



Πανεπιστήμιο Κύπρου
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών

Εργαστήριο Κυκλωμάτων και Μετρήσεων

Εργαστήριο 7
Εκθετικά κύματα και Σύνθετη Αντίσταση

Λευκωσία, 2010

Εργαστήριο 7

Εκθετικά κύματα και Σύνθετη Αντίσταση

Σκοπός:

Σκοπός του εργαστηρίου αυτού είναι

- Να μελετηθεί η βηματική απόκριση (step response) κυκλωμάτων με δυναμικά στοιχεία καθώς και η σταθερά χρόνου.
- Να μετρηθεί η τιμή πυκνωτών σε σειρά και παράλληλα
- Να εξεταστεί η σύνθετη αντίσταση σε συνάρτηση με τη συχνότητα.

Εργαστηριακός Εξοπλισμός

- Παλμογράφος (Oscilloscope)
- Γεννήτρια Συναρτήσεων (Function Generator)
- Μετρητής LCR (μοιράζεται μεταξύ 5 ομάδων)
- Πολύμετρο (DMM Multimeter)
- Πηγή Τάσης (Power Supply)
- Πλακέτα Κατασκευής Κυκλωμάτων (Breadboard)
- Σετ καλωδίων
- Αντιστάσεις: 1x1 k Ω
- Πυκνωτές: 2x1 μ F
- Πηνία: 1x 1 mH

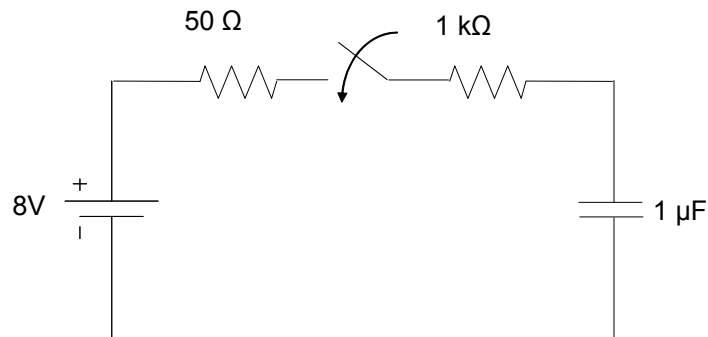
Προπαρασκευαστική Μελέτη

Πριν την παρακολούθηση του εργαστηρίου απαιτείται η μελέτη των

- Εργαστήριο 7 - Εκθετικά κύματα και κυκλώματα RLC
- Μελετήστε το μέρος “Κυκλώματα RL και RC” του μαθήματος HMY102.
- Διαβάστε το μέρος “Σταθερή Κατάσταση Ημιτονοειδών Σημάτων” του μαθήματος HMY102.

Πρόβλημα 7.1

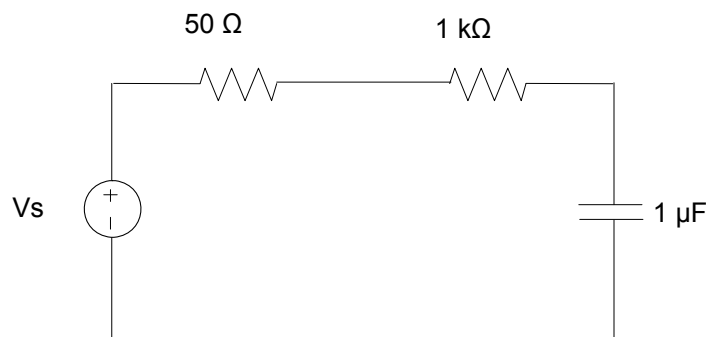
Υλοποιήστε το κύκλωμα του σχήματος P1 σε SPICE και υποθέστε ότι ο διακόπτης κλείνει σε χρόνο 0 και ο πυκνωτής αρχικά είναι εντελώς αποφορτισμένος. Χρησιμοποιήστε το SPICE για να δείτε την τάση του πυκνωτή από χρόνο 0 ως χρόνο 3 Tc



Σχήμα P1

Πρόβλημα 7.2

Υλοποιήστε το κύκλωμα του σχήματος P2 σε SPICE και υποθέστε ότι αρχικά το πυκνωτής είναι εντελώς αποφορτισμένος. Vs είναι μια πηγή που παράγει ένα τετραγωνικό κύμα με μια κορυφή-σε-κορυφή (peak-to peak) τάση 8 V, κανένα DC offset ($V_{avg} = 0$ V), και μια περίοδο $T_0 = 20T_C$. Χρησιμοποιήστε το SPICE για να δείτε την τάση του πυκνωτή για δύο περιόδους της πηγής.



