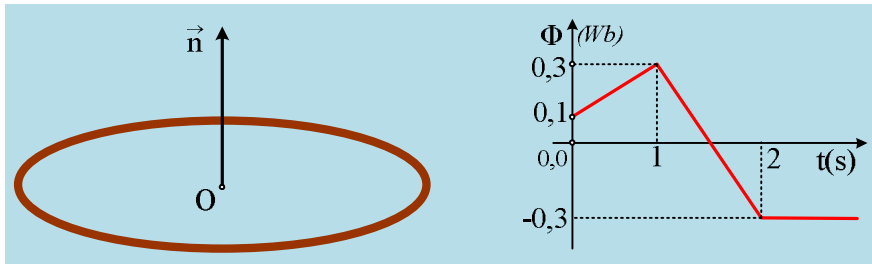
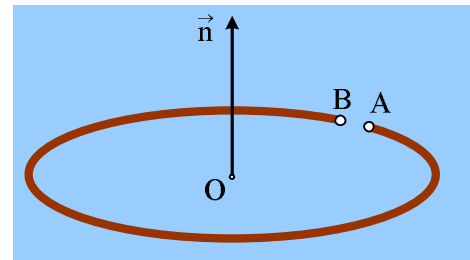


## Η μαγνητική ροή και ο κυκλικός αγωγός

Στο σχήμα βλέπετε έναν οριζόντιο κυκλικό αγωγό (ένα κυκλικό πλαίσιο) με αντίσταση  $R=2\Omega$  και την κάθετο στο επίπεδό του  $\vec{n}$ , στο κέντρο του  $O$ . Ο αγωγός αυτός βρίσκεται μέσα σε ένα κατακόρυφο ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης μέτρου  $B_0=0,5T$ . Κάποια στιγμή ( $t_0=0$ ) η ένταση του πεδίου αρχίζει να αλλάζει (ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια του αγωγού), με αποτέλεσμα η μαγνητική ροή που διέρχεται από το πλαίσιο να μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το χρόνο, όπως στο διπλανό διάγραμμα.



- i) Να υπολογίσετε το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου τις χρονικές στιγμές  $t_1=0,5s$  και  $t_2=1,8s$  και να σχεδιάσετε στο σχήμα το διάνυσμά της.
- ii) Να βρεθεί η ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή που αναπτύσσεται στο πλαίσιο τη χρονική στιγμή  $t_1$ , καθώς και τη στιγμή που μηδενίζεται η ένταση του μαγνητικού πεδίου.
- iii) Να κάνετε τη γραφική παράσταση της έντασης του ρεύματος που διαρρέει το πλαίσιο σε συνάρτηση με το χρόνο.
- iv) Αν ο παραπάνω αγωγός είχε ένα άνοιγμα, όπως στο σχήμα, να κάνετε τη γραφική παράσταση της τάσης  $V_{AB}$  σε συνάρτηση με το χρόνο.

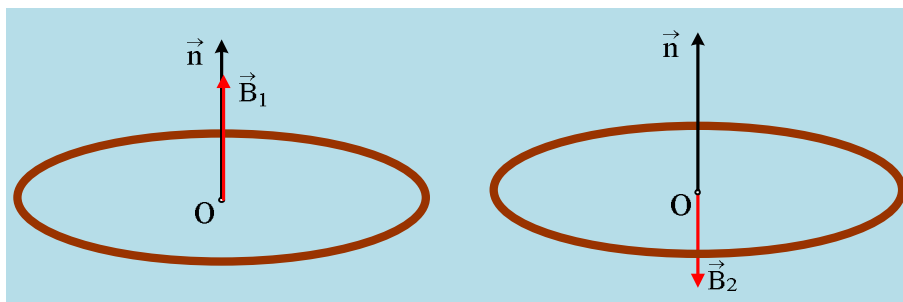


### Απάντηση:

- i) Η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια του κυκλικού αγωγού δίνεται από τη σχέση:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Όπου  $\alpha$  η γωνία μεταξύ της κάθετης στο πλαίσιο και της έντασης του μαγνητικού πεδίου. Αλλά τότε τη στιγμή  $t_1$  όπου  $\Phi > 0$  η ένταση έχει την ίδια φορά με την κάθετη  $\vec{n}$ , ενώ αντίθετα τη στιγμή  $t_2$  όπου  $\Phi < 0$  η ένταση έχει αντίθετη κατεύθυνση από την κάθετη.



Όσον αφορά το **μέτρο** της έντασης, για τη στιγμή  $t_0=0$  έχουμε:

$$\Phi_0 = B_0 \cdot S \rightarrow S = \frac{\Phi_0}{B_0} = \frac{0,1}{0,5} m^2 = 0,2 m^2$$

Εξάλλου από 0-1s η ροή δίνεται από την εξίσωση:

$$\Phi = \alpha t + \beta$$

Όπου για  $t=0 \rightarrow \beta = \Phi_0 = 0,1 \text{ Wb}$  και για  $t=1\text{s}$  παίρνουμε  $0,3 = \alpha \cdot 1 + 0,1$  ή  $\alpha = 0,2 \text{ Wb/s}$ , οπότε τελικά:

$$\Phi = 0,1 + 0,2t \text{ (S.I.)}$$

Οπότε τη στιγμή  $t_1 = 0,5\text{s}$ ,  $\Phi_1 = 0,2 \text{ Wb}$  και  $B_1 = \frac{\Phi_1}{S} = \frac{0,2}{0,2} T = 1T$

Σημείωση: Με ελάχιστη Γεωμετρία προκύπτει ότι τη στιγμή  $t_1$  αντιστοιχεί η διάμεσος του τραπεζίου, άρα ροή  $0,2 \text{ Wb}$  που αντιστοιχεί και σε ένταση  $2 \cdot 0,5T = 1T \dots$

Με την ίδια συλλογιστική για το χρονικό διάστημα από 1s - 2s θα έχουμε:

$$\Phi = \alpha' t + \beta' \text{ και με αντικατάσταση:}$$

$$0,3 = \alpha' \cdot 1 + \beta' \text{ και } -0,3 = \alpha' \cdot 2 + \beta'$$

Από όπου βρίσκουμε  $\alpha' = -0,6 \text{ Wb/s}$  και  $\beta' = 0,9 \text{ Wb}$ , οπότε και  $\Phi = 0,9 - 0,6 \cdot t \text{ (S.I.)}$

Έτσι τη στιγμή  $t_2 = 1,8\text{s}$  θα έχουμε:

$$\Phi_2 = (0,9 - 0,6 \cdot 1,8) \text{ Wb} = -0,18 \text{ Wb} \text{ και}$$

$$|B_2| = \frac{\Phi_2}{S \sin 180^\circ} = \frac{-0,18}{0,2(-1)} T = 0,9T$$

- ii) Στο χρονικό διάστημα από 0-1s η ροή αυξάνεται γραμμικά, πράγμα που σημαίνει ότι η κλίση της ευθείας παραμένει σταθερή ή ισοδύναμα ο στιγμιαίος ρυθμός μεταβολής της μαγνητικής ροής, παραμένει σταθερός και ίσος με το μέσο ρυθμό μεταβολής της. Δηλαδή ισχύει ότι, για κάθε  $t$  έχουμε:

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Αλλά τότε και η εμφανιζόμενη ΗΕΔ από επαγωγή παραμένει σταθερή, σε όλο αυτό το χρονικό διάστημα, με τιμή:

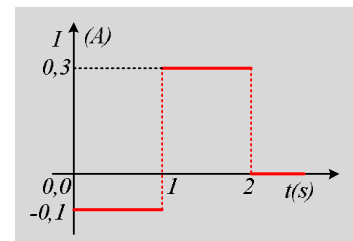
$$E_1 = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{0,3 - 0,1}{1} V = -0,2V$$

