

Ηλεκτρικό Ρεύμα

Ορισμός έντασης ρεύματος

Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η ροή φορτίου μέσα από έναν αγωγό.

$$I = dQ/dt$$

- Μονάδα: 1 Ampere = 1 C/s

- Η φορά του ρεύματος ορίζεται ως η φορά κίνησης θετικών φορτίων

(άρα είναι αντίθετη με τη ροή ηλεκτρονίων).

Πυκνότητα ρεύματος

Ορίζεται ως το ρεύμα ανά μονάδα επιφάνειας αγωγού:

$$j = dI/dA$$

Για σταθερή διατομή: $j = I/A$

Μονάδα: A/m²



Ταχύτητα ολίσθησης

Σχέση:

$$I = nq u_d A$$

$$u_d = I/(nqA)$$

όπου:

- n: αριθμός φορέων ανά μονάδα όγκου

- q: φορτίο φορέα (για ηλεκτρόνιο $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C).



Παράδειγμα

Σύρμα χαλκού ($n = 8.5 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$) με διάμετρο $d = 1.02 \text{ mm}$ διαρρέεται από ρεύμα $I = 1.67 \text{ A}$.

Ζητούνται:

- (α) Πυκνότητα ρεύματος j
- (β) Ταχύτητα ολίσθησης u_d
- (γ) Χρόνος που χρειάζεται ένα ηλεκτρόνιο για να διασχίσει 1 m .

Λύση:

1. Διατομή: $A = \pi d^2/4 \approx 8.2 \times 10^{-7} \text{ m}^2$
2. $j = I/A = 1.67 / (8.2 \times 10^{-7}) \approx 2.0 \times 10^6 \text{ A/m}^2$
3. $u_d = j/(nq) = 2.0 \times 10^6 / [(8.5 \times 10^{28})(1.6 \times 10^{-19})] \approx 1.5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$
4. $t = L/u_d = 1 / (1.5 \times 10^{-4}) \approx 6700 \text{ s} \approx 1\text{h } 50\text{min}$

Σχόλια – Φυσική Ερμηνεία

- Η πραγματική ταχύτητα ολίσθησης είναι εξαιρετικά μικρή.
- Το ηλεκτρικό πεδίο όμως διαδίδεται με ταχύτητα κοντά στην ταχύτητα του φωτός ($\sim 3 \times 10^8 \text{ m/s}$), γι' αυτό το κύκλωμα αντιδρά άμεσα.

Νόμος του Ohm & Αγωγιμότητα

Μακροσκοπική θεώρηση (Ohm)



$$V = IR$$

- V: τάση (Volt)
- I: ρεύμα (Ampere)
- R: αντίσταση (Ohm)

Μικροσκοπική θεώρηση

$$j = \sigma E, \rho = 1/\sigma$$

$$E = \rho j$$

- σ : ηλεκτρική αγωγιμότητα (S/m)
- ρ : ειδική αντίσταση ($\Omega \cdot m$)



Αντίσταση αγωγού

$$R = \rho L/A$$

Θερμοκρασιακή εξάρτηση

$$R(T) = R(T_0)[1 + \alpha(T - T_0)]$$

Παράδειγμα

Χάλκινο σύρμα: $L = 2.0 \text{ m}$, $A = 1.0 \text{ mm}^2 = 1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2$, $\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega m$.

Εφαρμόζεται $V = 1.0 \text{ V}$.

Ζητούνται:

- (α) R
- (β) I
- (γ) E
- (δ) j

Λύση:

(α) $R = \rho L/A = (1.7 \times 10^{-8})(2)/(1.0 \times 10^{-6}) = 3.4 \times 10^{-2} \Omega$

(β) $I = V/R = 1/0.034 \approx 29.4 \text{ A}$

$$(\gamma) E = V/L = 1/2 = 0.5 \text{ V/m}$$

$$(\delta) j = I/A = 29.4/(1.0 \times 10^{-6}) = 2.94 \times 10^7 \text{ A/m}^2$$

Σχόλια – Ερμηνεία

- Η χαμηλή ειδική αντίσταση του χαλκού οδηγεί σε μεγάλα ρεύματα.
- Οι πυκνότητες ρεύματος είναι τάξης 10^6 – 10^7 A/m^2 , γι' αυτό οι αγωγοί θερμαίνονται.



Ηλεκτρεγερτική Δύναμη (ΗΕΔ)

1. Θεωρία

Η Ηλεκτρεγερτική Δύναμη (ΗΕΔ) είναι η αιτία που κινεί φορτία από χαμηλότερο προς υψηλότερο δυναμικό.

- Πηγές ΗΕΔ: μπαταρίες, γεννήτριες, ηλιακά κύτταρα.
- Μια πραγματική πηγή έχει εσωτερική αντίσταση r .
- Πολική τάση: $V = \varepsilon - Ir$

2. Μαθηματική περιγραφή

Σε κύκλωμα με πηγή ΗΕΔ ε και εσωτερική αντίσταση r συνδεδεμένη με φορτίο R :

$$I = \varepsilon / (R + r)$$
$$V_{\text{πολική}} = IR = \varepsilon - Ir$$

Παράδειγμα

Δοσμένα:

Πηγή: $\varepsilon = 12 \text{ V}$, $r = 2 \Omega$

Φορτίο: $R = 4 \Omega$

Ζητούνται: ρεύμα και πολική τάση.

Λύση:

$$I = \varepsilon / (R + r) = 12 / (4 + 2) = 2 \text{ A}$$

$$V_{\text{πολική}} = IR = 2 \times 4 = 8 \text{ V}$$

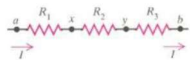
Σχόλια – Ερμηνεία

- Η ΗΕΔ εκφράζει το μέγιστο έργο ανά Coulomb που μπορεί να παράγει η πηγή.
- Η πραγματική τάση που παίρνουμε στους πόλους είναι πάντα μικρότερη λόγω της εσωτερικής αντίστασης.
- Όσο μεγαλύτερη η εσωτερική αντίσταση, τόσο μειώνεται η απόδοση της πηγής.

Συνδεσμολογία Αντιστάσεων

1. Σειριακή Συνδεσμολογία

Όταν οι αντιστάσεις συνδέονται η μία μετά την άλλη (άκρο με άκρο), διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα. Η συνολική ισοδύναμη αντίσταση είναι το άθροισμα των επιμέρους:



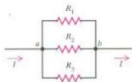
$$R_{ολ} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Η τάση κατανέμεται ανάλογα με το μέγεθος κάθε αντίστασης:

$$V_{total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

2. Παράλληλη Συνδεσμολογία

Όταν οι αντιστάσεις συνδέονται παράλληλα, έχουν κοινά άκρα και άρα δέχονται την ίδια τάση. Το ρεύμα μοιράζεται σε κλάδους. Η ισοδύναμη αντίσταση δίνεται από τον τύπο:



$$1/R_{ολ} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$$

Ειδικά για δύο αντιστάσεις:

$$R_{ολ} = (R_1 * R_2) / (R_1 + R_2)$$

Παράδειγμα

Δίνονται τρεις αντιστάσεις $R_1=10\Omega$ και $R_2=20\Omega$ σε παράλληλη συνδεσμολογία, οι οποίες συνδέονται στη συνέχεια σε σειρά με $R_3=30\Omega$. Να βρεθεί η ισοδύναμη αντίσταση.

Λύση:

Πρώτα βρίσκουμε την ισοδύναμη της παράλληλης:

$$R_{par} = (R_1 * R_2) / (R_1 + R_2) = (10 * 20) / (10 + 20) = 200 / 30 \approx 6.67 \Omega$$

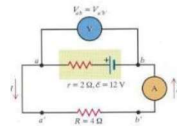
$$R_{ολ} = R_{par} + R_3 \approx 6.67 + 30 = 36.67 \Omega$$

Παράδειγμα

Προσδιορισμός ενδείξεων των οργάνων V και A .

Δίνεται κύκλωμα με πηγή ΗΕΔ $E = 12\text{ V}$, εσωτερική αντίσταση $r = 2\ \Omega$ και εξωτερική αντίσταση $R = 4\ \Omega$.

Να υπολογιστούν οι ενδείξεις του βολτομέτρου (V) και του αμπερομέτρου (A).



Λύση

1. Υπολογισμός της έντασης του ρεύματος στο κλειστό κύκλωμα:
Ο νόμος του Ωμ για το ισοδύναμο κύκλωμα δίνει:

$$I = E / (R + r) = 12\text{ V} / (4\ \Omega + 2\ \Omega) = 12 / 6 = 2\text{ A}$$

Άρα η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι:

$$I = 2\text{ A}$$

2. Υπολογισμός της πολικής τάσης V_{ab} (δηλαδή η τάση στα άκρα της πηγής):

$$V_{ab} = E - Ir = 12\text{ V} - (2\text{ A})(2\ \Omega) = 12 - 4 = 8\text{ V}$$

Άρα η ένδειξη του βολτομέτρου είναι:

$$V = 8\text{ V}$$

3. Έλεγχος με την τάση στα άκρα της εξωτερικής αντίστασης:

$$V = IR = (2\text{ A})(4\ \Omega) = 8\text{ V}$$

Το αποτέλεσμα συμφωνεί.

Τελικό Συμπέρασμα

Η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι $I = 2\text{ A}$, ενώ η ένδειξη του βολτομέτρου είναι $V = 8\text{ V}$.