

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

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΙΑ #2

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΘΕΟΧΑΡΗΣ Ι.

7^ο ΕΞΑΜΗΝΟ

Όνομα : Μπεκιάρης Θεοφάνης

A.E.M. : 8200

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2018

Πίνακας περιεχομένων

Εργασία #1 : Σχεδίαση Ζωνοδιαβατού Φίλτρου Chebyshev.....	3
Ζωνοδιαβατού Φίλτρου Chebyshev.....	3
Προδιαγραφές του προβλήματος :.....	3
A. Αναλυτική Σχεδίαση του Φίλτρου.....	4
• Υπολογισμός της Συνάρτησης Μεταφοράς.....	4
Τάξη φίλτρου.....	5
Συχνότητα ημίσειας ισχύος.....	5
• Υλοποίηση της Συνάρτησης Μεταφοράς.....	13
B. Μελέτη της Συνάρτησης Μεταφοράς στο MATLAB.....	16
Γ. Υλοποίηση του Κυκλώματος του Φίλτρου στο MULTISIM.....	22

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Εργασία #1 : Σχεδίαση Ζωνοδιαβατού Φίλτρου Chebyshev

Ζωνοδιαβατού 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

$$f_0 = 0.9 \text{ kHz}, \quad f_1 = 650 + 25 \times a_3 \text{ Hz} \quad (1)$$

$$f_2 = \frac{f_0^2}{f_1}$$
$$f_3 = \frac{-D + \sqrt{D^2 + 4 \times f_0^2}}{2}, \text{ με } D = 2.2 \times \frac{f_0^2 - f_1^2}{f_1} \quad (2)$$
$$f_4 = \frac{f_0^2}{f_3}$$

$$a_{min} = 28 + a_4 \times \frac{5}{9} \text{ (dB)}$$
$$a_{max} = 0.5 + \frac{a_3}{36} \text{ (dB)} \quad (3)$$

Δεδομένου ότι ΑΕΜ :8200 οι προδιαγραφές είναι.

$f_0 = 0.9\text{KHz}$, $f_1 = 0.65\text{KHz}$, $f_2 = 1.246\text{KHz}$, $f_3 = 0.458\text{KHz}$ και $f_4 = 1.768\text{KHz}$

Για τις αποσβέσεις είναι:

$a_{min} = 28 \text{ dB}$

$a_{max} = 0.5 \text{ dB}$

Σε rad/sec οι παραπάνω συχνότητες γίνονται :

$\omega_0 = 5652 \text{ rad/sec}$, $\omega_1 = 4082 \text{ rad/sec}$, $\omega_2 = 7825 \text{ rad/sec}$,

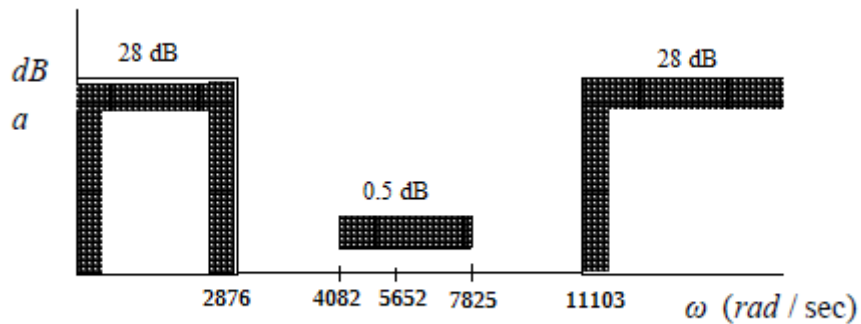
$\omega_3 = 2876 \text{ rad/sec}$, $\omega_4 = 11103 \text{ rad/sec}$,

και

$a_{min} = 28 \text{ dB}$

$a_{max} = 0.5 \text{ dB}$

Το υπό σχεδίαση ζωνοδιαβατό φίλτρο Chebyshev με τις παραπάνω προδιαγραφές είναι



A. Αναλυτική Σχεδίαση του Φίλτρου

• Υπολογισμός της Συνάρτησης Μεταφοράς

Υπολογισμός προδιαγραφών πρότυπου φίλτρου

Οι προδιαγραφές της πρωτότυπης απόκρισης προκύπτουν σύμφωνα με την σχέση του κεφαλαίου 11

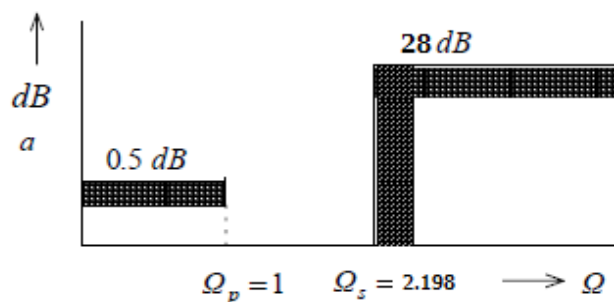
$$a_{\min}, a_{\max}, \Omega_p = 1, \Omega_s = \frac{\omega_4 - \omega_3}{\omega_2 - \omega_1} \quad (11-56)$$

Άρα έχουμε

$$\Omega_p = 1, \Omega_s = (11103 - 2876) / (7825 - 4082) = 8227 / 3743 \Rightarrow \Omega_s = 2.1979$$

$$a_{\min} = 28 \text{ dB}, a_{\max} = 0.5 \text{ dB} \text{ και } \omega_0 = 5652 \text{ rad/sec}, \text{bw} = \omega_2 - \omega_1 = 3743 \text{ rad/sec}$$

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.



Τάξη φίλτρου

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 :

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

Επομένως:

$$n = \cosh^{-1}([(10^{2.8}-1) / (10^{0.05}-1)]^{1/2}) / \cosh^{-1}(\omega_s)$$

$$n = \cosh^{-1}([629.95 / 0.122]^{1/2}) / \cosh^{-1}(\omega_s)$$

$$n = \cosh^{-1}(71.857) / \cosh^{-1}(2.198)$$

$$n = 4.967 / 1.424$$

$$n = 3.48$$

Επιλέγουμε τον αμέσως επόμενο ακέραιο άρα

n = 4 τάξη φίλτρου

Τώρα υπολογίζουμε την τιμή ε από τον τύπο

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

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

Συχνότητα ημίσειας ισχύος

Θα υπολογίσουμε τώρα την συχνότητα ημίσειας ισχύος από τον τύπο

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

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

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

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:

$$v_k = \pm \frac{1}{n} \sinh^{-1} \left(\frac{1}{\varepsilon} \right) = \pm a \quad (9-92)$$

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

$$a = 0.4437$$

Οι γωνίες Butterworth προκύπτουν από τους τύπους

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

$$\psi_k = 90^\circ - \phi_k \quad (9-101)$$

για n=4 είναι:

$$\psi_k = \pm 22.5^\circ, \pm 67.5^\circ \text{ σε σχέση με τον αρνητικό πραγματικό άξονα.}$$

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

$$-\sigma_k = \sinh a \cdot \cos \psi_k$$

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

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

$$s_{1,2} = -0.4235 \pm j0.4201$$

$$s_{3,4} = -0.1754 \pm j1.0163$$

11.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ GEFFE (ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΙΓΑΔΙΚΩΝ ΠΟΛΩΝ)

Ορίζουμε τα παρακάτω μεγέθη:

$$q_c = \frac{\omega_0}{bw} \quad (11-6)$$

$$C = \Sigma_2^2 + \Omega_2^2 \quad (11-28)$$

$$D = \frac{2\Sigma_2}{q_c} \quad (11-29)$$

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

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

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

$$k = \frac{\Sigma_2 Q}{q_c} \quad (11-33)$$

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

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

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

Μετασχηματίζουμε τους πόλους Chebyshev της κατωδιαβατής απόκρισης σύμφωνα με τον αλγόριθμο του Geffe.

Για πιο γρήγορο και ακριβή υπολογισμό των συντελεστών κατασκευάσα ένα script στο Matlab το οποίο εκτελεί τις παραπάνω πράξεις, το αρχείο είναι το Geffe.m

Μετασχηματισμός του μιγαδικών πόλων : $s_{1,2} = -0.4235 \pm j0.4201$

Έχουμε $\Sigma_2 = 0.4235$ και $\Omega_2 = 0.4201$

$q_c = 5652 / 3743 = 1.51$

$C = 0.356572$

$D = 0.560920$

$E = 4.156381$

$G = 4.002121$

$Q = 3.600718$

$k = 1.009858$

$W = 1.150615$

$\omega_{02} = 6503.278100$

$\omega_{01} = 4912.154072$

Μετασχηματισμός του μιγαδικών πόλων : $s_{3,4} = -0.1754 \pm j1.0163$

Έχουμε $\Sigma_2 = 0.1754$ και $\Omega_2 = 1.0163$

$q_c = 1.510019$

$C = 1.063631$

$D = 0.232315$

$E = 4.466473$

$G = 4.442240$

$Q = 9.084797$

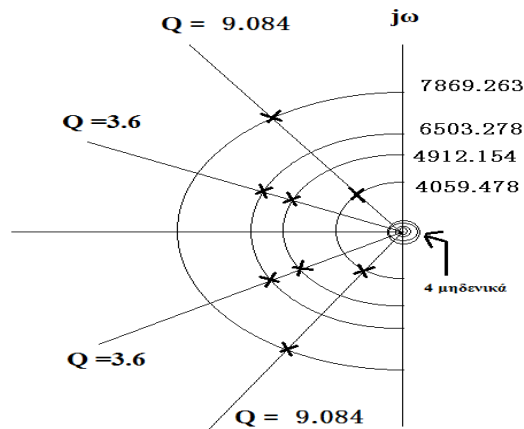
$k = 1.055267$

$W = 1.392297$

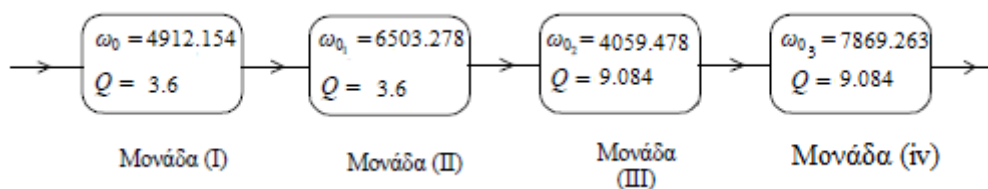
$\omega_{02} = 7869.263553$

$\omega_{01} = 4059.478220$

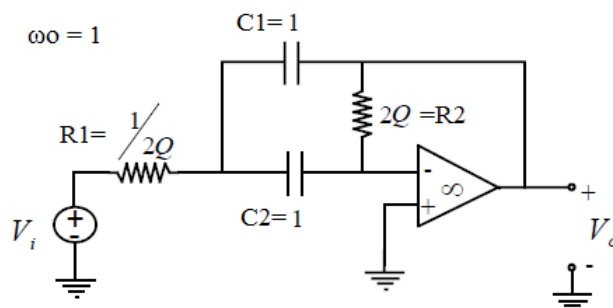
Οι μετασχηματισμένοι πόλοι και τα μηδενικά δίνονται στο ακόλουθο σχήμα.



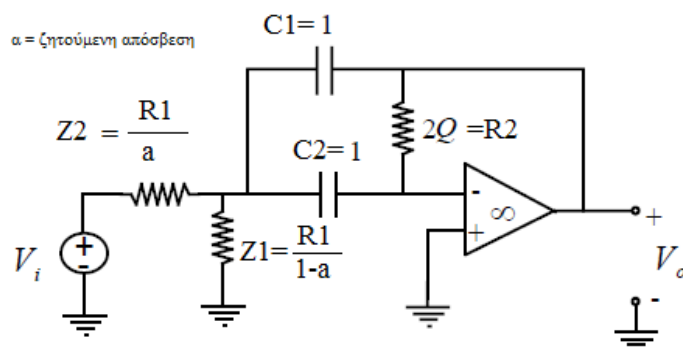
Το σύστημα αποτελείται από 4 μονάδες οι οποίες φαίνονται παρακάτω σε διαγραμματική μορφή.



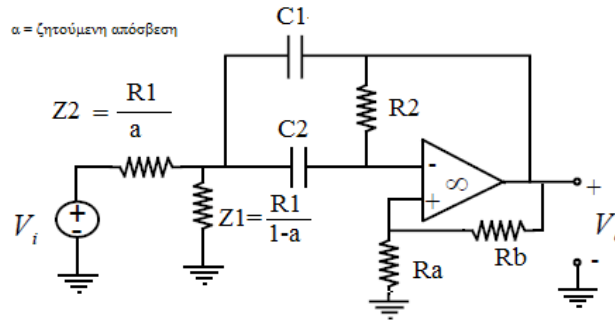
Σύμφωνα με την εκφώνηση λόγο του ότι $\alpha_3=0$, για την υλοποίηση των προηγούμενων μονάδων θα χρησιμοποιηθούν τα κυκλώματα Delyiannis-Fried στρατηγικής 2. Η μορφή των κυκλωμάτων είναι



Επειδή οι μονάδες χρειάζονται και ρύθμιση κέρδους θα εισάγουμε σε κάθε μονάδα ένα διαιρέτη τάσης στην είσοδο τους και τελικά τα κυκλώματα θα πάρουν την μορφή.



Για να υλοποιήσουμε τις ζωνοδιαβατές μονάδες χρησιμοποιούμε το κύκλωμα Delyiannis-Fried (στρατηγική (2)), όμως το κύκλωμα αυτό έχει περίπου $Q_{\max} = 5$, οι μονάδες (III) και (IV) χρησιμοποιούν το κύκλωμα του Σχ.7.18 (κεφάλαιο 7) με ενίσχυση Q (**Q enhancement**).



