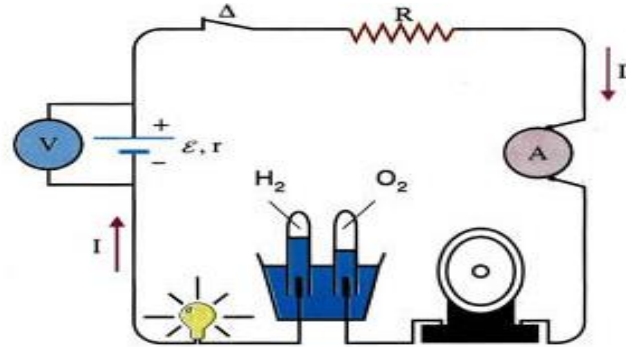


Φ10.1 (2.8) Ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) πηγής

Το κύκλωμα της εικόνας αποτελείται από μία **πηγή**, ένα **διακόπτη**, έναν **αντιστάτη**, ένα **λαμπτήρα**, ένα **βολτάμετρο** και ένα **ανεμιστήρα**. Όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός το κύκλωμα δεν διαρρέεται από ρεύμα, ενώ όταν ο διακόπτης είναι κλειστός το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα και η **πηγή προσφέρει ενέργεια στο κύκλωμα**.



Όταν θετικό φορτίο q φτάνει στον **αρνητικό πόλο**, όπου έχει την **ελάχιστη ηλεκτρική δυναμική ενέργεια**, «αναγκάζεται» από την πηγή να μετακινηθεί μέσω αυτής προς το **θετικό πόλο** της, όπου έχει τη **μέγιστη ηλεκτρική δυναμική ενέργεια**.

Το φορτίο παίρνει την **ενέργεια W** από την **πηγή**, την αποδίδει στο κύκλωμα και επιστρέφει στον **αρνητικό πόλο** για να επαναληφθεί η διαδικασία. Το πηλίκο της ενέργειας W προς το φορτίο q είναι ένα μέγεθος, που χαρακτηρίζει την πηγή και ονομάζεται **ηλεκτρεγερτική δύναμη της πηγής (ΗΕΔ)**.

$$\mathcal{E} = \frac{W}{q}$$

Ηλεκτρεγερτική δύναμη $\mathcal{E}$ μιας πηγής εκφράζει την **ενέργεια** ανά μονάδα **ηλεκτρικού φορτίου** που προσφέρει η πηγή στο κύκλωμα. Μονάδα της ΗΕΔ στο SI είναι:

$$1 \frac{J}{C} = 1V$$

$$\mathcal{E} = \frac{W}{q} \Rightarrow \mathcal{E} = \frac{W/t}{q/t} \Rightarrow \mathcal{E} = \frac{P}{I}$$

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη $\mathcal{E}$ μιας πηγής δίνεται και από το πηλίκο της **ισχύος P** , που παρέχει η πηγή στο κύκλωμα, προς την **ένταση** του ρεύματος I που διαρρέει το κύκλωμα.

Ο όρος ηλεκτρεγερτική δύναμη είναι μάλλον παραπλανητικός, γιατί **η ΗΕΔ δεν είναι δύναμη**, αλλά έχει **μονάδα μέτρησης ίδια με τη διαφορά δυναμικού**.

Ηλεκτρική πηγή και η ηλεκτρεγερτική της δύναμη

Η ηλεκτρική πηγή είναι ουσιαστικά ένας **ενεργειακός μετατροπέας**, δηλαδή μετατρέπει σε **ηλεκτρική ενέργεια**, μιας άλλης μορφής ενέργεια, που μπορεί να είναι **χημική, μηχανική, θερμική, ακτινοβολίας**.

Η **ηλεκτρική πηγή δεν παράγει ηλεκτρικό φορτίο**, αλλά αποδίδει σε κάθε **1C ορισμένη ποσότητα ενέργειας**, που καθορίζεται από την ΗΕΔ της: Αν π.χ. η πηγή έχει ΗΕΔ **3V**, τότε σε κάθε **1C** αποδίδει ενέργεια **3J**.

