



Πολυτεχνείο Κρήτης
Εργαστήριο Δομής της Ύλης & Φυσικής Λείζερ

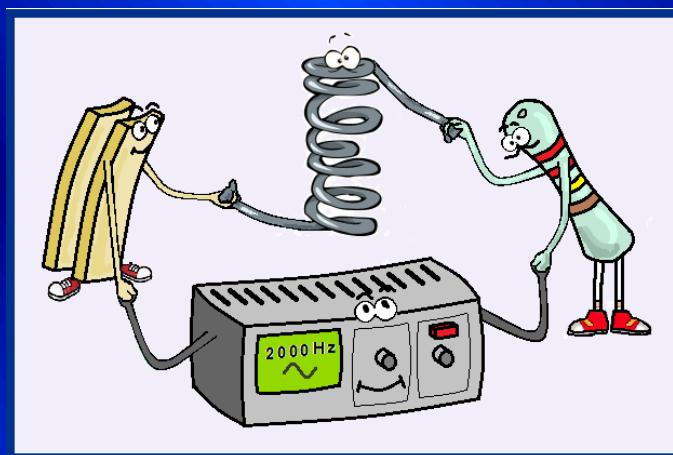


Φυσική II (Εργαστηριακές Ασκήσεις)

Εαρινό Εξάμηνο Ακαδ. Έτους 2019 - 20

Άσκηση 2

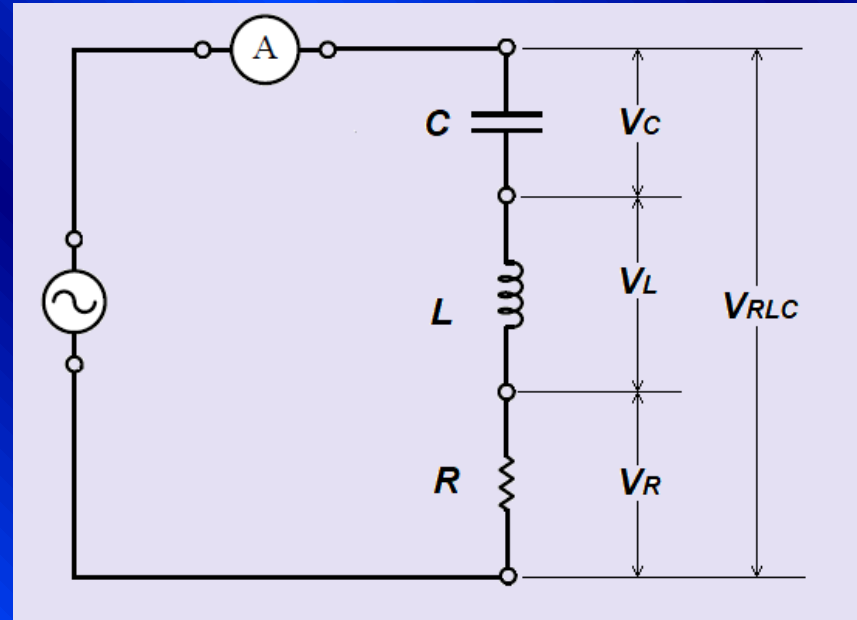
“Συντονισμός RLC σε σειρά” (Πείραμα 4.)



Βασική Θεωρία

Κύκλωμα RLC σε σειρά

Ένα τέτοιο κύκλωμα αποτελείται από έναν αντιστάτη, ένα πηνίο και έναν πυκνωτή συνδεδεμένα σε σειρά. Στην άσκηση το κύκλωμα τροφοδοτείται από μία γεννήτρια ημιτονικών σημάτων.



