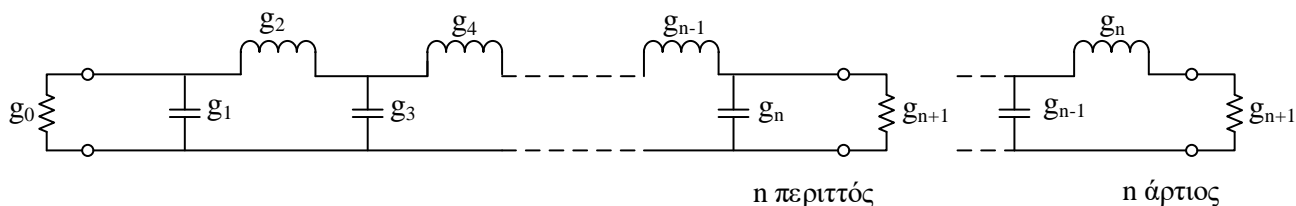


# ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

## ΜΑΘΗΜΑ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΑ

### 1η Άσκηση: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΒΑΘΥΠΕΡΑΤΟΥ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ

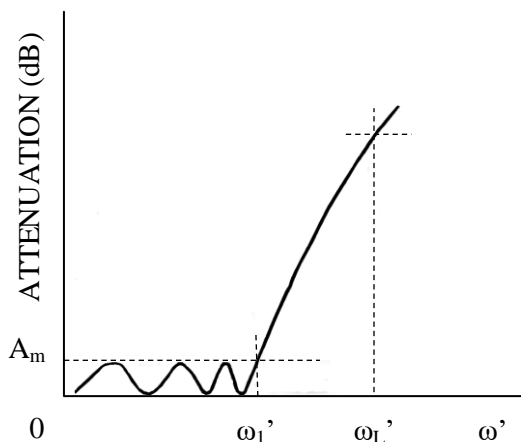
Ο συνδυασμός των πυκνωτών και των πηνίων στο Σχήμα 1 αποτελεί ένα βαθυπερατό φίλτρο αφού όπως θα μπορούσε κανείς να παρατηρήσει στις υψηλές συχνότητες οι πυκνωτές συμπεριφέρονται ως βραχυκυκλώματα ενώ τα πηνία ως ανοιχτοκυκλώματα.



Σχήμα 1. Συνδεσμολογία βαθυπερατών φίλτρων.

Το πρόβλημα λοιπόν που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε είναι η κατάλληλη επιλογή των τιμών των στοιχείων ώστε να ικανοποιούνται κάποιες συγκεκριμένες προδιαγραφές που μας έχουν δοθεί.

Μία από τις πιο διαδεδομένες λύσεις είναι η equal-ripple (Chebyshev) απόκριση όπως φαίνεται στο Σχήμα 2. Στο σχήμα αυτό  $A_m$  είναι η επικρατέστερη εξασθένιση στη ζώνη διέλευσης.



Σχήμα 2. Απόκριση equal-ripple.

Στην απόκριση Chebyshev η τιμή της εξασθένισης παραμένει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο  $A_m$  έως μία συγκεκριμένη συχνότητα  $\omega_1'$  και κατόπιν αυξάνεται μονότονα με την αύξηση της συχνότητας. Η εξασθένιση σε decibels στη ζώνη διέλευσης δίνεται από τη σχέση:

$$A = 10 \cdot \log [1 + (10^{A_m/10} - 1) \cdot \cos^2 (n \cdot \cos^{-1} \omega') ]$$

ενώ στη ζώνη αποκοπής από τη σχέση:

$$A = 10 \cdot \log [1 + (10^{A_m/10} - 1) \cdot \cosh^2 (n \cdot \cosh^{-1} \omega') ]$$

όπου  $n$  είναι ο βαθμός του φίλτρου,  $A_m$  είναι το εύρος της κυμάτωσης σε dB και  $\omega'_1$  είναι το εύρος ζώνης για το οποίο η εξασθένιση έχει τιμή μικρότερη από  $A_m$ .

