

# Συντονισμός Σειράς – Παράλληλος

Κλάιντι Τσάμη

## Περίληψη:

Η εργαστηριακή άσκηση αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την πρακτική εξοικείωση και κατανόηση των βασικών αρχών συντονισμού ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Μέσα από την εφαρμογή της θεωρίας σε πραγματικά πειραματικά σενάρια, εξετάσαμε τον τρόπο λειτουργίας ενός κυκλώματος RLC κατά τη διάρκεια του συντονισμού. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τη σημασία της συνδυασμένης προσέγγισης θεωρητικής γνώσης και πρακτικής εφαρμογής, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την αντιμετώπιση πρακτικών προβλημάτων στον τομέα της ηλεκτρονικής. Με αυτό τον τρόπο, η εργασία αυτή συμβάλλει στην εμβάθυνση της κατανόησης του συντονισμού σε κυκλώματα RLC, ενισχύοντας παράλληλα τις δεξιότητές μας στον ευρύτερο τομέα της ηλεκτρονικής.

## Εισαγωγή:

Η εργαστηριακή άσκηση αυτή έγινε με κύριο σκοπό την εμβάθυνση και την πειραματική κατανόηση σημαντικών εννοιών στο πως αλληλοεπιδρούν συγκεκριμένα κυκλώματα όταν βρίσκονται σε συντονισμό. Μέσα από την πρακτική εφαρμογή και την ανάλυση πειραματικών δεδομένων, στοχεύσαμε στην επίτευξη μιας σφαιρικής κατανόησης του πώς η επιλογή σύνδεσης των αντιστάσεων, πυκνωτών και πηνίων σε σειρά ή παράλληλο επηρεάζει τον συντονισμό του κυκλώματος RLC. Παρά το γεγονός ότι οι θεωρητικές αναλύσεις μας προέβλεπαν τα αποτελέσματα, η πρακτική εμπειρία απέδωσε επιπλέον πρόσθετες εισαγωγές. Η παρατήρηση των αλλαγών στα ρεύματα και τις τάσεις κατά την τροποποίηση των παραμέτρων R, L και C αποτελεί πολύτιμη συμβολή στην κατανόηση της δυναμικής των ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

## Θεωρία:

Για την μαθηματική μελέτη της εργαστηριακής άσκησης αυτής χρειάζονται κάποιες βασικές θεωρίες και εξισώσεις η οποίες αναγράφονται και αριθμούνται παρακάτω.

Καταρχάς, εάν σε ένα κύκλωμα έχουμε συνδέσει πολλές αντιστάσεις σε σειρά, το ρεύμα που διαπερνά κάθε αντίσταση είναι το ίδιο, αυτό διότι το ρεύμα έχει μόνο μία διαδρομή. Η συνολική αντίσταση στο κύκλωμα αυτό θα είναι το άθροισμα των αντιστάσεων. Για παράδειγμα, εάν στο κύκλωμα συνδέονται σε σειρά n αντιστάσεις, τότε η συνολική αντίσταση θα ισούται με:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (1)$$

Από την άλλη εάν οι n αντιστάσεις συνδέονται παράλληλα τότε για την συνολική αντίσταση θα ισχύει ότι:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (1.1)$$

## Νόμος του Ohm:

Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm η τάση στα άκρα ενός κυκλώματος ισούται με το γινόμενο της τιμής της αντίστασης επί την τιμή του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.

$$\text{Δηλαδή: } V = I \cdot R \quad (2)$$

Επιπλέον, επειδή πρόκειται να συγκριθούν πειραματικές τιμές με θεωρητικές (ονομαστικές), απαιτείται η χρήση μιας σχέσης για την απόκλιση των τιμών αυτών. Αυτή η σχέση δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\% \text{απόκλιση} = \frac{\text{ονοματική τιμή} - \text{πειραματική τιμή}}{\text{ονοματική τιμή}} \cdot 100 \% \quad (3)$$

#### **Συντονισμός:**

Σε ένα κύκλωμα λέμε ότι βρίσκεται σε συντονισμό, όταν η τάση που εφαρμόζεται σε αυτό είναι σε φάση με το ρεύμα που το διαρρέει, δηλαδή:

$$\Delta\Phi_{(u,i)} = 0$$

Σε ένα κύκλωμα συντονισμού σειράς RLC η συχνότητα συντονισμού σύμφωνα με την θεωρία δίνεται από την σχέση:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

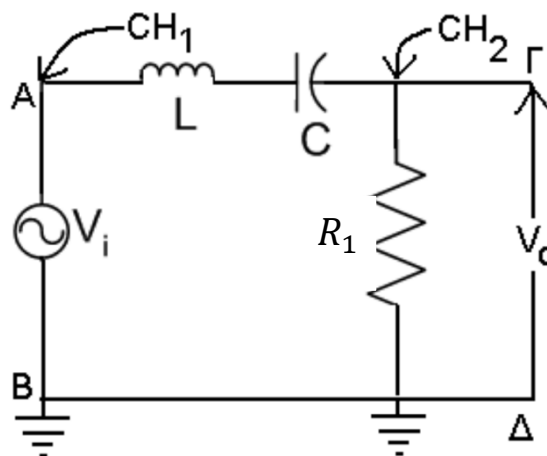
### Πειραματική διαδικασία:

Τα βασικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα που θα χρειαστούν για την υλοποίηση της εργαστηριακής άσκησης είναι τα παρακάτω:

- Εναλλασσόμενη πηγή τάσης ημιτονική πλάτους  $2V_{p-p}$
- Παλμογράφο με 2 channels
- Πολύμετρο
- Αντιστάσεις τιμών:  $270\ \Omega$ ,  $1\text{k}\Omega$ ,  $0.47\text{k}\Omega$ ,  $15\text{k}\Omega$
- Πυκνωτές τιμών:  $33\text{ nF}$ ,  $47\text{ nF}$
- Πηνία τιμών:  $22\text{ mH}$ ,  $33\text{ mH}$
- Και διάφορα καλώδια για την διασύνδεση τους

### Πειραματικό Κύκλωμα Συντονισμού Σειράς

Στο μέρος αυτό της εργαστηριακής άσκησης θα επιχειρήσουμε αρχικά να μελετήσουμε ένα κύκλωμα συντονισμού σειράς (Εικόνα 3) πρώτα για αντίσταση τιμής  $R_1 = 270\ \Omega$ , ενώ μεταγενέστερα θα εκτελέσουμε την ίδια διαδικασία για  $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ . Συγκεκριμένα αυτό που θα κάνουμε είναι έχοντας υπολογίσει θεωρητικά την συχνότητα συντονισμού του κυκλώματος θα δίνουμε διάφορες τιμές συχνότητας στην πηγή και θα καταγράφουμε την τάση εξόδου  $V_{out}$  και την φάση μεταξύ της τάσης εισόδου και εξόδου. Έπειτα θα παρουσιάσουμε τα δεδομένα αυτά σε κατάλληλα διαγράμματα ώστε να μπορέσουμε να κατανοήσουμε το φαινόμενο και να καταλήξουμε σε κατάλληλα συμπεράσματα. Έπειτα θα κάνουμε την ίδια διαδικασία με την μόνη διαφορά πως η αντίσταση  $R_1$  θα έχει τιμή  $1\text{ k}\Omega$ , ώστε να δούμε η αλλαγή αυτή κατά πόσο θα αλλάξει τα δεδομένα που θα αντλήσουμε πειραματικά.



