

## ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

### ΑΣΚΗΣΗ 1

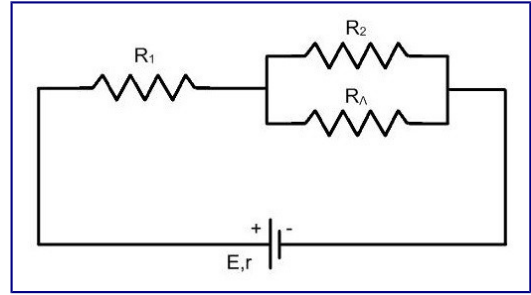
Αντιστάτης κατασκευασμένος από υλικό με ειδική αντίσταση  $3 \cdot 10^{-2} \Omega \cdot m$ , έχει μήκος 8 cm και εμβαδό διατομής  $6 \text{ cm}^2$ .

$\Delta_1$ . Να υπολογίσετε την αντίσταση  $R_1$  του αντιστάτη.

Μικρός λαμπτήρας έχει τάση κανονικής λειτουργίας 30 Volt και ισχύ κανονικής λειτουργίας 90 Watt.

$\Delta_2$ . Να υπολογίσετε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος  $I_k$  που πρέπει να διαρρέει τον λαμπτήρα για να λειτουργεί κανονικά και την αντίσταση  $R_\Lambda$  του λαμπτήρα.

Ο αντιστάτης με αντίσταση  $R_1$ , ο λαμπτήρας και ο αντιστάτης με αντίσταση  $R_2$  συνδέονται στο παρακάτω κύκλωμα :



όπου  $3 \cdot 10^{21}$  ηλεκτρόνια διαρρέουν μια τομή του αντιστάτη  $R_1$  σε χρόνο  $t = 1,6 \text{ min}$ , η εσωτερική αντίσταση της πηγής είναι  $2 \Omega$  και ο λαμπτήρας λειτουργεί κανονικά.

Να υπολογίσετε :

$\Delta_3$ . Την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη με αντίσταση  $R_1$ , την αντίσταση  $R_2$ .

$\Delta_4$ . Την ηλεκτρεγερτική δύναμη της πηγής.

$\Delta_5$ . Την θερμική ενέργεια που καταναλώνει ο αντιστάτης  $R_1$  και την ολική ενέργεια που προσφέρει η πηγή στο κύκλωμα σε χρόνο  $t = 10 \text{ min}$ .

Δίνεται το φορτίο του ενός ηλεκτρονίου  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

Θεωρείστε ότι τα σύρματα που συνδέουν τους αντιστάτες έχουν αμελητέα αντίσταση.

**Λύση**

$\Delta_1$ . Η σχέση της αντίστασης με το υλικό και τα γεωμετρικά στοιχεία του αντιστάτη :  $R_1 = \rho \cdot (l / S) \Rightarrow R_1 = 3 \cdot 10^{-2} \cdot [8 \cdot 10^{-2} / 6 \cdot (10^{-2})^2] \Rightarrow R_1 = 4 \Omega$ .

$\Delta_2$ . Από τις ενδείξεις κανονικής λειτουργίας, υπολογίσουμε την αντίσταση του λαμπτήρα :  $P_k = V_k^2 / R_\Lambda \Rightarrow R_\Lambda = V_k^2 / P_k \Rightarrow R_\Lambda = 30^2 / 90 \Rightarrow R_\Lambda = 10 \Omega$ .

Από τις ενδείξεις κανονικής λειτουργίας, υπολογίσουμε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον λαμπτήρα :  $P_k = V_k \cdot I_k \Rightarrow I_k = P_k / V_k \Rightarrow I_k = 90 / 30 \Rightarrow I_k = 3 \text{ A}$ .

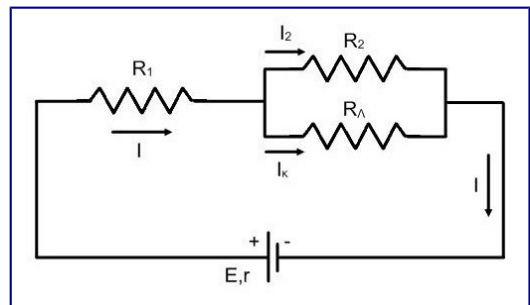
$\Delta_3$ .

Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος ορίζεται :  $I = q / t \Rightarrow$  (το φορτίο είναι κβαντισμένο :  $q = N \cdot |e| \Rightarrow I = N \cdot |e| / t \Rightarrow I = 3 \cdot 10^{21} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} / (1,6 \cdot 60) \Rightarrow I = 5 \text{ A}$ . Ο λαμπτήρας λειτουργεί κανονικά, άρα διαρρέεται από ρεύμα έντασης  $I_k = 3 \text{ A}$ . Ιος κανόνας του Kirchhoff :  $I = I_k + I_2 \Rightarrow I_2 = I - I_k \Rightarrow I_2 = 5 - 3 \Rightarrow$

$I_2 = 2 \text{ A}$ . Ο αντιστάτης  $R_2$  είναι παράλληλα συνδεδεμένος στο λαμπτήρα άρα έχουν την ίδια τάση στα άκρα τους  $V_2 = V_k$ . Νόμος του Ohm στον αντιστάτη με αντίσταση  $R_2$  :  $I_2 = V_2 / R_2 \Rightarrow R_2 = V_2 / I_2 \Rightarrow R_2 = 30 / 2 \Rightarrow R_2 = 15 \Omega$ .

$\Delta_4$ . Υπολογίσουμε την τάση στα άκρα του αντιστάτη  $R_1$  από τον νόμο του Ohm :  $I = V_1 / R_1 \Rightarrow V_1 = I \cdot R_1 \Rightarrow V_1 = 5 \cdot 4 \Rightarrow V_1 = 20 \text{ Volt}$ . Ισχύει :  $V_\pi = V_1 + V_2 \Rightarrow V_\pi = 20 + 30 \Rightarrow V_\pi = 50 \text{ Volt}$ . Η ολική ισχύς στα άκρα της πηγής :  $V_\pi = E - I \cdot r \Rightarrow E = V_\pi + I \cdot r \Rightarrow E = 50 + 5 \cdot 2 \Rightarrow E = 60 \text{ Volt}$ .

$\Delta_5$ . Η θερμική ενέργεια που καταναλώνει ο αντιστάτης  $R_1$  :  $Q_1 = I^2 \cdot R_1 \cdot t \Rightarrow Q_1 = 5^2 \cdot 4 \cdot 10 \cdot 60 \Rightarrow Q_1 = 60.000 \text{ joule}$ . Ολική ενέργεια που προσφέρει η πηγή στο κύκλωμα :  $W_{ολ} = E \cdot I \cdot t \Rightarrow W_{ολ} = 60 \cdot 5 \cdot 10 \cdot 60 \Rightarrow W_{ολ} = 160.000 \text{ joule}$ .

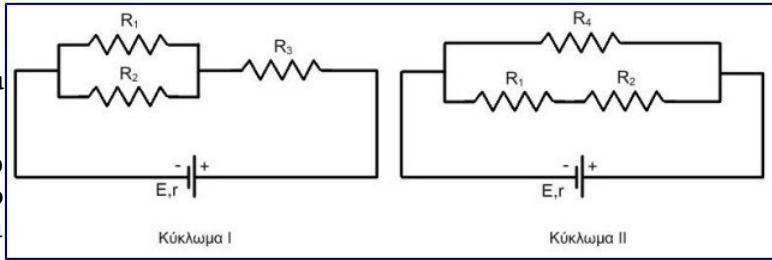


**ΑΣΚΗΣΗ 2**

Δίνονται τα παρακάτω κυκλώματα :

όπου  $R_1 = R_2 = 5 \Omega$  ,  $R_3 = 7,5 \Omega$  και  $R_4 = 10 \Omega$  .

