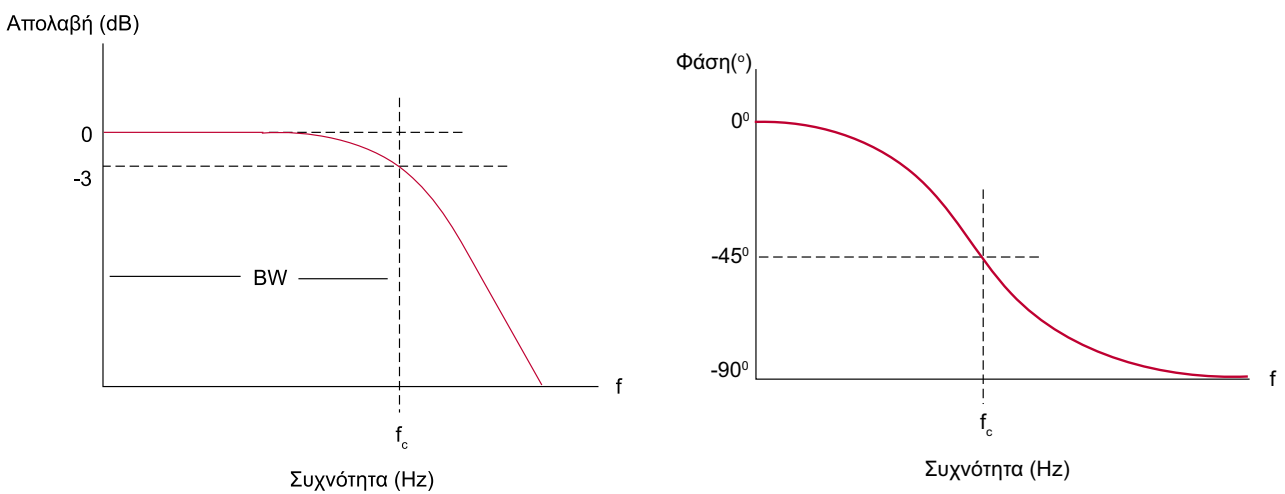


Σχήμα 27.92: Κυκλωματική διάταξη χαμηλοπερατού φίλτρου RC και β) συμβολισμός φίλτρου.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Η διαφορά φάσης του φίλτρου (Σχ. 27.94) δίνεται από τη σχέση:

$$\varphi = -\arctan(\omega RC) = -\arctan\left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)$$



Σχήμα 27.93: Φασματική απόκριση χαμηλοπερατού φίλτρου.

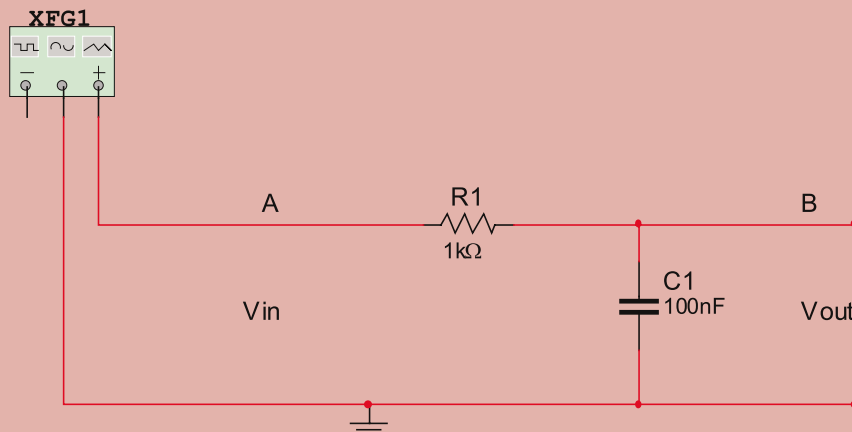
Σχήμα 27.94: Απόκριση φάσης χαμηλοπερατού φίλτρου.

27.19.3 Εργαστηριακή εφαρμογή 1: Μελέτη βαθυπερατού φίλτρου μέσω προσομοίωσης κυκλώματος

Για τη μελέτη ενός βαθυπερατού φίλτρου RC σχεδιάζουμε το φίλτρο στο λογισμικό MultiSIM της National Instruments.

