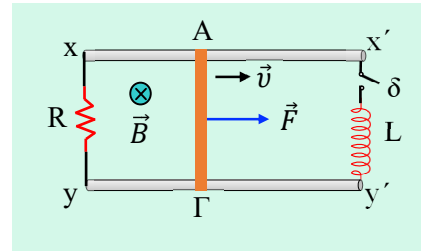


Επαγωγή με ανοικτό και κλειστό διακόπτη

Στο σχήμα, ο αγωγός ΑΓ μήκους 1m, με αντίσταση $r=1\Omega$ κινείται οριζόντια σε επαφή με δύο οριζόντιους ευθύγραμμους αγωγούς xx' και yy' , με σταθερή ταχύτητα $v=2\text{m/s}$, με την επίδραση οριζόντιας δύναμης F . Μεταξύ των άκρων x και y συνδέεται μια αντίσταση $R=3\Omega$, ενώ μέσω ενός διακόπτη, στα άκρα x' και y' συνδέεται ένα ιδανικό πηνίο με συντελεστή αυτεπαγωγής $L=0,5\text{H}$. Στο χώρο επικρατεί ένα κατακόρυφο ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης $B=1\text{T}$, όπως στο σχήμα (σε κάτοψη). Σε μια στιγμή $t=0$ κλείνουμε το διακόπτη.



- i) Για αμέσως μετά το κλείσιμο του διακόπτη να βρεθούν:
 - α) Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό ΑΓ και η τάση στα άκρα του.
 - β) Το μέτρο της δύναμης F , καθώς και η ισχύς της.
 - γ) Η ΗΕΔ από αυτεπαγωγή στο πηνίο και ο ρυθμός μεταβολής του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο.
- ii) Μόλις τελειώσουν τα μεταβατικά φαινόμενα και σταθεροποιηθεί η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό ΑΓ, να υπολογιστούν:
 - α) Η ενέργεια που έχει αποθηκευτεί στο πηνίο.
 - β) Ο ρυθμός με τον οποίο παρέχει ενέργεια στον αγωγό ΑΓ η δύναμη F .

Δίνεται ότι δεν υπάρχουν τριβές μεταξύ του αγωγού ΑΓ και των αγωγών xx' και yy' , οι οποίοι δεν έχουν αντίσταση.

Απάντηση:

- i) Στον κινούμενο αγωγό ΑΓ αναπτύσσεται ΗΕΔ λόγω επαγωγής, με πολικότητα, όπως στο σχήμα (το άκρο Α θετικό), ίση με:

$$E_{\varepsilon\pi} = Bvl = 1 \cdot 2 \cdot 1\text{V} = 2\text{V}$$

- α) Από τον νόμο του Ohm στο κύκλωμα ΑxyΓ για όσο χρόνο ο αγωγός ΑΓ κινείται, με ανοικτό το διακόπτη, παίρνουμε:

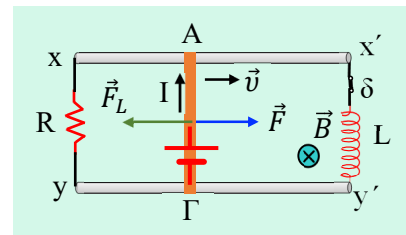
$$I = \frac{E_{\varepsilon\pi}}{R+r} = \frac{2\text{V}}{(3+1)\Omega} = 0,5\text{A}$$

Με φορά όπως στο σχήμα. Αλλά τότε αντιμετωπίζοντας τον αγωγό ΑΓ ως μια πηγή με εσωτερική αντίσταση r , έχουμε για την πολική τάση της:

$$V_{\pi} = V_{AG} = E_{\varepsilon\pi} - Ir = 2\text{V} - 0,5 \cdot 1\text{V} = 1,5\text{V}$$

Εναλλακτικά η παραπάνω τάση, είναι η τάση στα άκρα της αντίστασης:

$$V_{AG} = V_R = IR = 0,5 \cdot 3\text{V} = 1,5\text{V}$$



Αμέσως μετά το κλείσιμο του διακόπτη το πηνίο δεν διαρρέεται από ρεύμα, λόγω αυτεπαγωγής, συνεπώς η κατάσταση όσον αφορά την ένταση του ρεύματος και την παραπάνω τάση, είναι η ίδια και με τον διακόπτη ανοικτό!

- β) Αφού ο αγωγός ΑΓ κινείται με σταθερή ταχύτητα, ενώ δέχεται δύναμη Laplace, με κατεύθυνση αντίθετη της ταχύτητας, θα ισχύει:

$$\Sigma F = 0 \rightarrow F = F_L = BIl = 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \text{ N} = 0,5 \text{ N}$$

Η ισχύς της οποίας είναι ίση:

$$P_F = F \cdot v = 0,5 \cdot 2 \text{ W} = 1 \text{ W}$$

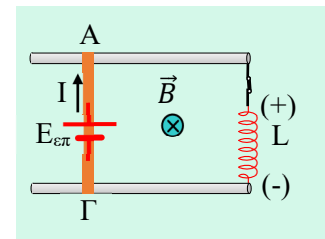
- γ) Εφαρμόζουμε τον 2^ο κανόνα του Kirchhoff στον βρόχο με το πηνίο:

$$E_{\varepsilon\pi} - Ir + E_{\text{αυτ}} = 0 \rightarrow E_{\text{αυτ}} = -E_{\varepsilon\pi} + Ir = -2 \text{ V} + 0,5 \cdot 4 \text{ V} = -1,5 \text{ V}$$

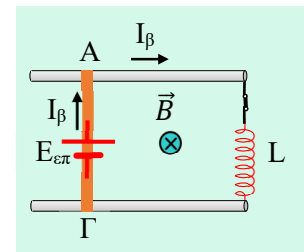
Το πρόσημο (-) σημαίνει ότι η πολικότητα της ΗΕΔ από αυτεπαγωγή είναι αντίθετη από την $E_{\varepsilon\pi}$ ή αν προτιμάτε τείνει να δώσει ρεύμα αντίθετης φοράς, από το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα. Η παραπάνω ΗΕΔ, είναι ίση:

$$E_{\varepsilon\pi} = -L \frac{di}{dt} \rightarrow \frac{di}{dt} = -\frac{E_{\varepsilon\pi}}{L} = -\frac{-1,5}{0,5} \text{ A/s} = +3 \text{ A/s}$$

Πράγμα που σημαίνει ότι η ένταση του ρεύματος μόλις κλείσουμε το διακόπτη, είναι μηδενική, αλλά αυξάνεται με αρχικό ρυθμό 3 A/s και την ίδια φορά, με την φορά της έντασης που διαρρέει τον ΑΓ.



- ii) Μόλις σταθεροποιηθεί η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο, τότε η $E_{\text{αυτ}}$ μηδενίζεται, αλλά τότε με μηδενική τάση στα άκρα του πηνίου, έχουμε μηδενική τάση και στα άκρα της αντίστασης R, οπότε αυτή δεν διαρρέεται από ρεύμα, συνεπώς η ράβδος συμπεριφέρεται σαν μια βραχυκυκλωμένη πηγή αφού $V_{AG}=0$, η οποία διαρρέεται από ρεύμα I_β , όπως στο διπλανό σχήμα.



- α) Για το ρεύμα βραχυκύκλωσης του αγωγού ΑΓ έχουμε:

$$V_{AG} = E_{\varepsilon\pi} - I_\beta r = 0 \rightarrow I_\beta = \frac{E_{\text{αυτ}}}{r} = \frac{2}{1} \text{ A} = 2 \text{ A}$$

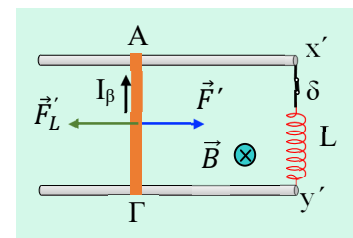
Αλλά τότε στο μαγνητικό πεδίο του πηνίου αποθηκεύεται ενέργεια ίση:

$$U_{\max} = \frac{1}{2} L I_\beta^2 = \frac{1}{2} 0,5 \cdot 2^2 \text{ J} = 1 \text{ J}$$

- β) Ο αγωγός ΑΓ κινείται με σταθερή ταχύτητα, οπότε ο αγωγός θα διαρρέεται από σταθερή ένταση ρεύματος και η κίνηση επιτυγχάνεται με την εφαρμογή σταθερής δύναμης F' :

$$\Sigma \vec{F} = 0 \rightarrow F' = F'_L = B I_\beta l = 1 \cdot 2 \cdot 1 \text{ N} = 2 \text{ N}$$

Έτσι ο ρυθμός με τον οποίο μεταφέρεται ενέργεια στον ΑΓ, μέσω του έργου της δύναμης F , είναι ίσος:



$$\frac{dW}{dt} = P_F = F' \cdot v = 2 \cdot 2W = 4W$$

dmargaris@gmail.com