ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

7ο ΕΞΑΜΗΝΟ

ΕΡΓΑΣΙΑ #2

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΘΕΟΧΑΡΗΣ Ι.

Όνομα : ΘΑΝΑΣΗΣ ΧΑΡΙΣΟΥΔΗΣ

Α.Ε.Μ. : 9026

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 28 Ιουλίου 2019

Περιεχόμενα

ΖΩΝΟΔΙΑΒΑΤΟ ΦΙΛΤΡΟ INVERSE CHEBYSEV

“Να σχεδιασθεί ένα ζωνοδιαβατό φίλτρο Inverse Chebysev το οποίο να πληροί τις παρακάτω προδιαγραφές συχνότητας και απόσβεσης:

f_1 = 1.55KHz, f_2 = 1.756KHz, f_3 = 1.412KHz, f_3 = 1.928KHz

a_{max} = 0.5667 dB, a_{min} = 35.11 dB”

A. Αναλυτική Σχεδίαση του Φίλτρου

Βάσει του ΑΕΜ = 9026 προέκυψαν οι παραπάνω προδιαγραφές σχεδίασης. Επίσης:

$\omega_1 = 2\pi * f_1 = 27646.015$rad/s

$\omega_2 = 2\pi * f_2 = 52527.429$rad/s

$\omega_3 = 2\pi * f_3 = 27646.015$rad/s

$\omega_4 = 2\pi * f_4 = 52527.429$rad/s

και επίσης

bw = $\omega_2 - \omega_1$ = 1297.17 Hz

ω_0 = sqrt($\omega_1 * \omega_2$) = 10367.26 Hz

$q_c = \omega_0$ / bw = 7.99

ενώ επειδή ΑΕΜ(2) = 0, το κέρδος στη ζώνη διεύλεσης (π.χ. στη συχνότητα ω0) πρέπει να είναι **10dB**.

- **Υπολογισμός της Συνάρτησης Μεταφοράς**

Υπολογισμός παραμέτρων πρωτότυπου LPF

Στους υπολογισμούς στα BE φίλτρα, θεωρείται ότι $\Omega_p = 1$. Για να γίνει αυτό, θέτουμε:
$\Omega_p = 1$
$\Omega_s = (\omega_4 - \omega_3) / bw = 2.5$

Όμως επειδή το πρωτότυπο LP φίλτρο θα προσεγγιστεί κατά Inverse Chebysev, πριν ξεκινήσουμε να υπολογίσουμε την Συνάρτηση Μεταφοράς κανονικοποιούμε τις συχνότητες ώστε Ω_s = 1. Έτσι, θα είναι:
$\mathbf{\Omega_p = \Omega_p / \Omega_s = 0.4}$
$\mathbf{\Omega_s = 1}$

Αρχικά θα υπολογίσουμε την τάξη n του φίλτρου και τη συχνότητα ημίσειας ισχύος προσεγγίζοντας το πρωτότυπο κατωδιαβατό φίλτρο κατά Inverse Chebysev:

$n = \cosh^{-1}(\text{sqrt}((10 \wedge (0.1 * a_{min}) - 1) / (10 \wedge (0.1 * a_{max}) - 1))) / \cosh^{-1}(1 / \Omega_p) = 3.651 \Rightarrow \mathbf{n = 4}$

Πρίν υπολογίσουμε την συχνότητα ημίσειας ισχύος, υπολογίζουμε την παράμετρο ε για αντίστροφο Chebysev φίλτρο, ως εξής:

$\varepsilon = 1 / \text{sqrt}(10 \wedge (0.1 * a_{min}) - 1) = 0.0176$

Θα υπολογίσουμε τώρα την κανονικοποιημένη (ως προς τη συχνότητα αποκοπής) συχνότητα ημίσειας ισχύος από τον τύπο

$\Omega_{hp} = 1 / \cosh((1 / n) * \cosh^{-1}(1 / \varepsilon)) = 0.5598$

όπου φαίνεται ότι $\Omega_{hp} < 1$ (όπως πρέπει για αντίστροφο Chebysev φίλτρο) και από όπου προκύπτει (μετά την από-κανονικοποίηση).

Για την εύρεση των πόλων της ΣΜ Inverse Chebysev LPF ακολουθούμε τα εξής βήματα:

- βρίσκουμε τις γωνίες Butterworth
- εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο του Guillemin για να πάρουμε τους πόλους της ΣΜ Chebysev LPF
- αντιστρέφουμε τους πόλους Chebysev για να πάρουμε τους πόλους της ΣΜ Inverse Chebysev LPF

Για n = 4, οι γωνίες Butterworth είναι:

$\psi_{1,2} = \pm 22.5^o$

$\psi_{3,4} = \pm 67.5^o$

Εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο Guillemin με παράμετρο α:

$a = (1 / n) * \sinh^{-1}(1 / \varepsilon) = 1.1838$

σύμφωνα με τον οποίο οι πόλοι της ΣΜ Chebysev θα είναι

$\sigma_k = \sinh a * \cos\psi_k$

$\pm\omega_k = \cosh a * \sin\psi_k$

και άρα παίρνουμε τους πόλους ΣΜ Chebysev LPF:

k	**Q_k**	**Ω_k**	**p_κ**
1,2	0.559	1.529	-1.368 ± j0.684
3,4	1.540	1.745	-0.567 ± j1.651

Αντιστρέφοντας τους παραπάνω πόλους παίρνουμε τους πόλους της ΣΜ Inverse Chebysev LPF:

k	**Q_k**	**Ω_k**	**p_κ**
1,2	0.559	0.654	-0.585 ± j0.292
3,4	1.540	0.573	-0.186 ± j0.542

Ακολούθως, βρίσκουμε τα μηδενικά της ΣΜ Inverse Chebysev LPF βάσει του τύπου:

Ωz_k = sec((k * pi) / (2 * n), για k = 1,3

Έτσι, τα μηδενικά της ΣΜ Inverse Chebysev LPF είναι:

k	**Ω_k**	**z_κ**
1	1.082	± j1.082
3	2.613	± j2.613

Ακολούθως, απο-κανονικοποιούμε στη συχνότητα ώστε να επανέλθουμε σε **Ω_p = 1**. Για τον λόγο αυτό, κάνουμε scaling στο Ω_0 των πόλων και μηδενικών (τα Q δεν επηρεάζονται). Έτσι, οι πόλοι της ΣΜ του πρωτότυπου Inverse Chebysev LPF γίνονται:

k	**Q_k**	**Ω_k**	**p_κ**
1,2	0.559	1.635	**-1.462 ± j0.731**
3,4	1.540	1.433	**-0.465 ± j1.355**

ενώ τα μηδενικά αντίστοιχα γίνονται:

k	**Ω_k**	**z_κ**
1	2.706	**± j2.706**
3	6.533	**± j6.533**

Μετασχηματισμός Συχνότητας LP → BP

Ακολούθως, εφαρμόζουμε μετασχηματισμό συχνότητας LP → BP ώστε να πάρουμε τους πόλους και τα μηδενικά της ζωνοδιαβατής ΣΜ Inverse Chebysev. Για να το πετύχουμε αυτό, ακολουθούμε τον αλγόριθμο του Geffe για τον μετασχηματισμό πόλων και μηδενικών. Σύμφωνα με αυτόν για κάθε ζεύγος μιγαδικών πόλων της ΣΜ του πρωτότυπου, θα προκύψουν 2 ζεύγη μιγαδικών πόλων στην ζωνοδιαβατή ΣΜ (+ 2 μηδενικά @ origin). Αντίστοιχα για κάθε ζεύγος φανταστικών μηδενικών, θα προκύψουν 2 ζεύγη φανταστικών μηδενικών στην ζωνοδιαβατή ΣΜ.

Μετασχηματισμός ζεύγους: $p_{1,2}$ = -1.462 ± j0.731

$\Sigma = 1.462$ $\Omega = 0.731$ $C = \Sigma^2 + \Omega^2 = 2.673$

$D = 2*\Sigma/q_c = 0.366$ $E = 4 + C/q_c^2 = 4.042$

$G = sqrt(E^2-4D^2) = 3.975$ $Q = (1/D)*sqrt((E+G)/2)= 5.471$

$k = \Sigma*Q/q_c = 1.001$ $W = k + sqrt(k^2 - 1) = 1.047$

$f_{01} = f_0 * W = 1727.52$ Hz $\omega_{01} = 10854.31$ rad/s

$f_{02} = f_0 / W = 1575.96$ Hz $\omega_{02} = 9902.06$ rad/s

Από τον μετασχηματισμό προκύπτουν 2 ζέυγη μιγαδικών πόλων ω_{01} και ω_{02} και 2 μηδενικά στο μηδέν. Οι πόλοι έχουν μεταξύ τους το ίδιο Q = 5.471.