Εργασίες

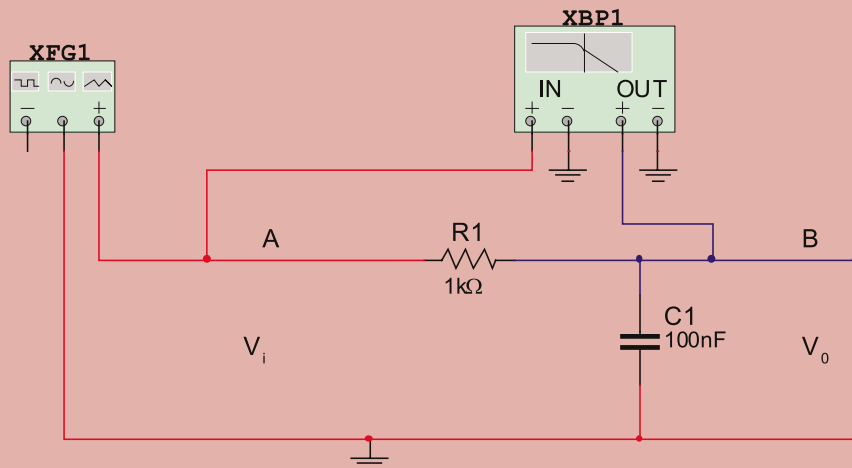
1. Υλοποιήστε την κυκλωματική διάταξη του φίλτρου.



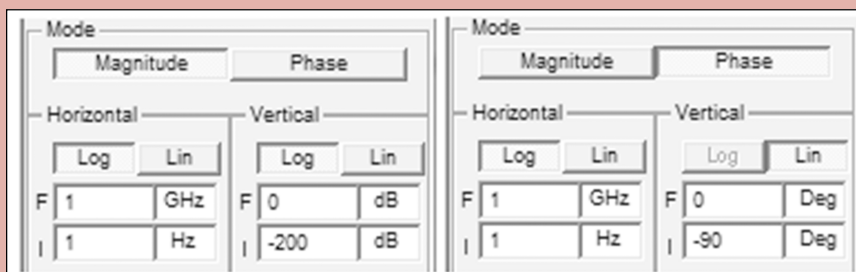
2. Υπολογίστε τη συχνότητα αποκοπής f_c του παραπάνω φίλτρου.
3. Ρυθμίστε την γεννήτρια συναρτήσεων XFG1, ώστε να παράγει το ακόλουθο σήμα: $y = 0,5\sin 1000\pi t$
4. Συνδέστε παλμογράφο δυο καναλιών στα σημεία A και B του κυκλώματος και εκτελέστε προσομοίωση. Μετρήστε την τιμή της τάσης εξόδου του κυκλώματος (V_o).
5. Για κάθε τιμή της συχνότητας του σήματος εισόδου, που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, εκτελέστε προσομοίωση στο κύκλωμα και καταγράψτε την τάση εξόδου του κυκλώματος.

Συχνότητα Εισόδου f (KHz)	Τάση Εξόδου V_o (V)
0,6	
0,8	
1	
2	
5	
8	
12	
15	
20	
40	

6. Τι παρατηρείτε καθώς αυξάνεται η συχνότητα του σήματος εισόδου;
7. Ρυθμίστε πάλι την γεννήτρια συναρτήσεων έτσι, ώστε να παράγει το σήμα: $y = 0,5\sin 1000\pi t$. Συνδέστε έναν Bode Plotter στα σημεία A και B του κυκλώματος, όπως φαίνεται παρακάτω:



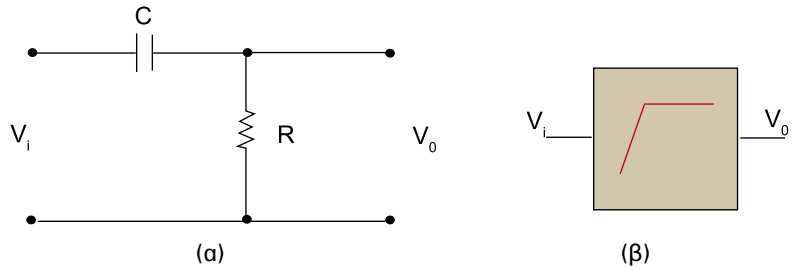
Ρυθμίστε τον Bode Plotter όπως φαίνεται παρακάτω, και εκτελέστε προσομοίωση του κυκλώματος.



8. Χρησιμοποιώντας τον Bode Plotter μελετήστε την απόκριση πλάτους και βρείτε τη συχνότητα αποκοπής (f_c) του φίλτρου που μελετάμε. Συγκρίνετε την τιμή αυτή με την τιμή που υπολογίσατε στο βήμα 2.
9. Σχολιάστε.
10. Μελετήστε την απόκριση φάσης του φίλτρου και παρατηρήστε τη συχνότητα αποκοπής από αυτή.
11. Σχολιάστε.