Με τη βοήθεια των παραπάνω σχέσεων ή ειδικών νομογραμμάτων είναι δυνατός ο προσδιορισμός του  $n$  όταν έχουμε ως δεδομένα το εύρος της κυμάτωσης, το εύρος ζώνης και την εξασθένιση σε συγκεκριμένη συχνότητα που βρίσκεται στη ζώνη αποκοπής.

Οι τιμές των στοιχείων  $g_k$ , όπως φαίνονται στο σχήμα 1, για απόκριση Chebyshev μπορούν να υπολογιστούν από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$g_0 = 1,$$

$$g_1 = \frac{4 \cdot a_1}{\gamma},$$

$$g_k = \frac{4 \cdot a_{k-1} \cdot a_k}{b_{k-1} \cdot g_{k-1}}, \quad \text{με } k = 2, 3, \dots, n$$

και  $g_{n+1} = 1$  όπου  $n$  περιττός

ή  $g_{n-1} = \coth^2 (\beta/4)$  όπου  $n$  άρτιος

όπου

$$a_k = \sin \frac{(2k-1)\pi}{2n},$$

$$b_k = \gamma^2 + \sin^2 \frac{k\pi}{n},$$

$$\beta = \ln \left( \coth \frac{A_m}{17.37} \right) \quad \text{και}$$

$$\gamma = \sinh \frac{\beta}{2n}$$

Έχοντας υπολογίσει τις τιμές  $g_k$  μπορούμε στη συνέχεια να βρούμε τις τιμές των στοιχείων χρησιμοποιώντας τους παρακάτω μετασχηματισμούς:

$$L_k = g_k \cdot \left( \frac{Z_0}{\omega_{LP}} \right),$$

$$C_k = g_k \cdot \left( \frac{1}{\omega_{LP} \cdot Z_0} \right),$$

όπου  $\omega_{LP}$ , είναι το απαιτούμενο εύρος ζώνης.

Εάν στη θέση των συγκεντρωμένων στοιχείων επιθυμούμε να χρησιμοποιήσουμε κατανεμημένα στοιχεία όπως συμβαίνει στην περίπτωση μας τότε πρέπει να αντικαταστήσουμε τους πυκνωτές και τα πηνία με γραμμές μεταφοράς.

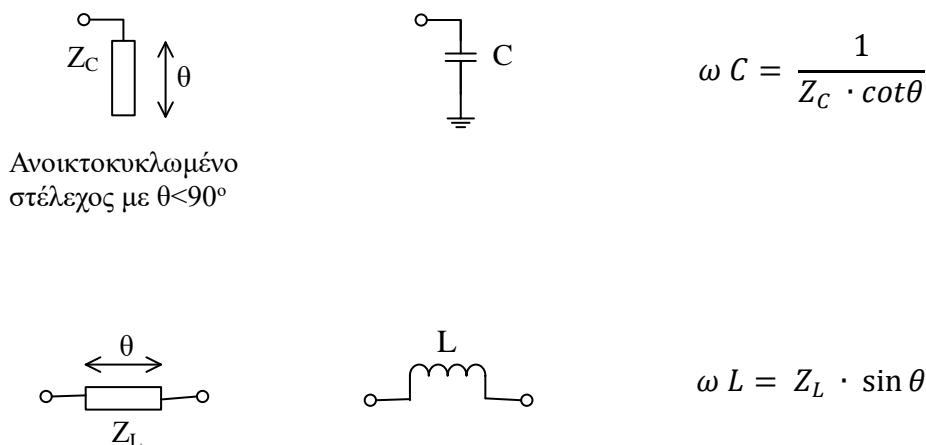
Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται τα στελέχη γραμμών μεταφοράς που ισοδυναμούν με πυκνωτή τοποθετημένο παράλληλα προς τη γη και πηνίο τοποθετημένο εν σειρά με το υπόλοιπο κύκλωμα. Τα στελέχη αυτά θα χρησιμοποιηθούν για τη σχεδίαση του φίλτρου. Συγκεκριμένα, ο πυκνωτής που είναι τοποθετημένος παράλληλα προς τη γη μπορεί να αντικατασταθεί από ένα ανοικτοκυκλωμένο στέλεχος γραμμής μεταφοράς ηλεκτρικού μήκους  $\theta < 90^\circ$  και χαρακτηριστικής αντίστασης  $Z_C$  μικρότερη από  $50\Omega$ . Η σχέση που συνδέει τα χαρακτηριστικά μεγέθη του στελέχους με την τιμή του πυκνωτή είναι:

$$\omega C = \frac{1}{Z_C \cdot \cot\theta}$$

Το εν σειρά συνδεδεμένο πηνίο μπορεί να αντικατασταθεί από τμήμα γραμμής μεταφοράς ηλεκτρικού μήκους  $\theta$  και χαρακτηριστικής αντίστασης  $Z_L$ , μεγαλύτερη από  $50\Omega$ . Η σχέση που συνδέει τα χαρακτηριστικά μεγέθη του τμήματος της γραμμής μεταφοράς με την τιμή του πηνίου είναι:

$$\omega L = Z_L \cdot \sin\theta$$

Στις σχέσεις αυτές  $\theta$  είναι το ηλεκτρικό μήκος της γραμμής και ισχύει  $\theta = 2 \cdot \beta \cdot l$  όπου  $\beta = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$  η σταθερά διάδοσης και  $l$  το φυσικό μήκος της γραμμής.



Σχήμα 3. Στελέχη γραμμών μεταφοράς που ισοδυναμούν σε συγκεντρωμένα στοιχεία  $L$  και  $C$ .

### Ζητούμενα

Να σχεδιαστεί βαθυπερατό φίλτρο τύπου Chebyshev 5<sup>ου</sup> βαθμού με ripple=0.2 dB και εύρος ζώνης διέλευσης που ορίζεται για κάθε φοιτητή ως εξής: Επιλέγεται τη συχνότητα από τον Πίνακα 1 που

αντιστοιχεί στο No. που είναι ίδιο με το τελευταίο ψηφίο του αριθμού μητρώου σας.

No.	Εύρος ζώνης διέλευσης (GHz)
0	1
1	1.5
2	2
3	2.5
4	3
5	3.5
6	4
7	4.5
8	5
9	5.5

Πίνακας 1.

Για ευκολία δίνεται ότι οι τιμές των στοιχείων  $g_k$  για φίλτρο Chebyshev 5<sup>ου</sup> βαθμού με ripple=0.2dB είναι:

$$g_1 = 1.3394, g_2 = 1.3370, g_3 = 2.1660, g_4 = 1.3370 \text{ και } g_5 = 1.3394$$

Τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος πάνω στο οποίο θα σχεδιαστούν οι γραμμές μεταφοράς δίνονται:

-Σχετική διηλεκτρική επιτρεπτότητα:	$\epsilon_r = 3.38$
-Πάχος διηλεκτρικού υποστρώματος:	$h = 0.51 \text{ mm}$
-Πάχος αγωγού πάνω στο διηλεκτρικό υπόστρωμα:	$\tau = 50 \text{ }\mu\text{m}$
-Απώλειες διηλεκτρικού:	$\text{tand} = 0.0035$

Να πραγματοποιηθεί εξομοίωση με τη βοήθεια του προγράμματος HP-ADS και να παρουσιασθούν οι συντελεστές ανάκλασης και μετάδοσης του φίλτρου τόσο με συγκεντρωμένα στοιχεία (ιδανικούς πυκνωτές και ιδανικά πηνία) όσο και με κατανεμημένα στοιχεία (μικροταινιακές γραμμές μεταφοράς). Τα αποτελέσματα να παρουσιασθούν τόσο σε μεγάλο εύρος ζώνης ώστε να φαίνεται η εξασθένιση στη ζώνη αποκοπής, όσο και σε μικρότερο εύρος ζώνης ώστε να φαίνεται καθαρά το ripple της απόκρισης.