

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ Ι

Κεφάλαιο 4

Τεχνικές ανάλυσης κυκλωμάτων

Μέρος Α

- Τοπολογία ηλεκτρικών κυκλωμάτων
- Σχηματισμός των εξισώσεων για επίλυση κυκλώματος
- Η μέθοδος κόμβων
- Η μέθοδος κόμβων με εξαρτημένες πηγές
- Ειδικές περιπτώσεις της μεθόδου κόμβων

Μέρος Β

- Η μέθοδος βρόχων
- Η μέθοδος βρόχων με εξαρτημένες πηγές
- Ειδικές περιπτώσεις της μεθόδου βρόχων

Μέρος Γ

- Μετασχηματισμοί πηγών
- Ισοδύναμα κυκλώματα Thevenin και Norton
- Μέγιστη μεταφορά ισχύος
- Επαλληλία

Μέρος Α

- Τοπολογία ηλεκτρικών κυκλωμάτων
- Σχηματισμός των εξισώσεων για επίλυση κυκλώματος
- Η μέθοδος κόμβων
- Η μέθοδος κόμβων με εξαρτημένες πηγές
- Ειδικές περιπτώσεις της μεθόδου κόμβων

Τοπολογία ηλεκτρικών κυκλωμάτων

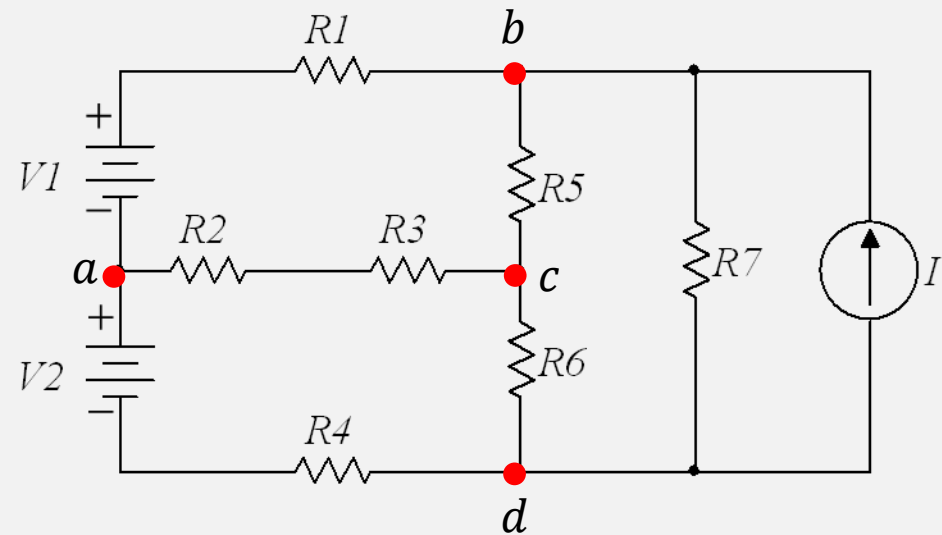
Μια αναδρομή στη σχετική ορολογία (από Κεφ. 2)

Κόμβος (node): σημείο του κυκλώματος στο οποίο ενώνονται (συντρέχουν) τρία ή περισσότερα στοιχεία (πηγές ή αντιστάσεις)

Παράδειγμα 4.1

Το κύκλωμα της *Εικ. (α)* έχει 4 κόμβους

1. Κόμβος *a*: ενώνονται οι πηγές $V1$, $V2$ και η αντίσταση $R2$
2. Κόμβος *b*: ενώνονται οι αντιστάσεις $R1$, $R5$, $R7$ και η πηγή ρεύματος I
3. Κόμβος *c*: ενώνονται οι αντιστάσεις $R5$, $R3$ και $R6$
4. Κόμβος *d*: ενώνονται οι αντιστάσεις $R4$, $R6$, $R7$ και η πηγή ρεύματος I



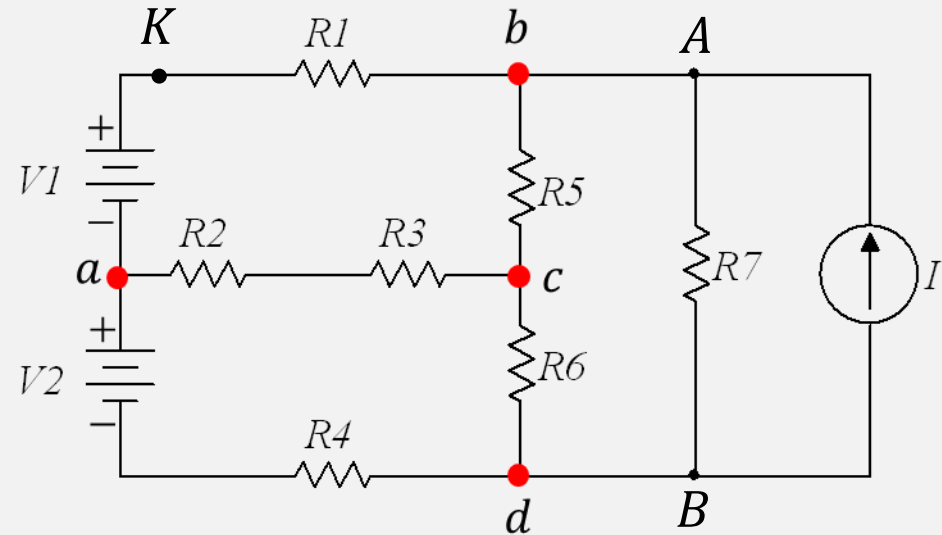
(α)

(συνεχίζεται ...)

(... συνέχεια)

Παρατηρήσεις

- Οι κόμβοι a, b, c και d ονομάζονται και **θεμελιώδεις** κόμβοι
- Σημεία, όπως το K στο οποίο ενώνονται δύο μόνο στοιχεία (τα $V1$ και $R1$), δεν θα τα εννοούμε σαν κόμβους
- Τα σημεία A και B δεν είναι ξεχωριστοί κόμβοι, συμπίπτουν με τους κόμβους b και d , αντίστοιχα.



(α)

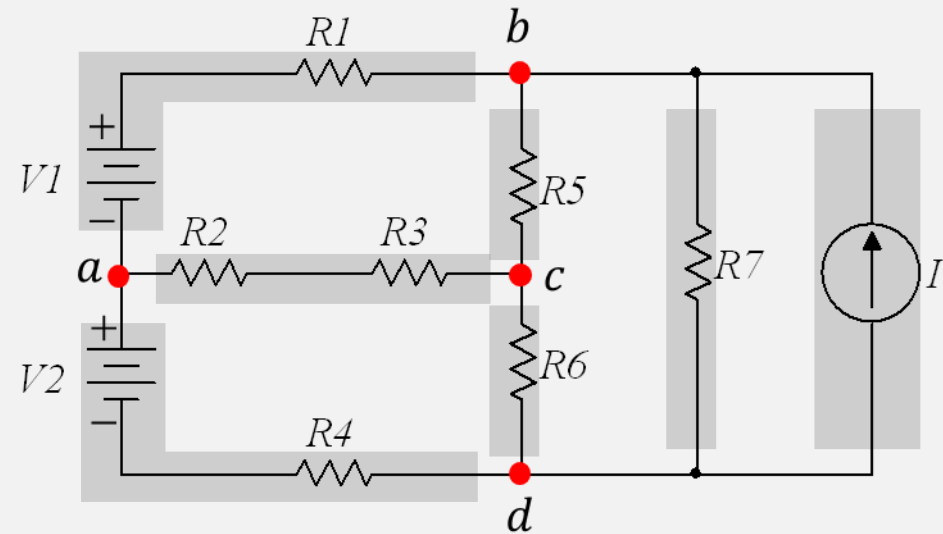
Τοπολογία ηλεκτρικών κυκλωμάτων - Μια αναδρομή στη σχετική ορολογία (από Κεφ. 2)

