

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΣΑΛΟΝΙΚΙΔΗΣ ΣΑΛΟΝΙΚΟΣ

2004010053

Επιβλέπων:

Σταυρουλάκης Γεώργιος

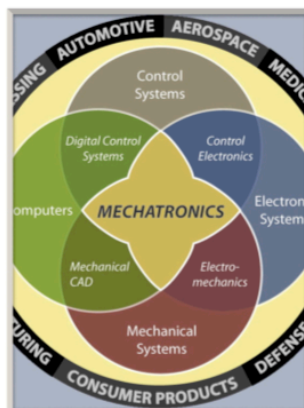
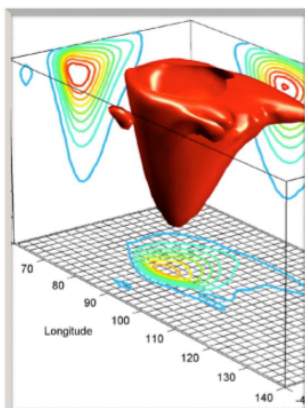
Συνεργάτες:

Παπαχρήστου Ιωάννης



Διπλωματική εργασία

Μελέτη για την απόδοση ενός ασαφούς συστήματος ελέγχου για την μείωση των ταλαντώσεων σε μηχανικές κατασκευές



Περιεχόμενα

Εισαγωγή 3/ Ασαφής λογική 4/ Ασαφής ελεγκτής 5/ Παράδειγμα ανάπτυξης αλγορίθμου 6/ Ορισμός προβλήματος (μοντέλο A) 14/ Ορισμός προβλήματος (μοντέλο B) 15/ Μορφές δυνάμεως εξωτερικής φόρτισης 17/ Μοντελοποίηση δοκού σε περιβάλλον SIMULINK 19/ Μορφή κλειστού βρόγχου 21/ Ελεγκτής LQR 22/ Ελεγκτής Mamdani 23/ Ελεγκτής Sugeno 25/ Σύστημα ANFIS 28/ Αποτελέσματα ημιτονοειδούς φόρτισης 32-36/ Αποτελέσματα φόρτιση μορφής ράμπας 35-44/ Αποτελέσματα φόρτιση μορφής μικτής ράμπας 44-50/ Συμπεράσματα από διαγράμματα 51-57/ Επίλογος 58/ Βιβλιογραφία 60-61/.

Κεφάλαιο 1^ο

1. Εισαγωγή

Η διπλωματική εργασία έγινε με την βοήθεια και την επίβλεψη του καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Γεωργίου Σταυρουλάκη.

Αφορά την μελέτη ενός προκατασκευασμένου συστήματος ασαφούς ελεγκτή παραμετροποιώντας τον οποίο προσπαθούμε να μελετήσουμε την αποτελεσματικότητά του. Το σύστημα πάνω στο οποίο δοκιμάζουμε τον ελεγκτή έχει σχεδιαστεί και χρησιμοποιηθεί χωρίς παραμετρική διερεύνηση από τον κ. Γεώργιο Ταϊρίδη στα πλαίσια της μεταπτυχιακής του διατριβής. Επίσης στοχεύουμε στην σύγκριση των αποτελεσμάτων του ελεγκτή που χρησιμοποίησε ο κ. Ταϊρίδης και αυτού που θα χρησιμοποιήσουμε παρακάτω.

Το σύστημα που εξετάζουμε αποτελείται από μια πακτωμένη ράβδο (πρόβολο δοκού) η οποία εκτίθεται σε αρμονική ταλάντωση. Προσομοιώνουμε με την βοήθεια του προγράμματος Simulink της Matlab και με την χρήση ενός νευροασαφούς ελεγκτή που παρέχεται στην βασική βιβλιοθήκη της Matlab. Στόχος μας είναι να ελέγξουμε όσο το δυνατό περισσότερο την ταλάντωση, τόσο ως προς το εύρος της όσο και προς τις δυνάμεις, τις επιταχύνσεις και συνεπώς τις καταπονήσεις που ασκούνται στην δοκό και να παρατηρήσουμε την αποτελεσματικότητα του ελεγκτή μας μετά από ένα πεπερασμένο αριθμό επαναλήψεων εκπαίδευσης.

Κεφάλαιο 2ο

1. Ασαφής λογική

Η ασαφής λογική (fuzzy logic) είναι μια επέκταση της κλασσικής αριστοτέλειας λογικής. Σύμφωνα με το μαθηματικό μοντέλο που ισχύει μέχρι σήμερα μια πρόταση μπορεί να είναι αληθής ή ψευδής. Ακολουθώντας την ασαφή λογική όμως μπορούμε να πούμε ότι μία πρόταση είναι αληθής "με κάποιο βαθμό αληθείας".

Για παράδειγμα ας υποθέσουμε ότι ένα Α προϊόν κοστίζει 100€, Το αντίστοιχο προϊόν Β από μια ανταγωνιστική εταιρεία κάνει 110€ η κλασσική λογική ορίζει ότι η πρόταση "το προϊόν Α είναι ακριβότερο από το Β" είναι αληθής. Η ασαφής λογική ορίζει ότι η παραπάνω πρόταση είναι αληθής, αλλά σε κάποιον βαθμό(ποσοστό), π.χ. 20%.

Με την ασαφή λογική μπορούμε να λάβουμε υπ' όψιν μας και ποιοτικές μεταβλητές, όπως η ποιότητα, η χρηστικότητα κ.λ.π.

Συνεπώς το βασικό πλεονέκτημα της λογικής αυτής είναι ότι μπορεί να λειτουργεί σε περιβάλλον ασάφειας και αβεβαιότητας .Μπορούμε επίσης εμπειρικά να κωδικοποιήσουμε λεκτικές μεταβλητές και να χρησιμοποιήσουμε μια αυτοματοποιημένη μεθοδολογία επίλυσης που πλησιάζει περισσότερο στην ανθρώπινη λογική και αναλύει συστήματα αρκετά πιο πολύπλοκα από την κλασσική μεθοδολογία ελέγχου μιας μηχανής.

2. Ασαφής ελεγκτής

Οι ελεγκτές που χρησιμοποιούνται είναι M.I.S.O. (Multiple Inputs One Output).

Αρχικά εισάγουμε τις συναρτήσεις συμμετοχής των δεδομένων εισόδου και στη συνέχεια τους κανόνες και το βάρος του καθενός.

Θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα μας χρησιμοποιώντας τον ελεγκτή Mamdani τον ελεγκτή Takagi-Sugeno και ελεγκτή LQR (από το fuzzy toolbox του matlab). Η διαφορά των τριών ελεγκτών είναι ότι ο Mamdany δέχεται ως εξισώσεις συμμετοχής εξόδου καμπύλες διαφόρων μορφών, όπως Gauss, ενώ ο Sugeno δέχεται μόνο σταθερά σημεία και συναρτήσεις της μορφής $y=a*x$. Επίσης ο Sugeno, αντίθετα με τον Mamdani, έχει την δυνατότητα εκπαίδευσης με την χρήση του εκπαιδευτή ANFIS της Matlab, ο οποίος χρησιμοποιώντας δεδομένα από δοκιμές επεμβαίνει στις συναρτήσεις συμμετοχής του ελεγκτή και τις τροποποιεί ανάλογα με τις απαιτήσεις μας.

Επομένως, συνοπτικά οι ελεγκτές που χρησιμοποιούνται :

LQR: Ελεγκτής βασισμένος σε μαθηματικό μοντέλο

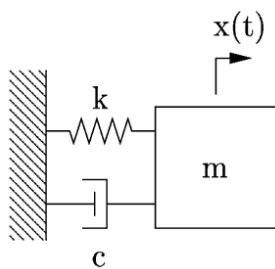
Madman: Ελεγκτής βασισμένος στην ασαφή λογική, προκατασκευασμένος

Sugeno: Ελεγκτής βασισμένος στην ασαφή λογική, ο οποίος εκπαιδεύεται με χρήση νευροασαφούς λογικής (ANFIS)

3. Παράδειγμα ανάπτυξης αλγόριθμου

Πριν αναλύσουμε το μοντέλο προβόλου δοκού αναλύουμε ένα πιο απλό παράδειγμα.

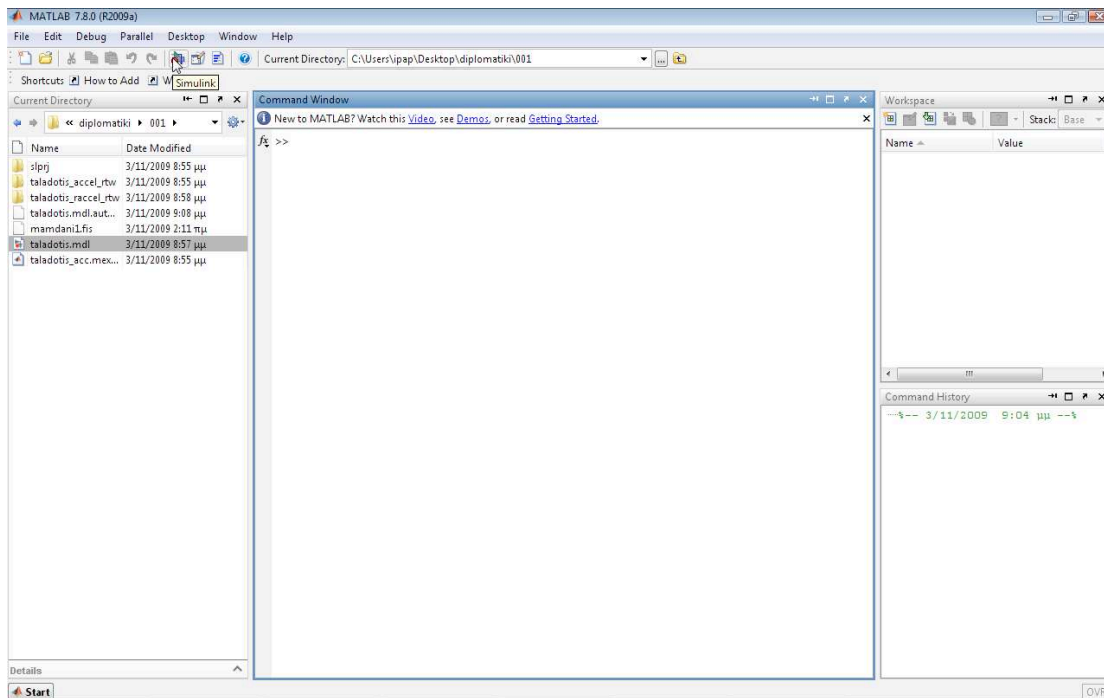
Το συγκεκριμένο μοντέλο αφορά ένα δευτεροβάθμιο σύστημα μάζας-ταλαντωτή- αποσβεστήρα με ένα βαθμό ελευθερίας.



Η εξίσωση που περιγράφει το παραπάνω πρόβλημα είναι

$$m \cdot \ddot{u} + c \cdot \dot{u} + k \cdot u = \sum F \Rightarrow$$
$$\ddot{u} = \frac{\sum F}{m} - \frac{c}{m} \cdot \dot{u} - \frac{k}{m} u$$

Αρχικά, ανοίγουμε την Matlab και επιλέγουμε τον χώρο εργασίας μας(C:\..) και μετά το εικονίδιο της Simulink.



Ανοίγουμε ένα καινούριο μοντέλο και χρησιμοποιώντας τα drag and drop εικονίδια της βιβλιοθήκης (Simulink library browser) δημιουργούμε το μοντέλο μας.

Παρατηρούμε ότι στους πολλαπλασιαστές (gain) έχουμε βάλει μεταβλητές (π.χ. c/m). Για να κάνουμε simulate το μοντέλο μας πρέπει να αρχικοποιήσουμε τις μεταβλητές μας στο παράθυρο εντολών του προγράμματος (Matlab).

Οι αρχικές τιμές είναι:

Σταθερά ελατηρίου $k=5000 \text{ N/m}$

Μάζα $m=0.002 \text{ kg}$

Απόσβεση $c=30 \text{ N*s/m}$

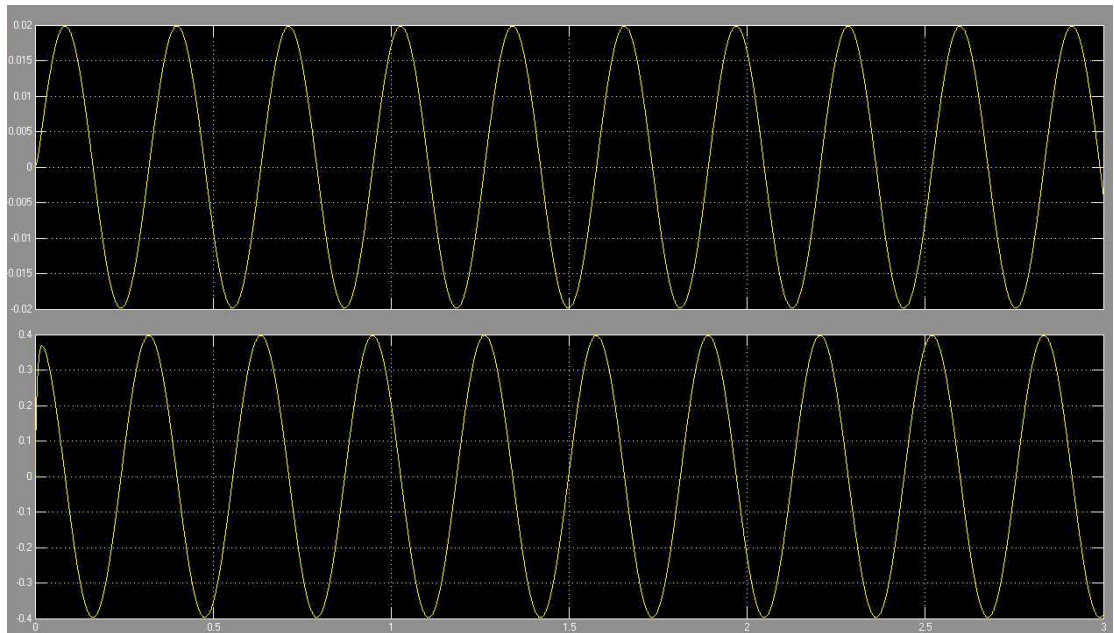
Η φυσική συχνότητα του συστήματος είναι:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = 50 \text{ Hz}$$

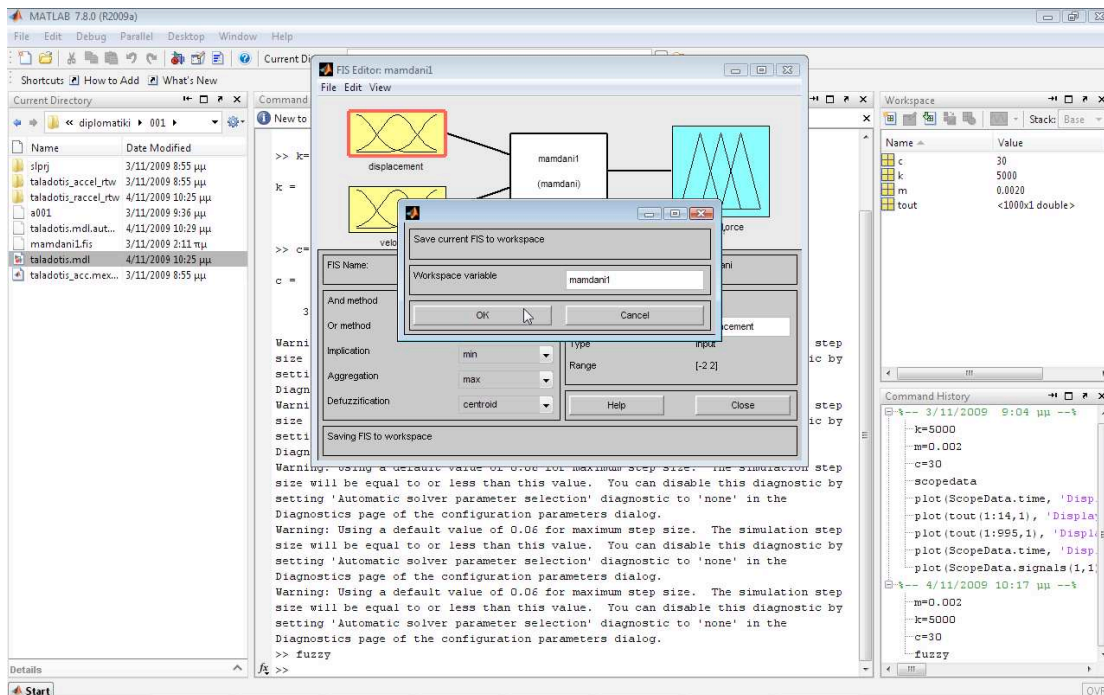
Η διέγερση είναι αρμονική, της μορφής: $P = P_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$

με πλάτος $P_0 = 100N$ και $\omega = 20rad/s$.

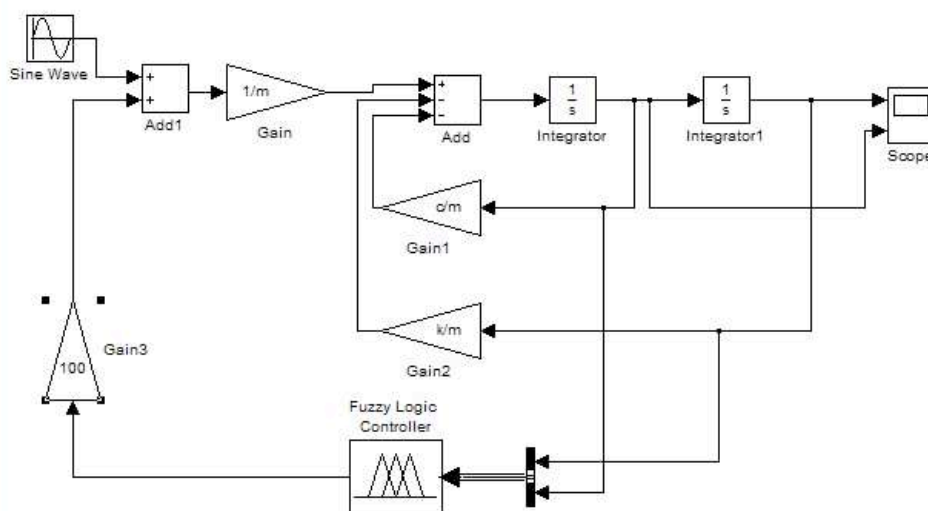
Στα δύο διαγράμματα βλέπουμε στο πάνω το πεδίο μετακινήσεων και στο κάτω το πεδίο ταχυτήτων.



Έπειτα προσθέτουμε στο σύστημα τον ελεγκτή γράφοντας fuzzy στην γραμμή εντολών, εισάγουμε τα δεδομένα μας και στην συνέχεια τον κάνουμε export στο περιβάλλον εργασίας μας.



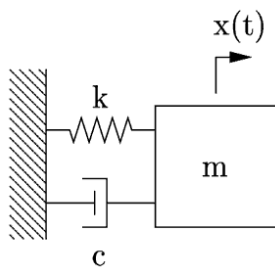
και τον μεταφέρουμε στο μοντέλο μας.



1. Παράδειγμα ανάπτυξης αλγόριθμου

Πριν αναλύσουμε το μοντέλο προβόλου δοκού αναλύουμε ένα πιο απλό παράδειγμα.

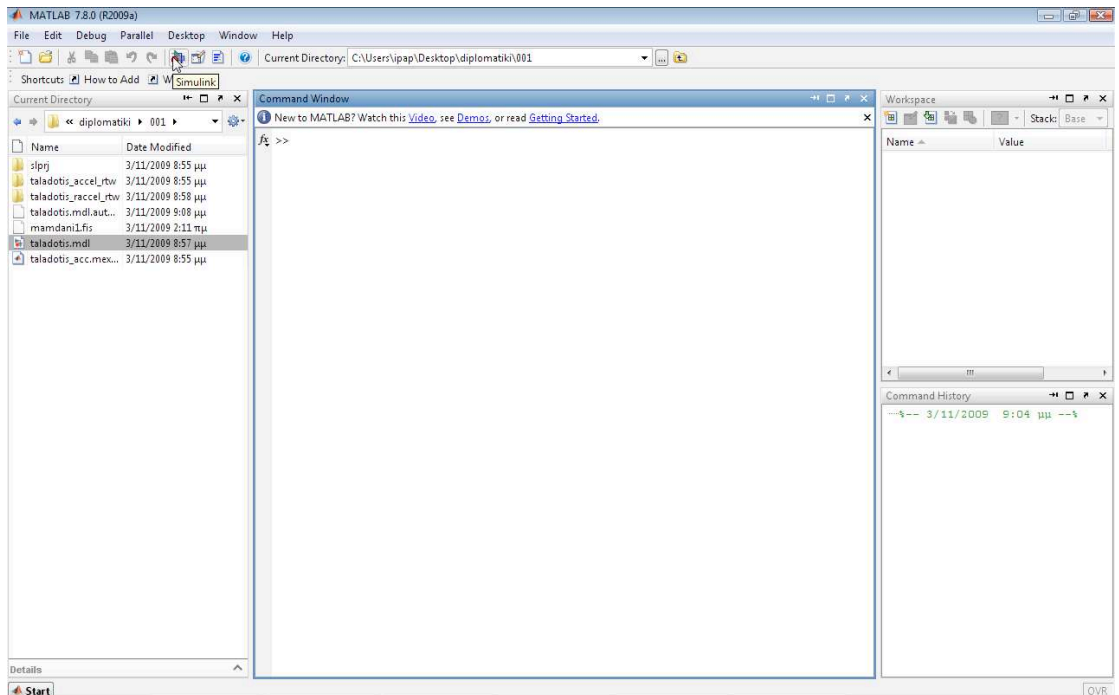
Το συγκεκριμένο μοντέλο αφορά ένα δευτεροβάθμιο σύστημα μάζας-ταλαντωτή- αποσβεστήρα με ένα βαθμό ελευθερίας.



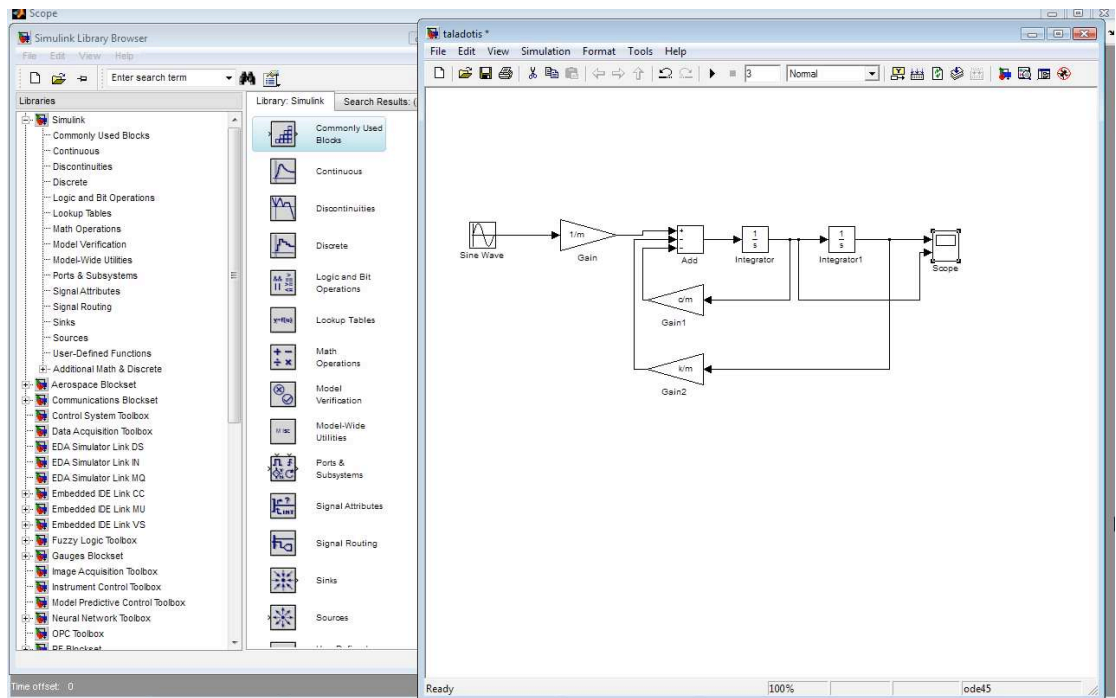
Η εξίσωση που περιγράφει το παραπάνω πρόβλημα είναι

$$m \cdot \ddot{u} + c \cdot \dot{u} + k \cdot u = \sum F \Rightarrow$$
$$\ddot{u} = \frac{\sum F}{m} - \frac{c}{m} \cdot \dot{u} - \frac{k}{m} u$$

Αρχικά, ανοίγουμε την Matlab και επιλέγουμε τον χώρο εργασίας μας (C:\..) και μετά το εικονίδιο της Simulink.



