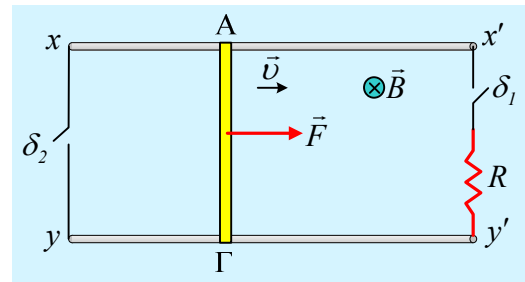


Με δυο διακόπτες να κλείνουν ένας-ένας...

Οι οριζόντιοι παράλληλοι αγωγοί xx' και yy' , με αμελητέα αντίσταση, απέχουν απόσταση $d=1\text{m}$ και ορίζουν ένα οριζόντιο επίπεδο, το οποίο βρίσκεται μέσα σε ένα κατακόρυφο ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης $B=1\text{T}$, όπως στο σχήμα (σε κάτοψη).

Μια αντίσταση $R=3\Omega$ συνδέεται μέσω διακόπτη δ_1 στα άκρα x' και y' των αγωγών, ενώ τα άκρα x και y συνδέονται με ένα δια-



κόπτη δ_2 , με καλώδια χωρίς αντίσταση. Μια μεταλλική ράβδος $ΑΓ$ μάζας $m=2\text{kg}$, αντίστασης $r=1\Omega$ και μήκους $l=1\text{m}$, κινείται οριζόντια με την επίδραση μιας οριζόντιας δύναμης F , παραμένοντας διαρκώς κάθετη στους αγωγούς xx' και yy' , με τους οποίους δεν εμφανίζει τριβές. Σε μια στιγμή t_1 η δύναμη έχει μέτρο $F=3\text{N}$, ενώ ο αγωγός $ΑΓ$ κινείται προς τα δεξιά με ταχύτητα $v=4\text{m/s}$. Για τη στιγμή αυτή να υπολογιστούν:

- Η επιτάχυνση του αγωγού $ΑΓ$, η ισχύς της δύναμης F και ο ρυθμός μεταβολής της κινητικής ενέργειας του αγωγού $ΑΓ$.
- Η τάση $V_{ΑΓ}$ στα άκρα του αγωγού $ΑΓ$ καθώς και η ηλεκτρική ισχύς στο κύκλωμα.

Στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Και οι δυο διακόπτες είναι ανοικτοί.
- Ο διακόπτης δ_1 είναι κλειστός, ενώ ο δ_2 ανοικτός.
- Και οι δυο διακόπτες είναι κλειστοί.

Απάντηση:

Ανεξάρτητα του τι συμβαίνει με τους διακόπτες, στον κινούμενο αγωγό $ΑΓ$ αναπτύσσεται μια ΗΕΔ λόγω επαγωγής, με θετικό πόλο το άκρο του A , όπως στο διπλανό σχήμα, ίση με:

$$E = Bvl = 1 \cdot 4 \cdot 1\text{V} = 4\text{V} \quad (1)$$

Ενώ ο ρυθμός με τον οποίο μέσω της δύναμης μεταφέρεται ενέργεια στον αγωγό $ΑΓ$, η ισχύς της δύναμης F , θα είναι ίση:

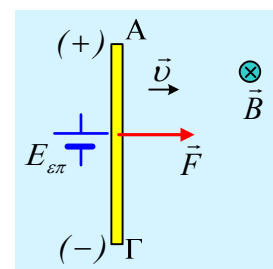
$$P_F = F \cdot v = 3 \cdot 4\text{W} = 12\text{W} \quad (2)$$

- Με τους δύο διακόπτες ανοικτούς, δεν έχουμε κύκλωμα παρά έναν αγωγό, τον $ΑΓ$, πάνω στον οποίο αναπτύσσεται η παραπάνω (σχέση 1) ΗΕΔ, χωρίς να διαρρέεται από ρεύμα.

α) Έτσι από το 2^ο νόμο του Νεύτωνα παίρνουμε:

$$F = ma_1 \rightarrow a_1 = \frac{F}{m} = \frac{3\text{N}}{2\text{kg}} = 1,5\text{m/s}^2.$$

Ενώ για τον ρυθμό μεταβολής της κινητικής ενέργειας του αγωγού $ΑΓ$:



$$\left(\frac{dK}{dt}\right)_1 = \frac{dW_{\Sigma F}}{dt} = \frac{F \cdot dx \cdot \sigma \nu \theta^0}{dt} = F \cdot \nu = 3 \cdot 4 \text{ J/s} = 12 \text{ J/s}$$

Αξίζει να επισημανθεί η ισότητα του παραπάνω ρυθμού με την ισχύ της δύναμης (2) $P_F = 12 \text{ W}$.