Στρατηγική σχεδίασης

$$\frac{R_2}{R_1} = \beta$$

$$C_1 = C_2 = 1 \quad \text{και} \quad \omega_0 = 1 \quad (7-111)$$

$$R_1 = \frac{1}{\sqrt{\beta}}, \quad R_2 = \sqrt{\beta} \quad \text{και} \quad k = \frac{Q(\beta + 2) - \sqrt{\beta}}{2Q - \sqrt{\beta}} \quad (7-112)$$

Από την (7-108) προκύπτει ότι το κέρδος της συνάρτησης μεταφοράς είναι:

$$\left| T_{BP}^{(2)}(j\omega) \right| = \frac{\frac{k}{(k-1)R_1C_1} \times \omega}{\left[(\omega_{02}^2 - \omega^2)^2 + \left(\omega_{02} \frac{\omega}{Q_2} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

Οι αντιστάσεις R_A και R_B μπορούν να καθορισθούν ανεξάρτητα. Επιλέγουμε αυθαίρετα R_A και έχουμε

$$R_B = (k-1)R_A$$

Το κέρδος στην κεντρική συχνότητα $\omega_0 = 5652 \text{ rad/sec}$ του συνολικού συστήματος σύμφωνα με την εκφώνηση θα πρέπει να είναι ίσο με 1 ή 0dB. Επιπλέον οι μονάδες πρέπει να έχουν ένα τουλάχιστον πυκνωτή $0.01\mu\text{F}$ (εκφώνηση $0.01\mu\text{F}$ αν $a4 \in \{8, 9, 0\}$), άρα:

Μονάδα 1

Έχουμε $Q = 3.6$ άρα κύκλωμα χωρίς ενίσχυση Q

Είναι για $\omega_0 = 1$

$$C1 = C2 = 1$$

$$R_1 = 1/2Q = 1/2 * 3.6 \Rightarrow R_1 = 0.1389$$

$$R_2 = 2Q \Rightarrow R_2 = 7.2$$

Το κέρδος της μονάδας (I) για την κεντρική συχνότητα συνολικού κυκλώματος

$s = j\omega = j5652 \text{ rad/sec}$ και για $\omega_{0i} = 4912.154 \text{ rad/s}$ είναι:

$$\left| T_{BP_i}(s) \right|^2 = \frac{(2Q_i\omega_{0_i}\omega)^2}{(\omega_{0_i}^2 - \omega^2)^2 + \left(\frac{\omega_{0_i}}{Q_i} \right)^2 \times \omega^2} \quad (11-58)$$

Με την εκτέλεση των πράξεων έχουμε

$$|T_{BP1}| = 18.1718$$

Ρίχνουμε το κέρδος κατά $a = 1 / |T_{BP1}| \Rightarrow a = 0.055$

Άρα

$$Z_1 = R_1/(1-a) = 0.1389/0.945 \Rightarrow Z_1 = 0.1470$$

$$Z_2 = R_1/a = 0.1389/0.055 \Rightarrow Z_2 = 2.5239$$

Κλιμακοποίηση

Για $\omega_{0i} = 4912.154 \text{ rad/s}$ έχουμε $k_f = 4912.154$. Για να έχουμε πυκνωτές με $0.01 \mu\text{F}$ πρέπει για την κλιμακοποίηση πλάτους των στοιχείων να ισχύει

$$C/k_f \cdot k_m = 10^{-8} \Rightarrow k_m = 20357.668$$

Άρα τα στοιχεία τελικά μετά την κλιμακοποίηση γίνονται:

$$C_1 = C_2 = \mathbf{0.01 \mu\text{F}}, R_1 = 0.1289 \cdot 20357.668 = 2.624 \text{ K}\Omega, R_2 = 7.2 \cdot 20357.668 = \mathbf{146.575 \text{ K}\Omega}$$

$$Z_1 = 0.1470 \cdot 20357.668 = \mathbf{2.9926 \text{ K}\Omega}, Z_2 = 2.5239 \cdot 20357.668 = \mathbf{51.3807 \text{ K}\Omega}$$

Μονάδα 2

Ομοίως με προηγούμενως

Έχουμε $Q = 3.6$ άρα κύκλωμα χωρίς ενίσχυση Q

Είναι για $\omega_0 = 1$

$$C_1 = C_2 = 1$$

$$R_1 = 1/(2 \cdot Q) = 1/(2 \cdot 3.6) \Rightarrow R_1 = 0.1389$$

$$R_2 = 2Q \Rightarrow R_2 = 7.2$$

Το κέρδος της μονάδας (II) για την κεντρική συχνότητα συνολικού κυκλώματος

$s = j\omega = j5652 \text{ rad/sec}$ και για $\omega_{0i} = 6503.278 \text{ rad/s}$ είναι:

$$\left| T_{BP_i}(s) \right|^2 = \frac{(2Q_i \omega_{0i} \omega)^2}{(\omega_{0i}^2 - \omega^2)^2 + \left(\frac{\omega_{0i}}{Q_i} \right)^2 \omega^2} \quad (11-58)$$

Με την εκτέλεση των πράξεων έχουμε

$$|T_{BP2}| = 18.2386$$

Ρίχνουμε το κέρδος κατά $a = 1 / |T_{BP2}| \Rightarrow a = 0.05483$

Άρα

$$Z_1 = R_1/(1-a) = 0.1289/0.945 \Rightarrow Z_1 = 0.1469$$

$$Z_2 = R_1/a = 0.1289/0.05483 \Rightarrow Z_2 = 2.5331$$

Κλιμακοποίηση

Για $\omega_{0i} = 6503.278 \text{ rad/s}$ έχουμε $k_f = 6503.278$. Για να έχουμε πυκνωτές με $0.01 \mu\text{F}$ πρέπει για την κλιμακοποίηση πλάτους των στοιχείων να ισχύει

$$C/k_f \cdot km = 10^{-8} \Rightarrow km = 15376.86$$

Άρα τα στοιχεία τελικά μετά την κλιμακοποίηση γίνονται:

$$C_1 = C_2 = \mathbf{0.01 \mu\text{F}}, R_1 = 0.1289 \cdot 15376.86 = 1.982 \text{ K}\Omega, R_2 = 7.2 \cdot 15376.86 = \mathbf{110.713 \text{ K}\Omega}$$

$$Z_1 = 0.1469 \cdot 15376.86 = \mathbf{2.2595 \text{ K}\Omega}, Z_2 = 2.5331 \cdot 15376.86 = \mathbf{38.9517 \text{ K}\Omega}$$

Μονάδα 3

Έχουμε $Q = 9.084$, όμως τα κυκλώματα Delyiannis-Fried (στρατηγική (2)) θέτουν ένα όριο για το

$Q_{\max} \approx 5$ άρα θα χρησιμοποιήσουμε τα κυκλώματα με ενίσχυση Q

Στρατηγική σχεδίασης

$$\frac{R_2}{R_1} = \beta$$

$$C_1 = C_2 = 1 \text{ και } \omega_0 = 1 \quad (7-111)$$

$$R_1 = \frac{1}{\sqrt{\beta}}, R_2 = \sqrt{\beta} \text{ και } k = \frac{Q(\beta + 2) - \sqrt{\beta}}{2Q - \sqrt{\beta}} \quad (7-112)$$

Από την (7-108) προκύπτει ότι το κέρδος της συνάρτησης μεταφοράς είναι:

$$\left| T_{BF}^{(2)}(j\omega) \right| = \frac{\frac{k}{(k-1)R_1C_1} \times \omega}{\left[(\omega_{02}^2 - \omega^2)^2 + \left(\omega_{02} \frac{\omega}{Q_2} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

Οι αντιστάσεις R_A και R_B μπορούν να καθορισθούν ανεξάρτητα. Επιλέγουμε αυθαίρετα R_A και έχουμε

$$R_B = (k-1)R_A$$

Για $\omega_0 = 1$ από του προηγούμενους τύπους που παρατίθενται παραπάνω είναι

$$C_1 = C_2 = 1$$

$$R_1/R_2 = \beta \text{ επιλέγουμε } \beta=1 \text{ άρα}$$

$$R_1 = 1^{-1/2} \Rightarrow R_1 = 1$$

$$R_2 = 1^{1/2} \Rightarrow R_2 = 1$$

$$k = (9.084 \cdot 3 - 1)/(2 \cdot 9.084 - 1) \Rightarrow k = 1.5291$$

Επιλέγω $R_A = 190/\text{km K}\Omega$ άρα $\Rightarrow R_B = 100.53/\text{km K}\Omega$ όπου km ο συντελεστής κλιμακοποίησης, δηλαδή βλέπουμε ότι επειδή επιλέγουμε αυθαίρετα τις τιμές είναι ανεξάρτητες της κλιμακοποίησης, άρα:

Κλιμακοποίηση

Για $\omega_{0i} = 4059.478 \text{ rad/s}$ έχουμε $k_f = 4059.478$. Για να έχουμε πυκνωτές με $0.01 \mu\text{F}$ πρέπει για την κλιμακοποίηση πλάτους των στοιχείων να ισχύει

$$C/k_f \cdot km = 10^{-8} \Rightarrow km = 24633.709$$

Επομένως

$$C_1 = C_2 = 0.01\mu F, R_1 = 1 \cdot 24633.709 = 24.6337 \text{ K}\Omega, R_2 = 1 \cdot 24633.709 = 24.6337 \text{ K}\Omega$$

$$R_A = 190\text{K}\Omega \text{ \acute{a}\rho\alpha} \Rightarrow R_B = (k-1)R_A = 100.6 \text{ K}\Omega$$

Το κέρδος της συνάρτησης μεταφοράς με χρήση του προηγούμενου τύπου της στρατηγικής μετά από τις πράξεις προκύπτει:

$$\left| T_{BP}^{(2)}(j\omega) \right| = \frac{\frac{k}{(k-1)R_1C_1} \times \omega}{\left[\left(\omega_{02}^2 - \omega^2 \right)^2 + \left(\omega_{02} \frac{\omega}{Q_2} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

$$|T_{BP3}| = 4.2249$$

$$\text{Ρίχνουμε το κέρδος κατά } a = 1 / |T_{BP2}| \Rightarrow a = 0.2367$$

Άρα

$$Z_1 = R_1/(1-a) = 24.6337 \text{ K}\Omega / (1-0.2367) \Rightarrow Z_1 = 32.27\text{K}\Omega$$

$$Z_2 = R_1/a = 24.6337 \text{ K}\Omega / 0.2367 \Rightarrow Z_2 = 104.07\text{K}\Omega$$

Μονάδα 4

Θα ακολουθήσουμε την ίδια λογική με αυτή της μονάδας 3 και έχουμε

Για $\omega_0 = 1$ είναι

$$C_1 = C_2 = 1$$

$$R_1/R_2 = \beta \text{ επιλέγουμε } \beta=1 \text{ \acute{a}\rho\alpha}$$

$$R_1 = 1^{-1/2} \Rightarrow R_1 = 1$$

$$R_2 = 1^{1/2} \Rightarrow R_2 = 1$$

$$k = (9.084 \cdot 3 - 1) / (2 \cdot 9.084 - 1) \Rightarrow k = 1.5291$$

$$\text{Επιλέγω } R_A = 190/\text{km K}\Omega \text{ \acute{a}\rho\alpha} \Rightarrow R_B = 100.53/\text{km K}\Omega$$

όπου km ο συντελεστής κλιμακοποίησης, δηλαδή βλέπουμε ότι επειδή επιλέγουμε αυθαίρετα τις τιμές είναι ανεξάρτητες της κλιμακοποίησης, \acute{a}\rho\alpha:

Κλιμακοποίηση

Για $\omega_{0i} = 7869.263 \text{ rad/s}$ έχουμε $k_f = 7869.263$. Για να έχουμε πυκνωτές με $0.01\mu F$ πρέπει για την κλιμακοποίηση πλάτους των στοιχείων να ισχύει

$$C/k_f \cdot \text{km} = 10^{-8} \Rightarrow \text{km} = 12707.67$$

Επομένως

$$C_1 = C_2 = 0.01\mu F, R_1 = 1 \cdot 12707.67 = 12.708 \text{ K}\Omega, R_2 = 1 \cdot 12707.67 = 12.708 \text{ K}\Omega$$

$$R_A = 190\text{K}\Omega \text{ \acute{a}\rho\alpha} \Rightarrow R_B = 100.6 \text{ K}\Omega$$

Το κέρδος της συνάρτησης μεταφοράς με χρήση του προηγούμενου τύπου μετά από τις πράξεις προκύπτει:

$$|T_{BP4}| = 4.2380$$

Ρίχνουμε το κέρδος κατά $a = 1 / |T_{BP2}| \Rightarrow a = 0.236$

Άρα

$$Z_1 = R1/(1-a) = 12.708 \text{ K}\Omega / 0.236 \Rightarrow Z_1 = \mathbf{16.6335 \text{ K}\Omega}$$

$$Z_2 = R1/a = 12.708 \text{ K}\Omega / 0.236 \Rightarrow Z_2 = \mathbf{53.848 \text{ K}\Omega}$$

Με την ρύθμιση κέρδους που έγινε κάθε μονάδα έχει στην συχνότητα ω_0 κέρδος 1 (0dB). Επομένως, το συνολικό κύκλωμα δρά μόνο σαν φίλτρο και όχι σαν ενισχυτής.

• Υλοποίηση της Συνάρτησης Μεταφοράς

Έχουμε κυκλώματα Delyiannis-Fried (στρατηγική (2)).

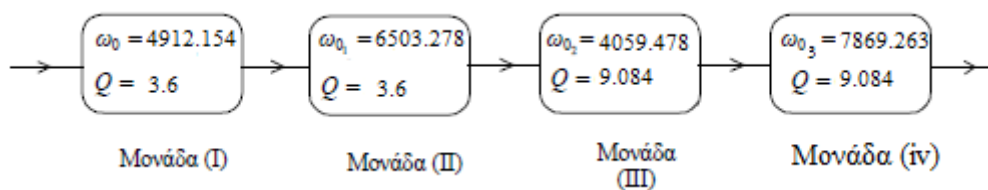
Οι δύο πρώτες μονάδες έχουν συνάρτηση μεταφοράς που δίνεται από τον παρακάτω τύπο

$$T_{BP_i}(s) = -\frac{2Q_i\omega_{o_i}s}{s^2 + \left(\frac{\omega_{o_i}}{Q_i}\right) \cdot s + \omega_{o_i}^2} \quad (11-57)$$

Για την τρίτη και τέταρτη μονάδα λόγω της ενίσχυσης Q οι συναρτήσεις δίνονται από τον τύπο

$$T_{BP}(s) = \frac{H_d \frac{\omega_o}{Q} s}{s^2 + \frac{\omega_o}{Q} s + \omega_o^2} \quad (7-119)$$

Υπενθυμίζουμε ότι



Με την βοήθεια της συνάρτησης tf() του matlab σύμφωνα με τους παραπάνω τύπους παίρνουμε τις παρακάτω συναρτήσεις μεταφοράς

ΜΟΝΑΔΑ (I)

$$T_1 = \frac{-3.537e04 \text{ s}}{s^2 + 1364 \text{ s} + 2.413e07}$$

ΜΟΝΑΔΑ (II)

$$T_2 = \frac{-4.682e04 \text{ s}}{s^2 + 1806 \text{ s} + 4.229e07}$$

ΜΟΝΑΔΑ (III)

$$T_3 = \frac{1.174e04 \text{ s}}{s^2 + 446.9 \text{ s} + 1.648e07}$$

ΜΟΝΑΔΑ (VI)

$$T_4 = \frac{2.276e04 \text{ s}}{s^2 + 866.3 \text{ s} + 6.193e07}$$

Μετά την ρύθμιση κέρδους

Η συνάρτηση μεταφοράς της κάθε μονάδας κανονικοποιείται με το κέρδος που έχει στην ενδιάμεση συχνότητα και τελικά οι συναρτήσεις μεταφοράς με μοναδιαίο κέρδος στην ενδιάμεση συχνότητα είναι:

ΜΟΝΑΔΑ (I)

$$T_1 = \frac{-3.537e04 \text{ s}}{18.17 \text{ s}^2 + 2.48e04 \text{ s} + 4.385e08}$$

ΜΟΝΑΔΑ (II)

$$T_2 = \frac{-4.682e04 \text{ s}}{18.24 \text{ s}^2 + 3.295e04 \text{ s} + 7.714e08}$$

ΜΟΝΑΔΑ (III)

$$T_3 = \frac{1.174e04 \text{ s}}{4.225 \text{ s}^2 + 1888 \text{ s} + 6.962e07}$$

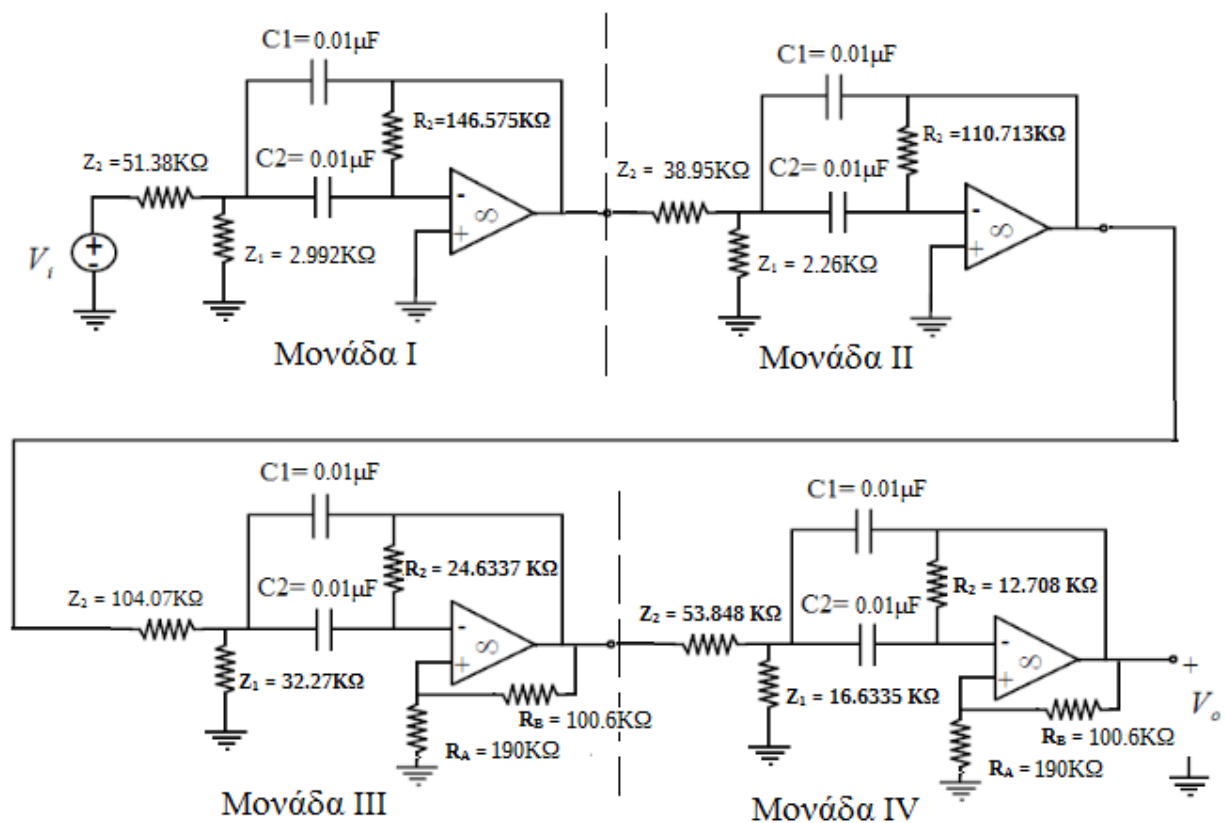
ΜΟΝΑΔΑ (IV)

$$T_4 = \frac{2.276e04 \text{ s}}{4.238 \text{ s}^2 + 3671 \text{ s} + 2.624e08}$$

Επομένως η τελική συνάρτηση μεταφοράς του συνολικού συστήματος με κέρδος 1(0dB) στην ζώνη διάβασης που ικανοποιεί τις αρχικές προδιαγραφές είναι:

$$T_{BP} = \frac{4.425e17 s^4}{5934 s^8 + 2.661e07 s^7 + 9.011e11 s^6 + 2.87e15 s^5 + 4.59e19 s^4 + 9.167e22 s^3 + 9.195e26 s^2 + 8.675e29 s + 6.18e33}$$

Με βάση τα κυκλώματα που παρουσιάστηκαν προηγουμένως (**Delyiannis-Fried στρατηγική (2)**) και σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε η κυκλωματική μορφή του **ζωνοπερατού 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

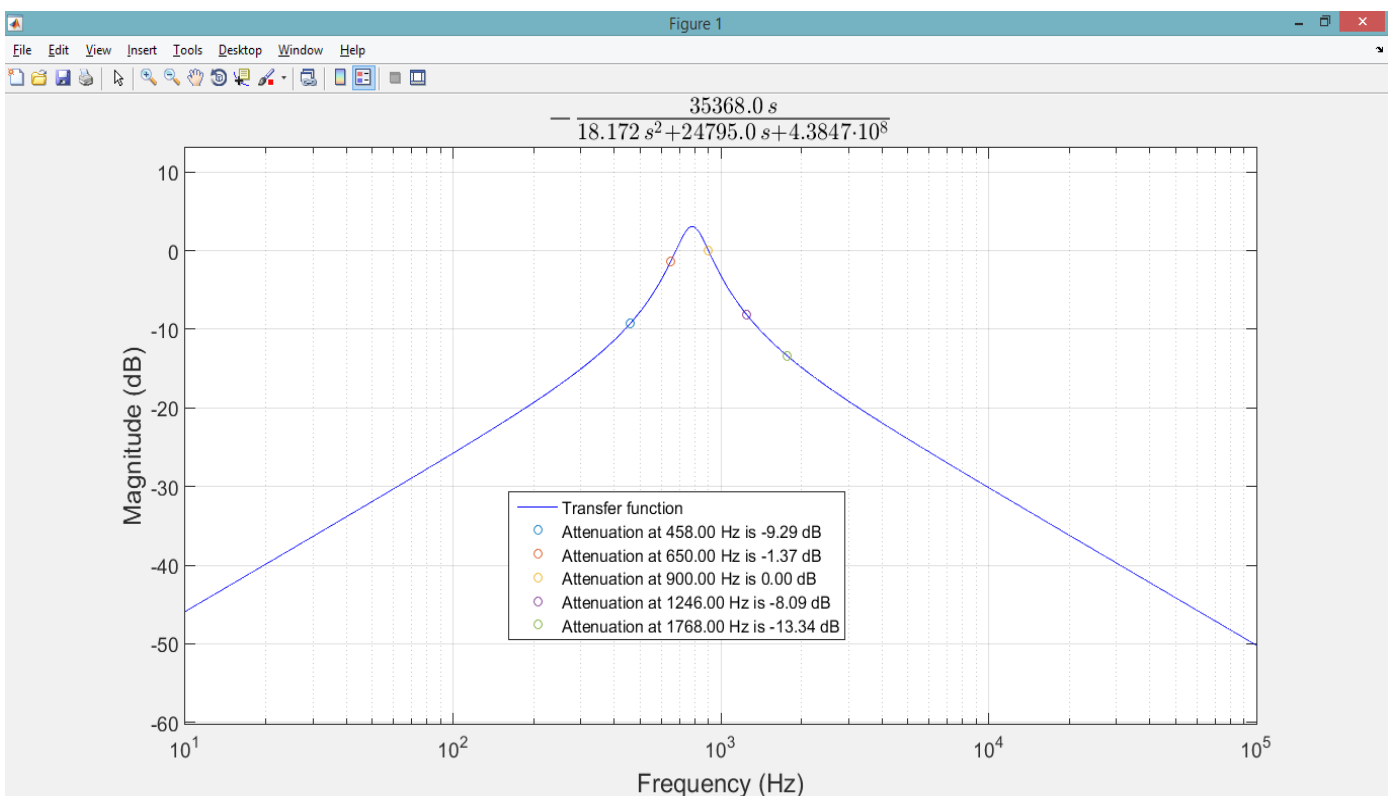
Εισάγουμε στο πρόγραμμα MATLAB τις επί μέρους συναρτήσεις μεταφοράς των ζωνοδιαβατών μονάδων αλλά και την συνολική συνάρτησης μεταφοράς του ζωνοδιαβατού φίλτρου Chebyshev και παίρνουμε τις αποκρίσεις πλάτους σε dB. Η απόκριση πλάτους σε dB των μονάδων φαίνονται στις επόμενες σελίδες. Τα παρακάτω διαγράμματα 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

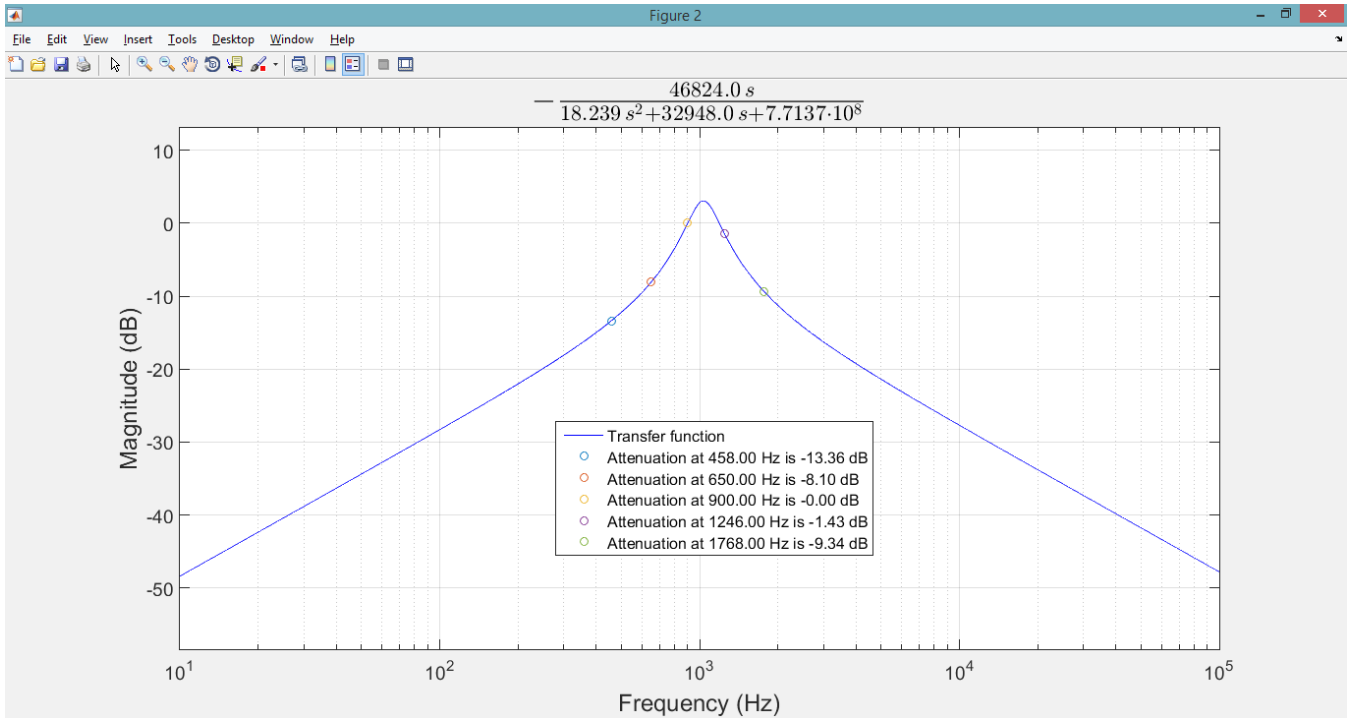
$f_0 = 0.9\text{KHz}$, $f_1 = 0.65\text{KHz}$, $f_2 = 1.246\text{KHz}$, $f_3 = 0.458\text{KHz}$ και $f_4 = 1.768\text{KHz}$

$a_{\min} = 28\text{ dB}$, $a_{\max} = 0.5\text{ dB}$

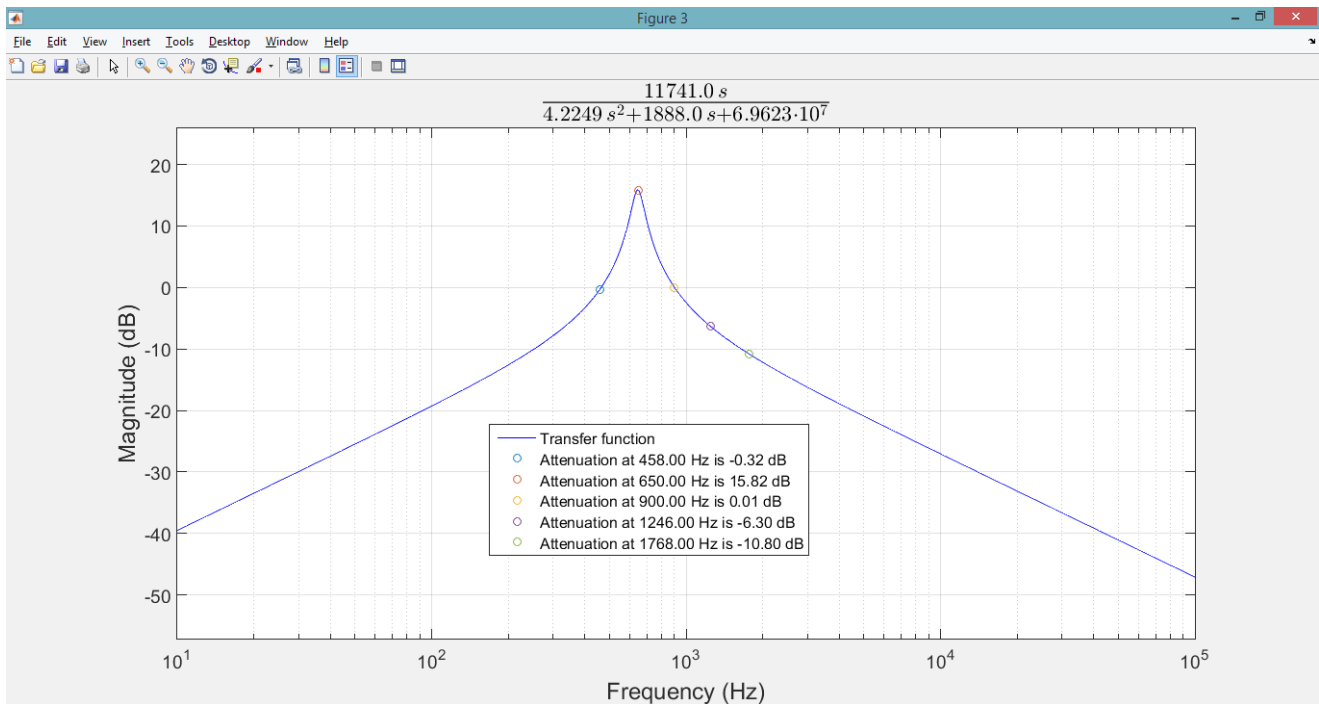
Μονάδα 1 : Ζωνοδιαβατό Delyiannis-Fried στρατηγική (2)



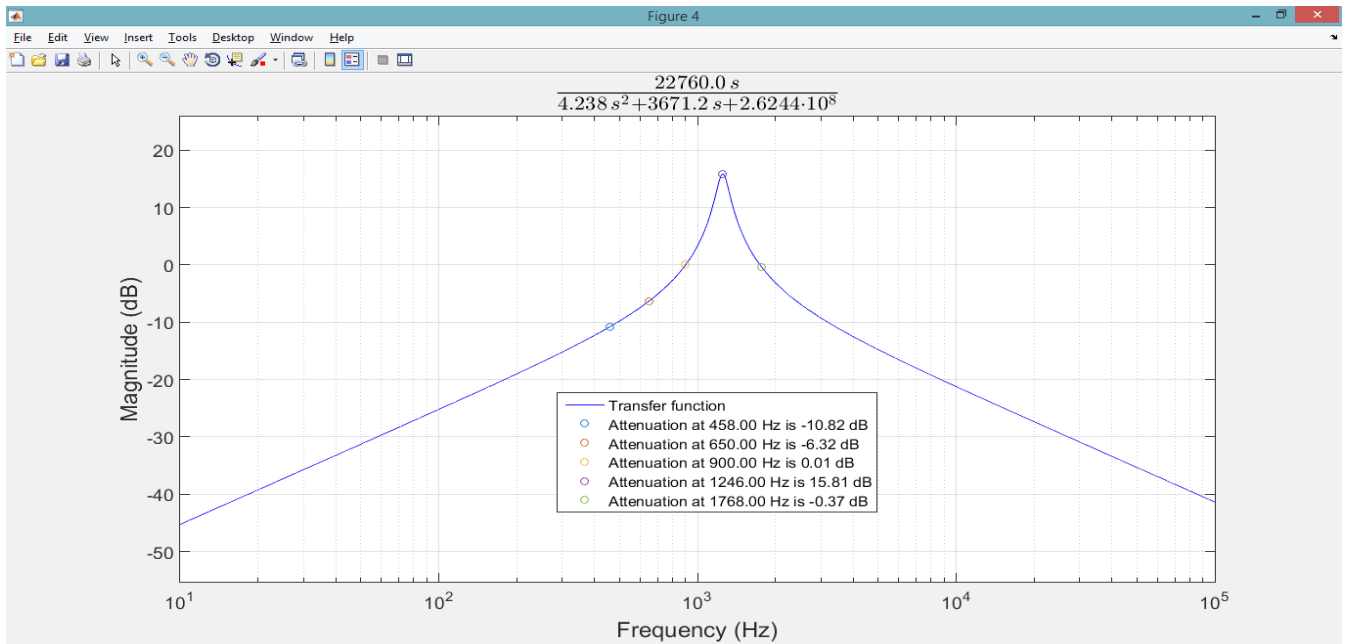
Μονάδα 2 : Ζωνοδιαβατό Delyiannis-Fried στρατηγική (2)



Μονάδα 3 : Ζωνοδιαβατό Delyiannis-Fried στρατηγική (2) με ενίσχυση Q



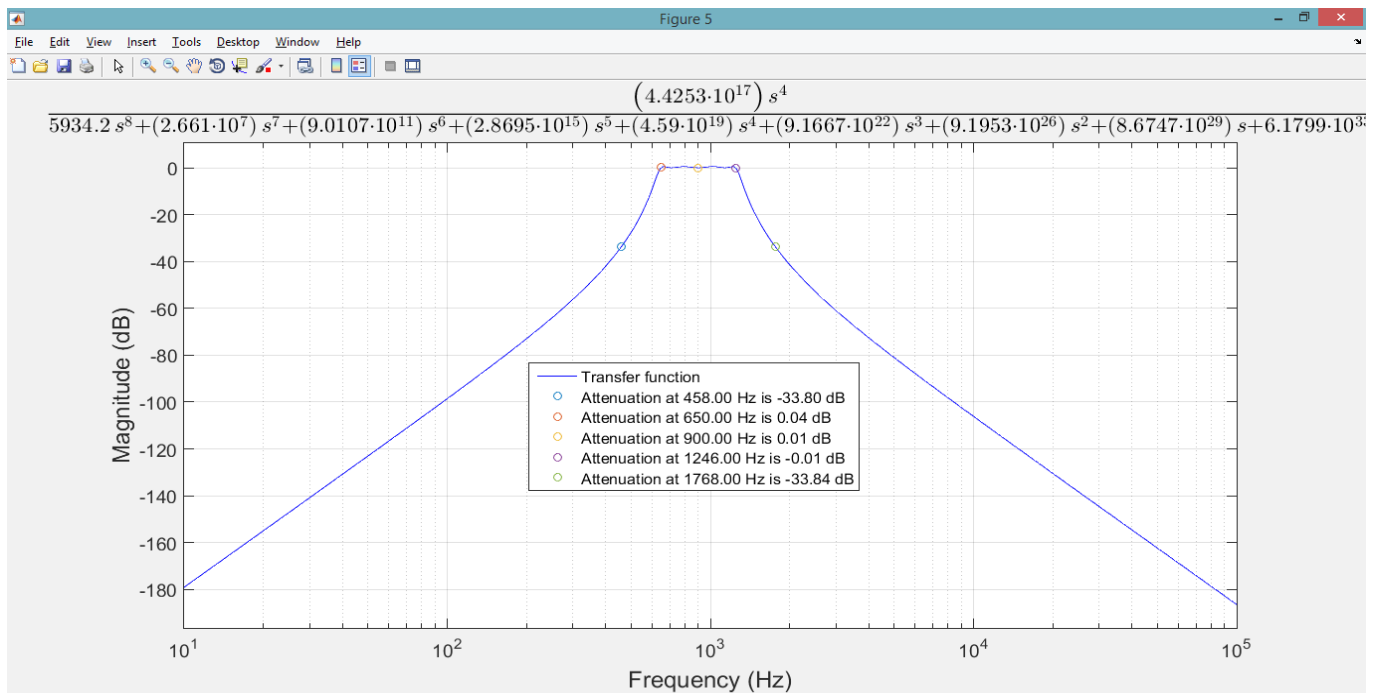
Μονάδα 4 : Ζωνοδιαβατό Delyiannis-Fried στρατηγική (2) με ενίσχυση Q



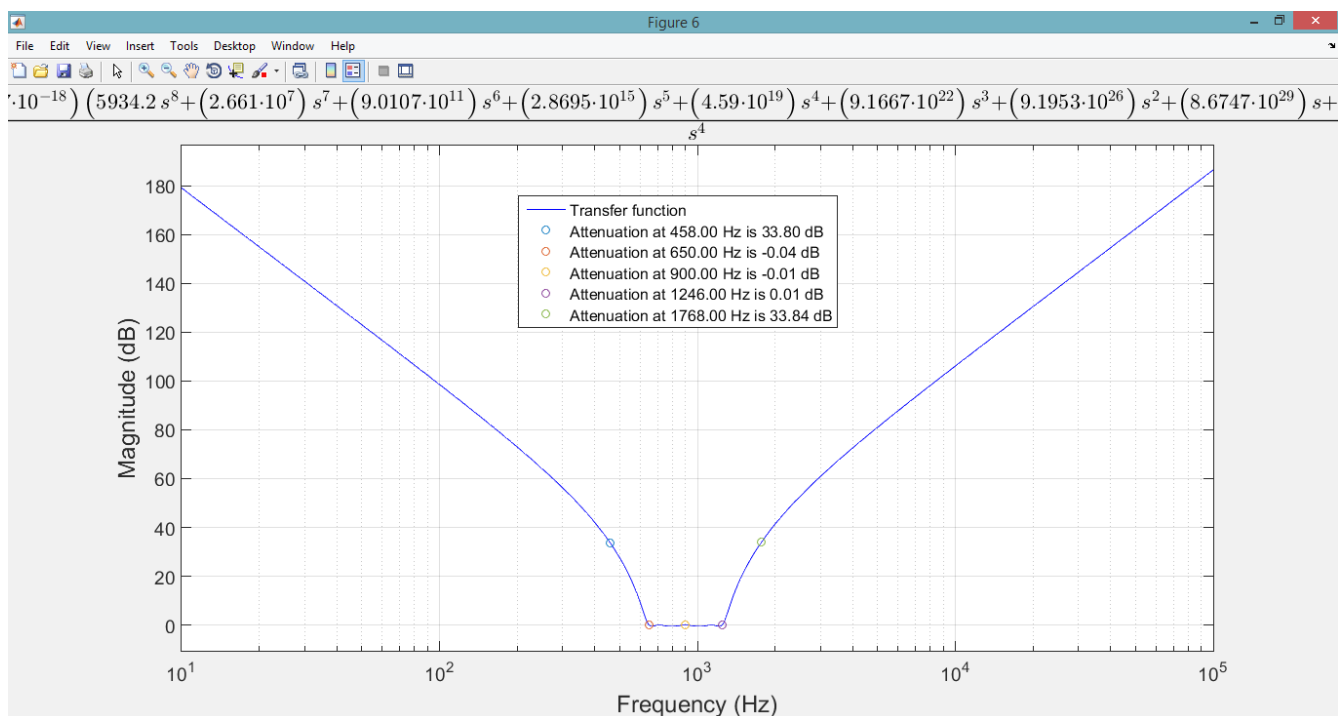
Παρατηρούμε ότι μετά την ρύθμιση κέρδους που εκτελέσαμε η κάθε μονάδα εμφανίζει κέρδος 1(0dB) στην κεντρική συχνότητα $f_0 = 0.9\text{KHz}$

Συνολική συνάρτηση μεταφοράς ζωνοδιαβατού φίλτρου Chebyshev

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.



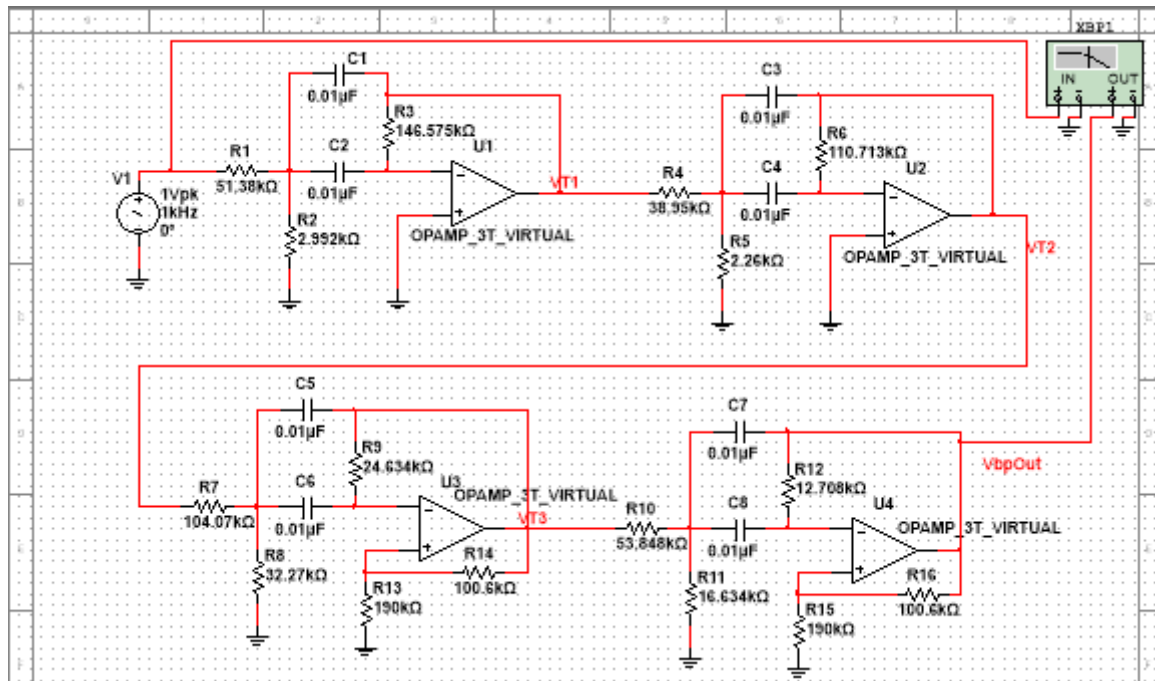
Από τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων μπορούμε να διακρίνουμε ότι οι παραπάνω συνάρτηση μεταφοράς πληρεί τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί. Συγκεκριμένα παρατηρούμε την τελευταία γραφική παράσταση της απόσβεσης της συνάρτησης μεταφοράς στην οποία επίσης φαίνονται και οι τιμές της απόσβεσης σε dB για τις κρίσιμες συχνότητες του φίλτρου. Για την ενδιάμεση συχνότητα $f_0 = 0.9\text{KHz}$ το κέρδος του φίλτρου είναι 0 dB όπως ζητείται από την εκφώνηση, έτσι το σύστημα παίζει ξεκάθαρα ρόλο φίλτρου και όχι ενισχυτή. Επιπλέον στις συχνότητες διόδου $f_1 = 0.65\text{KHz}$ και $f_2 = 1.246\text{KHz}$ η απόσβεση του φίλτρου είναι αντίστοιχα 0.04dB και 0.01dB που είναι πολύ μικρότερες το το ζητούμενο όριο των 0.5dB. Τέλος οι προδιαγραφές απαιτούσαν απόσβεση τουλάχιστον 28dB στις συχνότητες αποκοπής $f_3 = 0.458\text{KHz}$ και $f_4 = 1.768\text{KHz}$, για το συγκεκριμένο φίλτρο παρατηρούμε απόσβεση 33.8 dB και άρα οι προδιαγραφές υπερκαλύπτονται. Συνοψίζοντας, σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα το φίλτρο band pass Chebyshev που κατασκευάστηκε πληρεί τις προδιαγραφές.

Γ. Υλοποίηση του Κυκλώματος του Φίλτρου στο MULTISIM

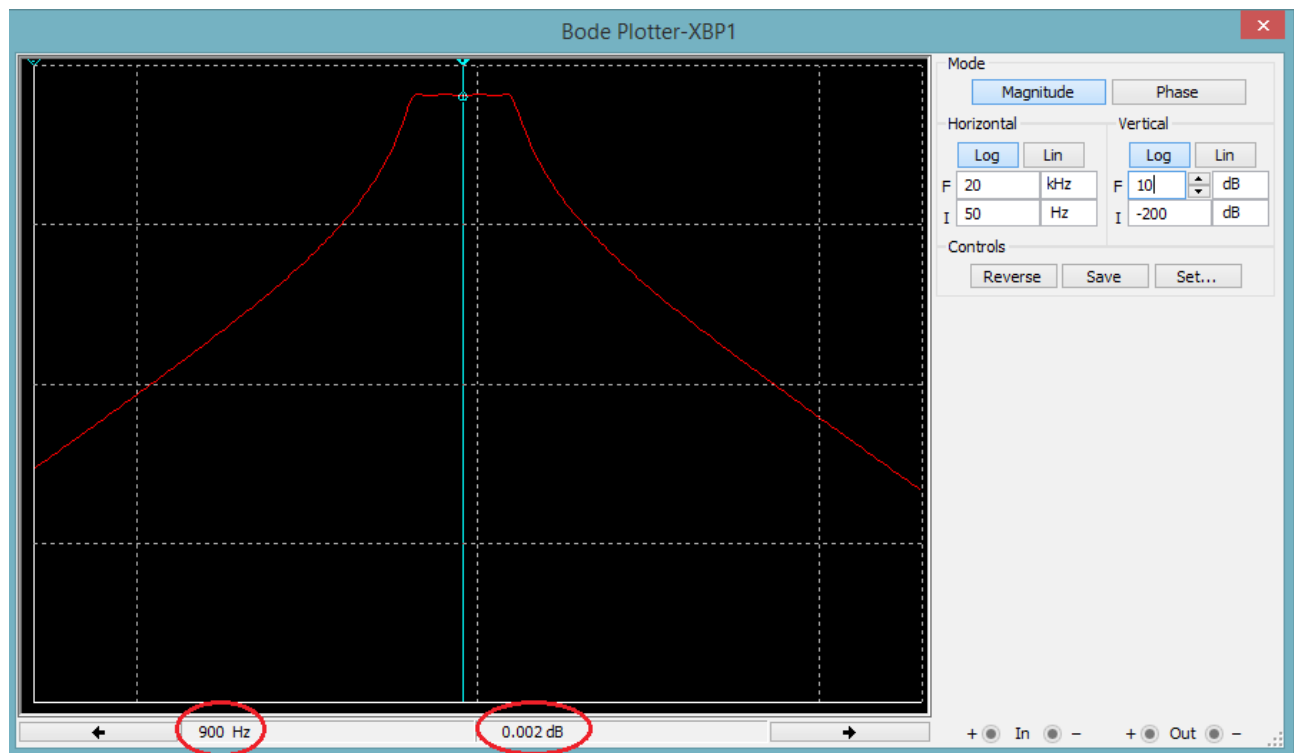
Σχεδιάζουμε το κύκλωμα μας στο ElectronicWorkBench (MULTISIM) προκειμένου να ελέγξουμε αν υλοποιεί την συνολική συνάρτηση μεταφοράς που αναλύθηκε στο προηγούμενο στάδιο της

εργασίας αλλά και για να διερευνήσουμε την απόκριση του φίλτρου όταν αυτό διεγείρεται από ένα στοιχειώδες περιοδικό σήμα.

Εισάγουμε λοιπόν τις Delyiannis-Fried μονάδες του φίλτρου που έχουν σχεδιασθεί στην προηγούμενη φάση της εργασίας στο περιβάλλον MULTISIM και παίρνουμε το παρακάτω κύκλωμα.



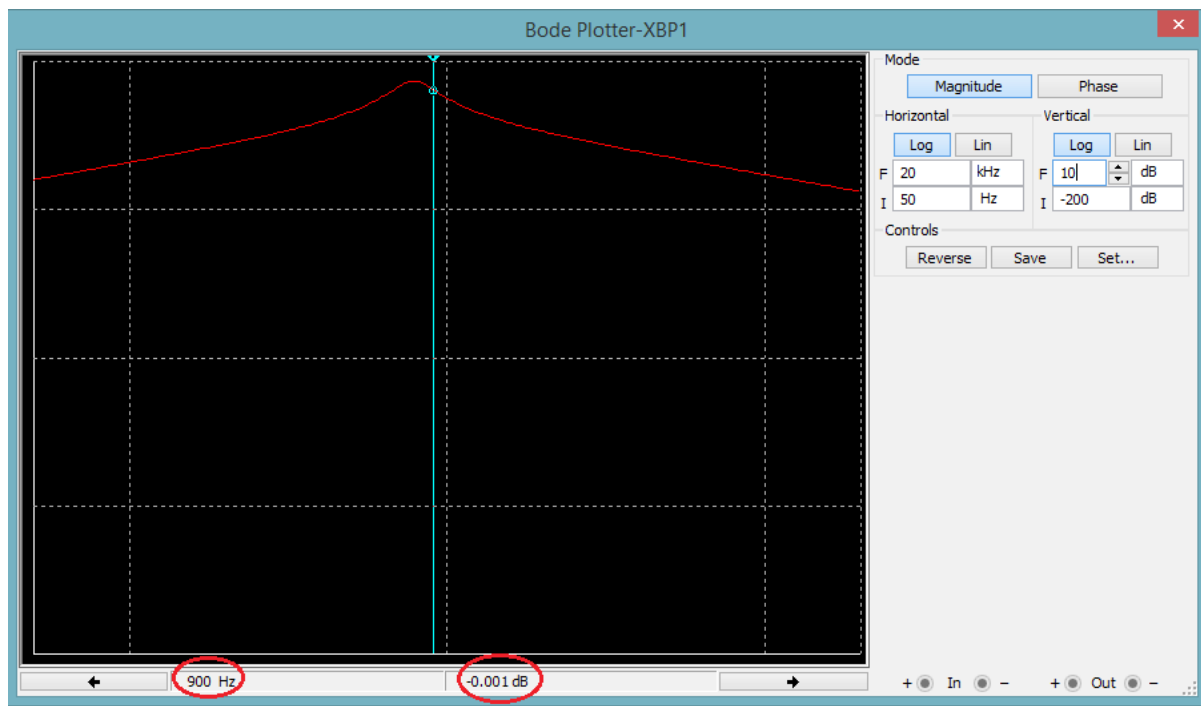
Στο κύκλωμα που έχουμε σχεδιάσει χρησιμοποιούμε τον Bode-Plotter για να προκύψει η απόκριση συχνότητας του φίλτρου-κυκλώματος. Το διάγραμμα που παίρνουμε φαίνεται παρακάτω :



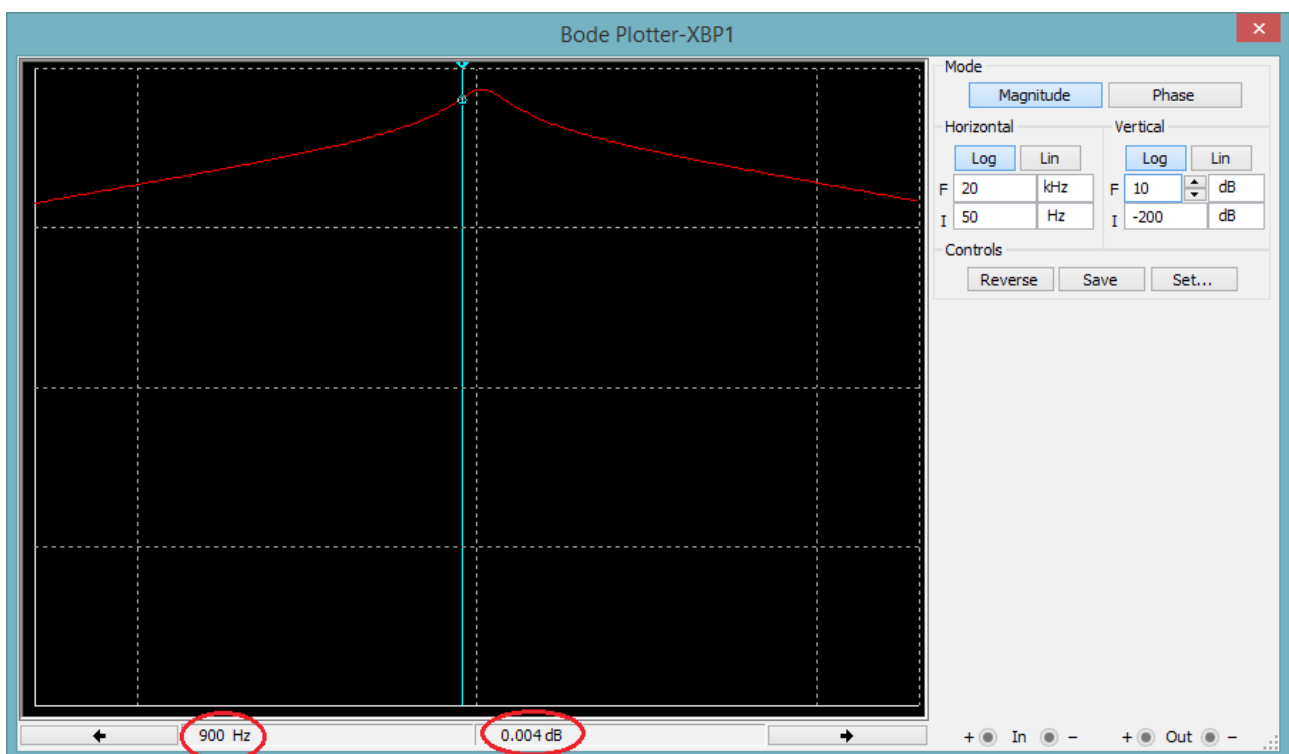
Στο διάγραμμα έχει τοποθετηθεί ο κέρσορας στην συχνότητα της κεντρικής συχνότητας 0.9KHz και φαίνεται ότι έχουμε τιμή ίση με 0.002 dB=> 0dB όπως προβλέπεται.

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα bode με την χρήση του Bode-Plotter και για την κάθε μονάδα ξεχωριστά.

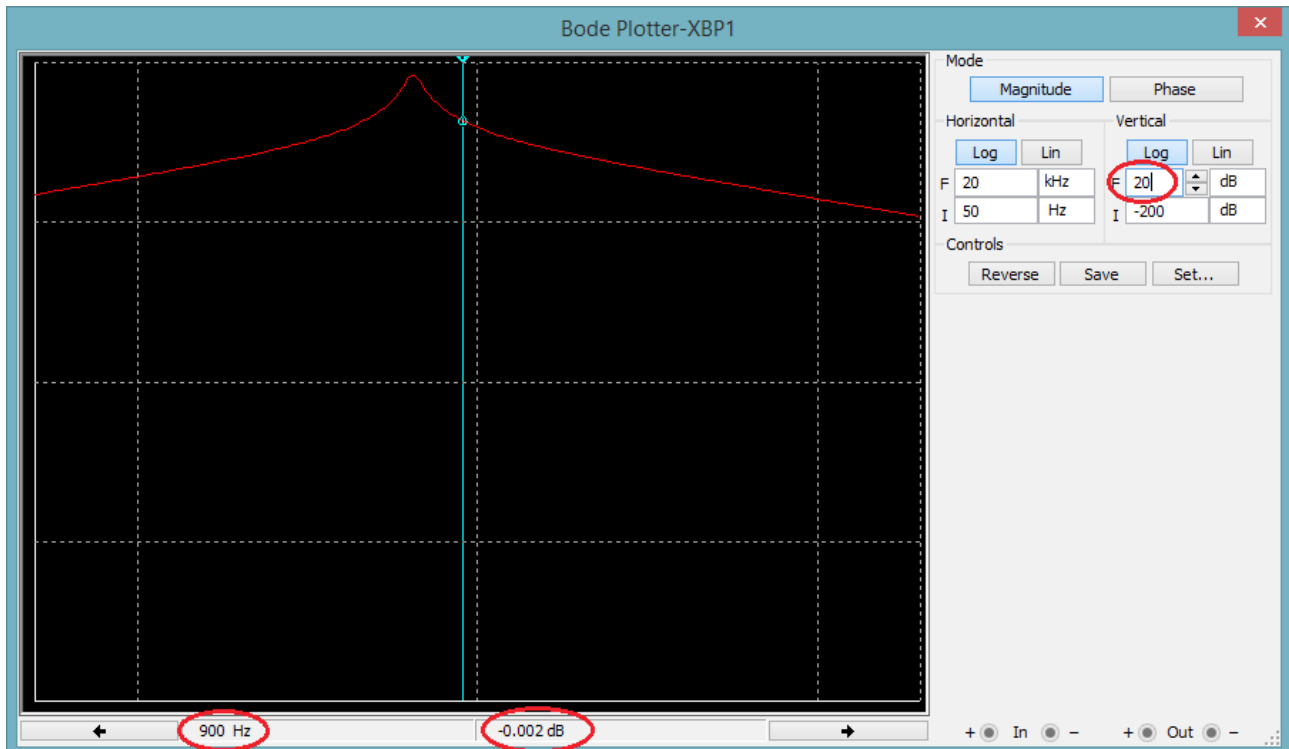
Μονάδα 1



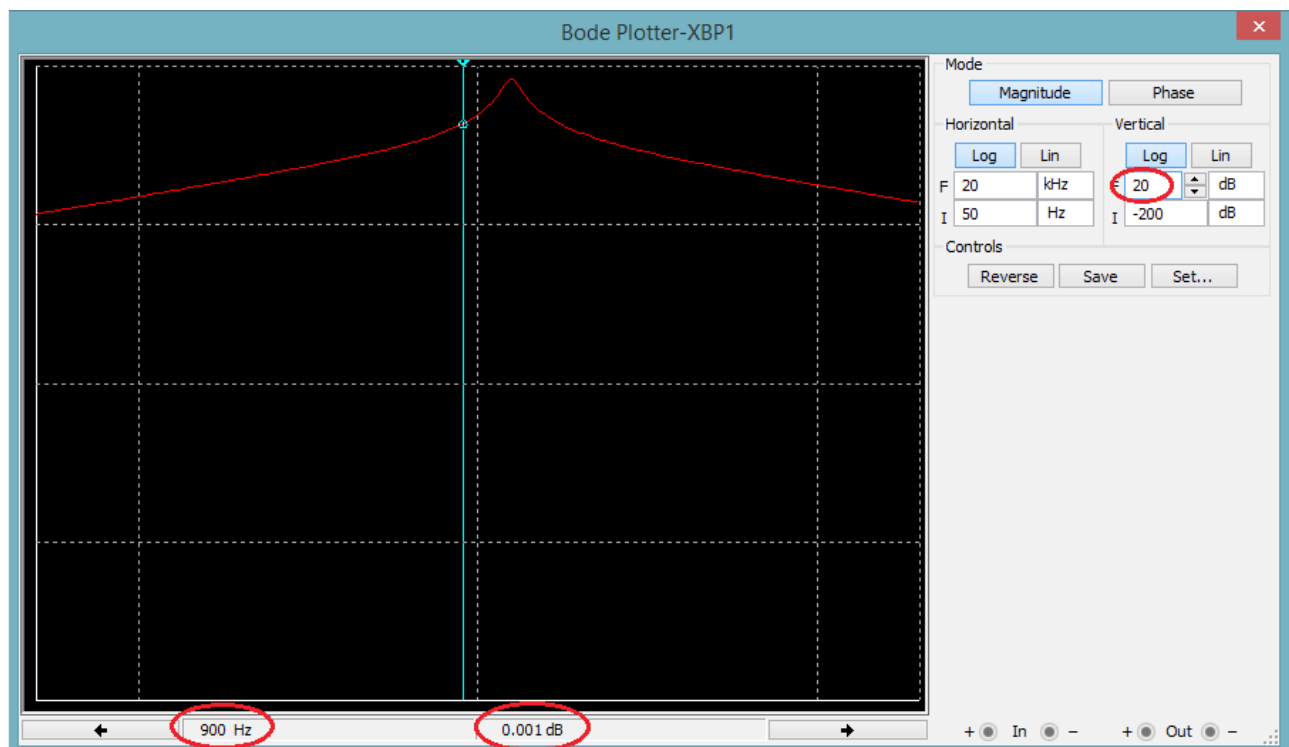
Μονάδα 2



Μονάδα 3

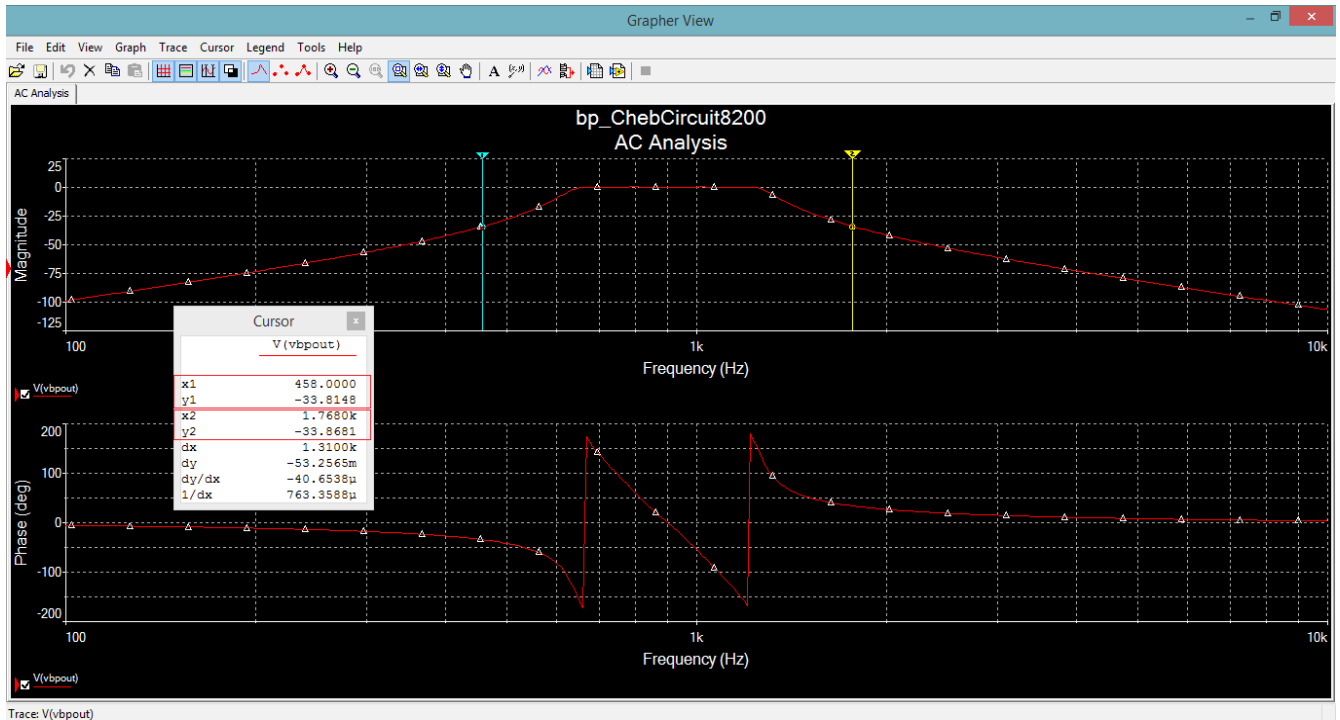


Μονάδα 4



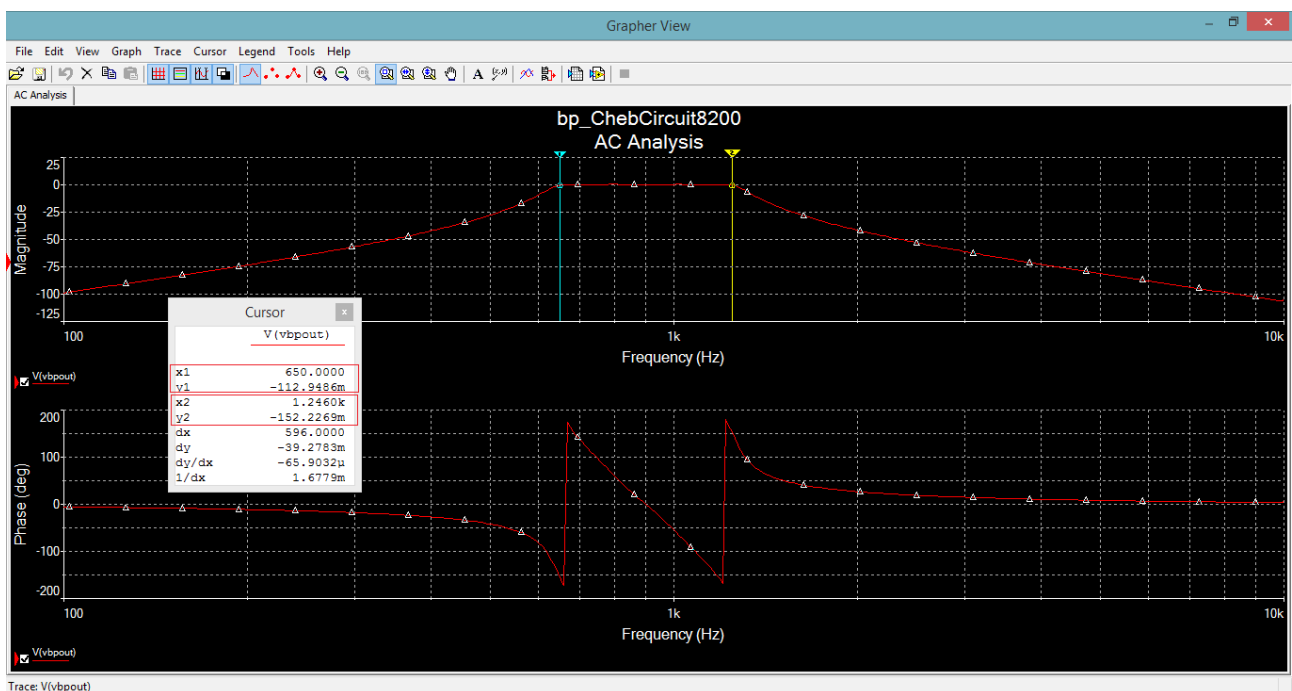
Οι αποκρίσεις του κάθε κυκλώματος ταιριάζει με αυτές που έχουμε πάρει από το matlab. Επιπλέον στα παραπάνω διαγράμματα έχει τοποθετηθεί ο κέρσορας στην κεντρική συχνότητα 900Hz και βλέπουμε ότι όλα τα κυκλώματα στην κεντρική συχνότητα έχουν κέρδος 0dB.

Το παρακάτω διάγραμμα του Multisim απεικονίζει την συνολική συνάρτηση μεταφοράς όπως δίνεται από την εκτέλεση AC analysis με δυνατότητα ανάγνωσης των τιμών.



Στο παραπάνω διάγραμμα έχουν τοποθετηθεί οι κέρσορες στις οι κρίσιμες συχνότητες αποκοπής και όπως φαίνεται η προδιαγραφή των 28dB υπερκαλύπτεται.

Στην συνέχεια παραθέτουμε το ίδιο διάγραμμα αλλά για τις συχνότητες διόδου



Στις συχνότητες διόδου έχουμε τιμή $0.112 \text{ dB} < 0.5 \text{ dB}$.

Επομένως λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, βλέπουμε ότι η κυκλωματική ανάλυση συμφωνεί με την θεωρητική καθώς τα αποτελέσματα από τις δύο αναλύσεις συγκλίνουν. Τελικά το κύκλωμα ικανοποιεί τις προδιαγραφές και αποτελεί ένα ζωνοδιαβατό φίλτρο Chebyshev.

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

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

$$f(t) = \cos\left(\left(\omega_0 - \frac{\omega_0 - \omega_1}{2}\right)t\right) + 0.8 \cos\left(\left(\omega_0 + \frac{\omega_0 + \omega_1}{3}\right)t\right) + 0.8 \cos(0.4\omega_3 t) + 0.6 \cos(2.5\omega_4 t) + 0.5 \cos(3\omega_4 t)$$

Μετά την εκτέλεση των πράξεων η συνάρτηση αποκτάει την μορφή

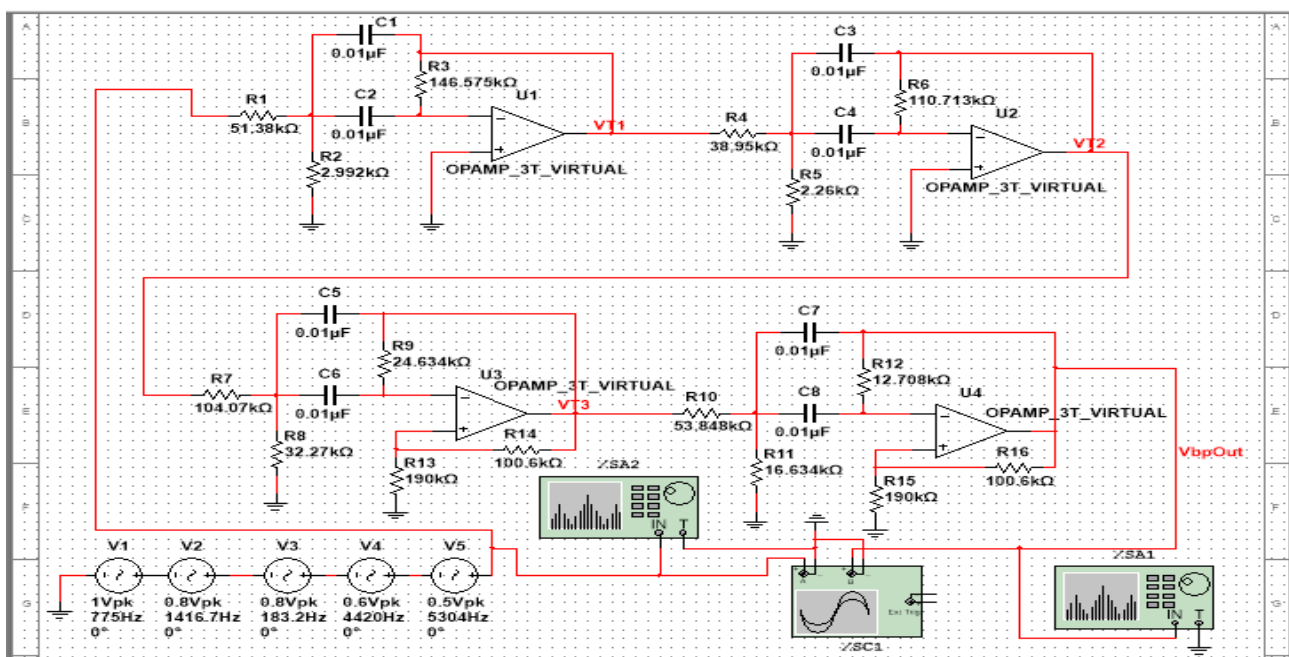
$$f(t) = \cos(2\pi 775t) + 0.8\cos(2\pi 1416.8t) + 0.8\cos(2\pi 183.2t) + 0.6\cos(2\pi 4420t) + 0.5\cos(2\pi 5304t)$$

Άθροισμα αρμονικών σημάτων με συχνότητες

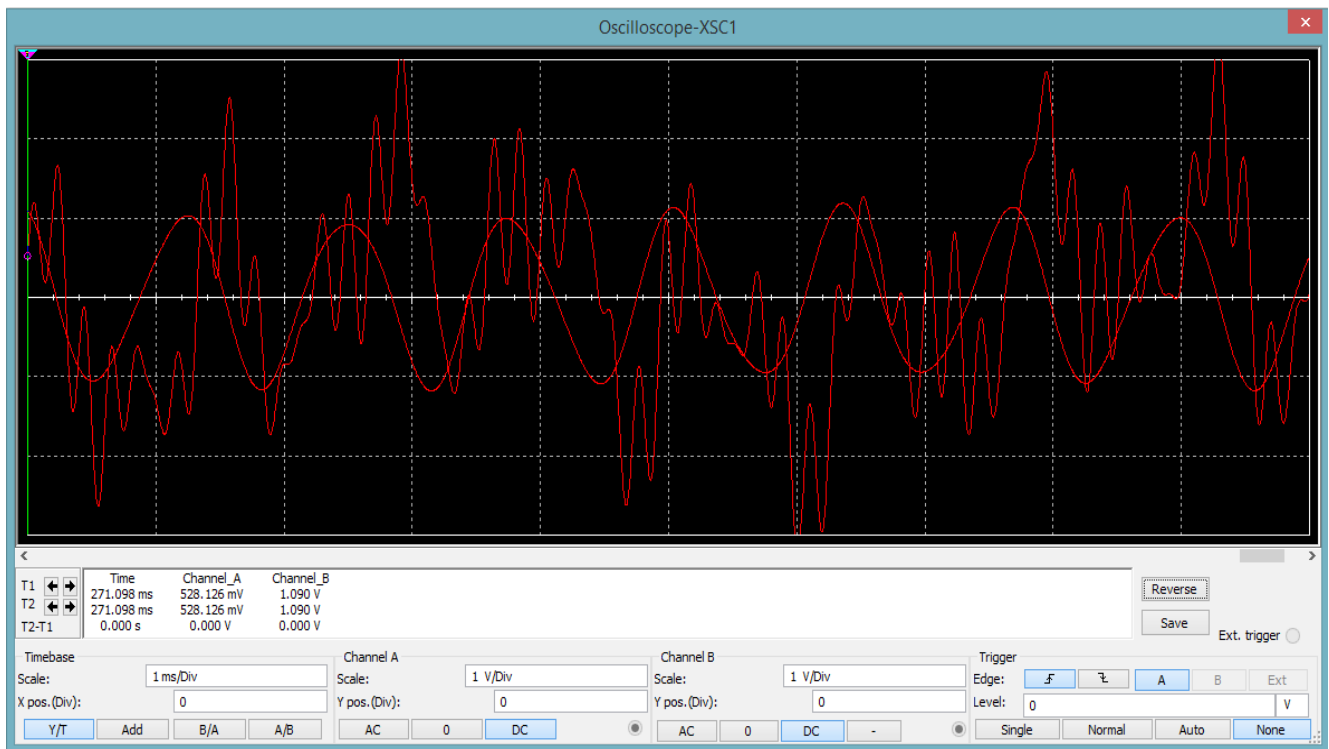
$$f_a = 775 \text{ Hz}, f_b = 1417 \text{ Hz}, f_c = 183 \text{ Hz}, f_d = 4420 \text{ Hz}, f_e = 5304 \text{ Hz}$$

Από τις παραπάνω συχνότητες περιμένουμε ότι θα περάσουν από το παραπάνω φίλτρο μόνο οι συχνότητες που βρίσκονται στην ζώνη διόδου ενώ οι υπόλοιπες θα αποκοπούν.

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



Στην συνέχεια χρησιμοποιούμε έναν παλμογράφο στην είσοδο και την έξοδο και δημιουργούμε ένα figure για το παραπάνω πείραμα.



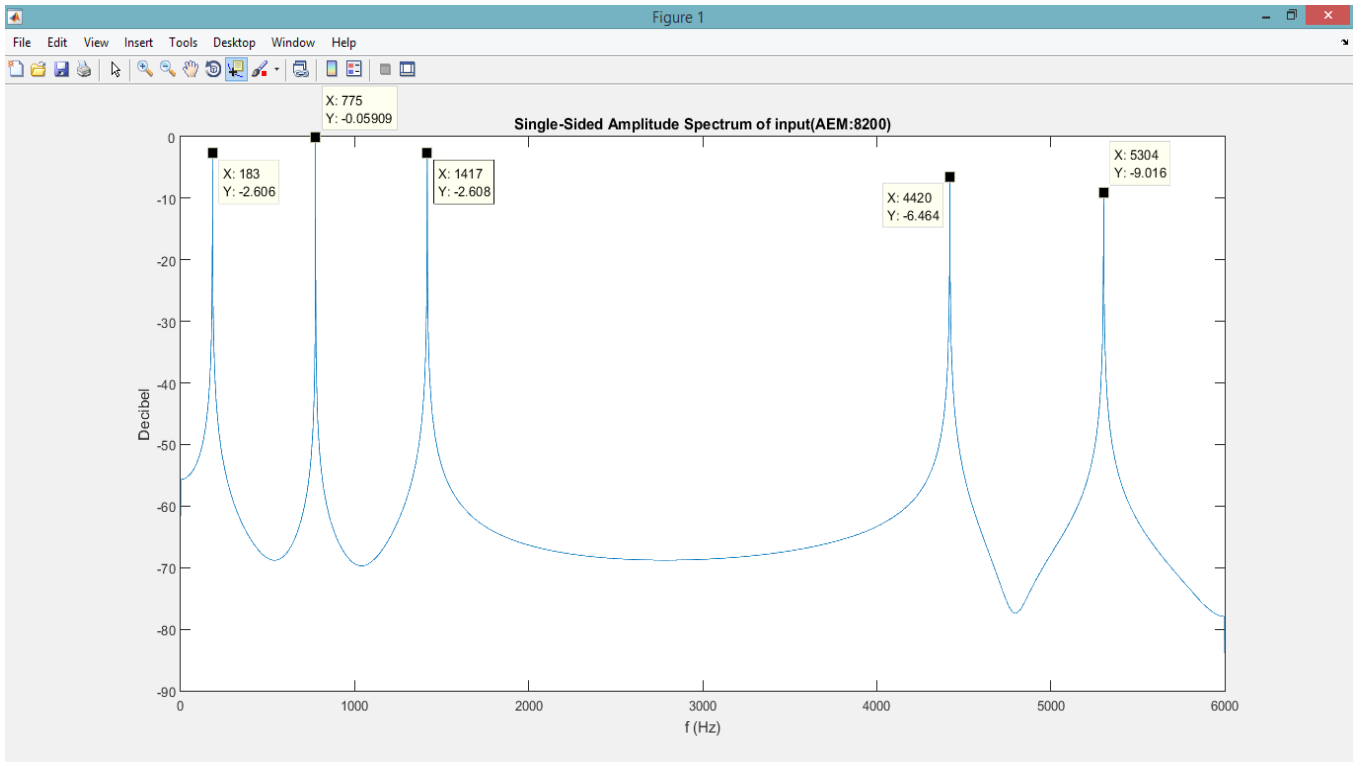
Στο παραπάνω διάγραμμα μπορούμε να δούμε αναλυτικά τα σήματα εισόδου και εξόδου. Σε κάθε σχήμα φαίνονται οι επιλογές που κάναμε στον παλμογράφο για να προκύψουν οι αντίστοιχες παραστάσεις (για παράδειγμα: V/Div , sec/Div κτλ.).

Πιο αναλυτικά, παρατηρούμε ότι το σήμα εισόδου το οποίο στην γραφική παράσταση είναι αυτό με τις απότομες αλλαγές πλάτους αποτελεί το άθροισμα των αρμονικών με τις συχνότητες που αναφέρθηκαν. Από την άλλη πλευρά η γραφική παράσταση του σήματος εξόδου προσομοιάζει μία αρμονική συνάρτηση μεμονωμένης συχνότητας. Αυτό δείχνει ότι η αρχική μας υπόθεση είναι σωστή, δηλαδή από το φίλτρο περνάει μόνο η αρμονική με συχνότητα εντός της περιοχής διόδου.

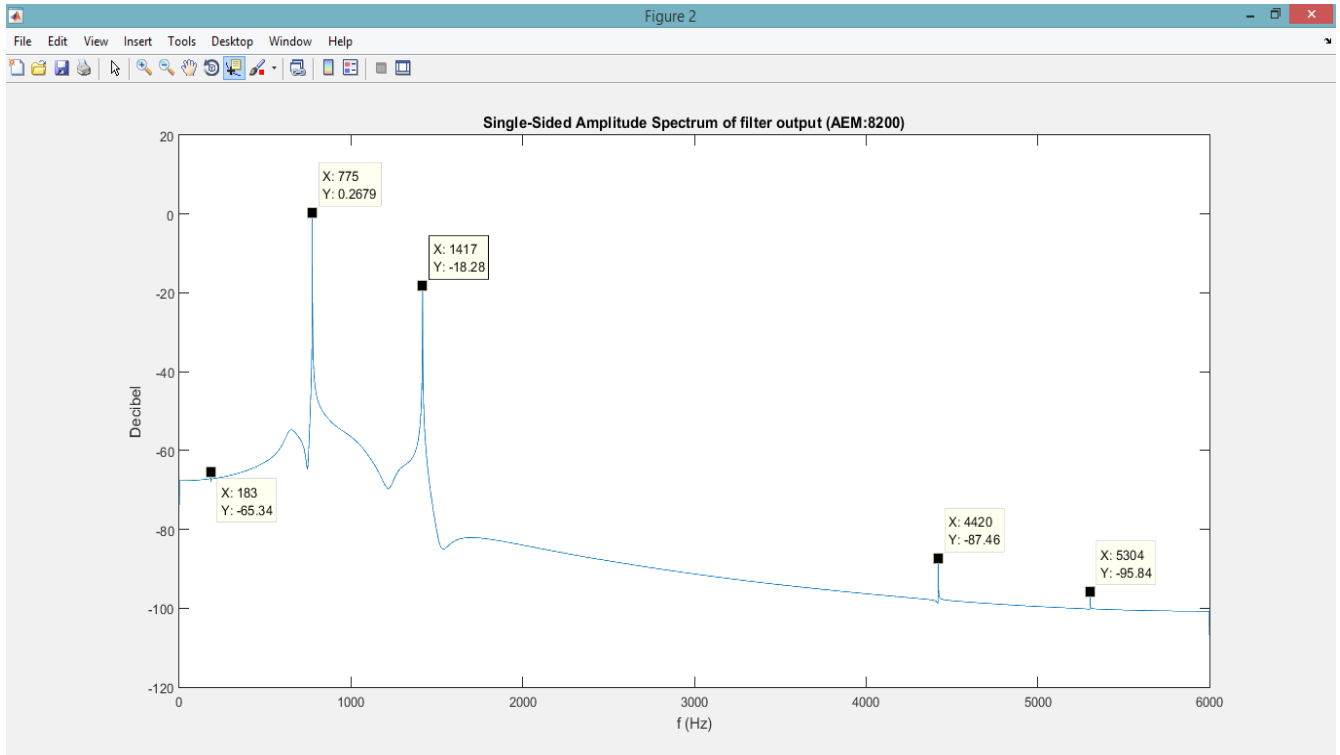
Σε αυτό το σημείο της άσκησης θα δημιουργήσουμε τα φάσματα εισόδου και εξόδου του φίλτρου, band pass Chebyshev για να επιβεβαιώσουμε και να δούμε πιο αναλυτικότερα την παραπάνω υπόθεση μας. Για να γίνει κάτι τέτοιο θα εξετάσουμε τα φάσματα τόσο στο Multisim όσο και στο Matlab. Εφόσον μιλάμε για τα ίδια σήματα καθώς και για το ίδιο φίλτρο, αναμένουμε να έχουμε τα ίδια αποτελέσματα.

Από το matlab παίρνουμε τα αντίστοιχα φάσματα για την είσοδο και έξοδο του φίλτρου.

Φάσμα Σήματος Εισόδου :

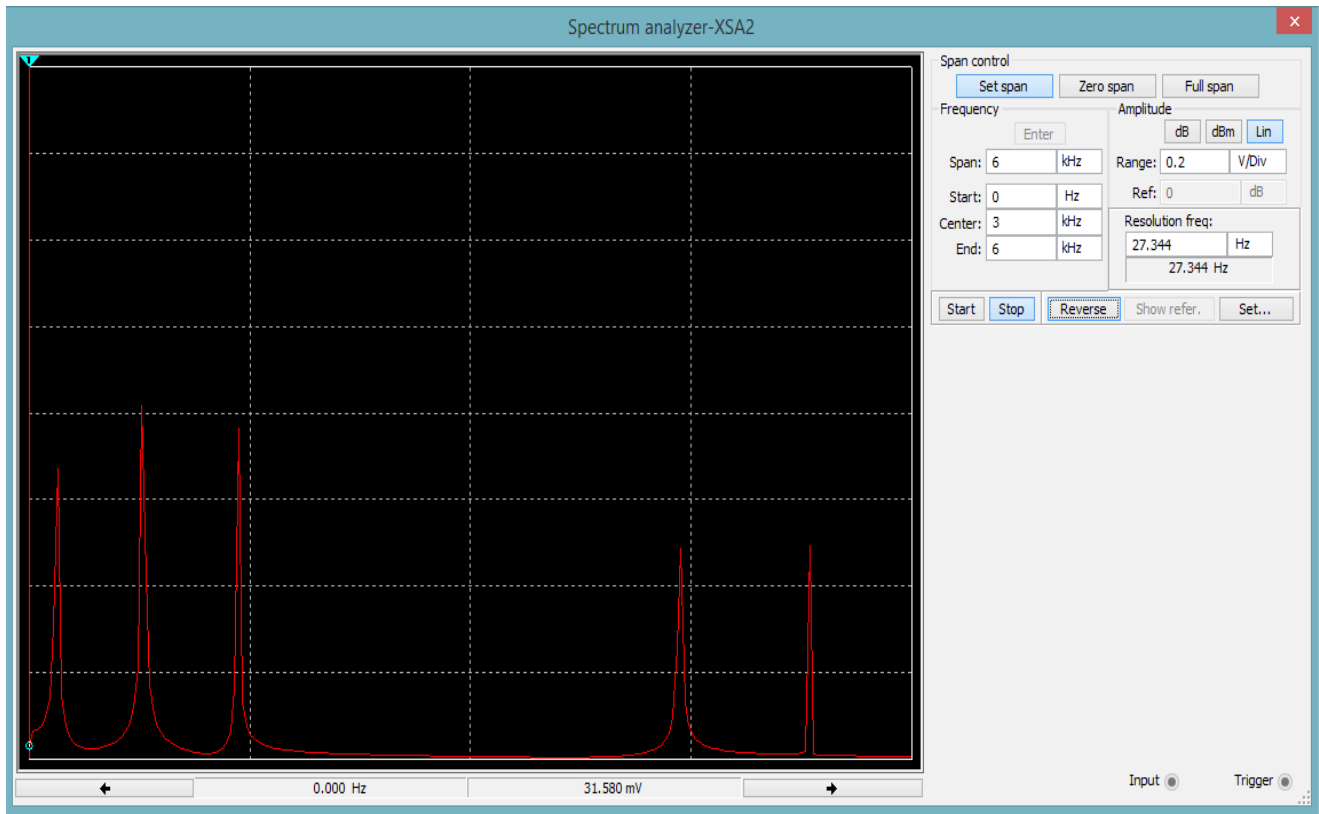


Φάσμα Σήματος Εξόδου :

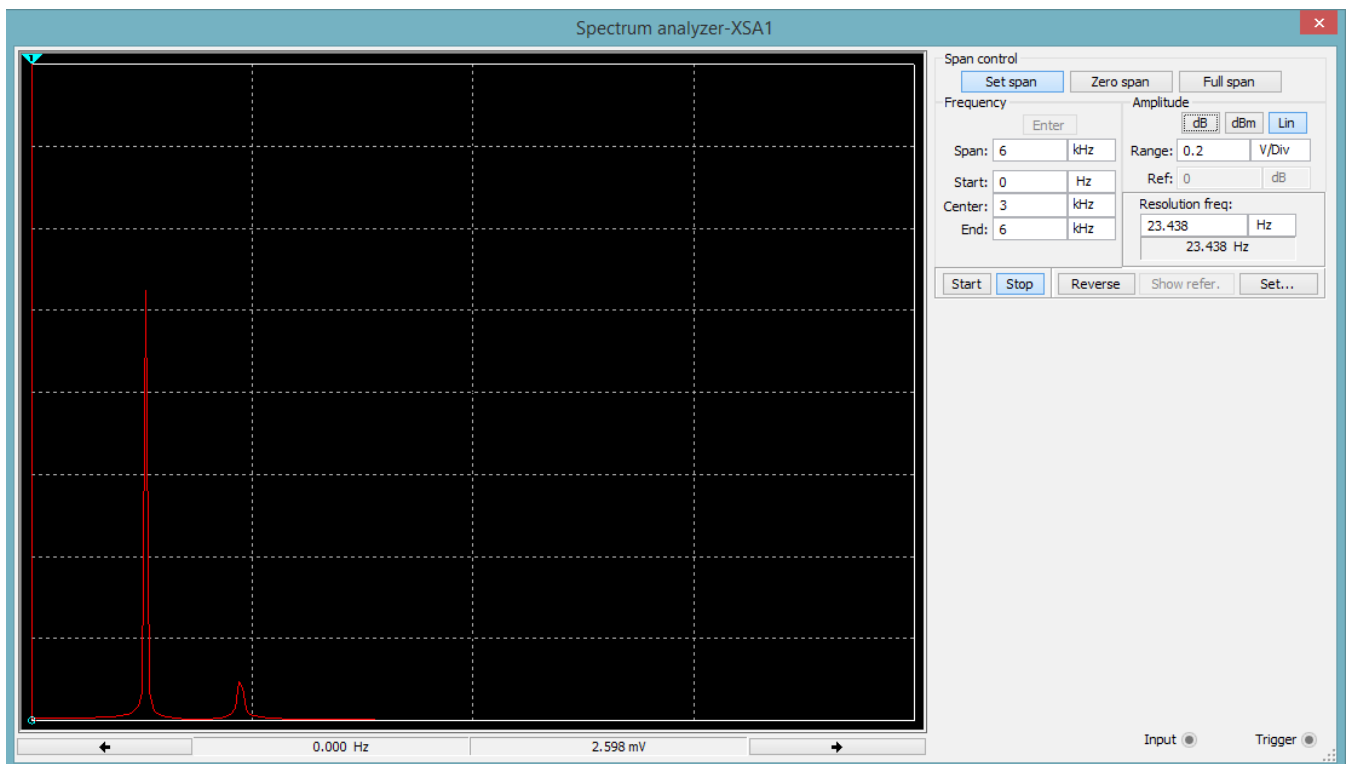


Με χρήση του Spectrum analyzer από το multisim παίρνουμε

Φάσμα Σήματος Εισόδου Multisim:



Φάσμα Σήματος Εξόδου Multisim:



Από τα παραπάνω διαγράμματα της θεωρητικής ανάλυσης στο matlab και την κυκλωματικής υλοποίησης στο multisim βλέπουμε ότι παίρνουμε τα ίδια διαγράμματα. Η πληροφορία που μας δίνουν επιβεβαιώνει τελικά την αρχική μας υπόθεση και φανερώνει την σωστή λειτουργία του κυκλώματος. Το σήμα εισόδου αποτελείται από άθροισμα αρμονικών με θεμελιώδης συχνότητες $f_a = 775 \text{ Hz}$, $f_b = 1417 \text{ Hz}$, $f_c = 183 \text{ Hz}$, $f_d = 4420 \text{ Hz}$, $f_e = 5304 \text{ Hz}$ η οποίες σημειώνονται στα παραπάνω διαγράμματα του matlab και βλέπουμε ότι είναι αυτές που επικρατούν στο φάσμα συχνοτήτων του σήματος εισόδου. Η ζώνη διόδου του φίλτρου είναι από 650 Hz ως 1246 Hz ενώ οι συχνότητες αποκοπής του οι 458 Hz και 1768 Hz . Συγκρίνοντας τα παραπάνω δεδομένα συμπεραίνουμε ότι το φίλτρο επιτρέπει να περάσουν η συχνότητα των $f_a = 775 \text{ Hz}$ αναλλοίωτη εφόσον βρίσκεται εντός της ζώνης διόδου και αποσβενημένη η συχνότητα των $f_b = 1417 \text{ Hz}$ η οποία βρίσκεται στην ζώνη μετάβασης κοντά στην συχνότητα διόδου 1246 Hz και άρα δεν αποσβένεται εντελώς. Αντίθετα οι συχνότητες των $f_c = 183 \text{ Hz}$, $f_d = 4420 \text{ Hz}$, $f_e = 5304 \text{ Hz}$ βρίσκονται στην ζώνη αποκοπής του φίλτρου μακριά από την ζώνη διόδου και άρα αποσβένονται σε μεγάλο βαθμό(πρακτικά αποσβένονται εντελώς). Συμπερασματικά, καταλήγουμε στο ότι το φίλτρο **band pass Chebyshev** που κατασκευάσαμε τόσο σε θεωρητική όσο και σε κυκλωματική βάση με χρήση των **Delyiannis-Fried (στρατηγική(2))** πληρεί τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί.