

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

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 6^η
ΙΣΧΥΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

A. ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της εργαστηριακής αυτής άσκησης είναι η μελέτη και ο υπολογισμός της ισχύος σε κυκλώματα εναλλασσομένου ρεύματος (α) RC σε σειρά και (β) RL σε σειρά.

B. ΘΕΩΡΙΑ

Η ισχύς σε κυκλώματα συνεχούς ρεύματος δίνεται από τον τύπο :

$$P=U I$$

όπου U είναι η τάση στα άκρα του ηλεκτρικού κυκλώματος και I η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το ηλεκτρικό κύκλωμα.

Σε κυκλώματα εναλλασσομένου ρεύματος, όπου υπάρχουν μόνο ωμικά φορτία, η καταναλισκόμενη ισχύς δίνεται από τον τύπο :

$$P=U_{\text{rms}} I_{\text{rms}}$$

όπου U_{rms} είναι η ενεργός τιμή της τάσης στα άκρα του ηλεκτρικού κυκλώματος και I_{rms} η ενεργός τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το ηλεκτρικό κύκλωμα.

Σε κύκλωμα εναλλασσομένου ρεύματος, όπου τα φορτία περιλαμβάνουν εκτός από ωμικές αντιστάσεις, πηνία ή πυκνωτές ή οποιοδήποτε συνδυασμό τους, η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα και η τάση τροφοδοσίας δεν είναι συμφασικά μεγέθη αλλά έχουν διαφορά φάσης.

Στην περίπτωση αυτή η φαινόμενη ισχύς του ηλεκτρικού κυκλώματος δίνεται από τον τύπο :

$$S=U I$$

και έχει ως μονάδα μέτρησης στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) το 1VA. Η φαινόμενη ισχύς του κυκλώματος είναι ισχύς η οποία δεν καταναλώνεται στην πράξη, με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η μέτρησή της με χρήση βαττόμετρου.

Η μέση (πραγματική και καταναλισκόμενη ισχύς) του κυκλώματος δίνεται από τον τύπο :

$$P=U_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \cos\phi$$

όπου ϕ είναι η διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης τροφοδοσίας του ηλεκτρικού κυκλώματος και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει. Ο όρος $\cos\phi$ ονομάζεται συντελεστής ισχύος του κυκλώματος. Η μέση ισχύς του κυκλώματος είναι η καταναλισκόμενη ισχύς και έχει ως μονάδα μέτρησης στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) το 1W.

Η άεργος ισχύς του ηλεκτρικού κυκλώματος δίνεται από τον τύπο:

$$Q=U_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \sin\phi$$

και έχει ως μονάδα μέτρησης στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) το 1VAR. Η άεργος ισχύς σχετίζεται με τα στοιχεία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στο κύκλωμα, δηλαδή με τα χωρητικά και επαγωγικά φορτία του.

Η φαινόμενη ισχύς, η άεργος ισχύς και η μέση ισχύς του ηλεκτρικού κυκλώματος σχηματίζουν ένα ορθογώνιο τρίγωνο, το οποίο ονομάζεται τρίγωνο ισχύος.

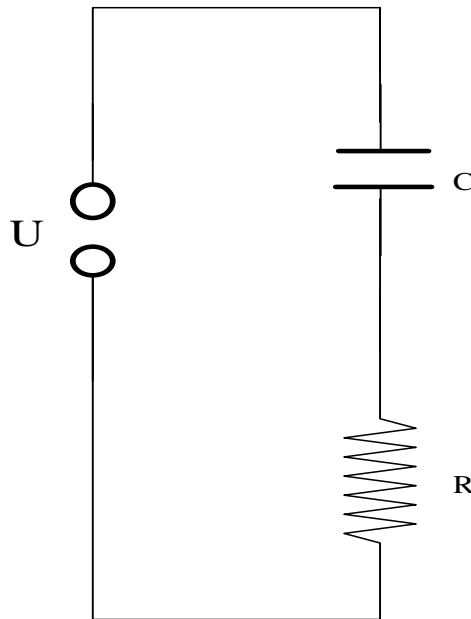
B1. Κύκλωμα RC σε σειρά

Έστω ένα κύκλωμα RC σε σειρά (σχήμα 1) το οποίο διεγείρεται από μία πηγή εναλλασσόμενης τάσης πλάτους U_0 και συχνότητας f . Η εναλλασσόμενη αυτή τάση περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση :

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

όπου ω είναι η γωνιακή ταχύτητα της εναλλασσόμενης τάσης και δίνεται από την σχέση :

$$\omega = 2\pi f.$$



Σχήμα 1. Κύκλωμα RC σε σειρά.

Στο ηλεκτρικό αυτό κύκλωμα υπάρχουν δύο πτώσεις τάσης, μία κατά μήκος του αντιστάτη ωμικής αντίστασης R (U_R) 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_C στα άκρα του πυκνωτή υστερεί της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα κατά $\pi/2$ (90°).

Η ενεργός τιμή της τάσης τροφοδοσίας U_{rms} του κυκλώματος RC σε σειρά δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$U_{rms} = \sqrt{U_{Rrms}^2 + U_{Crms}^2} = \sqrt{I_{rms}^2 R^2 + \frac{I_{rms}^2}{C^2 \omega^2}} = I_{rms} \sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2 \omega^2}}$$

όπου

U_{Rrms} : ενεργός τιμή της τάσης στα άκρα του αντιστάτη ωμικής αντίστασης R ,

U_{Crms} : ενεργός τιμή της τάσης στα άκρα του πυκνωτή και

I_{rms} : ενεργός τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.

Η σύνθετη αντίσταση (εμπέδηση) Z του κυκλώματος δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2 \omega^2}}$$

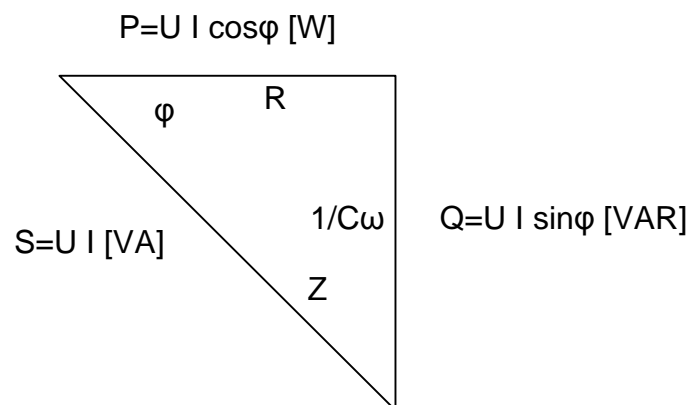
Η ενεργός τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα δίνεται από την σχέση :

$$I_{rms} = \frac{U_{rms}}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα προηγείται της τάσης τροφοδοσίας κατά γωνία φ. Η διαφορά φάσης φ μεταξύ της τάσης τροφοδοσίας και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα δίνεται από τις σχέσεις :

$$\begin{aligned} \epsilon\phi\phi &= \frac{X_C}{R} = \frac{1}{RC\omega} \\ \sigma\nu\nu\phi &= \frac{R}{Z} \end{aligned}$$

Το τρίγωνο ισχύος του κυκλώματος RC σε σειρά και γενικά κάθε κυκλώματος εναλλασσομένου ρεύματος με χωρητική συμπεριφορά φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 2. Τρίγωνο ισχύος κυκλώματος με χωρητική συμπεριφορά.

B2. Κύκλωμα RL σε σειρά

Θεωρούμε ένα κύκλωμα RL σε σειρά (σχήμα 3) το οποίο διεγείρεται από μία πηγή εναλλασσόμενης τάσης πλάτους U_0 και συχνότητας f . Η εναλλασσόμενη αυτή τάση περιγράφεται από την εξίσωση :

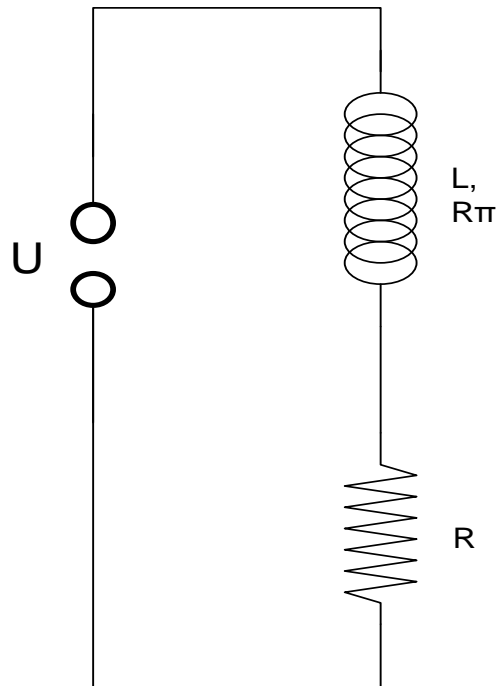
$$U(t) = U_0 \cos(\omega t)$$

όπου ω είναι η γωνιακή ταχύτητα της εναλλασσόμενης τάσης και δίνεται από την σχέση :

$$\omega = 2\pi f$$

Θεωρούμε ότι το πηνίο του κυκλώματος του σχήματος 3 είναι πραγματικό, δηλαδή έχει και ωμική αντίσταση R_L . Στο ηλεκτρικό αυτό κύκλωμα, υπάρχουν δύο πτώσεις τάσης, μία κατά μήκος του αντιστάτη ωμικής αντιστάσεως R (U_R) και μία στα άκρα του πηνίου (U_π). 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_L λόγω αυτεπαγωγής στα άκρα του πηνίου προηγείται της έντασης του

ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα κατά $\pi/2$ (90^0). Η πτώση τάσης στα άκρα του πηνίου U_{π} προηγείται της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα κατά γωνία φ_{π} .



Σχήμα 3. Κύκλωμα RL σε σειρά.

Η ενεργός τιμή της τάσης τροφοδοσίας U_{rms} του κυκλώματος RL σε σειρά δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$U_{rms} = \sqrt{U_{R_{tot}}^2 + U_{L_{ms}}^2} = \sqrt{I_{rms}^2 R_{tot}^2 + I_{rms}^2 X_L^2} = I_{rms} \sqrt{R_{tot}^2 + L^2 \omega^2}$$

όπου

$U_{R_{rms}}$: ενεργός τιμή της τάσης στα άκρα του αντιστάτη ωμικής αντίστασης R,

$U_{L_{rms}}$: ενεργός τιμή της τάσης λόγω αυτεπαγωγής στα άκρα του πηνίου και

I_{rms} : ενεργός τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.

Επιπλέον ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις :

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

Η σύνθετη αντίσταση (εμπέδηση) Z του κυκλώματος δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$Z = \frac{U_{rms}}{I_{rms}} = \sqrt{R_{tot}^2 + L^2 \omega^2}$$

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

$$I_{rms} = \frac{U_{rms}}{Z} = \frac{U_{rms}}{\sqrt{R_{tot}^2 + X_L^2}}$$

Η τάση τροφοδοσίας του κυκλώματος προηγείται κατά γωνία ϕ της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει. Η διαφορά φάσης ϕ μεταξύ της τάσης τροφοδοσίας και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα δίνεται από τις σχέσεις :

$$\epsilon\phi\phi = \frac{X_L}{R_{\text{tot}}} = \frac{L\omega}{R_{\text{tot}}}$$

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

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

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

Η σύνθετη αντίσταση του πηνίου δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

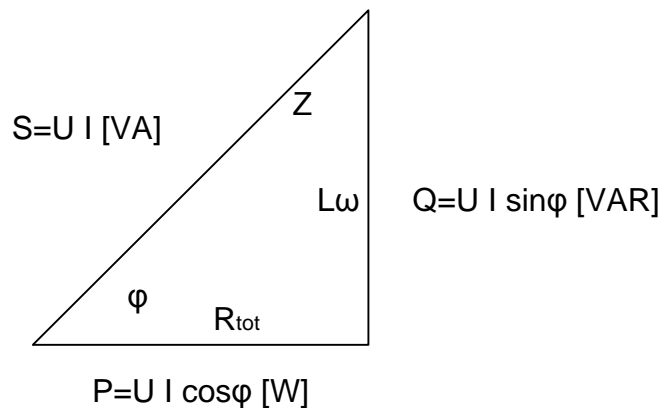
$$Z_{\pi} = \sqrt{R_L^2 + L^2 \omega^2}$$

Η τάση στα άκρα του πηνίου προηγείται κατά γωνία ϕ_{π} της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει. Η διαφορά φάσης ϕ_{π} μεταξύ της τάσης στα άκρα του πηνίου και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα δίνεται από τις σχέσεις :

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

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

Το τρίγωνο ισχύος του κυκλώματος RL σε σειρά και γενικά κάθε κυκλώματος εναλλασσομένου ρεύματος με επαγωγική συμπεριφορά φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 4. Τρίγωνο ισχύος κυκλώματος με επαγωγική συμπεριφορά.

Γ. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

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

- Πηγή εναλλασσομένου ρεύματος
- Αμπερόμετρο εναλλασσομένου ρεύματος

- Βολτόμετρο Εναλλασσομένου ρεύματος
- Πολύμετρο
- Ωμόμετρο
- Βαττόμετρο
- Ωμική αντίσταση
- Πυκνωτής
- Πηνίο

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

Γ1. Κύκλωμα RC σε σειρά

1. Πραγματοποιήστε το ηλεκτρικό κύκλωμα του σχήματος 1 χρησιμοποιώντας τον αντιστάτη ωμικής αντίστασης $R=15\Omega$ και τον πυκνωτή χωρητικότητας $C=50\mu\text{F}$.
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 πηγής ως εξής : $20\text{V}/50\text{Hz}$.
5. Μετρήστε την ενεργό τιμή της τάσης τροφοδοσίας του κυκλώματος με την βοήθεια βολτομέτρου.
6. Μετρήστε με την βοήθεια βολτομέτρου και αμπερομέτρου την ενεργό τιμή της πτώσης τάσης U_{Rms} στα άκρα του αντιστάτη, την ενεργό τιμή της πτώσης τάσης U_{Cms} στα άκρα του πυκνωτή και την ενεργό τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το ηλεκτρικό κύκλωμα (με την χρήση πολύμετρου).
7. Μετρήστε την μέση (καταναλισκόμενη) ισχύ του κυκλώματος με την χρήση βαττόμετρου (επιλογέας στην θέση W).
8. Μετρήστε την άεργο ισχύ του κυκλώματος με χρήση βαττόμετρου (επιλογέας στην θέση VAR)
9. Μετρήστε την φαινόμενη ισχύ του κυκλώματος χρησιμοποιώντας βολτόμετρο και αμπερόμετρο.
10. Υπολογίστε τον συντελεστή ισχύος του κυκλώματος.
11. Κατασκευάστε το τρίγωνο ισχύος και το διανυσματικό διάγραμμα των τάσεων και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος του κυκλώματος.
12. Υπολογίστε την θεωρητική τιμή της ενεργού τιμής της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το ηλεκτρικό κύκλωμα.
13. Υπολογίστε την θεωρητική τιμή της μέσης ισχύος του ηλεκτρικού κυκλώματος.
14. Υπολογίστε την θεωρητική τιμή της άεργου ισχύος του ηλεκτρικού κυκλώματος.
15. Υπολογίστε την θεωρητική τιμή της φαινόμενης ισχύος του ηλεκτρικού κυκλώματος.
16. Να σχολιάσετε τα πειραματικά αποτελέσματα και να συγκρίνετε τις θεωρητικές και πειραματικές τιμές όλων των μετρούμενων φυσικών μεγεθών.
17. Να υπολογίσετε το σχετικό και το απόλυτο σφάλμα όλων των φυσικών μεγεθών που υπολογίσατε.
18. Να συμπληρώσετε τους πίνακες 1 & 2.

Γ2. Κύκλωμα RL σε σειρά

19. Πραγματοποιήστε το ηλεκτρικό κύκλωμα του σχήματος 3 χρησιμοποιώντας τον αντιστάτη ωμικής αντίστασης $R=14\Omega$ και το πηνίο με συντελεστή αυτεπαγωγής $L=15mH$ και ωμικής αντίστασης $R_p=3\Omega$.
20. Μετρήστε την ωμική αντίσταση R του αντιστάτη που σας δίνεται.
21. Ρυθμίστε την τάση της πηγής ως εξής : $20V/50Hz$.
22. Μετρήστε με την χρήση βολτομέτρου την ενεργό τιμή της τάσης τροφοδοσίας του κυκλώματος.
23. Μετρήστε με την χρήση βολτομέτρου και αμπερομέτρου την ενεργό τιμή της πτώσης τάσης $U_{R_{rms}}$ στα άκρα του αντιστάτη, την ενεργό τιμή της πτώσης τάσης $U_{p_{rms}}$ στα άκρα του πηνίου και την ενεργό τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το ηλεκτρικό κύκλωμα.
24. Μετρήστε την μέση (καταναλισκόμενη) ισχύ του κυκλώματος με την χρήση βαττόμετρου (επιλογέας στην θέση W).
25. Μετρήστε την άεργο ισχύ του κυκλώματος με χρήση βαττόμετρου (επιλογέας στην θέση VAR).
26. Μετρήστε την φαινόμενη ισχύ του κυκλώματος χρησιμοποιώντας βολτόμετρο και αμπερόμετρο.
27. Υπολογίστε τον συντελεστή ισχύος του κυκλώματος.
28. Κατασκευάστε το τρίγωνο ισχύος και το διανυσματικό διάγραμμα των τάσεων και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος του κυκλώματος.
29. Υπολογίστε την θεωρητική τιμή της ενεργού τιμής της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το ηλεκτρικό κύκλωμα.
30. Υπολογίστε την θεωρητική τιμή της μέσης ισχύος του ηλεκτρικού κυκλώματος.
31. Υπολογίστε την θεωρητική τιμή της άεργου ισχύος του ηλεκτρικού κυκλώματος.
32. Υπολογίστε την θεωρητική τιμή της φαινόμενης ισχύος του ηλεκτρικού κυκλώματος.
33. Να σχολιάσετε τα πειραματικά αποτελέσματα και να συγκρίνετε τις θεωρητικές και πειραματικές τιμές όλων μετρούμενων των φυσικών μεγεθών.
34. Να υπολογίσετε το σχετικό και το απόλυτο σφάλμα όλων των φυσικών μεγεθών που μετρήσατε.
35. Να συμπληρώσετε τους πίνακες 3 &4.

f (Hz)	Πειραματικές τιμές									
	$U_{R_{rms}}$ (V)	$U_{C_{rms}}$ (V)	U_{rms} (V)	I_{rms} (A)	Z (Ω)	S (VA)	P (W)	Q (VAR)	cosφ	φ (°)
50										

Πίνακας 1 (R=15Ω, C=50μF, 20V/50Hz)

f (Hz)	Θεωρητικές τιμές									
	$U_{R_{rms}}$ (V)	$U_{C_{rms}}$ (V)	U_{rms} (V)	I_{rms} (A)	Z (Ω)	S (VA)	P (W)	Q (VAR)	cosφ	φ (°)
50										

Πίνακας 2 (R=15Ω, C=50μF, 20V/50Hz)

f (Hz)	Πειραματικές τιμές									
	$U_{R_{rms}}$ (V)	$U_{\pi_{rms}}$ (V)	$U_{r_{rms}}$ (V)	I_{rms} (A)	Z (Ω)	S (VA)	P (W)	Q (VAR)	cos ϕ	ϕ ($^{\circ}$)
50										

Πίνακας 3 (R=14 Ω , R π =3 Ω , L=15mH, 20V/50Hz)

f (Hz)	Θεωρητικές τιμές									
	$U_{R_{rms}}$ (V)	$U_{\pi_{rms}}$ (V)	$U_{r_{rms}}$ (V)	I_{rms} (A)	Z (Ω)	S (VA)	P (W)	Q (VAR)	cos ϕ	ϕ ($^{\circ}$)
50										

Πίνακας 4 (R=14 Ω , R π =3 Ω , L=15mH, 20V/50Hz)**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ :**

1. E.N. Πρωτονοτάριου, “Μαθήματα Ειδικής Ηλεκτροτεχνίας”.
2. H.H. Skilling, “Electrical Engineering Circuits”, John Wiley and Sons.
3. D.F. Tuttle, “Circuits”, McGraw-Hill.
4. M.E. Valhenburg, “Network Analysis”, 3rd Edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
5. Παντελή Χρ. Βαφειάδη, “Ανάλυση Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων”, 2^η Έκδοση, Αθήνα 2000.
6. W.H. Hayt, J. E. Kemmerly, “Engineering Circuit Analysis”, 2nd Edition, McGraw-Hill.
7. E. Παπαδημητράκη- Χλίγλια, “Ηλεκτρομαγνητισμός”, 1978.
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.