**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ**

**(ΠΡΩΗΝ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.)**

**ΜΑΘΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΙΙ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ**

****

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 5: ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ RL & RC ΣΕΙΡΑΣ -**

 **ΜΙΓΑΔΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ Ε.Ρ. (2)**

Σκοπος:

1. Η μελέτη του κυκλώματος RL σειράς με εφαρμογή της μιγαδικής μεθόδου.
2. Η μελέτη του κυκλώματος RC σειράς με εφαρμογή της μιγαδικής μεθόδου.
3. Η χρήση των μιγαδικών αριθμών στη μελέτη των ηλεκτρικών κυκλωμάτων και η εφαρμογή τους στα απλά κυκλώματα RL και RC σειράς (2ο μέρος)

ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΕΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΔΟΥΛΓΕΡΗΣ

 ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΑΡΑΝΙΚΑΣ

ΛΑΡΙΣΑ 2019

**ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ RL & RC ΣΕΙΡΑΣ ΣΤΟ Ε.Ρ. ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

**ΜΕΡΟΣ Α: ΜΕΛΕΤΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ RL & RC ΣΕΙΡΑΣ ΣΤΟ Ε.Ρ.**

1. **Μιγαδική παράσταση πηνίου και πυκνωτή**

 Σε ένα γραμμικό, χρονικά σταθερό κύκλωμα, που βρίσκεται στη μόνιμη ημιτονοειδή κατάσταση (ΜΗΚ) εξετάζεται ένα στοιχείο, που εμφανίζει τάση v(t) στα άκρα του και διαρρέεται από ρεύμα i(t). Τότε ισχύει:



 Αν το εξεταζόμενο αυτό στοιχείο είναι **πηνίο** με συντελεστή αυτεπαγωγής **L**,τότε ισχύει:



 δηλαδή , το πλάτος της τάσης και του ρεύματος συνδέονται με το νόμο του Ohm, όπου **XL=ωL**, ενώ η φάση της τάσης προηγείται από τη φάση του ρεύματος κατά 90ο , όπως φαίνεται στο σχήμα 1.



**Σχήμα 1** : Αναπαράσταση τάσης και ρεύματος στα άκρα ενός πηνίου L στο μιγαδικό επίπεδο (πεδίο της συχνότητας) και στο πεδίο του χρόνου.

 Αν το εξεταζόμενο αυτό στοιχείο είναι **πυκνωτής** με χωρητικότητα **C**,τότε ισχύει:



 δηλαδή , το πλάτος της τάσης και του ρεύματος συνδέονται με το νόμο του Ohm, όπου **XC=1/ωC**, ενώ η φάση του ρεύματος προηγείται από τη φάση της τάσης κατά 90ο , όπως φαίνεται στο σχήμα 2.



**Σχήμα 2** : Αναπαράσταση τάσης και ρεύματος στα άκρα ενός πυκνωτή C στο μιγαδικό επίπεδο (πεδίο της συχνότητας) και στο πεδίο του χρόνου.

1. **Σύνθετη αντίσταση και σύνθετη αγωγιμότητα**

Η σύνθετη αντίσταση και η σύνθετη αγωγιμότητα ορίζονται ως εξής:



Για το μέτρο και τη φάση της σύνθετης αντίστασης ισχύει:



Η σύνθετη αντίσταση και η σύνθετη αγωγιμότητα είναι γενικά μιγαδικής μορφής:

 



 Για ένα κλάδο ενός κυκλώματος, που αποτελείται από συνδυασμό αντιστάσεων, πηνίων και πυκνωτών, η **σύνθετη αντίσταση** δεν είναι **ούτε καθαρά ωμική**, **ούτε καθαρά φανταστική**, αλλά έχει μιγαδική μορφή. Στην περίπτωση αυτή, η θέση των παραστατικών μιγάδων τάσης και ρεύματος ενός κλάδου και η χρονική τους εξέλιξη φαίνονται γενικά στο σχήμα 3.



**Σχήμα 3** : Αναπαράσταση τάσης και ρεύματος στα άκρα μιας σύνθετης αντίστασης Ζ στο μιγαδικό επίπεδο (πεδίο της συχνότητας) και στο πεδίο του χρόνου.

1. **Συνδεσμολογίες σύνθετων αντιστάσεων σε σειρά και παράλληλα**

****

****

1. **Νόμοι τάσεων και ρευμάτων του Kirchhoff και μέθοδοι επίλυσης ηλεκτρικών κυκλωμάτων**

 Οι νόμοι τάσεων και ρευμάτων του Kirchhoff ισχύουν στη ΜΗΚ για τους παραστατικούς μιγάδες:

****

Παρόμοια εφαρμόζονται όλες οι μέθοδοι επίλυσης ηλεκτρικών κυκλωμάτων (μέθοδος βρόγχων, μέθοδος κόμβων, συμμετρικά κυκλώματα κλπ.), αλλά και τα γνωστά θεωρήματα των ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

1. **Σύνοψη εφαρμογής της μιγαδικής μεθόδου στην επίλυση ηλεκτρικών κυκλωμάτων**

α. Στη **Μόνιμη Ημιτονοειδή Κατάσταση** η παράσταση των ηλεκτρικών ποσοτήτων με παραστατικούς μιγάδες επιτρέπει τη χρήση όλων των γνωστών νόμων των ηλεκτρικών κυκλωμάτων (Ohm, Kirchhoff κλπ.) με την ίδια ακριβώς μορφή που ισχύουν για τα συνεχή ρεύματα.

β. Η αντίσταση είναι επίσης γενικά μιγαδικός αριθμός, όπως προκύπτει από τη σχέση **Z = V / I**. Σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται **σύνθετη αντίσταση** (impedance) και έχει τη μορφή **Z** = **R** + j**X**. Η ποσότητα **R** ονομάζεται *ωμικό μέρος* (resistance), ενώ η ποσότητα **X** ονομάζεται *αντίδραση* (reactance).

γ. Η αγωγιμότητα είναι επίσης γενικά μιγαδικός αριθμός, όπως προκύπτει από τη σχέση **Y = 1 / Z**. Σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται **σύνθετη αγωγιμότητα** (admittance) και έχει τη μορφή **Y** = **G** + j**B**. Η ποσότητα **G** ονομάζεται *ωμικό μέρος* (conductance), ενώ η ποσότητα **B** ονομάζεται *δεκτικότητα* (susceptance).

δ. Για την **καθαρή ωμική αντίσταση** η σύνθετη αντίσταση ΖR = R, φ = 0° (διαφορά φάσης τάσης-ρεύματος στα άκρα της) και μπορεί να θεωρηθεί, ότι η μελέτη του κυκλώματος γίνεται σε αρχική φάση φ = θ. Για τον **Ιδανικό Πυκνωτή** η σύνθετη αντίσταση **ZC** = jXC = 1 / jωC, φ = -90° (προπορεία ρεύματος σε σχέση με την τάση). Η ποσότητα XC είναι αρνητική και λέγεται **χωρητική αντίδραση**. Για το **Ιδανικό πηνίο** η σύνθετη αντίσταση **ZL** = jXL = jωL, φ = 90° (προπορεία τάσης σε σχέση με το ρεύμα). Η ποσότητα XL είναι θετική και λέγεται **επαγωγική αντίδραση**. Συνοπτικά:



ε. Κατά την έκφραση των τάσεων και των ρευμάτων με παραστατικούς μιγάδες είναι δυνατή η χρήση, όχι του πλάτους, αλλά των **ενεργών τιμών**, δηλ. **V** = Vεν ejφ. Αν αυτό ακολουθείται για όλα τα μεγέθη με συνέπεια, σε όλη τη μελέτη του κυκλώματος, η ανάλυση που προκύπτει είναι σωστή.

1. **Εφαρμογή της μιγαδικής μεθόδου σε κύκλωμα RL σειράς**

Έστω το εναλλασσόμενο ρεύμα  που διαρρέει το παρακάτω κύκλωμα RL σε σειρά:



Θα εργαστούμε με τις ενεργές τιμές τάσεων και εντάσεων. Η τάση στην αντίσταση είναι: , ενώ η τάση στο πηνίο είναι: . Το διανυσματικό διάγραμμα των τάσεων εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Η τάση  στην αντίσταση έχει την ίδια φάση με το ρεύμα. Η τάση  στο πηνίο προηγείται κατά 90ο του ρεύματος. Η ενεργός τιμή  της ολικής εφαρμοζόμενης τάσης είναι: 



Η **διαφορά φάσης** του κυκλώματος RL σε σειρά είναι **φ** και βρίσκεται από τα μήκη των  και :

Για τη διαφορά φάσης σε κύκλωμα RL σε σειρά ισχύουν οι σχέσεις:  

1. **Εφαρμογή της μιγαδικής μεθόδου σε κύκλωμα RC σειράς**

Έστω η εναλλασσόμενη τάση  που εφαρμόζεται στο παρακάτω κύκλωμα RC σε σειρά:



Θα εργαστούμε πάλι με τις ενεργές τιμές τάσεων και εντάσεων. Η τάση στην αντίσταση είναι: , ενώ η τάση στον πυκνωτή είναι: . Το διανυσματικό διάγραμμα των τάσεων εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Η τάση  στην αντίσταση έχει την ίδια φάση με το ρεύμα. Η τάση  στον πυκνωτή υστερεί κατά 90ο του ρεύματος. Η ενεργός τιμή  της ολικής εφαρμοζόμενης τάσης είναι:



Η **διαφορά φάσης** του κυκλώματος RC σε σειρά είναι **φ** και βρίσκεται από τα μήκη των  και :

Για τη διαφορά φάσης σε κύκλωμα RC σε σειρά ισχύουν οι σχέσεις:  

1. **Mέτρηση της διαφοράς φάσης μεταξύ δύο ημιτονικών σημάτων**

 Η διαφορά φάσης φ μεταξύ δυο ημιτονικών τάσεων 𝑉1(𝑡) και 𝑉2(𝑡), που έχουν την ίδια συχνότητα, δηλαδή η χρονική καθυστέρηση της μιας ως προς την άλλη, μπορεί να μετρηθεί με τη βοήθεια ενός παλμογράφου με έναν από τους παρακάτω **δυο τρόπους**. Υπενθυμίζεται ότι με τον παλμογράφο **δεν μπορούμε** **να μετρήσουμε άμεσα** **ρεύματα.** Έτσι μετράμε την πτώση τάσης στα άκρα μιας γνωστής αντίστασης, που είναι γραμμικό εξάρτημα και με τον νόμο του Ohm στη συνέχεια υπολογίζουμε το ρεύμα, που είναι **συμφασικό** με την τάση της αντίστασης.

**Απεικόνιση σε άξονες Υ-t:** Τα δύο σήματα 𝑉1(𝑡) και 𝑉2(𝑡) απεικονίζονται ταυτόχρονα στην οθόνη του παλμογράφου, όπως φαίνεται στο σχήμα 4 (α). Ως πηγή διέγερσης λαμβάνεται το σήμα που προηγείται σε σχέση με το άλλο. Η διαφορά φάσης φ σε μοίρες υπολογίζεται από τη σχέση: 

όπου 𝛥𝛵 είναι η διαφορά χρόνου μεταξύ των δύο κορυφών και 𝛵 η περίοδος, που είναι ίδια και για τα δυο σήματα, αφού έχουν την ίδια κυκλική συχνότητα 𝜔.



**Απεικόνιση σε άξονες Χ-Υ (καμπύλες Lissajous):** Και πάλι τα δύο σήματα απεικονίζονται ταυτόχρονα, αλλά απαλείφεται ο χρόνος μεταξύ τους, ώστε να προκύψει μια σχέση 𝑉1 συναρτήσει του 𝑉2 , δηλαδή ο παλμογράφος σε αυτή τη λειτουργία αναπαριστάνει τάση σαν συνάρτηση τάσης, όπως φαίνεται στο σχήμα

4 (β). Το σχήμα που προκύπτει είναι μια **έλλειψη**. Η έλλειψη παίρνει διάφορες κλίσεις ανάλογα με την τιμή της διαφοράς φάσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 5. Η διαφορά φάσης σε μοίρες σ’αυτήν την περίπτωση υπολογίζεται από τη σχέση: φο= τοξημ(b/a).

όπου το **𝑎** είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του υψηλότερου και του χαμηλότερου σημείου της έλλειψης, ενώ **𝑏** είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των δυο σημείων της τομής της έλλειψης με τον άξονα 𝑦 (είναι σημαντικό να υπάρχει απόλυτη **συμμετρία** της καμπύλης Lissajous, ως προς το κέντρο της οθόνης του παλμογράφου).



**ΜΕΡΟΣ Β: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ 5**

**Β1:ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ RL ΣΕΙΡΑΣ ΣΤΟ Ε.Ρ.**

1. Σχηματίστε τη συνδεσμολογία του παρακάτω σχήματος στην πλακέτα του εργαστηρίου. Χρησιμοποιείστε πηνίο με L=5,7 mH (n=500 σπείρες) και αντίσταση R=220 Ω σε σειρά με μια γεννήτρια συχνοτήτων μεταβλητής τάσης και συχνότητας.

****

1. Συνδέστε το probe του CH I στα άκρα της γεννήτριας συχνοτήτων και το probe του CH IΙ στα άκρα της αντίστασης R, όπως φαίνεται στο σχήμα, συνδέοντας τα χαμηλότερα δυναμικά των probes (κροκοδειλάκια) στα κατάλληλα σημεία του κυκλώματος με τη γείωση της γεννήτριας συχνοτήτων.
2. Ρυθμίστε τις ευαισθησίες των CH I και CH II ως εξής: ΕV=1V/DIV και ET=20μs/DIV.
3. Ρυθμίστε τη γεννήτρια συχνοτήτων στα 5 Vp-p/ 7 KHz υπό φορτίο με τη βοήθεια του παλμογράφου. Η συχνότητα f της γεννήτριας συχνοτήτων θα ελέγχεται πάντοτε από τον παλμογράφο. Αν τα σήματα δεν σταθεροποιούνται στην οθόνη του παλμογράφου ρυθμίστε το triggering (σκανδαλισμό) με τη διαδικασία: TRIG MENU – TYPE – (F1) SINGLE.

 Στην οθόνη του παλμογράφου φαίνονται τώρα: η τάση της πηγής **Vολ** (γεννήτρια συχνοτήτων) και η τάση στα άκρα της αντίστασης **VR**. Υπενθυμίζεται ότι με τον παλμογράφο δεν μπορούμε να μετρήσουμε άμεσα ρεύματα.Έτσι μετράμε την πτώση τάσης στα άκρα της γνωστής αντίστασης R=220 Ω και με τον νόμο του Ohm στη συνέχεια υπολογίζουμε το ρεύμα, που είναι **συμφασικό** με την τάση της αντίστασης.

 **Σκοπός μας είναι να μελετήσουμε το επαγωγικό κύκλωμα RL σειράς, δηλαδή να μετρήσουμε ή να υπολογίσουμε τα βασικά ηλεκτρικά μεγέθη του κυκλώματος, όπως: Vολ, VR, VL, Iολ, ΧL, Zολ, και φ. Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε τα σχετικά σφάλματα μερικών μετρήσεων και θα επαληθεύσουμε τον νόμο τάσεων του Kirchhoff στο κύκλωμα. Τέλος θα σχεδιάσουμε το διάγραμμα των φασικών διανυσμάτων για το κύκλωμα αυτό ως εφαρμογή της μιγαδικής μεθόδου.**

1. Αποτυπώστε με ακρίβεια σε μιλλιμετρέ χαρτί τις δύο κυματομορφές **Vολ, VR**, που φαίνονται στην οθόνη του παλμογράφου, με κλίμακα 1:1 και χαράξτε την καμπύλη ρεύματος **Iολ** με τη χρήση της βοηθητικής αντίστασης R=220 Ω (*Ι=VR/R*), διαλέγοντας κατάλληλη κλίμακα χάραξης. Υπολογίστε μόνον τις τιμές των κορυφών της καμπύλης ρεύματος **Iολ.**
2. Επιβεβαιώστε ότι η κυματομορφή του ρεύματος Ιολ έπεται της κυματομορφής της τάσης Vολ. Χαρακτηρίστε το κύκλωμα ως επαγωγικό ή χωρητικό αναφέροντας το κριτήριό σας.
3. Μετρήστε τη διαφορά φάσης από την οθόνη του παλμογράφου παρατηρώντας τις δύο κυματομορφές **Vολ, VR**, με τη **μέθοδο απεικόνισης σε άξονες Υ-t:** () και στη συνέχεια με τη **μέθοδο απεικόνισης σε άξονες Χ-Υ (καμπύλες Lissajous):** (φο= τοξημ(b/a). Για να εμφανιστούν οι καμπύλες Lissajous ενεργοποιείστε τη λειτουργία: DISPLAY-FORMAT(F3)-**XY**.
4. Υπολογίστε τη θεωρητική τιμή της διαφοράς φάσης () και το σχετικό σφάλμα των μετρήσεών σας με τις **μεθόδους απεικόνισης σε άξονες Υ-t** και **σε άξονες Χ-Υ** **(Lissajous)**.
5. Υπολογίστε τις ενεργές τιμές των δύο κυματομορφών τάσης **Vολ, VR** και μετρήστε την ενεργό τιμή της τάσης του πηνίου **VL** με τη βοήθεια βολτομέτρου εναλλασσομένου ρεύματος. Επιβεβαιώστε αν ισχύει ο νόμος τάσεων του Kirchhoff από τη σχέση .
6. Υπολογίστε την επαγωγική αντίσταση **XL** (XL=ωL), την ενεργό τιμή του ρεύματος **Ιολ** ,την ολική σύνθετη εμπέδηση **Z=R+jXL** και το σχετικό σφάλμα της μέτρησης. Υπενθυμίζεται ότι η θεωρητική τιμή της Ζ είναι: και η μετρούμενη τιμή της Ζ είναι:. Πώς μεταβάλλεται η επαγωγική αντίσταση XL, με τη μεταβολή της συχνότητας f και τι είδους καμπύλη είναι η συνάρτηση XL=F(f);
7. Σχεδιάστε στο μιλλιμετρέ χαρτί τα μεγέθη: **Iολ , Vολ, VR, VL, R, ΧL, Zολ και φ** στο **μιγαδικό επίπεδο στο πεδίο της συχνότητας**, αφού ορίσετε κατάλληλες δικές σας κλίμακες. Για τα μεγέθη τάσης και ρεύματος χρησιμοποιείστε τις ενεργές τιμές των μεγεθών. Χρησιμοποιείστε για τη σχεδίαση ως αναφορά το διάνυσμα του ρεύματος **Iολ** , το οποίο σχεδιάστε στον οριζόντιο άξονα.



1. Απενεργοποιείστε τη γεννήτρια συχνοτήτων και τον παλμογράφο.

**Β2:ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ RC ΣΕΙΡΑΣ ΣΤΟ Ε.Ρ.**

1. Σχηματίστε τη συνδεσμολογία του παρακάτω σχήματος στην πλακέτα του εργαστηρίου. Χρησιμοποιείστε πυκνωτή με C=47 nF και αντίσταση R=220 Ω σε σειρά με μια γεννήτρια συχνοτήτων μεταβλητής τάσης και συχνότητας.

****

1. Συνδέστε το probe του CH I στα άκρα της γεννήτριας συχνοτήτων και το probe του CH IΙ στα άκρα της αντίστασης R, όπως φαίνεται στο σχήμα, συνδέοντας τα χαμηλότερα δυναμικά των probes (κροκοδειλάκια) στα κατάλληλα σημεία του κυκλώματος με τη γείωση της γεννήτριας συχνοτήτων.
2. Ρυθμίστε τις ευαισθησίες των CH I και CH II ως εξής: ΕV=1V/DIV και ET=20μs/DIV.
3. Ρυθμίστε τη γεννήτρια συχνοτήτων στα 7,5 Vp-p/ 7 KHz υπό φορτίο με τη βοήθεια του παλμογράφου. Η συχνότητα f της γεννήτριας συχνοτήτων θα ελέγχεται πάντοτε από τον παλμογράφο. Αν τα σήματα δεν σταθεροποιούνται στην οθόνη του παλμογράφου ρυθμίστε το triggering (σκανδαλισμό) με τη διαδικασία: TRIG MENU – TYPE – (F1) SINGLE.

 Στην οθόνη του παλμογράφου φαίνονται τώρα: η τάση της πηγής **Vολ** (γεννήτρια συχνοτήτων) και η τάση στα άκρα της αντίστασης **VR**. Υπενθυμίζεται ότι με τον παλμογράφο δεν μπορούμε να μετρήσουμε άμεσα ρεύματα.Έτσι μετράμε την πτώση τάσης στα άκρα της γνωστής αντίστασης R=220 Ω και με τον νόμο του Ohm στη συνέχεια υπολογίζουμε το ρεύμα, που είναι **συμφασικό** με την τάση της αντίστασης.

 **Σκοπός μας είναι να μελετήσουμε το χωρητικό κύκλωμα RC σειράς, δηλαδή να μετρήσουμε ή να υπολογίσουμε τα βασικά ηλεκτρικά μεγέθη του κυκλώματος, όπως: Vολ, VR, VC, Iολ, ΧC, Zολ, και φ. Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε τα σχετικά σφάλματα μερικών μετρήσεων και θα επαληθεύσουμε τον νόμο τάσεων του Kirchhoff στο κύκλωμα. Τέλος θα σχεδιάσουμε το διάγραμμα των φασικών διανυσμάτων για το κύκλωμα αυτό ως εφαρμογή της μιγαδικής μεθόδου.**

1. Αποτυπώστε με ακρίβεια σε μιλλιμετρέ χαρτί τις δύο κυματομορφές **Vολ, VR**, που φαίνονται στην οθόνη του παλμογράφου, με κλίμακα 1:1 και χαράξτε την καμπύλη ρεύματος **Iολ** με τη χρήση της βοηθητικής αντίστασης R=220 Ω (*Ι=VR/R*), διαλέγοντας κατάλληλη κλίμακα χάραξης. Υπολογίστε μόνον τις τιμές των κορυφών της καμπύλης ρεύματος **Iολ.**
2. Επιβεβαιώστε ότι η κυματομορφή του ρεύματος Ιολ έπεται της κυματομορφής της τάσης Vολ. Χαρακτηρίστε το κύκλωμα ως επαγωγικό ή χωρητικό αναφέροντας το κριτήριό σας.
3. Μετρήστε τη διαφορά φάσης από την οθόνη του παλμογράφου παρατηρώντας τις δύο κυματομορφές **Vολ, VR**, με τη **μέθοδο απεικόνισης σε άξονες Υ-t:** () και στη συνέχεια με τη **μέθοδο απεικόνισης σε άξονες Χ-Υ (καμπύλες Lissajous):** (φο= τοξημ(b/a). Για να εμφανιστούν οι καμπύλες Lissajous ενεργοποιείστε τη λειτουργία: DISPLAY-FORMAT(F3)-**XY**.
4. Υπολογίστε τη θεωρητική τιμή της διαφοράς φάσης () και το σχετικό σφάλμα των μετρήσεών σας με τις **μεθόδους απεικόνισης σε άξονες Υ-t** και **σε άξονες Χ-Υ** **(Lissajous)**.
5. Υπολογίστε τις ενεργές τιμές των δύο κυματομορφών τάσης **Vολ, VR** και μετρήστε την ενεργό τιμή της τάσης του πυκνωτή **VC** με τη βοήθεια βολτομέτρου εναλλασσομένου ρεύματος. Επιβεβαιώστε αν ισχύει ο νόμος τάσεων του Kirchhoff από τη σχέση .
6. Υπολογίστε την επαγωγική αντίσταση **XC** (XC=1/ωC), την ενεργό τιμή του ρεύματος **Ιολ** ,την ολική σύνθετη εμπέδηση **Z=R-jXC** και το σχετικό σφάλμα της μέτρησης. Η θεωρητική τιμή της Ζ είναι: **και η μετρούμενη τιμή της Ζ είναι:. Πώς μεταβάλλεται η χωρητική αντίσταση XC, με τη μεταβολή της συχνότητας f και τι είδους καμπύλη είναι η συνάρτηση XC=F(f);
7. Σχεδιάστε στο μιλλιμετρέ χαρτί τα μεγέθη: **Iολ , Vολ, VR, VC, R, ΧC, Zολ και φ** στο **μιγαδικό επίπεδο στο πεδίο της συχνότητας**, αφού ορίσετε κατάλληλες δικές σας κλίμακες. Για τα μεγέθη τάσης και ρεύματος χρησιμοποιείστε τις ενεργές τιμές των μεγεθών. Χρησιμοποιείστε για τη σχεδίαση ως αναφορά το διάνυσμα του ρεύματος **Iολ** , το οποίο σχεδιάστε στον οριζόντιο άξονα.



1. Απενεργοποιείστε τη γεννήτρια συχνοτήτων και τον παλμογράφο.