Η ολική ισχύς που δίνει η πηγή στο κύκλωμα I είναι 60 W και η ισχύς που δίνει η ίδια πηγή στο κύκλωμα II είναι 90 W.



Να υπολογίσετε :

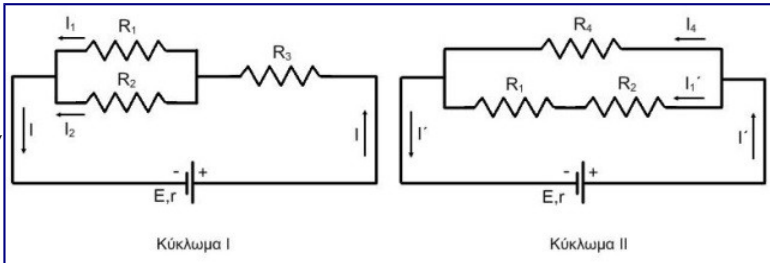
- Δ<sub>1</sub>. Την ισοδύναμη αντίσταση της συνδεσμολογίας I και την ισοδύναμη αντίσταση της συνδεσμολογίας II .
- Δ<sub>2</sub>. Το πηλίκο της έντασης του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα II προς την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα I .
- Δ<sub>3</sub>. Αν η τάση στα άκρα του αντιστάτη  $R_1$  είναι 5 Volt στο κύκλωμα I , να υπολογίσετε την ένταση του ρεύματος και στα δύο κυκλώματα .
- Δ<sub>4</sub>. Να υπολογίσετε την ηλεκτρεγερτική δύναμη E και την εσωτερική αντίσταση r της πηγής .

**Λύση**

Δ<sub>1</sub>. Στο κύκλωμα I .Οι αντιστάτες  $R_1$  και  $R_2$  είναι παράλληλα συνδεδεμένοι :

$$1/R_{1,2} = (1/R_1) + (1/R_2) \Rightarrow 1/R_{1,2} = (1/5) + (1/5) \Rightarrow 1/R_{1,2} = 2/5 \Rightarrow R_{1,2} = 5/2 \Rightarrow R_{1,2} = 2,5 \Omega .$$

Οι αντιστάτες  $R_{1,2}$  και  $R_3$  είναι συνδεδεμένοι σε σειρά , η ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος είναι :  $R_{ολ} = R_{1,2} + R_3 \Rightarrow R_{ολ} = 2,5 + 7,5 \Rightarrow R_{ολ} = 10 \Omega$  .



Στο κύκλωμα II .Οι αντιστάτες  $R_1$  και  $R_2$  είναι συνδεδεμένοι σε σειρά :  $R_{1,2}' = R_1 + R_2 \Rightarrow R_{1,2}' = 5 + 5 \Rightarrow R_{1,2}' = 10 \Omega$  .Οι αντιστάτες  $R_{1,2}'$  και  $R_4$  είναι παράλληλα συνδεδεμένοι , η ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος είναι :  $1/R_{ολ}' = (1/R_{1,2}') + (1/R_4) \Rightarrow 1/R_{ολ}' = (1/10) + (1/10) \Rightarrow 1/R_{ολ}' = 2/10 \Rightarrow R_{ολ}' = 10/2 \Rightarrow R_{ολ}' = 5 \Omega$  .

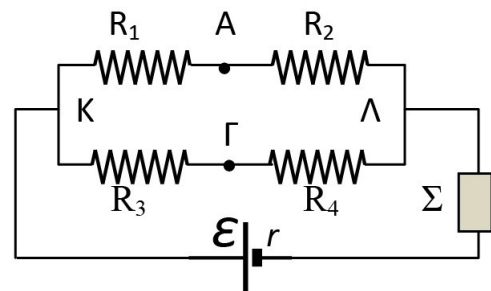
Δ<sub>2</sub>. Η ολική ισχύς που δίνει η πηγή στο κύκλωμα I είναι :  $P_{ολ} = E \cdot I$  . Η ολική ισχύς που δίνει η πηγή στο κύκλωμα II είναι :  $P_{ολ}' = E \cdot I'$  . Διαιρούμε τις παραπάνω σχέσεις κατά μέλη :  $P_{ολ}' / P_{ολ} = E \cdot I' / E \cdot I \Rightarrow P_{ολ}' / P_{ολ} = I' / I \Rightarrow I' / I = 90 / 60 \Rightarrow I' / I = 3 / 2$  .

Δ<sub>3</sub>. Κύκλωμα I .Ο νόμος του Ohm στον αντιστάτη  $R_1$  :  $I_1 = V_1 / R_1 \Rightarrow I_1 = 5 / 5 \Rightarrow I_1 = 1 A$  .Ο νόμος του Ohm στον αντιστάτη  $R_2$  :  $I_2 = V_2 / R_2 \Rightarrow I_2 = 5 / 5 \Rightarrow I_2 = 1 A$  .Ιος Kirchhoff :  $I = I_1 + I_2 \Rightarrow I = 1 + 1 \Rightarrow I = 2 A$  .Ισχύει :  $I' / I = 3 / 2 \Rightarrow I' = (3/2) \cdot I \Rightarrow I' = (3/2) \cdot 2 \Rightarrow I' = 3 A$  .

Δ<sub>4</sub>. Νόμος του Ohm στο κύκλωμα I :  $I = E / (R_{ολ} + r) \Rightarrow E = I \cdot (R_{ολ} + r) \Rightarrow E = 2 \cdot (10 + r)$  .Νόμος του Ohm στο κύκλωμα II :  $I' = E / (R_{ολ}' + r) \Rightarrow E = I' \cdot (R_{ολ}' + r) \Rightarrow E = 3 \cdot (5 + r)$  .Άρα :  $2 \cdot (10 + r) = 3 \cdot (5 + r) \Rightarrow 20 + 2r = 15 + 3r \Rightarrow 20 - 15 = 3r - 2r \Rightarrow r = 5 \Omega$  .Και :  $E = 3 \cdot (5 + r) \Rightarrow E = 3 \cdot (5 + 5) \Rightarrow E = 30 V$  .

**ΑΣΚΗΣΗ 3**

Για το ηλεκτρικό κύκλωμα του σχήματος δίνονται:  $R_1 = R_4 = 10 \Omega$  ,  $R_2 = R_3 = 5 \Omega$  ,  $E = 24 V$  . Η θερμική συσκευή Σ έχει ενδείξεις κανονικής λειτουργίας 5 V, 10 W και στο κύκλωμα αυτό λειτουργεί κανονικά. Θεωρούμε ότι η ηλεκτρική συσκευή συμπεριφέρεται σαν ωμικός αντιστάτης.



Να υπολογίσετε:

- Δ<sub>1</sub>. την αντίσταση της ηλεκτρικής συσκευής και την ολική αντίσταση του εξωτερικού κυκλώματος.
- Δ<sub>2</sub>. την ηλεκτρική ισχύ που παρέχει η πηγή σε όλο το κύκλωμα και την εσωτερική της αντίσταση.
- Δ<sub>3</sub>. τις εντάσεις των ρευμάτων που διαρρέουν τους αντιστάτες  $R_1$  και  $R_3$ .
- Δ<sub>4</sub>. τη διαφορά δυναμικού  $V_A - V_\Gamma$ .