Ανοίγουμε ένα καινούριο μοντέλο και χρησιμοποιώντας τα drag and drop εικονίδια της βιβλιοθήκης (Simulink library browser) δημιουργούμε το μοντέλο μας.



Παρατηρούμε ότι στους πολλαπλασιαστές (gain) έχουμε βάλει μεταβλητές (π.χ. c/m). Για να κάνουμε Simulate το μοντέλο μας πρέπει να αρχικοποιήσουμε τις μεταβλητές μας στο παράθυρο εντολών του προγράμματος (Matlab).

Οι αρχικές τιμές είναι:

Σταθερά ελατηρίου $k=5000 \text{ N/m}$

Μάζα $m=0.002 \text{ kg}$

Απόσβεση $c=30 \text{ N*s/m}$

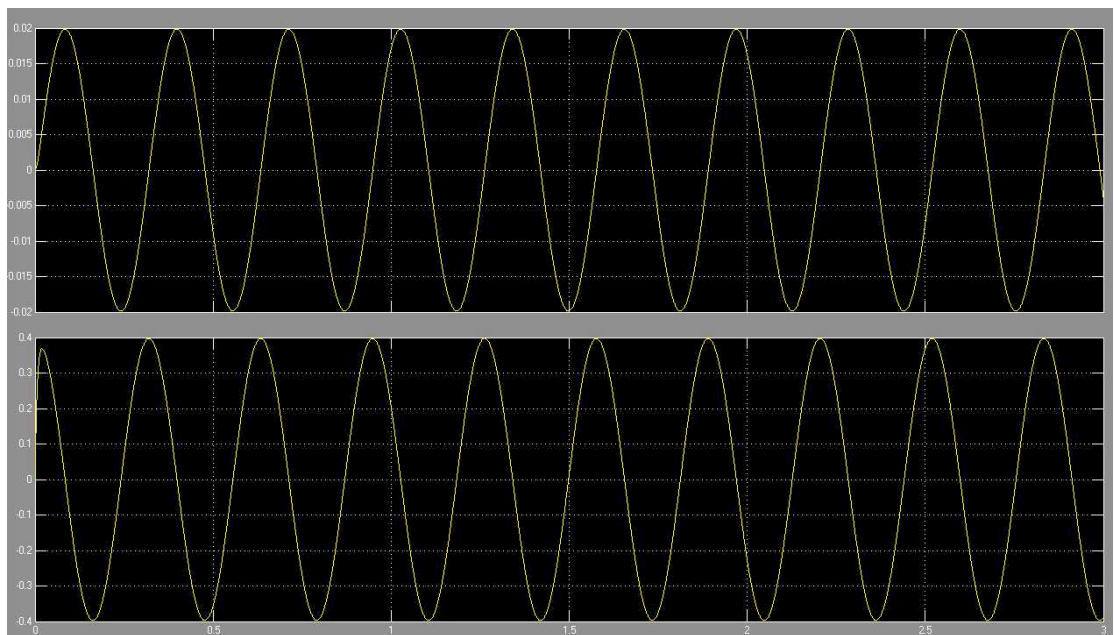
Η φυσική συχνότητα του συστήματος είναι:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = 50 \text{ Hz}$$

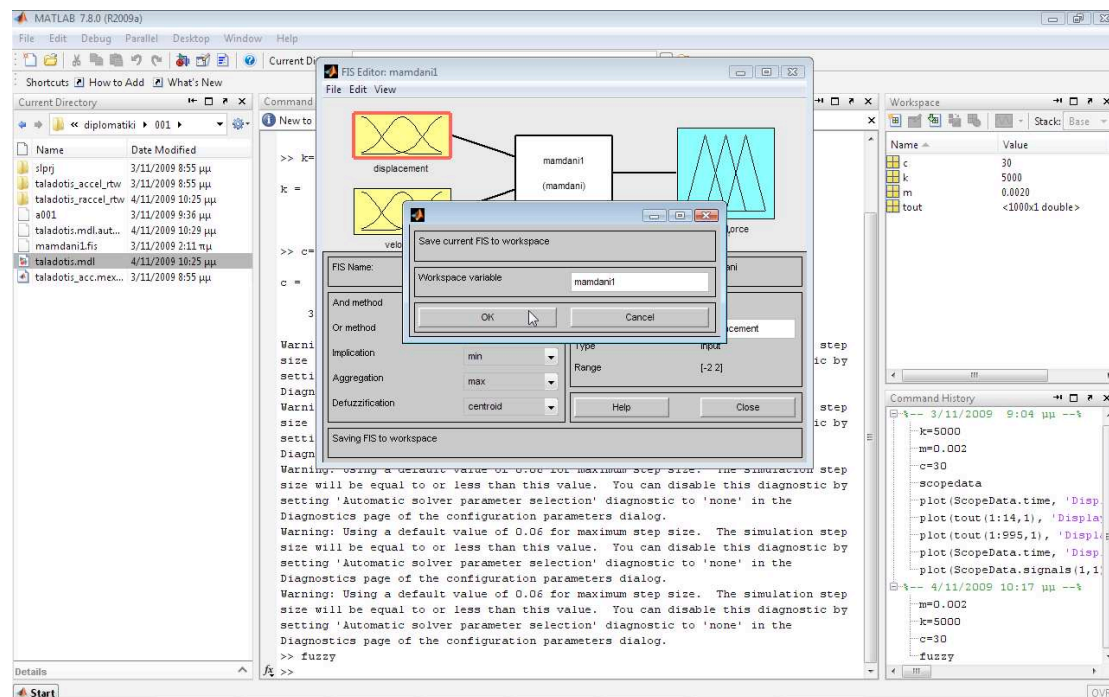
Η διέγερση είναι αρμονική, της μορφής: $P = P_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$

με πλάτος $P_0 = 100N$ και $\omega = 20rad/s$.

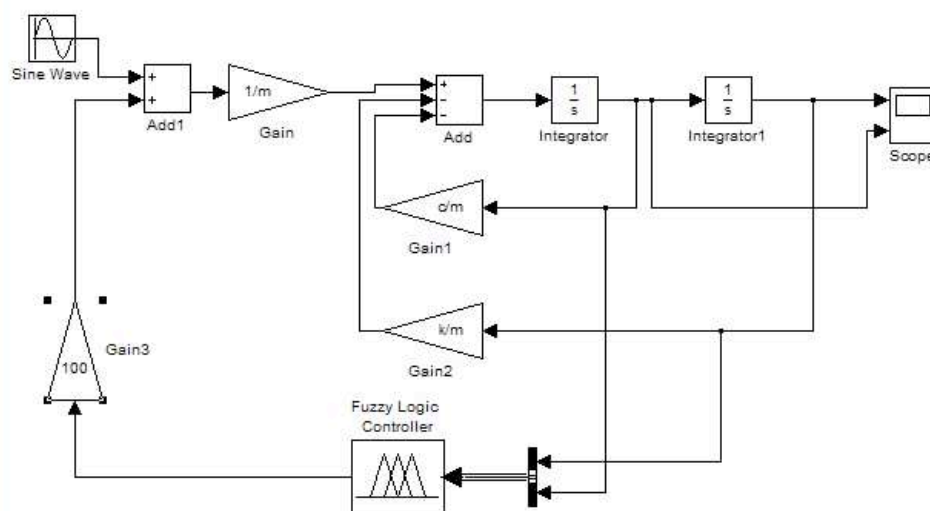
Στα δύο διαγράμματα βλέπουμε στο πάνω το πεδίο μετακινήσεων και στο κάτω το πεδίο ταχυτήτων.



Έπειτα προσθέτουμε στο σύστημα τον ελεγκτή γράφοντας fuzzy στην γραμμή εντολών, εισάγουμε τα δεδομένα μας και στην συνέχεια τον κάνουμε export στο περιβάλλον εργασίας μας.



και τον μεταφέρουμε στο μοντέλο μας.



Μεταφέρουμε τον ελεγκτή στο μοντέλο μας το οποίο είναι μορφής ελέγχου κλειστού βρόγχου όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, γεγονός το οποίο είναι αναπόφευκτο αφού στόχος μας είναι να λειτουργεί το σύστημα ελέγχου για οποιαδήποτε τιμή εξωτερικής φόρτισης. Αν και αξίζει να σημειωθεί ότι οι παρούσες ρυθμίσεις του ελεγκτή αφορούν συγκεκριμένο εύρος τάσεων οποιασδήποτε μορφής (γραμμική , ημιτονοειδή, κτλ.).



$$\begin{aligned} \dot{x} &= A * x + B * u \\ y &= C * x \end{aligned} \quad \text{με την βοήθεια της Matlab.}$$

από αυτό το σημείο μοντελοποιούμε με την βοήθεια του State-Space Block το πρόβλημα μας σε περιβάλλον Simulink.

Στο μοντέλο αυτό οι μετρήσεις γίνονται με βάση την απόκλιση θέσης του σημείου ελέγχου από τον άξονα συμμετρίας της ράβδου.

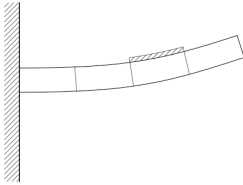
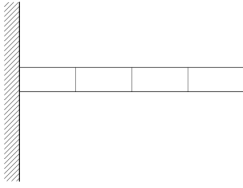


Μοντέλο Β:

Εξετάζουμε επίσης την συμπεριφορά μίας ράβδου διαφορετική από την προηγούμενη στην οποία οι μετρήσεις των δεδομένων για τον έλεγχο γίνονται με βάση την ταχύτητα σε κάθε χρονική στιγμή.

Σε αυτό το παράδειγμα έχουμε χωρίσει την ράβδο σε τέσσερις ράβδους ελέγχου. Όμως ο έλεγχος δεν γίνεται με βάση την απόκλιση ενός σημείου ελέγχου από κάποιο σημείο ισορροπίας αλλά από την μέτρηση της κάμψης ενός ή περισσότερων τμημάτων της ράβδου.

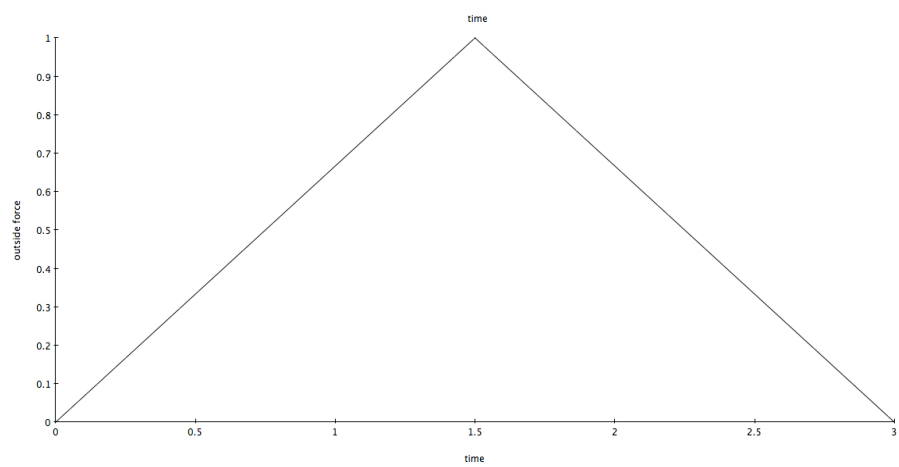
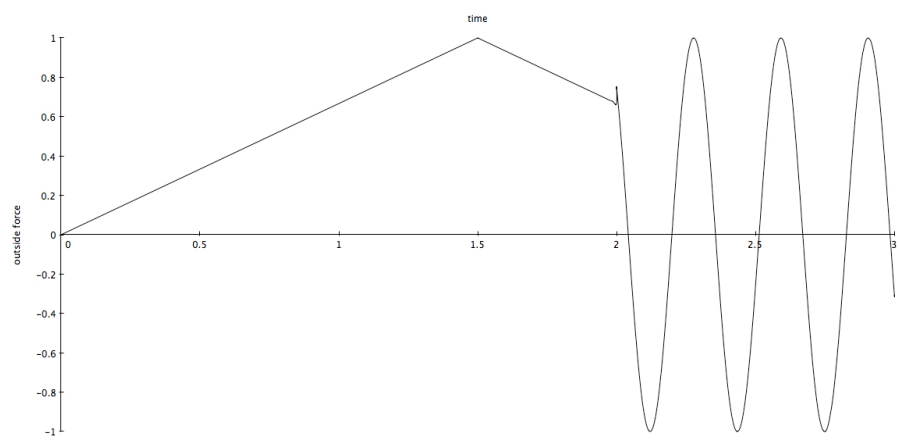
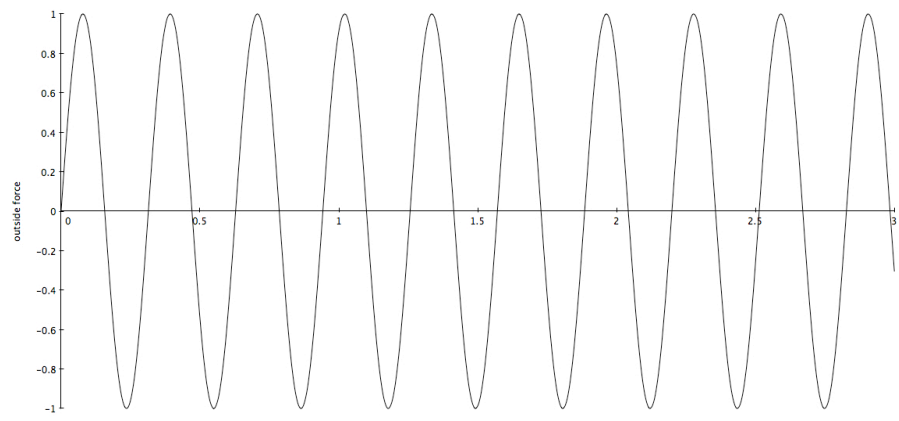




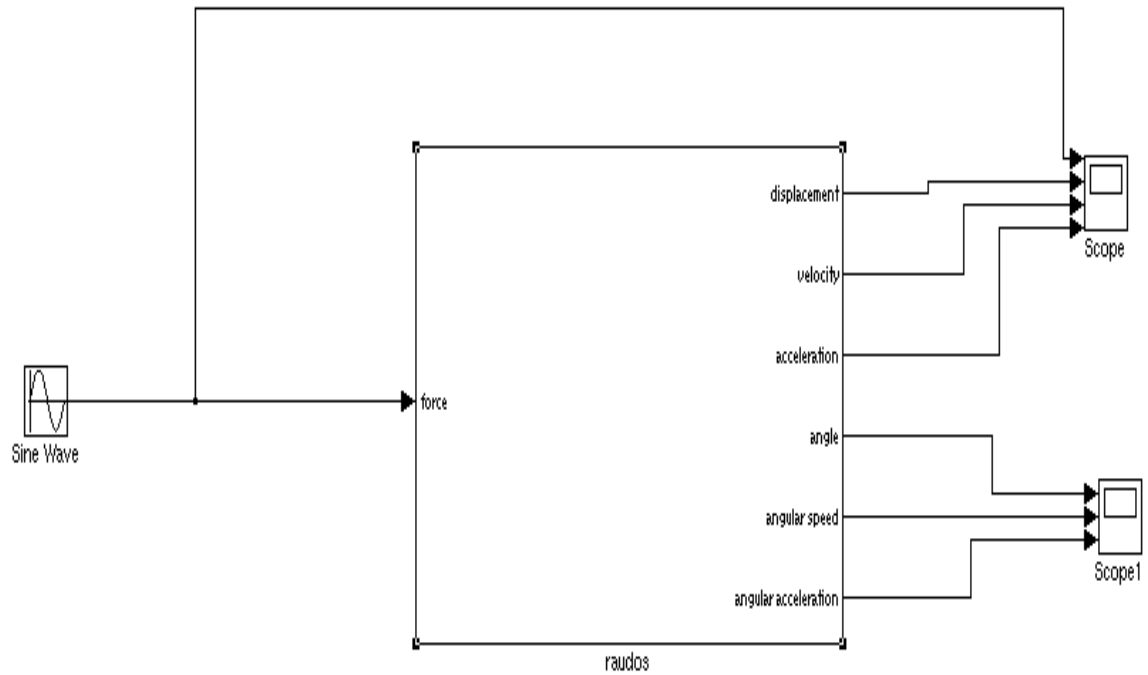
Αυτή η μέθοδος ελέγχου είναι πιο ρεαλιστική αφού τα πιεζοηλεκτρικά υλικά αλλάζουν τις ιδιότητες τους ανάλογα με τις δυνάμεις, είτε θλιπτικές είτε καμτικές, που ασκούνται σε αυτά. Οπότε οι μετρήσεις και η δύναμη ελέγχου θα μπορούσαν να γίνουν μέσω μίας ή περισσότερων πακτωμένων πιεζοηλεκτρικών ράβδων στο σύστημα.

Μορφές δυνάμεων εξωτερικής φόρτισης:

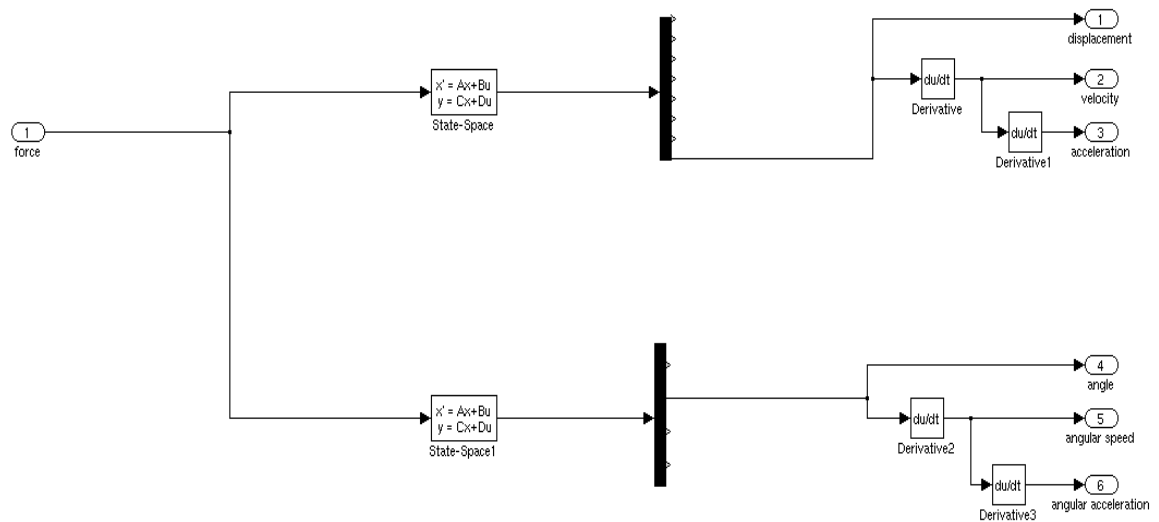
- Ημιτονοειδούς
- Ράμπας
- Μικτής φόρτισης



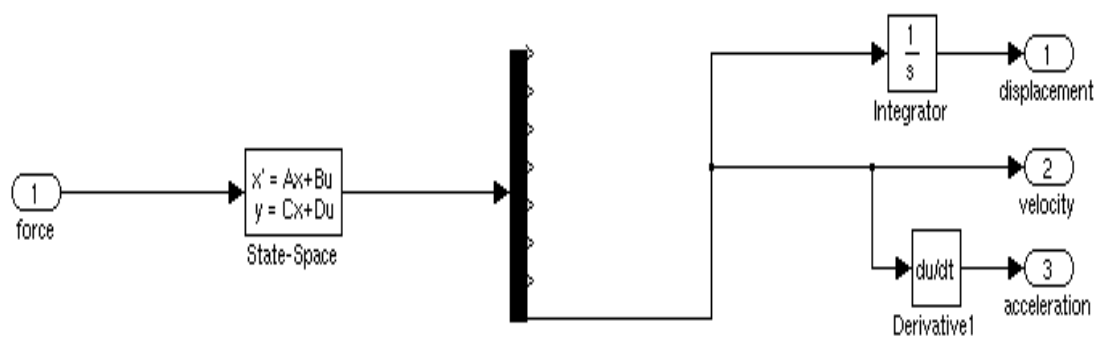
- Μοντελοποίηση δοκού σε περιβάλλον SIMULINK.