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη μιας πηγής αναγράφεται στο περίβλημά της:



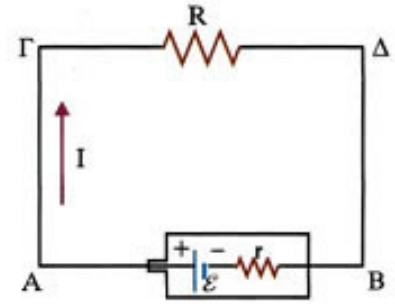
Εσωτερική αντίσταση πηγής

Όταν μια **ηλεκτρική πηγή** διαρρέεται από **ηλεκτρικό ρεύμα**, διαπιστώνουμε ότι **θερμαίνεται**. Η θερμότητα που αναπτύσσεται μέσα στην πηγή, οφείλεται στην **αντίσταση**, που αυτή παρεμβάλλει.

Η αντίσταση αυτή αποτελεί **χαρακτηριστικό μέγεθος της πηγής** και ονομάζεται **εσωτερική αντίσταση της πηγής** και συμβολίζεται με r . Η εσωτερική αντίσταση της πηγής εκφράζει τη δυσκολία, που συναντά το ηλεκτρικό ρεύμα, όταν διέρχεται μέσα από την πηγή.

2.9 Νόμος του Ohm για κλειστό κύκλωμα

Σε ένα κλειστό κύκλωμα υπάρχει γεννήτρια με **ηλεκτρεγερτική δύναμη** $\mathcal{E}$ και **εσωτερική αντίσταση** r . Το εξωτερικό κύκλωμα αποτελείται από μια **αντίσταση** R . Οι αγωγοί που χρησιμοποιούνται για τη συνδεσμολογία έχουν ασήμαντη αντίσταση. Το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα έντασης I .



Σε χρονικό διάστημα t , η πηγή δίνει **ενέργεια**:

$$W = P \cdot t \Rightarrow W = \mathcal{E} \cdot I \cdot t$$

Αυτή η ενέργεια μετατρέπεται σε **θερμότητα** στην αντίσταση R και στην αντίσταση r :

$$Q_R = I^2 \cdot R \cdot t \quad \text{και} \quad Q_r = I^2 \cdot r \cdot t$$

Από την **αρχή διατήρησης της ενέργειας** έχουμε:

$$W = Q_R + Q_r \Rightarrow \mathcal{E} \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t + I^2 \cdot r \cdot t \Rightarrow$$

$$\mathcal{E} = I \cdot R + I \cdot r \Rightarrow \mathcal{E} = I \cdot (R + r) \Rightarrow \mathcal{E} = I \cdot R_{ολ} \Rightarrow \boxed{I = \frac{\mathcal{E}}{R_{ολ}}}$$

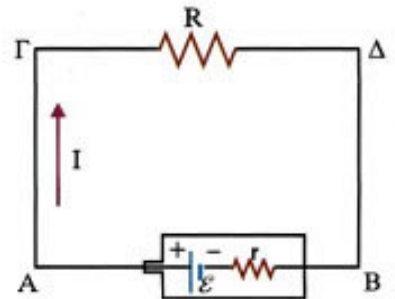
Η σχέση αυτή αποτελεί τη μαθηματική έκφραση του **νόμου του Ohm για κλειστό κύκλωμα**, και διατυπώνεται ως εξής:

Σε κλειστό κύκλωμα, που αποτελείται από ηλεκτρική πηγή και ωμικές αντιστάσεις, η ένταση του ρεύματος I που διαρρέει το κύκλωμα είναι ίση με το πηλίκο της ΗΕΔ της πηγής $\mathcal{E}$ προς την ολική αντίσταση $R_{ολ}$ του κυκλώματος.

Στο κύκλωμα της εικόνας, επειδή οι αγωγοί της συνδεσμολογίας ΑΓ και ΒΔ έχουν **ασήμαντη αντίσταση**, τα άκρα Γ και Δ της αντίστασης R έχουν το **ίδιο δυναμικό** με τους πόλους Α και Β της πηγής αντίστοιχα:

$$V_A = V_\Gamma \quad \text{και} \quad V_B = V_\Delta \Rightarrow V_A - V_B = V_\Gamma - V_\Delta$$

Η τάση στα άκρα της πηγής $V_A - V_B$ λέγεται **πολική τάση της πηγής** και συμβολίζεται με V_{Π} . Είναι $V_{\Pi} = V_R$ δηλαδή η τάση στους πόλους της πηγής είναι ίση με την τάση στα άκρα της αντίστασης R .



$$V_R = I \cdot R \text{ (νόμος του Ohm)} \Rightarrow V_{\Pi} = I \cdot R$$

$$W = Q_R + Q_r \Rightarrow \mathcal{E} = I \cdot R + I \cdot r \Rightarrow \mathcal{E} = V_{\Pi} + I \cdot r \Rightarrow \boxed{V_{\Pi} = \mathcal{E} - I \cdot r}$$

Στο κλειστό κύκλωμα η **τάση** V_{Π} στους πόλους της πηγής είναι ίση με την **ηλεκτρεγερτική δύναμη** $\mathcal{E}$ της πηγής ελαττωμένη κατά τον παράγοντα $I \cdot r$, που λέγεται **πτώση τάσης μέσα στην πηγή**.

- Αν το κύκλωμα είναι **ανοιχτό**, τότε η πηγή **δεν διαρρέεται από ρεύμα**, δηλαδή είναι $I = 0$.

$$V_{\Pi} = \mathcal{E} - I \cdot r \Rightarrow V_{\Pi} = \mathcal{E}$$

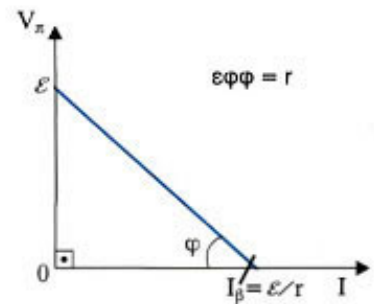
Η **ηλεκτρεγερτική δύναμη** $\mathcal{E}$ της πηγής είναι ίση με την τάση V στους πόλους της πηγής, όταν η πηγή **δεν διαρρέεται από ρεύμα** ($I = 0$).

- Αν συνδέσουμε τους πόλους της πηγής με **αγωγό αμελητέας αντίστασης**, δηλαδή $R = 0$, τότε λέμε ότι η πηγή είναι **βραχυκυκλωμένη**. Από το **νόμο του Ohm για κλειστό κύκλωμα** έχουμε:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_{ολ}} \Rightarrow I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \Rightarrow I_{\beta} = \frac{\mathcal{E}}{r}$$

Το ρεύμα αυτό είναι το **μέγιστο** που μπορεί να διαρρέει την πηγή και λέγεται **ρεύμα βραχυκύκλωσης**.

Από τη σχέση $V_{II} = \mathcal{E} - I \cdot r$ κατασκευάζουμε τη **χαρακτηριστική καμπύλη της πηγής**, που φαίνεται στην εικόνα δεξιά:



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ Φ10.Π1: Δύο αντιστάσεις $R_1 = 5\Omega$ και $R_2 = 3\Omega$ συνδέονται σε σειρά και τα άκρα του συστήματος συνδέονται με γεννήτρια ΗΕΔ $\mathcal{E} = 10V$ και εσωτερικής αντίστασης $r = 2\Omega$. Να βρεθούν:

- α) η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα
- β) η τάση στους πόλους της γεννήτριας και η τάση στα άκρα της R_1 και της R_2
- γ) η ισχύς της πηγής και η ισχύς που αποδίδει η πηγή στο εξωτερικό κύκλωμα.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