Με την ίδια λογική και στο χρονικό διάστημα από 1s-2s η εμφανιζόμενη ΗΕΔ παραμένει σταθερή, οπότε και τη στιγμή  $t' = 1,5\text{s}$  (γιατί;), όπου μηδενίζεται η ένταση του πεδίου, θα έχουμε:

$$E_2 = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{-0,3 - 0,3}{1} V = +0,6V$$

- iii) Από τον νόμο του Ohm για κλειστό κύκλωμα, έχουμε για τα δύο παραπάνω χρονικά διαστήματα:

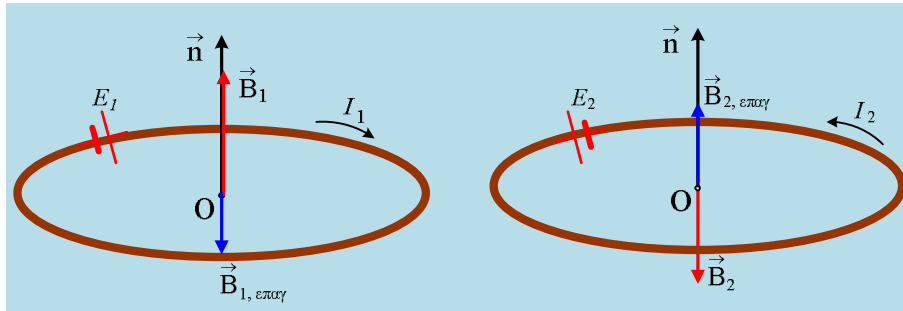
$$I_1 = \frac{E_1}{R} = \frac{-0,2}{2} A = -0,1A$$



$$I_2 = \frac{E_2}{R} = \frac{0,6}{2} A = +0,3A$$

Με αποτέλεσμα η ζητούμενη γραφική παράσταση να είναι αυτή του διπλανού σχήματος.

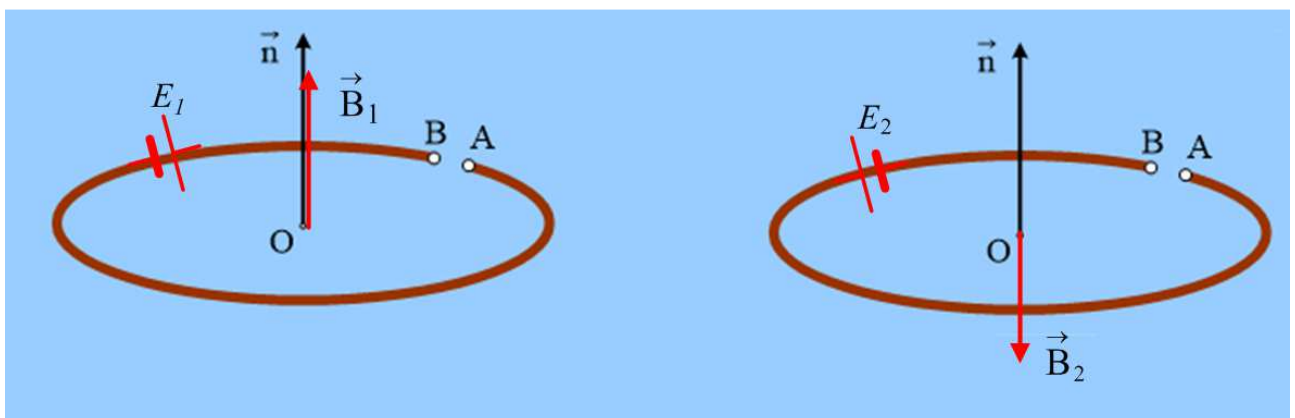
iv) Τι ακριβώς σημαίνει θετική και τι αρνητική ένταση ρεύματος στην παραπάνω περίπτωση; Στο πρώτο χρονικό διάστημα, η ένταση του μαγνητικού πεδίου  $B_1$  είχε φορά προς τα πάνω και αυξάνεται. Αλλά τότε με βάση τον κανόνα του Lenz, στον αγωγό θα δημιουργηθεί ρεύμα τέτοιας φοράς, που να αντιστέκεται στην αύξηση του  $B$ . Πώς θα αντισταθεί; Θα δημιουργήσει μαγνητικό πεδίο αντίθετης κατεύθυνσης, όπως στο πρώτο από τα παρακάτω σχήματα.



Αλλά για να δημιουργηθεί ένταση μαγνητικού πεδίου  $B_{1,επ}$  με φορά προς τα κάτω, με βάση τον κανόνα του δεξιού χεριού, ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα έντασης  $I_1$ , όπως στο σχήμα, το οποίο οφείλεται στην ΗΕΔ από επαγωγή  $E_1$  που έχει σημειωθεί πάνω στο σχήμα. (προσοχή η ΗΕΔ αυτή δεν παρουσιάζεται στη θέση που έχει σχεδιαστεί, αλλά σε όλον τον κυκλικό αγωγό...). Αυτή η ΗΕΔ λοιπόν και αυτή η ένταση του ρεύματος, υπολογίστηκαν παραπάνω με αρνητικές τιμές.

Όμοια βρίσκουμε ότι από 1s-2s η κατάσταση είναι αντίθετη, όπως φαίνεται στο 2° σχήμα, όπου η  $E_2$  και η ένταση του ρεύματος  $I_2$  υπολογίζονται με θετικές τιμές.

Τι θα αλλάξει τώρα αν ο αγωγός έχει μια εγκοπή, οπότε δεν θα έχουμε επαγωγικό ρεύμα; Φαινόμενο επαγωγής θα έχουμε και ο νόμος της επαγωγής προβλέπει ανάπτυξη ΗΕΔ από επαγωγή και όχι ρεύμα. Έτσι τώρα θα έχουμε ξανά εμφάνιση ΗΕΔ, όπως στα σχήματα:



Αλλά τότε στο αριστερό κύκλωμα θα έχουμε:

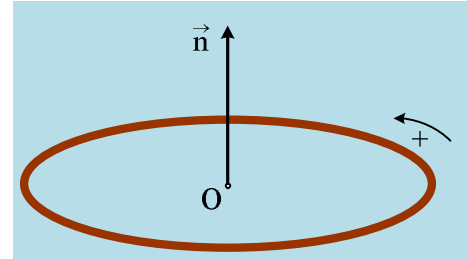
$$V_{BA} = |E_1| \rightarrow V_{AB} = -|E_1| = -0,2V$$

Ενώ για το 2° χρονικό διάστημα, με βάση το δεξιό σχήμα:

$$V_{AB}=|E_2| = 0,6V$$

**Σχόλιο για καθηγητές:**

Για να προκύψει το κάθετο προς την επιφάνεια διάνυσμα  $\vec{n}$ , με βάση τον κανόνα του δεξιόστροφου κοχλίου, σημαίνει ότι διαγράφουμε την περιφέρεια του κύκλου με την φορά που έχουμε σημειώσει στο διπλανό σχήμα, η οποία θεωρείται και θετική φορά περιστροφής και όμοια θετική φορά προς τα πάνω για τα εμφανιζόμενα διανύσματα.



Έτσι η  $E_1$  βγήκε αρνητική, αφού δίνει ρεύμα αντίθετης φοράς (άρα αρνητικής έντασης), από αυτήν που ορίσαμε ως θετική. Αντίθετα η  $E_2$  (και η αντίστοιχη ένταση  $I_2$ ) προέκυψαν θετικά.

[dmargaris@gmail.com](mailto:dmargaris@gmail.com)