

Πειράματα Ηλεκτρικών Ταλαντώσεων με τη χρήση του Συστήματος Συγχρονικής Λήψης και Απεικόνισης (Multilog) των Γενικών Λυκείων

Αντώνης Γεωργίου¹, Ματθαίος Καμαράτος²

¹ Γενικό Λύκειο Παραμυθιάς, antgeorgiou@sch.gr

² Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, mkamarat@cc.uoi.gr

Περίληψη. Στην παρούσα εργασία, μελετάμε το φαινόμενο των ηλεκτρικών ταλαντώσεων μέσω πειραμάτων που χρησιμοποιούν το Σύστημα Συγχρονικής Λήψης και Απεικόνισης (ΣΣΛΑ) που διαθέτουν τα νέα εργαστήρια των Γενικών Λυκείων. Το ΣΣΛΑ καταγράφει μετρήσεις μεγεθών μέσω αισθητήρων και τις μεταφέρει σε ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου μπορεί να γίνει επεξεργασία τους με χρήση κατάλληλου λογισμικού. Τα πειράματα έχουν σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη όσα αναφέρονται σχετικά στα σχολικά εγχειρίδια, ενώ τα αποτελέσματα μπορούν να αξιοποιηθούν σε φύλλο εργασίας. Η επιλογή των ηλεκτρικών ταλαντώσεων έγινε αφενός γιατί φαίνονται δυσνόητες στους μαθητές εξαιτίας της μη ύπαρξης αισθητηριακής εμπειρίας και αφετέρου, γιατί λόγω του μικρού χρόνου διάρκειας τους, η μελέτη τους με κλασικές πειραματικές διατάξεις, κυρίως η ποσοτική, είναι δύσκολη. Έτσι προσπαθήσαμε να διαπιστώσουμε τις δυνατότητες και τη χρησιμότητα του ΣΣΛΑ στην πειραματική μελέτη του φαινομένου και παράλληλα από τις μετρήσεις που κατέγραψε και από την επεξεργασία τους να παράγουμε υλικό που κατά τη γνώμη μας θα διευκόλυνε την κατανόησή τους από τους μαθητές.

Εισαγωγή

Το πείραμα διεγείρει το ενδιαφέρον και την προσοχή των μαθητών στο μάθημα και οδηγεί σε καλύτερη αποτύπωση των εννοιών της φυσικής και την διατήρηση της γνώσης για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα⁽³⁾. Πολλά από τα φαινόμενα εξελίσσονται πολύ γρήγορα και δεν μπορούν να παρατηρηθούν και να καταγραφούν με απλά όργανα. Η σύγχρονη τεχνολογία μας δίνει τη δυνατότητα να καταγράψουμε τέτοια φαινόμενα σε Η/Υ και να επεξεργαστούμε τα δεδομένα^{(4), (5), (7), (8), (9)}.

Στην εργασία αυτή θα μελετήσουμε τις ηλεκτρικές ταλαντώσεις σε κυκλώματα LC και RLC με τη βοήθεια του ΣΣΛΑ των Εργαστηρίων Φυσικών Επιστημών των Γενικών Λυκείων.

Μελέτη της σχέσης ανάμεσα στην περίοδο της ηλεκτρικής ταλάντωσης και τη χωρητικότητα του πυκνωτή

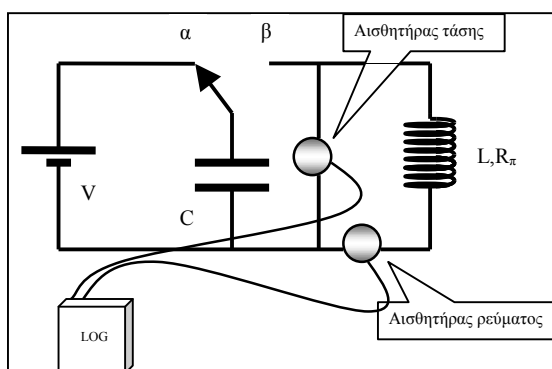
Πειραματική διάταξη.

Τα υλικά που χρειάζονται είναι:

- Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης (20,6±0,1)V
- Πηνίο 1200 σπειρών με συντελεστή αυτεπαγωγής, σύμφωνα με τον Κατάλογο Οργάνων και Συσκευών του Εργαστηρίου Φυσικών Επιστημών, 35-40mH και αντίσταση $R_{\pi}=(20,2\pm 0,1) \Omega$ όπως μετρήθηκε.
- Πηνίο 600 σπειρών με συντελεστή αυτεπαγωγής, σύμφωνα με τον Κατάλογο Οργάνων και Συσκευών του Εργαστηρίου Φυσικών Επιστημών, 10-14mH και αντίσταση $R_{\pi}=(2,7\pm 0,1) \Omega$ όπως μετρήθηκε.

- Πηνίο 300 σπειρών με συντελεστή αυτεπαγωγής, σύμφωνα με τον Κατάλογο Οργάνων και Συσκευών του Εργαστηρίου Φυσικών Επιστημών, 2-3mH και αντίσταση $R_{\pi}=(1,2\pm 0,1) \Omega$ όπως μετρήθηκε.
- Διάφοροι μη ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές (οι ηλεκτρολυτικοί έχουν πολικότητα) με χωρητικότητες 14 μ F, 10 μ F, 4 μ F, 470nF.
- Ειδικός πυρήνας για πηνία που είναι κατασκευασμένος από ελάσματα πυριτιούχου λαμαρίνας μήκους 17cm.
- Διακόπτης διπλός μαχαιρωτός.
- Αισθητήρας διαφοράς δυναμικού που μπορεί να μετρήσει τιμές μεταξύ -25 V και +25 V με ευαισθησία 50mV.
- Αισθητήρας ρεύματος που μπορεί να μετρήσει τιμές μεταξύ -2,5 A και +2,5 A με ευαισθησία 5 mA.
- Καταγραφέας δεδομένων Multilog της Fourier-systems.
- Ηλεκτρονικός υπολογιστής με το πρόγραμμα DB-Lab 3.2 της Fourier-systems.

Περιγραφή της διάταξης



Σχήμα 1. Το κύκλωμα της πειραματικής διάταξης.

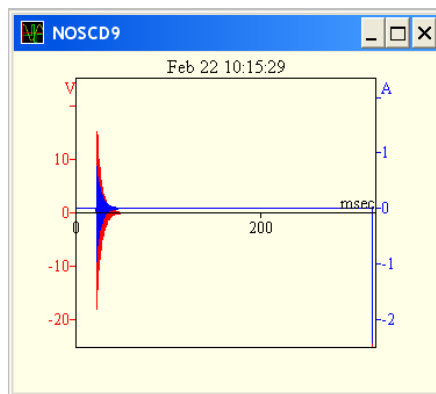
Συναρμολογούμε το κύκλωμα του Σχήματος 1. Όταν ο διακόπτης κλείνει στη θέση (α), το τροφοδοτικό συνδέεται στους οπλισμούς του πυκνωτή και τον φορτίζει. Όταν ο διακόπτης μεταφέρεται στη θέση (β), ο φορτισμένος πλέον πυκνωτής συνδέεται με το πηνίο. Το πηνίο έχει και αντίσταση, οπότε έχουμε ένα κύκλωμα RLC σε σειρά που εκτελεί ηλεκτρική ταλάντωση. Ο αισθητήρας τάσης καταγράφει την τάση στους οπλισμούς του πυκνωτή, ενώ ο αισθητήρας ρεύματος καταγράφει την ένταση του ρεύματος στο κύκλωμα.

Πειραματικά Αποτελέσματα και Επεξεργασία

Με πηνίο 300 σπειρών

Συνδέουμε στο κύκλωμα το πηνίο των 300 σπειρών και τον πυκνωτή των 14 μ F. Φέρνουμε τον διακόπτη στη θέση (α) οπότε ο πυκνωτής φορτίζεται. Θέτουμε σε λειτουργία το Multilog και μεταφέρουμε γρήγορα τον διακόπτη στη θέση (β).

Με το τέλος της διαδικασίας λήψης των μετρήσεων από το Multilog, αυτές μεταφέρονται στον υπολογιστή, όπου παίρνουμε σε κοινό διάγραμμα της γραφικές παραστάσεις της τάσης στους οπλισμούς του πυκνωτή και της έντασης του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα σε συνάρτηση με το χρόνο. Η γραφική παράσταση που πήραμε φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1

Το Multilog έχει ρυθμό δειγματοληψίας 6172 μετρήσεις/s και παίρνουμε 2000 μετρήσεις. Η τάση στους οπλισμούς του πυκνωτή δίνεται από την εξίσωση⁽⁶⁾

$$V_C = \frac{q}{C} \Rightarrow V_C = \frac{Q}{C} e^{-(R/2L)t} \cos\left(\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} t + \varphi\right) \quad (1)$$

δηλαδή το πλάτος της τάσης στους οπλισμούς του πυκνωτή μειώνεται εκθετικά με το χρόνο σύμφωνα με τη σχέση

$$V_{C_0} = \frac{Q}{C} e^{-(R/2L)t} \quad (2)$$

Η περίοδος της ηλεκτρικής ταλάντωσης δίνεται από τη σχέση⁽⁶⁾

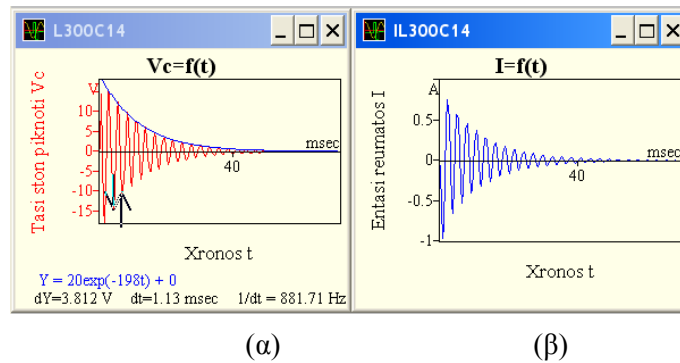
$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}} \quad (3)$$

Αν θεωρήσουμε την αντίσταση του πηνίου ($R=1,2\Omega$) αμελητέα⁽²⁾ τότε η σχέση (3) γίνεται

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (4)$$

Αν αντικαταστήσουμε $L=3\text{mH}$, $C=14\mu\text{F}$ και $R=R_\pi=1,2\Omega$ στις σχέσεις (3) και (4) βρίσκουμε αντίστοιχα 1,288ms και 1,287ms. Δηλαδή, αν λάβουμε υπόψη μας την αντίσταση έχουμε μια διαφορά 0,001ms στην περίοδο, που αντιστοιχεί σε ποσοστό 0,084%. Η διακριτική ικανότητα στη μέτρηση του χρόνου του Multilog είναι 0,162ms και επομένως τέτοιες διαφορές δεν ανιχνεύονται από τη συσκευή μας. Εξάλλου, όπως φαίνεται από τη σχέση (3) αν μειωθεί η χωρητικότητα του πυκνωτή η διαφορά αυτή μειώνεται. Έτσι, χωρίς να κάνουμε σημαντικό σφάλμα, μπορούμε να πούμε ότι η περίοδος δίνεται από τη σχέση (4) και η γραφική παράστασή της σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα της χωρητικότητας του πυκνωτή, $T = f(\sqrt{C})$, θα πρέπει να είναι ευθεία με κλίση $\lambda = 2\pi\sqrt{L}$.

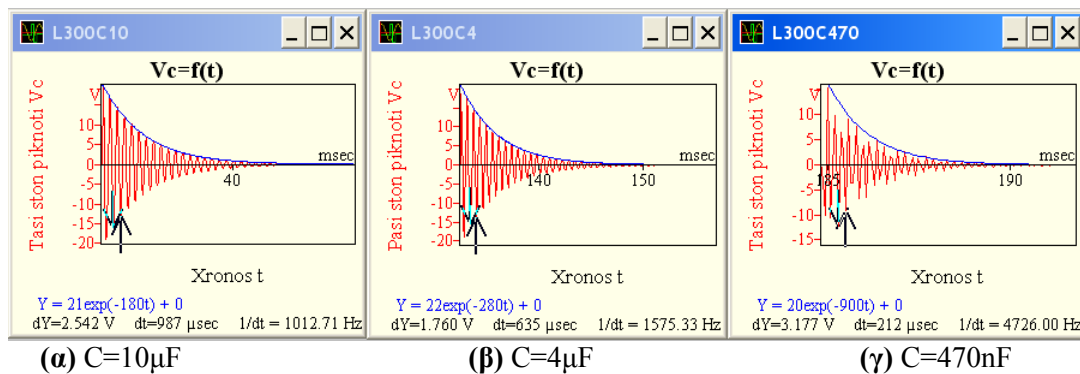
Μέσω του λογισμικού⁽¹⁾ αντιγράφουμε την γραφική παράσταση κάθε μεγέθους σε νέο παράθυρο οπότε προκύπτουν οι γραφικές παραστάσεις που φαίνονται στις Εικόνες 2(α) και (β).



Εικόνα 2

Στην Εικόνα 2(α) έχουν σημειωθεί με τα βέλη δύο σημεία της γραφικής παράστασης που αντιστοιχούν σε διαφορά χρόνου ίση με μια περίοδο της ταλάντωσης. Ο χρόνος αυτός φαίνεται στο κάτω μέρος της εικόνας, όπου εμφανίζεται και η αντίστοιχη συχνότητα. Ακόμα στην ίδια εικόνα έχουμε προσαρμοσεί και την καμπύλη μείωσης του πλάτους, η οποία εμφανίζεται με μπλε χρώμα. Η εξίσωση της καμπύλης αυτής εμφανίζεται επίσης στο κάτω μέρος της εικόνας με μπλε χρώμα και βλέπουμε ότι είναι εκθετική όπως προβλέπεται από τη θεωρία σύμφωνα με την εξίσωση (2).

Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για πυκνωτές $10\mu\text{F}$, $4\mu\text{F}$ και 470nF , χωρίς τον αισθητήρα ρεύματος και έχουμε αντίστοιχα τις Εικόνες 3(α), (β), (γ). Το Multilog έχει ρυθμό δειγματοληψίας 14178 μετρήσεις/s και παίρνουμε 5000 μετρήσεις.



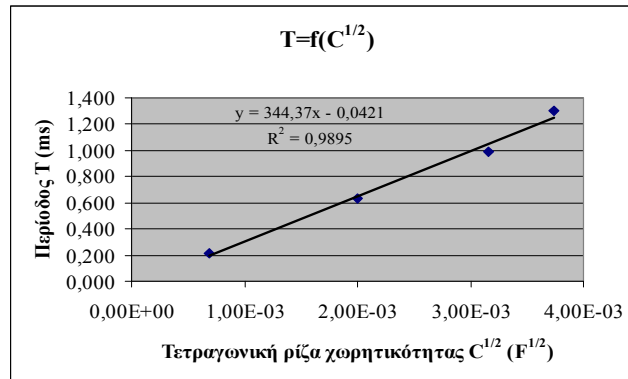
Εικόνα 3

Οι τιμές της χωρητικότητας του πυκνωτή, της τετραγωνικής ρίζας της χωρητικότητας και της αντίστοιχης περιόδου για κάθε κύκλωμα φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1

α/α	Χωρητικότητα $C(\text{F})$	$C^{1/2}(\text{F})^{1/2}$	Περίοδος T (ms)
1	1,40E-05	3,74E-03	1,300
2	1,00E-05	3,16E-03	0,987
3	4,00E-06	2,00E-03	0,635
4	4,70E-07	6,86E-04	0,212

Με τις τιμές του Πίνακα 1 κατασκευάζουμε τη γραφική παράσταση $T = f(\sqrt{C})$ η οποία εμφανίζεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2

Στο Σχήμα 2 εμφανίζεται και η εξίσωση της καλύτερης ευθείας που αντιστοιχεί στις μετρήσεις μας, η οποία έχει βαθμό συσχέτισης $R^2=0,9895$. Βλέπουμε ότι η γραφική παράσταση της $T = f(\sqrt{C})$ είναι ευθεία με κλίση $\lambda = 344,37 \frac{ms}{F^{1/2}}$.

Από την κλίση της γραφικής παράστασης του Σχήματος 2 υπολογίζουμε τον συντελεστή αυτεπαγωγής του πηνίου των 300 σπειρών

$$\lambda = 2\pi\sqrt{L} \Rightarrow L = \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)^2 \Rightarrow L = \left(\frac{344,37 \cdot 10^{-3}}{2\pi}\right)^2 H \Rightarrow L = 0,003H$$

Η τιμή των 3mH που βρήκαμε είναι μέσα στα όρια τιμών που δίνει ο Κατάλογος Οργάνων και Συσκευών του Εργαστηρίου Φυσικών Επιστημών για το συγκεκριμένο πηνίο. Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία για πηνίο 300 σπειρών που φέρει πυρήνα και για πηνία 600 και 1200 σπειρών χωρίς πυρήνα και με πυρήνα. Τα αποτελέσματα φαίνονται συγκεντρωμένα στον Πίνακα 2.

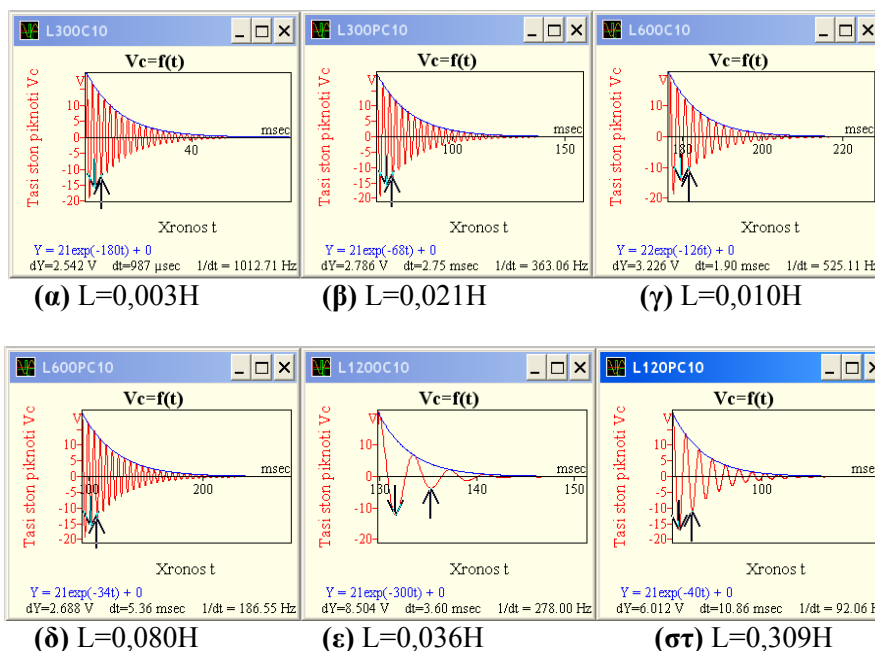
Πίνακας 2

α/α	Είδος Πηνίου	Συντελεστής αυτεπαγωγής L (H)
1	300 σπειρών	0,003
2	300 σπειρών με πυρήνα	0,021
3	600 σπειρών	0,010
4	600 σπειρών με πυρήνα	0,080
5	1200 σπειρών	0,036
6	1200 σπειρών με πυρήνα	0,309

