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

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΙΑ #2

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΘΕΟΧΑΡΗΣ Ι.

7ο ΕΞΑΜΗΝΟ

Όνομα : Διαμαντής Κων/νος

Α.Ε.Μ. : 8981

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2019

Περιεχόμενα

Εργασία #2 : Σχεδίαση Ζωνοδιαβατών φίλτρων

ΖΩΝΟΔΙΑΒΑΤΟ ΦΙΛΤΡΟ CHEBYSHEV

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

$f_0 = 900$ Hz, $f_1 = 850$ Hz, $f_2 = 952.941$ Hz, $f_3 = 793.8602$ Hz, $f_4 = 1.0203$ kHz

και $\alpha_{min} = 29.0556$ dB, $\alpha_{max} = 0.7222$ dB

A. Αναλυτική Σχεδίαση του Φίλτρου

• Υπολογισμός της Συνάρτησης Μεταφοράς

Αρχικά θα υπολογιστούν οι προδιαγραφές του πρότυπου χαμηλοπερατού φίλτρου. Οι συχνότητες μετατρέπονται στις αντίστοιχες κυκλικές:

$$\omega_0 = 5654.9\, rad/sec \quad \omega_1 = 5340.7\, rad/sec, \qquad \omega_2 = 5987.5\, rad/sec$$
$$\omega_3 = 4988\, rad/\sec, \quad \omega_4 = 6410.9 rad/sec$$

Για επαλήθευση ισχύει $\omega_0 = \sqrt{\omega_1 * \omega_2} = \sqrt{\omega_3 * \omega_4}$

Επίσης

$$\Omega_p = 1, \qquad \Omega_s = \frac{\omega_4 - \omega_3}{\omega_2 - \omega_1} = 2.2, \qquad bw = \omega_2 - \omega_1 = 646.7985\, rad/sec$$

Στα πλαίσια της διαδικασίας σχεδίασης θα πρέπει να υπολογίσουμε την τάξη του φίλτρου που απαιτείται. Για να γίνει αυτό θα χρησιμοποιήσουμε τον παρακάτω τύπο:

$$n = \frac{\cosh^{-1}[(10^{\frac{a_{min}}{10}} - 1)/(10^{\frac{a_{max}}{10}} - 1)]^{1/2}}{\cosh^{-1}(\Omega_s)} = 3.4323$$

Επειδή το n που προέκυψε δεν είναι ακέραιος, πρέπει να στρογγυλοποιηθεί στον αμέσως μεγαλύτερο ακέραιο. Δηλαδή , **<u>n = 4</u>**.

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι συντελεστές ε, α και η συχνότητα ημίσειας ισχύος από τους παρακάτω τύπους:

$$\varepsilon = \left(10^{\frac{\alpha_{max}}{10}} - 1\right)^{1/2} = 0.4254$$

$$a = \frac{1}{n}\sinh^{-1}\left(\frac{1}{\varepsilon}\right) = 0.3976$$

$$\Omega_{hp} = \cosh\left(\frac{1}{n}\cosh^{-1}\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)\right) = 1.0711$$

Οι γωνίες Butterwoth ενός φίλτρου 4ης τάξης είναι $\psi_\kappa = \pm 22.5°, \pm 67.5°$.

Συνεπώς οι πόλοι Chebyshev προκύπτουν από τον τύπο:

$$\boldsymbol{p_k = -\sinh(a) * \cos(\psi_k) \pm \cosh(a) * \sin(\psi_k)}$$

$$p_{1,2} = -0.3771 \pm j0.4133$$

$$p_{3,4} = -0.1562 \pm j0.9979$$

Στη συνέχεια, μετασχηματίζουμε τους πόλους Chebyshev της κατωδιαβατής απόκρισης σύμφωνα με τον αλγόριθμο Geffe. Αρχικά υπολογίζουμε τον συντελεστή ποιότητας $q_c = \frac{\omega_0}{bw} = 6.3402$ που θα μας χρειαστεί παρακάτω στον μετασχηματισμό.

Μετασχηματισμός μιγαδικού πόλου: $\boldsymbol{p_{1,2} = -0.3771 \pm j0.4133}$

Σ$= 0.3771$, Ω$= 0.4133$, $C = 0.3130$, $D = 0.0863$, $E = 4.0041$,
$G = 4.0004$, $Q = 23.1912$, $K = 1.0003$, $W = 1.0239$

Τελικά παίρνουμε: $\omega_{01} = 5522.7$ και $\omega_{02} = 5790.1$

Από τη διαδικασία μετασχηματισμού προκύπτει ότι οι πόλοι $P_{1,2} = -\Sigma_{1,2} \pm j\,\Omega_{1,2}$ της συνάρτησης μεταφοράς, μετασχηματίζονται σε δύο ζεύγη μιγαδικών πόλων ω_{01}, ω_{02} καθώς και δύο μηδενικά στο s=0.

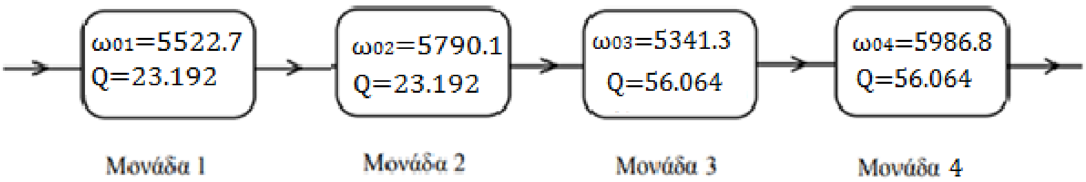
Μετασχηματισμός μιγαδικού πόλου: $\boldsymbol{p_{3,4} = -0.1562 \pm j0.9979}$

Σ$= 0.1562$, Ω$= 0.9979$, $C = 1.0202$, $D = 0.0357$, $E = 4.0133$,
$G = 4.0127$, $Q = 56.064$, $K = 1.0016$, $W = 1.0587$

Τελικά παίρνουμε: ω_{03} =5341.3 και ω_{04} = 5986.8

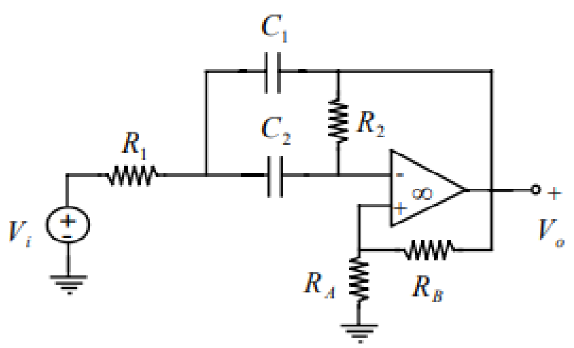
Από τη διαδικασία μετασχηματισμού προκύπτει ότι οι πόλοι $P_{3,4}$= $-\Sigma_{3,4} \pm j\ \Omega_{3,4}$ της συνάρτησης μεταφοράς, μετασχηματίζονται σε δύο ζεύγη μιγαδικών πόλων ω_{03}, ω_{04} καθώς και δύο μηδενικά στο s=0.

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



Υλοποίηση της Συνάρτησης Μεταφοράς

Για την υλοποίηση των ζωνοδιαβατών μονάδων χρησιμοποιείται το κύκλωμα Delyiannis-Fried με τη στρατηγική σχεδίασης 2. Ωστόσο, το μέγιστο Q που μπορεί να υλοποιηθεί είναι Q_{max}=5. Παρατηρούμε πώς έχουμε Q πολύ μεγαλύτερα του 4 και για αυτό το λόγο θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Q-enhancement για όλες τις μονάδες. Η επιλογή της σταθεράς κλιμακοποίησης συχνότητας γίνεται ανάλογα με την κεντρική συχνότητα κάθε μονάδας, ενώ η σταθερά κλιμακοποιήσης πλάτους επιλέγεται έτσι ώστε οι πυκνωτές να έχουν τιμή ίση με 0.01 μF. Το κύκλωμα που θα υλοποιήσει τις μονάδες (χωρίς ωστόσο τη ρύθμιση κέρδους της κάθε μονάδας) είναι το παρακάτω:



<u>ΜΟΝΑΔΑ (I)</u>

Όπως αναφέραμε ακολουθούμε την τεχνική ενίσχυσης Q.
Είναι ω_0=*1 και* επιλέγουμε $\frac{R_{11}}{R_{12}} = \beta_1 \ = 1$

Τα κανονικοποιημένα στοιχεία του κυκλώματος είναι:

$$C_{11old} = C_{12old} = 1\,\Omega$$

$$R_{11_{old}} = \frac{1}{\sqrt{\beta_1}} = 1\,\Omega$$

$$R_{12_{old}} = \sqrt{\beta_1} = 1\,\Omega$$

$$k_1 = 1 + \frac{R_b}{R_a} = \frac{Q_1(\beta_1 + 2) - \sqrt{\beta_1}}{2Q_1 - \sqrt{\beta_1}} = 1.5110 \quad \Rightarrow$$

Άρα για $R_{a\_old} = 1\,\Omega$ έχουμε $R_{b\_old} = 0.5110\ \Omega$

<u>Κλιμακοποίηση</u>

Επειδή $\omega_{01} = 5522.7$ έχουμε $k_{f1} = 5522.7$. Επίσης θέλουμε στο κύκλωμα να έχουμε πυκνωτή C = 0.01μF. Άρα ο συντελεστής κλιμακοποίησης του πλάτους προκύπτει από την εξίσωση:

$$C_{11new} = \frac{C_{11old}}{k_{m1}k_{f1}} \quad \Leftrightarrow \quad k_{m1} = \frac{C_{old}}{k_{f1}C_{new}} = \frac{1}{5522.7 * 0.01 * 10^{-6}} = 18107$$

Συνεπώς τα πραγματικά στοιχεία της μονάδας θα είναι:

$$C_{11new} = C_{12new} = 0.01\mu F$$

$$R_{11new} = R_{12new} = 18.107k\Omega$$

$$R_{\alpha 1new} = 18.107k\Omega$$

$$R_{b1new} = 9.253\ k\Omega$$

Και το κέρδος της μονάδας είναι:

$$H_1 = \frac{k_1\beta_1}{2(k_1 - 1) - \beta_1} = 68.5737$$

<u>ΜΟΝΑΔΑ (ΙΙ)</u>

Όπως αναφέραμε ακολουθούμε την τεχνική ενίσχυσης Q.
Είναι ω_0=1 *και* επιλέγουμε $\frac{R_{21}}{R_{22}} = \beta_2 = 2$

