

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ & ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Διδάσκων : Δημήτρης Τσιπιανίτης

Γεώργιος Μανδέλλος

Επιμέλεια : Δημήτρης Τσιπιανίτης

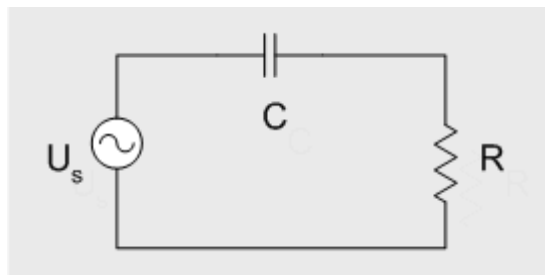
ΠΑΤΡΑ 2018

ΑΣΚΗΣΗ 204

ΦΙΛΤΡΑ – ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΣΕΙΡΑΣ

θ

Στο Σχ.1 φαίνεται ένα R-C κύκλωμα σειράς που διεγείρεται από μία πηγή εναλλασσόμενης τάσης. Ένα τέτοιο κύκλωμα είναι ένας διαιρέτης εναλλασσόμενης τάσης όπως ακριβώς ένα εν σειρά κύκλωμα ωμικών αντιστατών είναι ένας εν σειρά διαιρέτης συνεχούς τάσης. Η κατανομή της τάσης της πηγής στα στοιχεία του κυκλώματος, δηλαδή στην αντίσταση και στον πυκνωτή, εξαρτάται από την συχνότητα της επιβαλλόμενης τάσης.



Σχ.1

Η σύνθετη αντίσταση του πυκνωτή είναι $Z_C(j\omega) = -jX_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi fC}$. Για

μικρές τιμές της συχνότητας f της πηγής, η $Z_C(j\omega)$ είναι πολύ μεγάλη με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ποσοστό της επιβαλλόμενης τάσης να εφαρμόζεται στα άκρα του πυκνωτή, ενώ η τάση στα άκρα της αντίστασης είναι μικρή. Για μεγάλες τιμές της συχνότητας f της πηγής, η $Z_C(j\omega)$ είναι πολύ μικρή με αποτέλεσμα να έχουμε μικρή τιμή της τάσης στα άκρα του πυκνωτή και μεγάλη πτώση τάσης στην ωμική αντίσταση. Ένα τέτοιο κύκλωμα λειτουργεί σαν «φίλτρο» συχνοτήτων το οποίο ανάλογα με το ποια τάση θεωρούμε σαν έξοδό του, αποκόπτει τις χαμηλές ή τις υψηλές συχνότητες.

Τί είναι το φίλτρο συχνοτήτων

Σχεδόν όλα τα ηλεκτρονικά συστήματα χρησιμοποιούν φίλτρα. Ένα φίλτρο επιτρέπει τη διέλευση μιας ζώνης συχνοτήτων ενώ απορρίπτει μία άλλη. Έχουν τη δυνατότητα δηλαδή να διαχωρίζουν και να επιτρέπουν τη διέλευση των επιθυμητών σημάτων από τα ανεπιθύμητα καθώς και να παρεμποδίζουν τα παρεμβαλλόμενα σήματα ή αλλιώς τον θόρυβο.

Κατηγορίες Φίλτρων

Τα φίλτρα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τα αναλογικά και τα ψηφιακά. Συγκεκριμένα τα φίλτρα με τα οποία επεξεργαζόμαστε αναλογικά σήματα καλούνται αναλογικά, ενώ τα αντίστοιχα που εφαρμόζονται στην επεξεργασία ψηφιακών σημάτων ψηφιακά.



Αναλογικά Φίλτρα

Τα αναλογικά φίλτρα χρησιμοποιούν αναλογικά ηλεκτρονικά κυκλώματα κατασκευασμένα από υλικά κυρίως αντιστάσεις, πυκνωτές και τελεστικο υς ενισχυτές για να παράγει το ζητούμενο αποτέλεσμα φιλτραρίσματος. Τα αναλογικά φίλτρα χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες: Τα παθητικά και τα Ενεργά.

Ψηφιακά Φίλτρα

Τα ψηφιακά φίλτρα υλοποιούνται μέσω ενός ψηφιακού επεξεργαστή ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, δηλαδή μελετώνται και σχεδιάζονται σε διάφορα προγράμματα (Software) με απόλυτη ακρίβεια και επεξεργασία τους κάθε φορά που χρειάζεται με σκοπό τον επαναπρογραμματισμό του φίλτρου. Για να γίνει αυτό Το αναλογικό σήμα εισόδου πρέπει πρώτα να δειγματοληφθεί και να ψηφιοποιηθεί με τη χρήση ενός ADC (analog to digital converter) μετατροπέα από αναλογικό σε ψηφιακό. Οι δυαδικοί αριθμοί που προκύπτουν, οι οποίοι αναπαριστούν διαδοχικές τιμές από τη δειγματοληψία του σήματος εισόδου, μεταφέρονται στον επεξεργαστή, που εκτελεί τις απαραίτητες αριθμητικές πράξεις.

Τα Είδη των Φίλτρων

Τα φίλτρα αναλόγως την χρησιμότητα που θέλουμε να έχουν και για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες της κάθε συσκευής και συστήματος που διαφέρουν το ένα με το άλλο, καθώς το κάθε ηλεκτρονικό κύκλωμα για να αποδώσει όπως το θέλει ο κατασκευαστής λειτουργεί με διαφορετική γκάμα συχνοτήτων. Από χαμηλές συχνότητες μέχρι υψηλές, αλλά και συχνότητες μεταξύ ενός εύρους όπως επίσης και εκτός αυτού. Για αυτό το λόγο τα φίλτρα διακρίνονται σε τρία, κυρίως, βασικά είδη : Τα υπερατά ή υψηλοπερατά, τα κατωδιαβατά ή χαμηλοπερατά και τα ζωνοδιαβατά ή ζωνοπερατά.

Για τη μελέτη της συμπεριφοράς ενός φίλτρου απαιτείται η γνώση, σε κάθε συχνότητα, του πλάτους του σήματος στην έξοδο του φίλτρου V_{out} και του πλάτους του σήματος στην είσοδο V_{in} στην ίδια συχνότητα. Ο λόγος των δύο αυτών πλατών ονομάζεται απολαβή ή κέρδος του φίλτρου:

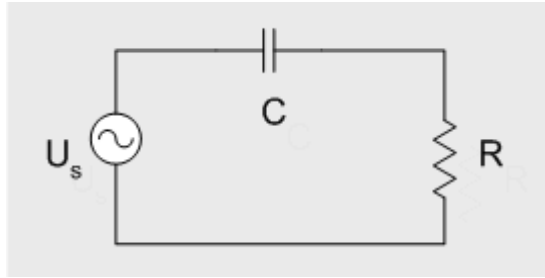
$$A(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

Η γραφική παράσταση του κέρδους τάσης του ως προς τη συχνότητα ονομάζεται απόκριση του φίλτρου.

Τα φίλτρα έχουν μία συχνότητα σημείο αναφοράς, καθώς η συγκεκριμένη τιμή της είναι αυτή που καθορίζει ποιες συχνότητες θα περάσουν και ποιες όχι ανάλογα το φίλτρο. Αυτή η συχνότητα ονομάζεται συχνότητα αποκοπής.

Επειδή η κατασκευή ιδανικών φίλτρων είναι αδύνατη ως συχνότητα αποκοπής ορίζεται η συχνότητα εκείνη για την οποία η απολαβή A ισούται με το 0.707 της μέγιστης τιμής της ή με -3 dB.

1. Λειτουργία R-C κυκλώματος ως υπερυπερατό φίλτρο.



Σχ. 2

Στην περίπτωση αυτή έξοδος (απόκριση) του κυκλώματος είναι η τάση U_R στα άκρα της αντίστασης. Η συνάρτηση μεταφοράς του κυκλώματος είναι

$$H(j\omega) = \frac{V_R(j\omega)}{V_S(j\omega)} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}}$$

όπου $V_R(j\omega)$ και $V_S(j\omega)$ είναι αντίστοιχα οι φάσσορες των τάσεων $U_R(t)$ και $U_S(t)$.

Στις πολύ υψηλές συχνότητες η X_C γίνεται πολύ μικρή συγκρινόμενη με την R με αποτέλεσμα η τάση V_R στα άκρα της αντίστασης να είναι περίπου ίση με την τάση της πηγής οπότε το μέτρο της συνάρτησης μεταφοράς τείνει στην μονάδα,

$$|H(j\omega)| = \left| \frac{V_R(j\omega)}{V_S(j\omega)} \right| = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \cong 1$$

η δε γωνία θ αυτής τείνει στο μηδέν.

Η γωνία της συνάρτησης μεταφοράς εκφράζει τη διαφορά φάσης μεταξύ των τάσεων U_R και U_S . Η τάση U_R προηγείται της τάσης της πηγής κατά γωνία θ όπου

$$\theta = \angle H(j\omega) = \tan^{-1} \frac{1}{\omega RC}$$

Όσο μειώνεται η συχνότητα, η X_C αυξάνεται, το ποσοστό της τάσης V_R που εφαρμόζεται στην R μειώνεται επίσης, στις πολύ δε χαμηλές συχνότητες η τάση στην R τείνει στο μηδέν. Άρα το μέτρο της συνάρτησης μεταφοράς τείνει στο μηδέν στις χαμηλές συχνότητες και η γωνία θ στις 90° .

Έτσι, το R-C κύκλωμα, με έξοδο την τάση U_R , εμφανίζει στις υψηλές συχνότητες την τάση εισόδου στην έξοδο, χωρίς σημαντική απόσβεση και χωρίς αλλαγή της φάσης. Για το λόγο αυτό λέμε ότι το πιο πάνω κύκλωμα “περνάει” τις υψηλές συχνότητες και λέγεται “υπερατό κύκλωμα” ή **υπερατό φίλτρο**. Αντίθετα, στις χαμηλές συχνότητες η τάση εισόδου εμφανίζεται στην έξοδο με μεγάλη απόσβεση και με σημαντική αλλαγή της φάσης, δηλαδή το κύκλωμα αποκόπτει τις χαμηλές συχνότητες. Η οριακή περίπτωση είναι όταν η τάση εισόδου είναι συνεχής ($\omega=0$) όπου λόγω του πυκνωτή η τάση εξόδου είναι μηδέν.

Για μία συχνότητα της τάσης εισόδου τέτοια ώστε $X_C=R$ η ισχύς που καταναλώνεται στην αντίσταση R είναι το μισό της μέγιστης ισχύος, η τάση εξόδου είναι

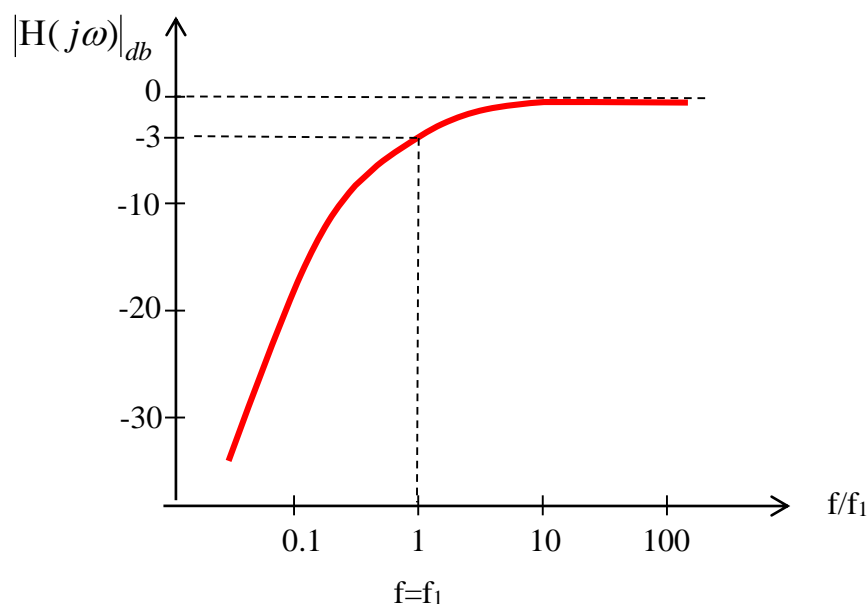


$V_{PR} = 0,707 \cdot V_{PS} = \frac{1}{\sqrt{2}} V_{PS}$ και η γωνία θ είναι 45° . Για όλες τις συχνότητες που είναι μεγαλύτερες από την f_1 η τάση V_{PR} είναι μεγαλύτερη από $0,707 \cdot V_{PS}$ και η γωνία θ μειώνεται. Θεωρούμε ότι για τις συχνότητες αυτές η απόκριση του φίλτρου είναι ικανοποιητική δηλαδή δεν έχουμε μεγάλη απόσβεση της τάσης εισόδου και δεν έχουμε σημαντική αλλαγή στη φάση. Η συχνότητα $f_1 = 1/2\pi RC$ ($X_C=R$ δηλ. $1/2\pi fC=R$) λέγεται **συχνότητα κάτω αποκοπής** με την έννοια ότι το κύκλωμα RC “κόβει” τις συχνότητες που είναι μικρότερες της f_1 και “περνάει” όλες τις συχνότητες που είναι μεγαλύτερες της f_1 . Καταλήγουμε έτσι στο συμπέρασμα ότι

Η περιοχή συχνοτήτων που “κόβει” ή “περνάει” ένα RC κύκλωμα είναι συνάρτηση των τιμών των στοιχείων R και C.

Ας εξετάσουμε τώρα τη γραφική παράσταση του μέτρου $|H(j\omega)|$ και της γωνίας $\angle H(j\omega)$ για να δούμε την εξάρτησή τους από την συχνότητα. Γι’ αυτή τη γραφική παράσταση ο συνηθέστερος τρόπος είναι το διάγραμμα **Bode** όπου το μέτρο $|H(j\omega)|$ σχεδιάζεται σε db, συναρτήσει του λογαρίθμου της συχνότητας.

$$|H(j\omega)|_{db} = 20 \cdot \log|H(j\omega)| = 20 \cdot \log \left| \frac{V_R(j\omega)}{V_S(j\omega)} \right|$$



Σχ. 3. Διάγραμμα μέτρου υπερπυρατού φίλτρου.

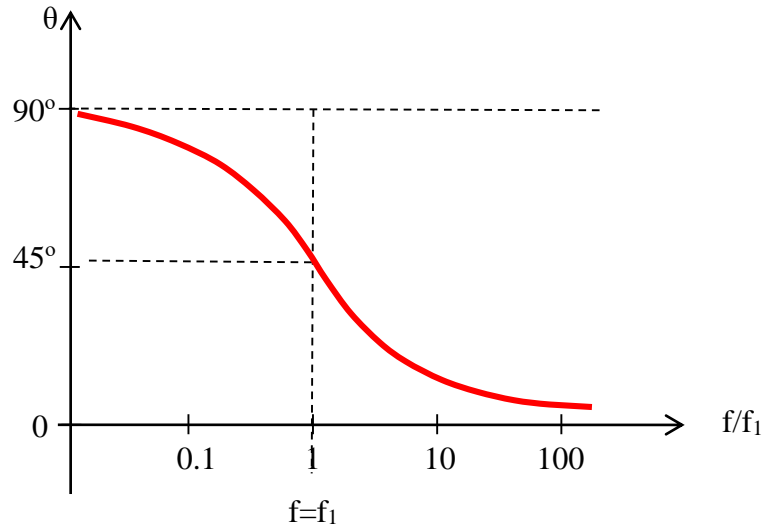


Σημειώστε ότι στη συχνότητα f_1 εφόσον $\left| \frac{V_{PR}}{V_{PS}} \right| = 0.707$ και

$$\left| \frac{V_{PR}}{V_{PS}} \right|_{db} = -3db \text{ ή } V_{PR}(db) - V_{PS}(db) = -3db$$

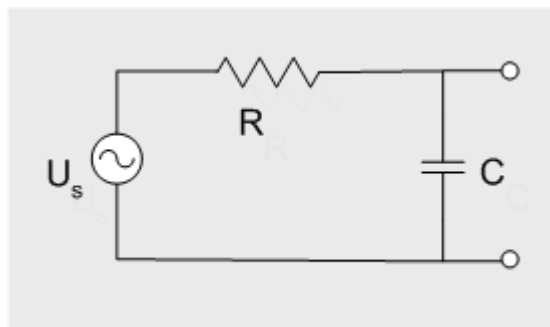
Για το λόγο αυτό η συχνότητα f_1 λέγεται και συχνότητα $-3db$.

Η γραφική παράσταση για τη γωνία θ της συνάρτησης μεταφοράς γίνεται επίσης συναρτήσει του λογαρίθμου f/f_1 . Σημειώστε ότι στη συχνότητα f_1 η γωνία είναι 45° .



Σχ. 4. Διάγραμμα γωνίας υπερερατού φίλτρου.

2. Λειτουργία R-C κυκλώματος ως κατωδιαβατό φίλτρο.



Σχ. 5

Λόγω της εξάρτησης της $Z_C(j\omega)$ από τη συχνότητα (βλ.σελ.1), η τάση εξόδου U_C θα πλησιάζει την τάση εισόδου όταν η συχνότητα της τάσης εισόδου είναι χαμηλή, ενώ θα είναι πολύ μικρή στις υψηλές συχνότητες.

$$\text{Η συνάρτηση μεταφοράς είναι τώρα: } H(j\omega) = \frac{V_C(j\omega)}{V_S(j\omega)} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$



Το μέτρο της συνάρτησης μεταφοράς είναι: $|H(j\omega)| = \frac{|V_C(j\omega)|}{|V_S(j\omega)|} = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$

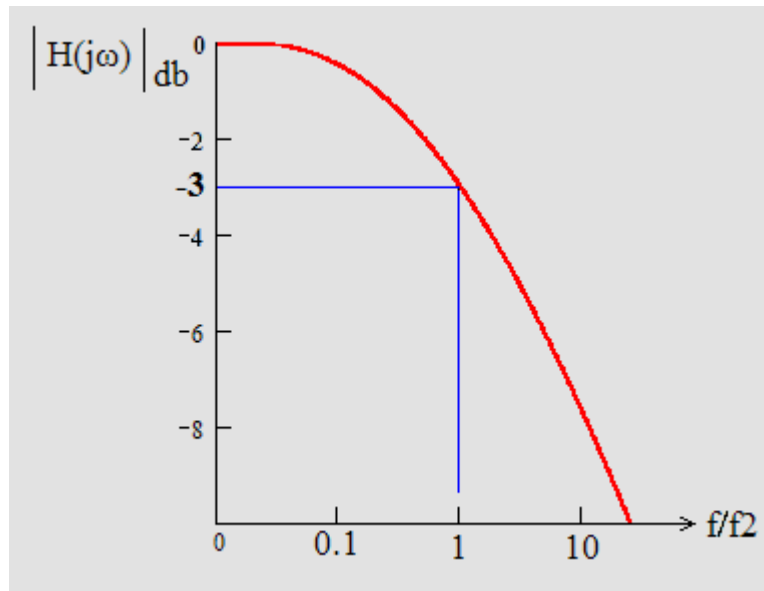
και η γωνία της είναι $\theta = -\tan^{-1} \omega RC$

Το μέτρο πλησιάζει στην μονάδα στις χαμηλές συχνότητες ενώ είναι πολύ μικρότερο της μονάδας στις υψηλές συχνότητες. Η γωνία θ πλησιάζει στο μηδέν στις χαμηλές συχνότητες και στις 90° στις υψηλές συχνότητες (η $U_S(t)$ προηγείται της $U_C(t)$).

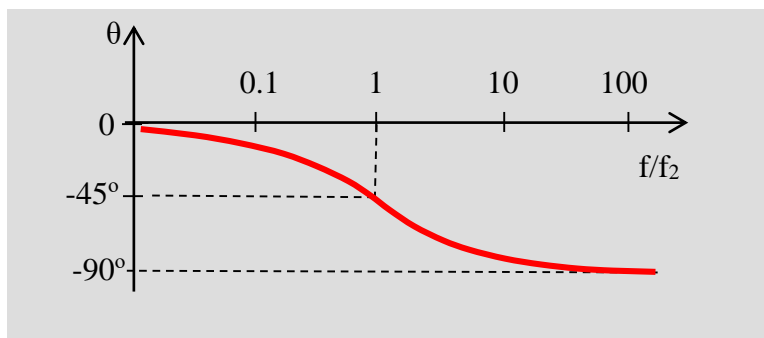
Το κύκλωμα λειτουργεί τώρα ως κατωδιαβατό φίλτρο συχνοτήτων.

Τα διαγράμματα μέτρου και γωνίας φαίνονται στο Σχ.4 και στο Σχ.5.

Η συχνότητα **άνω αποκοπής** f_2 είναι η συχνότητα για την οποία $V_{PC} = 0,707 \cdot V_{PS}$ ή $|H(j\omega)| = 0.707$ και $\theta = -45^\circ$ ($f_2 = f_1 = 1/2\pi RC$)

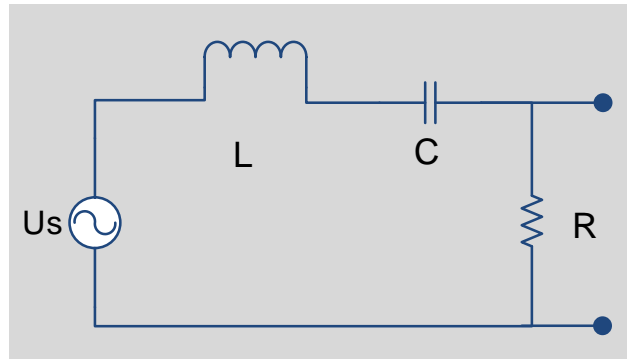


Σχ. 6



Σχ. 7

3. Ζωνοπερατό φίλτρο R L C - Συντονισμός



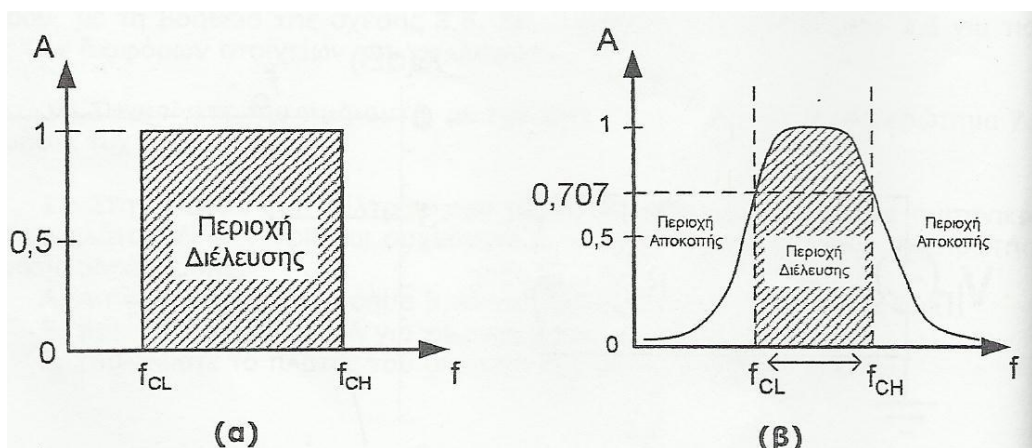
Σχ. 8

Το ζωνοπερατό φίλτρο θα μπορούσε να θεωρηθεί σαν ένας συνδυασμός χαμηλοπερατού και υψηλοπερατού φίλτρου. Επιτρέπει τη διέλευση συχνοτήτων μέσα σε μία συγκεκριμένη περιοχή η οποία ορίζεται από δύο συχνότητες αποκοπής, μία χαμηλή ή κάτω συχνότητα αποκοπής f_{CL} (Low) και μία υψηλή ή πάνω συχνότητα αποκοπής f_{CH} (High).