α)

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_{ολ}} = \frac{\mathcal{E}}{r + R_1 + R_2} = \frac{10}{2 + 5 + 3} \Rightarrow I = 1A$$

β)

$$V_{II} = \mathcal{E} - I \cdot r \Rightarrow V_{II} = 10 - 1 \cdot 2 \Rightarrow V_{II} = 8V$$

$$V_1 = I \cdot R_1 = 1 \cdot 5 \Rightarrow V_1 = 5V$$

$$V_2 = I \cdot R_2 = 1 \cdot 3 \Rightarrow V_2 = 3V$$

γ) Η ισχύς της πηγής είναι: $P_{πηγ} = \mathcal{E} \cdot I = 10 \cdot 1 \Rightarrow P_{πηγ} = 10W$

Η ισχύς που αποδίδει η πηγή στο εξωτερικό κύκλωμα είναι:

$$P_{εξ} = I^2 \cdot R_1 + I^2 \cdot R_2 = I^2 \cdot (R_1 + R_2) = 1 \cdot (5 + 3) \Rightarrow P_{εξ} = 8W$$

ΑΣΚΗΣΗ Φ10.Α1: (βιβλ. Ασκ.36) Όταν το εξωτερικό κύκλωμα έχει αντίσταση $R_1 = 1\Omega$, μια γεννήτρια δίνει ρεύμα έντασης $I_1 = 5A$, ενώ, όταν το εξωτερικό κύκλωμα έχει αντίσταση $R_2 = 4\Omega$, η γεννήτρια δίνει ρεύμα έντασης $I_2 = 2A$. Πόση είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη $\mathcal{E}$ και η εσωτερική αντίσταση r της γεννήτριας;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

ΑΣΚΗΣΗ Φ10.Α2: (βιβλ. Ασκ.37) Όταν οι πόλοι μιας γεννήτριας συνδέονται με εξωτερική αντίσταση $R_1 = 8\Omega$, η τάση στους πόλους της γεννήτριας είναι $V_1 = 24V$, ενώ όταν οι πόλοι της γεννήτριας συνδέονται με εξωτερική αντίσταση $R_2 = 13\Omega$, η τάση στους πόλους της γεννήτριας είναι $V_2 = 26V$. Πόση είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη $\mathcal{E}$ και η εσωτερική αντίσταση r της γεννήτριας;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

ΑΣΚΗΣΗ Φ10.Α3: (βιβλ. Ασκ.39) Δίνεται πηγή με $\mathcal{E} = 12V$ και $r = 1\Omega$. Η πηγή τροφοδοτεί δύο αντιστάσεις $R_1 = 2\Omega$ και $R_2 = 3\Omega$ συνδεμένες σε σειρά. Να βρείτε:

- α) την ένταση του ρεύματος, που διαρρέει το κύκλωμα,
- β) την πολική τάση της πηγής,
- γ) την ισχύ, που παρέχει η πηγή σε όλο το κύκλωμα,
- δ) την ισχύ στην εσωτερική αντίσταση της πηγής,
- ε) την ισχύ που παρέχει η πηγή στο εξωτερικό κύκλωμα,
- στ) την ισχύ σε κάθε μια από τις αντιστάσεις.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

ΑΣΚΗΣΗ Φ10.Α4: (βιβλ. Ασκ.40) Σε ένα κύκλωμα συνδέονται κατά σειρά πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, διακόπτης, αμπερόμετρο και ωμική αντίσταση R . Στους πόλους της πηγής συνδέεται βολτόμετρο. Όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός, η ένδειξη του βολτομέτρου είναι $24V$. Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, η ένδειξη του βολτομέτρου είναι $20V$ και του αμπερομέτρου $2A$. Να βρεθεί η ΗΕΔ και η εσωτερική αντίσταση της πηγής. Τα όργανα να θεωρηθούν ιδανικά.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ: