

**ΤΕΙ ΚΑΒΑΛΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑΣ & ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ II**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 4<sup>η</sup>**

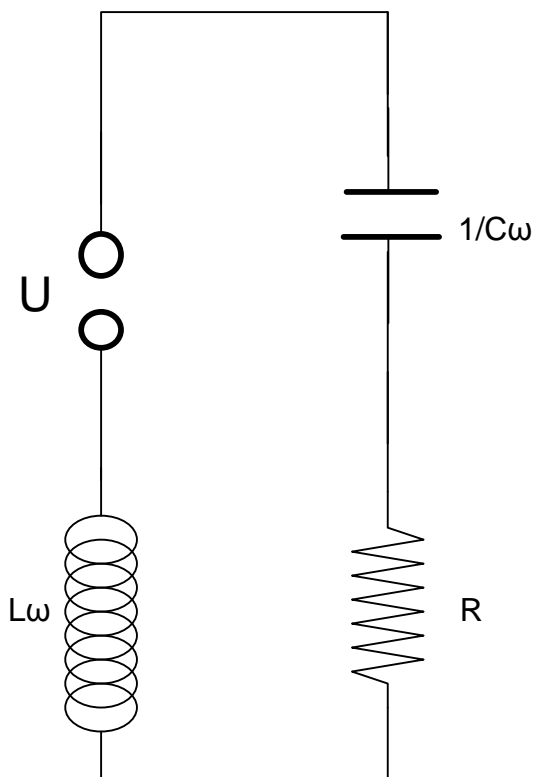
**ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ RLC ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ**

**A. ΣΚΟΠΟΣ**

Σκοπός της εργαστηριακής αυτής άσκησης είναι η μελέτη του κυκλώματος εναλλασσομένου ρεύματος RLC σε σειρά.

**B. ΘΕΩΡΙΑ**

Έστω ένα κύκλωμα RLC σε σειρά (σχήμα 1) το οποίο διεγείρεται από μία πηγή εναλλασσόμενης τάσης πλάτους  $U_0$  και συχνότητας  $f$ .



**Σχήμα 1. Κύκλωμα RLC σε σειρά.**

Η εναλλασσόμενη αυτή τάση περιγράφεται από την εξίσωση :

$$U(t) = U_0 \cos(\omega t)$$

όπου  $\omega$  είναι η γωνιακή ταχύτητα της εναλλασσόμενης τάσης και δίνεται από την σχέση :

$$\omega = 2\pi f$$

Ένας αντιστάτης με ωμική αντίσταση  $R$  παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά είτε συνδεθεί σε κύκλωμα συνεχούς ρεύματος είτε συνδεθεί σε κύκλωμα εναλλασσομένου ρεύματος. Στο εναλλασσόμενο ρεύμα, η διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης με την οποία τροφοδοτείται το κύκλωμα και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει ισούται με μηδέν.

Η σύνθετη αντίσταση  $Z$  κυκλώματος εναλλασσομένου ρεύματος RC σε σειρά δίνεται από τον τύπο :

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

και καθορίζει την συμπεριφορά του κυκλώματος. Όταν ένα κύκλωμα εναλλασσομένου ρεύματος αποτελείται από ένα μόνο πυκνωτή, τότε αυτό παρουσιάζει χωρητική συμπεριφορά και η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει προπορεύεται της τάσης κατά  $\pi/2$  ( $90^\circ$ ). Πρακτικά δεν υπάρχει τέτοιο κύκλωμα διότι κάθε πυκνωτής παρουσιάζει και ωμική αντίσταση λόγω απωλειών. Επομένως, σε ένα κύκλωμα εναλλασσομένου ρεύματος με πυκνωτή και ωμική αντίσταση συνδεδεμένα σε σειρά, η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει προπορεύεται της τάσης τροφοδοσίας του κατά γωνία  $\phi$  μικρότερη του  $\pi/2$  ( $90^\circ$ ).

Η σύνθετη αντίσταση  $Z$  κυκλώματος εναλλασσομένου ρεύματος RL σε σειρά δίνεται από τον τύπο :

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

και καθορίζει την συμπεριφορά του κυκλώματος. Όταν κύκλωμα εναλλασσομένου ρεύματος αποτελείται μόνο από ένα ιδανικό πηνίο, τότε το κύκλωμα παρουσιάζει επαγωγική συμπεριφορά και η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει έπεται της τάσης κατά  $\pi/2$  ( $90^\circ$ ). Πρακτικά δεν υπάρχει τέτοιο κύκλωμα διότι κάθε πηνίο παρουσιάζει και ωμική αντίσταση λόγω απωλειών. Επομένως σε ένα κύκλωμα εναλλασσομένου ρεύματος με ωμική αντίσταση και πηνίο συνδεδεμένα σε σειρά, η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει έπεται της τάσης τροφοδοσίας του κατά γωνία  $\phi$  μικρότερη του  $\pi/2$  ( $90^\circ$ ).

### B1. Ιδανικό πηνίο.

Έστω ότι το πηνίο του κυκλώματος του σχήματος 1 είναι ιδανικό. Στο ηλεκτρικό αυτό κύκλωμα, υπάρχουν τρεις πτώσεις τάσης, μία κατά μήκος του αντιστάτη ωμικής αντίστασης  $R$  ( $U_R$ ), μία λόγω αυτεπαγωγής στα άκρα του ιδανικού πηνίου με συντελεστή αυτεπαγωγής  $L$  ( $U_L$ ) και μία κατά μήκος του πυκνωτή χωρητικότητας  $C$  ( $U_C$ ).

Η πτώση τάσης  $U_R = IR$  είναι συμφασική με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος  $I$  που διαρρέει το κύκλωμα. Η τάση  $U_L$  στα άκρα του πηνίου προηγείται της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα κατά  $\pi/2$  ( $90^\circ$ ). Η τάση  $U_C$  στα άκρα του πυκνωτή υστερεί της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα κατά  $\pi/2$  ( $90^\circ$ ).

Η ενεργός τιμή της τάσης τροφοδοσίας του κυκλώματος RLC σε σειρά δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$U_{rms} = \sqrt{U_{Rrms}^2 + (U_{Lrms} - U_{Crms})^2} = I_{rms} \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$$

όπου

$U_{Rrms}$  : ενεργός τιμή της τάσης στα άκρα του αντιστάτη,

$U_{Lrms}$  : ενεργός τιμή της τάσης λόγω αυτεπαγωγής στα άκρα του πηνίου,

$U_{Crms}$  : ενεργός τιμή της τάσης στα άκρα του πυκνωτή και  
 $I_{rms}$  : ενεργός τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.

Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm, το πηλίκο  $U_{rms}/I_{rms}$  ισούται με την σύνθετη αντίσταση (εμπέδηση) του κυκλώματος και συμβολίζεται με  $Z$ . Άρα ισχύει

$$Z = \frac{U_{rms}}{I_{rms}} = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

Η ενεργός τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα δίνεται από την σχέση :

$$I_{rms} = \frac{U_{rms}}{Z} = \frac{U_{rms}}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}$$

Η διαφορά φάσης  $\phi$  μεταξύ της τάσης τροφοδοσίας και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα δίνεται από τις σχέσεις :

$$\phi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}$$

$$\cos\phi = \frac{R}{Z}$$

## B2. Πραγματικό πηνίο.

Έστω ότι το πηνίο του κυκλώματος του σχήματος 1 είναι πραγματικό, δηλαδή έχει και ωμική αντίσταση  $R_L$ . Στο ηλεκτρικό αυτό κύκλωμα, υπάρχουν τρεις πτώσεις τάσης, μία κατά μήκος του αντιστάτη ωμικής αντιστάσεως  $R$  ( $U_R$ ), μία κατά μήκος του πυκνωτή χωρητικότητας  $C$  ( $U_C$ ) και μία στα άκρα του πηνίου ( $U_\pi$ ). Η τάση στα άκρα του πηνίου οφείλεται στην ωμική και στην επαγωγική αντίσταση του πηνίου.

Η πτώση τάσης  $U_R=IR$  είναι συμφασική με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος  $I$  που διαρρέει το κύκλωμα. Η τάση  $U_C$  στα άκρα του πυκνωτή υστερεί της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα κατά  $\pi/2$  ( $90^\circ$ ). Η τάση  $U_L$  λόγω αυτεπαγωγής στα άκρα του πηνίου προηγείται της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα κατά  $\pi/2$  ( $90^\circ$ ). Η πτώση τάσης στα άκρα του πηνίου  $U_\pi$  προηγείται της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα κατά γωνία  $\phi_\pi$ .

Η ενεργός τιμή της τάσης τροφοδοσίας του κυκλώματος RLC σε σειρά δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$U_{rms} = \sqrt{U_{Rtotrms}^2 + (U_{Lrms} - U_{Crms})^2} = I_{rms} \sqrt{R_{tot}^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

Επιπλέον ισχύει

$$U_{Rtotrms} = I_{rms} (R+R_L) \quad \& \quad R_{tot}=R+R_L$$

Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm, το πηλίκο  $U_{rms}/I_{rms}$  ισούται με την σύνθετη αντίσταση (εμπέδηση) του κυκλώματος και συμβολίζεται με  $Z$ . Άρα ισχύει

$$Z = \frac{U_{rms}}{I_{rms}} = \sqrt{R_{tot}^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

Η ενεργός τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα δίνεται από την σχέση :

$$I_{rms} = \frac{U_{rms}}{Z} = \frac{U_{rms}}{\sqrt{R_{tot}^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}}$$

Η διαφορά φάσης  $\phi$  μεταξύ της τάσης τροφοδοσίας και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα δίνεται από τις σχέσεις :

$$\epsilon\phi\phi = \frac{X_L - X_C}{R_{tot}} = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R_{tot}}$$

$$\sigma\nu\phi = \frac{R_{tot}}{Z}$$

Η ενεργός τιμή της τάσης στα άκρα του πηνίου δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$U_{\pi rms} = \sqrt{U_{RLrms}^2 + U_{Lrms}^2} = \sqrt{I_{rms}^2 R_L^2 + I_{rms}^2 X_L^2} = I_{rms} \sqrt{R_L^2 + L^2 \omega^2}$$

Η σύνθετη αντίσταση του πηνίου δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$Z_{\pi} = \sqrt{R_L^2 + L^2 \omega^2}$$

Η διαφορά φάσης  $\phi_{\pi}$  μεταξύ της τάσης στα άκρα του πηνίου και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα δίνεται από τις σχέσεις :

$$\epsilon\phi\phi_{\pi} = \frac{X_L}{R_L} = \frac{L\omega}{R_L}$$

$$\sigma\nu\phi_{\pi} = \frac{R_L}{Z_{\pi}}$$

## Γ. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Τα όργανα που απαιτούνται στην εργαστηριακή αυτή άσκηση είναι τα εξής :

- Πηγή εναλλασσομένου ρεύματος
- Παλμογράφος
- Αμπερόμετρο εναλλασσομένου ρεύματος
- Βολτόμετρο Εναλλασσομένου ρεύματος
- Πολύμετρο
- Ωμόμετρο
- Μεταβλητή ωμική αντίσταση
- Πηνίο
- Πυκνωτής

Στη συνέχεια ακολουθεί η πειραματική διαδικασία της εργαστηριακής άσκησης και η επεξεργασία των μετρήσεων.

1. Να πραγματοποιήσετε το ηλεκτρικό κύκλωμα του σχήματος 1 χρησιμοποιώντας τον αντιστάτη ωμικής αντίστασης  $R=15\Omega$ , τον πυκνωτή χωρητικότητας  $C=50\mu F$  και το πηνίο με συντελεστή αυτεπαγωγής  $L=15mH$  και ωμική αντίσταση  $R_L=3\Omega$ .
2. Μετρήστε την ωμική αντίσταση  $R$  του αντιστάτη που σας δίνεται.
3. Μετρήστε την χωρητικότητα  $C$  του πυκνωτή που σας δίνεται.
4. Ρυθμίστε την τάση της γεννήτριας ως εξής :  $20V/50Hz$ .
5. Μετρήστε με την βοήθεια παλμογράφου την περίοδο, την συχνότητα και το πλάτος της τάσης τροφοδοσίας.
6. Με την βοήθεια βολτομέτρου μετρήστε την ενεργό τιμή της τάσης τροφοδοσίας του κυκλώματος.
7. Με την βοήθεια βολτομέτρου και αμπερομέτρου μετρήστε την ενεργό τιμή της πτώσης τάσης  $U_{R_{rms}}$  στα άκρα του αντιστάτη, την ενεργό τιμή της πτώσης τάσης  $U_{C_{rms}}$  στα άκρα του πυκνωτή, την ενεργό τιμή της πτώσης τάσης  $U_{\pi_{rms}}$  στα άκρα του πηνίου και την ενεργό τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος  $I_{rms}$  που διαρρέει το ηλεκτρικό κύκλωμα.
8. Με την βοήθεια παλμογράφου μετρήστε το πλάτος, την περίοδο και την συχνότητα της πτώσης τάσης  $U_{R_{rms}}$  στα άκρα του αντιστάτη.
9. Με την βοήθεια παλμογράφου μετρήστε το πλάτος, την περίοδο και την συχνότητα, της πτώσης τάσης  $U_{C_{rms}}$  στα άκρα του πυκνωτή.
10. Με την βοήθεια παλμογράφου μετρήστε το πλάτος, την περίοδο και την συχνότητα της πτώσης τάσης  $U_{\pi_{rms}}$  στα άκρα του πηνίου.
11. Χρησιμοποιώντας τα πειραματικά αποτελέσματα των βημάτων 8, 9 & 10 υπολογίστε την ενεργό τιμή της πτώσης τάσης  $U_{R_{rms}}$  στα άκρα του αντιστάτη, την ενεργό τιμή της πτώσης τάσης  $U_{C_{rms}}$  στα άκρα του πυκνωτή και την ενεργό τιμή της πτώσης τάσης  $U_{\pi_{rms}}$  στα άκρα του πηνίου.
12. Να συγκρίνετε και να σχολιάσετε τα πειραματικά αποτελέσματα των βημάτων 7 & 11.
13. Να υπολογίσετε με χρήση παλμογράφου την διαφορά φάσης μεταξύ των  $U_R$  &  $U_C$ .
14. Να υπολογίσετε με χρήση παλμογράφου την διαφορά φάσης μεταξύ των  $U_R$  &  $U$ .
15. Να υπολογίσετε με χρήση παλμογράφου την διαφορά φάσης μεταξύ των  $U$  &  $U_C$ .
16. Να υπολογίσετε με χρήση παλμογράφου την διαφορά φάσης μεταξύ των  $U_\pi$  &  $U_C$ .
17. Να υπολογίσετε με χρήση παλμογράφου την διαφορά φάσης μεταξύ των  $U_R$  &  $U_\pi$ .
18. Να υπολογίσετε με χρήση παλμογράφου την διαφορά φάσης μεταξύ των  $U_\pi$  &  $U$ .
19. Να υπολογίσετε θεωρητικά την ενεργό τιμή της πτώσης τάσης  $U_{\pi_{rms}}$  στα άκρα του πηνίου.
20. Να υπολογίσετε θεωρητικά και πειραματικά την ενεργό τιμή της πτώσης τάσης  $U_{L_{rms}}$  λόγω αυτεπαγωγής στα άκρα του πηνίου.
21. Να υπολογίσετε θεωρητικά και πειραματικά την ενεργό τιμή της πτώσης τάσης  $U_{RL_{rms}}$  λόγω ωμικής αντίστασης στα άκρα του πηνίου.
22. Να υπολογίσετε θεωρητικά την ενεργό τιμή της πτώσης τάσης  $U_{C_{rms}}$  στα άκρα του πυκνωτή.
23. Να υπολογίσετε θεωρητικά την ενεργό τιμή της πτώσης τάσης  $U_{R_{rms}}$  στα άκρα του αντιστάτη.
24. Να υπολογίσετε θεωρητικά την ενεργό τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το ηλεκτρικό κύκλωμα.
25. Να υπολογίσετε θεωρητικά και πειραματικά (με την βοήθεια παλμογράφου) την διαφορά φάσης  $\phi$  μεταξύ της τάσης τροφοδοσίας και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.

26. Να υπολογίσετε θεωρητικά και πειραματικά (με την βοήθεια παλμογράφου) την διαφορά φάσης  $\phi_\pi$  μεταξύ της τάσης στα άκρα του πηνίου και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.
27. Να υπολογίσετε θεωρητικά και πειραματικά την σύνθετη αντίσταση  $Z$  του κυκλώματος.
28. Να υπολογίσετε θεωρητικά και πειραματικά την σύνθετη αντίσταση  $Z_\pi$  του πηνίου.
29. Να συμπληρώσετε τους πίνακες 1, 2 & 3.
30. Να σχεδιάσετε διανυσματικό διάγραμμα των τάσεων και των ρευμάτων.
31. Να σχολιάσετε τα πειραματικά αποτελέσματα και να συγκρίνετε τις θεωρητικές και πειραματικές τιμές όλων των φυσικών μεγεθών.
32. Να υπολογίσετε το σχετικό και το απόλυτο σφάλμα όλων των φυσικών μεγεθών που υπολογίσατε.

f (Hz)	Πειραματικές τιμές (χρήση πολυμέτρου)									
	$U_{Rrms}$ (V)	$U_{Lrms}$ (V)	$U_{RLrms}$ (V)	$U_{\pi rms}$ (V)	$U_{Crms}$ (V)	Z ( $\Omega$ )	$Z_\pi$ ( $\Omega$ )	$I_{rms}$ (A)	συνφ	συνφ $_\pi$
50										

Πίνακας 1

f (Hz)	Πειραματικές τιμές (χρήση παλμογράφου)									
	$U_{R0}$ (V)	$U_{\pi 0}$ (V)	$U_{C0}$ (V)	Z ( $\Omega$ )	$Z_\pi$ ( $\Omega$ )	$I_0$ (A)	$U_0$ (V)	T (sec)	συνφ	συνφ $_\pi$
50										

Πίνακας 2

f (Hz)	Θεωρητικές τιμές									
	$U_{Rrms}$ (V)	$U_{Lrms}$ (V)	$U_{RLrms}$ (V)	$U_{\pi rms}$ (V)	$U_{Crms}$ (V)	Z ( $\Omega$ )	$Z_\pi$ ( $\Omega$ )	$I_{rms}$ (A)	συνφ	συνφ $_\pi$
50										

Πίνακας 3

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ :**

1. G. M Miller, “Modern Electronic Communication”, Prentice Hall, Inc., 1978.
2. E.N. Πρωτονοτάριου, “Μαθήματα Ειδικής Ηλεκτροτεχνίας”.
3. H.H. Skilling, “Electrical Engineering Circuits”, John Wiley and Sons.
4. D.F. Tuttle, “Circuits”, McGraw-Hill.
5. M.E. Valhenburg, “Network Analysis”, 3rd Edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
6. Παντελή Χρ. Βαφειάδη, “Ανάλυση Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων”, 2<sup>η</sup> Έκδοση, Αθήνα 2000.
7. W.H. Hayt, J. E. Kemmerly, “Engineering Circuit Analysis”, 2nd Edition, McGraw-Hill.
8. Χατζαράκης Γεώργιος Ε. , "Ηλεκτρικά Κυκλώματα", Τόμος Β., Έκδοση 1η, ΕΚΔΟΣΕΙΣ Α. ΤΖΙΟΛΑ & ΥΙΟΙ Ο.Ε.
9. Ν. Κολλιόπουλου, “Ηλεκτροτεχνία ΙΙ”, Τόμος 2, Έκδοση 2η, Εκδόσεις ΣΤΕΛΛΑ ΠΑΡΙΚΟΥ & ΣΙΑ ΟΕ.