Ένα ζωνοπερατό φίλτρο απορρίπτει όλες τις συχνότητες από μηδέν μέχρι τη χαμηλή συχνότητα αποκοπής. Έπειτα επιτρέπει τη διέλευση όλων των συχνοτήτων μεταξύ της χαμηλής και της υψηλής συχνότητας αποκοπής και τέλος απορρίπτει όλες τις συχνότητες που είναι πάνω από την υψηλή συχνότητα αποκοπής. Επομένως η περιοχή μεταξύ των δύο συχνοτήτων αποκοπής αποτελεί τη ζώνη διέλευσης ενώ οι συχνότητες κάτω και πάνω απ' αυτές αποτελούν τη ζώνη αποκοπής / απόρριψης.

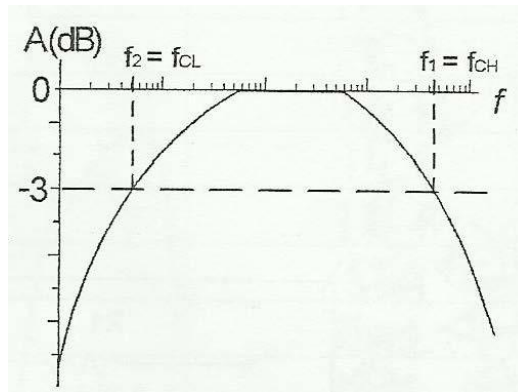
Το εύρος ζώνης BW (Bandwidth) του φίλτρου είναι η διαφορά μεταξύ της ανώτερης και κατώτερης συχνότητας αποκοπής: $BW = f_{CH} - f_{CL}$

Και η κεντρική συχνότητα f_0 υπολογίζεται από τον τύπο: $\sqrt{f_{CL} \cdot f_{CH}}$



Σχ. 9

(α) απόκριση ιδανικού ζωνοπερατού φίλτρου και (β) απόκριση πραγματικού ζωνοπερατού φίλτρου



Σχ. 10

απόκριση ζωνοπερατού φίλτρου σε db

Η απόκριση συχνότητας για το φίλτρο μπορεί να γραφεί: $T(s) = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC + j\omega^2 LC}$

Η Εμπέδηση (σύνθετη αντίσταση) του κυκλώματος δίνεται από τη σχέση :

$$\mathbf{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + j(X_L - X_C) \quad (1)$$

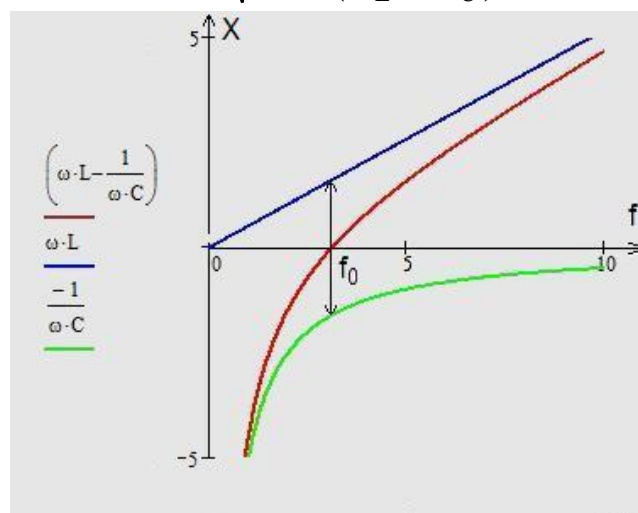
όπου $X_L = \omega L$ και $X_C = 1/\omega C$.

Το μέτρο της σύνθετης αντίστασης του κυκλώματος $Z = |\mathbf{Z}|$ δίνεται από τη σχέση

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (2)$$

Η γραφική παράσταση της αντίστασης $X = X_L - X_C$ συναρτήσει της συχνότητας f φαίνεται στο Σχ.2. Το ρεύμα I που διαρρέει το κύκλωμα δίνεται από τη σχέση,

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \quad \text{όπου } U = |U_s| \quad (3)$$



Σχ. 11



$$\text{Για } X=0 \text{ ή } X_L=X_C \text{ και συνεπώς } \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \text{ ή } \omega_0 = 2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (4)$$

$$\text{το ρεύμα } I \text{ λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του } I_0 = \frac{U}{R}. \quad (5)$$

Η κυκλική συχνότητα ω_0 καλείται συχνότητα συντονισμού του κυκλώματος.

