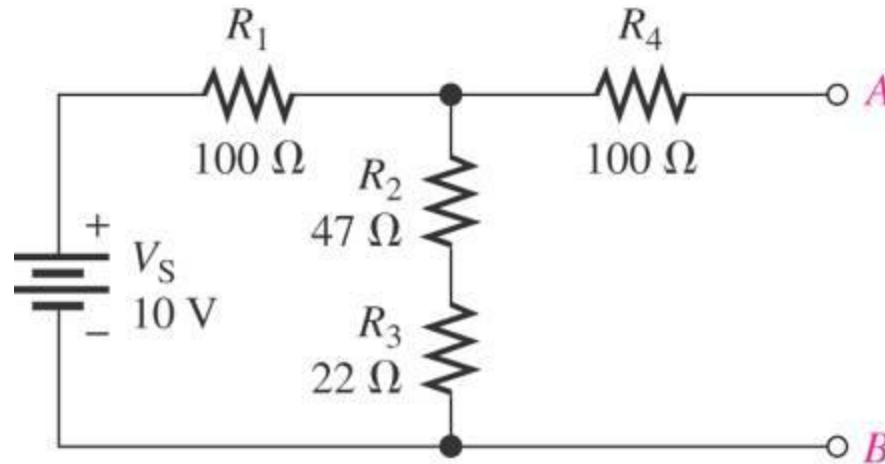
(β) Βραχυκυκλώνουμε την πηγή τάσης V_S και υπολογίζουμε την R_{TH} μεταξύ των ακροδεκτών A και B:

$$\begin{aligned} R_{TH} &= R_3 + R_1 \parallel R_2 \\ &= R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned}$$

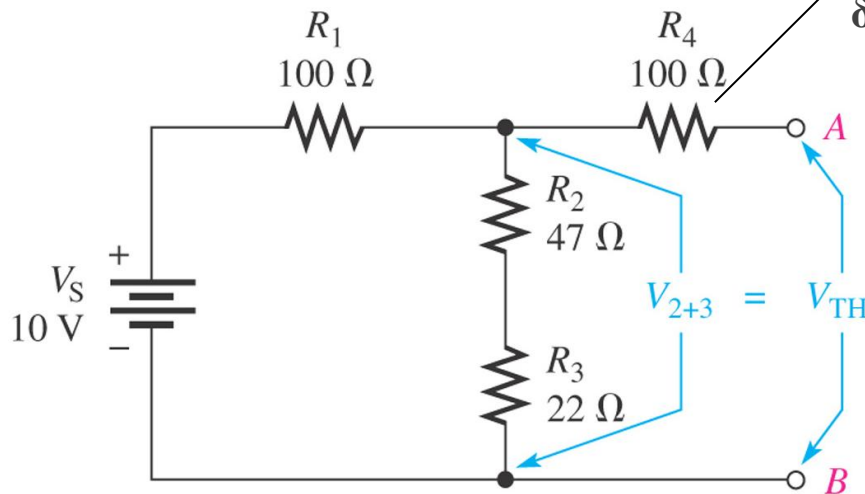


(γ) Το ισοδύναμο κύκλωμα Thenenin

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6-14 Βρείτε το ισοδύναμο Thevenin μεταξύ των ακροδεκτών εξόδου A και B του κυκλώματος της παρακάτω εικόνας.



Λύση



η R_4 δεν έχει πτώση τάσης διότι δεν διαρρέεται από ρεύμα

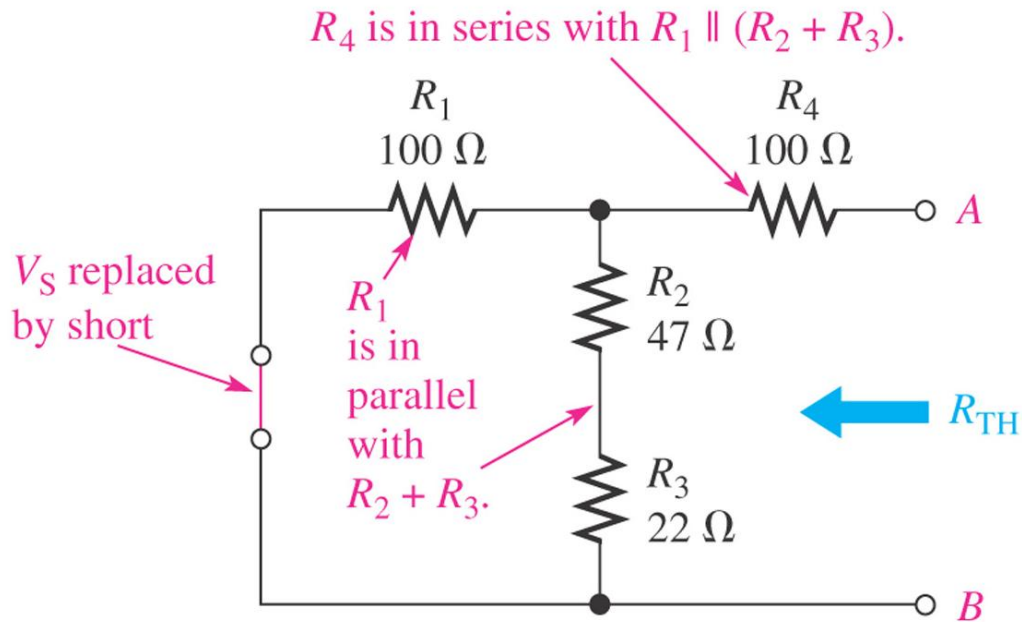
$$V_{TH} = V_{AB} = V_{2+3}$$

$$V_{TH} = \left(\frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \right) V_S$$

$$= \left(\frac{69 \Omega}{169 \Omega} \right) 10 \text{ V} = 4.08 \text{ V}$$

Λύση (συνέχεια)

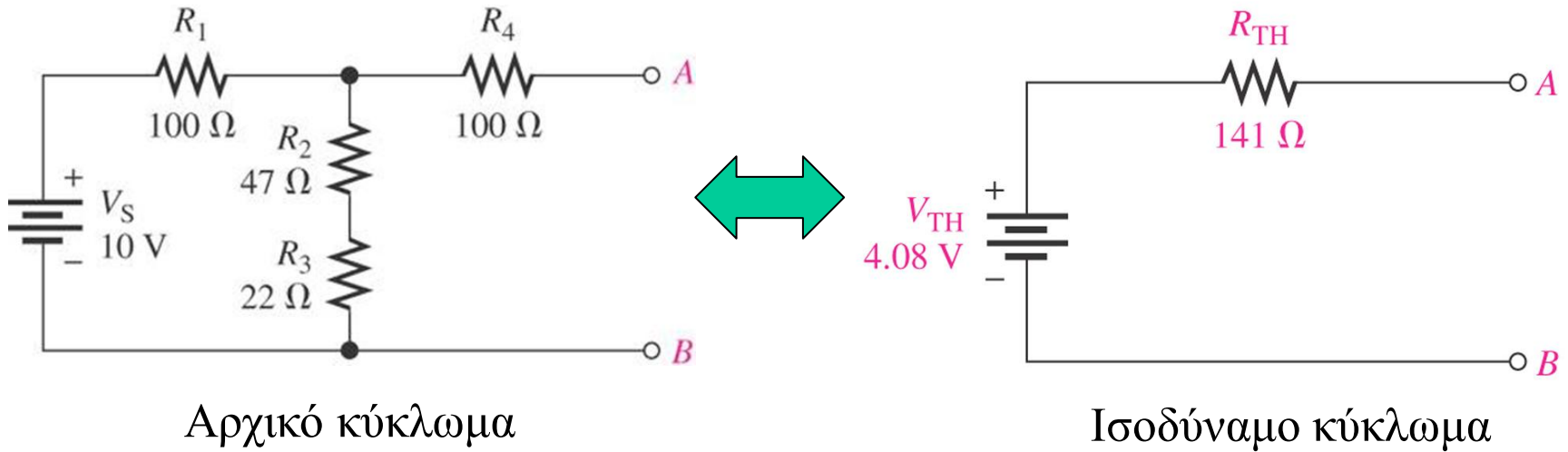
Για να βρούμε την R_{TH} , αντικαθιστούμε την πηγή με ένα βραχυκύκλωμα



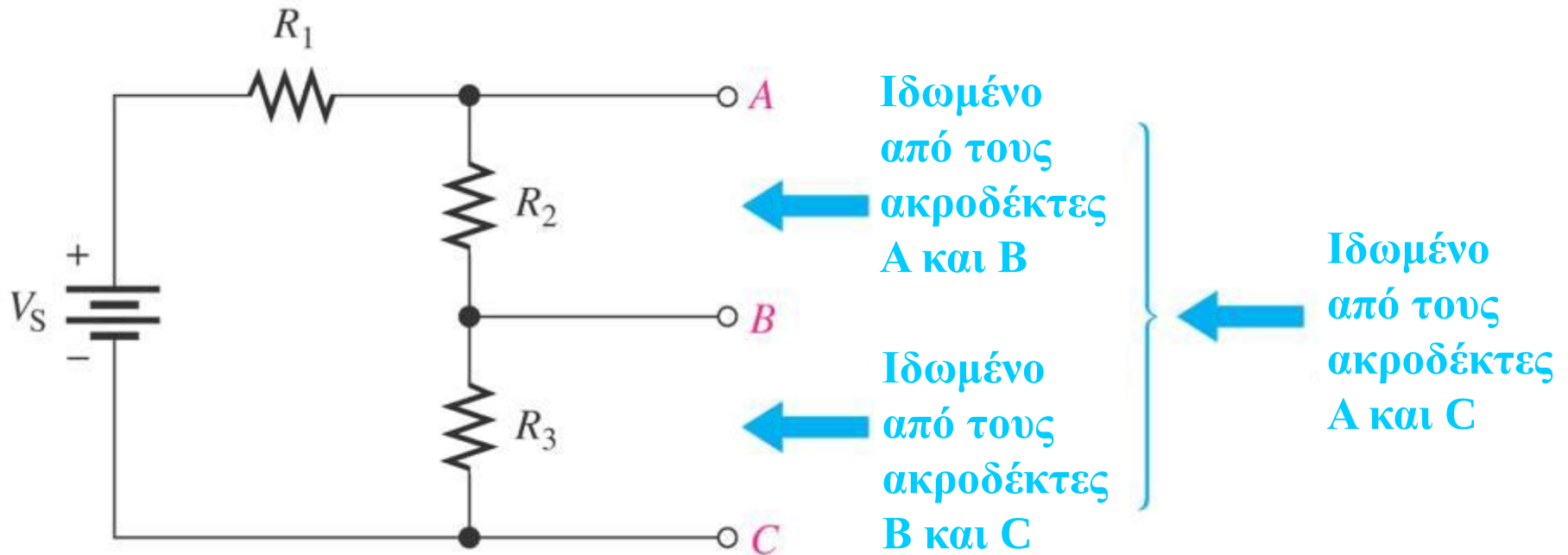
$$R_{TH} = R_4 + \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = 100\Omega + \frac{(100\Omega)(69\Omega)}{169\Omega} = \mathbf{141\Omega}$$

Λύση (συνέχεια)

Το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin είναι



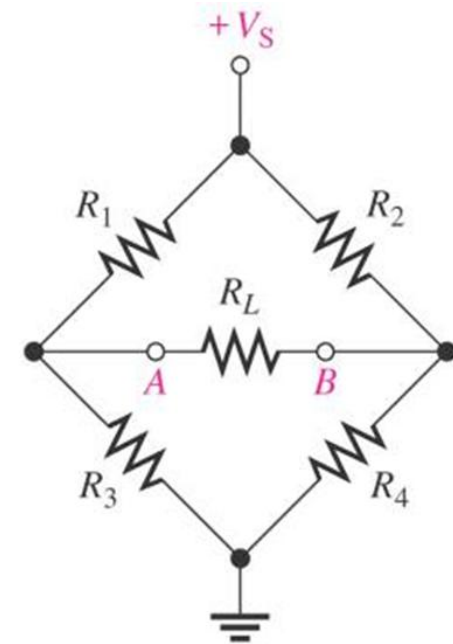
EIKONA 6-10 Το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin εξαρτάται από τους ακροδέκτες εξόδου από τους οποίους βλέπουμε το κύκλωμα.



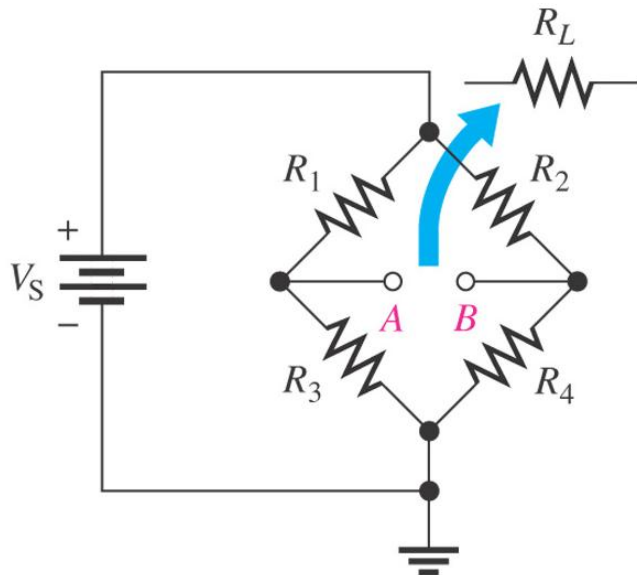
Ισοδύναμο Thevenin της Γέφυρας Wheatstone

Το πρόβλημα:

Να υπολογιστεί το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin της γέφυρας Wheatstone μεταξύ των ακροδεκτών εξόδου A και B.



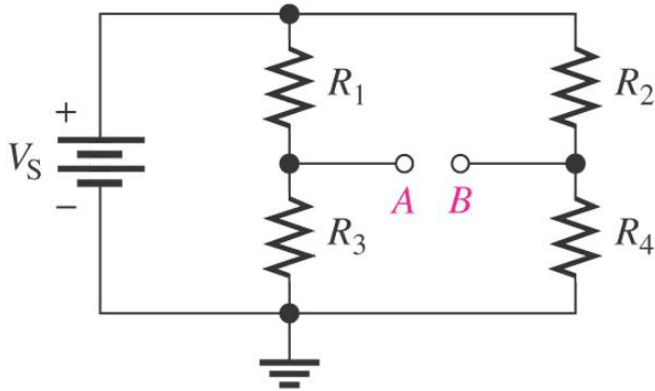
Λύση



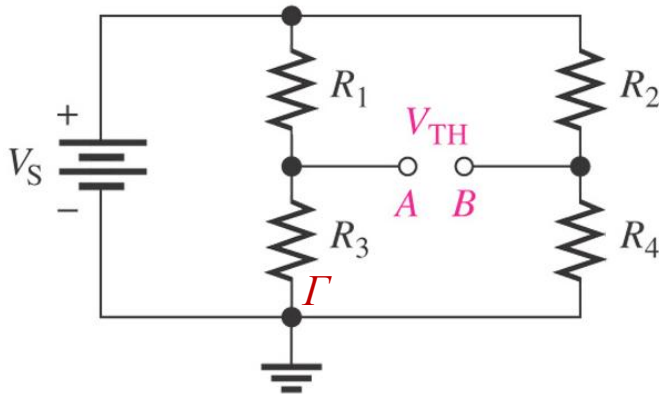
(α) Απομακρύνουμε το φορτίο R_L για να δημιουργήσουμε ένα ανοικτό κύκλωμα μεταξύ των ακροδεκτών εξόδου A και B.

Ισοδύναμο Thevenin της Γέφυρας Wheatstone

Λύση (συνέχεια)



(β) Ξανασχεδιάζουμε το κύκλωμα (αν το επιθυμούμε) για να φανούν καλύτερα οι εν σειρά και παράλληλες σχέσεις.

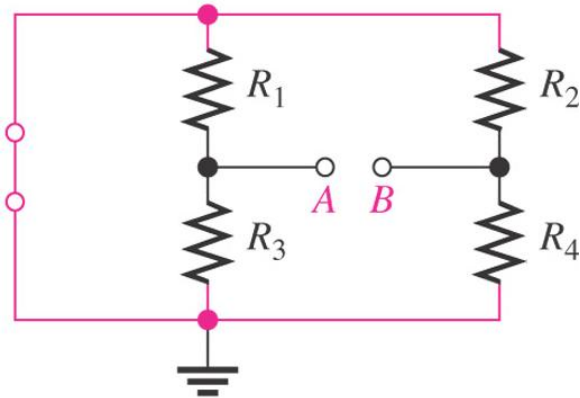


(γ) Βρίσκουμε τη V_{TH} .

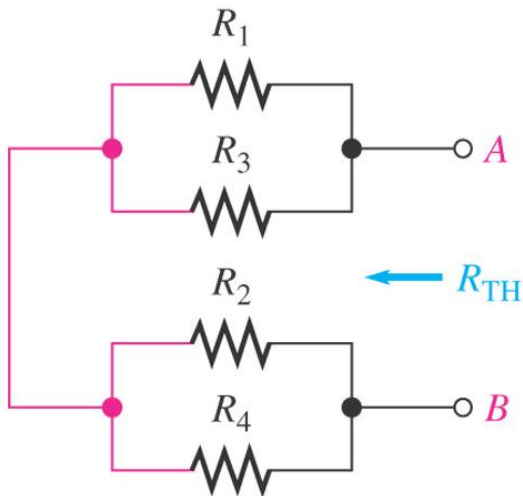
$$\begin{aligned} V_{TH} &= V_A - V_B \\ &= (V_A - V_G) - (V_B - V_G) \\ &= V_{R3} - V_{R4} \\ &= \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) V_S - \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) V_S \\ V_{TH} &= \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) V_S \end{aligned}$$

Ισοδύναμο Thevenin της Γέφυρας Wheatstone

Λύση (συνέχεια)



(δ) Για να βρούμε την ισοδύναμη αντίσταση Thevenin, αντικαθιστούμε την πηγή V_S με βραχυκύκλωμα



(ε) Επανασχεδιάζουμε (αν το επιθυμούμε) την προηγούμενη εικόνα (δ) και βρίσκουμε την R_{TH} .

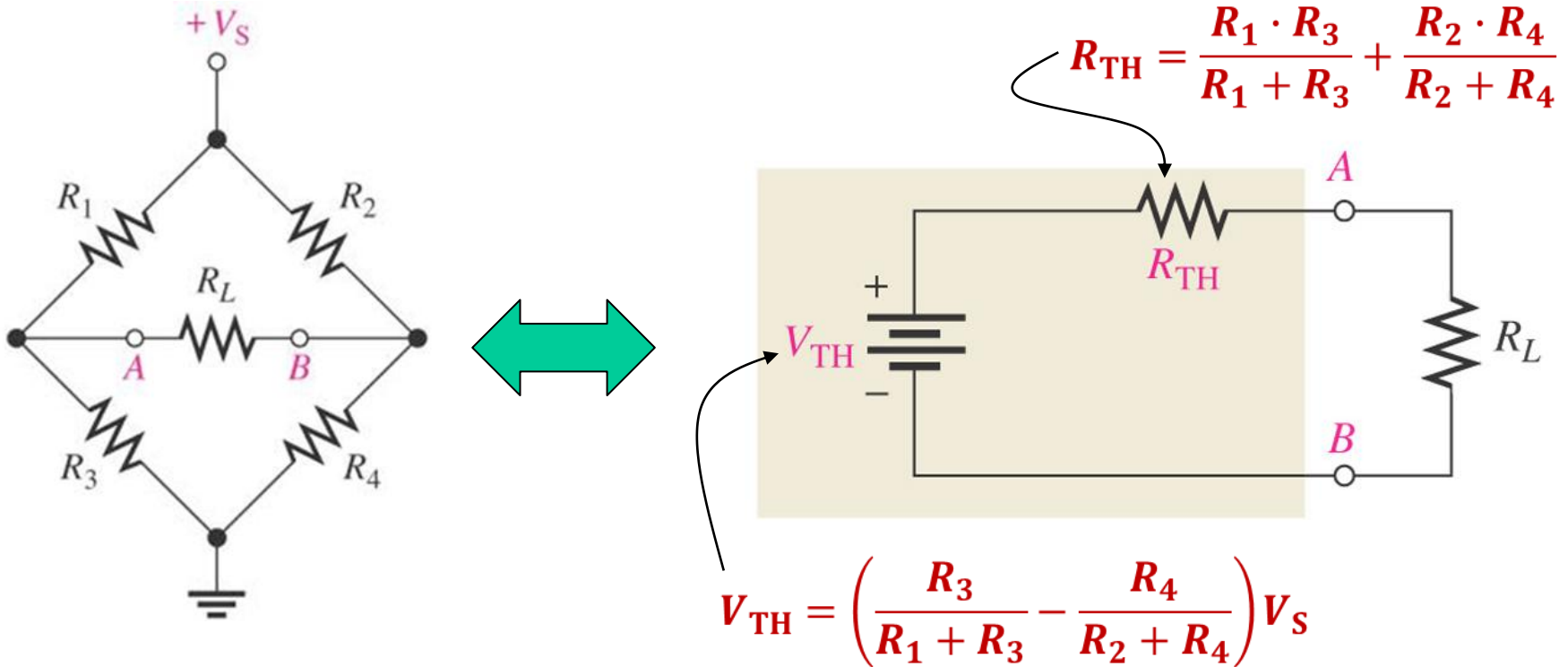
$$R_{TH} = R_1 \parallel R_3 + R_2 \parallel R_4$$

$$R_{TH} = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4}$$

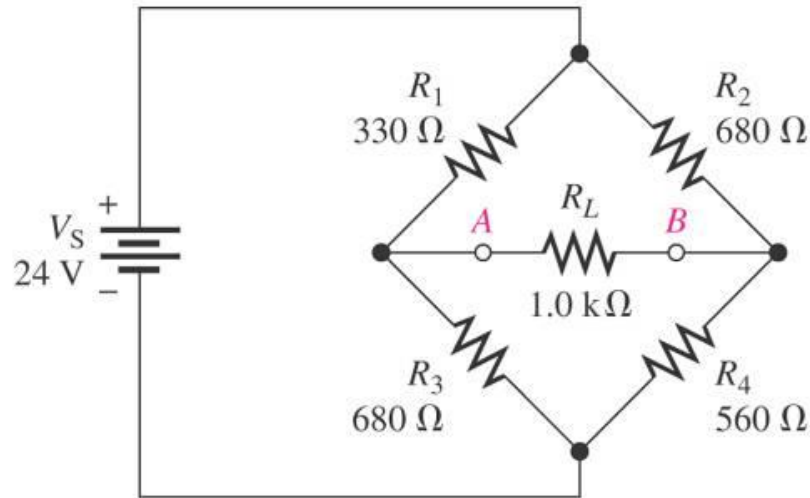
Ισοδύναμο Thevenin της Γέφυρας Wheatstone

Λύση (τέλος)

(στ) Το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin της γέφυρας με το φορτίο R_L επανασυνδεμένο



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6-15 Προσδιορίστε την τάση και το ρεύμα στην αντίσταση φορτίου, R_L , στο παρακάτω κύκλωμα γέφυρας.



Λύση

Απομακρύνουμε την R_L και υπολογίζουμε το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin μεταξύ A και B.

Η ισοδύναμη τάση Thevenin είναι:

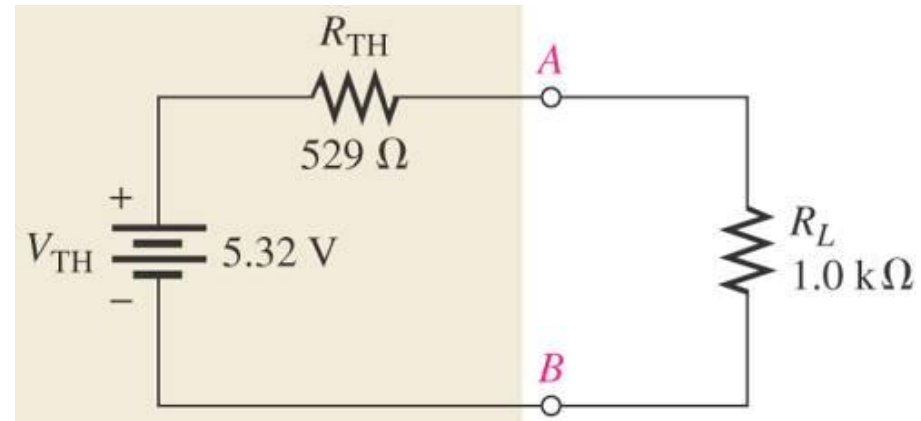
$$\begin{aligned} V_{TH} &= V_A - V_B = \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) V_S - \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) V_S \\ &= \left(\frac{680 \, \Omega}{1010 \, \Omega} \right) 24 \, \text{V} - \left(\frac{560 \, \Omega}{1240 \, \Omega} \right) 24 \, \text{V} = 16.16 \, \text{V} - 10.84 \, \text{V} = 5.32 \, \text{V} \end{aligned}$$

Λύση (συνέχεια)

Η ισοδύναμη αντίσταση Thevenin είναι:

$$\begin{aligned} R_{TH} &= \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4} \\ &= \frac{(330 \, \Omega)(680 \, \Omega)}{1010 \, \Omega} + \frac{(680 \, \Omega)(560 \, \Omega)}{1240 \, \Omega} = 222 \, \Omega + 307 \, \Omega = 529 \, \Omega \end{aligned}$$

Επομένως, το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin, έχοντας προσθέσει το φορτίο R_L , είναι:



Εύκολα προκύπτει ότι η τάση και το ρεύμα στο φορτίο είναι

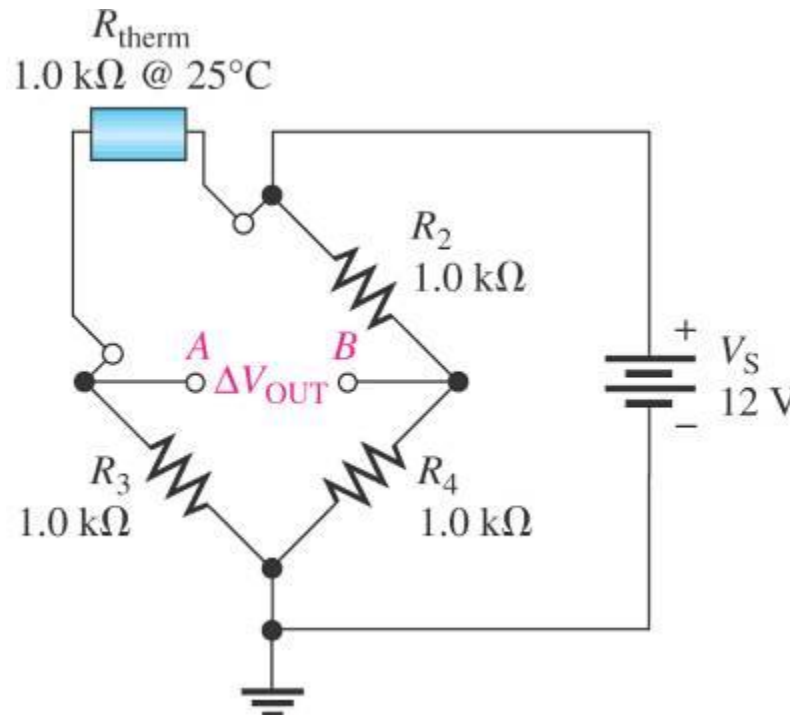
$$V_L = \left(\frac{R_L}{R_L + R_{TH}} \right) V_{TH} = \left(\frac{1.0 \text{ k}\Omega}{1.529 \text{ k}\Omega} \right) 5.23 \text{ V} = \mathbf{3.48 \text{ V}}$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{3.48 \text{ V}}{1.0 \text{ k}\Omega} = \mathbf{3.48 \text{ mA}}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6-16 Το κύκλωμα γέφυρας της παρακάτω εικόνας χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας με τη βοήθεια ενός θερμίστορ. Ας υποθέσουμε ότι οι άλλες τρεις αντιστάτες της γέφυρας είναι ίσοι με την αντίσταση του θερμίστορ στους 25°C , οπότε $R_{\text{therm}} = R_1 = R_2 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$. (α) Δείξτε, ότι η τάση εξόδου της γέφυρας σε μια θερμοκρασία διαφορετική των 25°C , είναι

$$V_{\text{OUT}} = \Delta R_{\text{therm}} \left(\frac{V_S}{4 R_{\text{therm}}} \right)$$

όπου, ΔR_{therm} είναι η μεταβολή της αντίστασης του θερμίστορ από την τιμή R_{therm} στους 25°C . (β) Ποια είναι η τάση εξόδου στους 50°C , αν υποθέσουμε ότι το θερμίστορ μειώνεται στα 900Ω στους 50°C ;



Λύση

(α) Η τάση εξόδου της γέφυρας είναι

$$V_{\text{OUT}} = \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) V_S - \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) V_S$$

Στους 50°C, η αντίσταση του θερμίστορ είναι $R_{\text{therm}} + \Delta R_{\text{therm}}$. Αντικαθιστώντας την έκφραση αυτή στη θέση της R_1 και βάζοντας, επίσης, $R_1 = R_2 = R_3 = R_{\text{therm}}$, παίρνουμε

$$\begin{aligned} V_{\text{OUT}} &= \left(\frac{R_{\text{therm}}}{R_{\text{therm}} + \Delta R_{\text{therm}} + R_{\text{therm}}} \right) V_S - \left(\frac{R_{\text{therm}}}{R_{\text{therm}} + R_{\text{therm}}} \right) V_S \\ &= \left(\frac{R_{\text{therm}}}{2 R_{\text{therm}} + \Delta R_{\text{therm}}} \right) V_S - \frac{1}{2} V_S \\ &= \left(\frac{\Delta R_{\text{therm}}}{4 R_{\text{therm}} + 2 \Delta R_{\text{therm}}} \right) V_S \end{aligned}$$

Επειδή η μεταβολή ΔR_{therm} της αντίστασης του θερμίστορ είναι αμελητέα συγκρινόμενη με την αντίστασή του R_{therm} στους 25°C, μπορεί να παραληφθεί στον παρονομαστή, παίρνοντας έτσι

$$V_{\text{OUT}} = \Delta R_{\text{therm}} \left(\frac{V_S}{4 R_{\text{therm}}} \right)$$

Λύση (συνέχεια)

$$(\beta) \quad \Delta R_{\text{therm}} = 1.0 \text{ k}\Omega - 900 \text{ }\Omega = 100 \text{ }\Omega$$

$$V_{\text{OUT}} = \Delta R_{\text{therm}} \left(\frac{V_S}{4 R_{\text{therm}}} \right) = 100 \text{ }\Omega \left(\frac{12 \text{ V}}{4 \cdot 1.0 \text{ k}\Omega} \right) = \mathbf{0.3 \text{ V}}$$

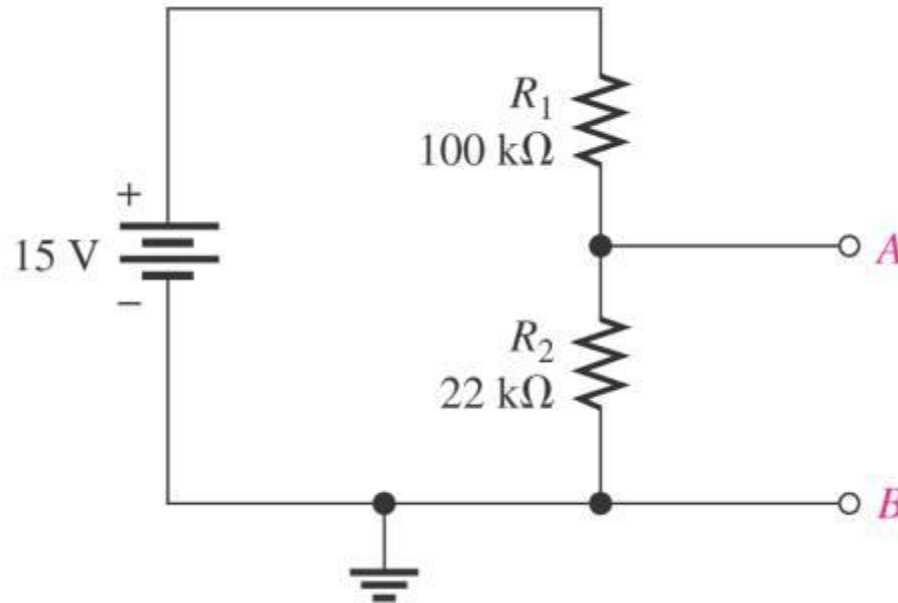
Επομένως, στους 50°C, η γέφυρα δίνει έξοδο 0.3 V (ενώ στους 25°C, που η γέφυρα ισορροπεί, $V_{\text{OUT}} = 0 \text{ V}$).

Ανακεφαλαίωση του Θεωρήματος Thevenin

1. Ανοίγουμε τους δύο ακροδέκτες (απομακρύνοντας κάθε φορτίο) μεταξύ των οποίων θέλουμε να βρούμε το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin
2. Προσδιορίστε την τάση (V_{TH}) μεταξύ των δύο ανοικτών ακροδεκτών
3. Προσδιορίστε την αντίσταση (R_{TH}) μεταξύ των δύο ανοικτών ακροδεκτών με όλες τις πηγές τάσης αντικαταστημένες από τις εσωτερικές τους αντιστάσεις (βραχυκυκλώνουμε τις πηγές τάσεις και ανοίγουμε τις πηγές ρεύματος)
4. Συνδέουμε τις V_{TH} και R_{TH} σε σειρά για να δημιουργήσουμε το κύκλωμα Thevenin ισοδύναμο με το αρχικό κύκλωμα
5. Επανατοποθετούμε τον αντιστάτη φορτίου που απομακρύναμε στο Βήμα 1 στους ακροδέκτες του ισοδύναμου κυκλώματος Thevenin. Το ρεύμα και η τάση στο φορτίο μπορούν τώρα να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας το νόμο του Ohm. Έχουν την ίδια τιμή με το ρεύμα και την τάση του φορτίου στο αρχικό κύκλωμα

ΒΑΣΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ Το Θεώρημα Thevenin

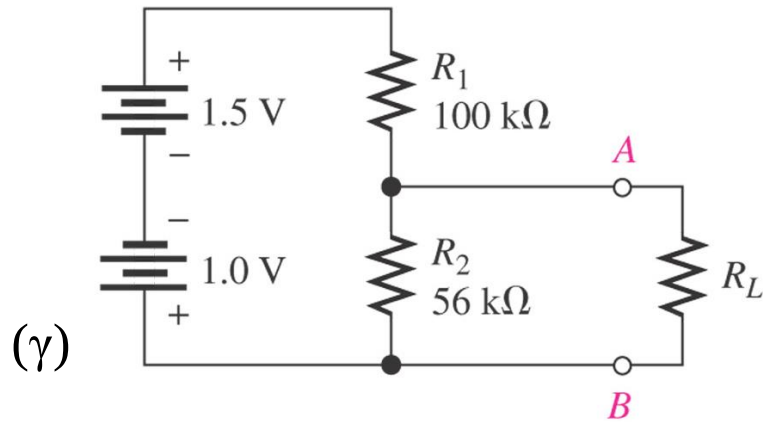
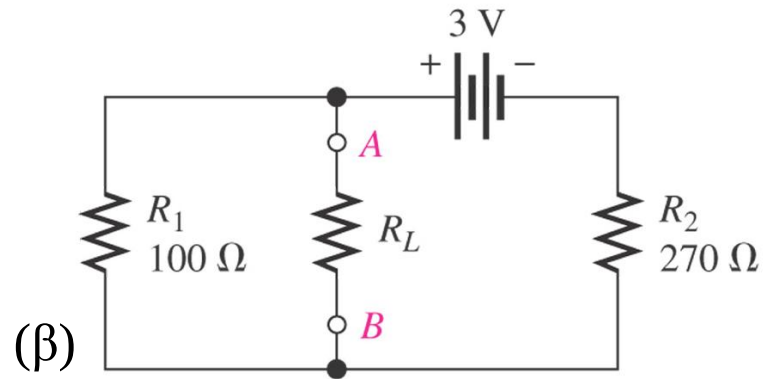
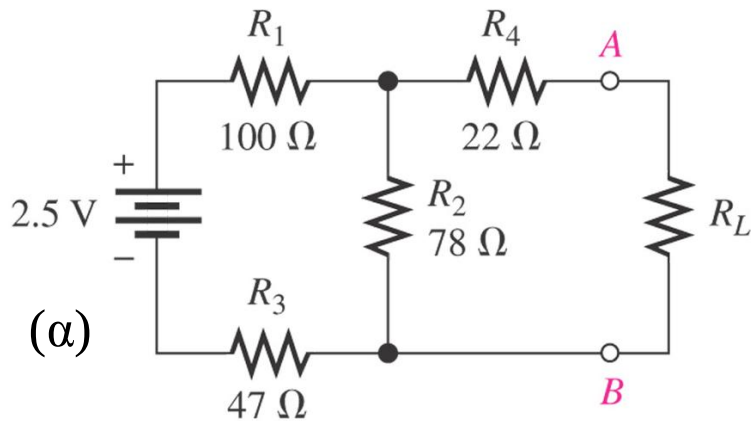
16. Μετατρέψτε το κύκλωμα της παρακάτω εικόνας στο ισοδύναμό του Thevenin όπως φαίνεται από τους ακροδέκτες A και B.



Απ.: $V_{TH} = 2.7\text{ V}$, $R_{TH} = 18\text{ k}\Omega$

ΒΑΣΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ Το Θεώρημα Thevenin

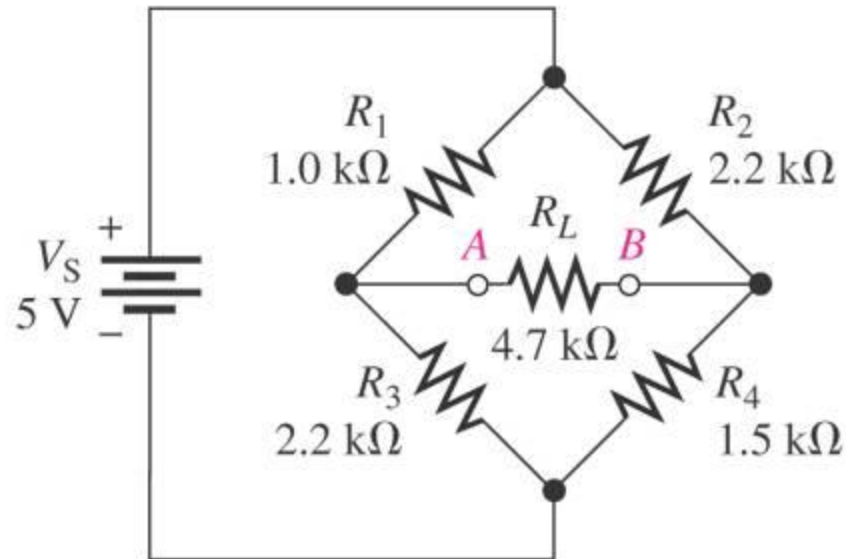
17. Για κάθε κύκλωμα της παρακάτω εικόνας, προσδιορίστε το ισοδύναμο Thevenin όπως φαίνεται από το φορτίο R_L .



Απ.: (α) $V_{TH} = 0.87 \text{ V}$, $R_{TH} = 73 \Omega$
(β) $V_{TH} = 0.81 \text{ V}$, $R_{TH} = 73 \Omega$
(γ) $V_{TH} = 0.18 \text{ V}$, $R_{TH} = 36 \text{ k}\Omega$

ΒΑΣΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ Το Θεώρημα Thevenin

18. Προσδιορίστε την τάση και το ρεύμα στο φορτίο R_L στην παρακάτω εικόνα.

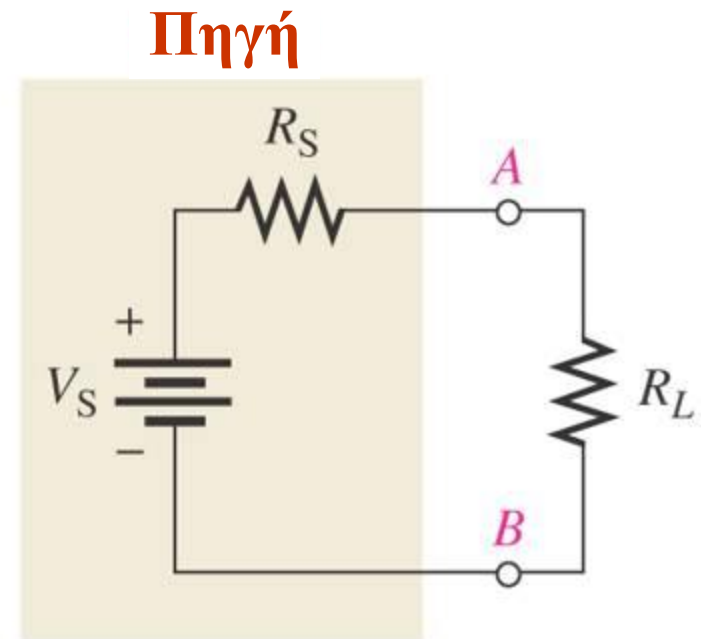


Απ.: $V_L = 1.06 \text{ V}$, $I_L = 226 \mu\text{A}$

Το Θεώρημα της Μέγιστης Μεταφοράς Ισχύος

- Η μέγιστη ισχύς μεταφέρεται από μια πηγή σε ένα φορτίο όταν η αντίσταση (R_L) του φορτίου είναι ίση με την εσωτερική αντίσταση (R_S) της πηγής

$$R_L = R_S \Rightarrow P_L = \max$$

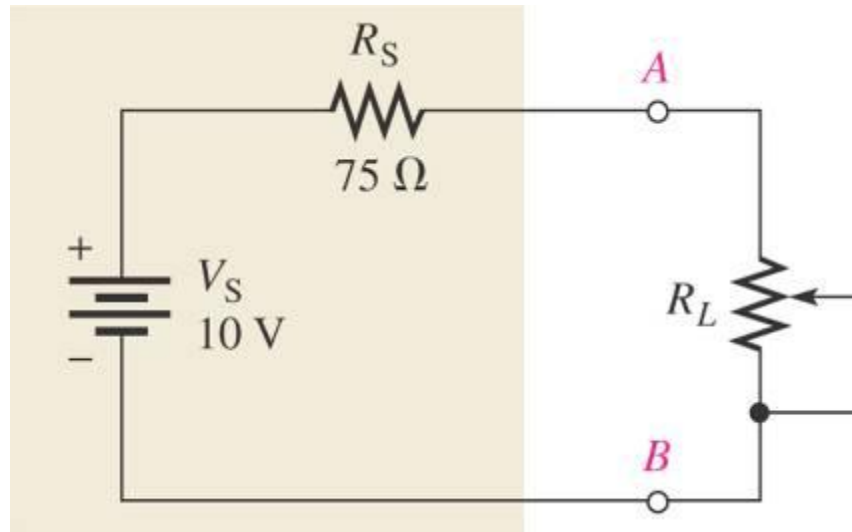


Που θα το βρείτε: R. J. Fowler, “ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ AC-DC”, σελ. 125-126

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6-17 Η πηγή της παρακάτω εικόνας έχει εσωτερική αντίσταση $75\ \Omega$. Προσδιορίστε την ισχύ του φορτίου για κάθε μια από τις ακόλουθες τιμές της μεταβλητής αντίστασης του φορτίου:

(α) $25\ \Omega$ (β) $50\ \Omega$ (γ) $75\ \Omega$ (δ) $100\ \Omega$ (ε) $125\ \Omega$

Σχεδιάστε ένα διάγραμμα που να δείχνει την ισχύ του φορτίου ως προς την αντίσταση του φορτίου.



Λύση Χρησιμοποιούμε το νόμο του Ohm ($I=V/R$) και τον τύπο της ισχύος ($P=I^2R$) για να βρούμε την ισχύ του στο φορτίο, P_L , για κάθε τιμή της αντίστασης φορτίου.

Λύση (συνέχεια)

(α) Για $R_L = 25 \Omega$,

$$I = \frac{V_S}{R_S + R_L} = \frac{10 \text{ V}}{75 \Omega + 25 \Omega} = 100 \text{ mA}$$

$$P_L = I^2 \cdot R_L = (100 \text{ mA})^2 (25 \Omega) = \mathbf{250 \text{ mW}}$$

(β) Για $R_L = 50 \Omega$,

$$I = \frac{V_S}{R_S + R_L} = \frac{10 \text{ V}}{125 \Omega} = 80 \text{ mA}$$

$$P_L = I^2 \cdot R_L = (80 \text{ mA})^2 (50 \Omega) = \mathbf{320 \text{ mW}}$$

(γ) Για $R_L = 75 \Omega$,

$$I = \frac{V_S}{R_S + R_L} = \frac{10 \text{ V}}{150 \Omega} = 66.7 \text{ mA}$$

$$P_L = I^2 \cdot R_L = (66.7 \text{ mA})^2 (75 \Omega) = \mathbf{334 \text{ mW}}$$

Λύση (συνέχεια)

(δ) Για $R_L = 100 \, \Omega$,

$$I = \frac{V_S}{R_S + R_L} = \frac{10 \, \text{V}}{175 \, \Omega} = 57.1 \, \text{mA}$$

$$P_L = I^2 \cdot R_L = (57.1 \, \text{mA})^2 (100 \, \Omega) = \mathbf{326 \, \text{mW}}$$

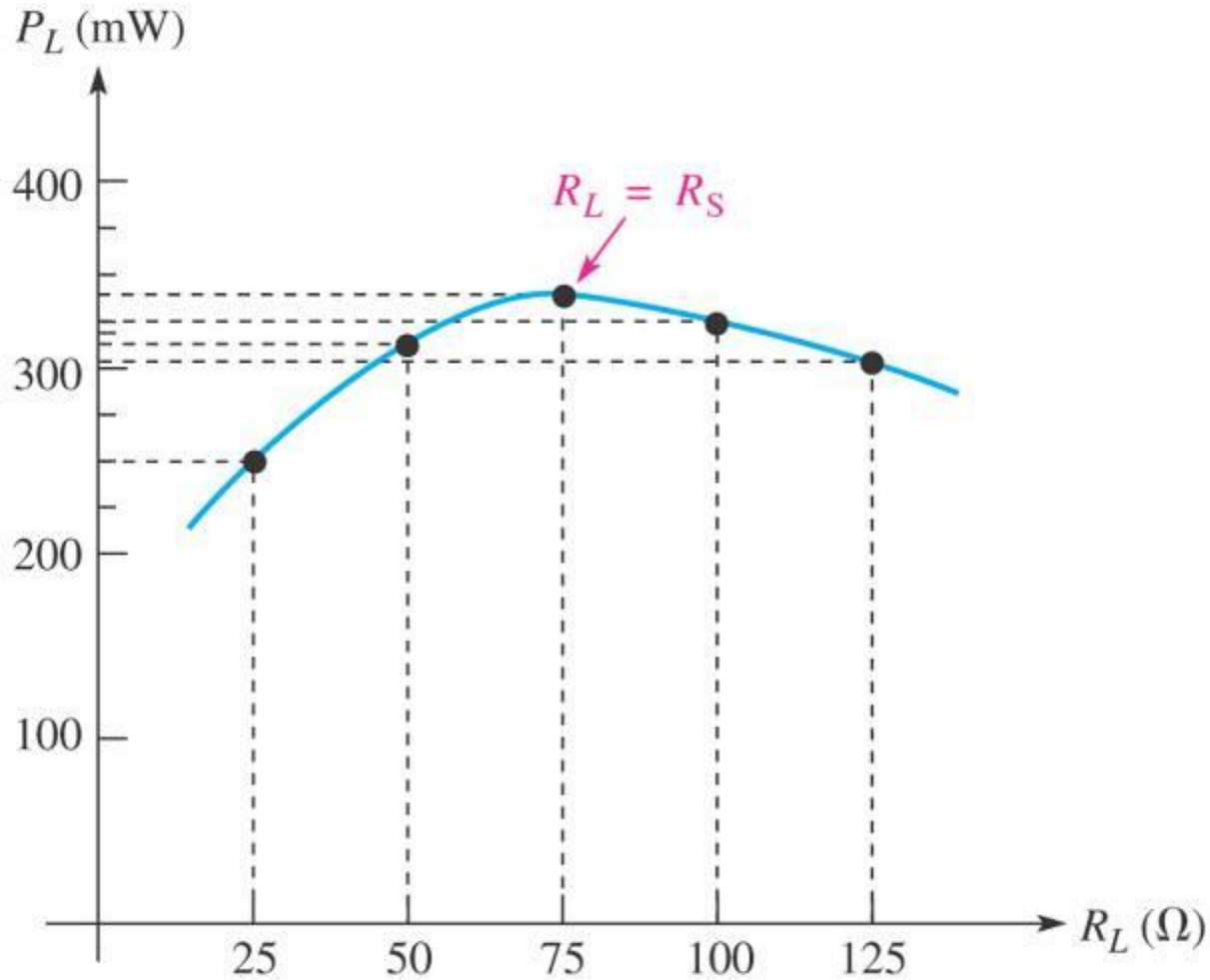
(ε) Για $R_L = 125 \, \Omega$,

$$I = \frac{V_S}{R_S + R_L} = \frac{10 \, \text{V}}{200 \, \Omega} = 50 \, \text{mA}$$

$$P_L = I^2 \cdot R_L = (50 \, \text{mA})^2 (125 \, \Omega) = \mathbf{313 \, \text{mW}}$$

Προσέξτε ότι η ισχύς του φορτίου είναι μέγιστη όταν $R_L = R_S = 75 \, \Omega$, που είναι η ίδια με την εσωτερική αντίσταση της πηγής. Όταν η αντίσταση του φορτίου είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, η ισχύς πέφτει, όπως δείχνει γραφικά η Εικόνα 6-13, που ακολουθεί.

EIKONA 6-13 Καμπύλη που δείχνει ότι η ισχύς στο φορτίο είναι μέγιστη όταν $R_L = R_S$.



ΒΑΣΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ Το Θεώρημα Μέγιστης Μεταφοράς Ισχύος

19. Προσδιορίστε την τιμή ενός αντιστάτη φορτίου, συνδεδεμένου μεταξύ των ακροδεκτών A και B του κυκλώματος του Προβλήματος 16, για να έχουμε μέγιστη μεταφορά ισχύος στον αντιστάτη φορτίου.

Απ.: $R_L = 18 \text{ k}\Omega$

20. Ένα συγκεκριμένο ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin έχει $V_{TH} = 5.5 \text{ V}$ και μια $R_{TH} = 75 \Omega$. Για ποια τιμή του αντιστάτη φορτίου θα μεταφέρεται η μέγιστη ισχύς;

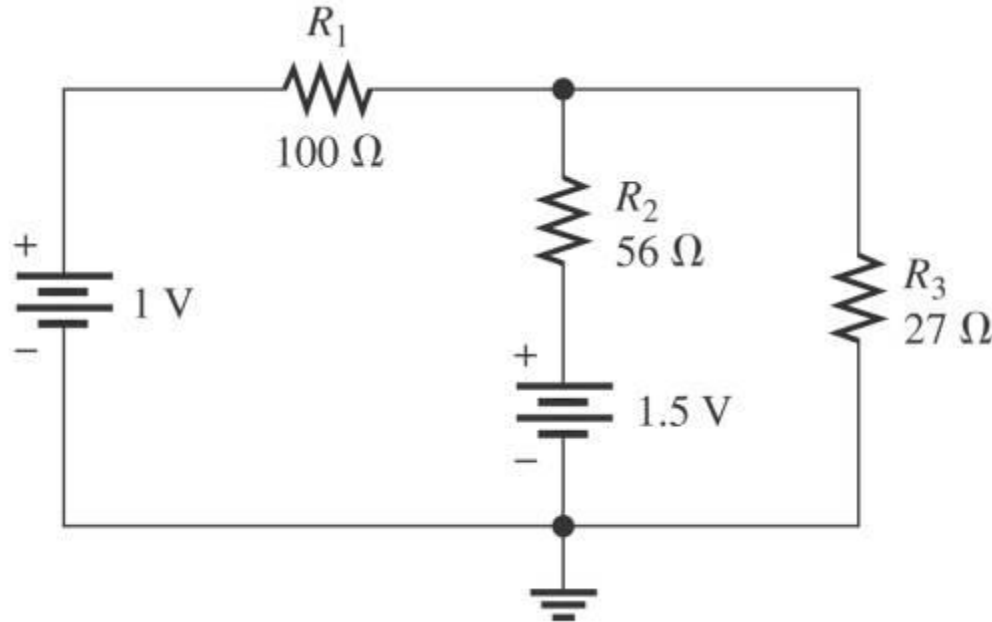
Απ.: 75Ω

21. Προσδιορίστε την τιμή της R_L , στο κύκλωμα (α) του προβλήματος 17, για την οποία η R_L καταναλώνει μέγιστη ισχύ.

Απ.: 73Ω

ΒΑΣΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ Το Θεώρημα της Υπέρθεσης

22. Στην εικόνα παρακάτω, χρησιμοποιείτε το θεώρημα της υπέρθεσης για να βρείτε το ρεύμα μέσω της R_3 .



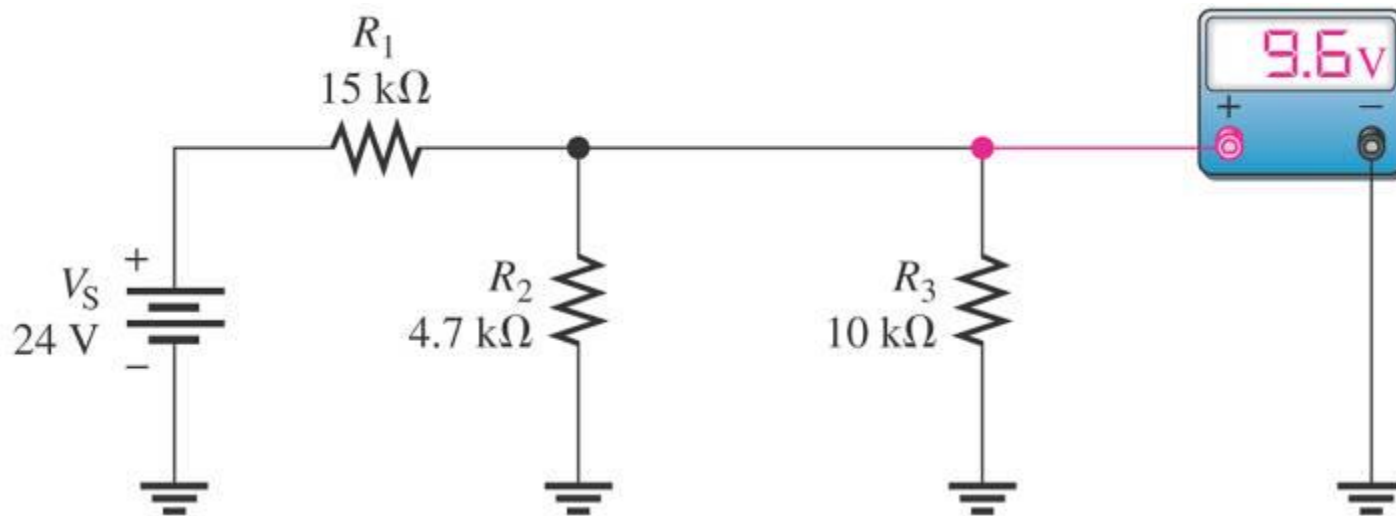
Απ.: 21 mA

23. Στο κύκλωμα του παραπάνω προβλήματος 22, ποιο είναι το ρεύμα μέσω της R_2 ;

Απ.: 16.7 mA με διεύθυνση προς τα πάνω

Εντοπισμός Βλαβών

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6-20 Από την ένδειξη του βολτομέτρου στο κύκλωμα της παρακάτω εικόνας, προσδιορίστε αν υπάρχει σφάλμα στο κύκλωμα. Αν υπάρχει, αναγνωρίστε αν πρόκειται για άνοιγμα ή βραχυκύκλωμα.



Λύση

Πρώτα, προσδιορίζουμε τι θα έπρεπε να δείχνει το βολτόμετρο.

