

Φυσική Γ Λυκείου

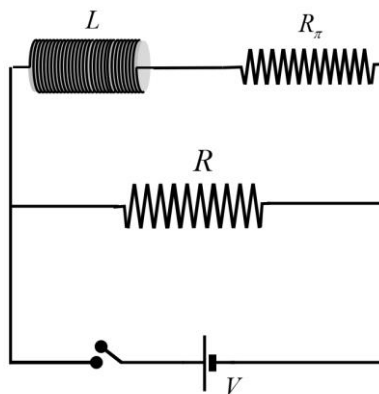
Μελέτη κυκλώματος με αυτεπαγωγή

Απαιτούμενα όργανα και υλικά

- Τροφοδοτικό χαμηλών τάσεων
- 8 πηνία 600 σπειρών
- 1 πηνίο 300 σπειρών
- Ροοστάτης
- 2 όμοιοι λαμπτήρες πυρακτώσεως
- Διακόπτης
- Καλώδια σύνδεσης
- Η/Υ και το MultiLog με δύο αισθητήρες ρεύματος

Θεωρητικές επισημάνσεις

Έστω το κύκλωμα του σχήματος που περιλαμβάνει πηγή σταθερής τάσης V , στους πόλους της οποίας έχουν συνδεθεί παράλληλα, πηνίο με ωμική αντίσταση R_{π} και συντελεστή αυτεπαγωγής L και αντιστάτης αντίστασης R .



Κλείσιμο του διακόπτη

Κλείνοντας το διακόπτη τη χρονική στιγμή t_0 , η ένταση του ρεύματος στον κλάδο του αντιστάτη θα αποκτήσει σχεδόν ακαριαία την προβλεπόμενη από το νόμο του Ohm τιμή,

$$I_R = \frac{V}{R}$$

Στον κλάδο του πηνίου η ένταση του ρεύματος σαν συνάρτηση του χρόνου θα προκύψει από τη λύση της διαφορικής εξίσωσης,

$$V - L \frac{di_{\pi}}{dt} - i_{\pi} R_{\pi} = 0$$

που προκύπτει αν εφαρμόσουμε τον 2^ο κανόνα του Kirchhoff κατά μήκος του κλειστού βρόχου που αποτελούν ο κλάδος του πηνίου και ο κλάδος της πηγής.

Η λύση της τελευταίας, για $i_{\pi}(t_0) = 0$ είναι,

$$i_{\pi} = I_{\pi} \left(1 - e^{-\frac{R_{\pi}}{L}(t-t_0)} \right) \quad (1)$$

όπου $I_{\pi} = \frac{V}{R_{\pi}}$.

Η εξίσωση (1) δείχνει ότι η ένταση του ρεύματος αυξάνεται συνεχώς μέχρι την τελική της τιμή, I_{π} , σε θεωρητικά άπειρο χρονικό διάστημα. Πρακτικά όμως (όπως μπορείτε να διαπιστώσετε εύκολα) το ρεύμα σταθεροποιείται περίπου σε χρονικό διάστημα, $\Delta t = 5 \frac{L}{R_{\pi}}$ ($i > 0,99I_{\pi}$). Επομένως αν ο συντελεστής αυτεπαγωγής είναι αρκετά μεγάλος και η αντίσταση μικρή, η καθυστέρηση της μεγιστοποίησης της έντασης του ρεύματος μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή.

Άνοιγμα του διακόπτη

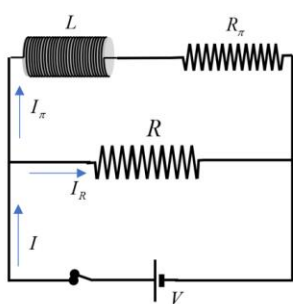
Κάποια στιγμή (έστω $t = t_1$) αφού τα ρεύματα στους κλάδους έχουν σταθεροποιηθεί, ανοίγουμε το διακόπτη. Ο κλάδος που περιλαμβάνει την πηγή βγαίνει εκτός κυκλώματος. Αυτό που μένει είναι ένας κλειστός βρόχος, που αποτελείται από το πηνίο και τον αντιστάτη.

Αμέσως μετά το άνοιγμα του διακόπτη ο βρόχος διαρρέεται από το ρεύμα του οποίου η ένταση σαν συνάρτηση του χρόνου θα υπολογιστεί από τη λύση της Δ.Ε.,

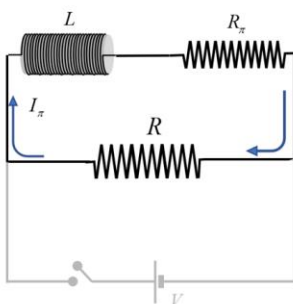
$$L \frac{di}{dt} + i(R_{\pi} + R) = 0$$

Για $i(t_1) = I_{\pi}$ η λύση της τελευταίας είναι,

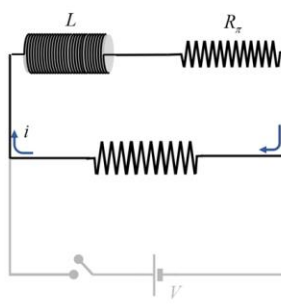
$$i = I_{\pi} e^{-\frac{R_{\pi}+R}{L}(t-t_1)} \quad (2)$$



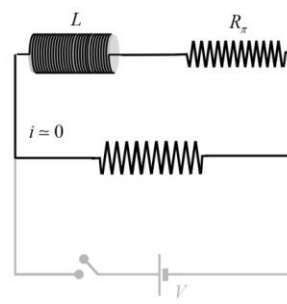
Τα ρεύματα στους κλάδους έχουν σταθεροποιηθεί



Αμέσως μετά το άνοιγμα του διακόπτη ($t=t_1$)



Λίγο μετά το άνοιγμα του διακόπτη, $t > t_1$ (το ρεύμα μειώνεται εκθετικά)

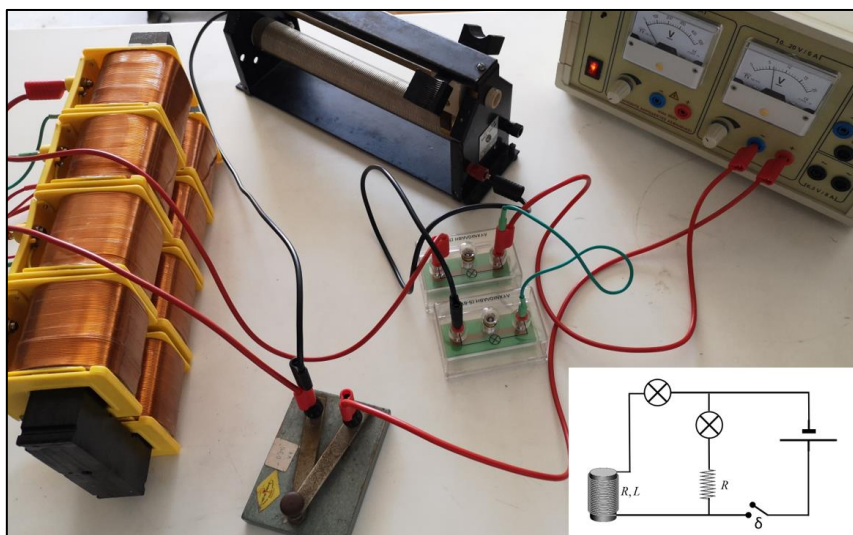


Μετά από αρκετό χρόνο το ρεύμα πρακτικά μηδενίζεται

Ποιοτική μελέτη – Πείραμα επίδειξης

1^η Δραστηριότητα

Στον πάγκο του εργαστηρίου υλοποιούμε το κύκλωμα της παρακάτω φωτογραφίας, στην οποία έχει ενσωματωθεί και η αντίστοιχη σχηματική αναπαράσταση.



Στον ένα κλάδο είναι συνδεδεμένα σε σειρά 8 πηνία των 600 σπειρών το καθένα, σε ενιαίο κλειστό πυρήνα (υπάρχουν στα εργαστήρια των λυκείων) με συνολική αντίσταση $21,8 \Omega$ και ένας λαμπτήρας.

Στον άλλο κλάδο είναι συνδεδεμένα σε σειρά ένας πανομοιότυπος λαμπτήρας και ένας ροοστάτης με την αντίστασή του ρυθμισμένη στα $21,8 \Omega$ επίσης.

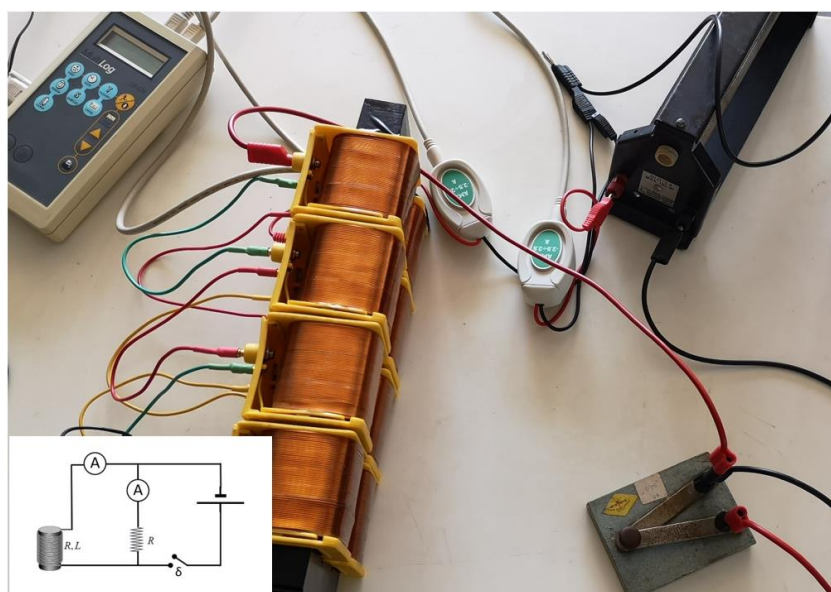
Η τάση της πηγής είναι κατάλληλη ώστε οι λαμπτήρες να φωτοβολούν έντονα όταν αποκατασταθούν τα (ίσης έντασης) ρεύματα στους δύο κλάδους. Όπως φαίνεται στο [βίντεο](#) με το κλείσιμο του διακόπτη ο λαμπτήρας στον κλάδο του πηνίου καθυστερεί να ανάψει λόγω της αυτεπαγωγής του πηνίου.

Ερώτηση 1:

Για ποιο λόγο νομίζετε ότι η σύνδεση περισσότερων πηνίων στον αντίστοιχο κλάδο, αυξάνει την χρονική διαφορά της φωτοβολίας των λαμπτήρων. Αποδείξτε τον ισχυρισμό σας αξιοποιώντας τα στοιχεία που δίνονται στο θεωρητικό μέρος στην αρχή του φύλλου εργασίας, καθώς και στις γνώσεις σας από τη Β τάξη.

Ποσοτική μελέτη – Υπολογισμός του συντελεστή αυτεπαγωγής

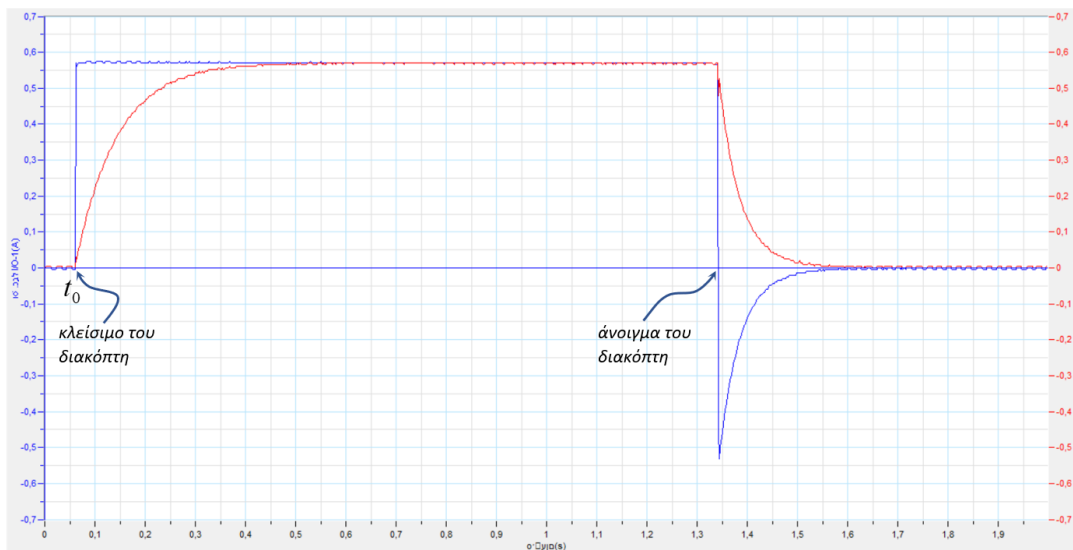
Υλοποιούμε το προηγούμενο κύκλωμα με τη διαφορά ότι οι δύο λαμπτήρες έχουν αντικατασταθεί από αισθητήρες ρεύματος του Multilog.



Επιλέγουμε ρυθμό δειγματοληψίας 500/s και χρονική διάρκεια 2s. Ενεργοποιούμε τη λήψη και αμέσως μετά κλείνουμε το διακόπτη τον οποίο ανοίγουμε ξανά μετά από περίπου 1s. Έτσι καταγράφουμε σε συνάρτηση

με το χρόνο τις τιμές της έντασης του ρεύματος στους δύο κλάδους κατά το κλείσιμο και το άνοιγμα του διακόπτη.

Επιλέγουμε ανάκτηση δεδομένων και παίρνουμε μια γραφική παράσταση παρόμοια με αυτήν που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Σύμφωνα με τη θεωρητική μελέτη η ένταση του ρεύματος στον κλάδο του πηνίου αυξάνεται μέχρι την τελική τιμή της σύμφωνα με τη σχέση (1) όπου t_0 η στιγμή που κλείνουμε το διακόπτη.

Ερώτηση2:

Ποια είναι η μονάδα του πηλίκου R_π/L που είναι ο συντελεστής του χρόνου στον εκθετικό όρο στην εξίσωση (1) και γιατί; Επιβεβαιώστε την απάντησή σας γράφοντας τις μονάδες των μεγεθών συναρτήσει των θεμελιωδών μονάδων.

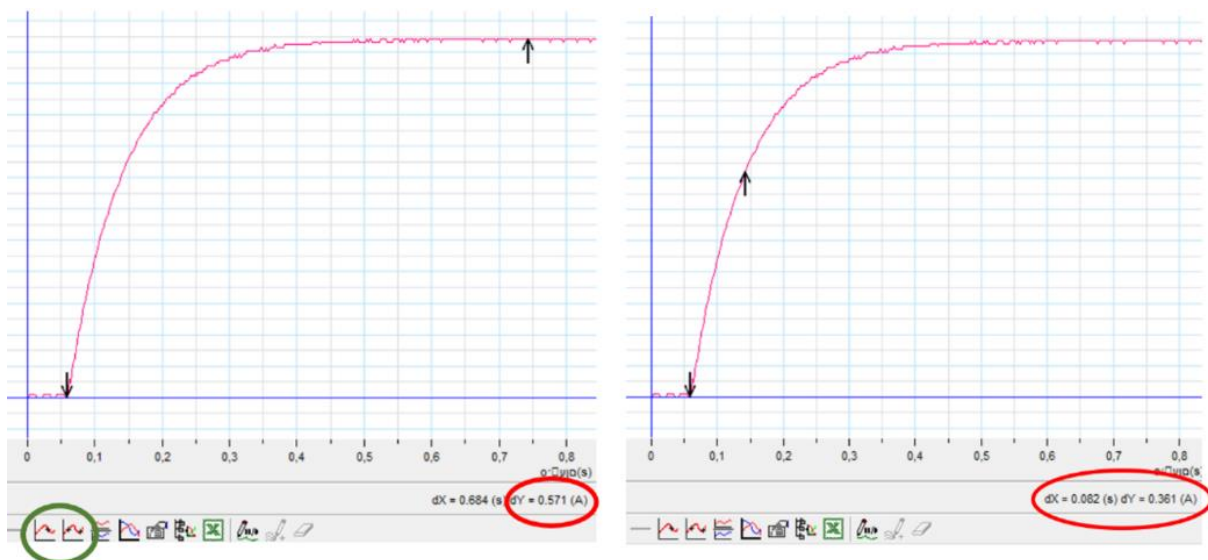
Μετά από χρονικό διάστημα $\tau = \frac{L}{R_\pi}$, το οποίο ονομάζεται **σταθερά χρόνου** του φαινομένου της αποκατάστασης του ρεύματος, η ένταση του ρεύματος γίνεται ίση με, $i(\tau) = 0.632I_\pi$.

Με τη βοήθεια των δεικτών που μπορούμε να επιλέξουμε από το κάτω μέρος του παραθύρου του προγράμματος μπορούμε να μετρήσουμε τα μεγέθη που μας ενδιαφέρουν.

Τοποθετούμε τον πρώτο δείκτη στο σημείο της γραφικής παράστασης που αντιστοιχεί στην στιγμή t_0 που κλείνουμε το διακόπτη. Η αντίστοιχη ένταση του ρεύματος είναι ίση με μηδέν. Τοποθετώντας το δεύτερο δείκτη σε σημείο της γραφικής παράστασης μετά την σταθεροποίηση του ρεύματος βρίσκουμε την τιμή της μέγιστης τιμής I_π της έντασης του ρεύματος, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Μετακινώντας το δεύτερο δείκτη στο σημείο της γραφικής παράστασης που αντιστοιχεί στην ένταση του ρεύματος ίση με $i(\tau) = 0.632I_\pi$, βρίσκουμε τη σταθερά χρόνου τ .

Παρατήρηση: Είναι πολύ πιθανό να μην αντιστοιχεί καμία από τις μετρήσεις του αισθητήρα, με βάση τις οποίες το πρόγραμμα κατασκευάζει τη γραφική παράσταση, στην τιμή $i(\tau) = 0.632I_\pi$ που θα υπολογίσετε. Στην περίπτωση αυτή επιλέξτε την πιο κοντινή τιμή αποδεχόμενοι μια μικρή υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση της σταθεράς χρόνου. Υπάρχουν τρόποι διόρθωσης αυτού του σφάλματος αλλά δεν είναι απαραίτητο στα πλαίσια της συγκεκριμένης άσκησης.



Από τη σχέση $\tau = \frac{L}{R_{\pi}}$ υπολογίζουμε τον συντελεστή αυτεπαγωγής των πηνίων αφού έχουμε μετρήσει την αντίστασή τους.

$$L = R_{\pi} \cdot \tau = \dots\dots\dots$$

Παρατηρώντας την μορφή της γραφικής παράστασης της έντασης του ρεύματος στους δύο κλάδους μετά το άνοιγμα του διακόπτη, απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις:

Ερώτηση 3

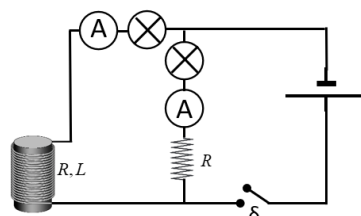
Γιατί η ένταση του ρεύματος στον κλάδο της αντίστασης αλλάζει πρόσημο μετά το άνοιγμα του διακόπτη, και είναι διαρκώς αντίθετη με την ένταση του ρεύματος στον κλάδο του πηνίου μέχρι τον ταυτόχρονο μηδενισμό τους;

Ερώτηση 4

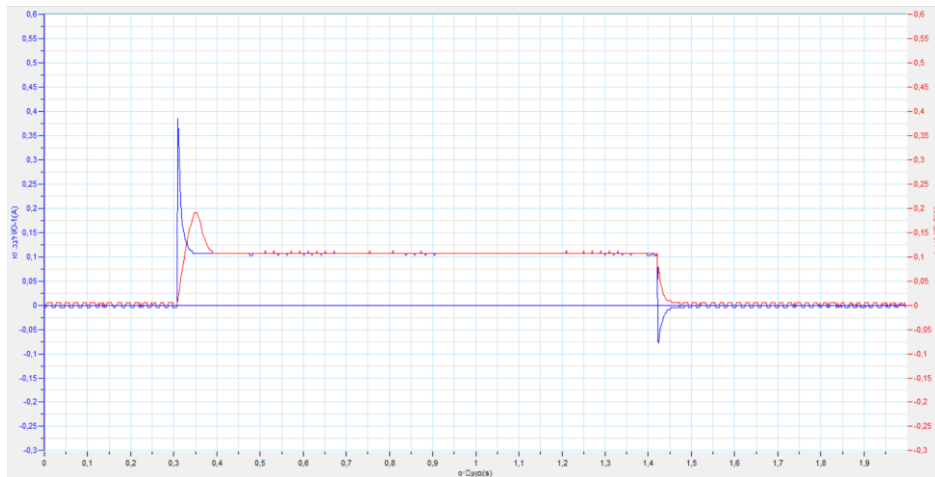
Συγκρίνετε, τον χρόνο μεγιστοποίησης του ρεύματος μετά το κλείσιμο του διακόπτη, με το χρόνο μηδενισμού μετά το άνοιγμα του διακόπτη. Δικαιολογήστε το αποτέλεσμα.

2^η Δραστηριότητα

Συνδέουμε σε κάθε κλάδο τους όμοιους λαμπτήρες χωρίς να αφαιρέσουμε τους αισθητήρες ρεύματος του MultiLog όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Επαναλαμβάνουμε την προηγούμενη διαδικασία και το αποτέλεσμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

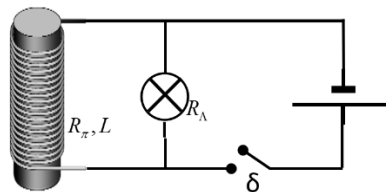


Ερώτηση 5

Εξηγήστε τη διαφορά των γραφικών παραστάσεων με τους λαμπτήρες και χωρίς τους λαμπτήρες μετά το κλείσιμο του διακόπτη. (Δεν απαιτούνται υπολογισμοί. Η δικαιολόγηση να γίνει με επιχειρήματα που σχετίζονται με την αλληλεξάρτηση των φυσικών μεγεθών που περιγράφουν το πρόβλημα)

3^η Δραστηριότητα (καταστρέφοντας ένα λαμπτήρα)

Υλοποιούμε το κύκλωμα του σχήματος (ή της φωτογραφίας) χρησιμοποιώντας ένα πηνίο 300 σπειρών και ένα μικρό λαμπτήρα πυρακτώσεως.



Αυξάνουμε σιγά – σιγά την τάση στα άκρα του κυκλώματος, έχοντας το διακόπτη κλειστό, μέχρις ο λαμπτήρας ίσα – ίσα που φωτοβολεί. Ανοίγοντας το διακόπτη παρατηρούμε μια στιγμιαία πολύ φωτεινή αναλαμπή του λαμπτήρα και την καταστροφή του (τήξη του μεταλλικού νήματος του βολφραμίου). Δείτε το δεύτερο μέρος του [βίντεο](#).

Ερώτηση 6:

Ποιες είναι οι προϋποθέσεις για να καταστραφεί ο λαμπτήρας. Εξηγήστε αναλυτικά την απάντησή σας.

Καλή επιτυχία.