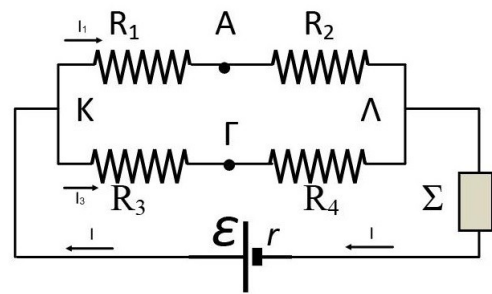
## ΛΥΣΗ

**Δ<sub>1</sub>.**

Από τις ενδείξεις κανονικής λειτουργίας υπολογίζουμε την αντίσταση :  $P_K = V_K / R_{\Sigma} \Rightarrow R_{\Sigma} = V_K^2 / P_K \Rightarrow R_{\Sigma} = 5^2 / 10 \Rightarrow R_{\Sigma} = 2,5 \Omega$ . Οι αντιστάτες  $R_1$  και  $R_2$  είναι συνδεδεμένοι σε σειρά :

$R_{1,2} = R_1 + R_2 \Rightarrow R_{1,2} = 10 + 5 \Rightarrow R_{1,2} = 15 \Omega$ . Οι αντιστάτες  $R_3$  και  $R_4$  είναι συνδεδεμένοι σε σειρά :  $R_{3,4} = R_3 + R_4 \Rightarrow R_{3,4} = 5 + 10 \Rightarrow R_{3,4} = 15 \Omega$ . Οι αντιστάτες  $R_{1,2}$  και  $R_{3,4}$  είναι συνδεδεμένοι παράλληλα :  $1 / R_{1,2,3,4} = (1 / R_{1,2}) + (1 / R_{3,4}) \Rightarrow 1 / R_{1,2,3,4} = (1 / 15) + (1 / 15) \Rightarrow R_{1,2,3,4} = 15 / 2 \Rightarrow R_{1,2,3,4} = 7,5 \Omega$ .

Η ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος είναι :  $R_{\text{ολ}} = R_{1,2,3,4} + R_{\Sigma} \Rightarrow R_{\text{ολ}} = 7,5 + 2,5 \Rightarrow R_{\text{ολ}} = 10 \Omega$ .



**Δ<sub>2</sub>.**

Από τις ενδείξεις κανονικής λειτουργίας υπολογίζουμε το ρεύμα κανονικής λειτουργίας :  $P_K = V_K \cdot I_K \Rightarrow I_K = P_K / V_K \Rightarrow I_K = 10 / 5 \Rightarrow I_K = 2 \text{ A}$ . Η συσκευή Σ λειτουργεί κανονικά άρα  $I = I_K = 2 \text{ A}$ . Η ολική ισχύς του κυκλώματος είναι :  $P_{\text{ολ}} = E \cdot I \Rightarrow P_{\text{ολ}} = 24 \cdot 2 \Rightarrow P_{\text{ολ}} = 48 \text{ Watt}$ . Νόμος του Ohm σε κλειστό κύκλωμα :  $I = E / (R_{\text{ολ}} + r) \Rightarrow (R_{\text{ολ}} + r) = E / I \Rightarrow r = (E / I) - R_{\text{ολ}} \Rightarrow r = (24 / 2) - 10 \Rightarrow r = 2 \Omega$ .

**Δ<sub>3</sub>.**

Η πολική τάση της πηγής :  $V_{\pi} = E - I \cdot r \Rightarrow V_{\pi} = 24 - 2 \cdot 2 \Rightarrow V_{\pi} = 20 \text{ Volt}$ . Ισχύει :  $V_{\pi} = V_K + V_{1,2} \Rightarrow V_{1,2} = V_{\pi} - V_K \Rightarrow V_{1,2} = 20 - 5 \Rightarrow V_{1,2} = 15 \text{ Volt}$ . Ο νόμος του Ohm στον αντιστάτη  $R_{1,2}$  :  $I_1 = V_{1,2} / R_{1,2} \Rightarrow I_1 = 15 / 15 \Rightarrow I_1 = 1 \text{ A}$ . Ο νόμος του Ohm στον αντιστάτη  $R_{3,4}$  :  $I_3 = V_{1,2} / R_{3,4} \Rightarrow I_3 = 15 / 15 \Rightarrow I_3 = 1 \text{ A}$ .

**Δ<sub>4</sub>.**

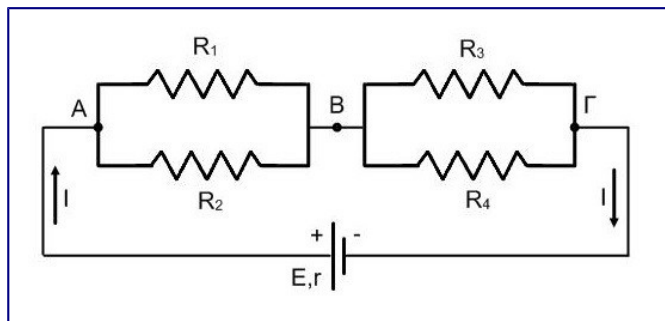
Νόμος του Ohm στον αντιστάτη  $R_1$  :  $I_1 = V_{KA} / R_1 \Rightarrow V_{KA} = I_1 \cdot R_1 \Rightarrow V_{KA} = 1 \cdot 10 \Rightarrow V_{KA} = 10 \text{ Volt}$ . Νόμος του Ohm στον αντιστάτη  $R_3$  :  $I_3 = V_{KT} / R_3 \Rightarrow V_{KT} = I_3 \cdot R_3 \Rightarrow V_{KT} = 1 \cdot 5 \Rightarrow V_{KA} = 5 \text{ Volt}$ . Ισχύει :  $V_{KA} = V_K - V_A \Rightarrow V_K - V_A = 10 \Rightarrow V_A - V_K = -10$ .  $V_{KT} = V_K - V_T \Rightarrow V_K - V_T = 5$ . Προσθέτουμε κατά μέλη τις δύο παραπάνω σχέσεις :  $V_A - V_K + V_K - V_T = -10 + 5 \Rightarrow V_A - V_T = -5 \text{ Volt} \Rightarrow V_{AT} = -5 \text{ Volt}$ .

## ΑΣΚΗΣΗ 4

Στο παρακάτω ηλεκτρικό κύκλωμα , ισχύει  $R_1 = R_2 = R$  και  $R_3 = R_4 = R'$ .

Στην ηλεκτρική πηγή δίνεται η ηλεκτρεγερτική της δύναμη (ΗΕΔ)  $E = 24 \text{ V}$  και η εσωτερική αντίσταση  $r = 2 \Omega$ .

Το κύκλωμα διαρρέεται από σταθερό ρεύμα  $I = 2 \text{ A}$  και στο τμήμα ΑΒ του κυκλώματος εκλύεται τετραπλάσια ποσότητα θερμικής ενέργειας (θερμότητα joule) από την θερμική ενέργεια που εκλύεται στο τμήμα ΒΓ στον ίδιο χρόνο .



Θεωρούμε ότι τα σύρματα δεν έχουν αντίσταση (είναι αμελητέα).

