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

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΙΑ #3

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΘΕΟΧΑΡΗΣ Ι.

7ο ΕΞΑΜΗΝΟ

Όνομα : Μπεκιάρης Θεοφάνης

Α.Ε.Μ. : 8200

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2018

Πίνακας περιεχομένων

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΩΝ
ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Εργασία #3 : Σχεδίαση Ζωνοφρακτικού Φίλτρου Chebyshev

Ζωνοφρακτικού Φίλτρου Chebyshev

Προδιαγραφές του προβλήματος :

Με βάση την εκφώνηση της εργασίας οι προδιαγραφές που προκύπτουν σύμφωνα με το ΑΕΜ του φοιτητή δίνονται από τους τύπους

$$f_0 = 2.5\ \text{kHz}, \quad f_1 = 1650 + 50 \times a_3\ \text{Hz} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} f_2 &= \frac{f_0^2}{f_1} \\ f_3 &= \frac{-D + \sqrt{D^2 + 4 \times f_0^2}}{2}, \text{ με } D = \frac{1}{2.5} \times \frac{f_0^2 - f_1^2}{f_1} \\ f_4 &= \frac{f_0^2}{f_3} \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} a_{min} &= 26 + a_3 \times \frac{5}{9}\ (dB) \\ a_{max} &= 0.5 + \frac{a_4}{18}\ (dB) \end{aligned} \tag{3}$$

Δεδομένου ότι ΑΕΜ :8200 οι προδιαγραφές είναι.

f0 = 2.5KHz, f1 = 1.65KHz, f2 = 3.788KHz, f3 = 2.109KHz και f4 = 2.964KHz

Για τις αποσβέσεις είναι:

amin = 26 dB

amax = 0.5 dB

Σε rad/sec οι παραπάνω συχνότητες γίνονται :

ω0 = 15700 rad/sec, ω1 = 10362 rad/sec, ω2 = 23788 rad/sec,

ω3 = 13243 rad/sec,ω4 = 18613 rad/sec

και

amin = 26 dB

amax = 0.5 dB

Α. Αναλυτική Σχεδίαση του Φίλτρου

Υπολογισμός προδιαγραφών πρότυπου φίλτρου

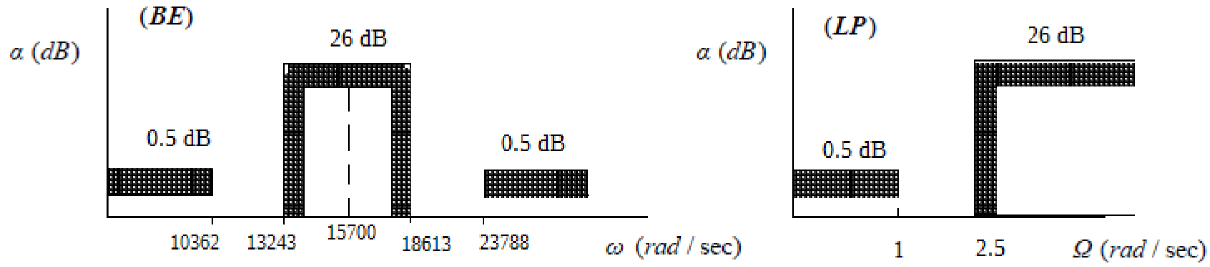
Οι προδιαγραφές της πρωτότυπης απόκρισης προκύπτουν σύμφωνα με την σχέση του κεφαλαίου 13

$$\boxed{a_{\max}\ ,\ a_{\min}\ ,\ \Omega_p = 1\ ,\ \Omega_S = \frac{\omega_2-\omega_1}{\omega_4-\omega_3}} \qquad (13\text{-}9)$$

Άρα έχουμε

Ωp = 1 , Ωs = (23788 -10362)/(18613-13243) => Ωs = 2.5

amin = 26 dB, amax = 0.5 dB και ω0 = 15700 rad/sec, bw = ω2-ω1 = 13426 rad/sec



Ως γνωστόν, οι προδιαγραφές ταιριάζουν ακριβώς με τις προδιαγραφές ενός κατωδιαβατού φίλτρου Chebyshev, με την έννοια ότι η συχνότητα διόδου είναι κανονικοποιημένη στην μονάδα και άρα δεν απαιτείται κλιμακοποίηση. Άρα πρότυπο κατωδιαβατό Chebyshev.

Στην συνέχεια στα πλαίσιο της διαδικασίας σχεδίασης θα πρέπει να υπολογίσουμε την τάξη του φίλτρου που απαιτείται. Για να γίνει αυτό θα χρησιμοποιήσουμε τον παρακάτω τύπο :

$$\boxed{n = \frac{\cosh^{-1}\left[(10^{a_{\min}/10}-1)/(10^{a_{\max}/10}-1)\right]^{1/2}}{\cosh^{-1}\omega_s}} \qquad (9\text{-}83)$$

Επομένως:

n = $\cosh^{-1}([(10^{2.6}-1) / (10^{0.05}-1)]^{1/2}) / \cosh^{-1}(ωs)$

n = $\cosh^{-1}([397.1072/ 0.122]^{1/2}) / \cosh^{-1}(ωs)$

n = $\cosh^{-1}(57.0524) / \cosh^{-1}(2.5)$

n = 4.7370 / 1.5668

n = 3.0234

Επιλέγουμε τον αμέσως επόμενο ακέραιο άρα

n = 4 τάξη φίλτρου

Τώρα υπολογίζουμε την τιμή ε από τον τύπο

$$\boxed{\varepsilon = \sqrt{10^{a_{\max}/10} - 1}}$$

$$\varepsilon = \left(10^{0.05} - 1\right)^{1/2} = 0.349$$

Θα υπολογίσουμε τώρα την συχνότητα ημίσειας ισχύος από τον τύπο

$$\boxed{\omega_{hp} = \cosh\left\{\frac{1}{n}\cosh^{-1}(10^{a_{\max}/10} - 1)^{-1/2}\right\}} \qquad (9\text{-}80)$$

Έτσι λοιπόν έπειτα από αντικατάσταση θα έχουμε ότι η συχνότητα ημίσειας ισχύος είναι :

ω_{hp} = cosh(1/4*cosh^{-1}(1/0.349)) => $\boldsymbol{\omega_{hp}}$ **= 1.0932 rad/sec**

έχουμε $\omega_{hp}>1$ όπως περιμέναμε για φίλτρο Chebyshev.

Με τον τύπο που επιλέξαμε για τον υπολογισμό της συχνότητας ημίσειας ισχύος οι προδιαγραφές στην συχνότητα αποκοπής υπερκαλύπτονται.

Από την (9-92) έχουμε:

$$\boxed{v_k = \pm\frac{1}{n}\sinh^{-1}(\frac{1}{\varepsilon}) = \pm a} \qquad (9\text{-}92)$$

a = 1/4*sinh^{-1}(1/.349)) =

a = 0.4437

Οι γωνίες Butterworth προκύπτουν από τους τύπους

$$\phi_k = -\frac{(2k-1)\pi}{2n}, \quad k = 1, 2, \ldots\ldots, n \qquad (9\text{-}100)$$

$$\psi_k = 90^o - \phi_k \qquad (9\text{-}101)$$

για n=4 είναι:

$\psi_\kappa = \pm 22.5°, \pm 67.5°$ σε σχέση με τον αρνητικό πραγματικό άξονα.

Οι πόλοι του φίλτρου Chebyshev προκύπτουν από τούς παρακάτω τύπους (9-102) και (9-103) .

$$\boxed{-\sigma_k = \sinh a \cdot \cos\psi_k}$$

$$\boxed{\pm\omega_k = \cosh a \cdot \sin\psi_k}$$

Οι πόλοι της συνάρτησης μεταφοράς είμαι συζυγής μιγαδική και φαίνονται παρακάτω.

s1,2 = -0.4235 ±j0.4201

s3,4 = -0.1754 ±j1.0163

Αντιστροφή πώλων

Τώρα θα εφαρμόσουμε τον μετασχηματισμό S→1/S της (13-19) για να βρούμε την $T_{HP}(S)$.

Το μέτρο των Ω_0 και Q δίνονται από την σχέση

$$\omega_o = \sqrt{\sigma_k^2 + \omega_k^2} \quad \text{και} \quad Q = \frac{\sqrt{\sigma_k^2 + \omega_k^2}}{2\sigma_k} \qquad (9\text{-}106)$$

<u>Για το : s1,2 = -0.4235 ±j0.4201</u>

$\Omega_0 = (0.4235^2 + 0.4201^2)^{1/2} = 0.5965$ και $Q = 0.5965 /(2^* 0.4235) = 0.7043$

Αντιστρέφουμε τους πόλους και έχουμε:

$\Omega_{i0} = 1/\Omega_0 = 1.6764$, $Q_i = 0.7043$

και

$\psi = \cos^{-1}\left(\frac{1}{2Q}\right)$ => $\psi = 44.77\,^{o}$

Οι μετασχηματισμένοι αντίστροφοι πόλοι είναι επομένως

$$p_{1,2} = \Omega_{io}\ (-\cos\psi\ \pm j\sin\psi\ )$$

p_{12} = -1.1901 +j1.1807

<u>Για το : s3,4 = -0.1754 ±j1.0163</u>

$\Omega_0 = (0.1754^2 + 1.0163^2)^{1/2} = 1.0313$ και $Q = 1.0313 /(2^* 0.1754) = 2.9399$

Αντιστρέφουμε τους πόλους και έχουμε:

$\Omega_{i0} = 1/\Omega_0 = 0.9696$, $Q_i = 2.9399$

και

$\psi = \cos^{-1}\left(\frac{1}{2Q}\right)$ => $\psi = 80.2077\,^{o}$

Οι μετασχηματισμένοι αντίστροφοι πόλοι είναι επομένως

$$p_{1,2} = \Omega_{io}\ (-\cos\psi\ \pm j\sin\psi\ )$$

p_{34} = -0.1649 +j0.9555

Μετασχηματίζουμε τους πόλους σύμφωνα με τον αλγόριθμο του Geffe.

11.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ GEFFE (ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΙΓΑΔΙΚΩΝ ΠΟΛΩΝ)

Ορίζουμε τα παρακάτω μεγέθη:

$$\boxed{q_c = \frac{\omega_o}{bw}} \qquad (11\text{-}6)$$

$$\boxed{C = \Sigma_2^2 + \Omega_2^2} \qquad (11\text{-}28)$$

$$\boxed{D = \frac{2\Sigma_2}{q_c}} \qquad (11\text{-}29)$$

$$\boxed{E = 4 + \frac{C}{q_c^2}} \qquad (11\text{-}30)$$

$$\boxed{G = \sqrt{E^2 - 4D^2}} \qquad (11\text{-}31)$$

$$\boxed{Q = \frac{1}{D}\sqrt{\frac{1}{2}(E+G)}} \qquad (11\text{-}32)$$

$$\boxed{k = \frac{\Sigma_2 Q}{q_c}} \qquad (11\text{-}33)$$

$$\boxed{W = k + \sqrt{k^2 - 1}} \qquad (11\text{-}34)$$

$$\boxed{\omega_{02} = W \cdot \omega_0}$$

$$\boxed{\omega_{01} = \frac{1}{W} \cdot \omega_0} \qquad (11\text{-}35)$$

<u>Για πιο γρήγορο και ακριβή υπολογισμό των συντελεστών κατασκεύασα ένα sript στο Matlab το οποίο εκτελεί τις παραπάνω πράξεις,το αρχείο είναι το Geffe.m</u>

<u>Μετασχηματισμός του μιγαδικών πόλων</u> : p_{12} = -1.1901 +j1.1807

Έχουμε Σ_2 = 1.1901 και Ω_2 = 1.1807

q_c = 15700/ 13426 = 1.169373

C = 2.810391

D = 2.035450

E = 6.055231

G = 4.482588

Q = 1.127716

k = 1.147705

W = 1.710935

ω_{02} = 26861.674787

ω_{01} = 9176.270726

<u>Μετασχηματισμός του μιγαδικών πόλων</u> : p_{34} = -0.1649 +j0.9555

Έχουμε Σ_2 = 0.1649 και Ω_2 = 0.9555

q_c = 15700/ 13426 = 1.169373

C = 0.940172

D = 0.282032

E = 4.687545

G = 4.653484

Q = 7.662751

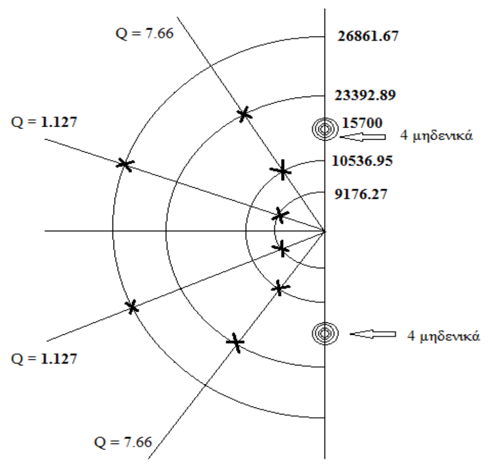
k = 1.080569

W = 1.489994

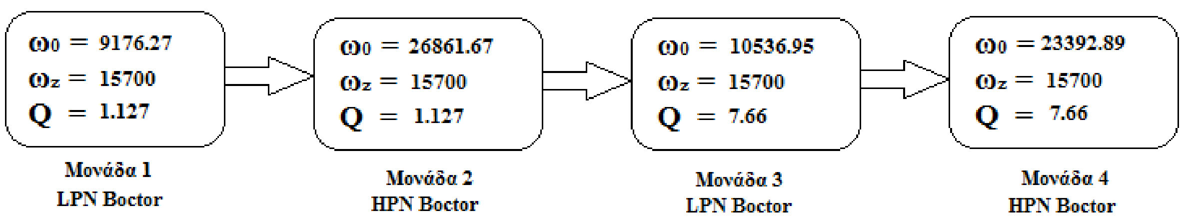
ω_{02} = 23392.898670

ω_{01} = 10536.958394

Οι μετασχηματισμένοι πόλοι και τα μηδενικά δίνονται στο ακόλουθο σχήμα.