Σχήμα P2

Πρόβλημα 7.3

Υλοποιήστε το κύκλωμα του σχήματος P2 σε SPICE με Vs να είναι μια ημιτονοειδής πηγή. Για συχνότητες πηγής από 10 Hz ως 100 kHz, σε λογαριθμική κλίμακα, δημιουργήστε τη γραφική παράσταση της σύνθετης αντίστασης $|Z|$ του πυκνωτή.

Θεωρία

Εκθετικά Κυκλώματα

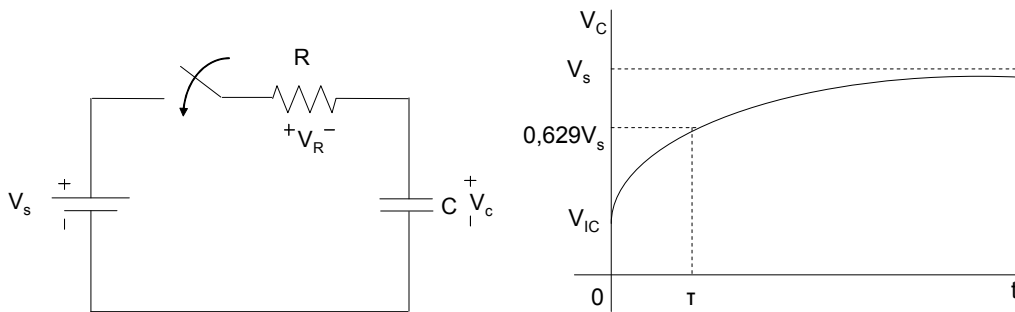
Τα φαινόμενα που παρατηρούνται στα εκθετικά κυκλώματα RC είναι πολύ σημαντικά για τα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Σε μερικά κυκλώματα βρίσκονται εκεί εσκεμμένα, λόγω του σχεδιασμού του συγκεκριμένου κυκλώματος, σε άλλα όμως βρίσκονται εκεί λόγω της παρασιτικής αντίστασης και χωρητικότητας μεταξύ των διαφόρων στοιχείων. Τα φαινόμενα αυτά είναι μάλιστα ένας από τους κύριους παράγοντες που περιορίζουν τη ταχύτητα των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Στο κύκλωμα του σχήματος 1, ο πυκνωτής είναι αρχικά φορτισμένος σε τάση V_{IC} . Όταν ο διακόπτης κλείσει (σε χρόνο $t=0$) τότε ρεύμα διαπερνά το κύκλωμα ($I = V_R/R$) και εναποθέτει φορτίο στο πυκνωτή, σταδιακά ανεβάζοντας της τάση του σε V_s ενώ ταυτόχρονα το ρεύμα μειώνεται με εκθετικό ρυθμό. Η τάση του πυκνωτή ακολουθεί την εξίσωση

