ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



ΚΟΒΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

<u>ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ</u>:

ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΑΖΩΝ ΚΑΘΥΣΗΧΑΣΗΣ

ΧΑΝΙΑ,2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....σελ 3
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....σελ 3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....σελ 6
2.ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.....σελ 6
2.1.ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ.....σελ 6
2.1.1.ΜΟΝΙΜΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ.....σελ 6
2.2.ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ TMDS .....σελ 7
2.3.ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....σελ 8
2.3.1.ΧΩΡΙΣ TMDS .....σελ 8
2.3.1.1.ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....σελ 8
2.3.1.2.ΔΥΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....σελ 8
2.3.1.3.ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....σελ 9
2.3.2.ΜΕ TMDS .....σελ 12
2.3.2.1.ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....σελ 12
2.3.2.2.ΔΥΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....σελ 12
2.3.2.3.ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....σελ 13
2.4.ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ 3 ΒΑΘΜΟΥΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ.....σελ 17
2.4.1.ΧΩΡΙΣ TMDS.....σελ 17
2.4.2.ΜΕ TMDS.....σελ 19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....σελ 22
3.1.ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.....σελ 22
3.1.1. MATLAB.....σελ 22
3.1.2.ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ MATLAB.....σελ 23
3.2.ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΧΩΡΙΣ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ(TMDS).....σελ 24
3.3.ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ(TMDS).....σελ 30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....σελ36
4.1.ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΙΔΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑ.....σελ36
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ 39

Κεφαλαίο 1

1.Εισαγωγή
Tuned Mass Dampers

Το Tuned Mass Dampers (TMD) είναι μία διάταξη απόσβεσης με μάζες συντονισμού(μάζες καθυσύχασης), μία συσκευή δηλαδή η οποία αποτελείται από μία μάζα,ένα ελατήριο και μία διάταξη απόσβεσης που είναι συνδεδεμένη με μία δομική κατασκευή προκειμένου να μειωθεί το πλάτος των μηχανικών κραδασμών ή αρμονικών δονήσεων(δυναμική απόκριση) της.
Αυτοί οι ανεπιθύμητοι κραδασμοί μπορεί να προκαλούνται από περιβαλλοντικές δυνάμεις που ενεργούν σε μια δομή, όπως ένας σεισμός, είτε από μια φαινομενικά αθώα πηγή κραδασμών που μπορεί να είναι καταστροφική, δυσάρεστη ή απλώς ενοχλητική.
Το σύστημα TMD χρησιμοποιείται κυρίως ψηλές και λεπτές δομικές κατασκευές (γέφυρες, πυλώνες των γεφυρών,κτήρια, καπνοδόχοι, πύργοι TV) οι οποίοι τείνουν να διεγερθούν επικίνδυνα από τον αέρα ή από έναν σεισμό.





Burj Al Arab (dubai)

(11 αποσβεστήρες TMDS)



Shanghai World Financial Center

(ΚΙΝΑ)



Fernsehturm Berlin



Park Tower(το πρώτο κτήριο στις Η.Π.Α που σχεδιάστηκε με TMDS από την αρχή)



Crystal Tower (Osaka)



Όσον αφορά τη παρούσα εργασία, σκοπός αυτής είναι η παρουσίαση της μόνιμης/σεισμικής απόκρισης πολλών βαθμών ελευθερίας(εδώ δοκιμαστικά τρείς βαθμούς ελευθερίας) ενός συστήματος(κτήριο-κατασκευή).Ειδικότερα,απεικονίζεται στο ίδιο γράφημα κάθε φορά,η απόκριση κάθε ενός από τους τρείς βαθμούς ελευθερίας με και χωρίς δυνάμεις απόσβεσης.Ο λόγος που οδήγησε σε μία τέτοια ανάλυση είναι διότι σε μία κατασκευή,είναι απαραίτητο να έχουμε τη δυνατότητα μείωσης της ταλάντωσης της σε περίπτωσης διέγερσης όσο το δυνατό καλύτερα.Έτσι,στη συγκεκριμένη εργασία καταφέραμε να απεικονίσουμε την επίδραση ενός συγκεκριμένου τύπου αποσβέστη(Tuned Mass Damper) σε μία τέτοια περίπτωση.
Αρχικά,στο πρώτο σκέλος της εργασίας, θεωρήσαμε το μοντέλο μας ώς ένα σύστημα 'n' μαζών και ελατηρίων(n βαθμών ελευθερίας) το οποίο διεγείρεται από μία δύναμη F και ταλαντώνεται χωρίς το σύστημα απόσβεσης μας.Δημιουργήσαμε το μητρώο μαζών,αποσβέσεων και δυσκαμψίας και θεωρώντας ένα τριτοβάθμιο σύστημα,εξήγαμε με τη χρήση του προγράμματος Matlab τις αποκρίσεις του στις τρείς θέσεις.Στη συνέχεια,στο δεύτερο σκέλος, πάνω στο ίδιο μοντέλο με τις 'n' μάζες και ελατήρια προσθέσαμε σε κάθε θέση (μάζα) το σύστημα απόσβεσης, διεγείροντας το και πάλι με μια δύναμη F.Δημιουργήσαμε το μητρώο μαζών, αποσβέσεων και δυσκαμψίας και θεωρώντας πάλι ένα τριτοβάθμιο σύστημα εξήγαμε τις αντίστοιχες αποκρίσεις.Χρήσιμα συμπεράσματα εξήλθαν απο αυτή την ανάλυση,τα οποία και παρουσιάζονται στο τέλος της εργασίας αυτής.

Κεφαλαίο 2

2. Θεωρητική Προσέγγιση

2.1)ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ Ν ΒΑΘΜΟΥΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ

Κατά τη περιοδική διέγερση το γραμμικό δυναμικό σύστημα διεγείρεται αρμονικά με

$$F(t)=\begin{Bmatrix} F1(t) \\ F2(t) \\ \dots \\ Fn(t) \end{Bmatrix} = fc\cos\Omega t + fs\sin\Omega t = \begin{Bmatrix} Fc1 \\ Fc2 \\ \dots \\ Fcn \end{Bmatrix}\cos\Omega t + \begin{Bmatrix} Fs1 \\ Fs2 \\ \dots \\ Fsn \end{Bmatrix}\sin\Omega t$$

Η μόνιμη απόκριση του παραπάνω συστήματος είναι ανάλογη της μορφής της διέγερσης,δηλαδή :

$$X(t)=\begin{Bmatrix} X1(t) \\ X2(t) \\ \dots \\ Xn(t) \end{Bmatrix} = pc\cos\Omega t + ps\sin\Omega t = \begin{Bmatrix} Pc1 \\ Pc2 \\ \dots \\ Pcn \end{Bmatrix}\cos\Omega t + \begin{Bmatrix} Ps1 \\ Ps2 \\ \dots \\ Psn \end{Bmatrix}\sin\Omega t$$

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις , χωρίς και με δυνάμεις απόσβεσης.Στη παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε μόνο με τη δεύτερη καθώς ακόμη και στη περίπτωση όπου δεν χρησιμοποιείται ο αποσβέστης εμφανίζονται τέτοιου είδους δυνάμεις.

2.1.1)ΜΟΝΙΜΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

Για τον υπολογισμό της μόνιμης απόκρισης χρησιμοποιήσαμε Μιγαδικές Συναρτήσεις.
Έτσι, σε ένα δυναμικό σύστημα στο οποίο επιδρά η περιοδική διέγερση

$$F(t)= f^* \cdot e^{j\Omega t} + \overline{f^* \cdot e^{j\Omega t}} = \begin{Bmatrix} F1^* \\ \dots \\ Fn^* \end{Bmatrix}\cdot e^{j\Omega t} + \overline{\begin{Bmatrix} F1^* \\ \dots \\ Fn^* \end{Bmatrix}\cdot e^{j\Omega t}}$$

Γράφεται με τη βοήθεια μιγαδικών αριθμών στη μορφή :

$$M\cdot x'' + C\cdot x' + K\cdot x = f^*\cdot e^{j\Omega t} + \overline{f^*\cdot e^{j\Omega t}}$$

Και η λύση του παραπάνω δυναμικού συστήματος είναι ίση με :

$$X(t)= Xo^*\cdot e^{j\Omega t}\overline{+ Xo^*\cdot e^{j\Omega t}}$$

Εισάγοντας τη παραπάνω σχέση στη διαφορική εξίσωση προκύπτει :

$[(- M \Omega^2 + K) + j C \Omega] \cdot Xo^* \cdot e^{j\Omega t} + [(- M \Omega^2 + K) + j C \Omega] \overline{Xo^* \cdot e^{j\Omega t}} = f^* \cdot e^{j\Omega t} + \overline{f^* \cdot e^{j\Omega t}}$

Και συνεπώς το διάνυσμα Xo* υπολογίζεται εύκολα από τη σχέση(το συζυγές διάνυσμα προκύπτει άμεσα γνωρίζοντας το Xo*):

$[(- M \Omega^2 + K) + j C \Omega] \cdot Xo^* = f^*$

Όπου :

M : Μητρώο αδράνειας

K : Μητρώο δυσκαμψίας

C : Μητρώο απόσβεσης

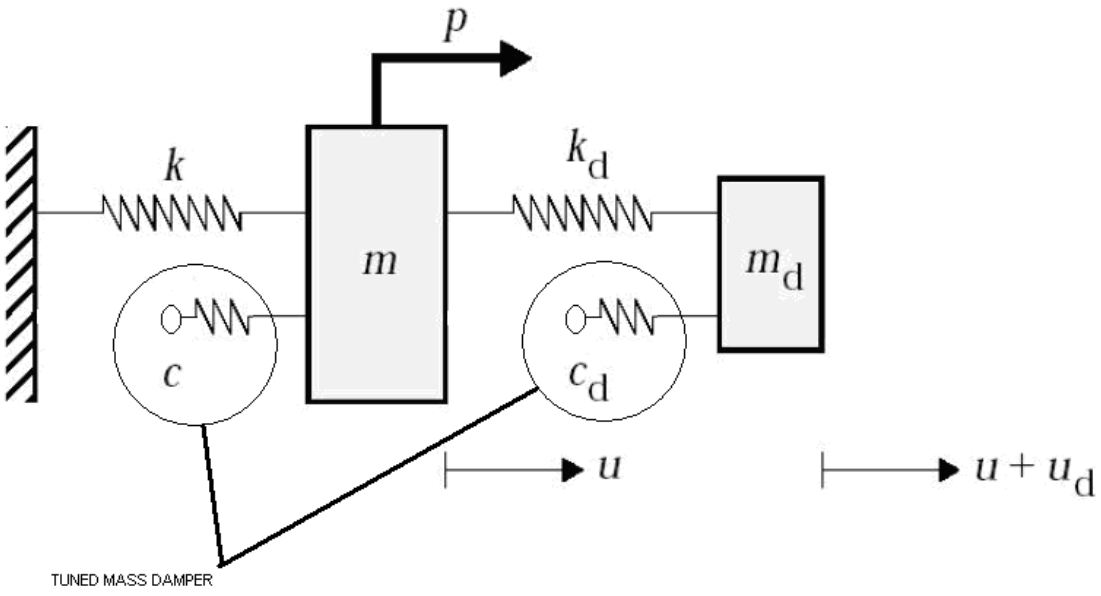
X : Διάνυσμα των βαθμών ελευθερίας x1, x2, . . . ,xn

F : Διάνυσμα των εξωτερικών δυνάμεων ή διεγέρσεων

Ω : Συχνότητα διέγερσης

2.2)ΣΥΣΤΗΜΑ TUNED MASS DAMPER

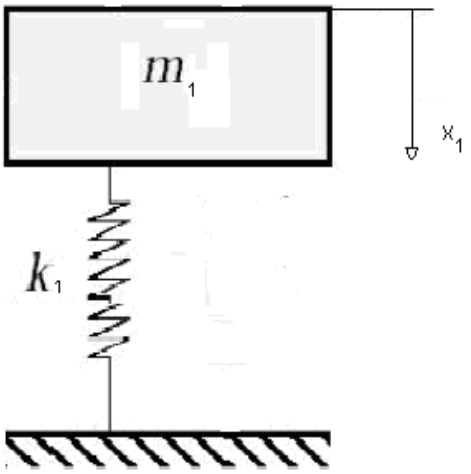
Το Tuned Mass Dampers (TMD), όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, είναι μία διάταξη απόσβεσης , η οποία αποτελείται από μία μάζα και ένα ελατήριο που είναι συνδεδεμένη με μία δομή προκειμένου να μειωθεί το πλάτος των μηχανικών κραδασμών ή αρμονικών δονήσεων της.



2.3)ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΥΜΑΤΟΣ

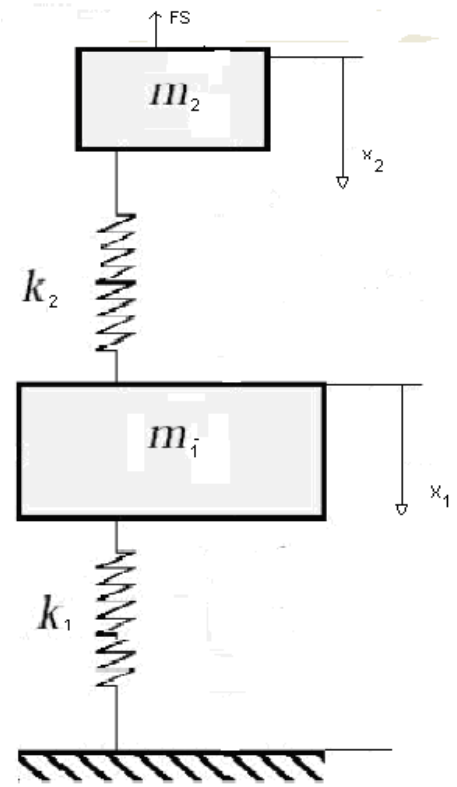
2.3.1)ΧΩΡΙΣ TMDS

2.3.1.1)ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



Εξίσωση Κίνησης : M1*x1''+k1*x1=f1

2.3.1.2)ΔΥΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



Σε ένα μηχανικό σύστημα αποτελούμενο από δύο μάζες m1 και m2, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με ελατήριο k2, δρά η κινητική διέγερση x(t) μέσω του ελατηρίου k1 και η δύναμη fs. Η δυναμική κατάσταση του συστήματος περιγράφεται από τις μετατοπίσεις x1,

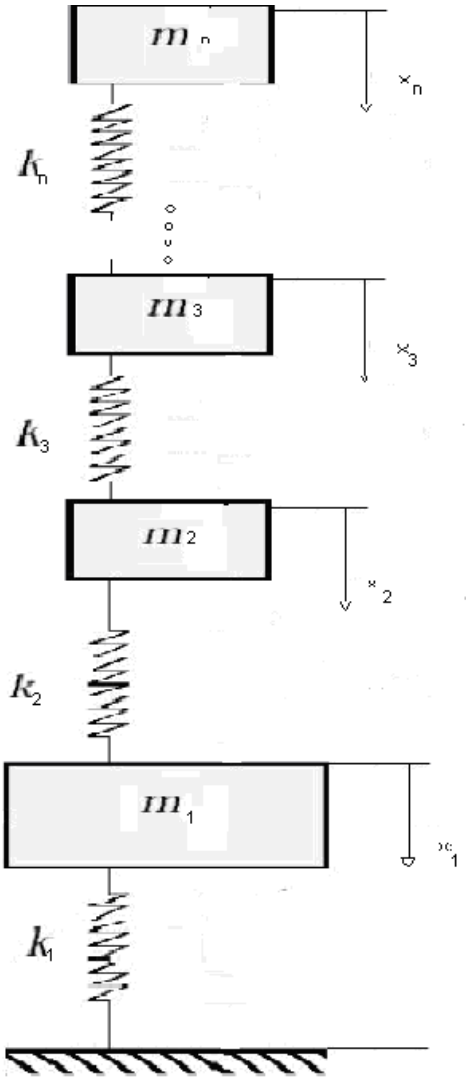
x2, με τις οποίες καθορίζονται οι αδρανειακές δυνάμεις mx1'', mx2'' και οι ελαστικές δυνάμεις k2(x2-x1), k1(x1-0).
Το μηχανικό σύστημα έχει δύο κόμβους με κοινή ροή που προσδιορίζονται στις μάζες m1 και m2. Συνεπώς για κάθε ένα κόμβο κοινής ροής ισχύουν οι εξής εξισώσεις ισορροπίας :

Σ Fα (α=m, k, t)=F-M2*x2''-k2*(x2-x1)=0
=> M2*x2''+k2*(x2-x1)= F

Σ Fα (α=m, k, t)=-M1*x1''-k2*(x1-x2)-k1*(x1-0)=0
=> M1*x1''+k2*(x1-x2)+k1*x1= 0
Το ανωτέρω σύστημα γράφεται σε μητρωική μορφή :

$$\begin{bmatrix} M1 & 0 \\ 0 & M2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x1'' \\ x2'' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k1+k2 & -k2 \\ -k2 & k2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x1 \\ x2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f1 \\ f2=0 \end{bmatrix}$$

2.3.1.3)ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία οι εξισώσεις είναι :

Mn*xn’’+kn*(xn-xn-1)= F

…….

…….

…….

M2*x2’’+k3*(x2-x3)+k2*(x2-x1)= 0

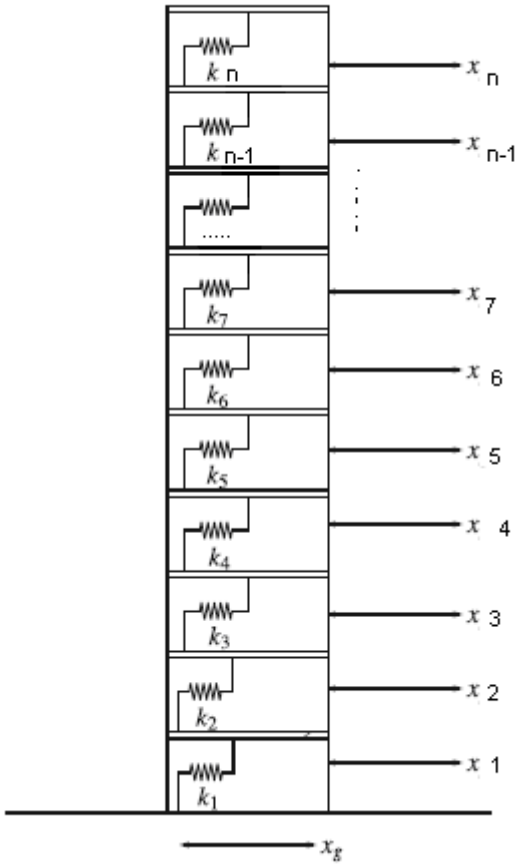
M1*x1’’+k2*(x1-x2)+k1*(x1-0)= 0

Το ανωτέρω σύστημα γράφεται σε μητρωική μορφή :

$$M=\begin{matrix} M1 & 0 & 0 & ..... & 0 \\ 0 & M2 & 0 & ..... & 0 \\ 0 & 0 & M3 & ..... & 0 \\ . & & . & & . \\ 0 & 0 & 0 & .....Mn & \end{matrix}, \quad K=\begin{matrix} k1+k2 & -k2 & 0 & \ldots\ldots\ldots\ldots & 0 \\ -k2 & k2+k3 & -k3 & \ldots\ldots\ldots\ldots & 0 \\ 0 & -k3 & k3+k4 & \ldots\ldots\ldots\ldots & 0 \\ \ldots & & & .... & \\ .. & & & \ldots & \\ \ldots & & & \ldots. & \\ \ldots & & & (kn\text{-}2+kn\text{-}1) & -kn\text{-}1 \end{matrix}$$

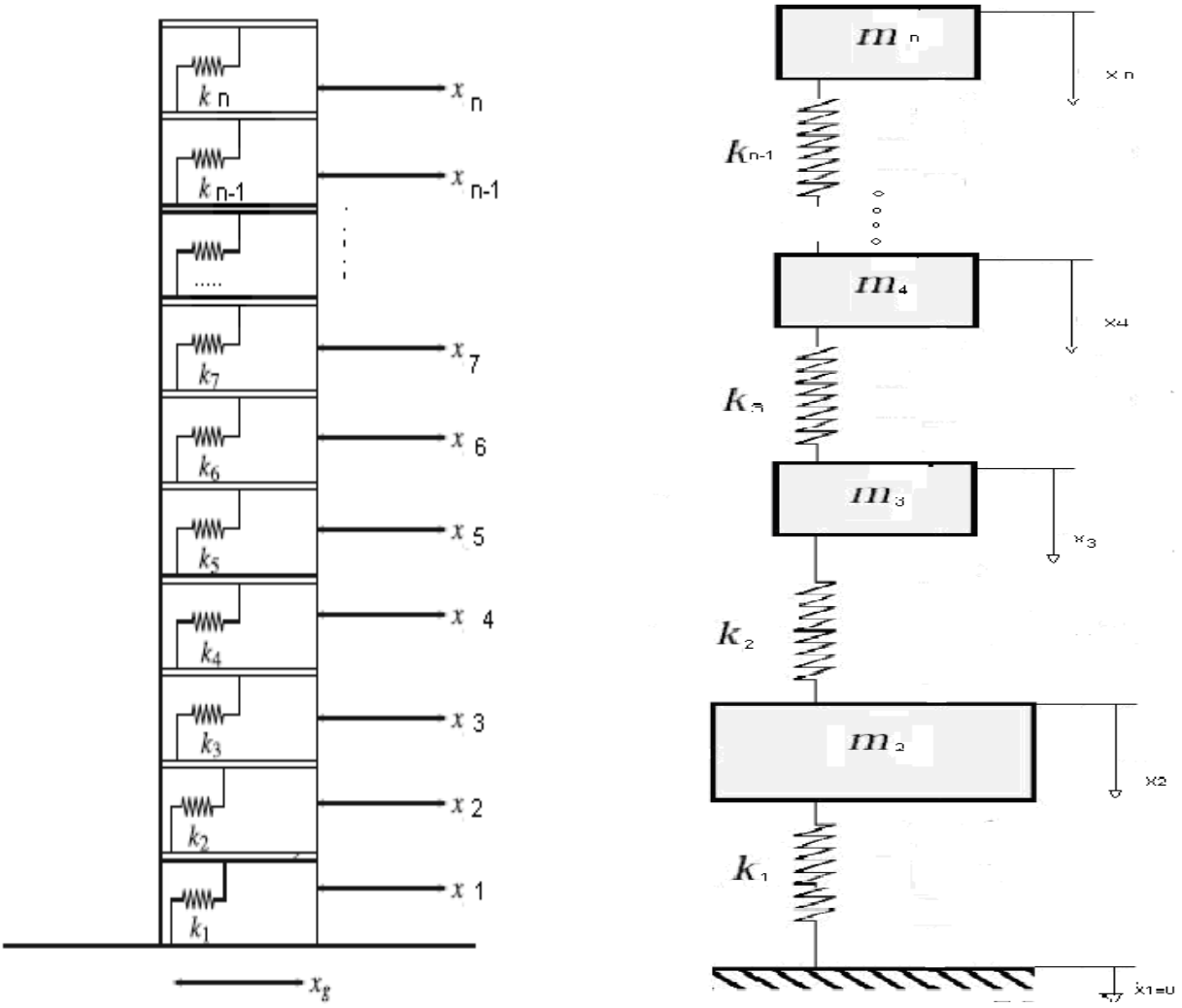
=> M * x’’ + K* x =f

Για τη προσομοίωση ενός κτηρίου δημιουργήσαμε ένα μοντέλο αποτελούμενο από ένα σύστημα ελατηρίων και μαζών όπως παρουσιάζεται παρακάτω **με τη διαφορά ότι στο μοντέλο μας στη θέση 1 έχουμε τη μάζα 2 και η μετατόπιση στη θέση 0 είναι x1=0** :



Ωστόσο,για τη διευκόλυνση μας μετασχηματίσαμε το συγκεκριμένο σύστημα ως εξής :

ΣΧΕΔΙΟ ΑΡΧΙΚΟ ⟷ ΣΧΕΔΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ



Για τη σύνθεση και την επίλυση του δυναμικού μας συστύματος με N βαθμούς ελευθερίας x ={x1, x2, x3,…., xn}, δημιουργήσαμε τις εξισώσεις κίνησης οι οποίες γράφονται σε μητρωική μορφή ως εξής :

$M \cdot x'' + C \cdot x' + K \cdot x = f$

⇨ $M \cdot x'' + (0.01*M + 0.01*K) \cdot x' + K \cdot x = f$

Όπου τα μητρώα αδράνειας, δυσκαμψίας και απόσβεσης δίνονται αντίστοιχα ώς εξής:

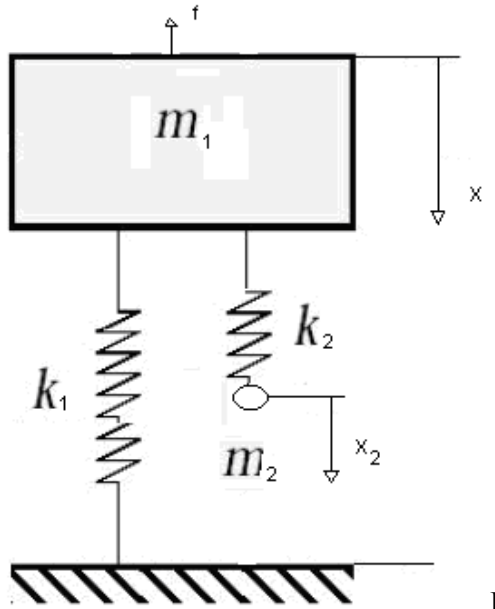
$$M=\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & ..... & 0 \\ 0 & m2 & 0 & ….. & 0 \\ 0 & 0 & m3 & ..... & 0 \\ . & & . & & . \\ & . & & . & \\ . & & . & & . \\ 0 & 0 & 0 & ..... & mn \end{pmatrix} , \quad K=\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 0 \\ 0 & k1+k2 & -k2 & 0 & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 0 \\ 0 & -k2 & k2+k3 & -k3 & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 0 \\ 0 & 0 & -k3 & k3+k4 & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 0 \\ & . & & & \ldots \\ . & & & & \ldots\ldots \\ . & & & & (kn-2+kn-1) - kn-1 \end{pmatrix}$$

$$C = 0.01 * \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & ..... & 0 \\ 0 & m2 & 0 & ..... & 0 \\ 0 & 0 & m3 & ..... & 0 \\ . & & & . & . \\ . & & & . & . \\ 0 & 0 & 0 & ..... & mn \end{pmatrix} + 0.01 * \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 0 \\ 0 & k1+k2 & -k2 & 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 0 \\ 0 & -k2 & k2+k3 & -k3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 0 \\ 0 & 0 & -k3 & k3+k4 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 0 \\ . & & & \ldots. \\ . & & & (kn-2+kn-1) - kn-1 \end{pmatrix}$$

$$x = \begin{pmatrix} 0 \\ x2 \\ x3 \\ .. \\ .. \\ .. \\ x\ n \end{pmatrix}$$

2.3.2) ΜΕ TMDS

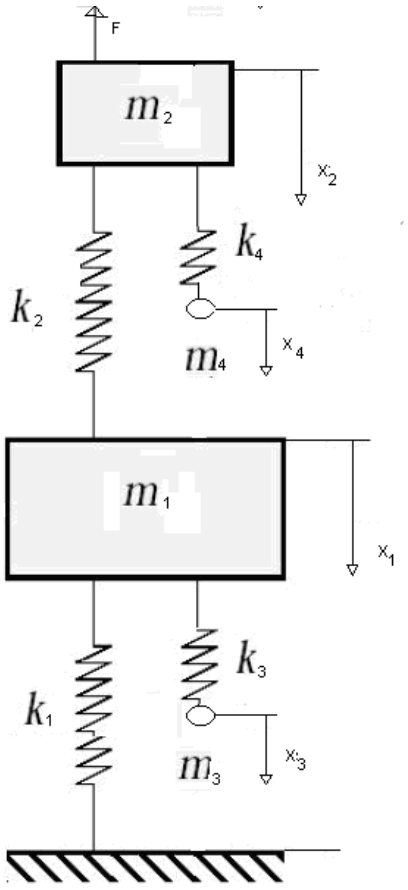
2.3.2.1)ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



Εξίσωση Κίνησης :

M1*x1’’+k1*(x1-0)+k2*(x1-x2)=f1

2.3.2.2)ΔΥΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



Οι εξισώσεις πλέον γράφονται :

M1*x1’’+ k1*x1+k2*(x1-x2)+k3*(x1-x3)= 0
M2*x2’’+ k2*(x2-x1)+k4*(x2-x4)= f
M3*x3’’+k3*(x3-x1)= 0
M4*x4’’+k4*(x4-x2)= 0

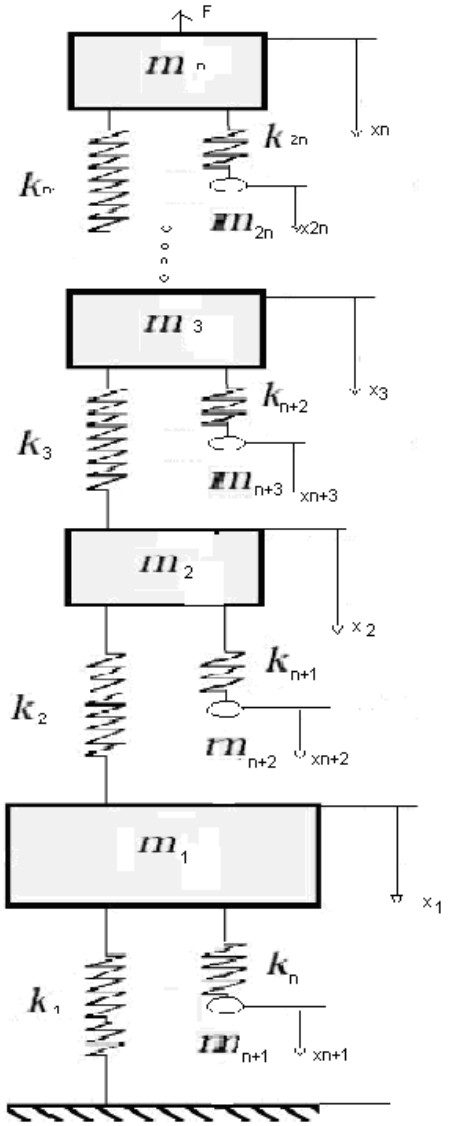
Και σε μητρωική μορφή :

$$M=\begin{matrix} M1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M4 \end{matrix} \qquad K=\begin{matrix} k1+k2+k3 & -k2 & -k3 & 0 \\ -k2 & k2+k4 & 0 & -k4 \\ -k3 & 0 & k3 & 0 \\ 0 & -k4 & 0 & k4 \end{matrix}$$

C=0.01*M + 0.01*K

=> M · x’’ + C · x’ + K · x =f

2.3.2.3)ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία οι εξισώσεις είναι :

Mn*xn’’+kn*(xn-x(n-1))+k2n*(xn-x2n)= F
…….
…….
…….
M2*x2’’+k2*(x2-x1) +k3*(x2-x3)+kn+1*(x2-x(n+2))= 0
M1*x1’’+k1*(x1-0) +k2*(x1-x2)+kn*(x1-x(n+1))= 0

Το ανωτέρω σύστημα γράφεται σε μητρωική μορφή :

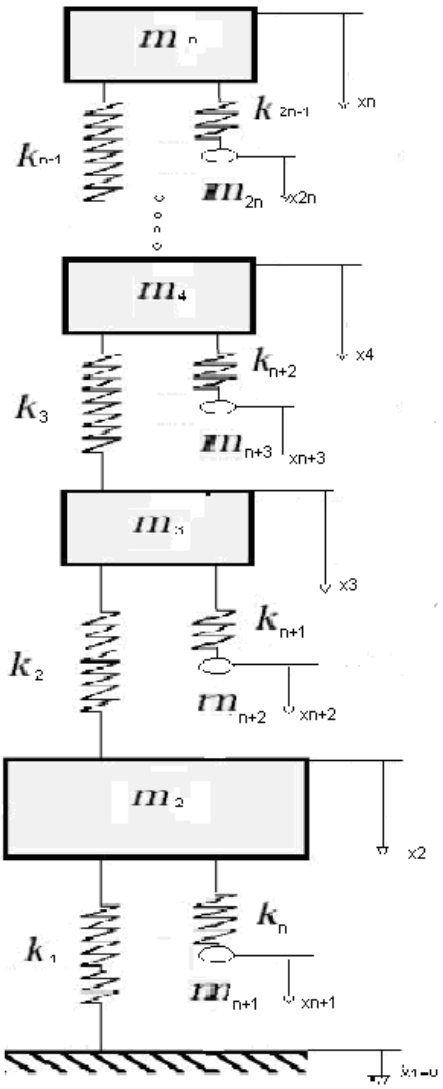
$$M=\begin{bmatrix} M1 & 0 & 0 & \ldots\ldots & 0 \\ 0 & M2 & 0 & \ldots\ldots & 0 \\ 0 & 0 & M3 & \ldots\ldots & 0 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \ldots\ldots & Mn \end{bmatrix}$$

$$
K=\begin{matrix}
k1+k2+kn & -k2 & \ldots\ldots & 0 & -kn & 0 & \ldots\ldots & 0 \\
-k2 & k2+kn-1+k(n+1) & -kn-1 & 0 & -kn+1 & & & 0 \\
.. & .. & .. & .. & .. & & & .. \\
.. & .. & .. & .. & .. & & & .. \\
.. & .. & .. & .. & .. & & & .. \\
0 & -kn-1 & k(n-1)+k(2n-1) & 0 & 0 & & & -k2n-1 \\
-kn & 0 & 0 & kn & 0 & & & 0 \\
0 & -kn+1 & 0 & 0 & kn+1 & & & 0 \\
.. & .. & .. & .. & .. & & & .. \\
.. & .. & .. & .. & .. & & & .. \\
.. & .. & .. & .. & .. & & & .. \\
.. & .. & .. & .. & .. & & & .. \\
0 & 0 & -k2n-1 & 0 & 0 & & & k2n-1
\end{matrix}
$$

C=0.01*M + 0.01*K

=> M · x'' + C · x' + K · x =f

Για τη προσομοίωση, και πάλι, του κτηρίου μας έχοντας πλέον τοποθετήσει τους αποσβέστες μας, συνθέσαμε το παρακάτω μοντέλο **με τη διαφορά ότι στο μοντέλο μας στη θέση 1 έχουμε τη μάζα 2 και η μετατόπιση στη θέση 0 είναι x1=0**:



Οι αντίστοιχες εξισώσεις κίνησης σε μητρωική μορφή δίνονται παρακάτω:

$M \cdot x'' + C \cdot x' + K \cdot x = f$

⇨ $M \cdot x'' + (0.01*M + 0.01*K) \cdot x' + K \cdot x = f$

Όπου τα μητρώα αδράνειας, δυσκαμψίας και απόσβεσης δίνονται αντίστοιχα ώς εξής:

$$M=\left(\begin{array}{cccccc|cccc}
0 & 0 & 0 & \ldots & 0 & & & & \\
0 & m2 & 0 & & \ldots & & & & \\
0 & 0 & m3 & & \ldots & & & & \\
0 & & \ldots & & & & 0 & & \\
0 & & & \ldots & & & & & \\
\ldots & & & & \ldots & & & & \\
0 & & & & & mn & & & \\
\hline
 & & & & & & m(n+1) & 0 & \ldots & 0 \\
 & & & & & & 0 & m(n+2) & \ldots & 0 \\
 & & & & & & 0 & & \ldots & \\
 & & 0 & & & & 0 & & \ldots & \\
 & & & & & & \ldots & & \ldots & \\
 & & & & & & \ldots & & & \ldots \\
 & & & & & & 0 & & & m2n
\end{array}\right)$$

$$K=\left(\begin{array}{cccccccc}
0 & x2 & x3 & \ldots\ldots & xn & x\,n+1 & x\,n+2 & \ldots\ldots\ x2n \\
0 & 0 & 0 & \ldots\ldots & 0 & 0 & 0 & \ldots\ldots\ 0 \\
0 & k1+k2+kn & -k2 & & 0 & -kn & 0 & \ldots\ldots\ 0 \\
0 & -k2 & k2+kn-1+k(n+1) & & -kn-1 & 0 & -kn+1 & 0 \\
\ldots & \ldots & \ldots & & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\
\ldots & \ldots & \ldots & & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\
\ldots & \ldots & \ldots & & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\
0 & 0 & -kn-1 & & k(n-1)+k(2n-1) & 0 & 0 & -k2n-1 \\
0 & -kn & 0 & & 0 & kn & 0 & 0 \\
0 & 0 & -kn+1 & & 0 & 0 & kn+1 & 0 \\
\ldots & \ldots & \ldots & & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\
\ldots & \ldots & \ldots & & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\
\ldots & \ldots & \ldots & & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\
\ldots & \ldots & \ldots & & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\
0 & 0 & 0 & & -k2n-1 & 0 & 0 & k2n-1
\end{array}\right)$$

$C = 0.01 * M + 0.01 * K$

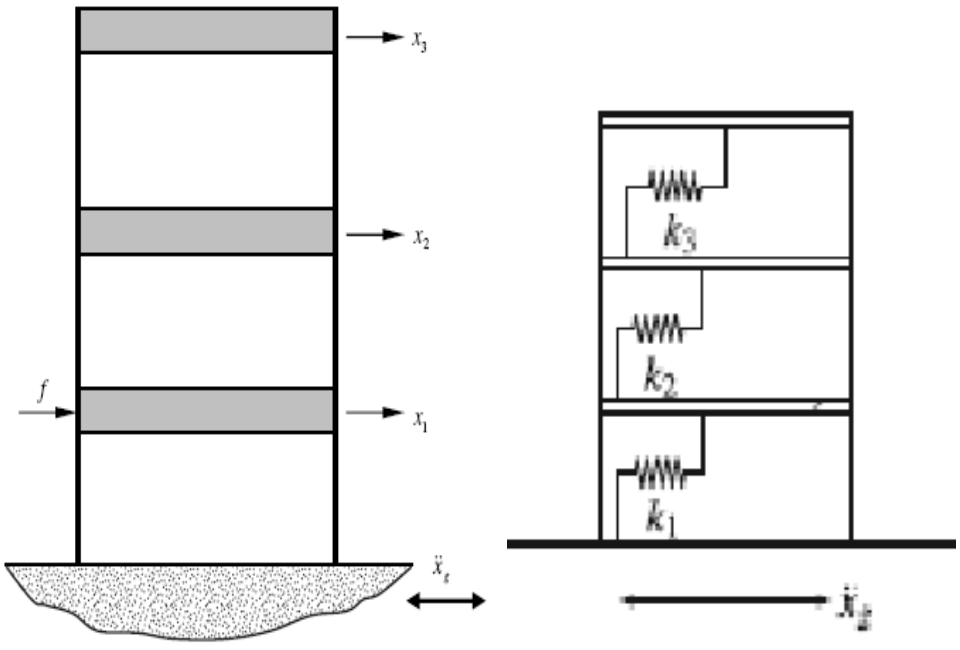
$$x = \begin{pmatrix} 0 \\ x\,2 \\ x\,3 \\ .. \\ .. \\ .. \\ \text{------} \\ xn+1 \\ xn+2 \\ xn+3 \\ ... \\ ... \\ ... \\ ... \\ x\,2n \end{pmatrix}$$

2.4)ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΥΜΑΤΟΣ ΜΕ 3 ΒΑΘΜΟΥΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ

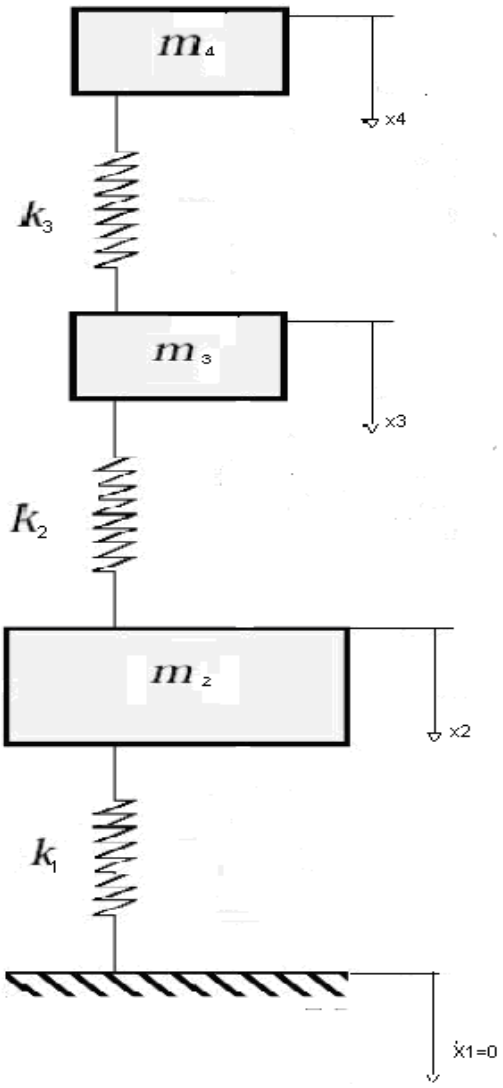
Για την εργασία αυτή, θεωρήσαμε το μοντέλο μας ώς ένα σύστημα με τρείς βαθμούς ελευθερίας που σκοπό έχει την πλήρη και αξιόπιστη αναπαράσταση ενός δυναμικού συστήματος. Παρακάτω θα το παρουσιάσουμε αρχικά χωρίς το σύστημα tuned mass dampers αναλύοντας τις εξισώσεις κίνησης και τα αντίστοιχα μητρώα και στη συνέχεια θα το παραθέσουμε με τους αποσβέστες μας τοποθετημένους σε κάθε όροφο(μάζα) γράφοντας και πάλι τις εξισώσεις και τα μητρώα.

2.4.1)ΧΩΡΙΣ TMDS

ΣΧΕΔΙΟ ΑΡΧΙΚΟ



ΣΧΕΔΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ



Οι εξισώσεις κίνησης σε μητρωική μορφή δίνονται:

$M \cdot x'' + C \cdot x' + K \cdot x = f$

⇨ $M \cdot x'' + (0.01*M + 0.01*K) \cdot x' + K \cdot x = f$

Όπου για m2=m3=m4=2 και k1=k2=k3=k4=1, το μητρώο αδράνειας, δυσκαμψίας και απόσβεσης γίνονται:

$$M=\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m4 \end{pmatrix} \Rightarrow M=\begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}$$

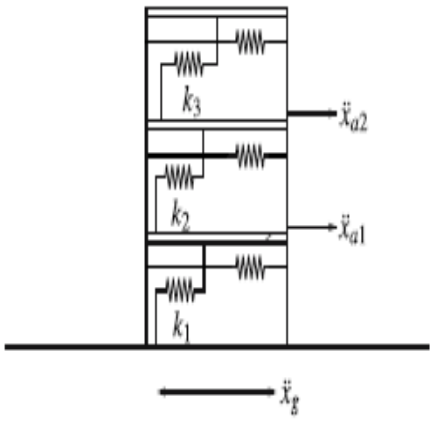
$$K=\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k1+k2 & -k2 & 0 \\ 0 & -k2 & k2+k3 & -k3 \\ 0 & 0 & -k3 & k3 \end{pmatrix} \Rightarrow K=\begin{pmatrix} 2 & -1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$C=0.01 * M + 0.01 * K = \begin{pmatrix} 0.04 & -0.01 & 0 \\ -0.01 & 0.04 & -0.01 \\ 0 & -0.01 & 0.03 \end{pmatrix}$$

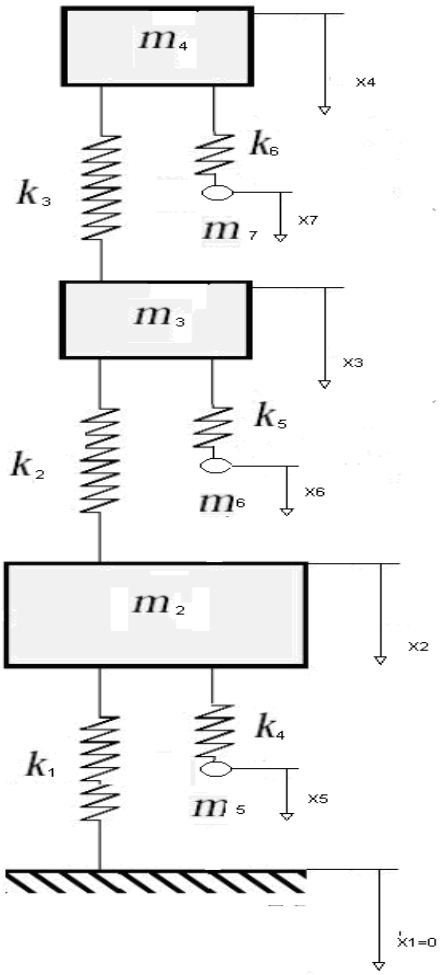
$$F=\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$$

2.4.2)ΜΕ TMDS

ΣΧΕΔΙΟ ΑΡΧΙΚΟ



ΣΧΕΔΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ



Για m2=m3=m4=2 και m5=m6=m7=0.2 και k1=k2=k3=1 και k4=k5=k6=0.1 έχουμε:

$$M=\begin{pmatrix} m2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 \end{pmatrix}$$

$$K=\begin{pmatrix} k1+k2+k4 & -k2 & 0 & -k4 & 0 & 0 \\ -k2 & k2+k3+k5 & -k3 & 0 & -k5 & 0 \\ 0 & -k3 & k3+k6 & 0 & 0 & -k6 \\ -k4 & 0 & 0 & k4 & 0 & 0 \\ 0 & -k5 & 0 & 0 & k5 & 0 \\ 0 & 0 & -k6 & 0 & 0 & k6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.1 & -1 & 0 & -0.1 & 0 & 0 \\ -1 & 2.1 & -1 & 0 & -0.1 & 0 \\ 0 & -1 & 1.1 & 0 & 0 & -0.1 \\ -0.1 & 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.1 & 0 & 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & -0.1 & 0 & 0 & 0.1 \end{pmatrix}$$

$$C= 0.01 *M + 0.01 * K = \begin{pmatrix} 0.0410 & -0.01 & 0 & -0.001 & 0 & 0 \\ -0.01 & 0.041 & -0.01 & 0 & -0.001 & 0 \\ 0 & -0.01 & 0.031 & 0 & 0 & -0.001 \\ -0.001 & 0 & 0.001 & 0.002 & 0 & 0 \\ 0 & -0.001 & 0 & 0 & 0.003 & 0 \\ 0 & 0 & -0.001 & 0 & 0 & 0.003 \end{pmatrix}$$

$$F= \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Κεφαλαίο 3

3.1) Θεωρητική Προσέγγιση

3.1.1) MATLAB

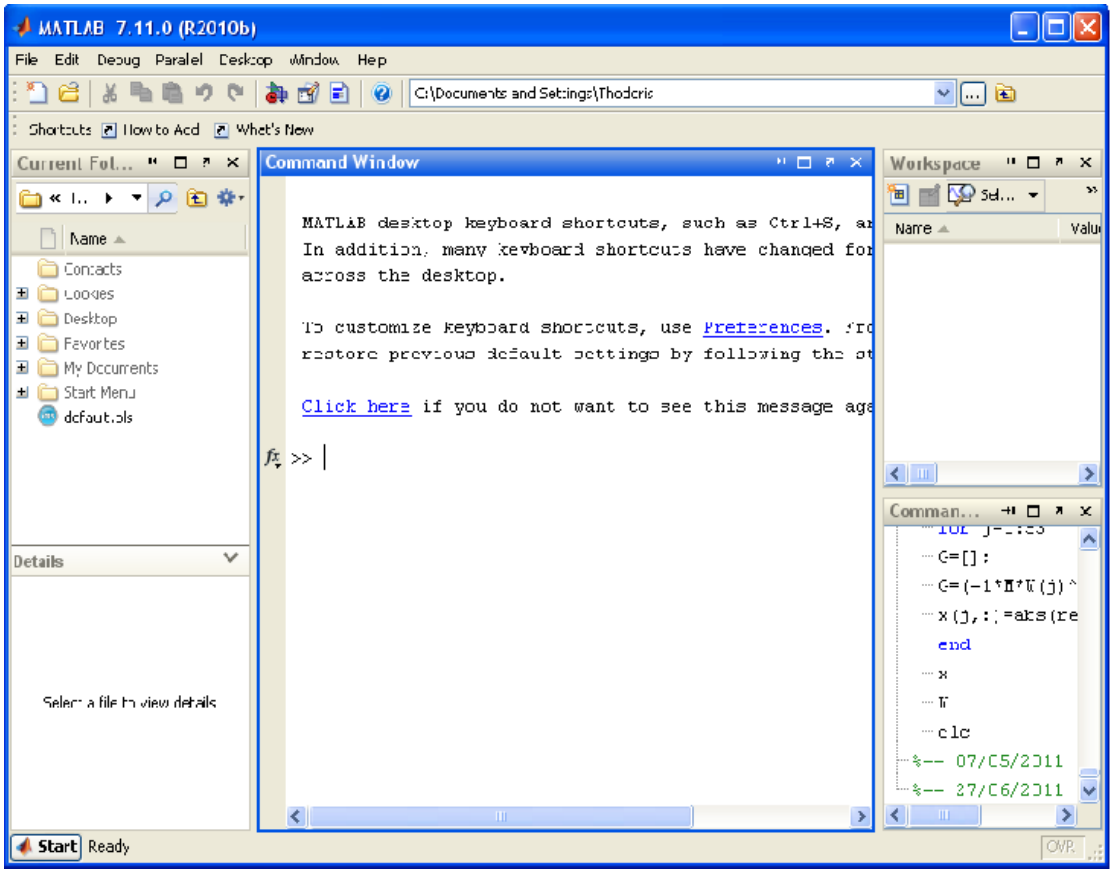
Η «γλώσσα προγραμματισμού» **MATLAB** λειτουργεί ως διερμηνέας εντολών (command interpreter), οι οποίες δίνονται μέσω του παραθύρου εντολών (command window). Οι εντολές αυτές μπορεί να είναι:

1. ορισμοί μεταβλητών και πράξεις

2. κλήση ενσωματωμένων **συναρτήσεων (built-in functions)** της MATLAB και των **εγκατεστημένων εργαλειοθηκών της (toolboxes)**

3. κλήση **συναρτήσεων (functions)** ή **αρχείων εντολών (Matlab-scripts)** που κατασκευάζονται από τους χρήστες με τη μορφή **m-file**

Το περιβάλλον εργασίας της MATLAB απεικονίζεται παρακάτω:



Γενικά εμφανίζονται τέσσερα παράθυρα:

1) Το μεγάλο **παράθυρο εντολών (Command Window)** στα δεξιά. Οι εντολές της MATLAB εισάγονται σ' αυτό το παράθυρο μετά την **προτροπή (prompt)** ">>"**.** Τα αποτελέσματα επίσης τυπώνονται στο παράθυρο αυτό (προεπιλογή).

2) Ένα παράθυρο αριστερά που δείχνει τον **τρέχοντα φάκελο (Current folder)** και τα αρχεία που εμφανίζονται σ' αυτόν. Αν το παράθυρο είναι κρυμμένο, επιλέξτε Current Directory.

3) Ένα παράθυρο που εναλλάσσεται με το παράθυρο τρέχοντα φακέλου ανάλογα με την επιλογή Workspace ή Current Directory είναι τοπαράθυρο του **χώρου εργασίας (workspace).** Αν το παράθυρο είναικρυμμένο, επιλέξτε Workspace.

4) Ένα παράθυρο κάτω δεξιά που δείχνει το **ιστορικό εντολών (Command History)**. Αν δεν εμφανιστεί το παράθυρο αυτό επιλέξτε Command History στην επιλογή View.

3.1.2)ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ MATLAB

Με σκοπό την εύρεση της απόκρισης των τριών βαθμών ελευθερίας με και χωρίς την απόσβεση μας πραγματοποιήθηκαν στο matlab οι εξής ενέργειες:

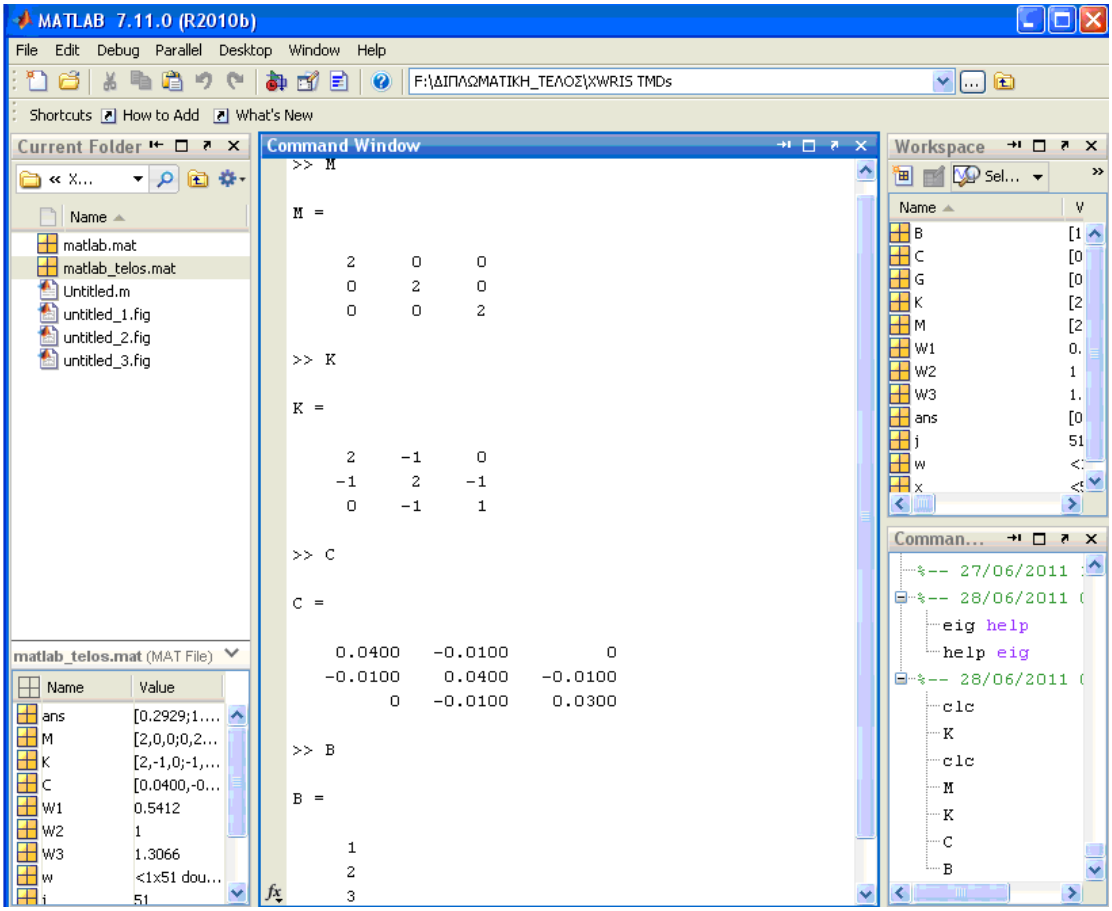
- ⇨ Εισάγαμε στο matlab τα μητρώα αδράνειας, δυσκαμψίας και απόσβεσης καθώς και το διάνυσμα των εξωτερικών δυνάμεων/διεγέρσεων.
- ⇨ Με τη χρήση της εντολής eig(K,M) (eigenvalues and eigenvectors) εξάγαμε τις ιδιοσυχνότητες (w) στο τετράγωνο

- ⇨ Για κάθε ιδιοσυχνότητα επιλύσαμε το σύστημα (-M*w^2+i*w*C+K)*xo=fo και υπολογήσαμε τα ιδιοδιανύσματα xo.
- ⇨ Με την εντολή plot(w, x) δημιουργήσαμε τις αποκρίσεις στις τρείς θέσεις του συστήματος με και χωρίς τους αποσβέστες μας.

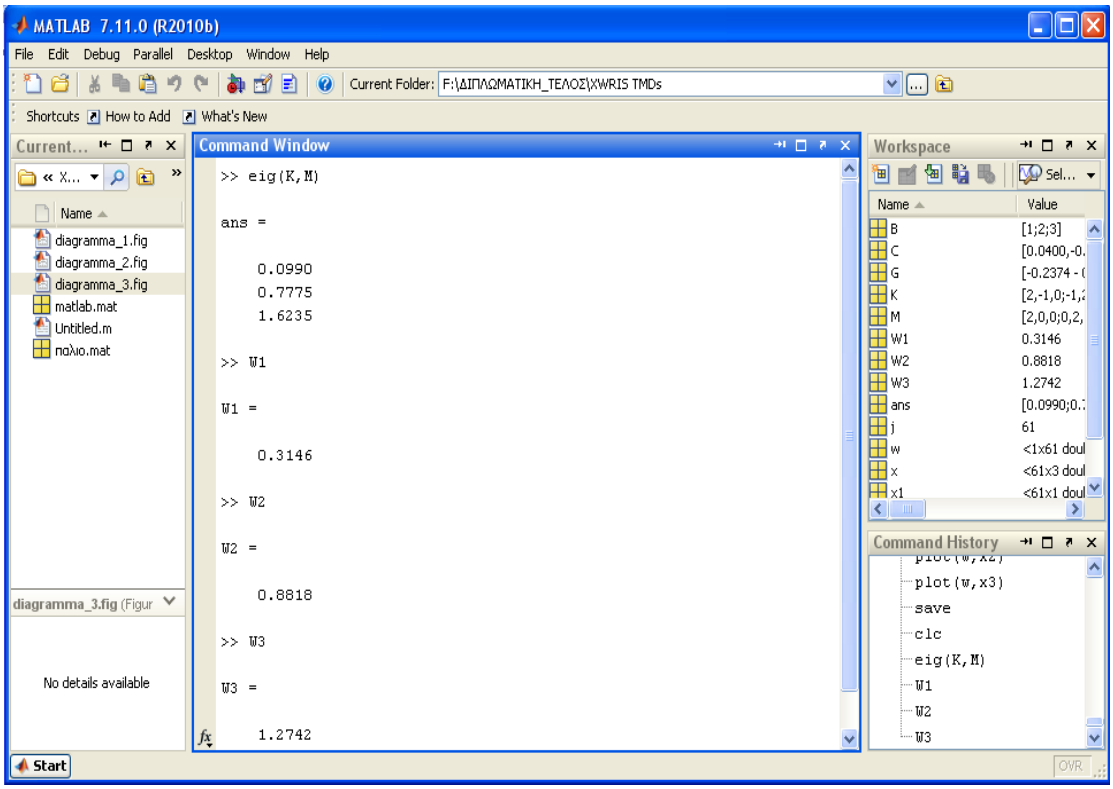
3.2) Ταλάντωση χωρίς το σύστημα απόσβεσης(Tuned mass Dampers)

(Τα w είναι σε rad/sec και η μετατόπιση x σε m)

Η εισαγωγή των μητρώων και το διάνυσμα των εξωτερικών διεγέρσεων έγινε ώς αρχικό βήμα όπως φαίνεται παρακάτω :



Στη συνέχεια, εξάγαμε τις ιδιοσυχνότητες στο τετράγωνο με την εφαρμογή της eig(K, M) και υπολογίσαμε τελικώς τις ιδιοσυχνότητες (W1, W2, W3) (πχ: W1=sqrt(W1^2)) :

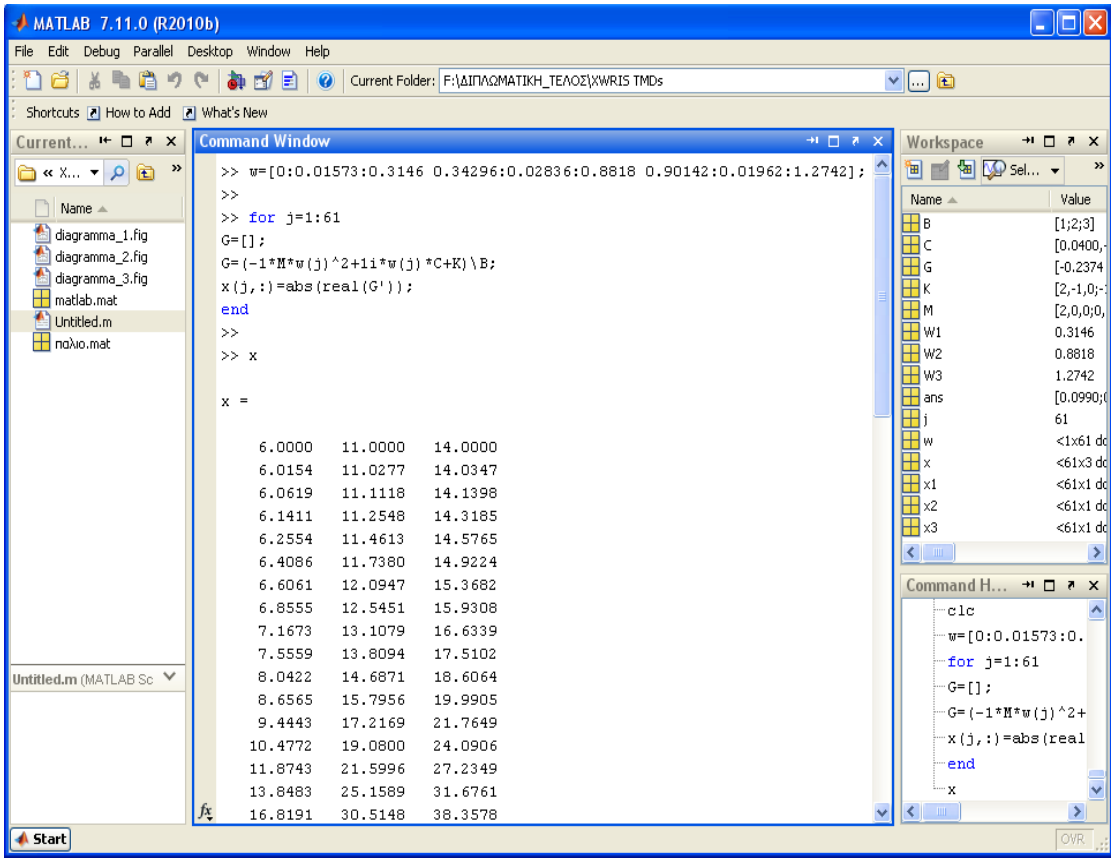


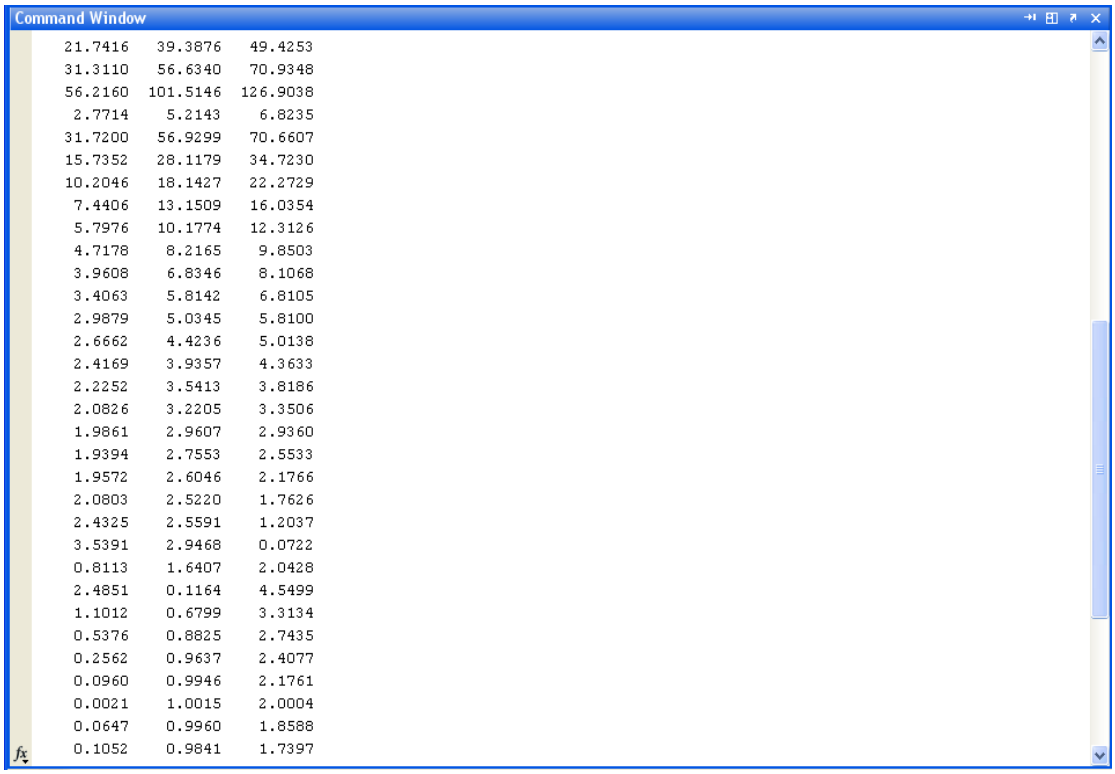
Έπειτα, χωρίσαμε σε ίσα τμήματα, αποτελούμενο από πενήντα ένα στοιχεία, τις ιδιοσυχνότητες και τα τοποθετήσαμε σε έναν πίνακα w(1x61). Ακόμη, φτιάχτηκε ένας μικρός αλγόριθμος ο οποίος επιλύει το σύστημα Ax=B =>x=A^-1*B, αναλυτικά για την εργασία, το σύστημα (-1*M*w(j)^2+1i*w(j)*C+K) xo=B=Fo =>
xo=(-1*M*w(j)^2+1i*w(j)*C+K)^-1*B.
Ο αλγόριθμος είναι ο εξής:

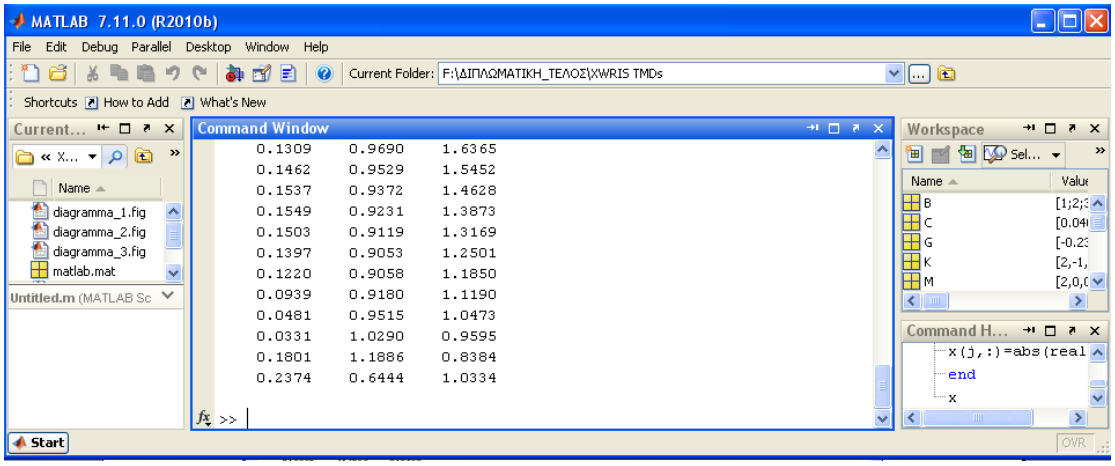
```
for j=1:61
G=[];
G=(-1*M*w(j)^2+1i*w(j)*C+K)\B;
x(j,:)=abs(real(G'));
End
```

Έτσι, προέκυψε ένας πίνακας 61x3 όπου η πρώτη στήλη αφορά τη μετακίνηση στη θέση ένα, η δεύτερη στη θέση δύο και η τρίτη τη μετακίνηση στη θέση τρία. Συγκεκριμένα το στοιχείο (1,1) αναφέρεται στην ιδιοσυχνότητα w=0 και περιγράφει ότι ο πρώτος όροφος του κτηρίου(θέση 1) βρίσκεται στο x=6.0000 κ.ο.κ.

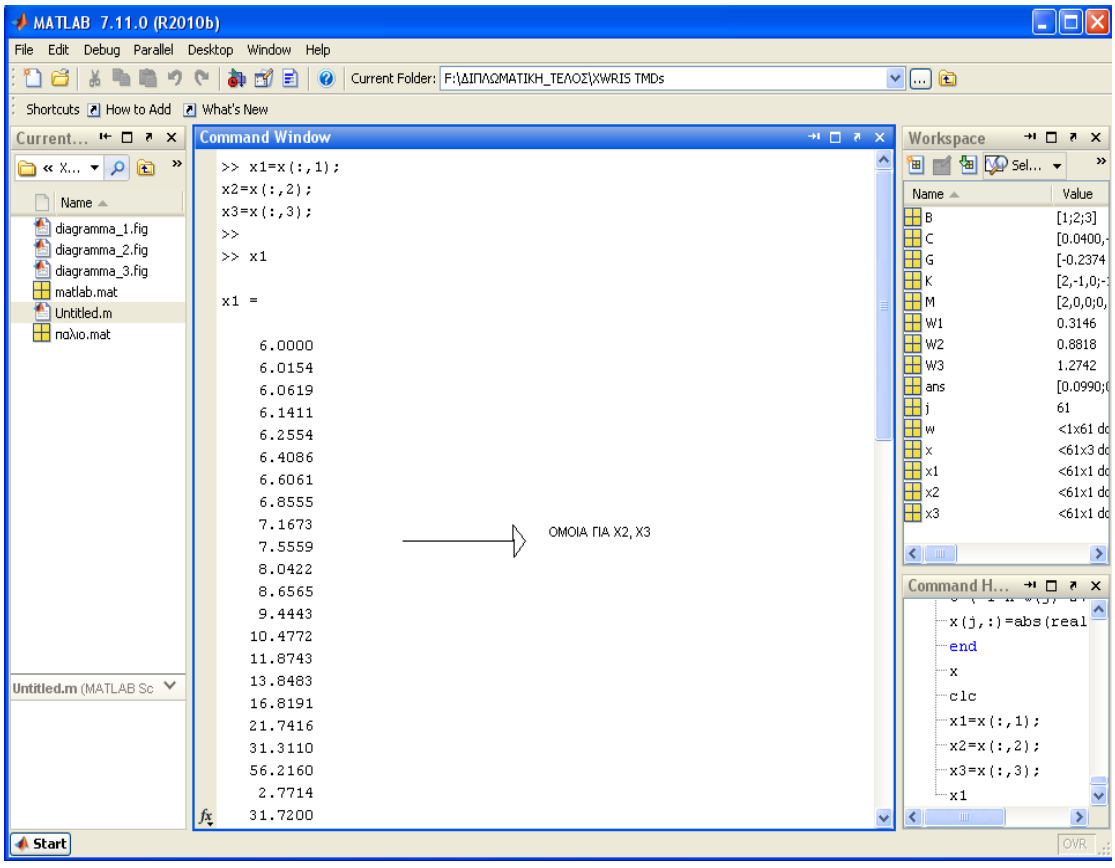
Ενδεικτικά :


MATLAB 7.11.0 (R2010b)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Folder: F:\ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ_ΤΕΛΟΣ\XWRIS TMDs
Shortcuts How to Add What's New
Command Window
>> w=[0:0.01573:0.3146 0.34296:0.02836:0.8818 0.90142:0.01962:1.2742];
>>
>> for j=1:61
G=[];
G=(-1*M*w(j)^2+1i*w(j)*C+K)\B;
x(j,:)=abs(real(G'));
end
>>
>> x
x =
6.0000 11.0000 14.0000
6.0154 11.0277 14.0347
6.0619 11.1118 14.1398
6.1411 11.2548 14.3185
6.2554 11.4613 14.5765
6.4086 11.7380 14.9224
6.6061 12.0947 15.3682
6.8555 12.5451 15.9308
7.1673 13.1079 16.6339
7.5559 13.8094 17.5102
8.0422 14.6871 18.6064
8.6565 15.7956 19.9905
9.4443 17.2169 21.7649
10.4772 19.0800 24.0906
11.8743 21.5996 27.2349
13.8483 25.1589 31.6761
16.8191 30.5148 38.3578
Workspace
Name Value
B [1;2;3]
C [0.0400,
G [-0.2374
K [2,-1,0;-
M [2,0,0;0,
W1 0.3146
W2 0.8818
W3 1.2742
ans [0.0990;
j 61
w <1x61 do
x <61x3 do
x1 <61x1 do
x2 <61x1 do
x3 <61x1 do
Command H...
clc
w=[0:0.01573:0.
for j=1:61
G=[];
G=(-1*M*w(j)^2+
x(j,:)=abs(real
end
x
Untitled.m (MATLAB Sc
Start
OVR

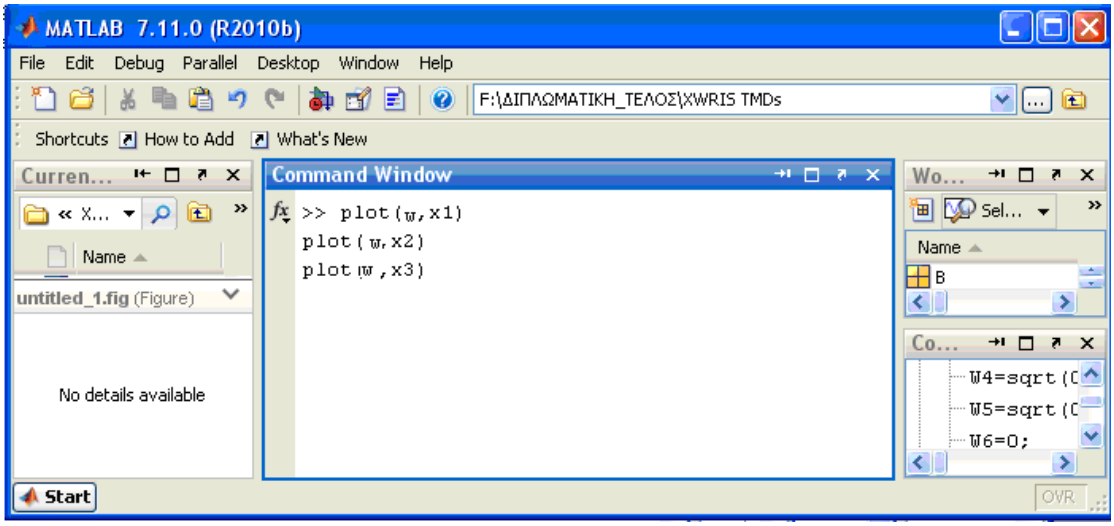

Command Window
21.7416 39.3876 49.4253
31.3110 56.6340 70.9348
56.2160 101.5146 126.9038
2.7714 5.2143 6.8235
31.7200 56.9299 70.6607
15.7352 28.1179 34.7230
10.2046 18.1427 22.2729
7.4406 13.1509 16.0354
5.7976 10.1774 12.3126
4.7178 8.2165 9.8503
3.9608 6.8346 8.1068
3.4063 5.8142 6.8105
2.9879 5.0345 5.8100
2.6662 4.4236 5.0138
2.4169 3.9357 4.3633
2.2252 3.5413 3.8186
2.0826 3.2205 3.3506
1.9861 2.9607 2.9360
1.9394 2.7553 2.5533
1.9572 2.6046 2.1766
2.0803 2.5220 1.7626
2.4325 2.5591 1.2037
3.5391 2.9468 0.0722
0.8113 1.6407 2.0428
2.4851 0.1164 4.5499
1.1012 0.6799 3.3134
0.5376 0.8825 2.7435
0.2562 0.9637 2.4077
0.0960 0.9946 2.1761
0.0021 1.0015 2.0004
0.0647 0.9960 1.8588
0.1052 0.9841 1.7397



Και τέλος, έχοντας ως σκοπό την γραφική αναπαράσταση των ιδιοδιανυσμάτων συναρτήσει των αντίστοιχων ιδιοσυχνοτήτων, πήραμε κάθε μία στήλη από τον πίνακα x(51x3) δημιουργώντας έτσι τους αντίστοιχους πίνακες x1, x2, x3 (51x1), όπως φαίνεται και πιο κάτω:

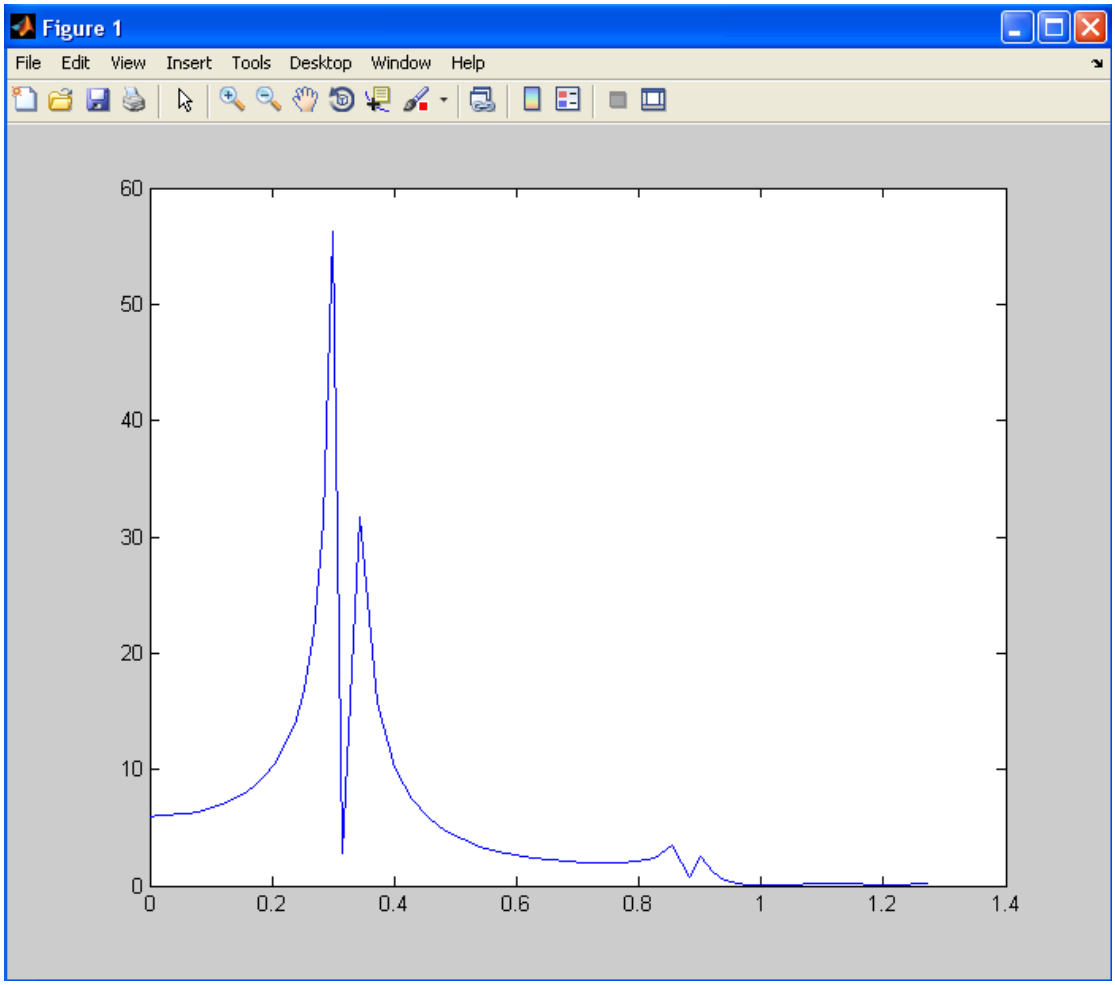


Και με τη χρήση της συνάρτησης plot(a,b) :

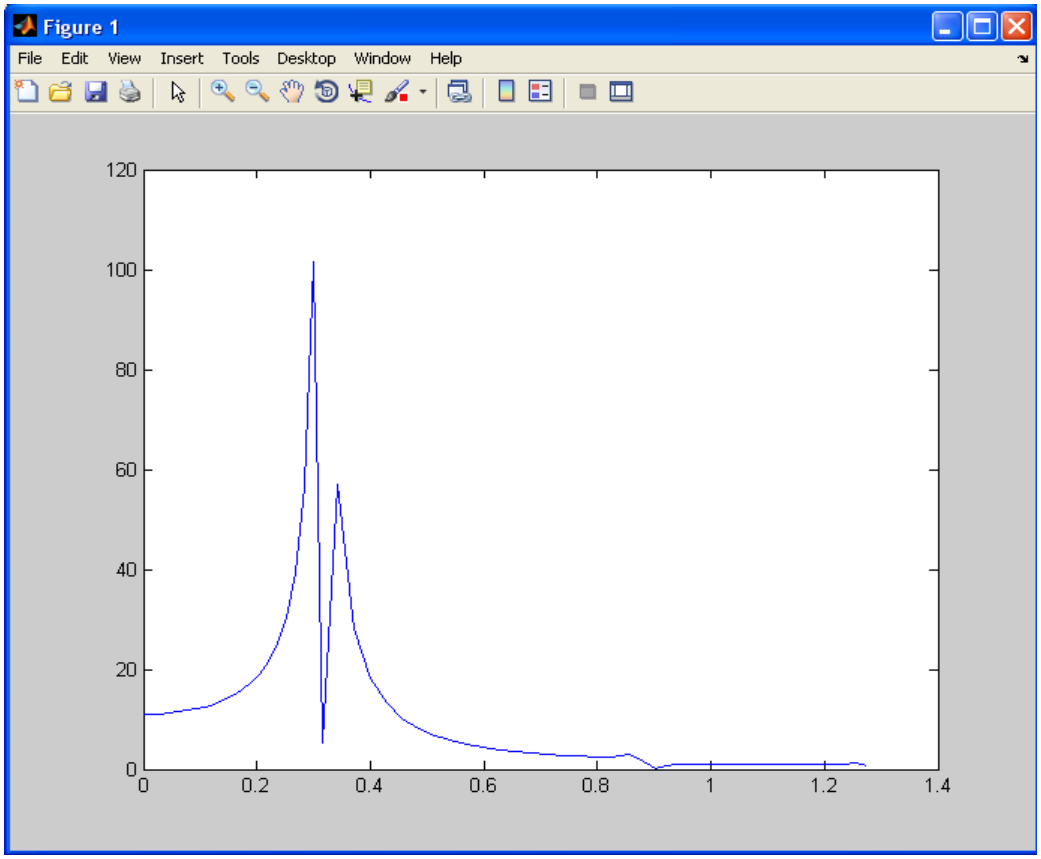


δημιουργήσαμε την απόκριση του συστήματος στις τρείς θέσεις(πρώτος, δεύτερος, τρίτος όροφος)

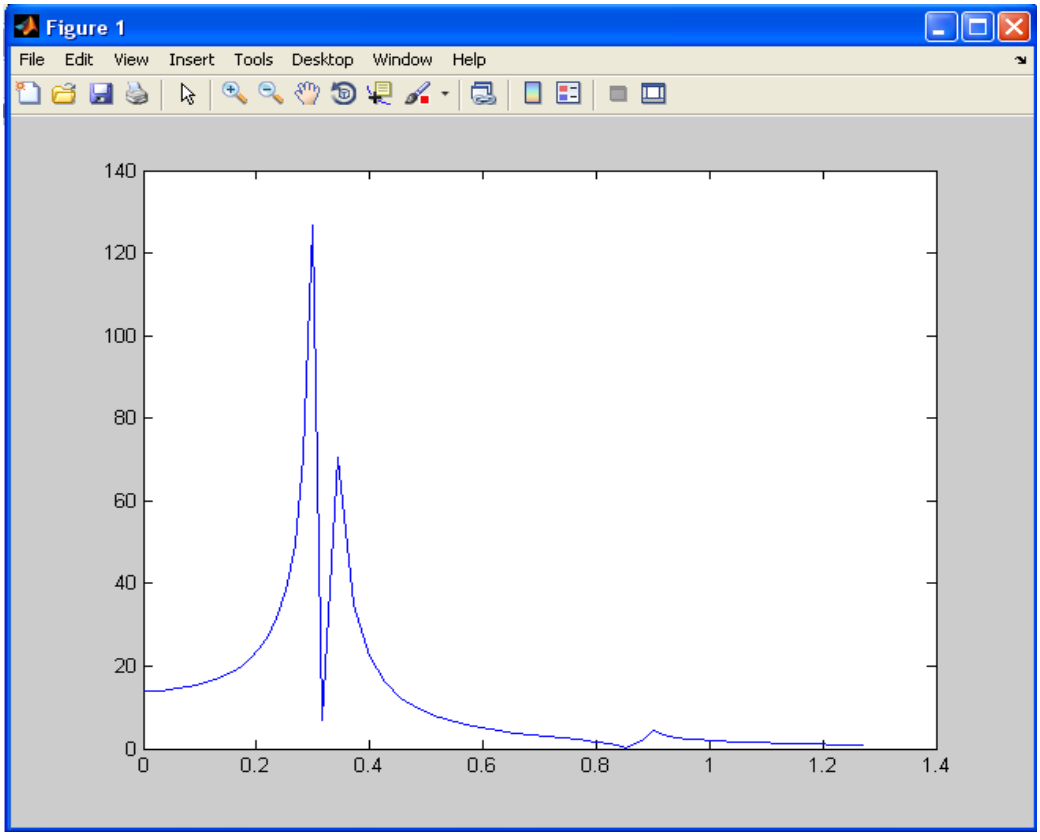
ΘΕΣΗ 1



ΘΕΣΗ 2

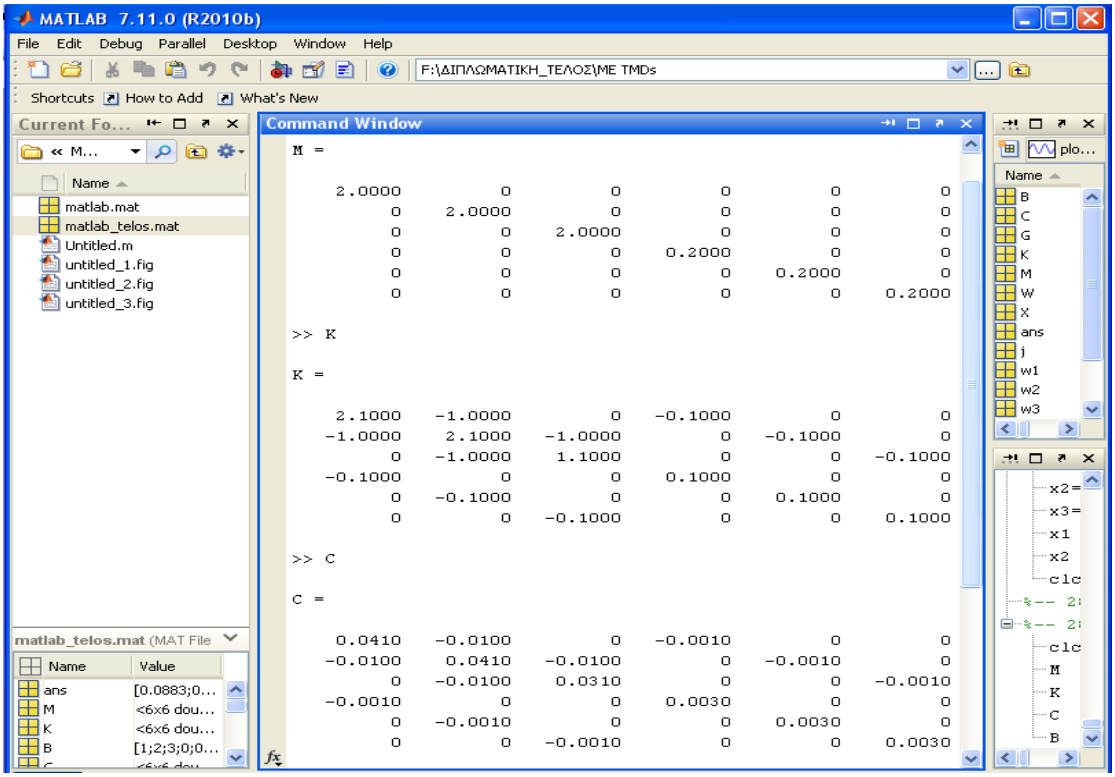

Figure 1
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
120
100
80
60
40
20
0
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4

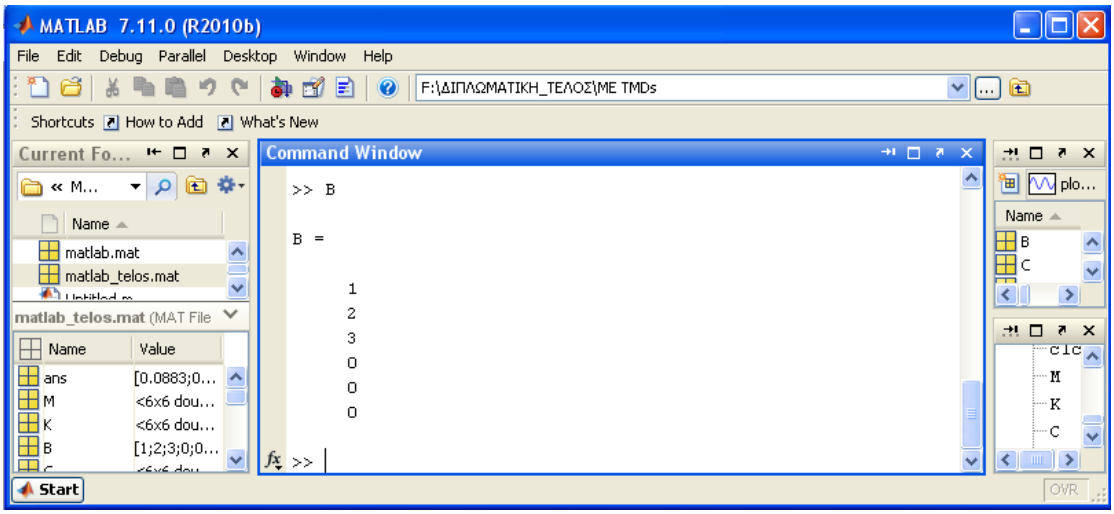
ΘΕΣΗ 3


Figure 1
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
140
120
100
80
60
40
20
0
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4

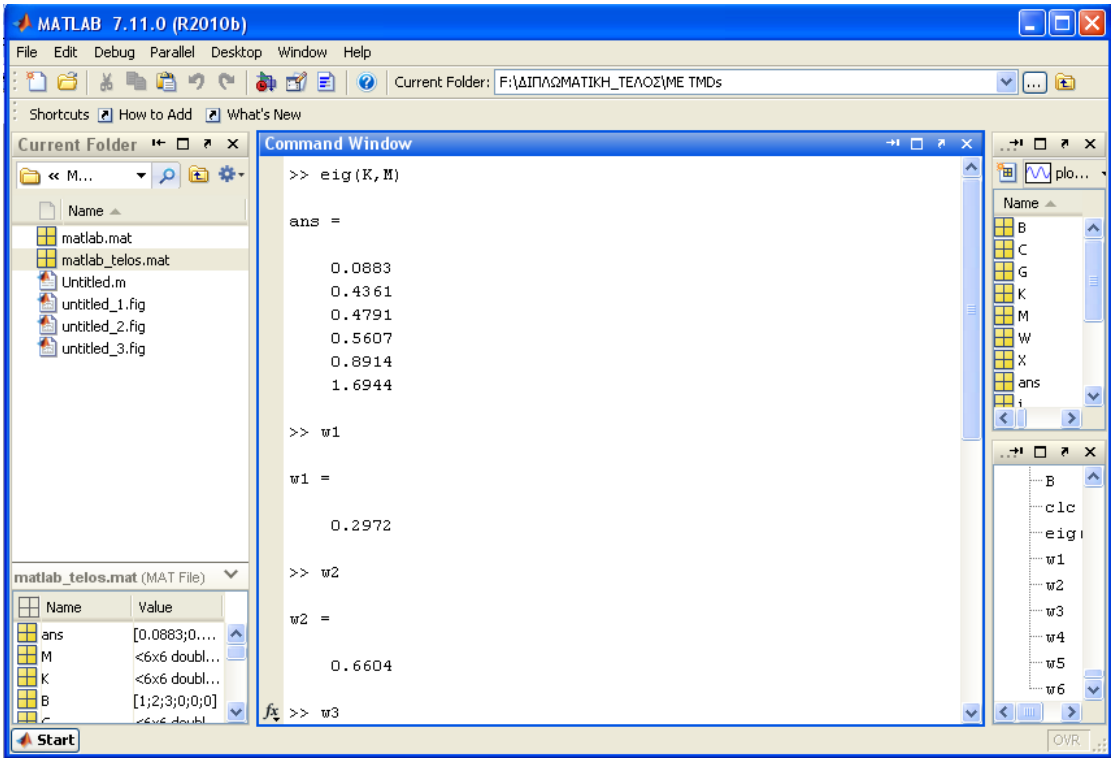
3.3) Ταλάντωση με το σύστημα απόσβεσης(Tuned mass Dampers) (Τα w είναι σε rad/sec και η μετατόπιση x σε m)

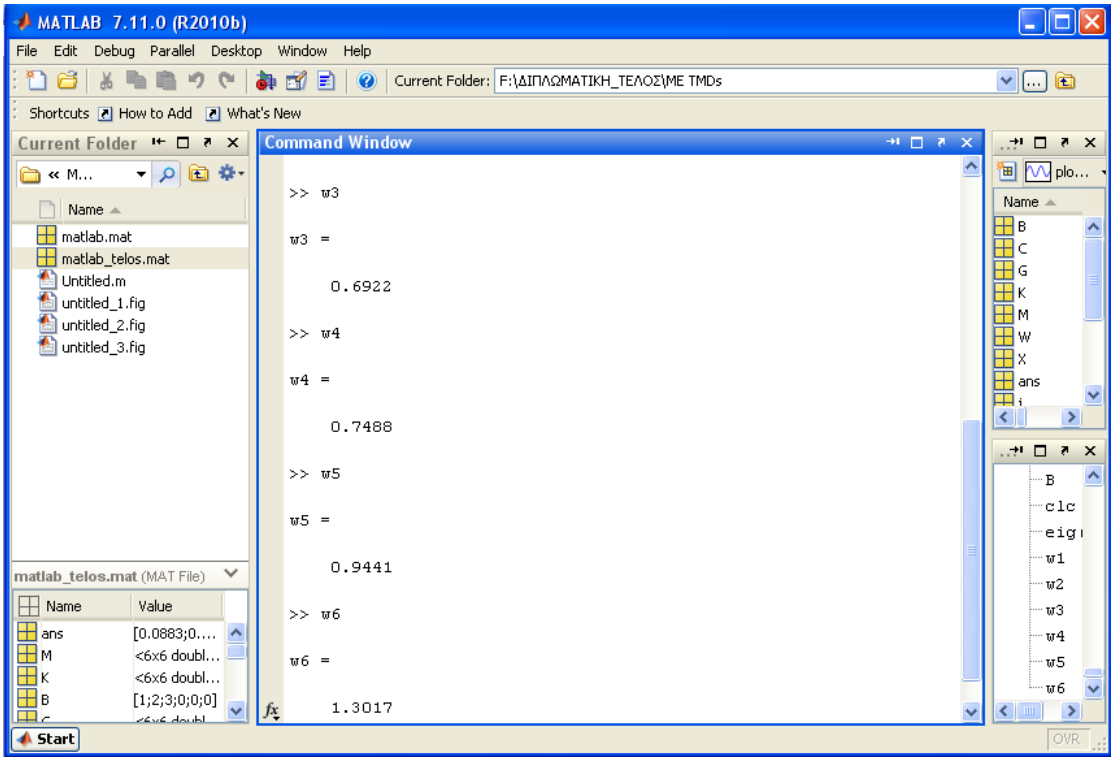
Αρχικά τοποθετήθηκαν τα μητρώα και το διάνυσμα των εξωτερικών δυνάμεων:





Με την εφαρμογή της eig(K, M) εξάγαμε τις ιδιοσυχνότητες στο τετράγωνο και υπολογίσαμε τελικώς τις ιδιοσυχνότητες (W1, W2,….,W6) (πχ: W1=sqrt(W1^2)) :

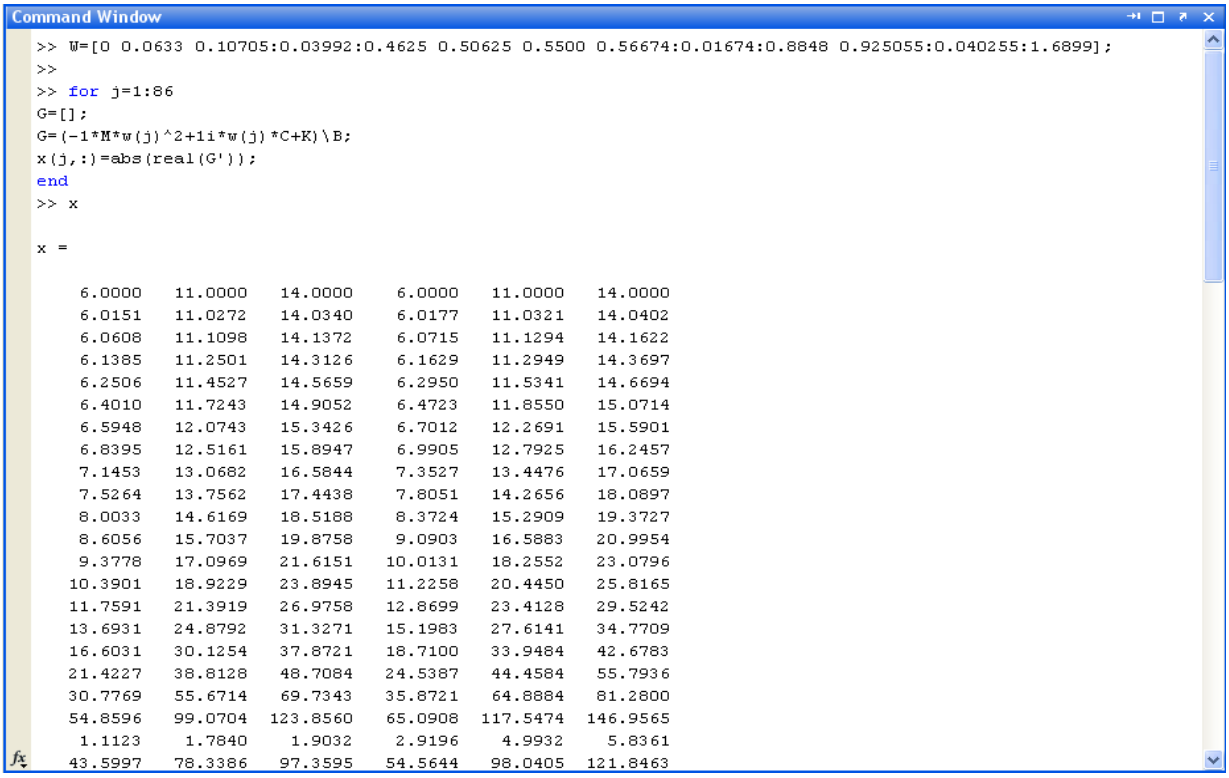


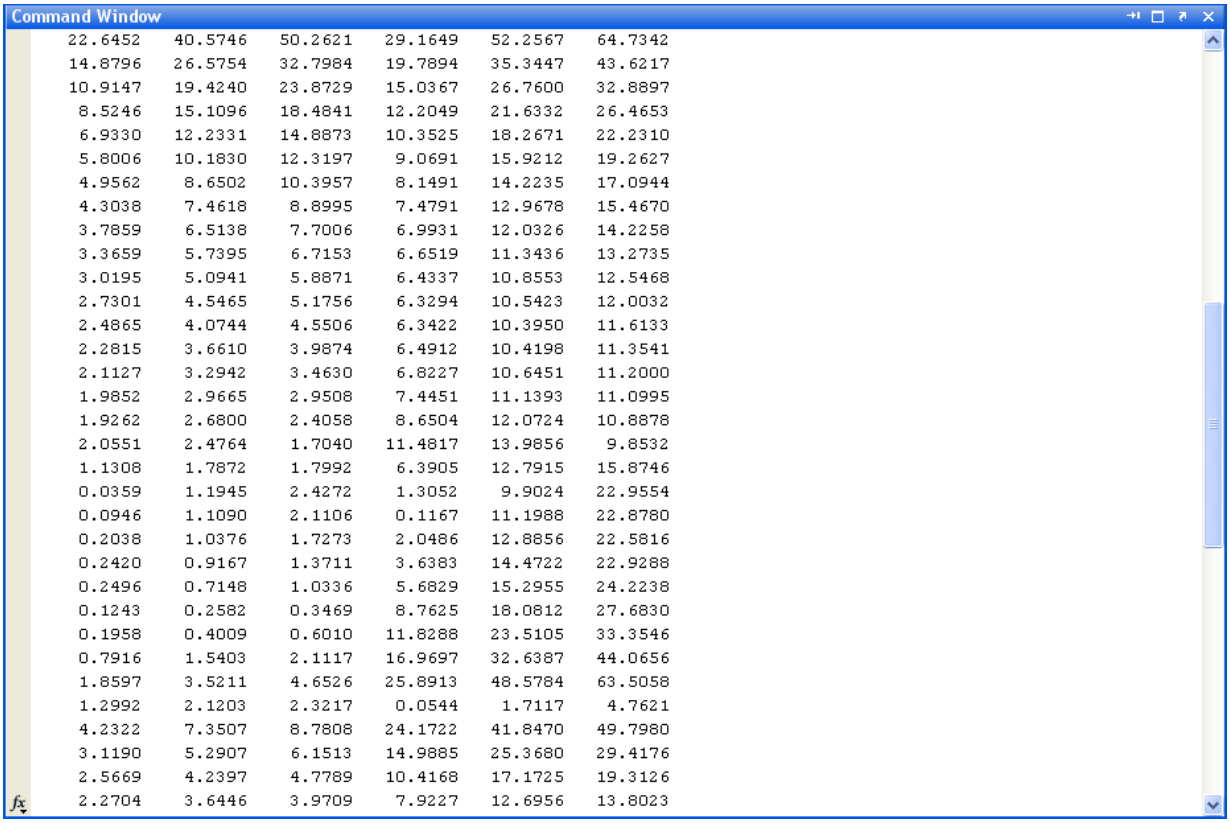


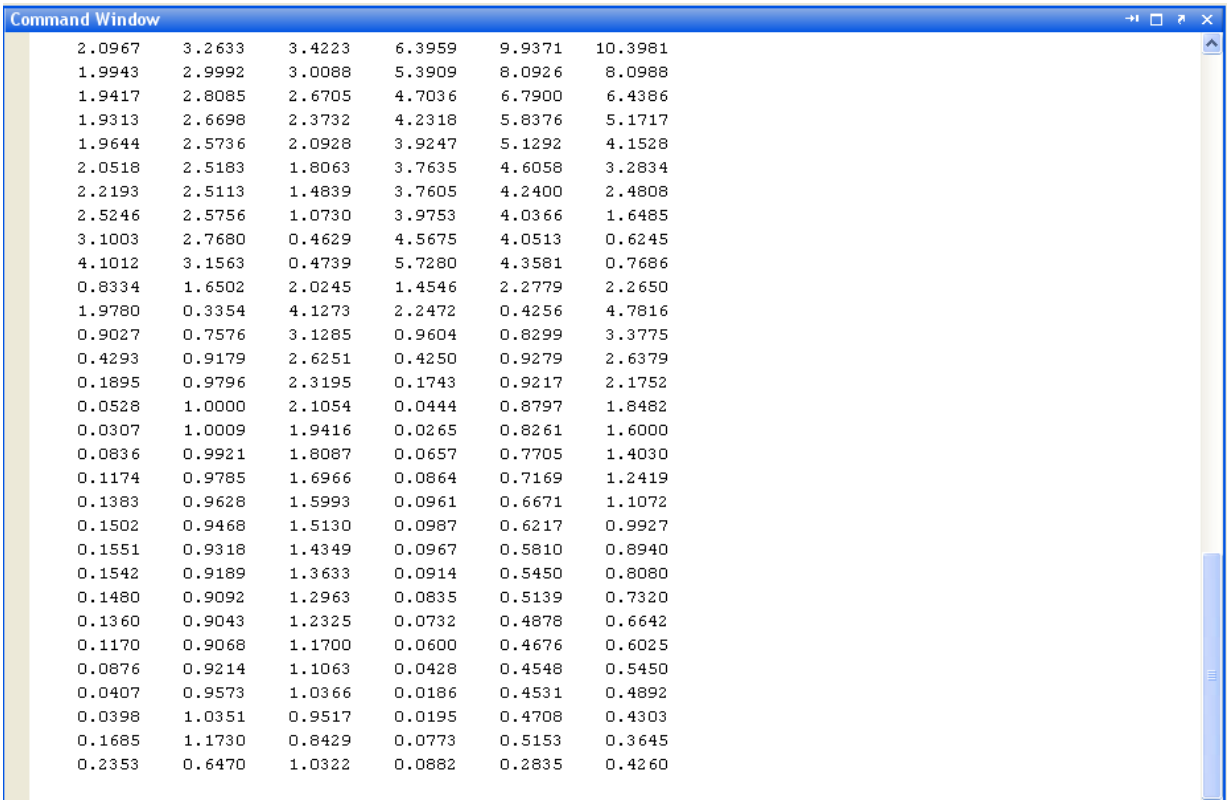
Στη συνέχεια, χωρίσαμε σε ίσα τμήματα, αποτελούμενο από ογδόντα έξι στοιχεία, τις ιδιοσυχνότητες και τα τοποθετήσαμε σε έναν πίνακα w(1x86). Ακόμη, φτιάχτηκε ένας μικρός αλγόριθμος ο οποίος επιλύει το σύστημα Ax=B =>x=A^-1*B, αναλυτικά για την εργασία, το σύστημα (-1*M*w(j)^2+1i*w(j)*C+K) xo=B=Fo =>
xo=(-1*M*w(j)^2+1i*w(j)*C+K)^-1*B.
Ο αλγόριθμος είναι ο εξής:

```
for j=1:86
G=[];
G=(-1*M*w(j)^2+1i*w(j)*C+K)\B;
x(j,:)=abs(real(G'));
end
```

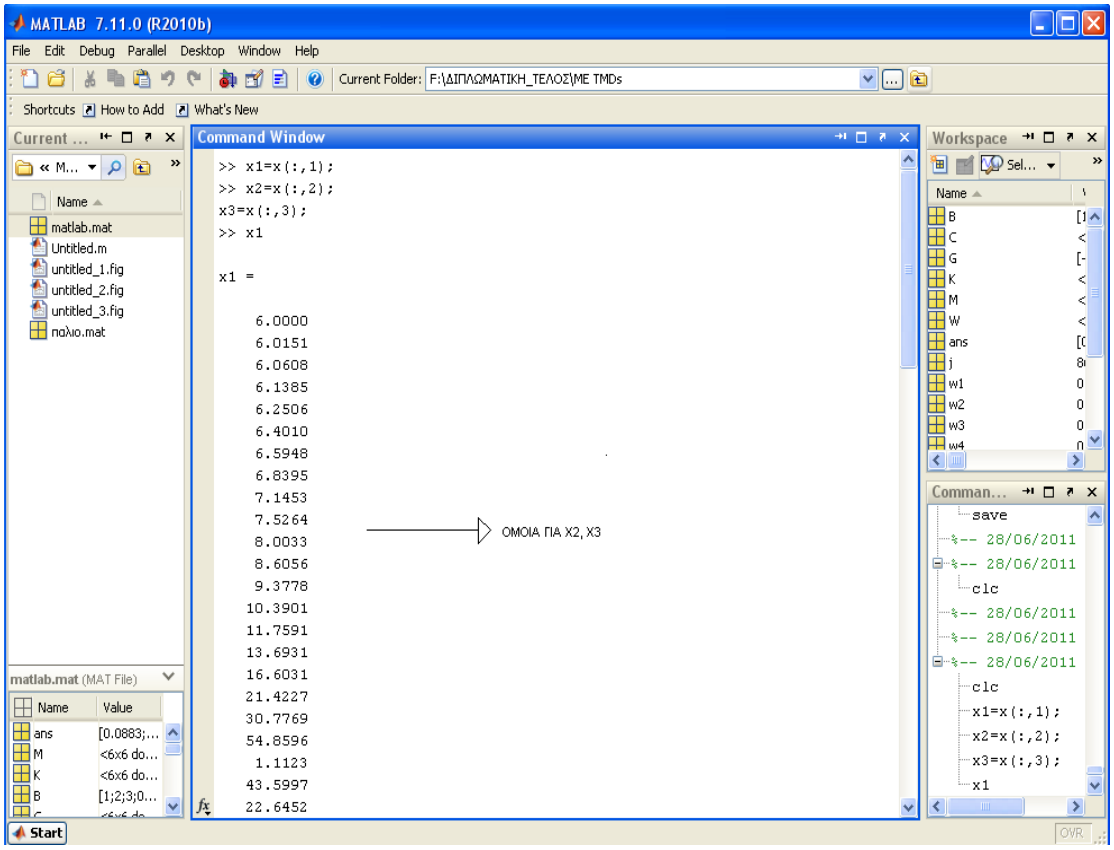
Έτσι, προέκυψε ένας πίνακας 86x6 όπου η πρώτη στήλη αφορά τη μετακίνηση στη θέση ένα, η δεύτερη στη θέση δύο και η τρίτη τη μετακίνηση στη θέση τρία κ.ο.κ. Συγκεκριμένα το στοιχείο (1,1) αναφέρεται στην ιδιοσυχνότητα w=0 και περιγράφει ότι ο πρώτος όροφος του κτηρίου(θέση 1) βρίσκεται στο x=6.0000 κ.ο.κ.Ενδεικτικά :



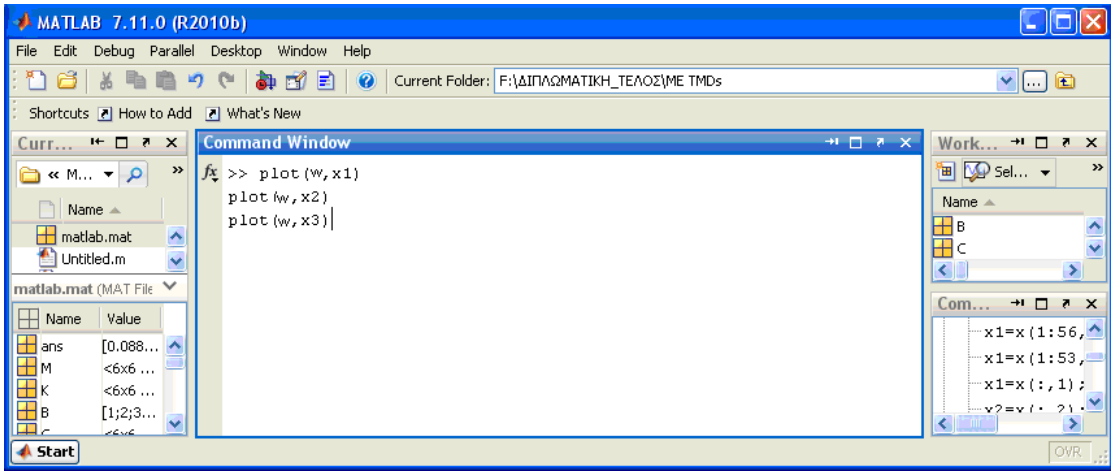




Τέλος, έχοντας ως σκοπό την γραφική αναπαράσταση των ιδιοδιανυσμάτων συναρτήσει των αντίστοιχων ιδιοσυχνοτήτων, πήραμε κάθε μία στήλη από τον πίνακα x(86x6) δημιουργώντας έτσι τους αντίστοιχους πίνακες x1, x2, x3 (86x1), όπως φαίνεται και πιο κάτω:

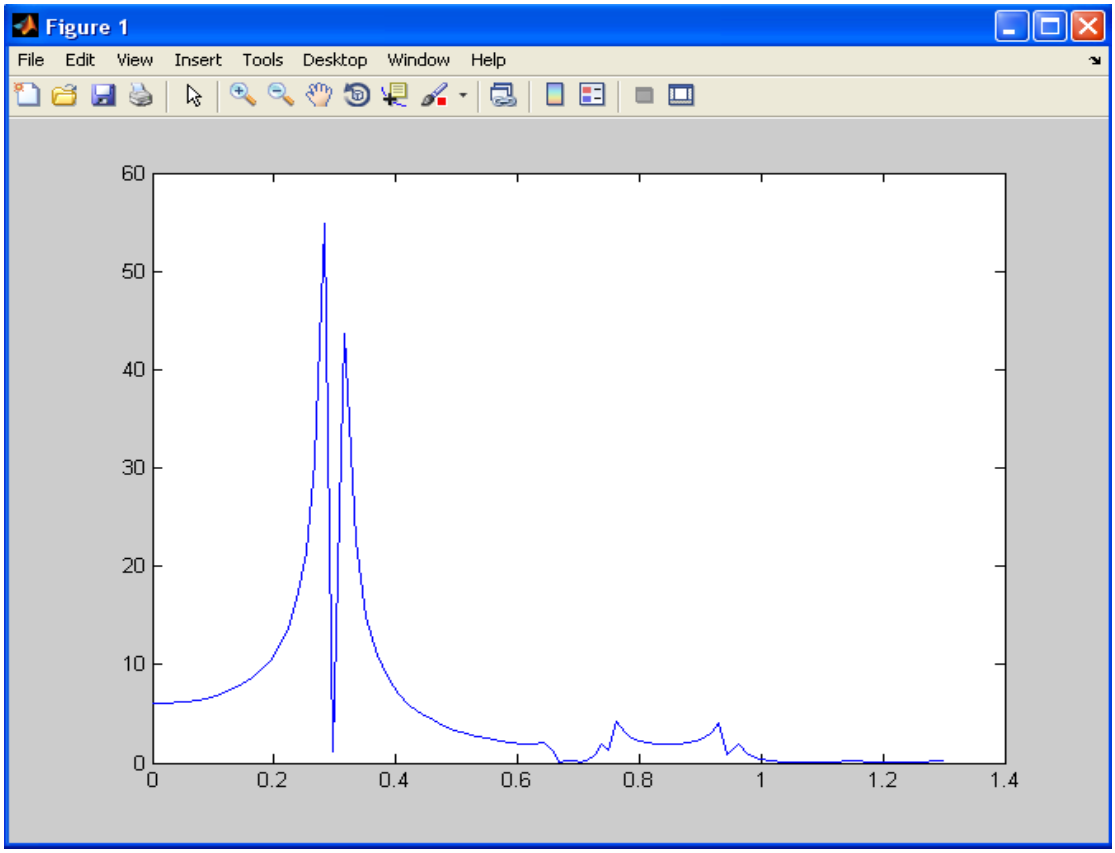


Και με τη χρήση της συνάρτησης plot(a,b) :

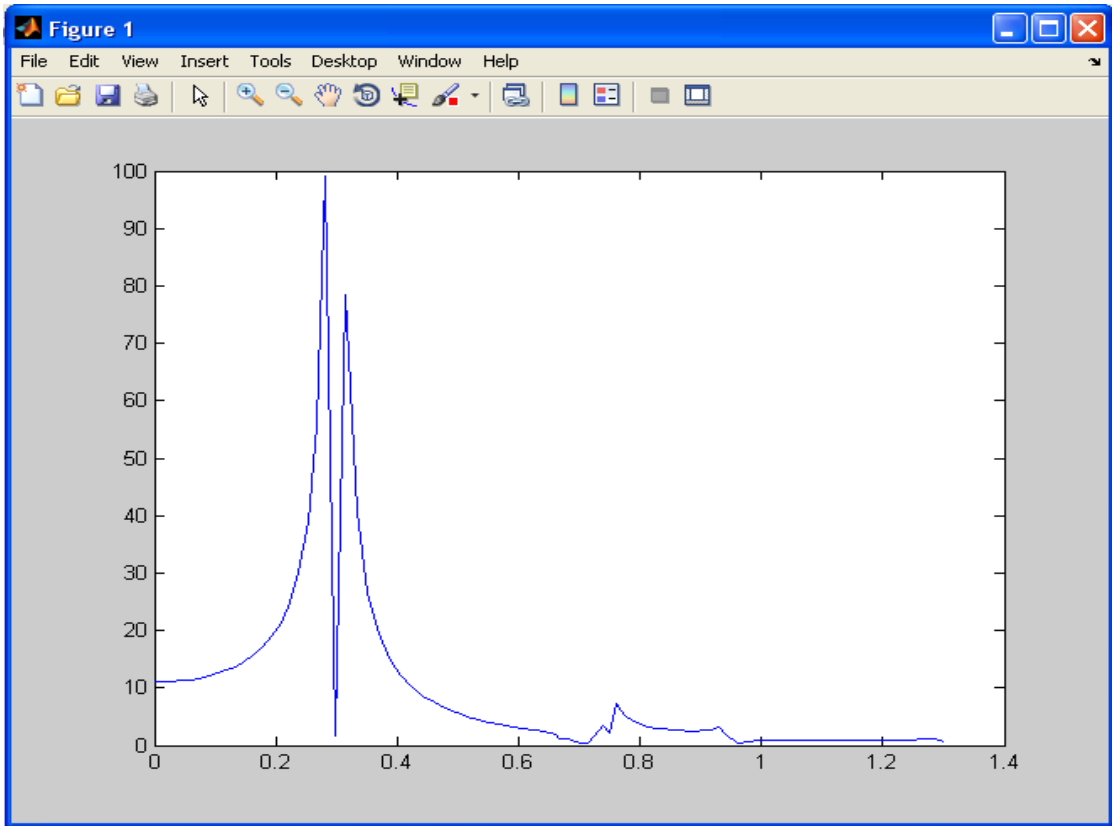


δημιουργήσαμε την απόκριση του συστήματος στις τρείς θέσεις(πρώτος, δεύτερος, τρίτος όροφος), όπου πλέον σε κάθε θέση βρίσκεται και ένας αποσβέστης:

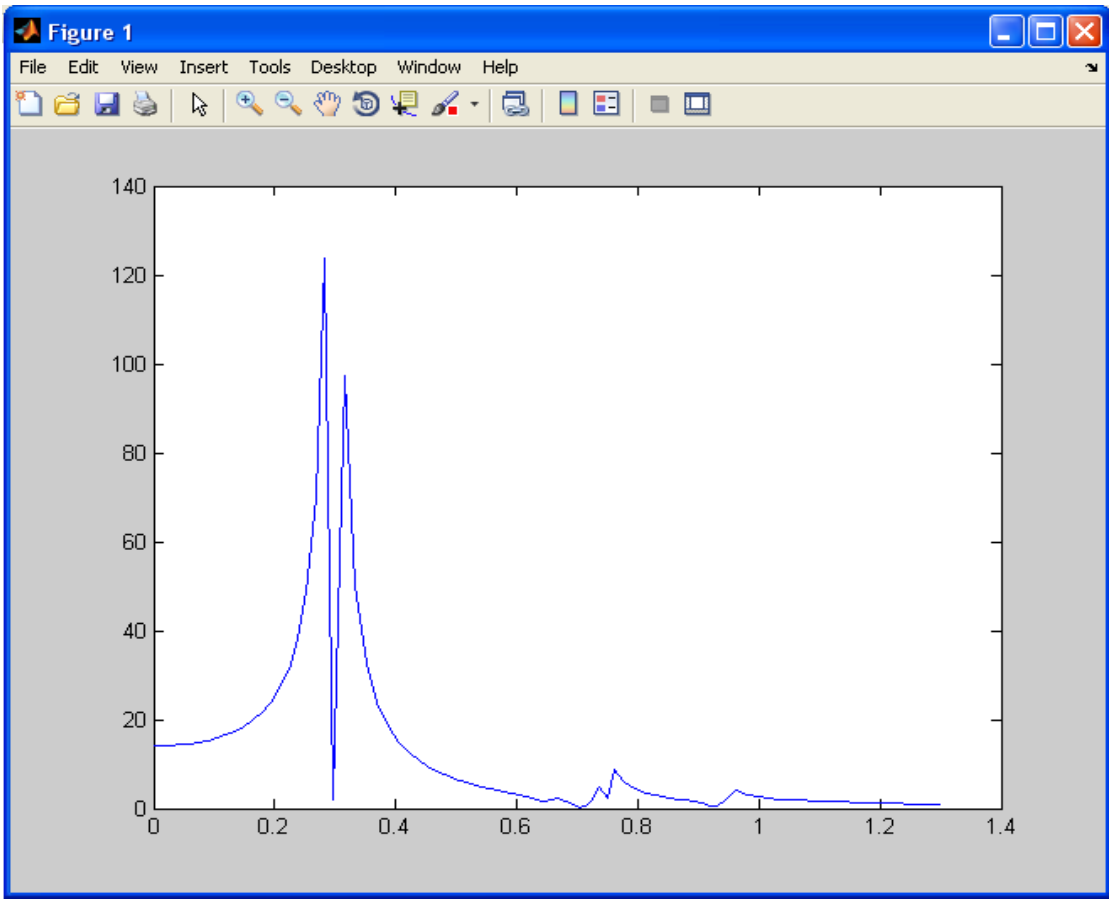
ΘΕΣΗ 1


Figure 1
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
60
50
40
30
20
10
0
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4

ΘΕΣΗ 2


Figure 1
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4

ΘΕΣΗ 3



Κεφαλαίο 4

4.1) Σύνθεση αποκρίσεων συστήματος στο ίδιο γράφημα (Τα w είναι σε rad/sec και η μετατόπιση x σε m)

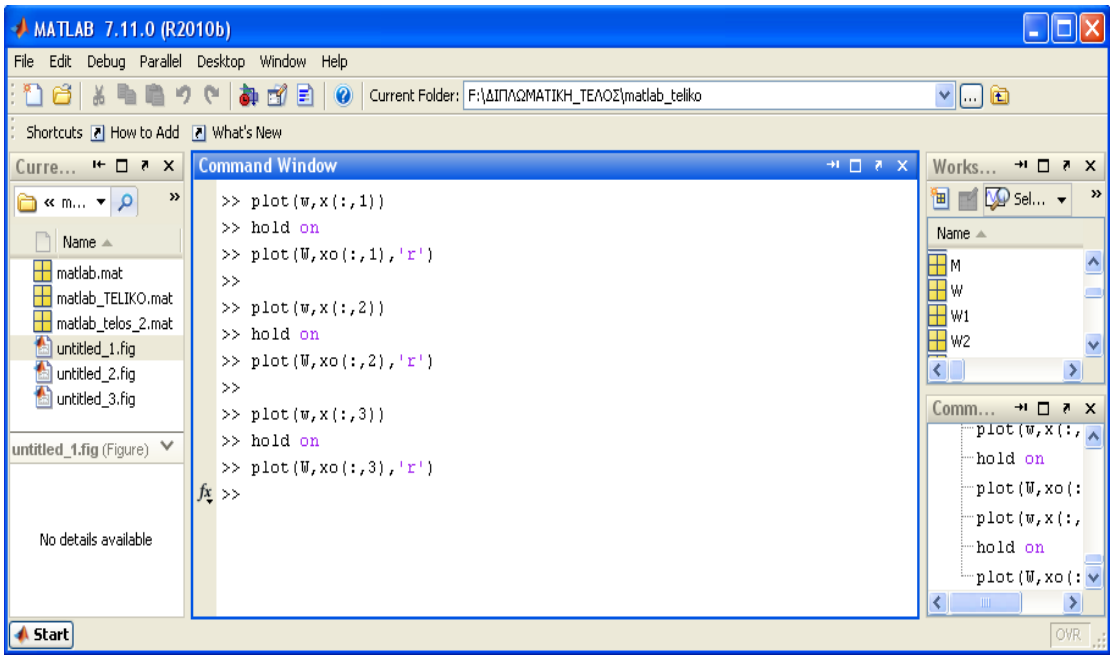
Με σκοπό την καλύτερη κατανόηση της σεισμικής δόνησης αλλά και την επίδραση της απόσβεσης τύπου tuned mass dampers στο ταλαντούμενο σύστημα(κτήριο) συνθέσαμε στο ίδιο γράφημα ιδιοσυχνοτήτων-μετατοπίσεων για κάθε θέση(1,2 και3) τις αποκρίσεις με και χωρίς την απόσβεση.
Ωστόσο, νωρίτερα δουλέψαμε σε ένα καινούριο workspace και εισάγαμε τους πίνακες B2(6x1), K2(6x6), M2(6x6), C2(6x6), W(1x86), xo(86x6)(αναφέρεται στις ιδιοσυχνότητες οπού υπάρχει απόσβεση),B(3x1), K(3x3), M(3x3), C(3x3), w(1x61) και x(61x3) ώστε να είναι δυνατή η σύνθεση των διαφορετικών αποκρίσεων στο ίδιο γράφημα(για κάθε μία από τις τρείς θέσεις).

Workspace

Stack: Base | Select data to plot

Name	Value	Min	Max
B	[1;2;3]	1	3
B2	[1;2;3;0;0;0]	0	3
C	[0.0400,-0.0100,0;-0.0100,0.0400,-0.0100;0,-0.0100,0.0300]	-0.0100	0.0400
C2	<6x6 double>	-0.0100	0.0410
G	[-0.2353 - 0.8358i;-0.6470 + 1.0376i;-1.0322 - 0.4774i;0.0882 + 0.3526i;0.2835 - 0.4262i;0.4260 + 0.2124i]	0.088...	-0.64...
K	[2,-1,0;-1,2,-1;0,-1,1]	-1	2
K2	<6x6 double>	-1	2.1000
M	[2,0,0;0,2,0;0,0,2]	0	2
M2	<6x6 double>	0	2
W	<1x86 double>	0	1.3017
W1	0.5412	0.5412	0.5412
W2	1	1	1
W3	1.3066	1.3066	1.3066
ans	[0.2929;1.0000;1.7071]	0.2929	1.7071
j	86	86	86
w	<1x61 double>	0	1.2742
w1	0.2972	0.2972	0.2972
w2	0.6604	0.6604	0.6604
w3	0.6922	0.6922	0.6922
w4	0.7488	0.7488	0.7488
w5	0.9441	0.9441	0.9441
w6	1.3017	1.3017	1.3017
x	<61x3 double>	0.0021	126.9...
xo	<86x6 double>	0.0186	146.9...

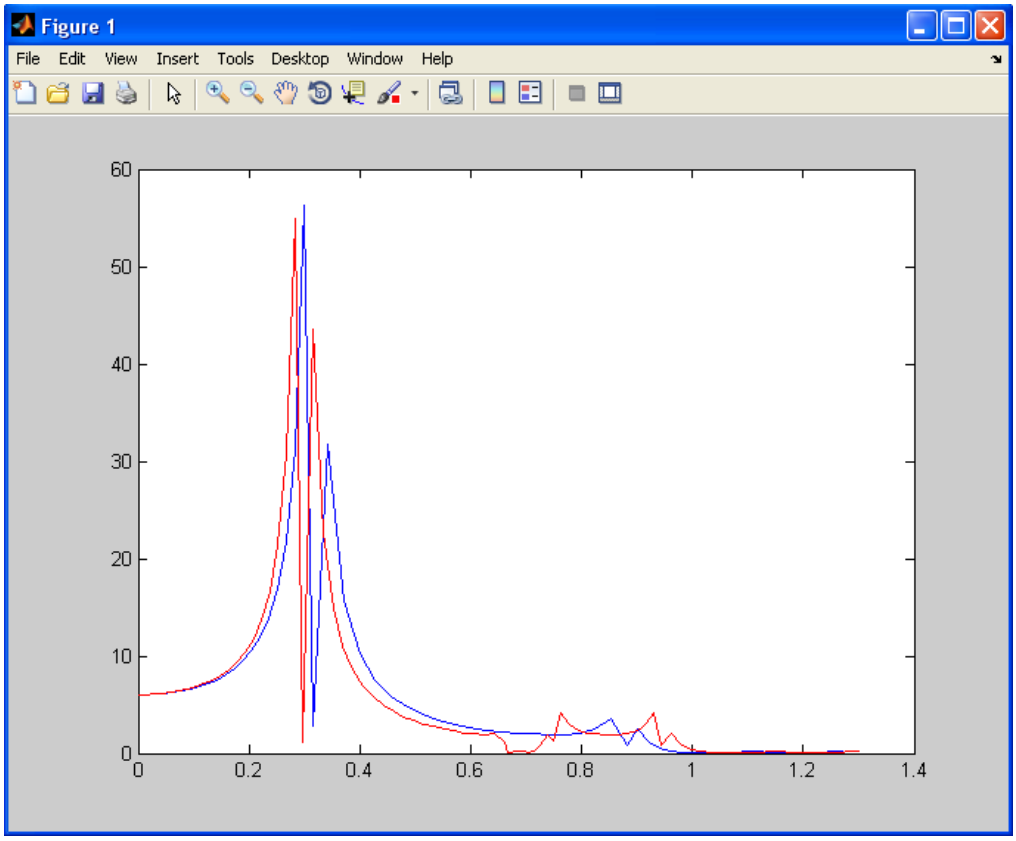
Στη συνέχεια, με τη βοήθεια της εντολής plot(a,b) δημιουργήσαμε τα τρία διαφορετικά γραφήματα:



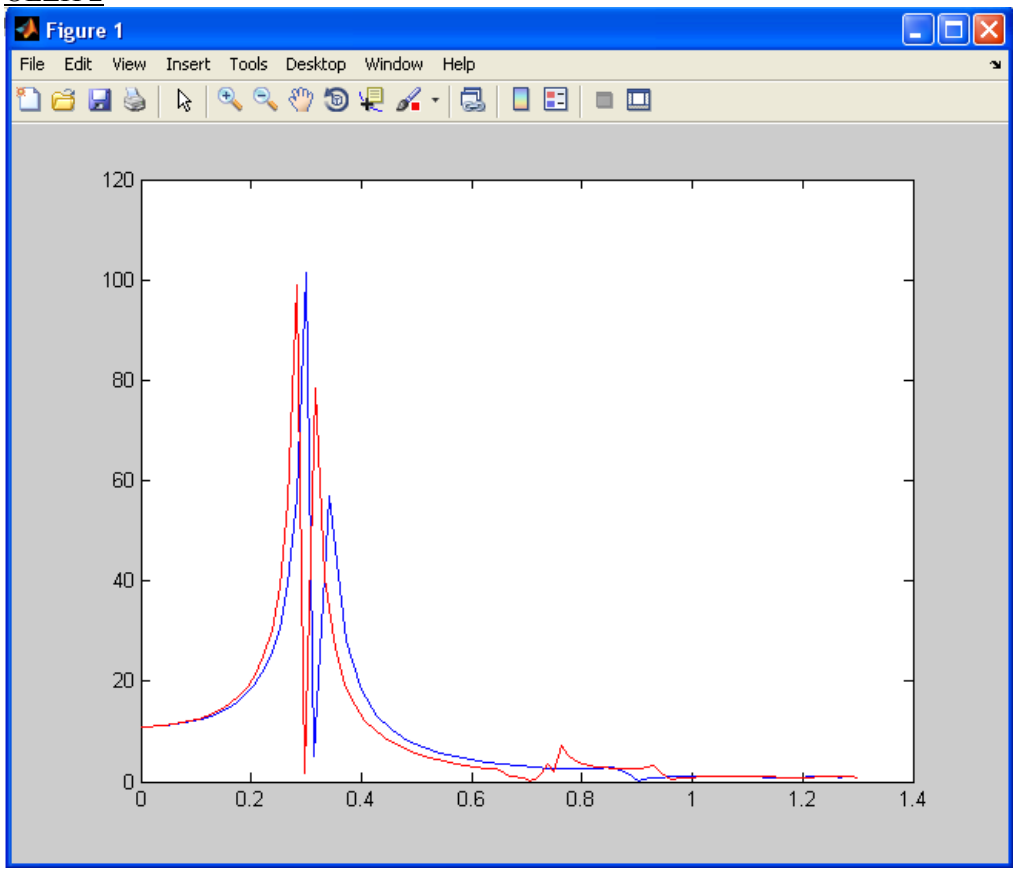
Συγκεκριμένα, αναπαρίσταται για κάθε θέση(όροφος 1, όροφος 2, όροφος 3) η δυναμική απόκριση που εμφανίζει το κτήριο χωρίς τον αποσβέστη(μπλέ χρώμα) και με τον ίδιο τοποθετημένο σε κάθε όροφο(κόκκινο χρώμα).

Αναλυτικά:

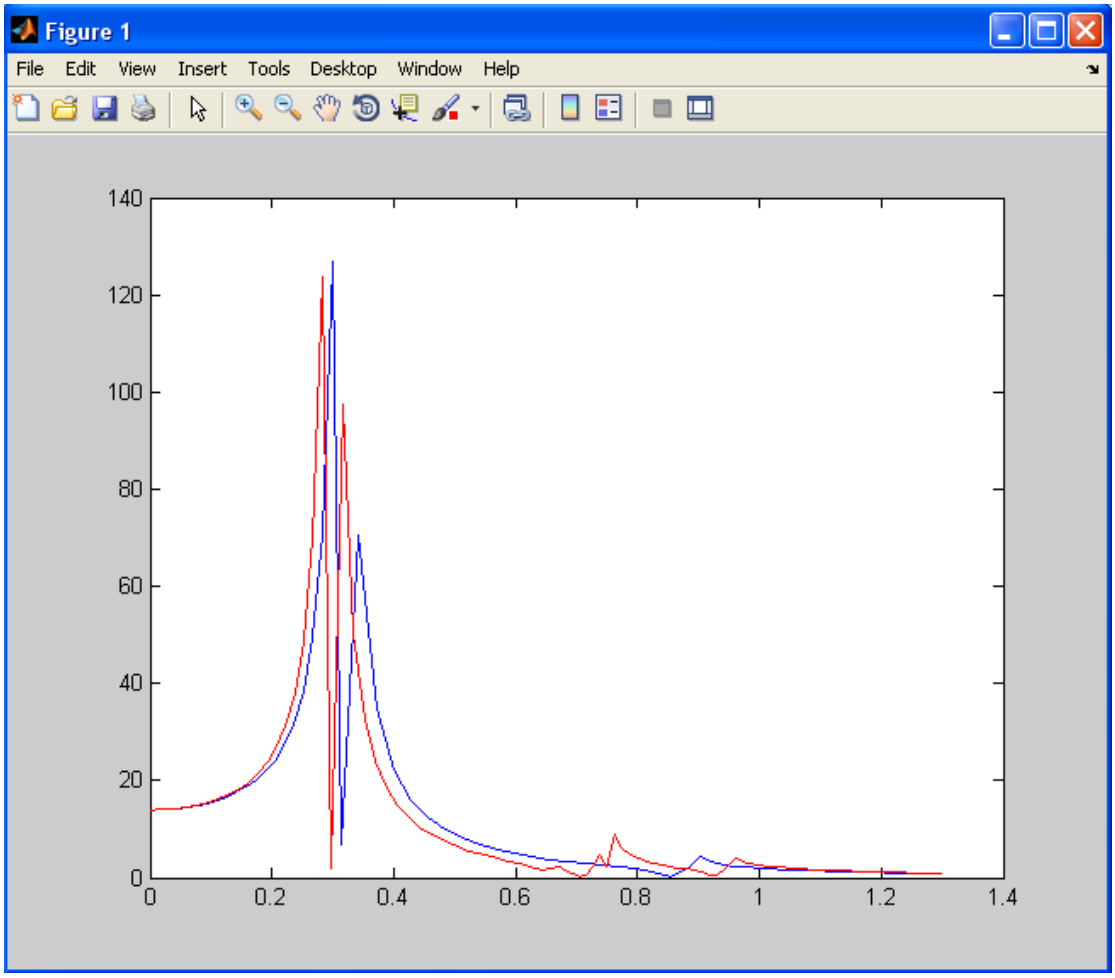
ΘΕΣΗ 1


Figure 1
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
60
50
40
30
20
10
0
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4

ΘΕΣΗ 2


Figure 1
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
120
100
80
60
40
20
0
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4

ΘΕΣΗ 3



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Ι.ΑΝΤΩΝΙΑΔΗ, Α. ΚΑΝΑΡΑΧΟΥ, ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΩΝ,1998

[2] Γ.Ε.ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗ,Ν.ΣΚΑΡΟΥ, ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΤΡΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ, ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ, ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ 2007

[3] Zhi Q. Gu, S. Olutunde Oyadiji, Application of MR damper in structural control using ANFIS method

[4] Ka-Veng Yuen · Yuanfeng Shi · James L. Beck · Heung-Fai Lam, Structural protection using MR dampers with clipped robust reliability-based control

[5] Γ. ΜΑΡΙΝΑΚΗ, ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΣΕΜΙΝΑΡΙΑΚΩΝ ΔΙΑΛΕΞΕΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ Η/Υ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ MATLAB (VERSION 7.0.1 - Release 14) , 2006