Εικόνα 3

#### • $R_1 = 270\ \Omega$

Για να δημιουργήσουμε το παραπάνω κύκλωμα θα πρέπει να εκτελέσουμε την παρακάτω διαδικασία. Καταρχάς πάμε και συνδέουμε σε σειρά το πηνίο ( $L = 22\text{ mH}$ ), τον πυκνωτή ( $C = 33\text{ nF}$ ) και την αντίσταση ( $R_1 = 270\ \Omega$ ). Έπειτα συνδεουμε την πηγή τάσης με το ένα άκρο στο πηνίο και την γείωση στο

ελεύθερο άκρο της αντίστασης. Τέλος συνδέουμε τον παλμογράφο ως εξής, παίρνουμε το channel 1 και το συνδέουμε παράλληλα στην πηγή τάσης ενώ το channel 2 στα άκρα της αντίστασης  $R_1$ .

Η συχνότητα συντονισμού σύμφωνα με την σχέση (4) για το κύκλωμα αυτό θα ισούται με:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{33 \cdot 10^{-9} \cdot 22 \cdot 10^{-3}}} = 5970 \text{ Hz} \Rightarrow f_0 = \mathbf{5.9 \text{ kHz}}$$

Εφόσον πλέον γνωρίζουμε την συχνότητά συντονισμού θα αρχίσουμε πειραματικά να δίνουμε τιμές συχνότητας στην πηγή κοντά στην τιμή αυτή ώστε να παρατηρήσουμε το φαινόμενο αυτό και πειραματικά, συγκεκριμένα η τιμές που προέκυψαν για το κύκλωμα αυτό είναι οι εξής (Πίνακας 1):

$\sim f_0 \rightarrow$

$\alpha/\alpha$	F (kHz)	Vout (V)	$\theta$ (ο)
1	0,77	0,074	-98,3
2	1,6	0,21	-90,6
3	2,62	0,38	-81,3
4	3,33	0,56	-74,8
5	4,29	0,8	-51,3
6	4,96	1,06	-32,5
7	5,31	1,3	-27,2
<b>8</b>	<b>5,91</b>	<b>1,32</b>	<b>5,51</b>
9	6,72	1,25	38,9
10	7,4	1,02	52,42
11	8,3	0,79	61,77
12	9,36	0,63	67,12
13	10,49	0,53	72,18
14	12,04	0,43	74,39
15	14,99	0,32	78,56

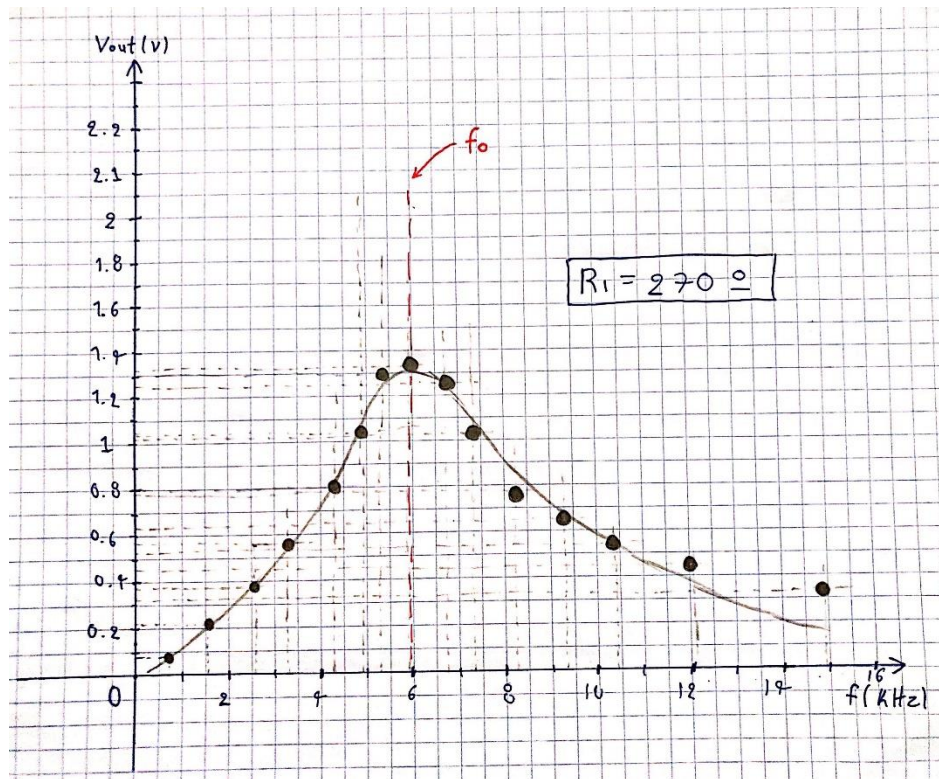
Πίνακας 1

Συγκεκριμένα δόθηκαν 15 τιμές συχνότητας στην πηγή και για την κάθε μια από αυτές μετρήθηκαν αντίστοιχα η τάση εξόδου  $V_{out}$  δηλαδή η τάση στην αντίσταση  $R_1$  και η φάση ( $\theta$ ) μεταξύ της τάσης εισόδου και της τάσης εξόδου.

Παρατηρούμε από τον πίνακα 1 ότι για τιμή συχνότητας περίπου ίση με την συχνότητα συντονισμού (8<sup>η</sup> γραμμή, Πίνακας 1) η τάση εξόδου παίρνει μια μέγιστη τιμή ενώ για τιμές συχνότητας μεγαλύτερες ή μικρότερες από την συχνότητα συντονισμού η τάση αρχίζει και μειώνεται, επιπρόσθετα η φάση μεταξύ της τάσης εισόδου και εξόδου για την συχνότητα της 8<sup>ης</sup> γραμμής παίρνει την μικρότερη τιμή, αυτό είναι λογικό καθώς σύμφωνα με την θεωρία ένα κύκλωμα λέμε ότι βρίσκεται σε συντονισμό, όταν η τάση που εφαρμόζεται σε αυτό είναι σε φάση με το ρεύμα που το διαρρέει, άρα η τάση εξόδου θα έχει την ίδια φάση με την τάση εισόδου, ενώ για τιμές συχνότητας μικρότερες ή μεγαλύτερης της συχνότητας συντονισμού η φάση μεγαλώνει κάτι που είναι πάλι αναμενόμενο.

Μπορούμε να παρατηρήσουμε καλύτερα της μεταβολές αυτές των τιμών εάν σχεδιάσουμε τα διαγράμματα ( $V_{out} - f$  (kHz)) και το διάγραμμα ( $\theta^0 - f$  (kHz)) σε μιλιμετρέ χαρτί.