27.19.4 Υπιπερατό φίλτρο

Το υπιπερατό (high pass) φίλτρο, αποκόπτει όλες τις συχνότητες που είναι χαμηλότερες από τη συχνότητα αποκοπής. Το εύρος ζώνης του υπιπερατού φίλτρου κυμαίνεται από τη συχνότητα αποκοπής στο άπειρο. Η κυκλωματική διάταξη ενός υπιπερατού φίλτρου αποτελείται από ένα στοιχείο αντίστασης και πυκνωτή (Σχ. 27.95).



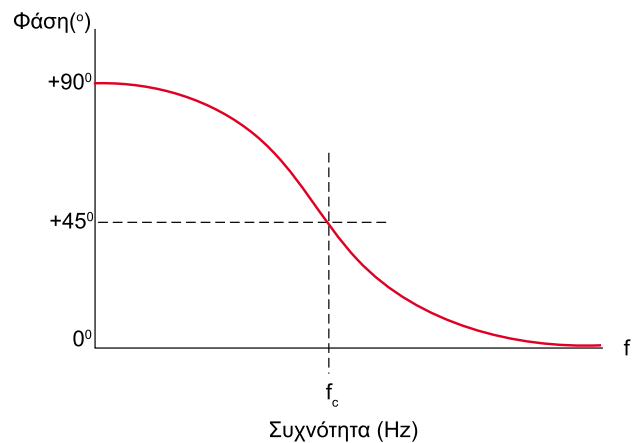
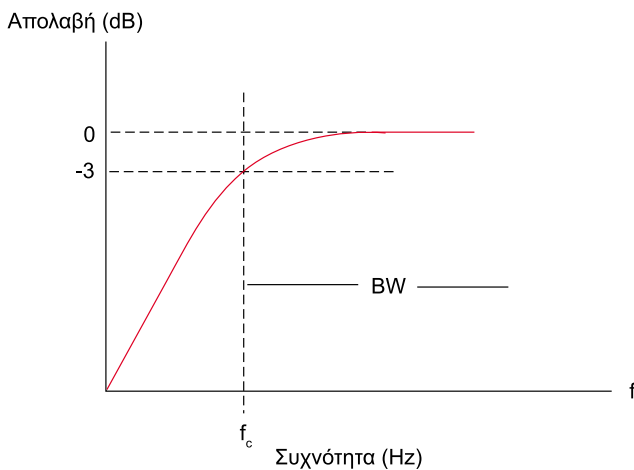
Σχήμα 27.95: α) Κυκλωματική διάταξη υπιπερατού φίλτρου RC και β) συμβολισμός φίλτρου

Στη συχνότητα αποκοπής του φίλτρου η απολαβή του φίλτρου είναι ίση με -3 dB (Σχ. 27.96). Η συχνότητα αποκοπής του βαθυπερατού φίλτρου δίνεται από τη σχέση:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Η διαφορά φάσης (Σχ. 27.97) του φίλτρου δίνεται από τη σχέση:

$$\varphi = 90 - \arctan(\omega RC) = 90 - \arctan\left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)$$



Σχήμα 27.96: Φασματική απόκριση υπιπερατού φίλτρου

Σχήμα 27.97: Απόκριση φάσης υπιπερατού φίλτρου RC

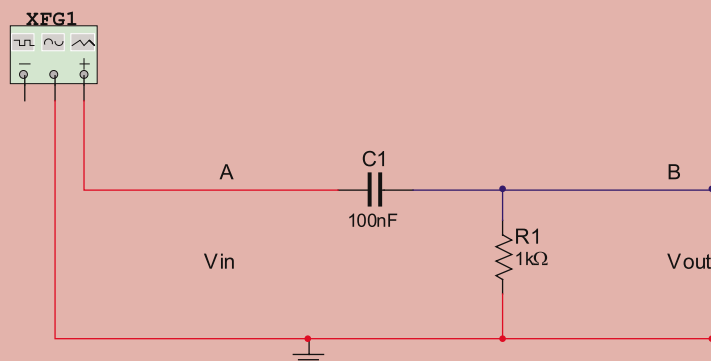
27.19.5 Εργαστηριακή εφαρμογή 2: Μελέτη υπιπερατού φίλτρου μέσω προσομοίωσης κυκλώματος

Για τη μελέτη ενός υπιπερατού φίλτρου, σχεδιάζουμε το φίλτρο στο λογισμικό MultiSIM.