$$V_C(t) = (V_{IC} - V_s)e^{-t/T_c} + V_s$$

όπου

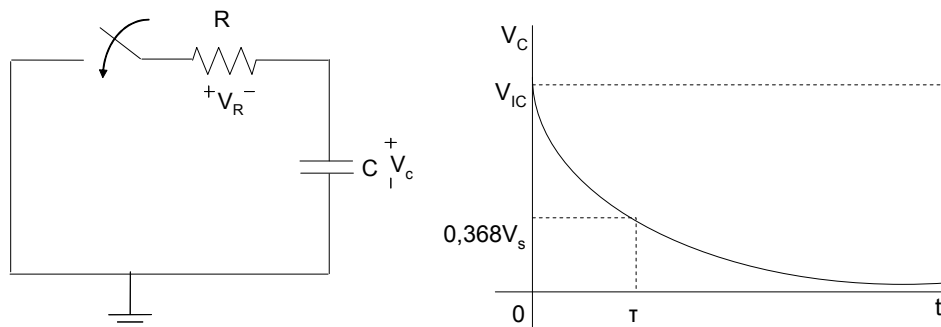
$$T_c = RC$$



Σχήμα 1

Στο σχήμα 2, ο πυκνωτής βρίσκεται αρχικά φορτισμένος σε τάση V_{IC} και ο διακόπτης κλείνει (σε χρόνο $t=0$) ενώνοντας το κύκλωμα με τη γείωση. Ρεύμα αρχίζει να ρέει, λόγω της τάσης του πυκνωτή, με αποτέλεσμα η τάση του πυκνωτή να μειώνεται ενώ μειώνεται ταυτόχρονα και το ρεύμα, με εκθετικό ρυθμό, ακολουθώντας την εξίσωση

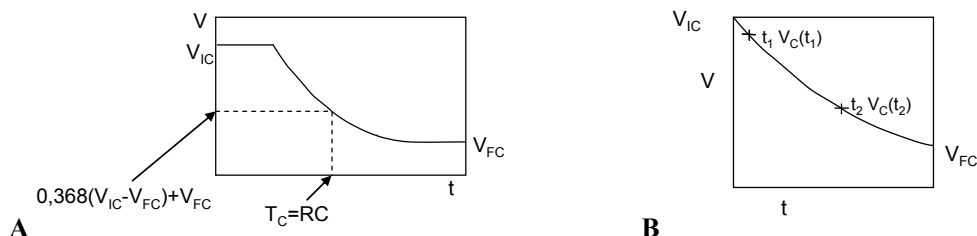
$$V_C(t) = V_{IC}e^{-t/T_c}$$



Σχήμα 2

Δύο διαφορετικές μέθοδοι δίδονται για τον υπολογισμό της σταθεράς χρόνου ενός κυκλώματος.

Μέθοδος 1 Υπολογίστε $0.368(V_{IC} - V_{FC}) + V_{FC}$. Στην περίπτωση όπου χρησιμοποιείται μια πηγή για τη φόρτιση και αποφόρτιση του πυκνωτή, η τιμή $(V_{IC} - V_{FC})$ είναι η peak-to-peak τάση της πηγής, V_S . Αν, για παράδειγμα, $V_S=8V$ pp, το αποτέλεσμα, $0.368(8 V) = 2.94 V$ είναι ίσο με περίπου 3 υποδιαίρεσεις (divisions) από κάτω προς τα πάνω στην οθόνη (δείτε σχήμα 3Α). Όταν το εκθετικό σήμα αποκτήσει το 36.8% της διαφοράς μεταξύ της αρχικής τάσης και της τελικής τάσης, τότε η χρονική διάρκεια είναι μια σταθερά χρόνου. Μετρήστε αυτό το χρόνο T_C .



Σχήμα 3

Μέθοδος 2 Η εξίσωση 1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βρεθεί η σταθερά χρόνου T_C μετρώντας την τάση $V_C(t)$ σε δύο χρονικές στιγμές όπως φαίνεται στο σχήμα 3B. Μεταφέροντας τον τελευταίο όρο της εξίσωσης 1 αριστερά από το ίσον και διαιρώντας τις δύο εξισώσεις έχουμε:

$$\frac{V_C(t_1) - V_{FC}}{V_C(t_2) - V_{FC}} = \frac{(V_{IC} - V_{FC})e^{-t_1/T_C}}{(V_{IC} - V_{FC})e^{-t_2/T_C}} = e^{(t_2 - t_1)/T_C}$$

Παίρνοντας το φυσικό λογάριθμο μπορούμε να λύσουμε ως προς τη σταθερά χρόνου T_C :

$$T_C = \frac{t_2 - t_1}{\ln\left(\frac{V_C(t_1) - V_{FC}}{V_C(t_2) - V_{FC}}\right)}$$

Σύνθετη Αντίσταση

Στη σταθερή ημιτονοειδή κατάσταση, η σύνθετη αντίσταση των τριών βασικών στοιχείων κυκλωμάτων σε συνάρτηση με τη συχνότητα είναι:

$$Z_R = R \quad (1)$$

$$Z_L = j\omega L + R_L \quad (2)$$

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C} \quad (3)$$

Σε αυτό το πείραμα θα επαληθεύσετε τις πιο πάνω εκφράσεις συγκρίνοντας τις τιμές της σύνθετης αντίστασης από τις πιο πάνω εκφράσεις και το μέτρο των σύνθετων αντιστάσεων που θα προκύψουν από τις μετρήσεις. Η τάση στα άκρα του κάθε στοιχείου και το ρεύμα που περνά σε διαφορετικές συχνότητες θα μετρηθεί.

Πειραματική Εργασία

Εργαστηριακή Άσκηση 7.1 – Εκθετικά κύματα

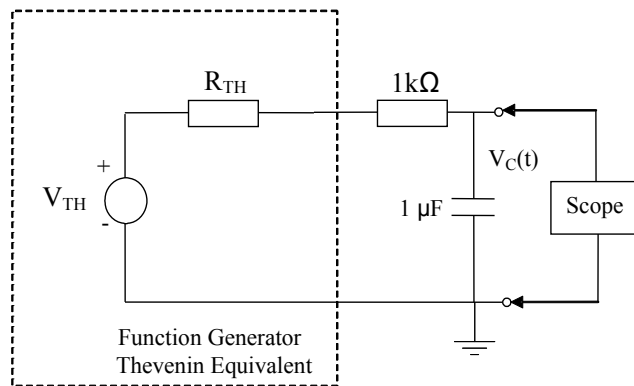
Στόχοι

- Να παρατηρηθεί η βηματική απόκριση (step response) κυκλωμάτων με δυναμικά στοιχεία.
- Να μετρηθεί η σταθερά χρόνου T_c

Διαδικασία

1. Καθορίστε την αντίσταση εξαγωγής της γεννήτριας συναρτήσεων, R_{TH} . Αυτή η τιμή συνήθως αναγράφεται πάνω στη συσκευή. Το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin της γεννήτριας συναρτήσεων παρουσιάζεται στο σχήμα 1.1.

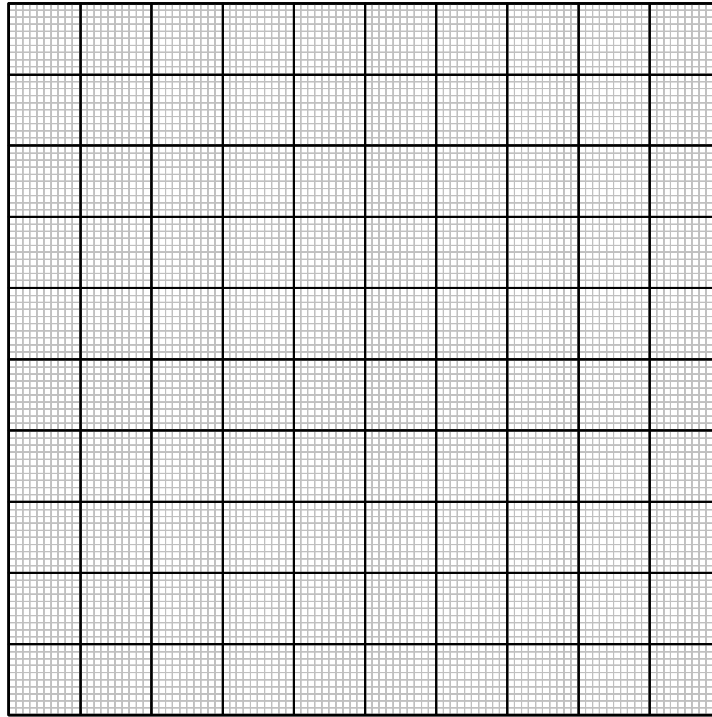
$R_{TH} =$ _____



Σχήμα 1.1

2. Κατασκευάστε το κύκλωμα του σχήματος 1.1.
3. Θέστε τη γεννήτρια συναρτήσεων να παράγει ένα τετραγωνικό κύμα, με συχνότητα 50 Hz, χωρίς DC offset και μια τάση peak-to-peak 8 V.