Αφού οι R_2 και R_3 είναι παράλληλες, η συνδυασμένη τους αντίσταση είναι

$$R_{2\parallel 3} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{(4.7\text{ k}\Omega)(10\text{ k}\Omega)}{14.7\text{ k}\Omega} = 3.20\text{ k}\Omega$$

Λύση (συνέχεια)

Η τάση στα άκρα του παράλληλου συνδυασμού βρίσκεται με τον τύπο του διαιρέτη τάσης

$$V_{2\parallel 3} = \left(\frac{R_{2\parallel 3}}{R_1 + R_{2\parallel 3}} \right) V_S = \left(\frac{3.2 \text{ k}\Omega}{18.2 \text{ k}\Omega} \right) 24 \text{ V} = 4.22 \text{ V}$$

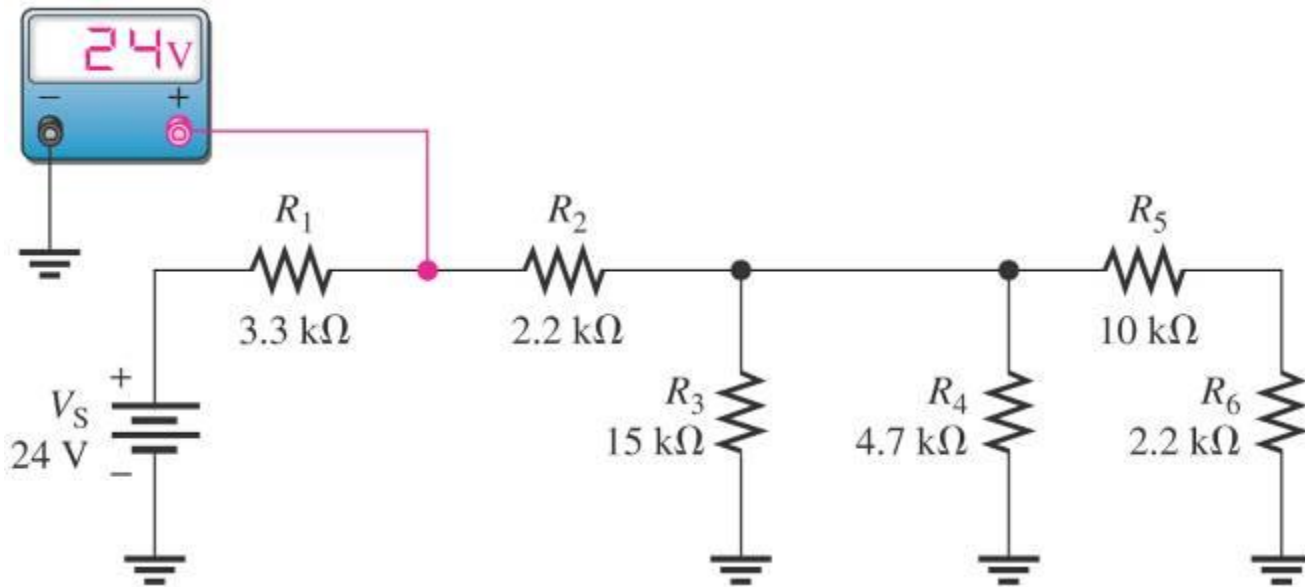
Αυτός ο υπολογισμός δείχνει ότι 4.22 V είναι η ένδειξη τάσης που θα έπρεπε να πάρουμε στο βολτόμετρο. Όμως, το βολτόμετρο διαβάζει 9.6 V στα άκρα της $R_{2\parallel 3}$. Αυτή η ένδειξη δείχνει βλάβη και, επειδή είναι μεγαλύτερη από όσο θα έπρεπε, σημαίνει ότι η R_2 ή η R_3 είναι ανοικτή. Διότι, αν κάποιος από τους δυο αντιστάτες είναι ανοικτός, η αντίσταση μεταξύ των σημείων που συνδέεται το βολτόμετρο είναι μεγαλύτερη από το αναμενόμενο. Μεγαλύτερη αντίσταση σημαίνει και μεγαλύτερη πτώση τάσης.

Προσπαθώντας να βρούμε τον ανοικτό αντιστάτη, υποθέτουμε ότι ο R_2 είναι ανοικτός. Τότε η τάση στα άκρα του R_3 είναι

$$V_3 = \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) V_S = \left(\frac{10 \text{ k}\Omega}{25 \text{ k}\Omega} \right) 24 \text{ V} = 9.6 \text{ V}$$

Αφού η μετρούμενη τάση είναι 9.6 V, ο παραπάνω υπολογισμός δείχνει ότι ο R_2 είναι πιθανότατα ανοικτός.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6-21 Υποθέστε ότι μετράτε 24 V με το βολτόμετρο της παρακάτω εικόνας. Προσδιορίστε αν υπάρχει σφάλμα στο κύκλωμα και αν υπάρχει, αναγνωρίστε το.

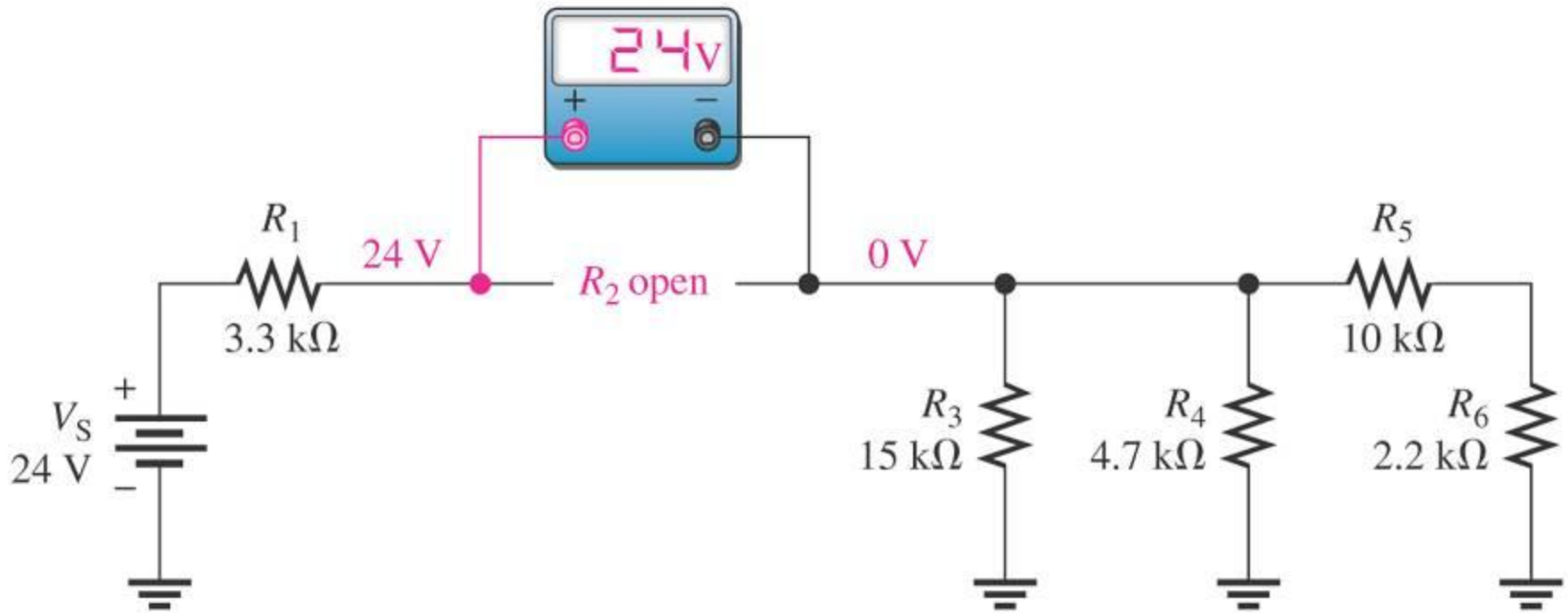


Λύση Δεν υπάρχει πτώση τάσης στον R_1 διότι και τα δύο άκρα του αντιστάτη είναι στο ίδιο δυναμικό +24 V.

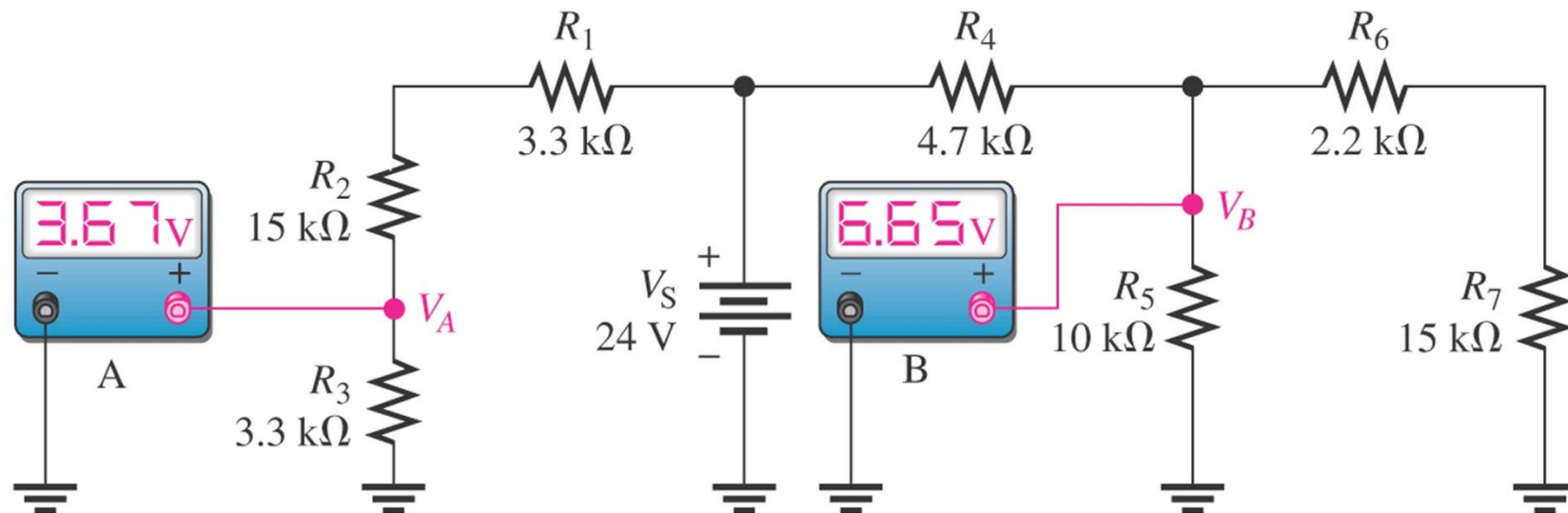
Είτε δεν υπάρχει ρεύμα από την πηγή μέσω της R_1 , που μας λέει ότι ο αντιστάτης R_2 είναι ανοικτός ή ο R_1 είναι βραχυκυκλωμένος.

Η πιο πιθανή βλάβη είναι ο R_2 να είναι ανοικτός. Αν είναι ανοικτός, δεν θα υπάρχει ρεύμα από την πηγή. Για να επιβεβαιώσουμε αυτό, μετράμε στα άκρα του R_2 με το βολτόμετρο. Αν ο R_2 είναι ανοικτός, το όργανο θα δείξει 24 V (η μέτρηση της επόμενης εικόνας επιβεβαιώνει ότι ο R_2 είναι ανοικτός)

Λύση (συνέχεια)



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6-22 Τα δύο βολτόμετρα στην παρακάτω εικόνα δείχνουν τις τάσεις που φαίνονται. Εφαρμόστε λογικές σκέψεις και τις γνώσεις σας από τη λειτουργία των κυκλωμάτων για να προσδιορίσετε αν υπάρχουν ανοικτά σημεία ή βραχυκυκλώματα στο κύκλωμα και, αν ναι, που εντοπίζονται.

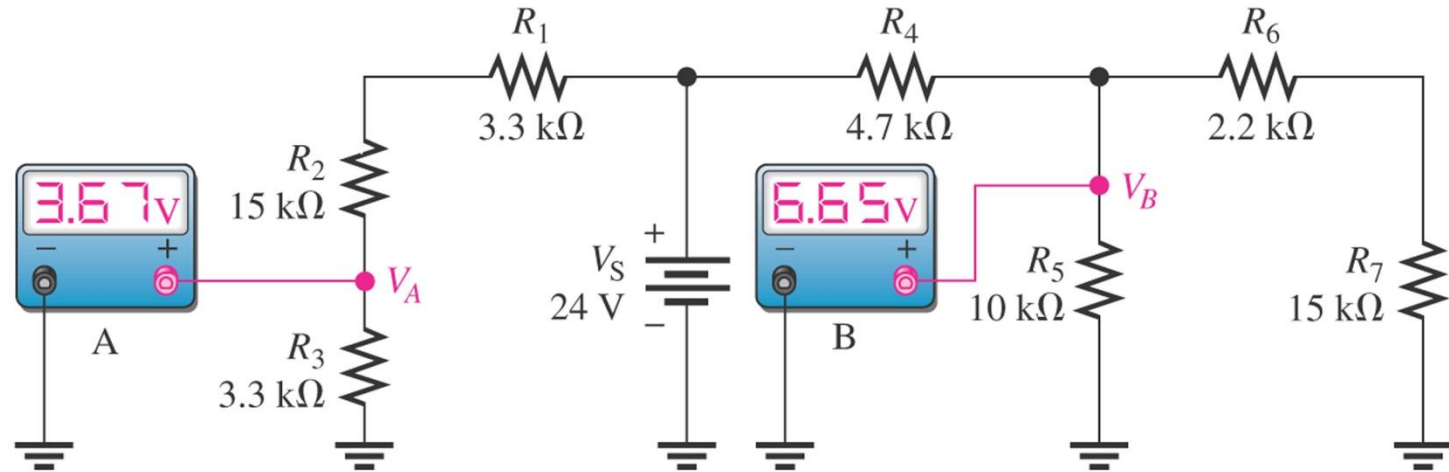


Λύση Πρώτα, προσδιορίζουμε αν οι ενδείξεις τάσης είναι σωστές. Οι R_1 , R_2 και R_3 αποτελούν διαιρέτη τάσης. Η τάση (V_A) στα άκρα του R_3 είναι

$$V_A = \left(\frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \right) V_S = \left(\frac{3.3 \text{ k}\Omega}{21.6 \text{ k}\Omega} \right) 24 \text{ V} = 3.67 \text{ V}$$

Η ένδειξη του βολτομέτρου A είναι σωστή. Επομένως, οι R_1 , R_2 και R_3 είναι εντάξει.

Λύση (συνέχεια)



Τώρα, ας δούμε αν η ένδειξη του βολτομέτρου B είναι σωστή. $R_6 + R_7$ είναι παράλληλα με τον R_5 . Ο σειριακός – παράλληλος συνδυασμός R_5 , R_6 και R_7 είναι σε σειρά με τον R_4 . Η αντίσταση των R_5 , R_6 και R_7 υπολογίζεται ως ακολούθως:

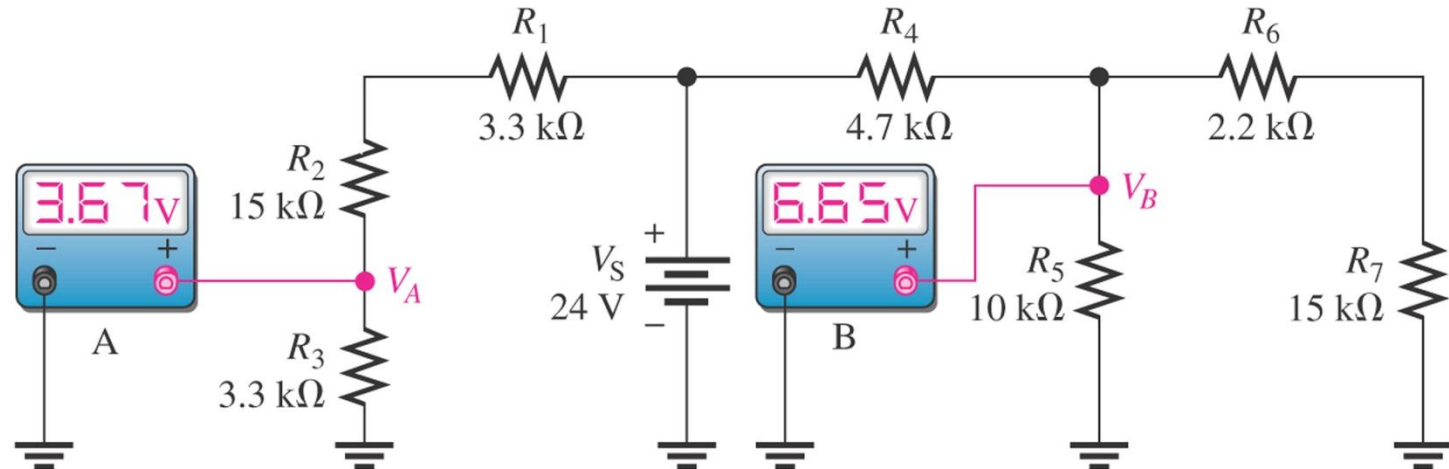
$$R_{5\parallel(6+7)} = \frac{R_5(R_6 + R_7)}{R_5 + R_6 + R_7} = \frac{(10\text{ k}\Omega)(17.2\text{ k}\Omega)}{27.2\text{ k}\Omega} = 6.32\text{ k}\Omega$$

Οι $R_{5\parallel(6+7)}$ και R_4 σχηματίζουν ένα διαιρέτη τάσης και η ένδειξη του βολτομέτρου B μετράει την τάση στα άκρα του $R_{5\parallel(6+7)}$. Είναι

$$V_B = \left(\frac{R_{5\parallel(6+7)}}{R_4 + R_{5\parallel(6+7)}} \right) V_S = \left(\frac{6.32\text{ k}\Omega}{11\text{ k}\Omega} \right) 24\text{ V} = 13.8\text{ V}$$

Έτσι, η πραγματικά μετρούμενη τάση (6.65 V) είναι λανθασμένη.

Λύση (συνέχεια)



Ο R_4 δεν είναι ανοικτός, διότι, αν ήταν, το όργανο θα έδειχνε 0 V. Αν ήταν βραχυκυκλωμένος, το όργανο θα έδειχνε 24 V.

Εφ' όσον η πραγματική τάση είναι πολύ μικρότερη από όσο θα έπρεπε, η αντίσταση $R_{5 \parallel (6+7)}$ πρέπει να είναι μικρότερη από την υπολογισμένη τιμή των 6.32 kΩ.

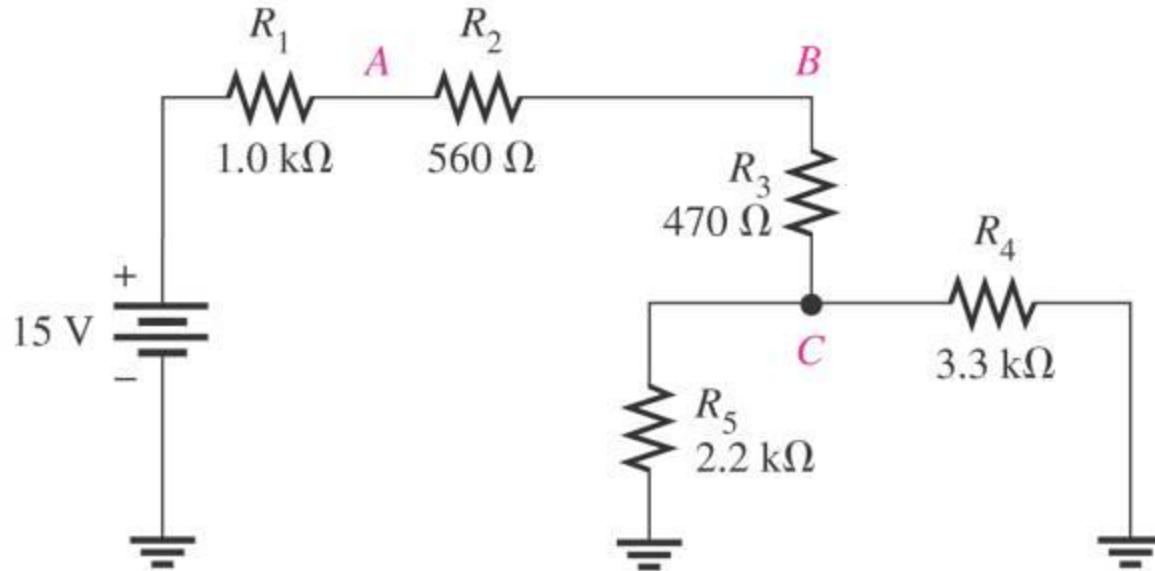
Το πιθανότερο πρόβλημα είναι βραχυκύκλωμα στην R_7 . Αν υπάρχει ένα βραχυκύκλωμα από την κορυφή της R_7 ως τη γείωση, η R_6 είναι ουσιαστικά παράλληλη με την R_5 . Τότε,

$$R_{5 \parallel 6} = \frac{R_5 \cdot R_6}{R_5 + R_6} = \frac{(10 \text{ k}\Omega)(2.2 \text{ k}\Omega)}{12.2 \text{ k}\Omega} = 1.80 \text{ k}\Omega$$

Τότε, η V_B είναι $V_B = \left(\frac{1.80 \text{ k}\Omega}{6.5 \text{ k}\Omega} \right) 24 \text{ V} = 6.65 \text{ V}$ που συμφωνεί με το βολτόμετρο B.

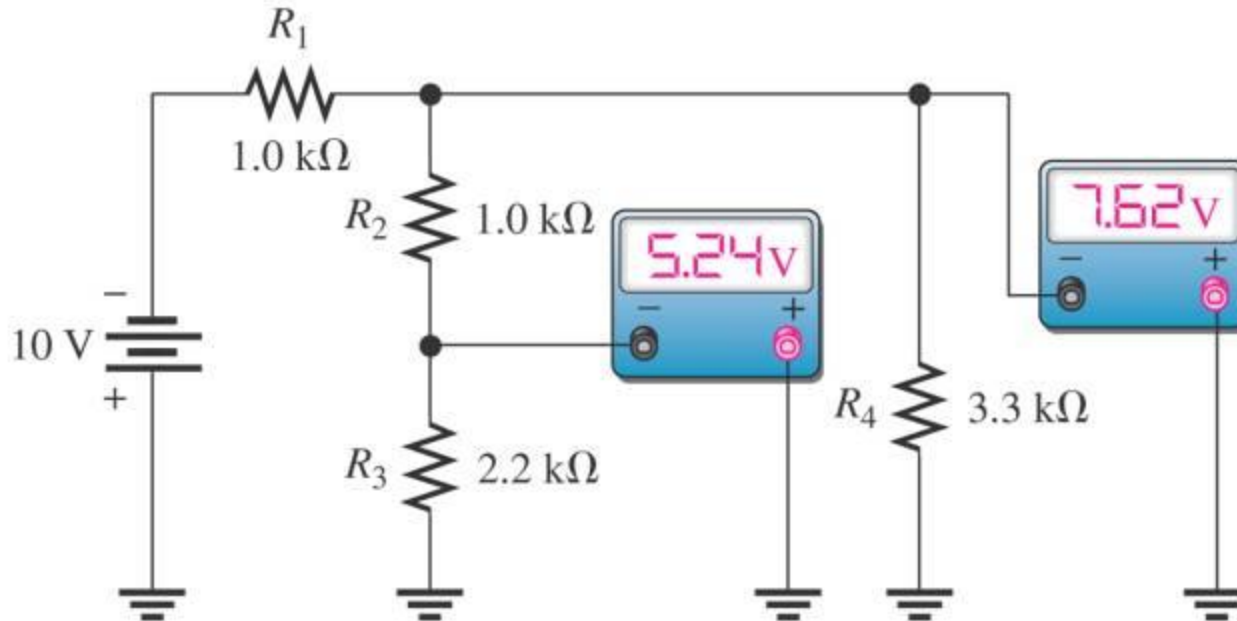
Επομένως, υπάρχει βραχυκύκλωμα στον R_7 .

24. Αν ο αντιστάτης R_2 στην παρακάτω εικόνα καεί (ανοίξει), τι τάση θα μετρηθεί στα σημεία A, B και C;



Απ.: $V_A = 15 \text{ V}$, $V_B = V_C = 0 \text{ V}$

25. Ελέγξτε τις ενδείξεις των οργάνων στην παρακάτω εικόνα και εντοπίστε οποιοδήποτε πρόβλημα μπορεί να υπάρχει.



Απ.: Οι ενδείξεις 7.62 V και 5.24 V είναι λανθασμένες, δείχνοντας ότι ο αντιστάτης των 3.3 k Ω είναι ανοικτός (καμένος).

26. Προσδιορίστε την τάση που θα αναμένατε να μετρήσετε στα άκρα κάθε αντιστάτη του κυκλώματος του προβλήματος 24 για κάθε ένα από τα ακόλουθα σφάλματα. Υποθέστε ότι τα σφάλματα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους.

- (α) ο R_1 ανοικτός (β) ο R_3 ανοικτός (γ) ο R_4 ανοικτός
(δ) ο R_5 ανοικτός (ε) το σημείο C είναι βραχυκυκλωμένο προς τη γείωση

Απ.: (α) $V_{R1} = 15 \text{ V}$, $V_{R2} = V_{R3} = V_{R4} = V_{R5} = 0 \text{ V}$

(β) $V_{R1} = V_{R2} = 0 \text{ V}$, $V_{R3} = 15 \text{ V}$, $V_{R4} = V_{R5} = 0 \text{ V}$

(γ) $V_{R1} = 3.55 \text{ V}$, $V_{R2} = 1.99 \text{ V}$, $V_{R3} = 1.67 \text{ V}$, $V_{R4} = V_{R5} = 7.80 \text{ V}$

(δ) $V_{R1} = 2.81 \text{ V}$, $V_{R2} = 1.58 \text{ V}$, $V_{R3} = 1.32 \text{ V}$, $V_{R4} = V_{R5} = 9.29 \text{ V}$

(ε) $V_{R1} = 7.38 \text{ V}$, $V_{R2} = 4.14 \text{ V}$, $V_{R3} = 3.47 \text{ V}$, $V_{R4} = V_{R5} = 0 \text{ V}$

27. Προσδιορίστε την τάση που θα αναμένατε να μετρήσετε στα άκρα κάθε αντιστάτη στο κύκλωμα του προβλήματος 25 για κάθε ένα από τα ακόλουθα σφάλματα.

(α) ο R_1 ανοικτός (β) ο R_2 ανοικτός (γ) ο R_3 ανοικτός

(δ) ο R_4 είναι βραχυκυκλωμένος

Απ.: (α) $V_{R1} = 10 \text{ V}$, $V_{R2} = V_{R3} = V_{R4} = 0 \text{ V}$

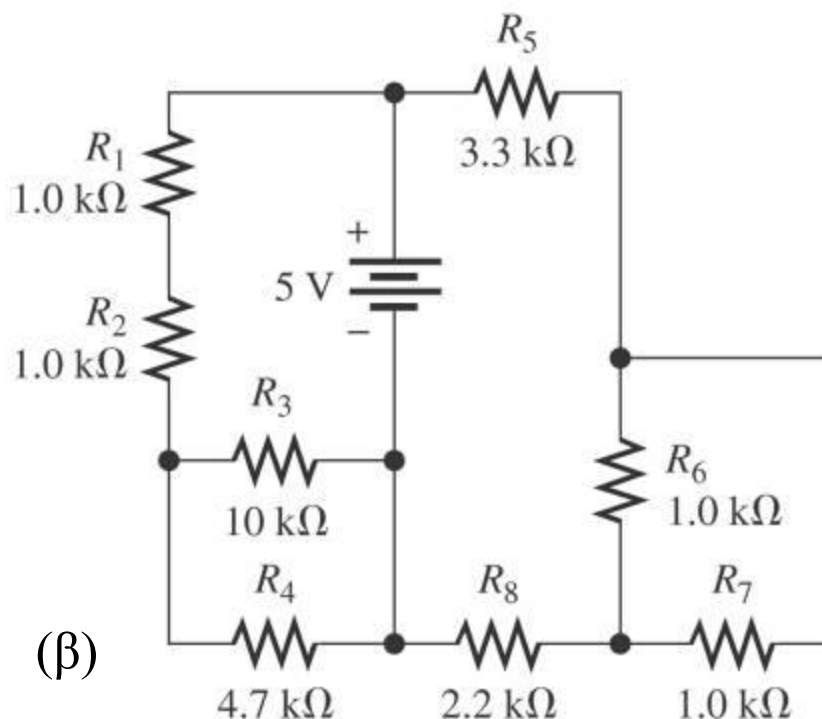
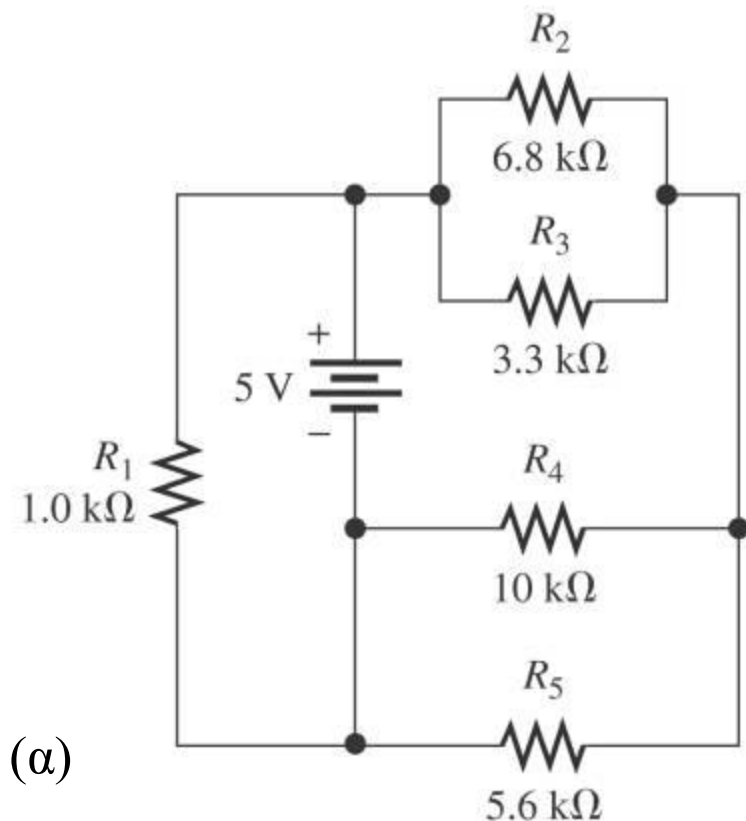
(β) $V_{R1} = 2.33 \text{ V}$, $V_{R2} = 7.67 \text{ V}$, $V_{R3} = 0 \text{ V}$, $V_{R4} = 7.67 \text{ V}$

(γ) $V_{R1} = 2.33 \text{ V}$, $V_{R2} = 0 \text{ V}$, $V_{R3} = 7.67 \text{ V}$, $V_{R4} = 7.67 \text{ V}$

(δ) $V_{R1} = 2.38 \text{ V}$, $V_{R2} = 2.38 \text{ V}$, $V_{R3} = 5.23 \text{ V}$, $V_{R4} = 0 \text{ V}$

ΠΙΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

28. Σε κάθε κύκλωμα της παρακάτω εικόνας, βρείτε τις εν σειρά και παράλληλες σχέσεις των αντιστατών και υπολογίστε την ολική αντίσταση, όπως φαίνεται από την πηγή.

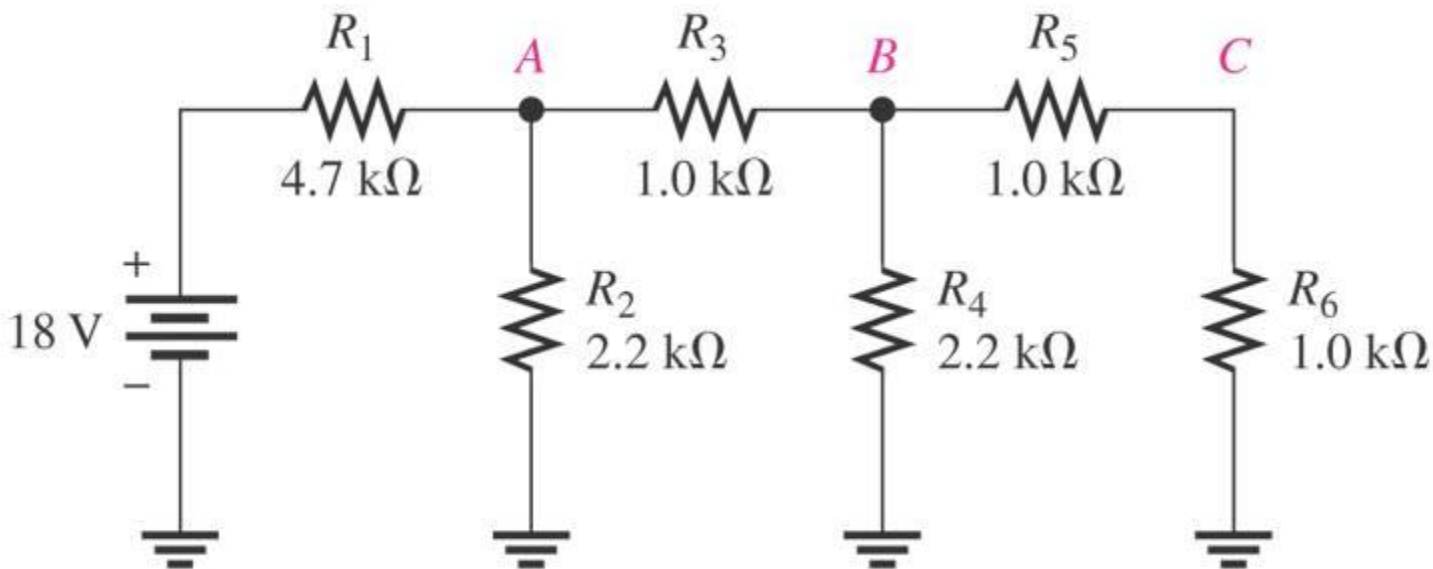


Απ.: (α) $R_T = R_1 \parallel ((R_2 \parallel R_3) + (R_4 \parallel R_5)) = 0.85 \text{ k}\Omega$

(β) $R_T = (R_1 + R_2 + (R_3 \parallel R_4)) \parallel (R_5 + (R_6 \parallel R_7) + R_8) = 2.78 \text{ k}\Omega$

ΠΙΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

29. Προσδιορίστε την ολική αντίσταση και την τάση στα σημεία A, B και C στο κύκλωμα της παρακάτω εικόνας.



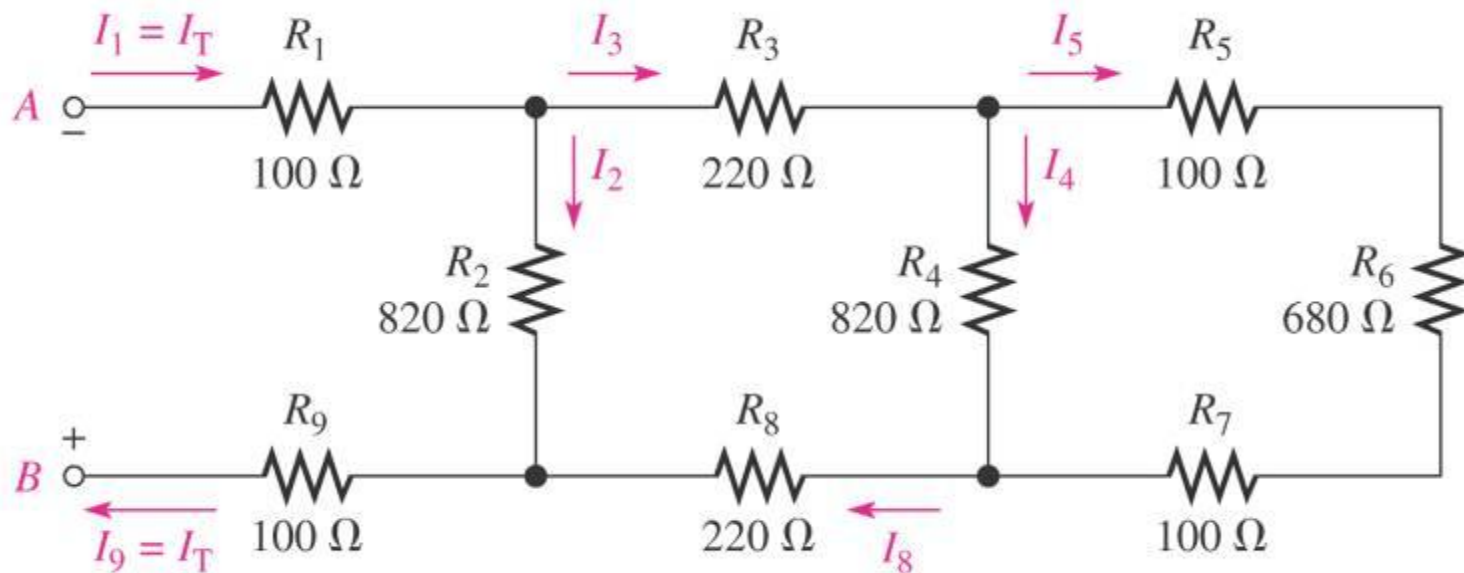
Απ.: (α) $R_T = 5.76 \text{ k}\Omega$, $V_A = 3.3 \text{ V}$, $V_B = 1.7 \text{ V}$, $V_C = 850 \text{ mV}$

ΠΙΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

30. (α) Προσδιορίστε την ολική αντίσταση μεταξύ των ακροδεκτών A και B του κυκλώματος της παρακάτω εικόνας.

(β) Υπολογίστε το ρεύμα σε κάθε κλάδο με 10 V μεταξύ των A και B.

(γ) Ποια είναι η τάση στα άκρα κάθε αντιστάτη;



Απ.:

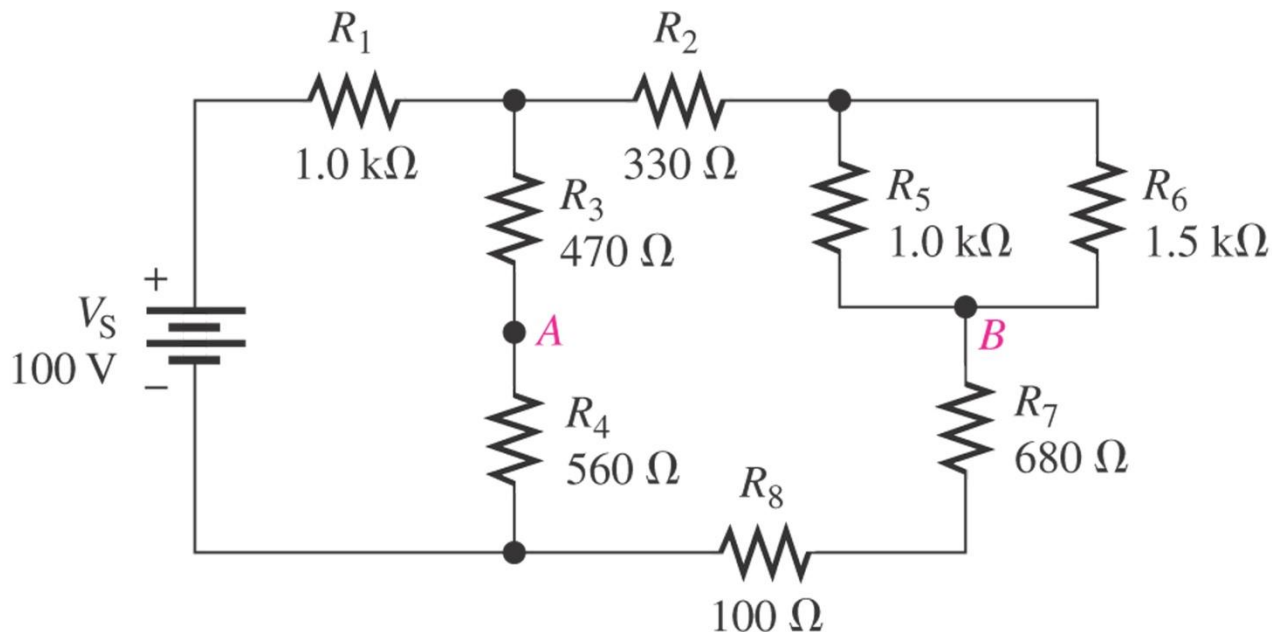
(α) $R_T = R_1 + (R_2 \parallel (R_3 + (R_4 \parallel (R_5 + R_6 + R_7)) + R_8)) + R_9 = 621 \, \Omega$

(β) $I_1 = I_9 = I_T = 16 \, \text{mA}$, $I_2 = 8.3 \, \text{mA}$, $I_3 = I_8 = 7.8 \, \text{mA}$, $I_4 = 4.1 \, \text{mA}$, $I_5 = 3.8 \, \text{mA}$,

(γ) $V_1 = V_9 = 1.61 \, \text{V}$, $V_2 = 6.77 \, \text{V}$, $V_3 = V_8 = 1.72 \, \text{V}$, $V_4 = 3.33 \, \text{V}$, $V_5 = V_7 = 378 \, \text{mV}$, $V_6 = 2.57 \, \text{V}$.

ΠΙΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

31. Προσδιορίστε την τάση V_{AB} στο κύκλωμα της παρακάτω εικόνας.



Λύση

Η ολική αντίσταση του κυκλώματος είναι

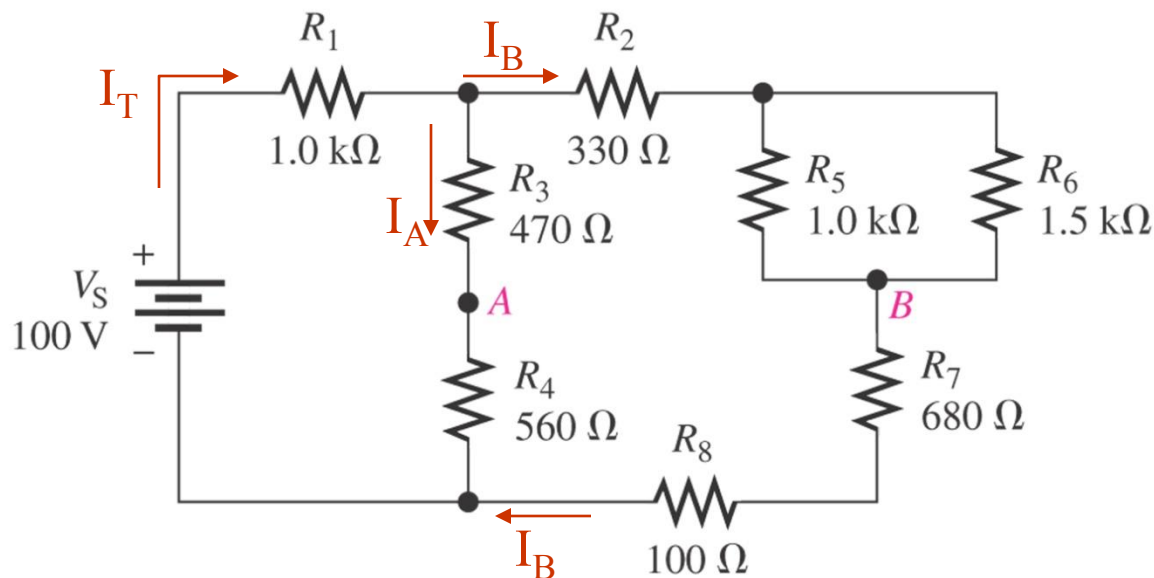
$$R_T = R_1 + ((R_3 + R_4) \parallel (R_2 + (R_5 \parallel R_6) + R_7 + R_8)) = 1643 \, \Omega$$

Το ολικό ρεύμα I_T είναι

$$I_T = \frac{V_S}{R_T} = \frac{100 \, \text{V}}{1643 \, \Omega} \cong 61 \, \text{mA}$$

ΠΙΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Λύση (συνέχεια)



Το ολικό ρεύμα μοιράζεται στα ρεύματα I_A και I_B , όπως φαίνεται στην εικόνα παραπάνω.

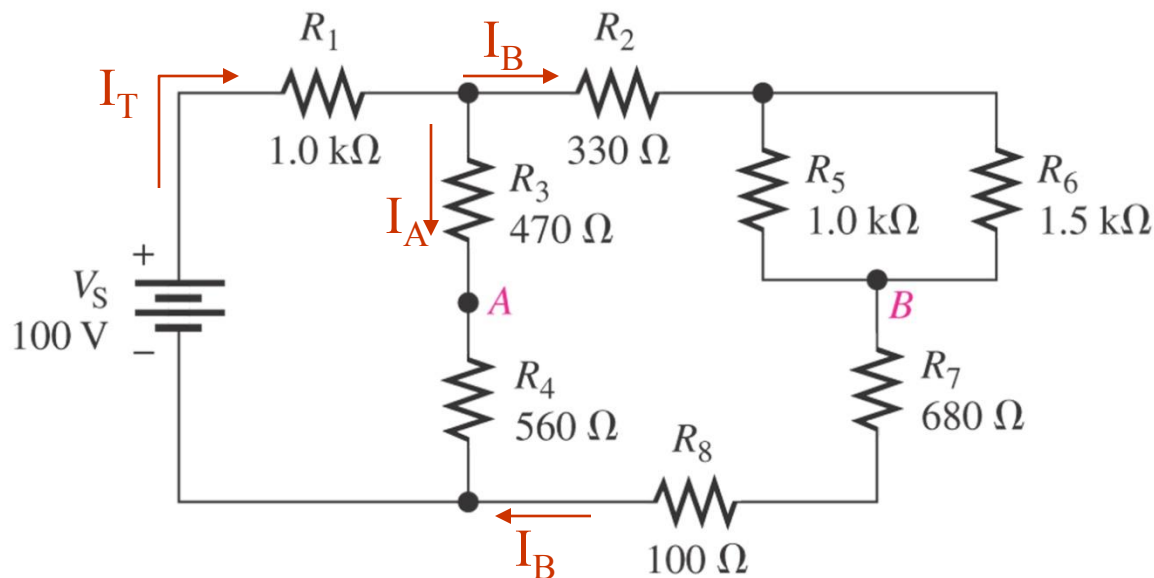
Εφαρμόζοντας το νόμο των τάσεων του Kirchhoff μεταξύ των σημείων A και B, ακολουθώντας το δρόμο μέσω R_4 , R_8 και R_7 έχουμε

$$\begin{aligned} V_{AB} &= V_A - V_B = V_{R4} + V_{R8} + V_{R7} \\ &= -I_A(560 \, \Omega) + I_B(100 \, \Omega) + I_B(680 \, \Omega) \\ &= -I_A(560 \, \Omega) + I_B(780 \, \Omega) \end{aligned}$$

Τα ρεύματα I_A και I_B υπολογίζουμε από το I_T χρησιμοποιώντας τον τύπο του διαιρέτη ρεύματος

ΠΙΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Λύση (συνέχεια)



$$I_A = \left(\frac{R_2 + R_5 \parallel R_6 + R_7 + R_8}{R_3 + R_4 + R_2 + R_5 \parallel R_6 + R_7 + R_8} \right) I_T = \left(\frac{1710 \Omega}{2740 \Omega} \right) (61 \text{ mA}) = 38 \text{ mA}$$

και $I_B = I_T - I_A = 23 \text{ mA}.$

Επομένως,

$$V_{AB} = -I_A(560 \Omega) + I_B(780 \Omega) = -(38 \text{ mA})(560 \Omega) + (23 \text{ mA})(780 \Omega) = -3.34 \text{ V}$$

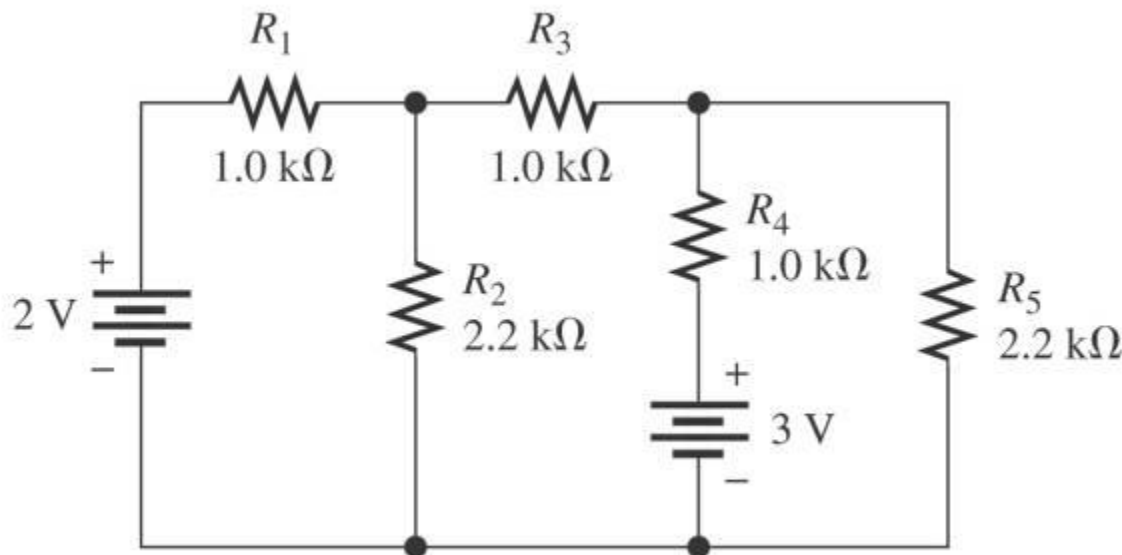
δηλαδή το σημείο A έχει χαμηλότερη τάση 3.34 V από το σημείο B.

ΠΙΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

32. Αναπτύξτε έναν διαιρέτη τάσης, ο οποίος να παρέχει έξοδο 6 V χωρίς φορτίο και ελάχιστη έξοδο 5.5 V με φορτίο 1.0 k Ω . Η πηγή τάσης είναι 24 V και το ρεύμα χωρίς φορτίο δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 100 mA.

Απ.: $R_1 = 180 \Omega$, $R_2 = 60 \Omega$. Έξοδος στα άκρα της R_2 .

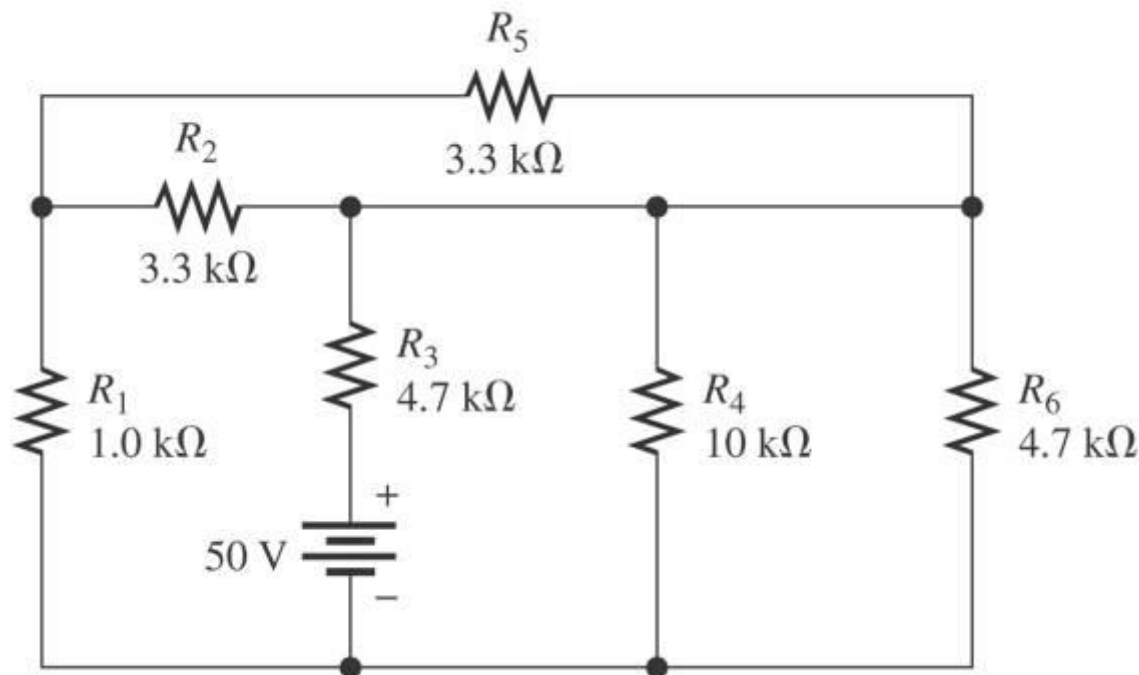
33. Χρησιμοποιώντας το θεώρημα της υπέρθεσης, υπολογίστε το ρεύμα στον κλάδο του R_5 στην παρακάτω εικόνα.



Απ.: 845 μ A

ΠΙΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

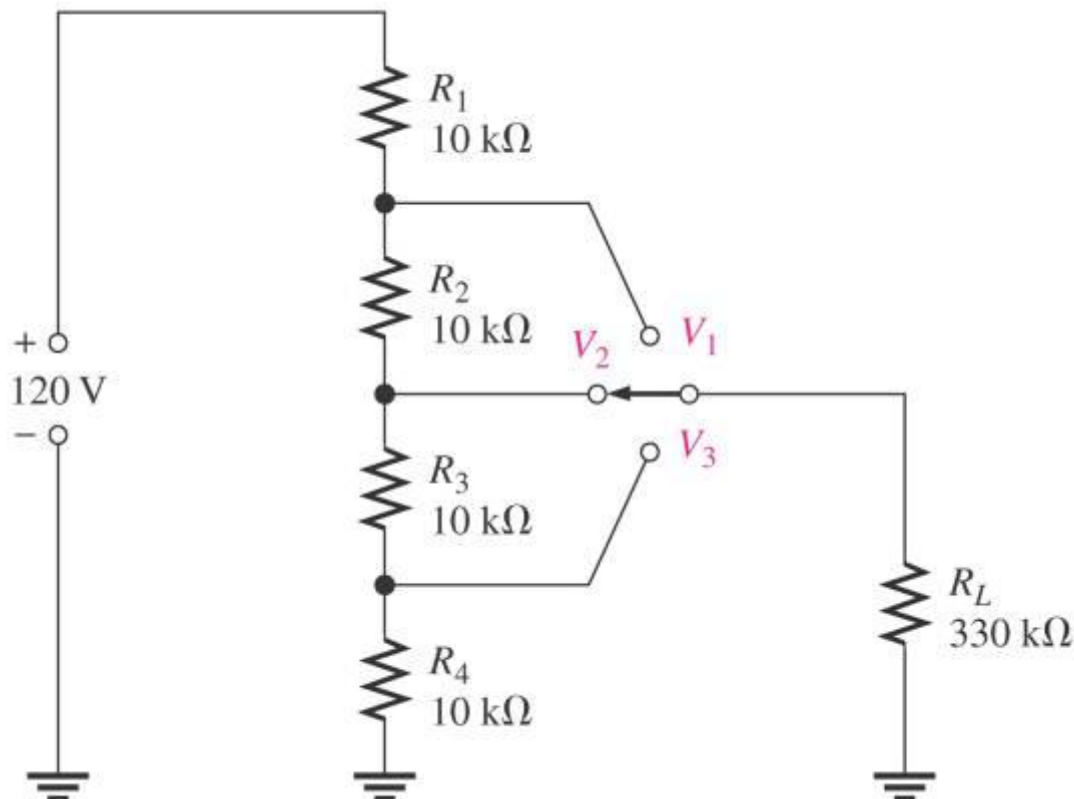
34. Χρησιμοποιώντας το θεώρημα Thevenin, βρείτε την τάση στα άκρα του R_4 στο κύκλωμα της παρακάτω εικόνας.



Απ.: 11.7 V

ΠΙΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

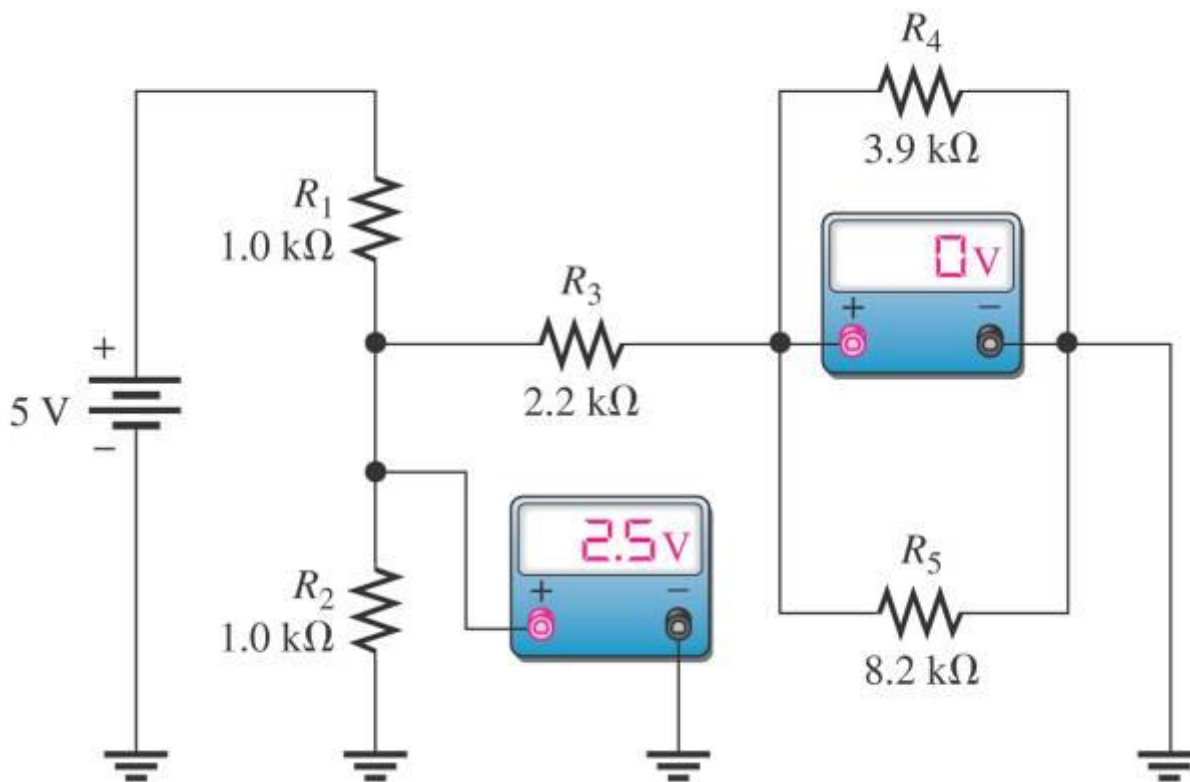
35. Ο διαιρέτης τάσης της παρακάτω εικόνας συνδέεται με το φορτίο μέσω διακόπτη. Προσδιορίστε την τάση κάθε επαφής του διακόπτη (V_1 , V_2 και V_3) για κάθε θέση του διακόπτη.



Απ.: Θέση 1: $V_1 = 88.0$ V, $V_2 = 58.7$ V, $V_3 = 29.3$ V
Θέση 2: $V_1 = 89.1$ V, $V_2 = 58.3$ V, $V_3 = 29.1$ V
Θέση 3: $V_1 = 89.8$ V, $V_2 = 59.6$ V, $V_3 = 29.3$ V

ΠΙΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

36. Υπάρχει ένα σφάλμα στο κύκλωμα της παρακάτω εικόνας. Βασιζόμενοι στις ενδείξεις των δύο βολτομέτρων, προσδιορίστε ποιο είναι το σφάλμα.



Απ.: Ο αντιστάτης 2.2 kΩ είναι ανοικτός.