Εργασίες

1. Υλοποιήστε την κυκλωματική διάταξη του φίλτρου.

Κυκλωματική Σχεδίαση

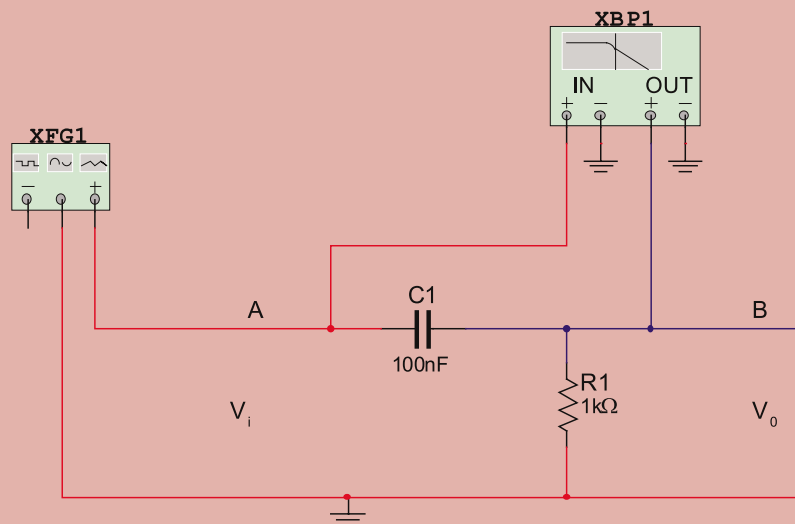


- Υπολογίστε την συχνότητα αποκοπής f_c του παραπάνω φίλτρου.
- Ρυθμίστε την γεννήτρια συναρτήσεων XFG1, ώστε παράγει το ακόλουθο σήμα: $y = 0,5\sin 10000\pi t$
Συνδέστε παλμογράφο δυο καναλιών στα σημεία A και B του κυκλώματος και εκτελέστε προσομοίωση. Μετρήστε την τιμή της τάσης εξόδου του κυκλώματος (V_o).
- Για κάθε τιμή της συχνότητας του σήματος εισόδου που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, εκτελέστε προσομοίωση στο κύκλωμα και καταγράψτε την τάση εξόδου του κυκλώματος.

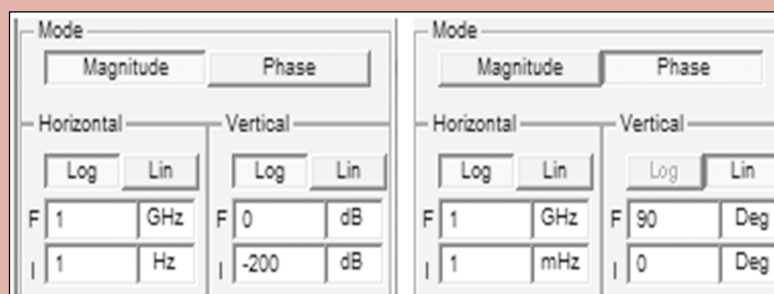
Συχνότητα Εισόδου f (KHz)	Τάση Εξόδου V_o (V)
4.8	
4.5	
3	
2	
1	
0.8	
0.5	
0.3	
0.1	

Τί παρατηρείτε καθώς μειώνεται η συχνότητα του σήματος εισόδου; Σχολιάστε.

- Ρυθμίστε πάλι την γεννήτρια συναρτήσεων έτσι, ώστε να δίνει το σήμα: $y = 0,5\sin 10000\pi t$
Συνδέστε έναν Bode Plotter στα σημεία A και B του κυκλώματος, όπως φαίνεται παρακάτω:



- Ρυθμίστε τον Bode Plotter όπως φαίνεται παρακάτω, και εκτελέστε προσομοίωση του κυκλώματος.



- Χρησιμοποιώντας τον Bode Plotter μελετήστε την απόκριση πλάτους και βρείτε τη συχνότητα αποκοπής (f_c) του φίλτρου που μελετάμε. Συγκρίνετε την τιμή αυτή με την τιμή που υπολογίσατε στο βήμα 2. Σχολιάστε.
- Μελετήστε επίσης και την απόκριση φάσης του φίλτρου και μετρήστε πάλι την συχνότητα αποκοπής από αυτή. Σχολιάστε.

27.19.6 Ζωνοδιαβατό ή φίλτρο διέλευσης ζώνης

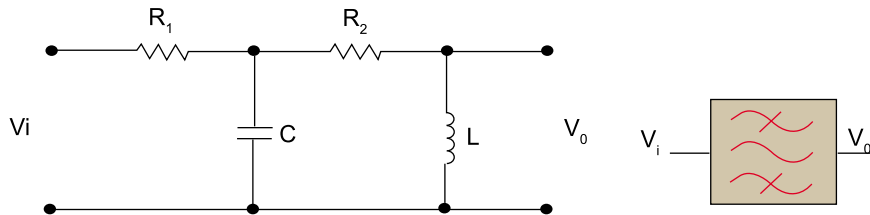
Το ζωνοδιαβατό φίλτρο ή φίλτρο διέλευσης ζώνης (band pass), αποκόπτει όλες τις συχνότητες εκτός του πεδίου τιμών που βρίσκονται μεταξύ της κάτω συχνότητας αποκοπής f_l και της άνω συχνότητα αποκοπής f_h . Ισχύει ότι:

$$f_h > f_l$$

Το εύρος ζώνης του υπερβατικού φίλτρου βρίσκεται μεταξύ της κατώτερης και της ανώτερης συχνότητας του πεδίου τιμών του φίλτρου.

$$W = f_h - f_l$$

Η κυκλωματική διάταξη ενός φίλτρου διέλευσης ζώνης αποτελείται από στοιχείο αντίστασης, πυκνωτή και πηνίου (Σχ. 27.98).



Σχήμα 27.98: α) Κυκλωματική διάταξη ζωνοδιαβατού φίλτρου και β) συμβολισμός φίλτρου.

Η συνάρτηση μεταφοράς του παραπάνω κυκλώματος δίνεται από τη σχέση:

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + \frac{R_1 R_2 C}{L} + j \left(R_1 C \omega - \frac{R_1 R_2}{\omega L} \right)}$$

Η κεντρική συχνότητα (f_0) του φίλτρου διέλευσης αντιστοιχεί στη μέγιστη μεταφορά ισχύος για την οποία ισχύει:

$$R_1 C \omega - \frac{(R_1 + R_2)}{\omega L} = 0$$

Οι συχνότητες αποκοπής του φίλτρου βρίσκονται συμμετρικά της κεντρικής συχνότητας και προκύπτουν από την ακόλουθη σχέση:

$$|G| = 20 \log \frac{|H(j\omega)_{\max}|}{\sqrt{2}} \text{ σε (dB).}$$

Ο συντελεστής ποιότητας του φίλτρου δίνεται από τη σχέση:

$$Q = \frac{f_0}{f_H - f_L} = \frac{f_0}{BW}$$

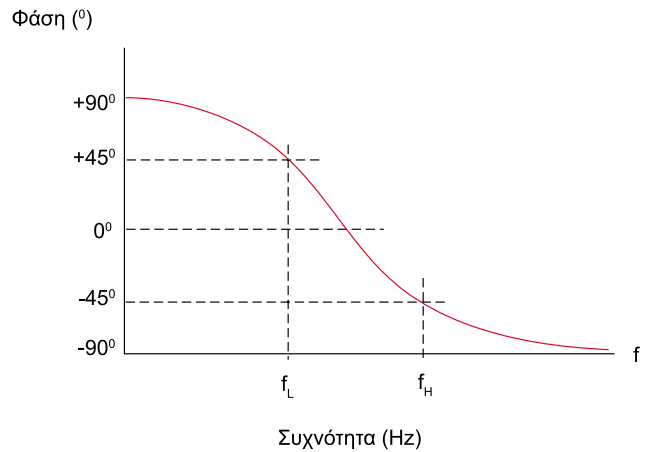
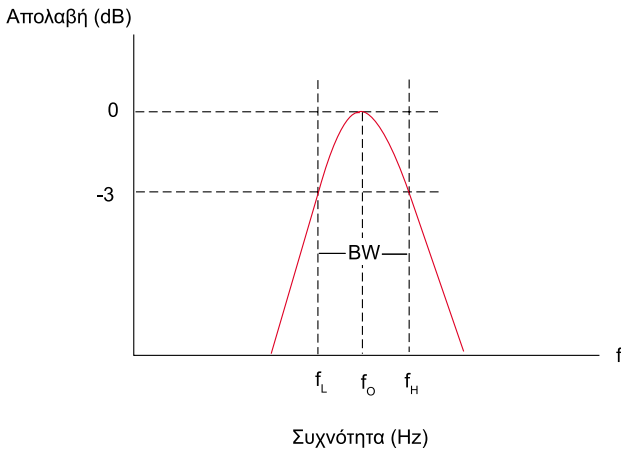
Στο Σχήμα 27.99 απεικονίζεται η φασματική απόκριση ζωνοδιαβατού φίλτρου, ενώ στο Σχήμα 27.100 η απόκριση φάσης του.

Με χρήση μόνο της αντίστασης (R_1) ισχύει:

$$\omega = 2\pi f, \quad \omega_c = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$Q = \frac{\omega_0}{BW} = \sqrt{\frac{R^2 C}{L}} \quad BW = \omega_h - \omega_l = \frac{1}{RC}$$

$$\omega_l = -\frac{1}{2RC} + \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 + \frac{1}{LC}} \quad \omega_h = \frac{1}{2RC} + \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 + \frac{1}{LC}}$$



Σχήμα 27.99: Φασματική απόκριση ζωνοδιαβατού φίλτρου.

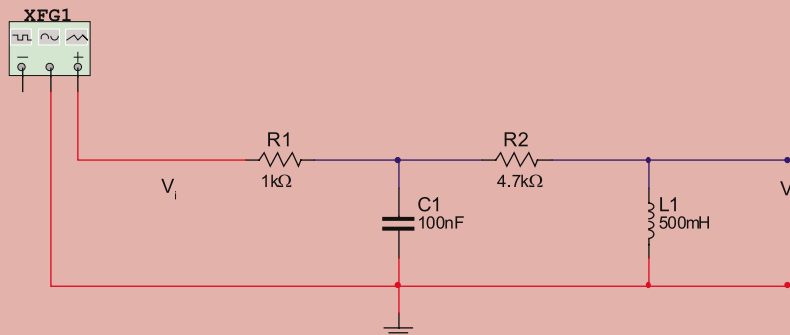
Σχήμα 27.100: Απόκριση φάσης ζωνοδιαβατού φίλτρου.

27.19.7 Εργαστηριακή εφαρμογή 3: Μελέτη ζωνοδιαβατού φίλτρου μέσω προσομοίωσης κυκλώματος

Για τη μελέτη ενός ζωνοδιαβατού φίλτρου σχεδιάζουμε το φίλτρο στο λογισμικό MultiSIM.

Εργασίες

1. Υλοποιήστε την κυκλωματική διάταξη του φίλτρου.



2. Υπολογίστε την κεντρική συχνότητα (f_0) του φίλτρου διέλευσης ζώνης συχνοτήτων του κυκλώματος.

$f_0 = \dots\dots\dots$

3. Ρυθμίστε τη γεννήτρια συναρτήσεων έτσι ώστε να δίνει το ακόλουθο ημιτονοειδές σήμα:

$$Y = 0,5 \sin (3400\pi)t, \omega = 2\pi f$$

4. Συνδέστε παλμογράφο με δύο κανάλια στην είσοδο (in) και την έξοδο του φίλτρου (out) και εκτελέστε προσομοίωση στην κυκλωματική διάταξη του φίλτρου. Ρυθμίστε τον παλμογράφο έτσι, ώστε να βλέπετε με ευκρίνεια τις κυματομορφές και μετρήστε το πλάτος της κυματομορφής εισόδου και το πλάτος της κυματομορφής εξόδου:

5. $V_i = \dots\dots\dots$ $V_o = \dots\dots\dots$

6. Συνδέστε έναν Bode Plotter στο φίλτρο και εκτελέστε προσομοίωση στην κυκλωματική διάταξη, προκειμένου να μετρήσετε την κεντρική συχνότητα (f_0) του φίλτρου καθώς και τις συχνότητες αποκοπής του φίλτρου (f_L και f_H).

$f_0 = \dots\dots\dots$ $f_L = \dots\dots\dots$ $f_H = \dots\dots\dots$

7. Κάντε σύγκριση της τιμής της κεντρικής συχνότητας (f_0) που μετρήσατε εδώ με την τιμή που υπολογίσατε στο βήμα 1. Σχολιάστε.

8. Χρησιμοποιήστε τον Bode Plotter και μετρήστε τις συχνότητες αποκοπής και την κεντρική συχνότητα από την απόκριση φάσης του φίλτρου. Συγκρίνετε τα αποτελέσματά σας με τα προηγούμενα ερωτήματα. Σχολιάστε.

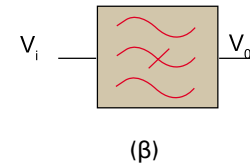
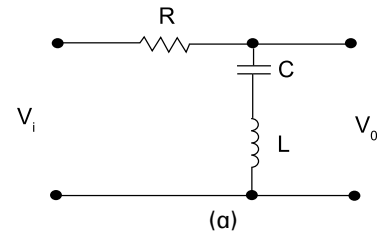
9. Υπολογίστε τον συντελεστή ποιότητας του φίλτρου (Q).

27.19.8 Ζωνοφραχτό ή Φίλτρο αποκοπής ζώνης

Το φίλτρο αποκοπής ζώνης ή ζωνοφραχτό φίλτρο (band stop), αποκόπτει όλες τις συχνότητες που περιλαμβάνονται σε ένα πεδίο τιμών εντός της ζώνης του φίλτρου, επιτρέποντας τη διέλευση όλων των υπολοίπων συχνοτήτων. Η κυκλωματική διάταξη ενός ζωνοφραχτού φίλτρου αποτελείται από στοιχείο αντίστασης, πυκνωτή και πηνίου (Σχ. 27.101).

Η συνάρτηση μεταφοράς του παραπάνω φίλτρου δίνεται από τη σχέση:

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 - j \frac{R}{\omega L - \frac{1}{\omega C}}}$$



Σχήμα 27.101:

α) Κυκλωματική διάταξη ζωνοφραχτού φίλτρου και β) συμβολισμός φίλτρου.

Ο συντελεστής ποιότητας του φίλτρου είναι:

$$Q = \frac{f_0}{f_h - f_l} = \frac{f_0}{BW}$$

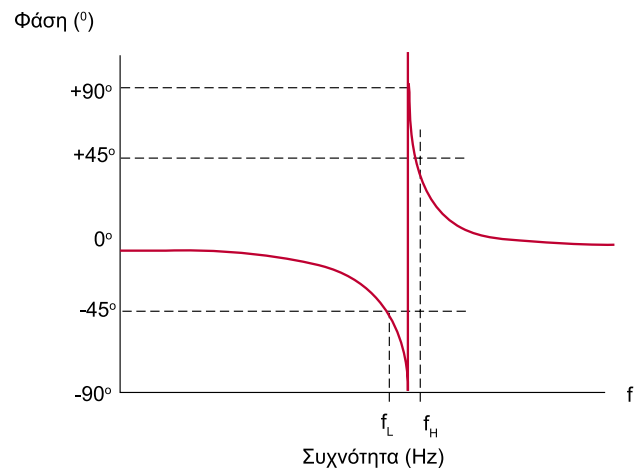
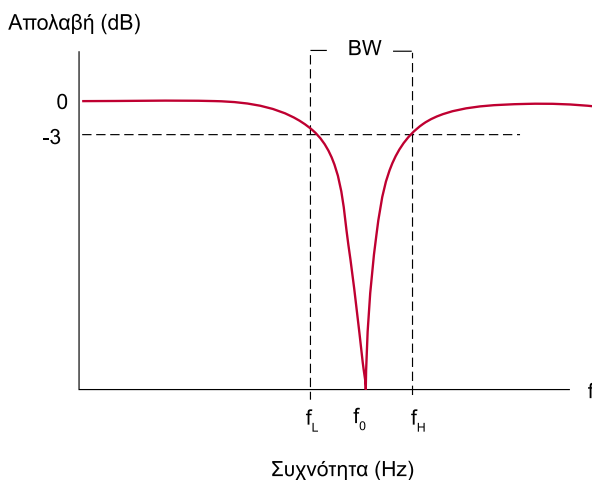
Ισχύουν οι σχέσεις:

$$\omega = 2\pi f, \quad \omega_c = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$Q = \frac{\omega_0}{BW} = \sqrt{\frac{L}{R^2 C}} \quad BW = \omega_h - \omega_l = \frac{R}{L}$$

$$\omega_l = -\frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \frac{1}{LC}} \quad \omega_h = \frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \frac{1}{LC}}$$

Στο Σχήμα 27.102 απεικονίζεται η φασματική απόκριση ζωνοφραχτού φίλτρου, ενώ στο Σχήμα 27.103 η απόκριση φάσης.



Σχήμα 27.102: Φασματική απόκριση ζωνοφραχτού φίλτρου.

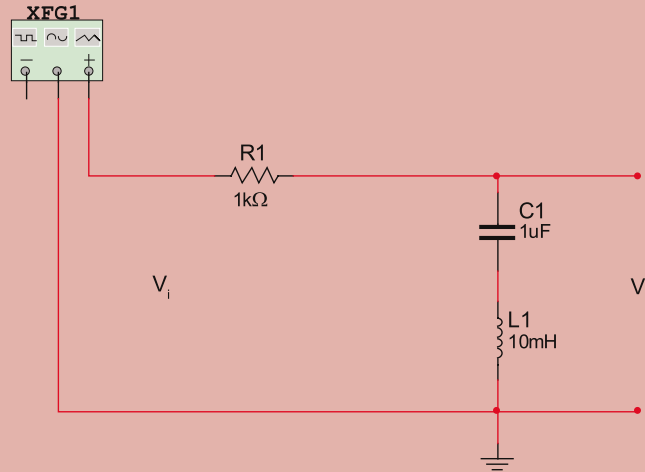
Σχήμα 27.103: Απόκριση φάσης ζωνοφραχτού φίλτρου.

27.19.9 Εργαστηριακή εφαρμογή 4: Μελέτη ζωνοφρακτού φίλτρου μέσω προσομοίωση κυκλώματος

Για τη μελέτη ενός ζωνοφρακτού φίλτρου σχεδιάζουμε το φίλτρο στο λογισμικό MultiSIM.

Εργασίες

1. Υλοποιήστε την κυκλωματική διάταξη του φίλτρου.



2. Υπολογίστε την κεντρική συχνότητα (f_0) του ζωνοφρακτού φίλτρου.

$f_0 = \dots\dots\dots$

3. Ρυθμίστε τη γεννήτρια συναρτήσεων έτσι, ώστε να δίνει το ακόλουθο ημιτονοειδές σήμα:

$$Y = 0,5 \sin (1000\pi)t, \omega = 2\pi f$$

4. Συνδέστε παλμογράφο με δύο κανάλια στην είσοδο (in) και την έξοδο του φίλτρου (out) και εκτελέστε προσομοίωση στην κυκλωματική διάταξη του φίλτρου. Ρυθμίστε τον παλμογράφο έτσι, ώστε να βλέπετε με ευκρίνεια τις κυματομορφές και μετρήστε το πλάτος της κυματομορφής εισόδου και το πλάτος της κυματομορφής εξόδου:

$V_i = \dots\dots\dots$, $V_o = \dots\dots\dots$

5. Συνδέστε έναν Bode Plotter στο φίλτρο και εκτελέστε προσομοίωση στην κυκλωματική διάταξη, προκειμένου να μετρήσετε την κεντρική συχνότητα (f_0) του φίλτρου, καθώς και τις συχνότητες αποκοπής του φίλτρου (f_l και f_h).

$f_0 = \dots\dots\dots, f_L = \dots\dots\dots, f_H = \dots\dots\dots$

Κάντε σύγκριση της τιμής της κεντρικής συχνότητας (f_0) που μετρήσατε εδώ με την τιμή που υπολογίσατε στο βήμα 1. Σχολιάστε.

6. Χρησιμοποιήστε τον Bode Plotter και μετρήστε τις συχνότητες αποκοπής και την κεντρική συχνότητα από την απόκριση φάσης του φίλτρου. Συγκρίνετε τα αποτελέσματά σας με τα αποτελέσματα των προηγούμενων ερωτημάτων. Σχολιάστε.

7. Υπολογίστε τον συντελεστή ποιότητας του φίλτρου (Q).

27.20 Ενεργά φίλτρα

Το πλεονέκτημα που παρουσιάζουν τα ενεργά φίλτρα έναντι των παθητικών είναι ότι γίνεται δυνατή η ρύθμιση του συντελεστή ποιότητας του φίλτρου με χρήση αντιστάσεων που καθορίζουν το λόγο ενίσχυσης των κυκλωματικών στοιχείων. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τυπικά κυκλώματα ενεργών φίλτρων.

27.20.1 Τοπολογία Sallen-Key

Η τοπολογία της διάταξης του κυκλώματος του Σχήματος 27.104 που φέρει ενισχυτή ελεγχόμενο από τάση (Voltage Controller Voltage Source, VCVS) καλείται τοπολογία Sallen-Key (R.P. Sallen και E. L. Key, 1955). Η τοπολογία Sallen-Key σε χρήση ενεργών φίλτρων επιτρέπει τη ρύθμιση του συντελεστή