Συγκεκριμένα το διάγραμμα ( $V_{out} - f$  (kHz)) σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα του πίνακα 1 θα είναι το παρακάτω (Εικόνα 4):



Εικόνα 5

Στο διάγραμμα της εικόνας 4 παρατηρούμε ακριβώς αυτό, δηλαδή την τάση  $V_{out}$  να παίρνει μια μέγιστη τιμή όταν η συχνότητα ισούται με την συχνότητα συντονισμού και για τιμές συχνότητας μικρότερες ή μεγαλύτερες η τάση μικραίνει.

Η τάση μεγιστοποιείται στο σημείο συντονισμού λόγω της αλληλουχίας των αντιδράσεων αντίστασης ( $R_{ολ}$ ), πηνίου ( $L$ ) και πυκνωτή ( $C$ ) στη συχνότητα συντονισμού. Συνοπτικά, η μεγιστοποίηση της τάσης συμβαίνει για τους εξής λόγους:

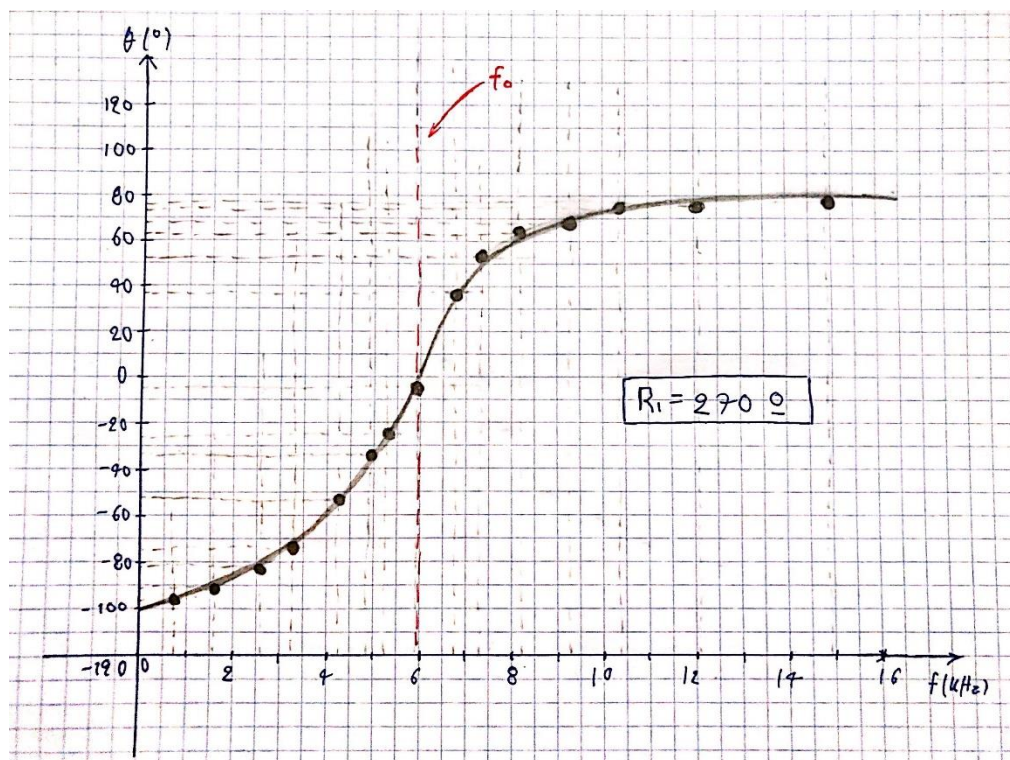
**Μέγιστη Αντίσταση:** Κοντά στη συχνότητα συντονισμού, η αντίσταση στο κύκλωμα είναι μεγαλύτερη. Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm (σχέση 2), η τάση είναι ανάλογη της αντίστασης, και εφόσον η αντίσταση παίρνει μια μέγιστη τιμή, η τάση θα παίρνει επίσης μια μέγιστη τιμή.

**Αντίδραση του Πηνίου ( $L$ ):** Το πηνίο έχει μεγαλύτερη αντίδραση όταν η συχνότητα είναι κοντά στη συχνότητα συντονισμού. Η αντίδραση του πηνίου αυξάνεται, συμβάλλοντας στην αύξηση της τάσης στο κύκλωμα.

**Αντίδραση του Πυκνωτή ( $C$ ):** Ο πυκνωτής επίσης έχει μεγαλύτερη αντίδραση κοντά στη συχνότητα συντονισμού. Η αντίδραση του πυκνωτή είναι αρνητική, αλλά όταν συνδυάζεται με την αντίδραση του πηνίου, συμβάλλει στη δημιουργία μεγαλύτερης τάσης στο κύκλωμα.

Επομένως, η συνδυασμένη επίδραση αυτών των στοιχείων οδηγεί στη μεγιστοποίηση της τάσης στο κύκλωμα σε συγκεκριμένη συχνότητα, η οποία είναι η συχνότητα συντονισμού.

Επιπλέον το διάγραμμα ( $\theta - f$  (kHz)) σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα του πίνακα 1 θα είναι το παρακάτω (Εικόνα 5):



Εικόνα 6

Στο διάγραμμα αυτό παρατηρούμε ακριβώς την φάση μεταξύ της τάσης εισόδου και εξόδου να παίρνει την μικρότερη τιμή της όταν η συχνότητα ισούται με την συχνότητα συντονισμού ενώ για τιμές μικρότερες η μεγαλύτερες παίρνει μεγαλύτερες τιμές κατά απόλυτή τιμή. Αυτό όπως εξηγήθηκε και παραπάνω συμβαίνει καθώς σύμφωνα με την θεωρία ένα κύκλωμα λέμε ότι βρίσκεται σε συντονισμό, όταν η τάση που εφαρμόζεται σε αυτό είναι σε φάση με το ρεύμα που το διαρρέει

- $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$

Στο μέρος αυτό το κύκλωμα θα παραμείνει ίδιο (Εικόνα 3), το μόνο που θα πρέπει να αλλάξουμε είναι η αντίσταση  $R_1$ , συγκεκριμένα θα αλλάξουμε την τιμή της αντίστασης από 270 Ω σε 1 kΩ. Η αλλαγή αυτή θα γίνει κατά κύριων λόγων για να ελέγξουμε εάν η τιμή της αντίστασης έχει κάποια επίπτωση στην τιμές της τάσης εξόδου ή της φάσης  $\theta$ . Δίνοντας πάλι τιμές κοντά στην συχνότητα συντονισμού, η οποία είναι ίδια καθώς δεν εξαρτάτε από την τιμή της αντίστασης αλλά μόνο από την τιμή του πυκνωτή και του πηνίου (σχέση 4) θα καταγράφουμε την τάση εξόδου  $V_{out}$  και την φάση ( $\theta$ ) μεταξύ της τάσης εισόδου και της τάσης εξόδου. Τα δεδομένα που αντλήσαμε πειραματικά αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2):

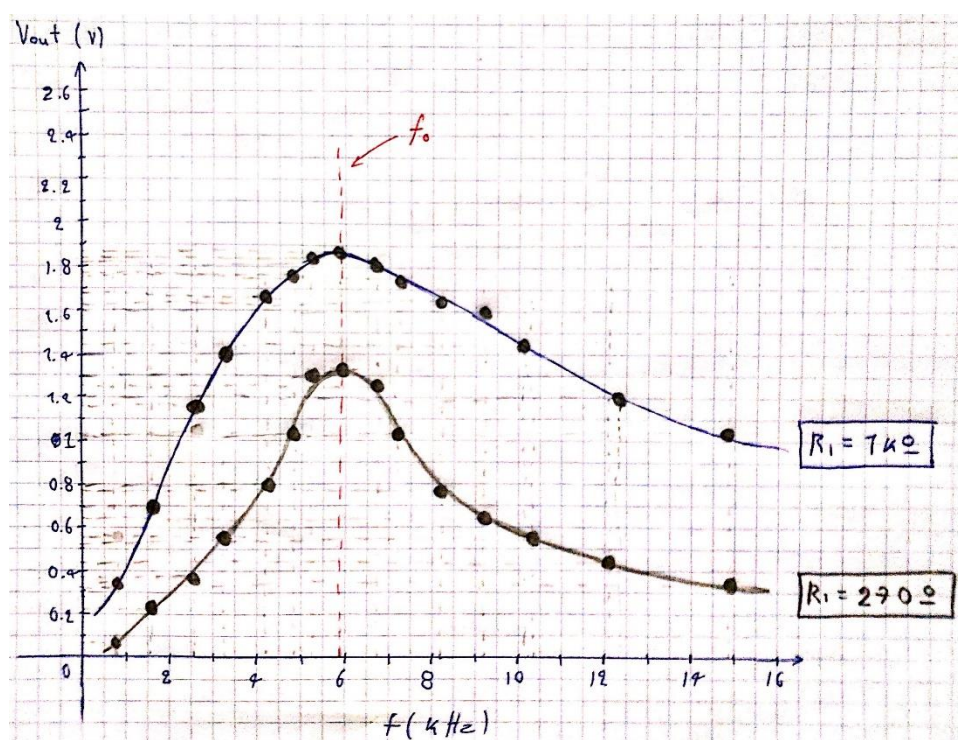


$\sim f_0 \rightarrow$

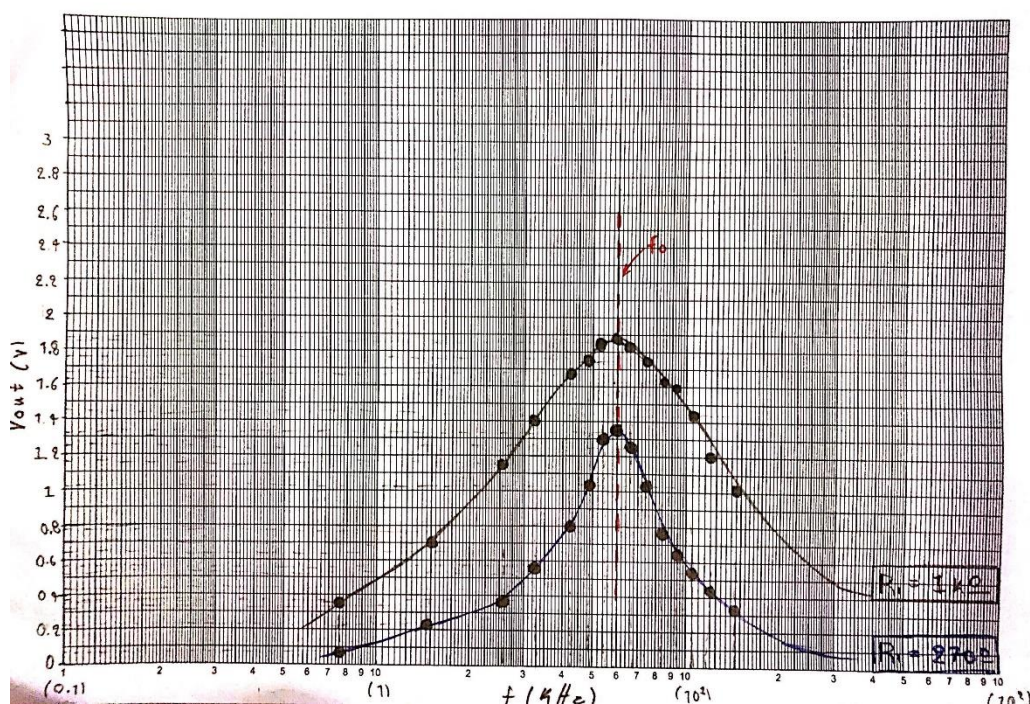
$\alpha/\alpha$	$f$ (kHz)	$V_{out}$ (V)	$\theta$ ( $^\circ$ )
1	0.78	0.35	-82.8
2	1.58	0.7	-70.5
3	2.63	1.16	-54.8
4	3.33	1.4	-43.7
5	4.33	1.68	-26.2
6	4.91	1.76	-14.5
7	5.29	1.84	-9.6
8	5.9	1.86	1.53
9	6.78	1.82	12.48
10	7.32	1.76	18.76
11	8.49	1.62	30.18
12	9.01	1.6	33.73
13	10.22	1.44	41.83
14	12.48	1.2	53.17
15	15.01	1.04	58.38

Πίνακας 2

Τα παραπάνω δεδομένα είναι αποτυπωμένα στις παρακάτω εικόνες μαζί με τα δεδομένα του πίνακα 1 σε κοινό διάγραμμα, πρώτα (Εικόνα 7 σε μιλιμετρέ χαρτί και 7.1 σε ημιλογαριθμικό χαρτί) το διάγραμμα τάσης  $V_{out}$  - συχνότητας  $f$  και μετά (Εικόνα 8 --/-- και 8.1 --/--) φάσης  $\theta$  - συχνότητας  $f$  ώστε να μπορέσουμε να διακρίνουμε καλύτερα την επίδραση της αντίστασης στα πειραματικά δεδομένα.

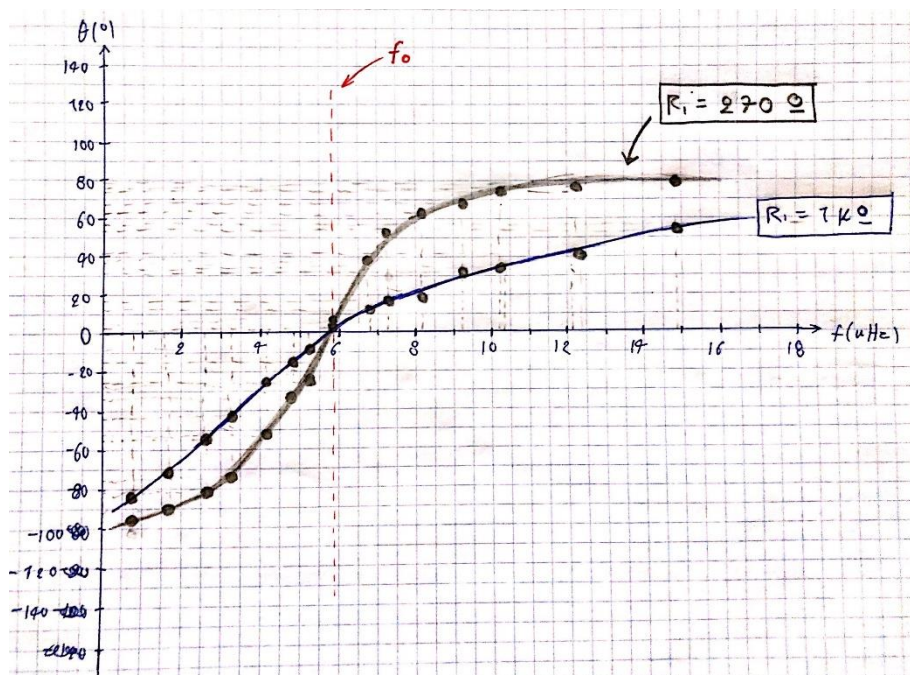


Εικόνα 7 (Διάγραμμα  $V - f$   
σε μιλιμετρέ χαρτί)



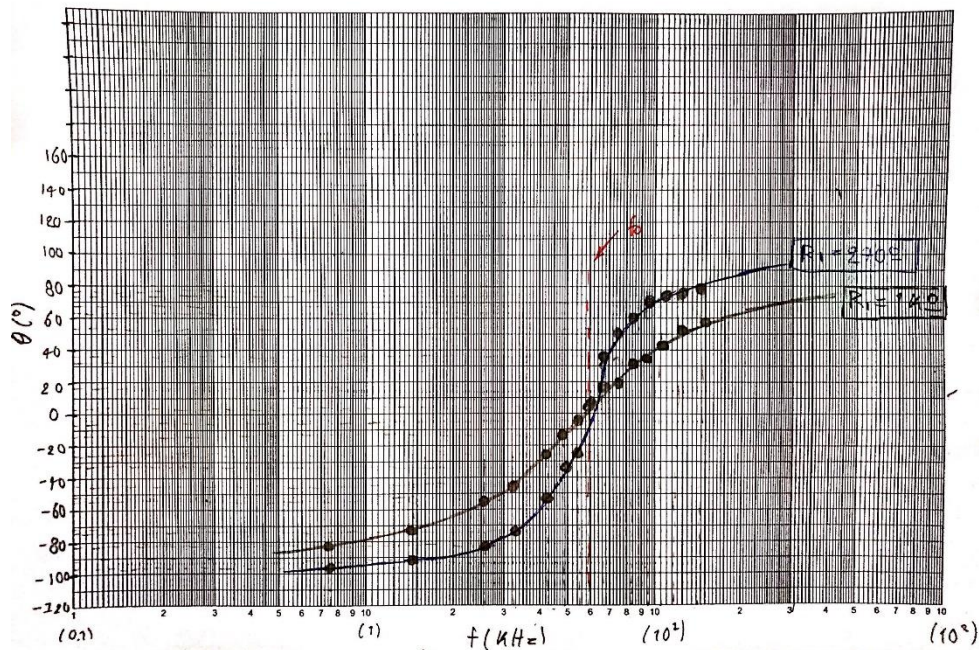
Εικόνα 7.1 (Διάγραμμα V - f σε μιλιμετρέ χαρτί)

Καταρχάς στα διαγράμματα 7 και 7.1 τα οποία αποτυπώνουν την τάση  $V_{out}$  συνάρτηση της συχνότητας  $f$  παρατηρούμε ότι για τιμή αντίστασης  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  η καμπύλη που σχηματίζουν τα σημεία του πίνακα είναι μετατοπισμένη προς τα θετικά του άξονα  $y$  σε σχέση με την καμπύλη των δεδομένων της  $R_1 = 270 \text{ k}\Omega$ . Αυτό πρακτικά συμβαίνει καθώς σύμφωνα με τον νόμο του Ohm και επειδή η τάση είναι ανάλογη της αντίστασης για μεγαλύτερη αντίσταση περιμένουμε και μεγαλύτερη τιμή τάσης, άρα στην στήλη τάσης  $V_{out}$  του πίνακα 2 περιμένουμε μεγαλύτερες τιμές τάσης σε σχέση με την στήλη του πίνακα 1 κάτι που ισχύει αν παρατηρήσουμε τους 2 πίνακες.



Εικόνα 8 (Διάγραμμα  $\theta$  -  $f$  σε ημιλογαριθμικό χαρτί)



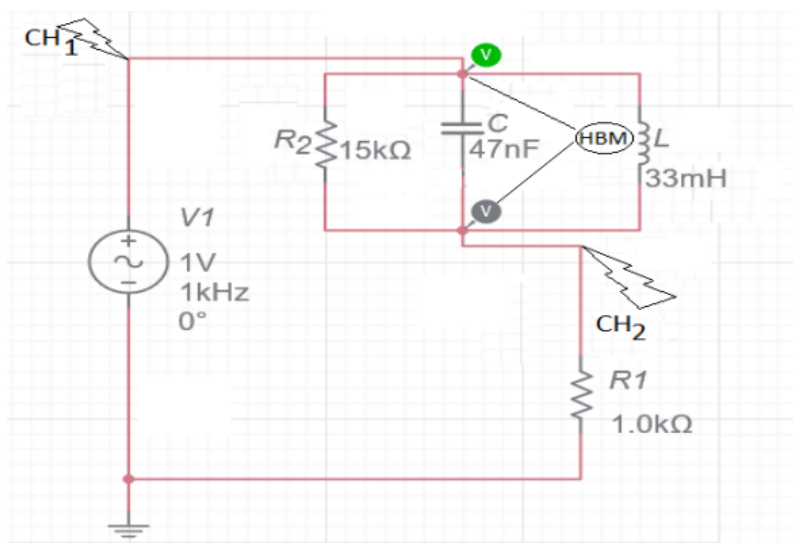


Εικόνα 8.1 (Διάγραμμα  $\theta - f$  σε ημιλογαριθμικό χαρτί)

Από την άλλη στα διαγράμματα των εικόνων 8 και 8.1 τα οποία αποτυπώνουν την φάση συναρτήσει της συχνότητας  $f$  όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της αντίστασης τόσο μικραίνει και η φάση για τιμές μεγαλύτερες η μικρότερες της συχνότητας συντονισμού. Αυτό μπορεί να συμβαίνει καθώς όταν αυξάνετε η τιμή της αντίστασης ο όρος αντίστασης υπερिशύει περισσότερο στο κύκλωμα. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μείωση της έντασης του ρεύματος και, επομένως, μείωση της φάσης μεταξύ της τάσης εισόδου και εξόδου.

### Πειραματικό Κύκλωμα Παράλληλου Συντονισμού

Στο δεύτερο μέρος της εργαστηριακής άσκησης θα επιχειρήσουμε να μελετήσουμε ένα κύκλωμα παράλληλου συντονισμού (Εικόνα 9). Βρίσκοντας πρώτα την συχνότητα συντονισμού του κυκλώματος και δίνοντας όπως προηγούμενος τιμές συχνότητας στην πηγή κοντά στην συχνότητα συντονισμού, θα αναλύσουμε το πως ενεργεί ένα τέτοιο κύκλωμα για δυο τιμές αντίστασης  $R_1 = (1 \text{ k}\Omega \text{ και } 0.47 \text{ k}\Omega)$  και θα καταλήξουμε σε κατάλληλη συμπεράσματα έχοντας μετρήσει πειραματικά τα ίδια μεγέθη ( $V_{out} = V_{R1}$  και την φάση  $\theta$  μεταξύ της τάσης εισόδου και της τάσης  $V_{R1}$ ). Επιπλέον θα μετράμε για κάθε τιμή συχνότητας και την τάση VLC μέσω πολύμετρου (Τάση RMS).



Εικόνα 9

Καταρχάς θα πρέπει να σχηματίσουμε το παραπάνω κύκλωμα (Εικόνα 9) πάνω σε ένα breadboard. Η διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσουμε είναι η εξής: Συνδέουμε παράλληλα την αντίσταση  $R_2 = 15\text{ k}\Omega$  των πυκνωτή  $C = 47\text{ nF}$  και το πηνίο  $L = 33\text{ mH}$ , έπειτα συνδεουμε ένα άκρο των τριών αυτών στοιχείων με την αντίσταση  $R_1$  (αρχικά  $1\text{ k}\Omega$ ). Επιπλέον συνδέουμε την πηγή με την γείωση στο ελεύθερο άκρο της  $R_1$  και το άλλο άκρο με αυτό των τριών παράλληλων στοιχείων και το πολύμετρο στα άκρα των τριών στοιχείων. Η πηγή φυσικά είναι η ίδια με το προηγούμενο μέρος. Τέλος συνδέουμε το channel 1 του παλμογράφου στα άκρα της τάσης εισόδου και το channel 2 στα άκρα της τάσης  $V_{R1}$ .

Έπειτα θα πρέπει να βρούμε την τιμή της συχνότητας συντονισμού του κυκλώματος αυτού, η σχέση που δίνει την συχνότητα συντονισμού για το κύκλωμα αυτό σύμφωνα με την θεωρία είναι η ίδια (σχέση 4):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{47 \cdot 10^{-9} \cdot 33 \cdot 10^{-3}}} = 4041\text{ Hz} \Rightarrow f_0 = \mathbf{4.041\text{ kHz}}$$

- **$R_1 = 1\text{ k}\Omega$**

Έχοντας συνδέσει την αντίσταση  $R_1$  με τιμή  $1\text{ k}\Omega$  και γνωρίζοντας την συχνότητα συντονισμού του κυκλώματος μπορούμε όπως προηγουμένως να δίνουμε τιμές συχνότητας κοντά στην συχνότητα συντονισμού στην πηγή και να καταγράφουμε της τιμές τάσης  $V_{R1}$  φάσης  $\theta$  και τάσης  $V_{LC}$ . Με την διαδικασία αυτή προέκυψε ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 3).

$\sim f_0 \rightarrow$	$\alpha/\alpha$	f (kHz)	VR1 (V)	$\theta$ (o)	VLC (V)
	1	0.2	0.77	3.94	0.0347
	2	0.6	0.705	8.25	0.07
	3	1	0.69	13.82	0.126
	4	1.6	0.67	18.47	0.197
	5	2.6	0.494	40.52	0.385
	6	3.3	0.33	45.83	0.52
	<b>7</b>	<b>4.08</b>	<b>0.156</b>	<b>-7.8</b>	<b>0.59</b>
	8	5.3	0.472	-48.5	0.48
	9	6.5	0.494	-38.5	0.366
	10	7.2	0.65	-34.2	0.316
	11	8.6	0.69	-25.6	0.246
	12	9.7	0.7	-23.1	0.213
	13	13.5	0.72	-15.6	0.144
	14	15.5	0.725	-12.3	0.124
15	18.9	0.73	-11.2	0.1	

Πίνακας 3

Επειδή όμως στις τιμές VLC παρουσιάζονται η ενεργές τιμές τάσης που μετρήθηκαν από το πολύμετρο για να βρούμε την μέγιστη τάση απλά πολλαπλασιάζουμε τις τιμές με  $\sqrt{2}$  συγκεκριμένα η τιμές που υπολογίστηκαν είναι οι παρακάτω (Πίνακας 3.1):

$\sim f_0 \rightarrow$	VLC (V) Ενεργός τιμή	Vmax
	0.0347	0.0491
	0.07	0.0990
	0.126	0.1782
	0.197	0.2786
	0.385	0.5445
	0.52	0.7354
	<b>0.59</b>	<b>0.8344</b>
	0.48	0.6788
	0.366	0.5176
	0.316	0.4469
	0.246	0.3479
	0.213	0.3012
	0.144	0.2036
	0.124	0.1754
	0.1	0.1414

Πίνακας 3.1

Εκ πρώτης όψεως παρατηρούμε ότι στην 7<sup>η</sup> γραμμή του πίνακα η οποία είναι για τιμή συχνότητας πολύ κοντά στην συχνότητα συντονισμού η τάση VR1 παίρνει την πιο μικρή τιμή της ενώ για μεγαλύτερες ή μικρότερες τιμές μεγαλώνει. Αυτό συμβαίνει καθώς όταν βρισκόμαστε σε συχνότητα συντονισμού, το κύκλωμα είναι σε κατάσταση αποσβεννύμενων ταλαντώσεων, και η τάση εξόδου είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στις μικρές αλλαγές στη συχνότητα. Σε αυτήν τη συχνότητα, η αντίδραση του πηνίου και η αντίδραση του πυκνωτή αναιρούν η μία την άλλη, ενώ η αντίσταση παρέχει την ελάχιστη αντίσταση στο κύκλωμα. Από τον νόμο του Ohm επειδή τάση και αντίσταση είναι ανάλογα μεγέθη για ελάχιστη αντίσταση έχουμε και ελάχιστη τάση.

Από την άλλη, η τάση V<sub>max</sub> παίρνει τη μέγιστη τιμή της στη συχνότητα συντονισμού, ενώ για τιμές συχνότητας μεγαλύτερες ή μικρότερες, η τιμή της μειώνεται. Αυτό συμβαίνει κυρίως, καθώς όπως ειπώθηκε προηγουμένως, το κύκλωμα είναι σε κατάσταση αποσβεννύμενων ταλαντώσεων, και η αντίσταση του κυκλώματος είναι ελάχιστη. Αυτό σημαίνει ότι μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας της ταλάντωσης μεταφέρεται στο RLC κύκλωμα. Καθώς η τάση RMS είναι αναλογική προς την τετραγωνική ρίζα της ενέργειας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η τάση RMS περνά στη μέγιστη τιμή της στη συχνότητα συντονισμού.

Τέλος για την φάση μεταξύ της τάσης εισόδου και της τάσης VR1 παρατηρούμε ότι, στην συχνότητα συντονισμού έχει την μικρότερη τιμή της κάτι που περιμέναμε, αλλά για τιμές συχνότητας μεγαλύτερες ή μικρότερες η τιμή της δεν ακόλουθη μια αναμενόμενη πορεία. Αυτό θα οφείλετε μάλλον στην συνδεσμολογία του κυκλώματος και πιθανότατα έχει να κάνει με την παράλληλη σύνδεση.

Και τα τρία διαγράμματα (VR1 – f), (θ – f) και (V<sub>max</sub>– f) μπορούν να αναπαρασταθούν σε ημιλογαριθμικά διαγράμματα. Τα διαγράμματα αυτά αποτυπώνονται στις εικόνες (Εικόνα 10), (Εικόνα 11) και (Εικόνα 12) αντίστοιχα, μαζί με τα πειραματικά δεδομένα της δεύτερης αντίστασης.

#### • $R_1 = 0.47 \text{ k}\Omega$

Ακολουθούμε ακριβώς την ίδια διαδικασία και για την αντίσταση 0.47 kΩ. Δηλαδή, το μόνο που πρέπει να κάνουμε είναι να αποσυνδέσουμε την αντίσταση 1 kΩ και να τοποθετήσουμε στη θέση της μια αντίσταση 0.47 kΩ. Εφόσον η συχνότητα συντονισμού του κυκλώματος δεν αλλάζει, δίνουμε πάλι παρόμοιες τιμές συχνότητας και καταγράφουμε τα ίδια μεγέθη (τάσης VR1, φάσης θ και τάσης VLC). Έτσι προκύπτει ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 4):

$\sim f_0 \rightarrow$	$\alpha/\alpha$	f (kHz)	VR1 (V)	$\theta$ (o)	VLC (V)
	1	0.1	0.48	5.36	0.054
	2	0.5	0.416	17.16	0.099
	3	1	0.358	34.57	0.183
	4	1.7	0.316	54.89	0.304
	5	2.5	0.23	78.29	0.47
	6	3.2	0.128	80.18	0.58
	<b>7</b>	<b>4.04</b>	<b>0.066</b>	<b>0.29</b>	<b>0.63</b>
	8	5.2	0.248	-55.4	0.58
	9	6.7	0.392	-52.4	0.47
	10	7.4	0.416	-44.5	0.43
	11	8.3	0.448	-36.5	0.378
	12	9.7	0.452	-21.9	0.322
	13	13.7	0.468	-9.6	0.222
14	15.5	0.176	32.06	0.196	



15	18.9	0.17	38.6	0.159
----	------	------	------	-------

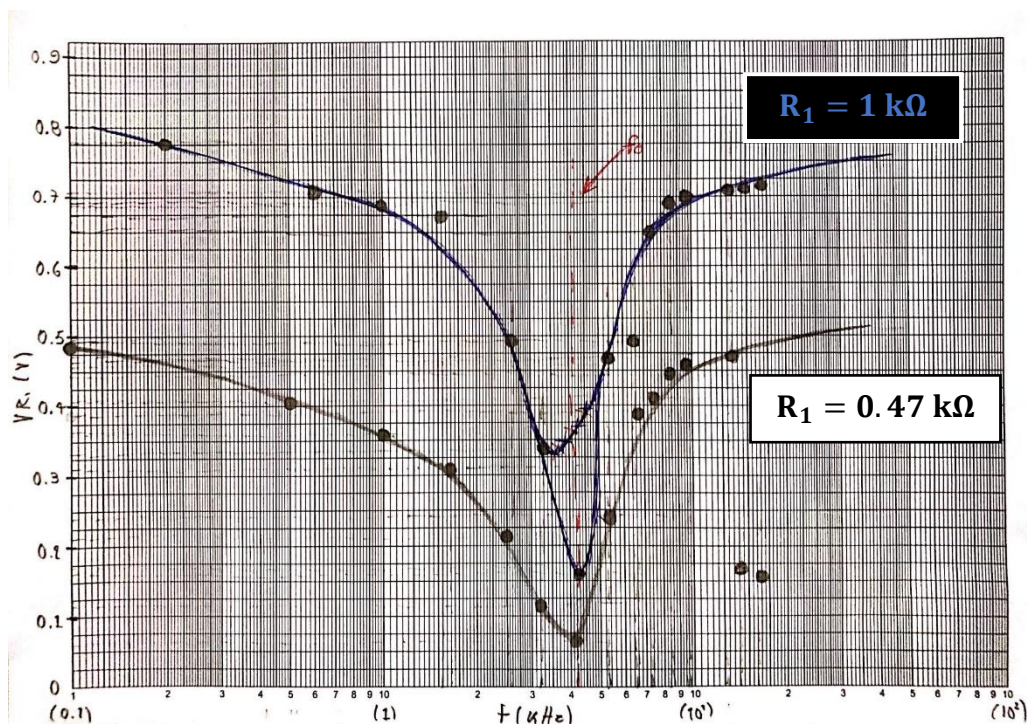
Πίνακας 4

Όπως ειπώθηκε επειδή στις τιμές VLC παρουσιάζονται η ενεργές τιμές τάσης που μετρήθηκαν από το πολύμετρο για να βρούμε την μέγιστη τάση απλά πολλαπλασιάζουμε της τιμές με  $\sqrt{2}$  συγκεκριμένα η τιμές που υπολογίστηκαν είναι οι παρακάτω (Πίνακας 4.1):

VLC (V)	Vmax
0.054	0.076
0.099	0.140
0.183	0.259
0.304	0.430
0.47	0.665
0.58	0.820
<b>0.63</b>	<b>0.891</b>
0.58	0.820
0.47	0.665
0.43	0.608
0.378	0.535
0.322	0.455
0.222	0.314
0.196	0.277
0.159	0.225

Πίνακας 4.1

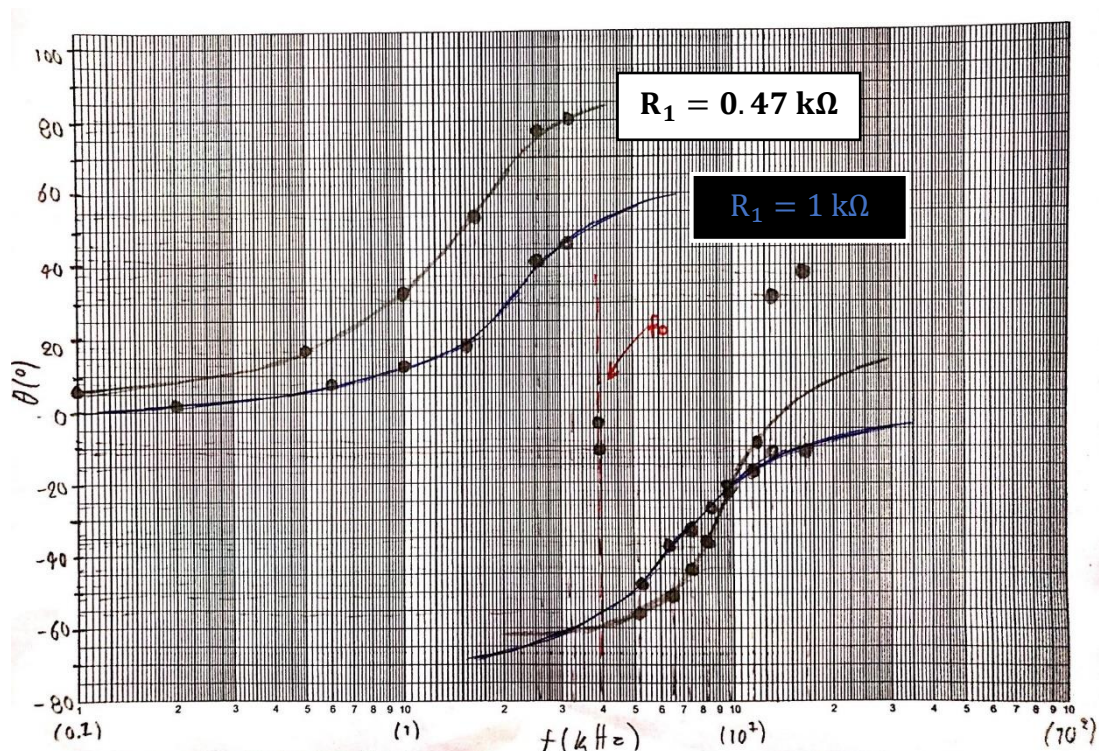
Το διάγραμμα τάσης VR1 συνάρτηση της συχνότητας και για της 2 τιμές αντίστασης είναι το παρακάτω (Εικόνα 10):



Εικόνα 10

Στο διάγραμμα αυτό παρατηρούμε την τάση να παίρνει την μικρότερη τιμή της στην συχνότητα συντονισμού ενώ για τιμές μεγαλύτερες ή μικρότερες η τιμή της μεγαλώνει κάτι που εξηγήθηκε παραπάνω γιατί συμβαίνει. Επίσης παρατηρούμε ότι όταν η  $R_1$  έχει τιμή  $1\text{ k}\Omega$  η καμπύλη είναι μεταπεισμένη προς τα πάνω, αυτό ισχύει καθώς συμφώνα με τον νόμο του Ohm για μεγάλες τιμές αντίστασης έχουμε και μεγάλες τιμές τάσης καθώς τα μεγέθη αυτά είναι ανάλογα.

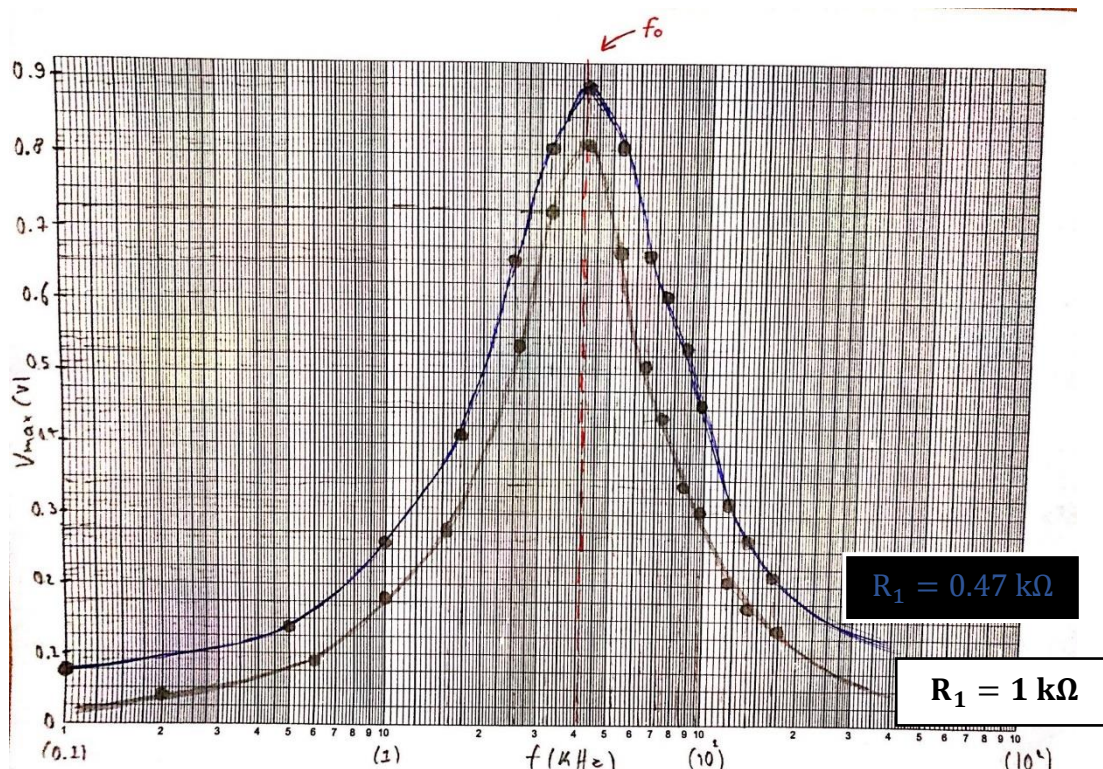
Το διάγραμμα φάσης  $\theta$  συνάρτηση της συχνότητας και για της 2 τιμές αντίστασης είναι το παρακάτω (Εικόνα 11):



Εικόνα 11

Τέλος το διάγραμμα τάσης  $V_{\max}$  συνάρτηση της συχνότητας και για της 2 τιμές αντίστασης είναι το παρακάτω (Εικόνα 12):





Εικόνα 12

Για ποιον λόγο η τάση παίρνει την μέγιστη τιμή της στην συχνότητα συντονισμού εξηγήθηκε παραπάνω, αυτό που επιπλέον παρατηρούμε στο παραπάνω διάγραμμα είναι ότι για μικρή τιμή αντίστασης οι τιμές τάσης είναι μεγαλύτερες. Πιθανότατα αυτό έχει να κάνει με την συνδεσμολογία, δηλαδή την παράλληλη σύνδεση RLC και την επίδραση των στοιχείων αυτών με την αντίσταση  $R_1$ .

### Συμπερασματικά:

Συμπερασματικά στην πορεία της εργασίας μας, επικεντρωθήκαμε στη λεπτομερή ανάλυση δύο σημαντικών κυκλωμάτων RLC, αρχικά σε σειρά και στη συνέχεια παράλληλα. Συγκεκριμένα, με την παρατήρηση πώς οι αντιστάσεις, οι πυκνωτές και οι πηνία αλληλοεπιδρούν σε αυτά τα δύο διαφορετικά σχήματα σύνδεσης και με τη συλλογή πειραματικών δεδομένων, επιβεβαιώσαμε τις θεωρητικές μας υποθέσεις, παρατηρώντας τη συμφωνία των πειραματικών αποτελεσμάτων με τις προβλέψεις μας. Η εργασία αυτή ενισχύει την κατανόησή μας για τον τρόπο που οι παράμετροι  $R$ ,  $L$  και  $C$  επηρεάζουν τη συμπεριφορά του κυκλώματος, ενισχύοντας παράλληλα τη συνολική μας κατανόηση σχετικά με τη δυναμική των ηλεκτρικών κυκλωμάτων.