Εργασία Matlab – Σήματα και Συστήματα

ΑΜ: 031 19840

Όνομα: Κωνσταντίνος

Επώνυμο: Ιωάννου

Ημερομηνία: 10/2/2021

1)Σχεδίαση φίλτρων.

1.1) Σχεδίαση φίλτρων ήχους και αντήχησής (Echo ,Reverb)

Ένα αιτιατό φίλτρο διακριτού χρόνου ορίζεται μέσω της εξίσωσης διαφορών:

$$y[n] + \sum_{i=1}^{N} a_i y[n-i] = \sum_{i=0}^{M} b_i x[n-i].$$

Συγκεκριμένα ένα φίλτρο ηχούς (echo) ορίζεται από την σχέση:

$$y[n] = cx[n] + (1-c)x[n-P],$$

α) Να βρεθούν διανύσματα α ,b για c =0.55 και P=2 ή P= 5.

y[n] = 0.55x[n] +0.45x[n-P] -> Μετασχηματισμό Z

Y(z) = 0.55 X(z) + $0.45z^{-P}X(z)$

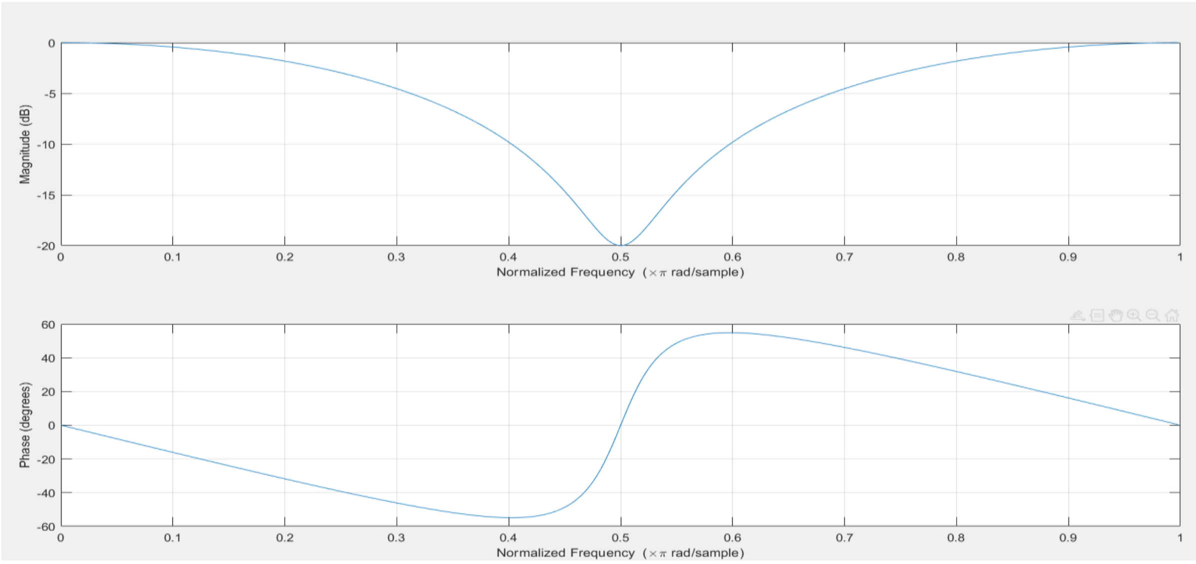
$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{0.55+0.45*z^{-P}}{1}.$$

- Για P = 2 , α= [1 0 0] και b= [0.55 0 0.45]
- Για P =5, α=[1 0 0 0 0 0] και b=[0.55 0 0 0 0.45]

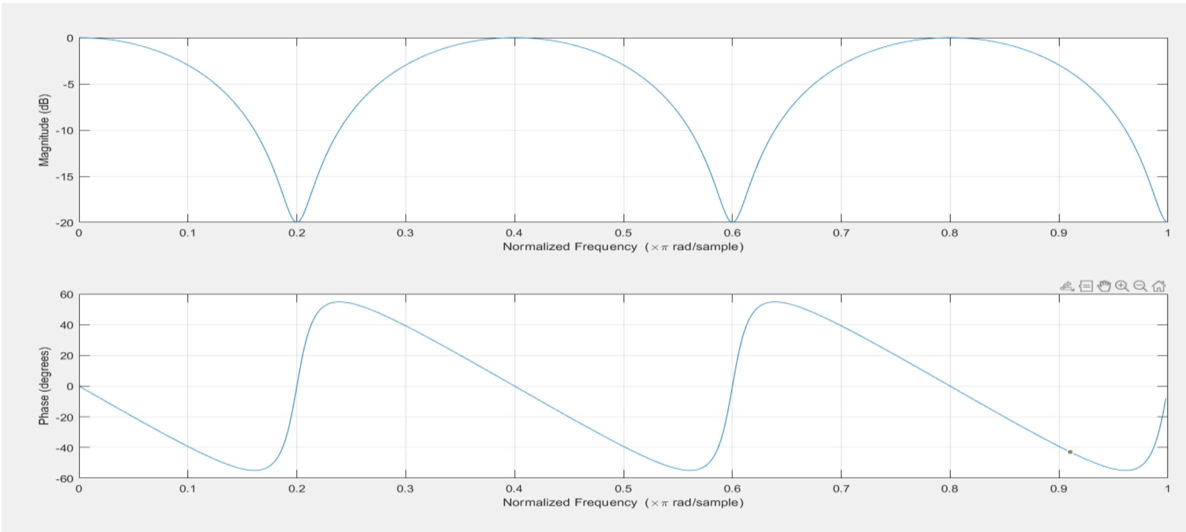
β) Σχεδιάστε την απόκριση πλάτους και φάσης των δύο φίλτρων.

Χρησιμοποιούμε την εντολή freqz() η οποία δέχεται ως όρισμα τα διανύσματα a,b της εξίσωσης διαφορών για κάθε απο τα παραπάνω φίλτρα .Δημιουργούμε λοιπόν τα παρακάτω γραφήματα για φίλτρο που προσομοιάζει την ηχό για P=2 ή P=5 σύμφωνα με τα διανύσματα a,b που υπολογίσαμε σε κάθε περίπτωση.

Όταν έχουμε P=2:



Όταν έχουμε P=5:

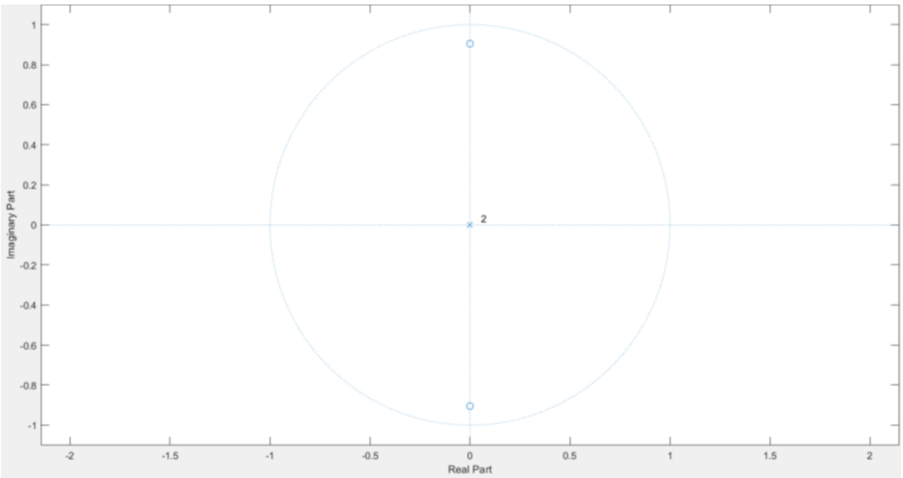


Παρατηρήσεις: Αρχικά βλέπουμε ότι σε κάθε διάγραμμά η καμπύλη απόκρισης πλάτους είναι περιοδική με σταθερή περίοδο (Συγκεκριμένα 0.5 για P=2 και 0.2 για P=5) και σταθερό πλάτος , ενώ και οι δύο καμπύλες παρουσιάζουν μέγιστο στο 0 db και ελάχιστο στα -20 db.

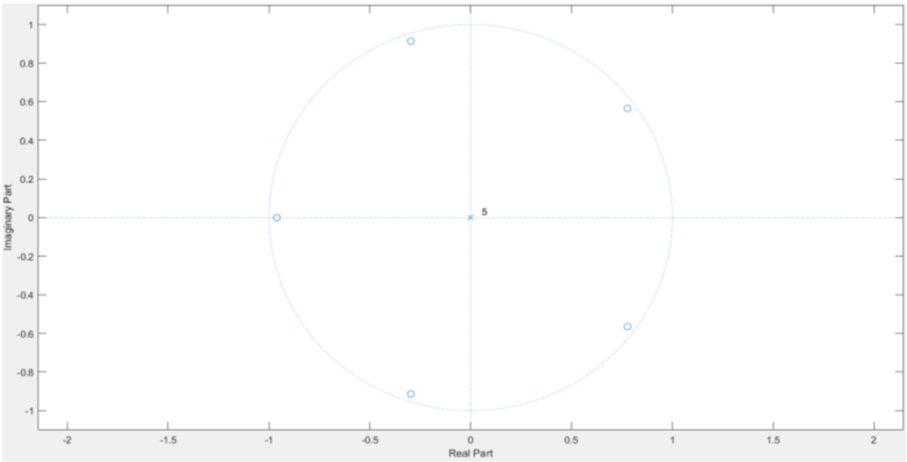
Όσο αφορά την απόκριση φάσης είναι και αυτή περιοδική με σταθερή περίοδο και τέλος γίνεται ευκολά αντιληπτό ότι και στις δύο καμπύλες η μείωση πλάτους συνεπάγεται απότομη αύξηση της φάσης.

γ)Να σχεδιαστούν τα διαγράμματα πολλών και μηδενικών των δύο φίλτρων.
Για την υλοποίηση του παραπάνω έγινε χρήση της συνάρτησης zplane() και για να μεταφερθούν τα φίλτρα σε μορφή πόλων και μηδενικών κάλεσα την συνάρτηση tf2zp() που δίνεται στην εκφώνηση. Οπότε ακολουθούν τα αποτελέσματα

- Για P=2



- Για P=5



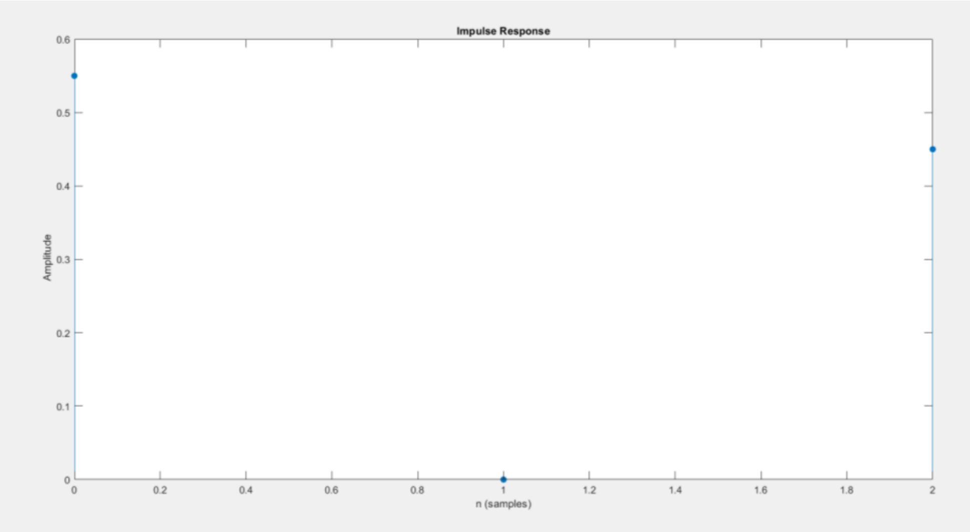
Παρατήρηση: Παρατηρούμε ότι σε κάθε διάγραμμα πόλων και μηδενικών τόσο το πλήθος των πόλων όσο και των μηδενικών είναι ίσο με την τιμή του P =2 ή P=5 για το πρώτο και το δεύτερο διάγραμμα αντίστοιχα .Ειδικά στους πόλους παρατηρούμε ότι κάθε φορά ο πόλος είναι 0 πολλαπλότητας P.
Το οποίο είναι αναμενόμενό αφού έχουμε συνάρτηση μεταφοράς:

$$H(z) = \frac{0.55 * z^P + 0.45}{z^P}$$

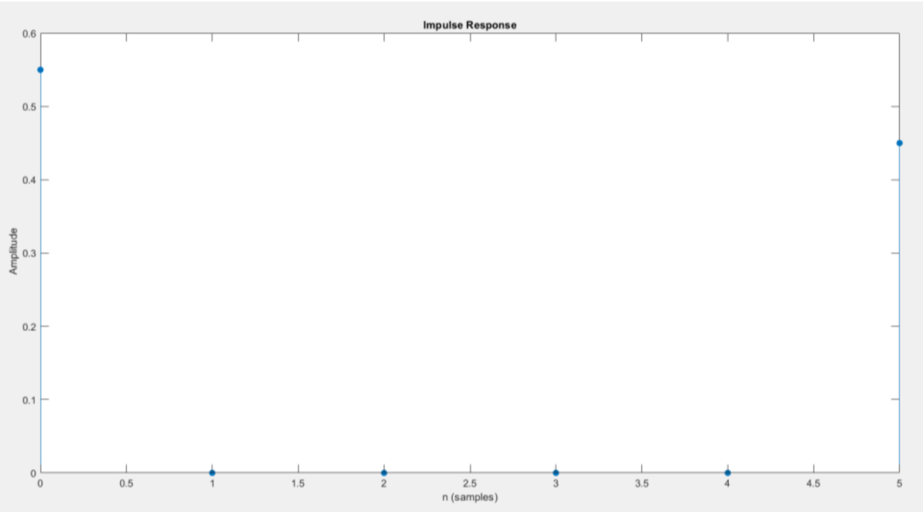
δ) Υπολογίστε την κρουστική απόκριση των δύο φίλτρων.

Χρησιμοποιώντας την συνάρτηση impz() με ορίσματα τα διανύσματα a,b κάθε φίλτρου έχουμε τα παρακάτω διαγράμματα.

- Για P=2



- Για P=5



ε) Για την περίπτωση όπου P=2 υπολογίστε τα a,b για ένα φίλτρο αντήχησης βαθμού m =3.

Γνωρίζουμε ότι ένα φίλτρο αντήχησης βαθμού 3 δημιουργείτε αν βάλουμε 3 διαδοχικά φίλτρα echo.
Τοποθεντώντας 3 echo φίλτρα στην σειρά (για P=2) γνωρίζουμε ότι η συνολική κρουστική απόκριση του φίλτρου αντήχησης είναι ισοδύναμο (στο πεδίο της συχνότητας) με το γινόμενο των κρουστικών αποκρίσεων που βρίσκονται σε σειρά .

$$\text{H(z)} = \frac{0.55+0.45*z^{-2}}{1}*\frac{0.55+0.45*z^{-2}}{1}*\frac{0.55+0.45*z^{-2}}{1} \text{ ->}$$

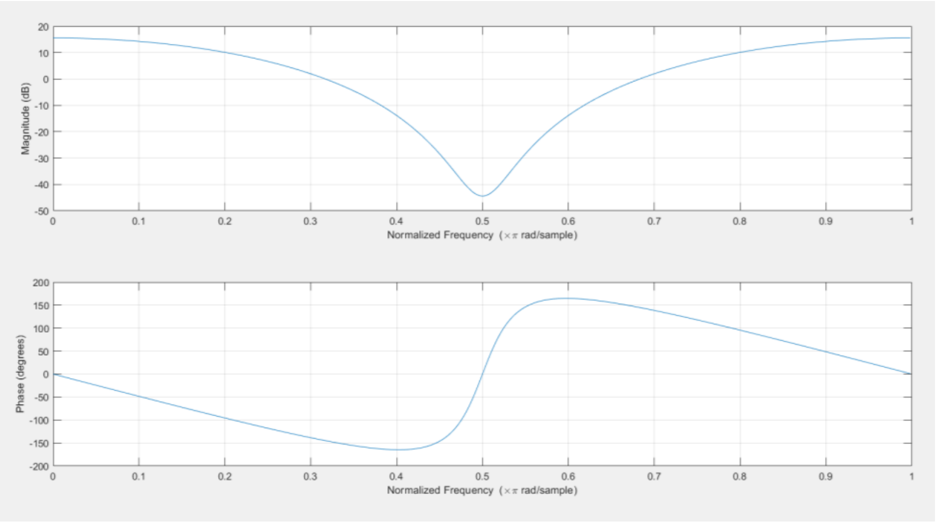
$$\text{H(z)} = \frac{0.16+0.40*z^{-2}+0.33*z^{-4}+0.09*z^{-6}}{1}$$

Διευκρινίζουμε ότι κρατήσαμε μέχρι και τρία δεκαδικά για απλοποίηση .

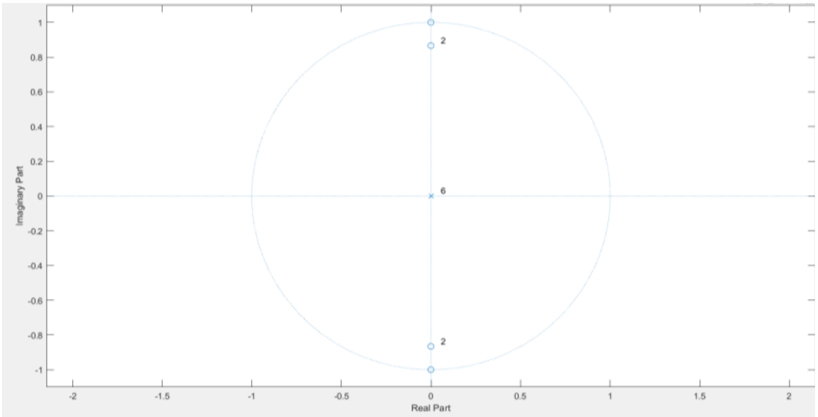
Ομοίως με το ερώτημα (α) -> Διανύσματα a,b:

a = [1 0 0 0 0 0 0]
b = [0.16 0 0.4 0 0.33 0 0.09]
(Στον κώδικα υπολόγισα από την αρχή τα a,b)

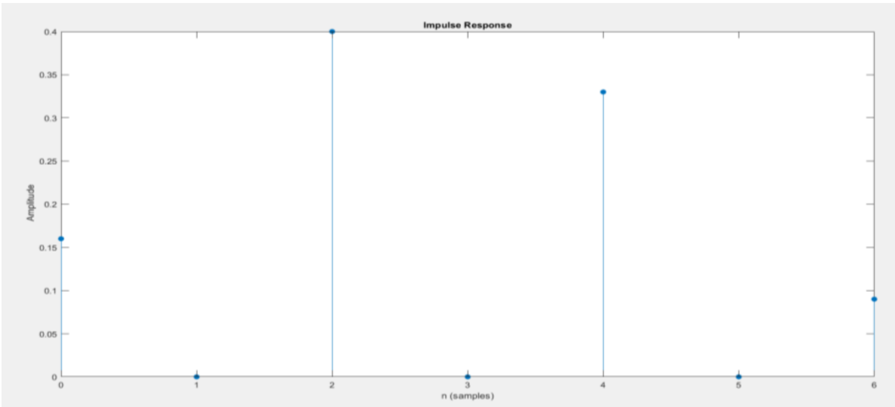
Ομοίως με το ερώτημα (β) -> Διάγραμμα πλάτους και φάσης :



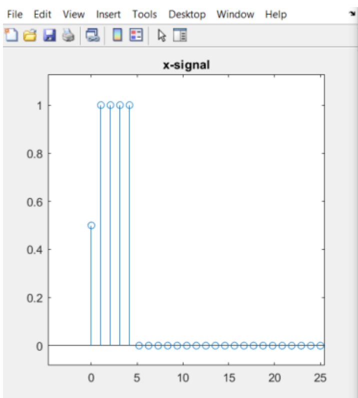
Ομοίως με το ερώτημα (γ)-> Διάγραμμα πόλων και μηδενικών :

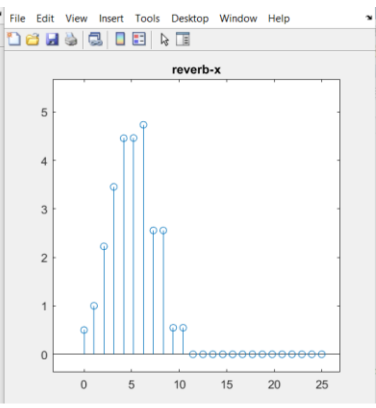


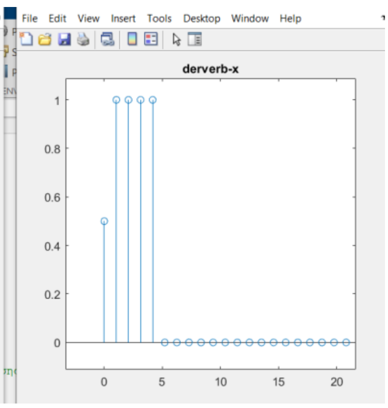
Ομοίως με το ερώτημα (δ)-> Κρουστική απόκριση φίλτρου:



στ) Σε αυτό το ερώτημα καλούμαστε να δημιουργήσουμε ένα σήμα απαλοιφής της αντήχησης (dereverberation) . Ουσιαστικά   θέλουμε να σχεδιάσουμε το αντίστροφο σήμα της αντήχησης και για να το καταφέρουμε αυτό πρέπει να αντιστρέψουμε τους συντελεστές στο φίλτρο της αντήχησης.







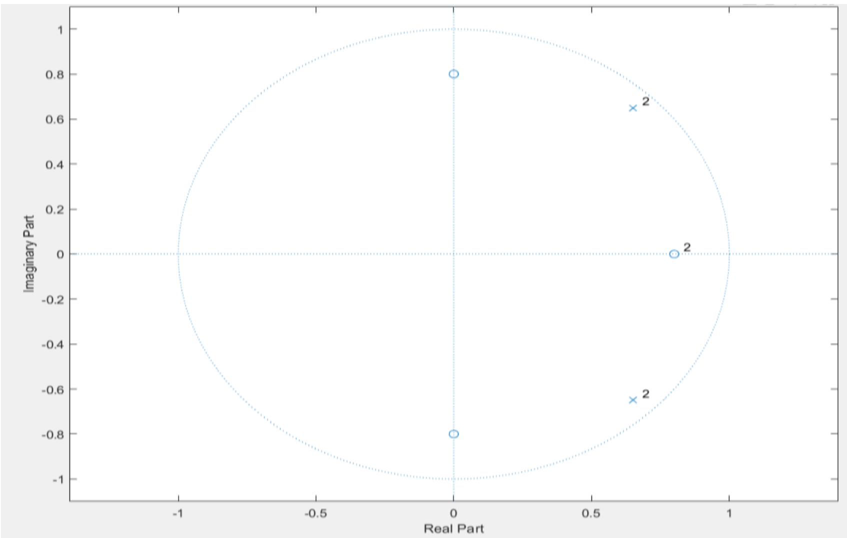
Παρατηρήσεις: Αρχικά στο σήμα x εφαρμόζουμε ένα φίλτρο αντήχησης και λαμβάνουμε ως αποτέλεσμα το reverb σήμα στην συνέχεια περνάμε το σήμα από το νέο φίλτρο που δημιουργήσαμε και λαμβάνουμε το αρχικό σήμα άρα το νέο φίλτρο μας απαλείφει την αντήχηση .

Με a ,b:

```
ast =

    1.0000         0    2.4545         0    2.0083         0    0.5477


bst =

     1     0     0     0     0     0     0
```

1.2)Σχεδίαση Ζωνοπερατών φίλτρων

α) Αρχικά σύμφωνα με τα στοιχεία που μας δίνονται κατασκευάζουμε στο Matlab το παρακάτω διάγραμμα πόλων και μηδενικών .



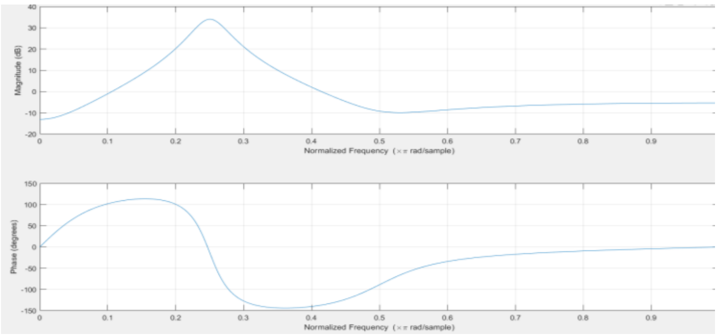
Όπου όπως μπορεί να εξακριβωθεί από το πρόγραμμα απεικονίζει τα μηδενικά και του πόλους που μας ζητήθηκαν .Ως ορίσματα για την συνάρτηση zplane χρησιμοποιήσαμε τα διανύσματα p και z ως στήλες.

Στην συνέχεια υπολογίσαμε τα διανύσματα a , b (A , B στο πρόγραμμα) μέσω της συνάρτησης zp2tf και με όρισμα κ = 1 καθώς τελικά το κ απλοποιείται στην συνάρτηση μεταφοράς .
Οπότε βρήκαμε τα διανύσματα:

```
B =

    1.0000   -1.6000    1.2800   -1.0240    0.4096


A =

    1.0000   -2.6000    3.3800   -2.1970    0.7140
```

β) Απόκριση πλάτους και φάσης για το φίλτρο.

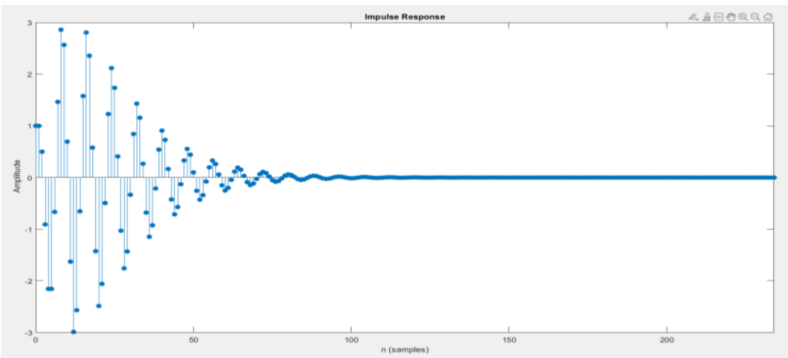
Το οποίο υπολογίζουμε με την εντολή freqz(A,B) όπου A,B τα διανύσματα που υπολογίσαμε πριν.



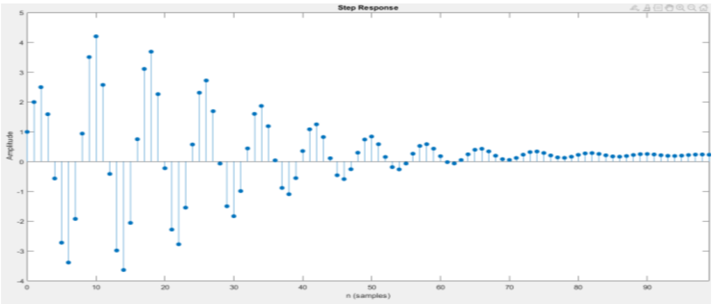
Παρατηρούμε λοιπόν ότι έχει δημιουργηθεί ζωνοπερατό φίλτρο με κέντρο της ζώνης διέλευσης περίπου 0.25π .

γ) Κρουστική και βηματική απόκριση.

- Κρουστική Απόκριση :



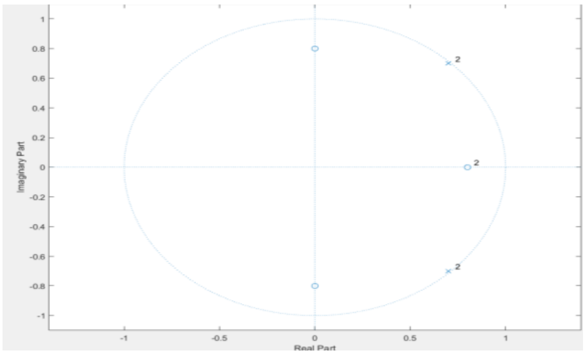
- Βηματική Απόκριση :



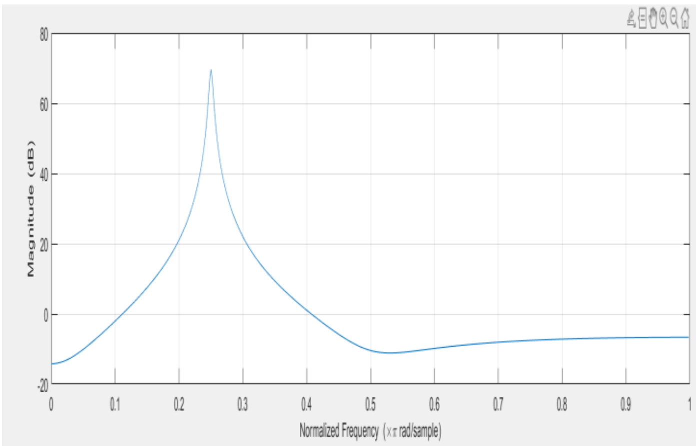
δ) Μετακίνηση τους πόλους στις θέσεις (0.7 +/- 0.7i) , (0.707 +/- 0.707i) ,(0.75 +/- 0.75i) (και πάλι πολλαπλότητας 2) τα μηδενικά τα κρατάμε σταθερά

1)Περίπτωση: μετακίνηση στις θέσεις (0.7 +/- 0,7i)

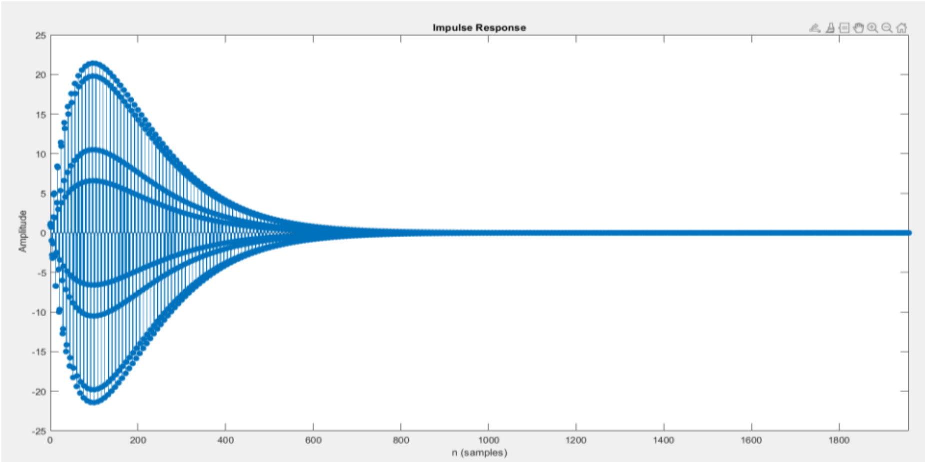
Διάγραμμα πόλων και μηδενικών:



Απόκριση Πλάτους:

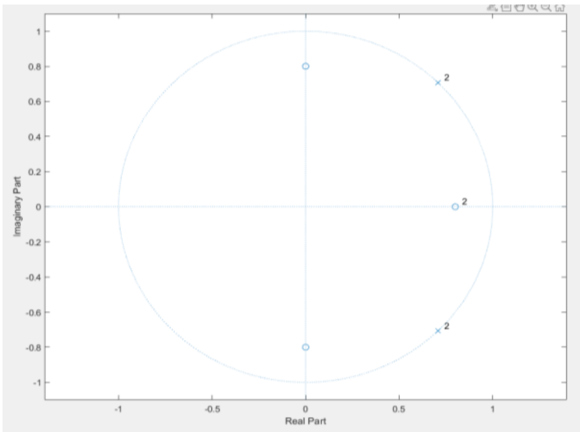


Διάγραμμά κρουστικής απόκρισης:

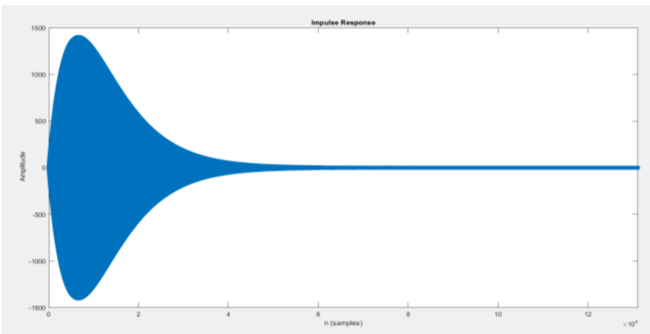


2)Περίπτωση μετακίνηση στις θέσεις 0.707 +/- 0.707i

Διάγραμμα πόλων και μηδενικών:

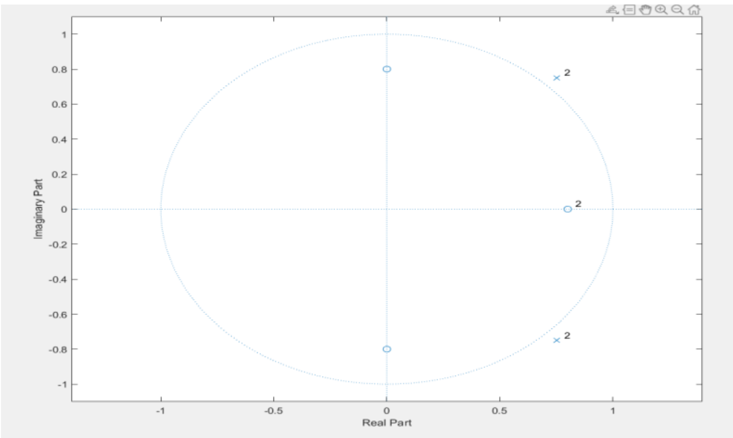


Διάγραμμά κρουστικής απόκρισης:

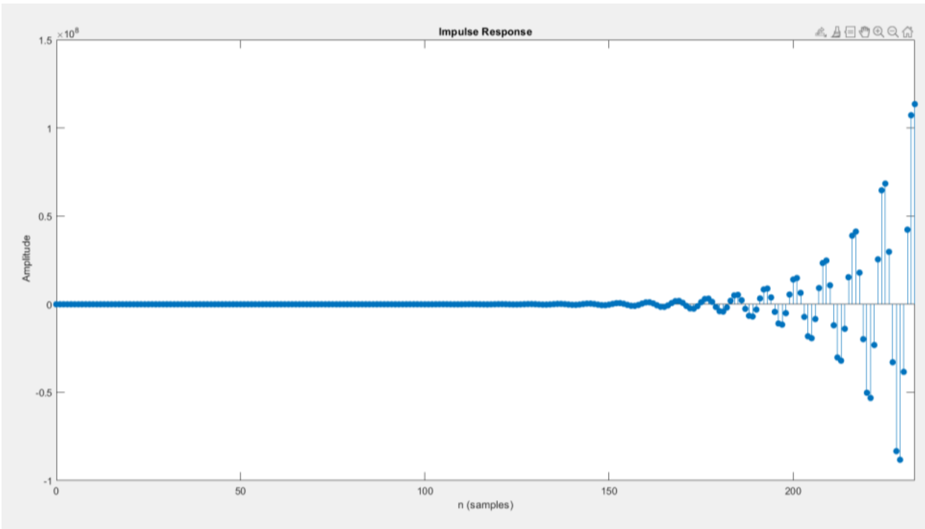


3)Περίπτωση μετακίνηση στις θέσεις 0.75 +/- 0.75i

Διάγραμμα πόλων και μηδενικών:



Διάγραμμά κρουστικής απόκρισης:



Στην συνέχεια θα διατυπώσω τις παρατηρήσεις μου σχετικά με τα παραπάνω αποτελέσματα. Θα μελετήσουμε την ευστάθεια των παραπάνω συστημάτων , συγκεκριμένα ένα σύστημα λέγεται ευσταθές όταν το πεδίο σύγκλισης περιέχει τον μοναδιαίο κύκλο (|z| =1) .Ενώ οριακή ευστάθεια έχουμε σε ένα σύστημα όταν έχει απλό πόλο (πόλο πολλαπλότητας 1) στην μονάδα. Διαφορετικά λέμε ότι το σύστημα είναι ασταθές. {Αιτιατά συστήματα αφου έχουμε αιτιατές κρουστικές}

1. Περίπτωση: Οι πόλοι βρίσκονται εντός του μοναδιαίου κύκλου οπότε το πεδίο σύγκλισης περιέχει το|z| = 1 -> Ευστάθεια στο σύστημα .
2. Περίπτωση: Οι πόλοι βρίσκονται οριακά πάνω στον μοναδιαίο κύκλο επειδή όμως έχουν πολλαπλότητα δύο -> Ασταθές σύστημα.
3. Περίπτωση: Οι πόλοι βρίσκονται εκτός του μοναδιαίου κύκλου οπότε το πεδίο σύγκλισης δεν περιέχει το |z|=1 -> Ασταθές σύστημα.

Αντιστοιχίες με κρουστική απόκριση:

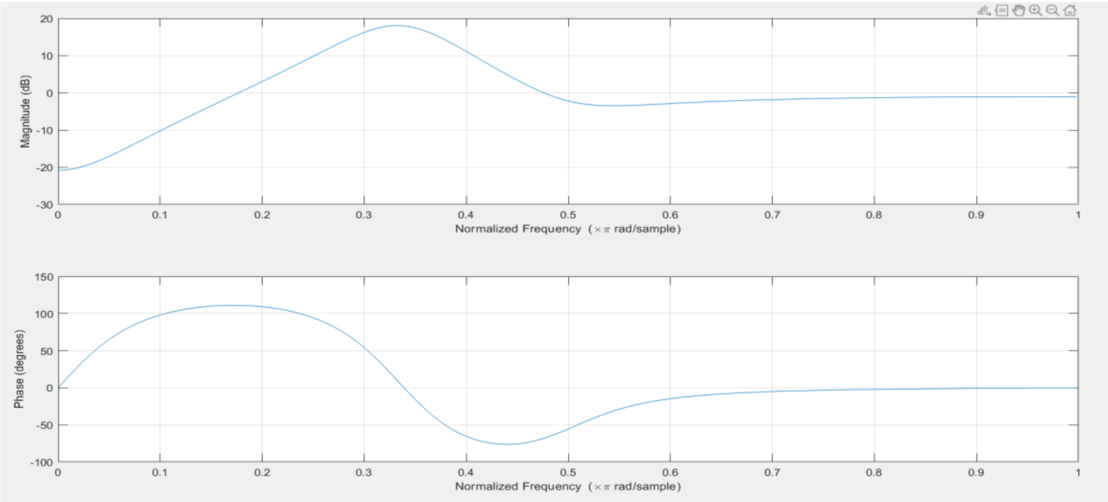
1. Περίπτωση: Το πλάτος τείνει εκθετικά προς μία σταθερά ενώ η κρουστική απόκριση τείνει στο 0 και το σύστημα είναι ευσταθές.

3 . Περίπτωση: Το πλάτος ταλαντώνεται αφου είναι ασταθές.

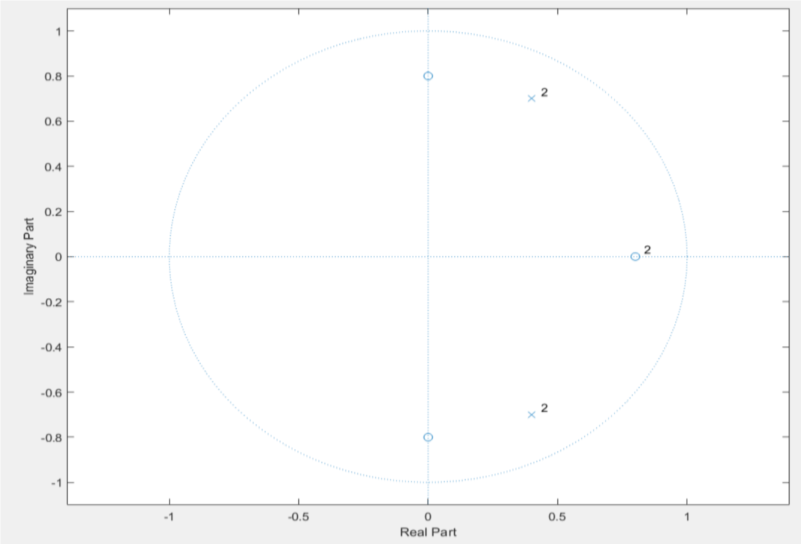
ε) Μετακινούμε τους πόλους στις θέσεις 0.4 +/- 0.7i (πολλαπλότητας 2) και μηδενικά τα ίδια.

Επομένως μετά την μετακίνηση των πόλων λαμβάνουμε τα ακόλουθα διαγράμματα.

Απόκριση πλάτους και φάσης:



Διάγραμμα πόλων και μηδενικών:



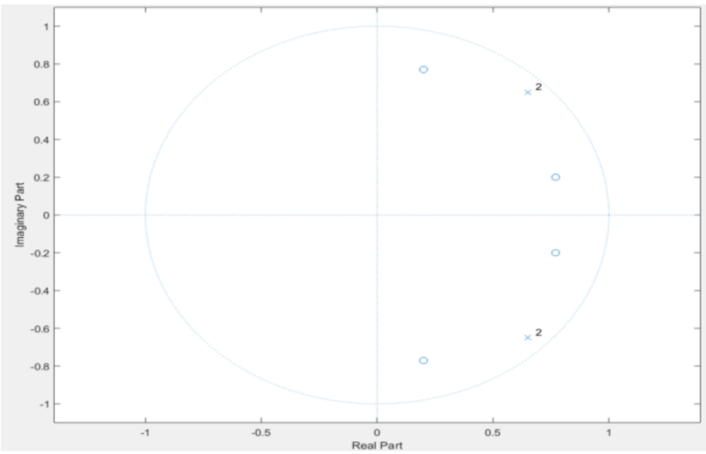
Παρατηρούμε ότι με την μείωση του μέτρου των πόλων ($|0.4 +/- 0.7i|^2 = 0.65 < 0.845 = |0.65 +/- 0.65i|^2$) η απόκριση του πλάτους του φίλτρου μας μετακινείται προς τα δεξιά , δηλαδή επιτρέπει σε μεγαλύτερες συχνότητες να περάσουν . Επίσης Παρατηρούμε ότι από ένα σημείο και μετά το πλάτος για μεγάλες συχνότητες παραμένει σταθερό επομένως το φίλτρο μετατρέπεται σε υψιπερατό φίλτρο (κόβει μόνο τις χαμηλές συχνότητες).

στ) Για πόλους (τους αρχικούς (α)) και μηδενικά στις θέσεις { 0.77 +/- 0.2i , 0.2 +/- 0.77i}

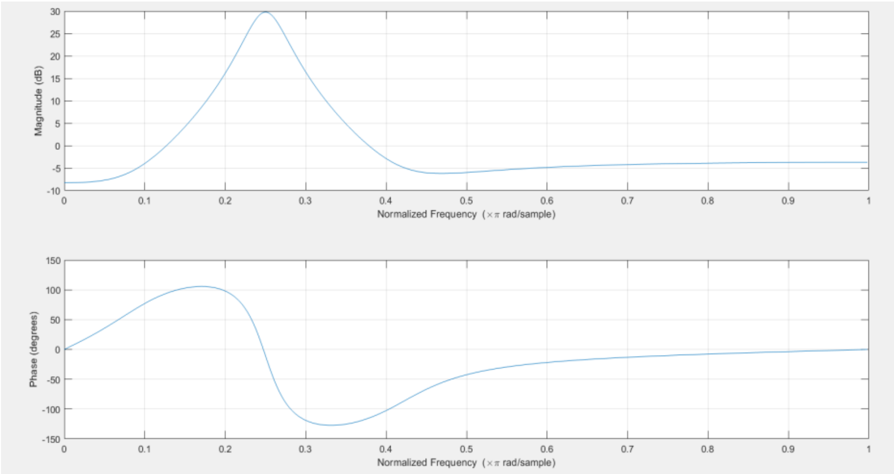
και { 0.4 +/- 0.7i , 0.7 +/- 0.4i } .

1. Περίπτωση : { 0.77 +/- 0.2i , 0.2 +/- 0.77i}

Διάγραμμα πόλων και μηδενικών:



Διάγραμμα Πλάτους και Φάσης:

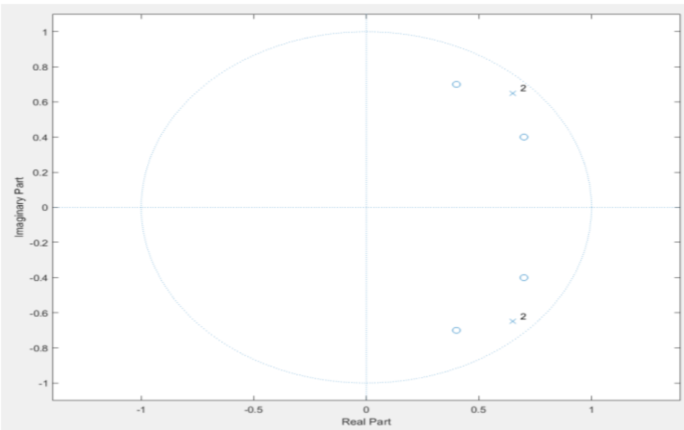


Με πλάτη για την 1 περίπτωση:

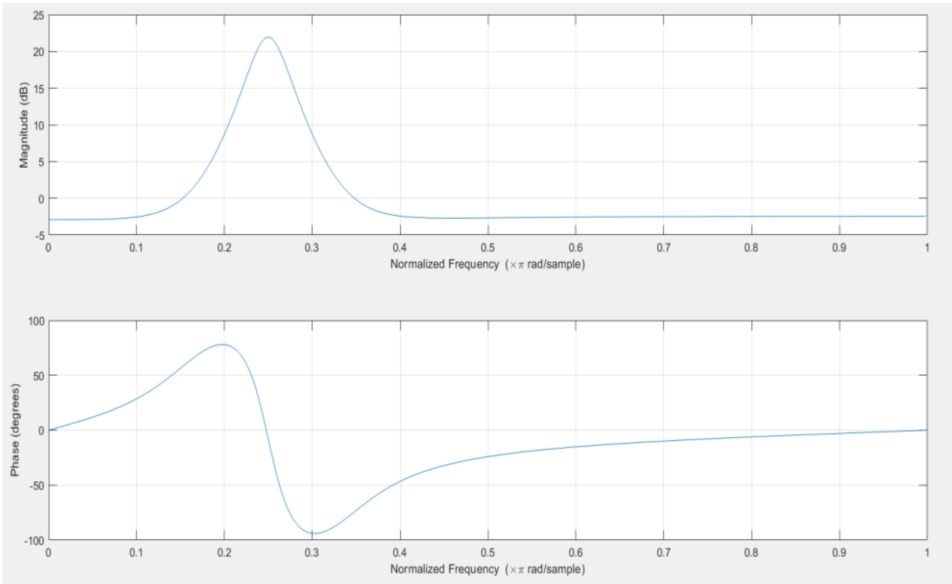
```
b11 =

    1.0000   -1.9400    1.8818   -1.2278    0.4006

a11 =

    1.0000   -2.6000    3.3800   -2.1970    0.7140
```

2. Περίπτωση: { 0.4 +/- 0.7i , 0.7 +/- 0.4i }

   Διάγραμμα πόλων και μηδενικών:



Διάγραμμα Πλάτους και Φάσης:



Πλάτη για την 2 παρατήρηση:

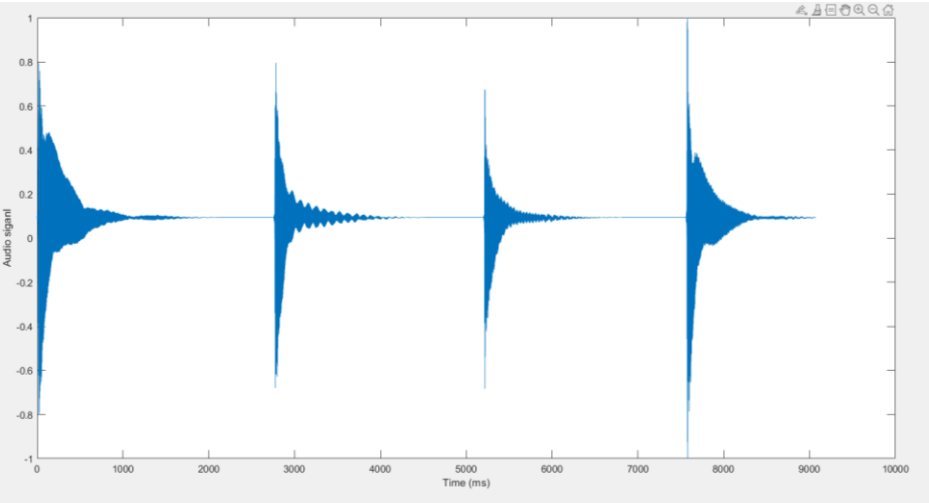
```
b12 =

    1.0000   -2.2000    2.4200   -1.4300    0.4225

a12 =

    1.0000   -2.6000    3.3800   -2.1970    0.7140
```

Παρατηρήσεις: Αρχικά παρατηρούμε ότι τα διαγράμματα απόκρισης πλάτους και φάσης δεν επηρεάζονται σημαντικά με αλλαγή στη θέση των μηδενικών αν και εμφανώς στην πρώτη περίπτωση το (ολικό) μέγιστο του πλάτους (είναι 30) είναι μεγαλύτερο από το (ολικό) μέγιστο του πλάτους στην 2 περίπτωση (είναι 25).Ακόμη παρατηρούμε ότι και στις δύο περιπτώσεις τα διανύσματα a είναι ίδια ενώ τα διανύσματα b διαφέρουν ελάχιστα με κάθε στοιχείο του b στην 2 περίπτωση να είναι ίσο ή ελάχιστα μεγαλύτερο από τα στοιχεία του διανύσματος b στην 1 περίπτωση.

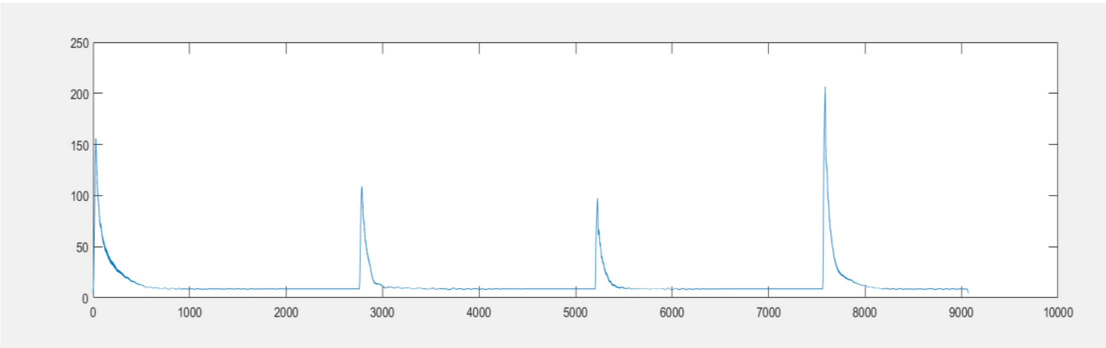
2) Ανάλυση μουσικών Σημάτων και εφαρμογή φίλτρων.

2.1)Ανάλυση μουσικών σημάτων.

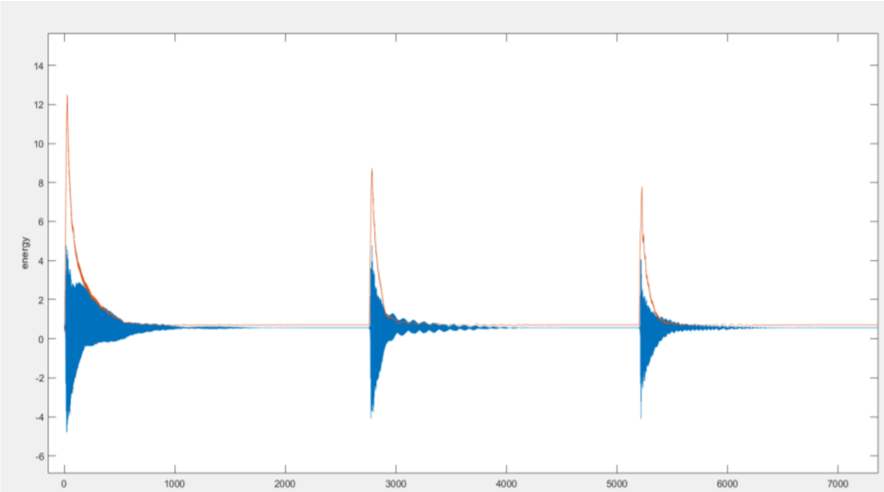
α) Αρχικά φορτώνουμε στο Matlab το αρχείο viola_series.wav που μας δίνεται , μέσω της εντολής audioread() και στην συνέχεια με συχνότητα δειγματοληψίας fs = 44,1kHz και τη συνάρτησης sound ακούμε το παραπάνω σήμα. Έπειτα με την συνάρτηση plot() σχεδιάζουμε το σήμα στο πεδίο του χρόνου όπως φαίνεται παρακάτω.

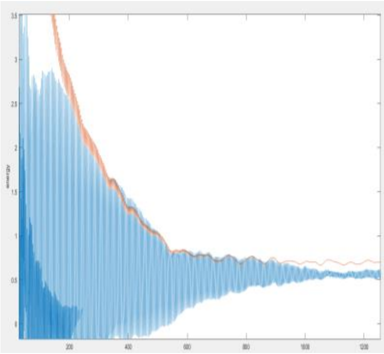


β) Αρχικά κανονικοποιούμε το σήμα μας στο [-1,1] και στην συνέχεια με την σχέση που μας δίνει και την χρήση της συνάρτησης cov() υπολογίζουμε την ενέργεια του σήματος , η οποία έχει την παρακάτω γραφική αναπαράσταση.



Στην συνέχεια για να καταφέρουμε να αναπαραστήσουμε τα δύο σήματα (αρχικό σήμα και ενέργεια) στο ίδιο plot ορίζουμε μια μεταβλητή t όπως φαίνεται στον κώδικα τέτοια ώστε τελικά τα σήματα μας να έχουν το ίδιο length. Οπότε η αναπαράσταση Σήματος ήχου (audio1 -ΜΠΛΕ) και Σήματος ενέργειας (energy-ΚΟΚΚΙΝΟ) στο ίδιο plot φαίνεται παρακάτω:

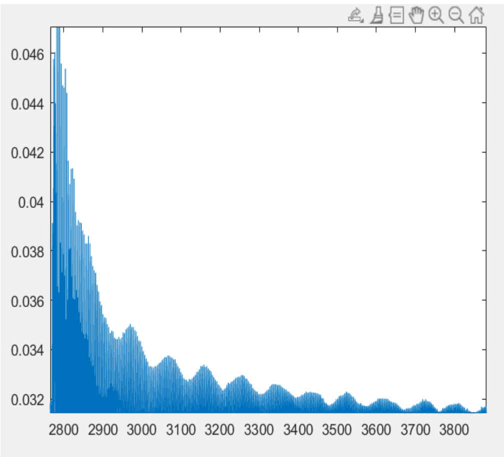


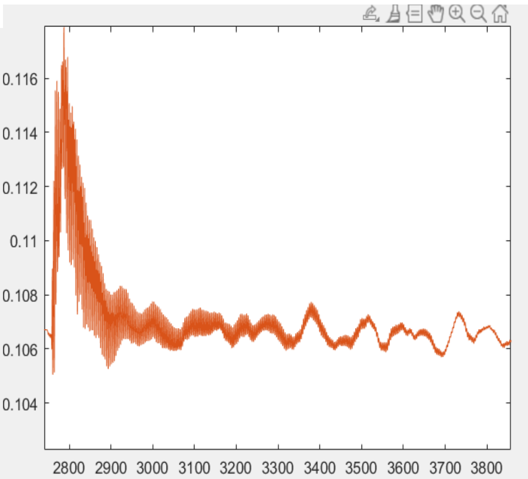


Συνολικά συγκρίνοντας σε ανάλογη κλίμακα τα δύο σήματα προκύπτει όπως εύκολα διαπιστώνεται παρακάτω ότι η ενέργεια προσεγγίζει στην **περιβάλλουσα** του αρχικού σήματος.

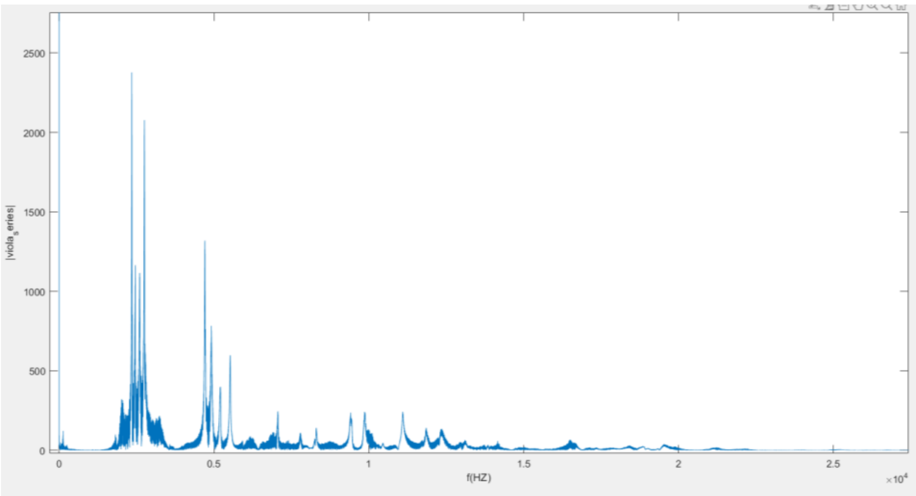
Σήμα ήχου:

Σήμα ενέργειας:



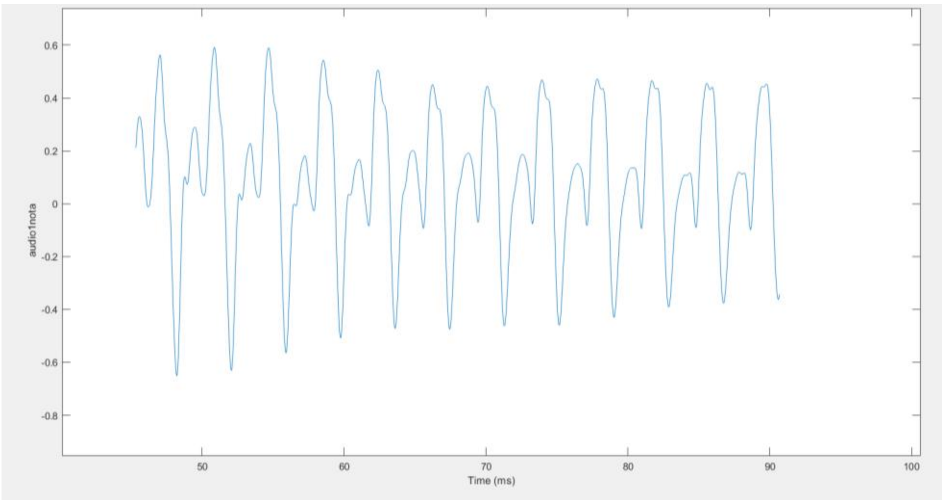


γ) Χρησιμοποιώντας την συνάρτηση fft του MATLAB βρίσκουμε το μέτρο της φάσης του μετασχηματισμού Fourie διακριτού χρόνου του σήματος ήχου viola_series (zoom in)



δ) Απομονώστε μια νότα από το παραπάνω σήμα και σχεδιάστε την στο πεδίο του χρόνου.

Επιλέγουμε να απομονώσουμε την δεύτερη νότα δηλαδή στο διάστημα 2000 ως 4000 του σήματος ήχου. Οπότε έχουμε το παρακάτω αποτέλεσμα:

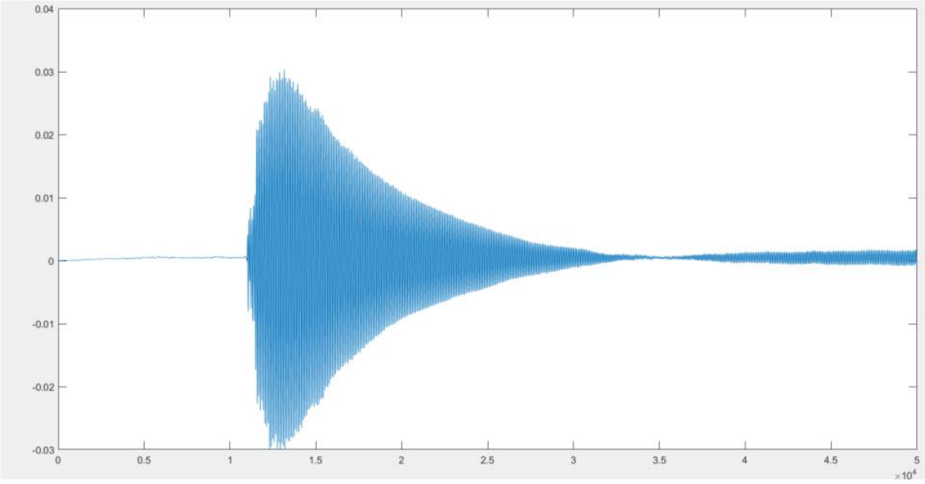


Το σήμα είναι περιοδικό με μεταβαλλόμενο πλάτος. Για να υπολογίσουμε την περίοδο του παραπάνω σήματος βρίσκουμε την διαφορά (στον άξονα χ) ανάμεσα σε δύο διαδοχικές κορυφές .Οπότε 54,62 -50.79 = 3.83ms -> **T =3.83ms.** Συνέπως συχνότητα f = $\frac{1}{T} = \frac{1}{\mathbf{3.83*10^{-3}}}$

f = 261,096H Hz.

2.2)Εφαρμογή φίλτρων για την δημιουργία φίλτρων ηχούς και αντήχησης εφέ σε μουσικά σήματα.

α) Αρχικά στο πρόγραμμα με χρήση της εντολής audioread() φορτώνουμε το αρχείο piano_note.wav που βρίσκεται στο συμπληρωματικό υλικό της άσκησης ενώ ακούμε την νότα (πιάνου) μέσω της εντολής sound() του MATLAB και τέλος σχεδιάζουμε την γραφική αναπαράσταση της παραπάνω νότας με την εντολή plot.



β) Αρχικά θα ασχοληθούμε με την δημιουργία του φίλτρου ήχους για το οποίο μας δίνεται ότι c = 0.6 ενώ για την εύρεση του P έχουμε δεδομένο ότι θέλουμε 0.15 sec καθυστέρηση. Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό από τον όρο x[n-P] στην σχέση που μας δίνει την ηχό πρέπει P = καθυστέρηση * Fs = 0.15 sec * 44100 HZ =>

P = 6615. Συγκεκριμένα ένα φίλτρο ηχούς (echo) ορίζεται από την σχέση:

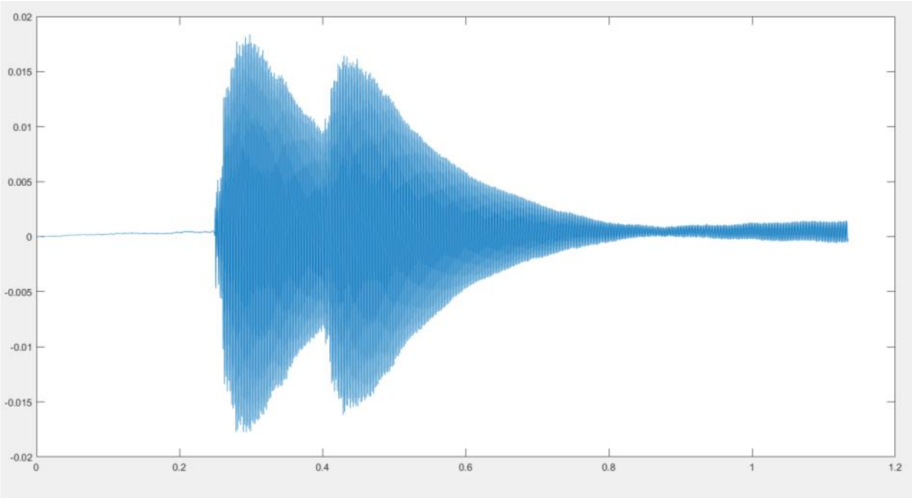
$$y[n] = cx[n] + (1 - c)x[n - P],$$

y[n] = 0.6x[n] +0.4x[n-6615] -> Μετασχηματισμό Z

Y(z) = 0.6 X(z) + $0.4z^{-6615}X(z)$

$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{0.6+0.4*z^{-6615}}{1}$. (Συνάρτηση μεταφοράς)

Οπότε όπως εργαστήκαμε στην 1.1 γράφουμε κατάλληλο κώδικα και έχουμε γραφική αναπαράσταση ηχούς:



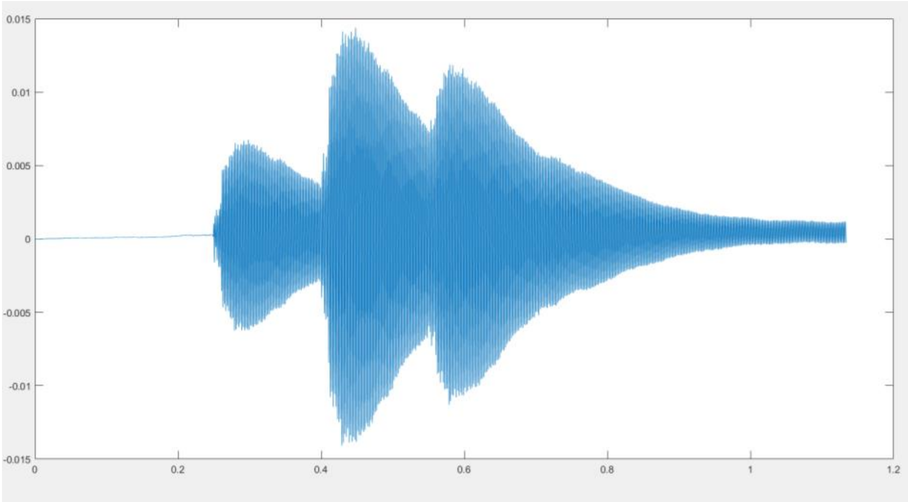
Στην συνέχεια θα ασχοληθούμε με την δημιουργία του φίλτρου αντήχησης , το οπόιο αποτελείται από 3 φίλτρα ηχούς σε σειρά .

Γνωρίζουμε ότι ένα φίλτρο αντήχησης βαθμού 3 δημιουργείτε αν βάλουμε 3 διαδοχικά φίλτρα echo.
Τοποθεντώντας 3 echo φίλτρα στην σειρά (για P=2) γνωρίζουμε ότι η συνολική κρουστική απόκριση του φίλτρου αντήχησης είναι ισοδύναμο (στο πεδίο της συχνότητας) με το γινόμενο των κρουστικών αποκρίσεων που βρίσκονται σε σειρά .

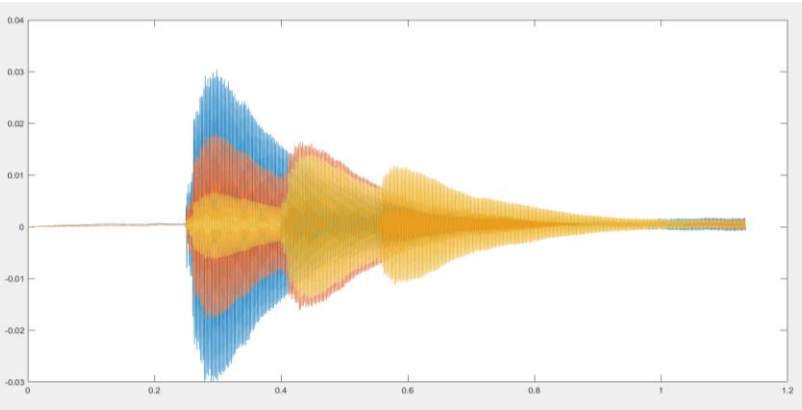
H(z) = $\frac{0.6+0.4*z^{-6615}}{1} * \frac{0.6+0.4*z^{-6615}}{1} * \frac{0.6+0.4*z^{-6615}}{1}$ ->

$$H(z) = \frac{0.216 * z^{0} + 0.432 * z^{-6615} + 0.288 * z^{-13230} + 0.064 * z^{-19845}}{1}$$

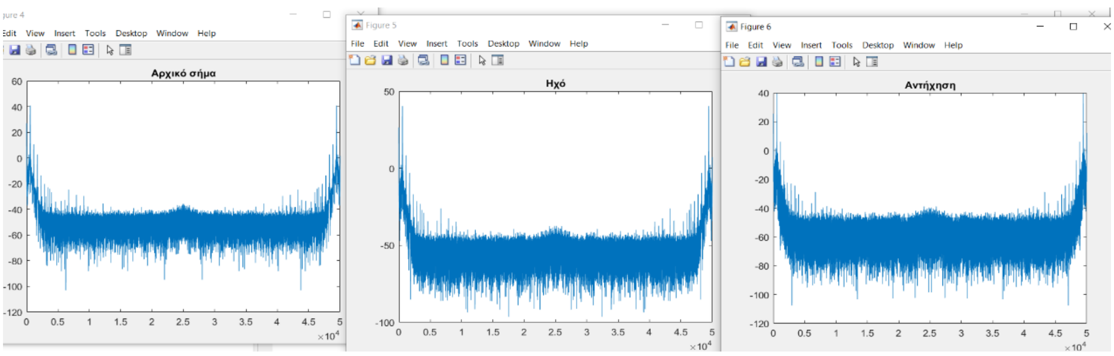
Στο πρόγραμμα του MATLAB τοποθετούμε για ευκολία απλώς τρία φίλτρα ηχούς σε σειρά όπως φαίνεται στον κώδικα. Οπότε έχουμε την γραφική παράσταση του σήματος της αντήχησης μέσω της εντολής plot για το κατάλληλο σήμα. Επίσης με χρήση της εντολής sound ακούσαμε το σήμα.



Για λόγους εποπτικής πληρότητας κανονικοποιούμε και βάζουμε στο ίδιο plot τα τρία σήματα(αρχικό,ηχό,αντήχηση):



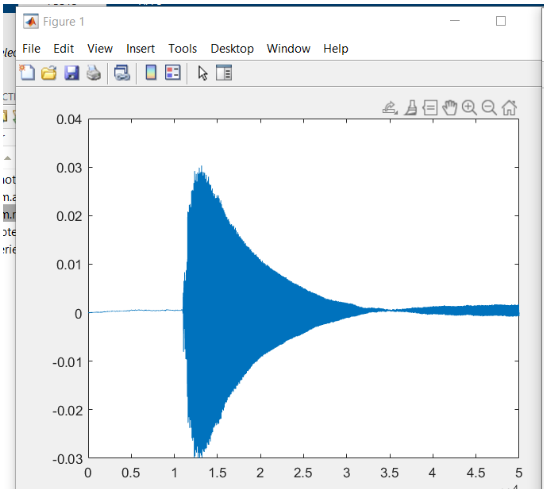
γ)Σε αυτό το ερώτημα μας ζητείται να σχεδιάσουμε μέσω του MATLAB το μέτρο του φάσματος σε λογαριθμική κλίμακα για τα τρία σήματα των προηγούμενων ερωτημάτων. Οπότε με χρήση της εντολής fft() λαμβάνουμε τα παρακάτω διαγράμματα σε dB.

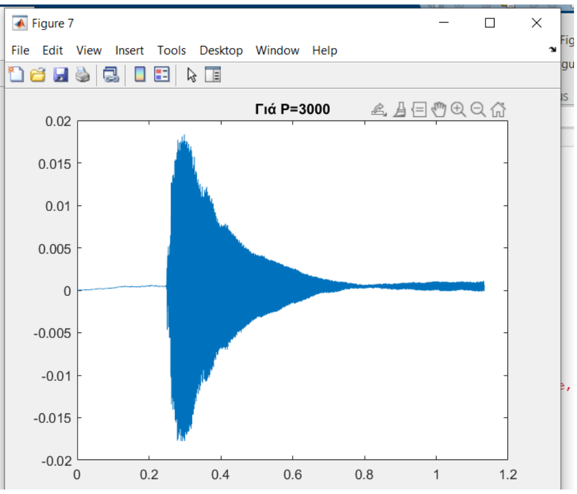


Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα του μέτρου φάσης για τα παραπάνω σήματα γίνεται εμφανής μία ομοιότητα τόσο όσο στην μορφή όσο και στην διάρκεια τους το οποίο είναι αναμενόμενο αφόυ από την ηχό και την αντήχηση δεν παράγονται νέες συχνότητες . Επιπλέον έχουμε ότι το πλάτος του μέτρου της φάσης αυξάνεται ,δηλαδή η ηχό έχει μεγαλύτερο πλάτος (προς τα αρνητικά) από το αρχικό σήμα και η αντήχηση έχει μεγαλύτερο πλάτος (προς τα αρνητικά) από την ηχό συνεπώς και το αρχικό σήμα.

δ) Αναζητούμε το κατάλληλο P για το οποίο το φίλτρο ηχούς σταματάει να γίνεται αντιληπτό όταν εφαρμόζεται στο αρχικό μας σήμα(audio 2). Όπως βρήκαμε από τα προηγούμενα ερωτήματα το

P =6615 ώστε να έχουμε καθυστέρηση 0.15sec και γίνεται πλήρως αντιληπτό το φαινόμενο της ηχούς .Συνεπώς επαναλαμβάνουμε τον ίδιο κώδικα στο MATLAB που γράψαμε στο ερώτημα (β) για το φίλτρο της ηχούς. Αυτή την φορά όμως μειώνουμε σταδιακά την τιμή του P (κάνουμε δηλαδή δοκιμές για διάφορες τιμές) μέχρι να βρούμε την κατάλληλη τιμή ώστε το φίλτρο της ηχούς να μην έχει κάποια σημαντική επίδραση στο αρχικό μας σήμα. Ώστε να επιβεβαιώσουμε ότι θα συμβεί αυτό εξετάζουμε με δύο τρόπους το νέο σήμα <<ηχούς >> που προκύπτει , με την εντολή sound() ακούμε το σήμα και το συγκρίνουμε με τον ήχο του αρχικού σήματος και με την εντολή plot() παρατηρούμε την γραφική των δύο σημάτων. Οπότε μετά από αρκετές δοκιμές καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι για η ιδανική τιμή ώστε να σταματήσει να γίνεται αντιληπτό το echo effect είναι **P=3000**.





Απο το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι ένα φίλτρο ηχούς για P=3000 αφήνει ανεπηρέαστο το αρχικό σήμα ,ενώ με την εντολή sound() δεν γίνεται αντιληπτή κάποια διαφορά ανάμεσα στα δύο σήματα.

Για λόγους πληρότητας θα υπολογίσουμε και την καθυστέρηση που δημιουργεί ένα τέτοιο σήμα:

P = fs*Καθυστέρηση -> **Καθυστέρηση** $= \frac{P}{fs} = \frac{3000}{44100} = 0,068\ sec$.

ε) Στην συνέχεια με χρήση της εντολής audiowrite() (Όχι wavwrite καθώς για κάποιο λόγο δεν λειτουργούσε στο MATLAB μου) αποθήκευσα τα δύο φιλτραρισμένα σήματα σε δύο αρχεία

```
echoed.wav : Για το φίλτρο της ηχούς.
reverbed.wav : Για το φίλτρο της αντήχησης.
```

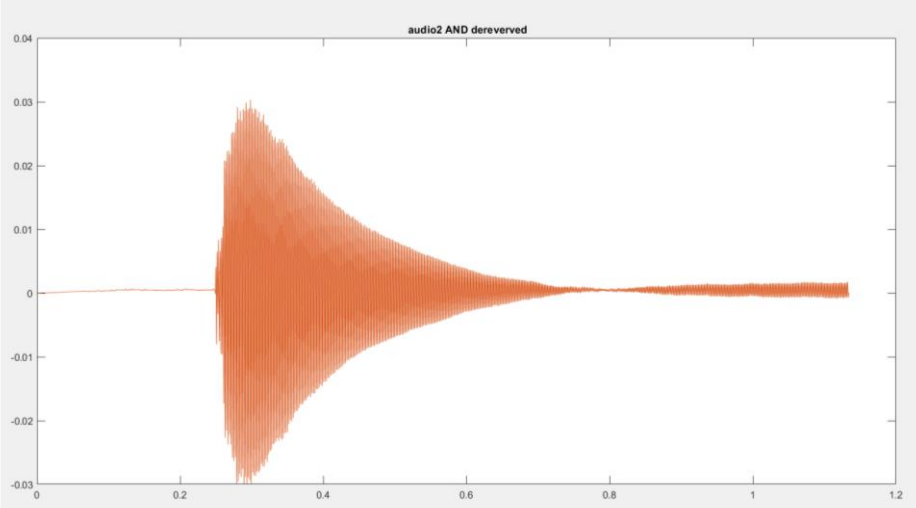
στ) Κατασκευή φίλτρου με σκοπό την απαλοιφή της αντήχησης (dereverbed).

Στον κώδικα του matlab για να σχεδιάσουμε ένα dereverbed φίλτρο χρησιμοποιούμε την ίδια μέθοδο που χρησιμοποιήσαμε στην άσκηση 1.1 στο ερώτημα (στ) ,δηλαδή αντιστρέφουμε τους όρους a ,b μόνο που αυτήν την φορά την συνδυάζουμε με την τεχνική του ερωτήματος (β) σχετικά με το φίλτρο reverbed αλλά αντίστροφα .Συνεπώς συνδυάζουμε 3 φίλτρα στην σειρά με το καθένα να απαλοίφει και μια ηχό αρχίζοντας προφανώς από το reverbed σήμα με σκοπό να καταλήξουμε στο audio2 –(αρχικό σήμα).

Η διαδικασία που προγράψαμε παραπάνω συνοπτικά σε κώδικα:

```
s1 = filter(a1,b1,reverbed); % Ουσιαστικά εναλλάξαμε τις θέσεις των a,b
s2 = filter(a1,b1,s1); % Και βάλαμε 3 τέτοια φίλτρα στη σειρά
dereverbed = filter(a1,b1,s2);
```

Παρακάτω παρουσιάζουμε στο ίδιο διάγραμμα το αρχικό σήμα audio2 και το dereverbed σήμα που εφαρμόζεται στο reverbed σήμα του audio2:



Παρατήρηση: Βλέπουμε λοιπόν ξεκάθαρα ότι υπάρχει επικάλυψη ,δηλαδή ότι τα δύο σήματα ταυτίζονται (είναι πανομοιότυπα) .