Οι τιμές που βρήκαμε για τον συντελεστή αυτεπαγωγής των πηνίων των 600 και 1200 σπειρών χωρίς πυρήνα είναι μέσα στα όρια τιμών που δίνει ο Κατάλογος Οργάνων και Συσκευών του Εργαστηρίου Φυσικών Επιστημών για τα συγκεκριμένα πηνία. Η τιμή του συντελεστή αυτεπαγωγής των πηνίων με πυρήνα δεν μπορεί να ελεγχθεί λόγω μη ύπαρξης σχετικής αναφοράς.

Μελέτη της σχέσης ανάμεσα στην περίοδο της ηλεκτρικής ταλάντωσης και τον συντελεστή αυτεπαγωγής του πηνίου

Χρησιμοποιώντας τις καταγραφές για τον πυκνωτή με χωρητικότητα 10μF από τις προηγούμενες διαδικασίες έχουμε την Εικόνα 4.



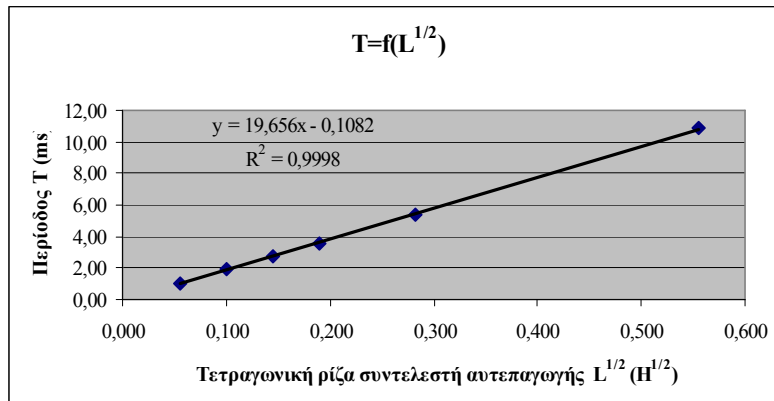
Εικόνα 4

Οι τιμές του συντελεστή αυτεπαγωγής κάθε πηνίου όπως προκύπτουν από τον Πίνακα 2, της τετραγωνικής ρίζας του συντελεστή αυτεπαγωγής και της αντίστοιχης περιόδου για κάθε περίπτωση φαίνονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3

α/α	Είδος Πηνίου	Συντελεστής αυτεπαγωγής $L(\text{H})$	$L^{1/2}(\text{H})^{1/2}$	Περίοδος $T(\text{ms})$
1	300 σπείρων	0,003	0,055	0,99
2	300 σπείρων με πυρήνα	0,021	0,145	2,75
3	600 σπείρων	0,010	0,100	1,90
4	600 σπείρων με πυρήνα	0,080	0,283	5,36
5	1200 σπείρων	0,036	0,190	3,60
6	1200 σπείρων με πυρήνα	0,309	0,556	10,86

Με τις τιμές του Πίνακα 3 κατασκευάζουμε τη γραφική παράσταση $T = f(\sqrt{L})$ η οποία εμφανίζεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3

Στο Σχήμα 3 εμφανίζεται και η εξίσωση της καλύτερης ευθείας που αντιστοιχεί στις μετρήσεις μας, η οποία έχει βαθμό συσχέτισης $R^2=0,9998$. Βλέπουμε ότι η γραφική παράσταση της $T = f(\sqrt{L})$ είναι ευθεία με κλίση $\lambda = 13,656 \frac{ms}{H^{1/2}}$.

Σύμφωνα με τη σχέση $T = 2\pi\sqrt{LC}$ πράγματι η γραφική παράσταση της $T = f(\sqrt{L})$ πρέπει να είναι ευθεία με κλίση $\lambda = 2\pi\sqrt{C}$.

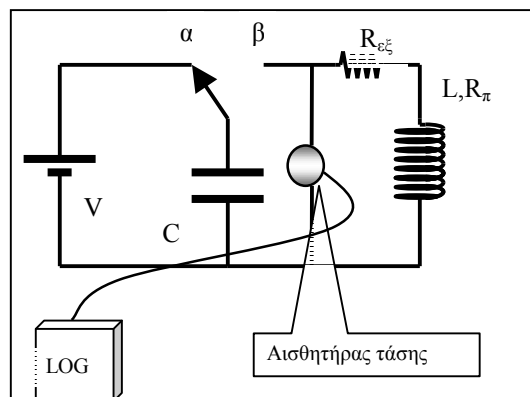
Από την κλίση της γραφικής παράστασης του Σχήματος 3 υπολογίζουμε την χωρητικότητα του πυκνωτή.

$$\lambda = 2\pi\sqrt{C} \Rightarrow C = \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)^2 \Rightarrow C = \left(\frac{19,656 \cdot 10^{-3}}{2\pi}\right)^2 F \Rightarrow C = 9,80 \cdot 10^{-6} F = 9,80 \mu F$$

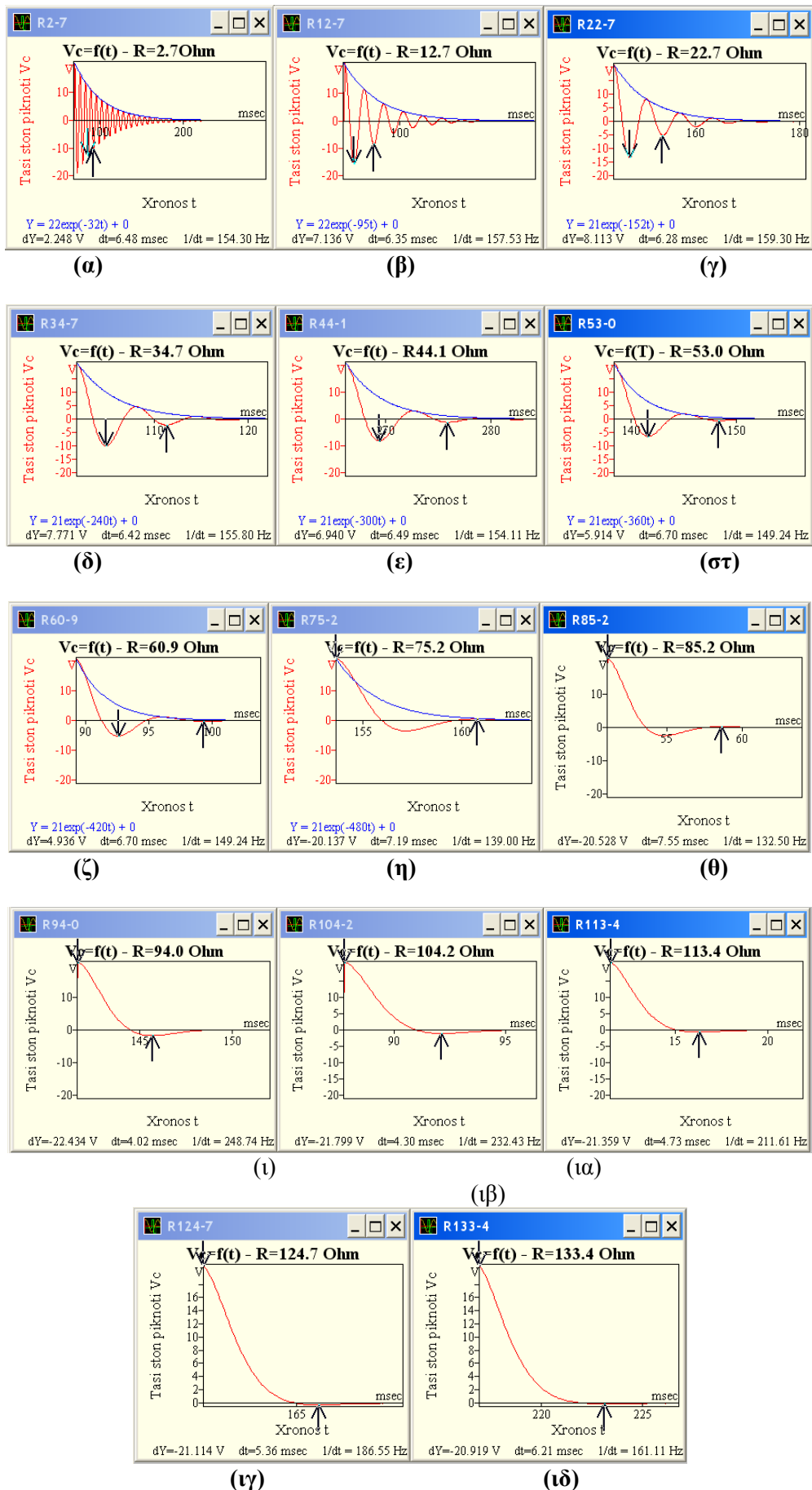
Η τιμή των $9,80 \mu F$ που βρήκαμε είναι μέσα στην περιοχή τιμών $10 \mu F (\pm 5\%)$ που δίνει ο κατασκευαστής για τον συγκεκριμένο πυκνωτή.