Να υπολογιστούν :

**Δ<sub>1</sub>.** Η πολική τάση στα άκρα της πηγής.

**Δ<sub>2</sub>.** Η ισχύς που παρέχει η πηγή σε όλο το κύκλωμα.

**Δ<sub>3</sub>.** Οι τιμές των αντιστατών  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  και  $R_4$ .

**Δ<sub>4</sub>.** Οι τιμές των τάσεων  $V_{AB}$  και  $V_{BΓ}$ .

**Λύση**

**Δ<sub>1</sub>**

Η πολική τάση της πηγής , δίνεται :  $V_{\pi} = E - I \cdot r \Rightarrow V_{\pi} = 24 - 2 \cdot 2 \Rightarrow V_{\pi} = 20 \text{ Volt}$ .

**Δ<sub>2</sub>**

Η ισχύς που παρέχει η πηγή σε όλο το κύκλωμα :  $P_{\text{ολ}} = E \cdot I \Rightarrow P_{\text{ολ}} = 24 \cdot 2 \Rightarrow P_{\text{ολ}} = 48 \text{ Watt}$ .

**Δ<sub>3</sub>**

Στο τμήμα ΑΒ του κυκλώματος εκλύεται τετραπλάσια ποσότητα θερμικής ενέργειας (θερμότητα joule) από την θερμική ενέργεια που εκλύεται στο τμήμα ΒΓ στον ίδιο χρόνο :  $Q_{AB} = 4 \cdot Q_{BΓ} \Rightarrow I^2 \cdot R_{AB} \cdot t = 4 \cdot I^2 \cdot R_{BΓ} \cdot t \Rightarrow R_{AB} =$

$4 \cdot R_{B\Gamma} \dots (I)$  .Οι αντιστάτες  $R_1$  και  $R_2$  είναι συνδεδεμένοι παράλληλα :  $1/R_{AB} = (1/R_1) + (1/R_2) \Rightarrow 1/R_{AB} = (1/R) + (1/R) \Rightarrow 1/R_{AB} = 2/R \Rightarrow R_{AB} = R/2$  .

Οι αντιστάτες  $R_3$  και  $R_4$  είναι συνδεδεμένοι παράλληλα :  $1/R_{B\Gamma} = (1/R_3) + (1/R_4) \Rightarrow 1/R_{B\Gamma} = (1/R') + (1/R') \Rightarrow 1/R_{B\Gamma} = 2/R' \Rightarrow R_{B\Gamma} = R'/2$  . Από την σχέση (I) :  $R_{AB} = 4 \cdot R_{B\Gamma} \Rightarrow R/2 = 4 \cdot (R'/2) \Rightarrow R = 4 \cdot R'$  .

Νόμος του Ohm :

$I = V_{\pi} / R_{ολ} \Rightarrow R_{ολ} = V_{\pi} / I \dots (II)$  .Οι αντιστάτες  $R_{AB}$  και  $R_{B\Gamma}$  είναι συνδεδεμένες σε σειρά :  $R_{ολ} = R_{AB} + R_{B\Gamma} \Rightarrow R_{ολ} = (R/2) + (R'/2) \Rightarrow R_{ολ} = (4 \cdot R'/2) + (R'/2) \Rightarrow$

$R_{ολ} = 5 \cdot R'/2 \dots (III)$  . Από τις σχέσεις (II) και (III) :  $V_{\pi} / I = 5 \cdot R'/2 \Rightarrow 20/2 = 5 \cdot R'/2 \Rightarrow R' = 4 \Omega$  .

$R = 4 \cdot R' \Rightarrow R = 4 \cdot 4 \Rightarrow R = 16 \Omega$  . επομένως :  $R_1 = R_2 = 16 \Omega$  και  $R_3 = R_4 = 4 \Omega$  .

$\Delta_4$

Νόμος του Ohm :  $I = V_{AB} / R_{AB} \Rightarrow V_{AB} = I \cdot R_{AB} \Rightarrow V_{AB} = 2 \cdot (R/2) \Rightarrow V_{AB} = 16 \text{ Volt}$  . Ισχύει :  $V_{\pi} = V_{AB} + V_{B\Gamma} \Rightarrow V_{B\Gamma} = V_{\pi} - V_{AB} \Rightarrow V_{B\Gamma} = 20 - 16 \Rightarrow V_{B\Gamma} = 4 \text{ Volt}$  .

## ΑΣΚΗΣΗ 5

Στο κύκλωμα δίνονται:

$R_1 = 12 \Omega$  και  $R_2 = 6 \Omega$  .

Για την πηγή του κυκλώματος δίνονται:

$E = 36 \text{ V}$  και  $r = 1 \Omega$  .

Να βρείτε:

$\Delta_1$  . Τη τιμή της αντίστασης  $R_x$  αν γνωρίζετε ότι η ολική εξωτερική αντίσταση του κυκλώματος είναι ίση με  $11 \Omega$  .

$\Delta_2$  . Τη πολική τάση της πηγής και τη τάση στα άκρα της αντίστασης  $R_1$  .

$\Delta_3$  . Τη συνολική ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται στο εξωτερικό κύκλωμα κατά τη διάρκεια  $10 \text{ min}$  .

Βραχυκυκλώνουμε τα σημεία  $\Gamma$  και  $\Delta$  με αγωγό αμελητέας αντίστασης.

$\Delta_4$  . Η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται στο εξωτερικό κύκλωμα κατά τη διάρκεια  $10 \text{ min}$  σε σχέση με αυτή που υπολογίσατε στο ερώτημα  $\Delta_3$  είναι:

α. μεγαλύτερη , β. μικρότερη , γ. ίση .

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Λύση

$\Delta_1$  .

Η ισοδύναμη αντίσταση των  $R_1$  και  $R_2$  :  $1/R_{1,2} = (1/R_1) + (1/R_2) \Rightarrow 1/R_{1,2} = (1/12) + (1/6) \Rightarrow R_{1,2} = 12/3 \Rightarrow R_{1,2} = 4 \Omega$  . Οι αντιστάτες  $R_{1,2}$  και  $R_x$  είναι συνδεδεμένοι σε σειρά :  $R_{ολ} = R_{1,2} + R_x \Rightarrow R_x = R_{ολ} - R_{1,2} \Rightarrow R_x = 11 - 4 \Rightarrow R_x = 7 \Omega$  .

$\Delta_2$  .

Νόμος του Ohm σε όλο το κύκλωμα :  $I = E / (R_{ολ} + r) \Rightarrow I = 36 / (11 + 1) \Rightarrow I = 3 \text{ A}$  . Η πολική τάση της πηγής είναι:

$V_{\pi} = E - I \cdot r \Rightarrow V_{\pi} = 36 - 3 \cdot 1 \Rightarrow V_{\pi} = 33 \text{ Volt}$  . Η τάση στα άκρα της  $R_x$  :  $I = V_x / R_x \Rightarrow V_x = I \cdot R_x \Rightarrow V_x = 3 \cdot 7 \Rightarrow V_x = 21 \text{ Volt}$  .

Ισχύει :  $V_{\pi} = V_x + V_1 \Rightarrow V_1 = V_{\pi} - V_x \Rightarrow V_1 = 33 - 21 \Rightarrow V_1 = 12 \text{ Volt}$  .

$\Delta_3$  .