Τα κανονικοποιημένα στοιχεία του κυκλώματος είναι:

$$C_{21old} = C_{22old} = 1\ F$$

$$R_{21_{old}} = \frac{1}{\sqrt{\beta_2}} = 0.7071\ \Omega$$

$$R_{22_{old}} = \sqrt{\beta_2} = 1.4142\ \Omega$$

$$k_2 = 1 + \frac{R_{b2}}{R_{a2}} = \frac{Q_2(\beta_2 + 2) - \sqrt{\beta_2}}{2Q_2 - \sqrt{\beta_2}} = 2.0314 \Rightarrow$$

Άρα για $R_{a2\_old} = 1\ \Omega$ έχουμε $R_{b2\_old} = 1.0314\ \Omega$

<u>Κλιμακοποίηση</u>

Επειδή $\omega_{02} = 5790.1$ έχουμε $k_{f2} = 5790.1$. Επίσης θέλουμε στο κύκλωμα να έχουμε πυκνωτή C = 0.01μF. Άρα ο συντελεστής κλιμακοποίησης του πλάτους προκύπτει από την εξίσωση:

$$C_{21new} = \frac{C_{21old}}{k_{m2}k_{f2}} \Leftrightarrow \quad k_{m2} = \frac{C_{old}}{k_{f2}C_{new}} = \frac{1}{5790.1 * 0.01 * 10^{-6}} = 17271$$

Συνεπώς τα πραγματικά στοιχεία της μονάδας θα είναι:

$$C_{21new} = C_{22new} = 0.01\mu F$$

$$R_{21new} = 12.212\ k\Omega$$

$$R_{22new} = 24.424\ k\Omega$$

$$R_{\alpha 2new} = 17.271\ k\Omega$$

$$R_{b2new} = 17.814\ k\Omega$$

Και το κέρδος της μονάδας είναι:

$$H_2 = \frac{k_2\beta_2}{2(k_2 - 1) - \beta_2} = 64.5947$$

<u>ΜΟΝΑΔΑ (III)</u>

Όπως αναφέραμε ακολουθούμε την τεχνική ενίσχυσης Q.
Είναι ω_0=1 *και* επιλέγουμε $\frac{R_{31}}{R_{32}} = \beta_3 = 2$

Τα κανονικοποιημένα στοιχεία του κυκλώματος είναι:

$$C_{31old} = C_{32old} = 1\ F$$

$$R_{31_{old}} = \frac{1}{\sqrt{\beta_3}} = 0.7071\ \Omega$$

$$R_{32_{old}} = \sqrt{\beta_3} = 1.4142\ \Omega$$

$$k_3 = 1 + \frac{R_{b3}}{R_{a3}} = \frac{Q_3(\beta_3 + 2) - \sqrt{\beta_3}}{2Q_3 - \sqrt{\beta_3}} = 2.0128 \Rightarrow$$

Άρα για $R_{a3\_old} = 1\ \Omega$ έχουμε $R_{b3\_old} = 1.0128\ \Omega$

Κλιμακοποίηση

Επειδή ω_{03} =5341.3 έχουμε $k_{f3} = 5341.3$. Επίσης θέλουμε στο κύκλωμα να έχουμε πυκνωτή C = 0.01μF. Άρα ο συντελεστής κλιμακοποίησης του πλάτους προκύπτει από την εξίσωση:

$$C_{31new} = \frac{C_{31old}}{k_{m3}k_{f3}} \Leftrightarrow k_{m3} = \frac{C_{old}}{k_{f3}C_{new}} = \frac{1}{5341.3 * 0.01 * 10^{-6}} = 18722$$

Συνεπώς τα πραγματικά στοιχεία της μονάδας θα είναι:

$$C_{31new} = C_{32new} = 0.01\mu F$$

$$R_{31new} = 13.238\ k\Omega$$

$$R_{32new} = 26.477\ k\Omega$$

$$R_{\alpha3new} = 18.722\ k\Omega$$

$$R_{b3new} = 18.961\ k\Omega$$

Και το κέρδος της μονάδας είναι:

$$H_3 = \frac{k_3\beta_3}{2(k_3 - 1) - \beta_3} = 157.5729$$

ΜΟΝΑΔΑ (IV)

Όπως αναφέραμε ακολουθούμε την τεχνική ενίσχυσης Q.
Είναι ω_0=1 *και* επιλέγουμε $\frac{R_{41}}{R_{42}} = \beta_4 = 2$

Τα κανονικοποιημένα στοιχεία του κυκλώματος είναι:

$$C_{41old} = C_{42old} = 1\ F$$

$$R_{41_{old}} = \frac{1}{\sqrt{\beta_4}} = 0.7071\ \Omega$$

$$R_{42_{old}} = \sqrt{\beta_4} = 1.4142\ \Omega$$

$$k_4 = 1 + \frac{R_{b4}}{R_{a4}} = \frac{Q_4(\beta_4 + 2) - \sqrt{\beta_4}}{2Q_4 - \sqrt{\beta_4}} = 2.0128 \Rightarrow$$

Άρα για $R_{a4\_old} = 1\ \Omega$ έχουμε $R_{b4\_old} = 1.0128\ \Omega$

Κλιμακοποίηση

Επειδή $\omega_{04} = 5986.8$ έχουμε $k_{f4} = 5986.8$. Επίσης θέλουμε στο κύκλωμα να έχουμε πυκνωτή C = 0.01μF. Άρα ο συντελεστής κλιμακοποίησης του πλάτους προκύπτει από την εξίσωση:

$$C_{41new} = \frac{C_{41old}}{k_{m4}k_{f4}} \quad \Leftrightarrow \quad k_{m4} = \frac{C_{old}}{k_{f4}C_{new}} = \frac{1}{5986.8 * 0.01 * 10^{-6}} = 16703$$

Συνεπώς τα πραγματικά στοιχεία της μονάδας θα είναι:

$$C_{41new} = C_{42new} = 0.01\mu F$$

$$R_{41new} = 11.811\ k\Omega$$

$$R_{42new} = 23.622\ k\Omega$$

$$R_{\alpha 4new} = 16.703\ k\Omega$$

$$R_{b4new} = 16.917\ k\Omega$$

Και το κέρδος της μονάδας είναι:

$$H_4 = \frac{k_4\beta_4}{2(k_4 - 1) - \beta_4} = 157.5729$$

- Ρύθμιση Κέρδους

Θέλουμε να ρυθμίσουμε το κέρδος έτσι ώστε το κέρδος του φίλτρου στη ζώνη διέλευσης να είναι 0 dB. Το συνολικό κέρδος του φίλτρου είναι

$$K = |T_{BP}(j\omega_0)| = |T_1(j\omega_0)| * |T_2(j\omega_0)| * |T_3(j\omega_0)| * |T_4(j\omega_0)| = 1.1903 * 10^6$$

Για τα 0 dB θα πρέπει να μειώσουμε το κέρδος του συνολικού φίλτρου.

$$20\log aK = 0 \Leftrightarrow aK = 10^0 \Leftrightarrow a = \frac{1}{K} = 8.4015 * 10^{-7}$$

Αφού α<1 θα πρέπει να εξασθενήσουμε την είσοδο:

$$Z_\alpha = \frac{R_{11}}{a} = 21552\ M\Omega$$

$$Z_b = \frac{R_{11}}{1-a} = 18.107\ k\Omega$$

Συναρτήσεις Μεταφοράς Μονάδων

1. Για την πρώτη μονάδα, όπως είναι γνωστό η συνάρτηση μεταφοράς είναι :

$$T_1(s) = \frac{H_1 * \frac{\omega_{01}}{Q_1} s}{s^2 + \frac{\omega_{01}}{Q_1} s + \omega_{01}^2} = \frac{1.633 * 10^4 s}{s^2 + 238.1s + 3.05 * 10^7}$$

2. Για την δεύτερη μονάδα η συνάρτηση μεταφοράς είναι:

$$T_2(s) = \frac{H_2 * \frac{\omega_{02}}{Q_2} s}{s^2 + \frac{\omega_{02}}{Q_2} s + \omega_{02}^2} = \frac{1.613 * 10^4 s}{s^2 + 249.7s + 3.355 * 10^7}$$

3. Για την τρίτη μονάδα η συνάρτηση μεταφοράς είναι:

$$T_3(s) = \frac{H_3 * \frac{\omega_{03}}{Q_3} s}{s^2 + \frac{\omega_{03}}{Q_3} s + \omega_{03}^2} = \frac{1.501 * 10^4 s}{s^2 + 95.27s + 2.853 * 10^7}$$

4. Για την τέταρτη μονάδα η συνάρτηση μεταφοράς είναι:

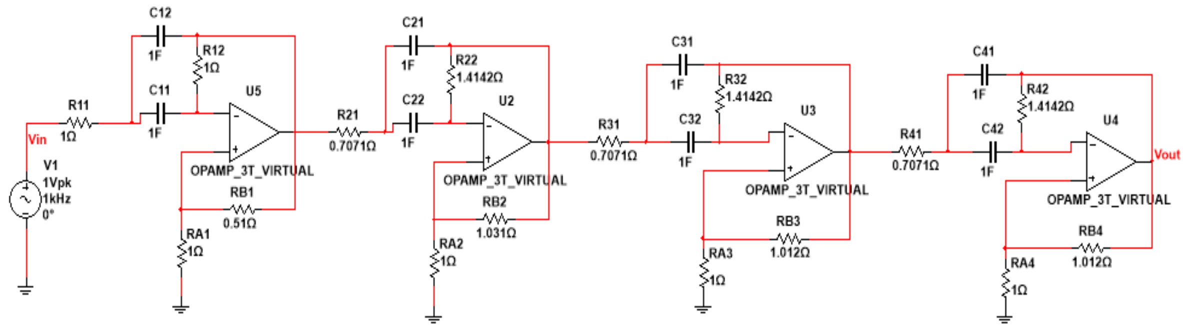
$$T_4(s) = \frac{H_4 * \frac{\omega_{04}}{Q_3} s}{s^2 + \frac{\omega_{04}}{Q_4} s + \omega_{04}^2} = \frac{1.683 * 10^4 s}{s^2 + 106.8s + 3.584 * 10^7}$$

Η συνολική συνάρτηση μεταφοράς του ζωνοδιαβατού φίλτρου Chebyshev είναι:

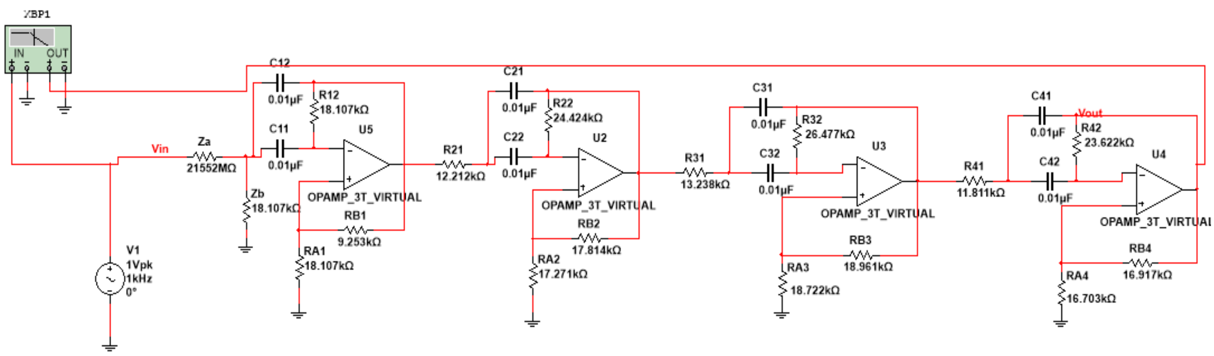
$$T_{BP}(s) = a * T_1(s) * T_2(s) * T_3(s) * T_4(s)$$

$$T_{BP}(s) = \frac{5.589 * 10^{10} s^4}{s^8 + 689.9s^7 + 1.286 * 10^8 s^6 + 6.642 * 10^{10} s^5 + 6.177 * 10^{15} s^4 + 2.124 * 10^{18} s^3 + 1.315 * 10^{23} s^2 + 2.256 * 10^{25} s + 1.046 * 10^{30}}$$

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το κανονικοποιημένο κύκλωμα στο οποίο φαίνονται οι τέσσερις μονάδες αλλά και η απομόνωση μεταξύ 1ης, 2ης , 3ης και 4ης μονάδας προκειμένου να μην αλληλεπιδρούν η μια στην άλλη. Οι αντιστάσεις που αποσκοπούν στην ρύθμιση του κέρδους θα τοποθετηθούνε στη συνέχεια.



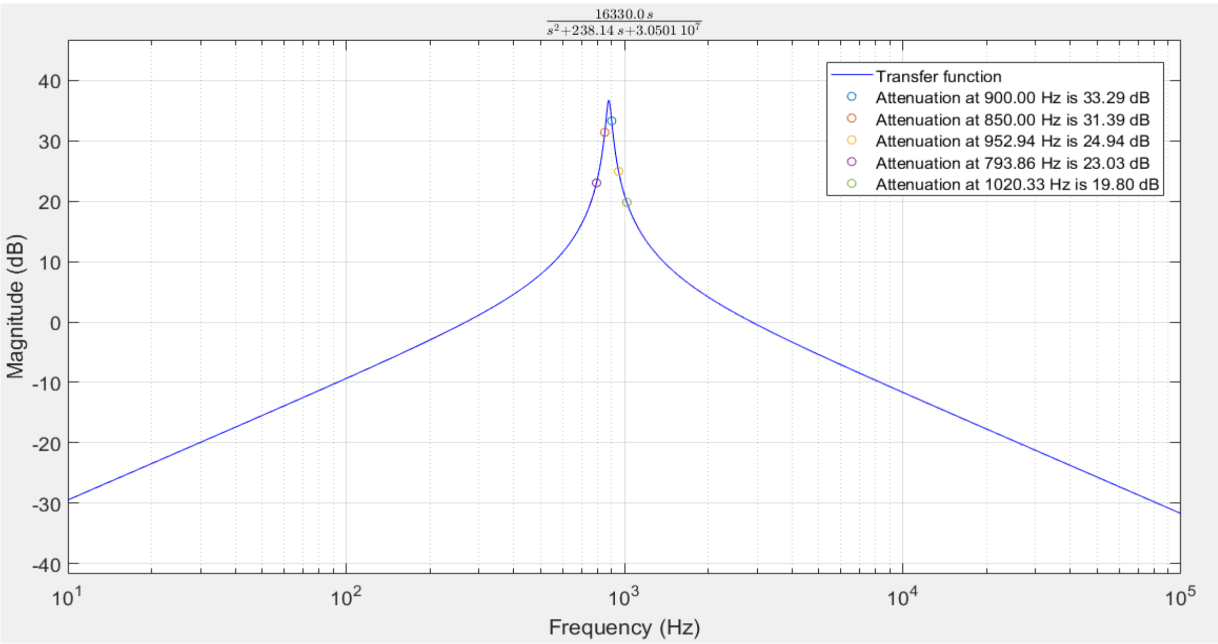
Στην συνέχεια φαίνεται το τελικό κύκλωμα, το επιθυμητό δηλαδή ζωνοδιαβατό φίλτρο Inverse Chebyshev με ό,τι στοιχείο είναι απαραίτητο αλλά και με τις απαιτούμενες τιμές όλων των στοιχείων για την ικανοποίηση των ζητούμενων προδιαγραφών. Τέλος έχουμε προσθέσει τις Z_α και Z_b στο κύκλωμα για την ρύθμιση του κέρδους.



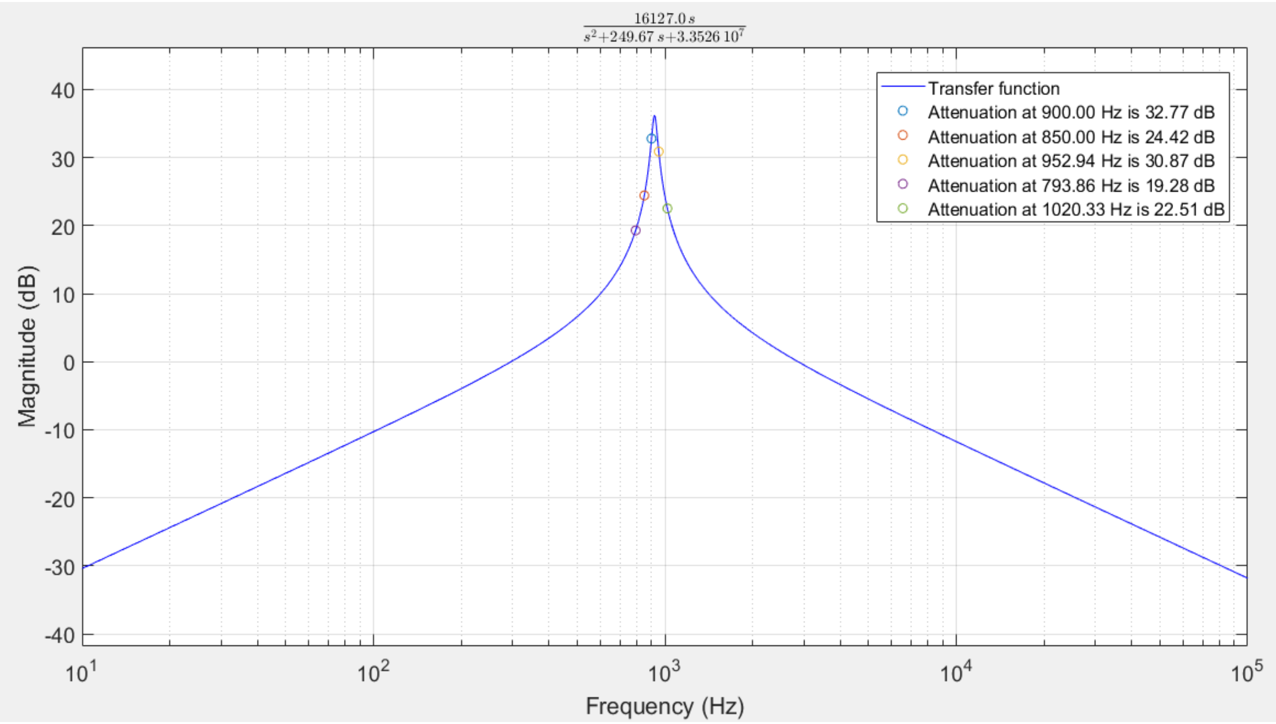
Β. Μελέτη της Συνάρτησης Μεταφοράς στο MATLAB

Εισάγουμε στο πρόγραμμα MATLAB τις επί μέρους συναρτήσεις μεταφοράς των τεσσάρων μονάδων αλλά και την συνολική συνάρτησης μεταφοράς του φίλτρου και παίρνουμε τις αποκρίσεις πλάτους σε dB. Η απόκριση πλάτους σε dB για την πρώτη, την δεύτερη, την τρίτη και την τέταρτη 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.

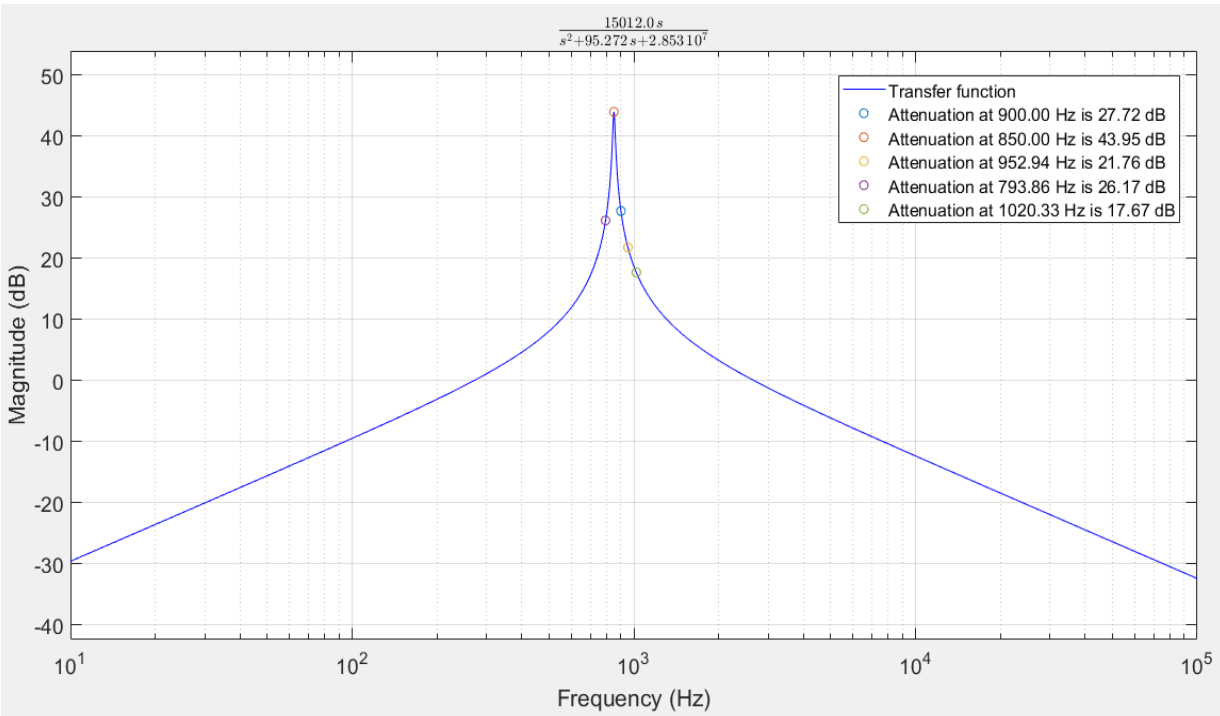
<u>1η Μονάδα : Ζωνοδιαβατό φίλτρο Q-enchantement</u>