Μελέτη της σχέσης ανάμεσα στην περίοδο της ηλεκτρικής ταλάντωσης και την αντίσταση του κυκλώματος

Περιγραφή της πειραματικής διάταξης



Σχήμα 4. Το κύκλωμα της πειραματικής διάταξης.



Εικόνα 5

Το κύκλωμα του Σχήματος 4 είναι το ίδιο με το κύκλωμα του Σχήματος 1, με τη διαφορά ότι έχουμε αφαιρέσει τον αισθητήρα ρεύματος και τροποποιήσαμε τα καλώδια σύνδεσης ώστε να μπορούμε να συνδέουμε και αντιστάτη. Η ολική αντίσταση του κυκλώματος είναι τώρα ίση με το άθροισμα της αντίστασης του αντιστάτη και της αντίστασης του πηνίου, δηλαδή $R=R_{εξ}+R_{π}$. Χρησιμοποιούμε το πηνίο των 600 σπειρών με πυρήνα που έχει σχετικά μικρή αντίσταση ($R_{π}=(2,7\pm 0,1)\ \Omega$) και σχετικά μεγάλο συντελεστή αυτεπαγωγής ($L=80\text{mH}$). Ο πυκνωτής έχει χωρητικότητα $14\mu\text{F}$. Η διάταξη λειτουργεί όπως προηγούμενα. Το Multilog έχει ρυθμό δειγματοληψίας 14178 μετρήσεις/s.

Πειραματικά Αποτελέσματα και Επεξεργασία

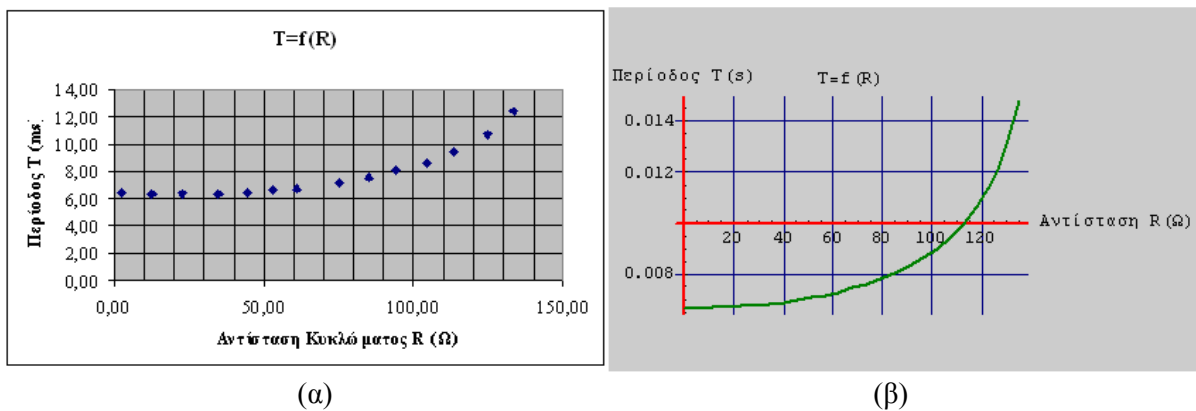
Συνδέουμε στο κύκλωμα διάφορους αντιστάτες και αφού φορτίσουμε τον πυκνωτή με το διακόπτη στη θέση (α), μεταφέρουμε το διακόπτη στη θέση (β) και αφήνουμε το κύκλωμα RLC να ταλαντωθεί. Ο αισθητήρας τάσης καταγράφει μέσω του Multilog την τάση στους οπλισμούς του πυκνωτή. Τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 5. Οι τιμές της αντίστασης του κυκλώματος και της αντίστοιχης περιόδου για κάθε κύκλωμα φαίνονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4

α/α	Αντίσταση κυκλώματος R (Ω)	Περίοδος T (ms)	α/α	Αντίσταση κυκλώματος R (Ω)	Περίοδος T (ms)	α/α	Αντίσταση κυκλώματος R (Ω)	Περίοδος T (ms)
1	2,70	6,48	6	53,00	6,63	11	104,20	8,60
2	12,70	6,35	7	60,90	6,70	12	113,40	9,46
3	22,70	6,42	8	75,20	7,19	13	124,70	10,72
4	34,70	6,28	9	85,20	7,55	14	133,40	12,42
5	44,10	6,49	10	94,00	8,04			

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4 η περίοδος της ταλάντωσης του συγκεκριμένου κυκλώματος, μένει σχεδόν ανεπηρέαστη από την παρουσία αντίστασης μέχρι 50Ω και από την τιμή αυτή και μετά αυξάνεται καθώς αυξάνεται η αντίσταση στο κύκλωμα.

Με τις τιμές του Πίνακα 4 κατασκευάζουμε τη γραφική παράσταση $T=f(R)$ που φαίνεται στο Σχήμα 5 (α).



Σχήμα 5

Σύμφωνα με τη θεωρία⁽⁶⁾ η περίοδος της ταλάντωσης ενός κυκλώματος RLC που παρουσιάζει υποκρίσιμη συμπεριφορά ($R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$) δίνεται από την εξίσωση (3),

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}$$

Το κύκλωμά μας παρουσιάζει κρίσιμη απόσβεση για αντίσταση

$$R = 2\sqrt{\frac{L}{C}} \Rightarrow R = 2\sqrt{\frac{0,080H}{14 \cdot 10^{-6}F}} \Rightarrow R = 151,2\Omega$$

Αντικαθιστούμε στην εξίσωση της περιόδου τις τιμές $L=0,080H$ και $C=14\mu F$ και σχεδιάζουμε την γραφική παράσταση $T=f(R)$ για τιμές του R στο διάστημα $(0-135\Omega)$. Η γραφική παράσταση φαίνεται στο Σχήμα 5 (β)

Παρατηρούμε ότι η γραφική παράσταση του Σχήματος 5(α) που προέκυψε από τα πειραματικά δεδομένα συμπίπτει με την γραφική παράσταση του Σχήματος 5(β) που προβλέπει η θεωρία για το συγκεκριμένο κύκλωμα.

Συμπεράσματα

Έχοντας επιλέξει προς μελέτη φαινόμενα ηλεκτρικών ταλαντώσεων που εξελίσσονται σε πολύ μικρό χρόνο και στα οποία δεν υπάρχει άμεση αισθητηριακή εμπειρία, το ΣΣΛΑ αποδείχτηκε πολύ χρήσιμο εργαλείο για την καταγραφή μετρήσεων και την απεικόνισή τους. Ακόμη αποδείχτηκε πολύ ισχυρό εργαλείο και για τη μαθηματική επεξεργασία των καταγεγραμμένων μετρήσεων. Το ΣΣΛΑ μπορεί σχετικά εύκολα να χρησιμοποιηθεί για πειράματα μελέτης ηλεκτρικών ταλαντώσεων που χρησιμοποιούν υλικά τα οποία ήδη υπάρχουν στα Εργαστήρια Φυσικών Επιστημών των Γενικών Λυκείων ή μπορεί να βρεθούν εύκολα και με λίγα χρήματα. Τα ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα των πειραμάτων είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό σύμφωνα με τη θεωρία. Οι μετρήσεις που καταγράφει και η ανάλυσή τους μπορεί να αξιοποιηθούν σε φύλλα εργασίας, είτε παράλληλα με τη διεξαγωγή των πειραμάτων στην τάξη, είτε ως εργασία για το σπίτι.

Παραπομπές

1. «Εγχειρίδιο χρήσης του MultiLog». Alpha Lab 2001.
2. Α. Ιωάννου, Ι. Ντάνος, Α. Πήττας, Σ. Ράπτης, «Φυσική Γ' Λυκείου Θετικής & Τεχνολογικής κατεύθυνσης», έκδοση Ε, ΟΕΔΒ Αθήνα 2005.
3. Δ. Κοντοδήμος. Διπλωματική Εργασία. Παν/μιο Ιωαννίνων 2006.
4. Κ. Παπαμιχάλης, Π. Δημητριάδης, Λ. Παπασιμίπα. Πειραματικός έλεγχος ενός φυσικού νόμου στο εργαστήριο νέων τεχνολογιών: η περίπτωση της Ηλεκτρομαγνητικής Επαγωγής, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και την εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Πανεπιστήμιο Κρήτης – Ρέθυμνο, 9-11 Μαΐου 2002, Πρακτικά του Συνεδρίου.
5. Κ. Παπαμιχάλης, Γ. Παληός. Πειραματικός έλεγχος του νόμου της Η/Μ Επαγωγής, του Faraday με σύστημα MBL. Ανάλυση της λειτουργίας της πειραματικής διάταξης. 11^ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών, Λάρισα, 30/31 Μαρτίου και 1/2 Απριλίου 2006, Πρακτικά του Συνεδρίου.

6. Young, H. D. (1994). Φυσική Τόμος Β'. Αθήνα. Εκδόσεις Παπαζήση.
7. Bisdikian G & Psillos D. A computer-based approaches to relating graphs and Physics: The case of heat and temperature. Case studied in labwork, in Science Education, TSER Project, No PL95-2005, European Commission DG XII.
8. Redish E. F. et all, On the effectiveness of active-engagement MBL, American J. of Physics (1) 45-54, 1997.
9. Thornton R. K. Tools for scientific thinking: Learning physical concepts with Real Time Laboratory Measurement Tools, in Proc. of the Conference on Computers in Science Teaching, North Carolina State University, 1998.