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 : Εξάρχου Δημήτριος-Μάριος

Α.Ε.Μ. : 8805

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2019

Περιεχεχόμενα

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΩΝ

ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Εργασία #2 : Σχεδίαση Ζωνοδιαβατών φίλτρων

ΖΩΝΟΔΙΑΒΑΤΟ ΦΙΛΤΡΟ INVERSE CHEBYSHEV

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

$f_0 = 1.65$ kHz, $f_1 = 1.525$ kHz, $f_2 = 1.7852$ kHz, $f_3 = 1.3565$ kHz, $f_4 = 2.007$ kHz

και $\alpha_{min} = 34$ dB, $\alpha_{max} = 0.5389$ dB

Α. Αναλυτική Σχεδίαση του Φίλτρου

• Υπολογισμός της Συνάρτησης Μεταφοράς

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

$$\omega_0 = 10367\ rad/sec \quad \omega_1 = 9581.8\ rad/sec, \qquad \omega_2 = 11217\ rad/sec$$

$$\omega_3 = 8522.9\ rad/\sec \quad \omega_4 = 12611\ rad/sec$$

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

Από γνωστούς τύπους μετασχηματισμού: $\Omega(\omega) = -\frac{-\omega^2 + {\omega_0}^2}{\omega*(\omega_2-\omega_1)}$, *όπου* $\omega_0 = \sqrt{\omega_1 * \omega_2}$

Επομένως:

$$\Omega_p = \Omega(\omega_2) = 1, \qquad \Omega_s = \Omega(\omega_4) = \frac{\omega_4 - \omega_3}{\omega_2 - \omega_1} = 2.5, \quad bw = \omega_2 - \omega_1 = 1635.2\ rad/sec$$

Από την παρακάτω εξίσωση έχουμε την τάξη του φίλτρου:

$$n = \frac{\cosh^{-1}[(10^{\frac{a_{min}}{10}} - 1)/(10^{\frac{a_{max}}{10}} - 1)]^{1/2}}{\cosh^{-1}(\Omega_s)} = 3.5865$$

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

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

$$\varepsilon = \left(10^{\frac{\alpha_{min}}{10}} - 1\right)^{-1/2} = 0.02$$

$$a = \frac{1}{n}\sinh^{-1}\left(\frac{1}{\varepsilon}\right) = 1.1519$$

$$\omega_{hp} = \frac{1}{\cosh\left(\frac{1}{n}\cosh^{-1}\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)\right)} = 0.5747 < 1$$

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

Συνεπώς οι πόλοι Chebyshev προκύπτουν από τον τύπο:

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

$$p_{1,2} = -1.3156 \pm j0.6659$$

$$p_{3,4} = -0.5449 \pm j1.6076$$

Επίσης ισχύει:

$$\Omega_{0\kappa} = \sqrt{Re(p_k)^2 + Im(p_k)^2} \quad \kappa\alpha\iota \quad Q_\kappa = \frac{\Omega_{0\kappa}}{-2Re(p_k)}$$

ψ_κ	Q	p_κ	$\Omega_{0\kappa}$
$\pm 22.5°$	0.5604	$-1.3156 \pm j0.6659$	1.4745
$\pm 67.5°$	1.5575	$-0.5449 \pm j1.6076$	1.6975

Οι πόλοι της απόκρισης ICH προκύπτουν δια αντιστροφής των πόλων της απόκρισης CH:

$$\widetilde{\Omega_1} = \frac{1}{\Omega_{01,2}} = 0.6782 \quad \kappa\alpha\iota \quad \widetilde{\Omega_2} = \frac{1}{\Omega_{03,4}} = 0.5891$$

Κλιμακοποιούμε την συχνότητα, πολλαπλασιάζοντας με Ω_S έτσι ώστε να μεταφερθούμε στο πεδίο συχνοτήτων της απόκρισης CH:

$$\widetilde{\Omega_1}' = \widetilde{\Omega_1} * \Omega_s = 1.6954 \quad \kappa\alpha\iota \quad \widetilde{\Omega_2}' = \widetilde{\Omega_2} * \Omega_s = 1.4728$$

Οι θέσεις των πόλων προκύπτουν από τους τύπους:

$$\Sigma_\kappa = -\frac{\widetilde{\Omega_\kappa}}{2Q_\kappa} \qquad \text{και} \qquad \Omega_\kappa = \sqrt{\widetilde{\Omega_{0\kappa}}^2 - \Sigma_\kappa^2}$$

Και υπολογίζονται ως εξής:

$$\Sigma_{1,2} = -\frac{\widetilde{\Omega_1}}{2Q_{1,2}} = -1.5125 \qquad \text{και} \qquad \Omega_{1,2} = \sqrt{\widetilde{\Omega_1}^2 - \Sigma_{1,2}^2} = 0.7657$$

$$\Sigma_{3,4} = -\frac{\widetilde{\Omega_2}}{2Q_{3,4}} = -0.4728 \qquad \text{και} \qquad \Omega_{3,4} = \sqrt{\widetilde{\Omega_2}^2 - \Sigma_{3,4}^2} = 1.3948$$

Στη συνέχεια βρίσκουμε τα μηδενικά της συνάρτησης μεταφοράς με επίλυση της εξίσωσης:

$$\Omega_\kappa = sec\left(\frac{\kappa\pi}{8}\right), \qquad \kappa = 1,3$$

Συνεπώς $\Omega_{z1} = 1.0824$ και $\Omega_{z1} = 2.6131$

Τέλος κλιμακοποιούμε τα μηδενικά, πολλαπλασιάζοντας με Ω_S:

$$\widetilde{\Omega_{z1}} = \Omega_{z1} * \Omega_s = 2.7060\,, \quad \widetilde{\Omega_{z2}} = \Omega_{z2} * \Omega_s = 6.5328$$

- Μετασχηματισμός πόλων και μηδενικών

Μετασχηματίζουμε τώρα τους πόλους και τα μηδενικά της κατωδιαβατής απόκρισης εφαρμόζοντας το ζωνοδιαβατό μετασχηματισμό συχνότητας LP→BP. Αρχικά υπολογίζουμε τον συντελεστή ποιότητας $q_c = \frac{\omega_0}{bw} = 6.3402$. Στην συνέχεια εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο Geffe.

Μετασχηματισμός μιγαδικού πόλου: $\boldsymbol{p_{1,2} = -1.5127 \pm j0.7657}$
$C = 2.8745,\ D = 0.4772,\ E = 4.0715$
$G = 3.9581,\ Q = 4.1990,\ K = 1.0018,\ W = 1.0627$
$\omega_{01} = 9755.9\, rad/\sec \quad \kappa\alpha\iota \quad \omega_{02} = 11017\, rad/sec$

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: $\boldsymbol{p_{3,4} = -0.4728 \pm j1.3948}$
$C = 2.1691,\ D = 0.1492,\ E = 4.0540$
$G = 4.0430,\ Q = 13.4903,\ K = 1.0060,\ W = 1.1161$
$\omega_{03} = 9288.7\, rad/\sec \quad \kappa\alpha\iota \quad \omega_{04} = 11571\, rad/sec$

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.

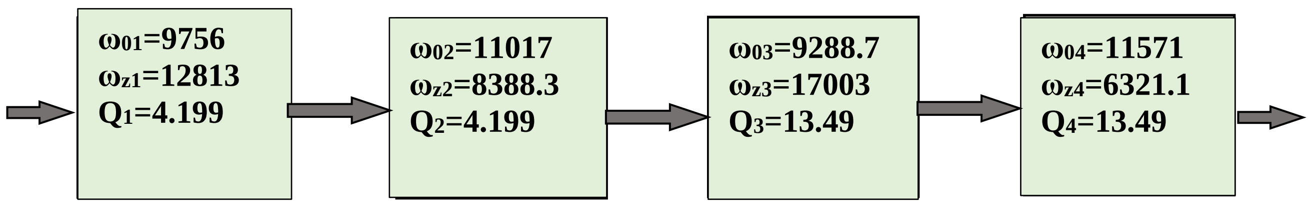
Μετασχηματισμός φανταστικού μηδενικού: $\boldsymbol{\widetilde{\Omega_{z1}} = 2.7060}$
Εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο ζωνοδιαβατού μετασχηματισμού των μηδενικών και έχουμε:
$\mathrm{K} = 2.1822, \qquad x = 1.5275$
$\omega_{z1} = 12813\, rad/\sec \quad \kappa\alpha\iota \quad \omega_{z2} = 8388.3\, rad/sec$

Το αποτέλεσμα του μετασχηματισμού είναι η δημιουργία δυο ζευγών φανταστικών μηδενικών και δύο πόλων στο μηδέν.

Μετασχηματισμός φανταστικού μηδενικού: $\boldsymbol{\widetilde{\Omega_{z2}} = 6.5328}$
Εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο ζωνοδιαβατού μετασχηματισμού των μηδενικών και έχουμε:
$\mathrm{K} = 3.0617, \qquad x = 2.6899$
$\omega_{z3} = 17003\, rad/\sec \quad \kappa\alpha\iota \quad \omega_{z4} = 6321.1\, rad/sec$

Το αποτέλεσμα του μετασχηματισμού είναι η δημιουργία δυο ζευγών φανταστικών μηδενικών και δύο πόλων στο μηδέν.

Ομαδοποιούμε τους πόλους και τα μηδενικά της ζωνοδιαβατής απόκρισης όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Συνδυάζουμε ένα ζεύγος φανταστικών μηδενικών και ένα ζεύγος μιγαδικών πόλων και δημιουργούμε μια ζωνοφρακτική μονάδα δεύτερης τάξης.

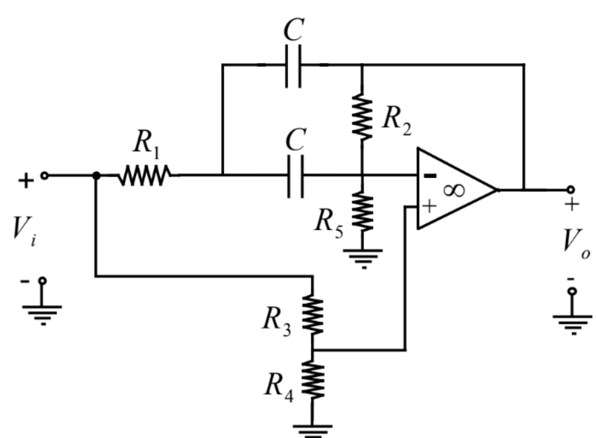


Μονάδα 1 (I) Μονάδα 2 (II) Μονάδα 3 (III) Μονάδα 4 (IV)

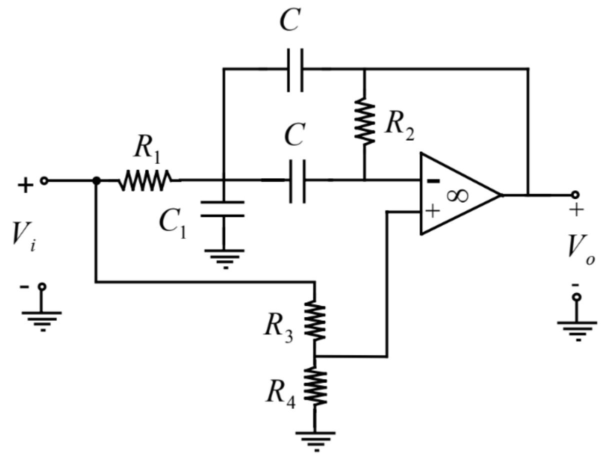
Υλοποίηση της Συνάρτησης Μεταφοράς

Επειδή στην πρώτη τρίτη μονάδα το μέτρο του μηδενικού είναι μεγαλύτερο από το μέτρο των πόλων έχουμε φίλτρα LPN. Αντίθετα, επειδή στην δεύτερη και τέταρτη μονάδα το μέτρο του μηδενικού είναι μικρότερο από το μέτρο των πόλων έχουμε φίλτρα HPN.

Για την υλοποίηση των φίλτρων LPN, HPN χρησιμοποιούμε ι τα σχήματα 7.23 και 7.21 αντίστοιχα.



Σχήμα 1 – LPN (7.23)



Σχήμα 2 – HPN (7.21)

Στο φίλτρο Inverse Chebyshev, κάθε πόλος έχει το δικό του μέτρο και επομένως η κλιμακοποίηση γίνεται για κάθε μονάδα ξεχωριστά. Θα θεωρήσουμε προσωρινά ω_0 = 1 rad/sec ώστε να υλοποιήσουμε τις κανονικοποιημένες μονάδες και στην συνέχεια θα κάνουμε κλιμακοποίηση με βάση την συχνότητα.

<u>ΜΟΝΑΔΑ (I)</u>

Η μονάδα αυτή υλοποιείται με το φίλτρο LPN, καθώς $\omega_{01} < \omega_{z1}$.

Προσωρινά θεωρούμε: $\omega_0 = 1$ άρα $\omega_z = 1.3134$, $Q = 4.199$

Με βάση τη στρατηγική σχεδίασης έχουμε τα παρακάτω κανονικοποιημένα στοιχεία:

$$R_1 = R_4 = 1,\ R_2 = 70.5257,\ R_3 = 0.0489,\ R_5 = 97.2881,\ C = 0.1191$$

Το κέρδος στις υψηλές συχνότητες είναι: $k = 0.9534$

<u>Κλιμακοποίηση</u>

Επειδή $\omega_{01} = 9755.9\ rad/sec$ έχουμε $k_f = 9755.9$. Επίσης θέλουμε στο κύκλωμα να έχουμε πυκνωτή C = 1μF. Άρα ο συντελεστής κλιμακοποίησης του πλάτους προκύπτει από την εξίσωση:

$$C_{new} = \frac{C_{old}}{k_{m1} k_{f1}} \Leftrightarrow k_{m1} = \frac{C_{old}}{k_{f1} C_{new}} = \frac{0.1191}{9755.9 * 1 * 10^{-6}} = 12.2056$$

Συνεπώς τα πραγματικά στοιχεία της μονάδας θα είναι:

$R_1 = R_4 = 12.2056\Omega,\ R_2 = 860.8052\ \Omega,\ R_3 = 0.597\ \Omega,\ R_5 = 1187.5\ \Omega,\ C = 1.0\mu F$

ΜΟΝΑΔΑ (ΙΙ)

Η μονάδα αυτή υλοποιείται με το φίλτρο HPN, καθώς $\omega_{02} > \omega_{z2}$.

Προσωρινά θεωρούμε: $\omega_0 = 1$ άρα $\omega_z = 0.7614,\quad Q = 4.199$

Με βάση τη στρατηγική σχεδίασης 1 έχουμε τα παρακάτω κανονικοποιημένα στοιχεία:

$$k_1 = 0.7249,\ k_2 = 0.9796$$

$$R_1 = R_3 = 1,\ R_2 = 130.9164,\ R_4 = 48.0442,\ C_{22} = 0.0874,\quad C_{21} = 0.0634$$

Το κέρδος στις υψηλές συχνότητες είναι: $k = 1.6897$

Κλιμακοποίηση

Επειδή $\omega_{02} = 11017\ rad/sec$ έχουμε $k_f = 11017$. Επίσης θέλουμε στο κύκλωμα να έχουμε πυκνωτή C = 1μF. Άρα ο συντελεστής κλιμακοποίησης του πλάτους προκύπτει από την εξίσωση:

$$C_{22new} = \frac{C_{22old}}{k_{m2}k_{f2}} \Leftrightarrow k_{m2} = \frac{C_{22old}}{k_{f2}C_{22new}} = \frac{0.0874}{11017 * 1 * 10^{-6}} = 7.9331$$

Συνεπώς τα πραγματικά στοιχεία της μονάδας θα είναι:

$R_1 = R_3 = 7.9331\Omega$, $R_2 = 1038.6\ \Omega$, $R_4 = 381.1404\ \Omega$, $C_{22} = 1.0\mu F$, $C_{21} = 0.7249\mu F$

ΜΟΝΑΔΑ (ΙΙΙ)

Η μονάδα αυτή υλοποιείται με το φίλτρο LPN, καθώς $\omega_{01} < \omega_{z1}$.

Προσωρινά θεωρούμε: $\omega_0 = 1$ άρα $\omega_z = 1.8305,\quad Q = 13.49$

Με βάση τη στρατηγική σχεδίασης 1 έχουμε τα παρακάτω κανονικοποιημένα στοιχεία:

$$R_1 = R_4 = 1,\ R_2 = 727.9480,\ R_3 = 0.0092,\ R_5 = 309.6470,\ C = 0.0371$$

Το κέρδος στις υψηλές συχνότητες είναι: $k = 0.9954$

Κλιμακοποίηση

Επειδή $\omega_{03} = 9288.7\ rad/sec$ έχουμε $k_f = 9288.7$. Επίσης θέλουμε στο κύκλωμα να έχουμε πυκνωτή C = 1μF. Άρα ο συντελεστής κλιμακοποίησης του πλάτους προκύπτει από την εξίσωση:

$$C_{new} = \frac{C_{old}}{k_{m3}k_{f3}} \Leftrightarrow k_{m3} = \frac{C_{old}}{k_{f3}C_{new}} = \frac{0.0371}{9288.7 * 1 * 10^{-6}} = 3.9902$$

Συνεπώς τα πραγματικά στοιχεία της μονάδας θα είναι:

$R_1 = R_4 = 3.9902\Omega$, $R_2 = 2904.7\ \Omega$, $R_3 = 0.0367\ \Omega$, $R_5 = 1235.6\ \Omega$, $C = 1.0\mu F$

<u>ΜΟΝΑΔΑ (IV)</u>

Η μονάδα αυτή υλοποιείται με το φίλτρο HPN, καθώς $\omega_{04} > \omega_{z4}$.

Προσωρινά θεωρούμε: $\omega_0 = 1$ άρα $\omega_z = 0.5463$, $Q = 13.49$

Με βάση τη στρατηγική σχεδίασης 1 έχουμε τα παρακάτω κανονικοποιημένα στοιχεία:

$$k_1 = 2.3509,\ k_2 = 0.9987$$

$$R_1 = R_3 = 1,\ R_2 = 3445.1,\ R_4 = 791.8067,\ C_{42} = 0.0170,\ C_{41} = 0.0401$$

Το κέρδος στις υψηλές συχνότητες είναι: $k = 3.3467$

<u>Κλιμακοποίηση</u>

Επειδή $\omega_{04} = 11571\ rad/sec$ έχουμε $k_f = 11571$. Επίσης θέλουμε στο κύκλωμα να έχουμε πυκνωτή C = 1μF. Άρα ο συντελεστής κλιμακοποίησης του πλάτους προκύπτει από την εξίσωση:

$$C_{42new} = \frac{C_{42old}}{k_{m4}k_{f4}} \Leftrightarrow k_{m4} = \frac{C_{42old}}{k_{f4}C_{42new}} = \frac{0.0170}{11571 * 1 * 10^{-6}} = 1.4724$$

Συνεπώς τα πραγματικά στοιχεία της μονάδας θα είναι:

$R_1 = R_3 = 1.4724\Omega$, $R_2 = 5072.5\ \Omega$, $R_4 = 1165.9\Omega$, $C_{42} = 1.0\mu F$, $C_{41} = 2.3509\mu F$

• Ρύθμιση Κέρδους

Θέλουμε να ρυθμίσουμε το κέρδος έτσι ώστε το κέρδος του φίλτρου στη ζώνη διέλευσης να είναι 5 dB. Το συνολικό κέρδος του φίλτρου είναι $K = |T_{BP}(j\omega_0)| = 268.97$

Για να φτάσουμε τα 5 dB θα πρέπει να μειώσουμε το κέρδος του συνολικού φίλτρου.

$$20\log aK = 5 \Leftrightarrow aK = 10^{0.25} \Leftrightarrow a = 0.0066$$

Αφού α<1, η είσοδος θα πρέπει να υφίσταται εξασθένιση. Χρησιμοποιούμε για αυτό τον σκοπό μια αναστρέφουσα συνδεσμολογία με κέρδος $k = -r_2 / r_1 = -0.0066$. Επιλέγουμε $r_1 = 10$ KΩ και άρα $r_2 = 66$Ω. Πρέπει να σημειώσουμε εδώ ότι η λύση αυτή εισάγει αλλαγή φάσης. Για να μην έχουμε αντιστροφή φάσης, θα μπορούσαμε να εισάγουμε μία επιπλέον αναστρέφουσα συνδεσμολογία με κέρδος μονάδα.

Συναρτήσεις Μεταφοράς Μονάδων

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

$$T_1(s) = k_1 \frac{s^2 + \omega_{z1}^2}{s^2 + \frac{\omega_{01}}{Q1}s + \omega_{01}^2} = \frac{0.9534s^2 + 1.565 * 10^8}{s^2 + 2323s + 9.518 * 10^7}$$

2. Για την δεύτερη μονάδα η συνάρτηση μεταφοράς είναι:

$$T_2(s) = k_2 \frac{s^2 + \omega_{z2}^2}{s^2 + \frac{\omega_{02}}{Q1}s + \omega_{02}^2} = \frac{1.69s^2 + 1.19 * 10^8}{s^2 + 2624s + 1.214 * 10^8}$$

3. Για την τρίτη μονάδα η συνάρτηση μεταφοράς είναι:

$$T_3(s) = k_3 \frac{s^2 + \omega_{z3}^2}{s^2 + \frac{\omega_{03}}{Q2}s + \omega_{03}^2} = \frac{0.9954s^2 + 2.878 * 10^8}{s^2 + 688.5s + 8.628 * 10^7}$$

4. Για την τέταρτη μονάδα η συνάρτηση μεταφοράς είναι:

$$T_4(s) = k_4 \frac{s^2 + \omega_{z4}^2}{s^2 + \frac{\omega_{04}}{Q2}s + \omega_{04}^2} = \frac{3.347s^2 + 1.337 * 10^8}{s^2 + 857.7s + 1.339 * 10^8}$$

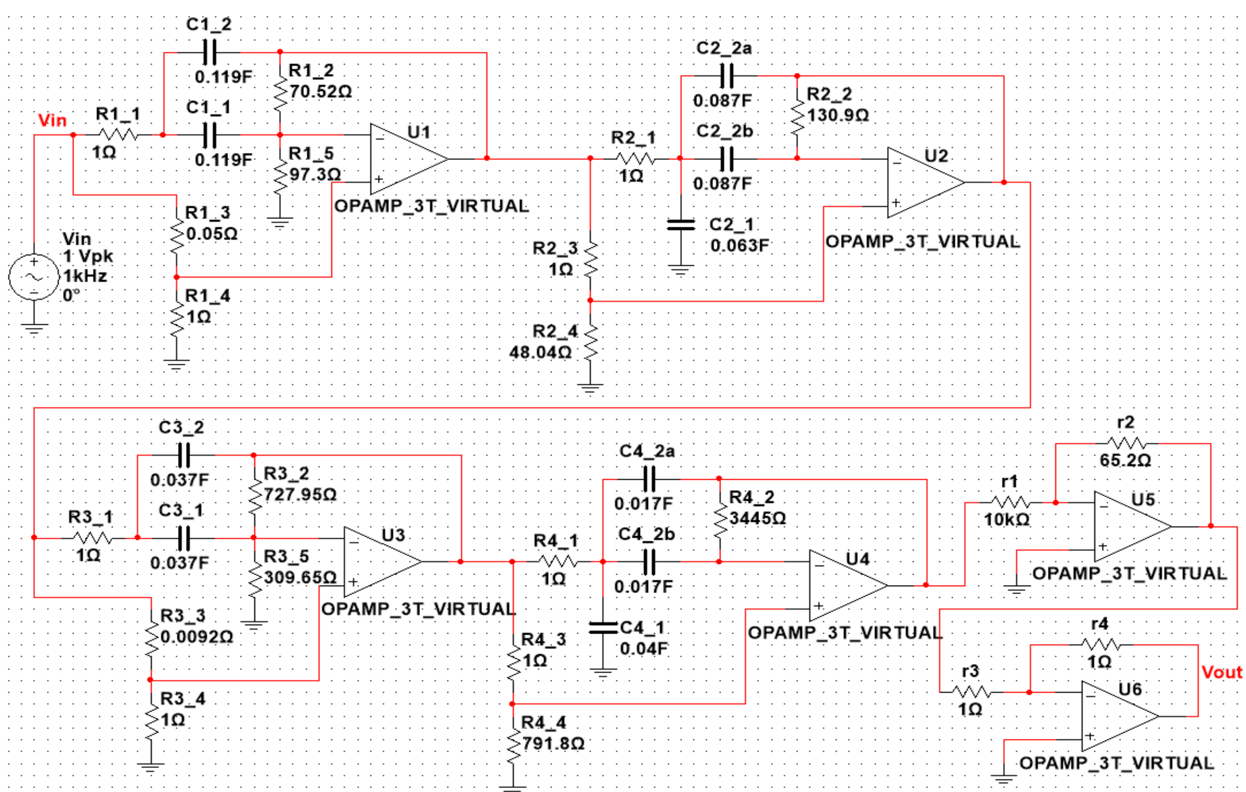
Η συνολική συνάρτηση μεταφοράς του ζωνοδιαβατού φίλτρου:

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

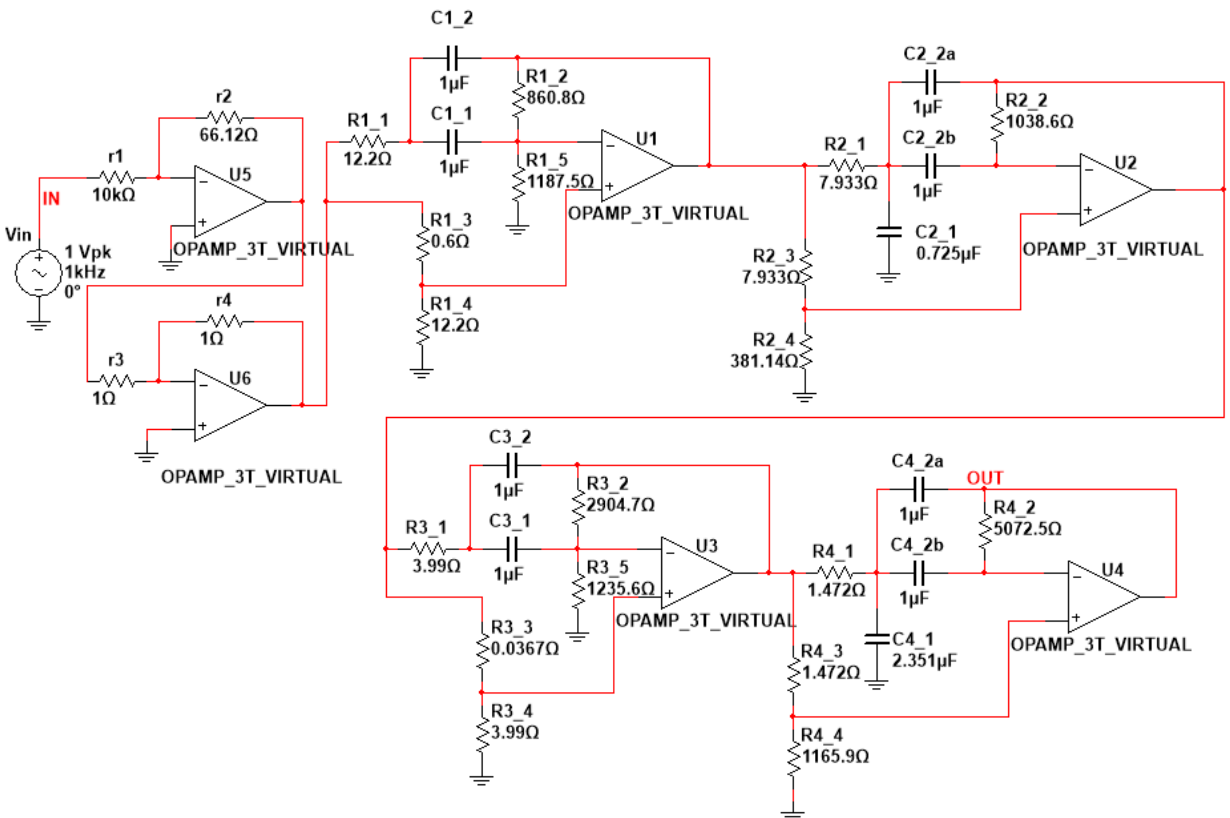
$$T_{BP}(s) = 0.0065 * \frac{0.9534s^2 + 1.565 * 10^8}{s^2 + 2323s + 9.518 * 10^7} * \frac{1.69s^2 + 1.19 * 10^8}{s^2 + 2624s + 1.214 * 10^8} * \frac{0.9954s^2 + 2.878 * 10^8}{s^2 + 688.5s + 8.628 * 10^7} * \frac{3.347s^2 + 1.337 * 10^8}{s^2 + 857.7s + 1.339 * 10^8}$$

$$= \frac{0.03548\, s^8 + 2*10^7\, s^6 + 3.558*10^{15}\, s^4 + 2.31*10^{23}\, s^2 + 4.735*10^{30}}{s^8 + 6493s^7 + 4.5*10^8 s^6 + 2.13*10^{12} s^5 + 7.39*10^{16} s^4 + 2.29*10^{20}\, s^3 + 5.2*10^{24}\, s^2 + 8.06*10^{27}\, s + 1.334*10^{32}}$$

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το κανονικοποιημένο κύκλωμα στο οποίο φαίνονται οι τεσσερις μονάδες αλλά και η απομόνωση μεταξύ 1ης, 2ης , 3ης και 4ης μονάδας προκειμένου να μην αλληλεπιδρούν η μια στην άλλη. Τέλος, φαίνεται και η αναστρέφουσα συνδεσμολογία για την ρύθμιση του κέρδους. Πρέπει να σημειωθεί ότι η αναστρέφουσα συνδεσμολογία εισάγει αντιστροφή της φάσης η οποία αναιρείται τοποθετώντας άλλη μια αναστρέφουσα συνδεσμολογία με μοναδιαίο κέρδος.



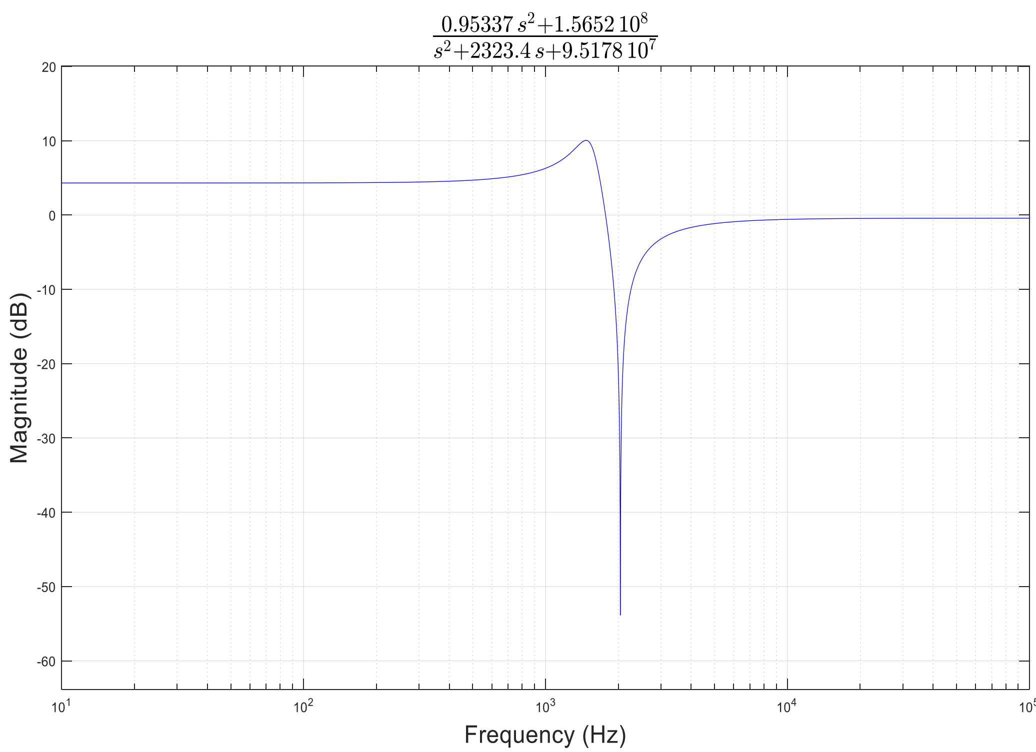
Στην συνέχεια φαίνεται το τελικό κύκλωμα, το επιθυμητό δηλαδή ζωνοδιαβατό φίλτρο Inverse Chebyshev με ό,τι στοιχείο είναι απαραίτητο αλλά και με τις απαιτούμενες τιμές όλων των στοιχείων για την ικανοποίηση των ζητούμενων προδιαγραφών. Εδώ έχουμε τοποθετήσει την επιπλέον αναστρέφουσα συνδεσμολογία για ρύθμιση της φάσης.



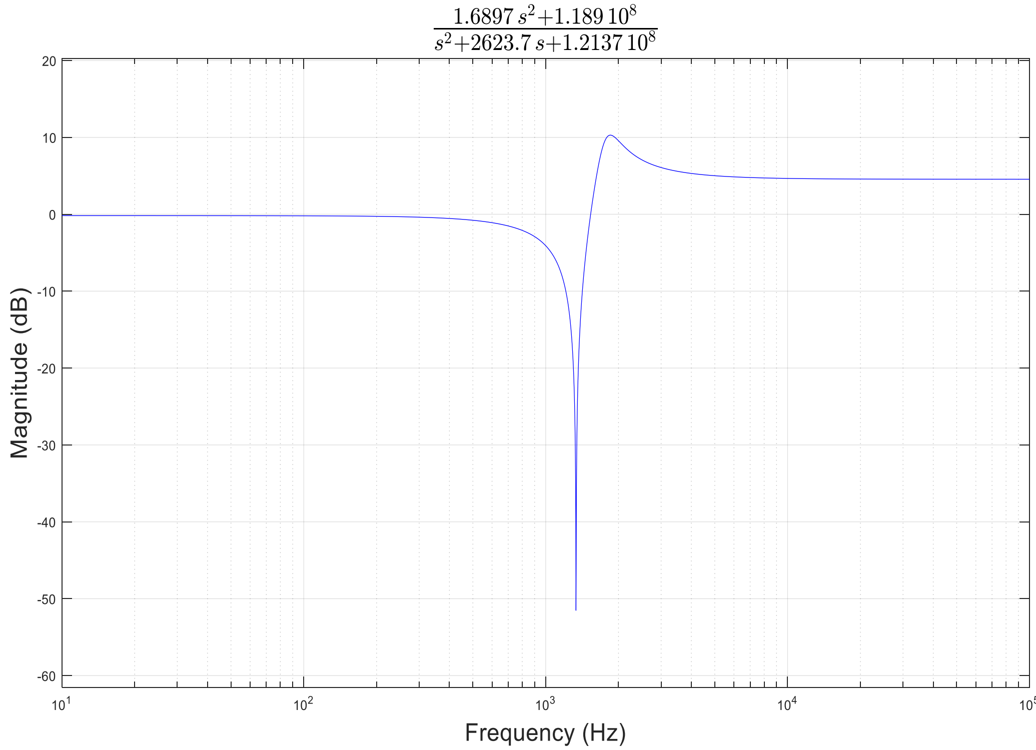
Β. Μελέτη της Συνάρτησης Μεταφοράς στο MATLAB

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.

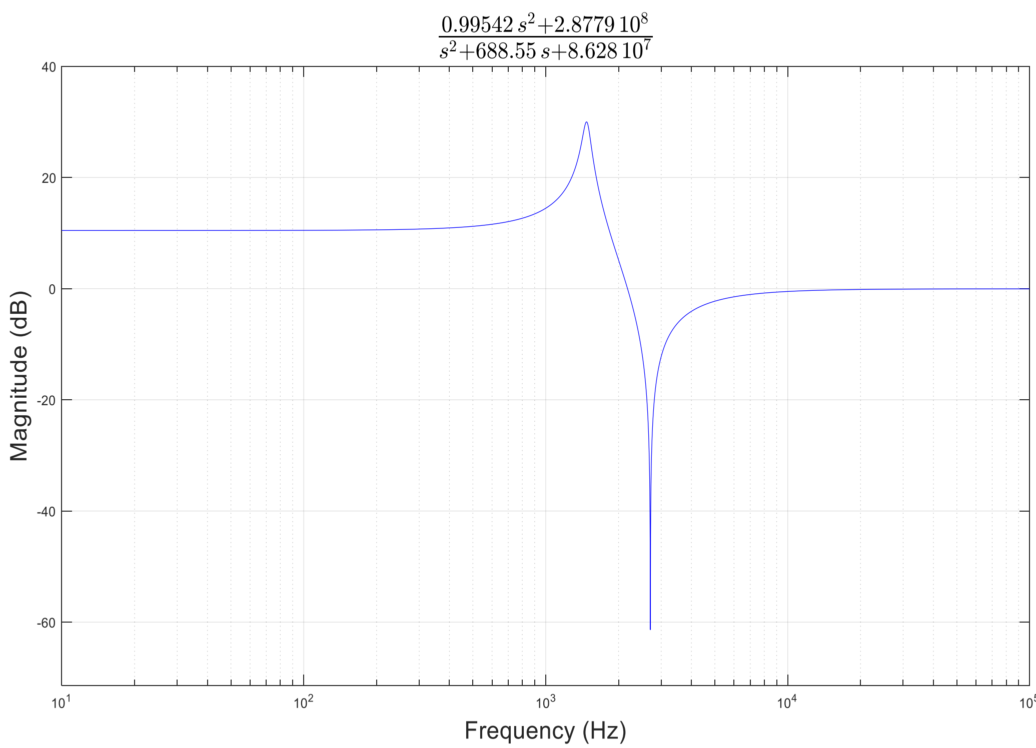
1η Μονάδα : φίλτρο LPN



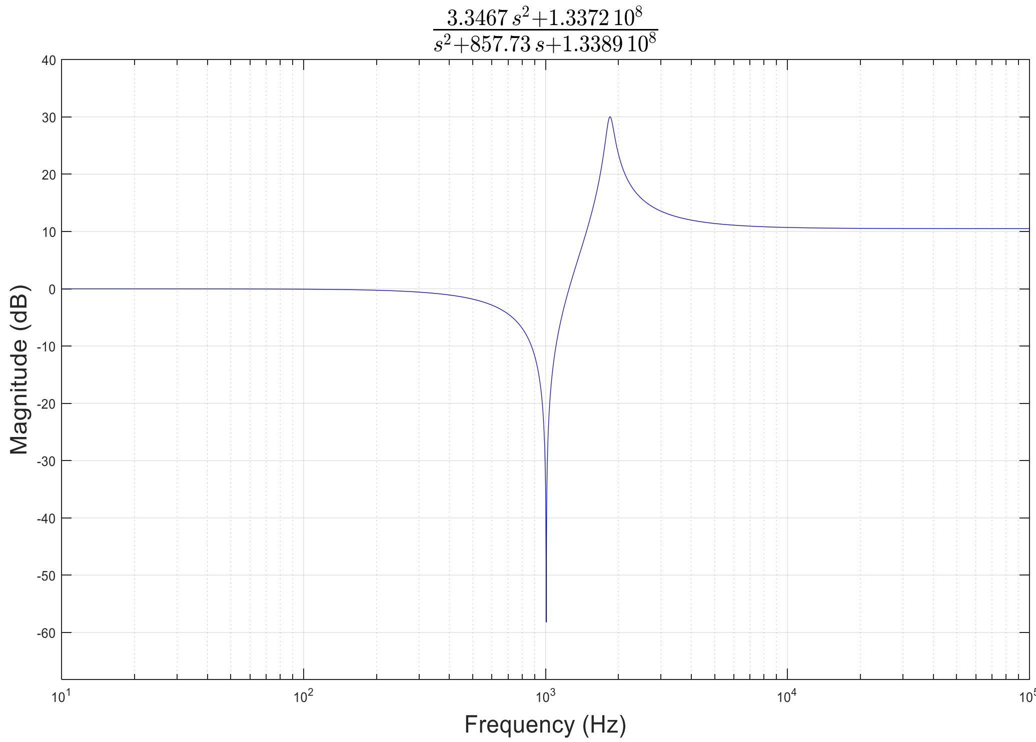
2η Μονάδα : φίλτρο HPN



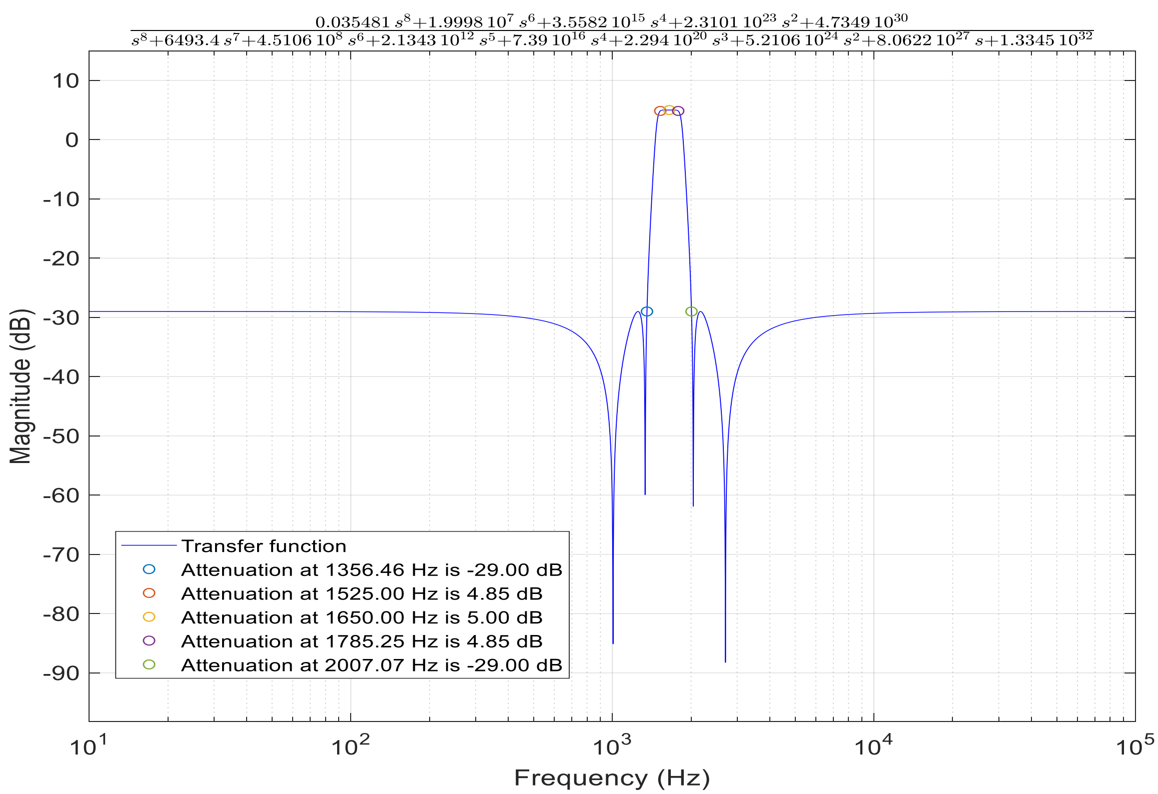
3η Μονάδα : φίλτρο LPN



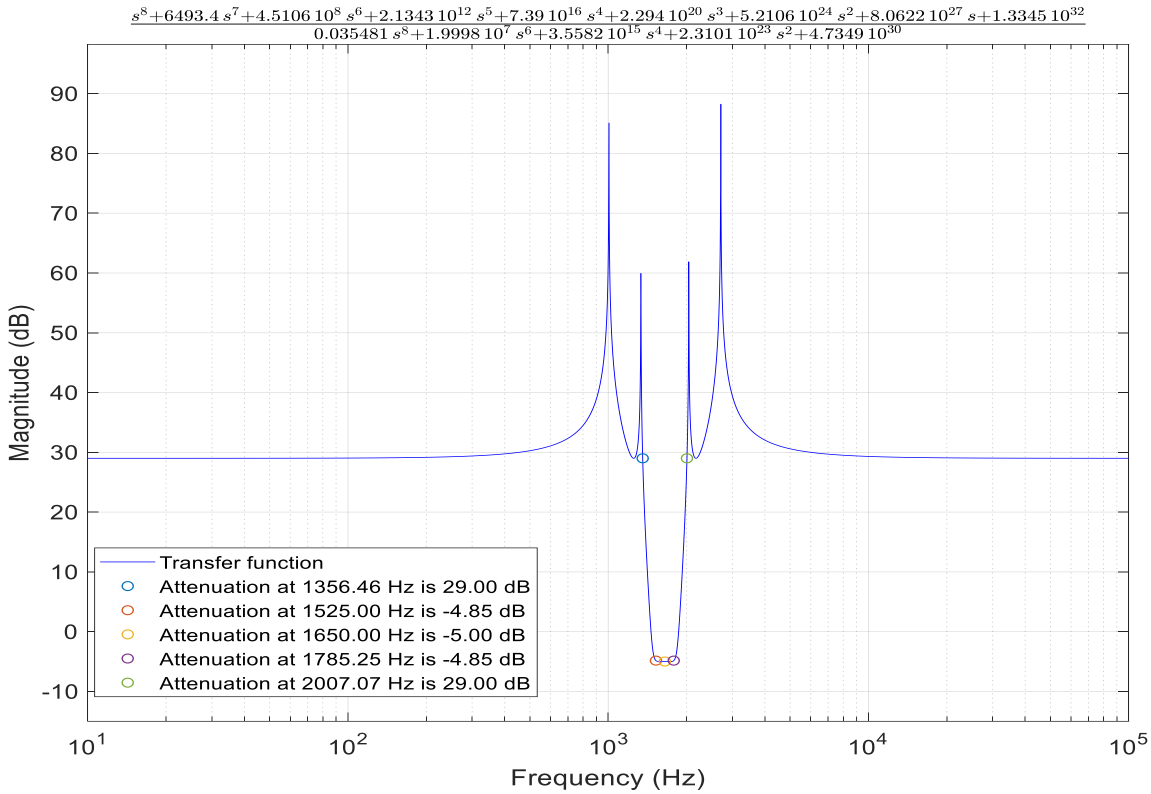
4η Μονάδα : φίλτρο HPN



Απόκριση πλάτους συνολικής συνάρτησης μεταφοράς συναρτήσει της συχνότητας



Συνάρτηση απόσβεσης σε dB της συνολικής συνάρτησης μεταφοράς



Στη συνάρτηση απόσβεσης σημειώνουμε τις κρίσιμες συχνότητες οι οποίες καθορίζουν την ζώνη διόδου και αποκοπής, καθώς και τις αντίστοιχες αποσβέσεις.

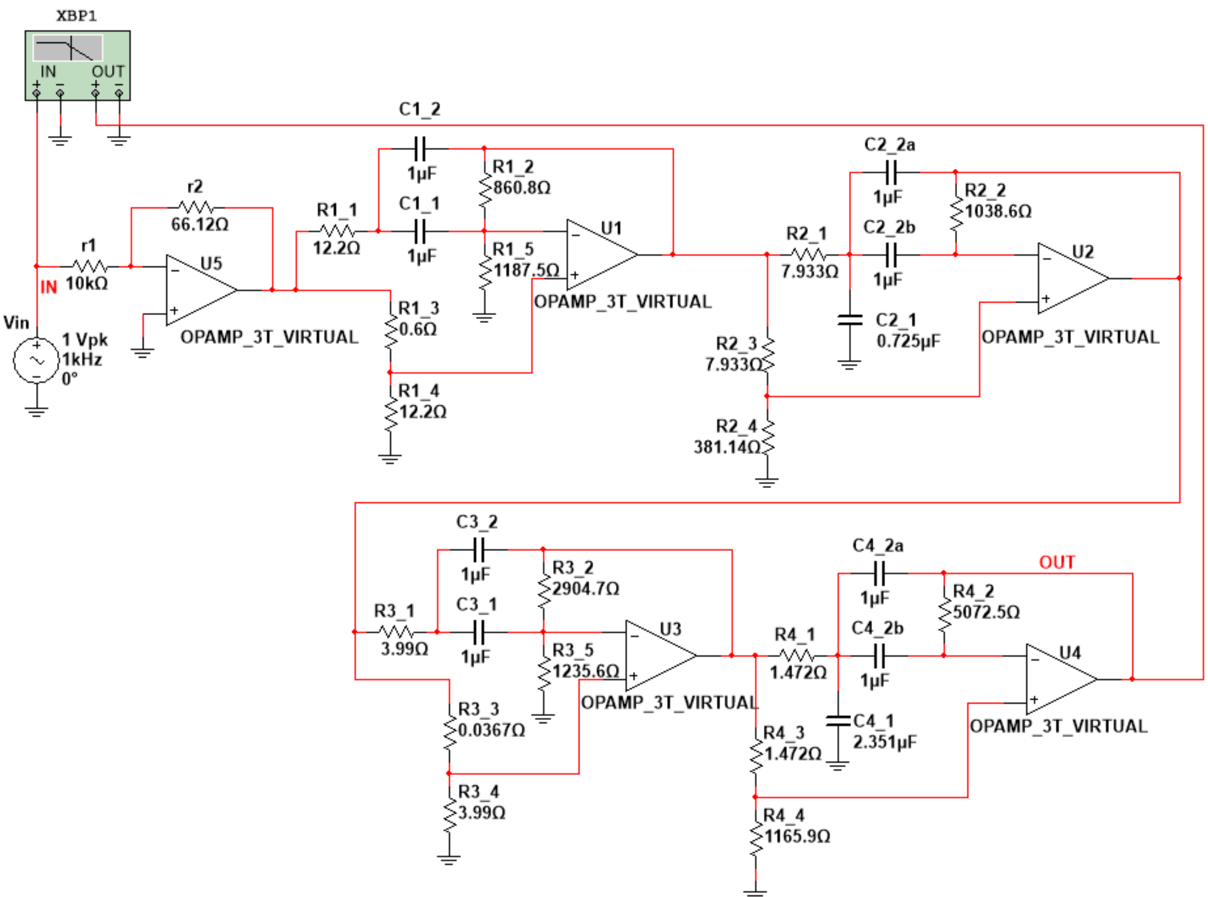
Στη συχνότητα των 1.525 kHz και στην 1.78525 kHz θέλουμε να έχουμε α_{max} = 0.5389 dB. Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι στις συχνότητες αυτές έχουμε -4.85+5=0.15 dB που είναι μικρότερο από τη ζητούμενη απόσβεση άρα η προδιαγραφή αυτή υπερκαλύπτεται.

Στη συχνότητα των 1.3565 kHz και στην 2.007 kHz θέλουμε να έχουμε α_{min} = 34 dB. Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι στις συχνότητες αυτές έχουμε 29+5 =34 dB που είναι ίσο με τη ζητούμενη απόσβεση άρα και η προδιαγραφή αυτή καλύπτεται.

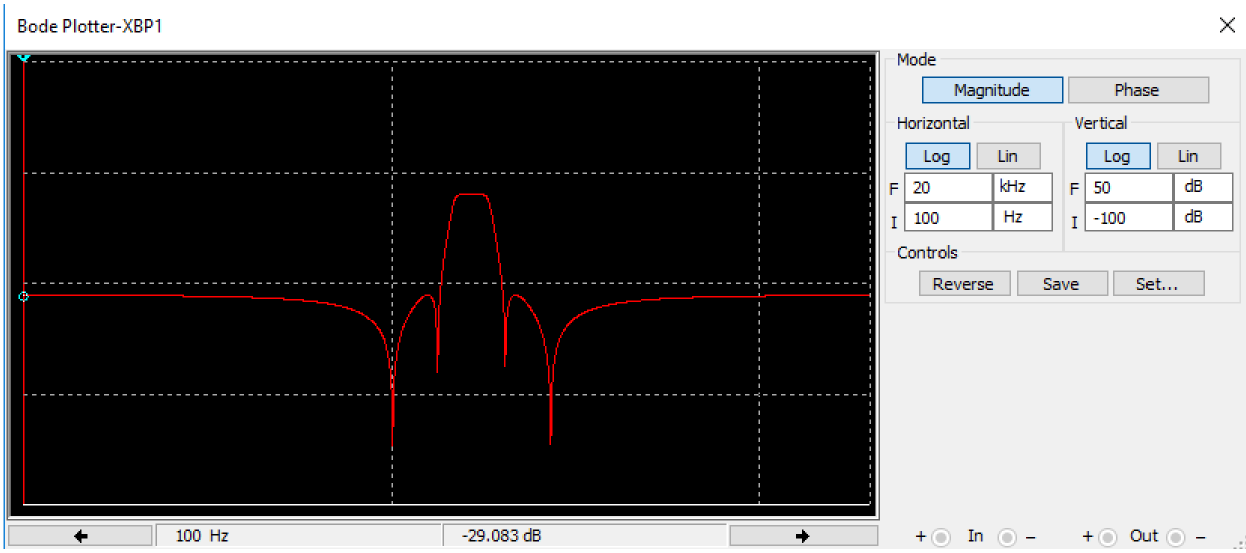
Γ. Υλοποίηση του Κυκλώματος του Φίλτρου στο MULTISIM

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.

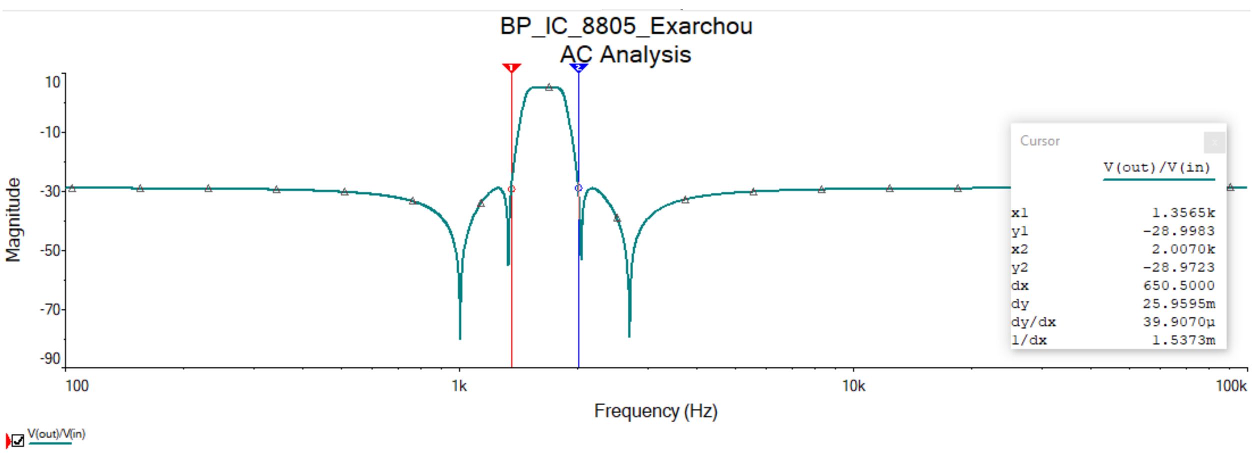
Εισάγουμε λοιπόν τις διάφορες μονάδες του φίλτρου που έχουν σχεδιασθεί στην προηγούμενη φάση της εργασίας στο περιβάλλον MULTISIM και παίρνουμε το παρακάτω κύκλωμα.

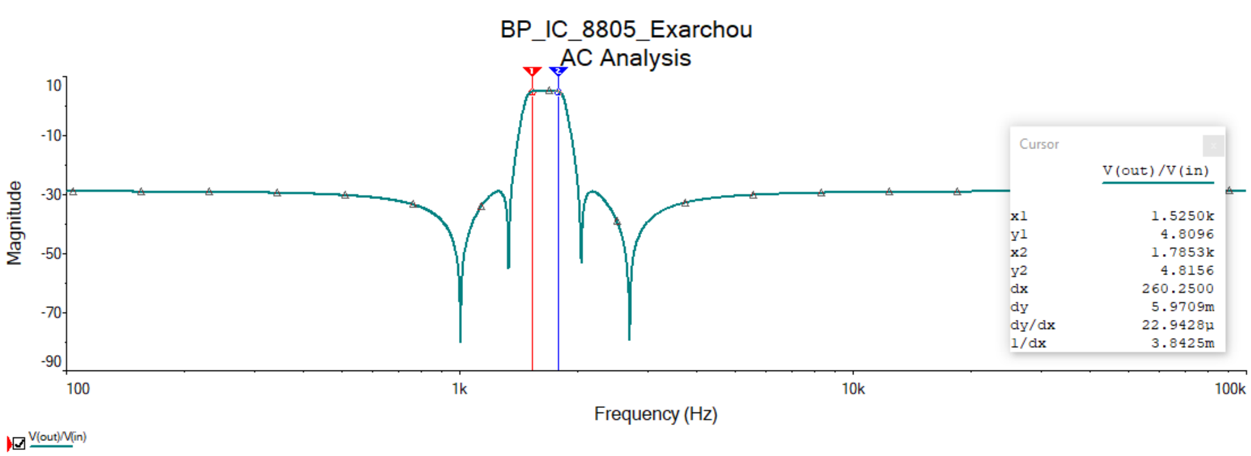


Στο κύκλωμα που έχουμε σχεδιάσει χρησιμοποιούμε τον Bode-Plotter για να προκύψει η απόκριση συχνότητας του φίλτρου-κυκλώματος. Το διάγραμμα που παίρνουμε φαίνεται παρακάτω :



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 οι προδιαγραφές για το κύκλωμα καλύπτονται, καθώς οι τιμές της απόσβεσης συμπίπτουν με τις τιμές του Matlab.

- Απόκριση σε περιοδική κυματομορφή

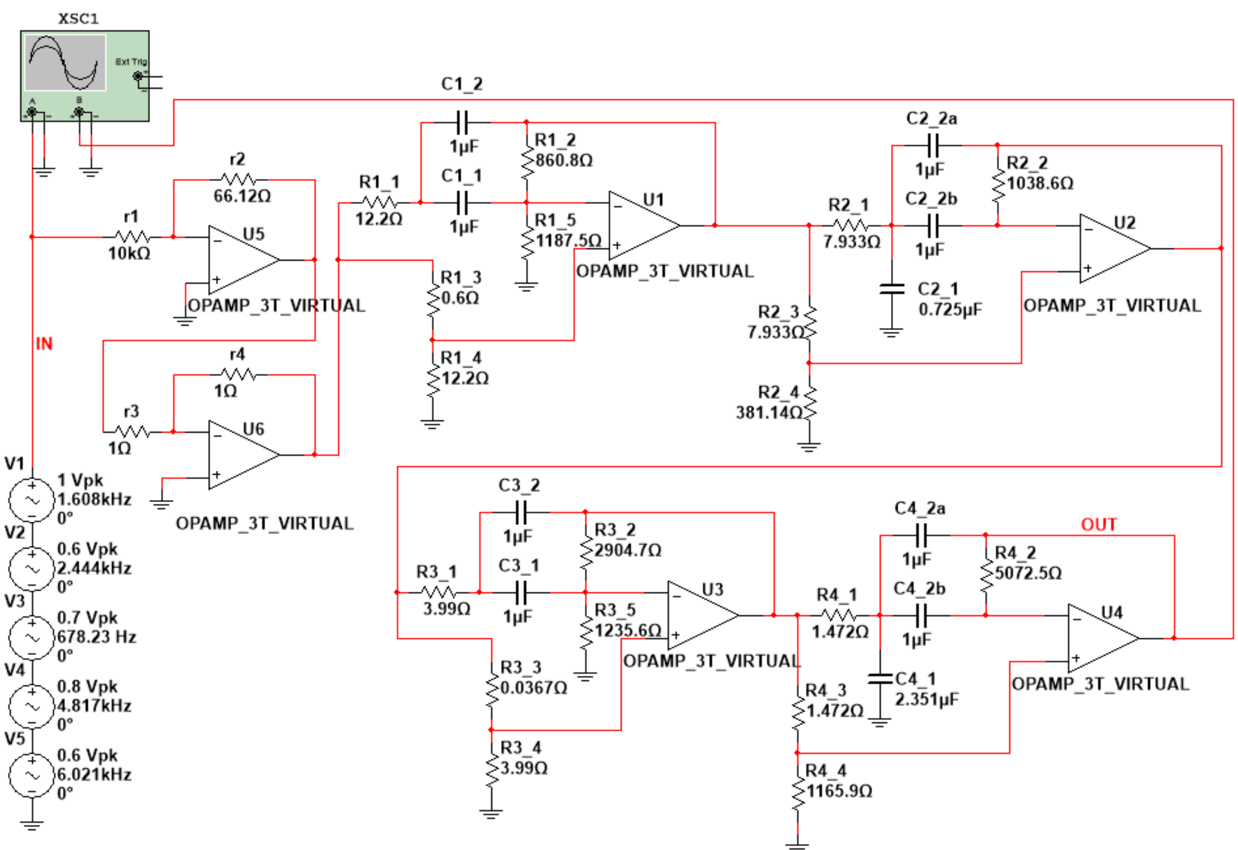
Δίνεται ως είσοδος ένα άθροισμα συνημιτόνων:

$$f(t) \ = \ \cos\left(\left(\omega_0 - \frac{\omega_0 - \omega_1}{3}\right)t\right) + 0.6\cos\left(\left(\omega_0 + \frac{\omega_0 + \omega_1}{4}\right)t\right)$$

$$+0.7\cos(0.5\omega_3 t) + 0.8\cos(2.4\omega_4 t) + 0.6\cos(3\omega_4 t)$$

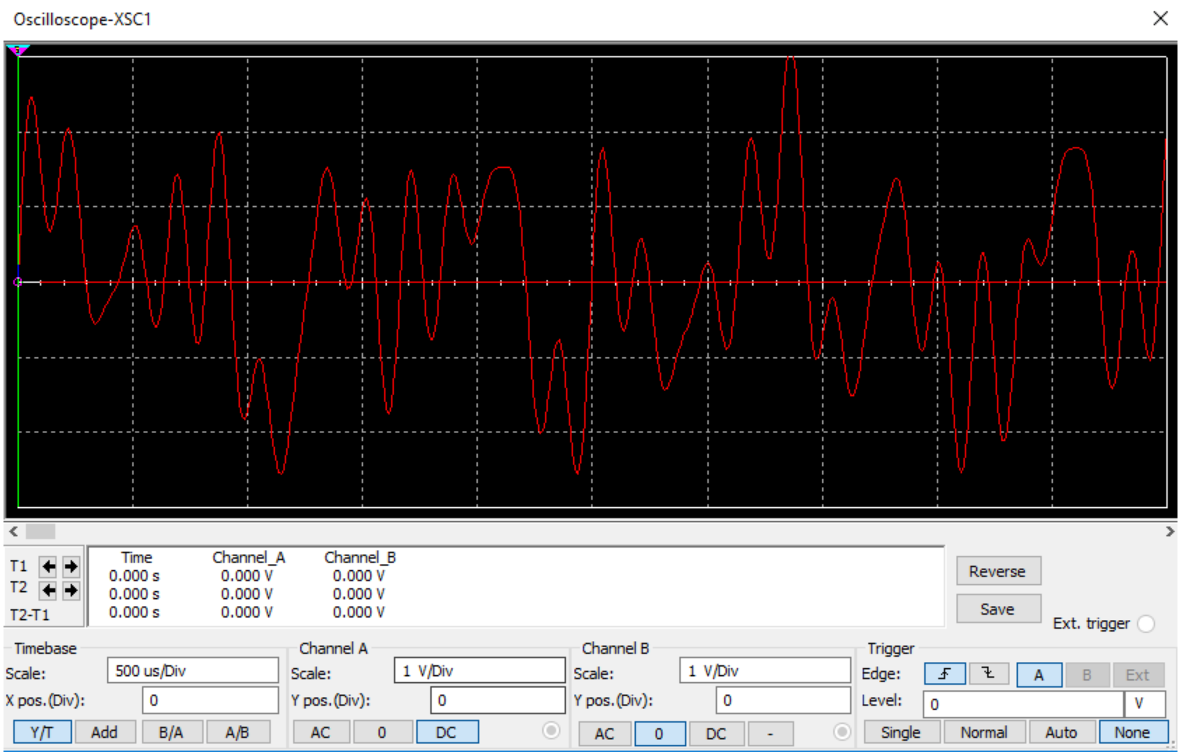
Οι συχνότητες που θα παρουσιάσει το σήμα αυτό θα είναι:

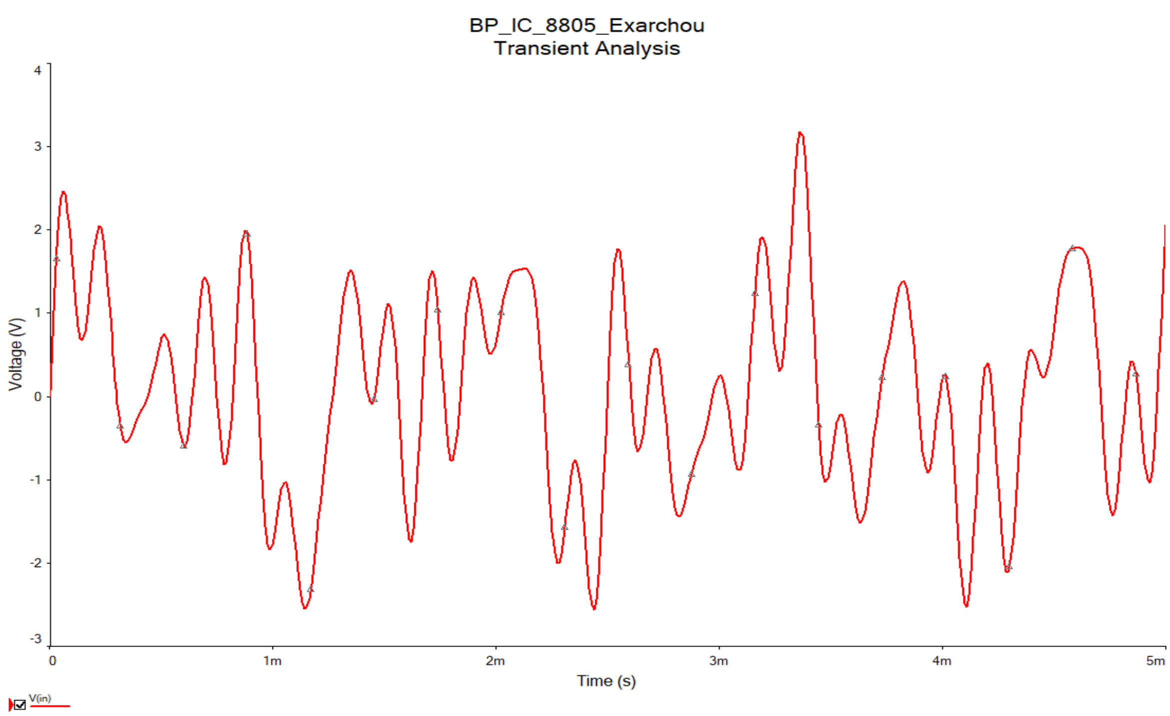
$$f_a = 1.608kHz, f_b = 2.444kHz, f_c = 678.2Hz, f_d = 4.817kHz, f_e = 6.021kHz$$



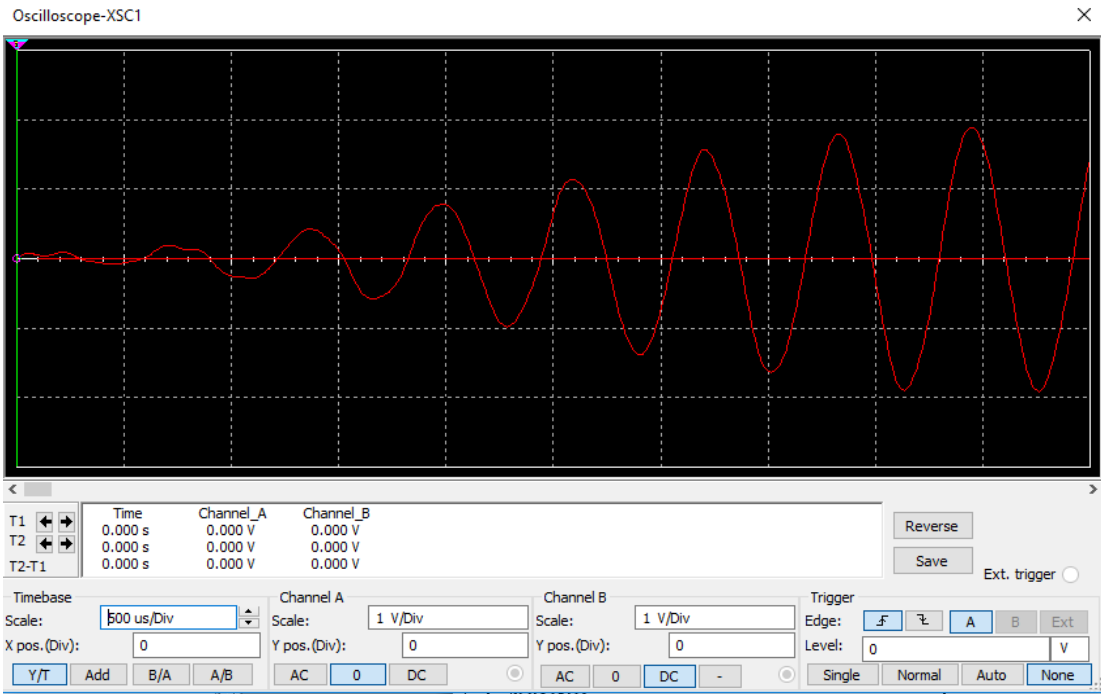
Στην συνέχεια χρησιμοποιούμε έναν παλμογράφο στην είσοδο και την έξοδο και δημιουργούμε τα αντίστοιχα figures για το παραπάνω πείραμα.

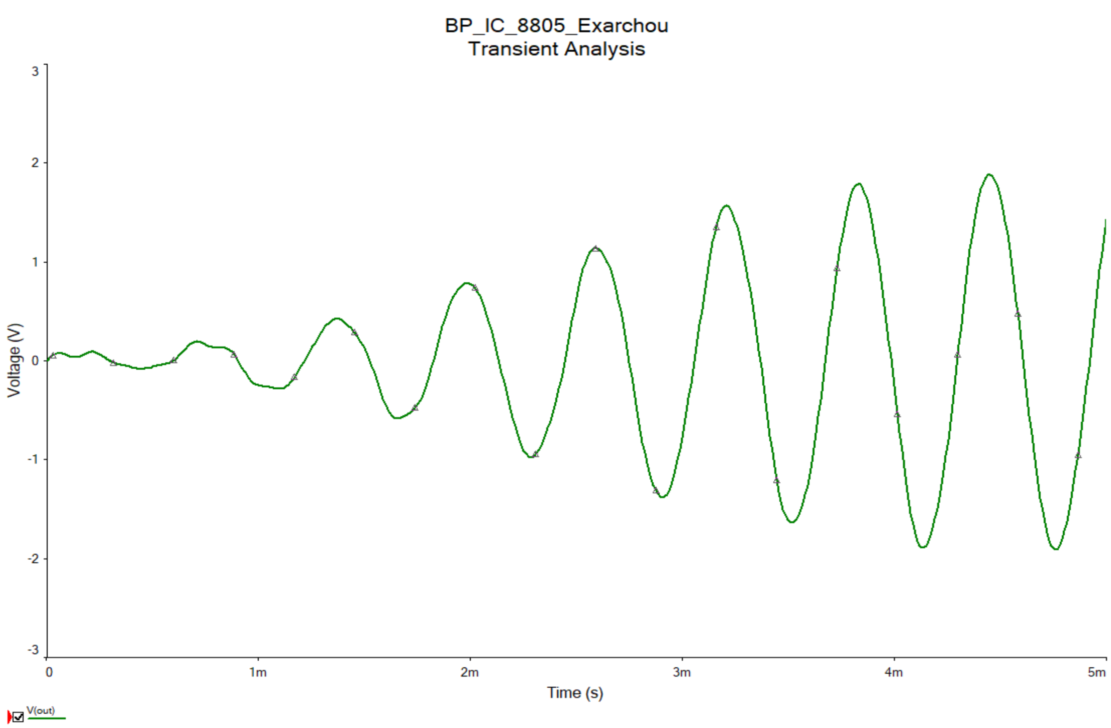
Σήμα Εισόδου :



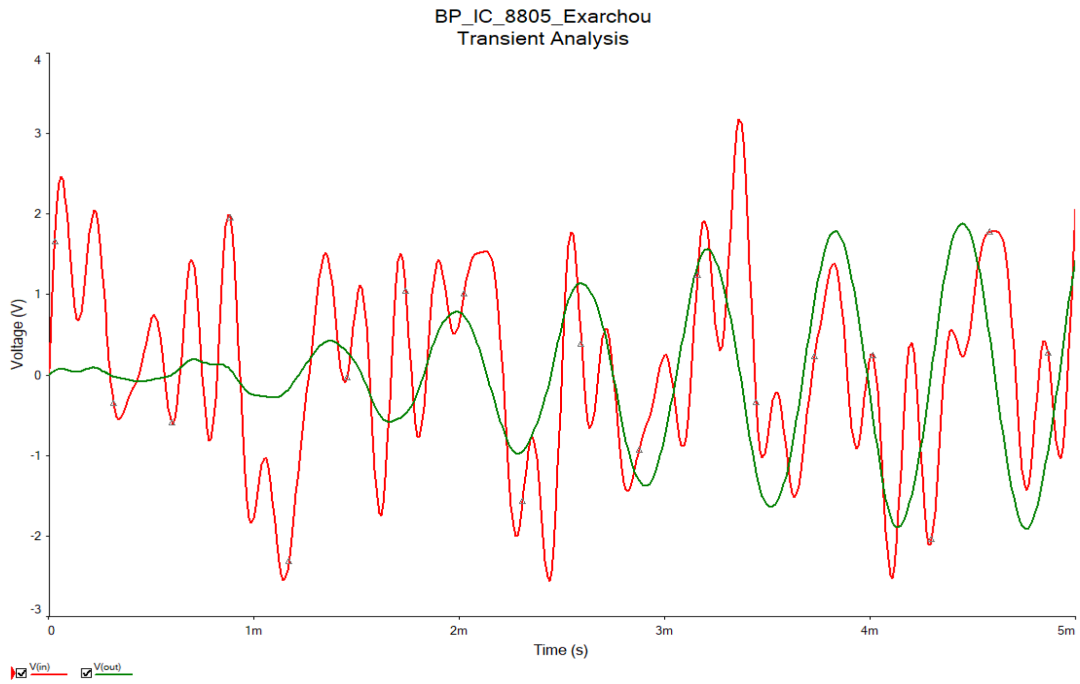


Σήμα Εξόδου :

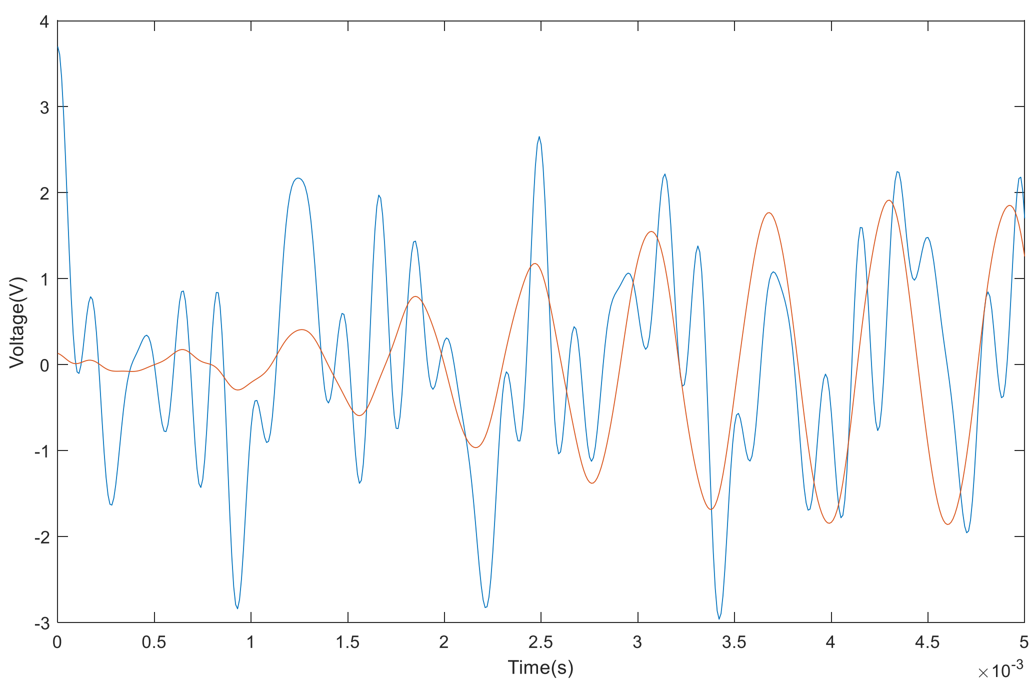

Oscilloscope-XSC1
Time
Channel_A
Channel_B
T1
0.000 s
0.000 V
0.000 V
T2
0.000 s
0.000 V
0.000 V
T2-T1
0.000 s
0.000 V
0.000 V
Reverse
Save
Ext. trigger
Timebase
Scale:
500 us/Div
X pos.(Div):
0
Y/T
Add
B/A
A/B
Channel A
Scale:
1 V/Div
Y pos.(Div):
0
AC
0
DC
Channel B
Scale:
1 V/Div
Y pos.(Div):
0
AC
0
DC
-
Trigger
Edge:
A
B
Ext
Level:
0
V
Single
Normal
Auto
None


BP_IC_8805_Exarchou
Transient Analysis
Voltage (V)
3
2
1
0
-1
-2
-3
0
1m
2m
3m
4m
5m
Time (s)
V(out)

Τα σήματα σε κοινό διάγραμμα στο Multisim:



Τα σήματα σε κοινό διάγραμμα στο Matlab:



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.).

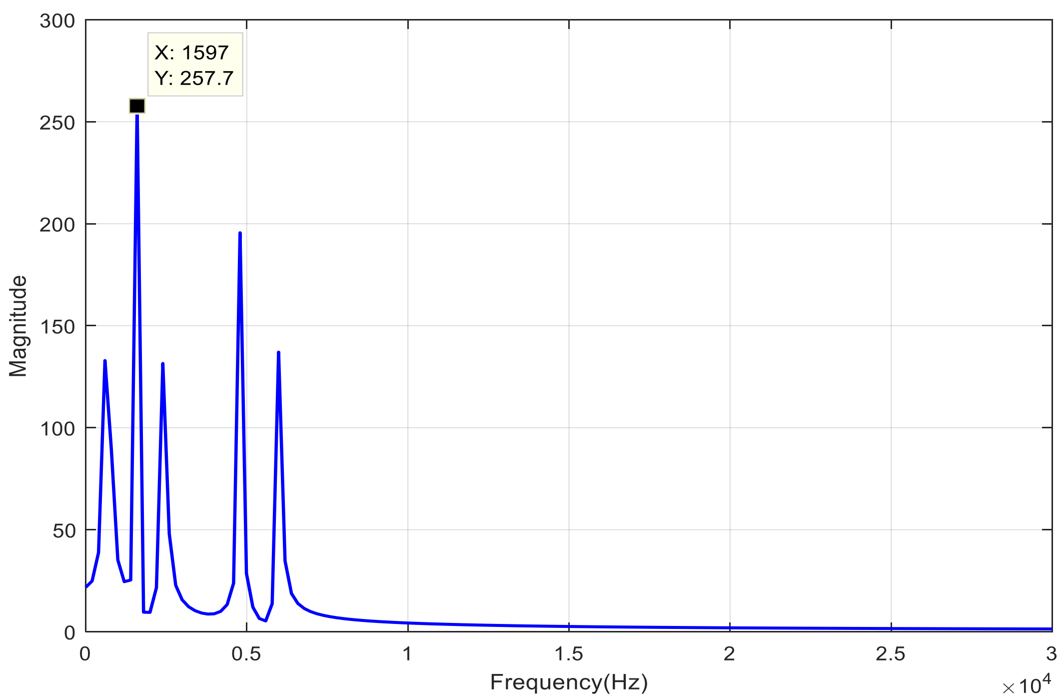
Πιο αναλυτικά, παρατηρούμε ότι το σήμα εξόδου είναι σε πλάτος μεγαλύτερο σε σχέση με το σήμα εισόδου. Το κέρδος του φίλτρου γίνεται φανερό, καθώς έχουμε 5dB κέρδος στη ζώνη διάβασης(μεσαίες συχνότητες). Επίσης είναι ευδιάκριτη η απαλοιφή των χαμηλών και των υψηλών συχνοτήτων εισόδου.

• Ανάλυση Fourier

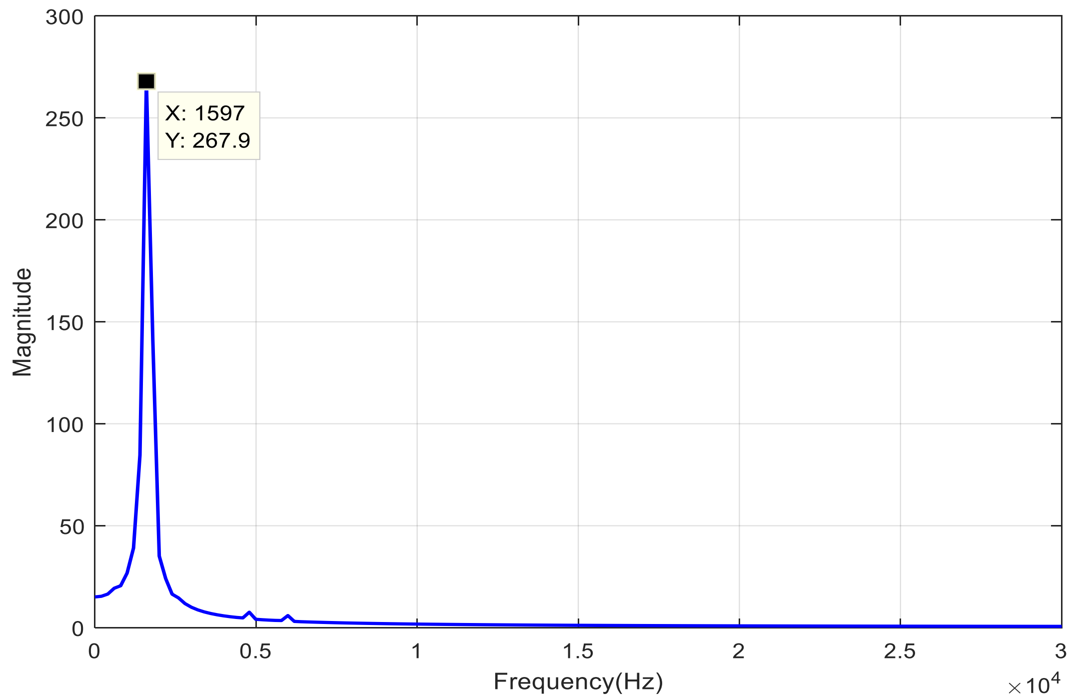
Σε αυτό το σημείο της άσκησης θέλουμε να δημιουργήσουμε τα φάσματα εισόδου και εξόδου του φίλτρου. Για να γίνει κάτι τέτοιο θα εξετάσουμε τα φάσματα τόσο στο Multisim όσο και στο Matlab. Εφόσον μιλάμε για τα ίδια σήματα καθώς και για το ίδιο φίλτρο, αναμένουμε να έχουμε τα ίδια αποτελέσματα.

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

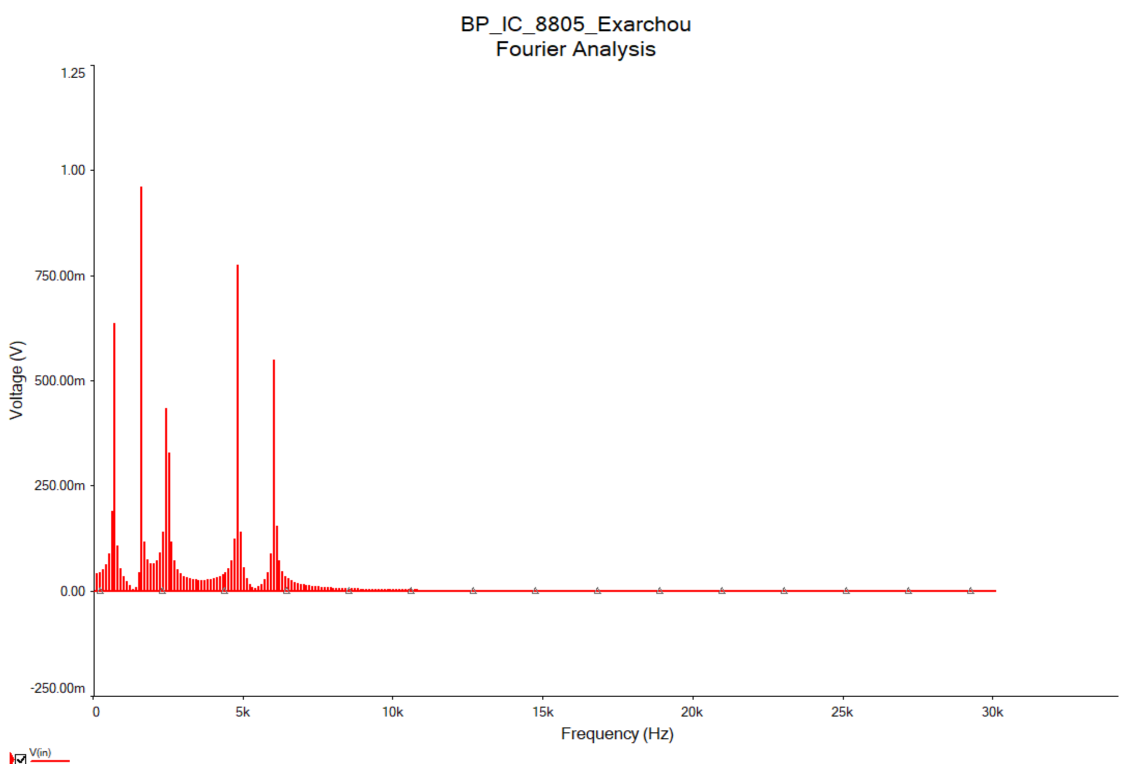
Φάσμα Σήματος Εισόδου Matlab:



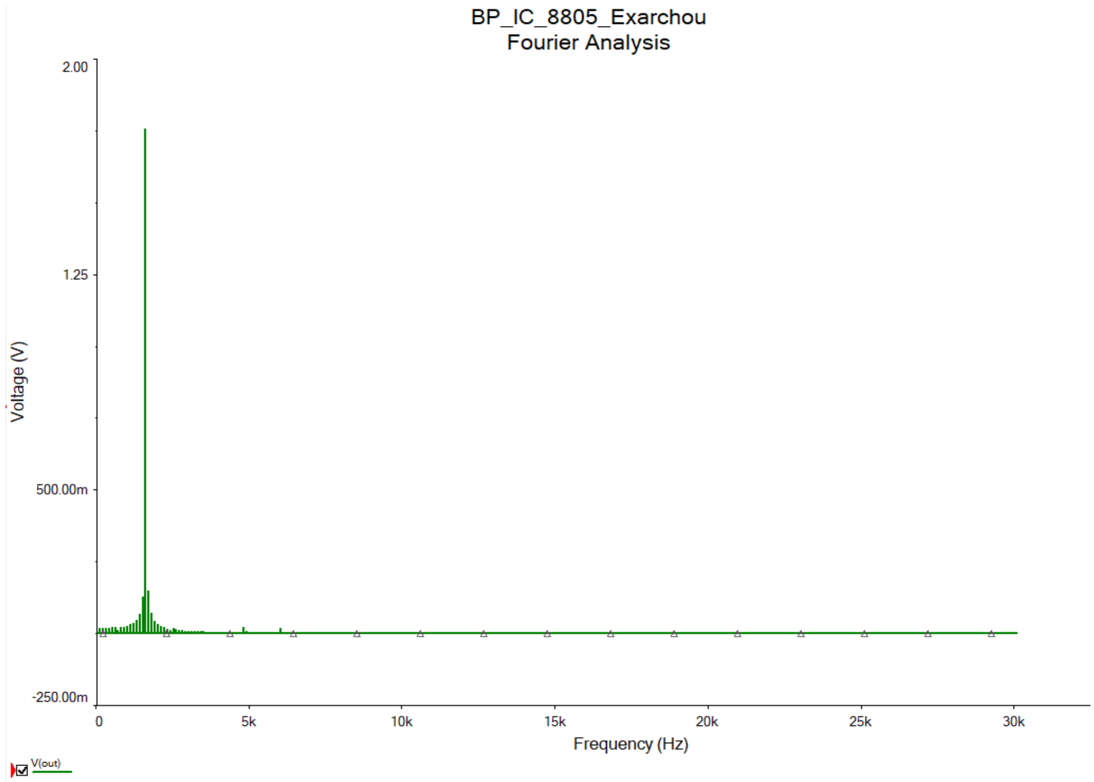
Φάσμα Σήματος Εξόδου Matlab:



Φάσμα Σήματος Εισόδου Multisim:



Φάσμα Σήματος Εξόδου Multisim:



Τόσο με τη βοήθεια του Matlab όσο και του Multisim παρατηρούμε ό,τι στην είσοδο του φίλτρου υπάρχουν πέντε ώσεις. Στην έξοδο μια από αυτές, δηλαδή η $f_\alpha = 1.608kHz$ (που πράγματι είναι ανάμεσα στις f_1 και f_2) παραμένει. Επιπλέον το πλάτος στην συχνότητα αυτή είναι πράγματι ενισχυμένο σε σχέση με την είσοδο.

Έτσι συνάγεται το συμπέρασμα ό,τι το φίλτρο λειτουργεί σωστά, καθώς ικανοποιούνται όλες οι προδιαγραφές της εκφώνησης.