

# Σύνθεση Ενεργών και Παθητικών Κυκλωμάτων Σχεδίαση Ζωνοφρακτικού Φίλτρου Chebyshev

Νοέμβριος 2019

## 1 Περιγραφή προβλήματος

Να σχεδιασθεί ένα ζωνοφρακτικό φίλτρο Chebyshev το οποίο να πληροί τις παρακάτω προδιαγραφές συχνότητας και απόσβεσης. Οι παράμετροι των προδιαγραφών προκύπτουν κατά περίπτωση με βάση το AEM του κάθε φοιτητή ( $AEM = [a_1, a_2, a_3, a_4]$ ).

## 2 Προδιαγραφές του προβλήματος

Οι συχνότητες  $f_1, f_0$  υπολογίζονται σύμφωνα με την Εξίσωση (1). Οι υπόλοιπες συχνότητες ( $f_2, f_3, f_4$ ) προκύπτουν από την Εξίσωση (2). Οι προδιαγραφές απόσβεσης δίνονται από την Εξίσωση (3).

$$f_0 = 1.05 \text{ kHz}, \quad f_1 = 725 + 25 \times a_4 \text{ Hz} \quad (1)$$

$$f_2 = \frac{f_0^2}{f_1}$$
$$f_3 = \frac{-D + \sqrt{D^2 + 4 \times f_0^2}}{2}, \quad \text{με } D = \frac{1}{1.8} \times \frac{f_0^2 - f_1^2}{f_1} \quad (2)$$

$$f_4 = \frac{f_0^2}{f_3}$$

$$a_{min} = 25 + \frac{a_3 - 5}{10} \text{ (dB)}$$
$$a_{max} = 0.5 + \frac{a_4}{10} \text{ (dB)} \quad (3)$$

## 3 Σχεδίαση του φίλτρου

### 3.1 Υπολογισμός της Συνάρτησης Μεταφοράς

Στο πλαίσιο της διαδικασίας σχεδίασης να υπολογισθούν τα ακόλουθα στοιχεία:

- Η τάξη του φίλτρου που απαιτείται
- Η συχνότητα ημίσειας ισχύος
- Οι πόλοι και τα μηδενικά αν υπάρχουν της συνάρτησης μεταφοράς καθώς και τα αντίστοιχα  $Q$  των ριζών.

### 3.2 Υλοποίηση της Συνάρτησης Μεταφοράς

**Κυκλώματα** Για την υλοποίηση της συνάρτησης μεταφοράς να χρησιμοποιηθούν τα ζωνοφρακτικά κυκλώματα του Σχ. 7.21 για τα φίλτρα Notch και επίσης:

Τα κυκλώματα των Σχ. 7.21 και 7.23 για την υλοποίηση των φίλτρων HPN και LPN αν  $a_3 \in \{2, 3, 4, 5, 6\}$

Τα κυκλώματα Boctor του Σχ. 7.24 με χρήση της συνάρτησης BoctorHigh-Pass.m που υπάρχει στο eTHMMY για την υλοποίηση των φίλτρων HPN και LPN αν  $a_3 \in \{7, 8, 9, 0, 1\}$

**Κλιμακοποίηση** Η κλιμακοποίηση των φίλτρων να γίνει έτσι ώστε οι μονάδες Notch να έχουν έναν τουλάχιστον πυκνωτή με τιμή:

$1.0\mu F$  αν  $a_2 \in \{1, 2, 3\}$

$0.1\mu F$  αν  $a_2 \in \{4, 5, 6, 7\}$

$0.01\mu F$  αν  $a_2 \in \{8, 9, 0\}$

**Ρύθμιση κέρδους** Να γίνει ρύθμιση κέρδους έτσι ώστε το κέρδος του φίλτρου στις χαμηλές συχνότητες να είναι:

$0\text{ dB}$  αν  $a_4 \in \{9, 0, 1, 2\}$

$5\text{ dB}$  αν  $a_4 \in \{3, 4, 5\}$

$10\text{ dB}$  αν  $a_4 \in \{6, 7, 8\}$

## 4 Υλοποίηση της Συνάρτησης Μεταφοράς

Να εισάγετε τη συνολική συνάρτηση μεταφοράς στο MATLAB. Κατόπιν, κάνοντας χρήση της συνάρτησης `plot_transfer_function` που βρίσκεται στο eTHMMY να δείξετε τα παρακάτω στοιχεία:

- Τις αποκρίσεις πλάτους σε  $dB$  των επί μέρους συναρτήσεων μεταφοράς των μονάδων.
- Την απόκριση πλάτους της συνολικής συνάρτησης μεταφοράς.
- Τη συνάρτηση απόσβεσης σε  $dB$  της συνολικής συνάρτησης μεταφοράς συναρτήσει της συχνότητας.

- Στη συνάρτηση απόσβεσης να σημειώσετε τις κρίσιμες συχνότητες οι οποίες καθορίζουν τη ζώνη διόδου και αποκοπής καθώς και τις αντίστοιχες αποσβέσεις, έτσι ώστε να φανεί ότι η απόκριση πληροί τις προδιαγραφές οι οποίες έχουν τεθεί στο πρόβλημα.

Επιβεβαιώστε ότι η συνάρτηση μεταφοράς στον τίτλο του κάθε σχήματος είναι ευάγνωστη και πραγματοποιήστε το κατάλληλο zoom για να φαίνεται ευδιάκριτα η απόκριση του φίλτρου στις κρίσιμες συχνότητες.

## 5 Υλοποίηση του κυκλώματος στο Multisim

Στόχος του τμήματος αυτού της εργασίας είναι:

- να διαπιστώσουμε ότι το κύκλωμα που έχει σχεδιασθεί, πράγματι υλοποιεί τη συνολική συνάρτηση μεταφοράς που αναλύθηκε στο προηγούμενο στάδιο της εργασίας, και
- να διερευνήσουμε την απόκριση του φίλτρου όταν αυτό διεγείρεται από ένα στοιχειώδες περιοδικό σήμα.

Για το σκοπό αυτό να γίνουν τα ακόλουθα:

- Να εισαχθούν στο περιβάλλον Multisim οι διάφορες μονάδες του φίλτρου οι οποίες έχουν σχεδιασθεί στην προηγούμενη φάση της εργασίας.
- Να χρησιμοποιηθεί ο Bode\_Plotter και να προκύψει η απόκριση συχνότητας του φίλτρου-κυκλώματος. Ελέγχοντας κατάλληλα τις κλίμακες συχνότητας και απόσβεσης, να διαπιστωθεί ότι το φίλτρο πληροί τις προδιαγραφές απόσβεσης που έχουν τεθεί. Να εξάγετε το αντίστοιχο figure μέσω της εντολής Simulate → Analysis → AC analysis σε λευκό φόντο. Είναι απαραίτητο να σημειώσετε την απόκριση στις κρίσιμες συχνότητες του φίλτρου.
- Να εισάγετε με μια πηγή διέγερσης ένα περιοδικό σήμα και συγκεκριμένα:

α) Αν  $a_4 \in \{5, 6, 7\}$  ένα περιοδικό σήμα της μορφής:

$$f(t) = 0.8 \cos \left( \left( \omega_0 - \frac{\omega_0 - \omega_3}{2} \right) t \right) + 1.0 \cos \left( \left( \omega_0 + \frac{\omega_0 + \omega_3}{2} \right) t \right) + \cos(0.5\omega_1 t) + 0.8 \cos(2.4\omega_2 t) + 0.4 \cos(3.5\omega_2 t)$$

β) Αν  $a_4 \in \{2, 3, 4\}$  ένα περιοδικό σήμα της μορφής:

$$f(t) = \cos \left( \left( \omega_0 - \frac{\omega_0 - \omega_3}{3} \right) t \right) + 0.6 \cos \left( \left( \omega_0 + \frac{\omega_0 + \omega_3}{4} \right) t \right) + 0.7 \cos(0.5\omega_1 t) + 0.8 \cos(2.4\omega_2 t) + 0.6 \cos(3\omega_2 t)$$