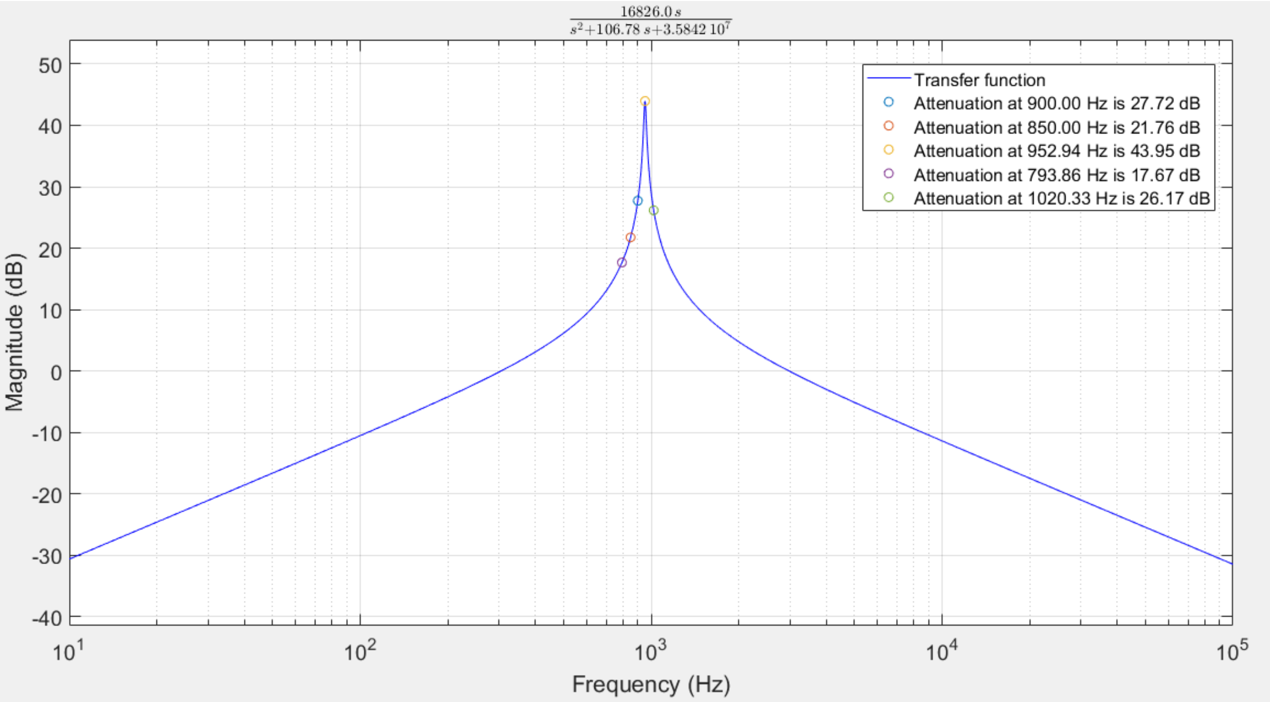
2η Μονάδα : Ζωνοδιαβατό φίλτρο Q-enchantement



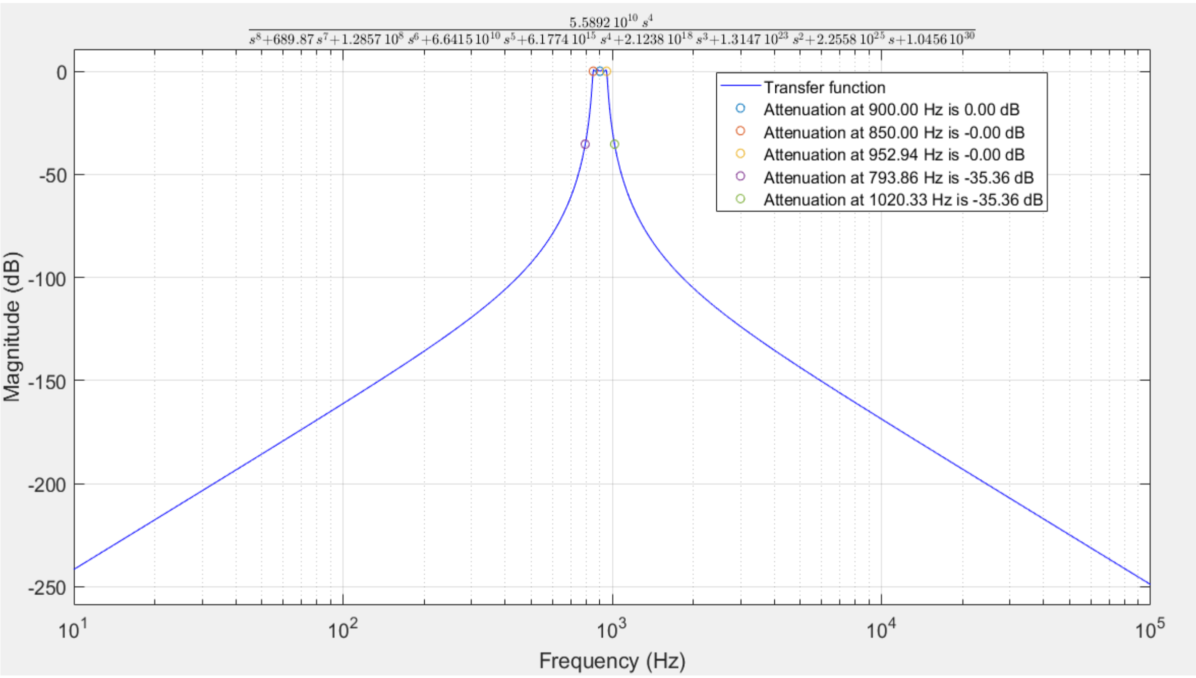
3η Μονάδα : Ζωνοδιαβατό φίλτρο Q-enchantement



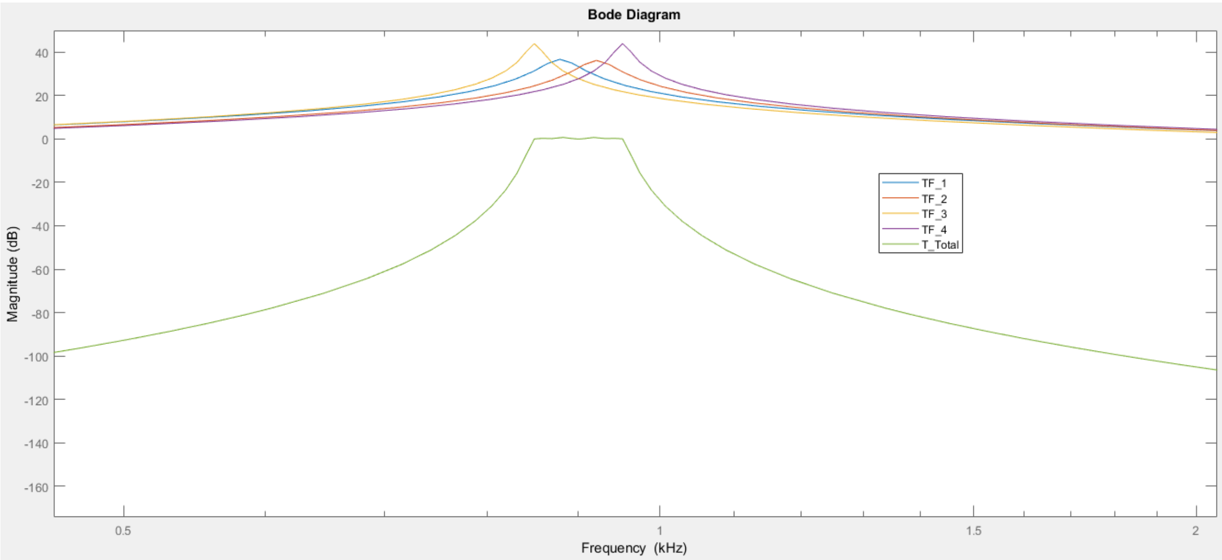
4η Μονάδα : Ζωνοδιαβατό φίλτρο Q-enchantement



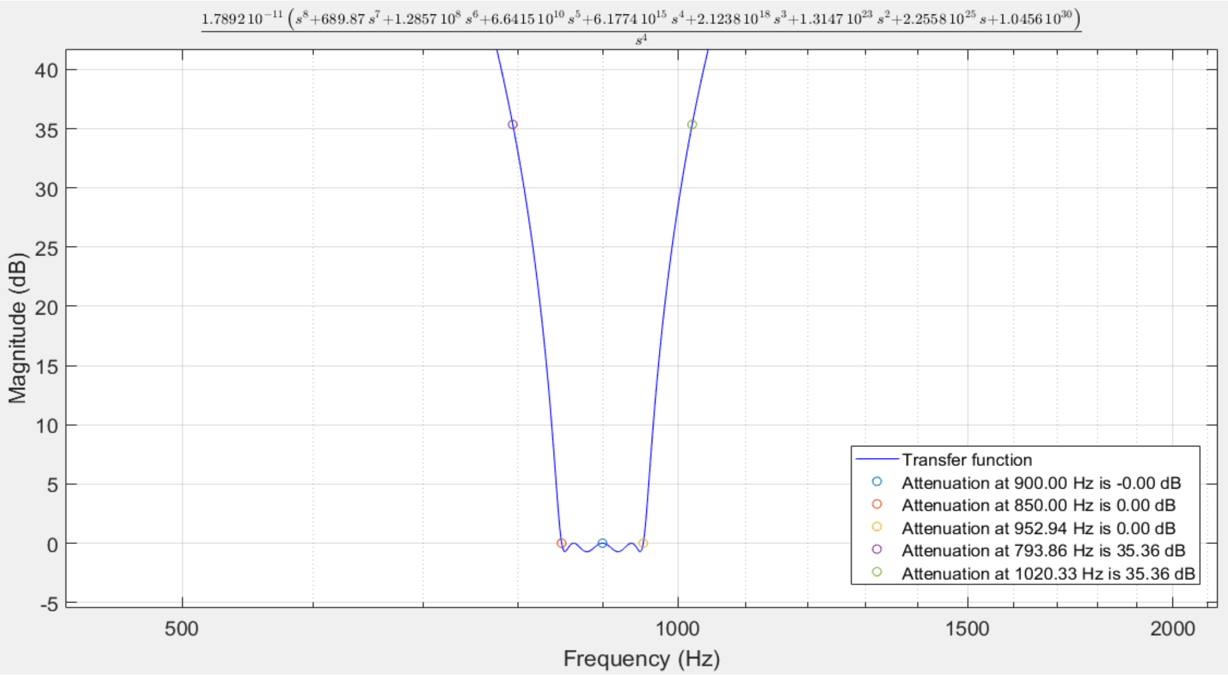
Παρακάτω βλέπουμε την απόκριση πλάτους της συνολικής συνάρτησης μεταφοράς του φίλτρου συναρτήσει της συχνότητας.



