



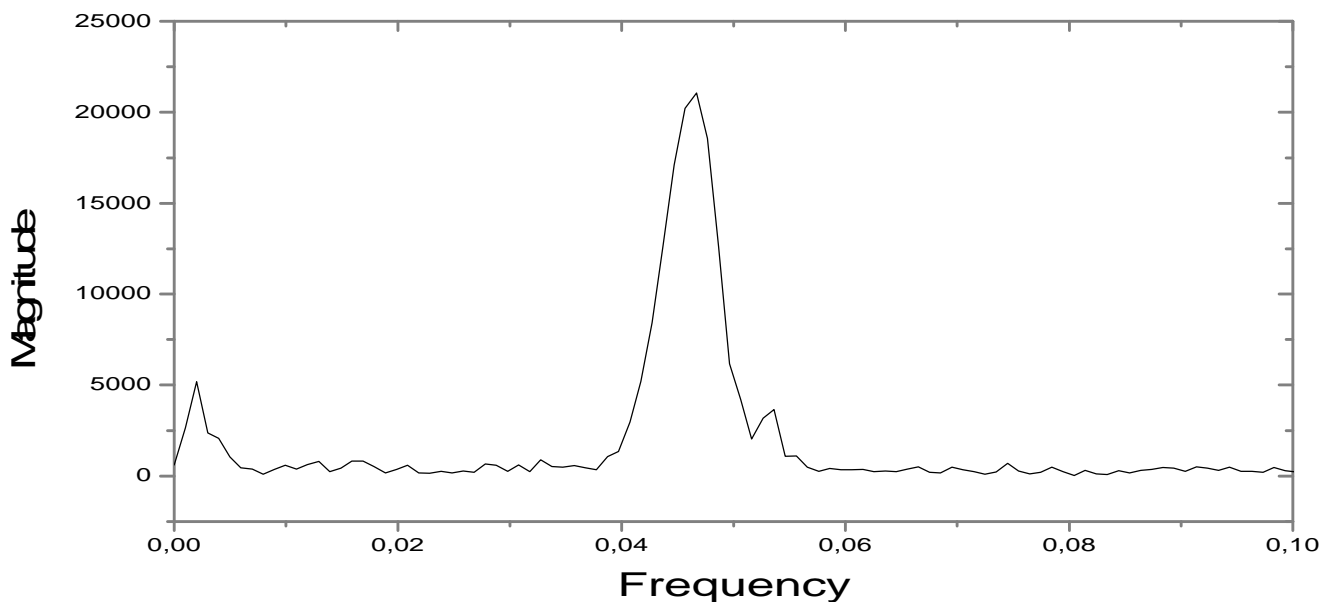
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ
ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΥΣ**



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝΤΕΣ-ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

ΛΥΚΟΥΡΓΙΩΤΗΣ ΣΩΤΗΡΗΣ

ΣΑΡΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΕΣ:

ΠΛΑΚΙΔΑ ΜΑΡΙΚΑ

ΠΡΙΟΝΑ ΧΑΙΔΩ

ΠΑΤΡΑ 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η πτυχιακή αυτή εργασία ολοκληρώνει επίσημα τον κύκλο των προπτυχιακών μας σπουδών. Ως εκ τούτου θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κύριο Λυκουργιώτη Σωτήρη, Αναπληρωτή καθηγητή του Τ.Ε.Ι Δυτικής Ελλάδας και τον κύριο Σαραντόπουλο Ανδρέα για τη συνεχή υποστήριξη κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μας εργασίας και για τις απαραίτητες συμβουλές του.

Πλακίδα Μαρίκα
Πριόνα Χάιδω
Απρίλιος 2014

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στην Φασματική Ανάλυση (**Ανάλυση Fourier**) των ταλαντώσεων που προκλήθηκαν στο παρακάτω πείραμα. Η ανάλυση αυτή είναι ένα πεδίο των εφαρμοσμένων μαθηματικών το οποίο προέκυψε από την προσπάθεια αναπαράστασης μίας συνάρτησης ως αθροίσματος απλούστερων περιοδικών τριγωνομετρικών συναρτήσεων. Επομένως κεντρική ιδέα στην **Ανάλυση Fourier** είναι η προσπάθεια για κατανόηση των ιδιοτήτων μίας συνάρτησης (η οποία μπορεί να αναπαριστά π.χ. ένα σήμα) μέσω διάσπασής της σε γνωστά, στοιχειώδη μέρη. Η σειρά Φουριέ εφαρμόζεται για περιοδική f και δίνει ως αποτέλεσμα μία νέα συνάρτηση με διακριτό πεδίο τιμών αντί για συνεχές (δηλαδή πεδίο τιμών σε μία σειρά Φουριέ είναι οι φυσικοί αριθμοί αντί για τους πραγματικούς). Η ανάλυση Φουριέ έχει πολλές επιστημονικές εφαρμογές στη φυσική, στην επίλυση μερικών διαφορετικών εξισώσεων, στη θεωρία αριθμών, στη συνδυαστική ανάλυση, στην επεξεργασία σήματος, στην επεξεργασία εικόνας στη στατιστική, στην κρυπτογραφία, στην αριθμητική ανάλυση, στην ακουστική, στην ωκεανογραφία, στην οπτική και σε πολλούς άλλους τομείς. Στην αρχή γίνεται αναφορά στην πραγματοποίηση του πειράματος, καθώς και στην μεθοδολογία και επεξεργασία.

Τέλος παρουσιάζεται η φασματική ανάλυση και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία μας βασίστηκε πάνω σε ένα πείραμα που πραγματοποίησε μια ομάδα σπουδαστών, του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών. Το πείραμα έλαβε μέρος στην ξύλινη τοξωτή πεζογέφυρα επί της οδού Κανελλοπούλου. Σκοπός του να προκληθούν σε αυτήν ταλαντώσεις με ποικίλους τρόπους, όπως βήματα κατά μήκος (ελεύθερο), πλάγια κατά Πάτρα-Ρίο, πλάγια κατά Ρίο-Πάτρα, άλματα στον κατακόρυφο άξονα (2 άτομα συντονισμένα και πιο ομαλά). Για την σύγχρονη καταγραφή των ταλαντώσεων η ομάδα χρησιμοποίησε βασικά όργανα μέτρησης με κυριότερα τον ρομποτικό θεοδόλιχο (RTS) και το ηλεκτρομαγνητικό όργανο μέτρησης αποστάσεων τελουρόμετρο (tellurometers) τα οποία έδωσαν ακριβείς μετρήσεις. Ωστόσο κατά την φάση των πειραμάτων προέκυψαν προβλήματα απώλειας (έντονος άνεμος) των μετρήσεων τα οποία εκτιμάται ότι μπορούν να αντιμετωπιστούν με κατάλληλη συνδεσμολογία για το GPS και κατάλληλο λογισμικό για το RTS. Το RTS μπορεί να καταγράψει με ακρίβεια ταλάντωσης με συνολικό εύρος ταλάντωσης της τάξης του 1 cm και μπορεί να προσδιορίσει με ακρίβεια την συχνότητα διέγερσης για χαμηλόσυχνές ταλαντώσεις (μέχρι και 1 Hz). Για την φασματική ανάλυση των ταλαντώσεων που προέκυψαν χρησιμοποιήθηκε από εμάς η κλασική μέθοδος FFT (Fast Fourier Transform). Από αυτές ακριβώς τις ταλαντώσεις με τη βοήθεια του προγράμματος Excel δημιουργήσαμε το διάγραμμα της συνολικής χρονοσειράς ταλαντώσεων και απομονώσαμε τις πιο έντονες τις οποίες εισάγαμε στο πρόγραμμα ανάλυσης OriginPro8.

Συμπερασματικά η μέθοδος Ανάλυσης Fourier μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των ταλαντώσεων/μετακινήσεων των διάφορων κατασκευών, ενώ με βελτίωση των διατάξεών τους και των λογισμικών τους με στόχο να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν, αναμένεται ακόμα καλύτερη ακρίβεια.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	1
Πρόλογος	2
Περίληψη	3
Περιεχόμενα	4
Κεφάλαιο 1	
Στόχος και περιγραφή του πειράματος	5
1.1. Αναφορές στον ρομποτικό θεοδόλιχο (RTS) και στο τελουρόμετρο (tellurometer)	5
1.2 Περιγραφή πειράματος.....	8
Κεφάλαιο 2	
Μεθοδολογία και επεξεργασία.....	10
2.1 Βήματα της επεξεργασίας	12
Κεφάλαιο 3	
Περιγραφή ανάλυσης δεδομένων.....	19
3.1 Διαγράμματα ταλαντώσεων.....	19
3.2 Διαγράμματα ταλαντώσεων-Ανάλυση FFT-πίνακες κορυφών.....	24
3.3 Συγκεντρωτικός πίνακας κορυφών.....	45
Κεφάλαιο 4	
Συμπεράσματα.....	44
Βιβλιογραφία.....	45
Παράρτημα.....	47

Κεφάλαιο 1

ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Με την εργασία αυτή στοχεύουμε στο να γίνει φασματική ανάλυση ταλάντωσης στη ξύλινη πεζογέφυρα της οδού Κανελλοπούλου στην Πάτρα.

1.1 Αναφορές στον ρομποτικό θεοδόλιχο (RTS) και στο τελουρόμετρο (tellurometers)

Για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν δυο βασικά όργανα μέτρησης αποστάσεων υψηλής ακρίβειας:

I. Ρομποτικός θεοδόλιχος (RTS):

Το RTS (Robotic Total Station) είναι ένα γεωδαιτικό όργανο νέας γενιάς και αποτελεί εξέλιξη του ηλεκτρονικού θεοδολίχου (Εικόνα 1). Άρχισε να χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια για τις ανάγκες χαράξεων τεχνικών έργων αλλά και ως σύστημα παρακολούθησης κτιρίων (π.χ. παρακολούθηση μετακινήσεων κτιρίων που βρίσκονται σε περιοχές διάνοιξης σήραγγας), φραγμάτων κλπ καθώς επίσης και στην παρακολούθηση της εξέλιξης πολλών φυσικών φαινομένων όπως η ηφαιστειακή δραστηριότητα και η κίνηση κατολισθήσεων.



Εικόνα 1.1 Ρομποτικοί θεοδόλιχοι (RTS) *Trimble 5600* και β) ρομποτικός θεοδόλιχος της *Topcon* (source: προσωπικό αρχείο)

Η χρήση αυτή του RTS οφείλεται σε χαρακτηριστικά που τον διαφοροποιούν από τους κοινούς γεωδαιτικούς σταθμούς και του δίνουν την δυνατότητα να παρακολουθούν συστηματικότερα μεγάλο πλήθος σημείων. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα εξής:

- ✓ Έχει την δυνατότητα να μπορεί να περιστρέφεται μόνος του προς όλες τις διευθύνσεις με την βοήθεια ενός σέρβο-κινητήρα.
- ✓ Χάρη σε ένα ειδικό σύστημα Laser που διαθέτει μπορεί να εντοπίζει τους ανακλαστήρες σαρώνοντας την περιοχή σκόπευσης με βάση τη δυνατότητα κίνησης που του δίνει ο σέρβο-κινητήρας.
- ✓ Το τρίτο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι, με βάση τις εντολές του χρήστη, μπορεί να καταγράφει μετρήσεις αυτόματα. ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ανά συγκεκριμένη υψομετρική διαφορά ή και ανά τακτές αποστάσεις.



Εικόνα 1.2: θεοδόλιχος-Ανακλαστήρας

Το RTS, ως γεωδαιτικός σταθμός, επηρεάζεται και αυτός από σφάλματα. Τα κυριότερα από αυτά οφείλονται:

- στην εσωτερική ακρίβεια του οργάνου και
- στους εξωτερικούς παράγοντες όπως είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες (δυσχερή επίπεδα υγρασίας, θερμοκρασίας κλπ), σφάλματα κατά σκόπευση, ποιότητα στόχου, σφάλματα κέντρωσης κ.α.

Λόγω της υψηλής τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στο όργανο RTS πολλά από αυτά τα σφάλματα μειώνονται και υπεισέρχονται σε ασήμαντο ποσοστό στις μετρήσεις του.

II. Τελουρόμετρο (tellurometer)

Το τελουρόμετρο είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό όργανο μέτρησης αποστάσεων. Τα ηλεκτρομαγνητικά όργανα καθιερώθηκαν για την δυνατότητα μέτρησης γραμμικών αποστάσεων με μεγάλη ακρίβεια. Ο τρόπος λειτουργίας των οργάνων αυτών βασίζεται στην μέτρηση του χρόνου μετάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος από το όργανο σε ένα κάτοπτρο, ενώ η ακρίβεια μέτρησης εξαρτάται αποκλειστικά από την ακρίβεια της εκτιμώμενης ταχύτητας μετάδοσης του κύματος. Το 1959 και 1960 κατασκευάζονται δύο μοντέλα, τα *MRA2* και *MRB2*. Με αυτά τα μοντέλα εξοπλίζονται τμήματα έρευνας, πανεπιστήμια και ο αμερικάνικος στρατός. Στην συνέχεια παράγεται το *MRA3*, το οποίο παρέχει ακρίβεια της τάξης του $\pm 15 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}$. Το 1980, κατασκευάζεται το νέο μοντέλο, *MA200*, με ακρίβεια καλύτερη από $\pm 0.5 \text{ mm} + 0 \text{ ppm}$, ενώ επιπλέον έχει την δυνατότητα καταγραφής 50 μετρήσεων ανά δευτερόλεπτο για συχνότητες έως 25 Hz. Δυνατότητα που επέτρεψε την παρακολούθηση ταλαντώσεων κατασκευών.

Tellurometers



MRA2



MRA3



Εικόνα 1.3: Τελουρόμετρα κατασκευής 1959 (source: Google)

1.2 Περιγραφή του πειράματος

Μία ομάδα σπουδαστών από το τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου της Πάτρας πραγματοποίησε ένα πείραμα στην ξύλινη πεζογέφυρα της οδού Κανελλοπούλου στην Πάτρα. Ο σκοπός αυτού του πειράματος ήταν η καταγραφή των ταλαντώσεων της γέφυρας και η ερμηνεία της απόκρισης και της δυναμικής συμπεριφοράς μέσω αυτών. Γι' αυτό τον λόγο η τοποθέτηση των γεωδαιτικών οργάνων στη γέφυρα έγινε με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

- § την εκλογή σημείων τοποθέτησης με το μέγιστο δυνατό εύρος ταλάντωσης, δηλαδή στην μέση του ανοίγματος του καταστρώματος
- § τα σημεία τοποθέτησης να είναι αντιπροσωπευτικά της κίνησης της γέφυρας, ώστε να έχουμε μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις.

Για την πραγματοποίηση του πειράματος εξαναγκάστηκε η γέφυρα σε ταλάντωση μέσω δυναμικής φόρτισης που επέβαλαν σε αυτήν οι συμμετέχοντες στο πείραμα με τους παρακάτω τρόπους. Συγκεκριμένα, 10 φοιτητές διέσχισαν το κατάστρωμα της γέφυρας με:

- ü Με άλματα στο κέντρο
- ü Με συγχρονισμένο βηματισμό από τη μια άκρη της γέφυρας στην άλλη
- ü Με ελεύθερο βηματισμό



Εικόνα 1.4: Όψη της γέφυρας από το επίπεδο της οδού Κανελλοπούλου (source: προσωπικό αρχείο)

Καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων τα όργανα κατέγραφαν τις ταλαντώσεις που προκάλεσε κάθε διέγερση, της οποίας η αρχή και το πέρας καταγράφηκαν, ώστε να είναι δυνατή η ανάλυση των καταγραφών και η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο οργάνων. Κατόπιν, τα δεδομένα που κατέγραψαν τα όργανα μεταφέρθηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπου επεξεργάστηκαν ξεχωριστά για κάθε όργανο με το *Microsoft Excel* και το *Origin 8.0*, ώστε να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή των ταλαντώσεων της γέφυρας είναι το MA200, το RTS και GPS. Εμείς ασχοληθήκαμε με τα δύο πρώτα. Στις δύο παρακάτω εικόνες φαίνονται που τοποθετήθηκαν τα δύο RTS σε σχέση με την γέφυρα, αλλά και που ακριβώς τα δύο πρίσματα τους.

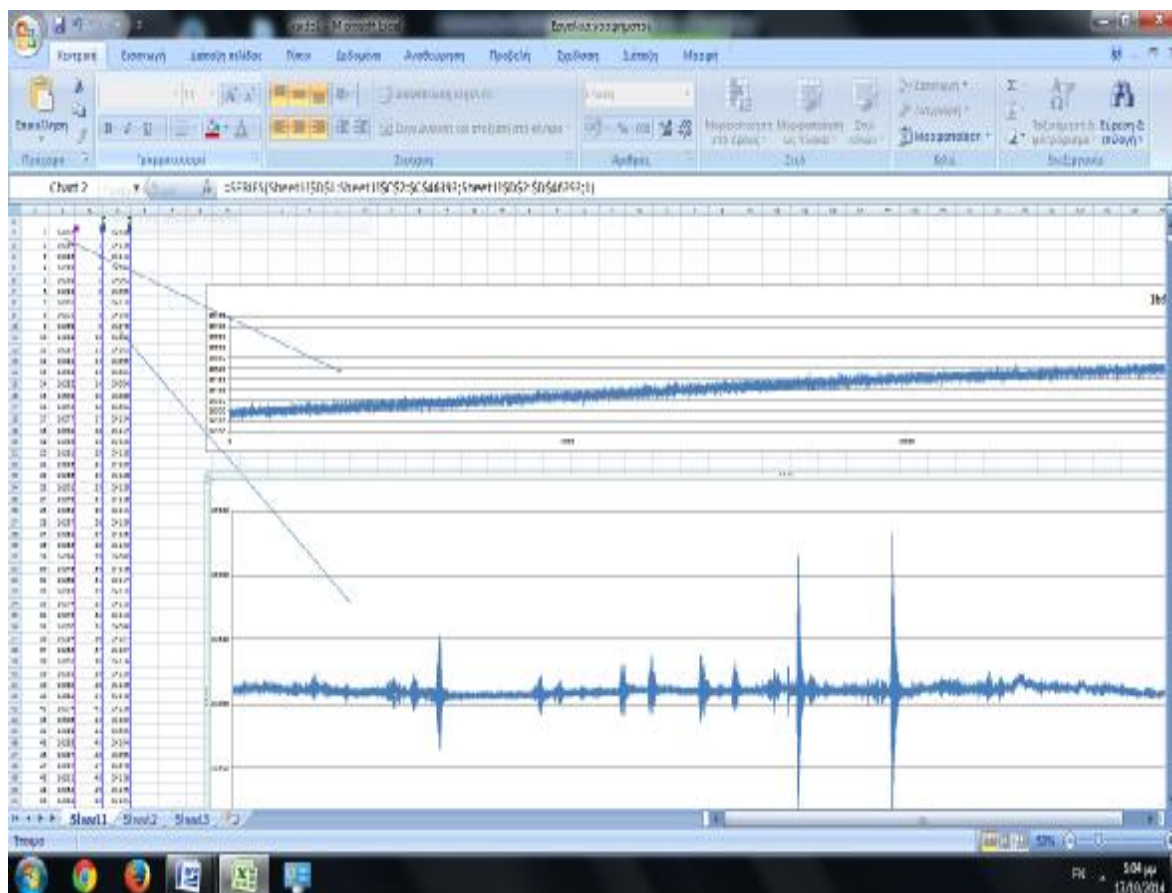


Εικόνα 1.5: Σημείο τοποθέτησης RTS σε σχέση με τη γέφυρα. (source: προσωπικό αρχείο)

Κεφάλαιο 2

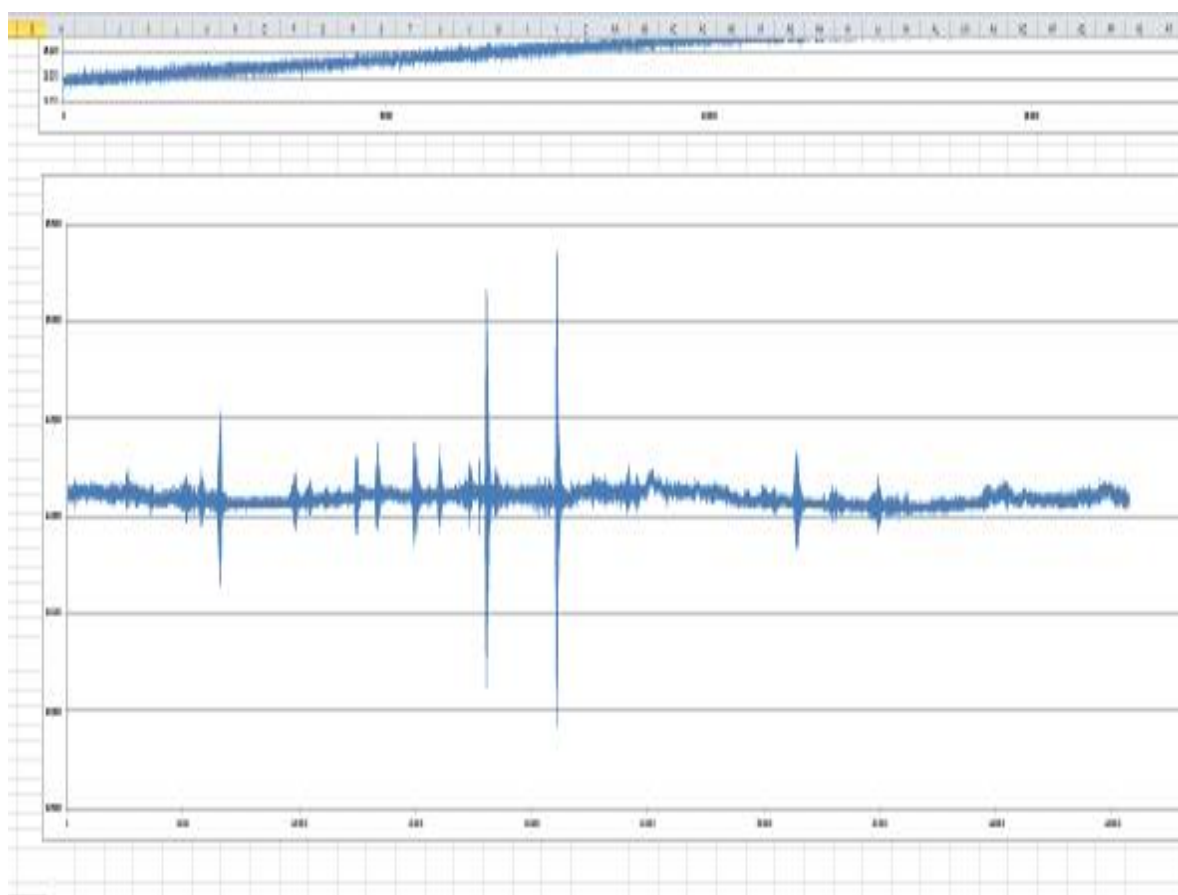
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Για την φασματική ανάλυση της μεθόδου FFT (Fast Fourier Transform) των ταλαντώσεων που προέκυψαν, πήραμε όλες τις μετρήσεις και δημιουργήσαμε τα διαγράμματα που ακολουθούν, χωρίσαμε τις διεγέρσεις με την βοήθεια του προγράμματος Excel. Στη συνέχεια εισάγαμε κάθε διεγέρση ξεχωριστά στο πρόγραμμα OriginPro8 γιατί αυτό μας επιτρέπει να κάνουμε την φασματική ανάλυση. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι μετρήσεις του πειράματος με τα αντίστοιχα διαγράμματα. Η πρώτη στήλη έχει δώσει το πάνω διάγραμμα και παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν εμφανείς ταλαντώσεις λόγω απόκλισης μετρήσεων κατά το στήσιμο του οργάνου. Στο κάτω διάγραμμα αντιστοιχούν οι μετρήσεις της δεύτερης στήλης όπου φαίνονται οι ταλαντώσεις του πειράματος με τον τρόπο που πραγματοποιήσαν οι σπουδαστές.



Σχέδιο 2.1: Διαγράμματα ταλαντώσεων από τις αντίστοιχες μετρήσεις

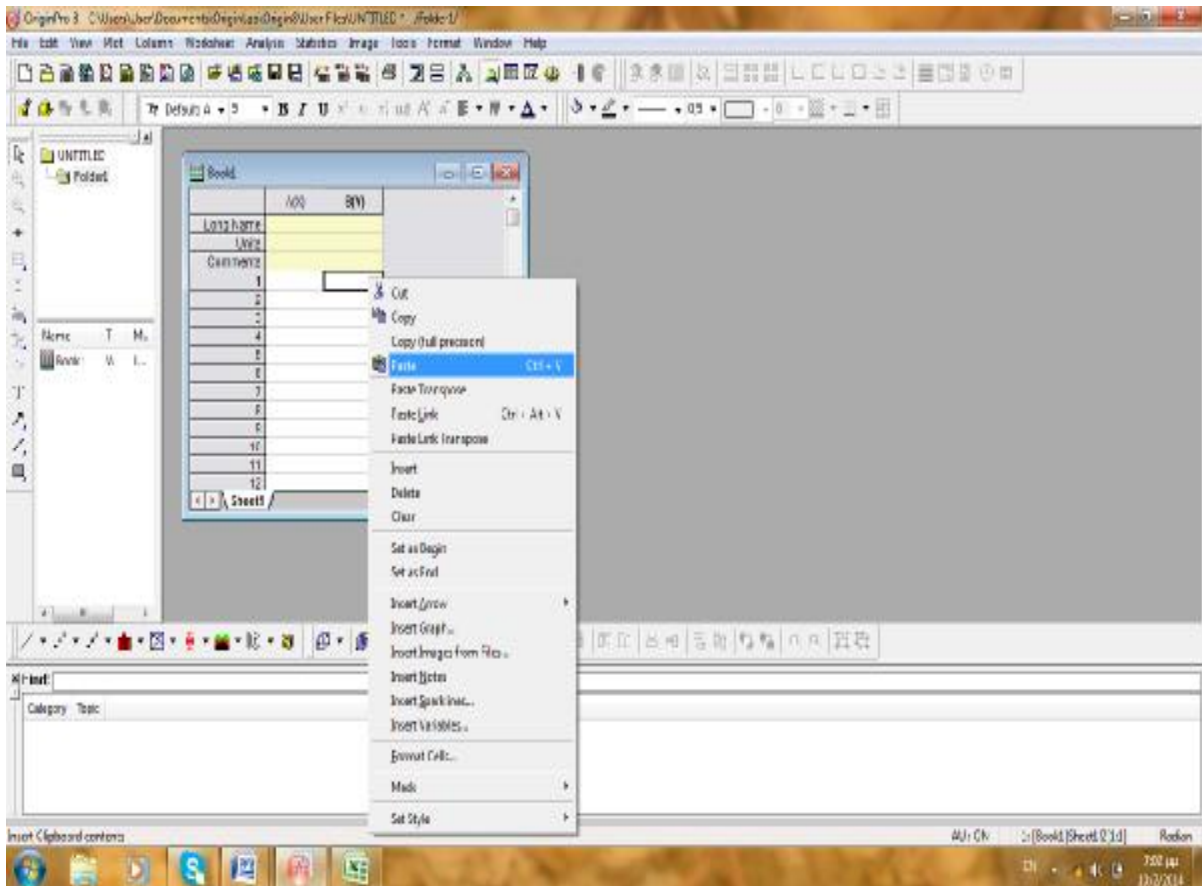
Δημιουργώντας έντονες ταλαντώσεις κατά τη διάρκεια του πειράματος από τους σπουδαστές στη ξύλινη γέφυρα της Οδού Κανελλοπούλου καταγράφηκαν κάποιες μετρήσεις. Από αυτές τις μετρήσεις προέκυψε το διάγραμμα της συνολικής χρονοσειράς που ακολουθεί. Συγκεκριμένα από την παρακάτω εικόνα απομονώσαμε τις δέκα πιο αντιπροσωπευτικές ταλαντώσεις και με τη χρήση του προγράμματος OriginPro8 ακολούθησαν τα εξής βήματα:



Σχέδιο 2.2: Συνολική χρονοσειρά ταλαντώσεων (source: προσωπικό αρχείο)

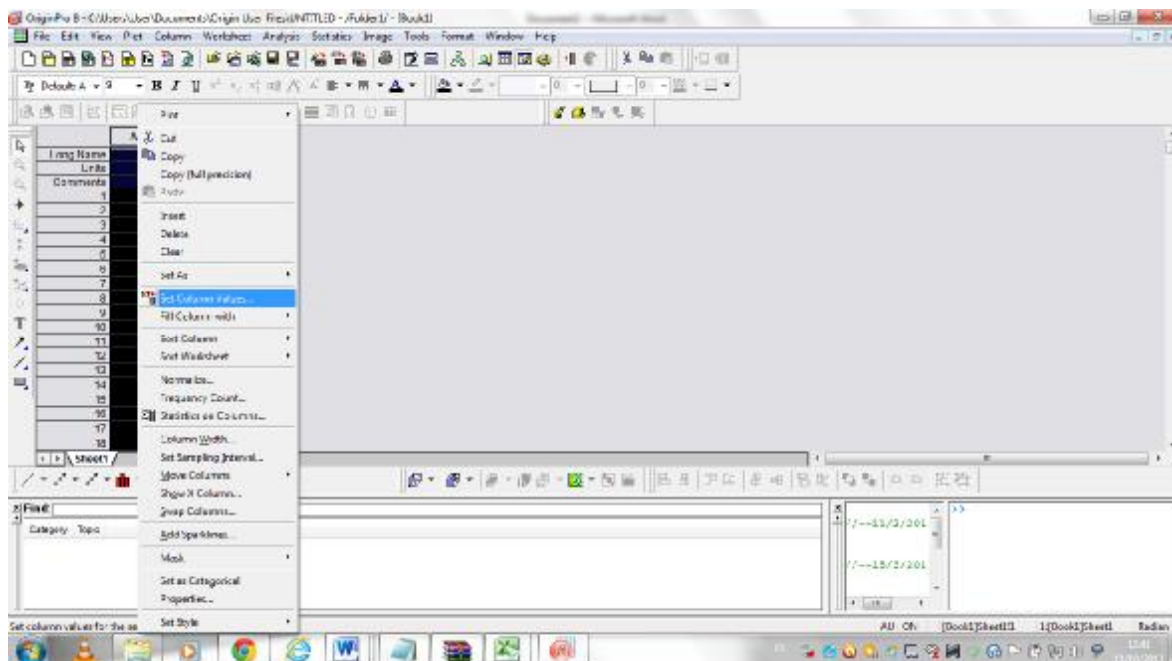
2.1 Τα βήματα της επεξεργασίας είναι τα εξής:

A. Αντιγραφή-επικόλληση (copy-paste) από το excel μεμονωμένα τις μετρήσεις της κάθε διέγερσης στην στήλη B.

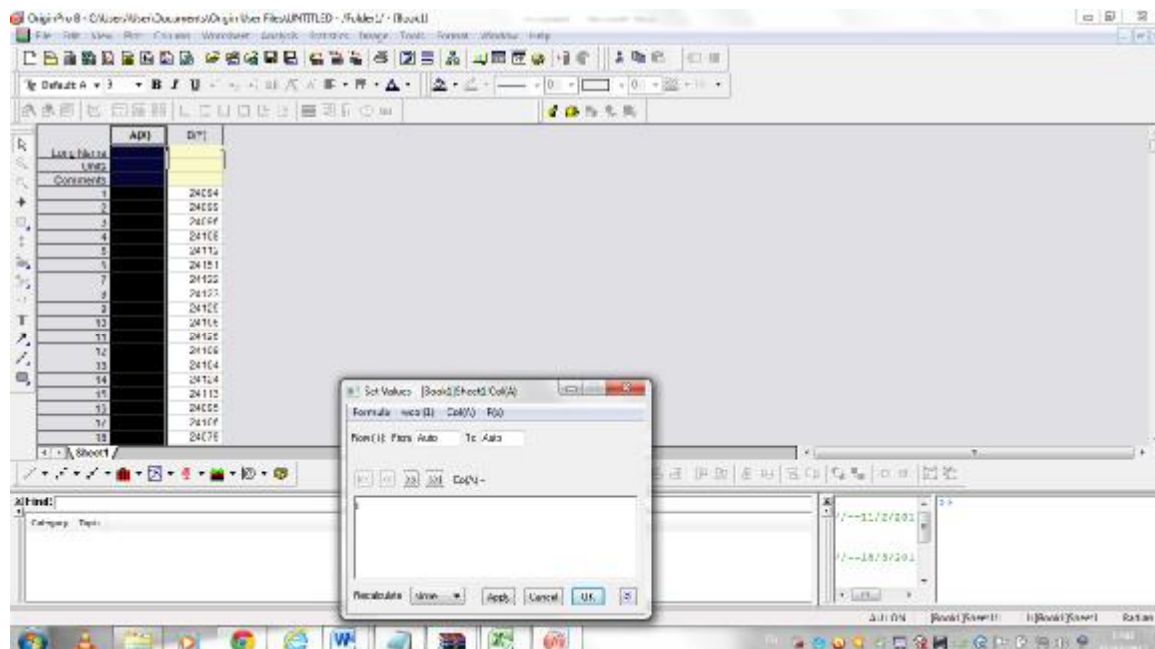


Εικόνα 2.3 :Αντιγραφή και επικόλληση των δεδομένων της πρώτης έντονης ταλάντωσης (source: προσωπικό αρχείο)

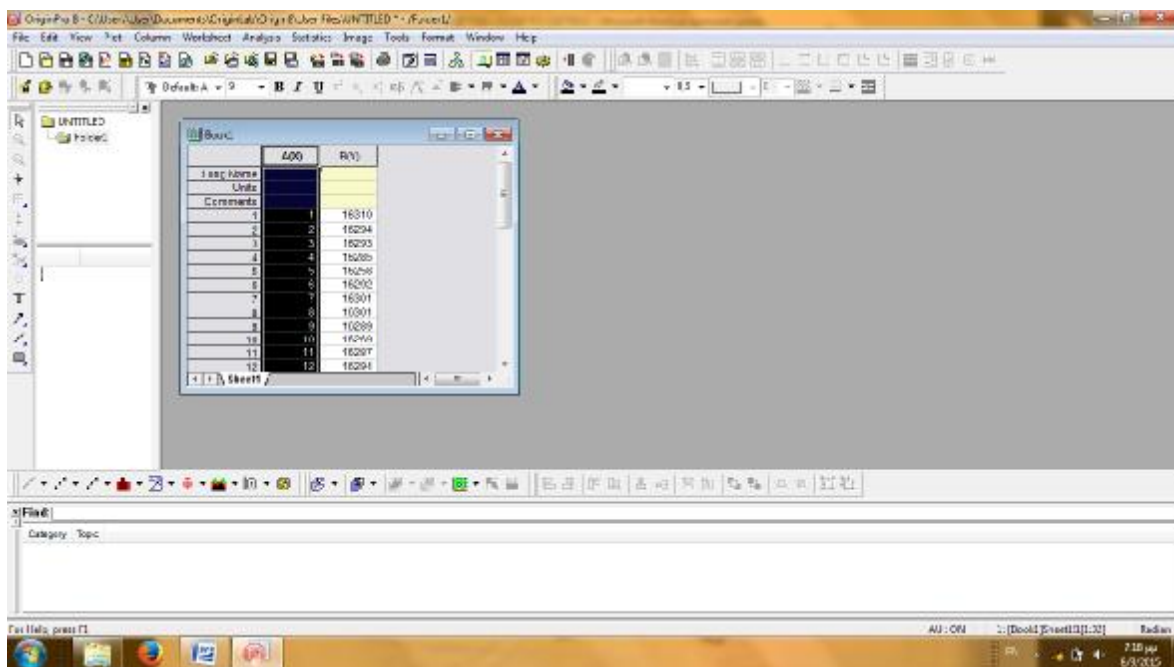
B. Αριθμήσαμε την στήλη A



Εικόνα 2.4 : Αρίθμηση της πρώτης στήλης (source: προσωπικό αρχείο)

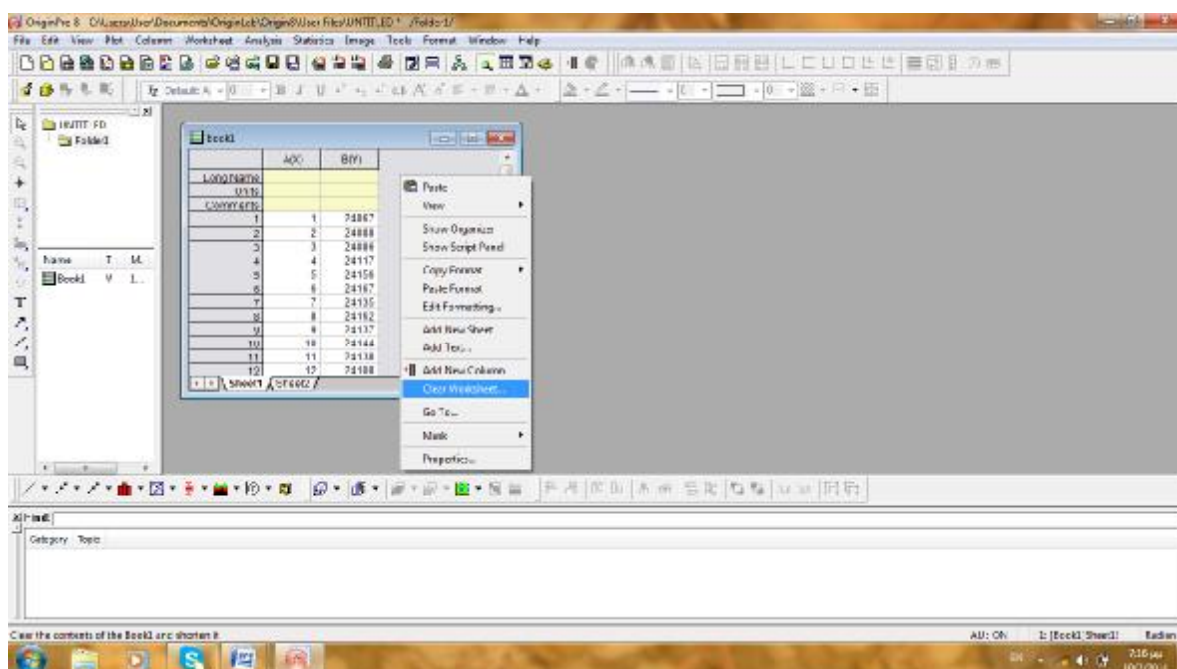


Εικόνα 2.5 : Αρίθμηση της πρώτης στήλης (source: προσωπικό αρχείο)

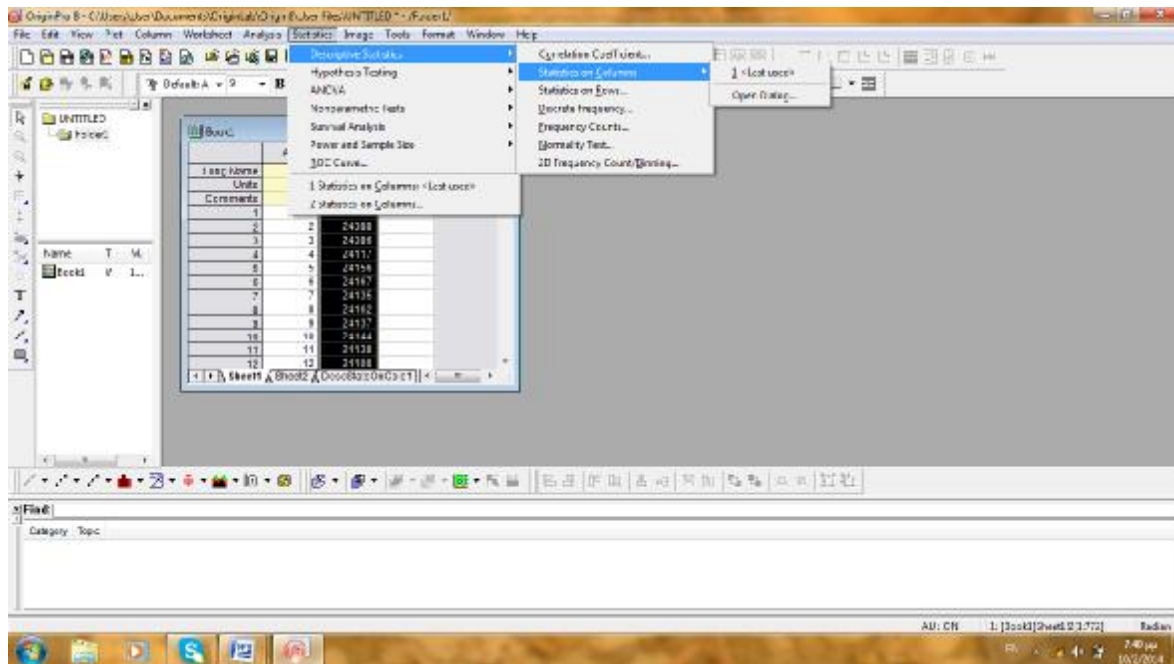


Εικόνα 2.6 : Ολοκλήρωση αρίθμησης (source: προσωπικό αρχείο)

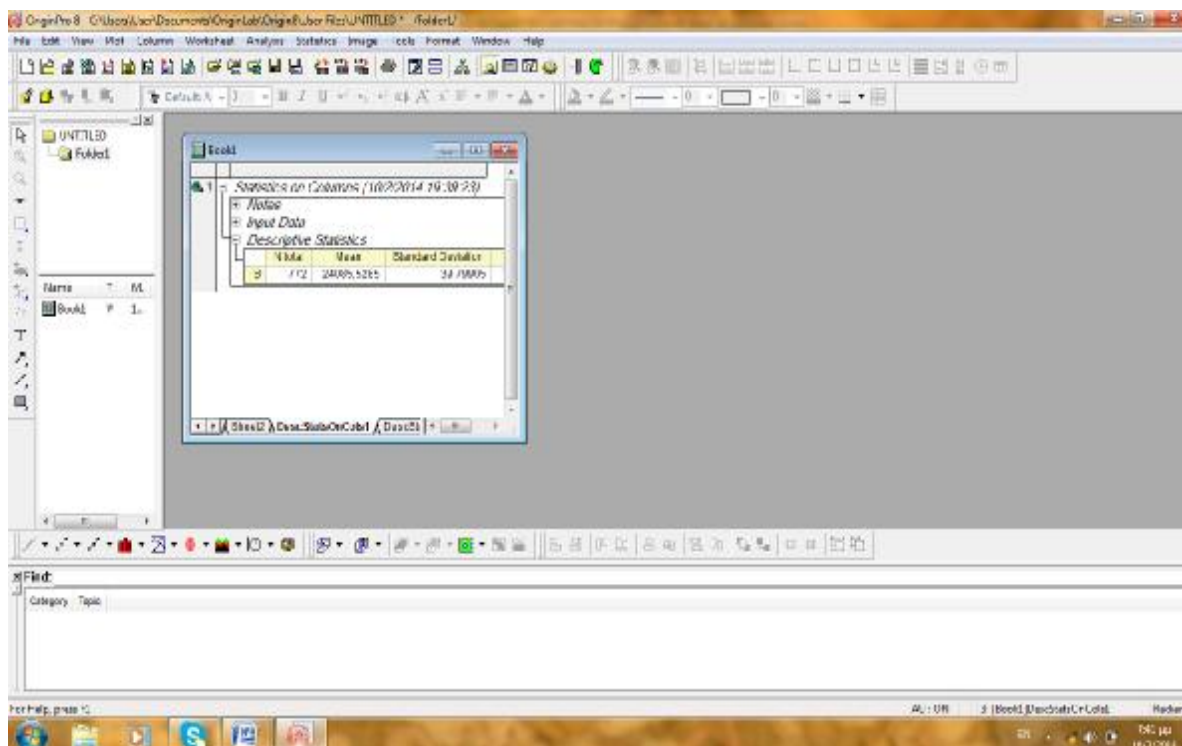
Γ. Δημιουργήσαμε όμως μια νέα τρίτη στήλη για την εμφάνιση του μέσου όρου της δεύτερης. Αυτό ήταν απαραίτητο γιατί οι τιμές της δεύτερης στήλης ήταν πολύ κοντινές και δεν θα ήταν ξεκάθαρο το διάγραμμα Fourier (Analysis FFT).



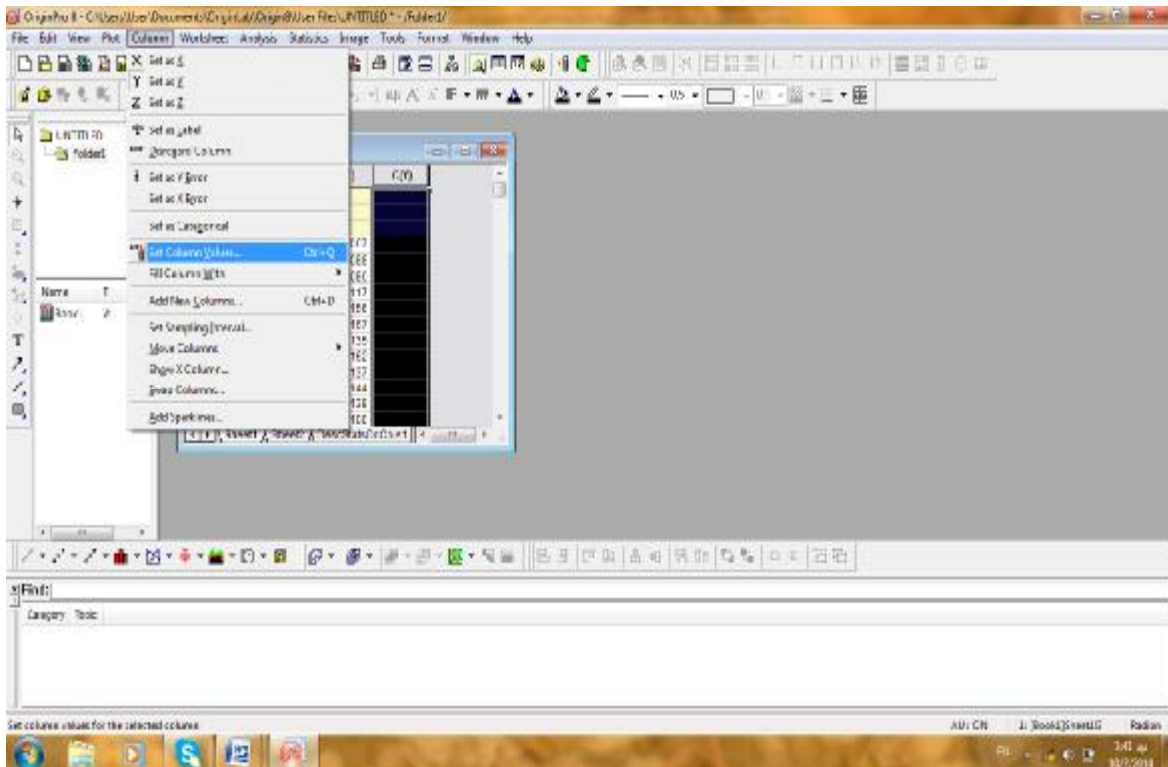
Εικόνα 2.7 : Δημιουργία της τρίτης στήλης (source: προσωπικό αρχείο)



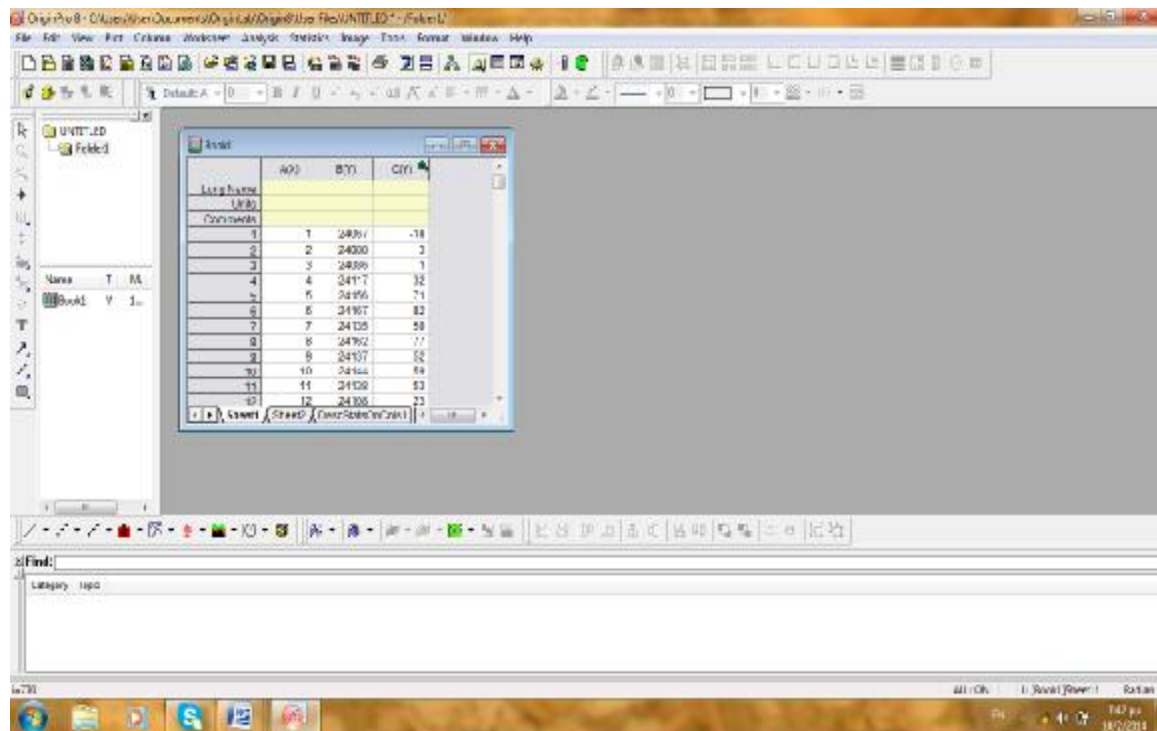
Εικόνα 2.8 : Εμφάνιση του μέσου όρου της δεύτερης στήλης (source: προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 2.9 :Ολοκλήρωση εμφάνισης του μέσου όρου της δεύτερης στήλης (source: προσωπικό αρχείο)

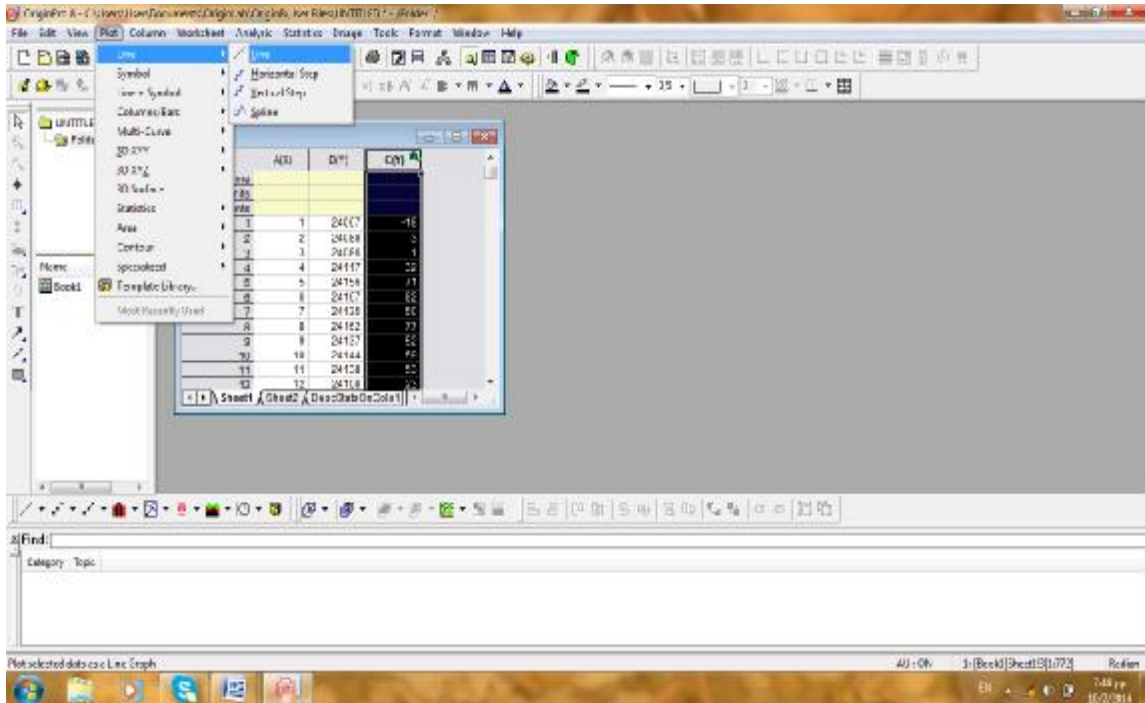


Εικόνα 2.10 : Εμφάνιση του μέσου όρου της δεύτερης στήλης (source: προσωπικό αρχείο)



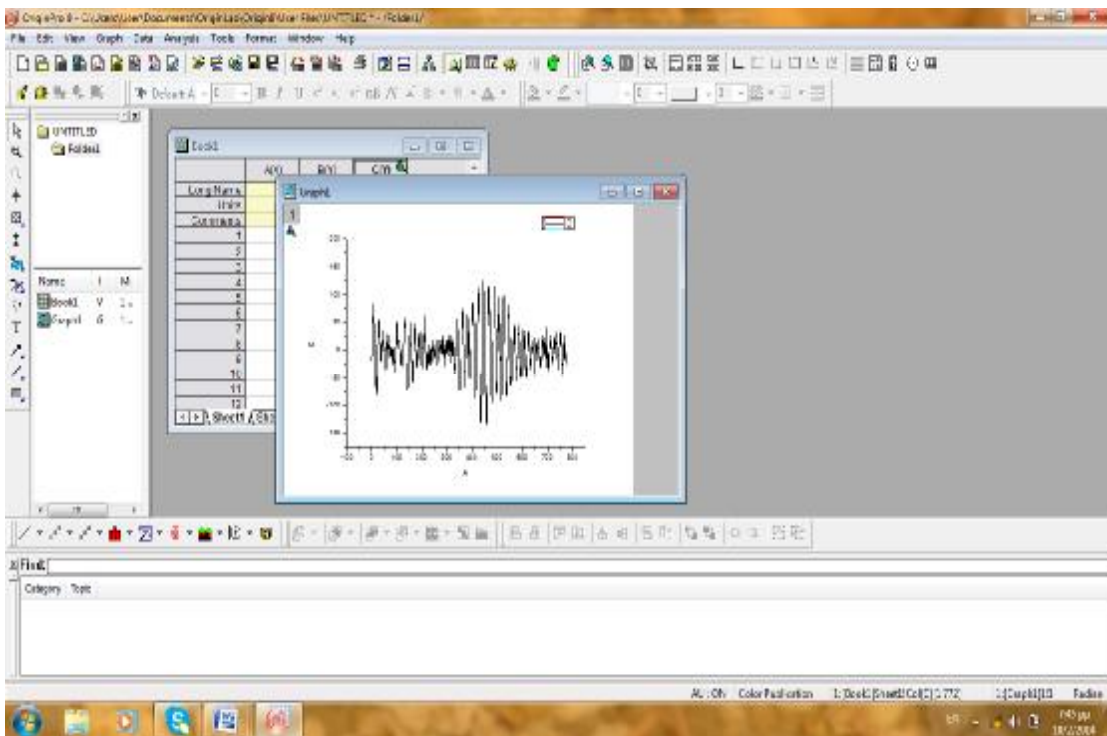
Εικόνα 2.11 : Εμφάνιση του μέσου όρου της δεύτερης στήλης (source: προσωπικό αρχείο)

Δ. Έχοντας επιλεγμένη την τρίτη στήλη πλοτάραμε και δείξαμε την διέγερση (διαγραμματικά)



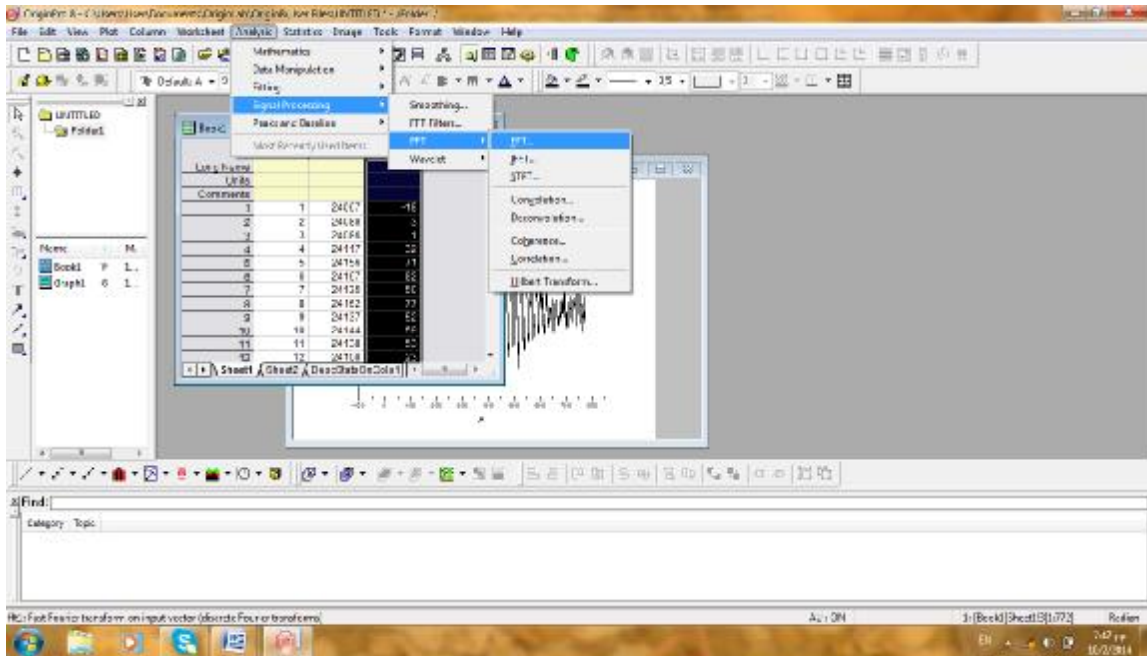
Εικόνα 2.12: Δημιουργία του διαγράμματος της διέγερσης (source: προσωπικό αρχείο)

Û Διάγραμμα διεγέρσεων:



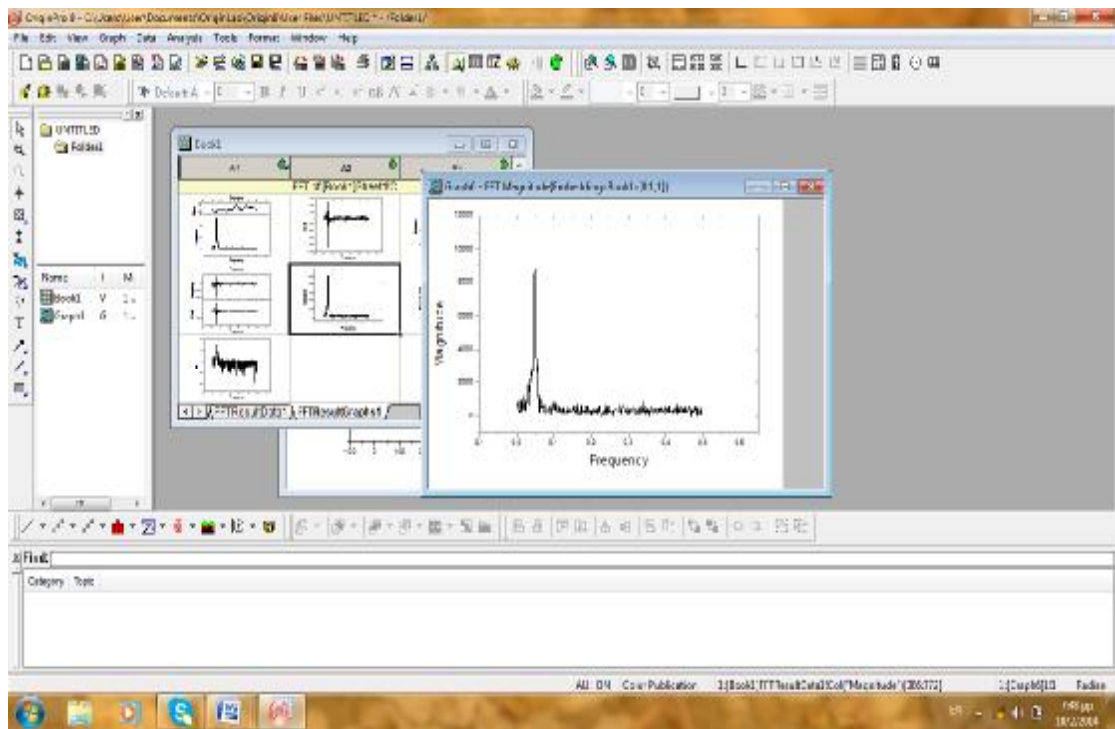
Εικόνα 2.13: Δημιουργία του διαγράμματος της διέγερσης (source: προσωπικό αρχείο)

Ε. Τέλος κάναμε την ανάλυση Fourier (FFT φασματική ανάλυση)



Εικόνα 2.14 : Φασματική ανάλυση (source: προσωπικό αρχείο)

Û Διάγραμμα Ανάλυσης Fourier (FFT):



Εικόνα 2.15 : Εμφάνιση διαγράμματος της Φασματικής ανάλυσης (source: προσωπικό αρχείο)

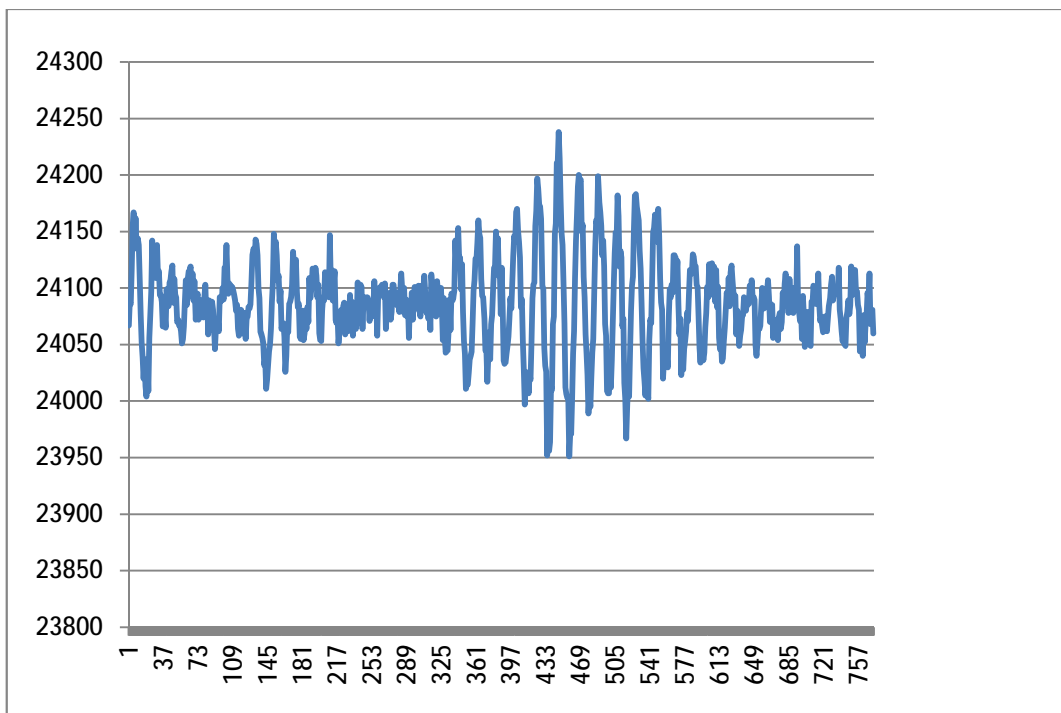
Κεφάλαιο 3

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

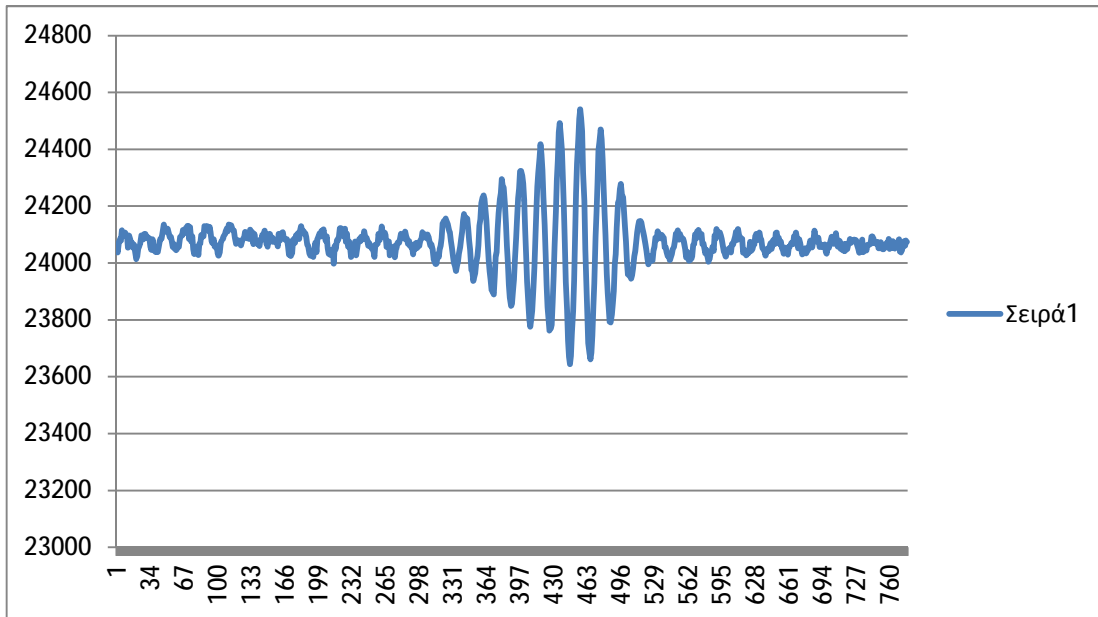
Από την συνολική χρονοσειρά (εικόνα 7) επιλέξαμε τις δέκα περισσότερο αντιπροσωπευτικές ταλαντώσεις και παρουσιάσαμε κάθε γεγονός ξεχωριστά με τον τρόπο που προκλήθηκε.

3.1 Διαγράμματα ταλαντώσεων

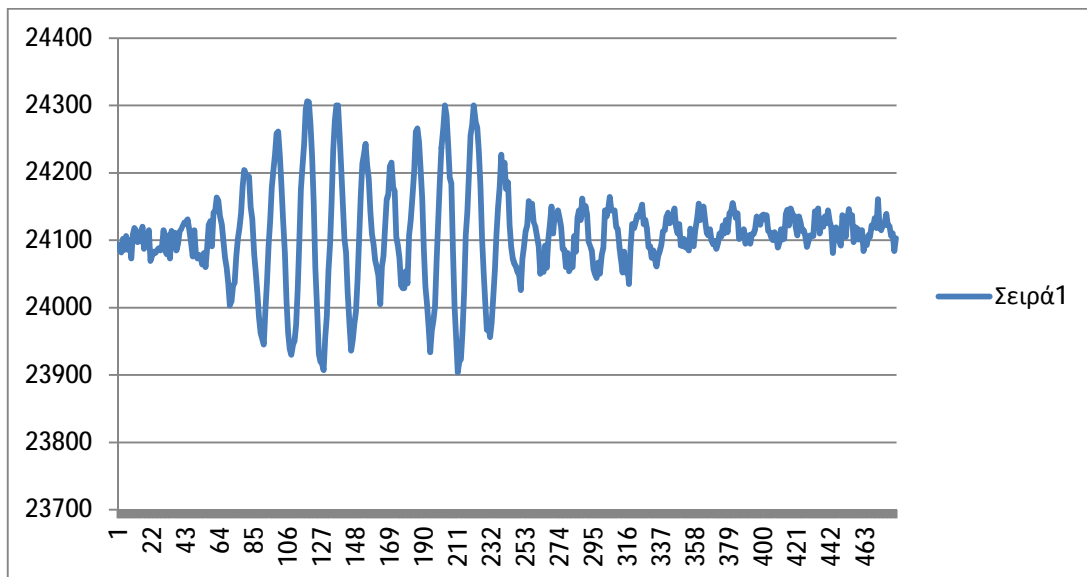
Ταλάντωση 1^η : προκλήθηκε με πλάγια βήματα στο κέντρο (πιο έντονα)



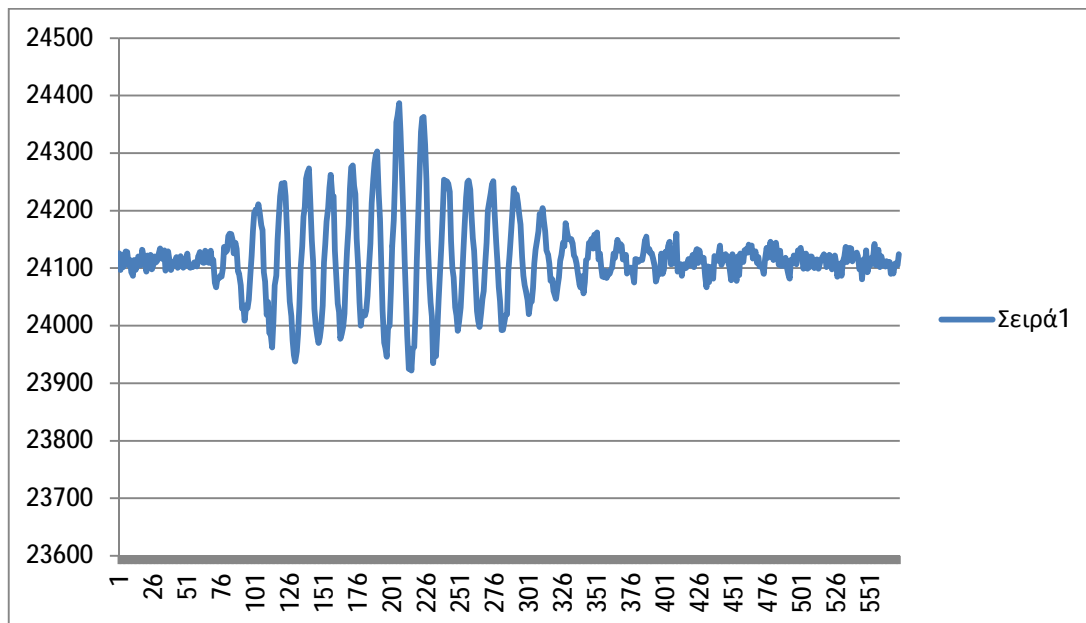
Ταλάντωση 2^η : προκλήθηκε με πλάγια βήματα στο κέντρο (πιο έντονο)



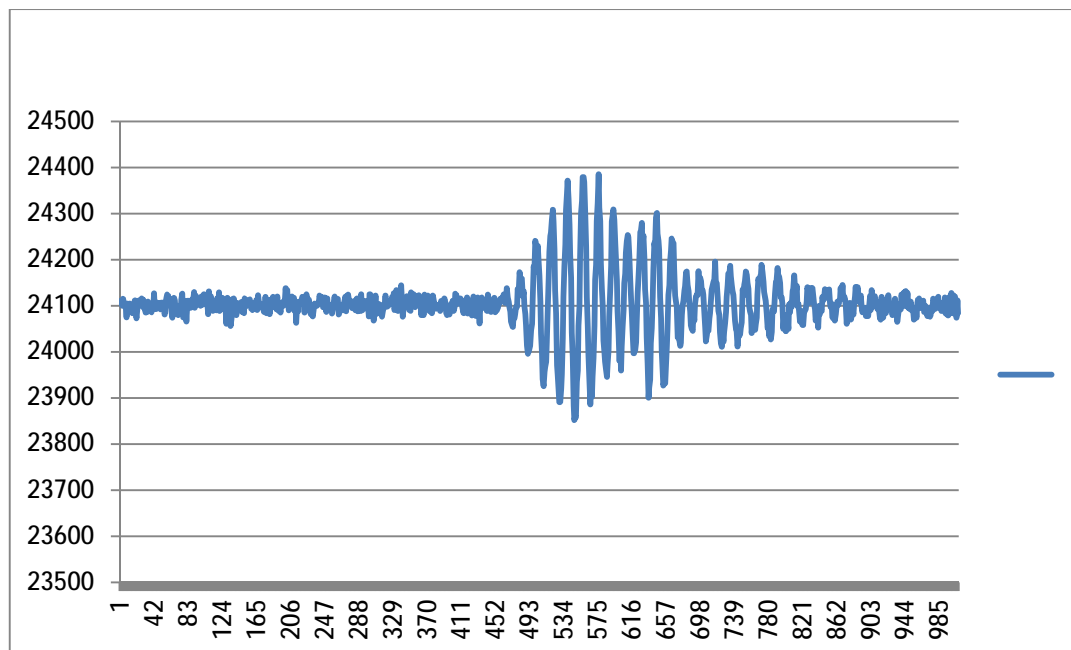
Ταλάντωση 3^η : προκλήθηκε με άλματα στον κατακόρυφο άξονα (γρήγορα)



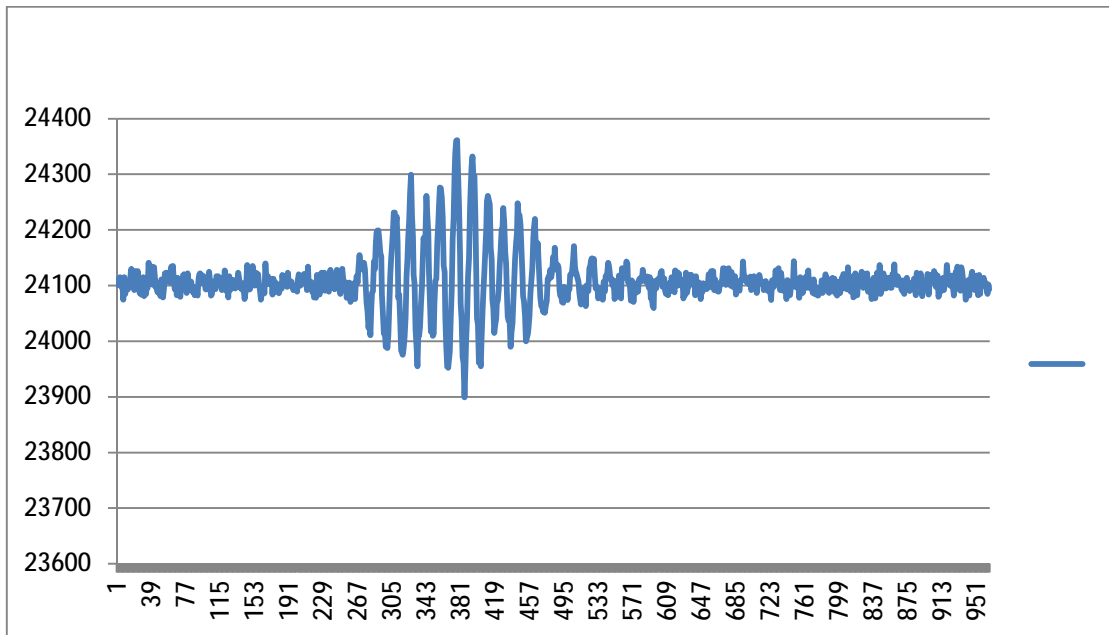
Ταλάντωση 4^η : προκλήθηκε με άλματα στο κέντρο (1 άτομο)



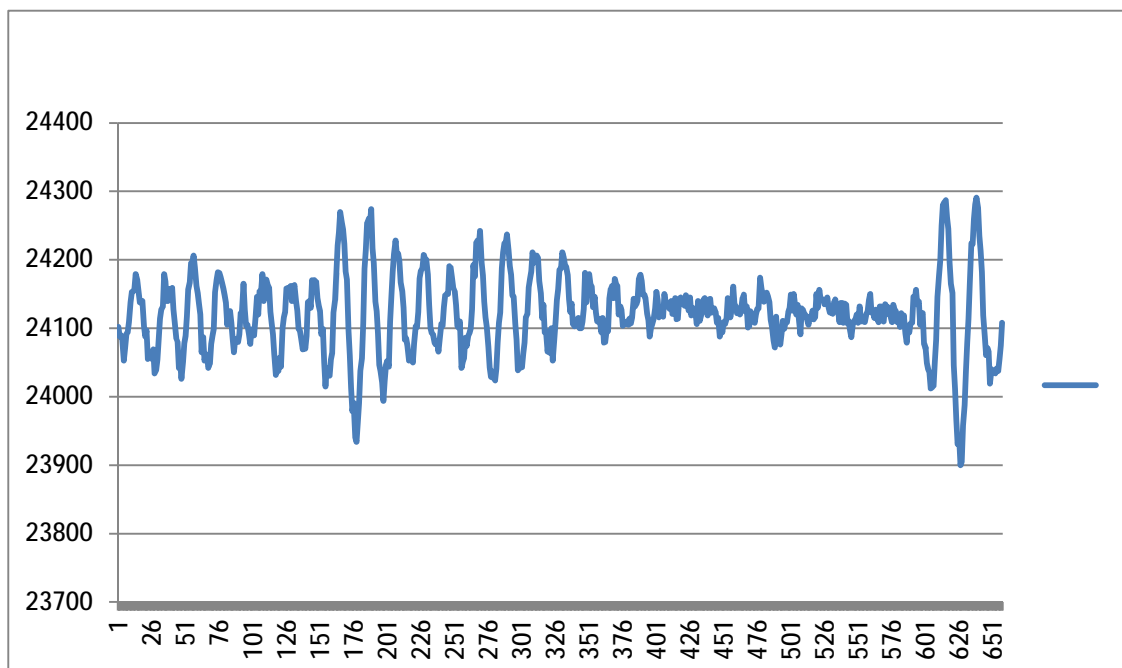
Ταλάντωση 5^η : προκλήθηκε με πλάγια βήματα στο κέντρο (πιο έντονα)



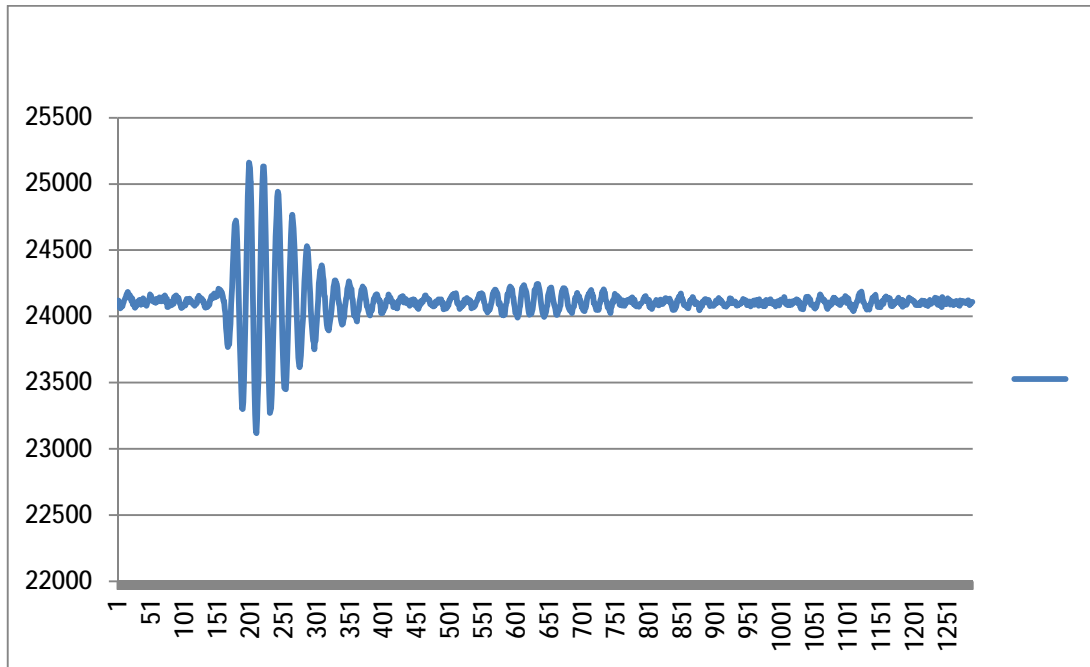
Ταλάντωση 6^η : προκλήθηκε με άλματα στο κέντρο (1 άτομο)



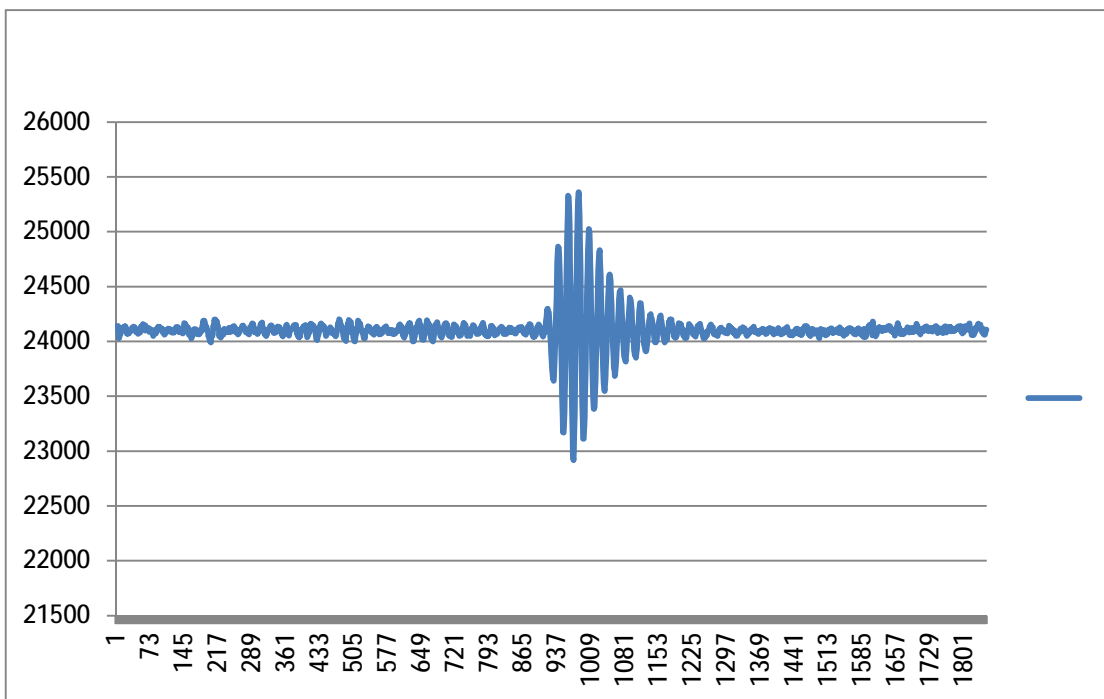
Ταλάντωση 7^η : προκλήθηκε με άλματα στον κατακόρυφο άξονα (γρήγορα)



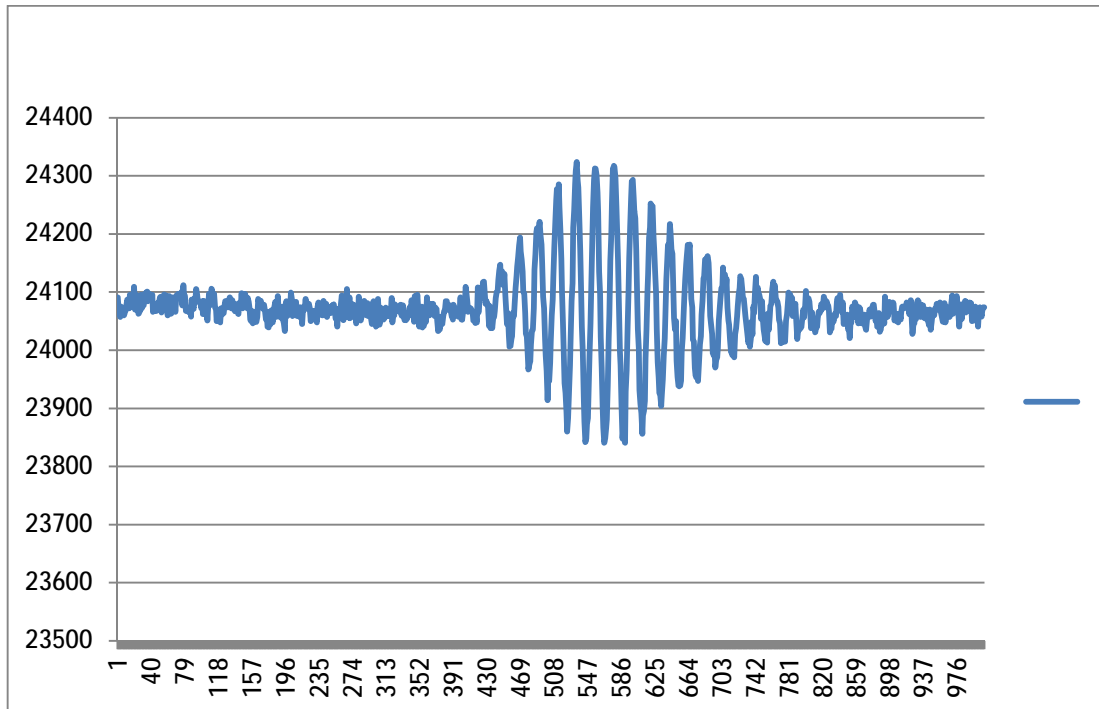
Ταλάντωση 8^η : προκλήθηκε με με πλάγια βήματα



Ταλάντωση 9^η : προκλήθηκε με άλματα στο κέντρο



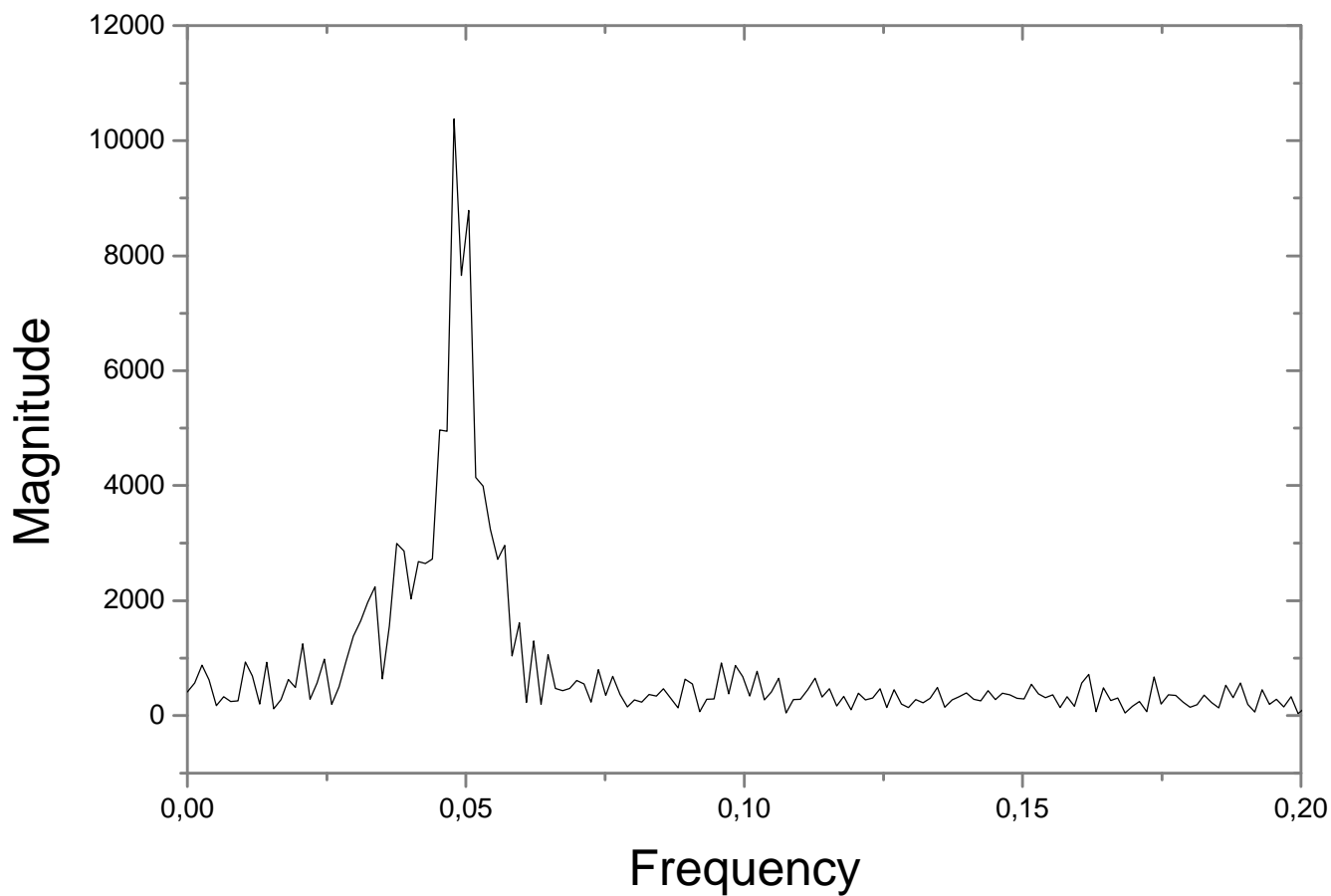
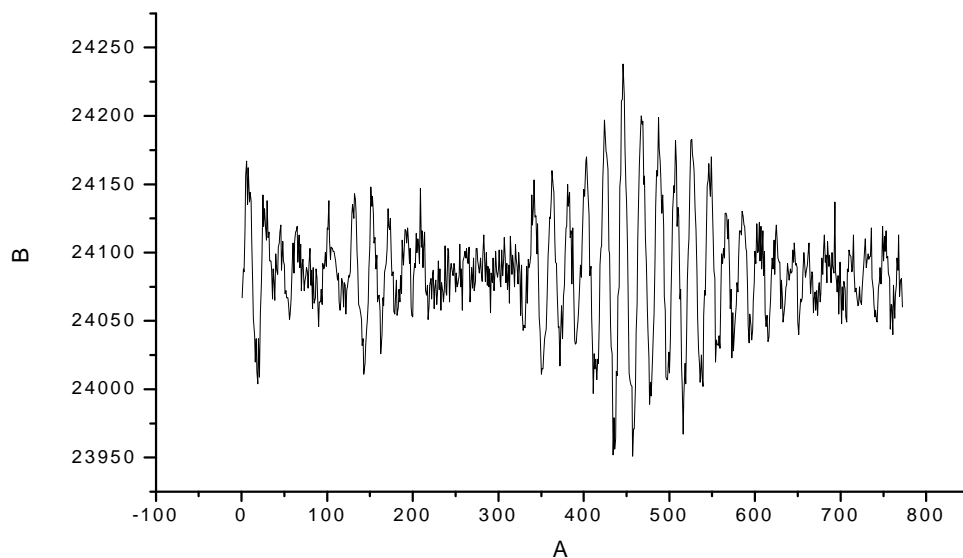
Ταλάντωση 10¹ : προκλήθηκε με πλάγια βήματα στο κέντρο (πιο έντονο)



3.2 Διαγράμματα ταλαντώσεων-Ανάλυση FFT-πίνακες κορυφών

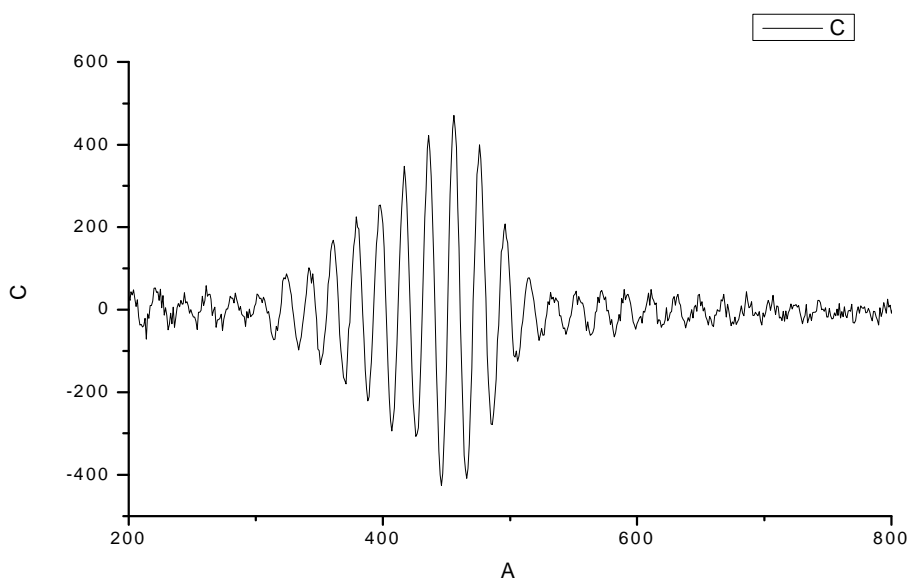
Στα παρακάτω διαγράμματα με τη βοήθεια του προγράμματος Origin8Pro φαίνεται η Φασματική Ανάλυση Fourier (FFT) που έγινε για την κάθε ταλάντωση ξεχωριστά.

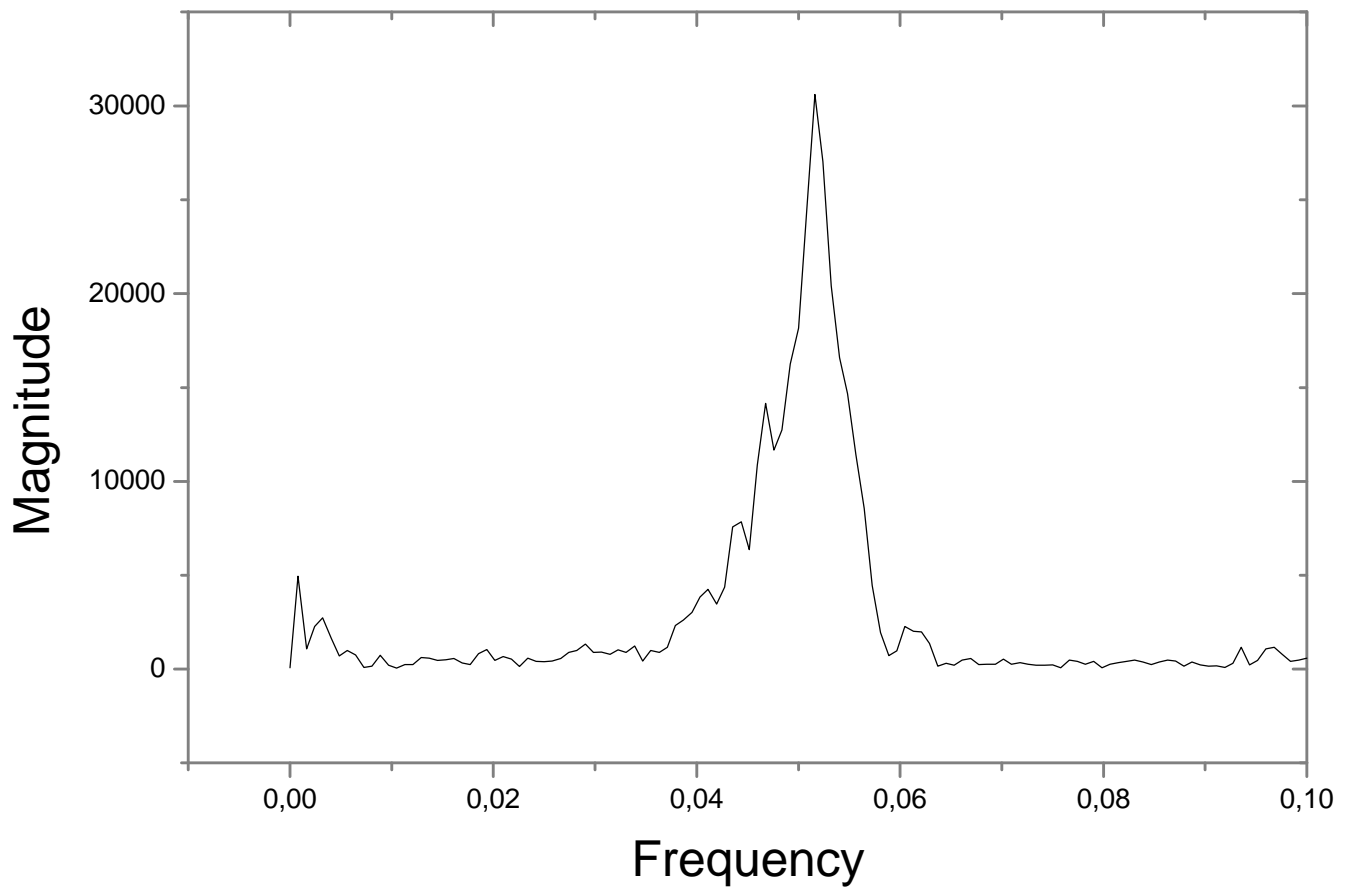
ν Ταλάντωση 1 : (24067,24060)



	Frequency (Hz)	Magnitude (mm)
A1	0,0333694084	22,246
A2	0,037950938	29,513
A3	0,0479437229	103,78
A4	0,050036075	87,261

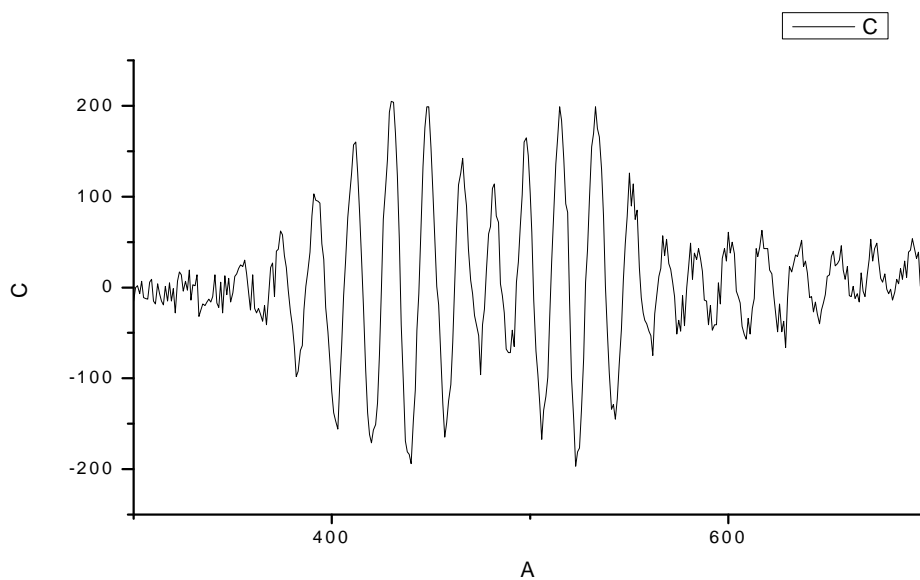
ν Ταλάντωση 2 : (24055,24036)

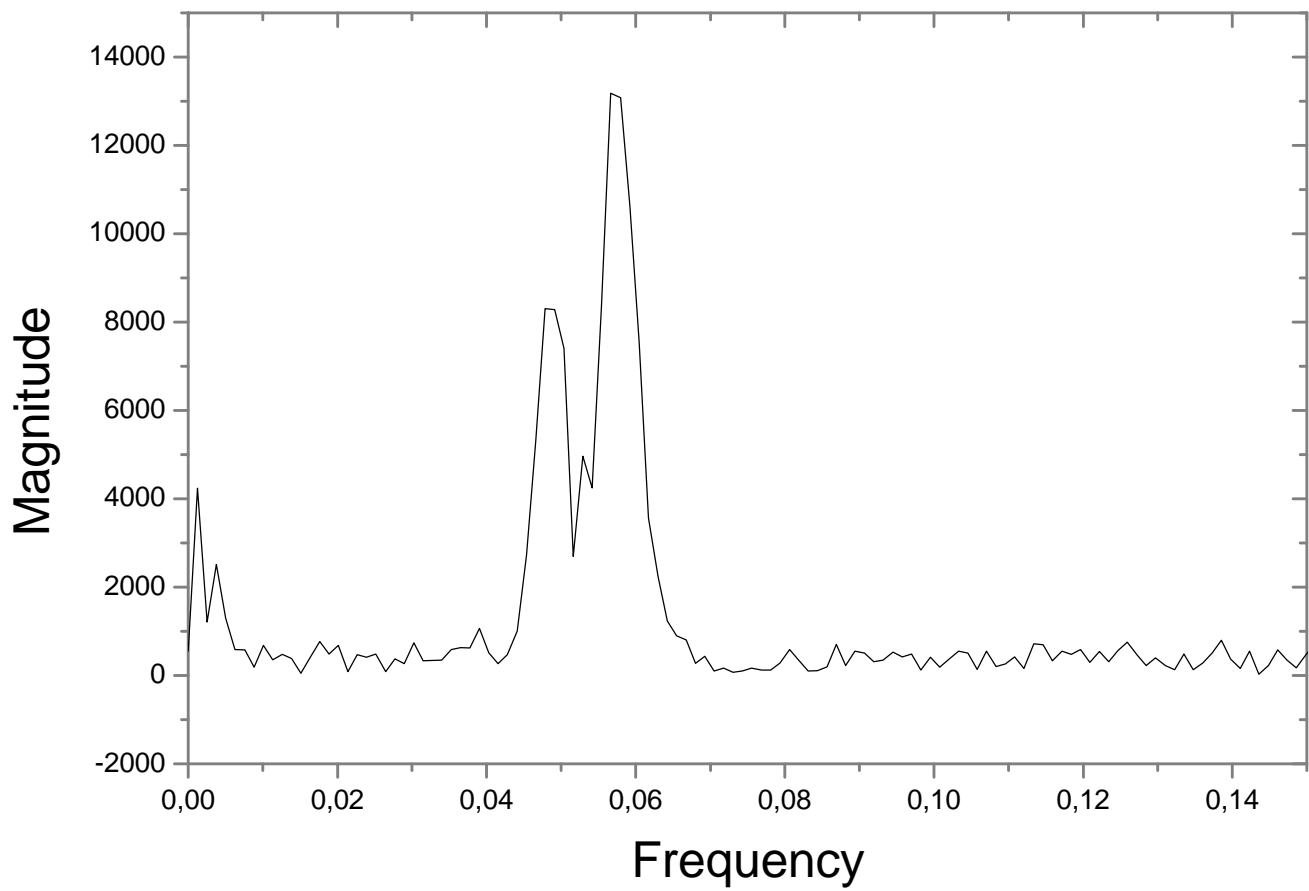




	Frequency (Hz)	Magnitude(mm)
A1	0,0466468254	13,984
A2	0,0516865079	30,388

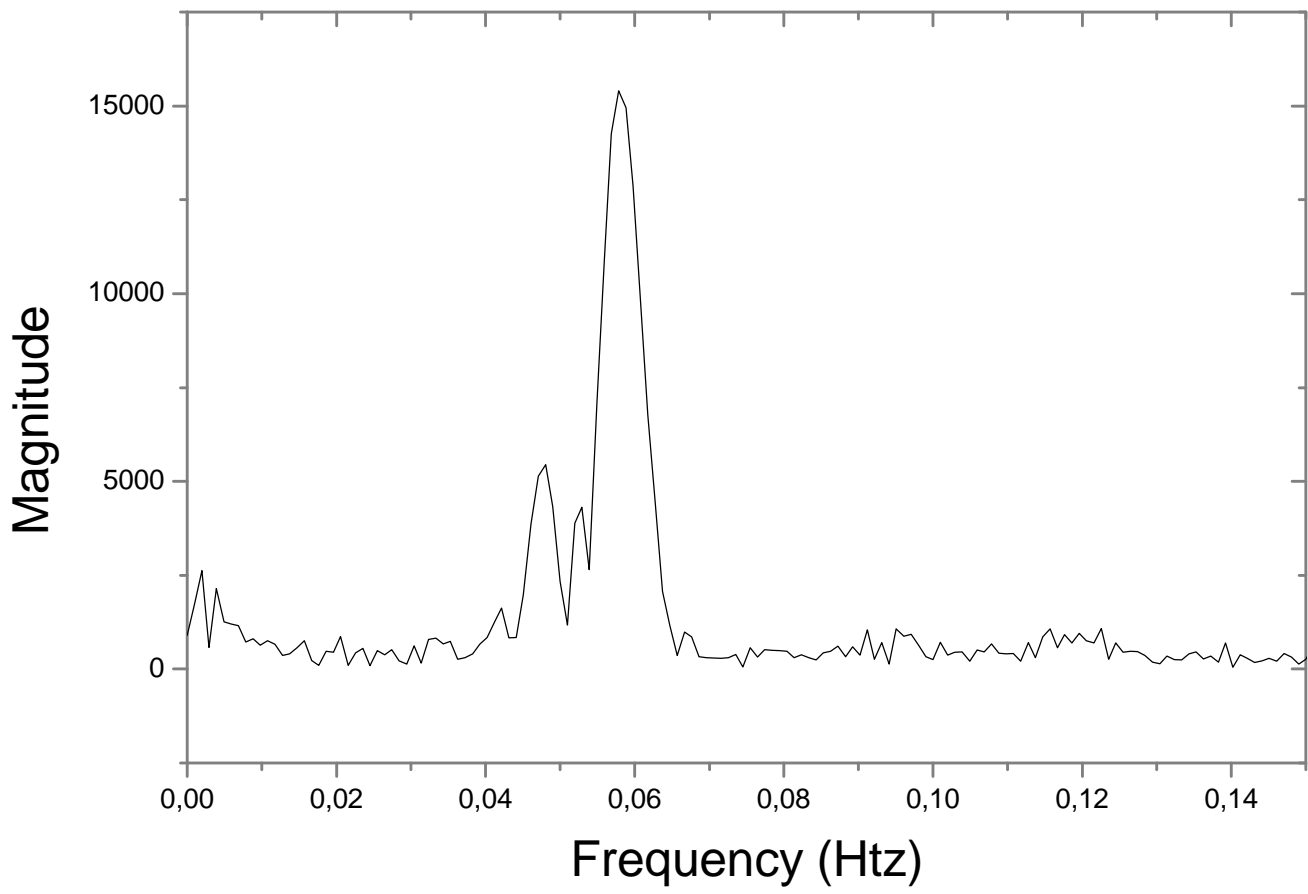
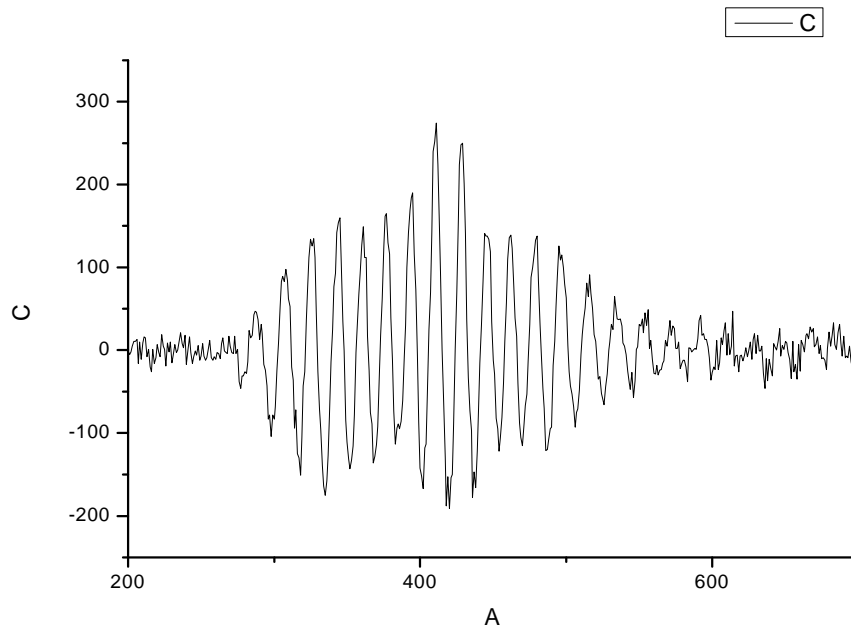
ν Ταλάντωση 3: (24071,24103)





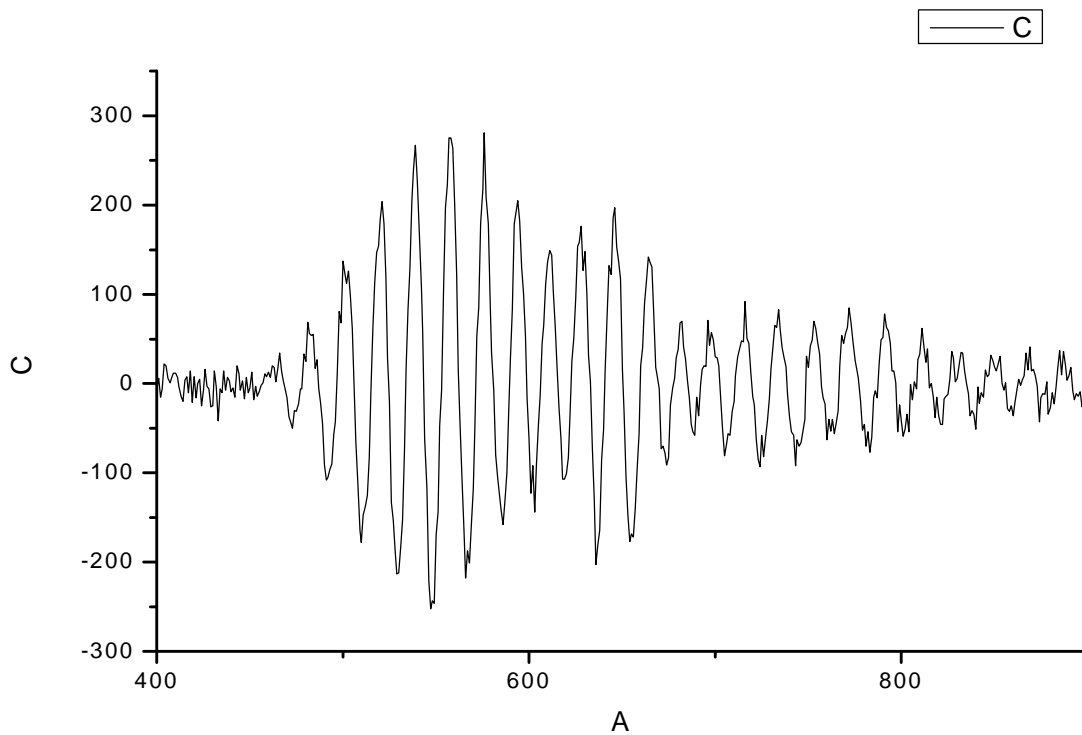
	Frequency(Hz)	Magnitude(mm)
A1	0,0484848485	82,88
A2	0,0569264069	131,45

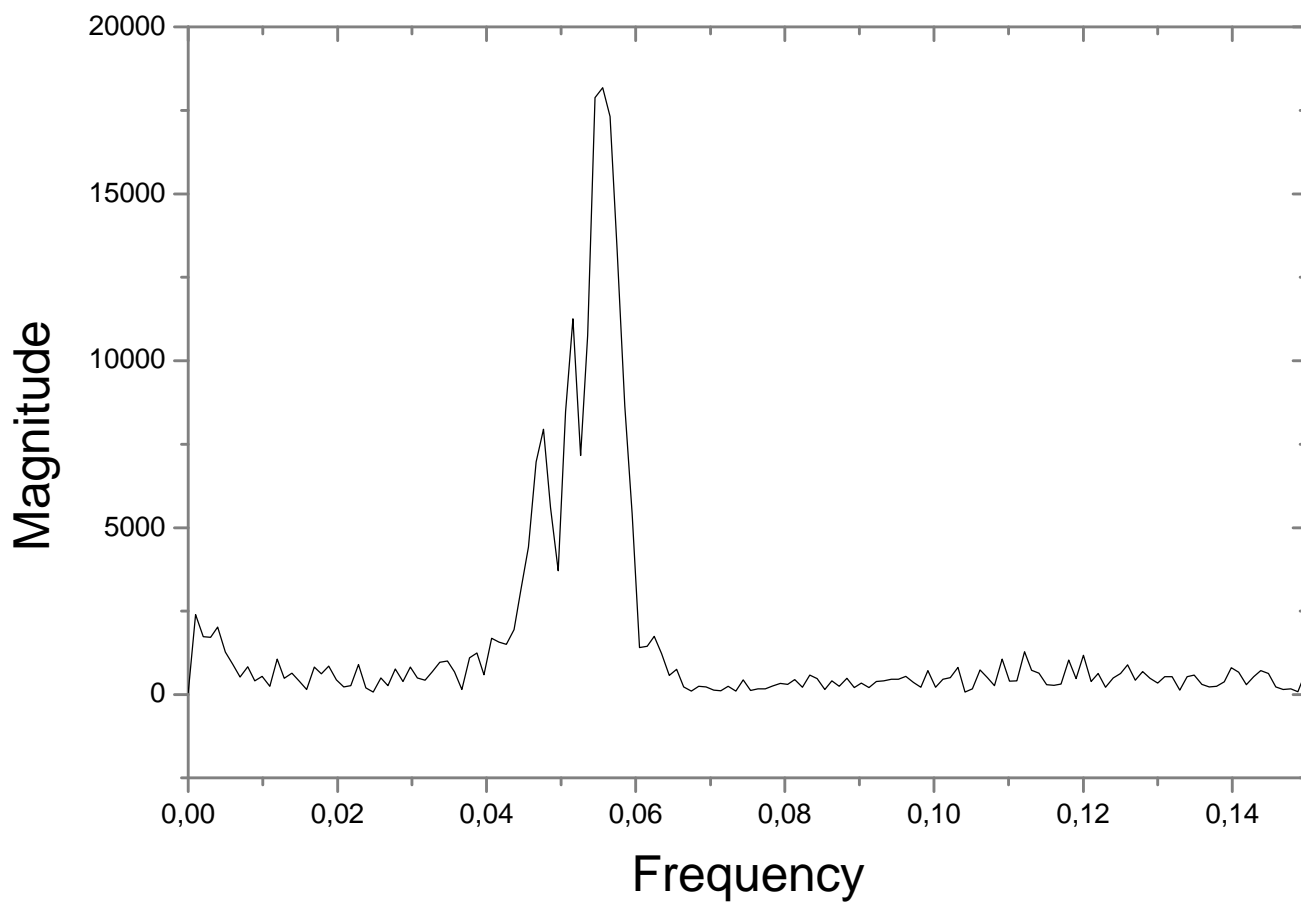
ν Ταλάντωση 4 : (24111,24110)



	Frequency(Hz)	Magnitude(mm)
A1	0,0481601732	54,44
A2	0,0581709957	153,17

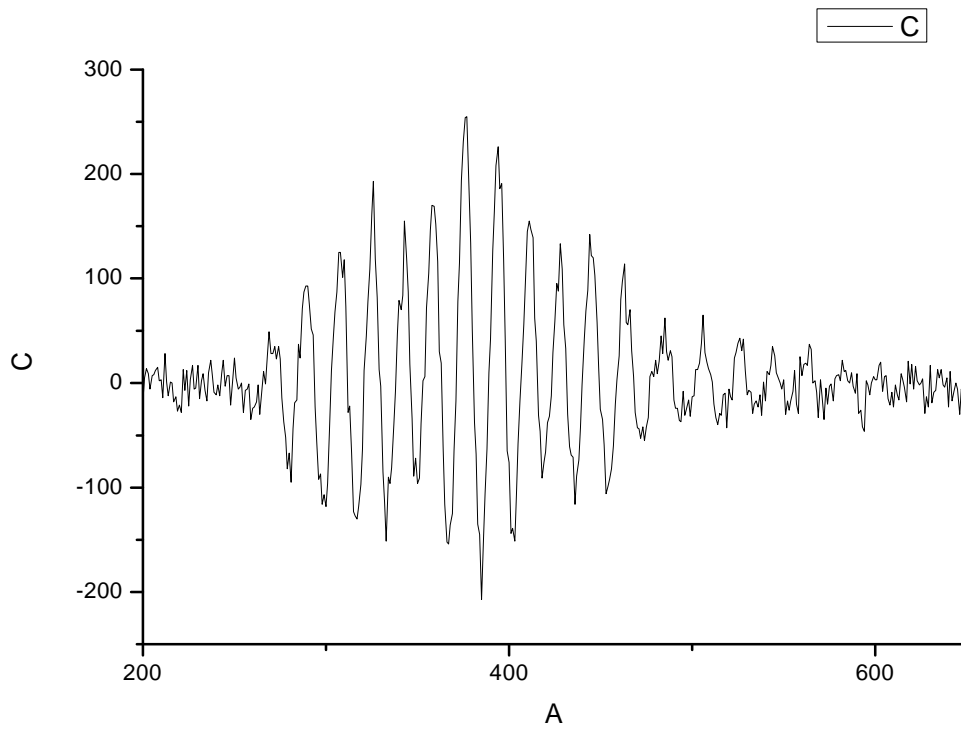
✓ Ταλάντωση 5 : (24110,24084)

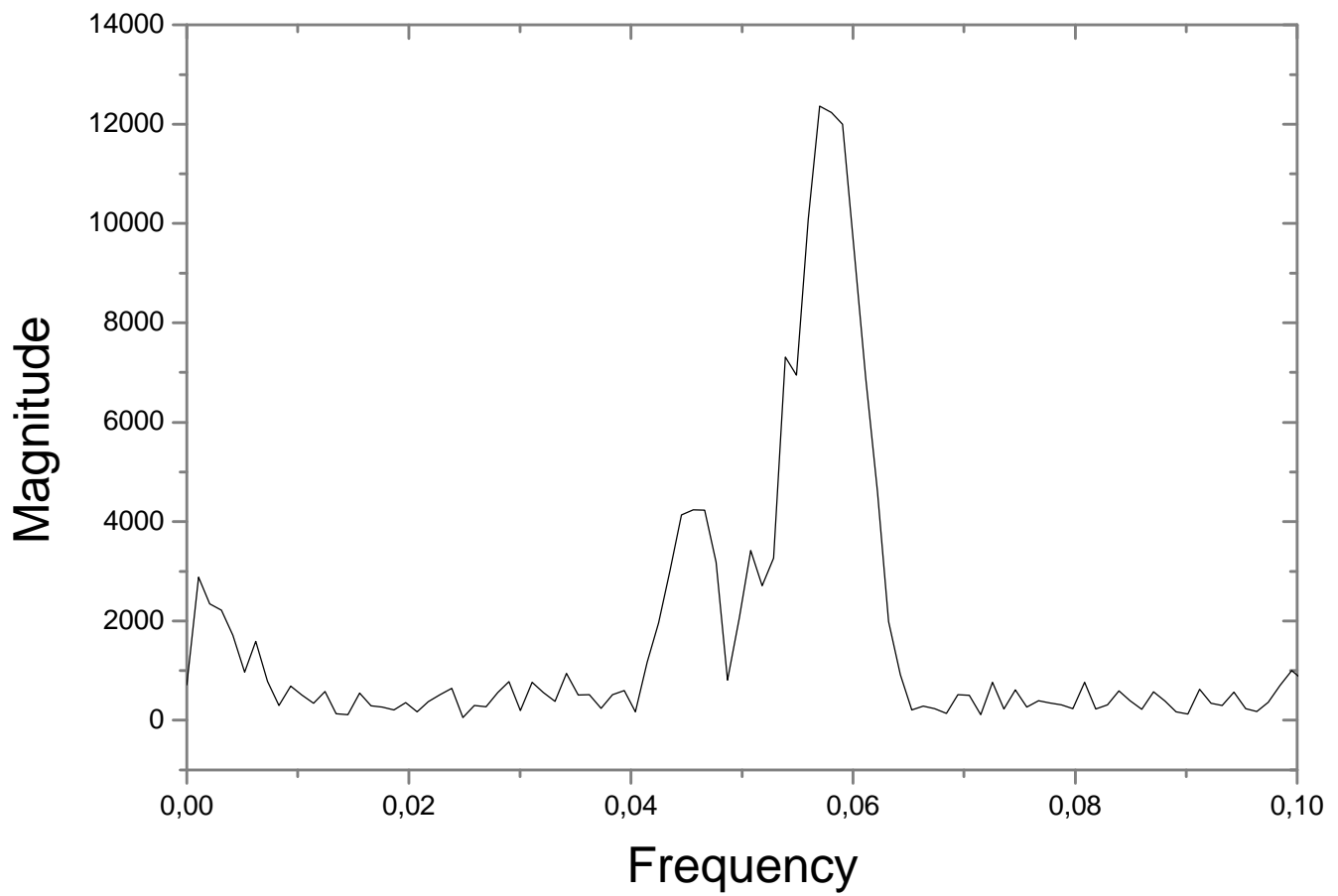




	Frequency(Hz)	Magnitude(mm)
A1	0,0475378788	79,004
A2	0,0515963203	113,894
A3	0,0553571429	181,738

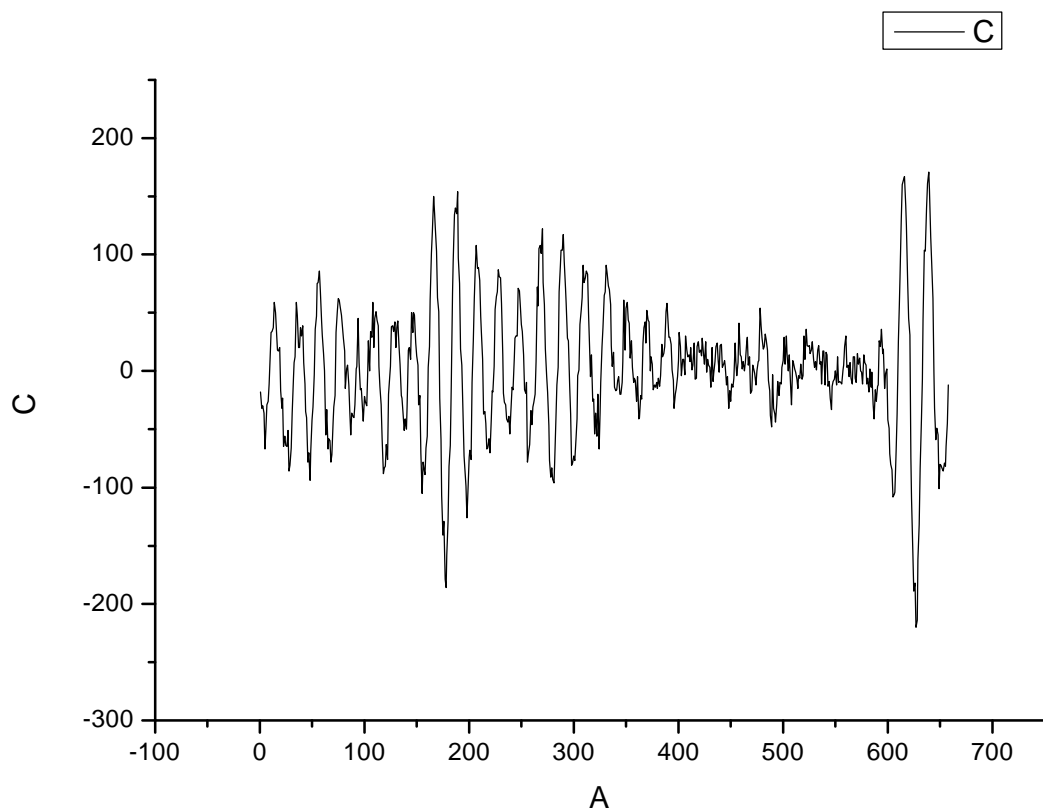
V Ταλάντωση 6 : (24111,24093)

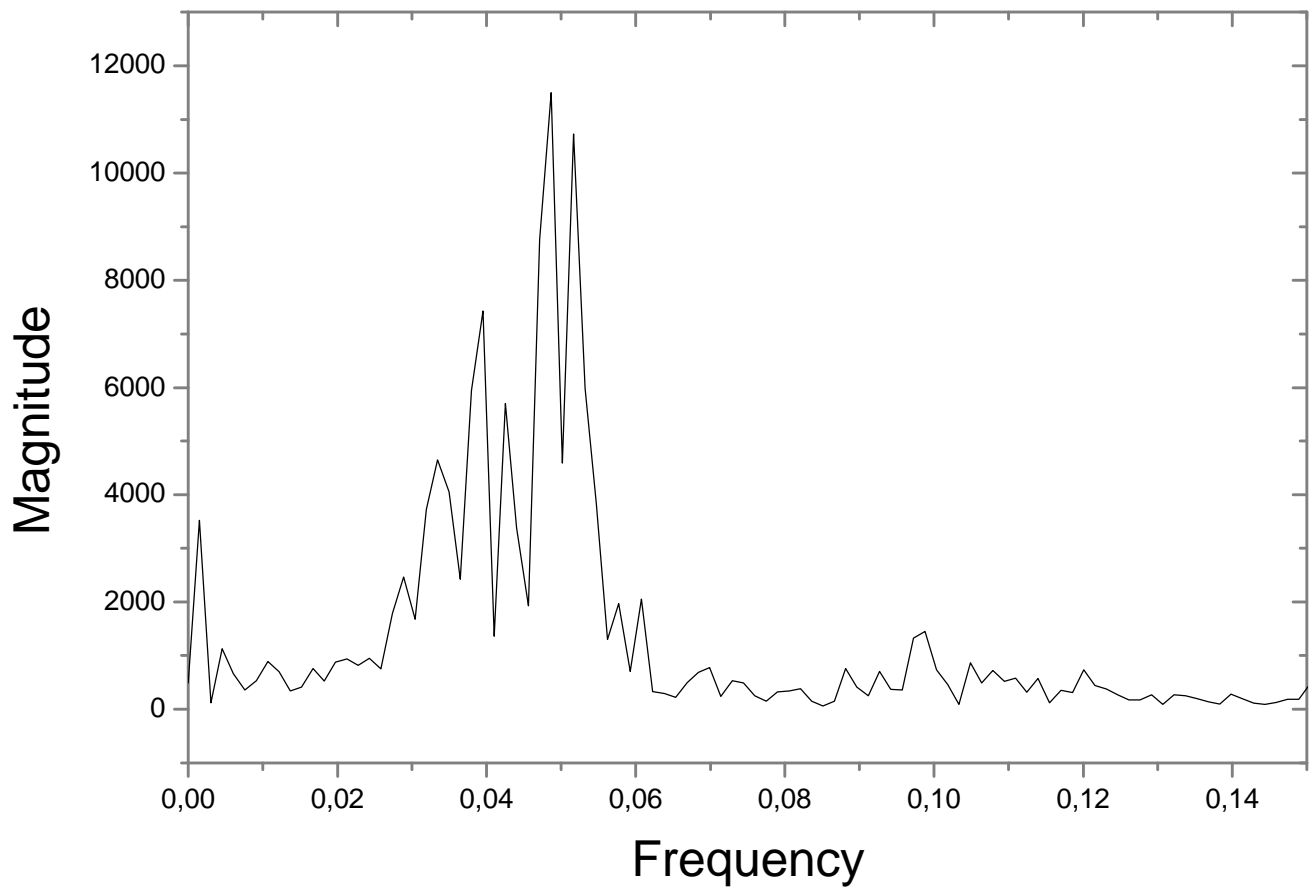




	Frequency(Hz)	Magnitude(mm)
A1	0,0456529582	42,5665
A2	0,0569083694	124,5606

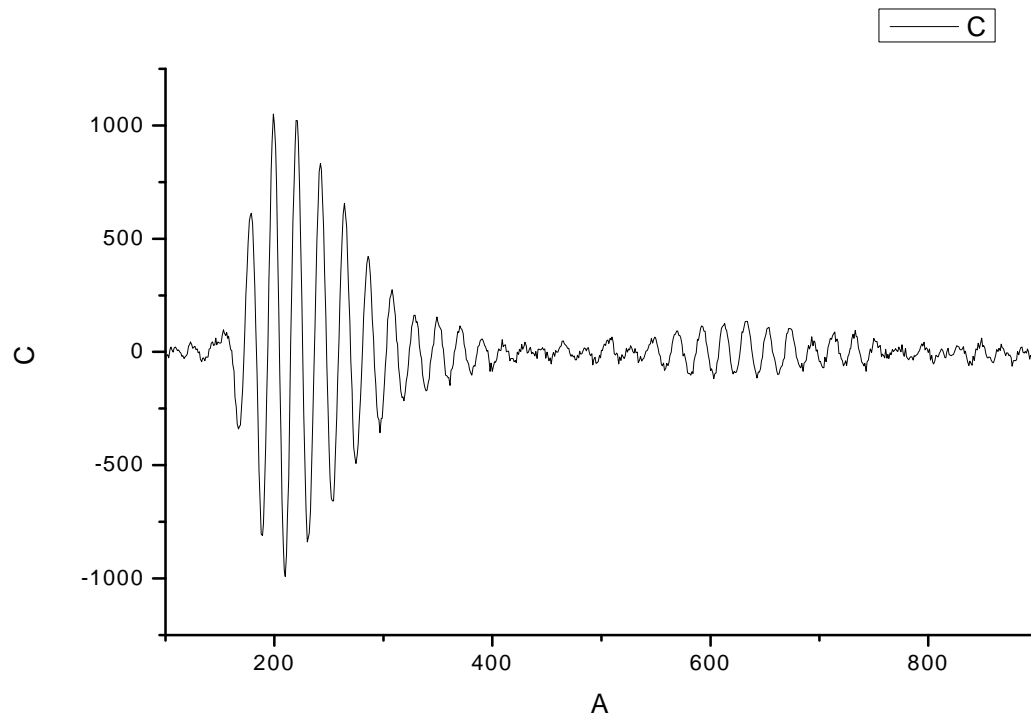
ν Ταλάντωση 7: (24102,24108)

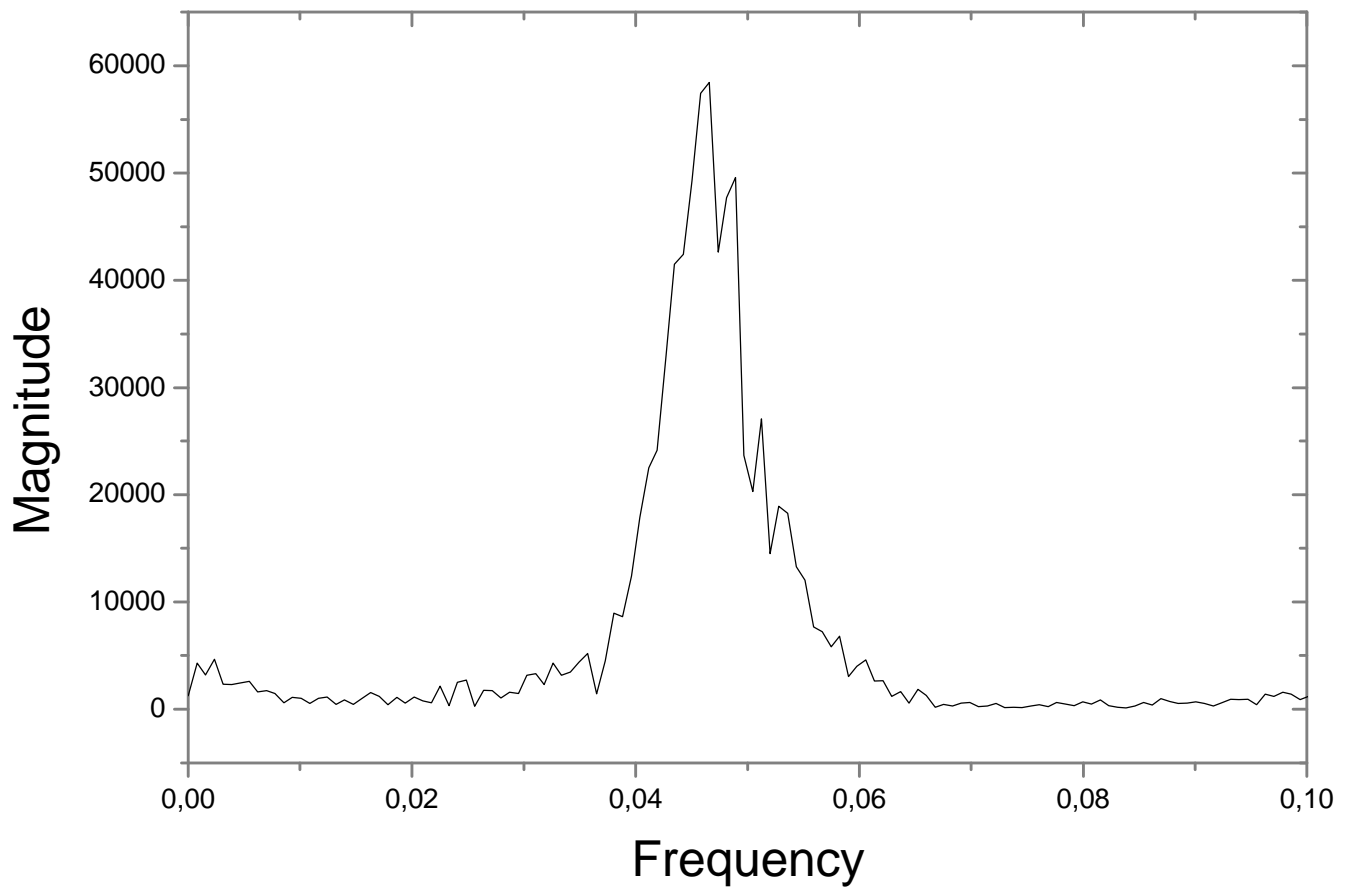




	Frequency(Hz)	Magnitude(mm)
A1	0,0393939394	73,8645
A2	0,0425324675	56,8959
A3	0,0481601732	114,7245
A3	0,0515963203	106,4848

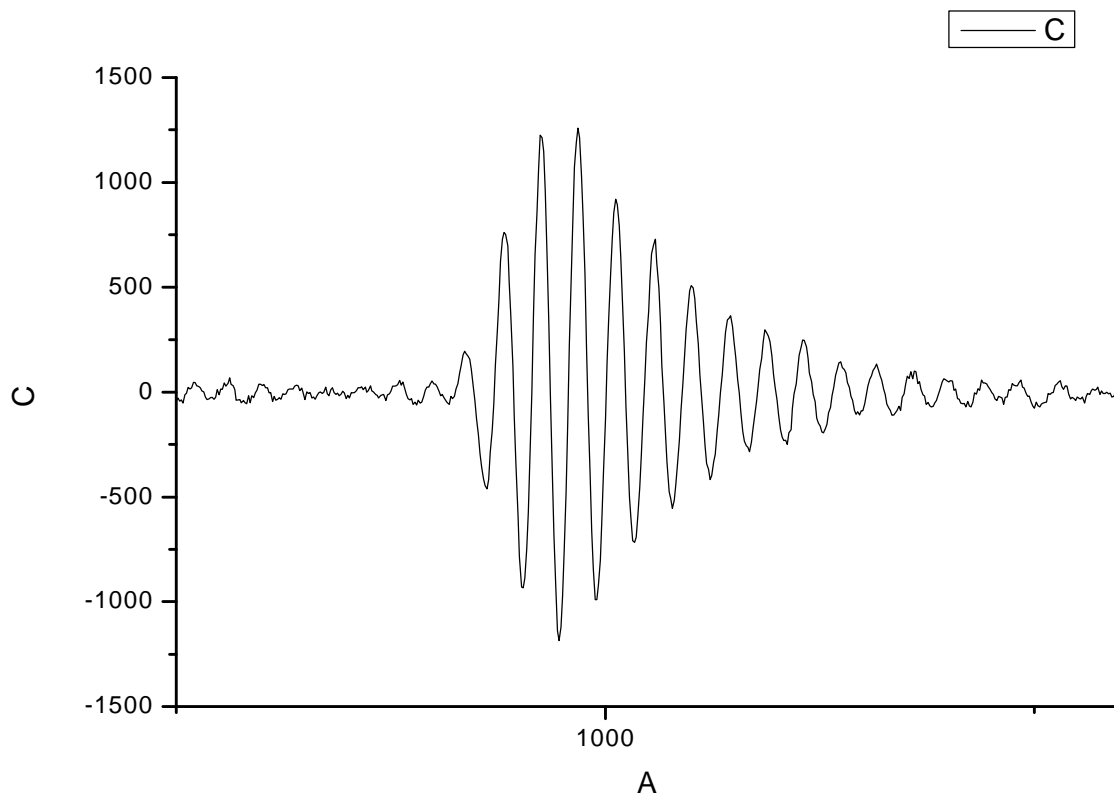
V Ταλάντωση 8: (24120,24110)

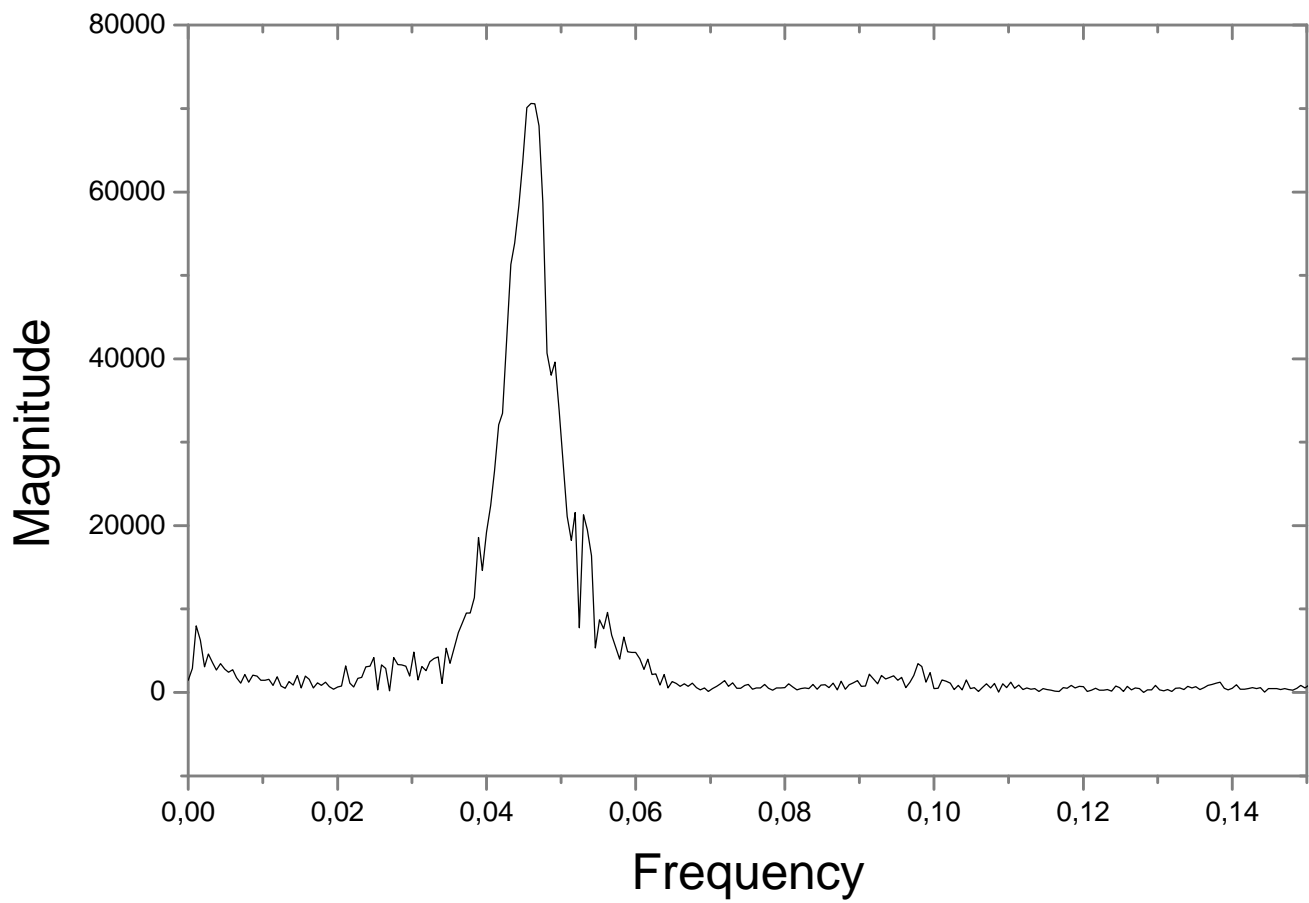




	Frequency(Hz)	Magnitude(mm)
A1	0,0466991342	58,6603

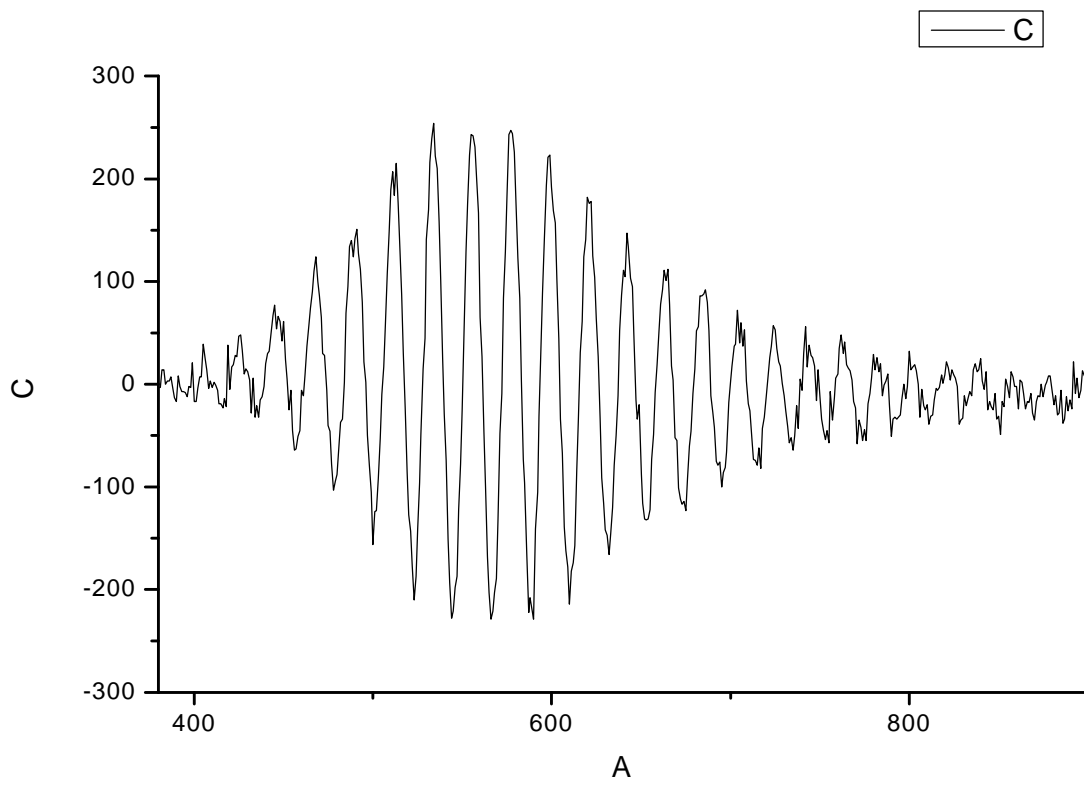
v Ταλάντωση 9: (24140,24190)

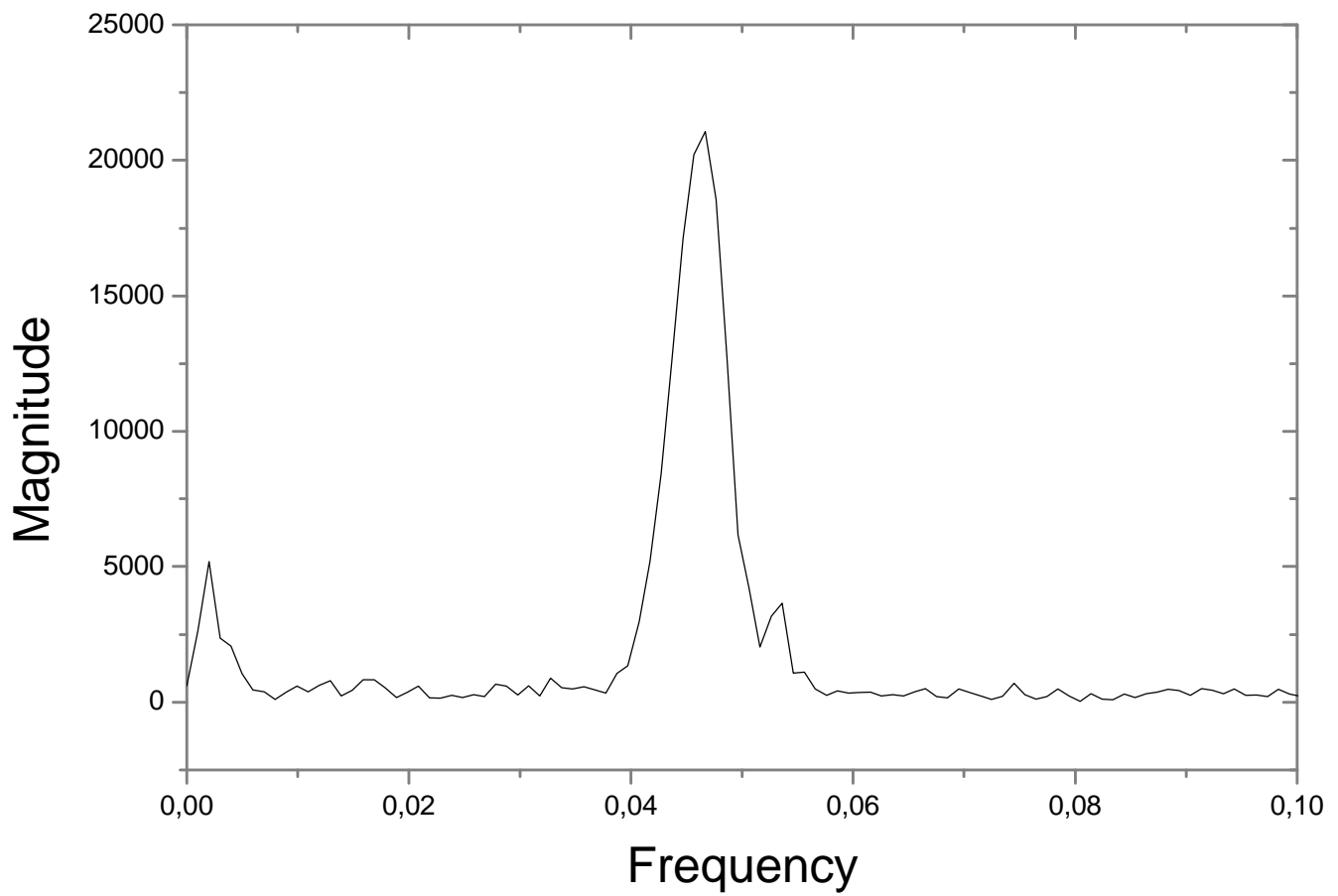




	Frequency(Hz)	Magnitude(mm)
A1	0,0458062771	70325,1814

ν Ταλάντωση 10: (24091,24074)





	Frequency(Hz)	Magnitude(mm)
A1	0,0466991342	26,9721

3.3 Συγκεντρωτικός πίνακας κορυφών

	Magnitude (mm)	Frequency (HZ)	Magnitude (mm)	Frequency (Hz)	Magnitude (mm)	Frequency (Hz)	Magnitude (mm)	Frequency (Hz)
1	2224,67079	0,0333694084	2951,35716	0,037950938	10378,9304	0,0479437229	8726,41763	0,050036075
2	13984,144	0,0466468254	30388,3365	0,0516865079				
3	8288,63209	0,0484848485	13145,1223	0,0569264069				
4	5444,10105	0,0481601732	15317,7909	0,0581709957				
5	7900,4299	0,0475378788	11328,9438	0,0515963203	18173,878	0,0553571429		
6	4256,65144	0,0456529582	12456,0602	0,0569083694				
7	7386,45525	0,0393939394	5689,59967	0,0425324675	11472,4536	0,0481601732	10648,4816	0,0515963203
8	58660,3064	0,0466991342						
9	70325,1814	0,0458062771						
10	20972,1849	0,0466991342						

Κεφάλαιο 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά την καταγραφή των πειραμάτων από το τελουρόμετρο (MA200) και το RTS και στην συνέχεια την ανάλυση των μετρήσεων προέκυψαν τα εξής:

1. Το τελουρόμετρο είναι κατάλληλο να μετρήσει ταλαντώσεις και να δώσει τις αντίστοιχες φασματικές αναλύσεις
2. Το MA200 μπορεί να καταγράψει με ακρίβεια το εύρος ταλάντωσης με μικρό σφάλμα της τάξης $< 1\text{mm}$ για μικρά και μεγάλα εύρη με καλύτερα αποτελέσματα σε μεγαλύτερα εύρη (5mm).
3. Σε μεγαλύτερες συχνότητες ταλάντωσης (4-5 Hz) το MA200 απεικονίζει με λιγότερα σφάλματα το εύρος ταλάντωσης απ' ότι σε μικρότερες συχνότητες (1-2Hz).
4. Το RTS μπορεί να καταγράψει την ταλάντωση με μικρότερη ακρίβεια.
5. Επίσης, το RTS μπορεί να προσδιορίσει με ακρίβεια την συχνότητα διέγερσης για χαμηλόσυχνες ταλαντώσεις. Τα σφάλματα που πιθανότατα παρουσιάστηκαν στις καταγραφές του RTS οφείλονται στο ότι η κίνηση του ταλαντωτή ήταν αρκετά γρήγορη σε υψίσυχνες ταλαντώσεις και το RTS δεν μπορούσε να παρακολουθήσει την κίνηση.
6. Συγκρίνοντας τελικά τα δύο όργανα φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι το MA200, ένα γεωδαιτικό όργανο που μετράει μόνο οριζόντιες αποστάσεις, καταγράφει με μεγαλύτερη ακρίβεια μια ταλάντωση σε σχέση με το RTS που είναι ένα όργανο καταγραφής θέσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ

- Ψιμούλης Π. (2005), “Συμβολή στη Διερεύνηση της Δυνατότητας Καταγραφής Ταλαντώσεων με τα Γεωδαιτικά Όργανα GPS”, Διατριβή για την Απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα
- Ψιμούλης Π. (2009) “Τεκμηρίωση δυνατότητας μετρήσεων ταλαντώσεων δύσκαμπτων κατασκευών με GPS και ρομποτικό θεοδόλιχο (RTS): Πειραματική, αναλυτική προσέγγιση και εφαρμογές.” Διατριβή για την Απόκτηση Διδακτορικού, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα
- Chopra, A., (2001) “Dynamics of Structures: theory and applications to Earthquake Engineering”, Prentice Hall, 2nd edition.
- Horkan, S. P. (1998), ”Vibration Analysis of flexible Structures: an Evaluation of the Tellurometer MA200”, pp. 24-35
- Lekidis, V., Tsakiri, M., Makra, K., Karakostas, C., Klimis, N., Sous, I., (2005). “Evaluation of dynamic response and local soil effects of the Evripos cable-stayed bridge using multi-sensor monitoring systems”, Engineering Geology, Vol. 79, pp. 43-59.
- Nickitopoulou A., Protosalti K., Stiros S. (2006), “Monitoring dynamic and quasi-static deformations of large flexible engineering structures with GPS: Accuracy, limitations and promises”, Engineering Structures, Vol. 28, pp.1471–1482
- Ogaja C., Rizos C., Wang J., (2001), “A Dynamic GPS System for On-Line Structural Monitoring” Int. on Kinematic System in Geodesy, Geomatics & Navigation, Banff, Canada, 5-8 June, 2001
- Ogaja C., Wang J., and Rizos C. (2003), “Detection of Wind-Induced Response by Wavelet Transformed GPS Solutions”, Journal of Surveying Engineering, Vol. 129, No. 3, pp. 99-10

Ogaja C., Wang J., and Rizos C. (2003), “Detection of Wind-Induced Response by Wavelet Transformed GPS Solutions”, Journal of Surveying Engineering, Vol. 129, No. 3, pp. 99-104

Psimoulis, P., Stiros, S. (2007), «Measurement of deflections and of oscillation frequencies of engineering structures using Robotic Theodolites (RTS)», Engineering Structures, Vol. 29, pp. 3312-3324

Sturman B. and Wright A (2008), “The History of Tellurometer”, South Africa, United Kingdom, Internet address: http://www.fig.net/pub/fig2008/papers/hs01/hs01_03_sturman_wright_2833.pdf

Smith JR, Sturman B, and Wright A F (2008) “The Tellurometer, From Dr Wadley to the MRA7), pp. 94,178.

Tellumat, (1988), “Operator Handbook for Tellurometer MA200”

Αναφορές σε ιστοσελίδες:

www.geosig.com

www.leica-geosystems.com

www.tellumat.com

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ
ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ

1	16310	1	24109
2	16294	2	24116
3	16293	3	24114
4	16285	4	24104
5	16258	5	24092
6	16292	6	24095
7	16301	7	24115
8	16301	8	24105
9	16289	9	24079
10	16269	10	24082
11	16287	11	24101
12	16294	12	24095
13	16262	13	24061
14	16282	14	24084
15	16302	15	24089
16	16274	16	24094
17	16277	17	24124
18	16304	18	24117
19	16303	19	24136
20	16281	20	24128
21	16303	21	24130
22	16286	22	24148
23	16301	23	24139
24	16279	24	24116
25	16282	25	24111
26	16297	26	24139
27	16282	27	24135
28	16283	28	24122
29	16286	29	24098
30	16276	30	24116
31	16289	31	24117
32	16283	32	24115
33	16274	33	24113
34	16275	34	24112
35	16300	35	24096
36	16284	36	24107
37	16283	37	24107
38	16301	38	24116
39	16292	39	24129
40	16290	40	24129
41	16294	41	24110
42	16274	42	24126
43	16306	43	24102
44	16299	44	24095

45	16293	45	24104
46	16297	46	24095
47	16307	47	24078
48	16311	48	24126
49	16264	49	24125
50	16304	50	24101
51	16294	51	24085
52	16297	52	24128
53	16308	53	24110
54	16295	54	24114
55	16265	55	24114
56	16292	56	24101
57	16279	57	24105
58	16290	58	24127
59	16306	59	24110
60	16270	60	24106
61	16294	61	24112
62	16276	62	24103
63	16272	63	24094
64	16287	64	24120
65	16291	65	24128
66	16302	66	24100
67	16287	67	24104
68	16279	68	24117
69	16270	69	24112
70	16296	70	24138
71	16288	71	24128
72	16292	72	24094
73	16300	73	24127
74	16268	74	24108
75	16284	75	24141
76	16300	76	24108
77	16301	77	24100
78	16296	78	24108
79	16274	79	24124
80	16291	80	24121
81	16281	81	24121
82	16287	82	24097
83	16276	83	24113
84	16283	84	24085
85	16304	85	24114
86	16291	86	24104
87	16289	87	24110
88	16300	88	24118

89	16309	89	24123
90	16276	90	24107
91	16280	91	24111
92	16308	92	24106
93	16288	93	24112
94	16270	94	24110
95	16295	95	24123
96	16293	96	24105
97	16290	97	24110
98	16292	98	24142
99	16305	99	24119
100	16291	100	24121
101	16307	101	24119
102	16309	102	24101
103	16308	103	24137
104	16287	104	24142
105	16308	105	24115
106	16302	106	24114
107	16306	107	24108
108	16280	108	24115
109	16297	109	24130
110	16298	110	24150
111	16274	111	24137
112	16285	112	24126
113	16284	113	24126
114	16292	114	24144
115	16286	115	24138
116	16314	116	24108
117	16277	117	24113
118	16283	118	24120
119	16275	119	24100
120	16252	120	24117
121	16301	121	24109
122	16270	122	24099
123	16281	123	24122
124	16276	124	24074
125	16274	125	24094
126	16307	126	24099
127	16293	127	24096
128	16285	128	24108
129	16309	129	24112
130	16271	130	24151
131	16302	131	24122
132	16301	132	24123

133	16293	133	24129
134	16283	134	24106
135	16279	135	24126
136	16296	136	24109
137	16297	137	24104
138	16296	138	24124
139	16291	139	24113
140	16288	140	24095
141	16287	141	24106
142	16292	142	24079
143	16292	143	24091
144	16286	144	24104
145	16309	145	24107
146	16283	146	24117
147	16317	147	24111
148	16273	148	24098
149	16289	149	24117
150	16299	150	24107
151	16280	151	24132
152	16301	152	24116
153	16298	153	24152
154	16273	154	24129
155	16290	155	24114
156	16296	156	24101
157	16307	157	24096
158	16294	158	24103
159	16292	159	24110
160	16298	160	24092
161	16289	161	24089
162	16286	162	24092
163	16285	163	24113
164	16294	164	24092
165	16300	165	24128
166	16304	166	24111
167	16308	167	24117
168	16276	168	24117
169	16300	169	24106
170	16277	170	24102
171	16288	171	24128
172	16269	172	24126
173	16276	173	24116
174	16306	174	24111
175	16301	175	24125
176	16309	176	24120
177	16314	177	24105

178	16295	178	24100
179	16279	179	24112
180	16286	180	24097
181	16294	181	24107
182	16307	182	24102
183	16312	183	24098
184	16297	184	24100
185	16287	185	24109
186	16295	186	24132
187	16308	187	24117
188	16256	188	24103
189	16275	189	24133
190	16277	190	24119
191	16277	191	24114
192	16305	192	24105
193	16298	193	24095
194	16276	194	24075
195	16286	195	24108
196	16305	196	24114
197	16295	197	24095
198	16280	198	24091
199	16307	199	24105
200	16280	200	24074
201	16296	201	24129
202	16289	202	24112
203	16276	203	24121
204	16301	204	24107
205	16288	205	24110
206	16278	206	24100
207	16316	207	24130
208	16293	208	24139
209	16286	209	24118
210	16299	210	24139
211	16300	211	24123
212	16279	212	24138
213	16274	213	24100
214	16295	214	24126
215	16279	215	24114
216	16271	216	24093
217	16316	217	24127
218	16309	218	24121
219	16287	219	24097
220	16290	220	24075

221	16289	221	24085
-----	-------	-----	-------

222	16290	222	24078
223	16286	223	24081
224	16304	224	24105
225	16299	225	24094
226	16311	226	24105
227	16304	227	24081
228	16300	228	24101
229	16292	229	24100
230	16266	230	24109
231	16303	231	24089
232	16287	232	24111
233	16293	233	24130
234	16304	234	24115
235	16279	235	24140
236	16299	236	24148
237	16281	237	24139
238	16323	238	24146
239	16274	239	24117
240	16292	240	24138
241	16294	241	24127
242	16304	242	24131
243	16315	243	24110
244	16274	244	24111
245	16304	245	24125
246	16287	246	24074
247	16295	247	24093
248	16307	248	24116
249	16290	249	24103
250	16297	250	24109
251	16288	251	24085
252	16301	252	24082
253	16281	253	24091
254	16292	254	24117
255	16296	255	24104
256	16299	256	24116
257	16275	257	24100
258	16278	258	24155
259	16301	259	24146
260	16277	260	24130
261	16291	261	24130
262	16297	262	24137
263	16307	263	24126
264	16308	264	24132

265	16291	265	24112
-----	-------	-----	-------

266	16303	266	24104
267	16300	267	24112
268	16283	268	24121
269	16305	269	24110
270	16291	270	24104
271	16298	271	24118
272	16286	272	24106
273	16291	273	24124
274	16297	274	24120
275	16297	275	24113
276	16307	276	24138
277	16293	277	24110
278	16287	278	24106
279	16301	279	24136
280	16308	280	24100
281	16287	281	24101
282	16284	282	24132
283	16299	283	24119
284	16295	284	24114
285	16288	285	24088
286	16273	286	24114
287	16285	287	24103
288	16287	288	24105
289	16300	289	24096
290	16295	290	24112
291	16282	291	24108
292	16297	292	24139
293	16309	293	24107
294	16307	294	24124
295	16299	295	24132
296	16296	296	24102
297	16312	297	24108
298	16285	298	24127
299	16308	299	24083
300	16317	300	24109
301	16282	301	24099
302	16280	302	24120
303	16310	303	24130
304	16285	304	24122
305	16307	305	24113
306	16309	306	24115
307	16296	307	24136
308	16303	308	24141

309	16299	309	24158
-----	-------	-----	-------

310	16317	310	24148
311	16272	311	24156
312	16273	312	24142
313	16300	313	24127
314	16274	314	24130
315	16283	315	24151
316	16284	316	24151
317	16292	317	24136
318	16290	318	24132
319	16295	319	24120
320	16285	320	24096
321	16299	321	24097
322	16285	322	24086
323	16303	323	24088
324	16283	324	24085
325	16302	325	24119
326	16329	326	24136
327	16289	327	24148
328	16265	328	24154
329	16292	329	24145
330	16268	330	24179
331	16291	331	24172
332	16281	332	24172
333	16293	333	24159
334	16304	334	24174
335	16297	335	24175
336	16300	336	24153
337	16343	337	24144
338	16311	338	24149
339	16289	339	24089
340	16288	340	24062
341	16300	341	24036
342	16286	342	24058
343	16310	343	24047
344	16302	344	24050
345	16287	345	24087
346	16277	346	24084
347	16310	347	24101
348	16313	348	24142
349	16300	349	24135
350	16292	350	24147
351	16291	351	24167
352	16305	352	24155

353	16287	353	24183
354	16298	354	24195
357	16308	357	24130
358	16288	358	24136
359	16316	359	24083
360	16279	360	24088
361	16295	361	24105
362	16311	362	24099
363	16287	363	24087
364	16289	364	24129
365	16310	365	24102
366	16313	366	24122
367	16295	367	24139
368	16278	368	24113
369	16294	369	24125
370	16278	370	24133
371	16290	371	24114
372	16320	372	24148
373	16296	373	24141
374	16303	374	24157
375	16284	375	24152
376	16290	376	24152
377	16294	377	24129
378	16296	378	24108
379	16301	379	24142
380	16304	380	24108
381	16300	381	24118
382	16272	382	24103
383	16297	383	24128
384	16315	384	24161
385	16308	385	24136
386	16282	386	24144
387	16274	387	24150
388	16277	388	24161
389	16297	389	24134
390	16283	390	24142
391	16288	391	24140
392	16292	392	24122
393	16290	393	24138
394	16274	394	24106
395	16290	395	24112

396	16305	396	24130
397	16305	397	24104
398	16297	398	24120
399	16295	399	24117
400	16284	400	24073
401	16292	401	24114
402	16289	402	24099
403	16278	403	24105
404	16306	404	24122
405	16287	405	24115
406	16294	406	24127
407	16295	407	24138
408	16292	408	24141
409	16287	409	24105
410	16290	410	24120
411	16294	411	24122
412	16295	412	24123
413	16303	413	24140
414	16303	414	24121
415	16308	415	24103
416	16273	416	24116
417	16300	417	24114
418	16285	418	24124
419	16290	419	24122
420	16313	420	24143
421	16295	421	24133
422	16304	422	24157
423	16291	423	24134
424	16311	424	24152
425	16314	425	24136
426	16311	426	24158
427	16283	427	24161
428	16306	428	24154
429	16292	429	24162
430	16306	430	24139
431	16278	431	24117
432	16297	432	24127
433	16300	433	24114
434	16290	434	24098
435	16295	435	24095
436	16293	436	24095
437	16308	437	24107
438	16283	438	24094
439	16308	439	24102
440	16294	440	24095

441	16306	441	24100
442	16287	442	24116
443	16293	443	24101
444	16305	444	24123
445	16298	445	24173
446	16296	446	24133
447	16326	447	24160
448	16301	448	24135
449	16309	449	24142
450	16284	450	24141
451	16288	451	24129
452	16276	452	24133
453	16293	453	24127
454	16309	454	24135
455	16320	455	24120
456	16301	456	24102
457	16302	457	24126
458	16296	458	24105
459	16326	459	24112
460	16312	460	24115
461	16307	461	24128
462	16299	462	24128
463	16308	463	24144
464	16290	464	24125
465	16301	465	24122
466	16288	466	24139
467	16301	467	24149
468	16330	468	24155
469	16322	469	24139
470	16280	470	24134
471	16310	471	24143
472	16268	472	24147
473	16295	473	24102
474	16284	474	24126
475	16297	475	24110
476	16317	476	24103
477	16304	477	24097
478	16293	478	24125
479	16310	479	24118
480	16286	480	24114
481	16307	481	24107
482	16304	482	24079
483	16305	483	24096
484	16302	484	24092
485	16288	485	24116
486	16294	486	24114
487	16299	487	24122

488	16304	488	24118
489	16287	489	24118
490	16295	490	24135
491	16296	491	24124
492	16286	492	24120
493	16297	493	24129
494	16284	494	24118
495	16307	495	24091
496	16298	496	24134
497	16298	497	24135
498	16294	498	24138
499	16304	499	24116
500	16317	500	24119
501	16313	501	24134
502	16292	502	24137
503	16311	503	24124
504	16296	504	24118
505	16292	505	24124
506	16298	506	24116
507	16311	507	24114
508	16300	508	24139
509	16298	509	24131
510	16290	510	24136
511	16305	511	24122
512	16305	512	24109
513	16297	513	24152
514	16301	514	24115
515	16297	515	24127
516	16315	516	24089
517	16285	517	24120
518	16296	518	24100
519	16286	519	24122
520	16283	520	24115
521	16300	521	24091
522	16325	522	24112
523	16306	523	24106
524	16303	524	24105
525	16273	525	24118
526	16301	526	24123
527	16296	527	24121
528	16273	528	24136
529	16267	529	24126
530	16294	530	24105
531	16280	531	24133
532	16276	532	24132
533	16284	533	24109
534	16272	534	24120

535	16292	535	24124
536	16294	536	24129
537	16304	537	24128
538	16294	538	24128
539	16309	539	24133
540	16289	540	24142
541	16287	541	24134
542	16307	542	24138
543	16311	543	24125
544	16321	544	24119
545	16303	545	24131
546	16278	546	24123
547	16299	547	24131
548	16290	548	24130
549	16297	549	24112
550	16291	550	24083
551	16312	551	24136
552	16294	552	24106
553	16286	553	24096
554	16297	554	24127
555	16270	555	24111
556	16296	556	24127
557	16301	557	24132
558	16320	558	24119
559	16281	559	24132
560	16296	560	24114
561	16294	561	24115
562	16313	562	24113
563	16297	563	24116
564	16291	564	24116
565	16291	565	24114
566	16293	566	24128
567	16311	567	24116
568	16285	568	24104
569	16330	569	24097
570	16300	570	24109
571	16304	571	24107
572	16273	572	24119
573	16300	573	24109
574	16311	574	24158
575	16336	575	24134
576	16298	576	24147
577	16314	577	24132
578	16290	578	24168
579	16287	579	24154
580	16286	580	24140
581	16309	581	24131

582	16290	582	24110
583	16320	583	24105
584	16304	584	24107
585	16287	585	24094
586	16292	586	24106
587	16301	587	24105
588	16274	588	24117
589	16309	589	24111
590	16295	590	24106
591	16305	591	24128
592	16283	592	24117
593	16267	593	24115
594	16300	594	24142
595	16295	595	24152
596	16300	596	24155
597	16317	597	24148
598	16294	598	24137
599	16283	599	24154
600	16302	600	24130
601	16282	601	24143
602	16310	602	24140
603	16291	603	24111
604	16284	604	24101
605	16261	605	24101
606	16315	606	24111
607	16287	607	24084
608	16298	608	24092
609	16285	609	24093
610	16286	610	24110
611	16310	611	24133
612	16287	612	24127
613	16285	613	24128
614	16314	614	24123
615	16303	615	24112
616	16288	616	24142
617	16279	617	24122
618	16318	618	24142
619	16295	619	24122
620	16283	620	24132
621	16309	621	24105
622	16274	622	24146
623	16301	623	24138
624	16300	624	24135
625	16296	625	24131
626	16302	626	24155
627	16299	627	24123
628	16280	628	24123

629	16299	629	24147
630	16306	630	24122
631	16294	631	24114
632	16317	632	24137
633	16310	633	24115
634	16294	634	24104
635	16294	635	24107