4. Χρησιμοποιήστε τον παλμογράφο για να δείτε το κύμα $V_C(t)$ που παράγεται από το κύκλωμα. Σχεδιάστε δύο πλήρεις κύκλους του κύματος πιο κάτω. Σημειώστε τις ρυθμίσεις του παλμογράφου.

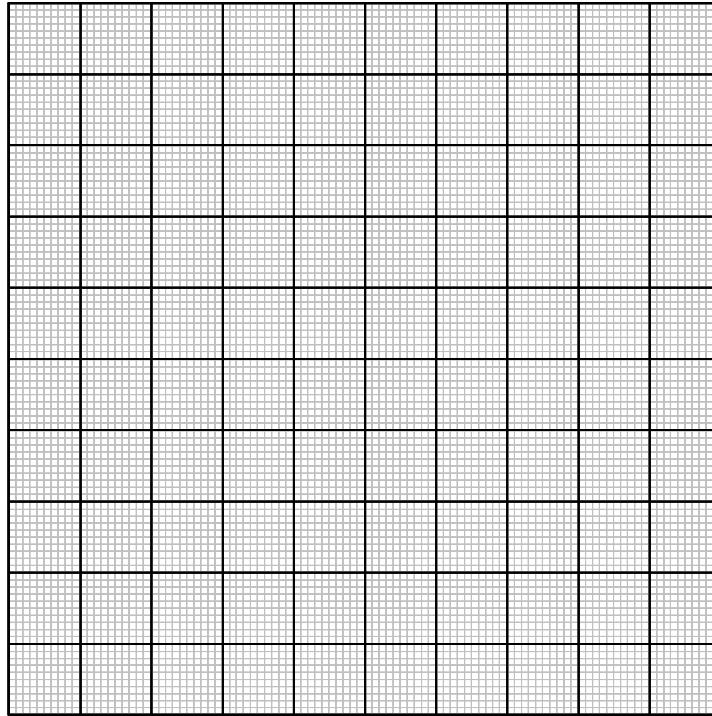


VOLTS/DIV = _____

TIME/DIV = _____

5. Ρυθμίστε την οριζόντια και κάθετη θέση του σήματος στον παλμογράφο ούτως ώστε το κύμα αποφόρτισης να φαίνεται όλο και να γεμίζει την οθόνη. Παρατάξτε την αρχή του εκθετικού κύματος ένα τετράγωνο από την αριστερή άκρη της οθόνης. Θέστε την οριζόντια κλίμακα (TIME/DIV) για να πάρετε κάτι παρόμοιο με το σχήμα 3Α της θεωρίας. Δεν είναι απαραίτητο να είσαστε σε θέση να δείτε 5 TC; στην πραγματικότητα, είναι ορθή πρακτική να μεγεθυνθεί το σήμα στην οθόνη έτσι ώστε τουλάχιστον 50% της οθόνης να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση (όπως φαίνεται στο σχήμα 3Α της θεωρίας).

6. Σχεδιάστε με ακρίβεια το κύμα κατά την αποφόρτιση πιο κάτω.



VOLTS/DIV = _____

TIME/DIV = _____

7. Μετρήστε τη σταθερά χρόνου χρησιμοποιώντας τη μέθοδο 1 από τη θεωρία

V_{IC} = _____

V_{FC} = _____

T_C = _____

8. Υπολογίστε τη σταθερά χρόνου χρησιμοποιώντας τη μέθοδο 2 από τη θεωρία

V_1 = _____

t_1 = _____

V_2 = _____

t_2 = _____

T_C = _____

9. Η θεωρία μας λέει ότι η σταθερά χρόνου δίνεται από $T_C = RC$. Χρησιμοποιήστε αυτήν την εξίσωση με τις δύο τιμές της T_C που υπολογίσατε πιο πάνω, μαζί με την πραγματική τιμή της αντίστασης (μετρήστε την με το πολύμετρο) και την αντίσταση της γεννήτριας συναρτήσεων για να υπολογίσετε το C . Το αποτέλεσμα πρέπει να είναι ίσο με $1\mu F \pm 20\%$.