Οι μονάδες του συστήματος σε διαγραμματική μορφή είναι



Σύμφωνα με την εκφώνηση πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα φίλτρα LPN και HPN Boctor του σχήματος 7.24 για την υλοποίηση των μονάδων. Το κέρδος στις χαμηλές συχνότητες του συνολικού συστήματος σύμφωνα με την εκφώνηση θα πρέπει να είναι ίσο με 1 ή 0dB.Επιπλέον οι μανάδες πρέπει να έχουν ένα τουλάχιστον πυκνωτή 0.01μF (εκφώνηση 0.01μF αν a3 ∈ {8, 9, 0}),άρα:

Κυκλώματα LPN Boctor

Για την περίπτωση των μονάδων 1 και 3 όπου $\omega_0 < \omega_z$ θα χρησιμοποιηθούν τα LPN Boctor του παρακάτω σχήματος

<u>*Στρατηγική σχεδίασης*</u>

$$\frac{\omega_o^2}{\omega_z^2} < k_1 < 1 \qquad (7\text{-}159)$$

$$R_1 = \frac{2}{k_1\omega_z^2 - 1} \quad , \quad (\omega_o=1) \qquad (7\text{-}160)$$

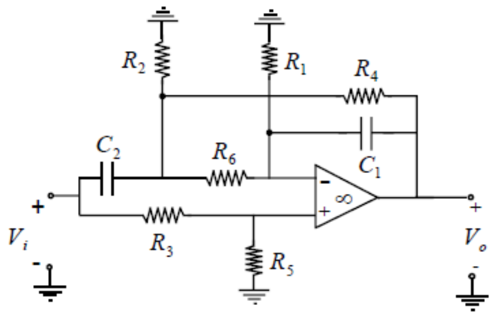
$$R_2 = \frac{1}{1-k_1} \qquad (7\text{-}161)$$

$$R_3 = \frac{1}{2}\left(\frac{k_1}{Q^2} + k_1\omega_z^2 - 1\right) \qquad (7\text{-}162)$$

$$R_4 = \frac{1}{k_1} \qquad (7\text{-}163)$$

$$R_5 = R_6 = 1 \qquad (7\text{-}164)$$

$$C_1 = \frac{k_1}{2Q} \quad , \quad C_2 = 2Q \qquad (7\text{-}165)$$



Σχ. 7.24(α)

Μονάδα 1 : LPN Boctor

Κανονικοποιούμε τα Ωο=1 και Ωz = ω_z / ω_0 = 15700 / 9176.27 = 1.710935

Εχουμε ω_o^2/ω_z^2 = 0.341612, από την 7-159 επιλέγουμε μία τιμή για το <u>k_1 = 0.9</u> και άρα:

R1 = 1.223565

R2 = 10

R3 = 1.171129

R4 = 1.111111

R5 = 1

R6 = 1

C1= 0.399037

C2= 2.255432

Το κέρδος της μονάδας στις υψηλές συχνότητες είναι

Kh = R5/(R3+R5) = 1/(1.17+1) => <u>Kh = 0.460590</u>

ενώ το κέρδος στις χαμηλές συχνότητες είναι

K_L = Kh * ω_z^2/ω_o^2 = 0.46 *2.9273 => <u>K_L = 1.348284</u>

Κλιμακοποίηση

Επειδή ωο = 9176.27 αντί 1,

kf = 9176.27

Για πυκνωτή C = 0.01μF που ζητείται,το km γίνεται.

(1/kf*km) * C1 = 0.01μF => <u>km = 4348.570882</u>

Για την κλιμακοποίηση ισχύει ότι Rn = km*Ro και Cn = Co/kf*km (σχέσεις κλιμακοποίησης)

Άρα **μετά την κλιμακοποίηση** τα μεγέθη του κυκλώματος γίνονται

R1 = 5320.759289 Ω

R2 = 43485.708824Ω

R3 = 5092.736897 Ω

R4 = 4831.745425 Ω

R5 = 4348.570882 Ω

R6 = 4348.570882 Ω

C1 = 0.01μF (όπως ζητείται στις προδιαγραφές)

C2 = 56.52193 nF

Μονάδα 3 : LPN Boctor

Κανονικοποιούμε τα Ωο=1 και Ωz = ω_z / ω_0 = 15700 / 10536.958 = 1.49

Εχουμε ω^2_o/ω_z^2 = 0.450434, από την 7-159 επιλέγουμε μία τιμή για το <u>k_1 = 0.9</u> και άρα:

R1 = 2.003862

R2 = 10.000000

R3 = 0.506700

R4 = 1.111111

R5 = 1.000000

R6 = 1.000000

C1= 0.058726

C2= 15.325502

Το κέρδος της μονάδας στις υψηλές συχνότητες είναι

Kh = R5/(R3+R5) = 1/(0.506+1) => <u>Kh = 0.663702</u>

ενώ το κέρδος στις χαμηλές συχνότητες είναι

K_L = Kh * ω_z^2/ω^2_o = 0.663702*2.2201 => <u>K_L = 1.473472</u>

Κλιμακοποίηση

Επειδή ωο = 10536.958 αντί 1,

kf = 10536.958

Για πυκνωτή C = 0.01μF που ζητείται,το km γίνεται.

(1/kf*km) * C1 = 0.01μF => <u>km = 557.330147</u>

Για την κλιμακοποίηση ισχύει ότι Rn = km*Ro και Cn = Co/kf*km (σχέσεις κλιμακοποίησης)

Άρα **μετά την κλιμακοποίηση** τα μεγέθη του κυκλώματος γίνονται

R1 = 1116.812737

R2 = 5573.301465

R3 = 282.399255

R4 = 619.255718

R5 = 557.330147

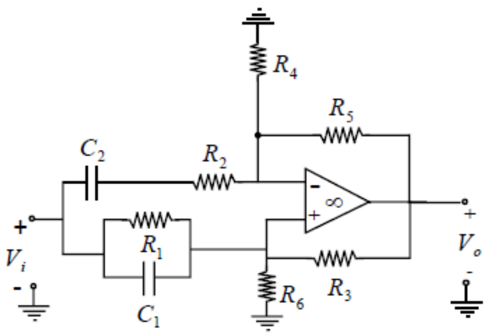
R6 = 557.330147

C1 = 0.01μF (όπως ζητείται στις προδιαγραφές)

C2 = 2.61μF

Κυκλώματα HPN Boctor

Για την περίπτωση των μονάδων 2 και 4 όπου $\omega_0 > \omega_z$ θα χρησιμοποιηθούν τα HPN Boctor του παρακάτω σχήματος



Σχ. 7.24(β)

Από την εκφώνηση της εργασίας αναφέρεται ότι για τον υπολογισμό των τιμών των στοιχείων του κυκλώματος πρέπει να χρησιμοποιηθεί η συνάρτηση BoctorHighPass.m που δίνεται έτοιμη. Άρα μετά από την εισαγωγή των δεδομένων στην συνάρτηση παίρνουμε τις ακόλουθες τιμές για τα στοιχεία.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το παραπάνω κύκλωμα ισχύει μόνο όταν ικανοποιείται η σχέση 7-167 όπως φαίνεται παρακάτω.

$$Q < \frac{1}{1 - \frac{\omega_z^2}{\omega_o^2}} \qquad (\omega_z < \omega_o) \qquad \text{(7-167)}$$

Μονάδα 2 : HPN Boctor

Για την μονάδα έχουμε ω_0 = 26861.674 , ω_z =15700 και Q = 1.1277

Με βάση την προηγούμενη σχέση (7-167) βλέπουμε ότι

$1/(1-(\omega_z/\omega_0)^2\ ) = 1/(1 - 0.3416) =$ **1.5188 > Q**

Άρα βλέπουμε ότι το φίλτρο **μπορεί** να κατασκευαστεί.

Άρα η BoctorHighPass (15700, 26861.674787,1.127716) δίνει.

R1: 8.1727 KΩ

R2: 4.9640 KΩ

R3: 62.6725 Ω

R4: 100 Ω

R5: 100 Ω

R6: 61.7598 Ω

C1: 0.01μF

C2: 0.01μF

Και κέρδος για τις υψηλές συχνότητες :

$H_H = 2$

Και κέρδος για τις χαμηλές συχνότητες :

$H_L = H_H * \ \omega_z^2/\omega_o^2 = 2*0.3416 = 0.6832$

Μονάδα 4

Ομοίως με πριν

Για την μονάδα έχουμε ω_0 = 23392.898 , ω_z =15700 και Q = 7.662

Από την προηγούμενη σχέση (7-167)

$1/(1-(\omega_z/\omega_0)^2\ ) = 1/(1 - 0.4504) =$ **1.8196 < Q**

Άρα βλέπουμε ότι το φίλτρο **ΔΕΝ** μπορεί να κατασκευαστεί.

Δεδομένου ότι η μονάδα 4 δεν ικανοποιεί της συνθήκες που θέτει το HPN Boctor φίλτρο θα πρέπει να αναζητήσουμε μια άλλη διάταξη για την κατασκευή της μονάδας. Για αυτό το σκοπό θα στραφούμε στο **απλό κύκλωμα HPN** (όπως αναφέρεται και στο script BoctorHighPass.m). Η μορφή του κυκλώματος δίνεται παρακάτω.

Στρατηγική σχεδίασης

$$k_1 = \frac{\omega_o^2}{\omega_z^2} - 1 \qquad (7\text{-}135)$$

$$k_2 = \frac{(2+k_1)Q^2}{(2+k_1)Q^2+1} \qquad (7\text{-}136)$$

$$k = k_2\left(\frac{\omega_o^2}{\omega_z^2}\right) \text{ (κέρδος στις υψηλές συχνότητες)} \qquad (7\text{-}137)$$

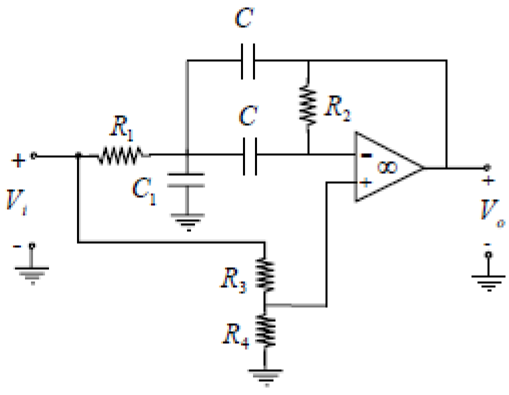
$$R_2 = Q^2(k_1+2)^2 \qquad (7\text{-}138)$$

Εάν θεωρήσουμε ότι $R_3 = R1 = 1$ και $\omega_0 = 1$

$$R_4 = Q^2(k_1+2) \qquad (7\text{-}139)$$

$$C = \frac{1}{Q(2+k_1)} \qquad (7\text{-}140)$$

$C_1 = k_1 C$



Σχ. 7.21

Υπενθυμίζουμε ότι για την μονάδα έχουμε ω_0 = 23392.898 , ω_z =15700 και Q = 7.662

Άρα εκτελώντας τις παραπάνω πράξεις με την βοήθεια του matlab με το script LPNBoctorStrategy.m παίρνουμε.

ω_z^2/ω_o^2 = 0.450434

k1 = 1.220081

k2 = 0.994738

k = 2.208398

R1 = 1

R2 = 608.720308

R3 = 1

R4 = 189.038840

C= 0.040531

C1= 0.049452

Και κέρδος για τις υψηλές συχνότητες :

H_H = k = 2.208398

Και κέρδος για τις χαμηλές συχνότητες :

$H_L = H_H * \omega_z^2/\omega_o^2$ = 2.208398*0.450434 = 0.994738

Κλιμακοποίηση

Επειδή ωο = 23392.898 αντί 1,

kf = 23392.898

Για πυκνωτή C_{des} = 0.01μF που ζητείται,το km γίνεται.

(1/kf*km) * C = 0.01μF => <u>km = 173.263498</u>

Για την κλιμακοποίηση ισχύει ότι Rn = km*Ro και Cn = Co/kf*km (σχέσεις κλιμακοποίησης)

Άρα **μετά την κλιμακοποίηση** τα μεγέθη του κυκλώματος γίνονται

R1 = 173.263 Ω

R2 = 105.469 ΚΩ

R3 = 173.2634 ΚΩ

R4 = 32.75 Ω

C = 0.01μF = 10nF

C1 = 12.2nF

Ρύθμιση κέρδους

Από τις 4 παραπάνω μονάδες παίρνουμε τα αντίστοιχα κέρδη στις χαμηλές συχνότητες

Μονάδα 1 : $K_L = 1.348284$

Μονάδα 2 : $K_L = 0.6832$

Μονάδα 3 : $K_L = 1.473472$

Μονάδα 4 : $K_L = 0.994738$

Άρα συνολικά θα έχουμε κέδρος : $H_{total} = 1.348284*0.6832*1.473472*0.994738$=> $H_{total} = 1.3501$

Σύμφωνα με την εκφώνηση θέλουμε να ρυθμίσουμε το κέρδος έτσι ώστε το κέρδος του φίλτρου στις χαμηλές συχνότητες να είναι 0dB δηλαδή |T| =1.Επομένως   αποσβένουμε στο τέλος με μια αναστρέφουσα συνδεσμολογία με κέρδος

K = 1/1.3501 = 0.7407

όπου r2/r1 = 0.7407 και επιλέγουμε r1 = 10ΚΩ άρα r2 = 7.407ΚΩ

• Υλοποίηση της Συνάρτησης Μεταφοράς

ΖΩΝΟΦΡΑΚΤΙΚΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΑΝΑΔΡΑΣΗ (ΦΙΛΤΡΑ NOTCH)

Η γενική μορφή μιας ζωνοφρακτικής συνάρτησης μεταφοράς είναι:

$$T_{BE}(s) = H \cdot \frac{s^2 + \omega_z^2}{s^2 + \frac{\omega_o}{Q} s + \omega_o^2} \qquad (7\text{-}121)$$

Έχουμε υλοποίηση του συστήματος με φίλτρα Notch επομένως οι συναρτήσεις μεταφορά όλων των μονάδων εκφράζονται σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο.
Τα κέρδη κάθε μονάδας στις υψηλές συχνότητες είναι
H1 = 0.460590;
H2 = 2;
H3 = 0.663702;
H4 = 2.208398;
τα οποία εισέρχονται στον παραπάνω τύπο. Άρα με χρήση της συνάρτησης tf() του matlab παίρνουμε τις παρακάτω συναρτήσεις μεταφοράς.

ΜΟΝΑΔΑ (I)

```
      0.4606 s^2 + 1.135e08
T1 = ----------------------
      s^2 + 8137 s + 8.42e07
```

ΜΟΝΑΔΑ (II)

```
             2 s^2 + 4.93e08
T2 = ---------------------------
      s^2 + 2.382e04 s + 7.215e08
```

ΜΟΝΑΔΑ (III)

```
      0.6637 s^2 + 1.636e08
T3 = ----------------------
      s^2 + 1375 s + 1.11e08
```

ΜΟΝΑΔΑ (VI)

```
      2.208 s^2 + 5.443e08
T4 = -----------------------
      s^2 + 3053 s + 5.472e08
```

Η συνολική συνάρτηση μεταφοράς <u>χωρίς ρύθμιση του κέρδους</u> (δηλαδή το γινόμενο των προηγούμενων) φαίνεται παρακάτω.

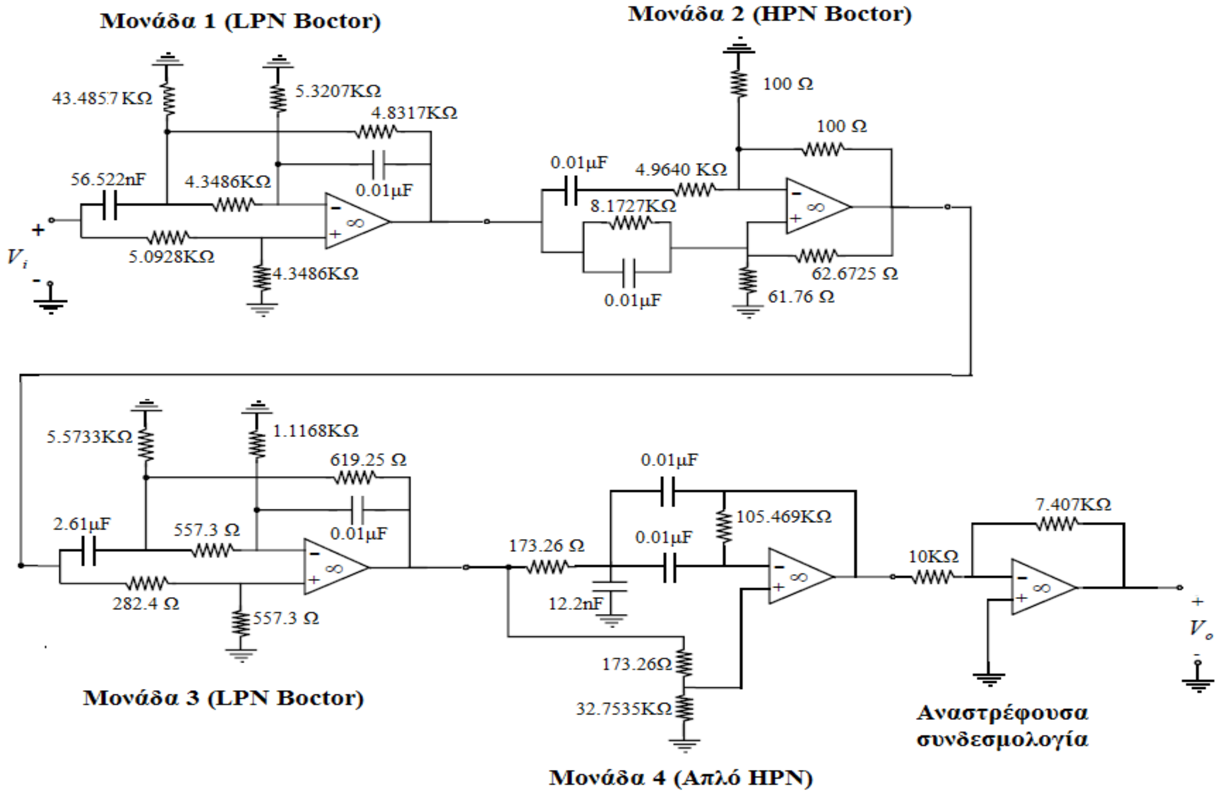
```
                        1.35 s^8 + 1.331e09 s^6 + 4.922e17 s^4 + 8.088e25 s^2 + 4.984e33
T = ---------------------------------------------------------------------------------------------------------------
    s^8 + 3.638e04 s^7 + 1.804e09 s^6 + 3.456e13 s^5 + 8.534e17 s^4 + 8.52e21 s^3 + 1.096e26 s^2 + 5.449e29 s + 3.691e33
```

<u>Μετά την ρύθμιση κέρδους</u> η τελική συνάρτηση είναι

```
                             1.35 s^8 + 1.331e09 s^6 + 4.922e17 s^4 + 8.088e25 s^2 + 4.984e33
Ttotal = ---------------------------------------------------------------------------------------------------------------
         1.35 s^8 + 4.912e04 s^7 + 2.435e09 s^6 + 4.666e13 s^5 + 1.152e18 s^4 + 1.15e22 s^3 + 1.479e26 s^2 + 7.356e29 s + 4.984e33
```

Παρατηρούμε ότι στις χαμηλές συχνότητες s = 0 έχουμε | Ttotal | = 1 αφού οι σταθεροί όροι αριθμητή και παρονομαστή είναι ίσοι.

Χρησιμοποιώντας τα ζωνοφρακτικά κυκλώματα Notch που παρουσιάστηκαν προηγουμένως και σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε η κυκλωματική μορφή του **ζωνοφρακτικού φίλτρου Chebyshev** φαίνεται παρακάτω με ότι στοιχείο είναι απαραίτητο αλλά και με τις απαιτούμενες τιμές όλων των στοιχείων για την ικανοποίηση των ζητούμενων προδιαγραφών.



B. Μελέτη της Συνάρτησης Μεταφοράς στο MATLAB

Εισάγουμε στο πρόγραμμα MATLAB τις επί μέρους συναρτήσεις μεταφοράς των ζωνοφρακτικών μονάδων αλλά και την συνολική συνάρτησης μεταφοράς του ζωνοφρακτικού φίλτρου Chebyshev και παίρνουμε τις αποκρίσεις πλάτους σε dB. Η απόκριση πλάτους σε dB των μονάδων 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.

Υπενθυμίζουμε τις προδιαγραφές του φίλτρου

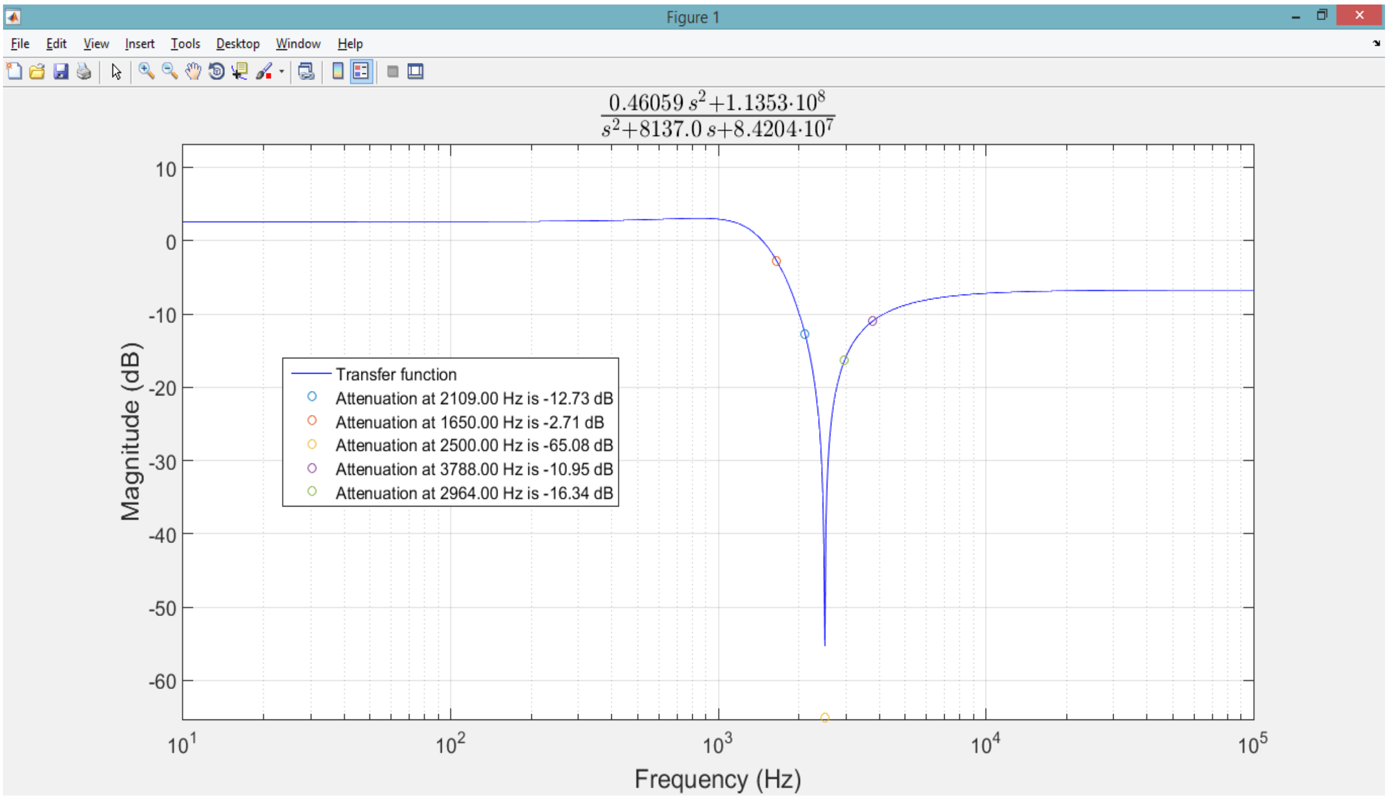
f0 = 2.5KHz, f1 = 1.65KHz, f2 = 3.788KHz, f3 = 2.109KHz και f4 = 2.964KHz

Για τις αποσβέσεις είναι:

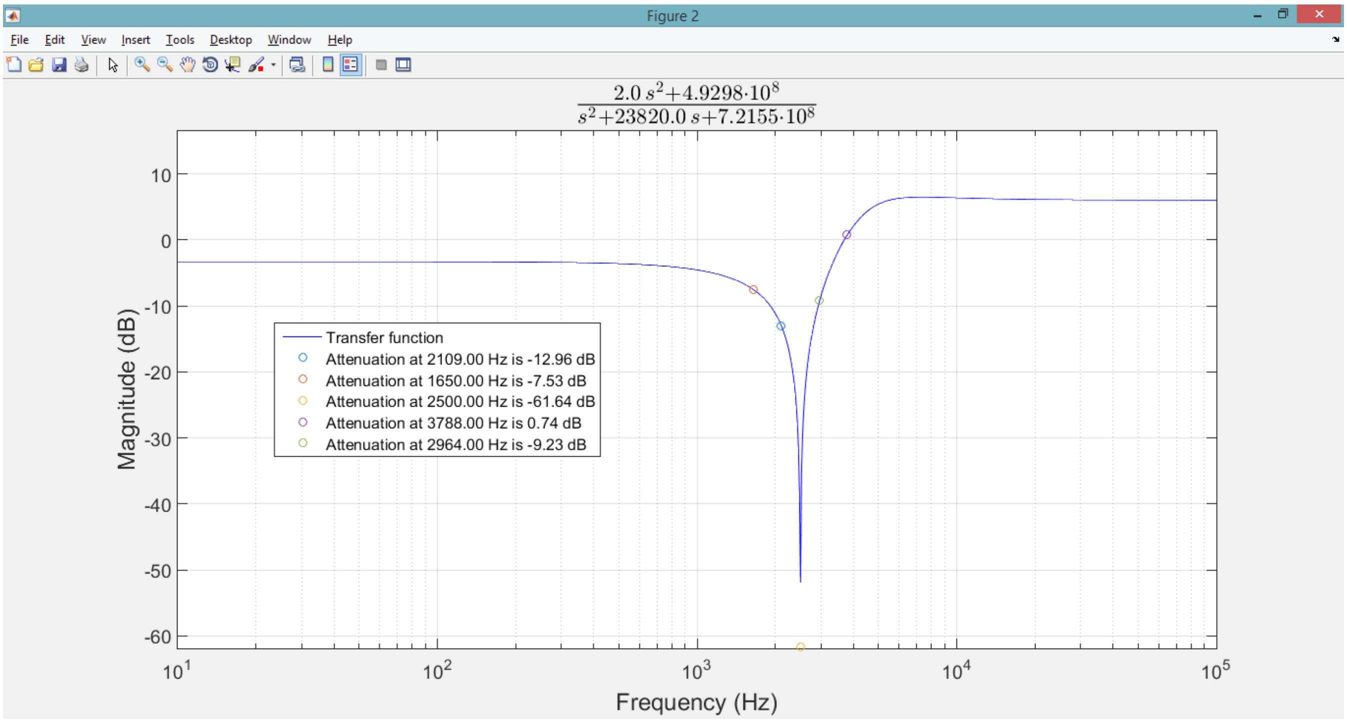
amin = 26 dB

amax = 0.5 dB

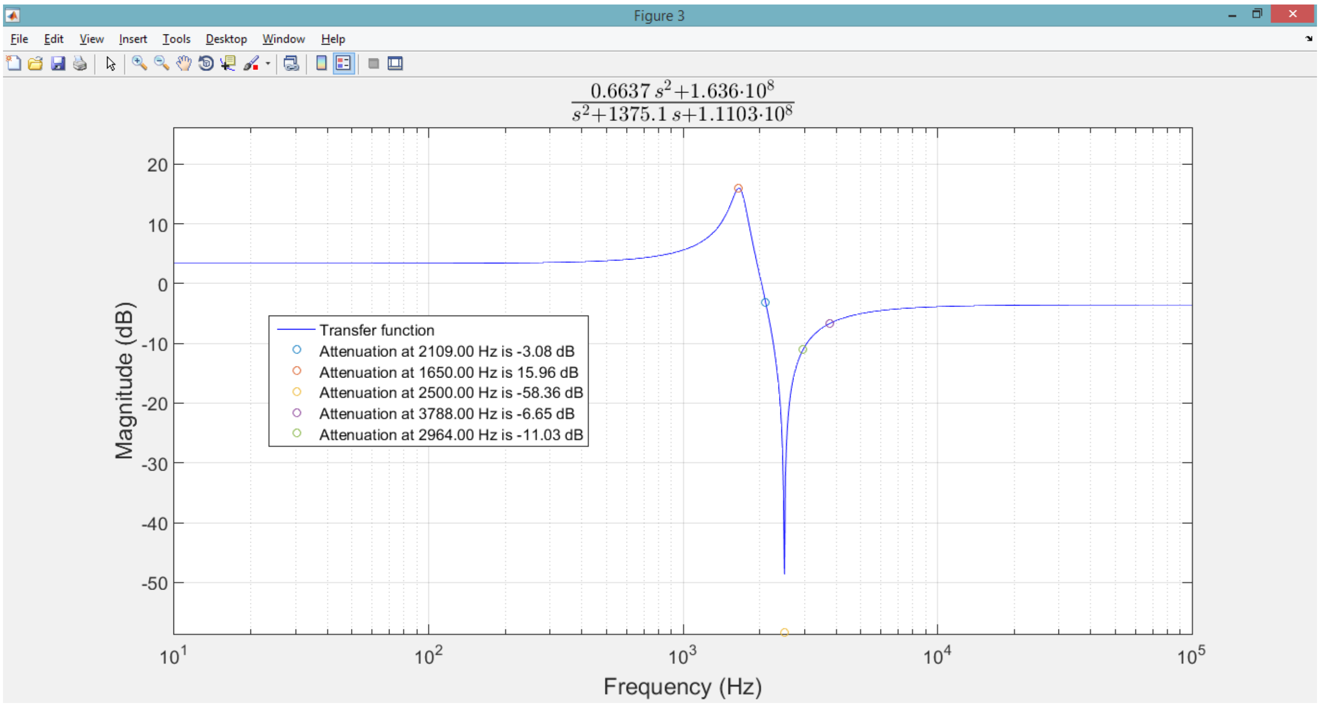
Μονάδα 1 : Ζωνοφρακτικό φίλτρο LPN Boctor



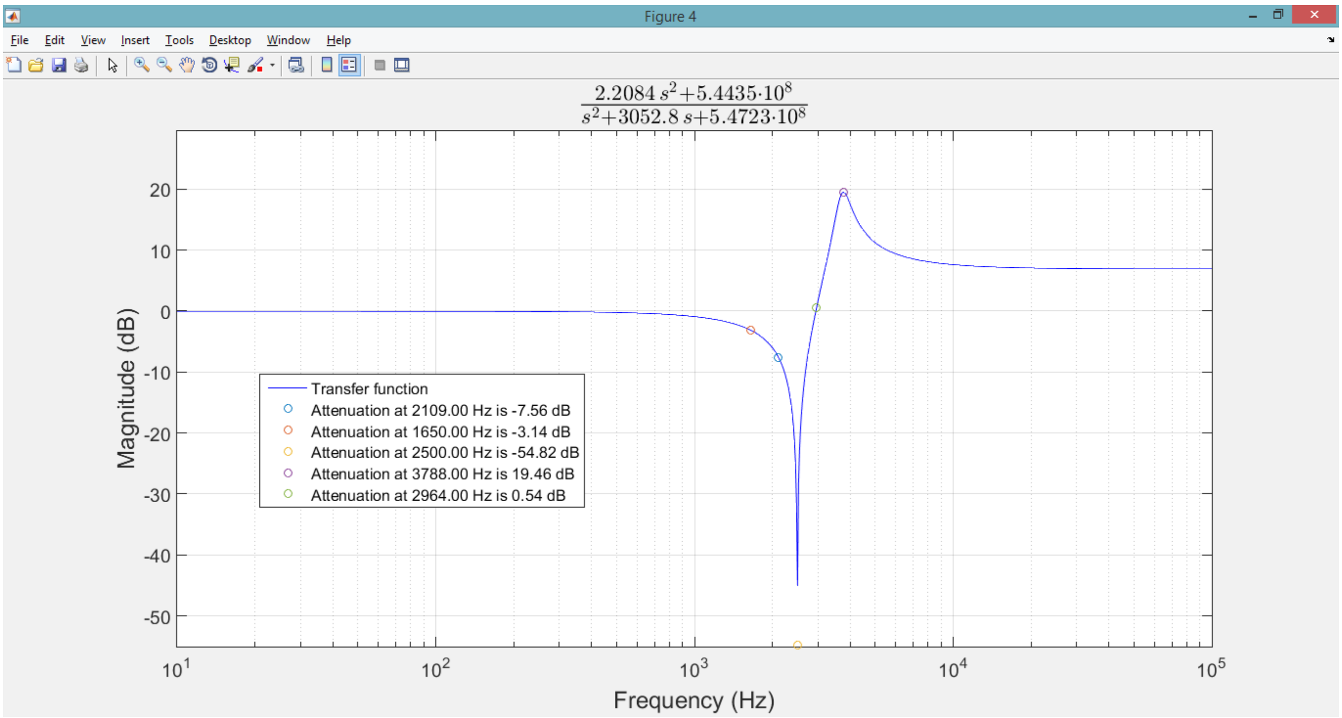
Μονάδα 2 : Ζωνοφρακτικό φίλτρο HPN Boctor



Μονάδα 3 : Ζωνοφρακτικό φίλτρο LPN Boctor

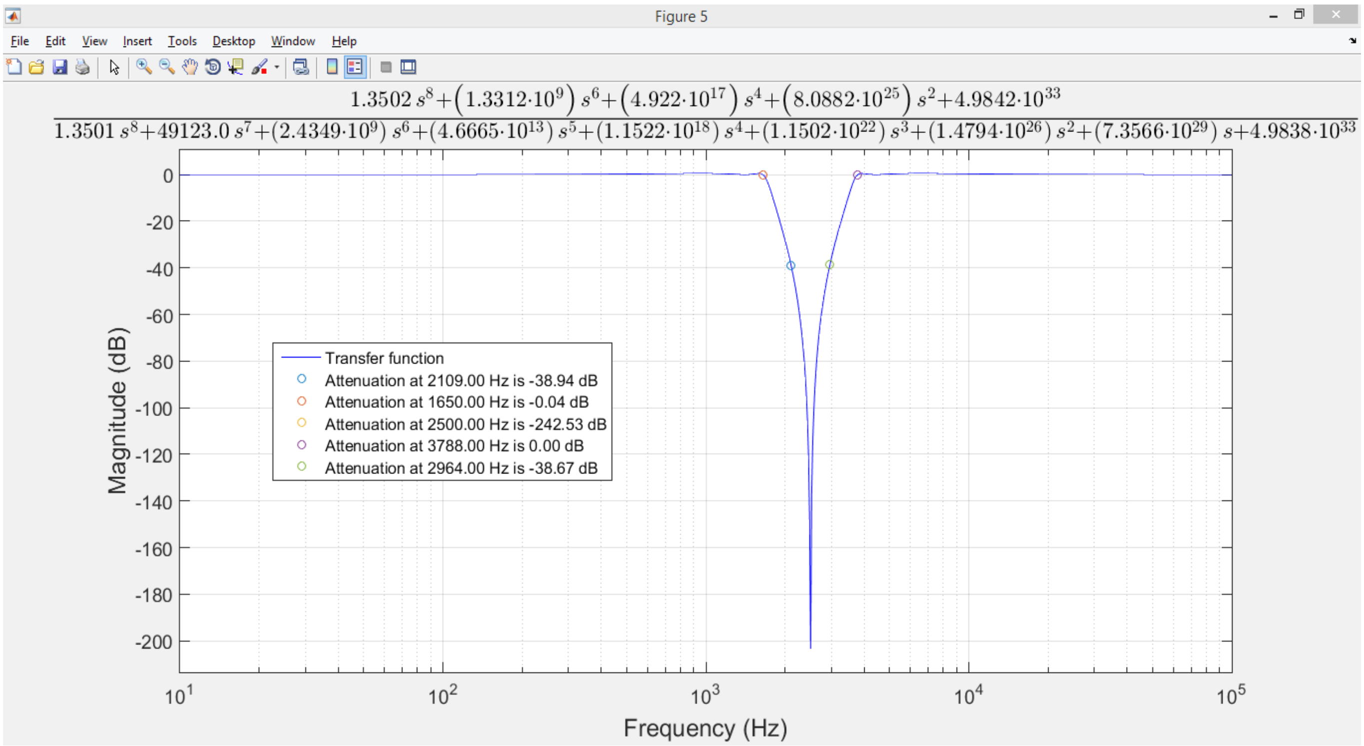


Μονάδα 4 : Ζωνοφρακτικό φίλτρο απλό LPN

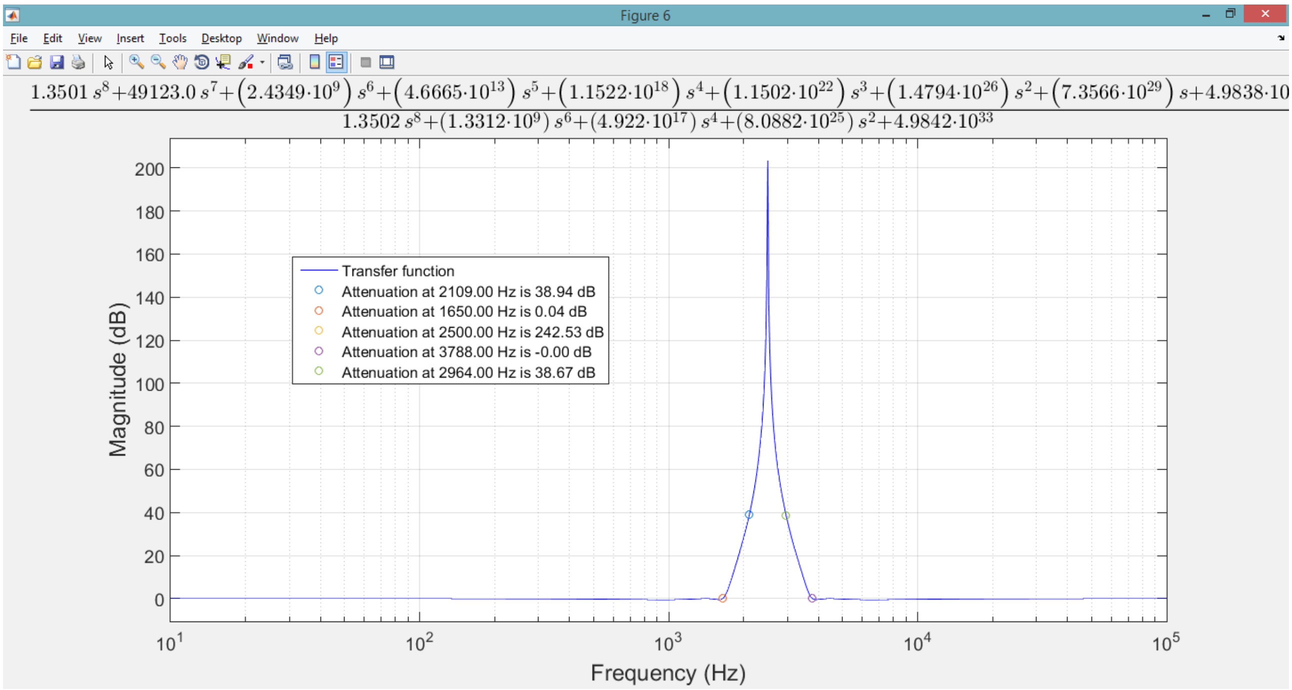


Συνολική συνάρτηση μεταφοράς ζωνοφρακτικού φίλτρου Chebyshev με ρύθμιση κέρδους

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



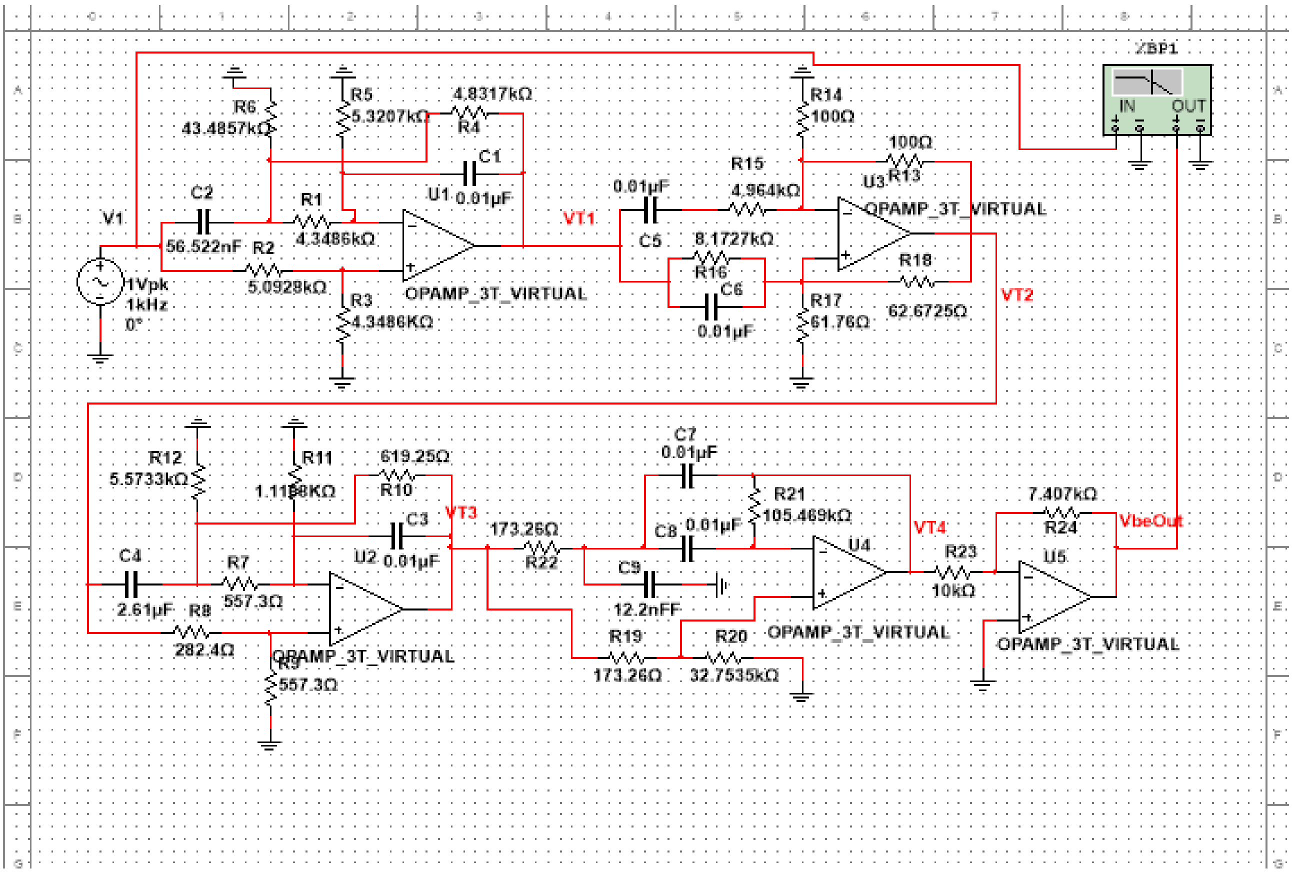
Παρακάτω φαίνεται η συνάρτηση απόσβεσης σε dB της συνολικής συνάρτησης μεταφοράς συναρτήσει της συχνότητας.



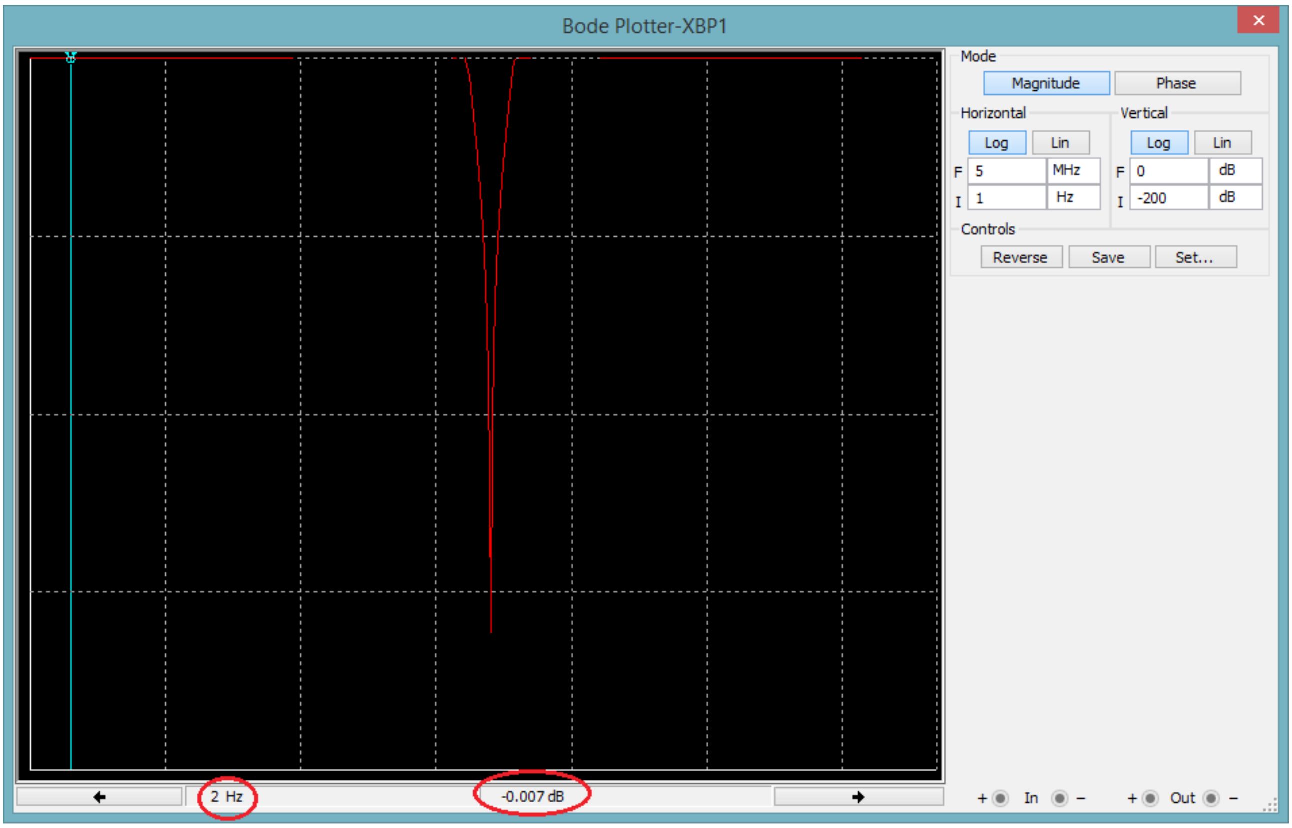
Παρατηρώντας το τελευταίο διάγραμμα όπου απεικονίζεται η απόσβεση του φίλτρου είναι φανερό ότι η θεωρητική ανάλυση που εκτελέστηκε και τα συστήματα που κατασκευάστηκαν οδήγησαν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα στο σχήμα σημειώνονται οι βασικές συχνότητες που ορίζουν την ζώνη διόδου και αποκοπής,για τις οποίες βλέπουμε ότι οι αποσβέσεις είναι περίπου στα 0.04dB και 38.67 dB αντίστοιχα,δηλαδή οι προδιαγραφές που έχουν τεθεί ικανοποιούνται από το σύστημα το οποίο τελικά όπως διακρίνουμε αποτελεί ένα ζωνοφρακτικό φίλτρο. Επιπροσθέτως, είναι φανερό από το διάγραμμα ότι η ρύθμιση κέρδους που εκτελέσαμε οδήγησε το φίλτρο σε τιμή απόσβεσης 0dB για τις χαμηλές συχνότητες. Τέλος μια ακόμα σημαντική πληροφορία που δίνουν τα διαγράμματα σχετίζεται με τα μηδενικά των συστημάτων,όλα τα συστήματα έχουν πολλαπλά μηδενικά στο σημείο f = 15700 rad/sec => f/2π = 2.5KHz δηλαδή στην κεντρική συχνότητα. Από τα παραπάνω σχήματα βλέπουμε ότι για όλα τα φίλτρα καθώς και για το τελικό σύστημα η συχνότητα αυτή αντιστοιχεί στο σημείο με την μέγιστη απόσβεση.

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 τις μονάδες Notch που έχουν σχεδιασθεί στην προηγούμενη φάση της εργασίας στο περιβάλλον MULTISIM και παίρνουμε το παρακάτω κύκλωμα.

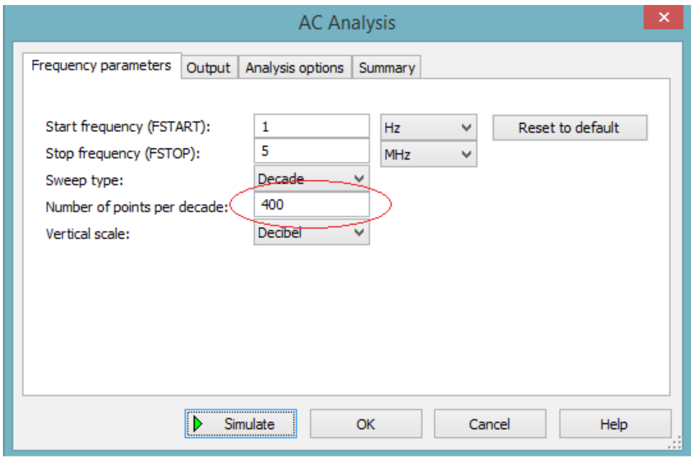


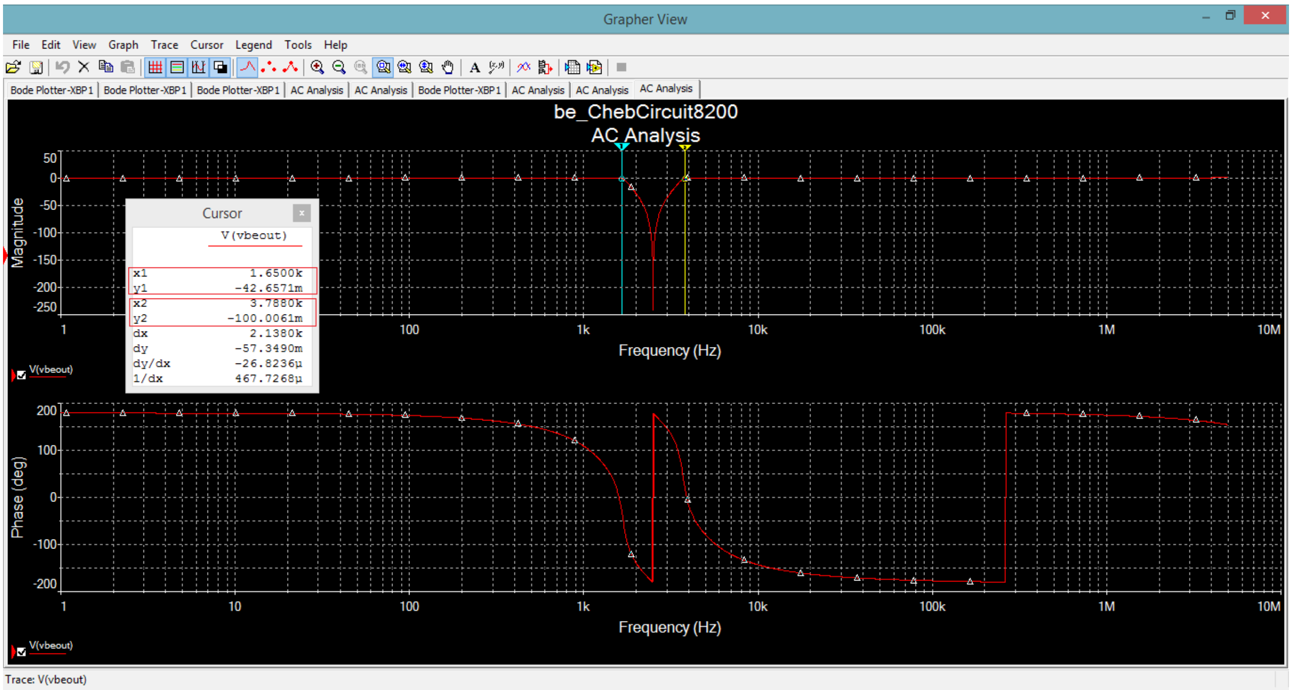
• Στο κύκλωμα που έχουμε σχεδιάσει χρησιμοποιούμε τον Bode-Plotter για να προκύψει η απόκριση συχνότητας του φίλτρου-κυκλώματος. Το διάγραμμα που παίρνουμε φαίνεται παρακάτω :



Μια πρώτη εικόνα της απόκρισης του συστήματος δείχνει ότι το σύστημα συμπεριφέρεται σαν ζωνοφρακτικό φίλτρο επιπλέον οι προδιαγραφή για το κέρδος 0dB για τις χαμηλές συχνότητες καλύπτεται καθώς από ότι μπορούμε να δούμε ο κέρσορας έχει τοποθετηθεί στην συχνότητα των 2HZ για την οποία δίνεται η τιμή των -0.007 dB = 0dB.

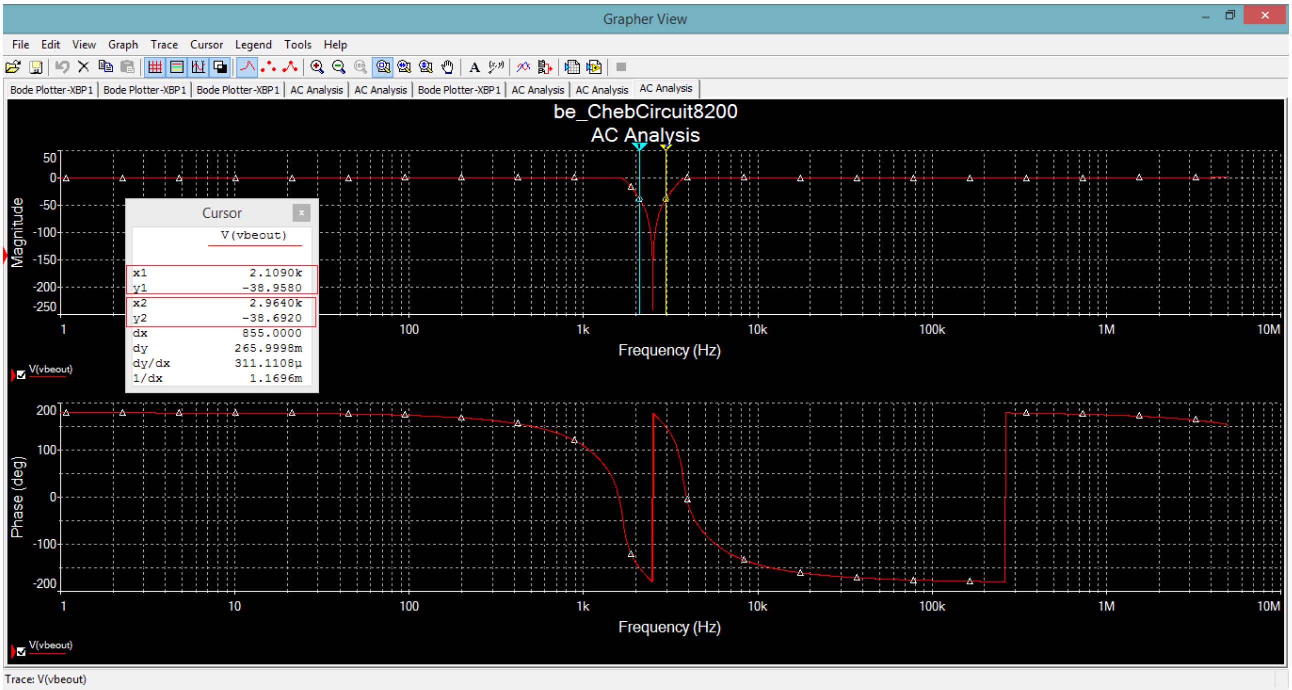
Το παρακάτω διάγραμμα του Multisim απεικονίζει την συνολική συνάρτηση μεταφοράς όπως δίνεται από την εκτέλεση AC analysis με δυνατότητα ανάγνωσης των τιμών.
Στις ρυθμίσεις της AC analysis ορίζουμε μεγάλη πυκνότητα σημείων (400) ανα δεκάδα ώστε να πάρουμε διάγραμμα με μεγάλη ακρίβεια στις τιμές του





Στο διάγραμμα οι κέρσορες έχουν τοποθετηθεί στις συχνότητες διόδου 1.65KHz και 3.788KHz για τις οποίες παίρνουμε τις τιμές -42.6571m ≈ 0.042 dB < 0.5dB και επίσης 100.0061m ≈ 0.1 dB < 0.5dB και άρα έχουμε ικανοποίηση των προδιαγραφών.

Παρακάτω προβάλουμε το ίδιο διάγραμμα αλλά για τις συχνότητες αποκοπής 2.109KHz και 2.964KHz. Οι τιμές της απόκρισης που μας δίνει το παρακάτω διάγραμμα είναι 38.94 dB για την συχνότητα των 2.109KHz και 38.69 για την συχνότητα των 2.964KHz που είναι αρκετά πιο μεγάλες από την προδιαγραφή των 26 dB.



Από τα προηγούμενα διαγράμματα γίνεται φανερό ότι τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε από την ανάλυση του κυκλώματος συμβαδίζουν με την θεωρητική ανάλυση που εκτελέστηκε με την χρήση του matlab καθώς τα διαγράμματα όπως βλέπουμε είναι ίδια και στις δύο περιπτώσεις. Συνοψίζοντας,από τα σχόλια που έγιναν σχετικά με τα διαγράμματα τελικά οι ανάλυση και η κατασκευή του φίλτρου ήταν επιτυχής και έτσι το <u>κύκλωμα αντιστοιχεί σε ένα ζωνοδιαβατό φίλτρο Chebyshev το οποίο ικανοποιεί τις αρχικές προδιαγραφές.</u>

- Εισάγουμε τώρα στο κύκλωμα μια πηγή περιοδικού σήματος. Σύμφωνα με την εκφώνηση το επιθυμητό σήμα εισόδου είναι.

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

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

Μετά την εκτέλεση των πράξεων η συνάρτηση αποκτάει την μορφή

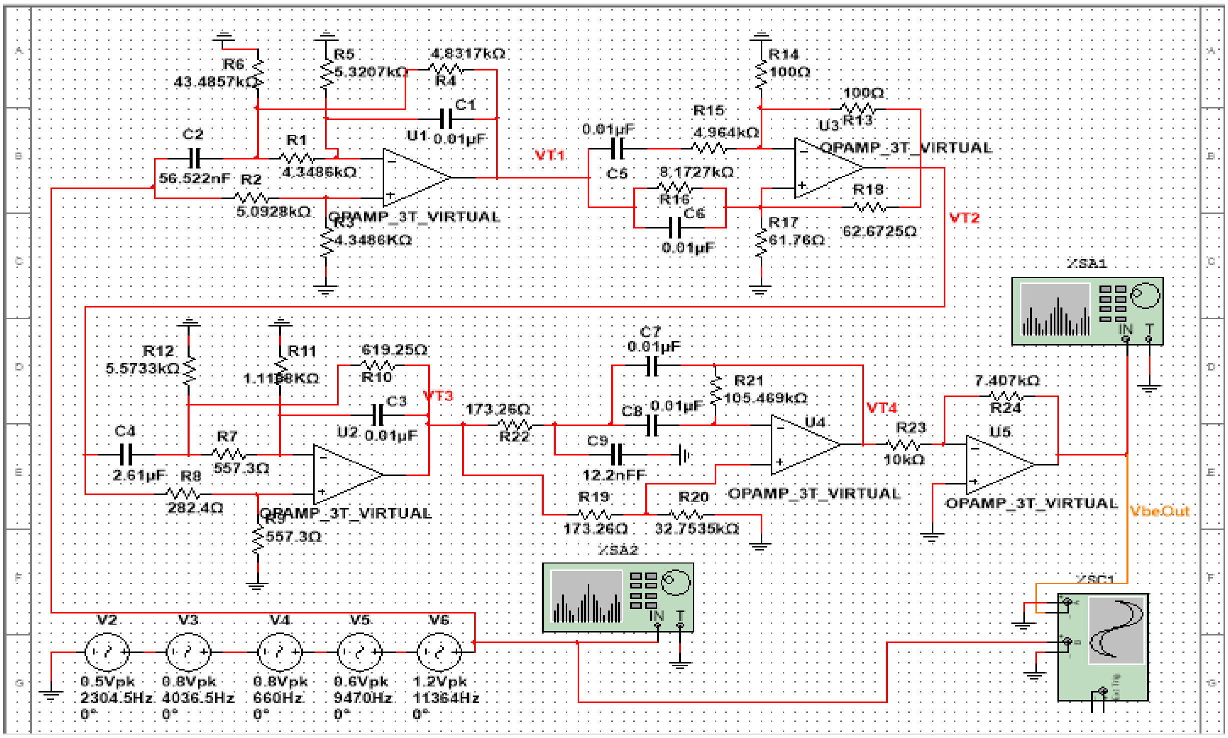
f(t) = 0.5cos(2π2304.5t) +0.8cos(2π4036.5t)+0.8cos(2π660t)+0.6cos(2π9470t)+1.2cos(2π11364t)

Άθροισμα αρμονικών σημάτων με συχνότητες

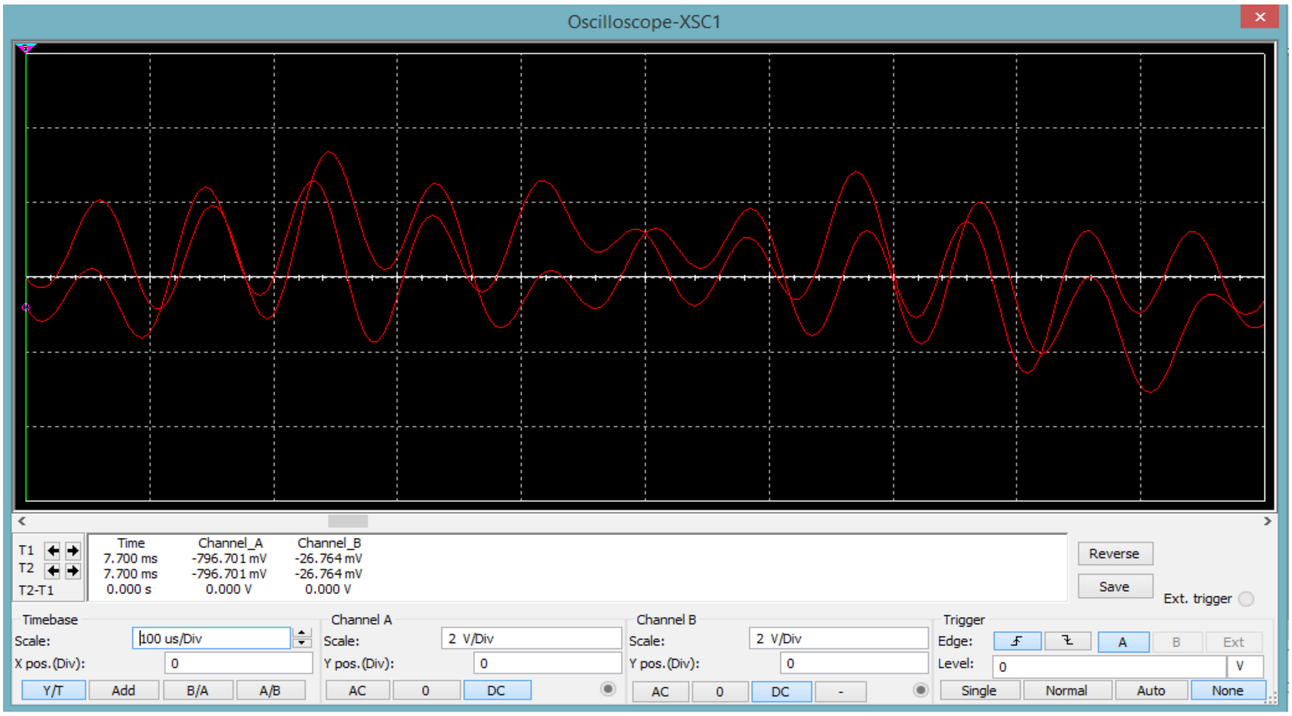
<u>**fa = 2304.5 Hz, fb = 4036.5, Hz, fc = 660 Hz, fd =9470 Hz, fe = 11364 Hz**</u>

Παρατηρώντας τις παραπάνω συχνότητες βλέπουμε ότι η συχνότητα fa = 2304.5 Hz βρίσκεται μέσα στην ζώνη αποκοπής (1.65KHz ως 3.788KHz) του φίλτρου ενώ οι υπόλοιπες συχνότητες βρίσκονται στην ζώνη διάβασης. Επομένως μπορούμε να προβλέψουμε ότι το αποτέλεσμα από την εισαγωγή του σήματος στο φίλτρο θα είναι να αποκοπεί το σήμα σε αυτή τη συχνότητα και τα υπόλοιπα σήματα να περάσουν ανεπηρέαστες.

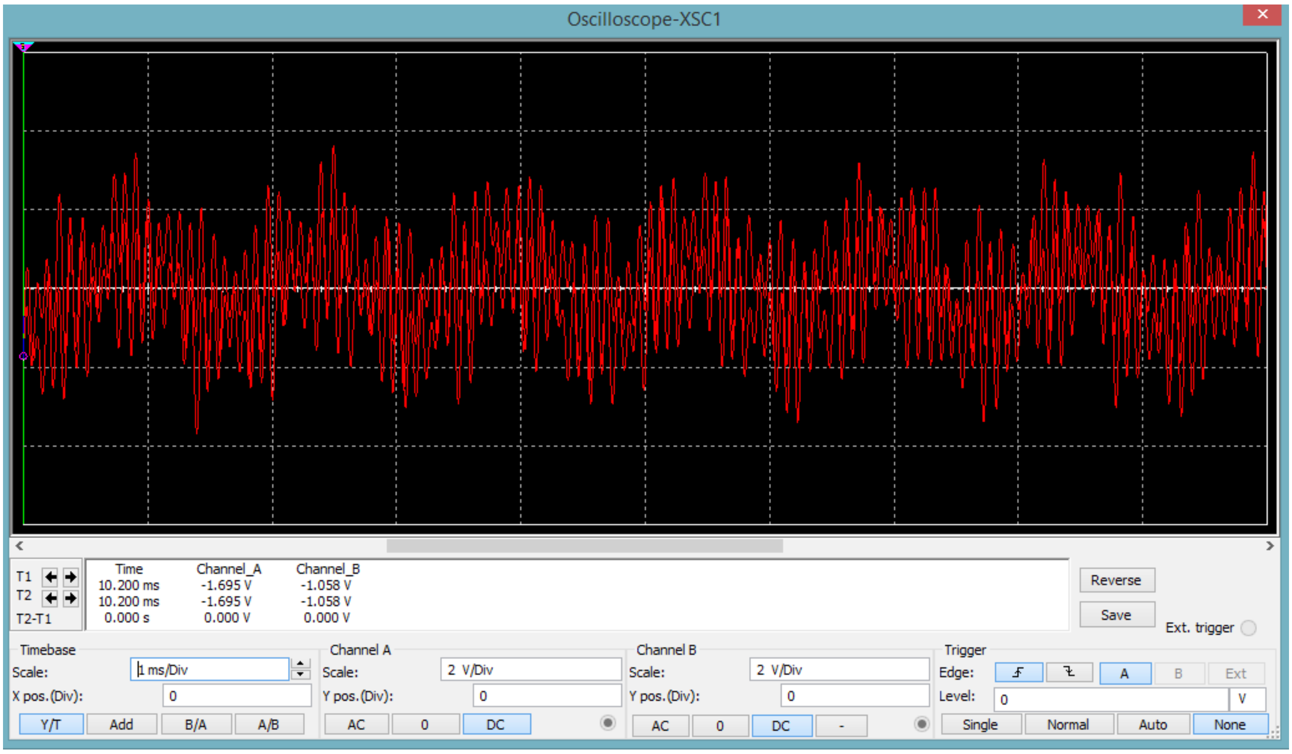
Κατασκευάζουμε στο multisim το παρακάτω κύκλωμα όπου συνδέουμε στην είσοδο σε σειρά αρμονικές πηγές των παραπάνω συχνοτήτων ώστε τελικά να πάρουμε το συνολικό σήμα f(t).



Να σημειωθεί ότι λόγο της αναστρέφουσας συνδεσμολογίας η έξοδος του συστήματος είναι ανεστραμμένη. Για να πάρουμε συγκρίσιμα αποτελέσματα για τα σήματα εισόδου και εξόδου όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα το σήμα εξόδου έχει συνδεθεί αντίστροφα στο παλμογράφο , δηλαδή στον αρνητικό ακροδέκτη. Επομένως στο παρακάτω διάγραμμα έχουμε το αποτέλεσμα από τα σήματα εισόδου εξόδου. Στα παραπάνω διαγράμματα φαίνονται οι επιλογές που κάναμε στον παλμογράφο για να προκύψουν οι αντίστοιχες παραστάσεις (για παράδειγμα: V/Div , sec/Div κτλ.).



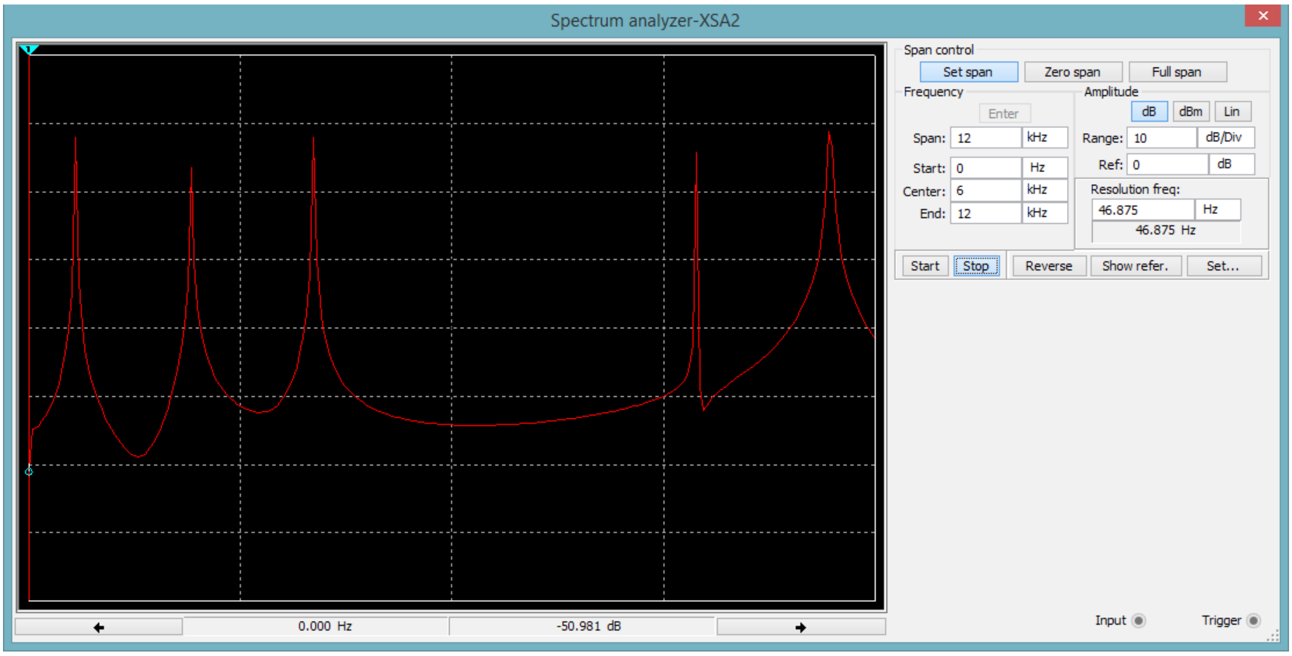
Αλλάζοντας την κλίματα του χρόνου από 100us/Div σε 1ms/Div έχουμε



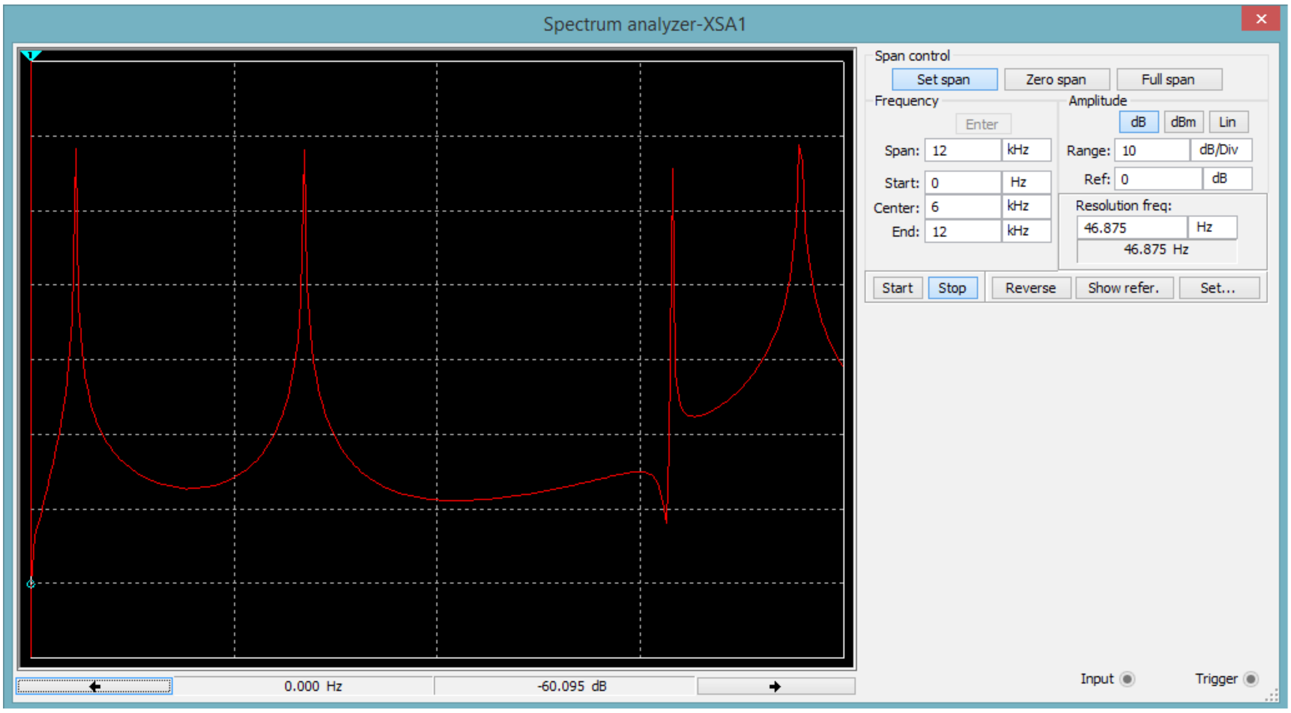
Παρατηρώντας τα σχήματα βλέπουμε ότι τα σήματα εισόδου και εξόδου περιέχουν σήματα με την ίδια περίοδο αφού φαίνεται ότι εμφανίζονται η ίδιες περιοδικότητες στην μεταβολή τους αλλά λόγο των την διαφοράς που έχουν τα δύο σήματα υποθέτουμε ότι το σήμα εξόδου δεν περιέχει όλα τα σήματα εισόδου. Η υπόθεση αυτή θα επιβεβαιωθεί καλύτερα με τα ακόλουθα διαγράμματα φάσματος.

Διαγράμματα φάσματος multisim

Φάσμα εισόδου



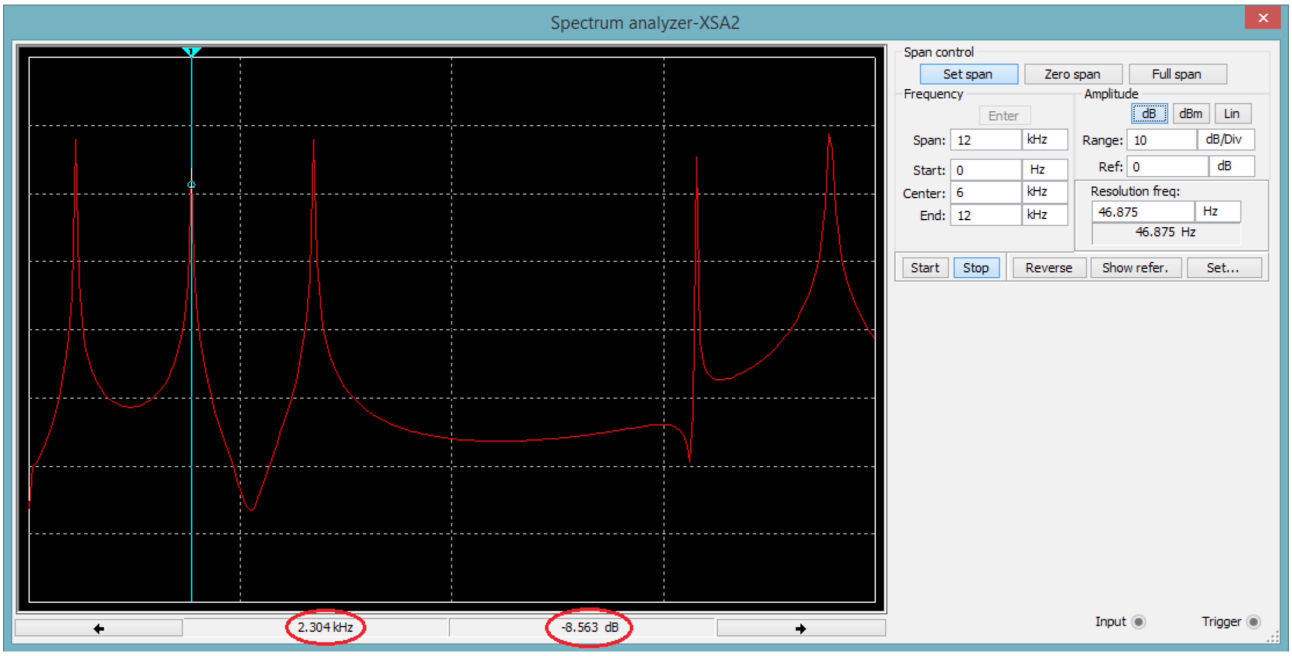
Φάσμα εξόδου



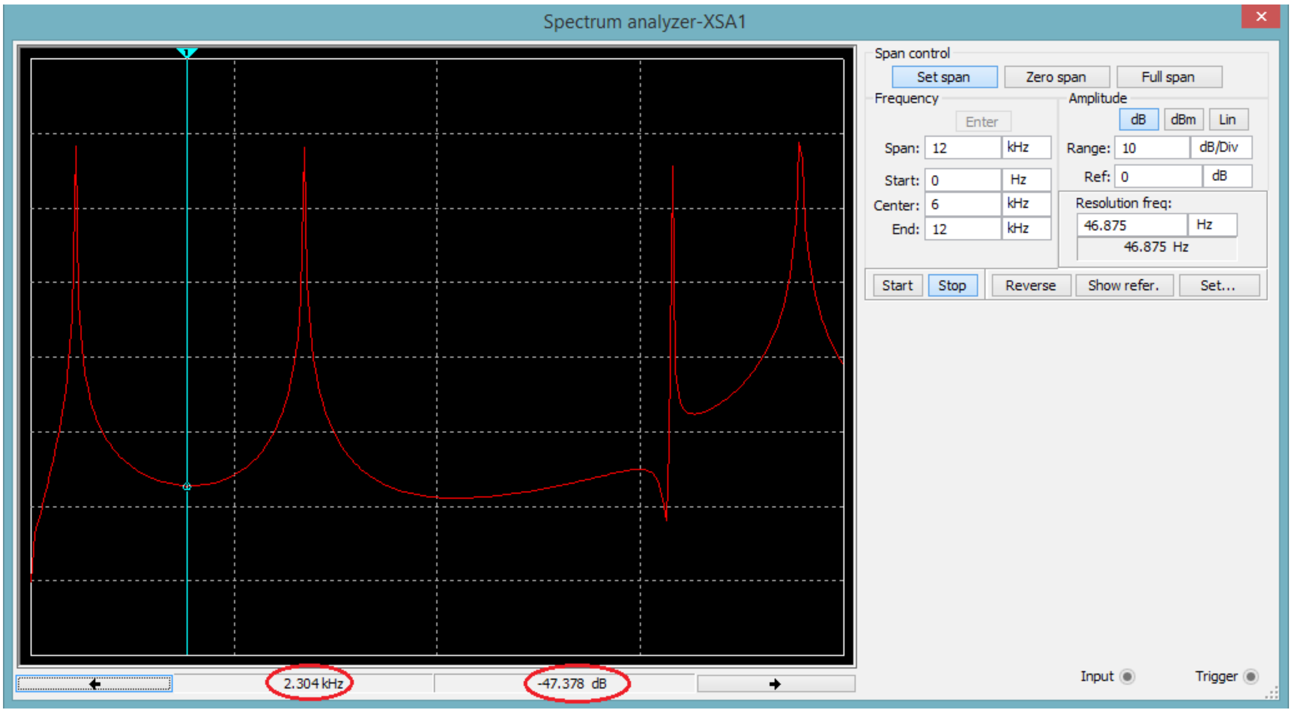
Από τα διαγράμματα γίνεται ξεκάθαρο ότι από το σήμα εξόδου λείπει το σήμα στην συχνότητα των 2304.5 Hz βρίσκεται μέσα στην ζώνη αποκοπής (1.65KHz ως 3.788KHz) του φίλτρου.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα ίδια διαγράμματα αλλά τώρα τοποθετούμε τους κέρσορες στην συχνότητα των 2304.5 Hz και έχουμε.

Φάσμα εισόδου



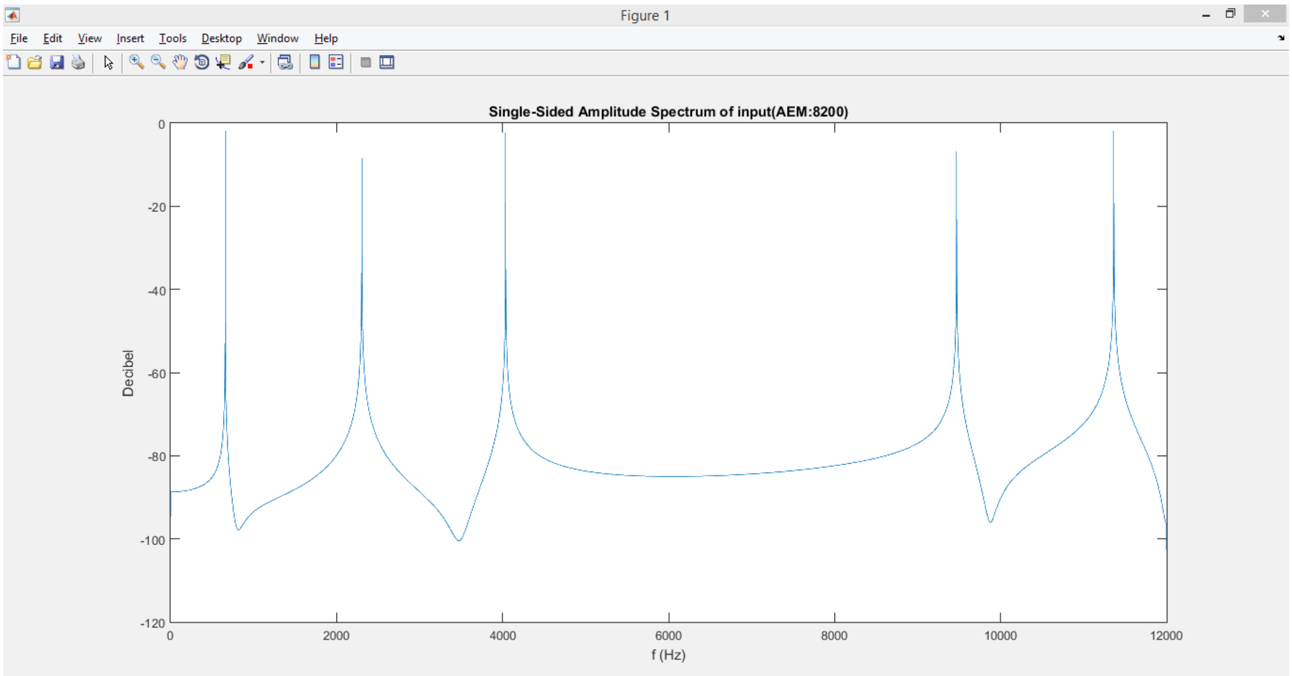
Φάσμα εξόδου



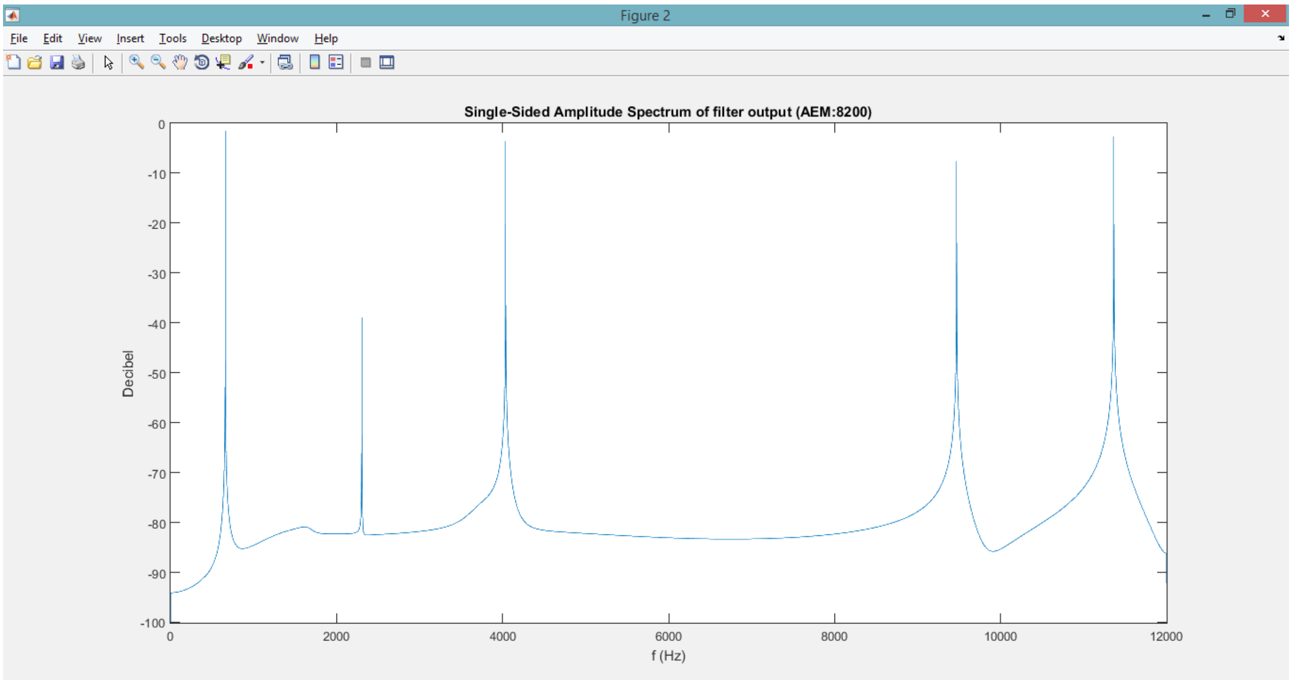
Επομένως τα αποτελέσματα είναι ξεκάθαρα και επιβεβαιώνουν την σωστή λειτουργία του φίλτρου.

Από την θεωρητική ανάλυση στο matlab παίρνουμε τα αντίστοιχα φάσματα των σημάτων εισόδου και εξόδου του φίλτρου.

Φάσμα Σήματος Εισόδου :



Φάσμα Σήματος Εξόδου :



Όπως ήταν αναμενόμενο τα αποτελέσματα του matlab επιβεβαιώνουν όσα ειπώθηκαν προηγουμένως. Στο διάγραμμα φαίνεται ξεκάθαρα η απόσβεση του σήματος συχνότητας 2304.5 Hz που βρίσκεται μέσα στην ζώνη αποκοπής (1.65KHz ως 3.788KHz) του φίλτρου.