- Η άεργη χωρητική αντίσταση (reactance of capacitor) ενός πυκνωτή C ορίζεται ως:

$$|X_c| = \frac{1}{C\omega} (\Omega)$$

- Η άεργη επαγωγική αντίσταση (reactance of inductor) ενός πηνίου L ορίζεται ως:

$$X_L = L\omega (\Omega)$$

- Η άεργη αντίσταση (impedance, μετριέται σε Ω) στο κύκλωμα RLC στη σειρά ορίζεται ως:

$$X_L - X_C = \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right) j$$

$$|X_L - X_C| = \left| L\omega - \frac{1}{C\omega} \right|$$

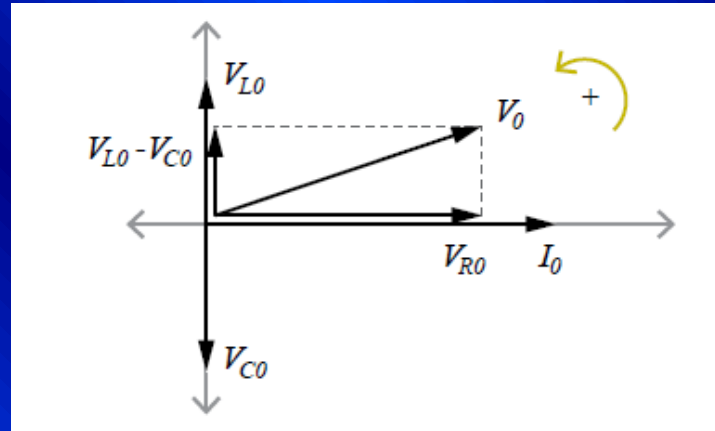
Το j δηλώνει φανταστικό αριθμό.

- Η εμπέδιση ή σύνθετη αντίσταση ενός κυκλώματος RLC σε σειρά που διαρρέεται από ημιτονοειδές ρεύμα, συχνότητας $\omega=2\pi f$, ορίζεται ως ο μιγαδικός:

$$Z = R + (X_L - X_C)j$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2}$$

- Διανυσματικό διάγραμμα των τάσεων, πάνω στο μιγαδικό επίπεδο, για το κύκλωμα RLC σε σειρά



Οι τάσεις μπορεί να αφορούν ή στα πλάτη V_0 , ή στις μέγιστες τιμές V_{pp} , ή στις στιγμιαίες τιμές $V(t)$, ή στις μέσες τιμές V_{rms} .

- Η γωνία φάσης φ (rad) μεταξύ της τάσης της πηγής και του ρεύματος του κυκλώματος ορίζεται ως:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{X_L - X_C}{R_{ολικη}}$$

- Ο συντελεστής ισχύος (power factor) του κυκλώματος ορίζεται ως ο παράγοντας:

$$\cos\varphi$$

- Η ισχύς που καταναλώνεται στο κύκλωμα είναι αυτή στην ωμική αντίσταση R και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P = RI_{rms}^2 = V_{rms_{πηγης}} I_{rms} \cos \varphi$$

Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σε σειρά.

Σε μία συγκεκριμένη συχνότητα f_0 το κύκλωμα RLC σε σειρά βρίσκεται σε συντονισμό.

Τότε, η τάση στα άκρα του πηνίου V_L έχει μέτρο ίσο με το μέτρο της τάσης στα άκρα του πυκνωτή V_C .

$$|V_L| = |V_C| \Rightarrow X_L = X_C \Rightarrow L\omega_0 = \frac{1}{C\omega_0}$$

Οπότε:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{και} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

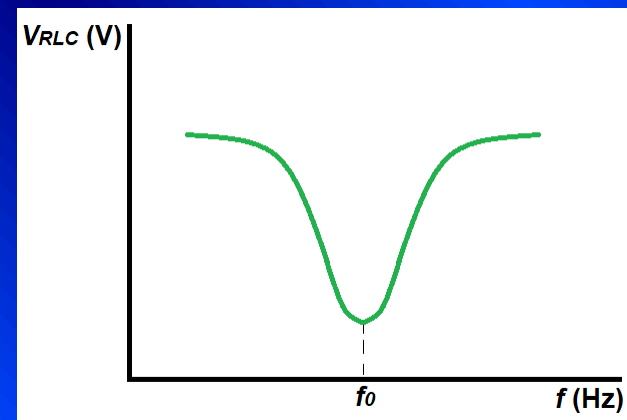
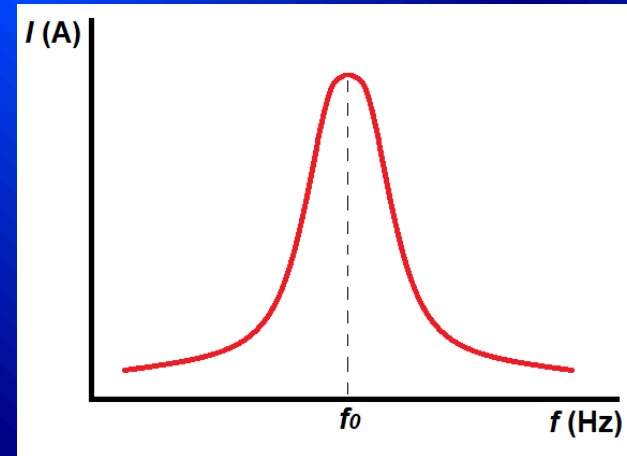
Επίσης ισχύει ότι:

$$Z = R$$

Στην συχνότητα συντονισμού:

- Το ρεύμα I που διαρρέει το κύκλωμα πέρνει την μέγιστη τιμή του.
- Η τάση V_{RLC} στα άκρα του κυκλώματος πέρνει την ελάχιστη τιμή της.
- Ο παράγοντας ποιότητας Q' σε ένα κύκλωμα RLC σε σειρά στη συχνότητα συντονισμού δίνεται από τη σχέση:

$$Q'_{(f_o)} = \frac{f_o}{f_2 - f_1} = \frac{\omega_o L}{R} = \frac{1}{\omega_o CR}$$



Όπου f_o η συχνότητα συντονισμού, f_1 και f_2 οι τιμές της συχνότητας που αντιστοιχούν στο 0,707 του μέγιστου ρεύματος που μετρίεται στη συχνότητα συντονισμού.

Από την Άσκηση 2, θα γίνει μόνο το πείραμα 4.

Απαραίτητα όργανα

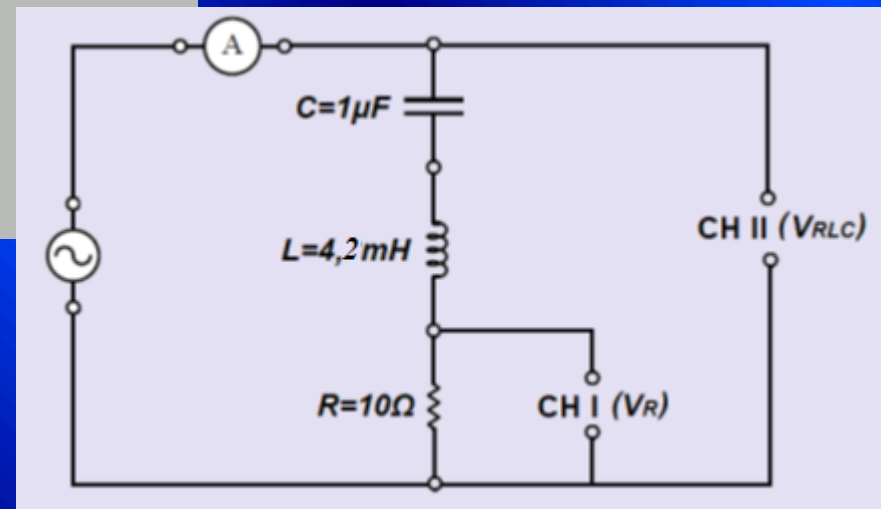
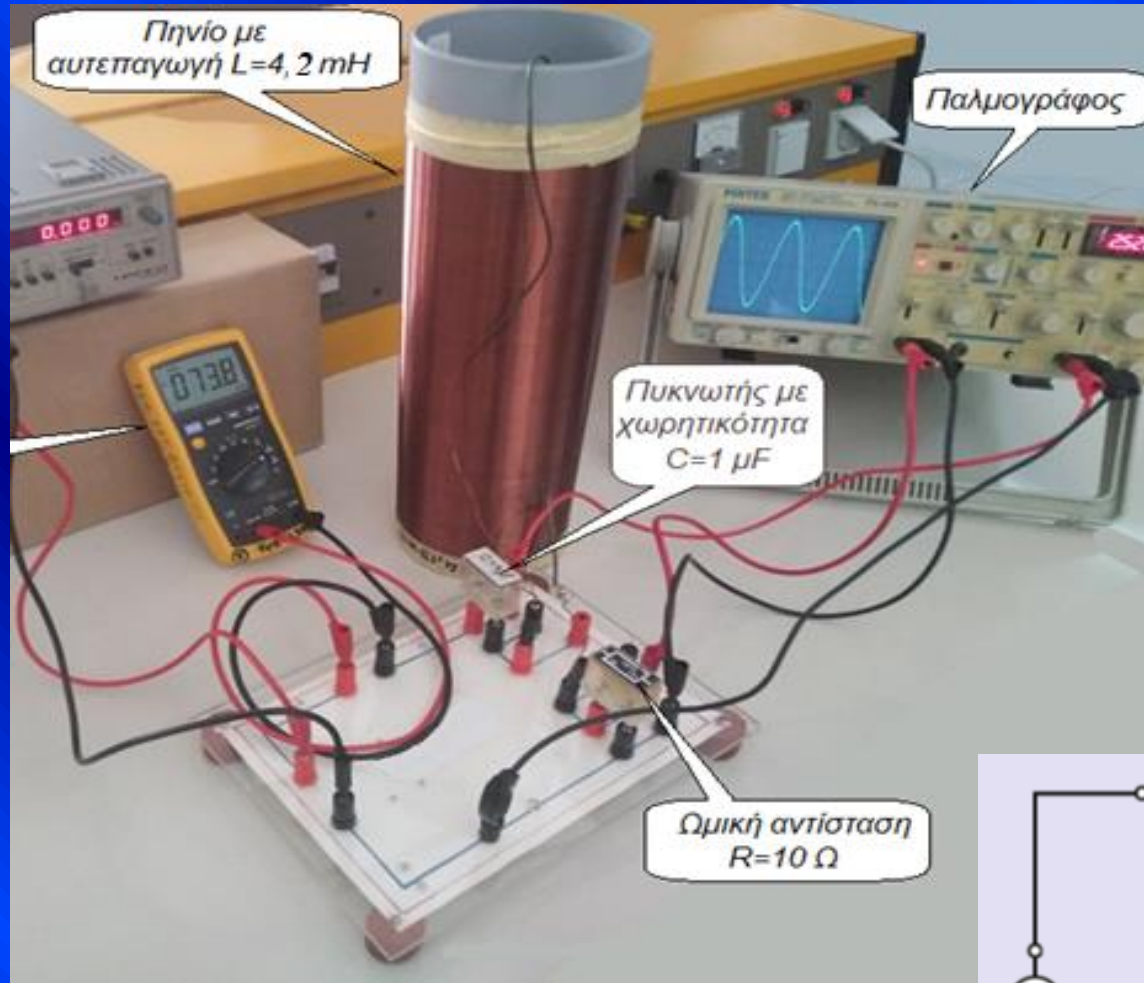
1. Γεννήτρια ημιτονικών σημάτων.
2. Πολύμετρο.
3. Παλμογράφος.
4. Ηλεκτρικά στοιχεία όπως:
 - Πυκνωτής $C=1\mu\text{F}$ (μη ηλεκτρολυτικός, δηλαδή χωρίς πολικότητα).
 - Πηνίο $L=4,2\text{ mH}$.
 - Ωμική αντίσταση $R=10\ \Omega$.

2.6 Πείραμα 4

2.6.1 Σκοπός

1. Πειραματικός προσδιορισμός της συχνότητας συντονισμού f_0 του κυκλώματος RLC σε σειρά.
2. Μέτρηση της μεταβολής της ηλεκτρικής τάσης στα άκρα της πηγής και της τάσης $V_R(t)$ στα άκρα της ωμικής αντίστασης R , του κυκλώματος RLC σε συνάρτηση με τη μεταβολή της συχνότητας f της ημιτονοειδούς τάσης της πηγής.
3. Μέτρηση της μεταβολής του ρεύματος $I(t)$ του κυκλώματος RLC σε συνάρτηση με τη μεταβολή της συχνότητας f της ημιτονοειδούς τάσης της πηγής.
 - Υπολογισμός του παράγοντα ποιότητας του κυκλώματος Q .
 - Υπολογισμός της άεργης αντίστασης $X_{ολική}(\Omega)$ του κυκλώματος.
 - Υπολογισμός της σύνθετης αντίστασης $Z(\Omega)$ του κυκλώματος.
 - Υπολογισμός του συντελεστή ισχύος $\cos \varphi$ του κυκλώματος.
 - Υπολογισμός της πραγματικής ισχύος $P(W)$ του κυκλώματος.

Πειραματική Διάταξη



2.6.3 Εκτέλεση της άσκησης

Βήμα 2. (Εύρεση της συχνότητας συντονισμού θεωρητικά).

Γνωρίζοντας ότι $L=4,3\text{ mH}$ και $C=1\text{ }\mu\text{F}$, από την σχέση Υπολογίστε θεωρητικά την τιμή της συχνότητας συντονισμού, $f_0, \text{θεωρητικά} = \dots \text{Hz}$.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Βήμα 3. (Εύρεση της συχνότητας συντονισμού πειραματικά).

Στην συχνότητα συντονισμού f_0 η τάση V_{RLC} έχει την ελάχιστη τιμή της. Ξεκινάμε να αυξάνουμε με αργό ρυθμό τη συχνότητα στη γεννήτρια, ξεκινώντας από μικρές τιμές (1000Hz), μέχρι να εντοπίσουμε τη συχνότητα συντονισμού. Η διαδικασία είναι ότι, καθώς αλλάζουμε τη συχνότητα, παρατηρούμε την ολική τάση του κυκλώματος (V_{RLC}) στο κανάλι II του παλμογράφου. Η τάση αυτή ξεκινά από μια μεγάλη τιμή και διαδοχικά με την αύξηση της συχνότητας μειώνεται μέχρι τη συχνότητα συντονισμού. Όταν η συχνότητα αυξηθεί πέραν της συχνότητας συντονισμού f_0 , η τάση V_{RLC} αρχίζει να αυξάνεται συνεχώς μέχρι κάποιας οριακής τιμής από την οποία και πέρα σταθεροποιείται.

Βρήκαμε με τον τρόπο αυτό την τιμή της συχνότητας συντονισμού:

$$f_0, 1, \text{πειραματικά} = 2460 \text{ Hz.}$$

Βήμα 5.

Μεταβάλλουμε τη συχνότητα της γεννήτριας με τον ίδιο τρόπο που το κάνατε και στο προηγούμενο βήμα. Θα παρατηρήσουμε ότι η τιμή του ρεύματος I_{rms} αρχικά είναι μικρή και σταθερή, στη συνέχεια αυξάνει, μετά μεγιστοποιείται σε κάποια συχνότητα, στη συνέχεια μειώνεται και τέλος σταθεροποιείται σε κάποια μικρή τιμή. Στην τιμή της συχνότητας που θα μεγιστοποιηθεί η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος συμβαίνει συντονισμός.