$R_{lk\Omega}$ (μέτρηση) = _____

C (από το 7) = _____

C (από το 8) = _____

10. Με τη βοήθεια του μετρητή LRC μετρήστε την τιμή του C . Υπολογίστε το % σφάλμα μεταξύ της τιμής που μετρήσατε με το μετρητή και της τιμής που υπολογίσατε από τη σταθερά χρόνου T_C .

C (από μέτρηση) = _____

% σφάλμα (από το 7) = _____

% σφάλμα (από το 8) = _____

Εργαστηριακή Άσκηση 7.2 – Πυκνωτές σε σειρά και παράλληλοι

Στόχος

- Να μετρηθεί η χωρητικότητα πυκνωτών σε σειρά και παράλληλα

Διαδικασία

1. Σε ένα κύκλωμα όπως του σχήματος 1.1, συνδέστε ένα πυκνωτή $1\mu\text{F}$ παράλληλα με ακόμα ένα $1\mu\text{F}$. Μετρήστε τη νέα σταθερά χρόνου και υπολογίστε τη χωρητικότητα του κυκλώματος.

$$T_C = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$C = \underline{\hspace{2cm}}$$

2. Τι μπορούμε να πούμε για την ισοδύναμη χωρητικότητα παράλληλων πυκνωτών;

3. Σε ένα κύκλωμα όπως του σχήματος 1.1, συνδέστε ένα πυκνωτή $1\mu\text{F}$ σε σειρά με ακόμα ένα $1\mu\text{F}$. Μετρήστε τη νέα σταθερά χρόνου και υπολογίστε τη χωρητικότητα του κυκλώματος.

$$T_C = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$C = \underline{\hspace{2cm}}$$

4. Τι μπορούμε να πούμε για την ισοδύναμη χωρητικότητα πυκνωτών σε σειρά;

Μετα-εργαστηριακή Εργασία

Στο συμπέρασμά σας, σχολιάστε την ορθότητα (accuracy) των μεθόδων που χρησιμοποιήσατε για να υπολογίσετε τη σταθερά χρόνου T_C . Ποιες είναι οι πηγές σφάλματος; Πως οι τιμές των πυκνωτών που υπολογίσατε μέσω της σταθεράς χρόνου συγκρίνονται με τις τιμές που μετρήθηκαν με το μετρητή LRC;

Εργαστηριακή Άσκηση 7.3 – Σύνθετη αντίσταση

Στόχοι

- Να εξεταστεί η σύνθετη αντίσταση σε συνάρτηση με τη συχνότητα.

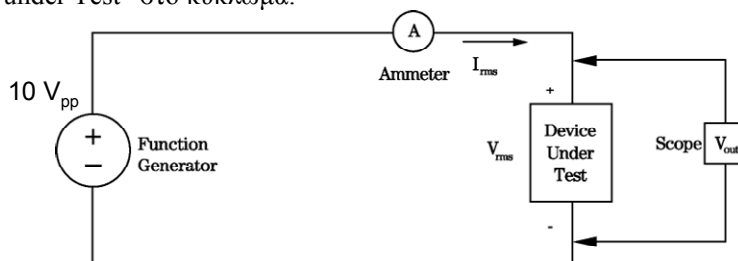
Διαδικασία

1. Χρησιμοποιήστε το μετρητή LCR για να μετρήσετε την τιμή του κάθε στοιχείου. Μετρήστε τις πραγματικές τιμές της αντίστασης ($1\text{ k}\Omega$), της αντίστασης του πηνίου (1 mH), της αυτεπαγωγής (inductance) του πηνίου (1 mH), και της χωρητικότητας (capacitance) του πυκνωτή ($1\text{ }\mu\text{F}$).

$R =$ _____ $R_L =$ _____

$C =$ _____ $L =$ _____

2. Συμπληρώστε τις θεωρητικές τιμές $|Z_R|$, $|Z_C|$, και $|Z_L|$ από τις τιμές των στοιχείων που μετρήσατε πιο πάνω. Επαναλάβετε τους υπολογισμούς σας για όλες τις συχνότητες μεταξύ 10 Hz και 100 kHz . Καταχωρήστε τα αποτελέσματά σας στο πίνακα 3.1
3. Κατασκευάστε το κύκλωμα του σχήματος 3.1. Ενώστε το αμπερόμετρο μέσα στο κύκλωμα και αφήστε το ενωμένο καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Βάλτε την αντίσταση $R = 1\text{ k}\Omega$ στο σημείο “Device under Test” στο κύκλωμα.



Σχήμα 3.1

4. Ρυθμίστε τη γεννήτρια συναρτήσεων για να παράγει ένα ημιτονοειδές σήμα συχνότητας 10 Hz και 10 V peak-to-peak. Επιβεβαιώστε τη συχνότητα και το V_{rms} με την επιλογή “Measure” του παλμογράφου. Μετρήστε το ρεύμα I_{rms} με το πολύμετρο με την πιο ευαίσθητη ζώνη.
5. Μετρήστε και καταγράψτε το I_{rms} και την τάση V_{pp} . Ρυθμίστε τη συχνότητα στο επόμενο σημείο και επαναλάβετε τις μετρήσεις μέχρι να καλυφτούν όλες οι συχνότητες (μέχρι 100 kHz).
6. Αφαιρέστε την αντίσταση από το κύκλωμα και βάλτε ένα πυκνωτή στη θέση του. Μετρήστε τα ρεύματα και τις τάσεις για τον πυκνωτή στις ίδιες συχνότητες όπως προηγουμένως και συμπληρώστε τον πίνακα.
7. Αφαιρέστε τον πυκνωτή από το κύκλωμα και βάλτε το πηνίο στη θέση του. Μετρήστε τα ρεύματα και τις τάσεις για το πηνίο στις ίδιες συχνότητες όπως προηγουμένως και συμπληρώστε τον πίνακα.
8. Υπολογίστε τις πειραματικές τιμές των σύνθετων αντιστάσεων στο πίνακα 3.1. (Μπορείτε αν θέλετε να χρησιμοποιήσετε κάποιο πρόγραμμα όπως EXCEL.)
9. Τι παρατηρείτε σχετικά με τις τιμές των σύνθετων αντιστάσεων σε σχέση με τη συχνότητα;

Σημείωση

Το πολύμετρο δίνει το ρεύμα σε τιμές rms (root mean square). Αν η τάση μετρήθηκε σε V_{pp} , προτού υπολογισθεί η σύνθετη αντίσταση πρέπει να μετατραπεί σε V_{rms} , με την πιο κάτω εξίσωση

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}}$$

Πίνακας 3.1

f (Hz)	Υπολογισμός από μετρήσεις R, L, C			Μετρήσεις V_{rms} και I_{rms}						Υπολογισμός από μετρήσεις V_{rms} και I_{rms}		
				Resistor		Capacitor		Inductor				
$ Z_R $	$ Z_L $	$ Z_C $	V_{rms}	I_{rms}	V_{rms}	I_{rms}	V_{rms}	I_{rms}	$ Z_R $	$ Z_L $	$ Z_C $	
10												
100												
1 k												
10 k												
100 k												

Μετα-Εργαστηριακή Εργασία

Σε μια γραφική παράσταση σχεδιάστε τις θεωρητικές και πειραματικές τιμές των σύνθετων αντιστάσεων κάθε στοιχείου. Χρησιμοποιήστε λογαριθμικούς άξονες με τη συχνότητα στον οριζόντιο άξονα και τη σύνθετη αντίσταση στον κάθετο.

Στις υψηλές συχνότητες, είναι πιθανό ότι η εμπειρική σύνθετη αντίσταση του πηνίου να παρεκκλίνει από τη θεωρητική σύνθετη αντίσταση. Προτείνετε λόγους για αυτήν τη συμπεριφορά.

Πότε είναι σημαντική η παρασιτική αντίσταση του πηνίου;