Κλάδος (branch): διαδρομή του κυκλώματος μεταξύ δύο διαδοχικών κόμβων

Παράδειγμα 4.2

Το κύκλωμα της *Εικ. (α)* έχει 7 κλάδους

1. Κλάδος $V1-R1$ (μεταξύ κόμβων a και b)
2. Κλάδος $R2-R3$ (μεταξύ a και c)
3. Κλάδος $V2-R4$ (μεταξύ a και d)
4. Κλάδος $R5$ (μεταξύ b και c)
5. Κλάδος $R6$ (μεταξύ c και d)
6. Κλάδος $R7$ (μεταξύ b και d)
7. Κλάδος της πηγής ρεύματος I (κόμβων b και d)



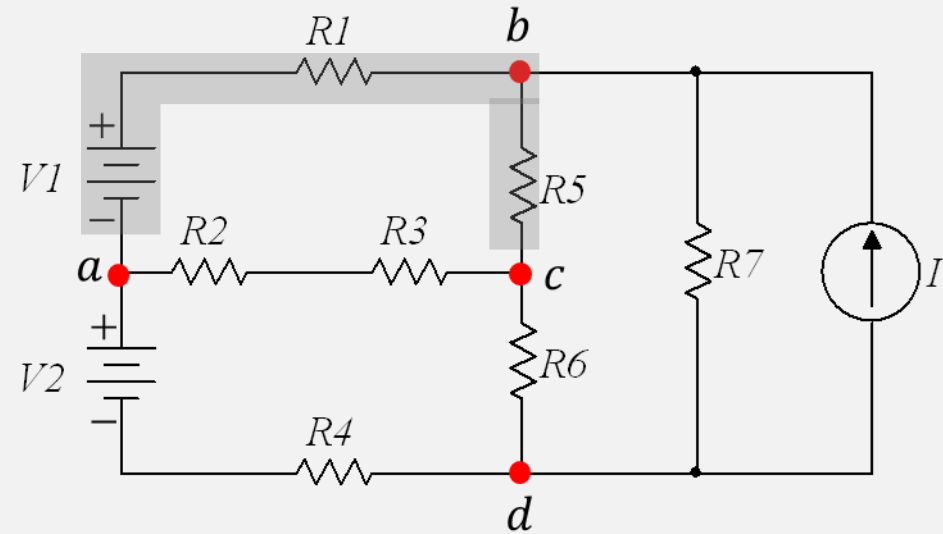
(α)

(συνεχίζεται ...)

(... συνέχεια)

Παρατηρήσεις

1. Οι 7 κλάδοι του κυκλώματος της εικ. (α) ονομάζονται και **θεμελιώδεις κλάδοι**
2. Κάθε διαδρομή που συνδέει δύο κόμβους και περιλαμβάνει άλλον κόμβο, όπως a, b, c , δεν θα τη θεωρούμε σαν κλάδο.
3. Όλα τα στοιχεία ενός κλάδου διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα (είναι σε σειρά).



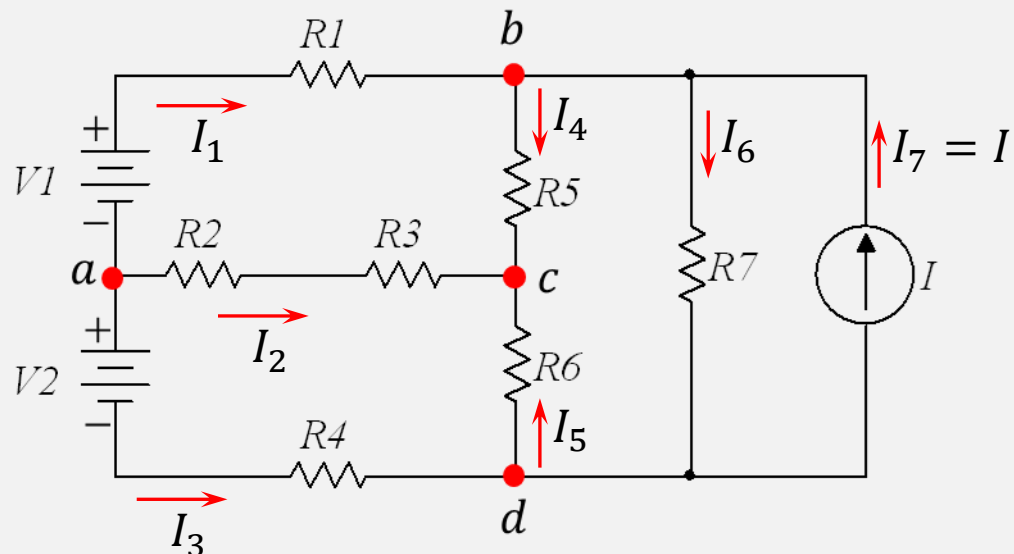
(α)

(συνεχίζεται ...)

(... συνέχεια)

Παρατηρήσεις

4. Υπάρχουν τόσα ρεύματα σε ένα κύκλωμα όσα και οι κλάδοι του.



(α)

Υπενθύμιση: Εκτός αν μας δίνεται, τη φορά του ρεύματος σε κάθε κλάδο σημειώνουμε αυθαίρετα.

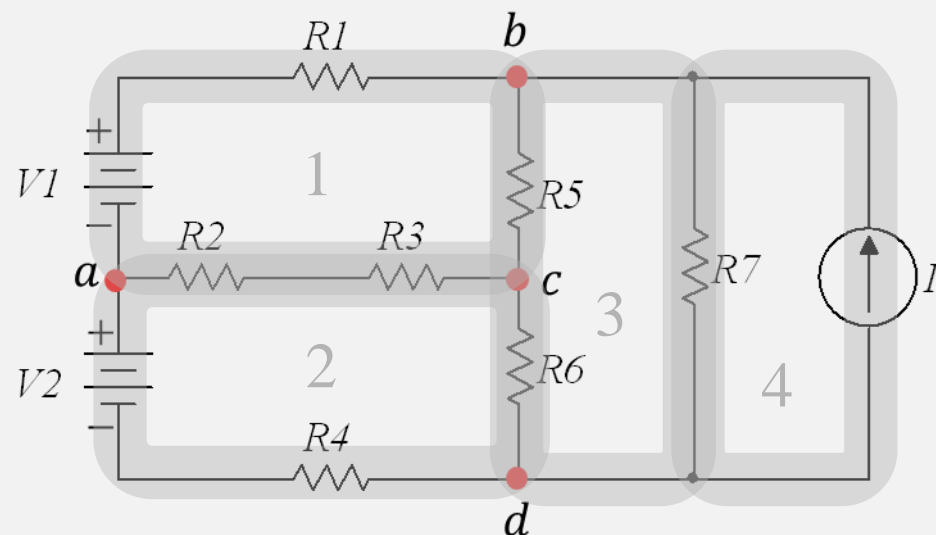
Τοπολογία ηλεκτρικών κυκλωμάτων - Μια αναδρομή στη σχετική ορολογία (από Κεφ. 2)

Βρόχος (mesh): κάθε διαδρομή με ίδιο αρχικό και τελικό κόμβο

- Διακρίνονται σε ελάχιστους ή απλούς και σε μη-ελάχιστους (περικλείουν άλλο βρόχο)

Παράδειγμα 4.3

Το κύκλωμα της *Εικ. (α)* έχει 4 (ελάχιστους) βρόχους



(α)

1. Βρόχος 1: περιλαμβάνει τα στοιχεία $V1 - R1 - R5 - R3 - R2$
2. Βρόχος 2: περιλαμβάνει τα στοιχεία $R2 - R3 - R6 - R4 - V2$
3. Βρόχος 3: περιλαμβάνει τα στοιχεία $R7 - R6 - R5$
4. Βρόχος 4: περιλαμβάνει τα στοιχεία $R7 - I$