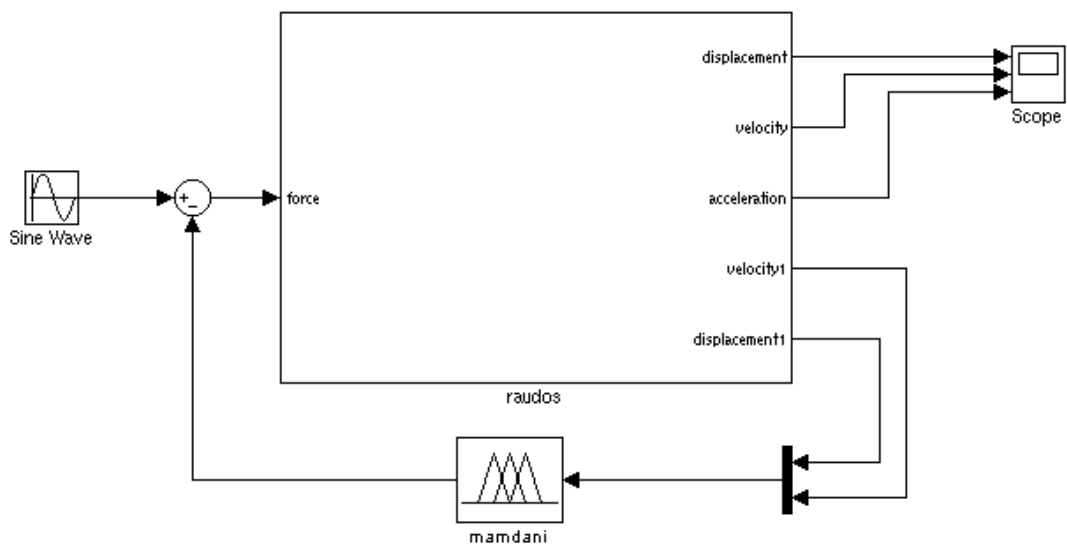
- Μοντέλο Α:



- **Μοντέλο Β:**

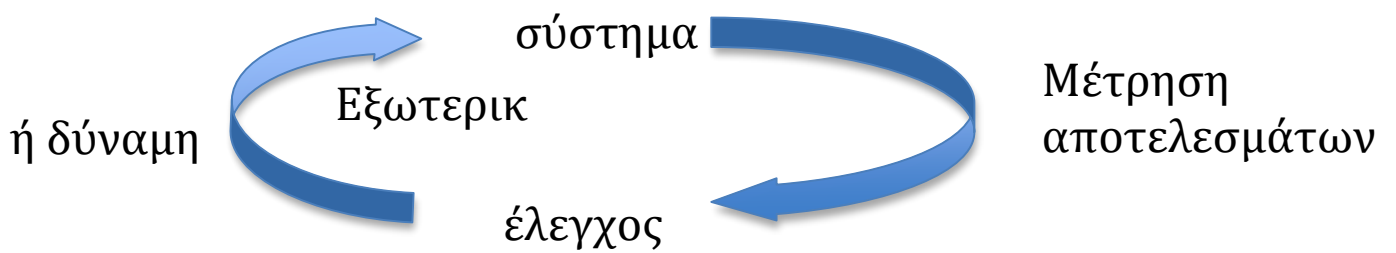


ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΛΕΓΚΤΗ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

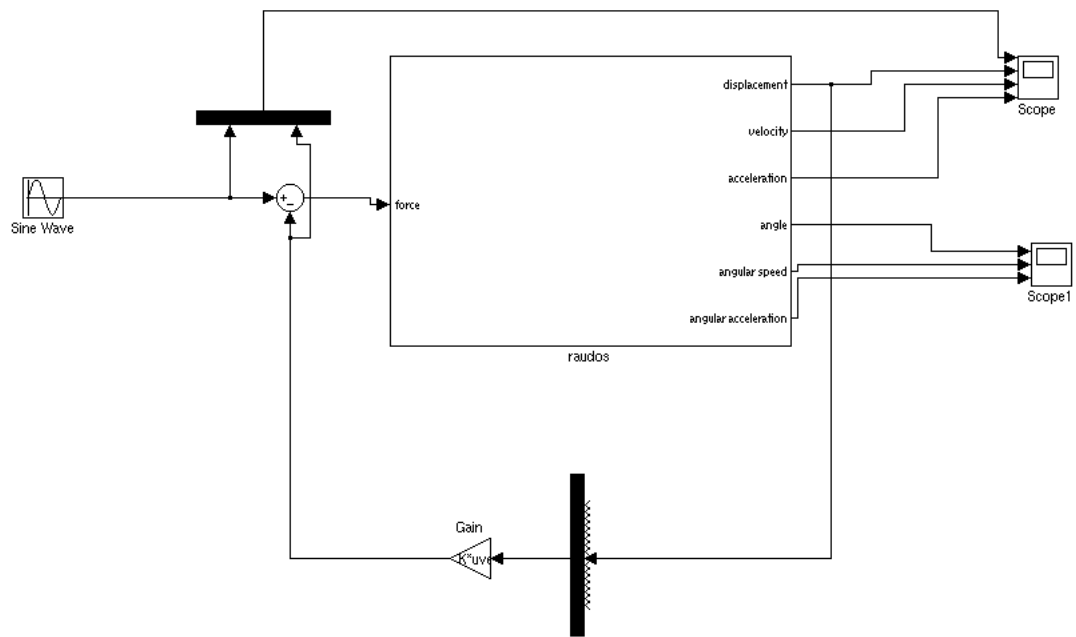


Μορφή Κλειστού Βρόγχου

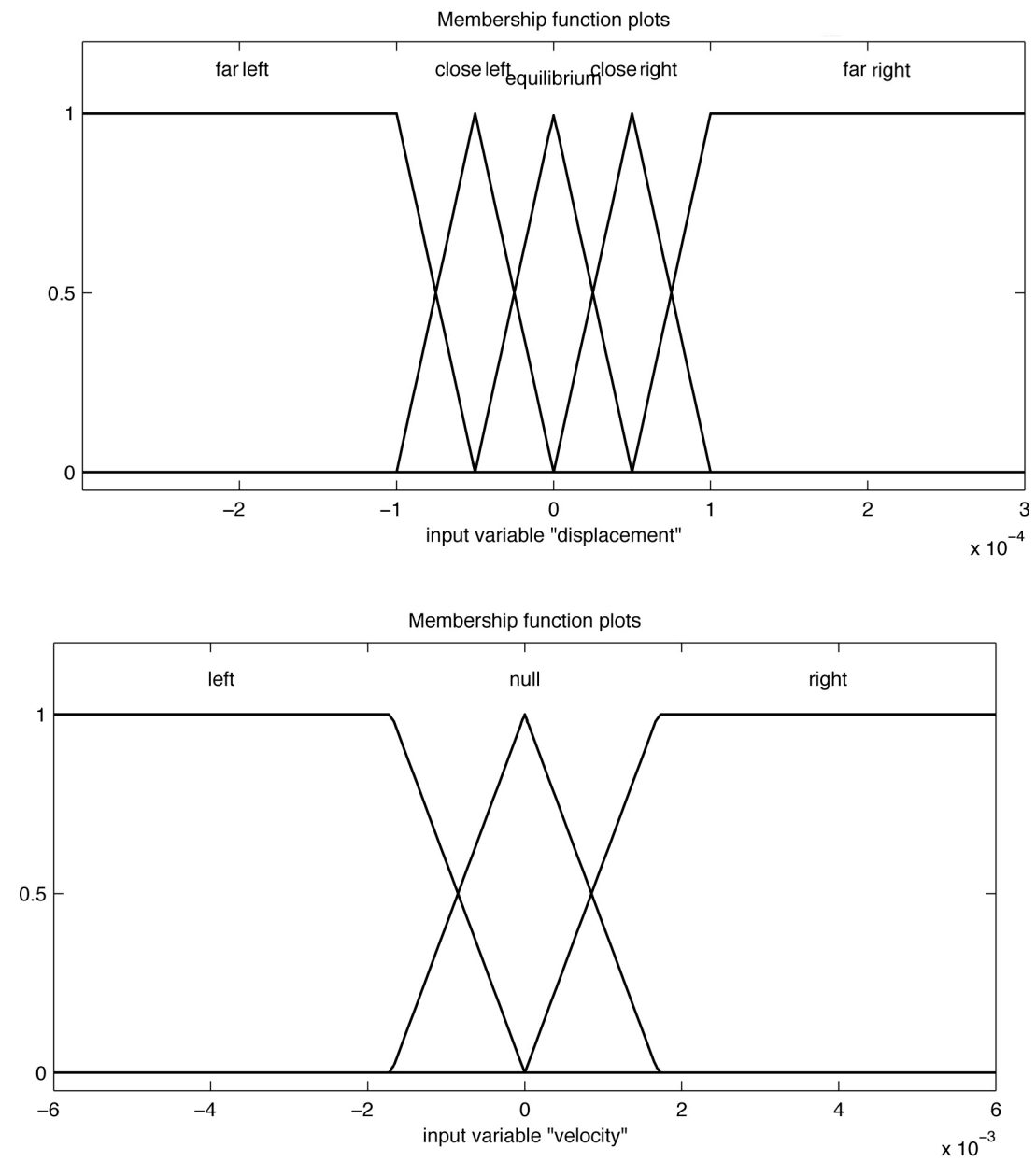
Για να λειτουργήσει το σύστημα σε οποιαδήποτε μορφή εξωτερικής φόρτισης



Ελεγκτής LQR :

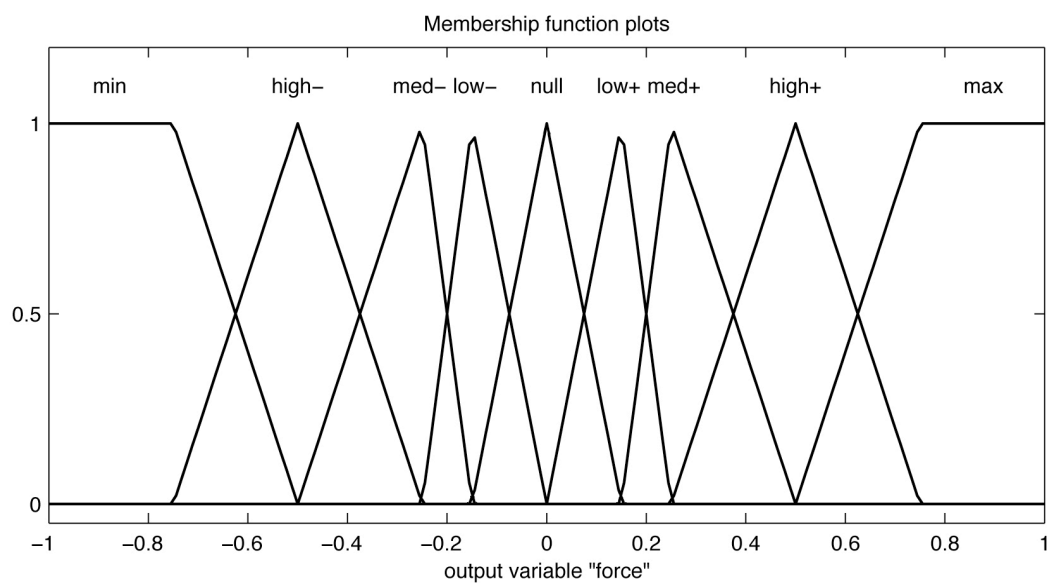


Ελεγκτής Mamdani :συναρτήσεις συμμετοχής

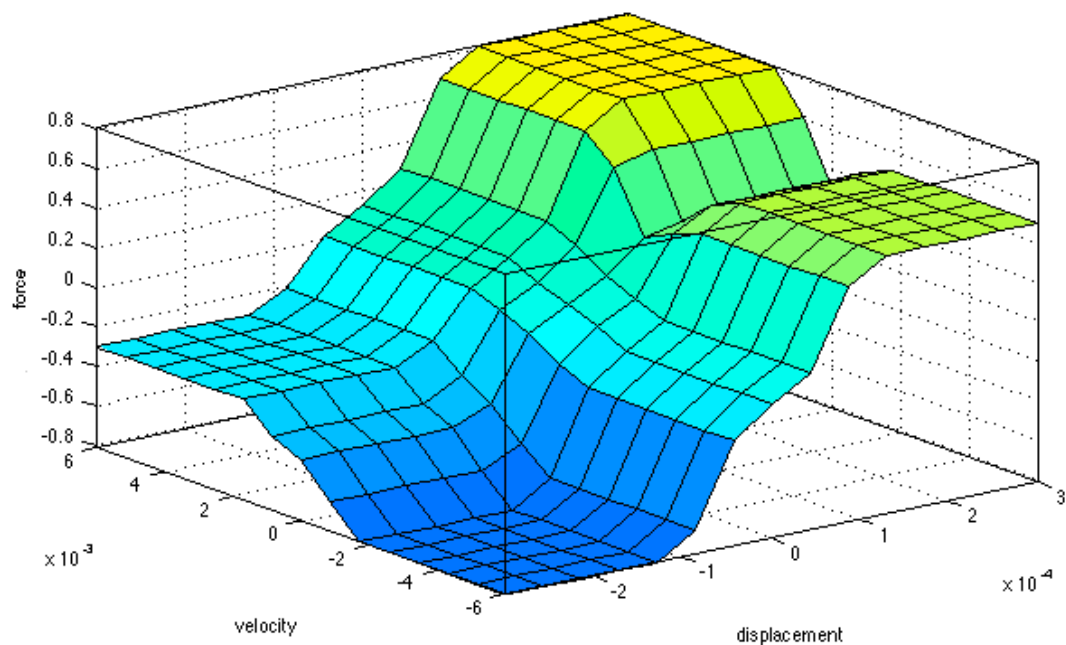


Ελεγκτής Mamdani : Κανόνες ελέγχου

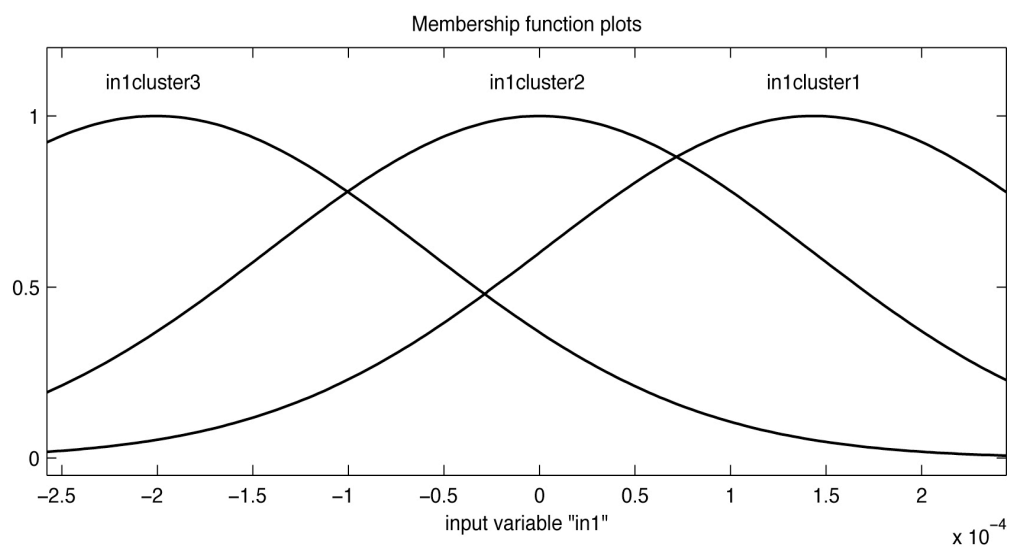
displacement\velocity	left	null	right
far left	min	high-	med-
close left	med-	low-	null
equilibrium	low-	null	low+
close right	null	low+	med+
far right	high+	med+	max

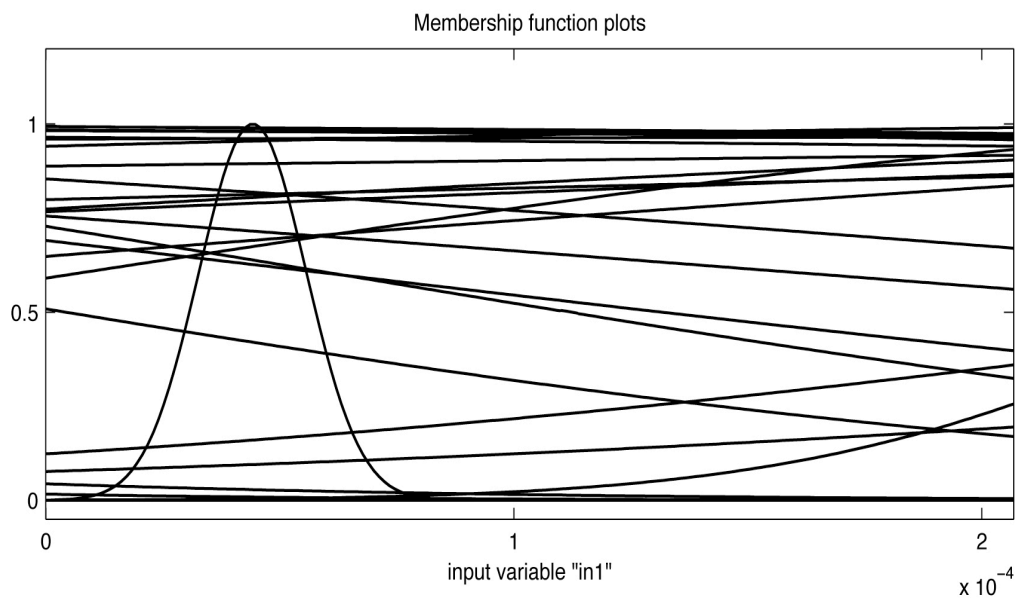
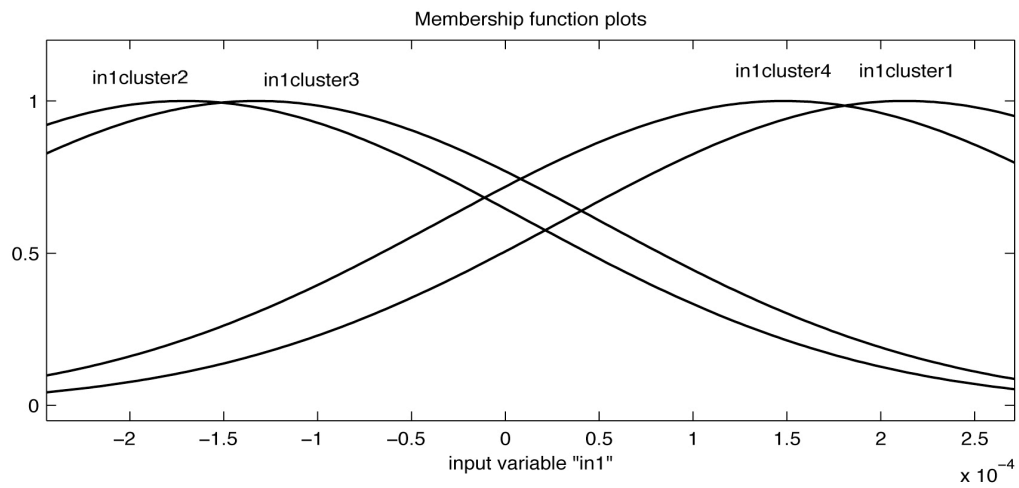


Ελεγκτής Mamdani : Γραφική αναπαράσταση κανόνων

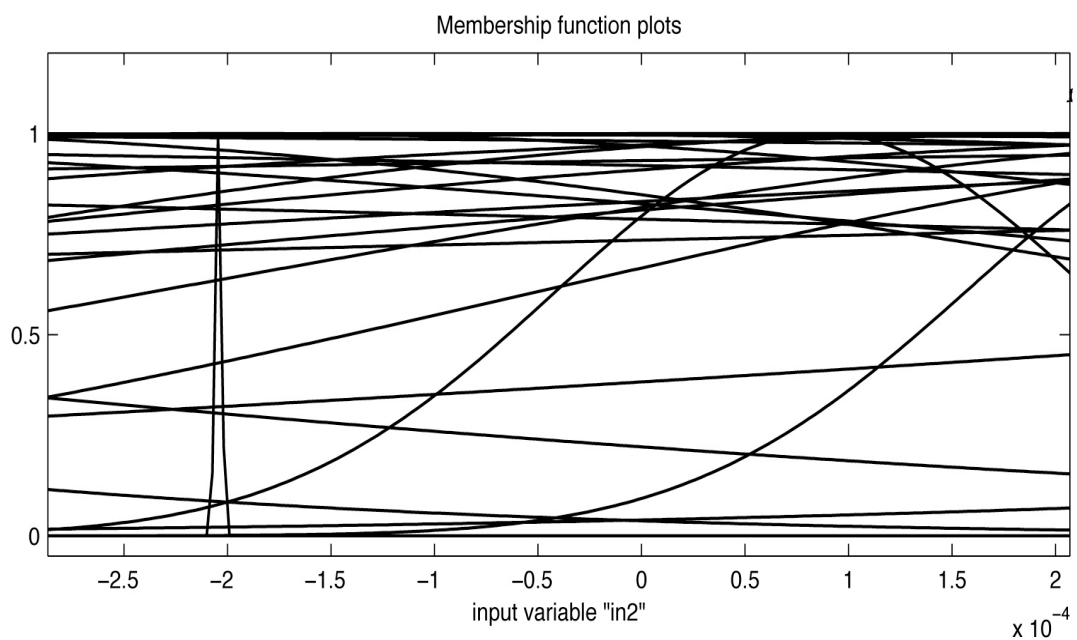
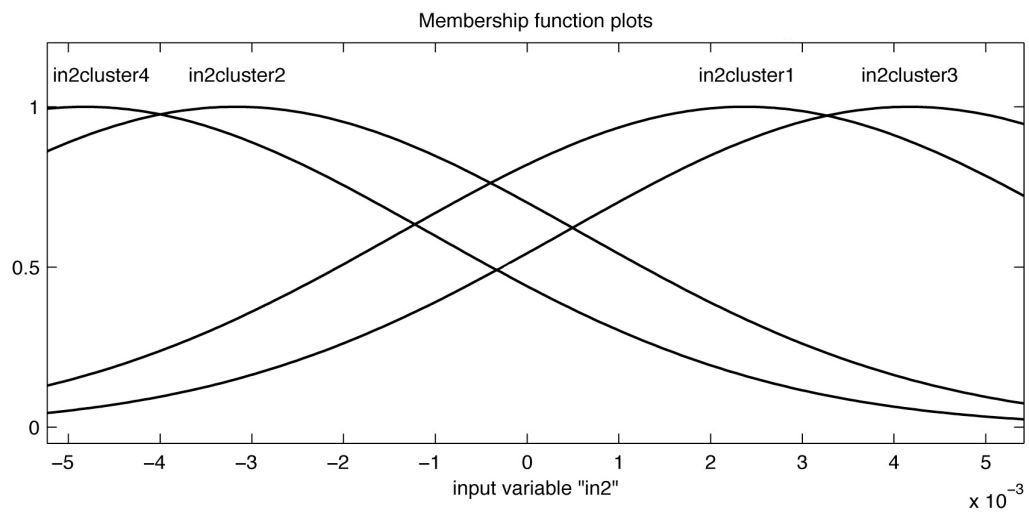


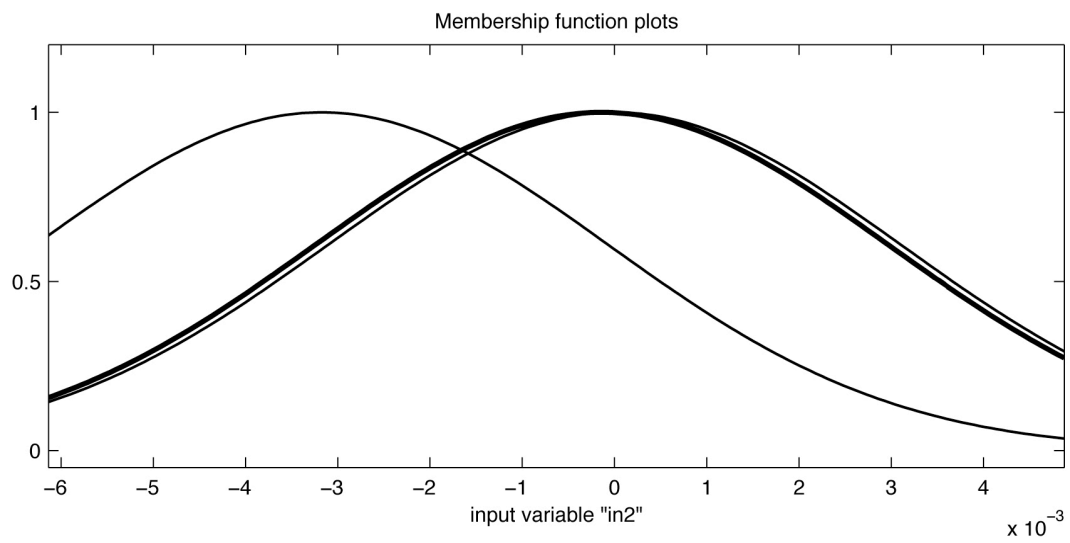
Ελεγκτής Sugeno : Συναρτήσεις συμμετοχής μετατοπίσεων