Σε αυτό το σημείο παραθέτουμε όλες τις παραπάνω αποκρίσεις σε ένα κοινό διάγραμμα Bode, χρησιμοποιώντας την εντολή ltiview. Έχουμε κάνει zoom στην ενδιαφέρουσα περιοχή συχνοτήτων έτσι ώστε να φαίνονται ευδιάκριτα οι αποκρίσεις. Επίσης επιλέγουμε Hz στον οριζόντιο άξονα και dB στον κατακόρυφο. Όπως βλέπουμε και στο πινακάκι, με μπλε χρώμα είναι η συνάρτηση μεταφοράς της πρώτης μονάδας, με κόκκινο χρώμα η συνάρτηση μεταφοράς της δεύτερης μονάδας, με κίτρινο χρώμα η συνάρτηση μεταφοράς της τρίτης μονάδας και τέλος με μωβ χρώμα χρώμα η συνάρτηση μεταφοράς του τελικού κυκλώματος.



Παρακάτω φαίνεται η συνάρτηση απόσβεσης σε dB της συνολικής συνάρτησης μεταφοράς συναρτήσει της συχνότητας, έχοντας κάνει zoom στην ζώνη συχνοτήτων που μας ενδιαφέρει.

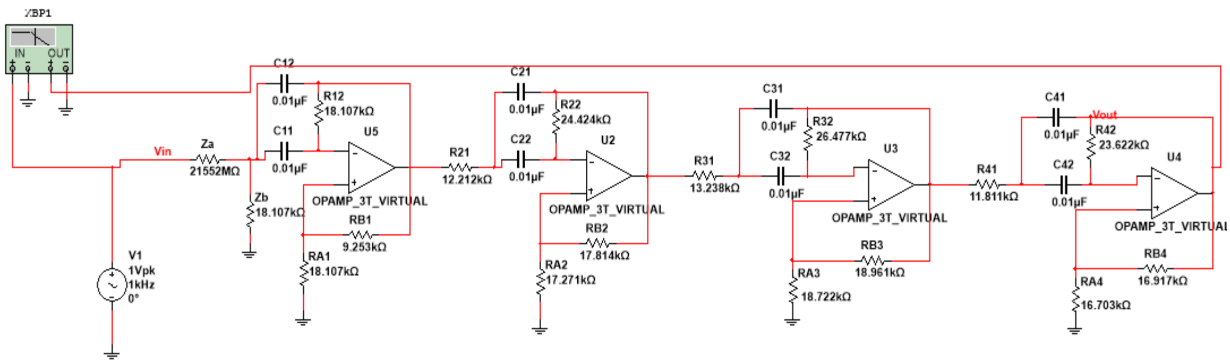


Στη συνάρτηση απόσβεσης σημειώνουμε τις κρίσιμες συχνότητες οι οποίες καθορίζουν την ζώνη διόδου και αποκοπής , δηλαδή την f_0=900 Hz, f_1=850 Hz, f_2=952.941 Hz, f_3=793.8602 Hz, f_4=1.0203 kHz. Για την ζώνη διόδου, στα 900, 850 και 952,94 Hz θέλουμε απόσβεση όχι μεγαλύτερη του α_{max} = 0.7222 dB . Με ακρίβεια 2 δεκαδικών που προσφέρει η plot_transfer_function βλέπουμε πως η προδιαγραφή αυτή υπερκαλύπτεται καθώς έχουμε προσεγγιστικά 0 dB στις αντίστοιχες συχνότητες.
Επίσης στα 793.8602 και 1020.3 Hz θέλουμε απόσβεση το λιγότερο α_{min} = 29.0556 dB. Άρα και η προδιαγραφή αυτή υπερκαλύπτεται καθώς έχουμε 35.36 dB απόσβεση σε αυτές τις συχνότητες. Επιπλέον, πληρείται και η προδιαγραφή για κέρδος 0dB στη ζώνη διόδου.

Γ. Υλοποίηση του Κυκλώματος του Φίλτρου στο MULTISIM

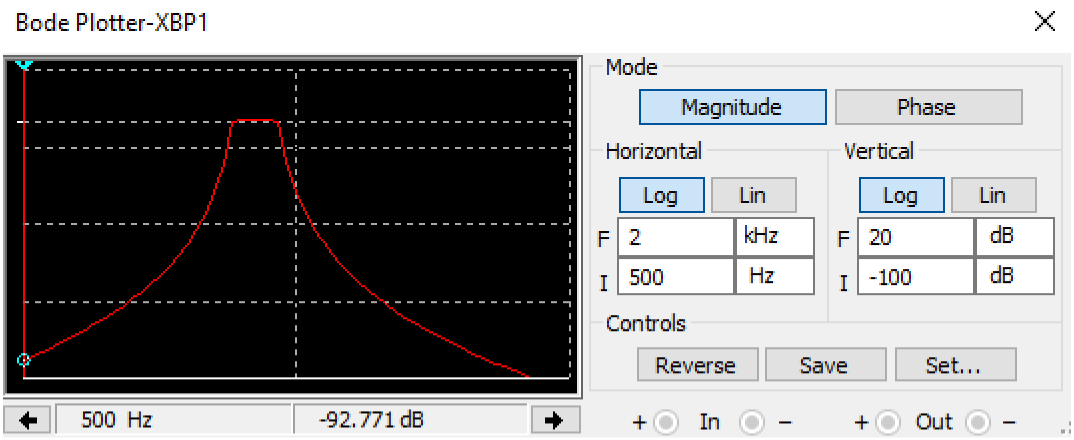
Σχεδιάζουμε το κύκλωμα μας στο ElectronicWorkBench (MULTISIM) προκειμένου να ελέγξουμε αν υλοποιεί την συνολική συνάρτηση μεταφοράς που αναλύθηκε στο προηγούμενο στάδιο της εργασίας αλλά και για να διερευνήσουμε την απόκριση του φίλτρου όταν αυτό διεγείρεται από ένα στοιχειώδες περιοδικό σήμα.
Εισάγουμε λοιπόν τις διάφορες μονάδες του φίλτρου που έχουν σχεδιασθεί στην προηγούμενη φάση της εργασίας στο περιβάλλον MULTISIM και παίρνουμε το

παρακάτω κύκλωμα, όπως αναφέραμε και παραπάνω, αυτή τη φορά συνδέοντας Bode Plotter.

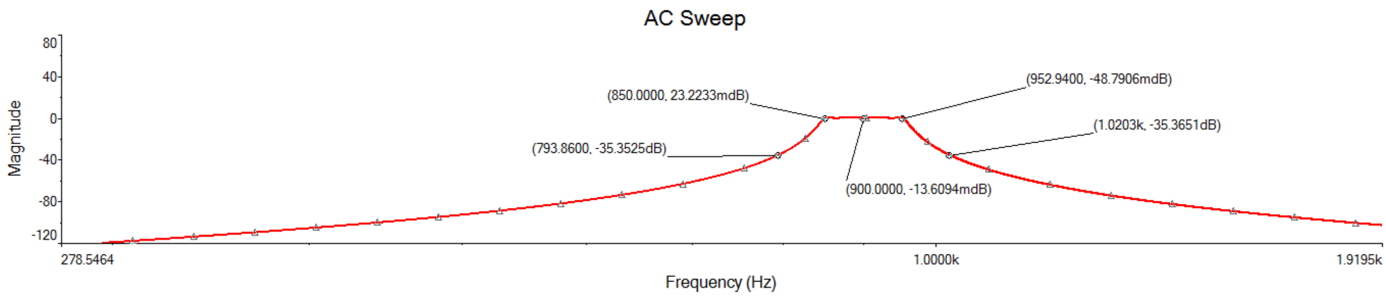


Απόκριση συχνότητας

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 διαπιστώνουμε ότι το φίλτρο συμφωνεί απόλυτα με την θεωρητική ανάλυση του Matlab και πως οι προδιαγραφές για το κύκλωμα καλύπτονται. Επιβεβαιώνουμε από τα tabs τις προδιαγραφές που αναφέραμε και προηγουμένως.

Απόκριση σε περιοδική κυματομορφή

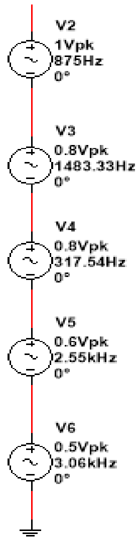
Δίνεται ως είσοδος ένα άθροισμα συνημιτόνων:

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

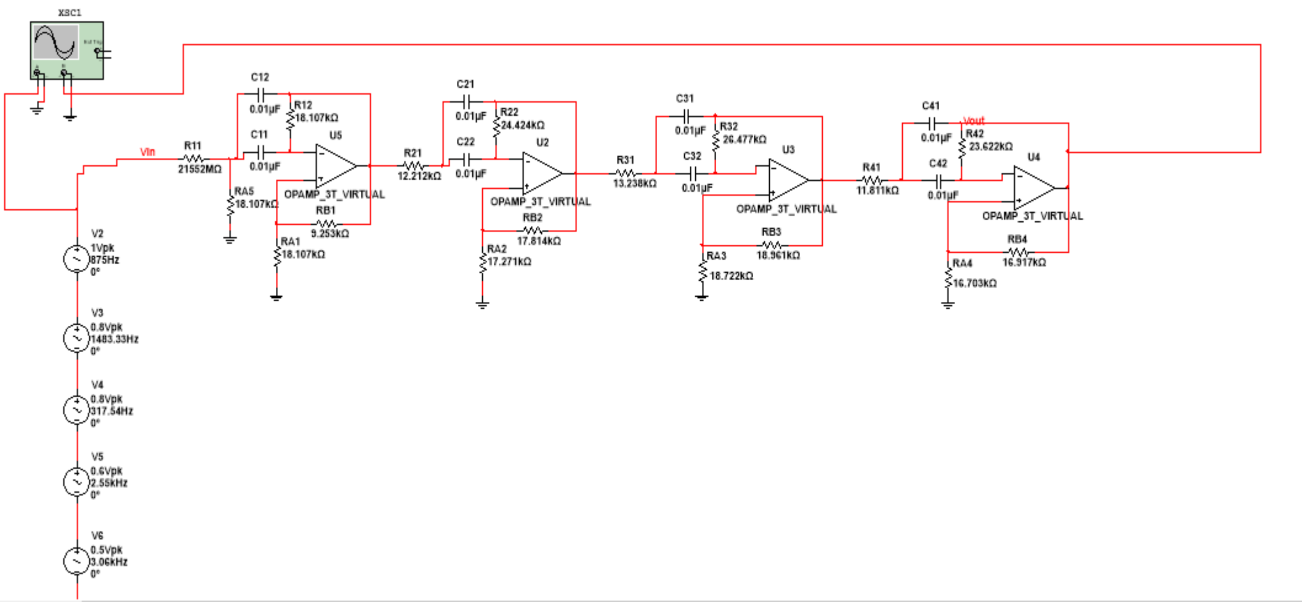
Οι συχνότητες που θα παρουσιάσει το σήμα αυτό θα είναι:

$$f_1 = 875\ Hz,\quad f_2 = 1483.33\ Hz,\quad f_3 = 317.54\ Hz,\quad f_4 = 2.55\ kHz,\quad f_5 = 3.06\ kHz$$

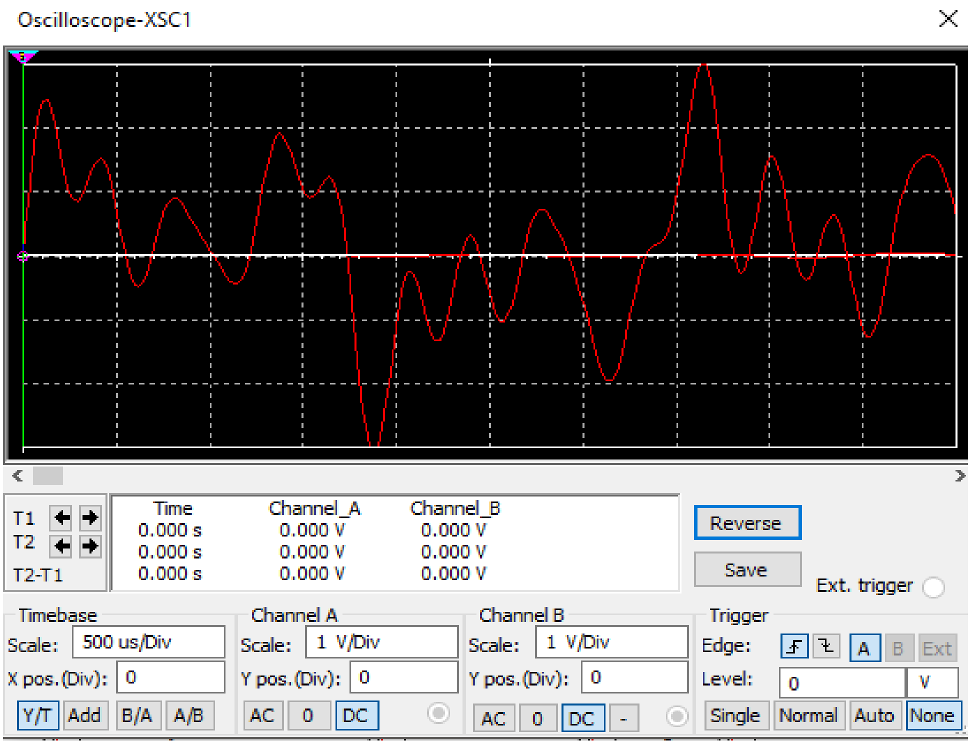
Για τη δημιουργία του σήματος αυτού χρησιμοποιούνται 5 πηγές AC Voltage σε σειρά, η κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί σε μια συχνότητα και στη συνέχεια συνδέθηκαν στην είσοδο του κυκλώματος.



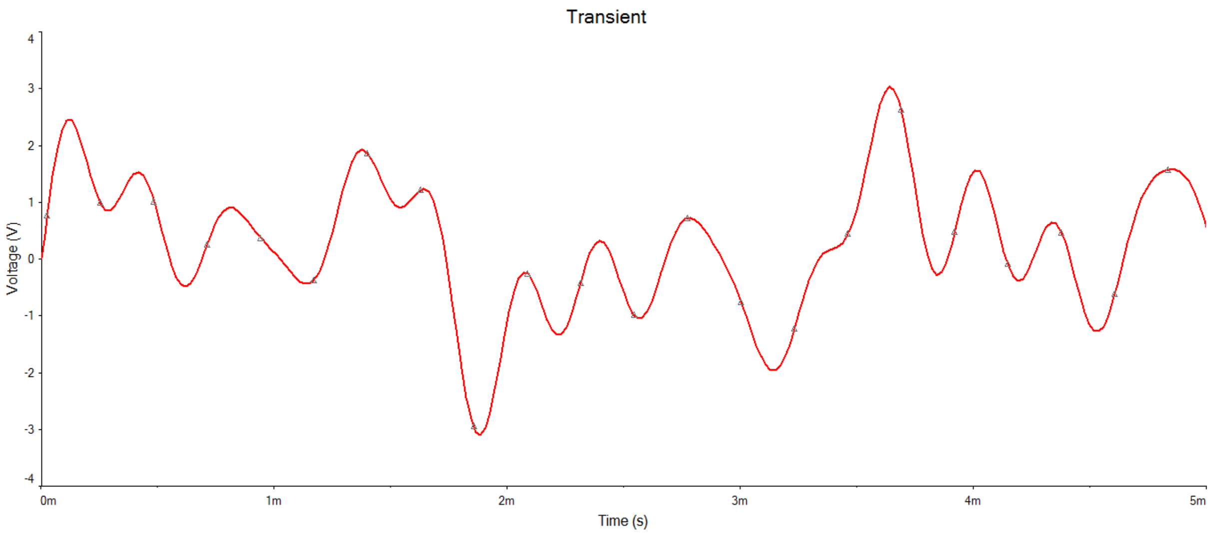
Στην συνέχεια χρησιμοποιούμε έναν παλμογράφο στην είσοδο και την έξοδο και δημιουργούμε τα αντίστοιχα figures για το παραπάνω πείραμα. Το κύκλωμα που προκύπτει είναι το παρακάτω:



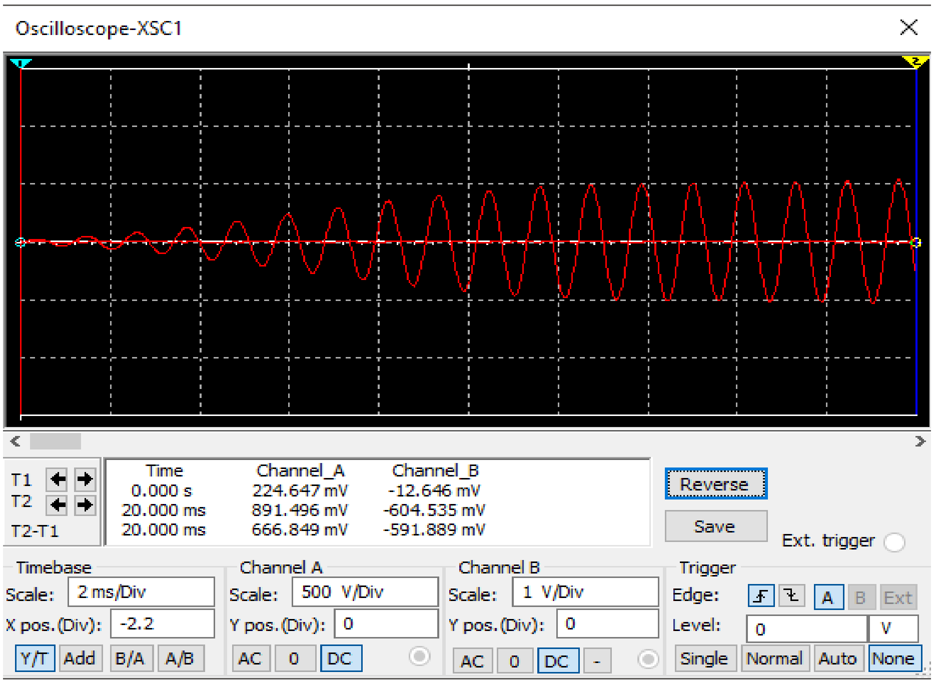
Σήμα Εισόδου-Oscilloscope:



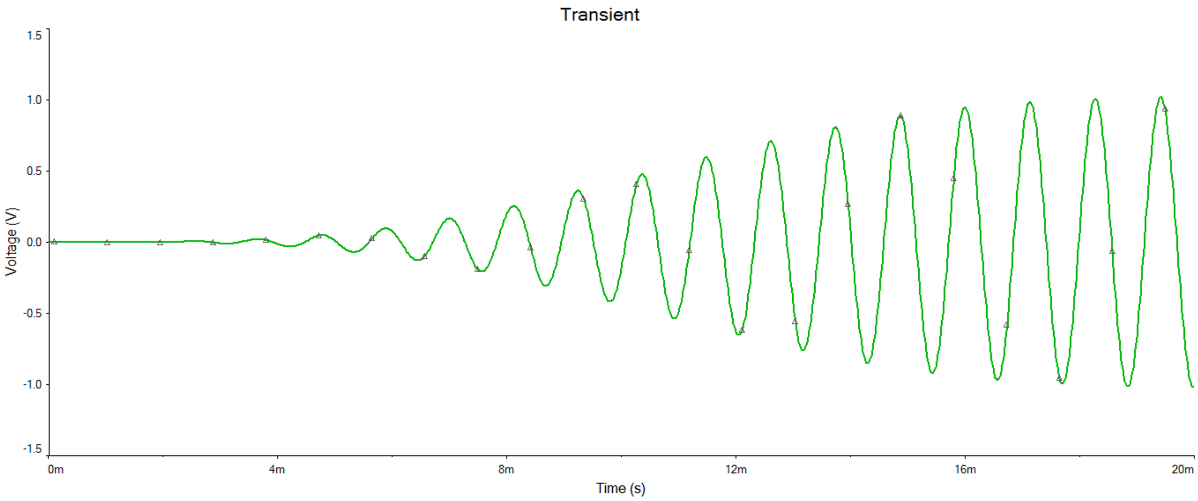
Σήμα Εισόδου-Transient Analysis:



Σήμα Εξόδου-Oscilloscope:

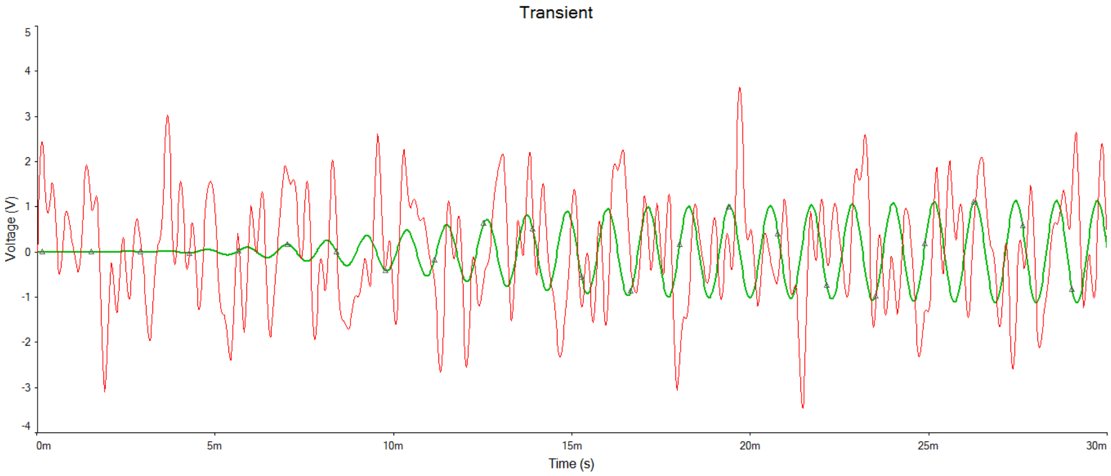


Σήμα Εξόδου-Transient Analysis:

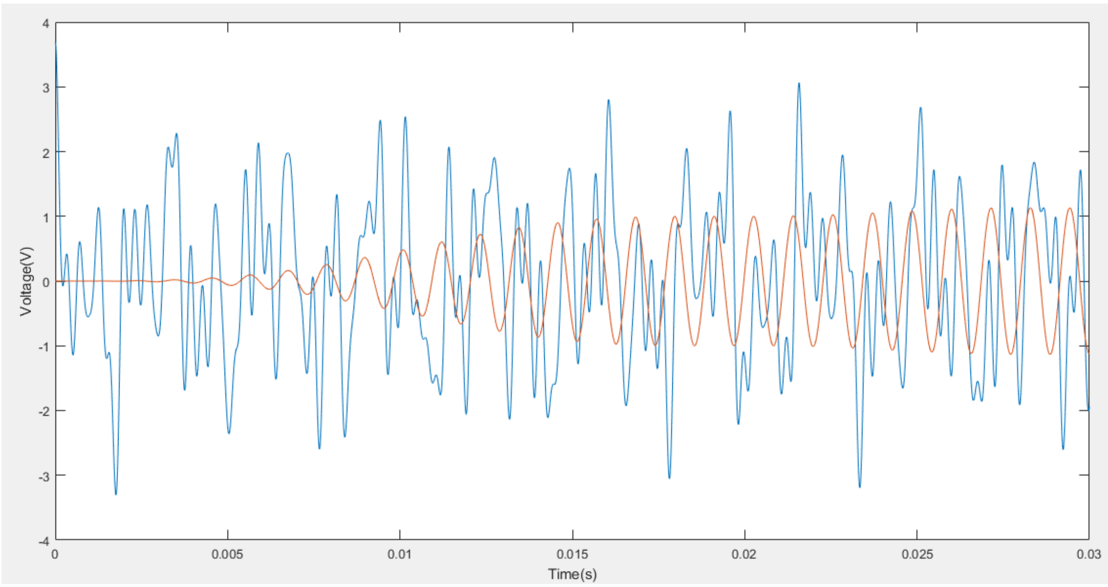


Στα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να δούμε αναλυτικά τα σήματα εισόδου και εξόδου που προκύπτουν, ενώ σε κάθε σχήμα φαίνονται οι επιλογές που κάναμε στον παλμογράφο για να προκύψουν οι αντίστοιχες παραστάσεις (για παράδειγμα: V/Div , sec/Div κτλ.).

Παρακάτω φαίνεται το Transient Analysis με τα δυο σήματα μαζί. Με κόκκινο απεικονίζεται η είσοδος και με πράσινο η έξοδος.



Αφού δημιουργήσουμε τον παλμό μας και στο Matlab και χρησιμοποιώντας την εντολή lsim πλοτάρουμε το σήμα της εισόδου και εξόδου σε κοινό figure και ταυτίζουμε τα αποτελέσματα με αυτά του παλμογράφου από το Multisim.



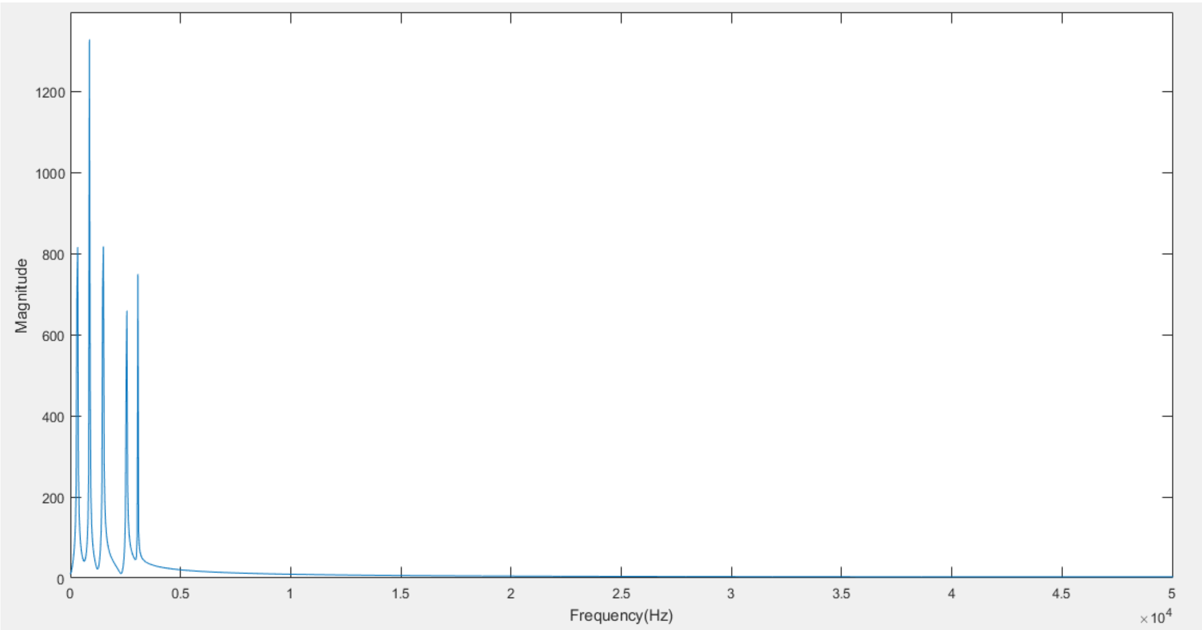
Έχουμε τα ίδια αποτελέσματα όπως και πριν. Εδώ το σήμα εισόδου είναι χρωματισμένο με μπλε χρώμα. Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται καταρχήν ότι ικανοποιείται η προδιαγραφή για κέρδος 0dB καθώς το σήμα στην έξοδο έχει περίπου ίδιο πλάτος. Επίσης είναι ευδιάκριτη η απαλοιφή των υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων εισόδου και ο ζωνοδιαβατός χαρακτήρας του φίλτρου, καθώς στην έξοδο μένει μονάχα μια συχνότητα και έχουμε μονάχα ένα ημίτονο. Το συμπέρασμα αυτό φαίνεται πιο καθαρά στην ανάλυση Fourier που ακολουθεί.

Ανάλυση Fourier

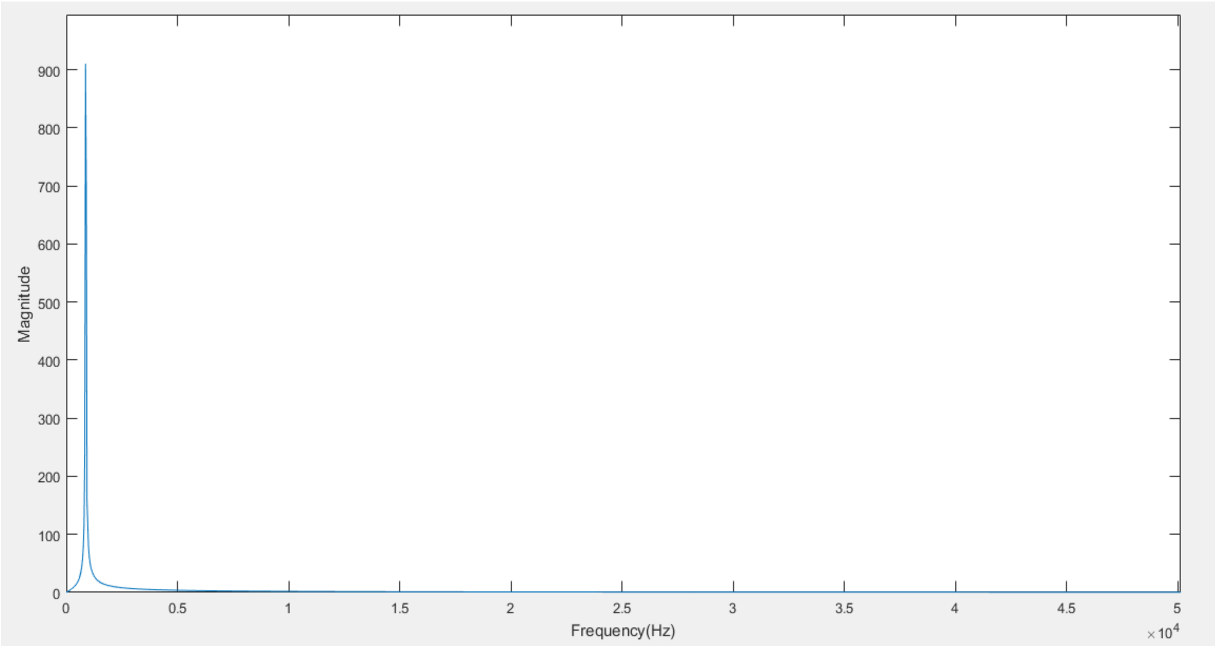
Σε αυτό το σημείο της άσκησης θέλουμε να δημιουργήσουμε τα φάσματα εισόδου και εξόδου του φίλτρου. Για να γίνει κάτι τέτοιο θα εξετάσουμε τα φάσματα τόσο στο Multisim όσο και στο Matlab. Εφόσον μιλάμε για τα ίδια σήματα καθώς και για το ίδιο φίλτρο, αναμένουμε να έχουμε τα ίδια αποτελέσματα.

Κατά συνέπεια, στην επόμενη σελίδα παρουσιάζουμε τα φάσματα FOURIER που προέρχονται από την FFT και τα οποία θα σχολιάσουμε στην συνέχεια.

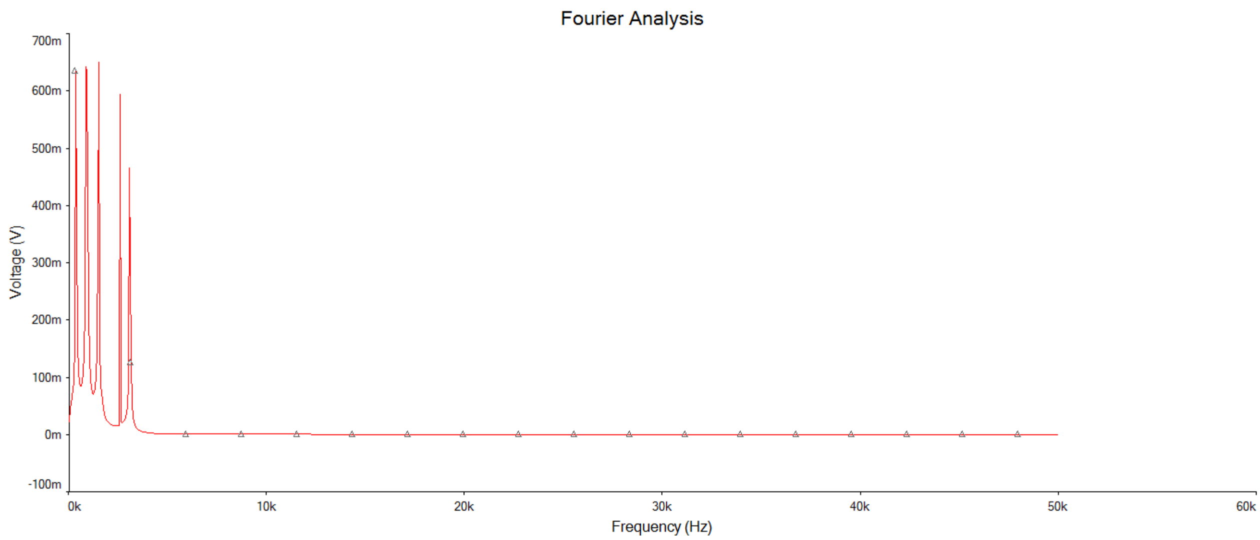
Φάσμα Σήματος Εισόδου Matlab:



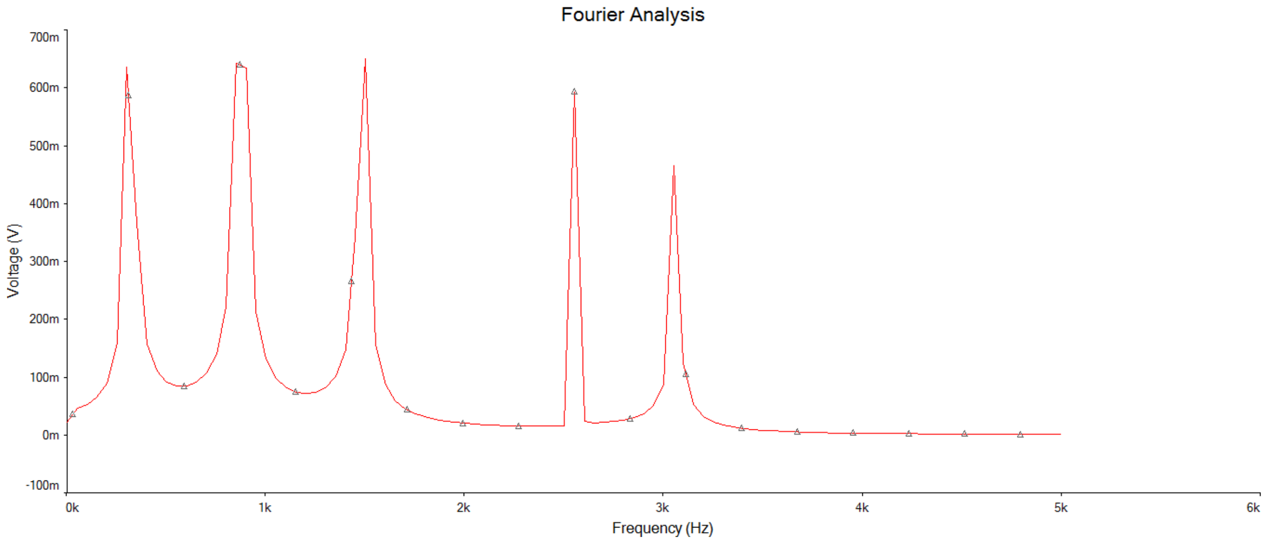
Φάσμα Σήματος Εξόδου Matlab:



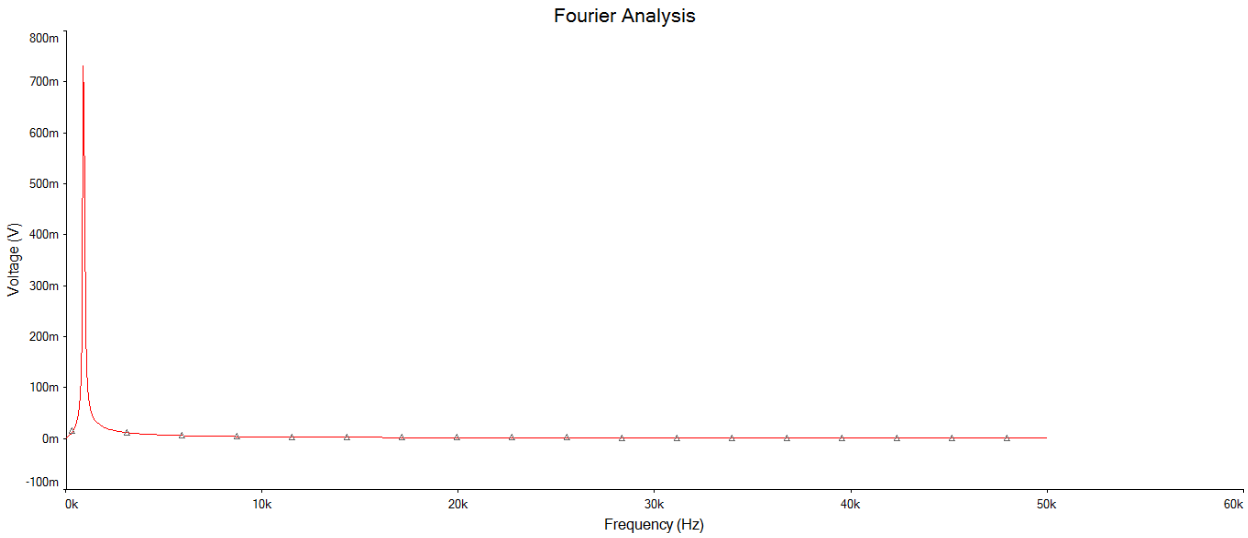
Φάσμα Σήματος Εισόδου Multisim:



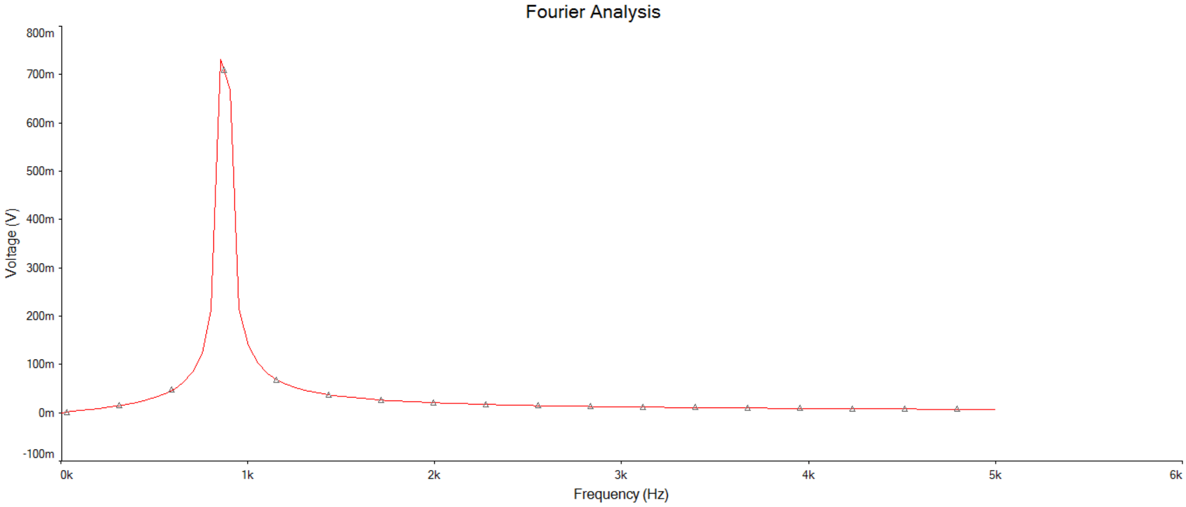
Αρχικά παρατηρούμε πως τα φάσματα τα μεταξύ μεταξύ Multisim και Matlab ταυτίζονται. Έπειτα προσαρμόζουμε τον αριθμό των αρμονικών και το Frequency Resolution για να προκύψει διάγραμμα έως τα 5 kHz και παίρνουμε:



<u>Φάσμα Σήματος Εξόδου Multisim:</u>



Έπειτα προσαρμόζουμε τον αριθμό των αρμονικών και το Frequency Resolution για να προκύψει διάγραμμα έως τα 5 kHz και παίρνουμε:



Αρχικά παρατηρούμε πως τα φάσματα μεταξύ Multisim και Matlab τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο ταυτίζονται. Επιπλέον διαπιστώνουμε πως οι συχνότητες $f_2 = 1483.33\,Hz,\ f_3 = 317.54\,Hz,\ f_4 = 2.55\,kHz,\ f_5 = 3.06\,kHz,$ οι οποίες βρίσκονται στη ζώνη αποκοπής «κόβονται», εξαλείφονται δηλαδή στο φάσμα της εξόδου. Στην έξοδο έχουμε μόλις μία ώση στην συχνότητα $f_1 = 875\,Hz$ που είναι πράγματι ανάμεσα στα 850 και 952.94 Hz, κάτι το οποίο είναι απολύτως λογικό εφόσον το κύκλωμα μας είναι ένα ζωνοδιαβατό φίλτρο. Παράλληλα παρατηρείται και η ορθότητα της ρύθμισης κέρδους. Το πλάτος της ώσης της συχνότητας που απομένει στην έξοδο είναι ίσο περίπου με το πλάτος της στην είσοδο, αφού έχουμε κέρδος 0dB. Έτσι συνάγεται το συμπέρασμα ό,τι το φίλτρο λειτουργεί σωστά, καθώς ικανοποιούνται όλες οι προδιαγραφές της εκφώνησης.