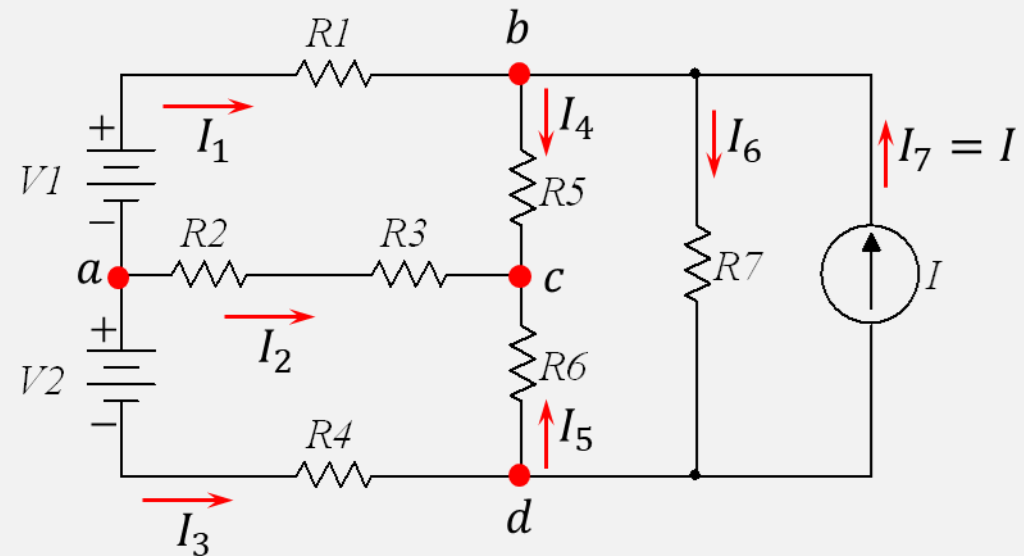
Πόσες εξισώσεις χρειαζόμαστε για να λύσουμε ένα κύκλωμα;

- Ο αριθμός των εξισώσεων ισούται με τον αριθμό των άγνωστων ρευμάτων
- Υπάρχουν τόσα ρεύματα σε ένα κύκλωμα όσα και οι κλάδοι του
- Επομένως, ο αριθμός των εξισώσεων ισούται με τον αριθμό των κλάδων των οποίων δεν γνωρίζουμε το ρεύμα

Παράδειγμα 4.4

Για την επίλυση του κυκλώματος της εικ. (α) χρειαζόμαστε 6 εξισώσεις

Υπάρχουν 7 ρεύματα αλλά μόνο τα 6 είναι άγνωστα ($I_7 = I$)



(α)

Σχηματισμός των εξισώσεων για επίλυση κυκλώματος

- Για ένα κύκλωμα b κλάδων με άγνωστα ρεύματα χρειαζόμαστε b ανεξάρτητες εξισώσεις
- Αν το κύκλωμα διαθέτει n κόμβους, μπορούμε να πάρουμε $n - 1$ ανεξάρτητες εξισώσεις γράφοντας το νόμο ρευμάτων του Kirchhoff για $n - 1$ κόμβους
- Εξίσωση για τον $n - \text{οστό}$ κόμβο είναι γραμμικά μη-ανεξάρτητη
- Τις υπόλοιπες $b - (n - 1)$ εξισώσεις μπορούμε να πάρουμε γράφοντας το νόμο τάσεων του Kirchhoff για $b - (n - 1)$ βρόχους
- Σε ένα κύκλωμα μπορούμε να γράψουμε τόσες το πολύ ανεξάρτητες εξισώσεις από το νόμο τάσεων του Kirchhoff όσος είναι και ο αριθμός των απλών ή ελάχιστων βρόχων του.

Παράδειγμα 4.5

Γράψτε το σύστημα εξισώσεων για τον υπολογισμό των ρευμάτων I_1, I_2, \dots, I_6 των κλάδων του κυκλώματος της εικ. (α).

Απάντηση

Για τα 6 άγνωστα ρεύματα χρειαζόμαστε 6 ανεξάρτητες εξισώσεις.

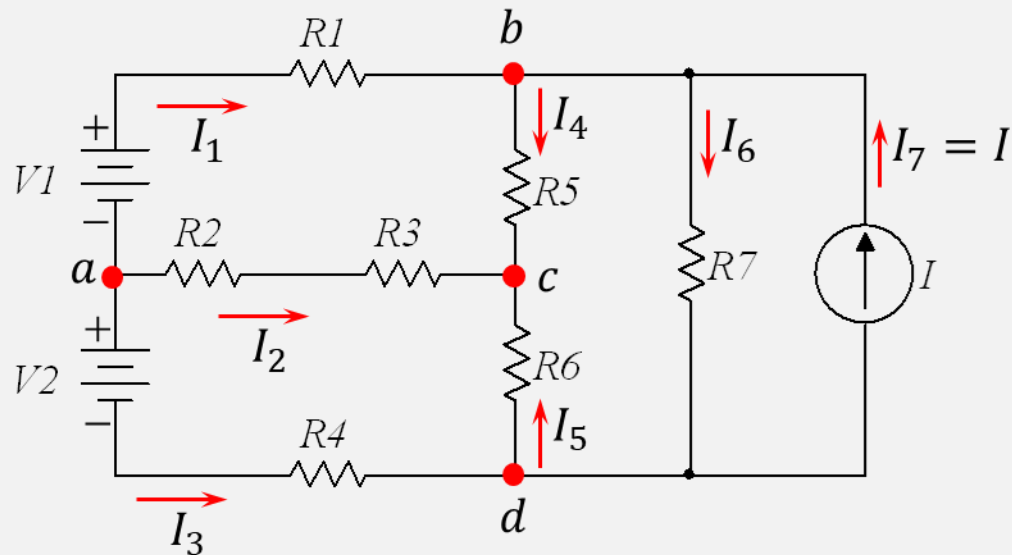
Το κύκλωμα διαθέτει 4 κόμβους, a, b, c, d .

Γράφοντας το νόμο ρευμάτων Kirchhoff για 3 κόμβους, έχουμε 3 εξισώσεις:

$$\text{Κόμβος } a: \quad I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad (1)$$

$$\text{Κόμβος } b: \quad I_1 - I_4 - I_6 + I = 0 \quad (2)$$

$$\text{Κόμβος } c: \quad I_2 + I_4 + I_5 = 0 \quad (3)$$



(α)

(συνεχίζεται ...)

Απάντηση (... συνέχεια)

Το κύκλωμα διαθέτει επίσης 4 ελάχιστους βρόχους.

Τις υπόλοιπες 3 εξισώσεις παίρνουμε γράφοντας το νόμο τάσεων Kirchhoff για 3 από τους βρόχους.

Προσέξτε τις πολικότητες των πτώσεων τάσης στις αντιστάσεις.

Για το βρόχο $V1 - R1 - R5 - R3 - R2$:

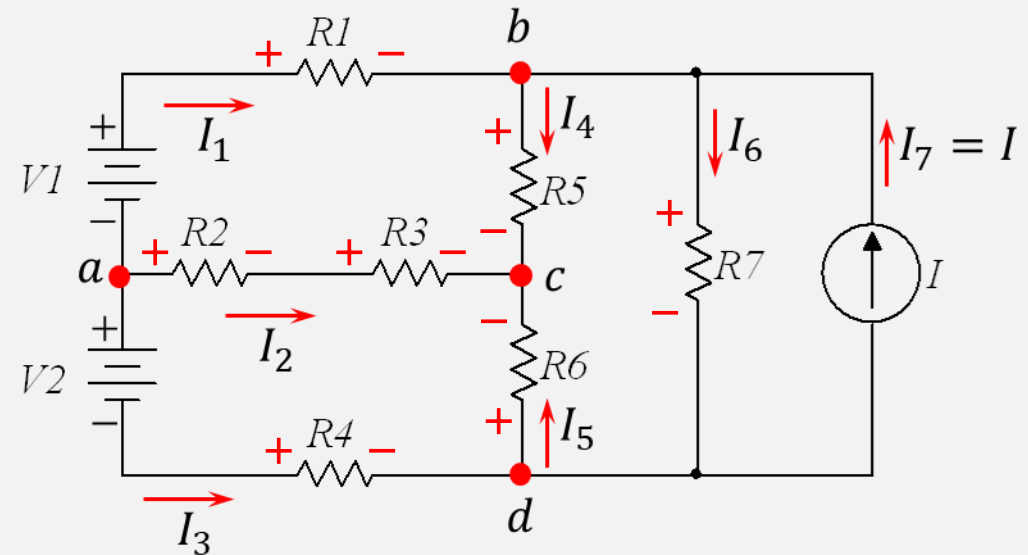
$$V1 - I_1 \cdot R1 - I_4 \cdot R5 + I_2 \cdot R3 + I_2 \cdot R2 = 0 \quad (4)$$

Για το βρόχο $R2 - R3 - R6 - R4 - V2$:

$$V2 - I_2 \cdot R2 - I_2 \cdot R3 + I_5 \cdot R6 + I_3 \cdot R4 = 0 \quad (5)$$

Για το βρόχο $R7 - R6 - R5$:

$$-I_5 \cdot R6 + I_4 \cdot R5 - I_6 \cdot R7 = 0 \quad (6)$$



(α)

(συνεχίζεται ...)