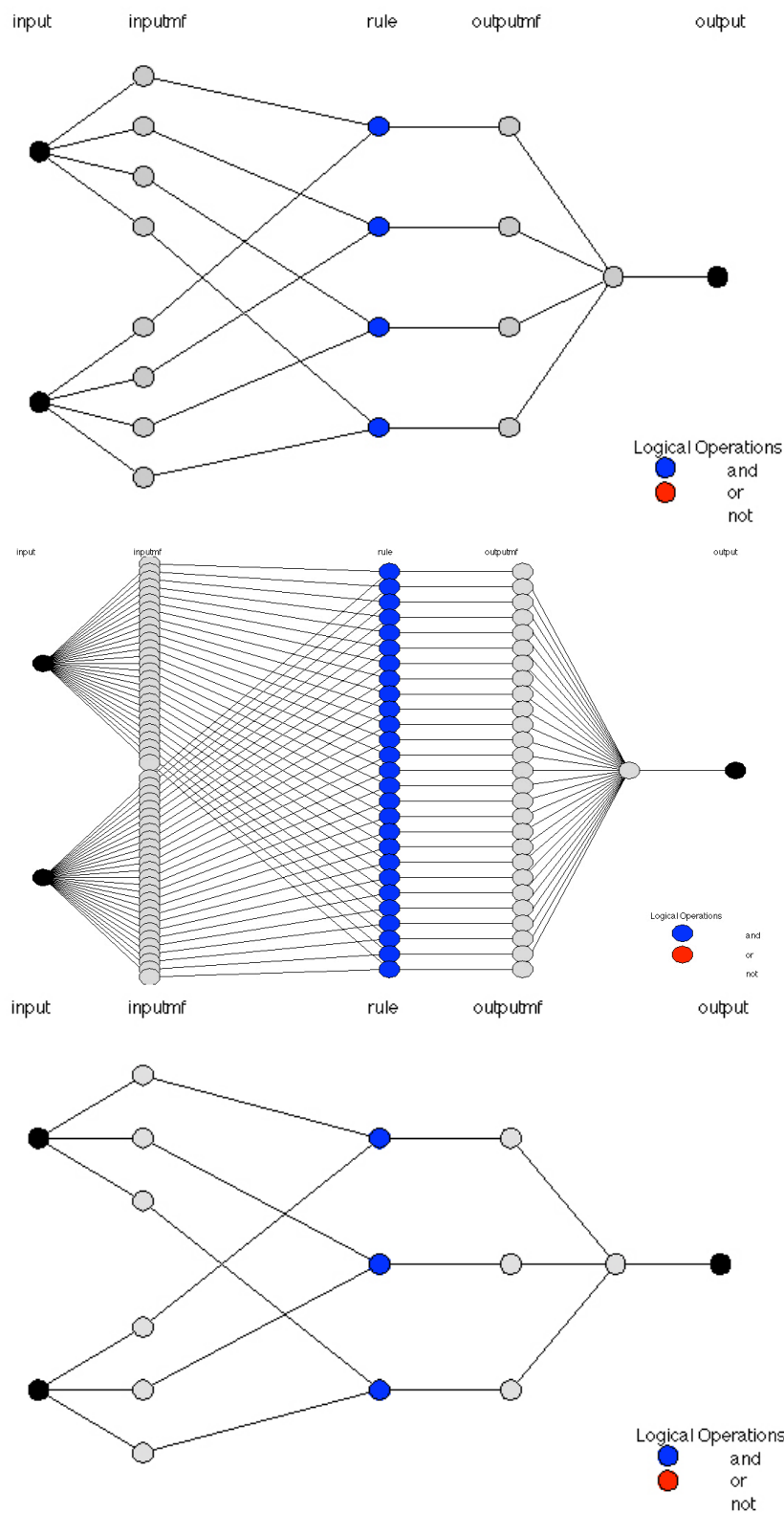


Ελεγκτής Sugeno: Συναρτήσεις συμμετοχής ταχύτητας

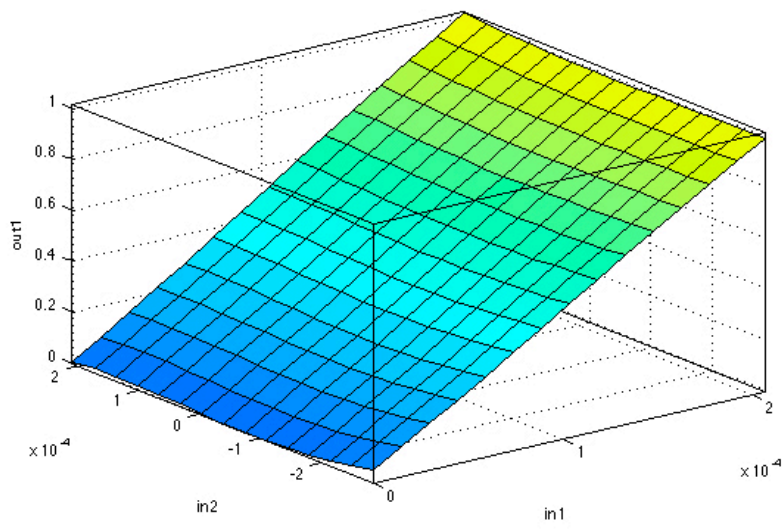
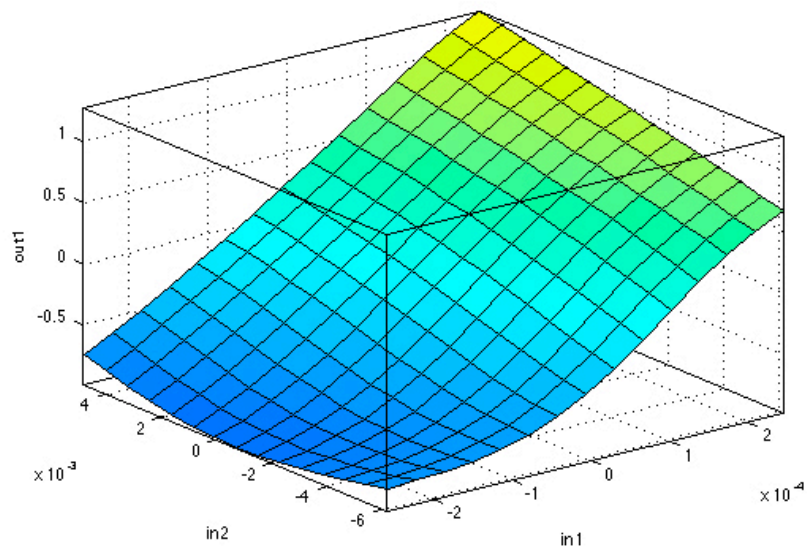


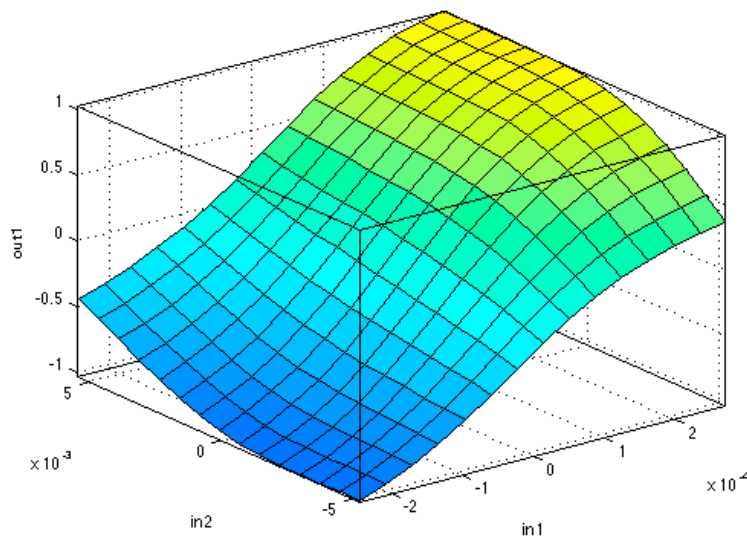


Ελεγκτής Sugeno: Δομή κανόνων ANFIS



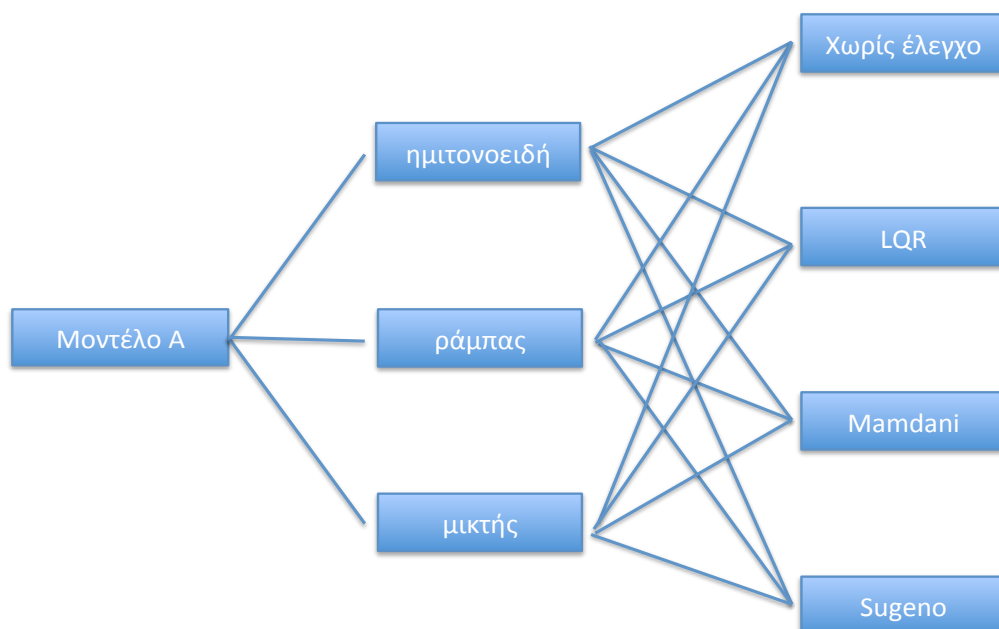
Ελεγκτής Sugeno: Γραφική αναπαράσταση κανόνων





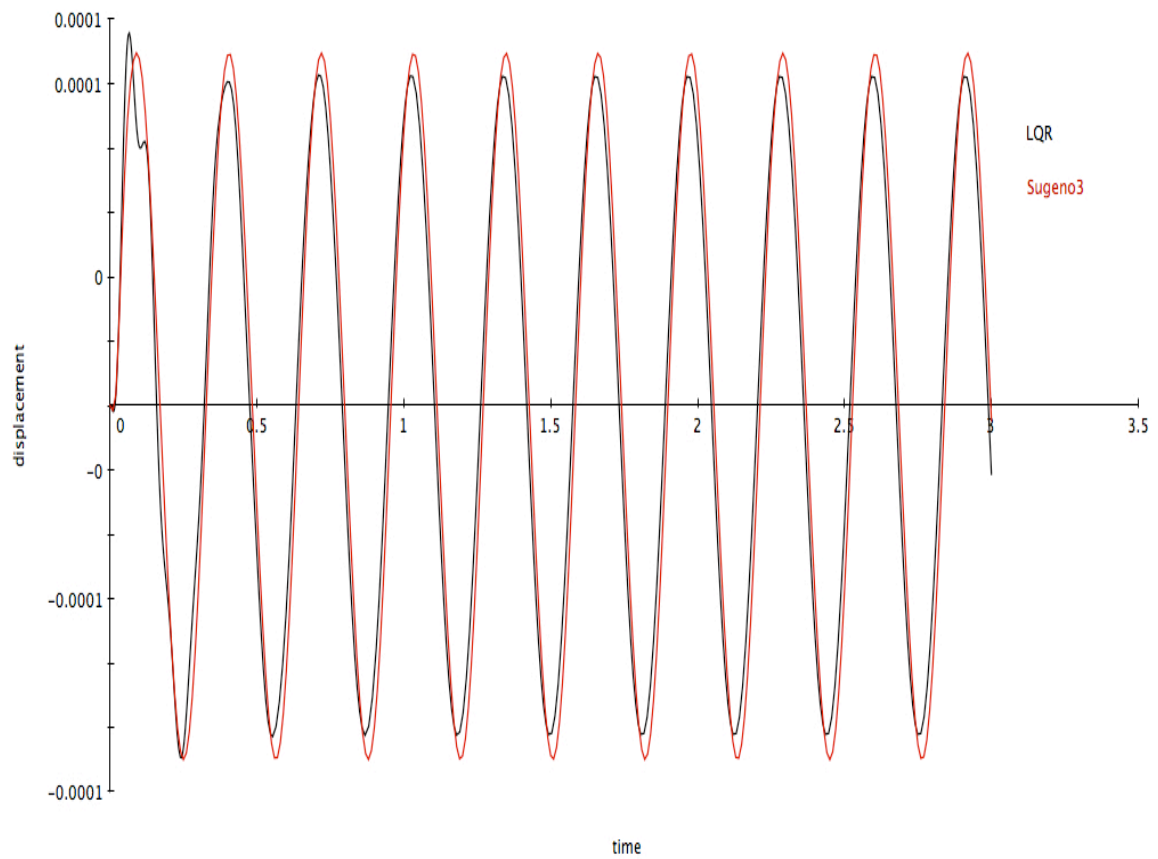
Κατά την διάρκεια εκπόνησης των τριών διπλωματικών εργασιών (Ταΐρίδη , Παπαχρήστου , Σαλονικίδη) επιλύθηκαν τα ακόλουθα παραδείγματα

23 παραδείγματα επιλύθηκαν

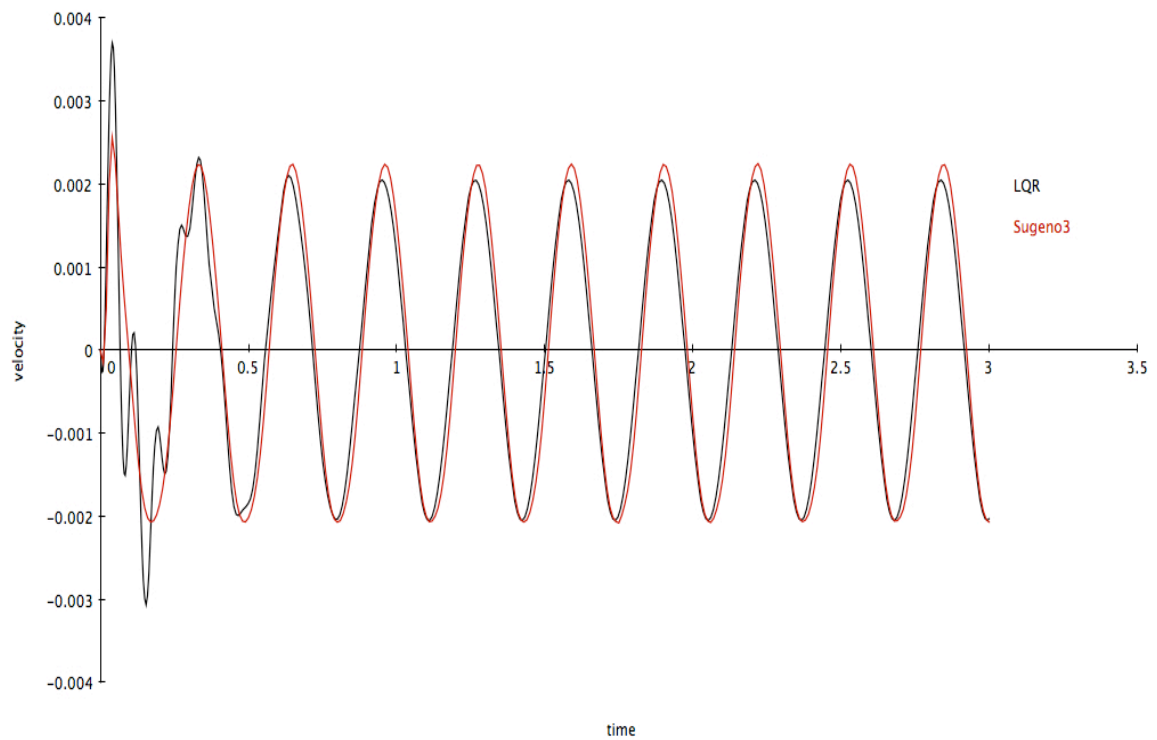


Παρουσιάζουμε κάποια αποτελέσματα προσομοιώσεων :

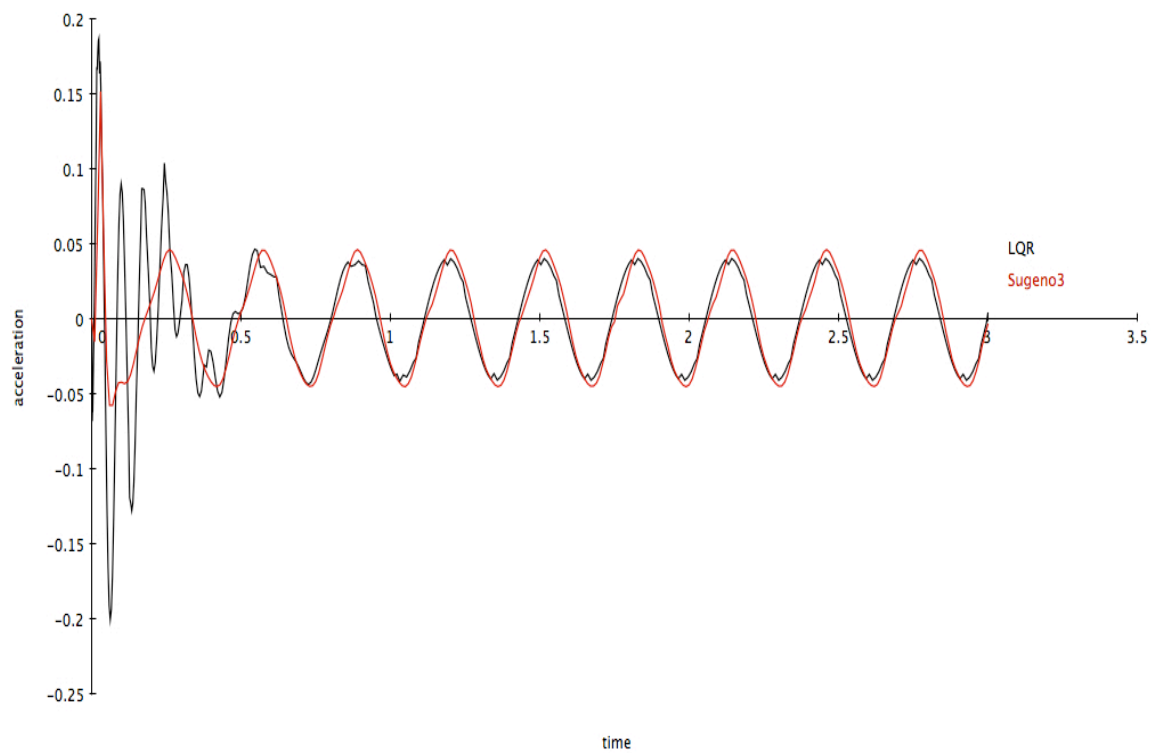
Μοντέλο Α με ημιτονοειδή μορφή φόρτισης: LQR , Sugeno



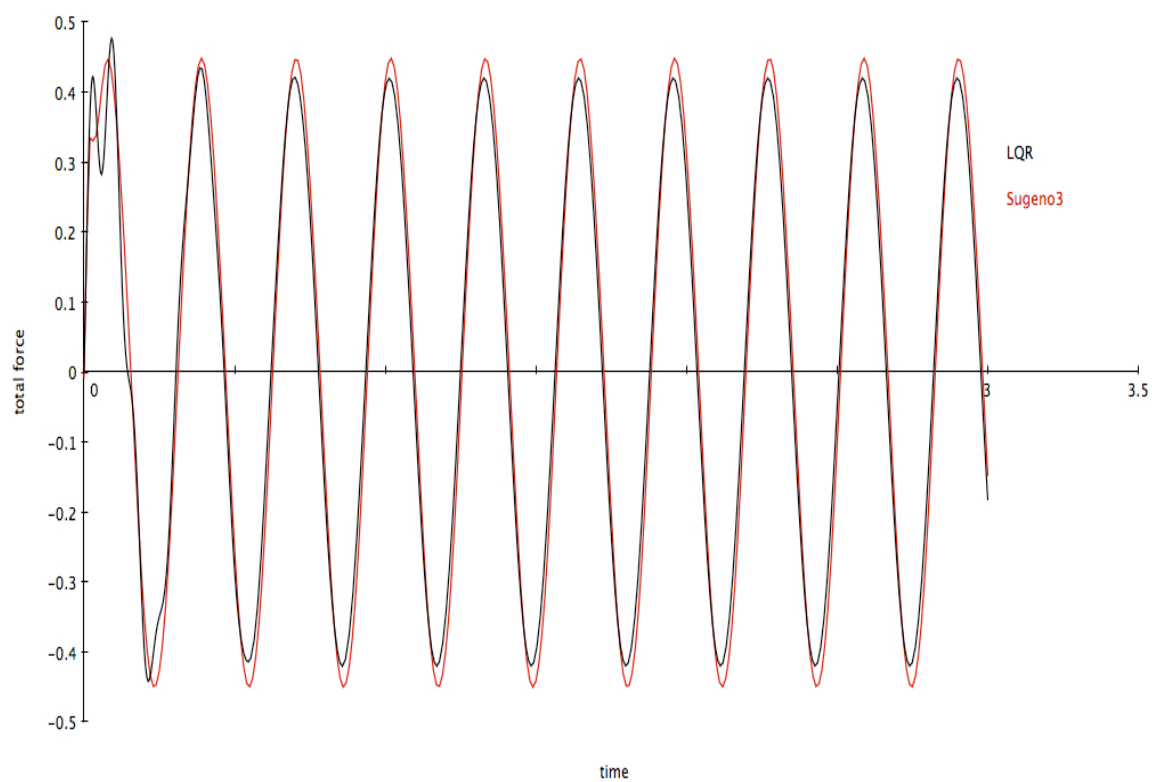
Μοντέλο Α με ημιτονοειδή μορφή φόρτισης: LQR , Sugeno



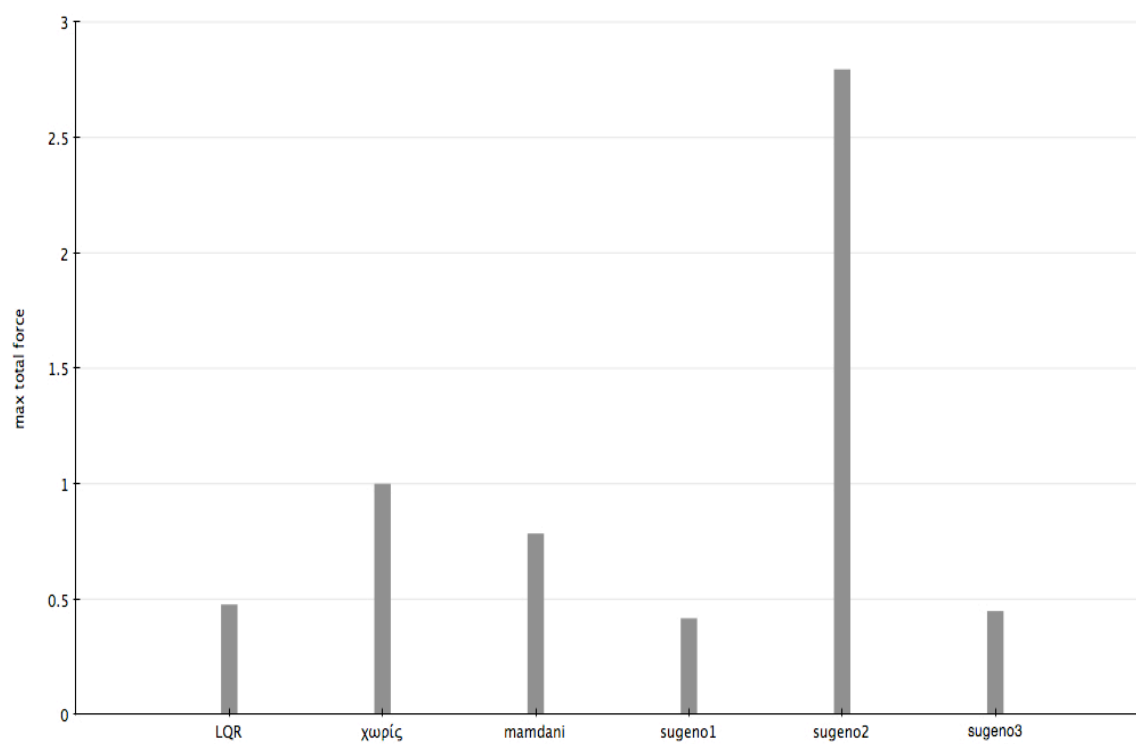
Μοντέλο Α με ημιτονοειδή μορφή φόρτισης: LQR , Sugeno

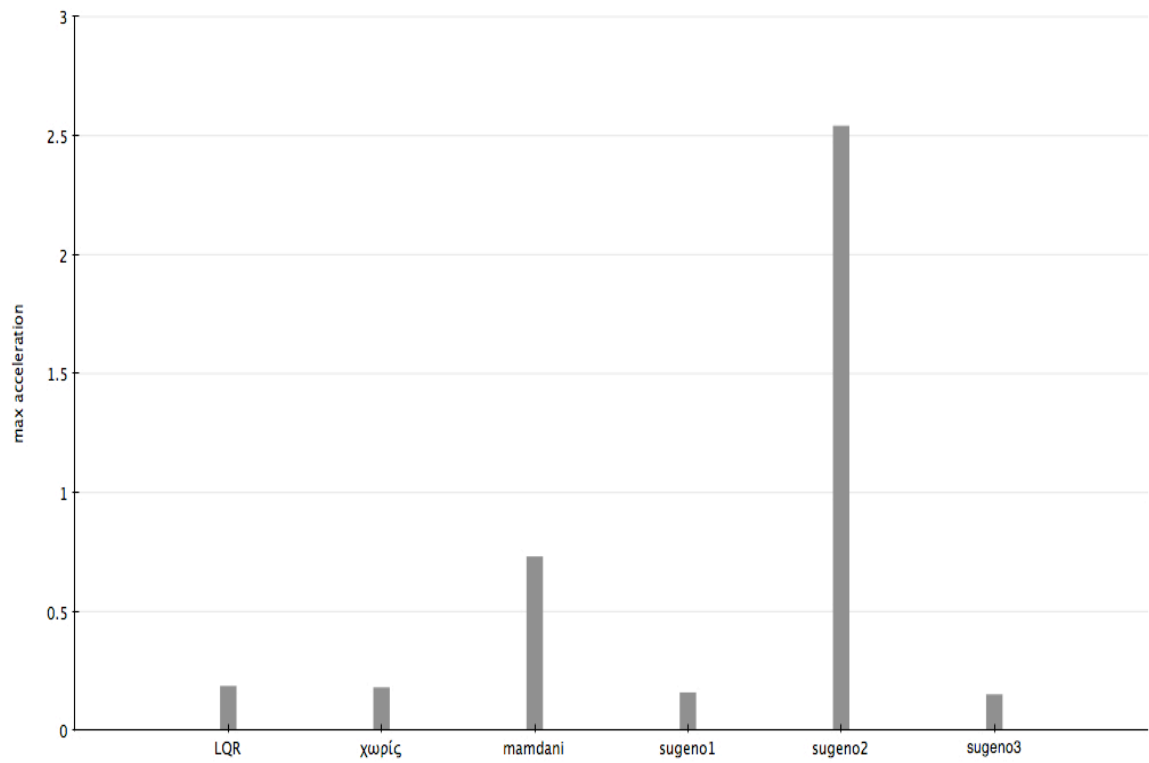


Μοντέλο A με ημιτονοειδή μορφή φόρτισης: LQR , Sugeno

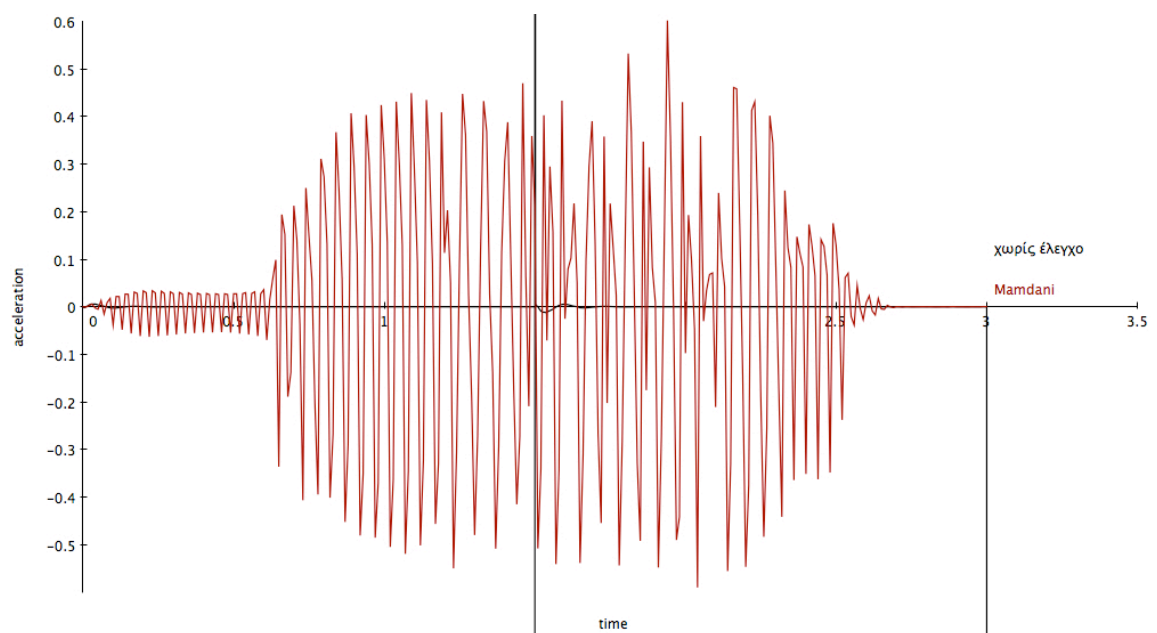


Συγκριτικά αποτελέσματα :

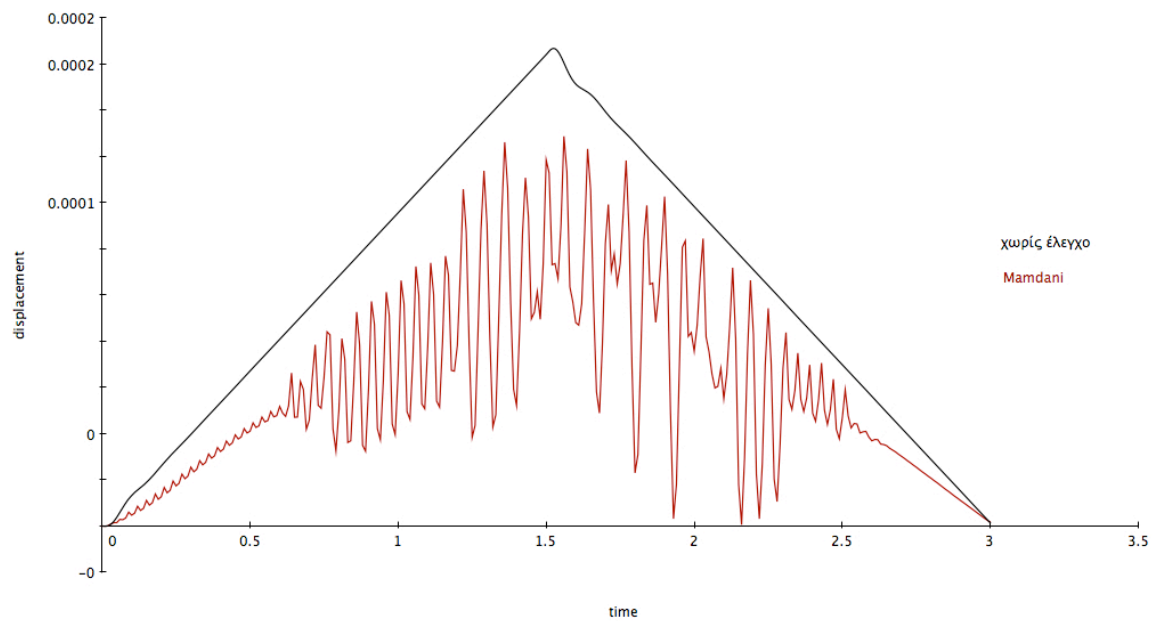




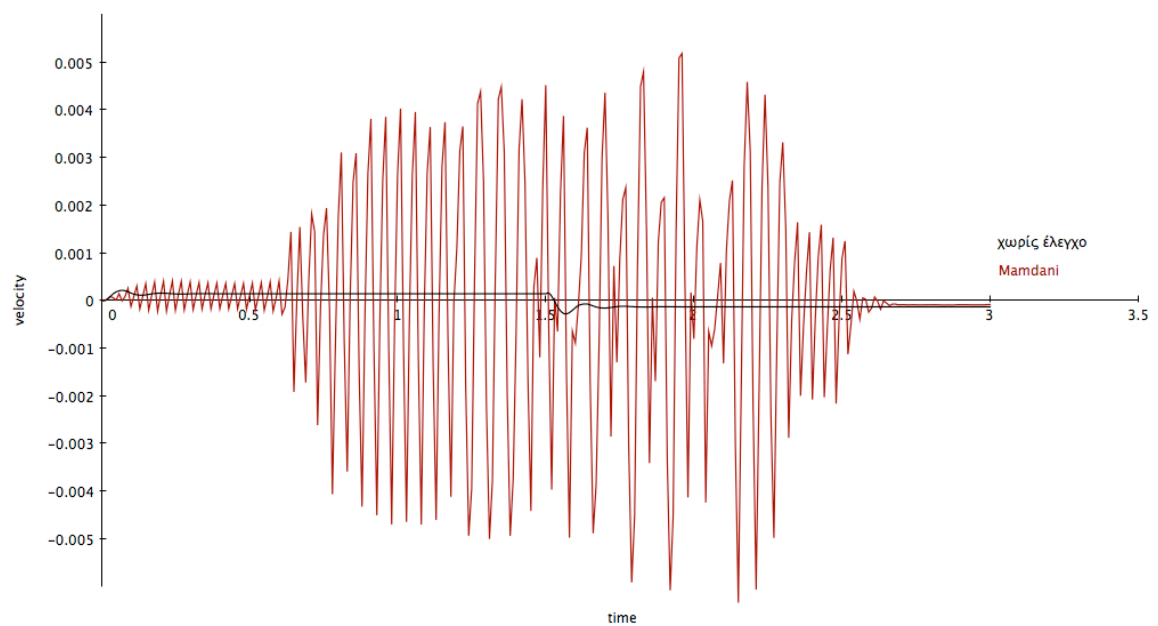
Μοντέλο A με φόρτιση μορφής ράμπας: Χωρίς έλεγχο , Mamdani



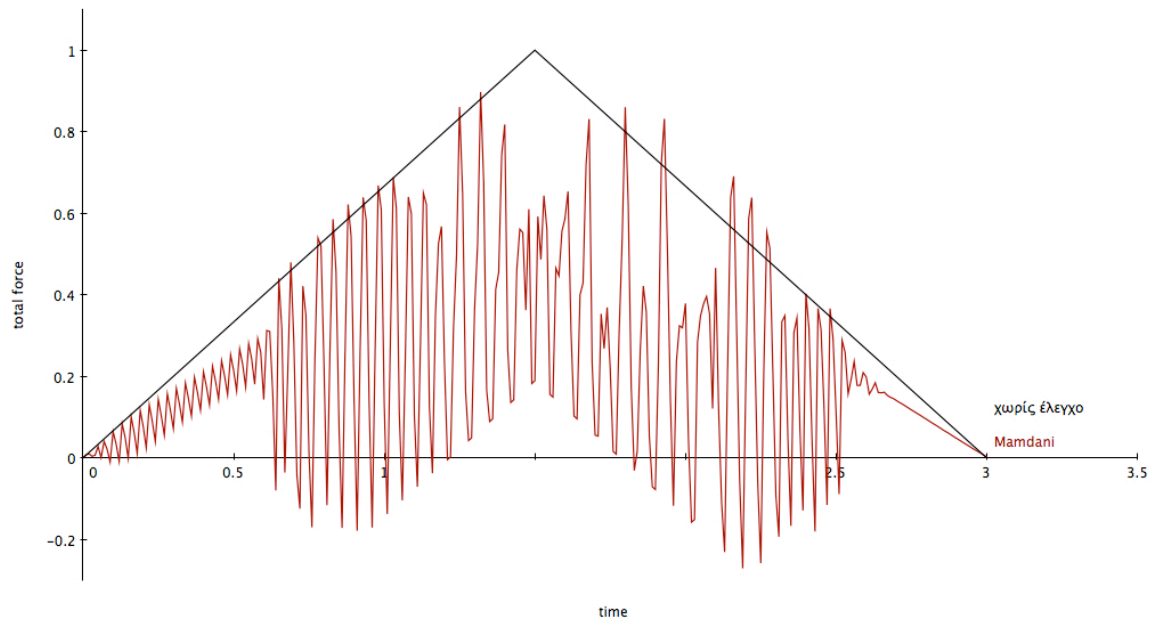
Μοντέλο Α με φόρτιση μορφής ράμπας: Χωρίς έλεγχο , Mamdani



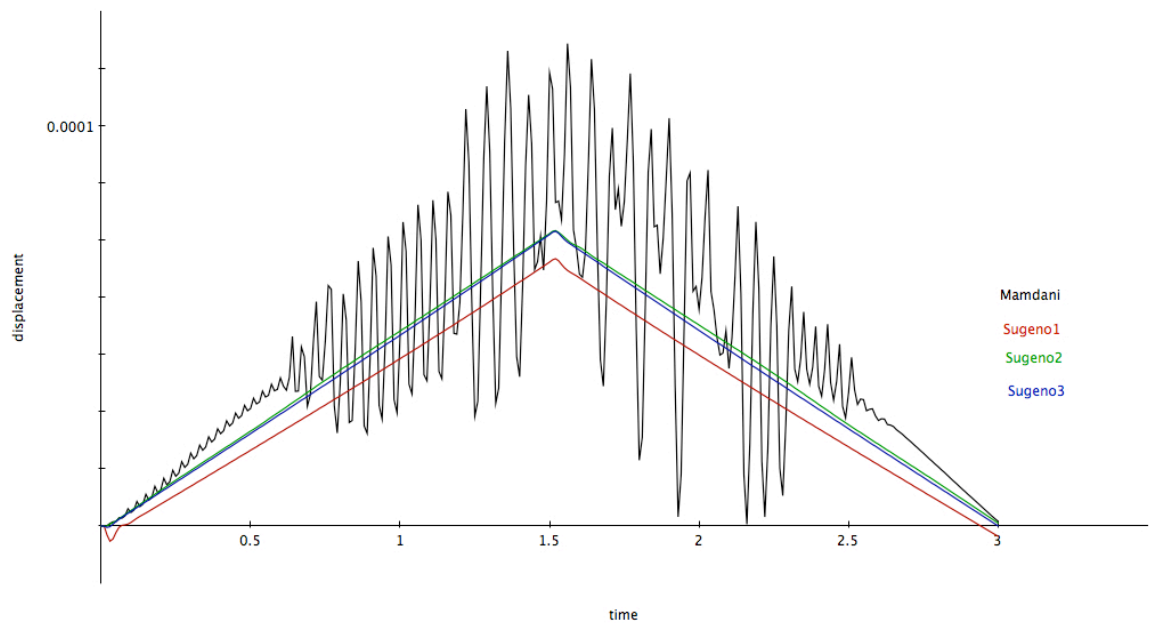
Μοντέλο Α με φόρτιση μορφής ράμπας: Χωρίς έλεγχο , Mamdani



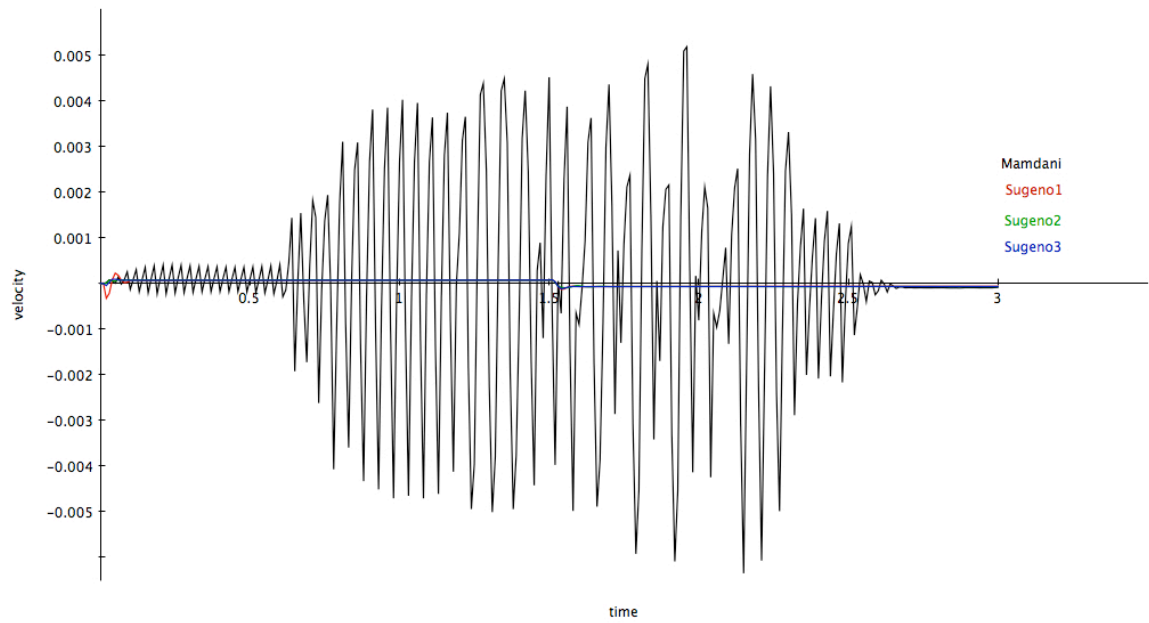
Μοντέλο Α με φόρτιση μορφής ράμπας: Χωρίς έλεγχο , Mamdani



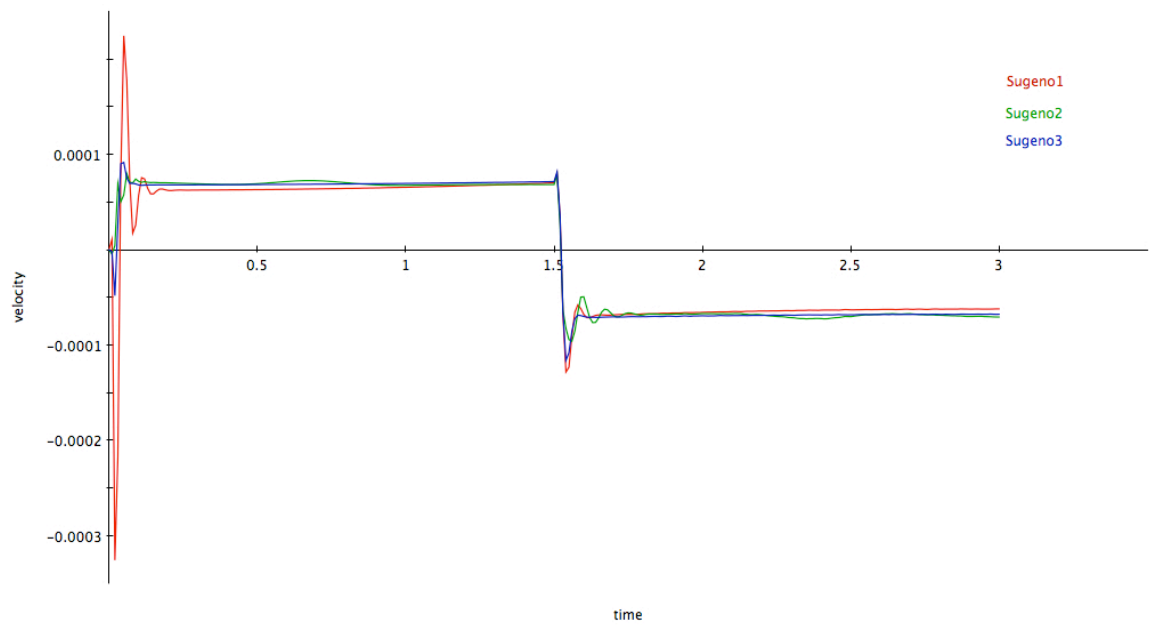
Μοντέλο Α με φόρτιση μορφής ράμπας: Mamdani,Sugeno



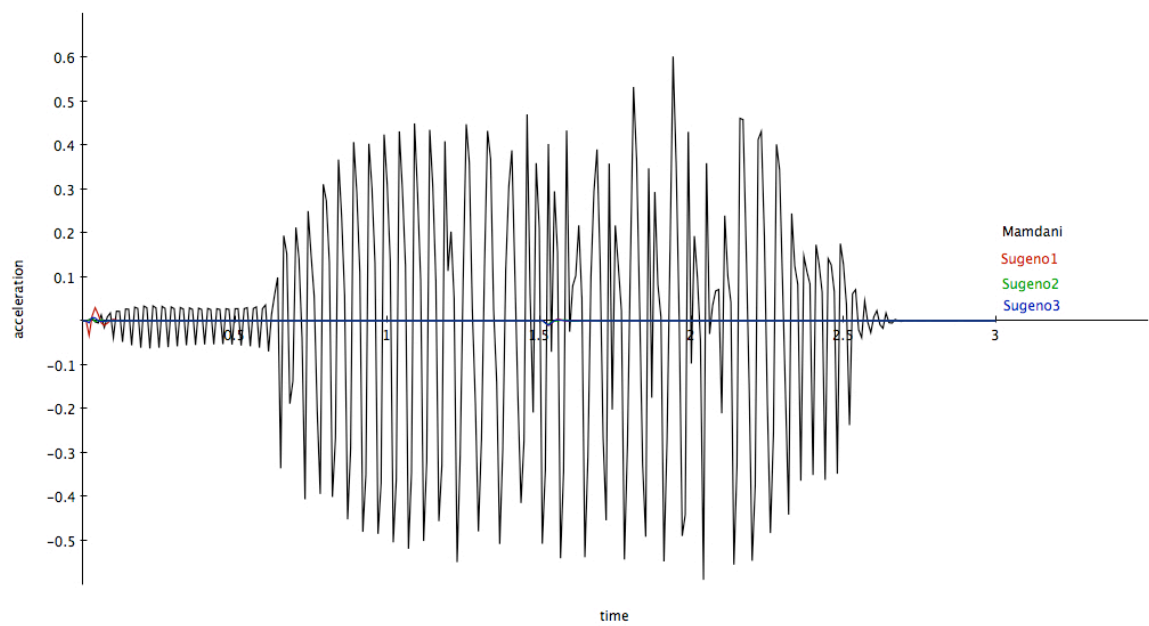
Μοντέλο Α με φόρτιση μορφής ράμπας: Mamdani, Sugeno



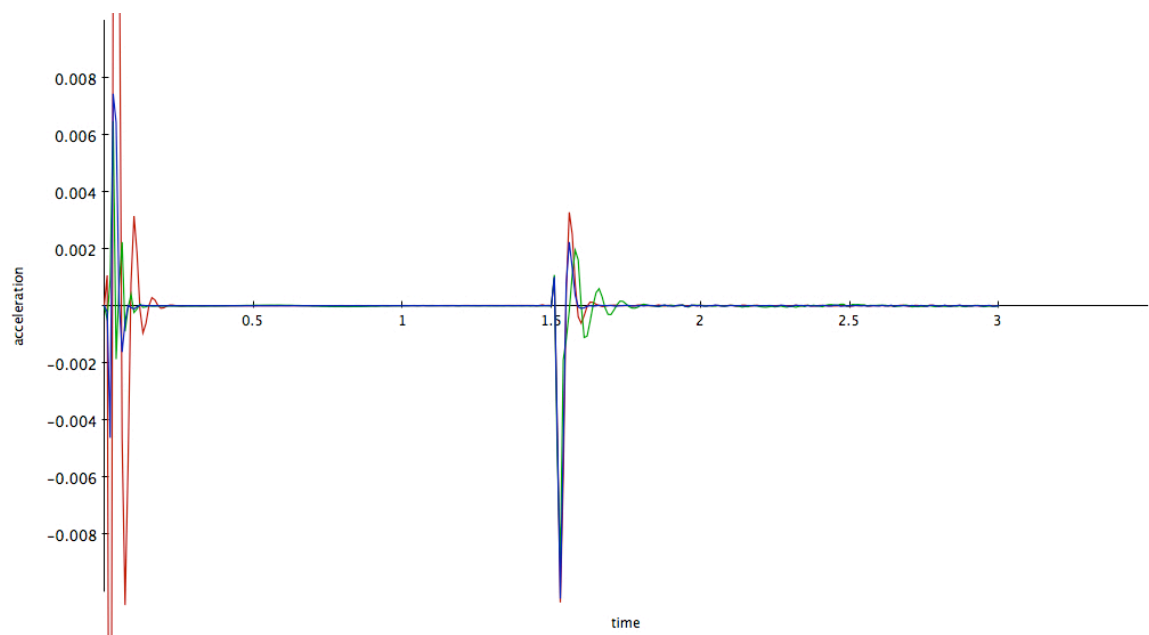
Μοντέλο Α με φόρτιση μορφής ράμπας: Mamdani, Sugeno



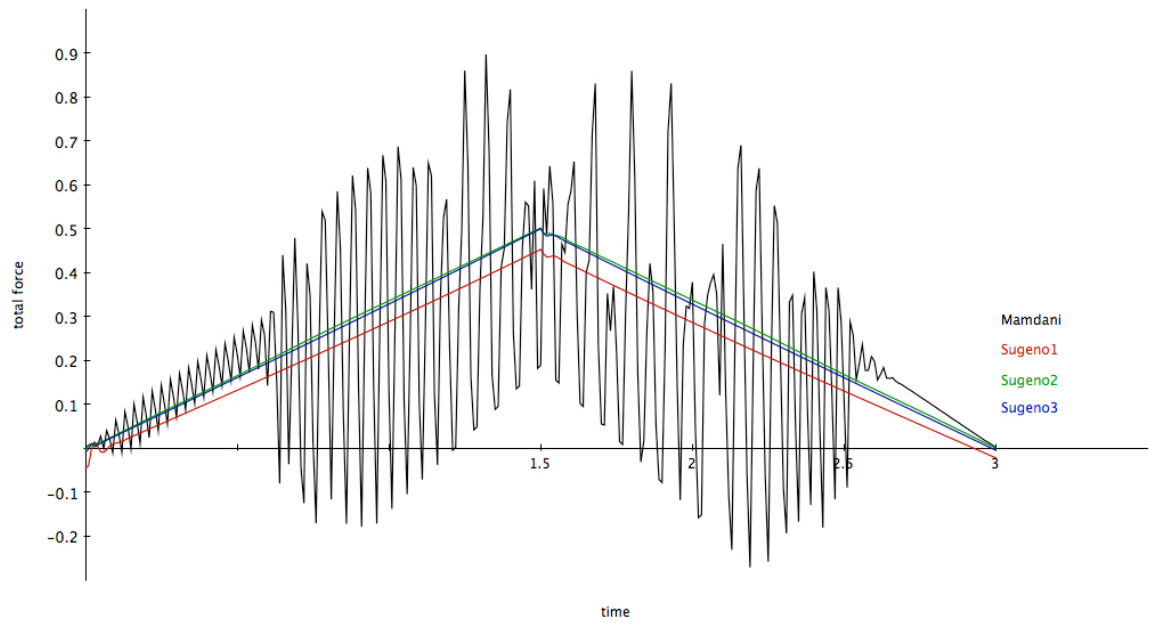
Μοντέλο A με φόρτιση μορφής ράμπας: Mamdani, Sugeno



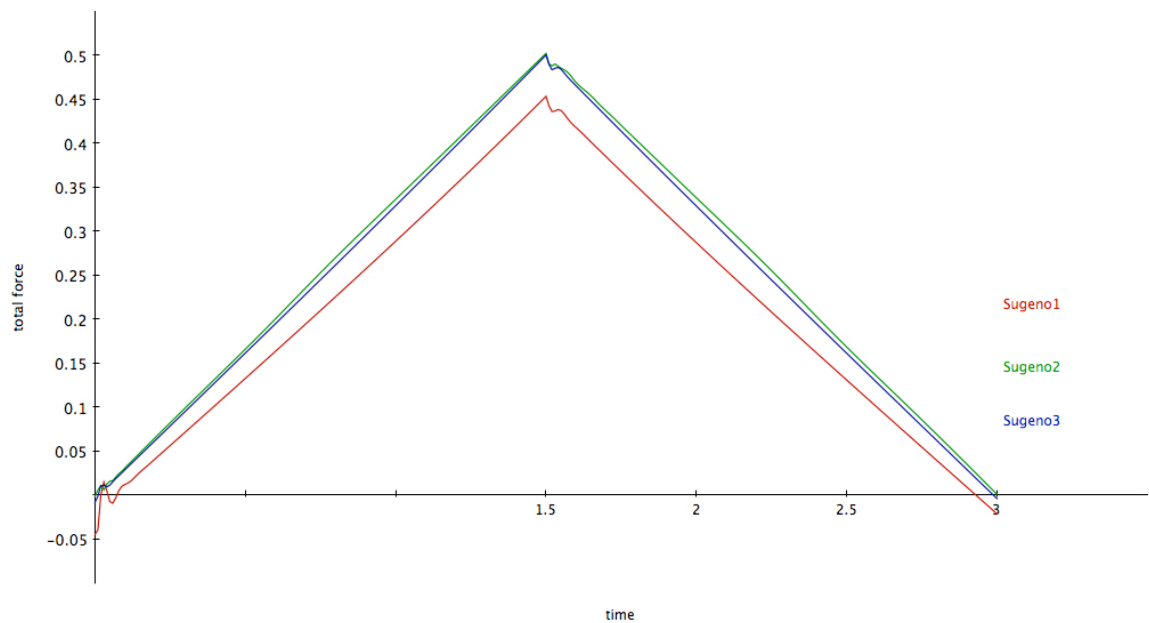
Μοντέλο A με φόρτιση μορφής ράμπας: Mamdani, Sugeno



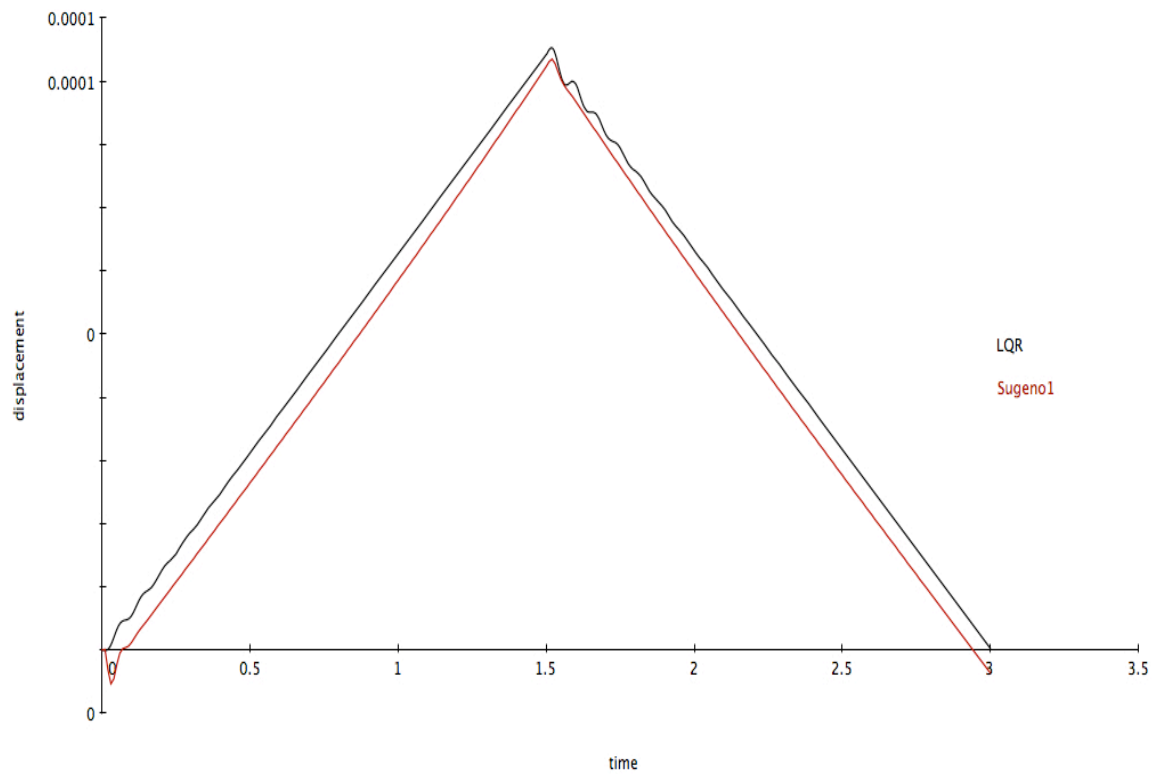
Μοντέλο A με φόρτιση μορφής ράμπας: Mamdani, Sugeno



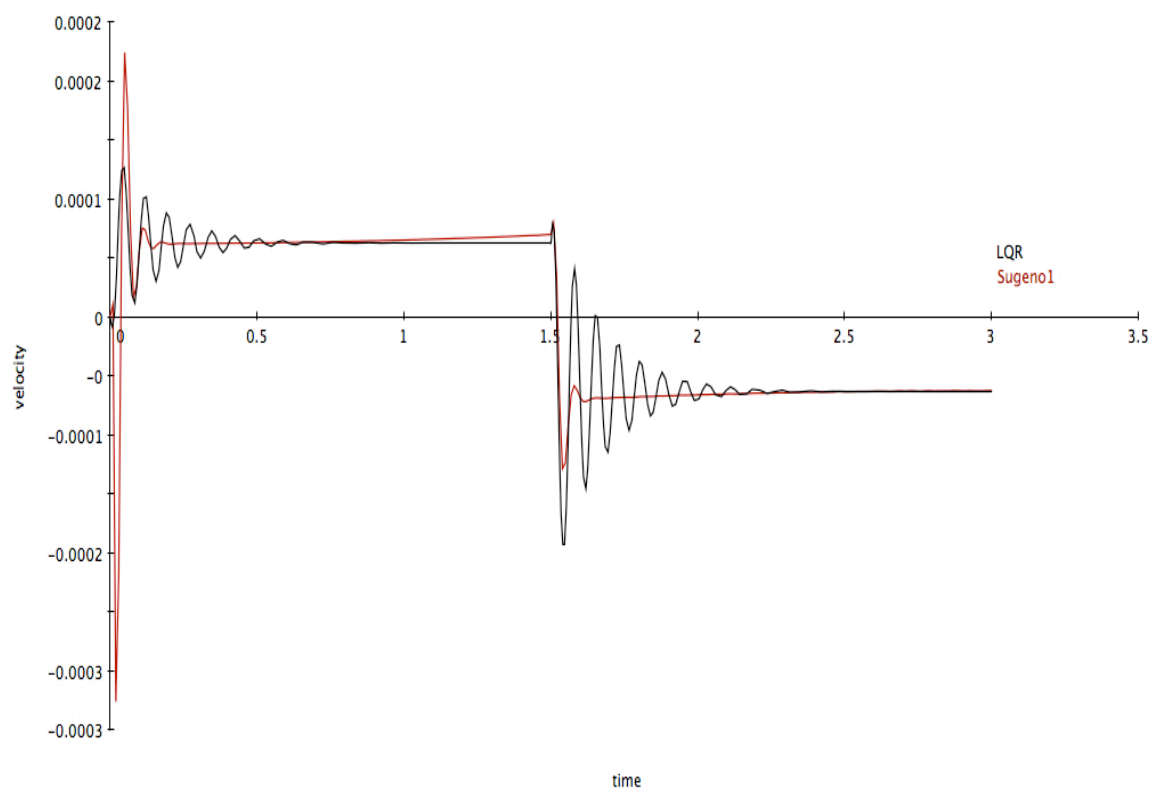
Μοντέλο A με φόρτιση μορφής ράμπας: Mamdani, Sugeno



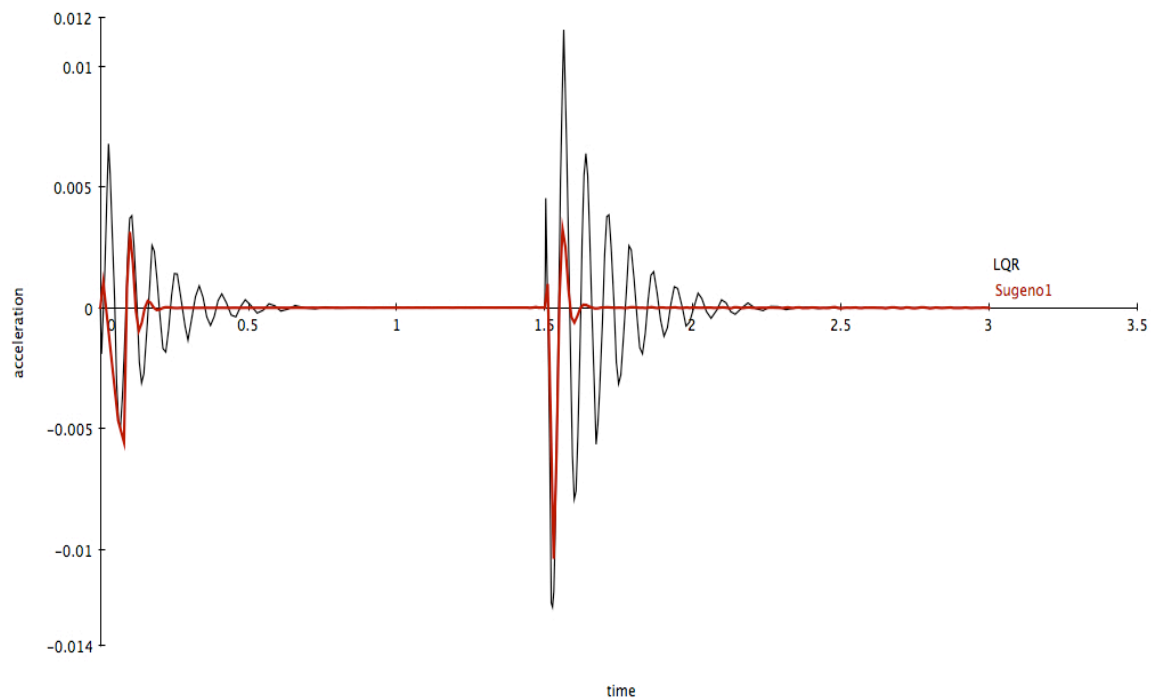
Μοντέλο Α με φόρτιση μορφής ράμπας: Sugeno, LQR



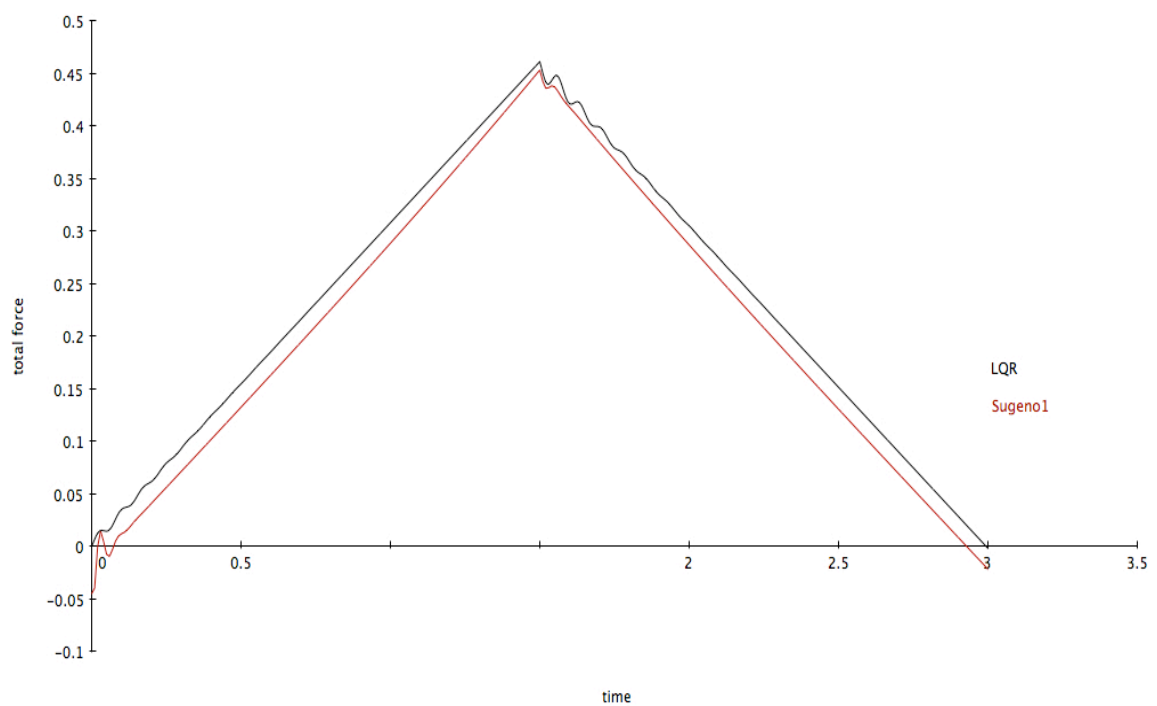
Μοντέλο Α με φόρτιση μορφής ράμπας: Sugeno, LQR



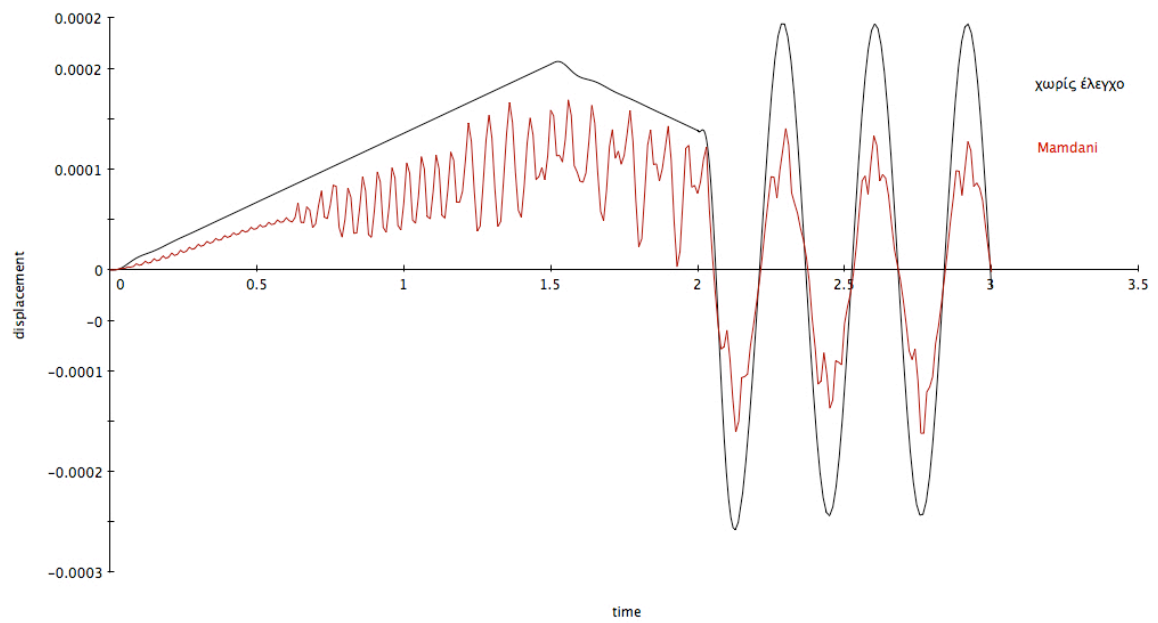
Μοντέλο A με φόρτιση μορφής ράμπας: Sugeno, LQR



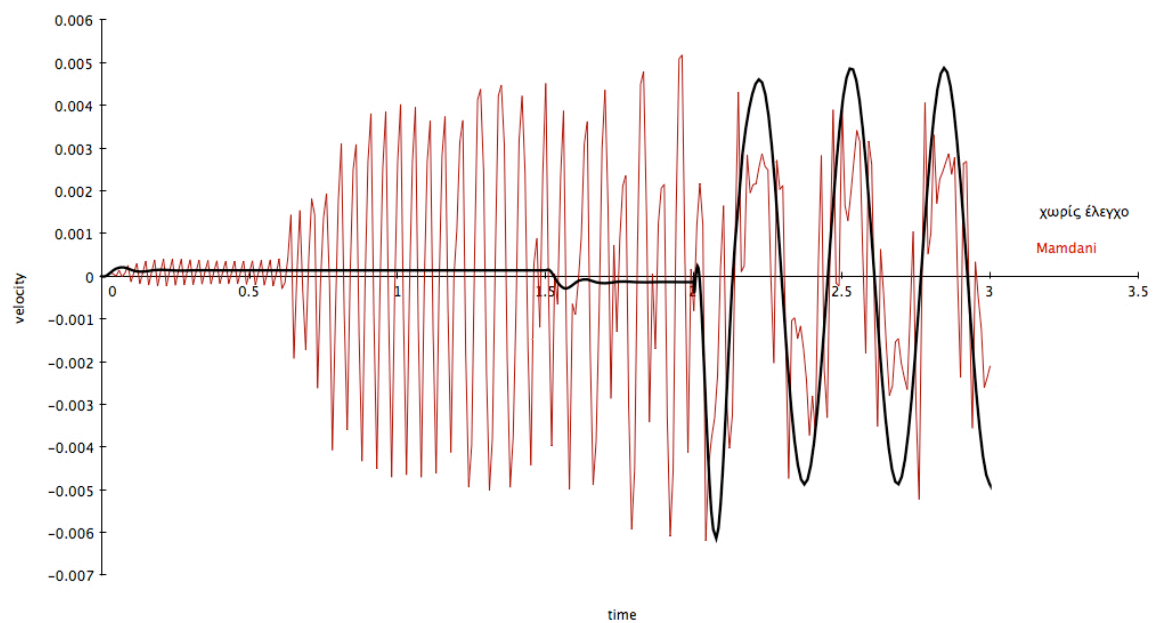
Μοντέλο A με φόρτιση μορφής ράμπας: Sugeno, LQR



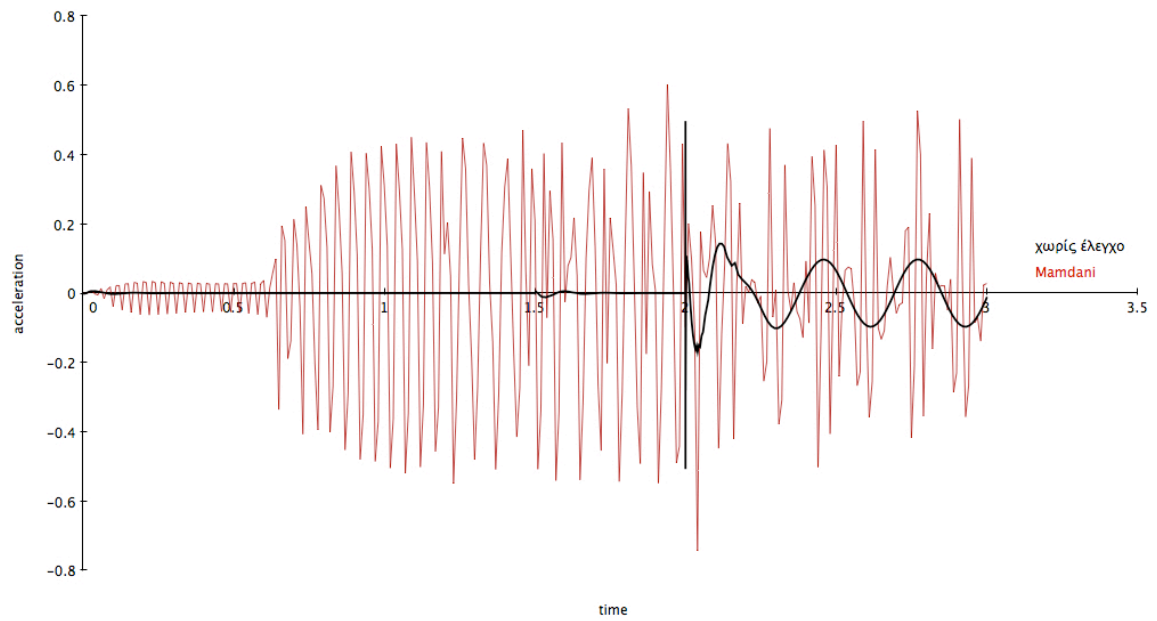
Μοντέλο Α με μικτή μορφή ράμπας: Χωρίς έλεγχο, Mamdani



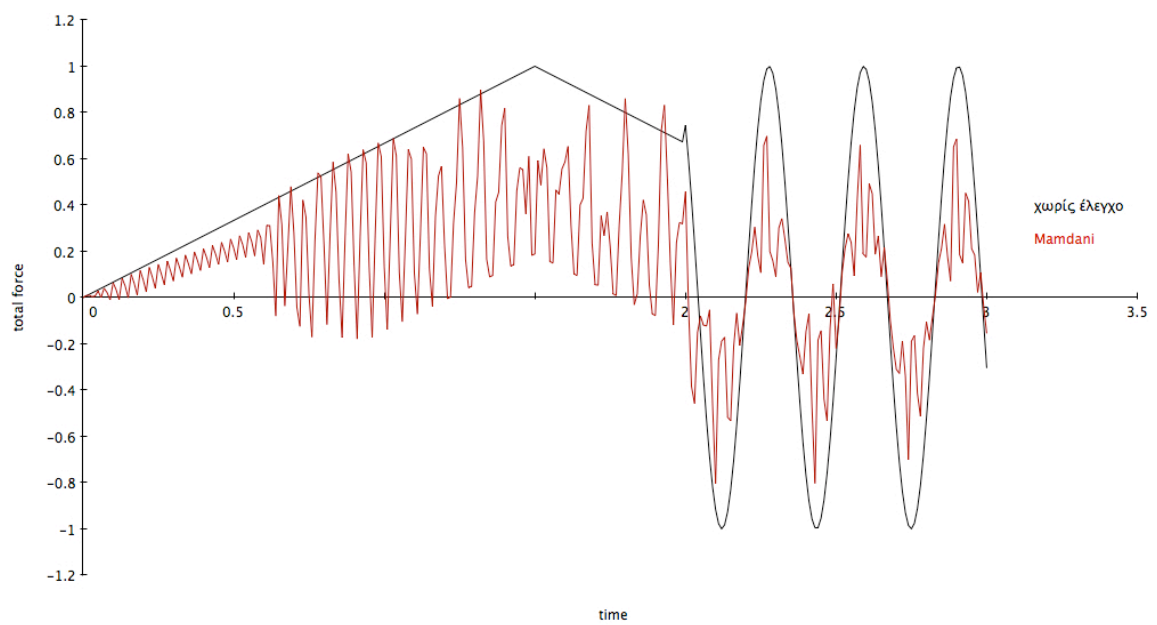
Μοντέλο Α με μικτή μορφή ράμπας: Χωρίς έλεγχο, Mamdani



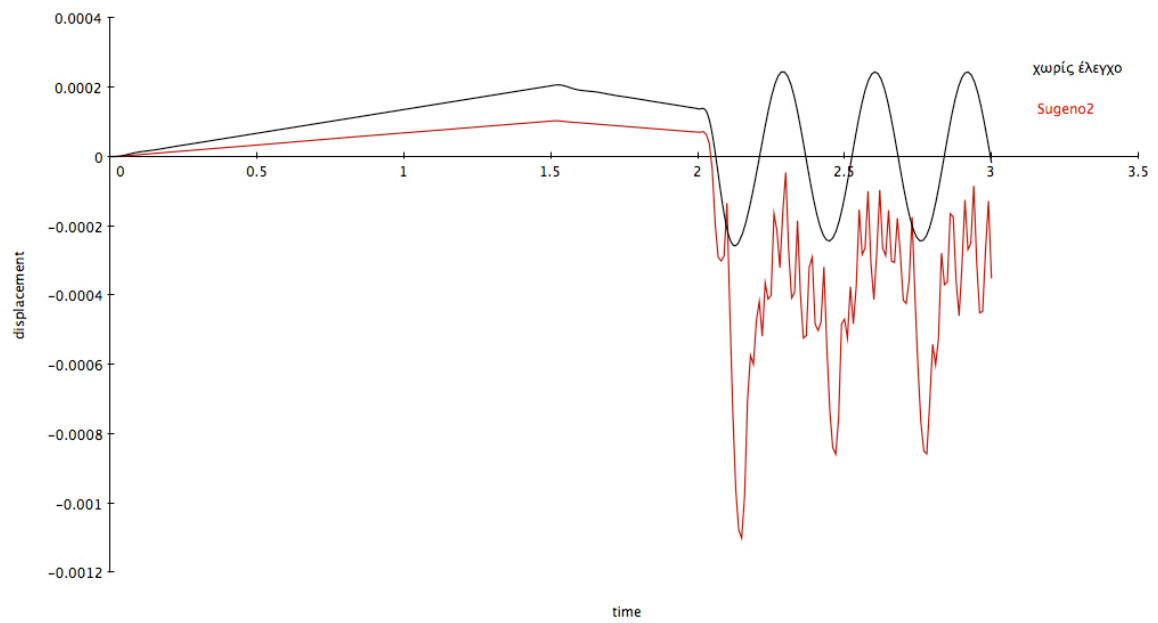
Μοντέλο Α με μικτή μορφή ράμπας: Χωρίς έλεγχο, Mamdani



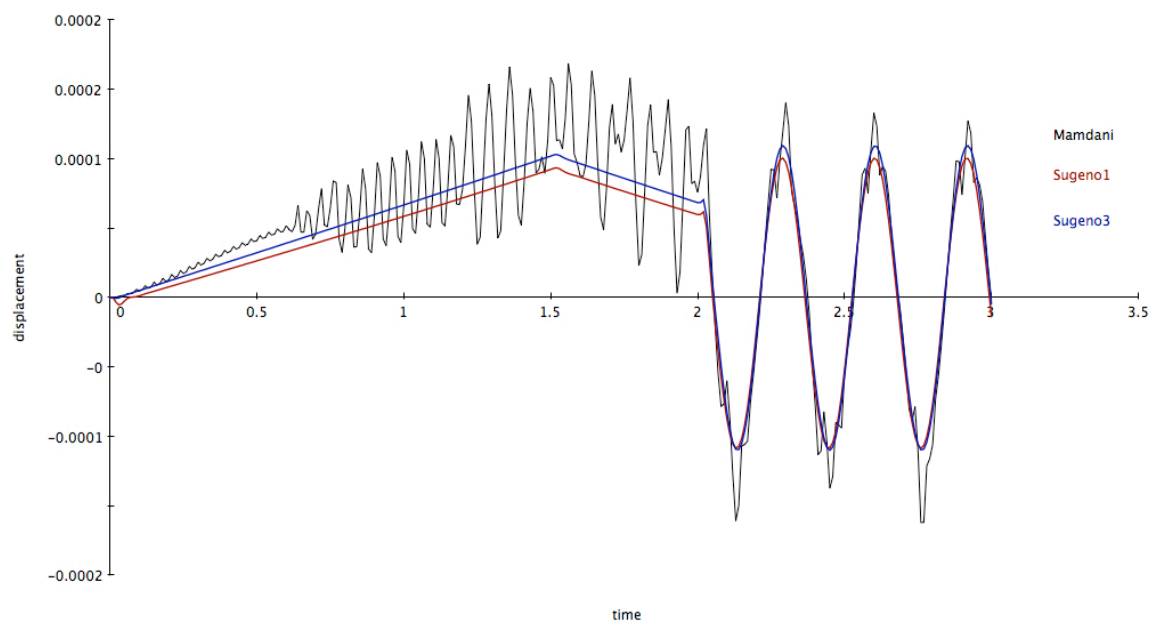
Μοντέλο Α με μικτή μορφή ράμπας: Χωρίς έλεγχο, Mamdani



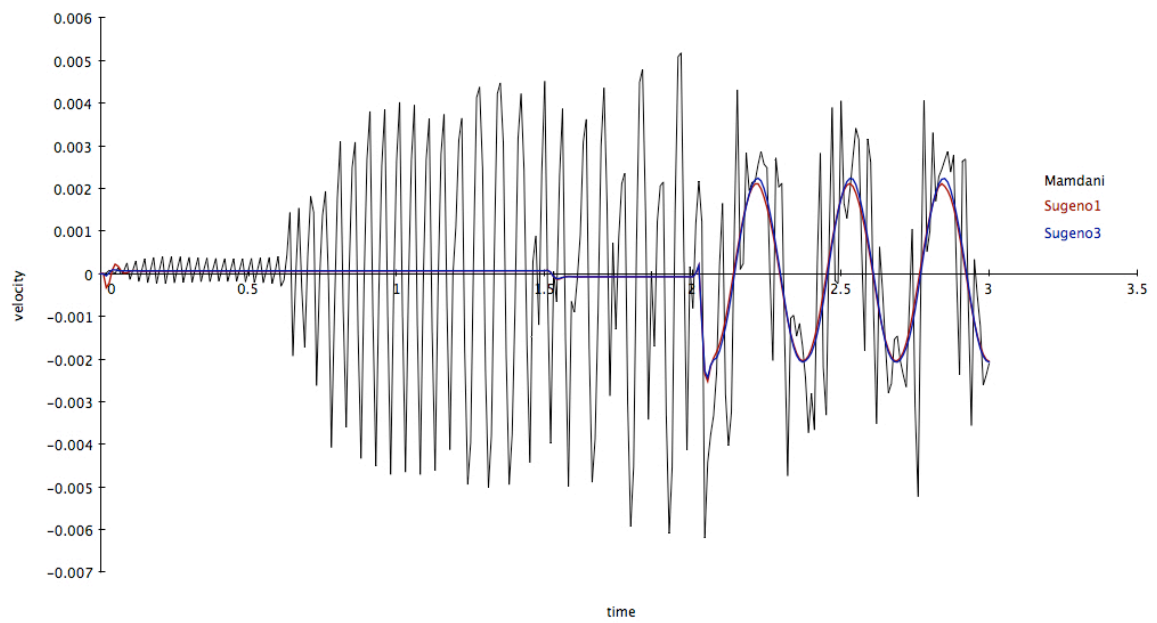
Μοντέλο A με μικτή μορφή ράμπας: Χωρίς έλεγχο, Sugeno 2



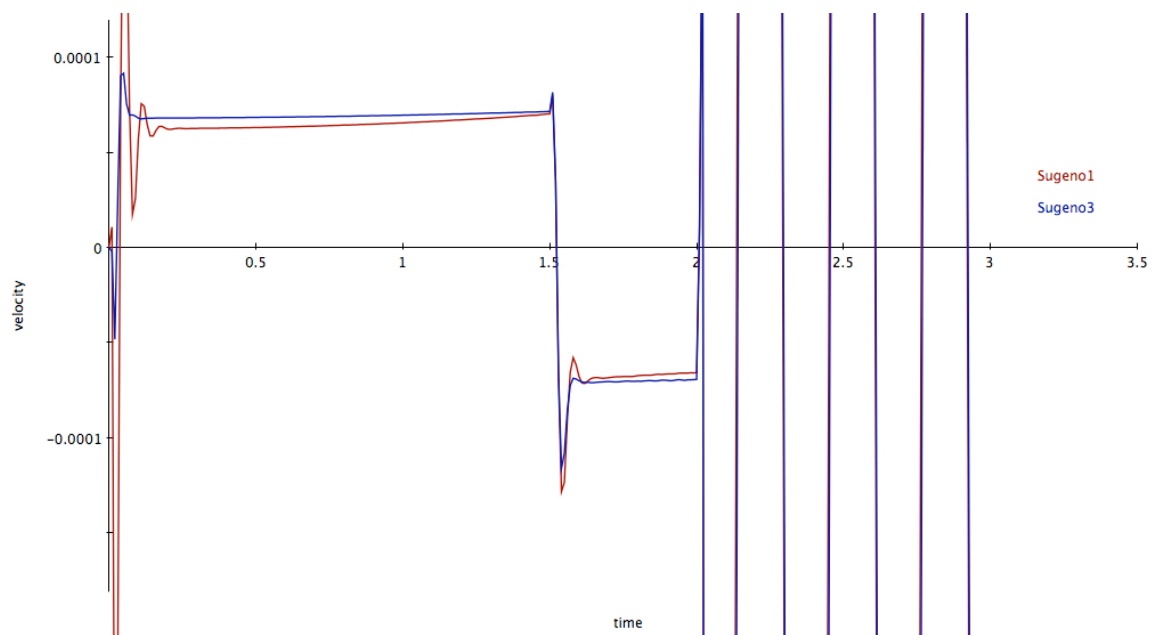
Μοντέλο A με μικτή μορφή ράμπας: Mamdani , Sugeno



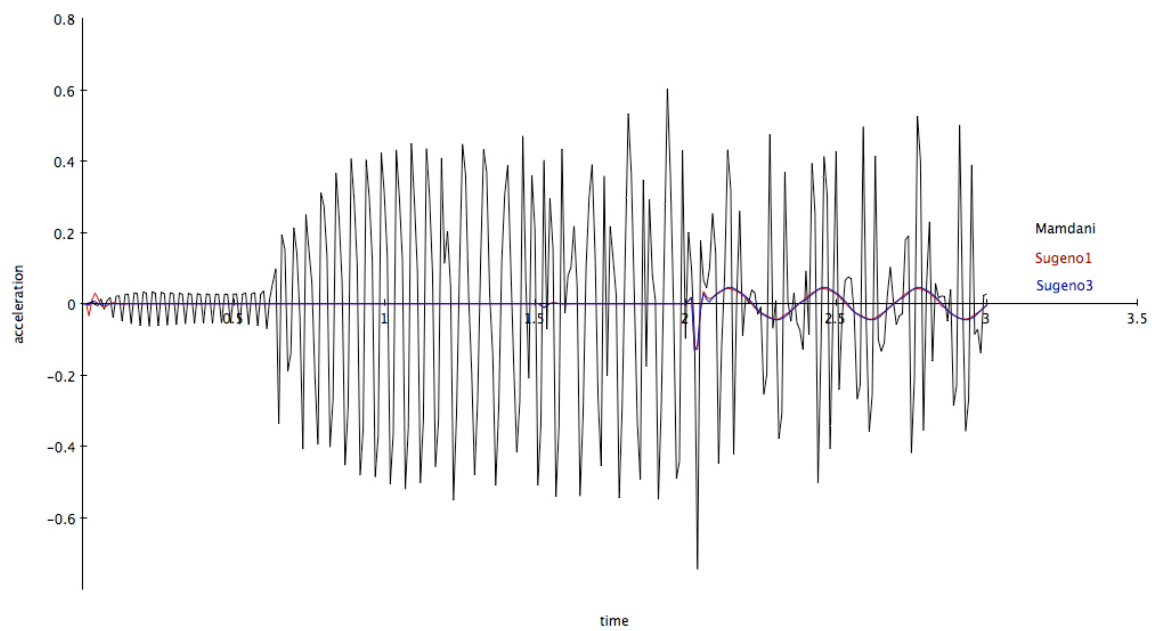
Μοντέλο A με μικτή μορφή ράμπας: Mamdani , Sugeno



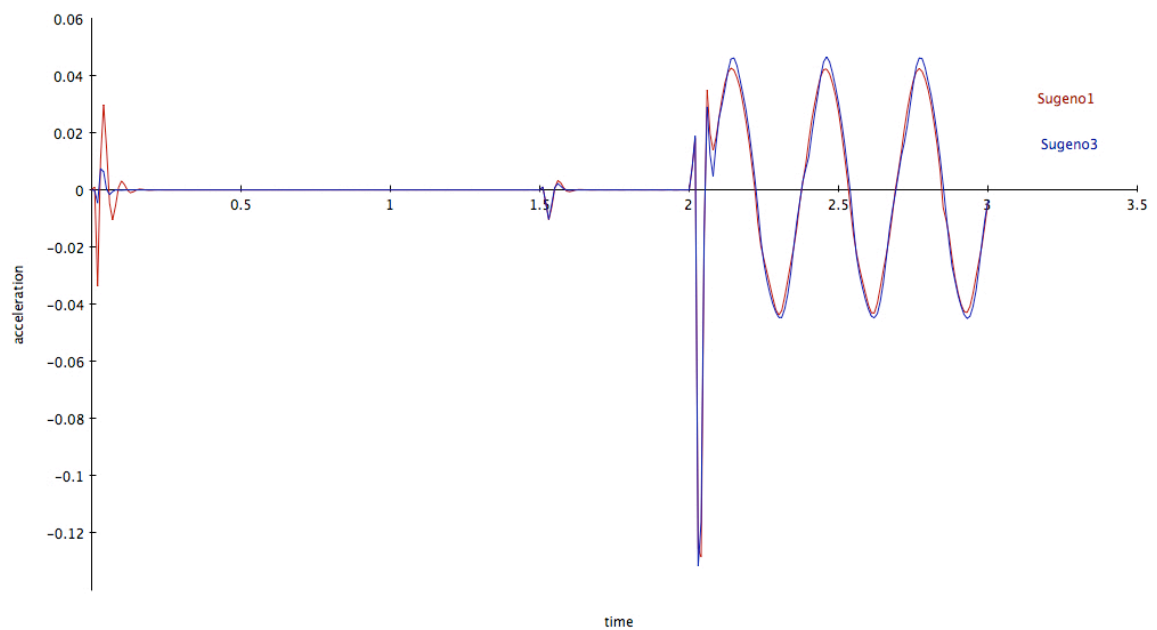
Μοντέλο A με μικτή μορφή ράμπας: Mamdani, Sugeno



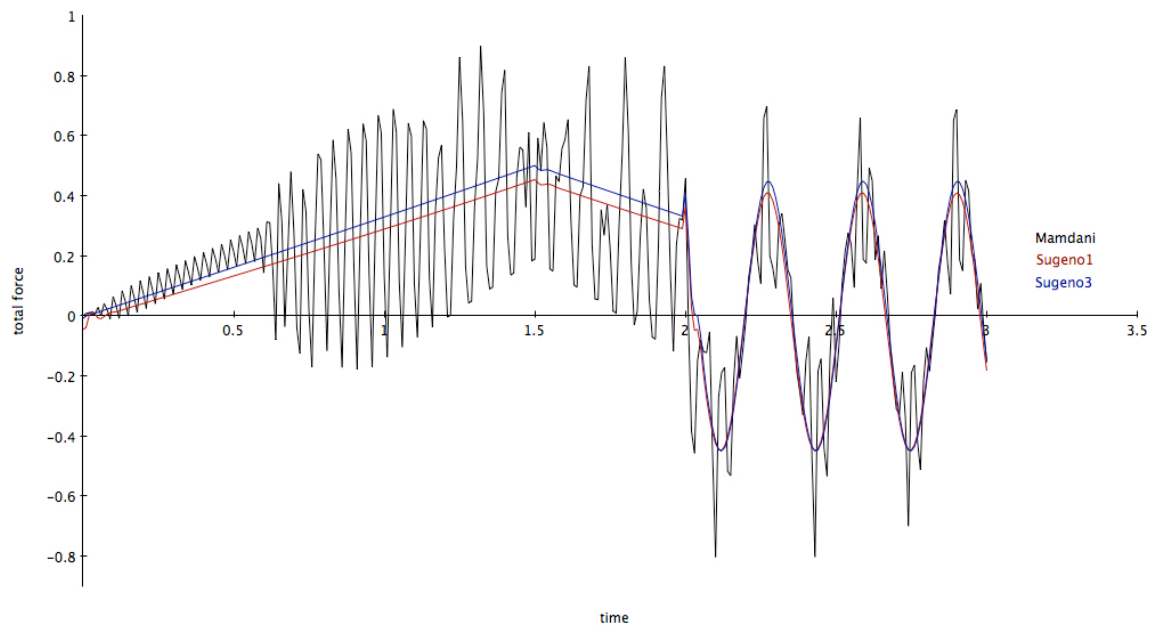
Μοντέλο Α με μικτή μορφή ράμπας: Mamdani, Sugeno



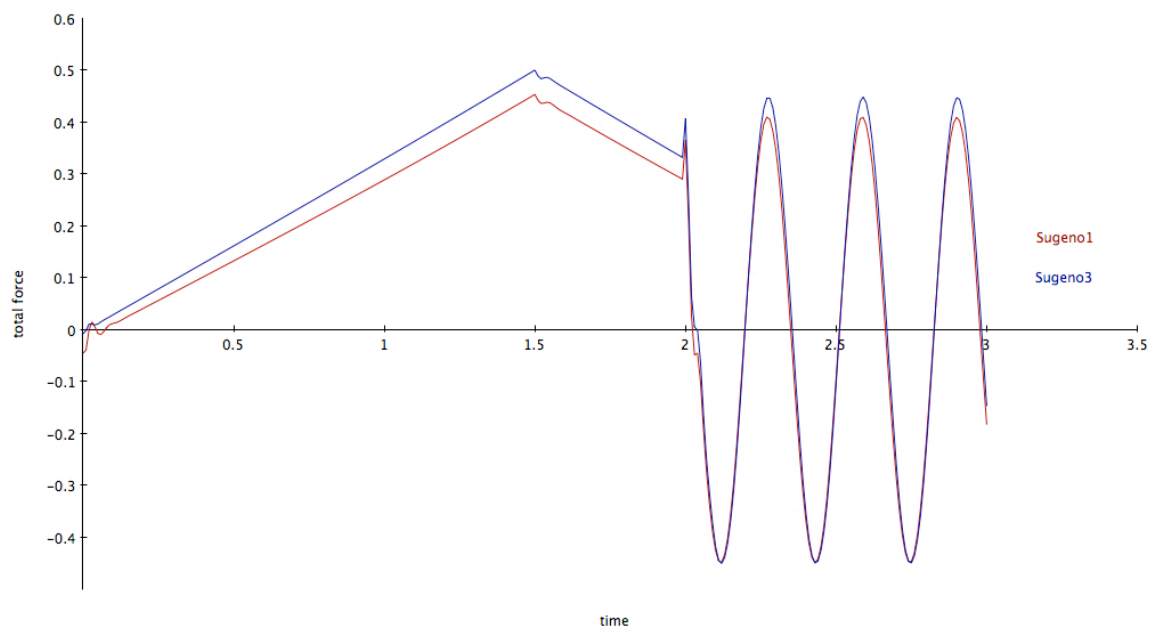
Μοντέλο Α με μικτή μορφή ράμπας: Mamdani, Sugeno



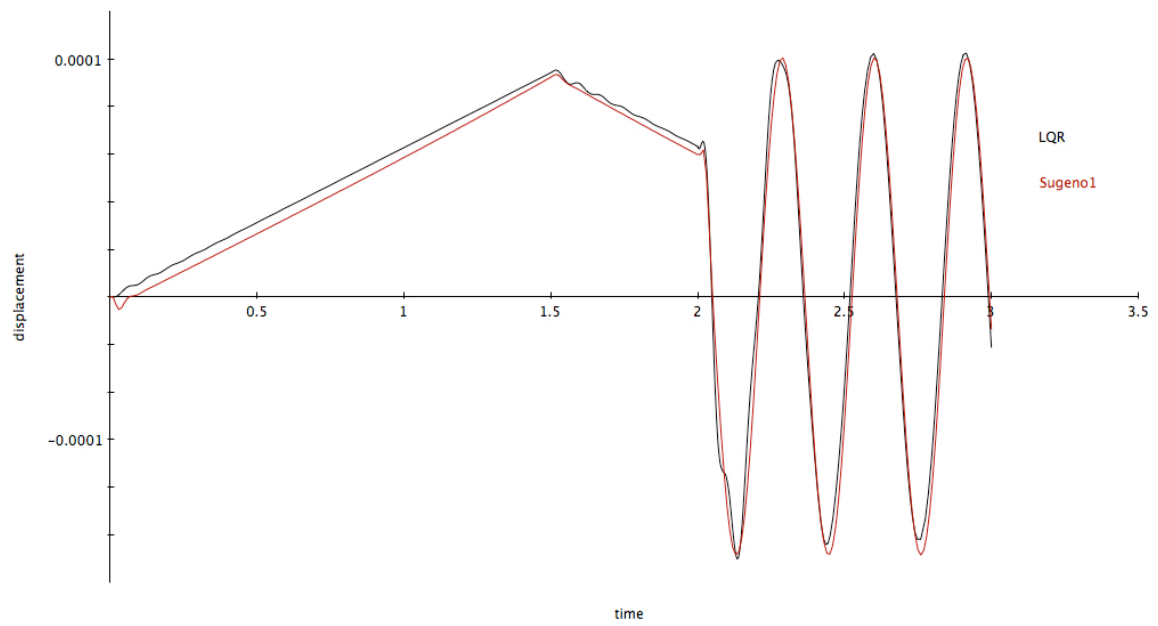
Μοντέλο Α με μικτή μορφή ράμπας: Mamdani, Sugeno



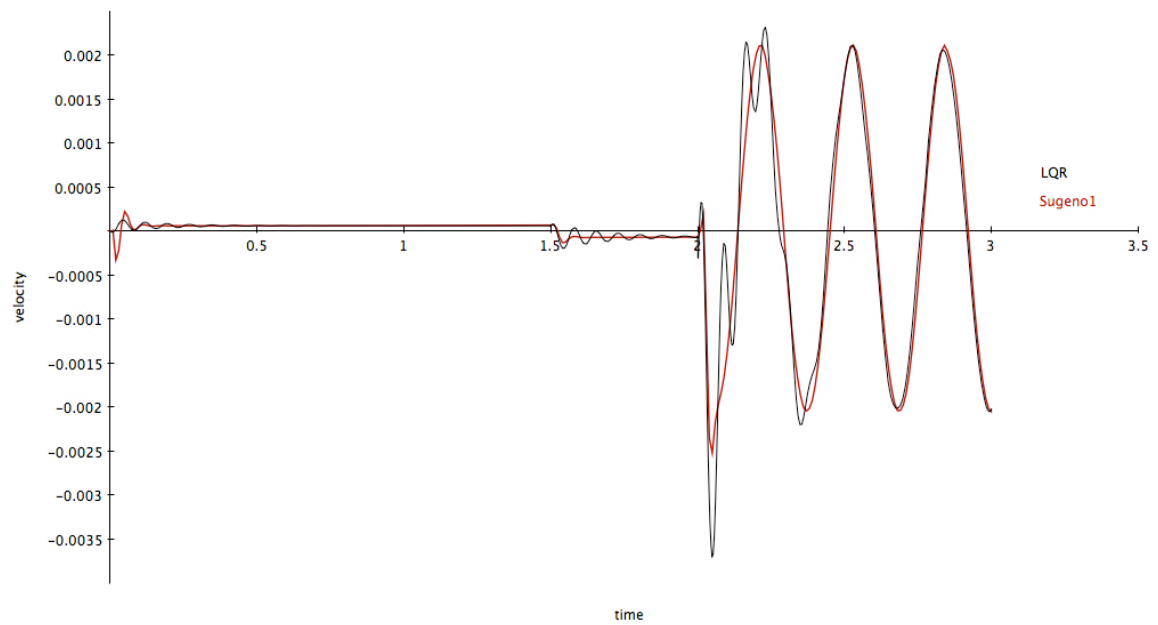
Μοντέλο Α με μικτή μορφή ράμπας: Mamdani, Sugeno



