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

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΙΑ #4

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΘΕΟΧΑΡΗΣ Ι.

7ο ΕΞΑΜΗΝΟ

Όνομα : Διαμαντής Κων/νος

Α.Ε.Μ. : 8981

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2019

Περιεχόμενα

Εργασία #4 : Σχεδίαση Ανωδιαβατών φίλτρων

ΑΝΩΔΙΑΒΑΤΟ ΦΙΛΤΡΟ BUTTERWORTH

Να σχεδιασθεί ένα ανωδιαβατό φίλτρο Butterworth το οποίο να πληροί τις παρακάτω προδιαγραφές συχνότητας και απόσβεσης :

$f_p = 5$ kHz , $f_s = 1.92$ kHz και $a_{max} = 0.5278$ dB , $a_{min} = 29.3333$ dB .

Α. Αναλυτική Σχεδίαση του Φίλτρου

Υπολογισμός της Συνάρτησης Μεταφοράς

Αρχικά θα προσδιορίσουμε τις συχνότητες:

$$\omega_p = 2\pi * f_p = 31416 \text{ rad/sec}$$

$$\omega_s = 2\pi * f_s = 12083 \text{ rad/sec}$$

Η αντιστοιχία και ω_{HP} και Ω_{LP} είναι $\Omega = \frac{\omega p}{\omega}$ και επομένως οι προδιαγραφές του πρωτότυπου φίλτρου είναι:

$$\Omega_{(\omega p)} = 1 = \Omega_p \qquad \text{και} \qquad \Omega_{(\omega s)} = \frac{\omega p}{\omega s} = 2.6 = \Omega_s$$

Όπου Ω_s Και Ω_p είναι οι συχνότητες διόδου και αποκοπής του μετασχηματισμένου κατωδιαβατού πρωτότυπου φίλτρου. Στην συνέχεια, προχωράμε στον υπολογισμό της τάξης, της συχνότητας ημίσειας ισχύος και των πόλων της κατωδιαβατής απόκρισης Butterworth:

Η τάξη του πρωτότυπου LP είναι:

$$n = \frac{\log\left[\frac{10^{\frac{a_{min}}{10}} - 1}{10^{\frac{a_{max}}{10}} - 1}\right]}{2\log(\Omega_s)} = 4.6045$$

Επειδή το n δεν είναι ακέραιος αριθμός στρογγυλοποιούμε προς τον αμέσως μεγαλύτερο ακέραιο, άρα **n = 5**.

3. Για τη συχνότητα 3dB(συχνότητας ημίσειας ισχύος) έχω:

$$\Omega_0 = \frac{\Omega p}{(10^{\frac{a_{max}}{10}} - 1)^{\frac{1}{2n}}} = 1.2271$$

Η αντίστοιχη συχνότητα του ανωδιαβατού φίλτρου είναι:

$$\omega_o = \frac{\omega_p}{\Omega o} = 25602 \text{ rad/sec} \quad (\text{fo} = 4.074 \text{ kHz})$$

Με τον τύπο που επιλέξαμε για τον υπολογισμό της συχνότητας ημίσειας ισχύος θα έχω ω = ωs, δηλαδή οι προδιαγραφές υπερκαλύπτονται στην συχνότητα αποκοπής.

Θεωρούμε προσωρινά πως Ωo = 1, δηλαδή θεωρούμε ένα κανονικοποιημένο φίλτρο Butterworth.

Στην περίπτωση αυτή για n=5 , οι πόλοι Butterworth είναι :

p_k	**ψ_k**	**$\sigma_\kappa \pm j\omega_\kappa$**	**Ω_κ**	**Q_k**
p_1	0^0	-1.0	1	0.5
p_2	$\pm 36^0$	−08.09 ± j0.587	1	0.618
p_3	$\pm 72^0$	−0. 309 ±j0.951	1	1.618

Η συνάρτηση μεταφοράς του κανονικοποιημένου πρωτότυπου LP φίτρου είναι:

$$T_{LP}(s) = \frac{1}{(s+1) * (s^2 + 0.618s + 1) * (s - 1.618s + 1)}$$

ενώ το κανονικοποιημένο HP φίλτρο προκύπτει από τον μετασχηματισμό s = 1/S και είναι:

$$T_{HP}(s) = \frac{s^3}{(s+1) * (s^2 + 0.618s + 1) * (s - 1.618s + 1)}$$

Οι πόλοι της ανωδιαβατής συνάρτησης είναι οι ίδιοι με τους πόλους της πρωτότυπης κατωδιαβατής συνάρτησης, με την προσθήκη και τριών μηδενικών στο μηδέν. Στην παραπάνω σχέση, η συσχνότητα ημίσειας ισχύος για το ανωδιαβατό φίλτρο είναι ω_0 =1, δηλαδή έχουμε ένα κανονικοποιημένο ανωδιαβατό φίλτρο. Στην πραγματικότητα όμως η συχνότητα 3dB του ανωδιαβατού φίλτρου είναι ω_0 = 25602 (rad/sec), διότι είναι $\Omega_0 \neq 1$ $και$ $\omega_p \neq 1$. Επομένως, οι πόλοι της $T_{HP}(s)$ κείνται πάνω σε ένα κύκλο με ακτίνα ω_0. Οι πόλοι της ανωδιαβατής συνάρτησης δίνονται και πάλι από τον παραπάνω πίνακα, όπου αντί $\Omega o\kappa$=1, θεωρούμε μέτρα ω_0, δηλαδή:

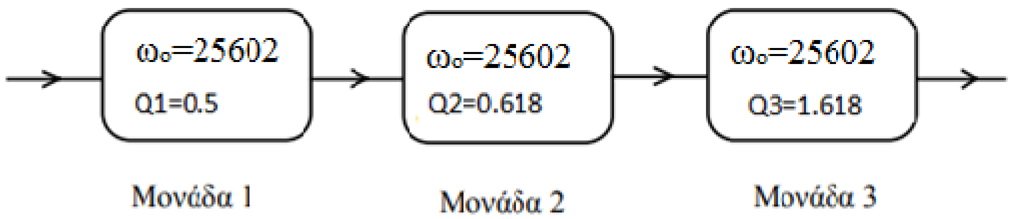
$$s_k = \omega_0 \ * (-\cos\psi_\kappa + j\sin\psi_\kappa)$$

Με άλλα λόγια, η ω_0 δίνει την συνολική κλιμακοποίηση συχνότητας, αφενός μεν λόγω της αρχικής κλιμακοποίησης (ω_p) και στην συνέχεια λόγω κλιμακοποίησης του Ω_0:

$$\omega_0 = \ \frac{\omega_p}{\Omega o} = \ 25602 \ \text{rad/sec} \ \ (f_0 \ = 4.074 \ \text{kHz})$$

Υλοποίηση της Συνάρτησης Μεταφοράς

Για την υλοποίηση της μονάδας (I) χρησιμοποιούμε ένα απλό φίλτρο CR πρώτης τάξης. Για την υλοποίηση των μονάδων (II) και (III) χρησιμοποιούμε το ανωδιαβατό φίλτρο Sallen-Key με την στρατηγική σχεδίασης 2. Επειδή υλοποιούμε κατά Butterworth, οι πόλοι έχουν κοινό μέτρο και επομένως η κλιμακοποίηση θα είναι ίδια για όλες τις μονάδες. Θεωρούμε αρχικά ότι ωο=1 και κλιμακοποιούμε την συχνότητα αργότερα. Οι μονάδες που θα υλοποιήσουμε φαίνονται και παρακάτω σε διαγραμματική μορφή.



ΜΟΝΑΔΑ (I)

Η πρώτη αυτή μονάδα υλοποιείται από ένα απλό φίλτρο CR πρώτης τάξης.

$$T_1(s) = \frac{s}{s + p_1}$$

Όπου $p_1 = \frac{1}{(R_{11}\, C_{11})} = 1.$ Για $C_{11\_old} = 1,\ R_{11\_old} = \frac{1}{p_1} = 1$

Κλιμακοποίηση

Έπειδή ω₀= 25602, έχουμε k_{f1}=25602. Με βάση τα δεδομένα της εκφώνησης θα πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένας πυκνωτής με τιμή 0.01μF.

Άρα ο συντελεστής κλιμακοποίησης του πλάτους προκύπτει από την εξίσωση:

$$C_{11\_new} = \frac{C_{11\_old}}{k_{m1}k_{f1}} \;\Leftrightarrow\; k_m = \frac{C_{11\_old}}{k_{f1}C_{11\_new}} = \frac{1}{25602 * 0.01 * 10^{-6}} = 3905.9$$

Επομένως, τα πραγματικά στοιχεία της πρώτης μονάδας είναι:

$$C_{11\_new} = 0.01\ \mu F, \quad R_{11\_new} = k_{m1} = 3905.9\ \Omega$$

ΜΟΝΑΔΑ (II)

Για την μονάδα αυτή χρησιμοποιούμε το ανωδιαβατό φίλτρο Sallen-Key με την στρατηγική σχεδίασης 2.

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

$$R_{21\_old} = \frac{1}{2 * Q_2} = 0.7962\ \Omega$$

$$R_{22\_old} = 2 * Q_2 = 1.256\ \Omega$$

$$k=1$$

Κλιμακοποίηση

Επιλέγουμε και πάλι k_f=25602 και $k_m = 3905.9$

Επομένως, τα πραγματικά στοιχεία της πρώτης μονάδας είναι:

$$C_{21\_new} = 0.01\ \mu F$$

$$C_{22\_new} = 0.01\ \mu F$$

$$R_{21\_new} = R_{21\_old} * k_m = 3109.8\,\Omega$$

$$R_{22\_new} = R_{22\_old} * k_m = 4905.8\ \Omega$$

<u>ΜΟΝΑΔΑ (III)</u>

Για την μονάδα αυτή χρησιμοποιούμε το ανωδιαβατό φίλτρο Sallen-Key με την στρατηγική σχεδίασης 2.

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

$$R_{31\_old} = \frac{1}{2 * Q_3} = 0.3071\Omega$$

$$R_{32\_old} = 2 * Q_3 = 3.256\ \Omega$$

$$k=1$$

<u>Κλιμακοποίηση</u>

Επιλέγουμε και πάλι k_f=25602 και $k_m = 3905.9$

Επομένως, τα πραγματικά στοιχεία της πρώτης μονάδας είναι:

$$C_{31\_new} = 0.01\ \mu F$$

$$C_{32\_new} = 0.01\ \mu F$$

$$R_{31\_new} = R_{31\_old} * k_m = 1199.6\,\Omega$$

$$R_{32\_new} = R_{32\_old} * k_m = 1271.8\,\Omega$$

Ρύθμιση Κέρδους

Θέλουμε να ρυθμίσουμε το κέρδος έτσι ώστε το κέρδος του φίλτρου στις υψηλές συχνότητες να είναι 10 dB. Το συνολικό κέρδος στις υψηλές συχνότητες λόγω της στρατηγικής που ακολουθήσαμε (Στρατηγική 2) είναι K=1. Άρα για να φτάσουμε στα 10dB κέρδος θα πρέπει να αυξήσουμε το κέρδος του συνολικού φίλτρου. Δηλαδή

$$20\log aK = 10 \Leftrightarrow aK = 10^{0.5} \Leftrightarrow a = 3.1623$$

Εφ' όσον το α >1 (παθητική ενίσχυση κέρδους), δηλαδή η είσοδος θα πρέπει να ενισχυθεί. Γι' αυτό χρησιμοποιώ ένα κύκλωμα μη αναστρέφουσας συνδεσμολογίας:

$$a = \frac{\mathrm{Ra+R}b}{Rb} \Rightarrow$$

Για R_a= 1 kΩ τότε R_b= 2.1623 kΩ

Συναρτήσεις Μεταφοράς Μονάδων

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

$$T_1(s) = \frac{s}{s + \omega_0} = \frac{s}{s + 2.56 * 10^4}$$

2. Για την δεύτερη μονάδα Sallen-Key, η συνάρτηση μεταφοράς είναι :

$$T_2(s) = \frac{s^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q_2}s + {\omega_0}^2} = \frac{s^2}{s^2 + 4.077 * 10^4 s + 6.555 * 10^8}$$

3. Για την τρίτη μονάδα Sallen-Key με παρόμοιο τρόπο η συνάρτηση μεταφοράς προκύπτει :

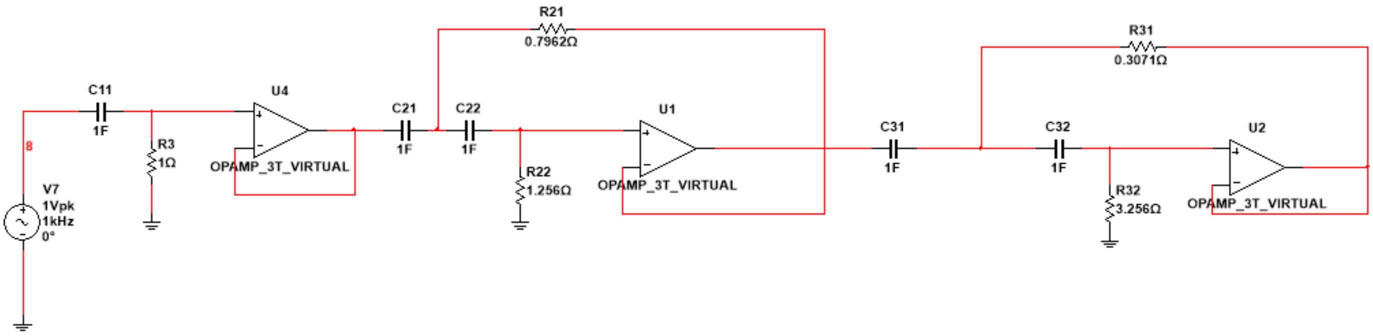
$$T_3(s) = \frac{s^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q_3}s + {\omega_0}^2} = \frac{s^2}{s^2 + 1.573 * 10^4 s + 6.555 * 10^8}$$

Η συνολική συνάρτηση μεταφοράς του ανωδιαβατού φίλτρου είναι:

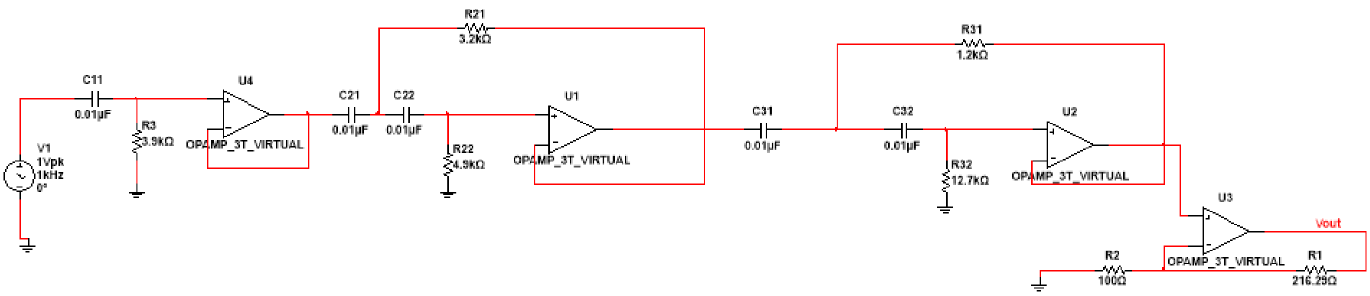
$$T_{HP}(s) = \alpha * T_1(s) * T_2(s) * T_3(s) \Rightarrow$$

$$T_{HP}(s) = \frac{3.162 * s^5}{s^5 + 8.21 * 10^4 s^4 + 3.399 * 10^9 s^3 + 8.701 * 10^{13} * s^2 + 1.378 * 10^{18} s + 1.1 * 10^{22}}$$

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το κανονικοποιημένο κύκλωμα στο οποίο φαίνονται οι τρεις μονάδες αλλά και η απομόνωση μεταξύ 1ης και 2ης μονάδας προκειμένου να μην αλληλοεπιδρούν η μια στην άλλη.



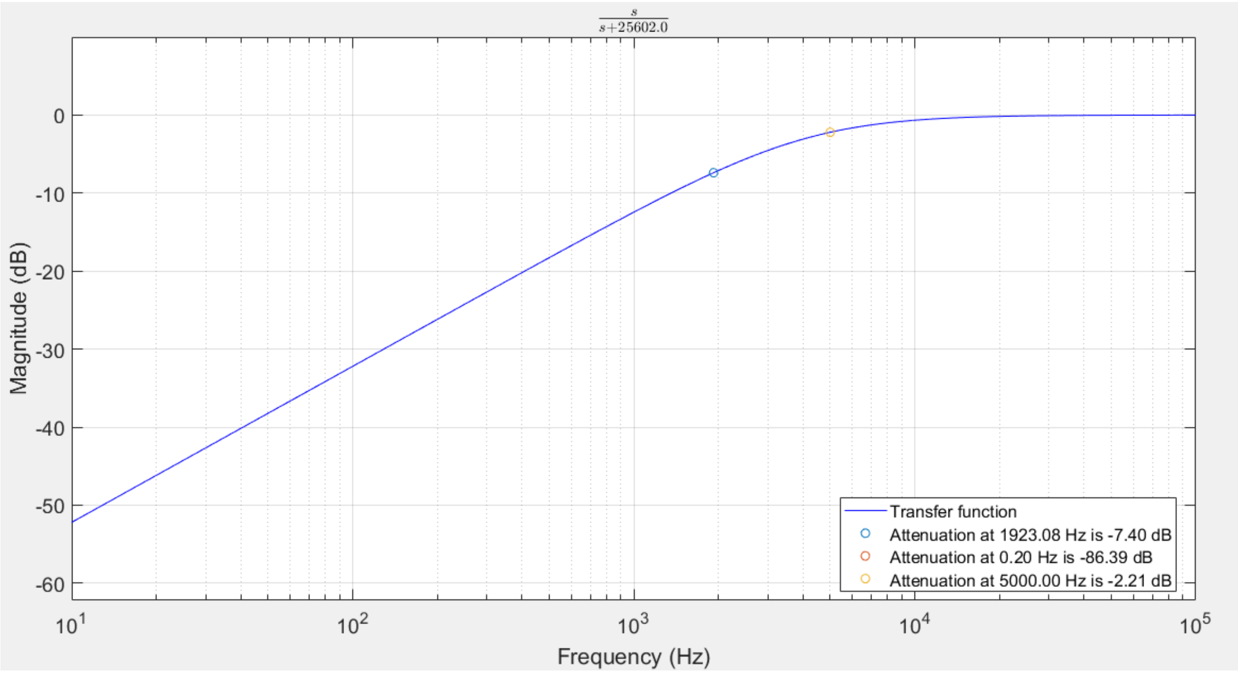
Στην συνέχεια φαίνεται το τελικό κύκλωμα, το επιθυμητό δηλαδή ανωδιαβατό φίλτρο Butterworth με ότι στοιχείο είναι απαραίτητο αλλά και με τις απαιτούμενες τιμές όλων των στοιχείων για την ικανοποίηση των ζητούμενων προδιαγραφών. Τέλος, φαίνεται και η συνδεσμολογία για την ρύθμιση του κέρδους.



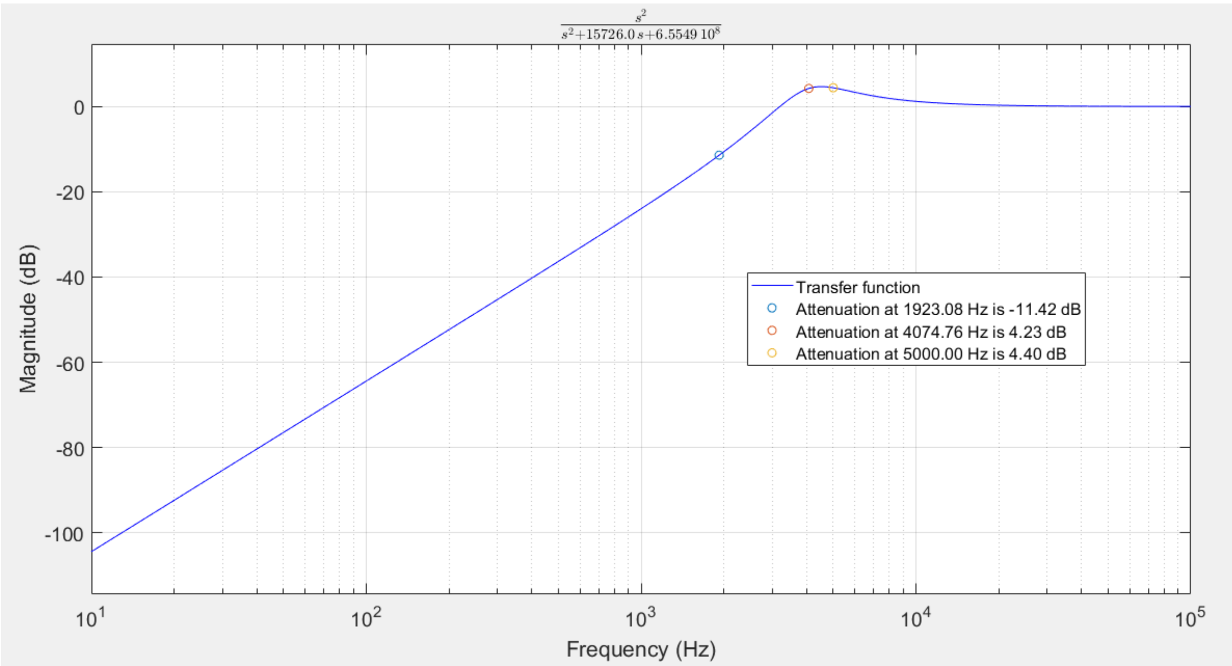
Β. Μελέτη της Συνάρτησης Μεταφοράς στο MATLAB

Εισάγουμε στο πρόγραμμα MATLAB τις επί μέρους συναρτήσεις μεταφοράς των δυο 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 και την τρίτη 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.

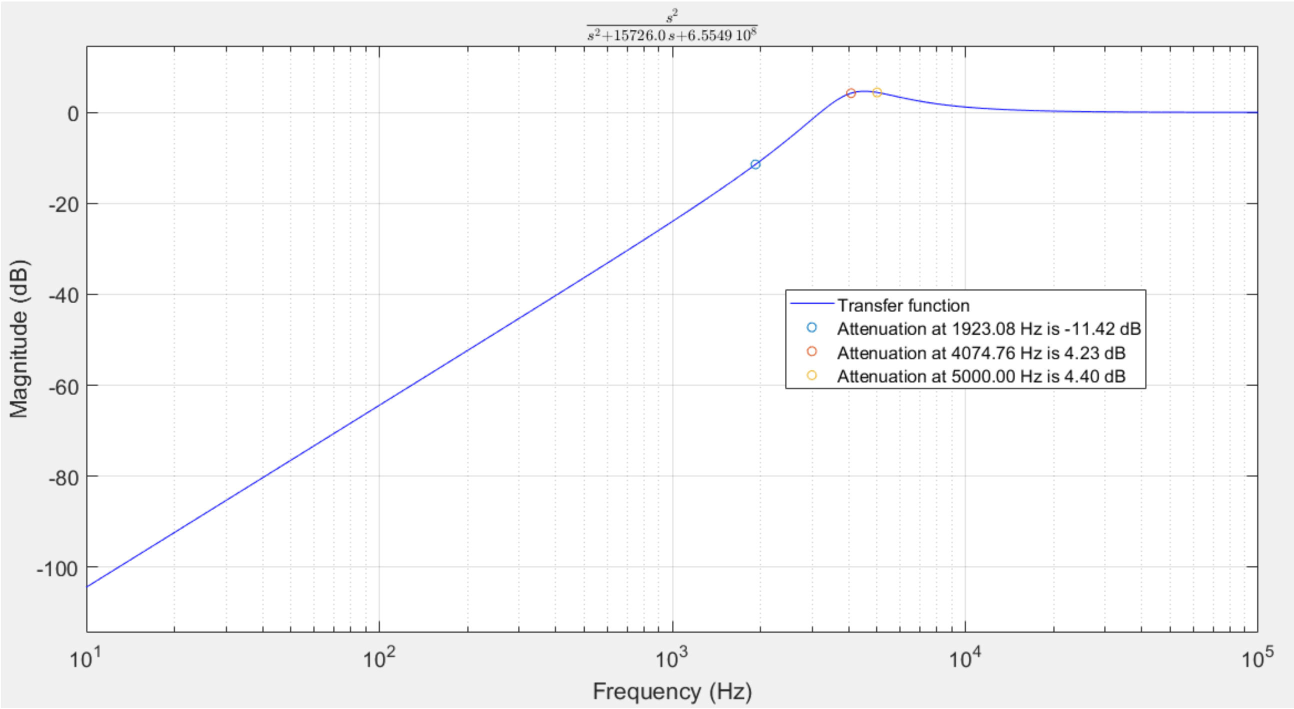
$1^{η}$ Μονάδα : Ανωδιαβατό φίλτρο πρώτης τάξης.



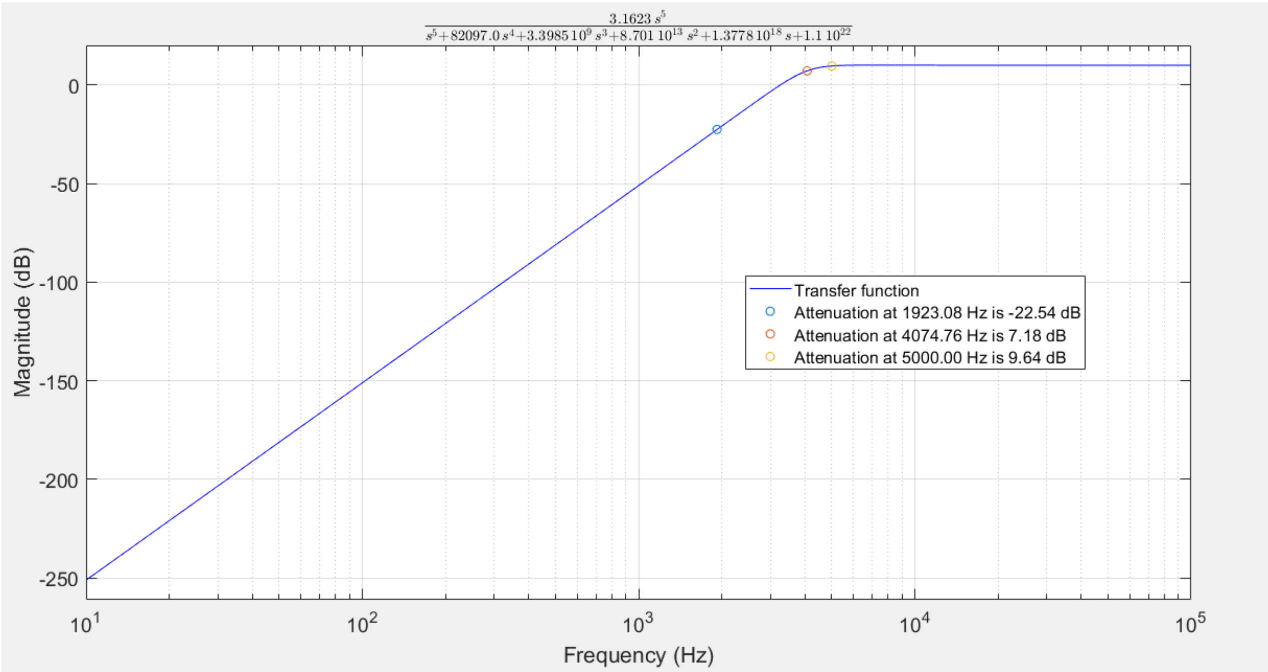
$2^{η}$ Μονάδα : Ανωδιαβατό φίλτρο Sallen-Key



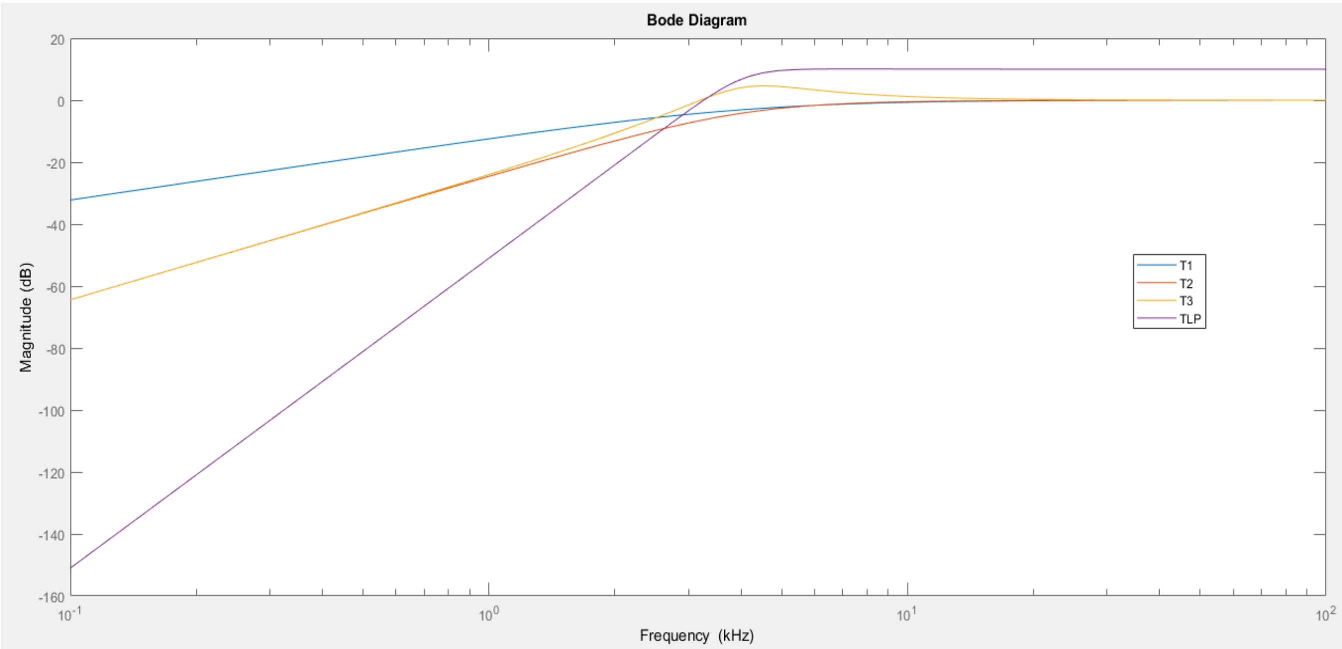
$3^{η}$ Μονάδα : Ανωδιαβατό φίλτρο Sallen-Key



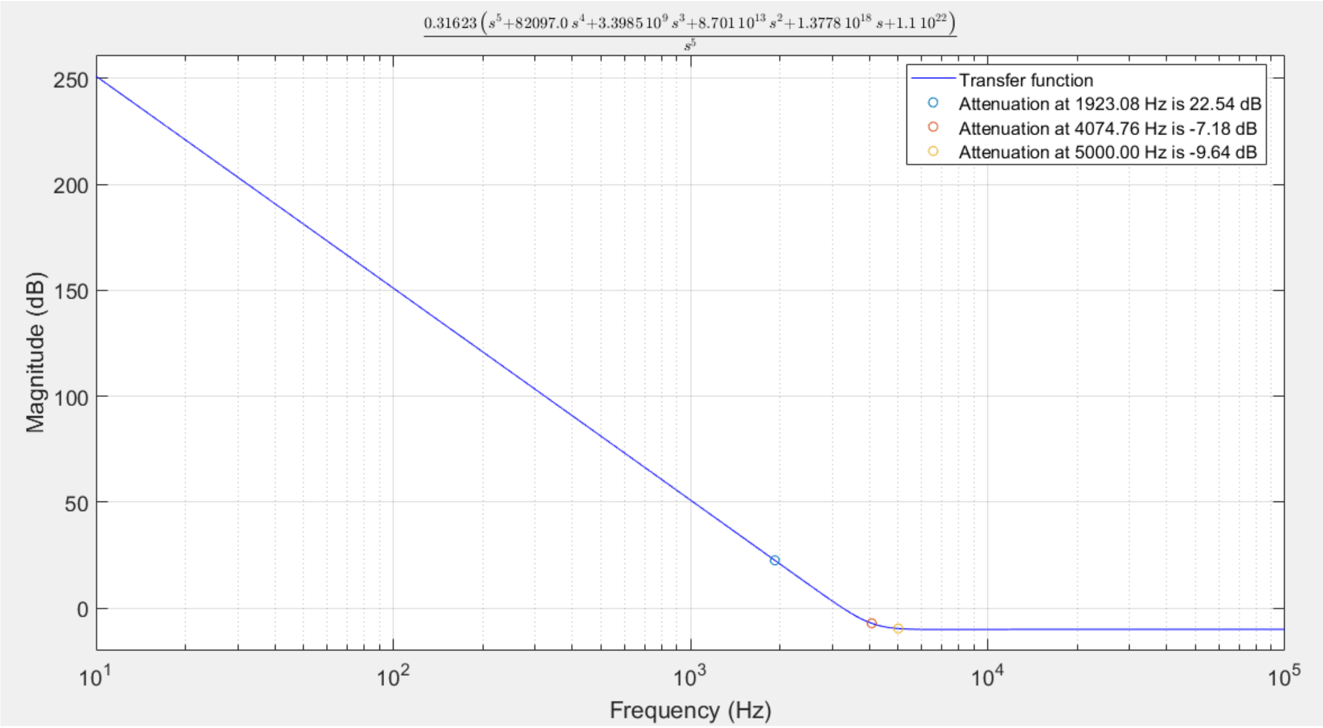
Παρακάτω βλέπουμε την απόκριση πλάτους της συνολικής συνάρτησης μεταφοράς του φίλτρου συναρτήσει της συχνότητας.



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.



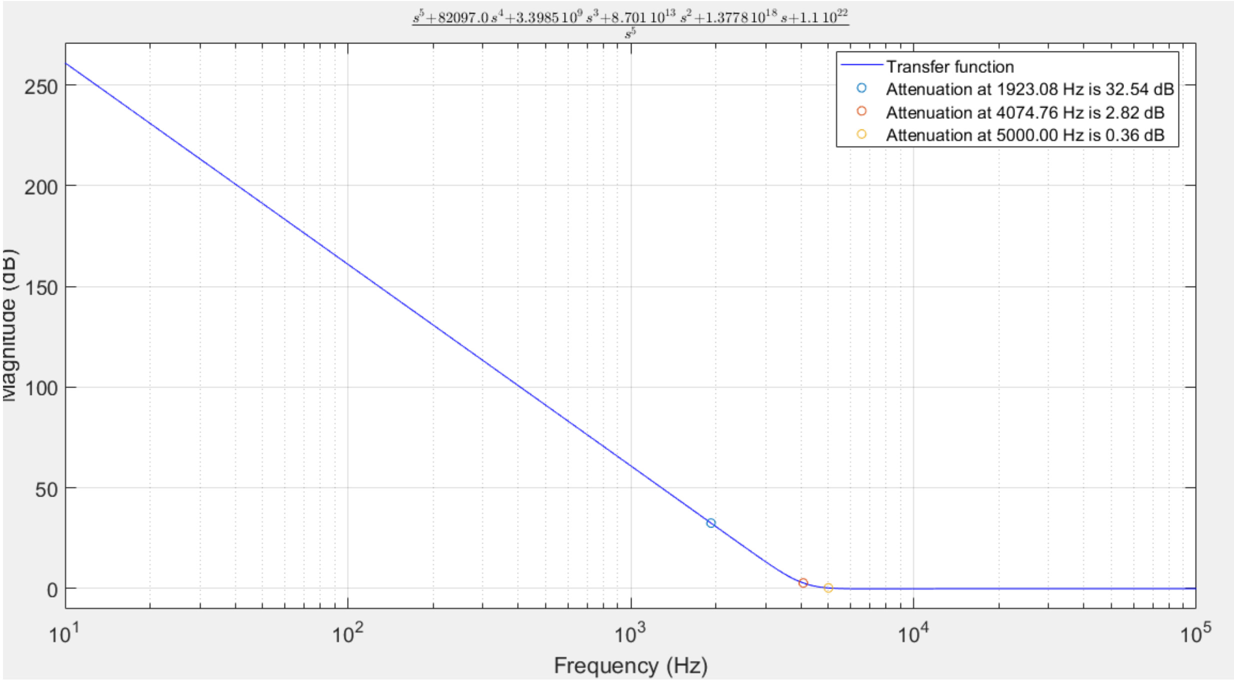
Παρακάτω φαίνεται η συνάρτηση απόσβεσης σε dB της συνολικής συνάρτησης μεταφοράς συναρτήσει της συχνότητας (μετά την ρύθμιση του κέρδους).



Στη συνάρτηση απόσβεσης σημειώνουμε τις κρίσιμες συχνότητες οι οποίες καθορίζουν την ζώνη διόδου και αποκοπής , δηλαδή την f_p=5 kHz και την f_s=1.9231 kHz, καθώς και τις αντίστοιχες αποσβέσεις. Στη συχνότητα των 1.9231 kHz θέλουμε να έχουμε α_{min} = 29.333 dB.

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι στη συχνότητα αυτή έχουμε 22.54. Όπως αναφέραμε όμως το αποτέλεσμα είναι σχετικό καθώς προκύπτει μετά την ρύθμιση του κέρδους. Αφού προσθέσουμε τα 10 dB παίρνουμε 22.54+10=32.54 dB που είναι μεγαλύτερο από τη ζητούμενη απόσβεση άρα η προδιαγραφή αυτή υπερκαλύπτεται.

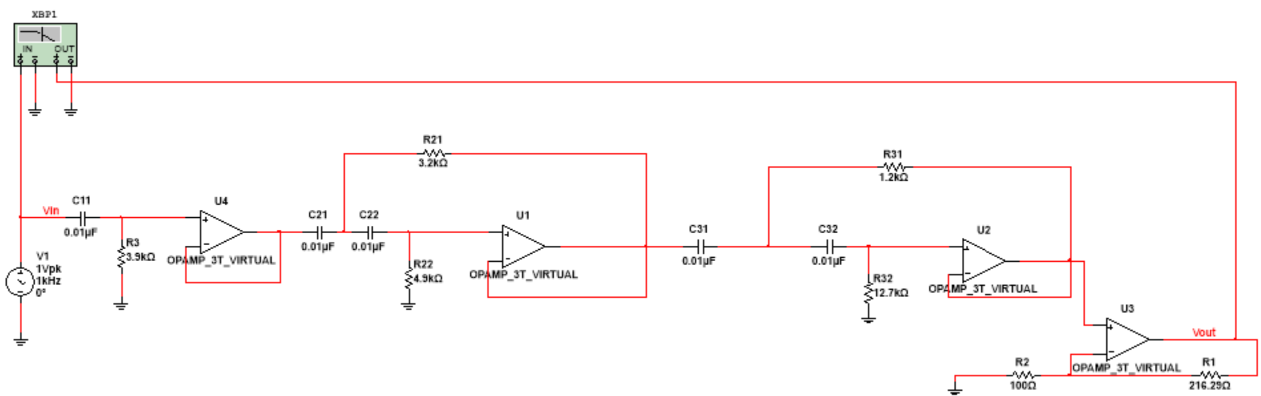
Στη συχνότητα των 5kHz θέλουμε να έχουμε α_{max} = 0.5278 dB. Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι στη συχνότητα αυτή έχουμε -9.64 + 10 = 0.36 dB που είναι μικρότερο από τη ζητούμενη απόσβεση άρα και η προδιαγραφή αυτή υπερκαλύπτεται. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα βλέπουμε στο παρακάτω διάγραμμα που εμφανίζει την συνάρτηση απόσβεσης πριν τη ρύθμιση κέρδους και επιβεβαιώνουμε πως οι προδιαγραφές που έχουν τεθεί καλύπτονται.



Γ. Υλοποίηση του Κυκλώματος του Φίλτρου στο MULTISIM

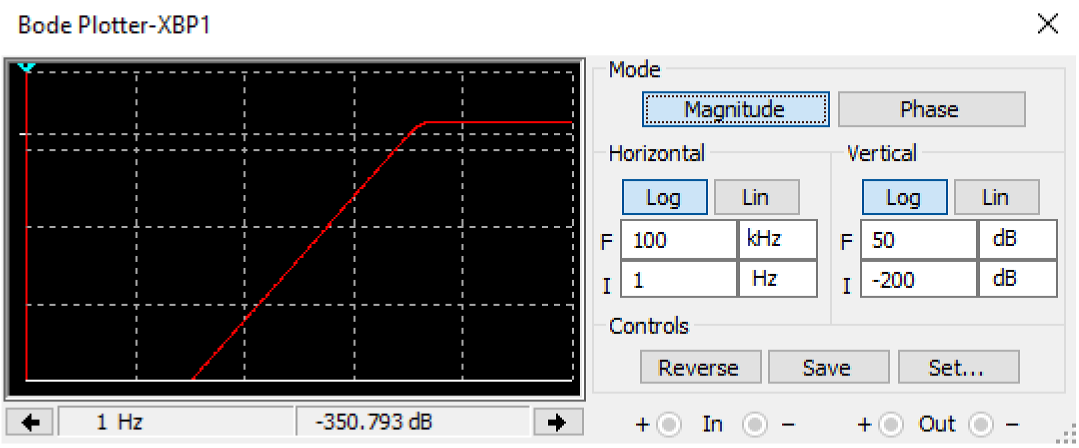
Σχεδιάζουμε το κύκλωμα μας στο ElectronicWorkBench (MULTISIM) προκειμένου να ελέγξουμε αν υλοποιεί την συνολική συνάρτηση μεταφοράς που αναλύθηκε στο προηγούμενο στάδιο της εργασίας αλλά και για να διερευνήσουμε την απόκριση του φίλτρου όταν αυτό διεγείρεται από ένα στοιχειώδες περιοδικό σήμα.

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.

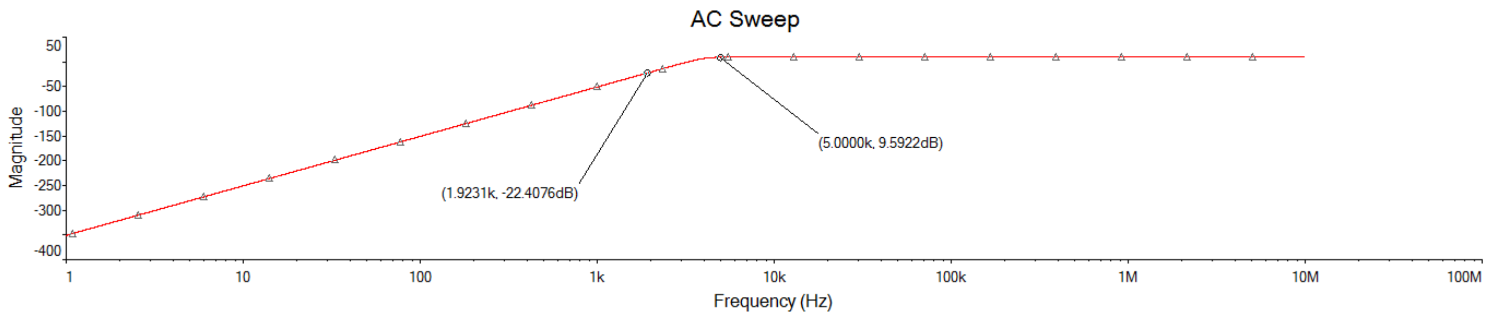


Απόκριση συχνότητας

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. Έχουμε κάποιες μικρές ασήμαντες αποκλίσεις από την θεωρητική ανάλυση του Matlab, που προφανώς οφείλονται στις τιμές των στοιχείων. Κοιτώντας τα tabs του AC Sweep και συνυπολογίζοντας και το κέρδος, στα 5 kHz έχουμε απόσβεση -9.5922 + 10 = 0.4078 dB που είναι μικρότερο της a_{max}=0.5278 ενώ στα 1.9231 kHz έχουμε απόσβεση 22.40736 + 10 = 32.4076 dB που είναι μεγαλύτερο της a_{mix}=29.333. Τέλος ,στις υψηλές συχνότητες το κέρδος είναι 10dB, όπως ακριβώς ζητήθηκε. Επομένως τηρούμε όλες τις ζητούμενες προδιαγραφές.

Απόκριση σε περιοδική κυματομορφή

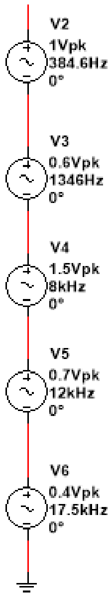
Σε αυτό το σημείο αναλύεται απόκριση του κυκλώματος , όταν αυτό δέχεται ως είσοδο ένα άθροισμα συνημίτονων:

$f(t) = \cos(0.2\omega_s t) + 0.6\cos(0.7\omega_s t) + 1.5\cos(1.6\omega_p t) + 0.7\cos(2.4\omega_p t) + 0.4\cos(3.5\omega_p t)$

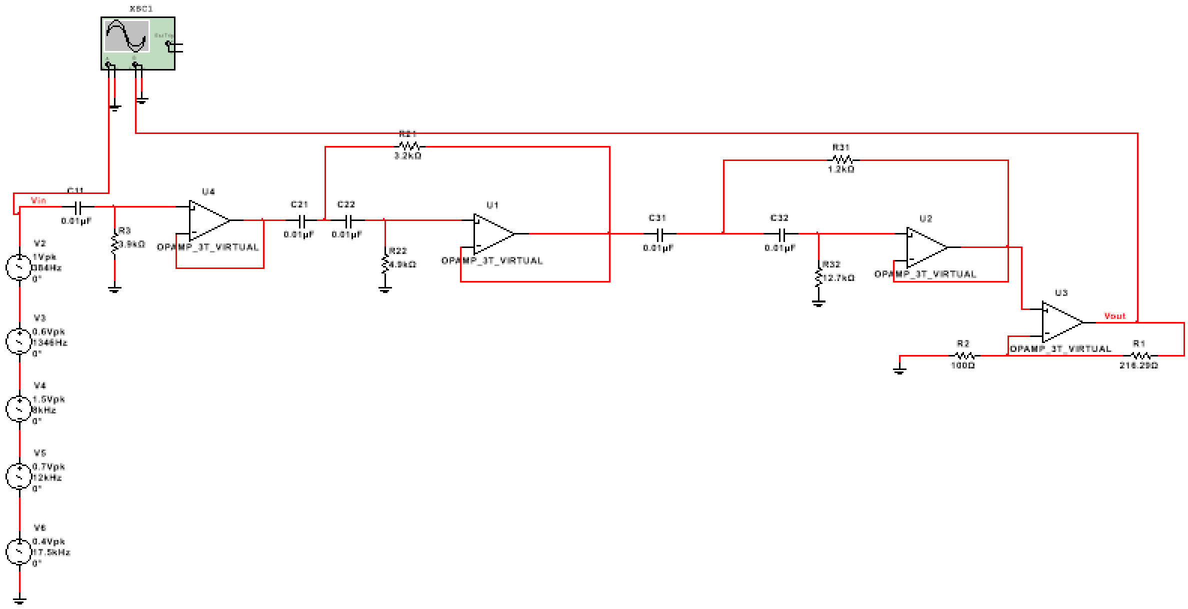
Οι συχνότητες που θα παρουσιάσει το σήμα αυτό είναι:

f_α= 384.6Hz , f_β=1346 Hz , f_c= 8kHz, f_d=12 kHz , f_e = 17.5 kHz

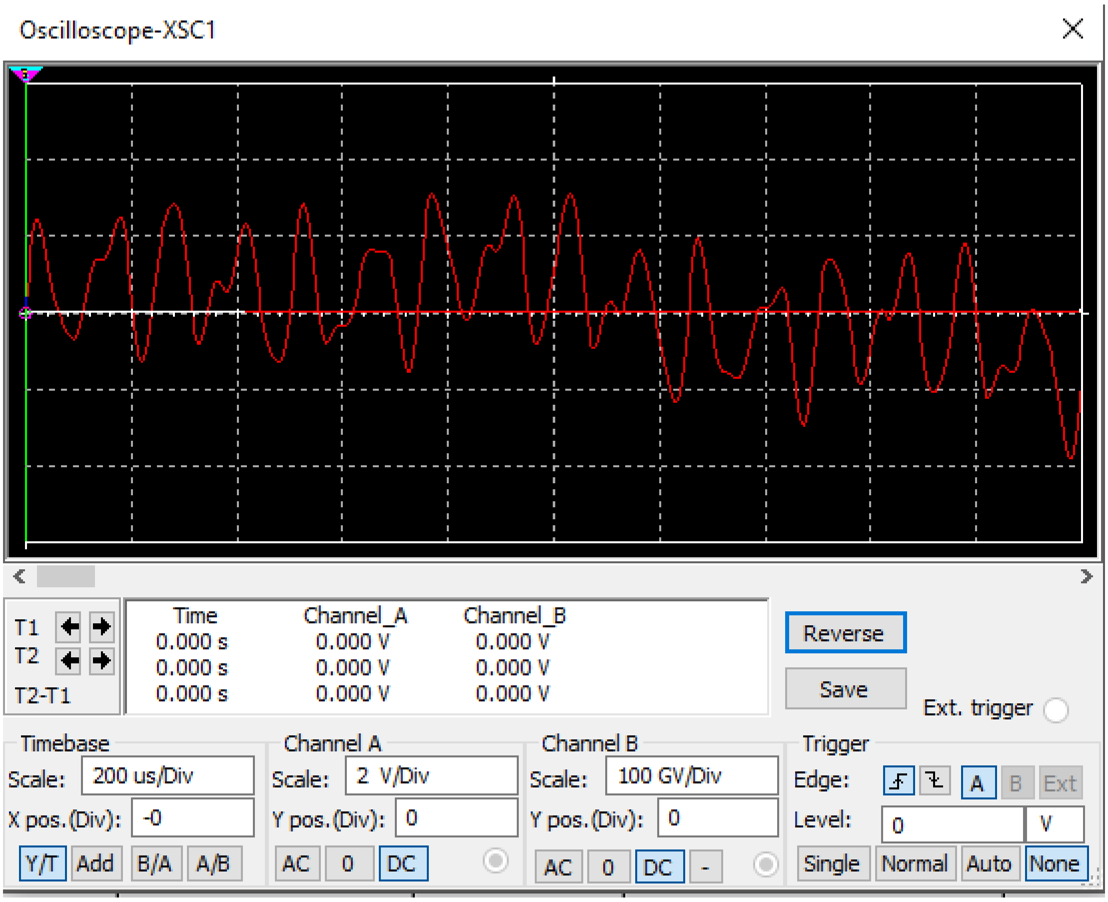
Για τη δημιουργία του σήματος αυτού χρησιμοποιούνται 5 πηγές AC Voltage σε σειρά, η κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί σε μια συχνότητα και στη συνέχεια συνδέθηκαν στην είσοδο του κυκλώματος.



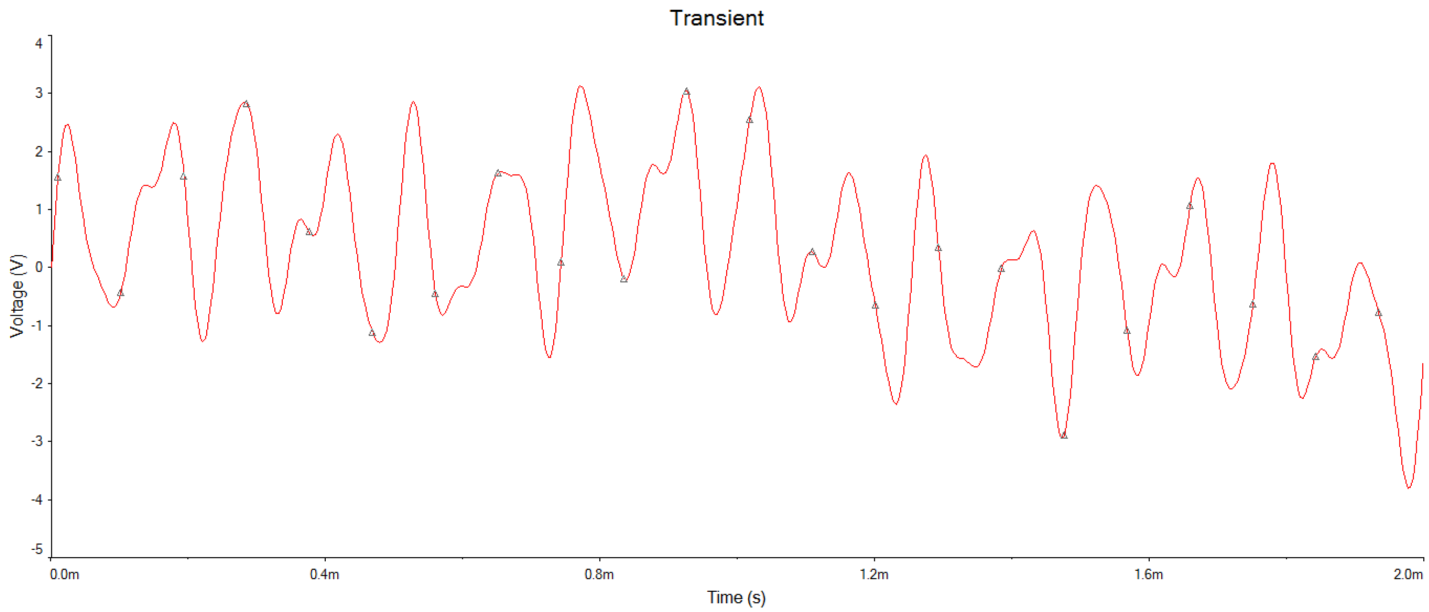
Στην συνέχεια χρησιμοποιούμε έναν παλμογράφο στην είσοδο και την έξοδο και δημιουργούμε τα αντίστοιχα figures για το παραπάνω πείραμα. Το κύκλωμα που προκύπτει είναι το παρακάτω:



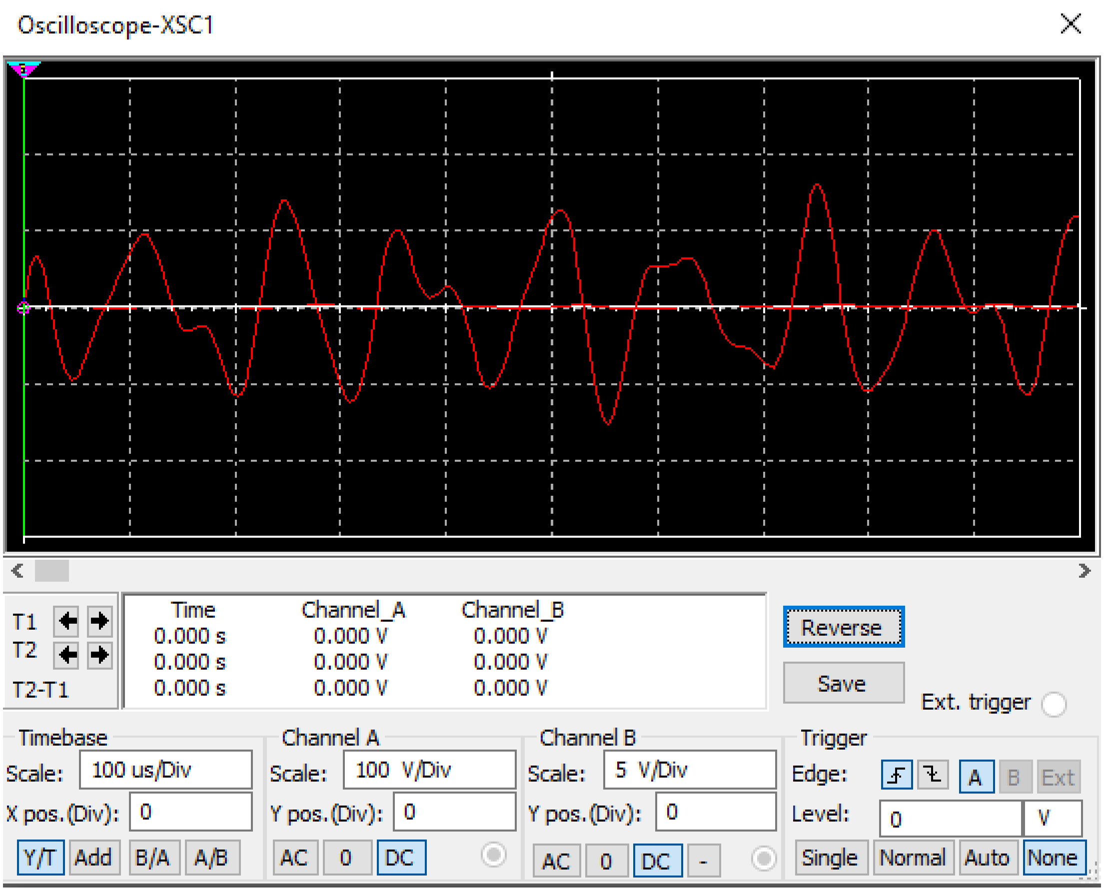
<u>Σήμα Εισόδου-Oscilloscope:</u>



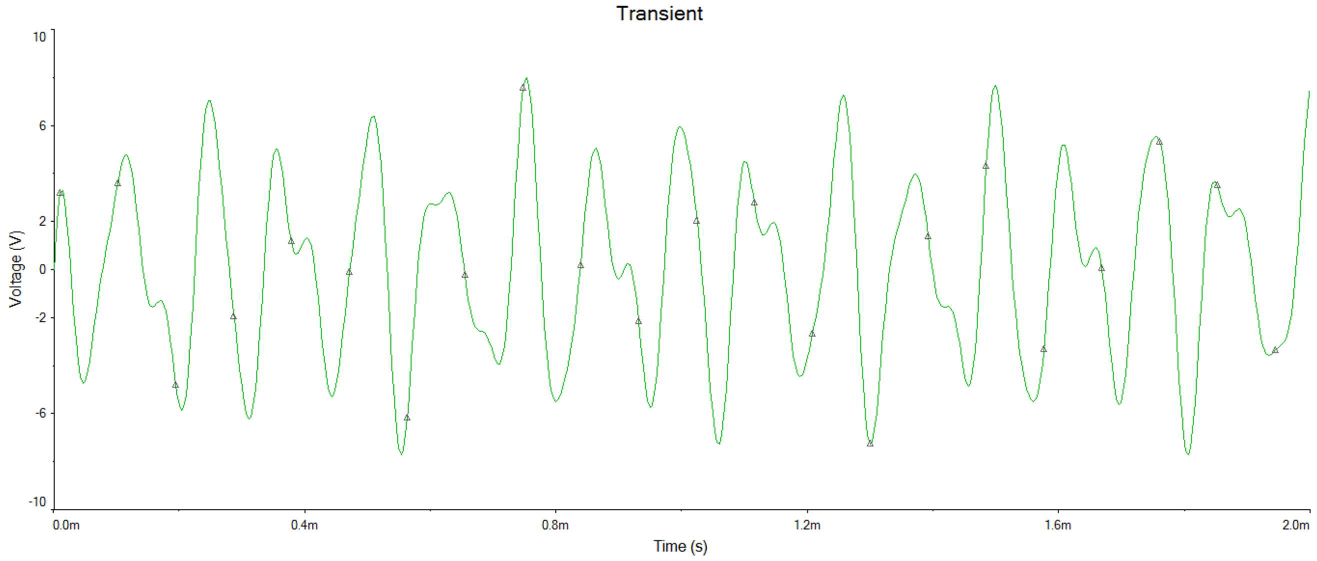
Σήμα Εισόδου-Transient Analysis:



Σήμα Εξόδου-Oscilloscope:

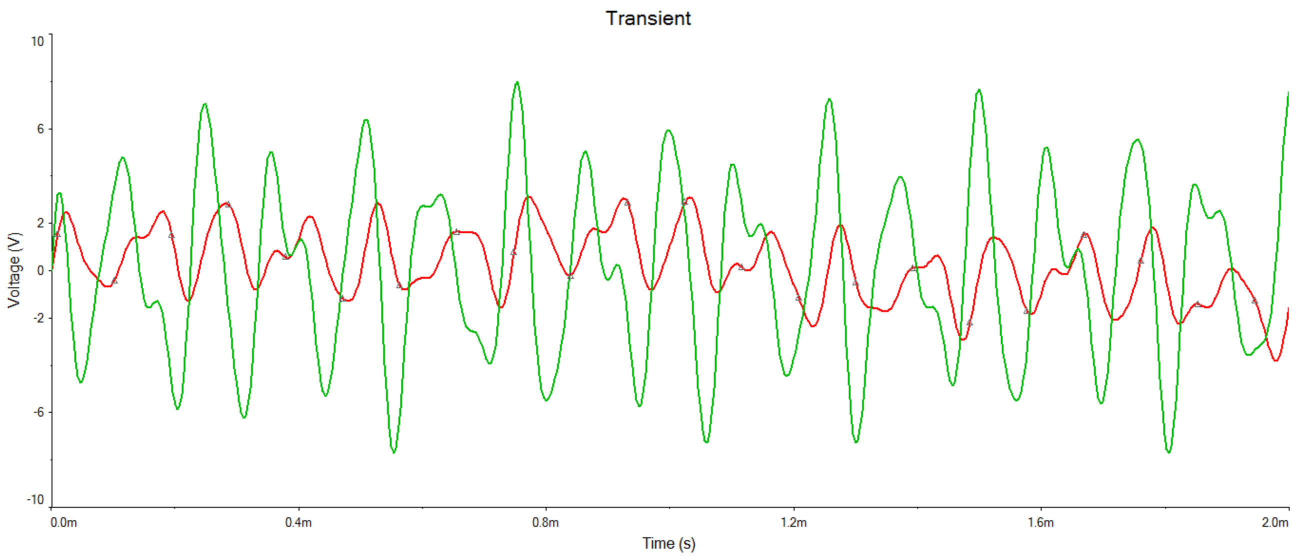


Σήμα Εξόδου-Transient Analysis:

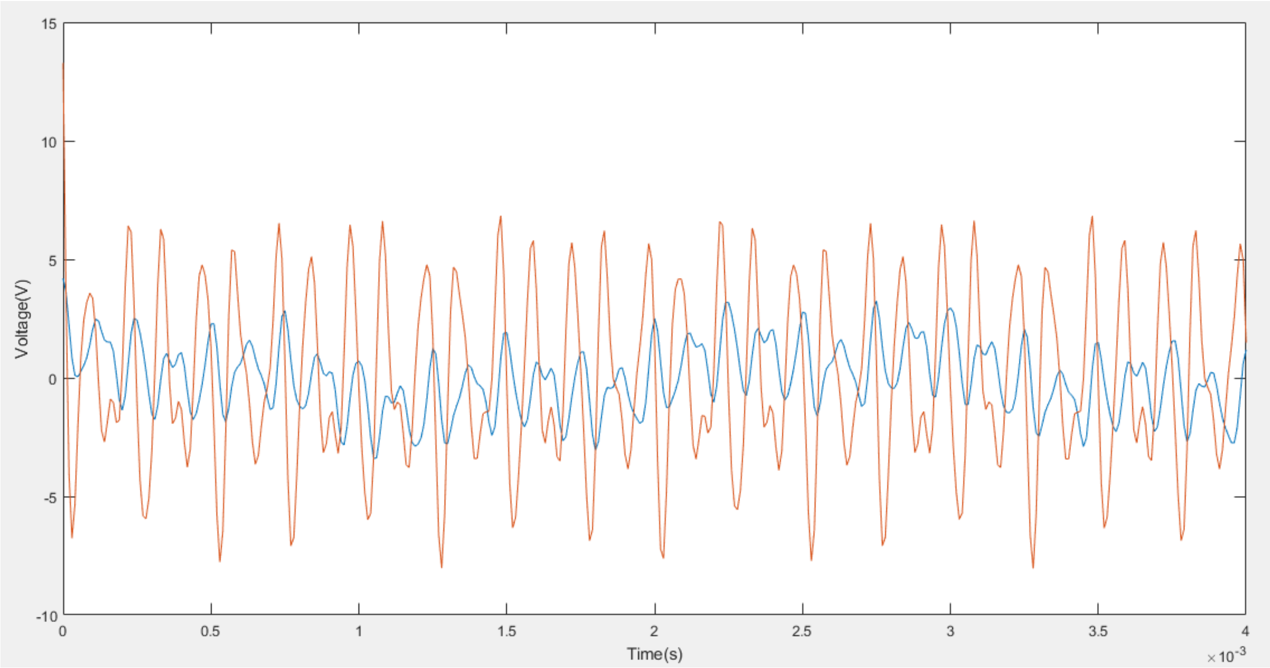


Στα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να δούμε αναλυτικά τα σήματα εισόδου και εξόδου που προκύπτουν, ενώ σε κάθε σχήμα φαίνονται οι επιλογές που κάναμε στον παλμογράφο για να προκύψουν οι αντίστοιχες παραστάσεις (για παράδειγμα: V/Div , sec/Div κτλ.).

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.



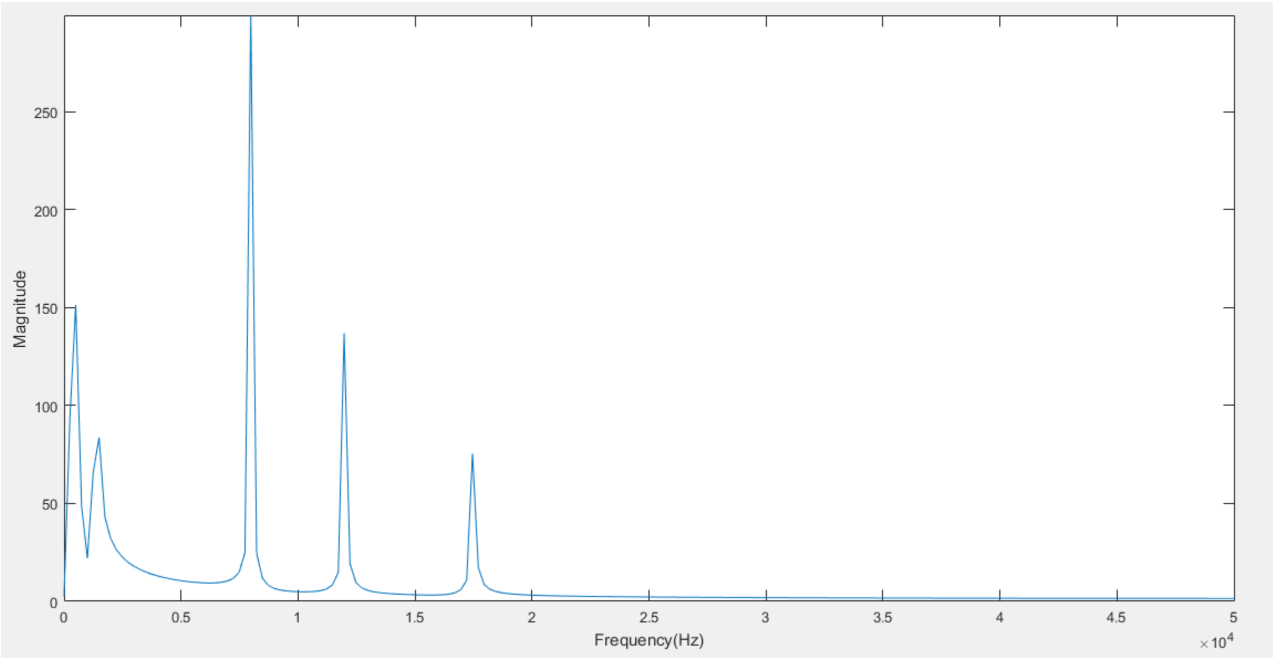
Έχουμε τα ίδια αποτελέσματα όπως και πριν. Εδώ το σήμα εισόδου είναι χρωματισμένο με μπλε χρώμα. Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται καταρχήν ότι ικανοποιείται η προδιαγραφή για κέρδος 10dB καθώς το σήμα στην έξοδο έχει μεγαλύτερο πλάτος. Επίσης είναι ευδιάκριτη η απαλοιφή των υψηλών συχνοτήτων εισόδου και ο ανωδιαβατός χαρακτήρας του φίλτρου. Το συμπέρασμα αυτό φαίνεται πιο καθαρά στην ανάλυση Fourier που ακολουθεί.

Ανάλυση Fourier

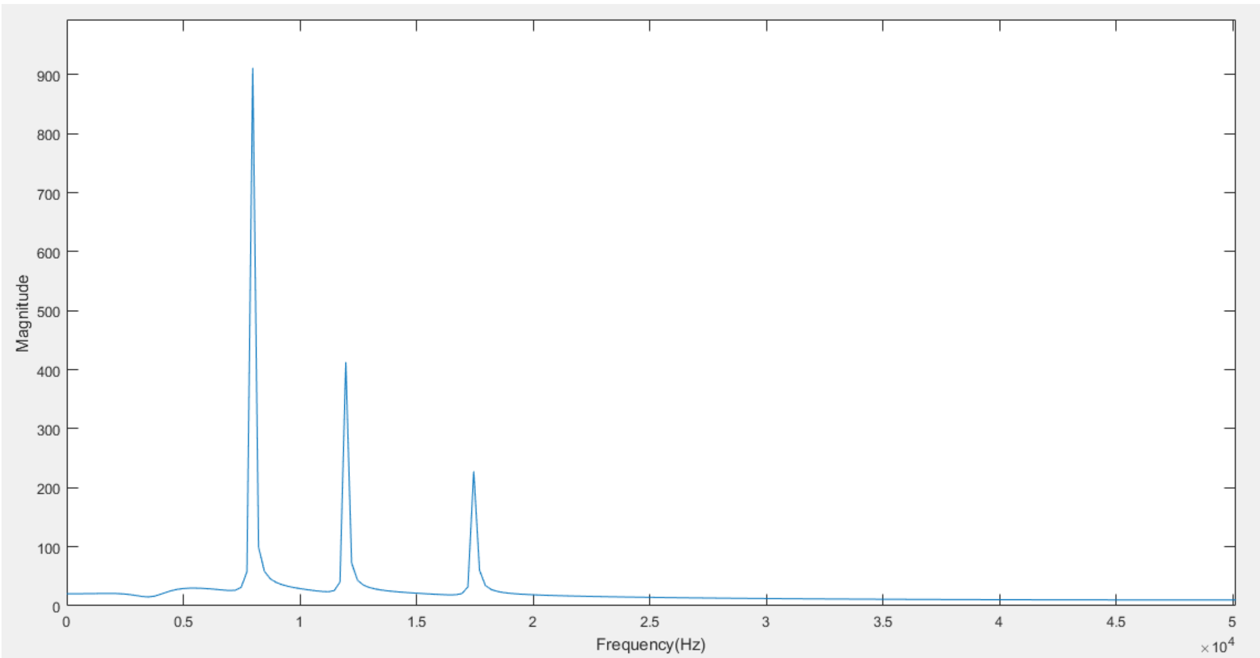
Σε αυτό το σημείο της άσκησης θέλουμε να δημιουργήσουμε τα φάσματα εισόδου και εξόδου του φίλτρου. Για να γίνει κάτι τέτοιο θα εξετάσουμε τα φάσματα τόσο στο Multisim όσο και στο Matlab. Εφόσον μιλάμε για τα ίδια σήματα καθώς και για το ίδιο φίλτρο, αναμένουμε να έχουμε τα ίδια αποτελέσματα.

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

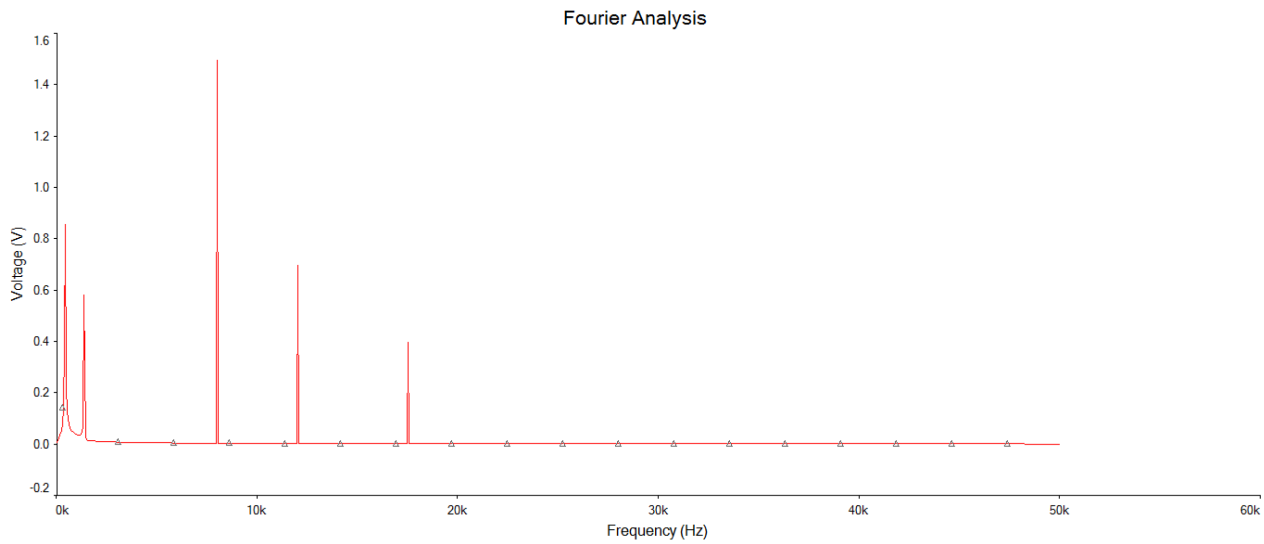
Φάσμα Σήματος Εισόδου Matlab:



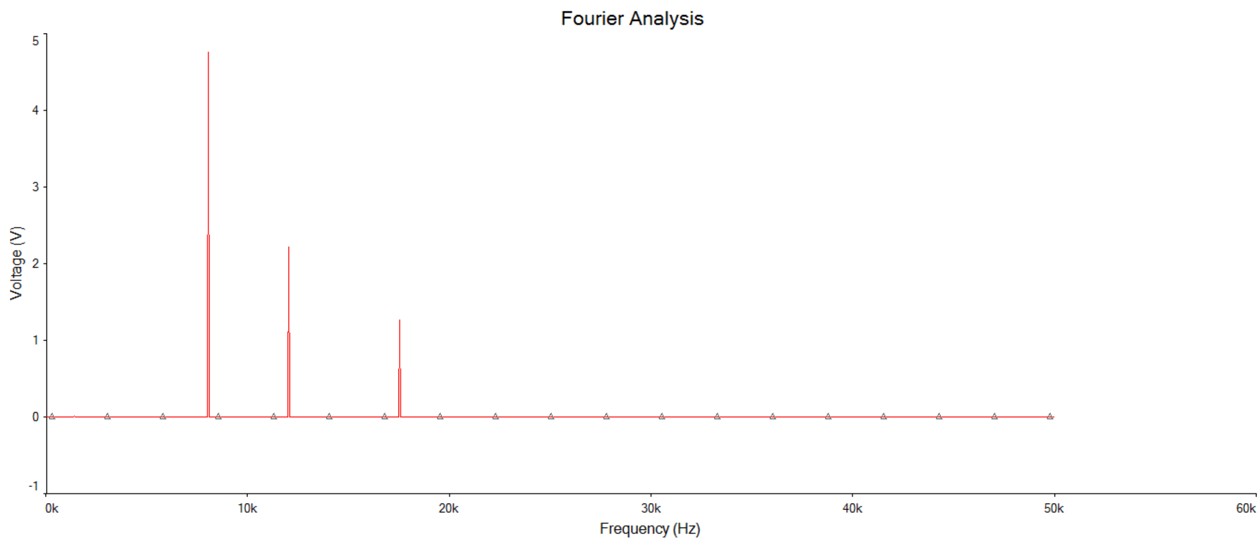
Φάσμα Σήματος Εξόδου Matlab:



Φάσμα Σήματος Εισόδου Multisim:



Φάσμα Σήματος Εξόδου Multisim:



Αρχικά παρατηρούμε πως τα φάσματα μεταξύ Multisim και Matlab τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο ταυτίζονται. Επιπλέον διαπιστώνουμε πως οι χαμηλές συχνότητες (κάτω της fs = 1.9231 kHz) «κόβονται» στο φάσμα της εξόδου. Στην είσοδο έχουμε 5 ώσεις ενώ στην έξοδο λείπουν οι συχνότητες για 384.6 Hz και για 1346 Hz που είναι πράγματι κάτω της fs, κάτι το οποίο είναι απολύτως λογικό εφόσον το κύκλωμα μας είναι ένα ανωδιαβατό φίλτρο. Παράλληλα παρατηρείται και η ορθότητα της ρύθμισης κέρδους. Το πλάτος των ώσεων στην έξοδο είναι μεγαλύτερο (κατά περίπου 3,1 φορές) των ώσεων στην είσοδο, αφού έχουμε κέρδος 10dB. Έτσι συνάγεται το συμπέρασμα ό,τι το φίλτρο λειτουργεί σωστά, καθώς ικανοποιούνται όλες οι προδιαγραφές της εκφώνησης.