Απάντηση (... συνέχεια)

Συνολικά, για τα 6 άγνωστα ρεύματα του κυκλώματος της εικόνας (α) έχουμε τις 6 εξισώσεις:

- $I_1 + I_2 + I_3 = 0$ (1)

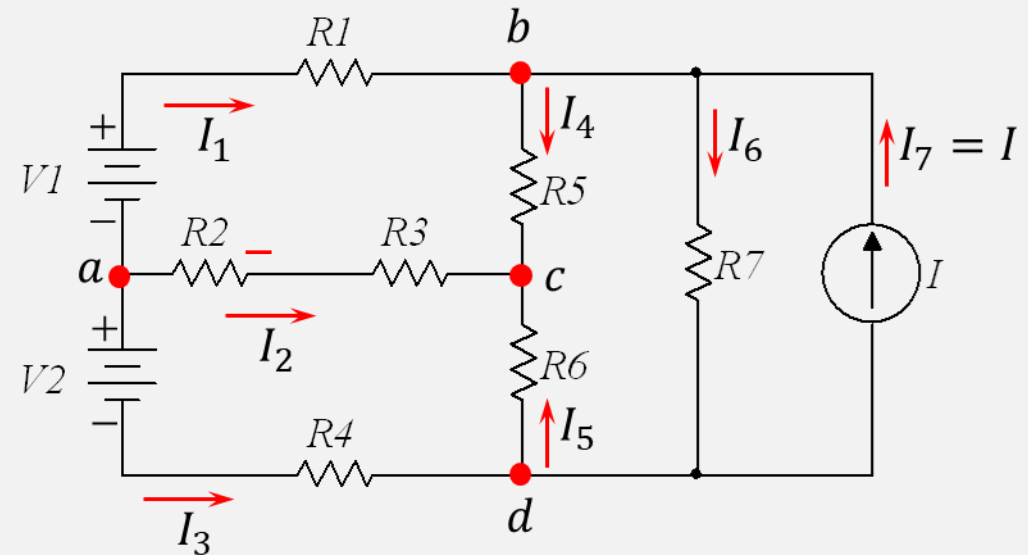
- $I_1 - I_4 - I_6 + I = 0$ (2)

- $I_2 + I_4 + I_5 = 0$ (3)

- $V1 - I_1 \cdot R1 - I_4 \cdot R5 + I_2 \cdot R3 + I_2 \cdot R2 = 0$ (4)

- $V2 - I_2 \cdot R2 - I_2 \cdot R3 + I_5 \cdot R6 + I_3 \cdot R4 = 0$ (5)

- $-I_5 \cdot R6 + I_4 \cdot R5 - I_6 \cdot R7 = 0$ (6)



(α)

Παρατηρήσεις από την εφαρμογή των κανόνων Kirchhoff στον υπολογισμό των ρευμάτων των κλάδων

- Η χρήση των ρευμάτων των κλάδων συνιστά συστηματική μέθοδο επίλυσης κυκλωμάτων, αλλά, συνήθως, οδηγεί σε μεγάλο αριθμό εξισώσεων
- Αριθμός εξισώσεων = Αριθμός κλάδων κυκλώματος
- Για πρακτικούς λόγους, μπορούμε να εισάγουμε νέες μεταβλητές που οδηγούν στη λύση του κυκλώματος με μικρότερο αριθμό εξισώσεων
- Οι νέες αυτές μεταβλητές μπορεί να είναι:
 1. οι τάσεις των $n - 1$ ανεξάρτητων κόμβων
 2. τα ρεύματα των $b - (n - 1)$ απλών βρόχων
- Από την περιορισμένη αυτή ομάδα μεταβλητών, μπορούμε στη συνέχεια να βρούμε τα ρεύματα όλων των κλάδων του κυκλώματος με το νόμο του Ohm .

Η μέθοδος των τάσεων κόμβων

(Node-Voltage
Method)

- Χρησιμοποιεί για αγνώστους τις τάσεις των κόμβων
- Οδηγεί στο μικρότερο αριθμό εξισώσεων, $n - 1$

n το πλήθος των κόμβων του κυκλώματος

Η μέθοδος των τάσεων κόμβων – Τα βήματα

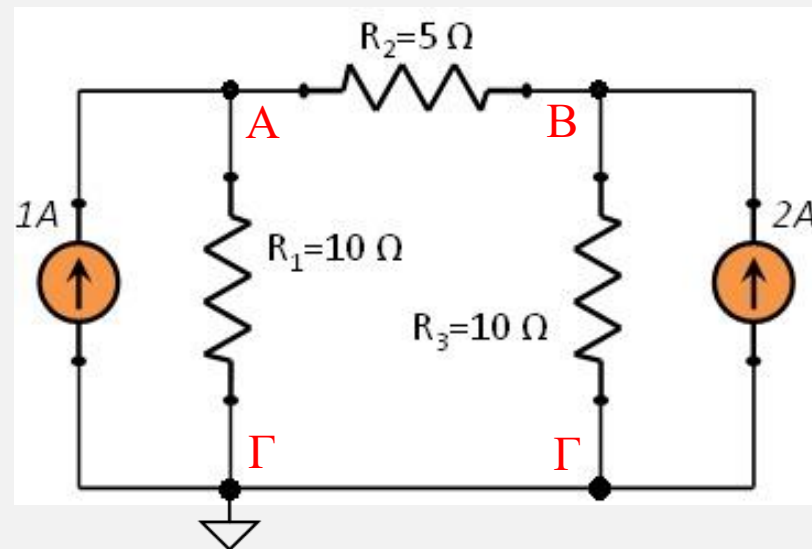
Βήμα 1^ο: Σημειώνουμε τους κόμβους στο κύκλωμα

Π.χ., *Εικ. (α)*: Α, Β και Γ

Βήμα 2^ο: Ορίζουμε έναν από αυτούς σαν **κόμβο αναφοράς** και τον σημειώνουμε με το σύμβολο της ψηφιακής γείωσης (∇)

Π.χ., *Εικ. (α)*: Κόμβος Γ

- Η επιλογή του κόμβου αναφοράς είναι αυθαίρετη
- Μια καλή επιλογή είναι ο κόμβος με τους περισσότερους κλάδους



(α)

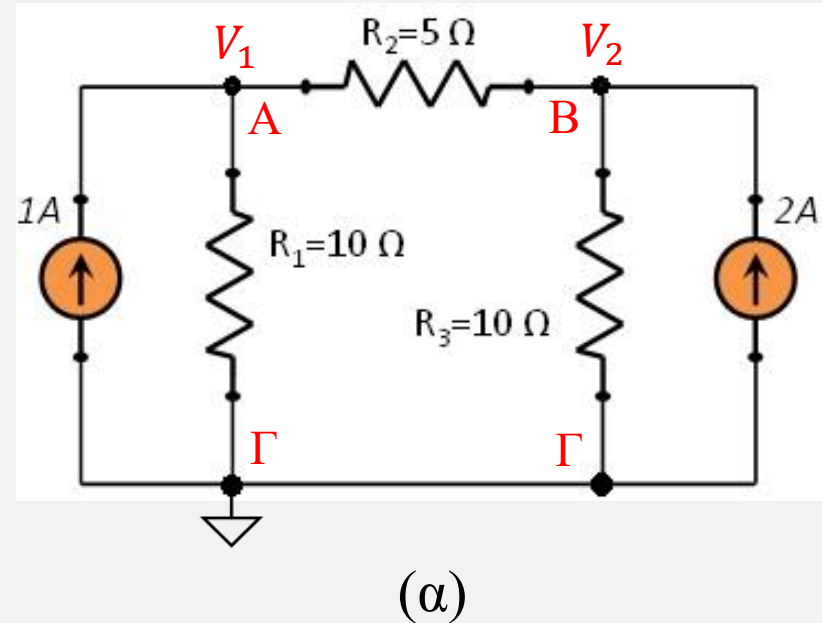
(συνεχίζεται...)