γ) Αν  $a_4 \in \{8, 9, 0, 1\}$  ένα περιοδικό σήμα της μορφής:

$$f(t) = 0.5 \cos \left( \left( \omega_0 - \frac{\omega_0 - \omega_3}{2} \right) t \right) + 0.8 \cos \left( \left( \omega_0 + \frac{\omega_0 + \omega_3}{3} \right) t \right) + 0.8 \cos(0.4\omega_1 t) + 0.6 \cos(2.5\omega_2 t) + 1.2 \cos(3\omega_2 t)$$

Στη συνέχεια, να χρησιμοποιήσετε έναν παλμογράφο στην είσοδο και την έξοδο. Να δημιουργήσετε το αντίστοιχο figure για τα σήματα εισόδου και εξόδου στο χρόνο (Simulate → Analysis → Transient Analysis, καθώς και για τα φάσματα αυτών (Simulate → Analysis → Fourier Analysis) σε λευκό φόντο.

- Ταυτόχρονα, να δημιουργηθεί στο MATLAB το υπό εξέταση σήμα εισόδου. Να χρησιμοποιηθούν οι εντολές `fft` καθώς και η εντολή `lsim` ούτως ώστε να εξαχθούν τα φάσματα των σημάτων εισόδου και εξόδου του φίλτρου.
- Με βάση τα παραπάνω, να σχολιάσετε το σήμα που διεγείρει και το σήμα που προκύπτει στην έξοδο του φίλτρου από απόψεως περιεχομένου συχνοτήτων, και να συγκριθούν τα θεωρητικά αποτελέσματα με τα πειραματικά.

## 6 Παρουσίαση της Εργασίας

Η αναφορά της εργασίας σας είναι εξίσου σημαντική με τη δημιουργία ενός φίλτρου που καλύπτει τις προδιαγραφές. Θα πρέπει να είστε αναλυτικοί και να δίνετε την απαραίτητη συζήτηση στα σχήματά σας. Ειδικότερα, θα πρέπει:

1. Να περιγράφονται αναλυτικά τα στάδια της επεξεργασίας του θέματος, δηλαδή πως βρίσκεται η τάξη του φίλτρου, οι πόλοι και τα μηδενικά, πως σχεδιάζονται οι μονάδες, πως κλιμακοποιούνται κτλ.
2. Να ενσωματώσετε όλα τα figures του MATLAB που αφορούν τις αποκρίσεις πλάτους και απόσβεσης και να γίνεται σχολιασμός.
3. Να ενσωματώσετε όλα τα figures του Multisim που αφορούν την μελέτη του φίλτρου-κυκλώματος, δηλαδή τις αποκρίσεις της AC analysis, τα σήματα των παλμογράφων εισόδου/εξόδου, τα φάσματα των σημάτων εισόδου/εξόδου. Για τα φάσματα θα πρέπει να ενσωματώσετε και τα αποτελέσματα της θεωρητικής ανάλυσης μέσω MATLAB. Τα αποτελέσματα της θεωρητικής ανάλυσης (MATLAB) θα πρέπει να συγκριθούν με αυτά της πειραματικής (Multisim), πραγματοποιώντας τον απαραίτητο σχολιασμό αναφορικά με τα χαρακτηριστικά απόσβεσης του φίλτρου καθώς επίσης και με το φασματικό περιεχόμενο των σημάτων εισόδου/εξόδου.

Η εργασία θα παραδοθεί ηλεκτρονικά, όπου και θα ενσωματώσετε σε ένα συμπιεσμένο αρχείο zip που θα φέρει το όνομα AEM\_επίθετο:

- Την αναφορά της εργασίας σε αρχείο PDF με όνομα AEM\_επίθετο.pdf
- Όλα τα πηγαία αρχεία από το MATLAB
- Πηγαία αρχεία από το Multisim

Η προσκόμιση των ηλεκτρονικών αρχείων από το MATLAB και το Multisim είναι **απαραίτητη**. Ειδικότερα τα αρχεία MATLAB θα πρέπει να περιγράφουν πλήρως την επίλυση και να μην παρουσιάζουν απλώς ήδη υπολογισμένες συναρτήσεις μεταφοράς.