β) Αφού ο αγωγός δεν διαρρέεται από ρεύμα, η ισχύς του ρεύματος ($P=E \cdot I$) είναι μηδενική, ενώ η τάση στα άκρα του αγωγού ΑΓ, η πολική τάση της πηγής, είναι ίση με την ΗΕΔ:

$$V_{A\Gamma,1} = E_{\varepsilon\pi} = 4 \text{ V}$$

ii) Αν ο διακόπτης δ_1 είναι κλειστός, τότε έχουμε το κύκλωμα του διπλανού σχήματος, το οποίο διαρρέεται από ρεύμα με ένταση:

$$I_2 = \frac{E}{R+r} = \frac{4}{3+1} \text{ A} = 1 \text{ A}$$

Αλλά τότε ο αγωγός δέχεται δύναμη Laplace, η οποία με βάση των κανόνα των τριών δακτύλων έχει φορά αντίθετη της ταχύτητας και μέτρο:

$$F_{L,2} = BI_2 l = 1 \cdot 1 \cdot 1 \text{ N} = 1 \text{ N}$$

α) Από το 2^ο νόμο του Νεύτωνα παίρνουμε:

$$\Sigma F = ma_2 \rightarrow a_2 = \frac{F - F_{L,2}}{m} = \frac{3 \text{ N} - 1 \text{ N}}{2 \text{ kg}} = 1 \text{ m/s}^2.$$

Ενώ για τον ρυθμό μεταβολής της κινητικής ενέργειας του αγωγού ΑΓ:

$$\left(\frac{dK}{dt}\right)_2 = \frac{dW_{\Sigma F}}{dt} = \frac{\Sigma F \cdot dx \cdot \sigma \nu \theta^0}{dt} = (F - F_{L,2}) \cdot \nu = (3 - 1) \cdot 4 \text{ J/s} = 8 \text{ J/s}$$

β) Για την τάση στα άκρα του αγωγού ΑΓ, έχουμε:

$$V_{A\Gamma,2} = E_{\varepsilon\pi} - I_2 r = 4 \text{ V} - 1 \cdot 1 \text{ V} = 3 \text{ V}$$

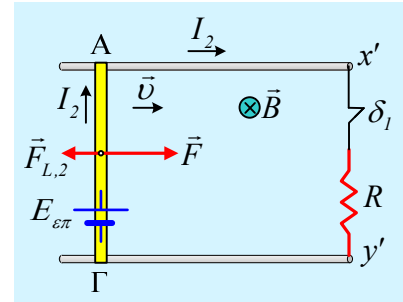
Ενώ η ηλεκτρική ισχύς στο κύκλωμα, ίση με την ισχύ της ΗΕΔ:

$$P_{\eta\lambda,2} = E_{\varepsilon\pi} \cdot I_2 = 4 \cdot 1 \text{ W} = 4 \text{ W}$$

Ας παρατηρήσουμε ότι η ισχύς της δύναμης (12W), η ανά μονάδα χρόνου ενέργεια που μεταφέρεται στον αγωγό, μέσω της δύναμης, κατά ένα μέρος (8J/s) χρησιμοποιείται για την αύξηση της κινητικής ενέργειας του αγωγού, ενώ το υπόλοιπο (4J/s), μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια που εμφανίζεται στο κύκλωμα και η οποία μετατρέπεται σε θερμότητα στις αντιστάσεις.

iii) Με κλειστούς τους δύο διακόπτες, η αντίσταση R και ο αγωγός ΑΓ είναι βραχυκυκλωμένοι, οπότε το ισοδύναμο κύκλωμα, είναι αυτό του παρακάτω σχήματος. το οποίο διαρρέεται από ρεύμα με ένταση:

$$I_3 = \frac{E}{r} = \frac{4}{1} \text{ A} = 4 \text{ A}$$

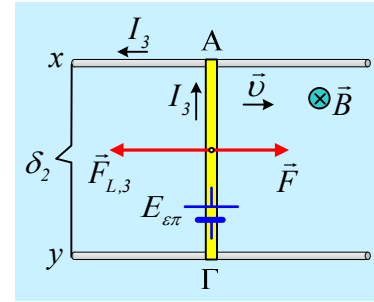


Αλλά τότε ο αγωγός δέχεται δύναμη Laplace, με μέτρο:

$$F_{L,3} = BI_3 l = 1 \cdot 4 \cdot 1N = 4N$$

α) Από το 2^ο νόμο του Νεύτωνα παίρνουμε:

$$\Sigma F = ma_3 \rightarrow a_3 = \frac{F - F_{L,2}}{m} = \frac{3N - 4N}{2kg} = -0,5m/s^2.$$



Αποτέλεσμα που μας λέει ότι ο αγωγός ΑΓ αποκτά επιτάχυνση με φορά αντίθετη της ταχύτητας, άρα ο αγωγός ΑΓ επιβραδύνεται.

Ενώ για τον ρυθμό μεταβολής της κινητικής ενέργειας του αγωγού ΑΓ, έχουμε:

$$\left(\frac{dK}{dt}\right)_3 = \frac{dW_{\Sigma F}}{dt} = \frac{|\Sigma F| \cdot dx \cdot \cos 180^\circ}{dt} = -(F_{L,3} - F) \cdot |v| \rightarrow$$

$$\left(\frac{dK}{dt}\right)_3 = -(4 - 3) \cdot 4J/s = -4J/s$$

β) Για την τάση στα άκρα του αγωγού ΑΓ:

$$V_{ΑΓ,3} = E_{επ} - I_3 r = 0!$$

Ενώ η ηλεκτρική ισχύς στο κύκλωμα, ίση με την ισχύ της ΗΕΔ:

$$P_{ηλ,3} = E_{επ} \cdot I_3 = 4 \cdot 4W = 16W$$

Τι συμβαίνει στην περίπτωση αυτή με τις ενέργειες; Μέσω του έργου της δύναμης F, μεταφέρεται ενέργεια 12J/s στον ΑΓ, ενώ ταυτόχρονα η κινητική του ενέργεια μειώνεται (αφού επιβραδύνεται...) κατά 4J/s. Αποτέλεσμα: Η ηλεκτρική ενέργεια που εμφανίζεται στο κύκλωμα είναι 16J/s και η οποία τελικά μετατρέπεται σε θερμότητα πάνω στην εσωτερική αντίσταση του αγωγού ΑΓ.

dmargaris@gmail.com