Μετασχηματισμός ζεύγους: $p_{3,4}$ = -0.465 ± j1.355

$\Sigma = 0.465$ $\Omega = 1.355$ $C = \Sigma^2 + \Omega^2 = 2.052$

$D = 2*\Sigma/q_c = 0.116$ $E = 4 + C/q_c^2 = 4.032$

$G = sqrt(E^2-4D^2) = 4.025$ $Q =(1/D)*sqrt((E+G)/2)= 17.245$

$k = \Sigma*Q/q_c = 1.004$ $W = k + sqrt(k^2 - 1) = 1.088$

$f_{03} = f_0 * W = 1795.86$ Hz $\omega_{03} = 11283.70$ rad/s

$f_{03} = f_0 / W = 1515.99$ Hz $\omega_{04} = 9525.25$ rad/s

Από τον μετασχηματισμό προκύπτουν 2 ζέυγη μιγαδικών πόλων ω_{03} και ω_{04} και 2 μηδενικά στο μηδέν. Οι πόλοι έχουν μεταξύ τους το ίδιο Q = 17.245.

Μετασχηματισμός Μηδενικού: $\Omega_z = 2.706$

$K = 2 + (\Omega_z / q_c)^2 = 2.115$

$x = 0.5 * (K + sqrt(K^2 - 4)) = 1.401$

$f_{z1} = f_0 * sqrt(x) = 1952.80$ Hz $\omega_{z1} = 12269.83$ rad/s

$f_{z2} = f_0 / sqrt(x) = 1394.15$ Hz $\omega_{z2} = 8759.70$ rad/s

Από τον μετασχηματισμό προκύπτουν 2 ζέυγη φανταστικών μηδενικών ω_{z1} και ω_{z2} και 2 πόλοι στο μηδέν.

Μετασχηματισμός Μηδενικού: $\Omega_z = 6.533$

$K = 2 + (\Omega_z / q_c)^2 = 2.668$

$x = 0.5 * (K + sqrt(K^2 - 4)) = 2.217$

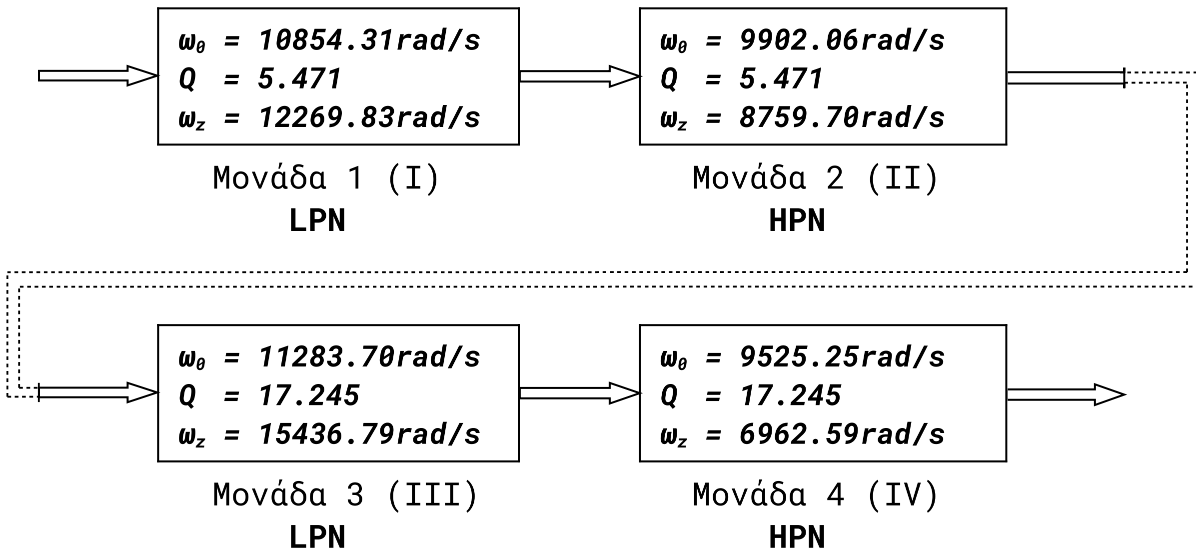
$f_{z3} = f_0 * sqrt(x) = 2456.84$ Hz $\omega_{z3} = 15436.79$ rad/s

$f_{z4} = f_0 / sqrt(x) = 1108.13$ Hz $\omega_{z4} = 6962.59$ rad/s

Από τον μετασχηματισμό προκύπτουν 2 ζέυγη φανταστικών μηδενικών ω_{z3} και ω_{z3} και 2 πόλοι στο μηδέν.

Κάθε ζεύγος μιγαδικών πόλων σε συνδυασμό με ένα ζεύγος φανταστικών μηδενικών δημιουργέι μία ζωνοφρακτική (notch) μονάδα.

Άρα η συνάρτηση μεταφοράς που πρέπει να υλοποιηθεί θα αποτελείται από **4** μονάδες οι οποίες και φαίνονται παρακάτω σε διαγραμματική μορφή:



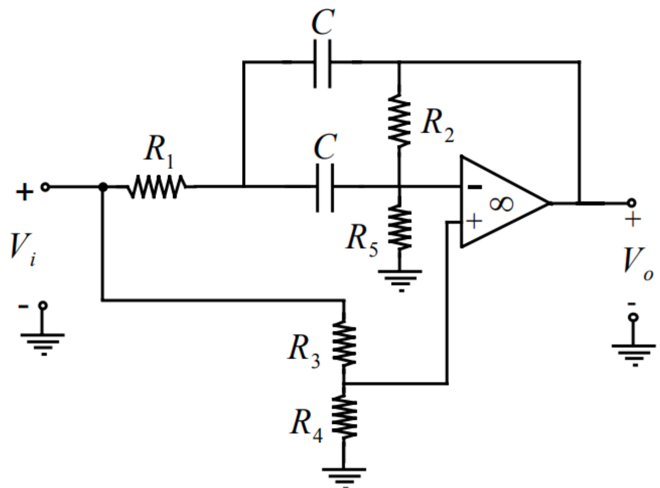
- **Υλοποίηση της Συνάρτησης Μεταφοράς**

Για την υλοποίηση της συνάρτησης μεταφοράς θα γίνει χρήση των ζωνοφρακτικών φίλτρων του Fried (σχήματα 7.21 & 7.23) (καθώς α3 = 2).

Θα θεωρήσουμε προσωρινά $\Omega_0 = 1$ rad/s για κάθε μονάδα, θα υλοποιήσουμε τις κανονικοποιημένες μονάδες και στην συνέχεια θα κάνουμε κλιμακοποίηση στην συχνότητα με $k_f = \omega_0$.

<u>ΜΟΝΑΔΑ (I)</u>

Η πρώτη αυτή μονάδα υλοποιείται από ένα Fried LPN, ένα διτετράγωνης ΣΜ κύκλωμα που φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 1: Fried LPN

Στη σελίδα 7-36 των σημειώσεων δίνονται οι τιμές των στοιχείων του παραπάνω κυκλώματος βάσει των προδιαγραφών σχεδίασης.

Έτσι, τα κανονικοποιημένα στοιχεία του κυκλώματος θα είναι:

R_1 = 1 Ohm

R_2 = 119.71 Ohm

R_3 = 0.02 Ohm

R_4 = 1 Ohm

R_5 = 430.89 Ohm

C = 0.091 F

Κλιμακοποίηση

Υπάρχει η απαίτηση ένας πυκνωτής να είναι 1.0μF, έστω ο C.

Έτσι προκύπτει ο συντελεστής κλιμακοποίησης πλάτους, ως εξής:

$k_f = \omega_0$ = 10854.31

$k_m = C_1 \,/\, (C_{1n} * k_f) = 8.42$

Τα πραγματικά στοιχεία επομένως του κυκλώματος θα είναι ($R_i = R_{in} * k_m$, $C_i = C_{in} \,/\, k_m * k_f$):

R_1 = 8.420 Ohm

R_2 = 1008.020 Ohm

R_3 = 0.180 Ohm

R_4 = 8.420 Ohm

R_5 = 3628.205 Ohm

C = 1.0 μF

Η ΣΜ της μονάδας που προκύπτει είναι:

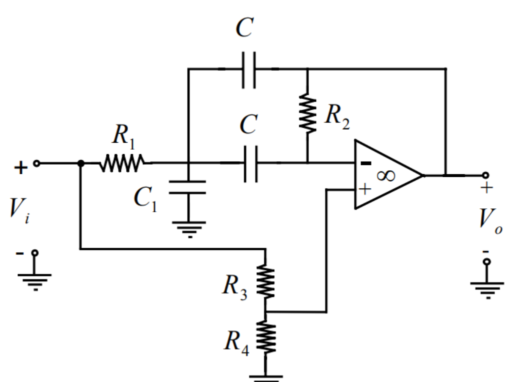
$$T_1(s) = \frac{0.9791s^2 + 5.677e\text{-}12s + 1.474e08}{s^2 + 1984s + 1.178e08}$$

με το κέρδος στη ζώνη διέλευσης να είναι

$k_{\omega 0}$ = 1.832 (= 5.26dB)

<u>ΜΟΝΑΔΑ (ΙΙ)</u>

Η δεύτερη μονάδα υλοποιείται από ένα Fried HPN, ένα διτετράγωνης ΣΜ κύκλωμα που φαίνεται στο Σχήμα 2 παρακάτω:



Σχήμα 2: Fried HPN

Στη σελίδα 7-34 των σημειώσεων δίνονται οι τιμές των στοιχείων του παραπάνω κυκλώματος βάσει των προδιαγραφών σχεδίασης.

Αρχικά επιλέγεται ένας αριθμός k_1 τ.ω.:

$k_1 = (\omega_0 / \omega_z)^2 - 1 =$ **0.278**

Ακολούθως, υπολογίζουμε τα εξής:

$k_2 = 0.985$

$k = 1.259$

Έτσι, τα κανονικοποιημένα στοιχεία του κυκλώματος θα είναι:

$R_1 = 1$ Ohm

$R_2 = 155.28$ Ohm

$R_3 = 1$ Ohm

$R_4 = 68.17$ Ohm

$C_1 = 0.022$ F

$C_2 = 0.080$ F

$C_3 = 0.080$ F

Κλιμακοποίηση

Υπάρχει η απαίτηση ένας πυκνωτής να είναι 1.0μF, έστω ο C. Έτσι προκύπτει ο συντελεστής κλιμακοποίησης πλάτους, ως εξής:

$k_f = \omega_0 = 9902.060$

$k_m = C / (C_n * k_f) = 8.104$

Τα πραγματικά στοιχεία επομένως του κυκλώματος θα είναι ($R_i = R_{in} * k_m$, $C_i = C_{in} / k_m * k_f$):

R_1 = 8.104 Ohm

R_2 = 1258.45 Ohm

R_3 = 8.104 Ohm

R_4 = 552.48 Ohm

C_1 = 277.83 nF

C_2 = 1.0 μF

C_2 = 1.0 μF9.5252457967

Η ΣΜ της μονάδας που προκύπτει είναι:

$$T_2(s) = \frac{1.259s^2 - 3.722e\text{-}12s + 9.663e07}{s^2 + 1810s + 9.805e07}$$

με το κέρδος στη ζώνη διέλευσης να είναι

$k_{\omega 0}$ = 1.843 (= 5.31dB)

<u>ΜΟΝΑΔΑ (III)</u>

Η τρίτη μονάδα υλοποιείται από ένα Fried LPN, ένα διτετράγωνης ΣΜ κύκλωμα που φαίνεται στο σχήμα 1 παραπάνω.

Στη σελίδα 7-36 των σημειώσεων δίνονται οι τιμές των στοιχείων του παραπάνω κυκλώματος βάσει των προδιαγραφών σχεδίασης.

Έτσι, τα κανονικοποιημένα στοιχεία του κυκλώματος θα είναι:

R_1 = 1 Ohm

R_2 = 1189.60 Ohm

R_3 = 0.003 Ohm

R_4 = 1 Ohm

R_5 = 1364.86 Ohm

C = 0.029 F

Κλιμακοποίηση

Υπάρχει η απαίτηση ένας πυκνωτής να είναι 1.0μF, έστω ο C. Έτσι προκύπτει ο συντελεστής κλιμακοποίησης πλάτους, ως εξής:

$k_f = \omega_0 = 11283.697$

$k_m = C_1 / (C_{1n} * k_f) = 2.57$

Τα πραγματικά στοιχεία επομένως του κυκλώματος θα είναι ($R_i = R_{in} * k_m$, $C_i = C_{in} / k_m * k_f$):

R_1 = 2.57 Ohm

R_2 = 3056.68 Ohm

R_3 = 0.01 Ohm

R_4 = 2.57 Ohm

R_5 = 3507.01 Ohm

C = 1.0 μF

Η ΣΜ της μονάδας που προκύπτει είναι:

$$T_3(s) = \frac{0.9969s^2 - 5.667e\text{-}11s + 2.375e08}{s^2 + 654.3s + 1.273e08}$$

με το κέρδος στη ζώνη διέλευσης να είναι

$k_{\omega 0}$ = 6.219 (= 15.87dB)

ΜΟΝΑΔΑ (IV)

Η τέταρτη μονάδα υλοποιείται από ένα Fried HPN, ένα διτετράγωνης ΣΜ κύκλωμα που φαίνεται στο Σχήμα 2 παραπάνω.

Στη σελίδα 7-34 των σημειώσεων δίνονται οι τιμές των στοιχείων του παραπάνω κυκλώματος βάσει των προδιαγραφών σχεδίασης.

Αρχικά επιλέγεται ένας αριθμός k_1 τ.ω.:

$k_1 = (\omega_0 / \omega_z)^2 - 1 =$ **0.872**

Ακολούθως, υπολογίζουμε τα εξής:

$k_2 = 0.999$

$k = 1.869$

Έτσι, τα κανονικοποιημένα στοιχεία του κυκλώματος θα είναι:

$R_1 = 1$ Ohm

$R_2 = 2452.38$ Ohm

$R_3 = 1$ Ohm

$R_4 = 854.01$ Ohm

$C_1 = 0.018$ F

$C_2 = 0.020$ F

$C_3 = 0.020$ F

Κλιμακοποίηση

Υπάρχει η απαίτηση ένας πυκνωτής να είναι 1.0μF, έστω ο C.

Έτσι προκύπτει ο συντελεστής κλιμακοποίησης πλάτους, ως εξής:

$k_f = \omega_0 = 9525.25$

$k_m = C / (C_n * k_f) = 2.12$

Τα πραγματικά στοιχεία επομένως του κυκλώματος θα είναι ($R_i = R_{in} * k_m$, $C_i = C_{in} / k_m * k_f$):

R_1 = 2.12 Ohm

R_2 = 5198.97 Ohm

R_3 = 2.12 Ohm

R_4 = 1810.48 Ohm

C_1 = 871.59 nF

C_2 = 1.0 μF

C_2 = 1.0 μF

Η ΣΜ της μονάδας που προκύπτει είναι:

$$T_4(s) = \frac{1.869s^2 - 4.357e\text{-}12s + 9.062e07}{s^2 + 552.3s + 9.073e07}$$

με το κέρδος στη ζώνη διέλευσης να είναι

$k_{\omega 0}$ = 6.231 (= 15.89dB)

- **Ρύθμιση Κέρδους**

Θέλουμε να ρυθμίσουμε το κέρδος έτσι ώστε το κέρδος του φίλτρου στη ζώνη διόδου να είναι sqrt(10) = 3.162 (10dB). Το τρέχων (συνολικό) κέρδος στη συχνότητα ω0 (που είναι μέσα στο bw) είναι 130.88 (42.337 dB).
Επομένως πρέπει να γίνει απόσβεση (είτε ενεργητική είτε παθητική) με συντελεστή απόσβεσης α = 3.16/130.88 = 0.024.

Επιλέγουμε να γίνει παθητική εξασθένηση της εισόδου μέσω ενός διαιρέτη τάσης με αντιστάσεις:

R_1 = 1/α = 41387 Ohm

R_2 = 1/(1-α) = 1024.76 Ohm

Η συνολική συνάρτηση μεταφοράς του ζωνοδιαβατού φίλτρου θα είναι:

$T_{BP}(s) = 0.024 * T_1(s) * T_2(s) * T_3(s) * T_4(s) \Rightarrow$

$$\mathbf{T_{BP}(s)} = \frac{0.02s^8 - 9.89e\text{-}13s^7 + 9.03e06s^6 + 1.55e15s^4 - 2.46e04s^3 + 1.04e23s^2 - 6.71e11s + 2.34e30}{s^8 + 5001s^7 + 4.42e8s^6 + 1.63e12s^5 + 7.2e16s^4 + 1.75e20s^3 + 5.11e24s^2 + 6.21e27s + 1.334e32}$$

