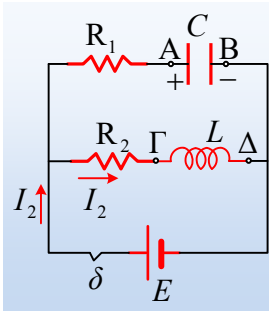


Φθίνουσα Ηλεκτρική Ταλάντωση. Φ.Ε.

Στο διπλανό κύκλωμα δίνονται $E=40V$, $R_1=2\Omega$, $R_2=8\Omega$, $C=10\mu F$ και το ιδανικό πηνίο έχει συντελεστή αυτεπαγωγής $L=0,4mH$. Ο διακόπτης είναι κλειστός για μεγάλο χρονικό διάστημα.

1) Χαρακτηρίστε ως σωστές ή λανθασμένες τις παρακάτω προτάσεις:



Με κλειστό το διακόπτη ο κλάδος που έχει τον πυκνωτή δεν διαρρέεται από ρεύμα (στην πραγματικότητα για ελάχιστο χρόνο, μόλις κλείσουμε το διακόπτη ο αντιστάτης διαρρέεται από ρεύμα και έτσι μεταφέρονται φορτία στον πυκνωτή με αποτέλεσμα να φορτισθεί σε τάση $V_c=V_{AB}=E=40V$, αποκτώντας φορτίο q), ενώ ο κλάδος του πηνίου διαρρέεται από ρεύμα σταθερής έντασης (δεν έχουμε πια φαινόμενα αυτεπαγωγής):

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = 5A.$$

Με βάση αυτά οι απαντήσεις είναι:

- α) Ο αντιστάτης R_1 δεν διαρρέεται από ρεύμα, ενώ ο R_2 διαρρέεται από ρεύμα σταθερής έντασης. **Σ.**
 - β) Ο πυκνωτής είναι φορτισμένος με τον οπλισμό που συνδέεται στο σημείο Α (στο εξής οπλισμός Α), να έχει θετικό φορτίο. **Σ.**
 - γ) Η τάση V_c του πυκνωτή, είναι η διαφορά δυναμικού V_A-V_B και ισχύει $V_c=E$. **Σ.**
 - δ) Η τάση V_L του πηνίου είναι η διαφορά δυναμικού $V_\Gamma-V_\Delta$ και ισχύει $V_L=E$. **Λ. ($V_L=0$)**
 - ε) Ο αντιστάτης R_2 διαρρέεται από ρεύμα, έντασης $I_2=5A$. **Σ.**
- i) Υπολογίσετε το φορτίο του πυκνωτή καθώς και την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στον πυκνωτή και στο πηνίο.

Απάντηση:

Για τον φορτίο του πυκνωτή έχουμε:

$$C = \frac{q}{V_c} \rightarrow q = CV_c = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 40C = 400\mu C = 4 \cdot 10^{-4} C$$

$$\text{Ενώ } U_c = \frac{1}{2} \frac{1}{C} q^2 = \frac{q^2}{2C} = \frac{(4 \cdot 10^{-4})^2}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} J = 8 \cdot 10^{-3} J$$

$$\text{Και } U_L = \frac{1}{2} LI_2^2 = \frac{1}{2} 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 5^2 J = 5 \cdot 10^{-3} J$$

- ii) Με ποιο ρυθμό προσφέρει η πηγή ενέργεια στο κύκλωμα (ισχύς της πηγής) και με ποιο ρυθμό το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρει ενέργεια στο πηνίο (ισχύς του πηνίου);

Απάντηση:

Η πηγή παρέχει ενέργεια στα φορτία, (συνεπώς στο ηλεκτρικό ρεύμα και κατά προέκταση στο κύκλωμα) με ρυθμό:

$$P_E = E \cdot I_2 = 40 \cdot 5W = 200W$$

Ενώ η ισχύς που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα στο πηνίο είναι:

$$P_L = V_{\Gamma\Lambda} I_2 = 0$$

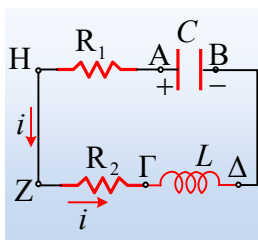
Στην πραγματικότητα όλη η ενέργεια που παρέχει η πηγή στο κύκλωμα μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια (και στη συνέχεια εμφανίζεται ως θερμότητα) στον αντιστάτη R_2 :

$$P_Q = I_2^2 R_2 = 5^2 \cdot 8W = 200W$$

Σε μια στιγμή $t_0=0$, ανοίγουμε το διακόπτη δ .

2) Για τη στιγμή αμέσως μετά το άνοιγμα του διακόπτη ($t=0^+$):

Απάντηση:



Λόγω αυτεπαγωγής το πηνίο θα συνεχίσει να διαρρέεται από ρεύμα της ίδιας αρχικής έντασης ($|i|=5A$) με την ίδια φορά που είχε και πριν το άνοιγμα του διακόπτη. Αλλά τότε και οι δύο αντιστάτες θα διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα, με αποτέλεσμα ο πυκνωτής να αρχίσει να εκφορτίζεται, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα και σωστή είναι η β) πρόταση.

i) Ποια πρόταση είναι σωστή:

- α) Ο αντιστάτης R_2 συνεχίζει να διαρρέεται από ρεύμα, ενώ ο R_1 δεν διαρρέεται.
- β) Και οι δύο αντιστάτες διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα με την ίδια ένταση. **Σ.**
- γ) Ο πυκνωτής εκφορτίζεται προσφέροντας ενέργεια στο κύκλωμα, ένα μέρος της οποίας μεταφέρεται στο πηνίο, αυξάνοντας την ενέργεια του μαγνητικού του πεδίου.

Από τον 2° κανόνα του Kirchoff στο παραπάνω κύκλωμα για τις διαφορές δυναμικού στη διαδρομή ABΔΓΖΗΑ παίρνουμε:

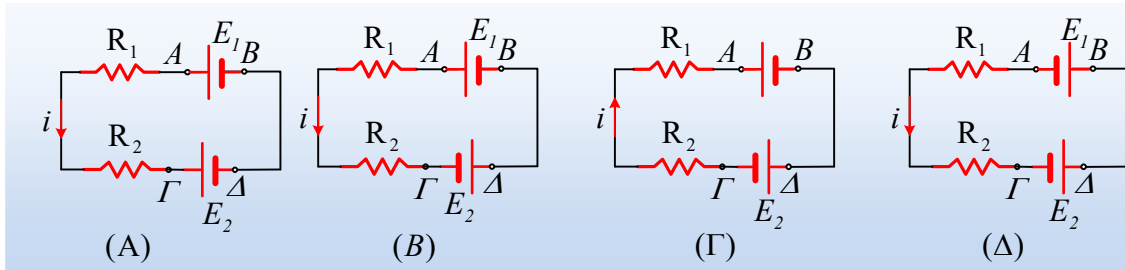
$$\begin{aligned} V_{AB} + V_{BA} + V_{\Delta\Gamma} + V_{\Gamma Z} + V_{ZH} + V_{HA} &= 0 \rightarrow \\ 40V + 0 + V_{\Delta\Gamma} + iR_2 + 0 + i \cdot R_1 &= 0 \rightarrow \\ V_{\Delta\Gamma} - 40V - 8 \cdot (-5)V - 2 \cdot (-5) &= +10V \end{aligned}$$

Αλλά τότε η ΗΕΔ από αυτεπαγωγή έχει τιμή $E_{\text{αυτ}} = -10V$, αφού τείνει να δώσει ρεύμα με φορά ίδια με τη φορά του ρεύματος, την οποία παίρνουμε ως αρνητική. Με βάση αυτά έχουμε:

- ii) Παίρνοντας ως οπλισμό αναφοράς μας, τον οπλισμό Α του πυκνωτή, τότε ο πυκνωτής έχει φορτίο $q = +4 \cdot 10^{-4}C$ και τάση $V_A - V_B = V_c = +40V$. Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο τη στιγμή αυτή έχει τιμή $i = -5A$. Η τάση του πηνίου είναι $V_L = 10V$ αφού στο πηνίο αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη λόγω **αυτεπαγωγής** με τιμή $E_{\text{αυτ}} = -10V$. Με βάση την πολικότητα της ΗΕΔ από αυτεπαγωγή, το πηνίο λειτουργεί ως **ηλεκτρική πηγή** (πηγή ή αποδέκτης).
- iii) Ποιο από τα παρακάτω κυκλώματα είναι το ισοδύναμο κύκλωμα, που δείχνει την κατάσταση που εμφανίζεται στο κύκλωμα;

Απάντηση:

Με βάση τις τιμές των μεγεθών που υπολογίστηκαν παραπάνω και έχοντας πάρει αρνητική την ένταση του ρεύματος, σύμφωνα και με τη σύμβαση του σχολικού βιβλίου, ο πυκνωτής και το πηνίο λειτουργούν ως ηλεκτρικές πηγές και το ισοδύναμο κύκλωμα που περιγράφει το κύκλωμά μας, είναι αυτό του (B) κυκλώματος.



- iv) Να υπολογιστούν ο ρυθμός μεταβολής του φορτίου του πυκνωτή και ο ρυθμός μεταβολής της έντασης του ρεύματος.

Απάντηση:

Ο πυκνωτής εκφορτίζεται και ο ρυθμός μεταβολής του φορτίου του είναι:

$$\frac{dq}{dt} = i = -5C/s$$

Ενώ για την ΗΕΔ από αυτεπαγωγή, παίρνουμε:

$$E_{avt} = -L \frac{di}{dt} \rightarrow \frac{di}{dt} = -\frac{E_{avt}}{L} = -\frac{-10}{0,4 \cdot 10^{-3}} A/s = +2.500 A/s$$

- v) Να βρεθούν οι ρυθμοί με τους οποίους παρέχουν ή αφαιρούν ενέργεια από το κύκλωμα ο πυκνωτής και το πηνίο.

Απάντηση:

Θα μπορούσαμε να «δούμε» το κύκλωμα με τη λογική του ισοδύναμου κυκλώματος, ως ένα κύκλωμα στο οποίο έχουμε δύο «πηγές» με ΗΕΔ $E_1 = -V_c = -40V$ και $E_2 = E_{avt} = -10V$, όπου η κάθε μια προσφέρει ενέργεια στο ηλεκτρικό ρεύμα. Αν αφήσουμε στην άκρη τα πρόσημα των δύο ΗΕΔ, (όπου τα (-) δείχνουν απλά ότι τείνουν να δώσουν ρεύμα με φορά αρνητική) θα μπορούσαμε να μιλήσουμε για τις απόλυτες τιμές τους, $E_1 = V_c = 40V$ και $E_2 = |E_{avt}| = 10V$. Οπότε η ισχύς κάθε «πηγής» είναι:

$$P_1 = E_1 |i| = 200W \quad \text{και} \quad P_2 = E_2 |i| = 50W$$

- vi) Ποιοι οι ρυθμοί μεταβολής της ενέργειας του πυκνωτή και του πηνίου;

Απάντηση:

Αφού πυκνωτής και πηνίο παρέχουν ενέργεια στο κύκλωμα, οι ενέργειες και των δύο πεδίων μειώνονται με ρυθμούς:

$$\frac{dU_E}{dt} = -200J/s \quad \text{και}$$

$$\frac{dU_B}{dt} = -50J/s$$

Σημείωση:

Αφού και ο πυκνωτής και το πηνίο χάνουν ενέργεια, η ενέργεια αυτή πρέπει να εμφανίζεται σε άλλα στοιχεία του κυκλώματος. Πράγματι αυτή μετατρέπεται σε θερμότητα πάνω στους αντιστάτες:

$$P_Q = i^2 \cdot R_1 + i^2 \cdot R_2 = 5^2 \cdot 2W + 5^2 \cdot 8W = 250W .$$

Υλικό Φυσικής-Χημείας

Γιατί το να μοιράζεσαι πράγματα, είναι καλό για όλους...

Επιμέλεια:

Διονύσης Μάργαρης