Σημειώνουμε την τιμή της συχνότητας συντονισμού.

$$f_{0,2, \text{πειραματικά}} = 2460 \text{ Hz.}$$

Συγκρίνετε την τιμή αυτή με τη θεωρητική που βρήκατε στο βήμα 2 και την πειραματική που βρήκατε στο βήμα 4.

Βήμα 6.

Μεταβάλλοντας διαδοχικά τη συχνότητα της πηγής από χαμηλές τιμές σε υψηλές (για συγκεκριμένες τιμές), μετράμε για κάθε μια από αυτές τις συχνότητες, στο κανάλι II του παλμογράφου, τις τιμές της τάσης στα άκρα της πηγής (V_{RLC}), στο κανάλι I του παλμογράφου, τις τιμές της τάσης στα άκρα του αντιστάτη (V_R) και από το αμπερόμετρο το ρεύμα I_{rms} που διαρρέει το κύκλωμα.

Πέρνουμε τον παρακάτω πίνακα μετρήσεων:

Πίνακας μετρήσεων 2.1

f (Hz)	I_{rms} (A)	V_{RLC} (V)	V_R (V)
$f_1=f_0/8=310$	$4,99 \times 10^{-3}$	3,60	0,068
$f_2=f_0/4=620$	$10,31 \times 10^{-3}$	3,50	0,140
$f_3=f_0/2=1240$	$22,76 \times 10^{-3}$	3,10	0,310
$f_4=0,9f_0=2200$	$40,91 \times 10^{-3}$	1,15	0,560
$f_5=f_0=2460$	$41,91 \times 10^{-3}$	0,80	0,580
$f_6=1,1f_0=2700$	$40,91 \times 10^{-3}$	1,10	0,560
$f_7=2f_0=4900$	$22,29 \times 10^{-3}$	3,10	0,300
$f_8=4f_0=9800$	$10,01 \times 10^{-3}$	3,50	0,140
$f_9=5f_0=12300$	$7,76 \times 10^{-3}$	3,50	0,110

Η ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 4. ΘΑ ΓΙΝΕΙ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΒΙΒΛΙΟ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ II ΚΑΙ ΑΚΟΛΟΥΘΩΝΤΑΣ ΤΙΣ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΟΔΗΓΙΕΣ:

2.6.4 Επεξεργασία μετρήσεων πειράματος 4.

Βήμα 1.

■ Στον υπολογισμό του παράγοντα ποιότητας κυκλώματος Q' από την σχέση (2.33), η σχέση αυτή είναι λάθος στις σημειώσεις. Δείτε την σωστή στις διορθώσεις των σημειώσεων που υπάρχουν στο eclass.

Τα παρακάτω να υπολογιστούν μόνο για τις συχνότητες $f_0/2$, f_0 και $2f_0$

- Η γωνία φάσης κυκλώματος φ , σχέση (2.15).
- Ο συντελεστής ισχύος κυκλώματος $\cos\varphi$, σχέση (2.16).
- Η πραγματική ισχύς κυκλώματος P , σχέση (2.20).

Στην σχέση 2.15 η $R_{ολ}$ είναι ίση με το άθροισμα των R και R_L ($R=10\ \Omega$ και $R_L=3,3\ \Omega$).

Βήμα 2.

Συμπληρώσετε έναν πίνακα της μορφής του πίνακα 2.2 χρησιμοποιώντας τις πειραματικές μετρήσεις του πίνακα 2.1. (Οι σχέσεις για τον υπολογισμό των μεγεθών βρίσκονται στο τέλος του πίνακα 2.2).

Από τις τιμές αυτού του πίνακα 2.2, να σχεδιάσετε τις γραφικές παραστάσεις, ως συνάρτηση της συχνότητας στον οριζόντιο άξονα:

- Του ρεύματος του κυκλώματος, $I(f)$.
- Της συνολικής τάσης του κυκλώματος, $V_{RLC}(f)$.
- Της σύνθετης αντίστασης του κυκλώματος $Z(f)$.