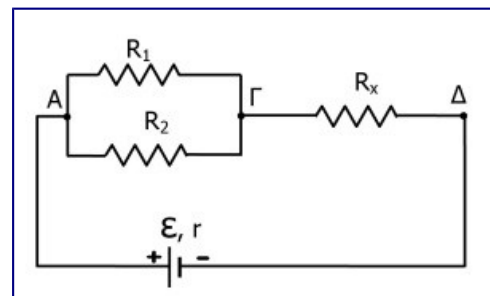
Η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται στο εξωτερικό κύκλωμα :  $W_{εξ} = V_{\pi} \cdot I \cdot t \Rightarrow W_{εξ} = 33 \cdot 3 \cdot (10 \cdot 60) \Rightarrow W_{εξ} = 59400 \text{ joule}$  .

$\Delta_4$  .

Βραχυκυκλώνουμε τα σημεία  $\Gamma$  και  $\Delta$  , άρα η ισοδύναμη αντίσταση είναι τώρα η : (Η  $R_x$  δεν παίζει πια ρόλο στο κύκλωμα)  $R_{ολ}' = R_{1,2} \Rightarrow R_{ολ}' = 4 \Omega$  .

Η νέα τιμή της έντασης του ρεύματος είναι :  $I' = E / (R_{ολ}' + r) \Rightarrow I' = 36 / (4 + 1) \Rightarrow I' = 7,2 \text{ A}$  .

Η πολική τάση της πηγής είναι :  $V_{\pi}' = E - I' \cdot r \Rightarrow V_{\pi}' = 36 - 7,2 \cdot 1 \Rightarrow V_{\pi}' = 28,8 \text{ Volt}$  .



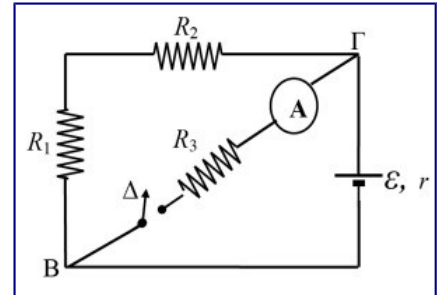
Η νέα συνολική ενέργεια που καταναλώνεται στο εξωτερικό κύκλωμα :  $W_{\varepsilon\xi'} = V_{\pi}' \cdot I' \cdot t \Rightarrow W_{\varepsilon\xi'} = 28,8 \cdot 7,2 \cdot (10 \cdot 60) \Rightarrow W_{\varepsilon\xi'} = 124.416 \text{ joule}$  .

Παρατηρούμε ότι  $W_{\varepsilon\xi'} > W_{\varepsilon\xi}$  . Σωστή είναι η επιλογή α.

### ΑΣΚΗΣΗ 6

Μια ηλεκτρική πηγή με ηλεκτρεγερτική δύναμη  $E$  και εσωτερική αντίσταση  $r = 2 \Omega$  συνδέεται στο κύκλωμα που φαίνεται στο σχήμα. Δίνεται ότι  $R_1 = 8 \Omega$ ,  $R_2 = 4 \Omega$  και  $R_3 = 4 \Omega$ . Το αμπερόμετρο έχει μηδενική εσωτερική αντίσταση.

Ο διακόπτης  $\Delta$  είναι κλειστός. Η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι 9 A.



$\Delta_1$ . Να βρείτε την ολική εξωτερική αντίσταση του κυκλώματος και τη τάση  $V_{B\Gamma}$  .

$\Delta_2$ . Να βρείτε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα και την ηλεκτρεγερτική δύναμη  $E$  της πηγής.

$\Delta_3$ . Να υπολογίσετε τη θερμότητα  $Q$  που εκλύεται στην αντίσταση  $R_3$ , σε χρόνο  $t = 2 \text{ s}$ .

$\Delta_4$ . Αν ο διακόπτης ανοίξει, να υπολογίσετε την ισχύ της πηγής.

**Λύση**

$\Delta_1$ .

Οι αντιστάτες  $R_1$  και  $R_2$  είναι συνδεδεμένοι σε σειρά :  $R_{1,2} = R_1 + R_2 \Rightarrow R_{1,2} = 8 + 4 \Rightarrow R_{1,2} = 12 \Omega$  . Οι αντιστάτες  $R_{1,2}$  και  $R_3$  είναι συνδεδεμένοι παράλληλα :  $1/R_{ολ} = (1/R_{1,2}) + (1/R_3) \Rightarrow 1/R_{ολ} = (1/12) + (1/4) \Rightarrow R_{ολ} = 3 \Omega$  .

Ο διακόπτης  $\Delta$  είναι κλειστός . Η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι και η ένταση του ρεύματος  $I_3$  που διαρρέει τον αντιστάτη  $R_3$  .

$I_3 = V_{B\Gamma} / R_3 \Rightarrow V_{B\Gamma} = I_3 \cdot R_3 \Rightarrow V_{B\Gamma} = 9 \cdot 4 \Rightarrow V_{B\Gamma} = 36 \text{ Volt}$  .

$\Delta_2$ .

Η πολική τάση της πηγής είναι ίση με την τάση στα άκρα  $B\Gamma$  :

$V_{\pi} = V_{B\Gamma} = 36 \text{ V}$  .

Ο νόμος του Ohm στον αντιστάτη  $R_{1,2}$  :  $I_1 = V_{\pi} / R_{1,2} \Rightarrow I_1 = 36 / 12 \Rightarrow I_1 = 3 \text{ A}$  . Ιος kirchhoff στο κόμβο  $B$  ή  $\Gamma$  :

$I = I_1 + I_2 \Rightarrow I = 3 + 9 \Rightarrow I = 12 \text{ A}$  .

Η πολική τάση της πηγής :  $V_{\pi} = E - I \cdot r \Rightarrow E = V_{\pi} + I \cdot r \Rightarrow E = 36 + 12 \cdot 2 \Rightarrow E = 60 \text{ Volt}$  .

$\Delta_3$ .

Η θερμότητα που εκλύεται στον αντιστάτη  $R_3$  :  $Q_3 = I_3^2 \cdot R_3 \cdot t \Rightarrow Q_3 = 9^2 \cdot 4 \cdot 2 \Rightarrow Q_3 = 648 \text{ joule}$  .

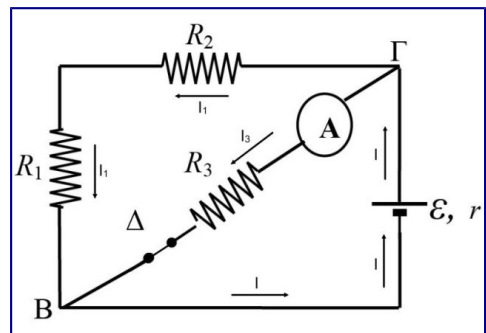
$\Delta_4$ .

Ο διακόπτης ανοίγει , άρα δεν διαρρέεται από ρεύμα ο αντιστάτης  $R_3$  . Η ολική αντίσταση είναι τώρα :

$R_{ολ}' = R_{1,2} = 12 \Omega$  . Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα είναι :  $I' = E / (R_{ολ}' + r) \Rightarrow I' = 60 / (12 + 2) \Rightarrow I' = 60 / 14 \Rightarrow I' = 30 / 7 \text{ A}$  .

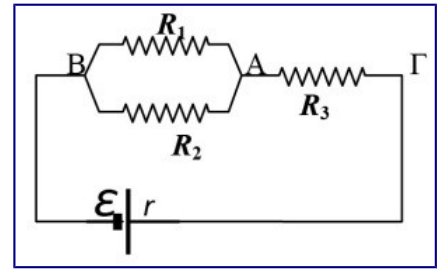
Η ισχύς που καταναλώνεται στην πηγή είναι :  $P_r = I'^2 \cdot r \Rightarrow P_r = (30 / 7)^2 \cdot 2 \Rightarrow P_r = 900 \cdot 2 / 49 \Rightarrow P_r = 36,73 \text{ W}$  .

Η ολική ισχύ που παρέχει η πηγή στο κύκλωμα είναι :  $P_{ολ} = E \cdot I' \Rightarrow P_{ολ} = 60 \cdot 30 / 7 \Rightarrow P_{ολ} = 257,14 \text{ W}$  .



### ΑΣΚΗΣΗ 7

Τρεις αντιστάτες (1), (2), (3), που έχουν αντιστάσεις  $R_1 = 10 \Omega$ ,  $R_2$  και  $R_3$  αντίστοιχα, συνδέονται μεταξύ τους όπως δείχνει η συνδεσμολογία του σχήματος. Το σύστημα των τριών αντιστάτων συνδέεται στα άκρα ηλεκτρικής πηγής, η οποία έχει ηλεκτρεγερτική δύναμη  $E = 66 \text{ V}$  και εσωτερική αντίσταση  $r = 2 \Omega$ .



Αν δίνεται ότι για τις εντάσεις των ηλεκτρικών ρευμάτων που διαρρέουν τους αντιστάτες  $R_1$  και  $R_2$  ισχύει η σχέση  $I_1 = 2 \cdot I_2$  και για τις ηλεκτρικές τάσεις  $V_{\Gamma A}$ ,  $V_{AB}$  η σχέση  $V_{\Gamma A} = 2 \cdot V_{AB}$ :

$\Delta_1$ . Να σχεδιάσετε στο κύκλωμα τις φορές (συμβατικές) των ηλεκτρικών ρευμάτων που διαρρέουν όλους τους κλάδους του και να υπολογίσετε την αντίσταση  $R_2$ .

$\Delta_2$ . Να υπολογίσετε την ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος μεταξύ των σημείων  $\Gamma$ ,  $B$ .

$\Delta_3$ . Να υπολογίσετε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει κάθε κλάδο του κυκλώματος.

$\Delta_4$ . Να υπολογίσετε τη θερμότητα που εκλύεται στον αντιστάτη (1), στο ίδιο χρονικό διάστημα που η ηλεκτρική πηγή προσφέρει ηλεκτρική ενέργεια  $1980 \text{ J}$  σε όλο το κύκλωμα.

Λύση

$\Delta_1$ .

Δίνεται :

$$I_1 = 2 \cdot I_2 \Rightarrow$$

(ο νόμος του Ohm είναι στους αντιστάτες :  $I_1 = V_{AB} / R_1$  και  $I_2 = V_{AB} / R_2$ )

$$V_{AB} / R_1 = 2 \cdot (V_{AB} / R_2) \Rightarrow R_2 = 2 \cdot R_1 \Rightarrow R_2 = 2 \cdot 10 \Rightarrow R_2 = 20 \Omega .$$

$\Delta_2$

Η αντίσταση μεταξύ των σημείων  $A$  και  $B$  :

$$1 / R_{1,2} = (1 / R_1) + (1 / R_2) \Rightarrow 1 / R_{1,2} = (1 / 10) + (1 / 20) \Rightarrow$$

$$1 / R_{1,2} = (2 / 20) + (1 / 20) \Rightarrow 1 / R_{1,2} = 3 / 20 \Rightarrow R_{1,2} = 20 / 3 \Omega .$$

ο νόμος του Ohm είναι στους αντιστάτες :  $I = V_{AB} / R_{1,2}$  και  $I = V_{A\Gamma} / R_3$

$$\Delta \text{ίνεται : } V_{\Gamma A} = 2 \cdot V_{AB} \Rightarrow I \cdot R_3 = 2 \cdot I \cdot R_{1,2} \Rightarrow R_3 = 2 \cdot R_{1,2} \Rightarrow R_3 = 40 / 3 \Omega .$$

$$\text{Η αντίσταση μεταξύ των σημείων } \Gamma \text{ και } B : R_{\text{ολ}} = R_{1,2} + R_3 \Rightarrow R_{\text{ολ}} = (40 / 3) + (20 / 3) \Rightarrow R_{\text{ολ}} = 60 / 3 \Omega .$$

$\Delta_3$

$$\text{Νόμος του Ohm σε κλειστό κύκλωμα : } I = E / (R_{\text{ολ}} + r) \Rightarrow I = 66 / [(60 / 3) + 2] \Rightarrow I = 3 \text{ A} .$$

$$\text{1ος κανόνας του Kirchhoff : } I = I_1 + I_2 \Rightarrow I = 2 \cdot I_2 + I_2 \Rightarrow I = 3 \cdot I_2 \Rightarrow I_2 = I / 3 \Rightarrow I_2 = 3 / 3 \Rightarrow I_2 = 1 \text{ A} .$$

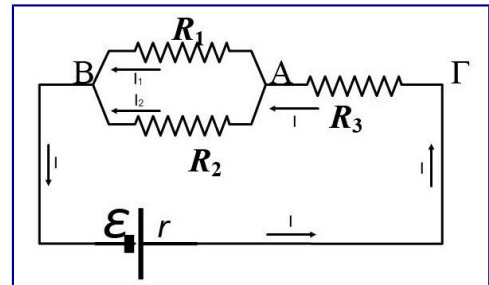
Αλλά

$$I_1 = 2 \cdot I_2 \Rightarrow I_1 = 2 \cdot 1 \Rightarrow I_1 = 2 \text{ A} .$$

$\Delta_4$

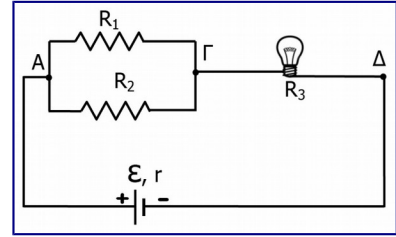
$$\text{Η ηλεκτρική ενέργεια που προσφέρει η πηγή σε όλο το κύκλωμα : } W_{\text{ολ}} = E \cdot I \cdot t \Rightarrow t = W_{\text{ολ}} / E \cdot I \Rightarrow t = 1980 / (66 \cdot 3) \Rightarrow t = 1980 / 198 \Rightarrow t = 10 \text{ s} .$$

$$\text{Η θερμότητα που εκλύεται στον αντιστάτη } R_1 : Q_1 = I_1^2 \cdot R_1 \cdot t \Rightarrow Q_1 = 2^2 \cdot 10 \cdot 10 \Rightarrow Q_1 = 400 \text{ joule} .$$



### ΑΣΚΗΣΗ 8

Στο ηλεκτρικό κύκλωμα δίνονται:  $R_1 = 120 \Omega$ ,  $R_2 = 60 \Omega$  και  $R_3 = 400 \Omega$  (όπου  $R_3$ ) η αντίσταση του λαμπτήρα). Οι ενδείξεις κανονικής λειτουργίας του ηλεκτρικού λαμπτήρα είναι:  $P_K = 100W$  και  $V_K = 200 V$ . Για την ηλεκτρική πηγή του κυκλώματος δίνονται:  $E = 220 V$  και  $r = 0 \Omega$ , ενώ θεωρούμε ότι ο ηλεκτρικός λαμπτήρας συμπεριφέρεται σαν ωμικός αντιστάτης.



$\Delta_1$ . Να βρείτε την ολική αντίσταση του κυκλώματος.

$\Delta_2$ . Να υπολογίσετε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει την αντίσταση  $R_2$  και τον ηλεκτρικό λαμπτήρα.

$\Delta_3$ . Να υπολογίσετε τη συνολική ενέργεια που καταναλώνεται στο εξωτερικό κύκλωμα σε χρονική διάρκεια 10 min.

$\Delta_4$ . Εάν η αντίσταση  $R_2$  καταστραφεί και δεν διαρρέεται από ρεύμα, ο ηλεκτρικός λαμπτήρας θα:

(α) υπερλειτουργεί με κίνδυνο να καταστραφεί.

(β) υπολειτουργεί.

(γ) λειτουργεί όπως και πριν την καταστροφή της αντίστασης  $R_2$ .

Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση και να τη δικαιολογήσετε.

**Λύση**

$\Delta_1$ .

Από τις ενδείξεις κανονικής λειτουργίας του λαμπτήρα έχουμε την αντίσταση του λαμπτήρα:  $P_K = V_K^2 / R_3 \Rightarrow R_3 = V_K^2 / P_K \Rightarrow R_3 = 200^2 / 100 \Rightarrow R_3 = 400 \Omega$ .

το ρεύμα κανονικής λειτουργίας του λαμπτήρα:  $P_K = V_K \cdot I_K \Rightarrow I_K = P_K / V_K \Rightarrow I_K = 100 / 200 \Rightarrow I_K = 1 / 2 A$ .

Οι αντιστάτες  $R_1$  και  $R_2$  είναι συνδεδεμένοι παράλληλα:  $1 / R_{1,2} = (1 / R_1) + (1 / R_2) \Rightarrow 1 / R_{1,2} = (1 / 120) + (1 / 60) \Rightarrow 1 / R_{1,2} = 3 / 120 \Rightarrow R_{1,2} = 120 / 3 \Rightarrow R_{1,2} = 40 \Omega$ .

Οι αντιστάτες  $R_{1,2}$  και  $R_3$  είναι συνδεδεμένοι σε σειρά:  $R_{ολ} = R_{1,2} + R_3 \Rightarrow R_{ολ} = 40 + 400 \Rightarrow R_{ολ} = 440 \Omega$ .

$\Delta_2$ .

Αφού ο λαμπτήρας λειτουργεί κανονικά  $I = I_K$ .

(Νόμος του Ohm σε κλειστό κύκλωμα:  $I = E / (R_{ολ} + r) \Rightarrow I = 220 / 440 \Rightarrow I = 1 / 2 A$ . παρατηρούμε ότι δίνει την ίδια τιμή  $I$  στο κύκλωμα με το  $I_K$ )

Η πολική τάση της πηγής:  $V_\pi = E - I_K \cdot r \Rightarrow V_\pi = E - 0 \cdot r \Rightarrow V_\pi = E \Rightarrow V_\pi = 220 V$ .

Ισχύει:  $V_\pi = V_K + V_2 \Rightarrow V_2 = V_\pi - V_K \Rightarrow V_2 = 220 - 200 \Rightarrow V_2 = 20 V$ .

Νόμος του Ohm στον αντιστάτη  $R_2$ :  $I_2 = V_2 / R_2 \Rightarrow I_2 = 20 / 60 \Rightarrow I_2 = 1 / 3 A$ .

$\Delta_3$ .

Η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται στο εξωτερικό κύκλωμα σε χρονική διάρκεια 10 min:  $Q = I_K^2 \cdot R_{ολ} \cdot t \Rightarrow Q = (1 / 2)^2 \cdot 440 \cdot 10 \cdot 60 \Rightarrow Q = 66000 J$ .

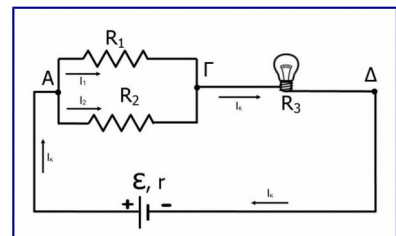
$\Delta_4$ .

Σωστή επιλογή είναι η β. Αν η αντίσταση  $R_2$  καταστραφεί, δεν διαρρέεται από ρεύμα.

Η ισοδύναμη αντίσταση γίνεται:  $R_{ολ}' = R_1 + R_3 \Rightarrow R_{ολ}' = 120 + 400 \Rightarrow R_{ολ}' = 520 \Omega$ .

Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα γίνεται:  $I' = E / (R_{ολ}' + r) \Rightarrow I' = E / (R_{ολ}' + 0) \Rightarrow I' = E / R_{ολ}' \Rightarrow I' = 220 / 520 \Rightarrow I' = 0,42 A$ .

Αφού  $I' < I_K$  ο λαμπτήρας θα υπολειτουργεί.



### ΑΣΚΗΣΗ 9

Τρεις αντιστάτες με αντιστάσεις  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 5 \Omega$ , και  $R_3 = 10 \Omega$  συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους και το σύστημά τους τροφοδοτείται με ηλεκτρική πηγή ηλεκτρεγερτικής δύναμης  $E = 12 \text{ V}$  και εσωτερικής αντίστασης  $r$ . Αν η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη με αντίσταση  $5 \Omega$  είναι  $1,5 \text{ A}$ , να υπολογίσετε:

$\Delta_1$ . την ηλεκτρική τάση στους πόλους της ηλεκτρικής πηγής.

$\Delta_2$ . την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει την ηλεκτρική πηγή.

$\Delta_3$ . την εσωτερική αντίσταση της ηλεκτρικής πηγής.

$\Delta_4$ . την ισχύ που παρέχει η ηλεκτρική πηγή σε όλο το κύκλωμα.

Λύση

$\Delta_1$ .

Νόμος του Ohm στον αντιστάτη  $R_2$  :

$$I_2 = V_2 / R_2 \Rightarrow V_2 = I_2 \cdot R_2 \Rightarrow V_2 = 1,5 \cdot 5 \Rightarrow V_2 = 7,5 \text{ V}.$$

Οι αντιστάτες συνδέονται παράλληλα, άρα η τάση όλων των αντιστατών είναι η ίδια με την πολική τάση της πηγής.

$\Delta_2$ .

Νόμος του Ohm στον αντιστάτη  $R_1$  :  $I_1 = V_2 / R_1 \Rightarrow I_1 = 7,5 / 2 \Rightarrow I_1 = 3,75 \text{ A}$ .

Νόμος του Ohm στον αντιστάτη  $R_3$  :  $I_3 = V_2 / R_3 \Rightarrow I_3 = 7,5 / 10 \Rightarrow I_3 = 0,75 \text{ A}$ .

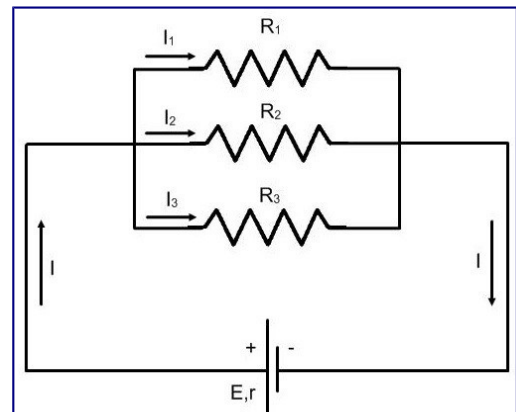
1ος κανόνας του Kirchhoff :  $I = I_1 + I_2 + I_3 \Rightarrow I = 1,5 + 3,75 + 0,75 \Rightarrow I = 6 \text{ A}$ .

$\Delta_3$ .

Η πολική τάση της πηγής δίνεται :  $V_\pi = E - I \cdot r \Rightarrow I \cdot r = E - V_\pi \Rightarrow r = (E - V_\pi) / I \Rightarrow r = (12 - 7,5) / 6 \Rightarrow r = 0,75 \Omega$ .

$\Delta_4$ .

Η ισχύς που παρέχει η πηγή σε όλο το κύκλωμα :  $P_{ολ} = E \cdot I \Rightarrow P_{ολ} = 12 \cdot 6 \Rightarrow P_{ολ} = 72 \text{ Watt}$ .



### ΑΣΚΗΣΗ 10

Όταν μια ηλεκτρική πηγή τροφοδοτεί αντιστάτη με αντίσταση  $R_1 = 3,5 \Omega$ , αυτή διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης  $I_1 = 1,2 \text{ A}$ . Όταν όμως η ίδια ηλεκτρική πηγή τροφοδοτεί αντιστάτη με αντίσταση  $R_2 = 8,5 \Omega$ , τότε διαρρέεται από ρεύμα έντασης  $I_2 = 0,6 \text{ A}$ . Δίνεται ότι η ηλεκτρική πηγή έχει ηλεκτρεγερτική δύναμη  $E$  και εσωτερική αντίσταση  $r$ .

$\Delta_1$ . Να σχεδιάσετε το ένα από τα δυο προαναφερόμενα κυκλώματα και τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος σ' αυτό.

$\Delta_2$ . Να υπολογίσετε την εσωτερική αντίσταση και την ηλεκτρεγερτική δύναμη της ηλεκτρικής πηγής.

$\Delta_3$ . Να υπολογίσετε την ισχύ που παρέχει η ηλεκτρική πηγή στο εξωτερικό κύκλωμα, όταν τροφοδοτεί μόνο έναν αντιστάτη με αντίσταση  $R_3 = 1,5 \Omega$ .

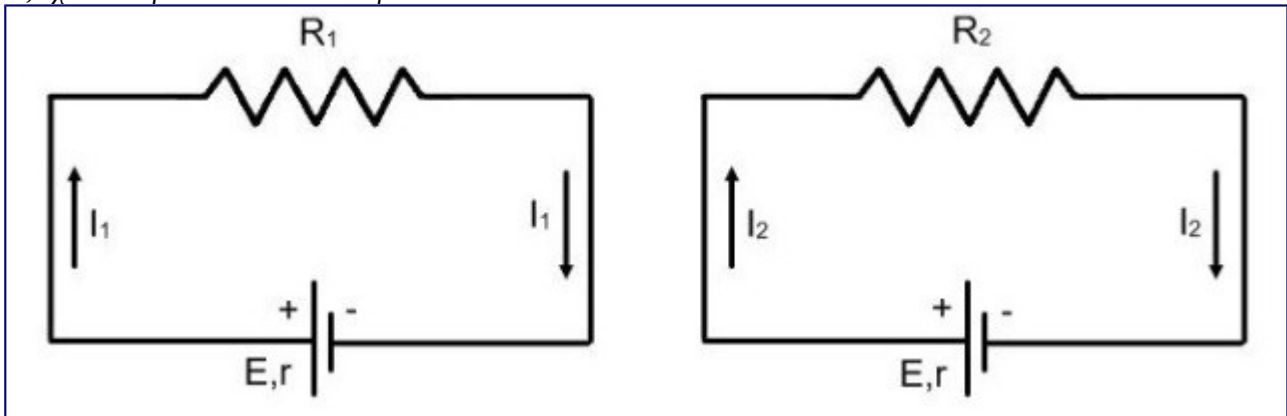
$\Delta_4$ . Να σχεδιάσετε σε βαθμονομημένους (με μονάδες μέτρησης στο σύστημα S.I.) άξονες  $V - I$  τη χαρακτηριστική καμπύλη της ηλεκτρικής πηγής.



### Λύση

#### Δ<sub>1</sub>

Ας σχεδιάσουμε και τα δύο κυκλώματα .



#### Δ<sub>2</sub>

Νόμος του Ohm σε κλειστό κύκλωμα :  $I_1 = E / (R_1 + r) \Rightarrow E = I_1 \cdot (R_1 + r)$  .

Νόμος του Ohm σε κλειστό κύκλωμα :  $I_2 = E / (R_2 + r) \Rightarrow E = I_2 \cdot (R_2 + r)$  .

συνδυάζουμε τις παραπάνω σχέσεις :

$$I_1 \cdot (R_1 + r) = I_2 \cdot (R_2 + r) \Rightarrow I_1 \cdot R_1 + I_1 \cdot r = I_2 \cdot R_2 + I_2 \cdot r \Rightarrow I_1 \cdot r - I_2 \cdot r = I_2 \cdot R_2 - I_1 \cdot R_1 \Rightarrow (I_1 - I_2) \cdot r = I_2 \cdot R_2 - I_1 \cdot R_1 \Rightarrow r = (I_2 \cdot R_2 - I_1 \cdot R_1) / (I_1 - I_2) \Rightarrow r = (0,6 \cdot 8,5 - 1,2 \cdot 3,5) / (1,2 - 0,6) \Rightarrow r = (5,1 - 4,2) / 0,6 \Rightarrow r = 0,9 / 0,6 \Rightarrow r = 1,5 \Omega$$

, η εσωτερική αντίσταση της πηγής .

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη  $E$  , είναι :  $E = I_1 \cdot (R_1 + r) \Rightarrow E = 1,2 \cdot (3,5 + 1,5) \Rightarrow E = 1,2 \cdot 5 \Rightarrow E = 6 \text{ V}$  .

#### Δ<sub>3</sub>

Νόμος του Ohm σε κλειστό κύκλωμα :  $I_3 = E / (R_3 + r) \Rightarrow I_3 = 6 / (1,5 + 1,5) \Rightarrow I_3 = 2 \text{ A}$  .

Η πολική ισχύς :  $V_\pi = E - I_3 \cdot r \Rightarrow V_\pi = 6 - 2 \cdot 1,5 \Rightarrow V_\pi = 3 \text{ Volt}$  .

Η ισχύς που παρέχει η πηγή στο εξωτερικό κύκλωμα :  $P_{εξ} = V_\pi \cdot I_3 \Rightarrow P_{εξ} = 3 \cdot 2 \Rightarrow P_{εξ} = 6 \text{ Watt}$  .

#### Δ<sub>4</sub>

Η χαρακτηριστική καμπύλη της πηγής είναι το διάγραμμα  $V_\pi - I$  :  $V_\pi = E - I \cdot r \Rightarrow V_\pi = 6 - 1,5 \cdot I$  .

Για  $V_\pi = 0 \Rightarrow 6 - 1,5 \cdot I_{\beta\rho} = 0 \Rightarrow I_{\beta\rho} = 6 / 1,5 \Rightarrow I_{\beta\rho} = 4 \text{ A}$  . Για  $I = 0 \Rightarrow V_\pi = E \Rightarrow V_\pi = 6 \text{ Volt}$  .