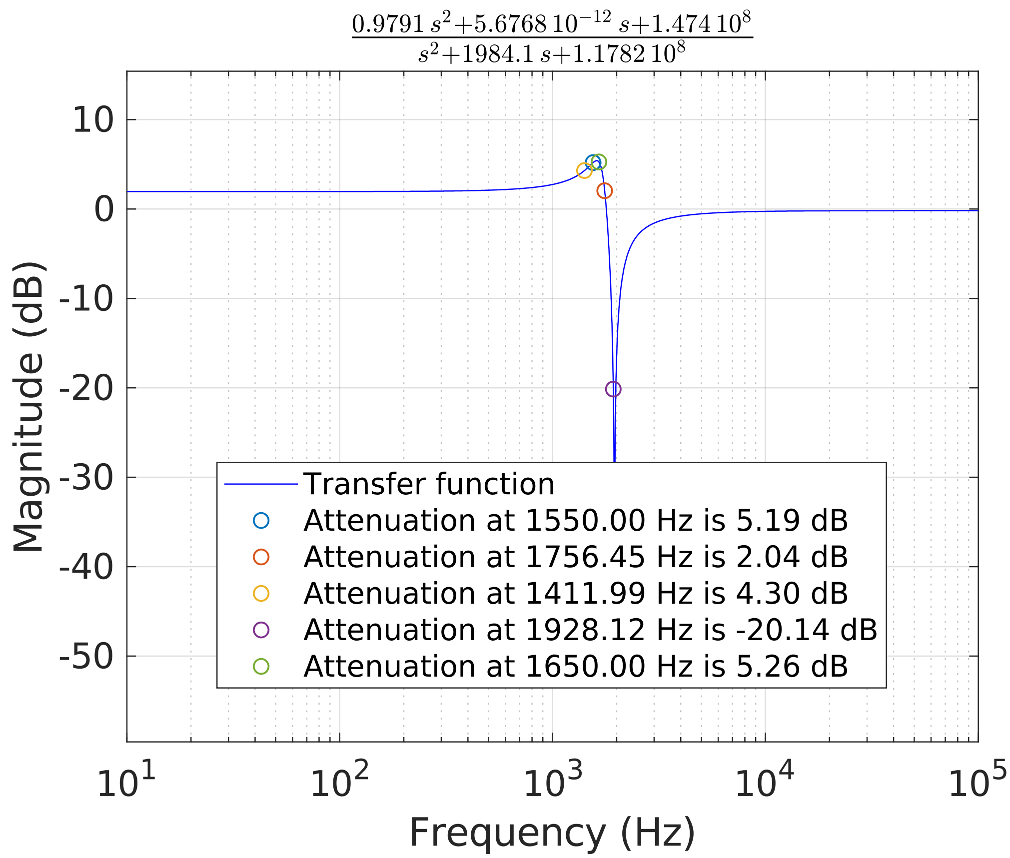
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το κανονικοποιημένο κύκλωμα στο οποίο φαίνονται οι τρεις μονάδες αλλά και η απομόνωση μεταξύ 1ης και 2ης μονάδας προκειμένου να μην αλληλοεπιδρούν η μια στην άλλη. Τέλος, φαίνεται και η μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία για την ρύθμιση του κέρδους.

Στην επόμενη σελίδα φαίνεται το τελικό κύκλωμα, το επιθυμητό δηλαδή κατωδιαβατό φίλτρο Butterworth με ότι στοιχείο είναι απαραίτητο αλλά και με τις απαιτούμενες τιμές όλων των στοιχείων για την ικανοποίηση των ζητούμενων προδιαγραφών.

Β. Μελέτη της Συνάρτησης Μεταφοράς στο MATLAB

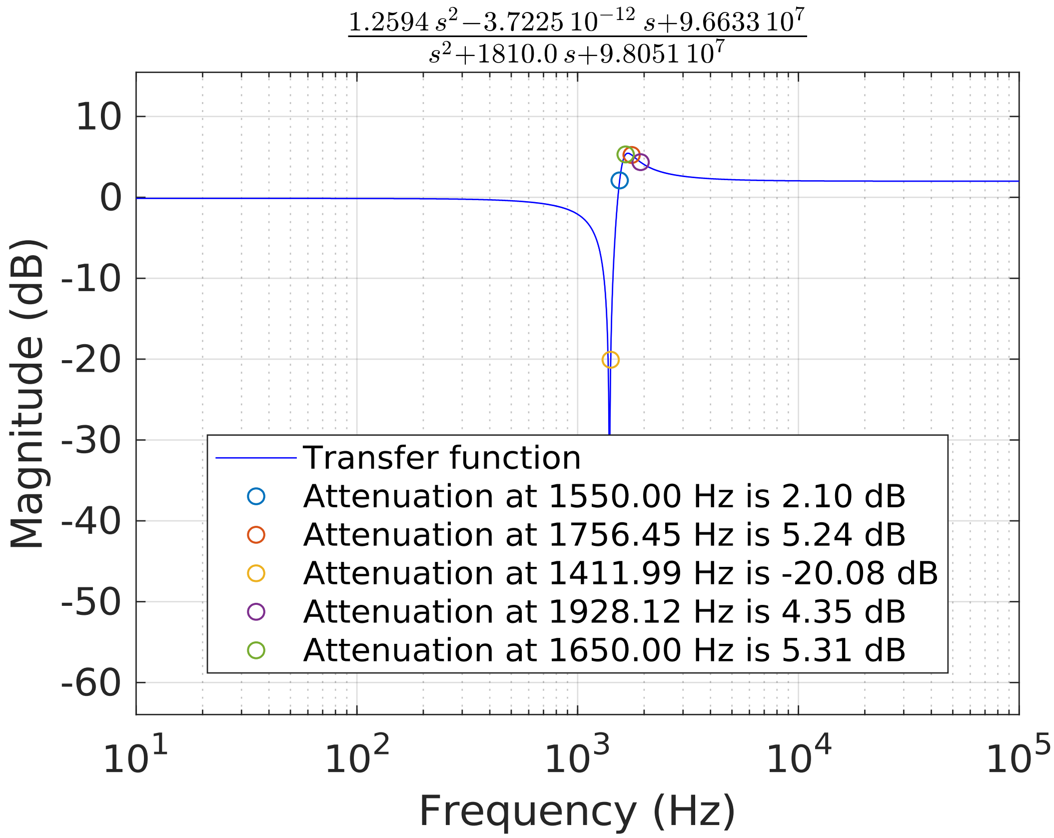
Εισάγουμε στο πρόγραμμα MATLAB τις επί μέρους συναρτήσεις μεταφοράς των 2 biquad LPNs αλλά και την συνολική συνάρτησης μεταφοράς του φίλτρου και παίρνουμε τις αποκρίσεις πλάτους σε dB. Η απόκριση πλάτους σε dB για την πρώτη και την δεύτερη μονάδα φαίνονται στις επόμενες σελίδες. Τα παρακάτω διαγράμματα προέκυψαν στο Matlab χρησιμοποιώντας την παρεχόμενη συνάρτηση plot_transfer_function.m με όρισμα κάθε φορά την συνάρτηση μεταφοράς των επί μέρους συστημάτων, καθώς και τις κρίσιμες συχνότητες αυτών.

1η Μονάδα : Fried LPN (I)



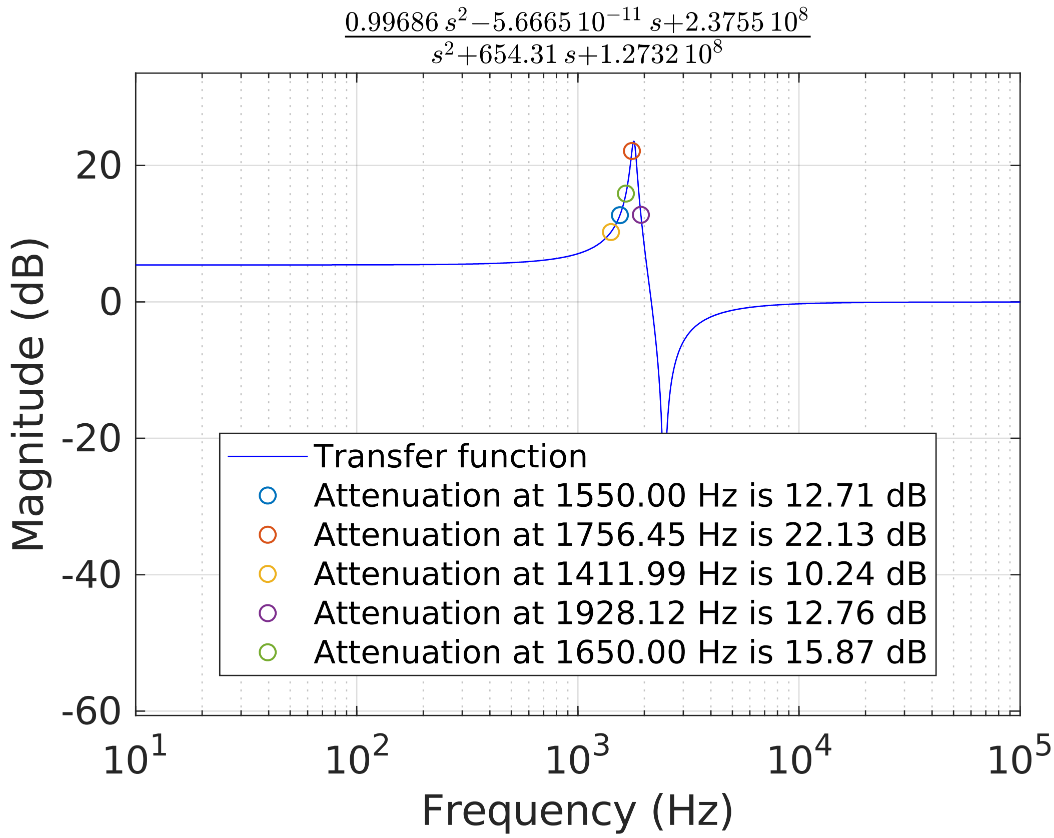
Σχήμα 3: Απόκριση Πλάτους της 1ης Μονάδας (φαίνονται οι f_1, f_2, f_3, f_4, και f_0)

2η Μονάδα : Fried HPN (II)



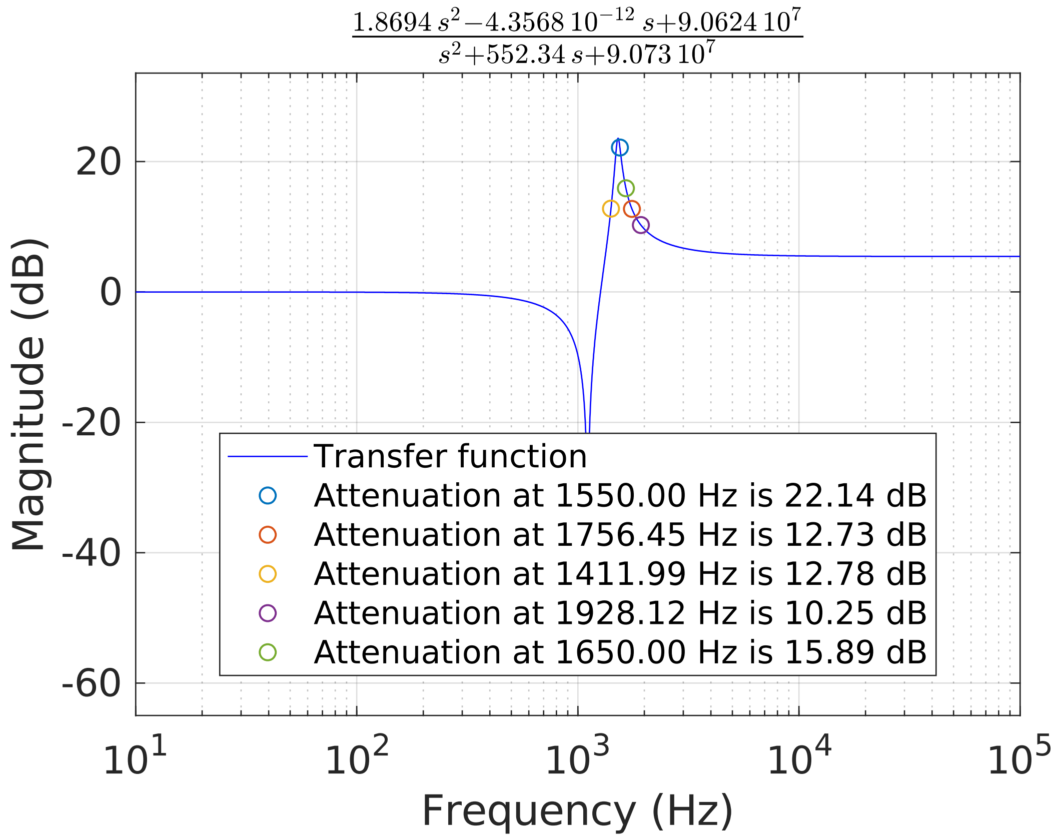
Σχήμα 4: Απόκριση Πλάτους της 2ης Μονάδας (φαίνονται οι f_1, f_2, f_3, f_4, και f_0)

3^η Μονάδα : Fried LPN (III)



Σχήμα 5: Απόκριση Πλάτους της 3ης Μονάδας (φαίνονται οι f_1, f_2, f_3, f_4, και f_0)

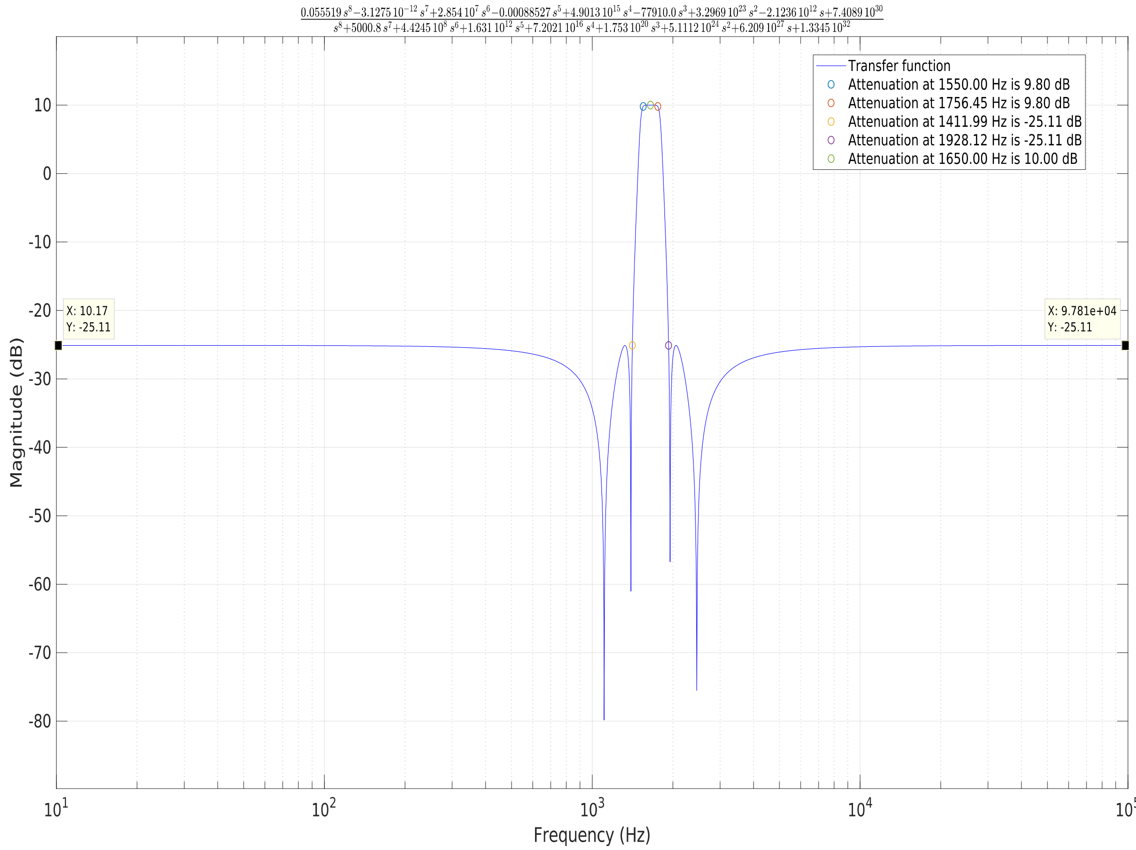
4η Μονάδα : Fried HPN (IV)



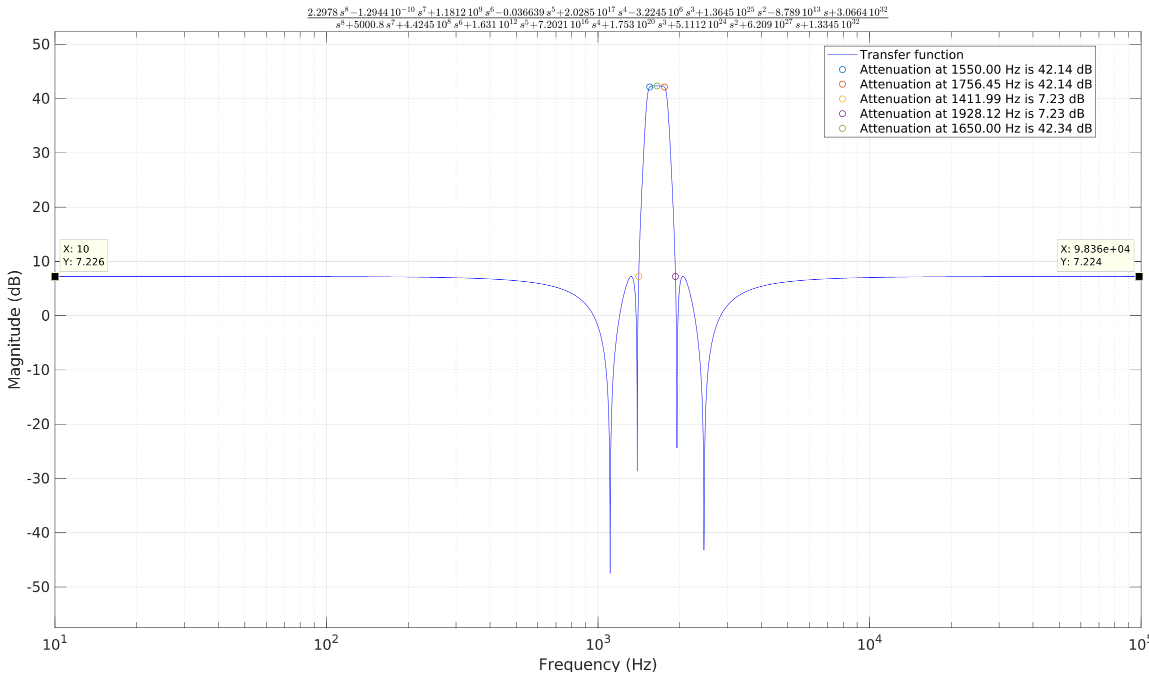
Σχήμα 6: Απόκριση Πλάτους της 4ης Μονάδας (φαίνονται οι f_1, f_2, f_3, f_4, και f_0)

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι πράγματι οι μονάδες I και III είναι LPN ενώ οι μονάδες II και IV είναι HPN.

Παρακάτω βλέπουμε την απόκριση πλάτους της συνολικής συνάρτησης μεταφοράς του φίλτρου συναρτήσει της συχνότητας.

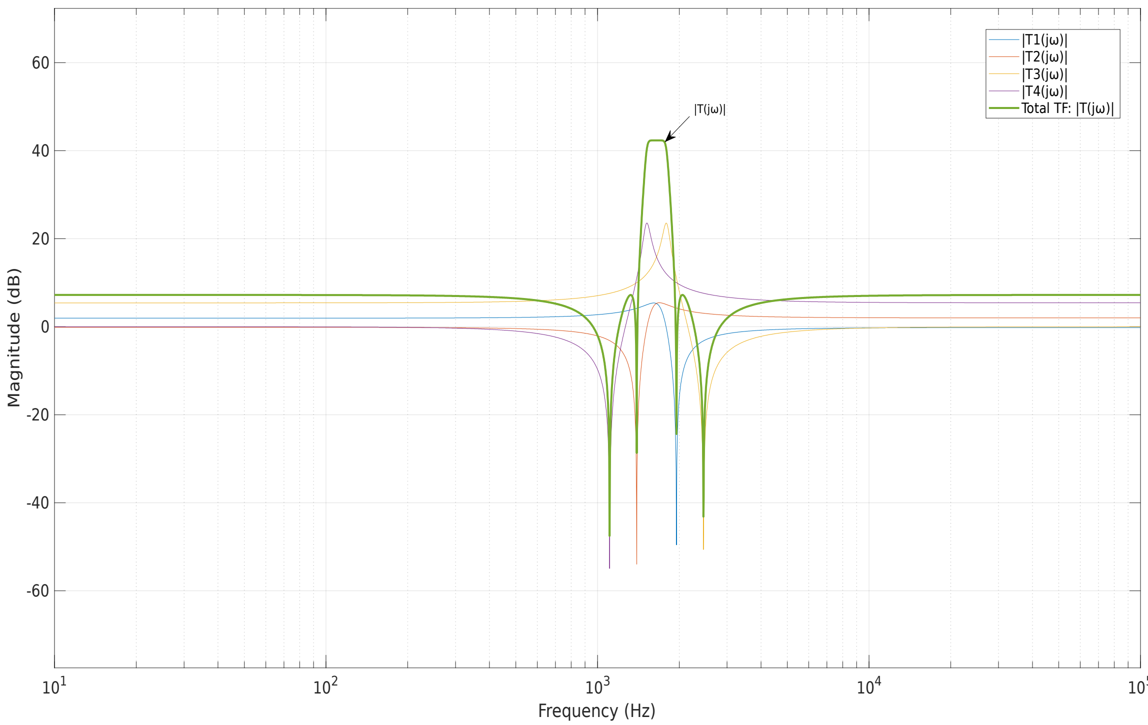


Σχήμα 7: Απόκριση Πλάτους της Συνολικής Μονάδας (φαίνονται οι f_p, f_{hp} και f_s) - το κέρδος στη ζώνη διέλευσης έχει ρυθμιστεί στα 10dB

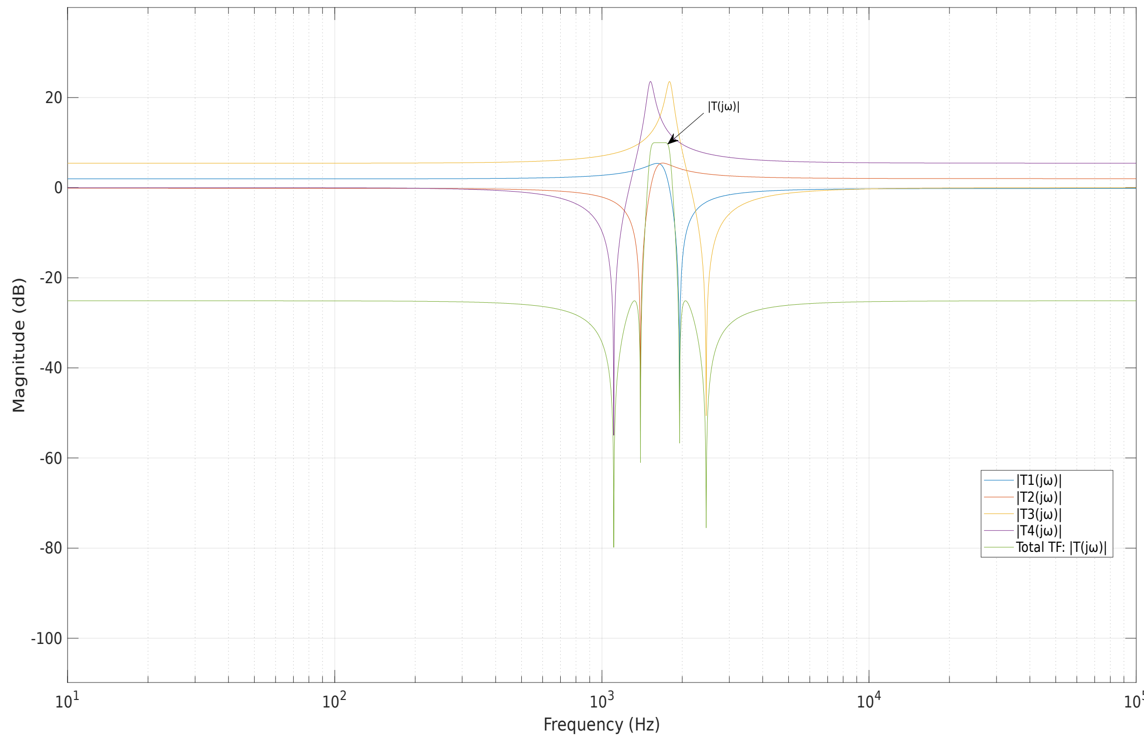


Σχήμα 8: Απόκριση Πλάτους της Συνολικής Μονάδας (φαίνονται οι f_p, f_{hp} και f_s) - χωρίς ρύθμιση κέρδους

Σε αυτό το σημείο παραθέτουμε όλες τις παραπάνω αποκρίσεις σε ένα κοινό διάγραμμα Bode.

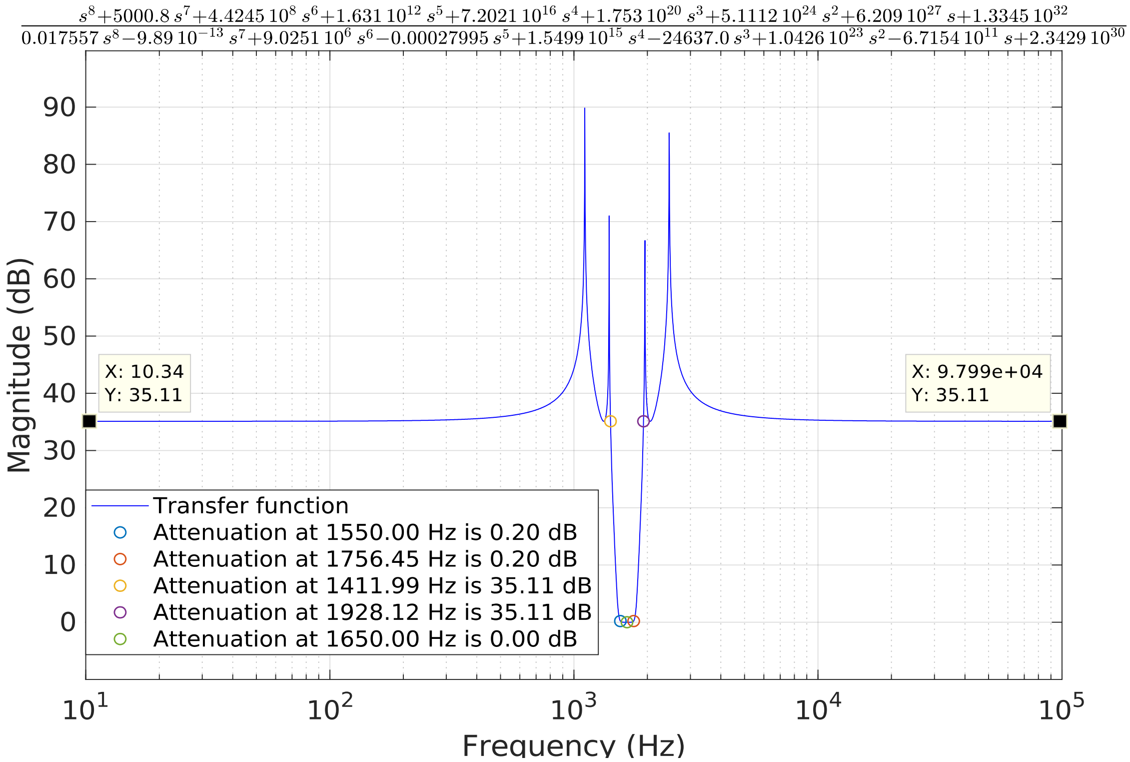


Σχήμα 9: Όλες οι αποκρίσεις πλατους σε ένα κοινό διάγραμμα Bode – δέν έχει γίνει ρύθμιση κέρδους στο τέλος

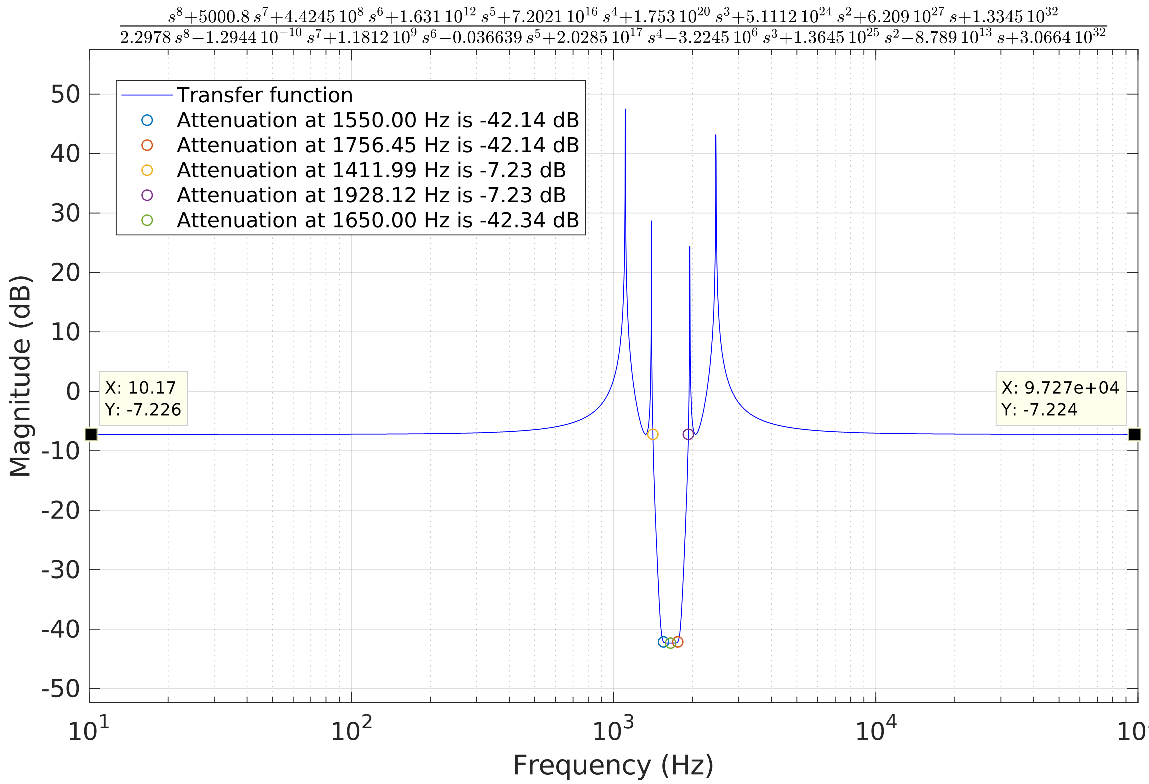


Σχήμα 10: Όλες οι αποκρίσεις πλατους σε ένα κοινό διάγραμμα Bode – το κέρδος στη ζώνη διέλευσης έχει ρυθμιστεί στα 10dB

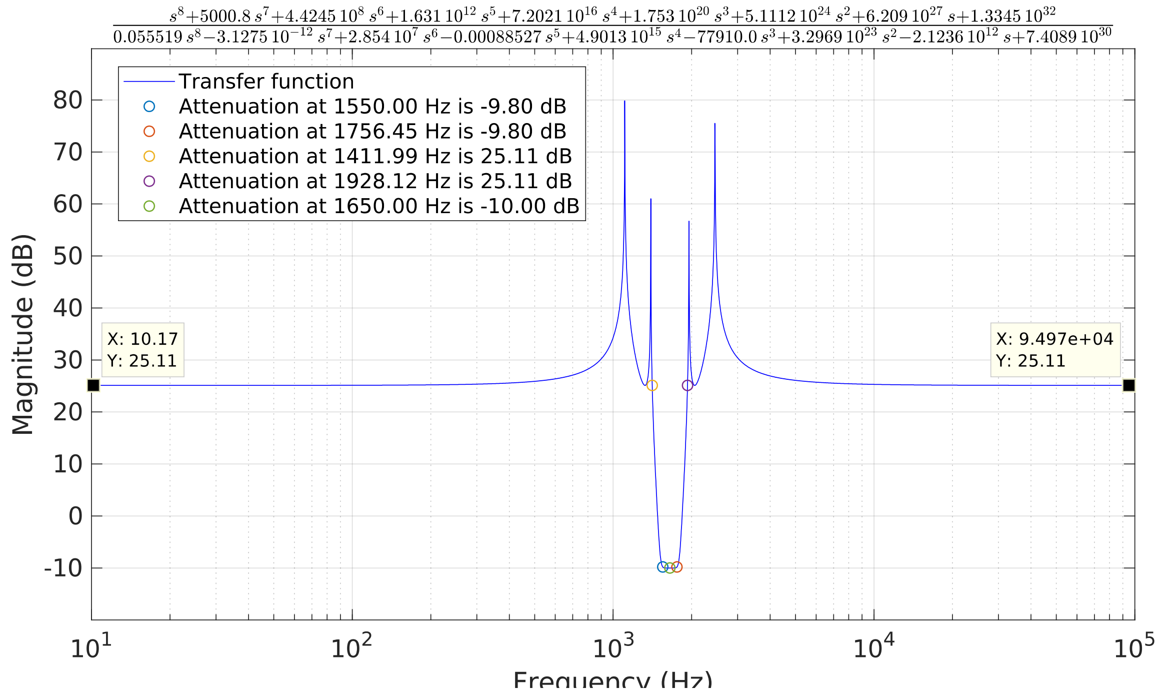
Παρακάτω φαίνεται η συνάρτηση απόσβεσης σε dB της συνολικής συνάρτησης μεταφοράς συναρτήσει της συχνότητας. Αρχικά θέτουμε σαν επιθυμητό κέρδος στη ζώνη διέλευσης τα 0dB, ώστε να μπορούμε να δούμε ότι τηρούνται οι προδιαγραφές σχεδίασης. Κατόπιν, δίνουμε την συνάρτηση απόσβεσης χωρίς ρύθμιση κέρδους και τέλος τη συνάρτηση απόσβεσης με ρύθμιση κέρδους 10dB στη ζώνη διέλευσης.



Σχήμα 11: Συνάρτηση Απόσβεσης Πλάτους της Συνολικής Μονάδας (φαίνονται οι f_p, f_{hp} και f_s) - το κέρδος στη ζώνη διέλευσης έχει ρυθμιστεί στα 0dB



Σχήμα 12: Συνάρτηση Απόσβεσης Πλάτους της Συνολικής Μονάδας (φαίνονται οι f_p, f_{hp} και f_s) - το κέρδος στη ζώνη διέλευσης ΔΕΝ έχει ρυθμιστεί



Σχήμα 13: Συνάρτηση Απόσβεσης Πλάτους της Συνολικής Μονάδας (φαίνονται οι f_p, f_{hp} και f_s) - το κέρδος στη ζώνη διέλευσης έχει ρυθμιστεί στα 10dB

Στη συνάρτηση απόσβεσης σημειώνουμε τις κρίσιμες συχνότητες οι οποίες καθορίζουν την ζώνη διόδου και τις ζώνες αποκοπής , δηλαδή την f_1=1550Hz, f_2=1765Hz, τις f_3=1411Hz, f_4=1928Hz και f_0=1650Hz καθώς και τις αντίστοιχες αποσβέσεις. Παρατηρούμε, από τη συνάρτηση απόσβεσης που έχει ρυθμιστεί ώστε να έχει κέρδος 0dB στη ζώνη διέλευσης, ότι η απόκριση ικανοποιεί τις προδιαγραφές σχεδίασης, καθώς:

- για τις συχνότητες f_1, f_2 η απόσβεση είναι 0.20dB μικρότερη της a_{max} = 0.567dB
- για τις συχνότητες f_3, f_4 η απόσβεση είναι 35.11dB ιση με τη a_{min} = 35.11dB (όπως αναμένουμε σε Inverse Chebysev ΣΜ)

- επίσης φαίνεται η συχνότητα f_0 = 1650 Hz, περίπου στο μέσο της ζώνης διέλευσης, ότι ακουμπάει τη ζητούμενη απόσβεση / κέρδος της ΣΜ

Γ. Υλοποίηση του Κυκλώματος του Φίλτρου στο MULTISIM

Σχεδιάζουμε το κύκλωμα μας στο ElectronicWorkBench (MULTISIM) προκειμένου να ελέγξουμε αν υλοποιεί την συνολική συνάρτηση μεταφοράς που αναλύθηκε στο προηγούμενο στάδιο της εργασίας αλλά και για να διερευνήσουμε την απόκριση του φίλτρου όταν αυτό διεγείρεται από ένα στοιχειώδες περιοδικό σήμα.

Εισάγουμε λοιπόν όπως ......διάφορες μονάδες του φίλτρου που έχουν σχεδιασθεί στην προηγούμενη φάση της εργασίας στο περιβάλλον MULTISIM και παίρνουμε το παρακάτω κύκλωμα.

.

Στο κύκλωμα που έχουμε σχεδιάσει χρησιμοποιούμε τον Bode-Plotter για να προκύψει η απόκριση συχνότητας του φίλτρου-κυκλώματος. Το διάγραμμα που παίρνουμε φαίνεται παρακάτω :

Το παρακάτω διάγραμμα του Multisim απεικονίζει ότι ακριβώς και το προηγούμενο αλλά με δυνατότητα ανάγνωσης των τιμών.

Από αυτά τα διαγράμματα λοιπόν γίνεται φανερό ότι .....

Πιο συγκεκριμένα, ελέγχοντας κατάλληλα τις κλίμακες συχνότητας και απόσβεσης διαπιστώνουμε ότι το φίλτρο .....το οποίο συμφωνεί με τη θεωρητική ανάλυση καθώς …

• Εισάγουμε τώρα στο κύκλωμα με μια πηγή διέγερσης sawtooth (πριωνοτό *σήμα) με θεμελιώδη συχνότητα 2.0kHz* . Στην συνέχεια χρησιμοποιούμε έναν παλμογράφο στην είσοδο και την έξοδο και δημιουργούμε τα αντίστοιχα figures για το παραπάνω πείραμα.

<u>Σήμα Εισόδου :</u>

Σήμα Εξόδου :

Σήμα Εξόδου :

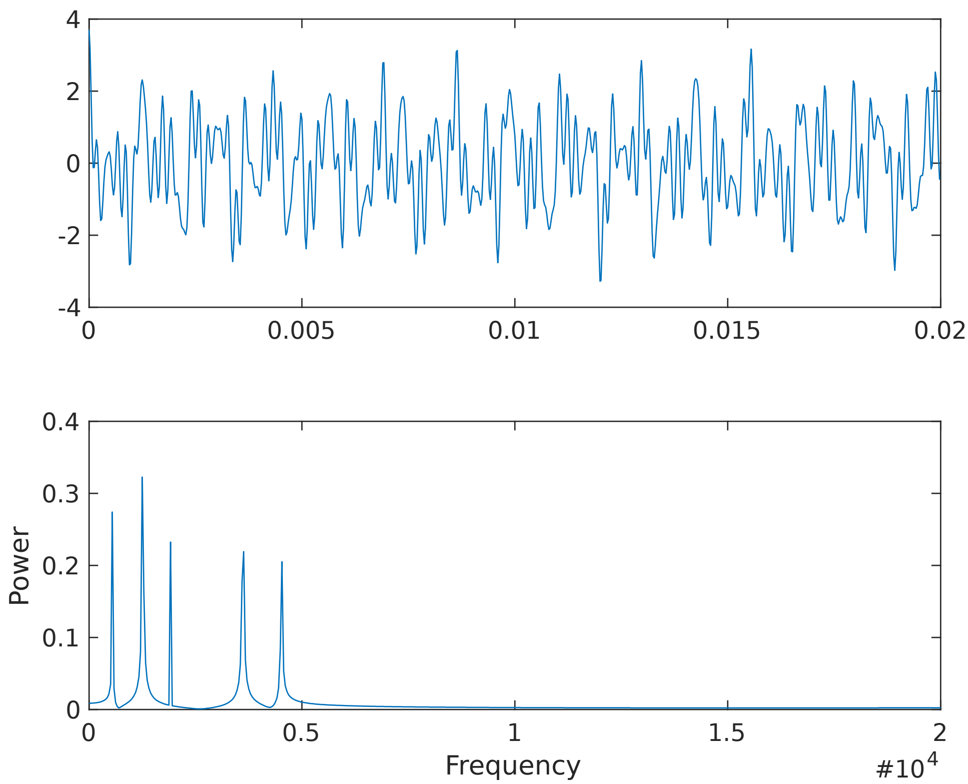
Στα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να δούμε αναλυτικά τα σήματα εισόδου και εξόδου .... σε κάθε σχήμα φαίνονται οι επιλογές που κάναμε στον παλμογράφο για να προκύψουν οι αντίστοιχες παραστάσεις (για παράδειγμα: V/Div , sec/Div κτλ.).
Πιο αναλυτικά, παρατηρούμε ότι το σήμα εξόδου είναι .... σε σχέση με το σήμα εισόδου. Το φίλτρο όπως φαίνεται **εισάγει κέρδος ~10dB** στη ζώνη διόδου του.

- Σε αυτό το σημείο της άσκησης θέλουμε να δημιουργήσουμε τα φάσματα εισόδου και εξόδου του φίλτρου. Για να γίνει κάτι τέτοιο θα εξετάσουμε τα φάσματα τόσο στο Multisim όσο και στο Matlab. Εφόσον μιλάμε για τα ίδια σήματα καθώς και για το ίδιο φίλτρο, αναμένουμε να έχουμε τα ίδια αποτελέσματα.

Κατά συνέπεια, στην επόμενη σελίδα παρουσιάζουμε τα φάσματα FOURIER που προέρχονται από την FFT και τα οποία θα σχολιάσουμε στην συνέχεια. Το υπό-εξέταση σήμα είναι ένα πριονωτό σήμα όπως φαίνεται παρακάτω.

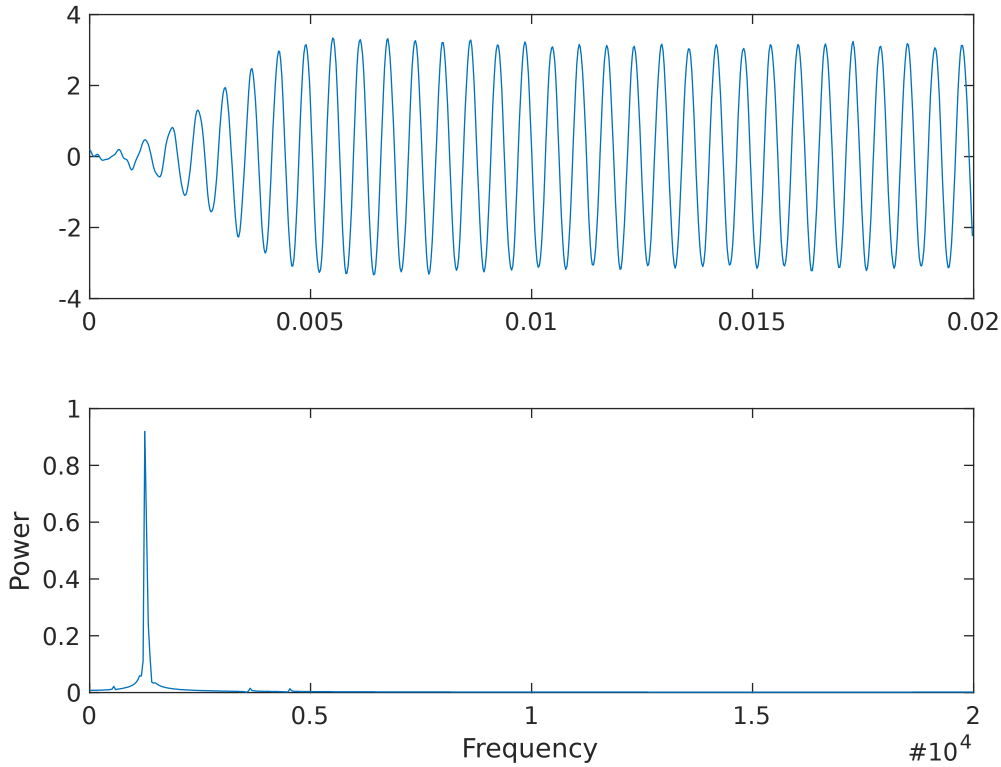
<u>Τεστάρισμα με MatLAB</u>

Σήμα & Φάσμα Εισόδου:



Σχήμα 14: Ανάλυση MatLAB: Σήμα εισόδου & φάσμα αυτού

Σήμα & Φάσμα Εξόδου :



Σχήμα 15: Ανάλυση MatLAB: Σήμα εξόδου & φάσμα αυτού (φαίνεται η απόσβεση για συχνότητες $f \in [0,\ f_3]\ U\ [f_4,\ \infty]$)

Φάσμα Σήματος Εισόδου Multisim:

Φάσμα Σήματος Εξόδου Multisim:

Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxx, κάτι το οποίο είναι απολύτως λογικό εφόσον το κύκλωμα μας είναι ένα .... Οι κρίσιμες συχνότητες για το συγκεκριμένο φίλτρο είναι f_p=xkHz και f_s=xxxkHz . xxxxxxxxxxxxxxxxxx. Για παράδειγμα, αξίζει να παρατηρήσουμε ότι στην συχνότητα των xkHz .... Έτσι συνάγεται το συμπέρασμα ότι το φίλτρο λειτουργεί σωστά, καθώς ....