



Πολυτεχνείο Κρήτης

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Καταγάς Μιχαήλ

A.M.:2006010074

Επιβλέπων καθηγητής: Σταυρουλάκης Γεώργιος

Διπλωματική εργασία:

Νευροασαφής έλεγχος σε ευφυή ράβδο

Χανιά , Οκτώβριος 2012

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1°

Εισαγωγή.....	2
---------------	---

Κεφάλαιο 2°

Παρουσίαση προβλήματος.....	3
Γραμμικός Τετραγωνικός Ελεγκτής(LQR).....	3
Ασαφής λογική.....	4
Δημιουργία ασαφούς ελεγκτή(sugeno_lqr).....	5

Κεφάλαιο 3°

Παρουσίαση *.mdl αρχείων.....	10
-------------------------------	----

Κεφάλαιο 4°

Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	16
-------------------------------	----

Κεφάλαιο 1^ο

Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ.Γεώργιου Σταυρουλάκη, καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης και αποτελεί συνέχεια προηγούμενων εργασιών πάνω στο ίδιο θέμα.

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη διαφόρων μοντέλων σχετικά με τον έλεγχο μιας ευφυούς ράβδου η οποία αποτελείται από αισθητήρες και διεγέρτες από πιεζοηλεκτρικά υλικά. Βασικά στοιχεία που εξετάζουμε ,όσον αφορά τον έλεγχο, είναι το εύρος τιμών της μετατόπισης, της ταχύτητάς και της επιτάχυνσης του σημείου ελέγχου, τα οποία είναι ενδεικτικά μέτρα για την καταπόνηση της ράβδου.Τα εργαλεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη αυτού του σκοπού είναι ο ασαφής έλεγχος και ο μαθηματικός έλεγχος, και πιο συγκεκριμένα ο Γραμμικός Τετραγωνικός Έλεγχος(LQR).

Το βασικό σύστημα πάνω στο οποίο γίνεται η έρευνα έχει υλοποιηθεί από τον κ.Γεώργιο Ταϊρίδη στην μεταπτυχιακή του διατριβή.

Κεφάλαιο 2°

1. Παρουσίαση προβλήματος

Το σύστημα το οποίο μελετάμε αποτελείται από μια δοκό μήκους 0,8m η οποία χαρακτηρίζεται από την εξίσωση κίνησης:

$$M \cdot u'' + C \cdot u' + K \cdot u = \sum F \quad \text{όπου,}$$

M είναι ο πίνακας μάζας

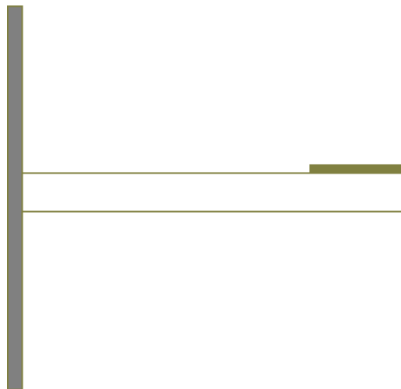
C είναι ο πίνακας απόσβεσης

K είναι ο πίνακας δυσκαμψίας

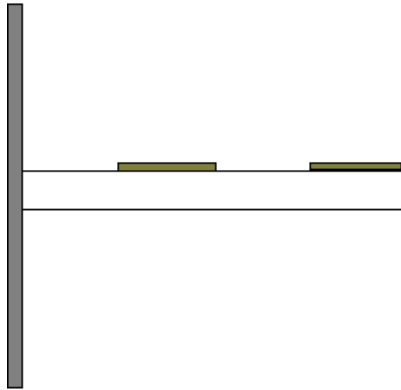
Και u είναι το δυνάμυσμα της μετατόπισης

Ορίζουμε 2 μοντέλα που θα μελετήσουμε τα οποία βασίζονται στο παραπάνω σύστημα:

- Μοντέλο A,
όπου ο έλεγχος γίνεται με βάση τη μέτρηση της μετατόπισης ενός σημείου ελέγχου.



- Μοντέλο B,
όπου ο έλεγχος γίνεται με βάση τη μέτρηση της ταχύτητας δύο σημείων
ελέγχου.



2. Γραμμικός Τετραγωνικός Ρυθμιστής(LQR)

Θεωρούμε την ακόλουθη τετραγωνική συνάρτηση προς ελαχιστοποίηση:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt$$

Όπου ο πίνακας Q αφορά το βάρος του διανύσματος κατάστασης (μετατόπιση, ταχύτητα) και ο πίνακας R το βάρος της ενέργειας που δαπανά το σύστημα για τον έλεγχο της ράβδου. Το J είναι στην ουσία μια μορφή συμβιβασμού μεταξύ της σπουδαιότητας του διανύσματος κατάστασης και της ενέργειας.

3. Ασαφής λογική

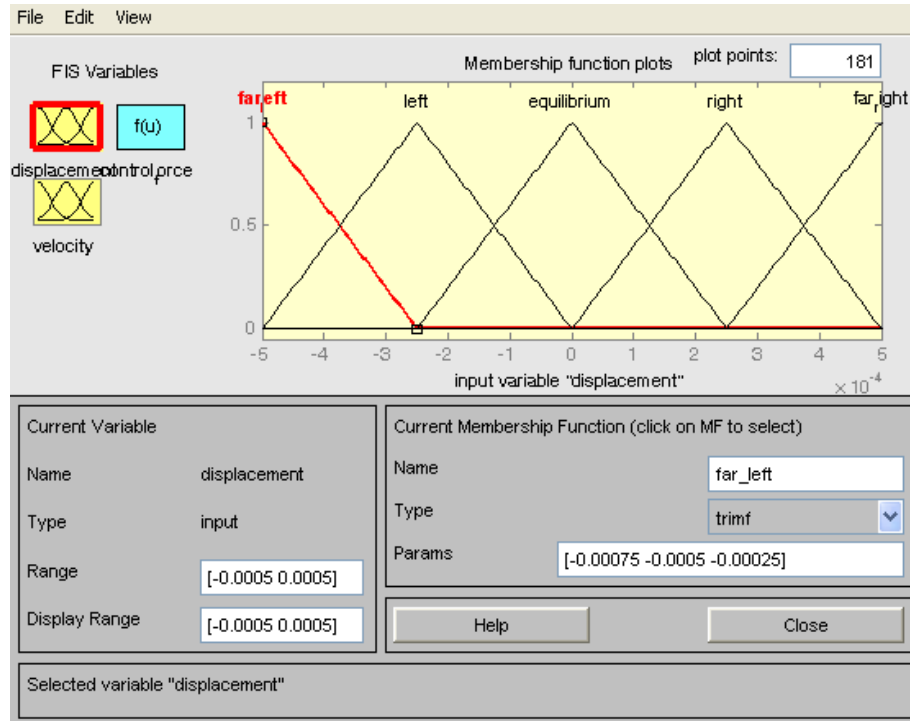
Η κλασσική λογική ορίζει ότι μια πρόταση είναι αληθής ή ψευδής σύμφωνα με αντικειμενικά κριτήρια. Για παράδειγμα αν θέλουμε να ισχυριστούμε ότι ο αριθμός 2 είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό 1 μπορούμε να το κάνουμε με απόλυτη σιγουριά. Όμως, αντίθετα με ένα σύνολο αριθμών, πολλά σύνολα δεν είναι αυστηρά ορισμένα και σε αυτή την περίπτωση η κλασσική λογική δεν μπορεί να τα προσδιορίσει.

Η ασαφής λογική ορίζει ότι μια πρόταση μπορεί να είναι αληθής με κάποιο βαθμό βεβαιότητας. Για παράδειγμα, αν έχουμε το σύνολο $X = \{20, 40, 60\}$ το οποίο περιγράφει ταχύτητες και θέλουμε να ορίσουμε το σύνολο $A = \text{"μεγάλη ταχύτητα"}$, με την ασαφή λογική μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η ταχύτητα 20Km/h είναι μεγάλη με βεβαιότητα 20% και ότι η ταχύτητα 60Km/h είναι μεγάλη με βεβαιότητα 60%. Τα παραπάνω ποσοστά είναι τα βάρη (μ_A) τα οποία χαρακτηρίζουν τη συμμετοχή του εκάστοτε στοιχείου x στο σύνολο A .

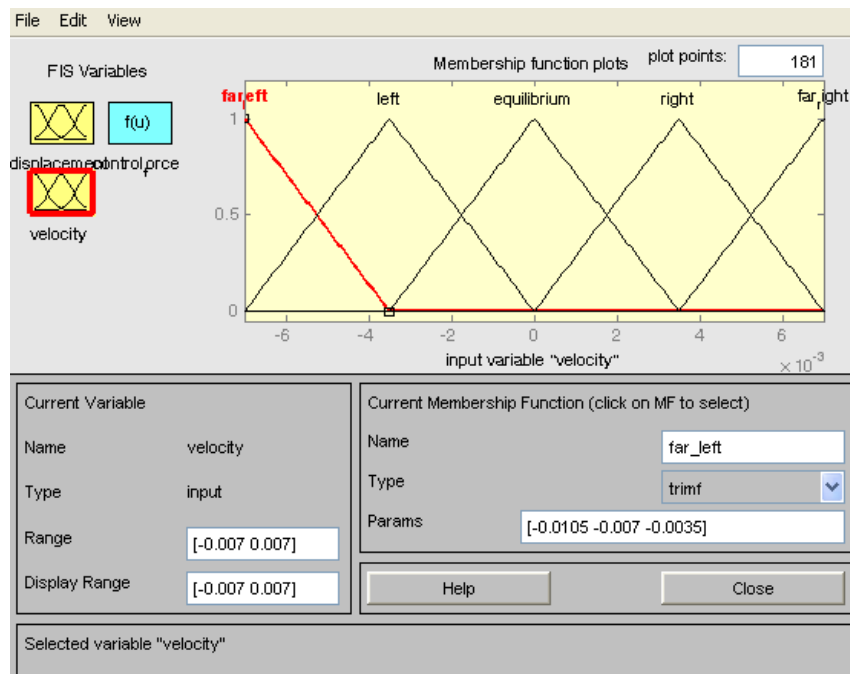
Η λογική αυτή προσεγγίζει πολύ την ανθρώπινη και είναι ιδιαίτερα λειτουργική όταν θέλουμε να μοντελοποιήσουμε ποιοτικά χαρακτηριστικά και λεκτικές μεταβλητές. Στον ελεγκτή `sugen01` που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της εργασίας ορίσαμε τα σύνολα "far left", "left", "equilibrium", "right" και "far right" με βάση το σύνολο $[-0.0005, 0.0005]$, το οποίο εκφράζει την μετατόπιση του σημείου ελέγχου. Τα σύνολα αυτά μπορούμε να τα αναπαραστήσουμε σε ένα σύστημα αξόνων και να δημιουργήσουμε τη συνάρτηση συμμετοχής του κάθε συνόλου. Αντίστοιχη διαδικασία έγινε και για την ταχύτητα του σημείου ελέγχου. Οι συναρτήσεις συμμετοχής για κάθε δεδομένο εισόδου (μετατόπιση και ταχύτητα) του ασαφούς ελεγκτή φαίνεται στις εικόνες 1 και 2 παρακάτω.

4. Δημιουργία νευροασαφούς ελεγκτή (sugeno_lqr)

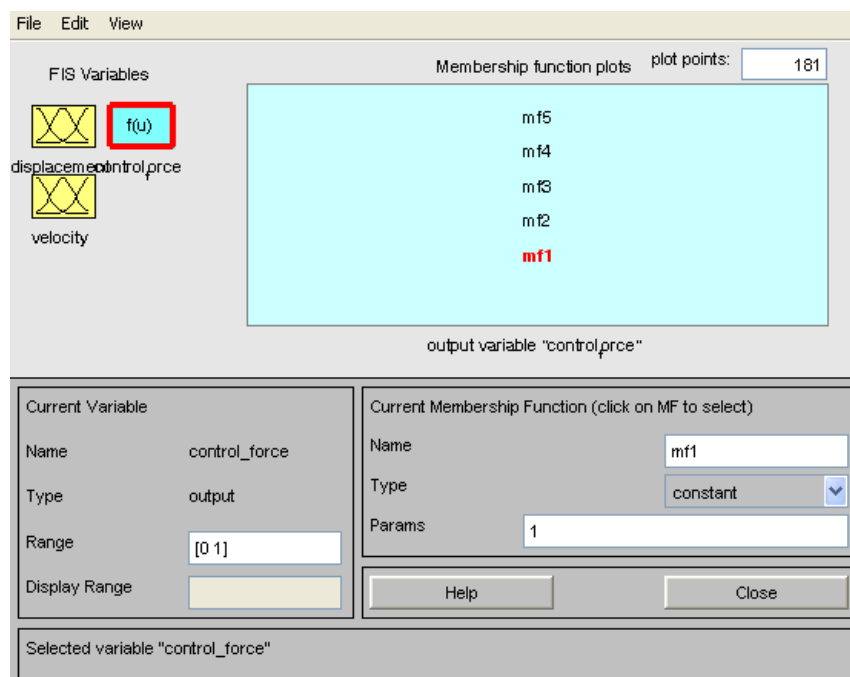
Αρχικά προσομοιώνουμε τη λειτουργία του συστήματος με έλεγχο lqr (control2.mdl) ώστε να αποθηκευτούν στη δομή με το όνομα “data” τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση του ελεγκτή. Στη συνέχεια ανοίγουμε τον ασαφή ελεγκτή sugeno1 που έχουμε δημιουργήσει εμπειρικά:



Εικόνα 1: συναρτήσεις συμμετοχής του sugeno1 για την μετατόπιση

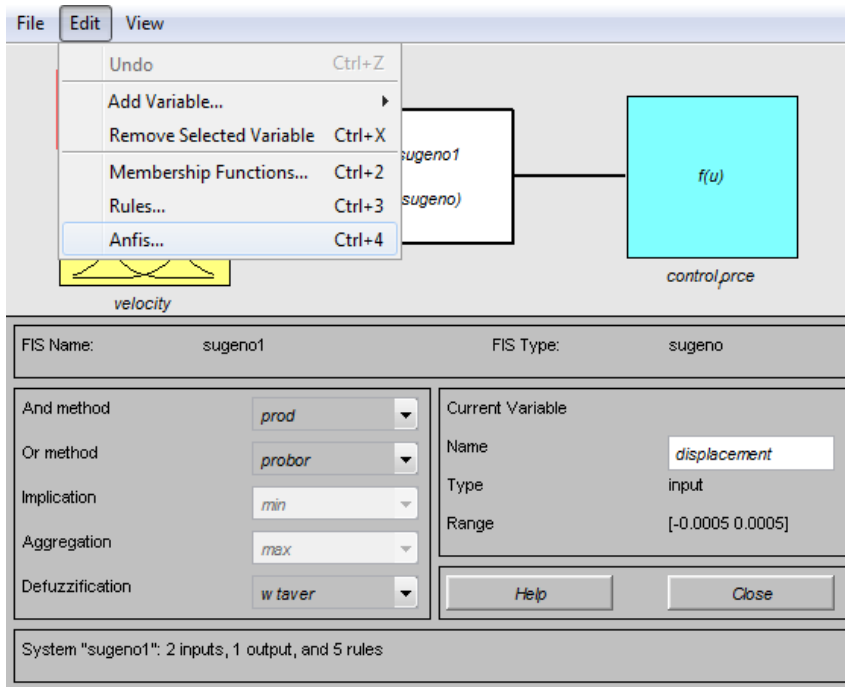


Εικόνα 2: συναρτήσεις συμμετοχής του *sugeno1* για την ταχύτητα



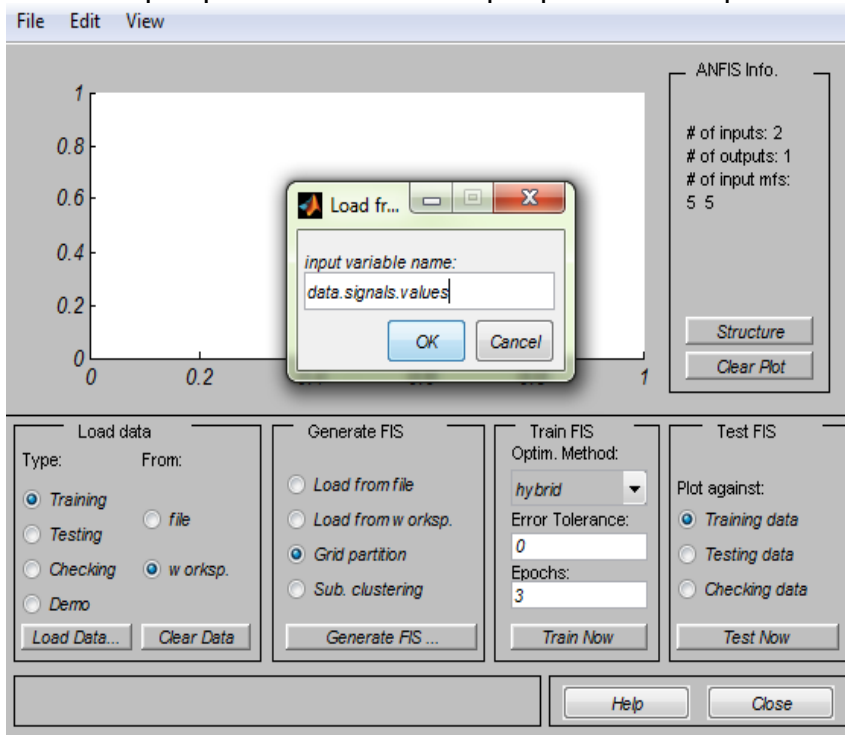
Εικόνα 3: σταθερές εξόδου (δύναμη ελέγχου)

και επιλέγουμε edit→Anfis.



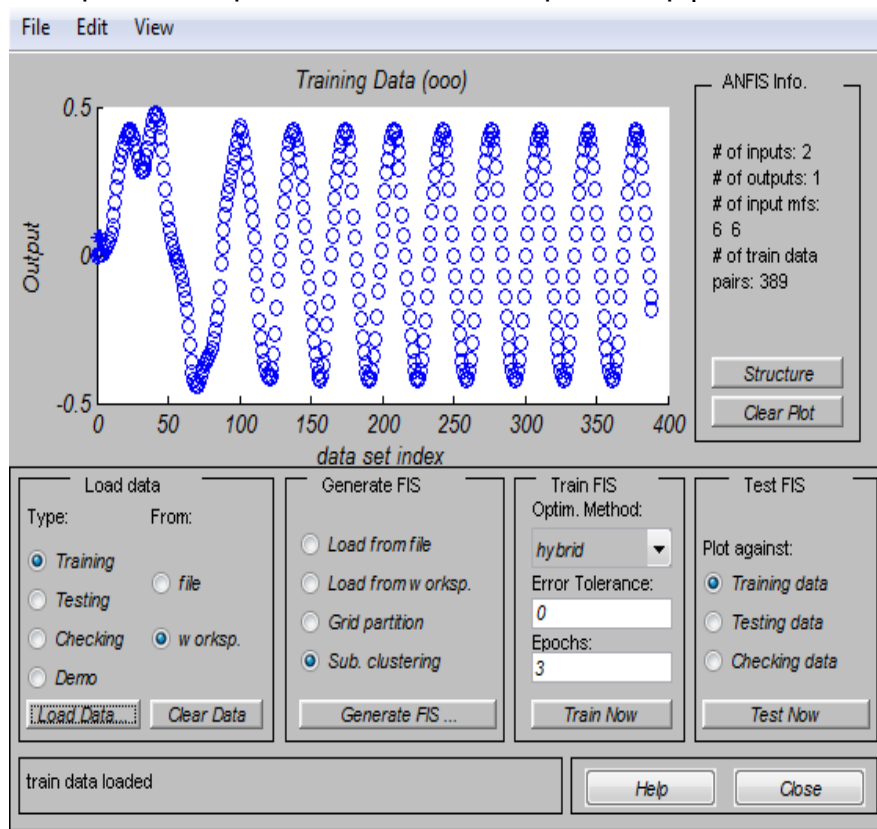
Εικόνα 4

Επιλέγουμε Load data from workspace και στη συνέχεια πληκτρολογούμε τη διεύθυνση στην οποία είναι αποθηκευμένα τα δεδομένα.



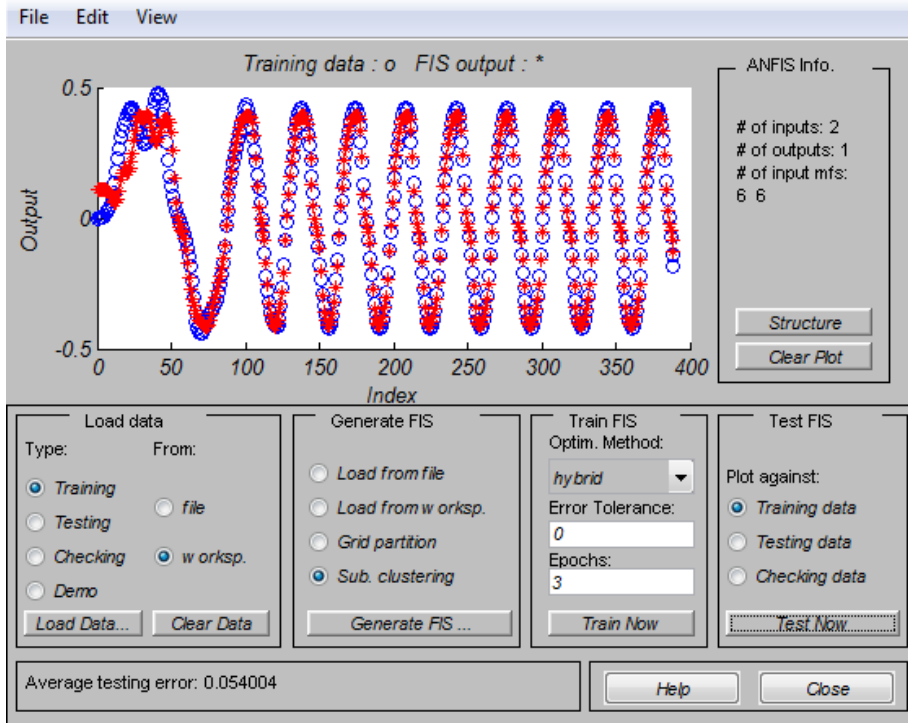
Εικόνα 5

Πατάμε στο κουμπί “Generate FIS...” με επιλογή Sub clustering



Εικόνα 6

Και τέλος, πατάμε “Train Now” και “Test Now” για να δούμε την απόκλιση της νέας δύναμης ελέγχου του νευροασαφούς ελεγκτή(sugeno_lqr) από εκείνη του ασαφούς ελεγκτη (sugeno1).



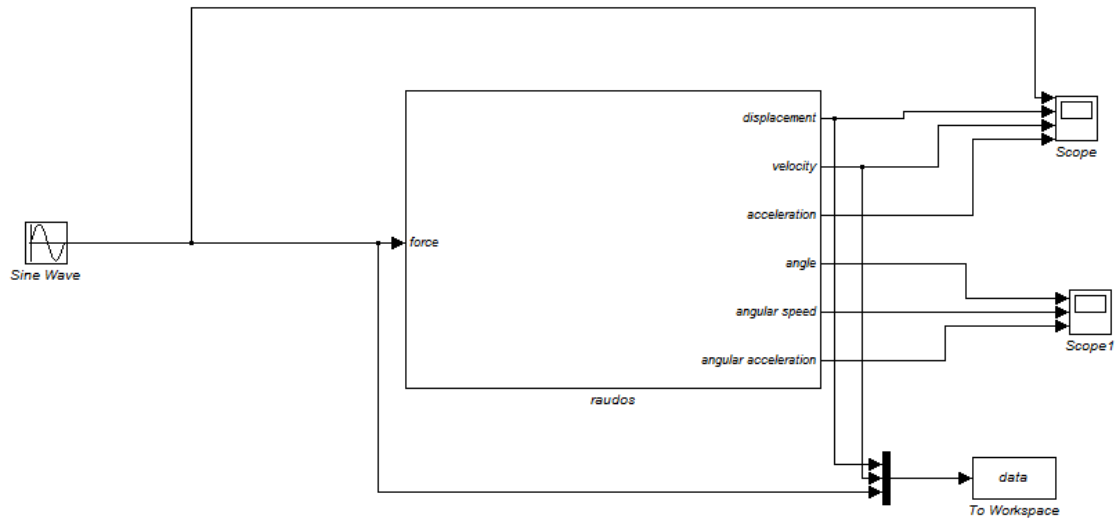
Εικόνα 7

Με παρόμοια διαδικασία έχουν δημιουργηθεί και οι ελεγκτές sugeno2, sugeno5 για τα μοντέλα A και B αντίστοιχα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα “data” και “data5” όπως φαίνεται παρακάτω στα μοντέλα control1.mdl και control6a.mdl (έχοντας κάνει πρώτα την προσομοίωση με αποσυνδεδεμένους τους ελεγκτές από το υπόλοιπο σύστημα).

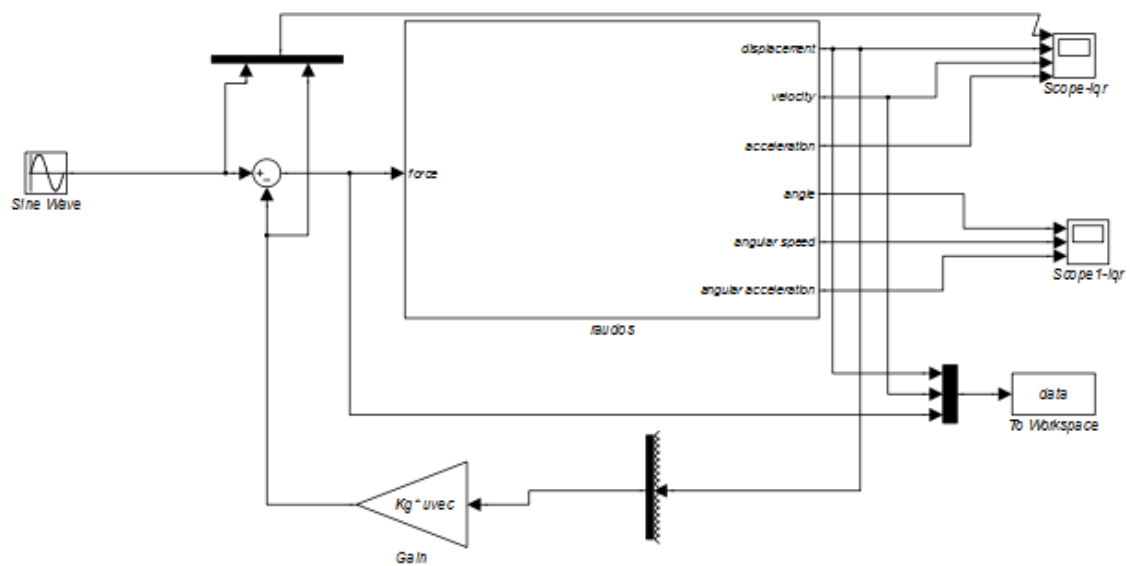
Κεφάλαιο 3^ο

Παρουσίαση αρχείων *.mdl

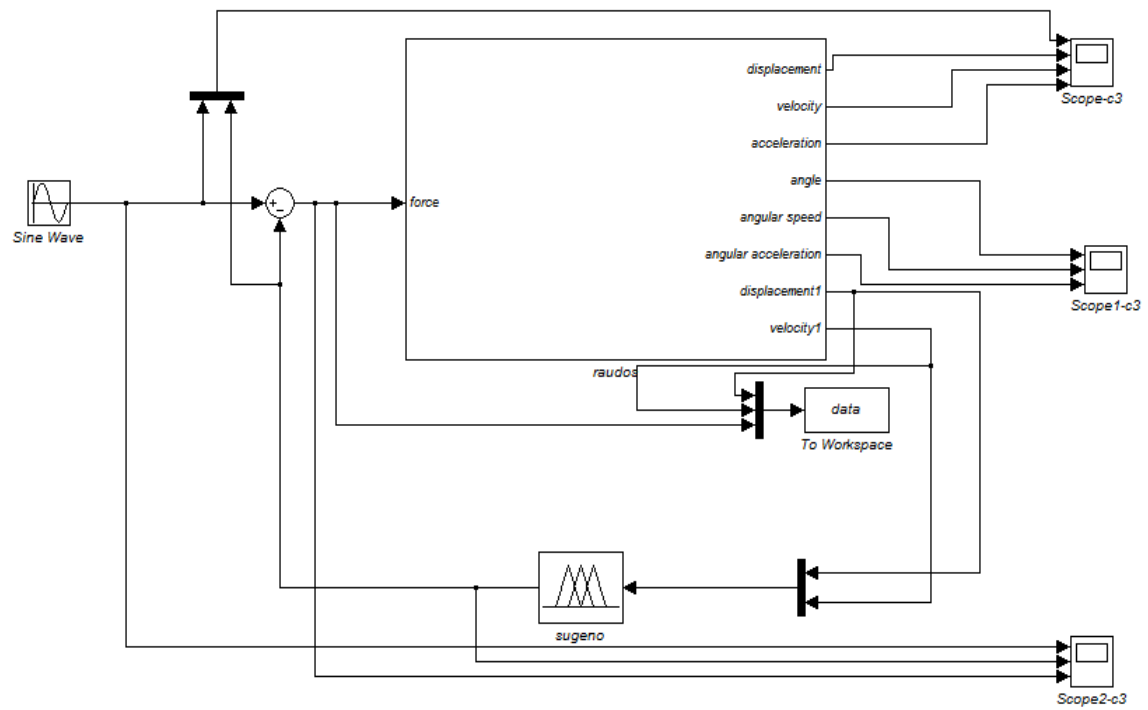
1. Control1.mdl - Χωρίς έλεγχο



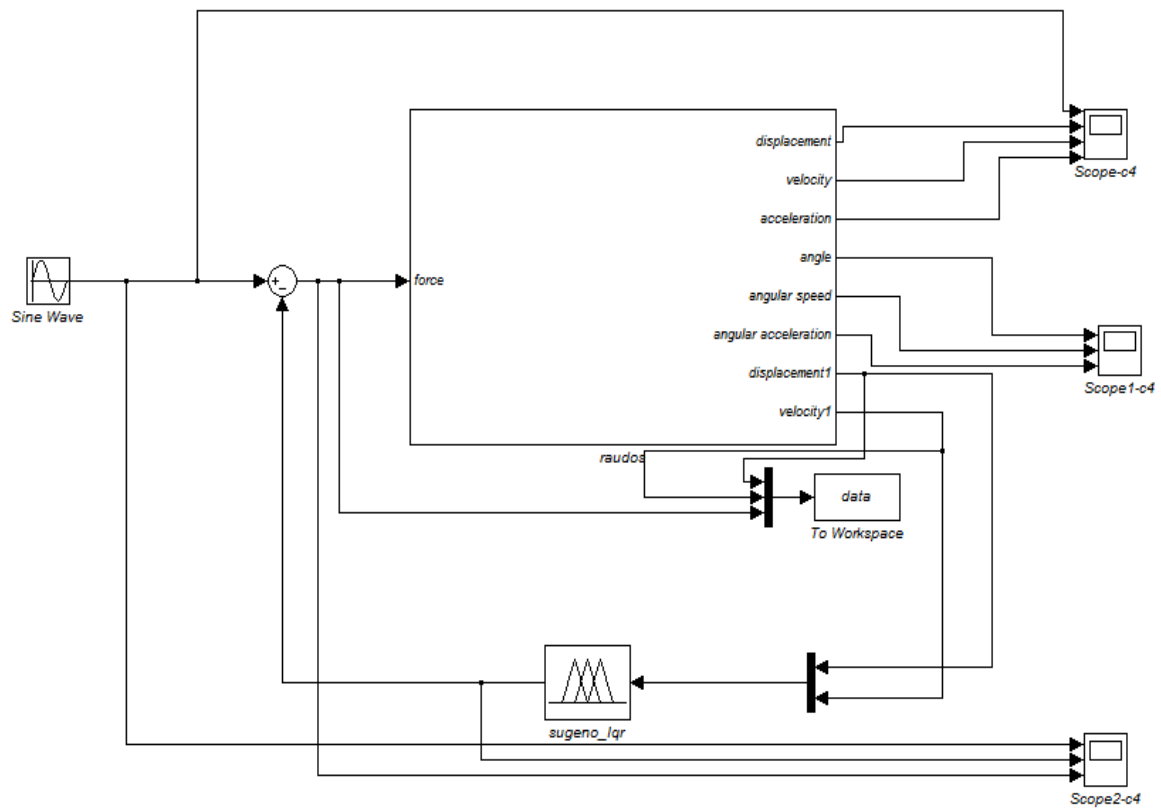
2. Control2.mdl - Έλεγχος lqr



3. Control3.mdl - Έλεγχος με sugeno2



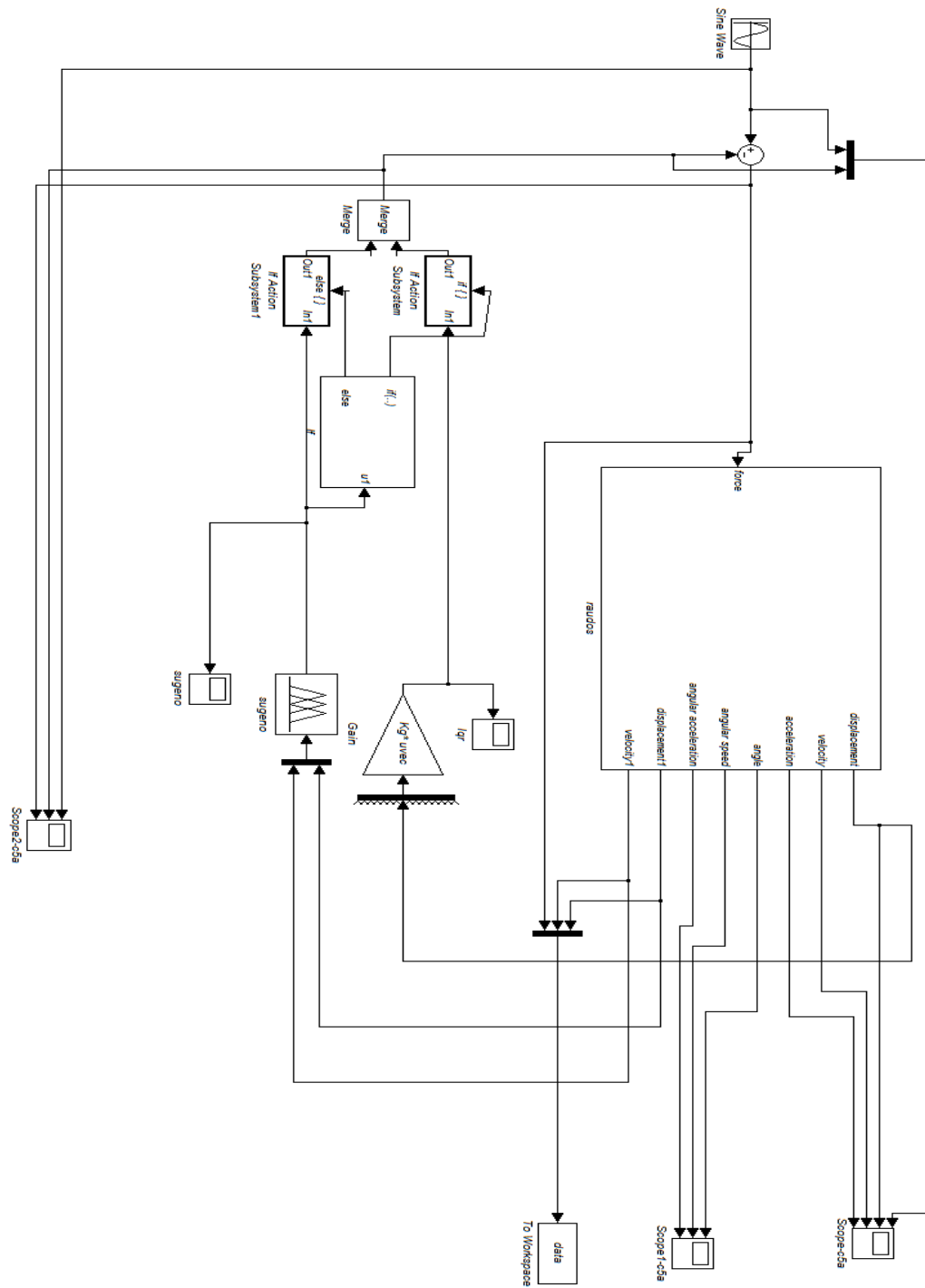
4. Control4.mdl - Έλεγχος με sugeno_lqr



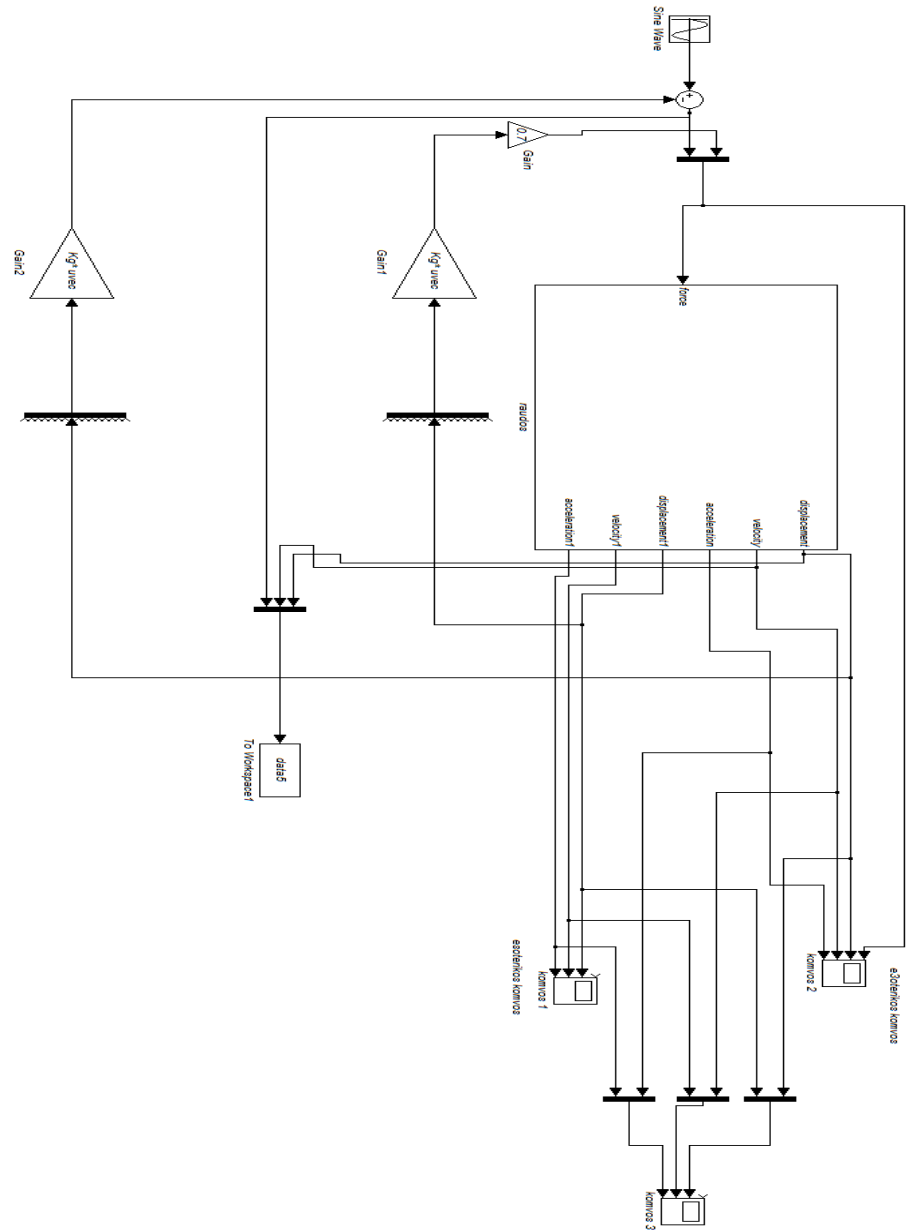
5. Έλεγχος με συνδυασμό νευροασαφούς και lqr ελεγκτή

a) Control5a.mdl - Lqr-sugeno2

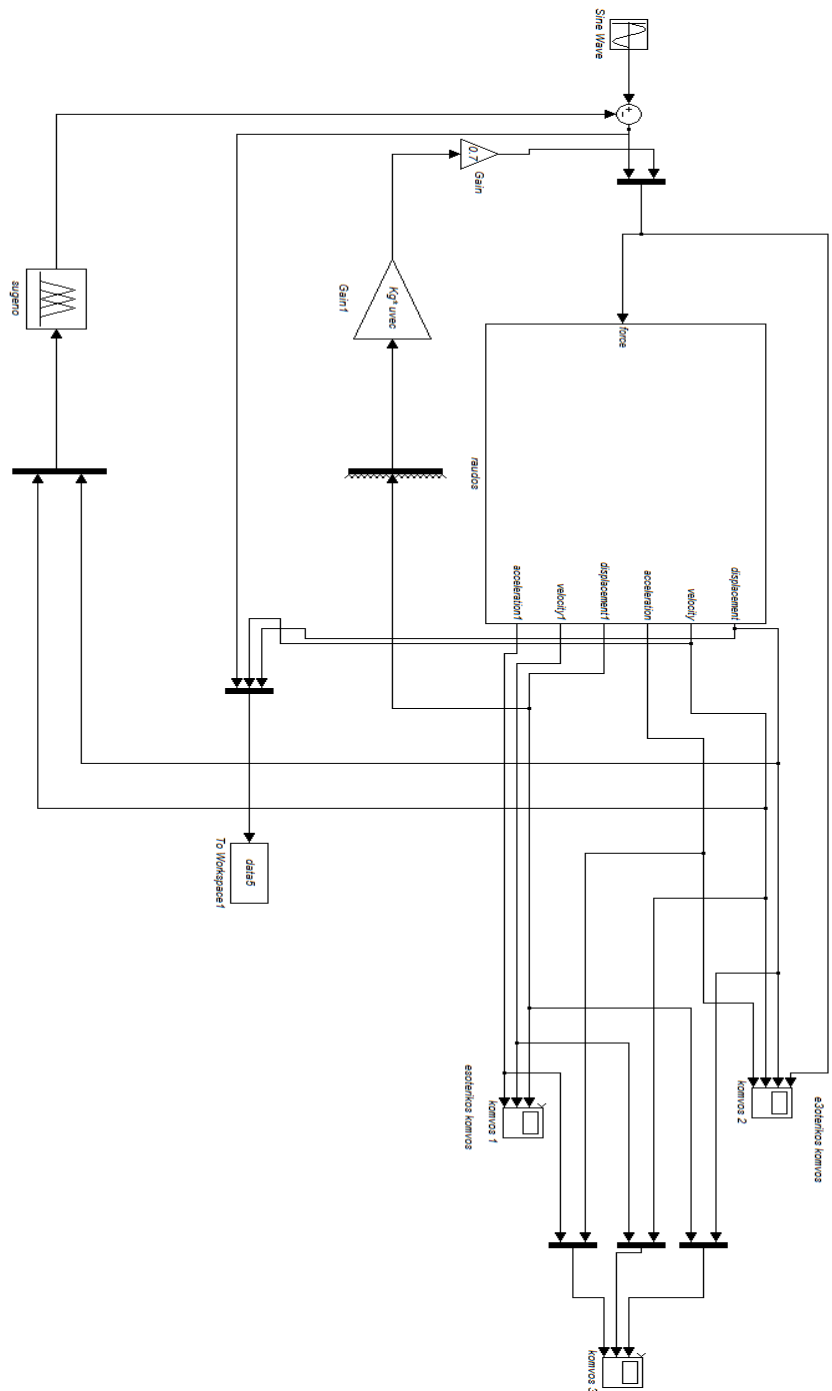
b) Control5b.mdl - Lqr-sugeno_lqr



6. Έλεγχος σε 2 σημεία
a) control6a



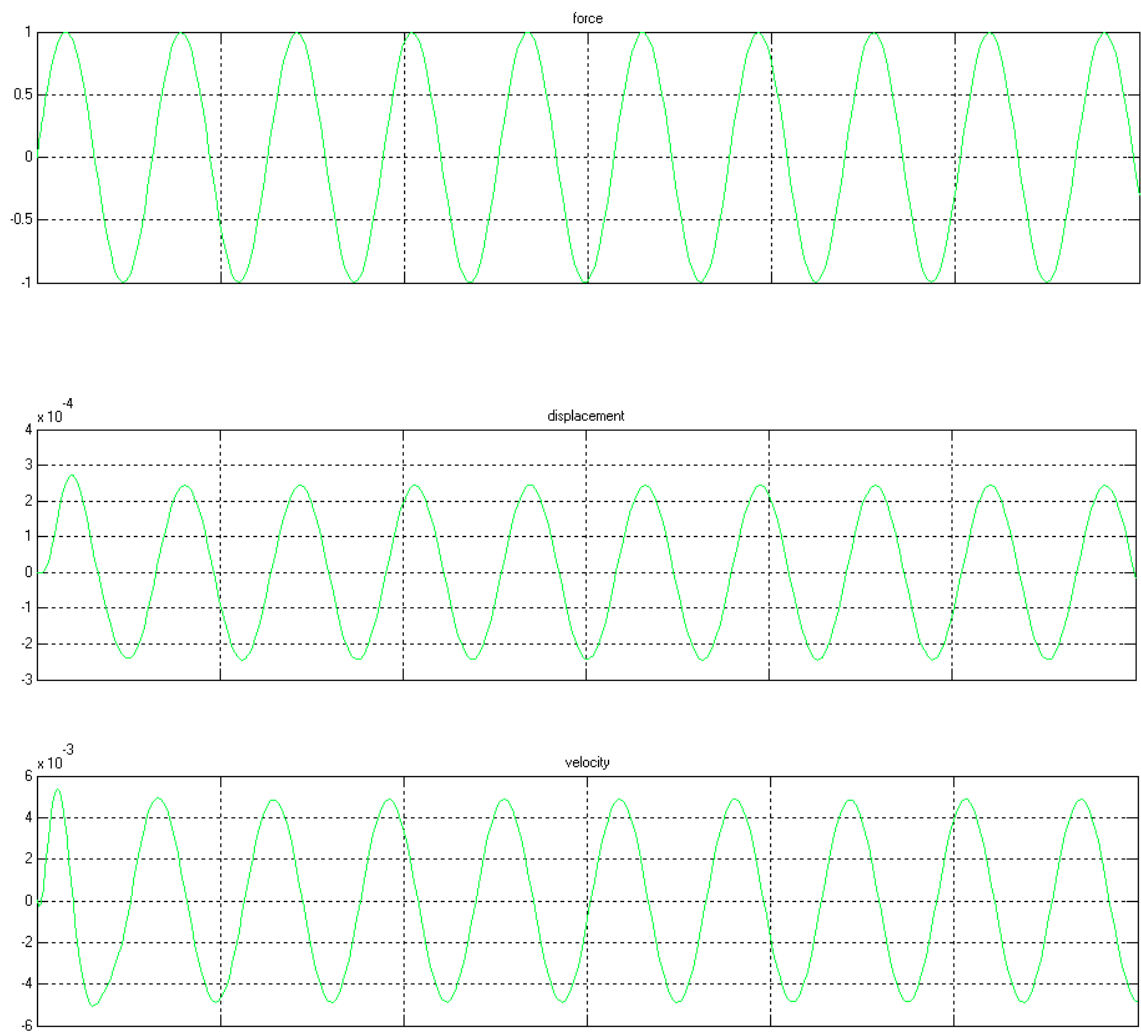
- b) control6b
c) control6c

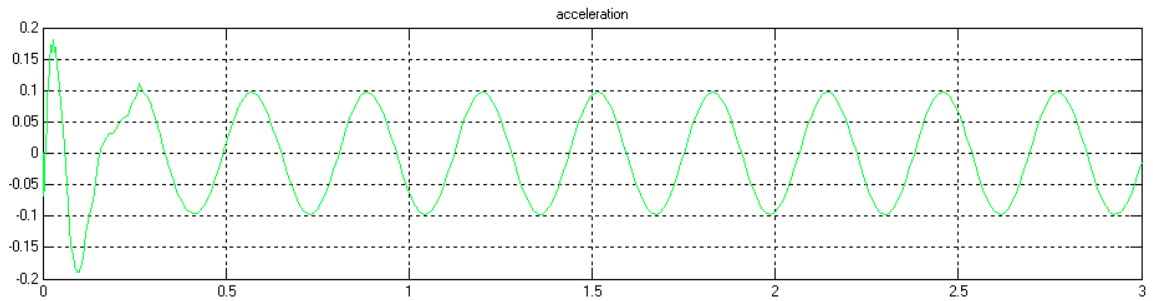


Κεφάλαιο 4^ο

Παρουσίαση αποτελεσμάτων

1. Control1.mdl-Αποτελέσματα μοντέλου χωρίς έλεγχο

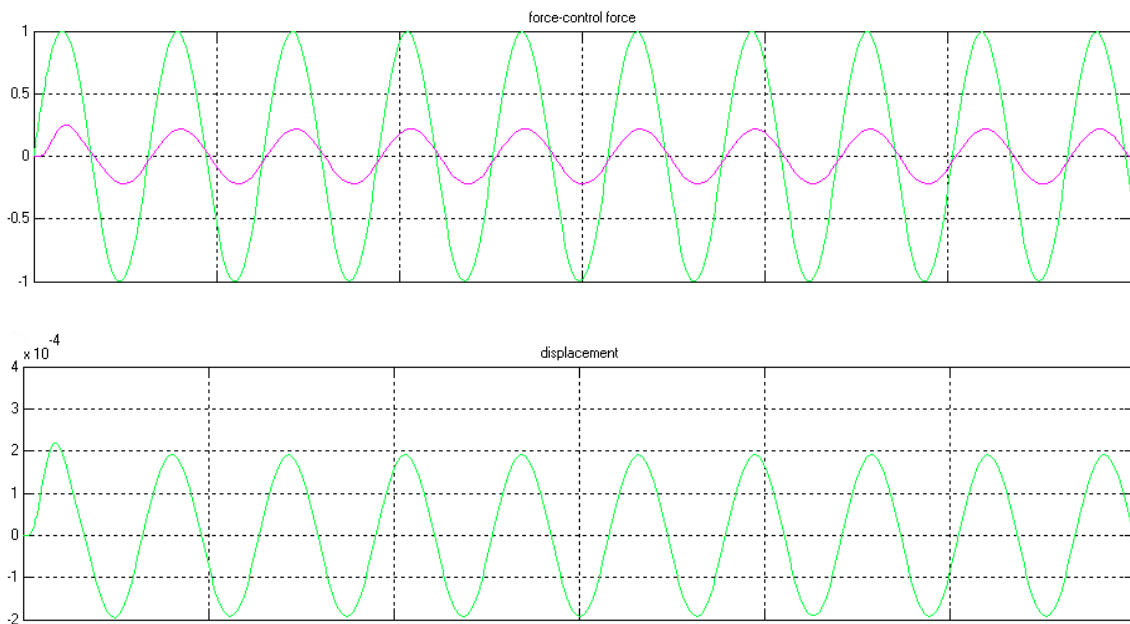


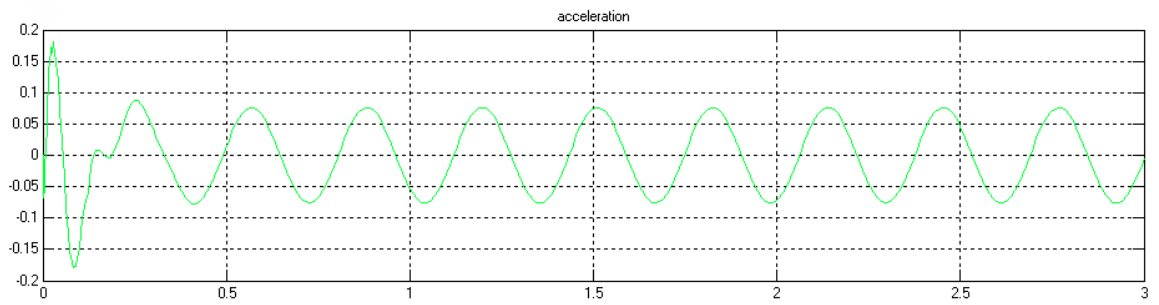
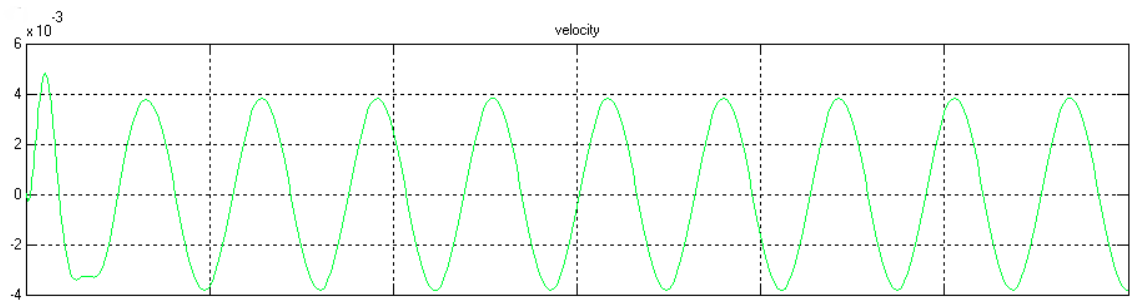


2. Control2.mdl-Διερεύνηση του πίνακα Q

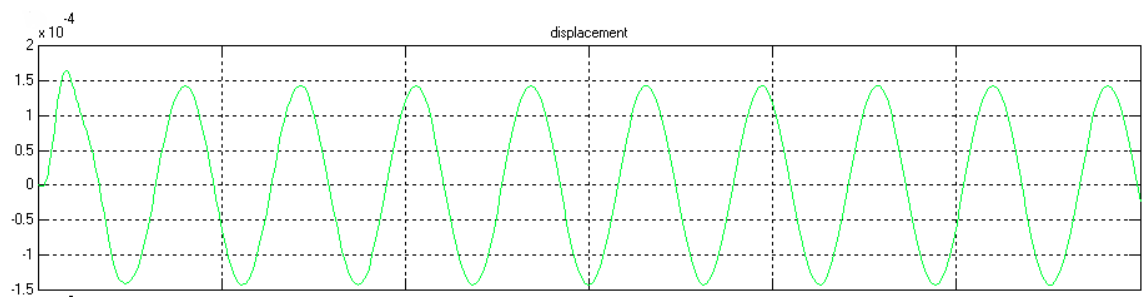
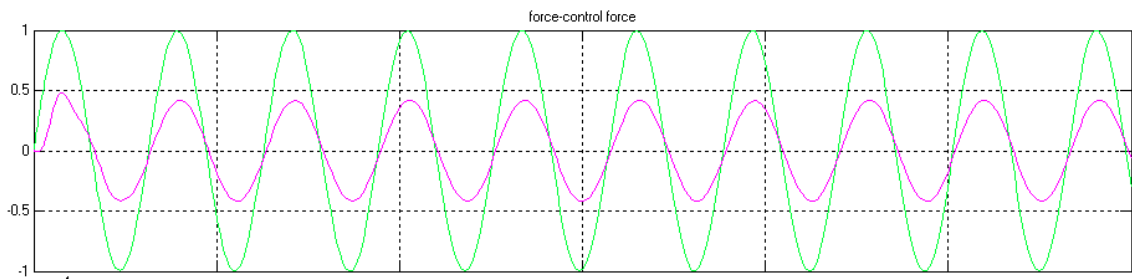
Οι δύο βασικές παράμετροι του ελέγχου lqr είναι ο πίνακας R και ο πίνακας Q . Ο R αφορά την ενέργεια που δαπανά το σύστημα για τον έλεγχο και ο Q το διάλυμα κατάστασης (μετατόπιση και ταχύτητα). Στο σημείο αυτό εξετάζουμε τον τρόπο με τον οποίο οι τιμές του πίνακα Q καθορίζουν τον έλεγχο της δοκού, αρχικά δίνοντας την ίδια τιμή σε όλη τη διαγώνιο του πίνακα και στη συνέχεια δίνοντας διαφορετική τιμή στο πρώτο μισό (που αφορά τη μετατόπιση) και διαφορετική στο δεύτερο μισό (που αφορά την ταχύτητα του σημείου ελέγχου).

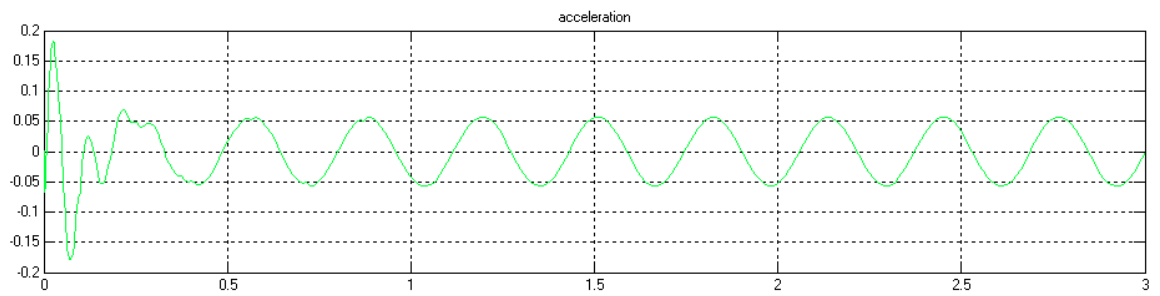
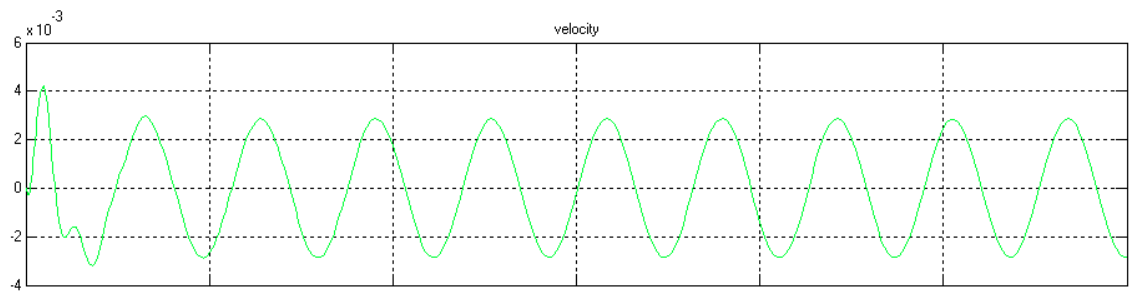
- $Q=5$



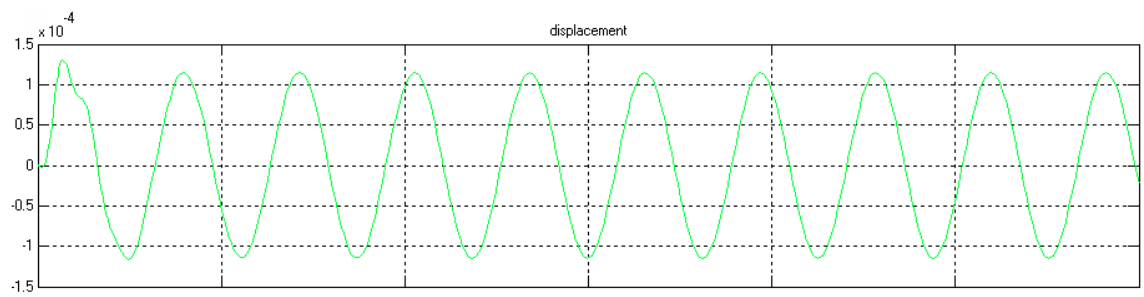
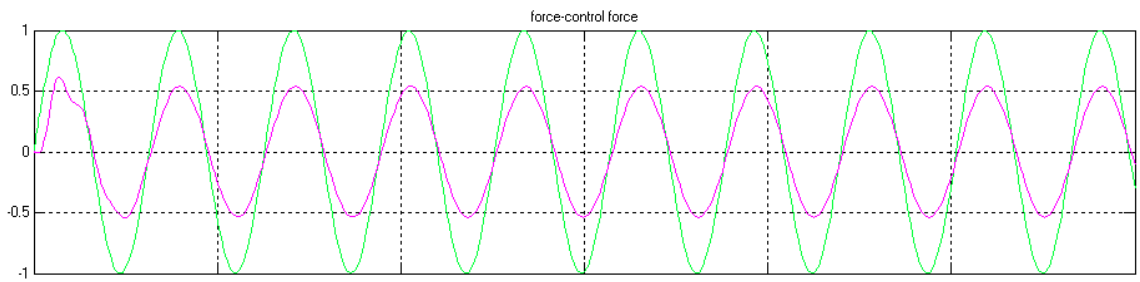


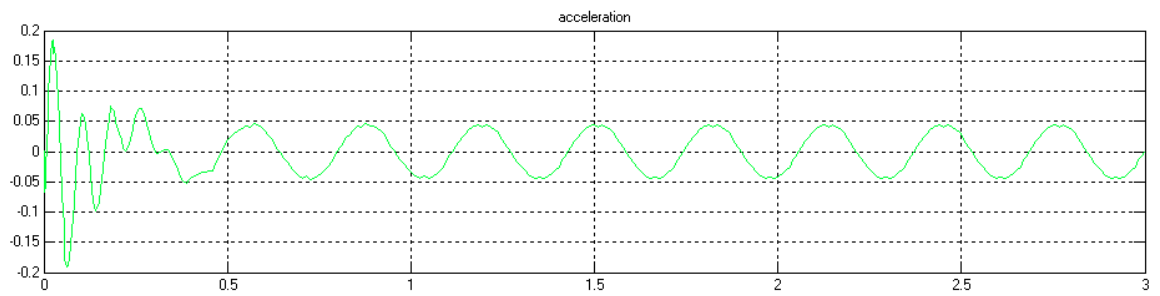
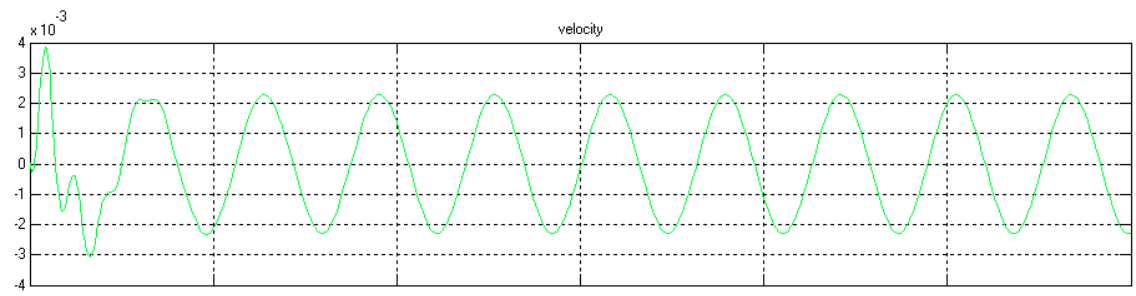
- $Q=30$



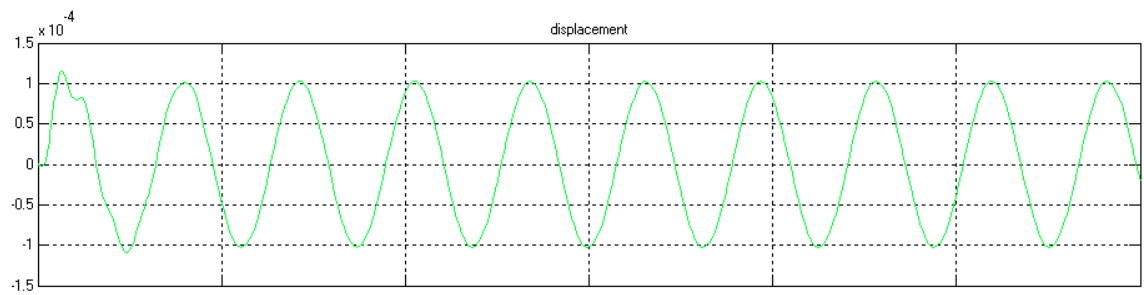
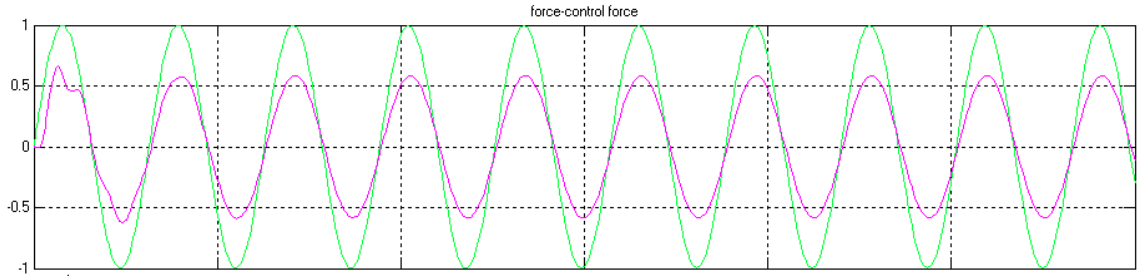


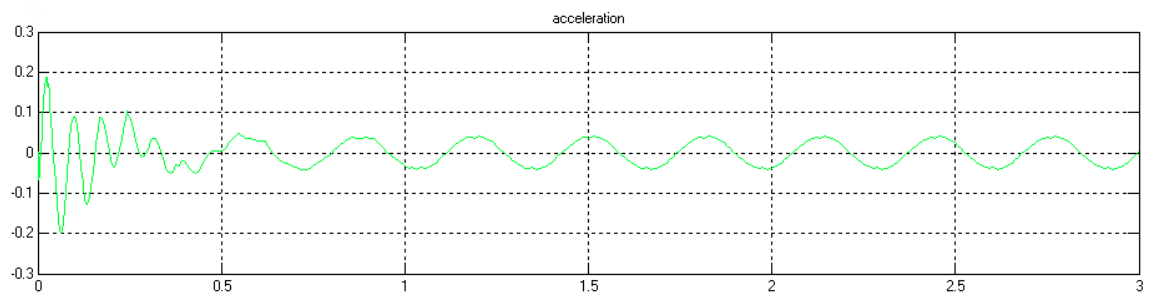
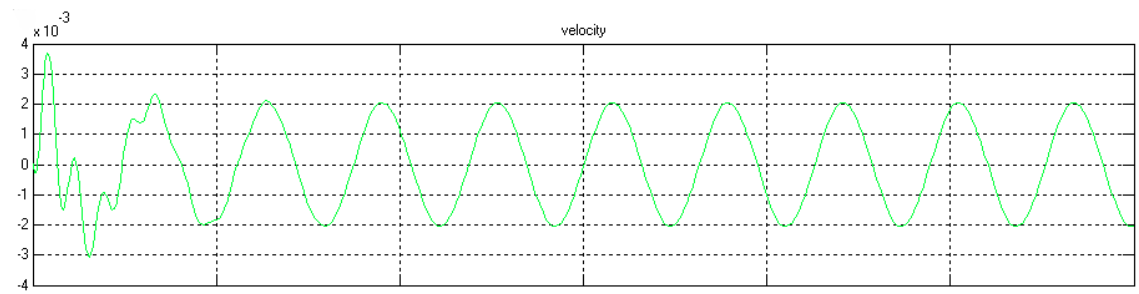
- $Q=70$



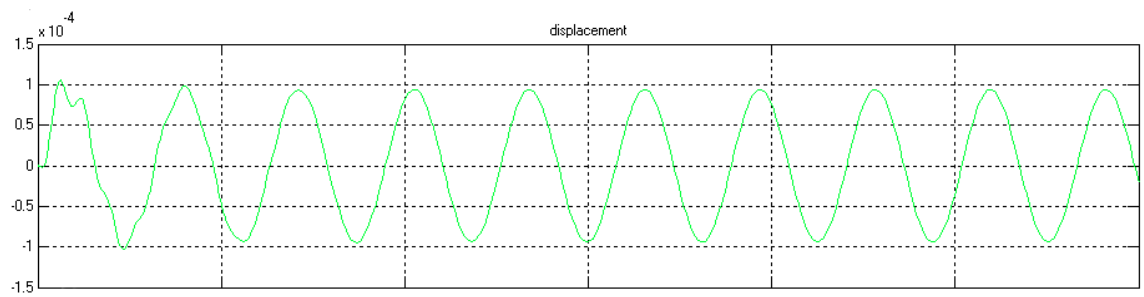
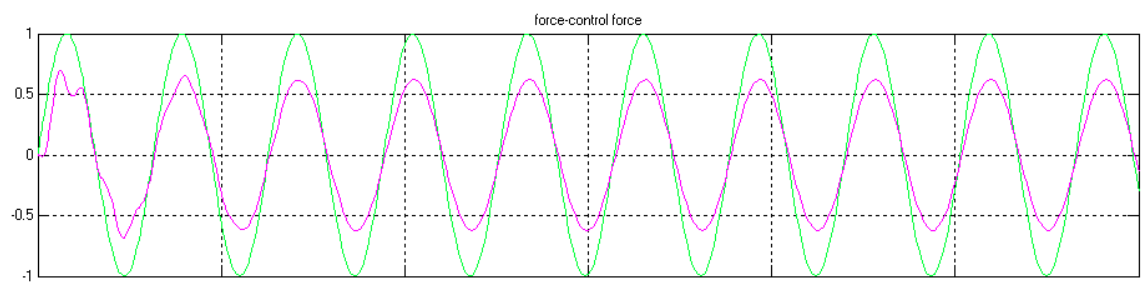


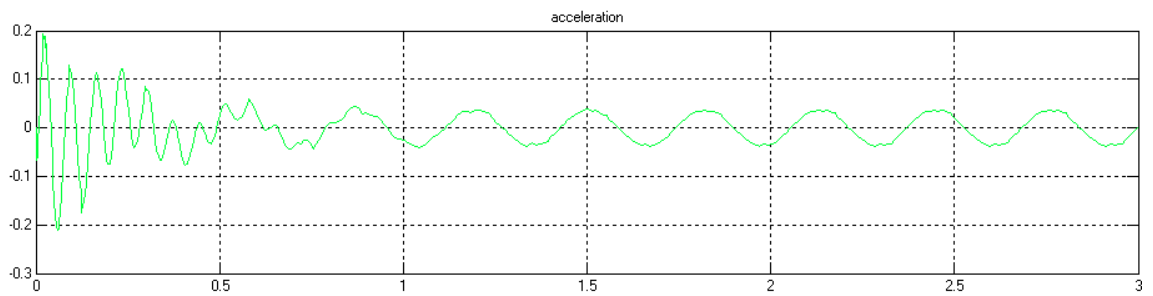
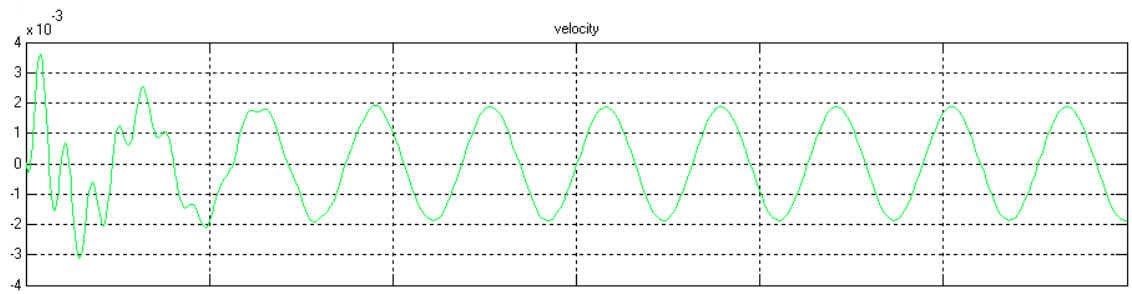
- $Q=100$



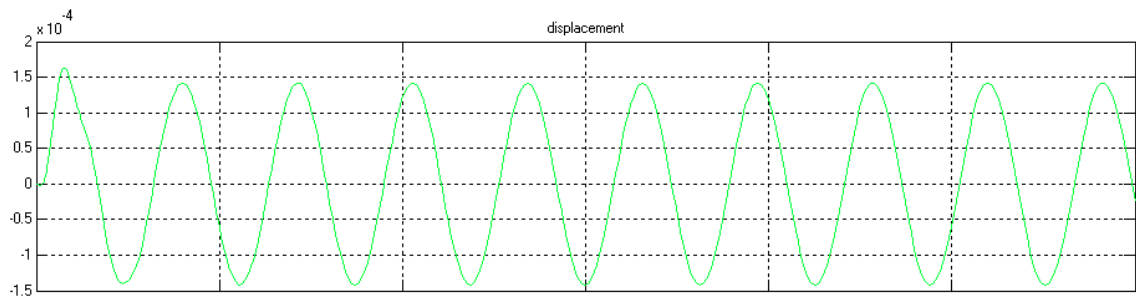
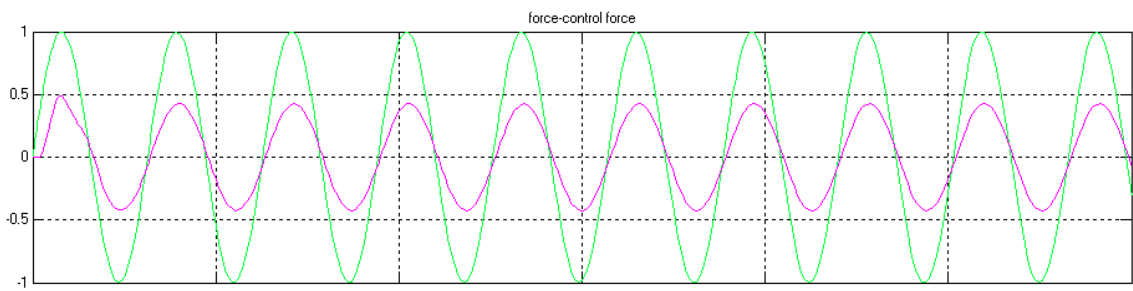


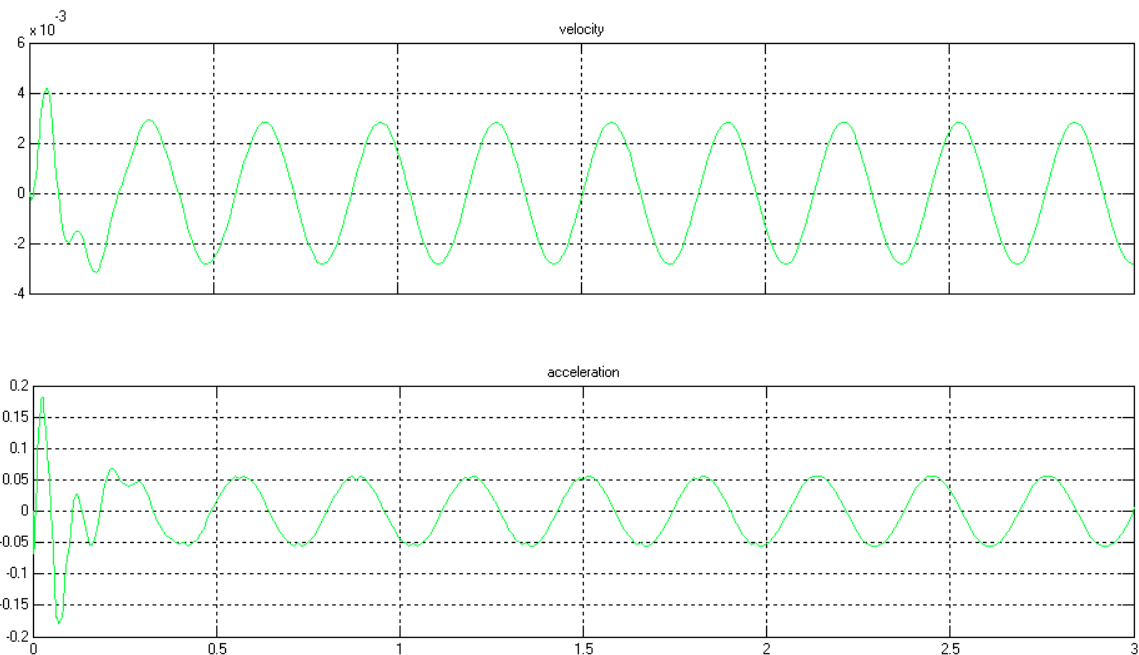
- $Q=130$





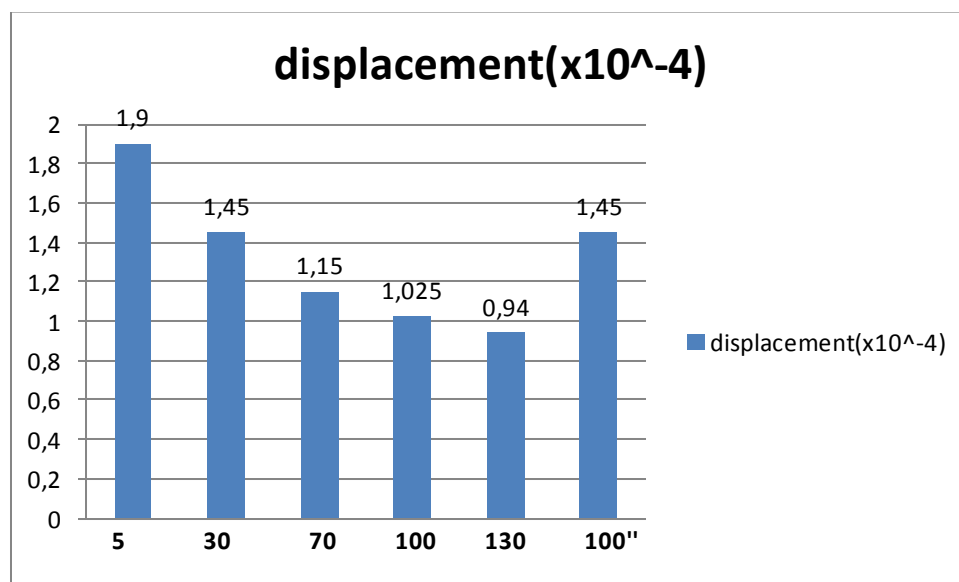
- $Q=100$ (το πρώτο μισό του πίνακα έχει την τιμή 5×10^{11})

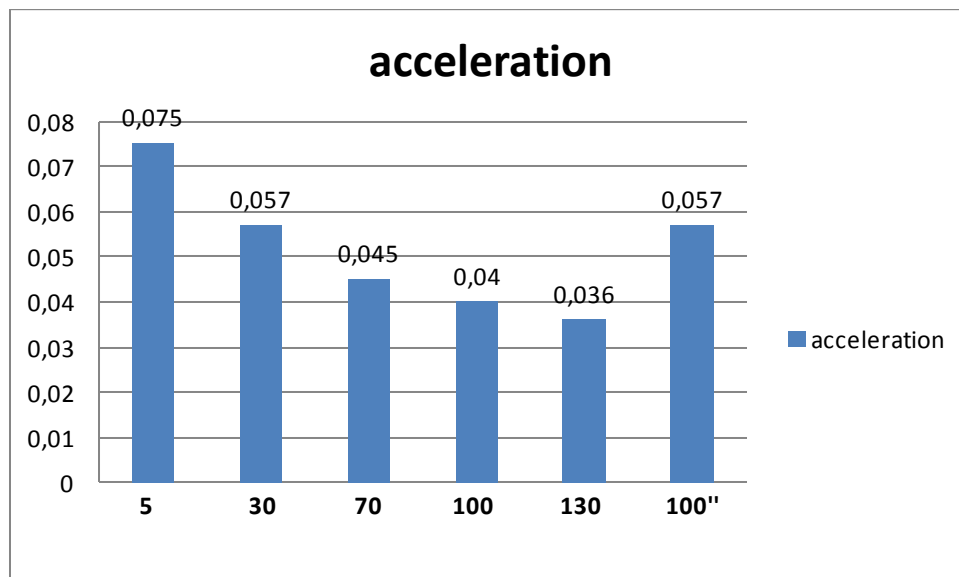
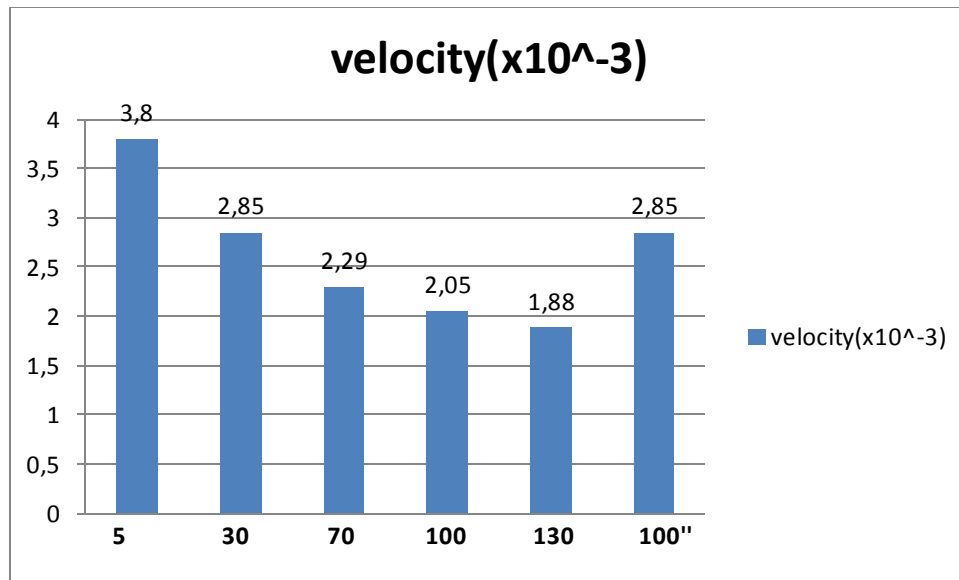




Παρατηρώντας τα διαγράμματα της συγκεκριμένης περίπτωσης συμπεραίνουμε ότι όσο η τιμή του πίνακα Q αυξάνεται, το εύρος της ταλάντωσης μειώνεται αλλά το σύστημα αργεί να σταθεροποιηθεί με αποτέλεσμα η ράβδος να καταπονείται περισσότερο. Η διαφοροποίηση των στοιχείων της διαγωνίου του πίνακα επιφέρει αλλαγή στο σύστημα μόνο αν το πρώτο μισό έχει τιμή πολύ μεγαλύτερη του δεύτερου μισού. Όταν συμβαίνει αυτό προσεγγίζει ελεγκτές μικρότερης τιμής του πίνακα Q, στην περίπτωση αυτή τον $1q_1$ για την τιμή $Q=30$.

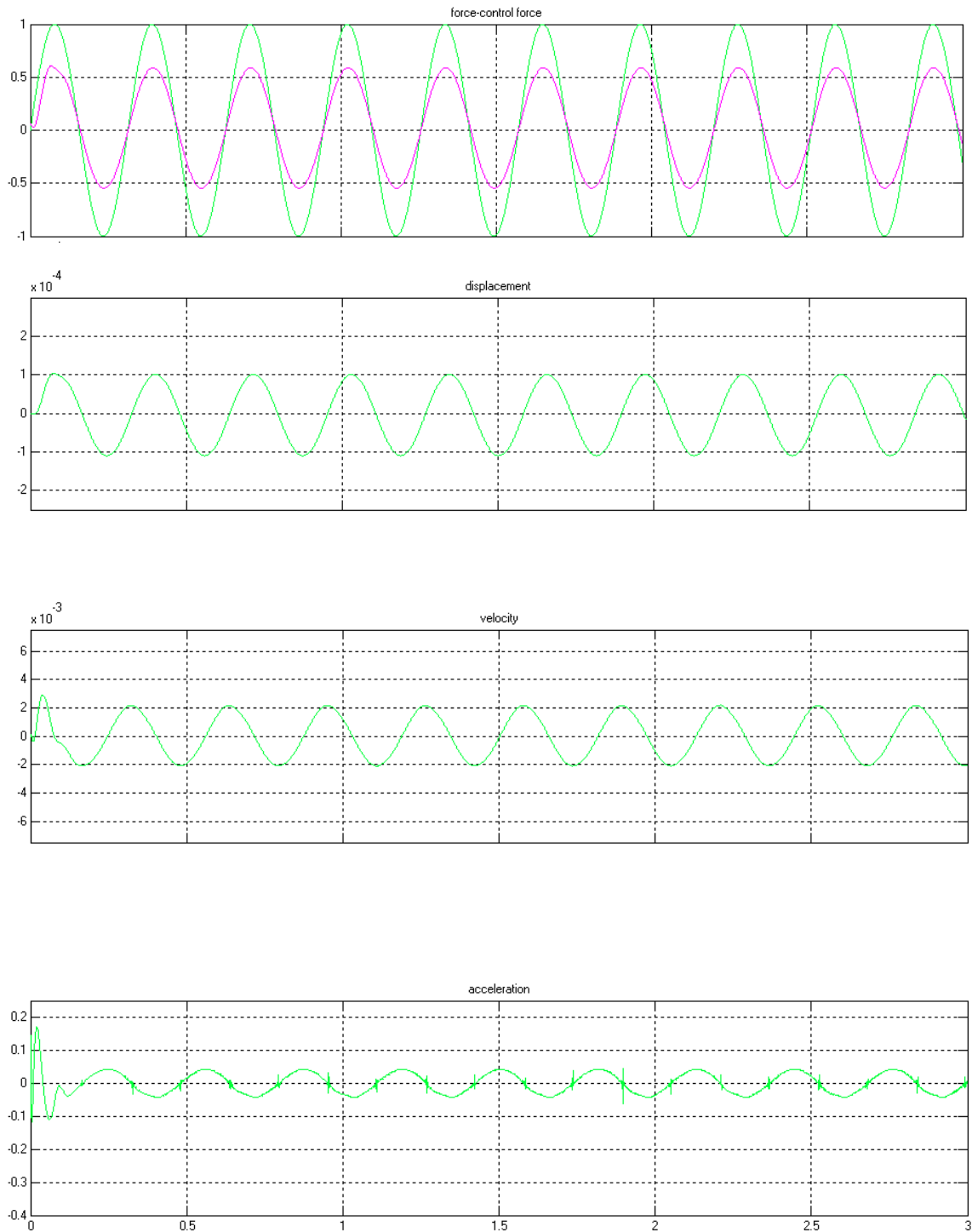
Τα αριθμητικά αποτελέσματα φαίνονται συγκεντρωμένα στα διαγράμματα που ακολουθούν:



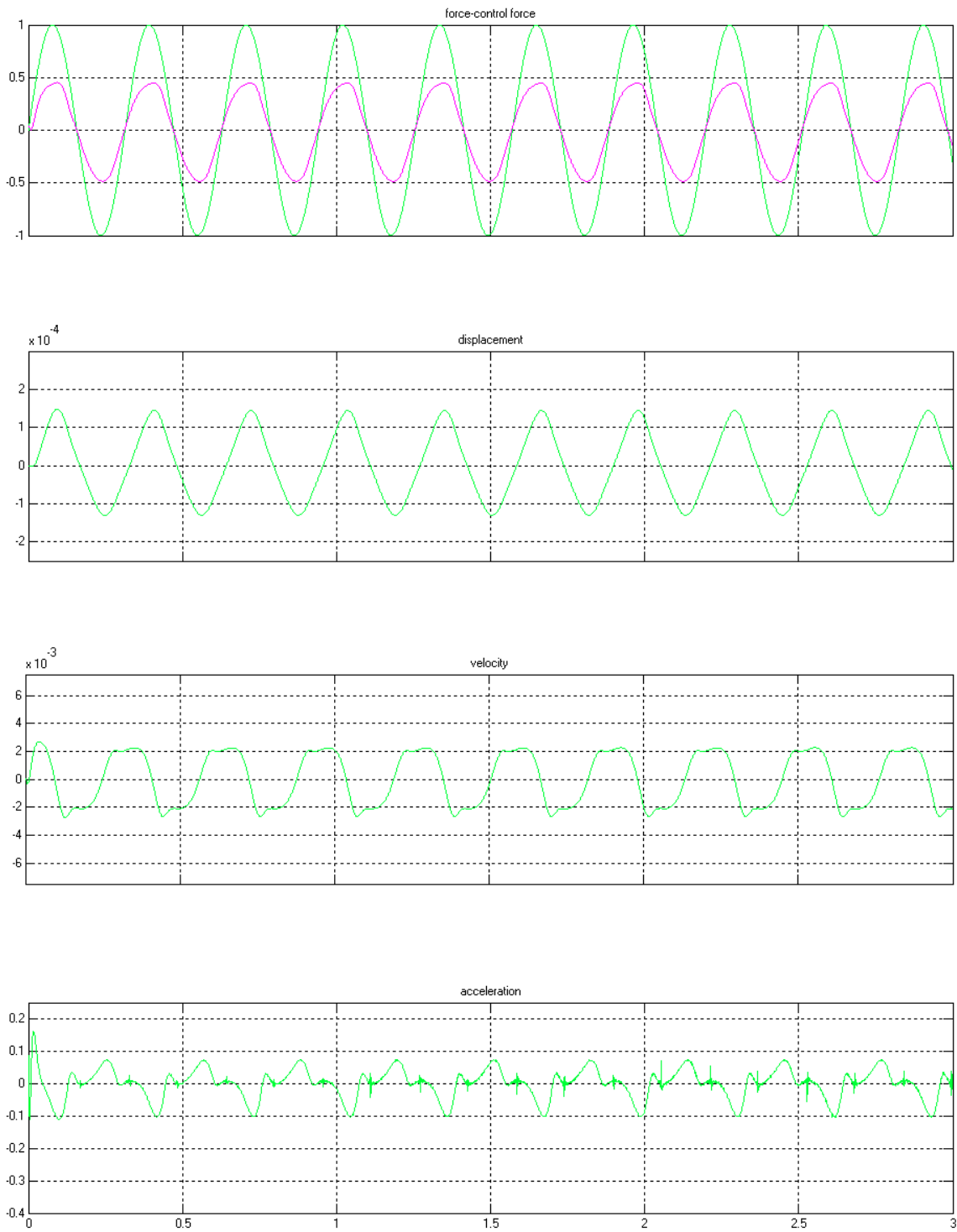


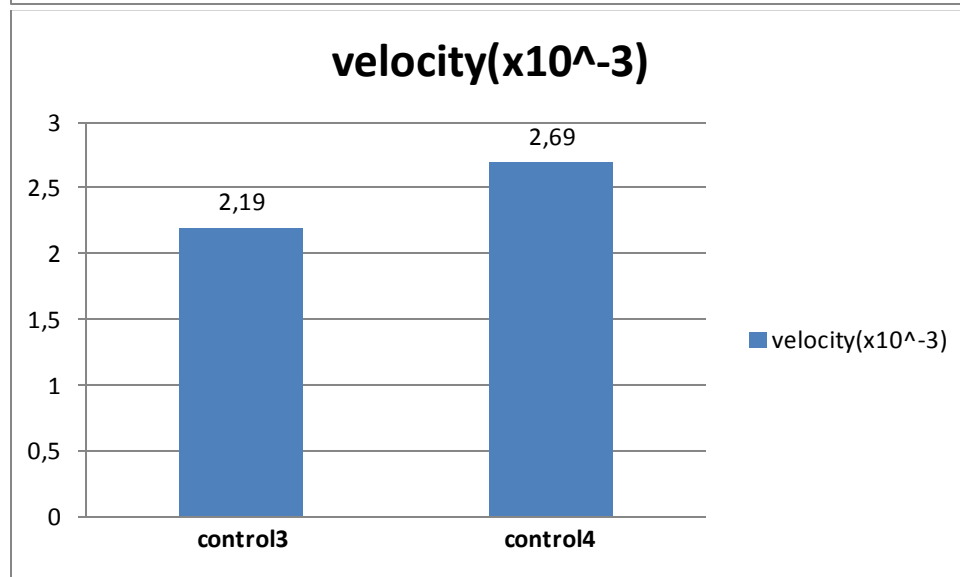
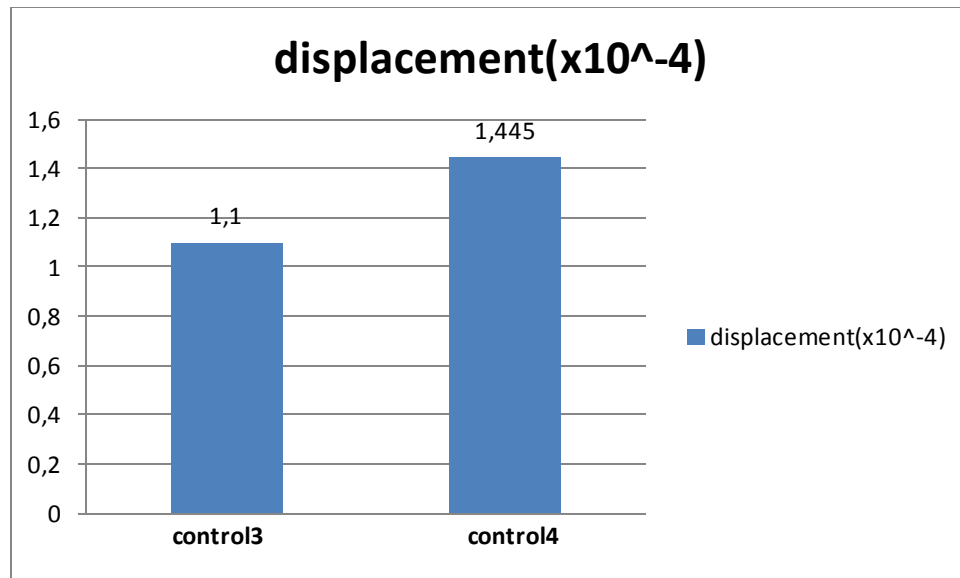
Για τις επόμενες περιπτώσεις που θα αναφερθούν παρακάτω, όποτε εμπλέκεται ελεγκτής I_{qr} στο σύστημα θα χρησιμοποιείται εκείνος που έχει την τιμή $Q=100$.

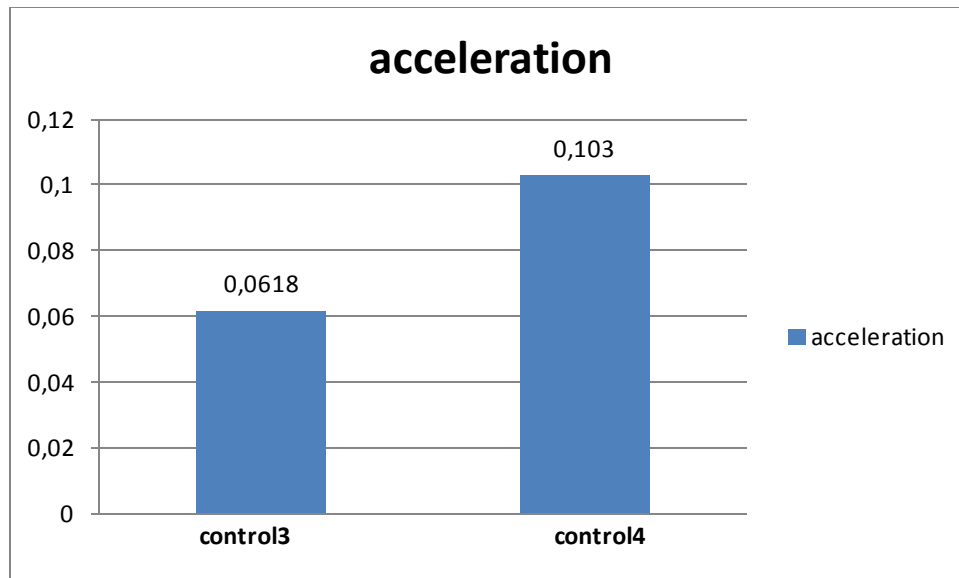
3. Control3.mdl - Έλεγχος με sugeno2 (νευροασαφής ελεγκτής sugeno εκπαιδευμένος με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου χωρίς έλεγχο)



4. Control4.mdl - Έλεγχος με sugeno_lqr (νευροασαφής ελεγκτης sugeno εκπαιδευμένος με βάση τα αποτελέσματα του απλού ελέγχου lqr)





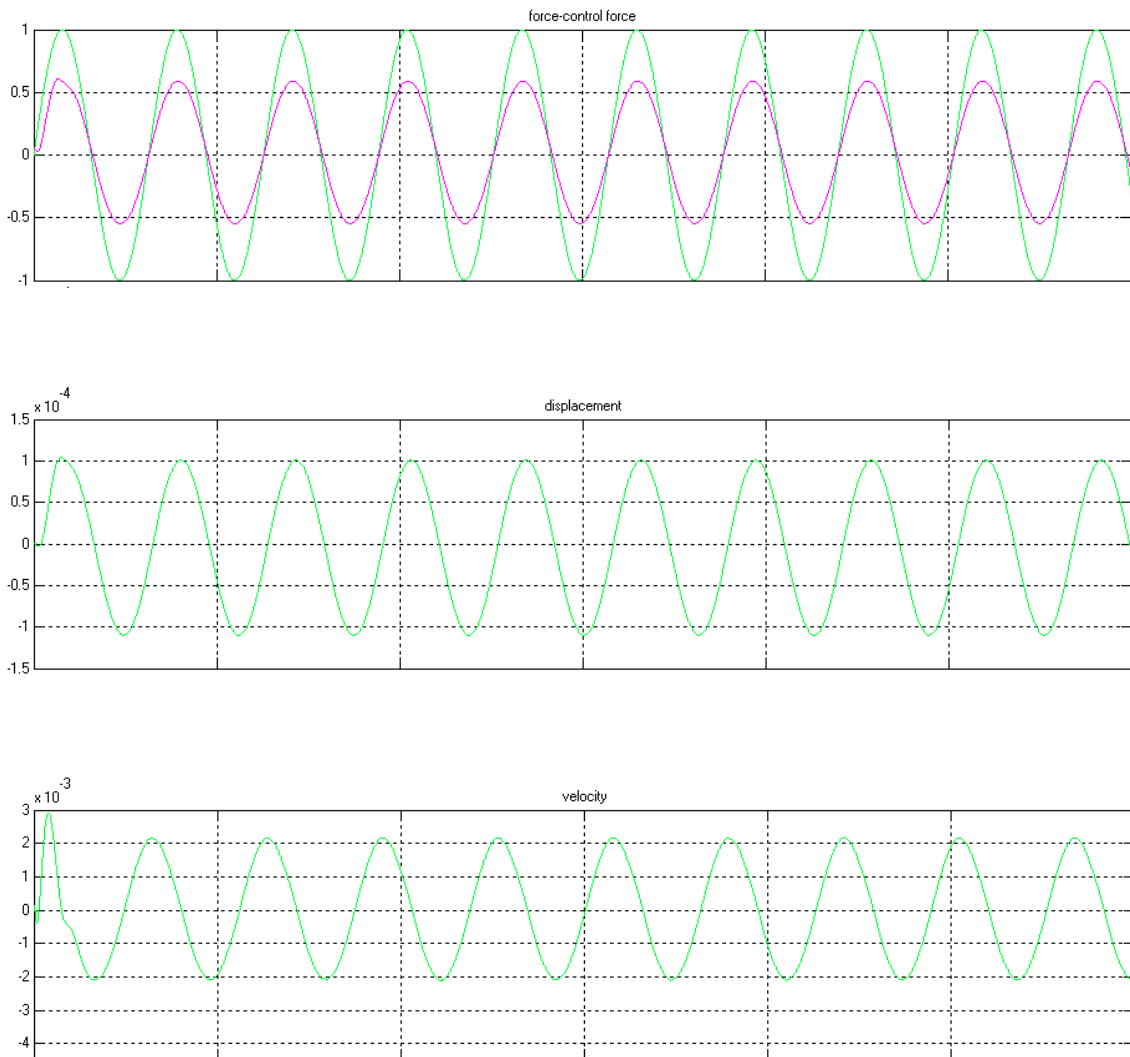


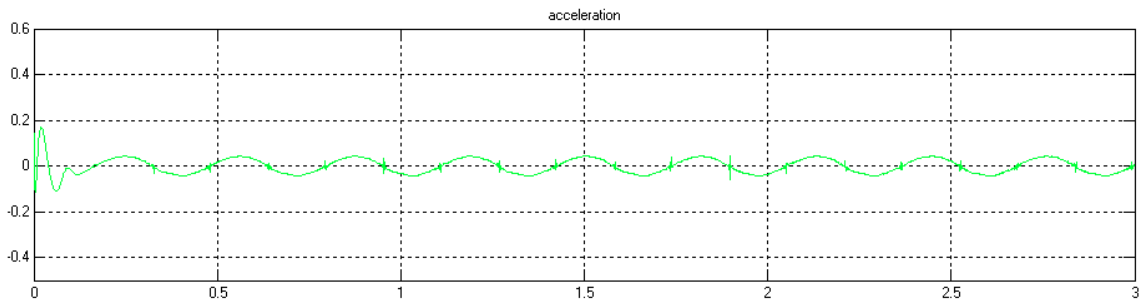
Ο νευροασαφής ελεγκτής που εκπαιδεύτηκε από τα δεδομένα του Iqr ελέγχου μειώνει αρκετά ικανοποιητικά την μετατόπιση και την ταχύτητα της δοκού αλλά επιφέρει μεγαλύτερη επιτάχυνση. Αντίθετα ο sugeno2 μειώνει τις τιμές όλων των χαρακτηριστικών που εξετάζουμε και γι' αυτό το λόγο προτιμάται. Ο χρόνος που χρειάζεται το σύστημα για να σταθεροποιηθεί είναι ίδιος και για τις δύο περιπτώσεις.

5. Έλεγχος με συνδυασμό νευροασαφούς και lqr ελεγκτή.

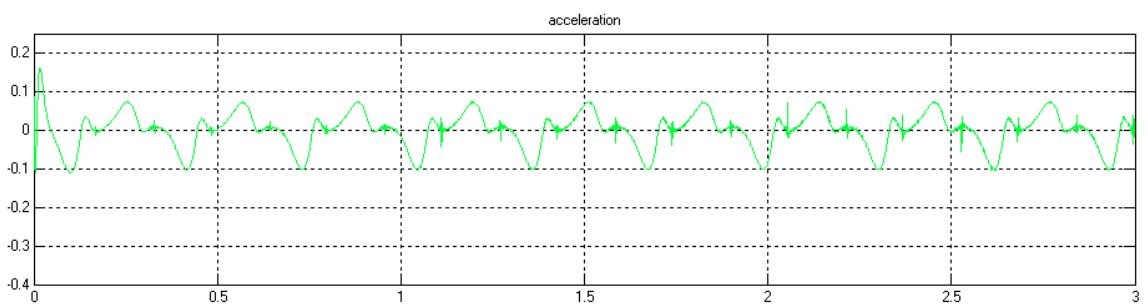
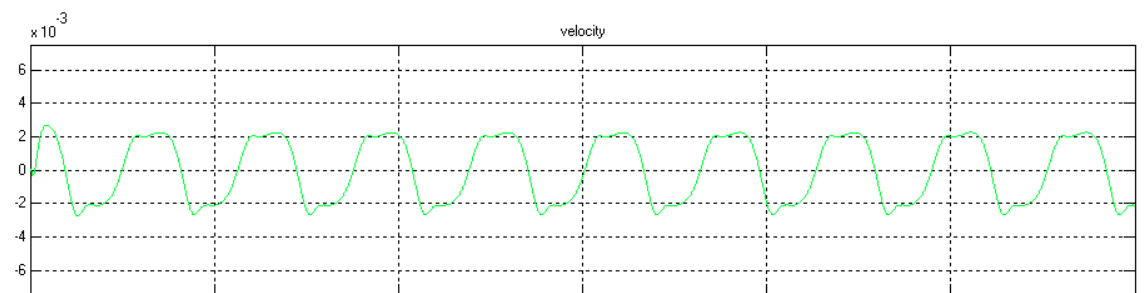
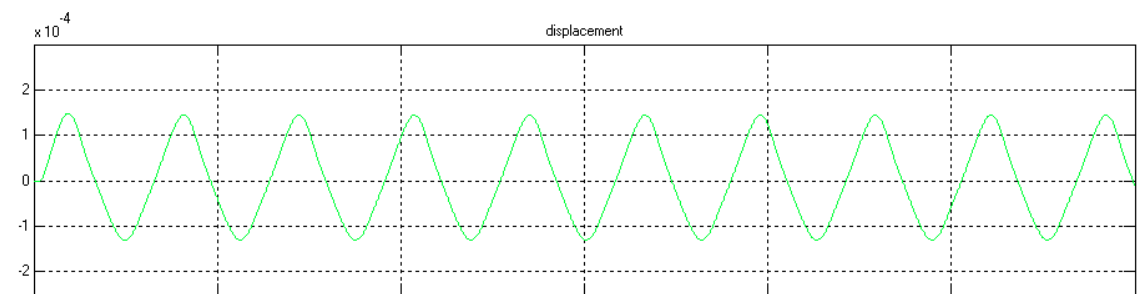
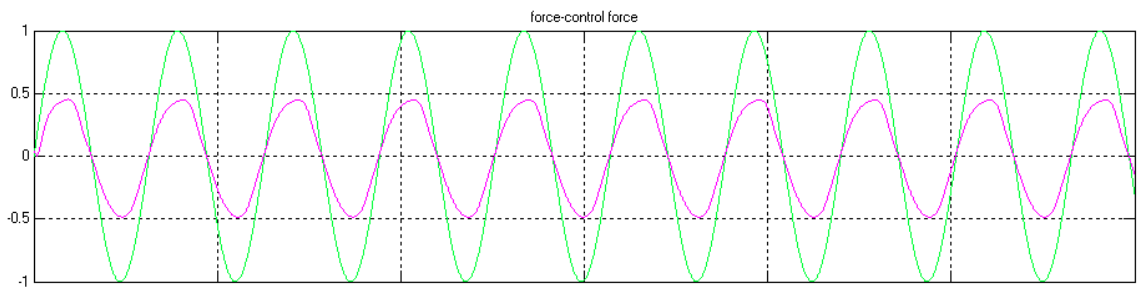
Ενδιαφέρον παρουσιάζει και ένα σύστημα το οποίο θα συνδυάζει και τους δύο τύπους ελέγχου που έχουν προαναφερθεί. Το μοντέλο αυτό ελέγχει την αξιοπιστία του νευροασαφούς sugeno συγκρίνοντάς τον με τον lqr ελεγκτή κάθε χρονική στιγμή. Το μέτρο σύγκρισης είναι η δύναμη ελέγχου που παράγει ο καθένας.

α) Control5a.mdl - Σύγκριση lqr με sugeno2





b) Control5b.mdl - Σύγκριση lqr με sugeno_lqr

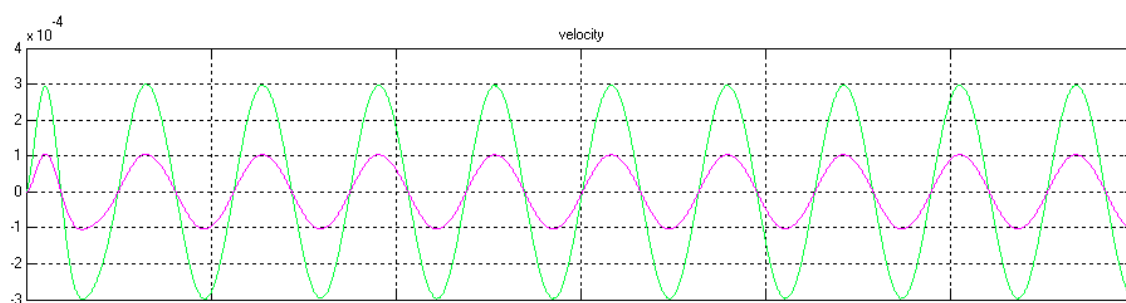
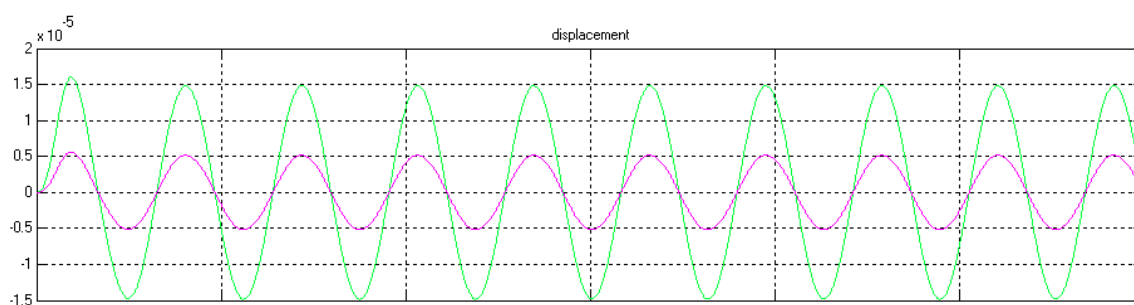


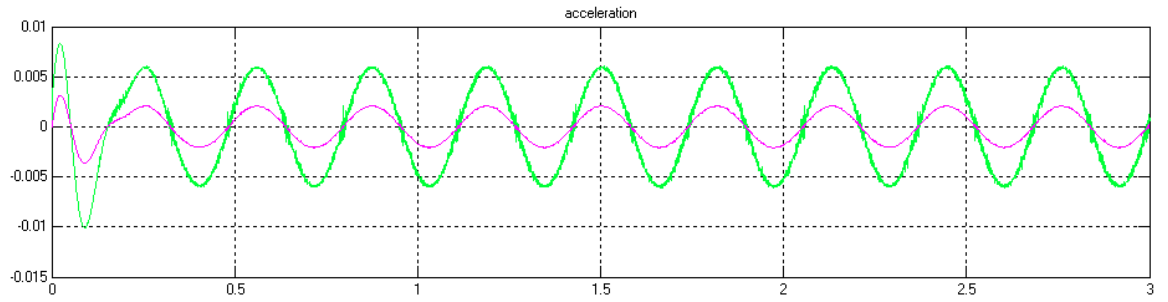
Όπως αναμενόταν η δύναμη ελέγχου του νευροασαφούς *su(90)* δεν ξεπέρασε το όριο που είχαμε θέσει (δηλαδή τη μέγιστη τιμή της δύναμης ελέγχου του *lqr*) και ο κλασσικός ελεγκτής *lqr* δεν χρειάστηκε να λειτουργήσει σαν δικλείδα ασφαλείας.

6. Έλεγχος σε 2 σημεία
(με πράσινο χρώμα τα αποτελέσματα του εξωτερικού σημείου ελέγχου και με μωβ του εσωτερικού)

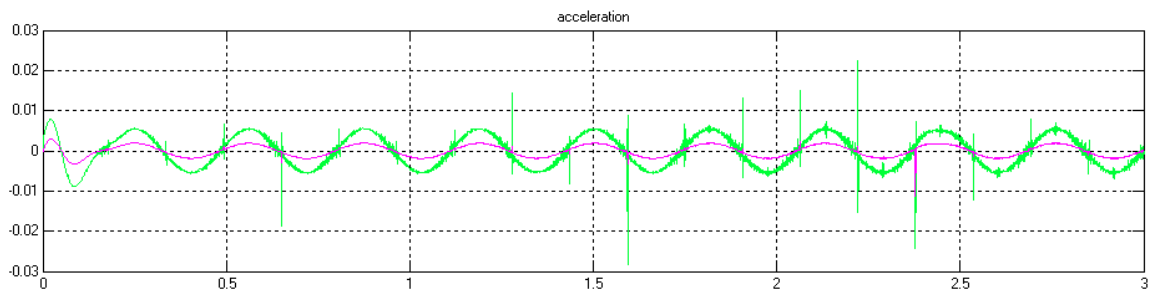
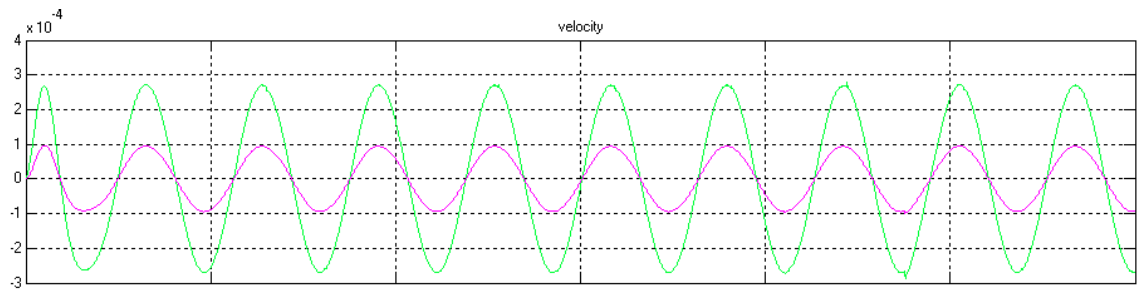
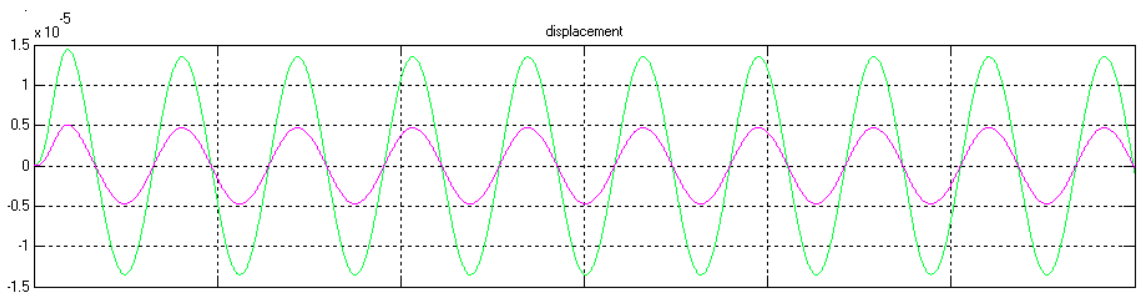
Αυτή η περίπτωση ελέγχου αφορά το μοντέλο 2 που έχει παρουσιαστεί στο 2^ο κεφάλαιο.

Control6.mdl - Χωρίς έλεγχο

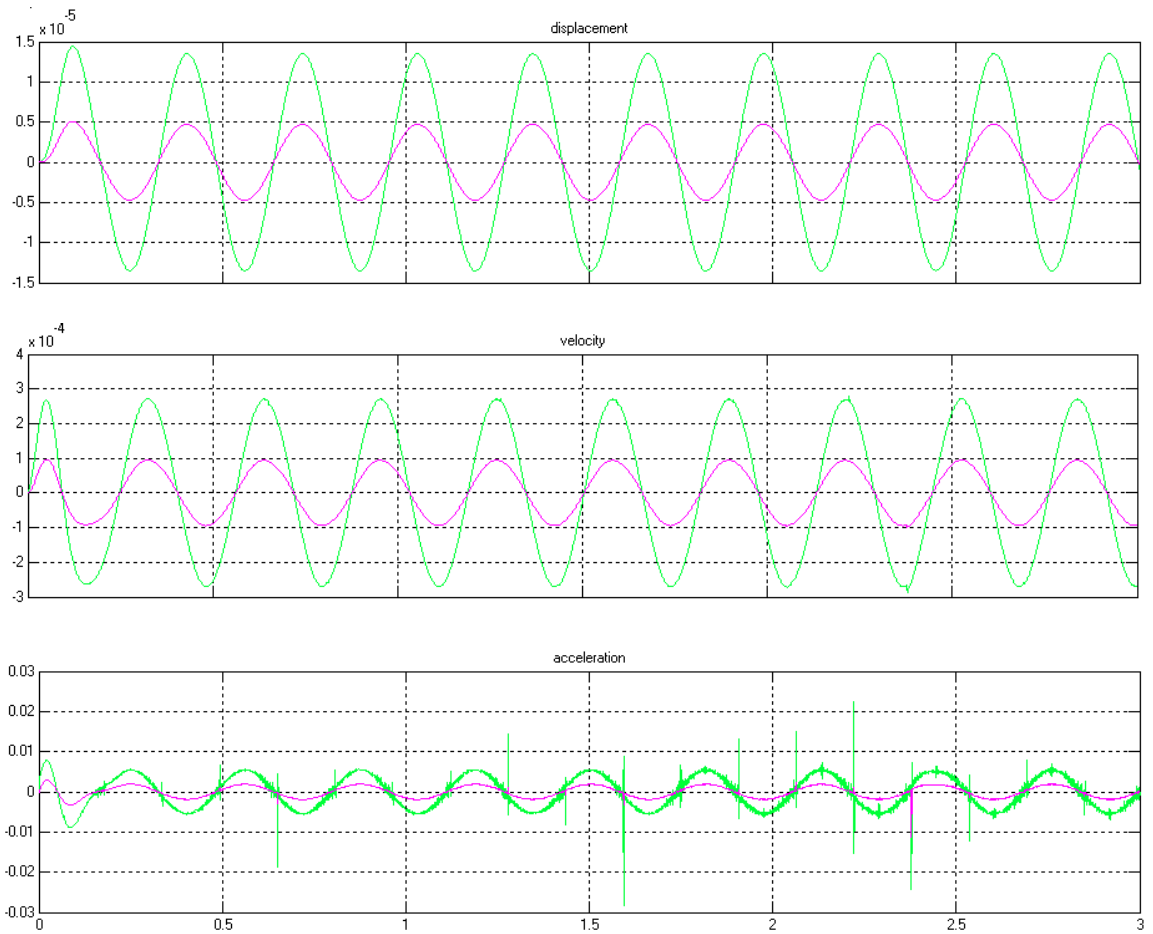




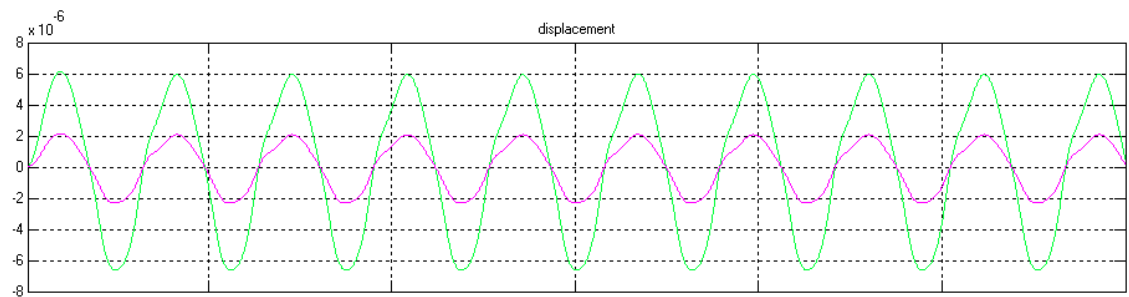
a) Control16a.mdl - lqr και στα δύο σημεία

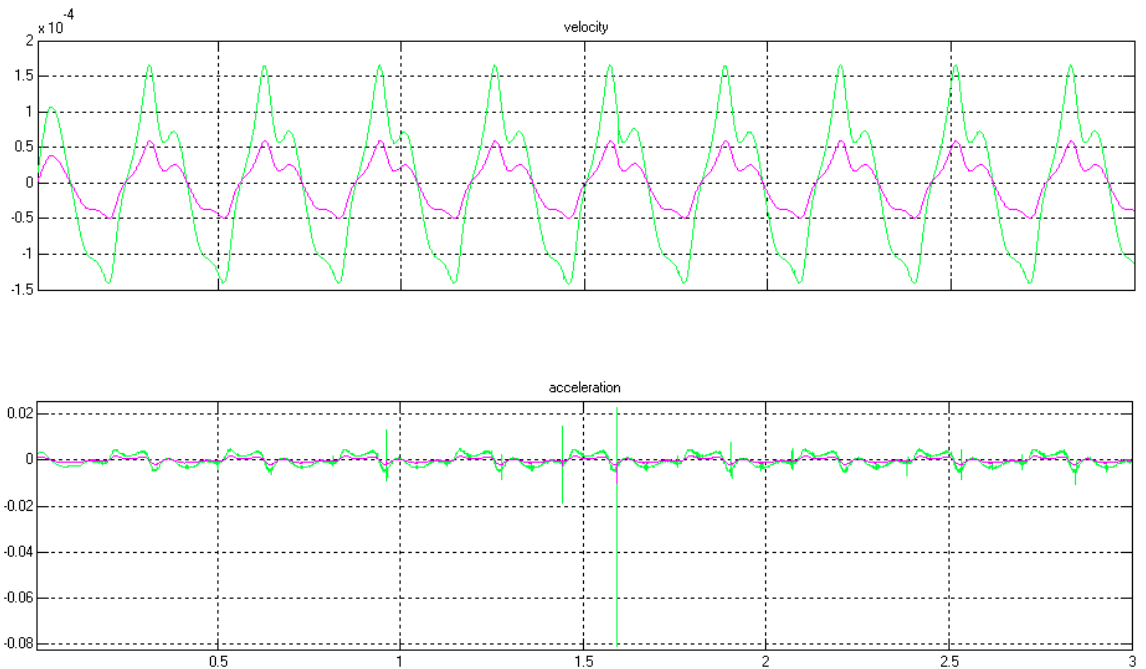


b) Control6b.mdl - Iqr στον εσωτερικό κόμβο sugeno2 στον εξωτερικό



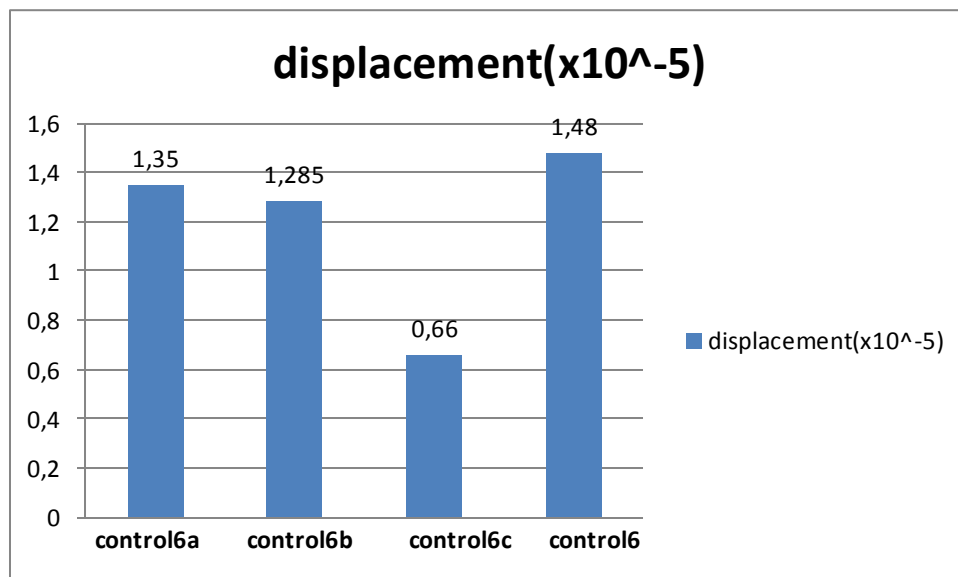
c) Control6c.mdl - Iqr στον εσωτερικό κόμβο sugeno5 στον εξωτερικό

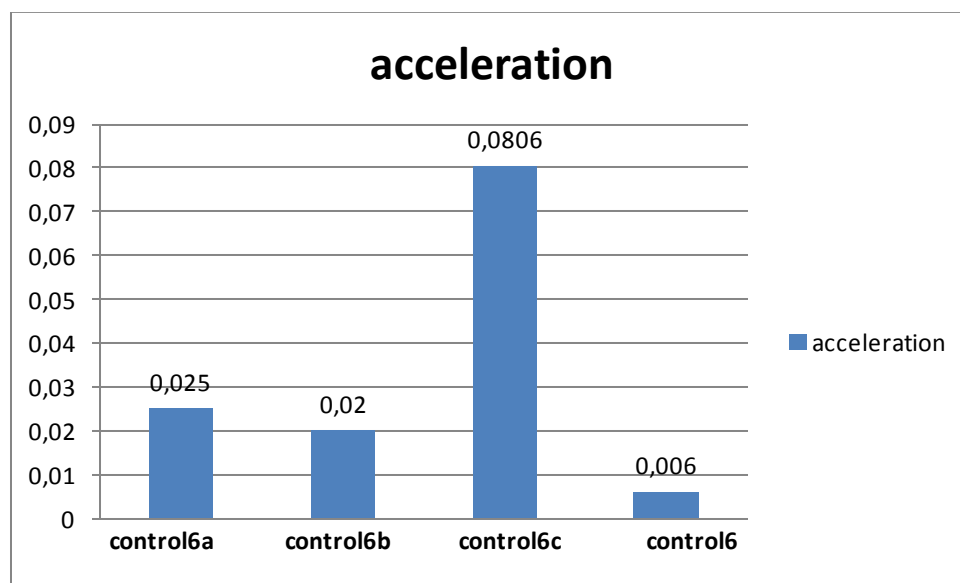
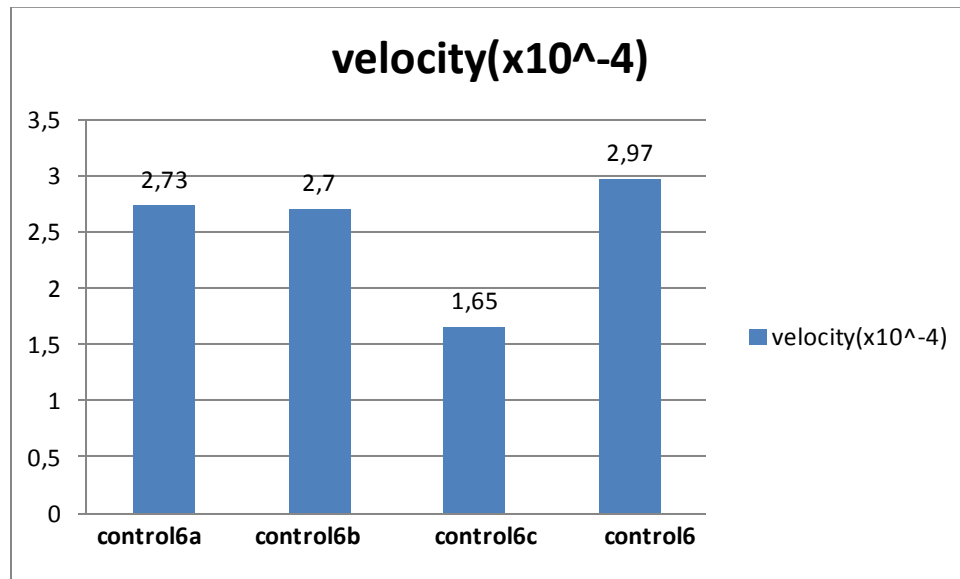




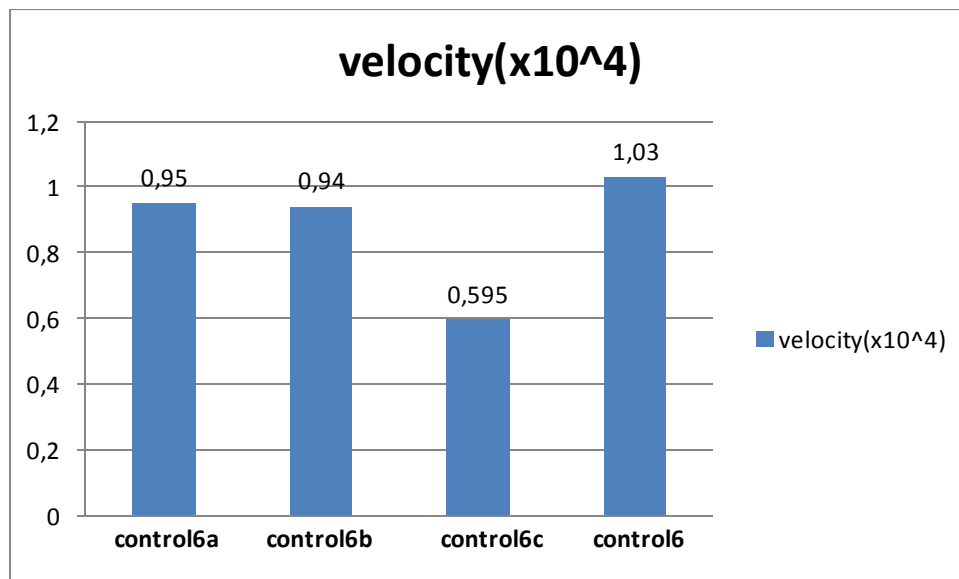
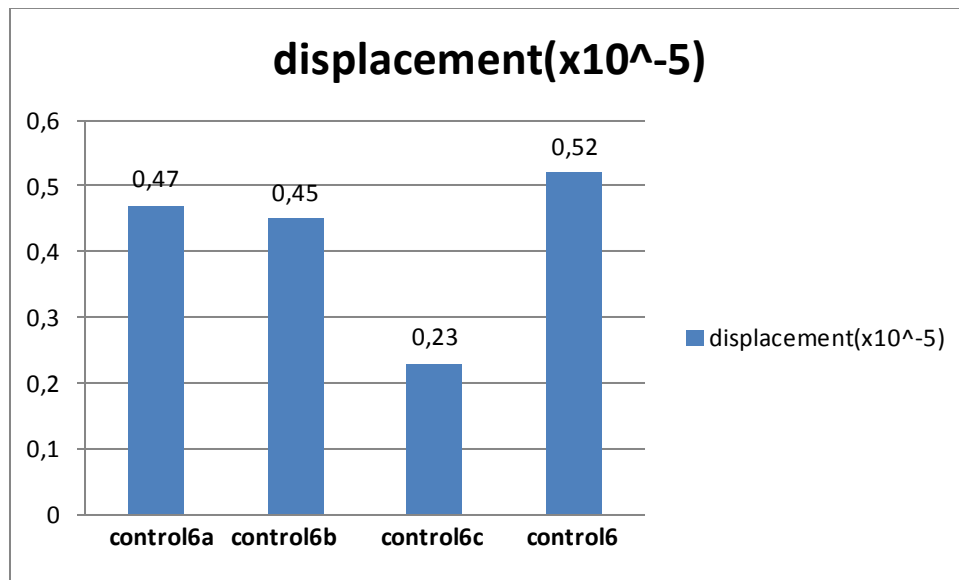
Όπως φαίνεται στα διαγράμματα του ελέγχου δύο σημείων, τα ζεύγη lqr-lqr και lqr-sugeno2 μειώνουν σε μικρό βαθμό το εύρος της ταλάντωσης, σε αντίθεση με το ζεύγος lqr-sugeno5 το οποίο μειώνει αισθητά το εύρος των μετατοπίσεων και των ταχυτήτων αλλά αυξάνει πολύ την μέγιστη τιμή της επιτάχυνσης ανάμεσα στο 1,59s και στο 1.6s. Παρακάτω φαίνονται συγκριτικά οι μέγιστες τιμές των παραπάνω διαγραμμάτων:

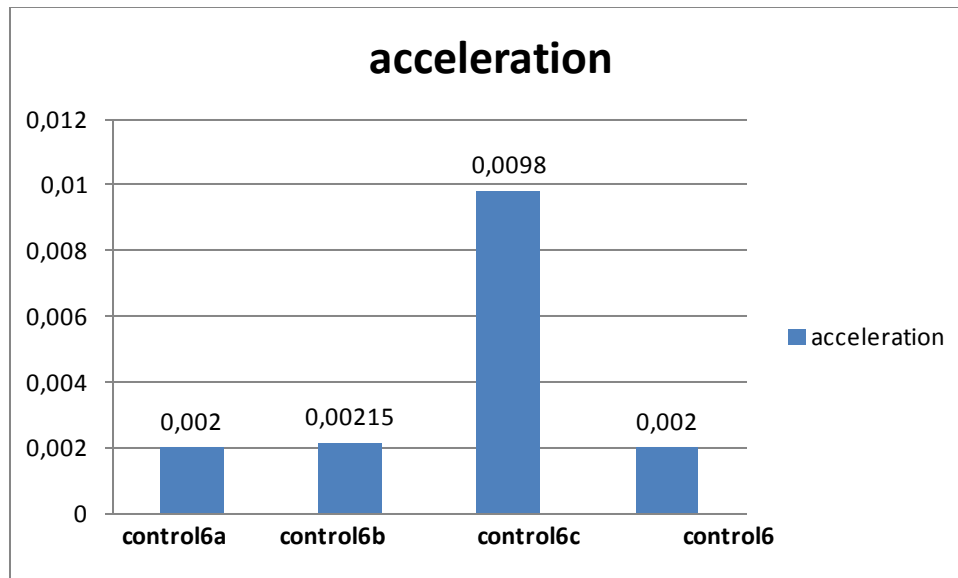
Εξωτερικό σημείο ελέγχου:





Εσωτερικό σημείο:





Συμπεράσματα

Όσον αφορά το μοντέλο A, ο εκπαιδευμένος sugeno επιφέρει ελαφρώς υψηλότερες μέγιστες τιμές στα χαρακτηριστικά που εξετάζουμε αλλά χρειάζεται αισθητά μικρότερο χρόνο για να σταθεροποιηθεί το σύστημα οπότε και είναι σχετικά προτιμότερος από τον lqr.

Για το μοντέλο B, σύμφωνα με την παραπάνω έρευνα, είναι φανερό ότι χρησιμοποιώντας τον νευροασαφή sugeno 5 το σύστημα βελτιώνει τα χαρακτηριστικά της μετατόπισης και της ταχύτητας αλλά επιδεινώνει την επιτάχυνση με αποτέλεσμα η ράβδος να καταπονείται πολύ για ένα μικρό χρονικό διάστημα. Το παραπάνω πρόβλημα πιθανώς να επιδέχεται βελτίωση με τη χρήση κατάλληλων αλγορίθμων βελτιστοποίησης.

Βιβλιογραφία

- [1] Ταϊρίδης Γεώργιος, Προσομοίωση σύνθετων ευφυών μηχανικών συστημάτων με αισθητήρες και διεγέρτες από πιεζοηλεκτρικά υλικά.Σύνδεση με ευφυείς μεθόδους ελέγχου, 2009
- [2] Παπαχρήστου Ιωάννης, Μελέτη για την απόδοση ενός ασαφούς συστήματος ελέγχου για την μείωση των ταλαντώσεων σε μηχανικές κατασκευές, 2009
- [3] Σαλονικήδης Σαλόνικος, Μελέτη για την απόδοση ενός ασαφούς συστήματος ελέγχου για την μείωση των ταλαντώσεων σε μηχανικές κατασκευές, 2010
- [4] Τζινευράκης Εμμ. Στυλιανός, Σταυρουλάκης Γεώργιος, Παραδείγματα μοντέλων δυναμικής στο περιβάλλον simulink της matlab., 2008
- [5] Magdalene Marinaki, Yannis Marinakis, Georgios Stavrulakis, Fuzzy control optimized by PSO for vibration suppression of beams, 2010
- [6] Howard Demuth, Mark Beale, Neural Network Toolbox, 2004