Η μέθοδος των τάσεων κόμβων – Τα βήματα (... συνέχεια)

Βήμα 3^ο: Ορίζουμε σαν αγνώστους τις τάσεις των υπολοίπων $n - 1$ κόμβων ($n =$ πλήθος κόμβων κυκλώματος)

Π.χ., εικ. (α) , V_1 και V_2

- Ως τάση ενός κόμβου ορίζεται η διαφορά δυναμικού του (τάση) ως προς τον κόμβο αναφοράς



Η μέθοδος των τάσεων κόμβων – Τα βήματα (... συνέχεια)

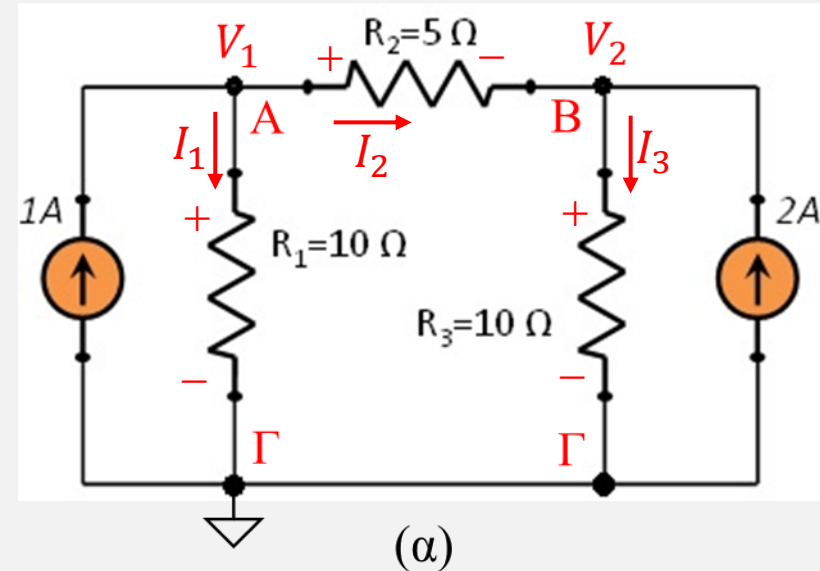
Βήμα 4^ο: Σημειώνουμε το ρεύμα σε κάθε κλάδο

και φτιάχνουμε τις εξισώσεις των $n - 1$ κόμβων χρησιμοποιώντας το νόμο των ρευμάτων του Kirchhoff.

Π.χ., *εικ. (α)*

– κόμβος A: $I_1 + I_2 - 1 = 0$

– κόμβος B: $-I_2 + I_3 - 2 = 0$



Εκφράζουμε τις $n - 1$ εξισώσεις ρευμάτων συναρτήσει των $n - 1$ τάσεων των κόμβων χρησιμοποιώντας τον νόμο του Ohm για κάθε ρεύμα (προσέξτε την πολικότητα της πτώσης τάσης στις αντιστάσεις)

Π.χ., *εικ. (α)*: Για τον κόμβο A: $\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_1 - V_2}{R_2} - 1 = 0$

$$\frac{V_1}{10} + \frac{V_1 - V_2}{5} - 1 = 0 \Rightarrow 3 \cdot V_1 - 2 \cdot V_2 = 10 \quad (\text{συνεχίζεται...})$$

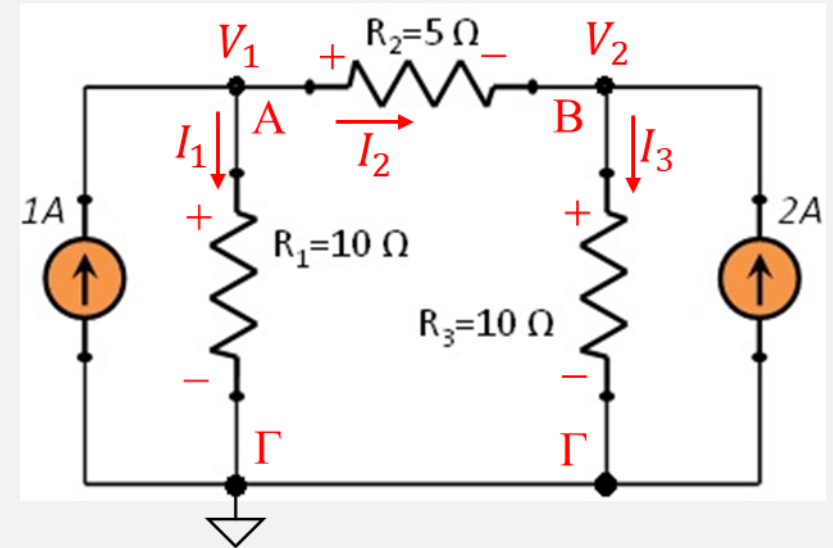
Η μέθοδος των τάσεων κόμβων – Τα βήματα (... συνέχεια)

Για τον κομβο Β: $-I_2 + I_3 - 2 = 0$

$$-\frac{V_1 - V_2}{R_2} + \frac{V_2}{R_3} - 2 = 0$$

$$-\frac{V_1 - V_2}{5} + \frac{V_2}{10} - 2 = 0$$

$$2 \cdot V_1 - 3 \cdot V_2 = -20$$



Βήμα 5^ο: Λύνουμε το σύστημα των $n - 1$ εξισώσεων ως προς τις άγνωστες τάσεις V_1 και V_2 των κόμβων

Π.χ., *εικ. (α)*

$$\left. \begin{array}{l} 3 \cdot V_1 - 2 \cdot V_2 = 10 \\ 2 \cdot V_1 - 3 \cdot V_2 = -20 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} V_1 = \frac{\begin{vmatrix} 10 & -2 \\ -20 & -3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 3 & -2 \\ 2 & -3 \end{vmatrix}} = 14 \text{ V} \\ V_2 = \frac{\begin{vmatrix} 3 & 10 \\ 2 & -20 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 3 & -2 \\ 2 & -3 \end{vmatrix}} = 16 \text{ V} \end{array} \right.$$

(συνεχίζεται...)

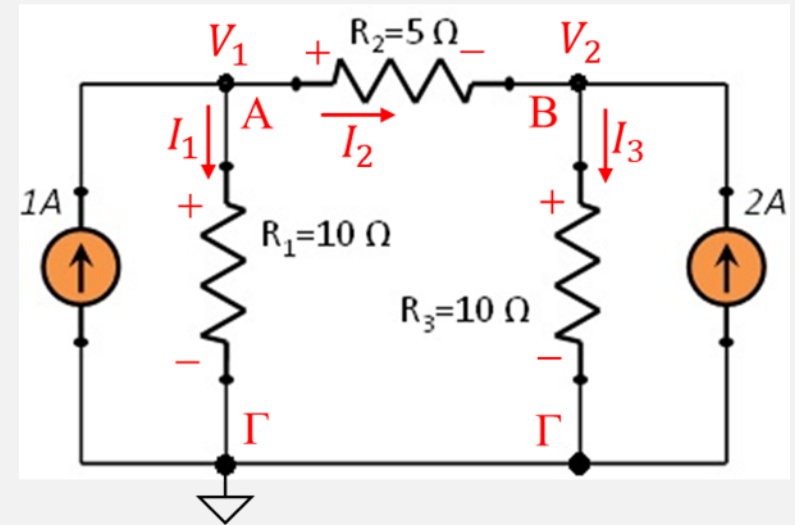
Η μέθοδος των τάσεων κόμβων – Τα βήματα (... συνέχεια)

Από τις τάσεις V_1 και V_2 των κόμβων υπολογίζουμε εύκολα τα ρεύματα του κυκλώματος:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{14 \text{ V}}{10 \Omega} = 1.4 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{V_1 - V_2}{R_2} = \frac{14 \text{ V} - 16 \text{ V}}{5 \Omega} = -0.4 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{V_2}{R_3} = \frac{16 \text{ V}}{10 \Omega} = 1.6 \text{ A}$$



Έλεγξε την απάντηση με το κύκλωμα
Node-Voltage Method Example
στο MulisimLive group
ECE-UOWM MK18

Έλεγε την απάντηση στο Παράδειγμα 4.6 με το κύκλωμα

Example 4_6

στο MultisimLive group

ECE-UOWM MK18

Μια περισσότερο συνοπτική μορφή της μεθόδου των τάσεων κόμβων

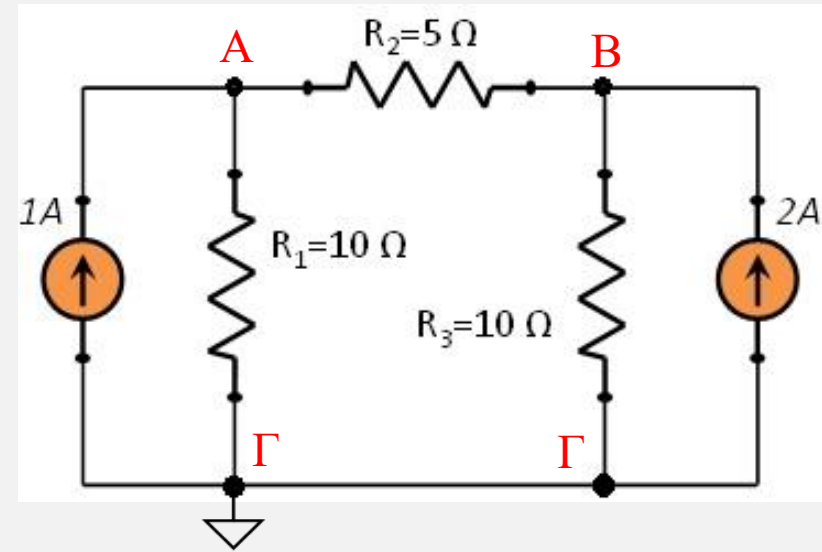
- Η χρήση της μεθόδου απλοποιείται πολύ αν τα ρεύματα των κόμβων εκφράσουμε άμεσα με τις τάσεις και τις αντιστάσεις μεταξύ γειτονικών κόμβων (4^ο βήμα)

Παράδειγμα: στο κύκλωμα της εικόνας, οι εξισώσεις για τις τάσεις V_1 και V_2 των κόμβων Α και Β, αντίστοιχα, γράφονται

$$-1\text{A} + \frac{V_1}{10} + \frac{V_1 - V_2}{5} = 0$$

και

$$\frac{V_2 - V_1}{5} + \frac{V_2}{10} - 2\text{A} = 0$$



(α)

Η μέθοδος των κόμβων με εξαρτημένες πηγές

Παράδειγμα 4.6

Χρησιμοποιήστε την μέθοδο κόμβων για να βρείτε την ισχύ που σχετίζεται με κάθε πηγή στο κύκλωμα

Λύση

Είναι κύκλωμα τριών κόμβων (1, 2 και 3).

Ορίζουμε τον κόμβο 3 σαν κόμβο αναφοράς

Η εξίσωση για την τάση του κόμβου 1 γράφεται

$$-i_1 + \frac{V_1}{8} + \frac{V_1 - V_2}{2} - 3i_1 = 0$$

$$5V_1 - 4V_2 = 32i_1 \quad (1)$$

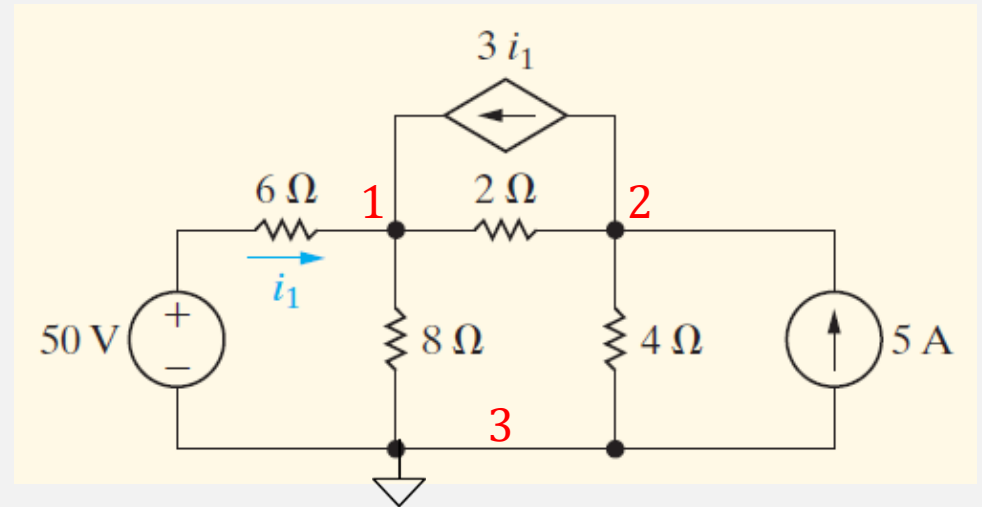
Στον κλάδο της πηγής 50 V και αντίστασης 6 Ω, έχουμε (νόμος τάσεων Kirchhoff)

$$V_1 = 50 - 6i_1 \Rightarrow i_1 = (50 - V_1)/6$$

και η (1) γίνεται

$$31V_1 - 12V_2 = 800 \quad (2)$$

(συνεχίζεται...)



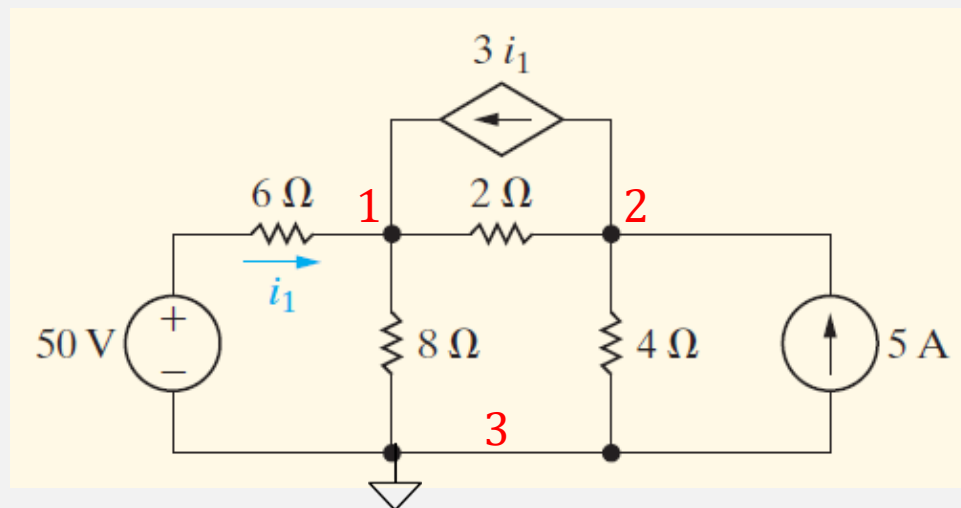
Λύση (συνέχεια)

$$31V_1 - 12V_2 = 800 \quad (2)$$

Η εξίσωση για την τάση του κόμβου 2 γράφεται

$$\frac{V_2 - V_1}{2} + 3i_1 + \frac{V_2}{4} - 5 = 0$$

$$2V_1 - 3V_2 = 12i_1 - 20$$



και αντικαθιστώντας $i_1 = (50 - V_1)/6$ παίρνουμε

$$4V_1 - 3V_2 = 80 \quad (3)$$

Λύνοντας το σύστημα των (2) και (3), βρίσκουμε

$$V_1 = \frac{\begin{vmatrix} 800 & -12 \\ 80 & -3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 31 & -12 \\ 4 & -3 \end{vmatrix}} = 32V \quad \text{και} \quad V_2 = \frac{\begin{vmatrix} 31 & 800 \\ 4 & 80 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 31 & -12 \\ 4 & -3 \end{vmatrix}} = 16V$$

(συνεχίζεται...)

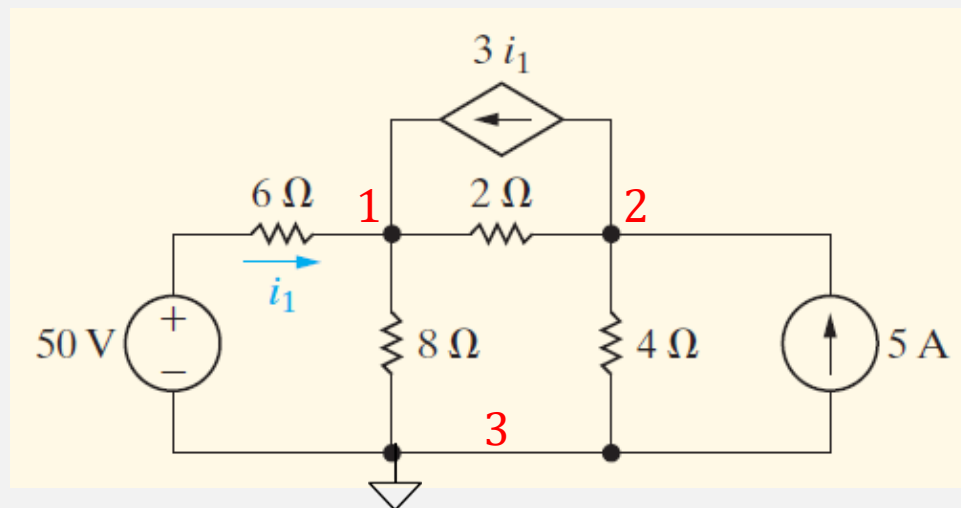
Λύση (συνέχεια)

Γνωρίζοντας την τάση $V_1 = 32 V$,
βρίσκουμε το ρεύμα i_1

$$i_1 = (50 - V_1)/6 = 3 A$$

και, επομένως, την ισχύ που αποδίδει
(γιατί;) η πηγή $50 V$ είναι

$$P_{50V} = (50 V)(3 A) = \mathbf{150 W}$$



Γνωρίζοντας την τάση $V_2 = 16 V$, βρίσκουμε την ισχύ που αποδίδει (γιατί;) η πηγή $5 A$

$$P_{5A} = (16 V)(5 A) = \mathbf{80 W}$$

Τέλος, γνωρίζοντας τις τάσεις στους πόλους της εξαρτημένης πηγής $3i_1$ καθώς και την τιμή και την πολικότητα του ρεύματος $3i_1$ που δημιουργεί, βρίσκουμε ότι η ισχύς που αποδίδει (;) είναι

$$P_{3i_1} = (V_1 - V_2)(3i_1) = (32 - 16)(3 \cdot 3) = \mathbf{144 W}$$

Έλεγε την απάντηση στο Παράδειγμα 4.6 με το κύκλωμα

Example 4_6

στο MultisimLive group

ECE-UOWM MK18

Παράδειγμα 4.7

Χρησιμοποιήστε τη μέθοδο κόμβων για να βρείτε την v_o .

Απάντηση

Το κύκλωμα περιέχει 4 κόμβους (1, 2, 3 και 4).

Ορίζουμε τον κόμβο 4 σαν κόμβο αναφοράς.

Η ζητούμενη τάση v_o είναι η τάση του κόμβου 2, $v_o = V_2$, για την οποία η εξίσωση γράφεται:

$$\frac{V_2 - V_1}{10} + \frac{V_2}{40} + \frac{V_2 - V_3}{20} = 0 \quad (1)$$

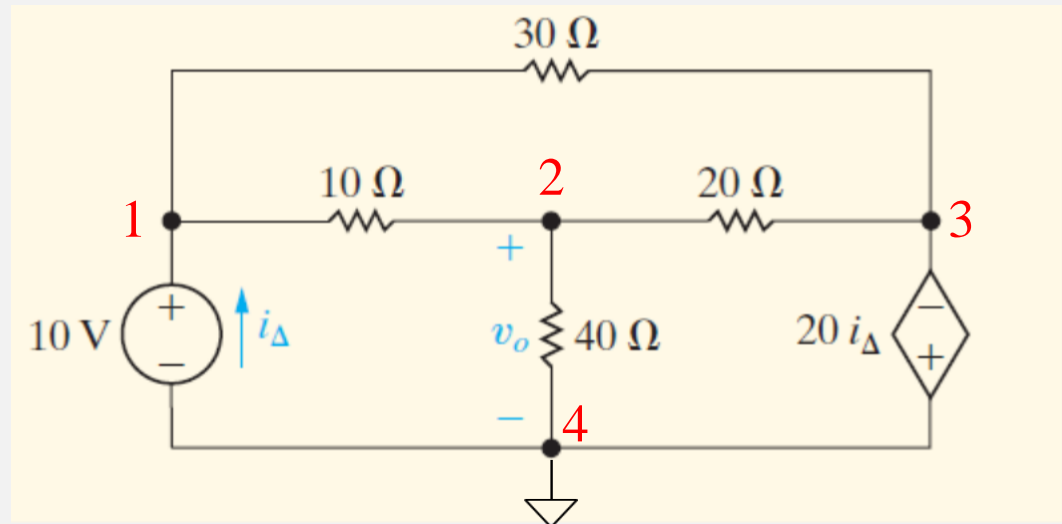
Για την τάση του κόμβου 1, έχουμε $V_1 = 10 \text{ V}$ και του κόμβου 3, $V_3 = -20i_\Delta$

Αντικαθιστώντας στην (1), παίρνουμε

$$\frac{V_2 - 10}{10} + \frac{V_2}{40} + \frac{V_2 + 20i_\Delta}{20} = 0$$

$$7V_2 + 40i_\Delta = 40 \quad (2)$$

(συνεχίζεται ...)



Απάντηση (... συνέχεια)

$$7V_2 + 40i_\Delta = 40 \quad (2)$$

Η εξίσωση για τον κόμβο 1 γράφεται

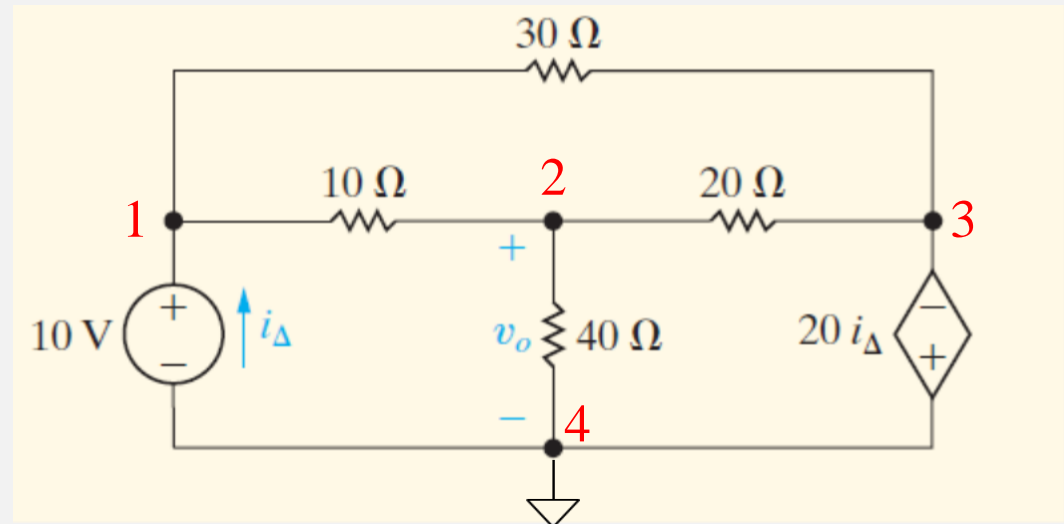
$$-i_\Delta + \frac{V_1 - V_2}{10} + \frac{V_1 - V_3}{30} = 0$$

και, αντικαθιστώντας $V_1 = 10 \text{ V}$ και $V_3 = -20i_\Delta$, παίρνουμε

$$\begin{aligned} -i_\Delta + \frac{10 - V_2}{10} + \frac{10 + 20i_\Delta}{30} &= 0 \\ 3V_2 + 10i_\Delta &= 40 \quad (3) \end{aligned}$$

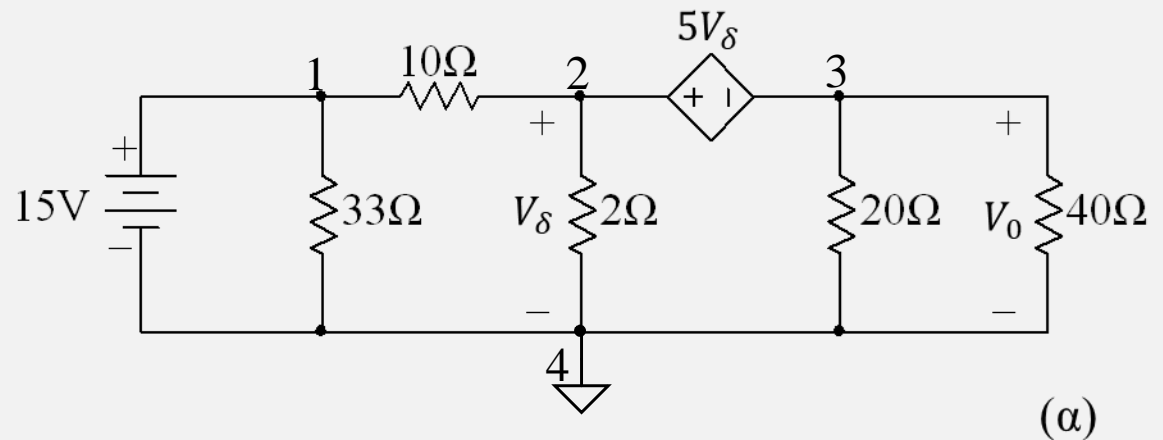
Λύνοντας το σύστημα των (2) και (3), βρίσκουμε

$$v_o = V_2 = \frac{\begin{vmatrix} 40 & 40 \\ 40 & 10 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 7 & 40 \\ 3 & 10 \end{vmatrix}} = 24\text{V}$$



Παράδειγμα 4.8

Χρησιμοποιήστε τη μέθοδο κόμβων για να βρείτε την V_0 στο κύκλωμα της εικ. (α).



Απάντηση

Το κύκλωμα περιέχει 4 κόμβους. Τους αριθμούμε σαν 1, 2, 3 και 4.

Ορίζουμε τον κόμβο 4 σαν κόμβο αναφοράς.

Περιμένουμε να γράψουμε $4 - 1 = 3$ εξισώσεις.

Όμως, οι κόμβοι 1 και 4 συνδέονται μέσω της ανεξάρτητης πηγής τάσης 15 V, επομένως,

$$V_1 = 15 \text{ V} \quad (1)$$

Επίσης, οι κόμβοι 2 και 3 συνδέονται μέσω της εξαρτημένης πηγής τάσης $5V_\delta$, οπότε έχουμε:

$$V_2 - V_3 = 5V_\delta$$

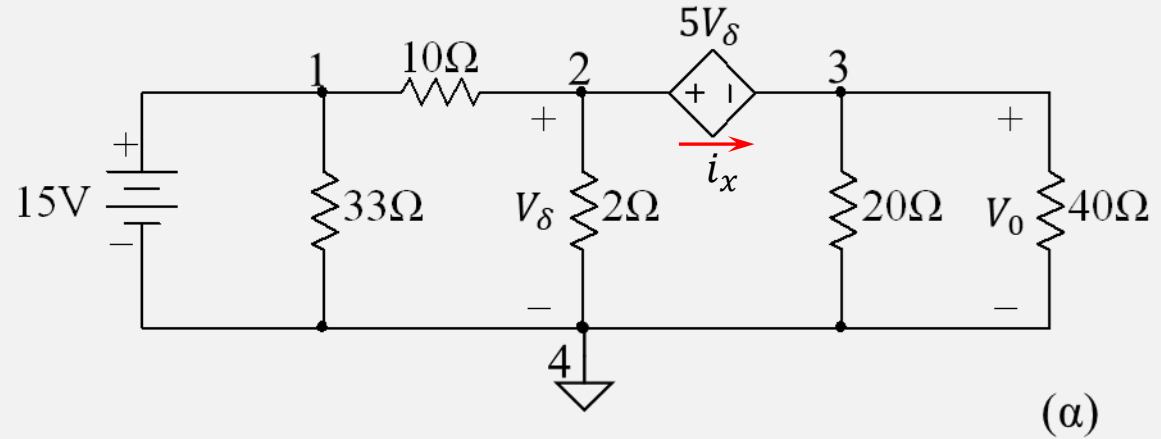
Επειδή, $V_2 = V_\delta$, από την τελευταία εξίσωση παίρνουμε

$$4V_2 = -V_3 \quad (2) \quad (\text{συνεχίζεται ...})$$

Απάντηση (... συνέχεια)

Επομένως, στο κύκλωμα της εικ. (α) έχουμε πρακτικά έναν άγνωστο: την τάση V_2 ή την V_3 .

Έστω i_x το ρεύμα που διαρρέει την πηγή τάσης $5V_\delta$.



Γράφοντας την εξίσωση των ρευμάτων για τον κόμβο 2,

$$\frac{V_2 - V_1}{10} + \frac{V_2}{2} + i_x = 0$$

και τον κόμβο 3

$$-i_x + \frac{V_3}{20} + \frac{V_3}{40} = 0 \Rightarrow i_x = \frac{3V_3}{40}$$

και απαλείφοντας μεταξύ τους το άγνωστο ρεύμα i_x , παίρνουμε

$$4V_1 - 24V_2 - 3V_3 = 0 \quad (3)$$

(συνεχίζεται ...)

Απάντηση (... συνέχεια)

Λύνοντας το σύστημα των εξισώσεων

$$V_1 = 15 \text{ V} \quad (1)$$

$$4V_2 = -V_3 \quad (2)$$

$$4V_1 - 24V_2 - 3V_3 = 0 \quad (3)$$

βρίσκουμε $V_0 = V_3 = -20 \text{ V}$

Έλεγξε την απάντηση στο Παράδειγμα 4.8 με το κύκλωμα

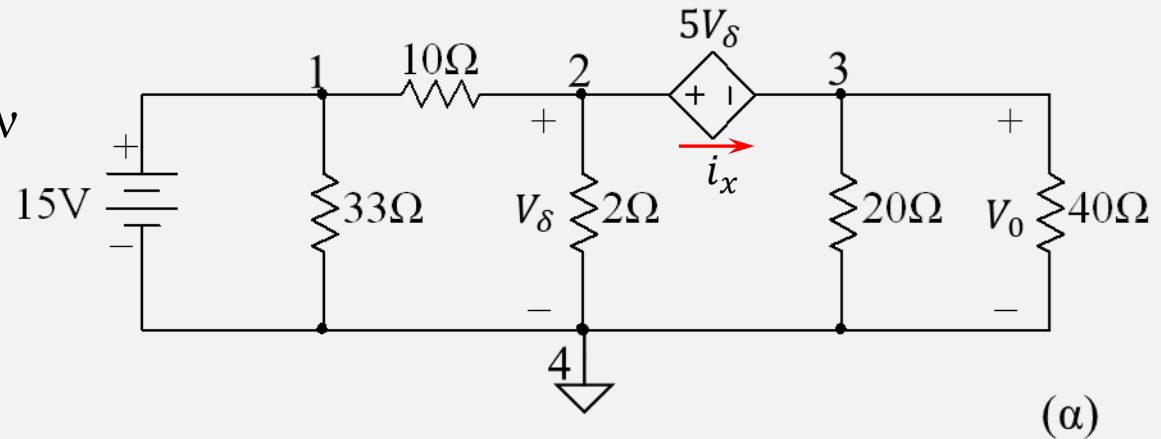
Example 4_8

στο MultisimLive group *ECE-UOWM MK18*

Πρόβλημα

(α) Σαν συνέχεια της λύσης του Παραδείγματος 4.8, υπολογίστε τα ρεύματα που διαρρέουν όλες τις αντιστάσεις.

(β) Υπολογίστε την ισχύ της ελεγχόμενης πηγής τάσης $5V_\delta$



Έλεγε την απάντηση στο Παράδειγμα 4.8 με το κύκλωμα

Example 4_8

στο MultisimLive group

ECE-UOWM MK18