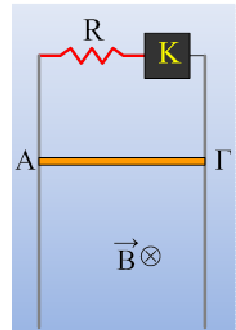


Άλλη μια πτώση αγωγού και ενεργειακές μετατροπές.

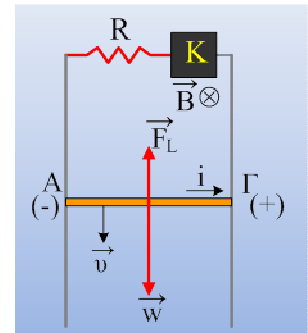
Ο αγωγός ΑΓ του σχήματος έχει μάζα $0,2\text{kg}$, μήκος $\ell=1\text{m}$, χωρίς να εμφανίζει αντίσταση και σε μια στιγμή αφήνεται να κινηθεί σε επαφή με δύο κατακόρυφους στύλους, μέσα σε ένα οριζόντιο ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης $B=0,5\text{T}$, όπως στο σχήμα. Τα πάνω άκρα των δύο στύλων συνδέονται μέσω αντίστασης $R=1\Omega$ και ενός αδιαφανούς κιβωτίου Κ (αγνώστου περιεχομένου). Μετά από λίγο, τη στιγμή t_1 ο αγωγός ΑΓ πέφτοντας, έχει αποκτήσει ταχύτητα $v=4\text{m/s}$, ενώ διαρρέεται από ρεύμα $i=3,2\text{A}$, με φορά από το Α προς το Γ. Για τη στιγμή αυτή να βρεθούν:



- i) Η ΗΕΔ από επαγωγή στον αγωγό ΑΓ.
 - ii) Η τάση στα άκρα του κιβωτίου.
 - iii) Η επιτάχυνση του αγωγού ΑΓ και ο ρυθμός μεταβολής της κινητικής του ενέργειας.
 - iv) Η ισχύς της ΗΕΔ από επαγωγή και η ισχύς την οποία παρέχει το ηλεκτρικό ρεύμα στο αδιαφανές κιβώτιο.
- Ο αγωγός ΑΓ και οι κατακόρυφοι στύλοι δεν εμφανίζουν αντίσταση, ενώ $g=10\text{m/s}^2$.

Απάντηση:

- i) Τη στιγμή που ο αγωγός ΑΓ κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο αναπτύσσεται πάνω του μια ΗΕΔ από επαγωγή $E=Bv\ell=0,5\cdot 4\cdot 1\text{V}=2\text{V}$, ενώ με βάση τον κανόνα των τριών δακτύλων, βρίσκουμε ότι ο θετικός πόλος της αντιστοιχεί στο άκρο Γ.
- ii) Η τάση στα άκρα του αγωγού ΑΓ, αφού δεν έχει αντίσταση, είναι ίση με $E=2\text{V}$, ενώ η τάση V_R στα άκρα του αντιστάτη είναι ίση: $V_R=i\cdot R=3,2\cdot 1\text{V}=3,2\text{V}$. Αλλά από το 2^ο κανόνα του Kirchhoff παίρνουμε:



$$V_{\Gamma A}=V_K+V_R \rightarrow V_K=E-iR=-1,2\text{V}.$$

- iii) Στον αγωγό ασκείται το βάρος και η δύναμη Laplace από το μαγνητικό πεδίο, που με βάση τον κανόνα των τριών δακτύλων, βρίσκουμε ότι είναι κατακόρυφη με φορά προς τα πάνω, όπως στο σχήμα, με μέτρο $F_L=Bi\ell=0,5\cdot 3,2\cdot 1\text{N}=1,6\text{N}$. Έτσι από το 2^ο νόμο του Νεύτωνα παίρνουμε:

$$\Sigma F=m\cdot a \rightarrow a = \frac{mg - F_L}{m} = \frac{0,2 \cdot 10 - 1,6}{0,2} \text{m/s}^2 = 4 \text{m/s}^2$$

Ενώ ο ρυθμός μεταβολής της κινητικής ενέργειας του αγωγού ΑΓ, στην θέση αυτή είναι ίσος με:

$$\frac{dK}{dt} = \frac{dW_{\Sigma F}}{dt} = \frac{\Sigma F \cdot dx \cdot \cos \alpha}{dt} = \Sigma F \cdot v \cdot \cos \alpha = ma \cdot v \rightarrow$$

$$\frac{dK}{dt} = ma \cdot v = 0,2 \cdot 4 \cdot 4 \text{J/s} = 3,2 \text{J/s}$$

- iv) Ο αγωγός ΑΓ λειτουργεί σαν μια πηγή παρέχοντας ηλεκτρική ενέργεια στο κύκλωμα. Η ισχύς αυτής

της «πηγής» είναι ίση:

$$P_E = E \cdot i = 2 \cdot 3,2 \text{ W} = 6,4 \text{ W}$$

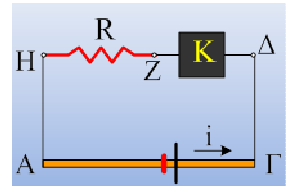
Ενώ η ισχύς που **παρέχει το ηλεκτρικό ρεύμα στο κιβώτιο** είναι ίση με:

$$P_K = V_K \cdot i = -1,2 \cdot 3,2 \text{ W} = -3,84 \text{ W}$$

Τι σημαίνει η εύρεση αρνητικής ισχύος ρεύματος; Ότι στην πραγματικότητα το ηλεκτρικό ρεύμα δεν προσφέρει ενέργεια στο κιβώτιο. Αντίθετα κερδίζει ενέργεια κατά το πέρασμά του μέσα από αυτό. Και η ενέργεια που κερδίζει το ηλεκτρικό ρεύμα την παραπάνω στιγμή είναι 3,84J/s.

Σχόλια.

- 1) Τι σημαίνει η τάση στο κιβώτιο είναι αρνητική και ίση με $-1,2\text{V}$; Εμείς, κινούμενοι με τη φορά του ρεύματος, υπολογίσαμε την τάση $V_{\Delta Z}$ και την βρήκαμε αρνητική. Αυτό σημαίνει ότι το δυναμικό στο σημείο Z είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του σημείου Δ. Στην ουσία δηλαδή έχουμε ότι η τάση στα άκρα του κιβωτίου είναι $V_K = V_{Z\Delta} = 1,2\text{V}$.

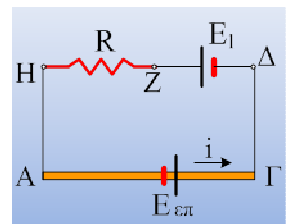


- 2) Το παραπάνω όμως σημαίνει, ότι τα φορτία περνώντας μέσα από το κιβώτιο μεταφέρονται (υποτίθεται θετικά φορτία, σύμφωνα με την συμβατική φορά του ρεύματος), από χαμηλό δυναμικό σε ψηλότερο, συνεπώς αυξάνεται η δυναμική τους ενέργεια. Αλλά τότε κερδίζουν ενέργεια και δεν χάνουν. Για το λόγο αυτό και «η ισχύς του ρεύματος» που υπολογίσαμε παραπάνω προέκυψε αρνητική. Αρνητική ισχύς ρεύματος σημαίνει το ρεύμα πήρε ενέργεια από το κιβώτιο. Πράγματι το ρεύμα μεταφέρει ενέργεια στον αντιστάτη, με ρυθμό ίσο με την θερμική ισχύ που παράγεται πάνω του:

$$P_{QR} = i^2 \cdot R = 3,2^2 \cdot 1 \text{ W} = 10,24 \text{ W}.$$

Που βρέθηκε η ενέργεια αυτή; Ενέργεια ίση με 6,4J/s προσφέρει η ΗΕΔ από επαγωγή που εμφανίζεται στον κινούμενο αγωγό και 3,84J/s προσφέρει το αδιαφανές κιβώτιο!!!

- 3) Μήπως ήρθε η στιγμή να ανοίξουμε το κιβώτιο για να δούμε τι περιέχει; Περιέχει «κάτι» που συμπεριφέρεται σαν μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, αφού προσφέρει ενέργεια στο κύκλωμα και δεν αφαιρεί, δεν είναι δηλαδή αποδέκτης. Η απλούστερη δηλαδή εκδοχή, είναι να υπάρχει μια πηγή, χωρίς αντίσταση και με ΗΕΔ $E_1 = 1,2\text{V}$, όπως φαίνεται στο διπλανό κύκλωμα. Βέβαια θα μπορούσε να περιέχει και ένα σωρό άλλα πράγματα, θα μπορούσε για παράδειγμα να περιέχει ένα ολόκληρο κύκλωμα, αλλά το ισοδύναμο είναι μια πηγή.



dmargaris@sch.gr