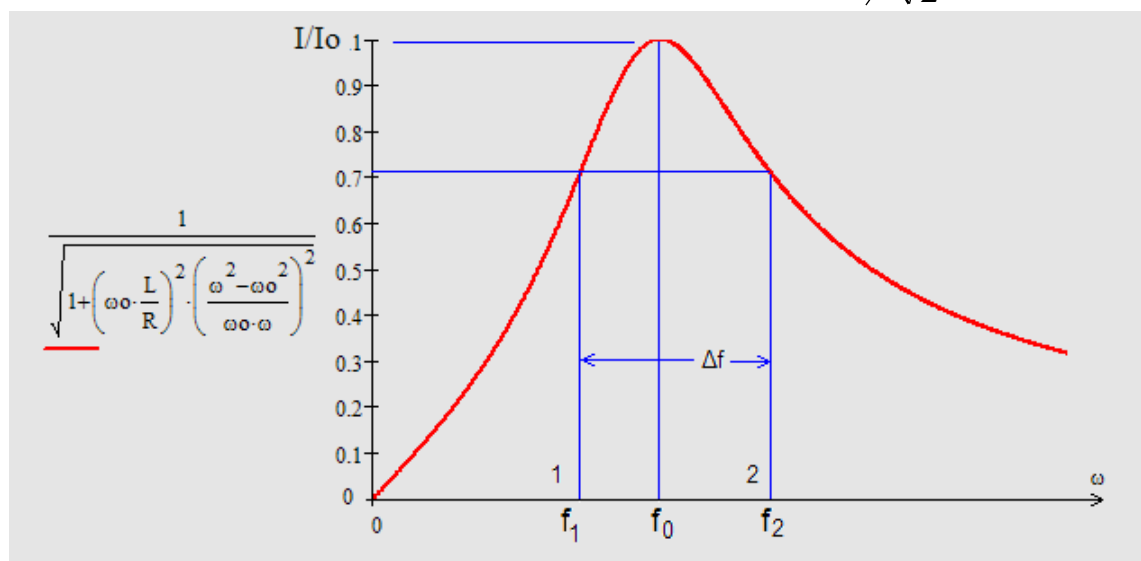
Από τις σχέσεις (3) και (5) προκύπτει η σχέση

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{X_0}{R}\right)^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (Q_0)^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}} \quad (6)$$

$$\text{όπου } X_0 = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \text{ και } Q_0 = \frac{X_0}{R} \quad (7)$$

Το Q_0 καλείται συντελεστής υπέρτασης του κυκλώματος στη συχνότητα συντονισμού.

Η γραφική παράσταση της σχέσης (6) φαίνεται στο Σχ.3. Για $I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$ ή $I=0.707 I_0$



Σχ.12

Από την καμπύλη του Σχ.3 λαμβάνονται οι συχνότητες f_1 και f_2 οι οποίες ορίζουν το εύρος ζώνης συντονισμού Δf . Στις συχνότητες εντός του εύρους αυτού θεωρούμαι ότι συντονίζεται πρακτικά το κύκλωμα. Επειδή στα σημεία 1 και 2 το ρεύμα στο κύκλωμα

είναι $I=0.707 I_0$, η απορροφώμενη σ' αυτά πραγματική ισχύς από την αντίσταση R ισούται με το μισό της απορροφώμενης ισχύος στη συχνότητα συντονισμού. Για τις συχνότητες f_0, f_1, f_2 και το συντελεστή Q_0 ισχύει

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2} \quad (8) \quad \text{και} \quad Q_0 = \frac{f_0}{f_2 - f_1} = \frac{f_0}{\Delta f} \quad (9)$$



Πειραματική Διάταξη-Μετρήσεις.

Ρυθμίστε τη τάση της γεννήτριας στα 5V_{p-p}.

A. Υψιπερατό φίλτρο.

Για τιμές των στοιχείων $R=10 \text{ K}\Omega$ και $C=0.01 \mu\text{F}$

- 1) Μετρήστε τις τιμές της U_{PR} στον παλμογράφο και $|U_R|_{\text{db}}$ στο πολύμετρο για τις συχνότητες της γεννήτριας του πίνακα.
- 2) Μετρήστε την $|U_S|_{\text{db}}$ (της πηγής)
- 3) Βρείτε πειραματικά τη συχνότητα κάτω αποκοπής f_1 .



f (KHz)	U_{PR}	$ U_R _{\text{db}}$
0.1		
0.5		
1		
1.5		
5		
10		
20		
$f_1 =$	$ U_S _{\text{db}} =$	

B. Κατωδιαβατό φίλτρο.

Για τις ίδιες τιμές των στοιχείων R,C και τις ίδιες συχνότητες

- 1) Μετρήστε τις τιμές της U_{PC} στον παλμογράφο και $|U_C|_{\text{db}}$ στο πολύμετρο για τις συχνότητες της γεννήτριας του πίνακα.
- 2) Μετρήστε την $|U_S|_{\text{db}}$ (της πηγής)
- 3) Βρείτε πειραματικά τη συχνότητα άνω αποκοπής f_2 .

f (KHz)	U_{pc}	$ U_c _{db}$
0.1		
0.5		
1		
1.5		
5		
10		
20		
$f_2 =$	$ U_s _{db} =$	

Επεξεργασία μετρήσεων.



A) Σχεδιάστε σε ημιλογαριθμικό χαρτί τα διαγράμματα μέτρου υψιπερατού και κατωδιαβατού φίλτρου συναρτήσει του λόγου f/f_1 .

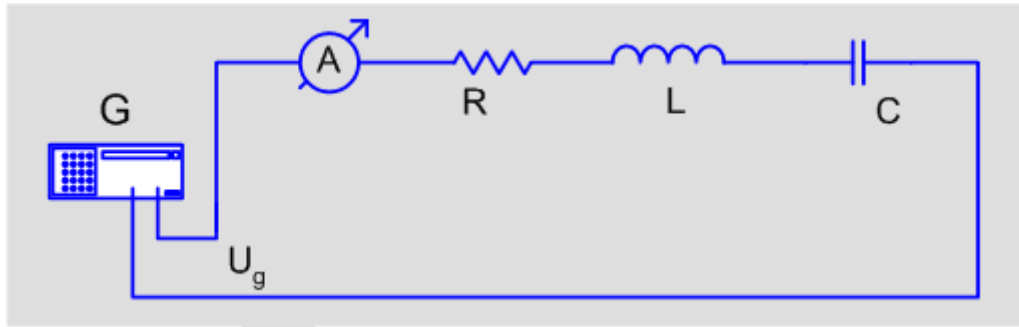
B) Σχεδιάστε σε ημιλογαριθμικό χαρτί τις θεωρητικές καμπύλες της γωνίας θ της συνάρτησης μεταφοράς συναρτήσει του λόγου f/f_1 .

f (KHz)	U_{pR}	U_{pc}	θ_1	θ_2	$ U_R/U_S _{db}$	$ U_C/U_S _{db}$	f/f_1
0.1							
0.5							
1							
1.5							
5							
10							
20							

Γ. Συντονισμός - Ζωνοδιαβατό φίλτρο.

1. Πραγματοποιείτε τη συνδεσμολογία του κυκλώματος που φαίνεται στο σχήμα με τις ακόλουθες τιμές για τα στοιχεία:

$C=0.1 \mu F$, $L=100 \text{ mH}$, $R_1=80 \Omega$, και $R_2=500 \Omega$.



2. Μετρήστε την ένταση I του κυκλώματος για τις ακόλουθες συχνότητες της γεννήτριας και συμπληρώστε τον πίνακα που ακολουθεί και για τις δύο τιμές της αντίστασης.
3. Εντοπίστε τη συχνότητα συντονισμού f_0 . Για τη συχνότητα αυτή μετρήστε στον παλμογράφο τις τάσεις $V_L(p-p)$ και $V_C(p-p)$ και για τις δύο τιμές της αντίστασης.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

F(Hz)	I_1 (R=80Ω)	I_2 (R=500Ω)	I_1/I_0	I_2/I_0
100				
200				
300				
400				
500				
600				
700				
800				
900				
1000				
1100				
1200				
1300				
1400				
1500				
1550				
1600				
1650				
1700				
1800				
1900				
2000				
2500				
3000				
4000				
5000				
10000				

Επεξεργασία Μετρήσεων



1. Να παρασταθεί γραφικά η σχέση $I/I_0 = \sigma(f)$ σε κοινούς άξονες με παράμετρο τις αντιστάσεις R .
2. Να προσδιορισθούν από την καμπύλη $I/I_0 = \sigma(f)$ και για $R=0 \Omega$ οι συχνότητες f_0 , f_1 , f_2 και Δf .
3. Να επαληθευθεί η σχέση (8).
4. Να προσδιοριστεί ο συντελεστής Q_0 .
5. Να υπολογισθούν οι θεωρητικές τιμές των f_0 , f_1 , f_2 και Q_0 .
6. Ποιος είναι ο βασικός λόγος για τη διαφορά της θεωρητικής τιμής $Q_0 = \frac{\omega_0 L}{R}$ από την πειραματική; Ποια τιμή κατά τη γνώμη σας είναι η περισσότερο σωστή και γιατί;
7. Σε κάθε περίπτωση απόκλισης των πειραματικών τιμών από τις θεωρητικές ποια είναι τα συμπεράσματά σας