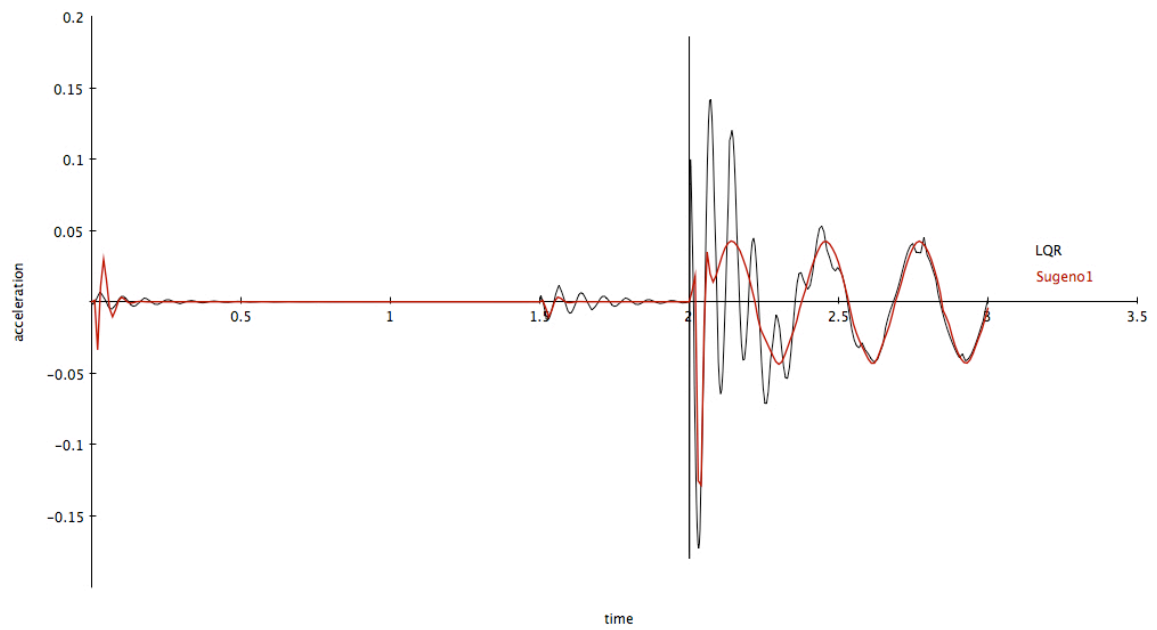
Μοντέλο A με μικτή μορφή ράμπας: Sugeno, LQR



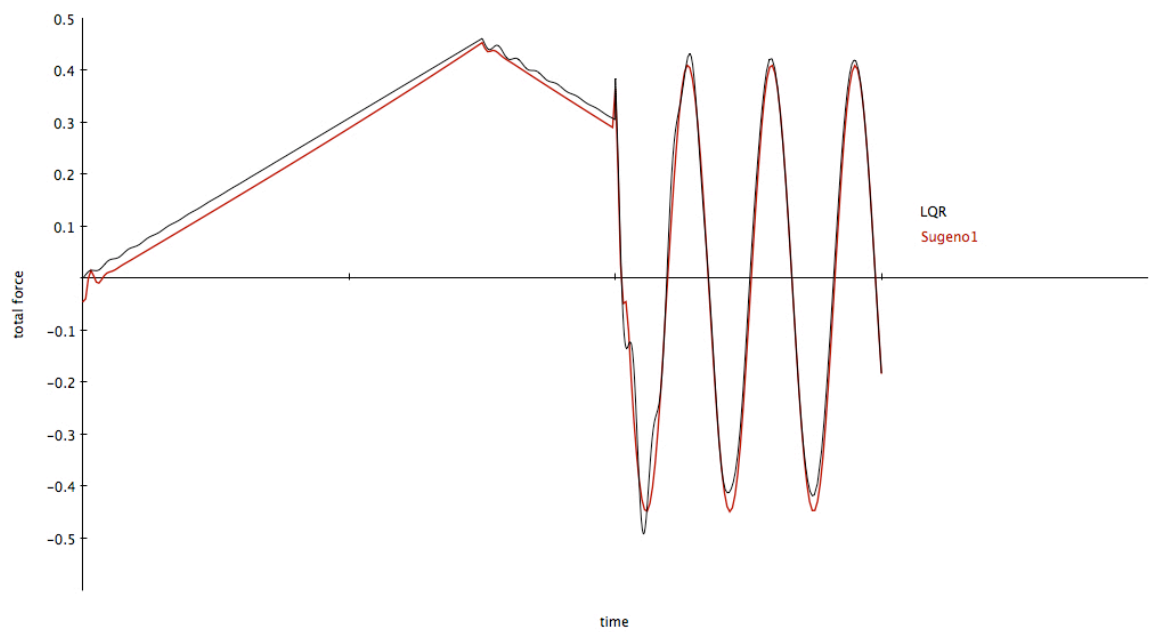
Μοντέλο A με μικτή μορφή ράμπας: Sugeno, LQR



Μοντέλο A με μικτή μορφή ράμπας: Sugeno, LQR



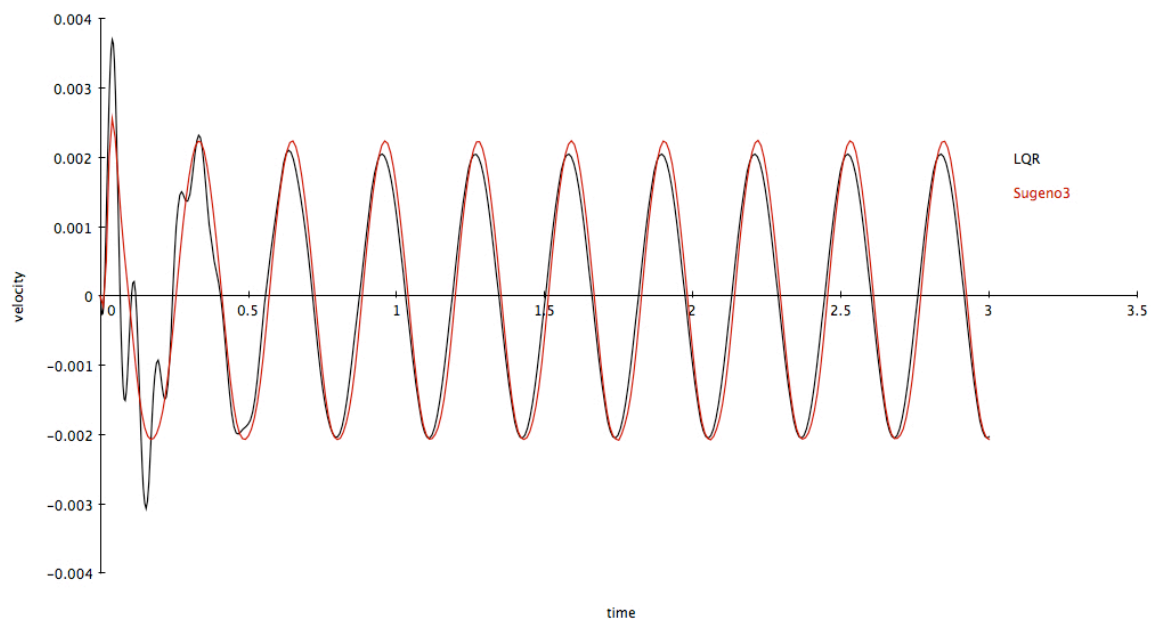
Μοντέλο A με μικτή μορφή ράμπας: Sugeno, LQR



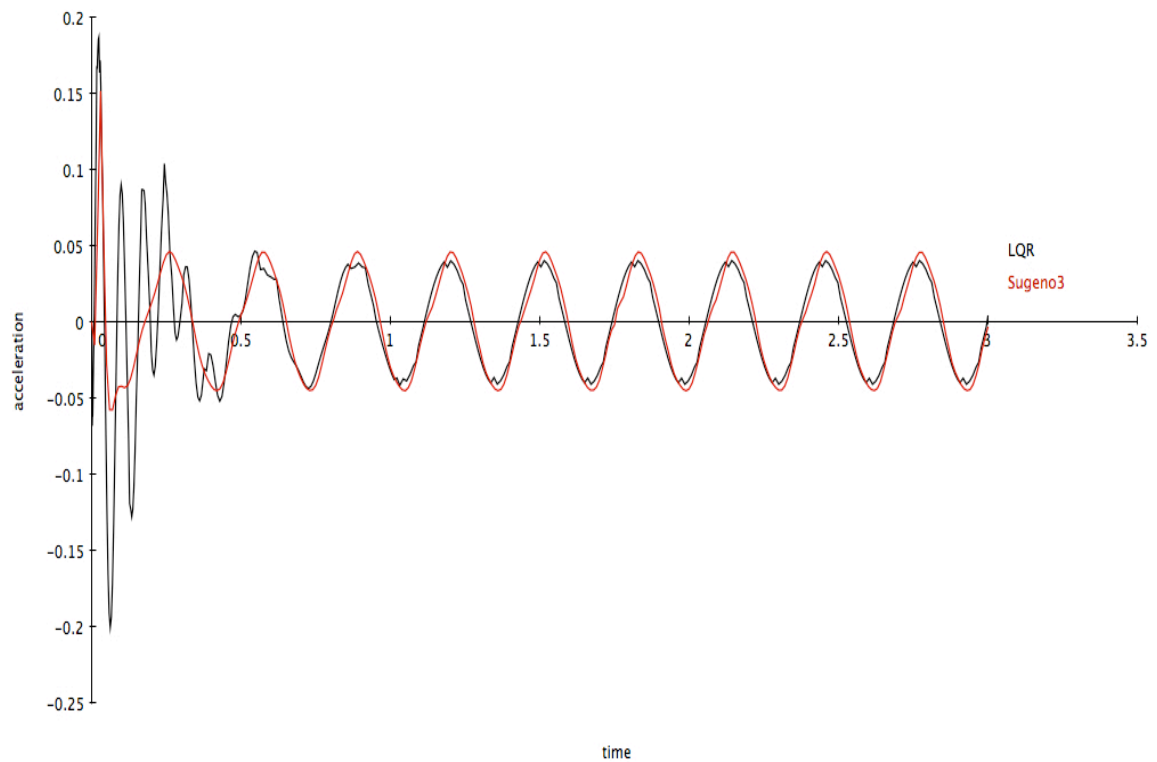
Συμπεράσματα

Στην ημιτονοειδή μορφή φόρτισης με LQR και Sugeno έχουμε ως βασικό στόχο την μείωση της ταλάντωσης της δοκού. Έτσι παρατηρώντας το διάγραμμα διαπιστώνουμε μια πιο ομαλή ταλάντωση με μείωση της τάξεως 10%.

Επίσης, ο Sugeno μετά το 0.4 δευτερόλεπτο έχει μεγαλύτερη τιμή στην ταχύτητα από τον άλλον ελεγκτή.

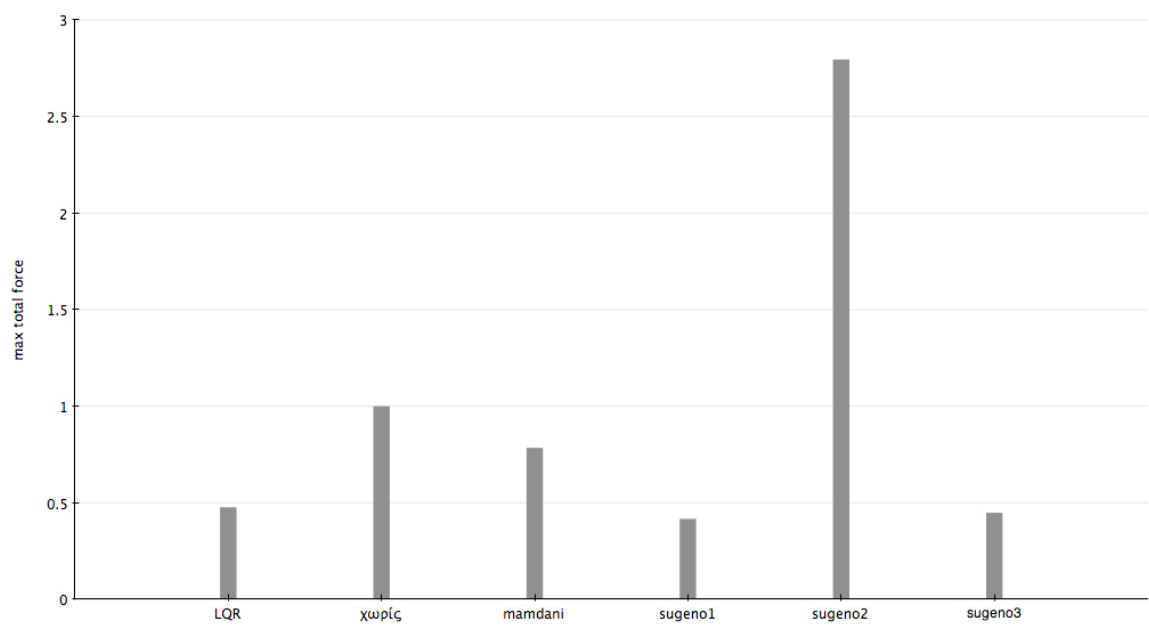
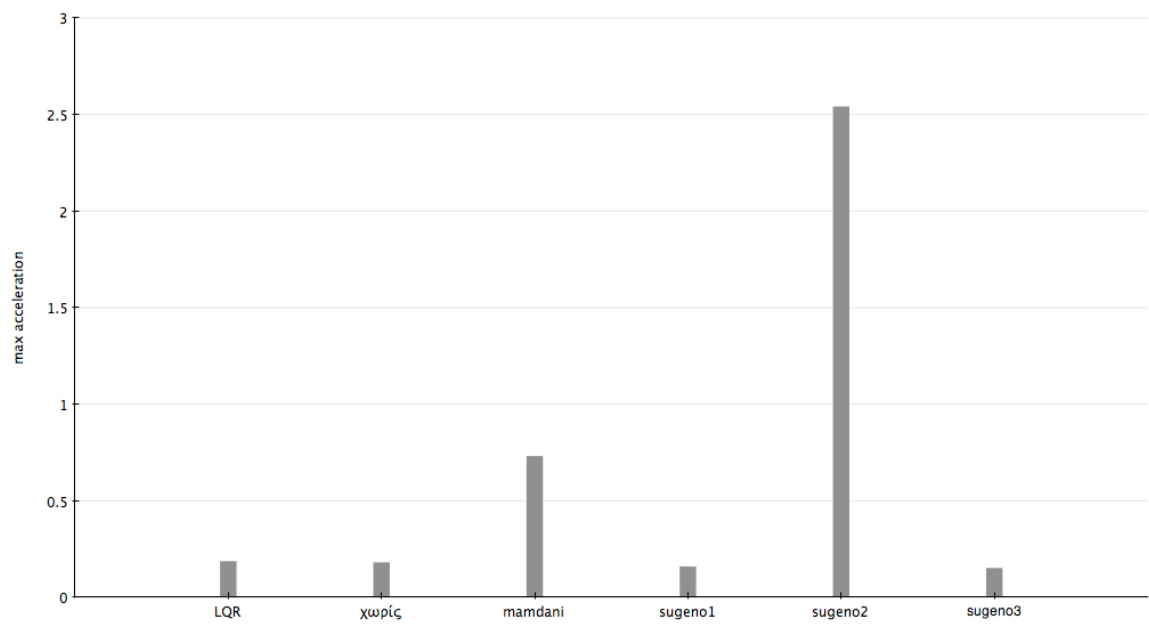


Ο Sugeno είναι πιο ομαλός ελεγκτής από τον LQR μετά το 0.4 δευτερόλεπτο σε αντίθεση με τον LQR που ομαλοποιείται μετά το 1 δευτερόλεπτο. Αυτό φαίνεται χαρακτηριστικά στο παρακάτω γράφημα:

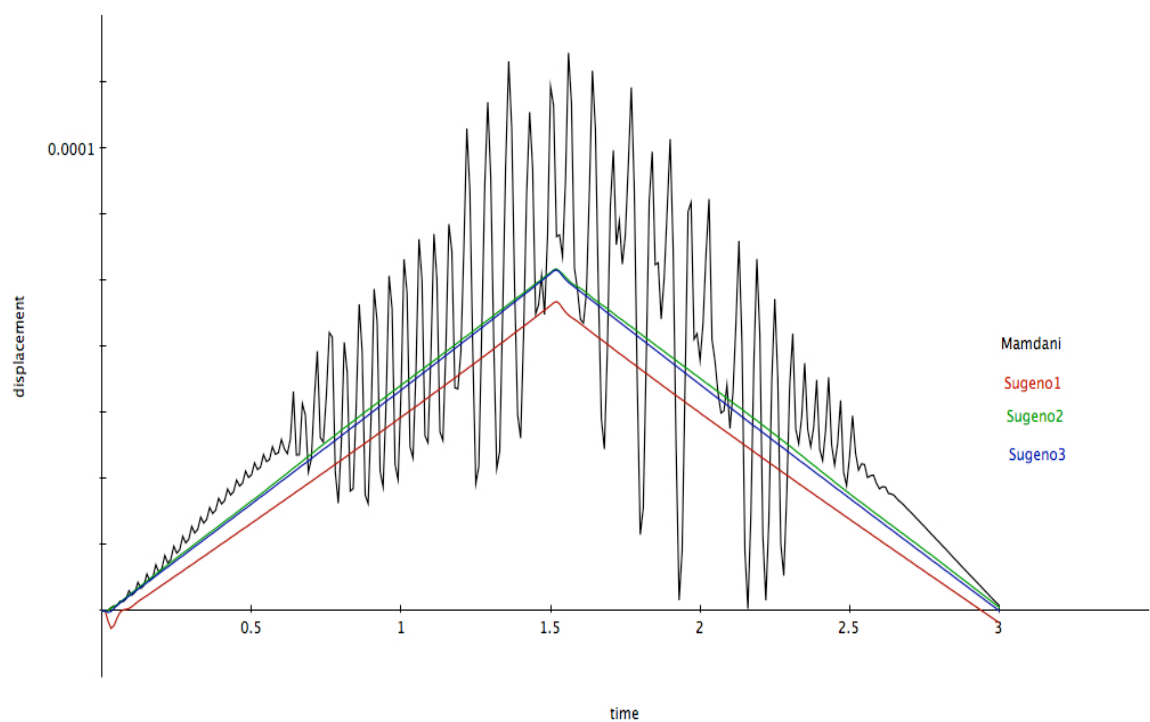


Επίσης κριτήριο για το εύρος καταπόνησης της δοκού είναι η επιτάχυνση και η εξωτερική δύναμη που εξασκείται σε αυτή.

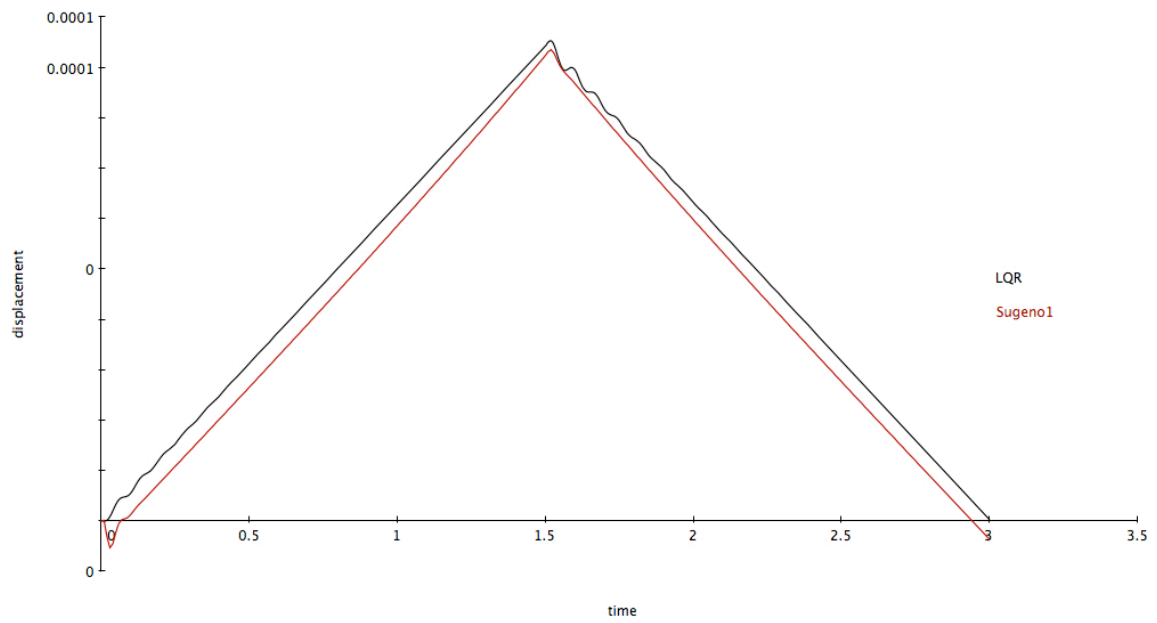
Από τα δυο παρακάτω συγκεντρωτικά γραφήματα παρατηρούμε ότι ο LQR ελεγκτής έχει την μικρότερη μέγιστη επιτάχυνση και συνολική δύναμη.



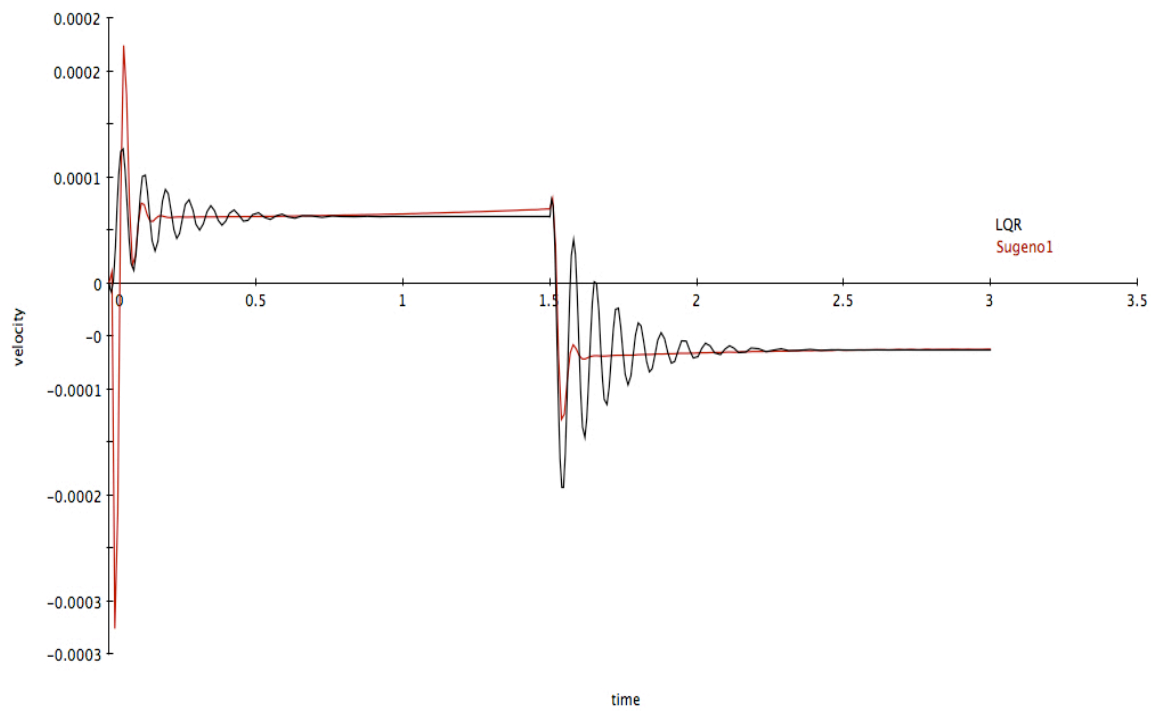
Προχωρώντας στο μοντέλο A στη μορφή φόρτισης ράμπας παρατηρούμε πως οι Sugeno ελεγκτές είναι πολύ πιο σταθεροί από οποιαδήποτε απλό ασαφή ελεγκτή. Αυτό το αντιλαμβανόμαστε εύκολα στο παρακάτω διάγραμμα.



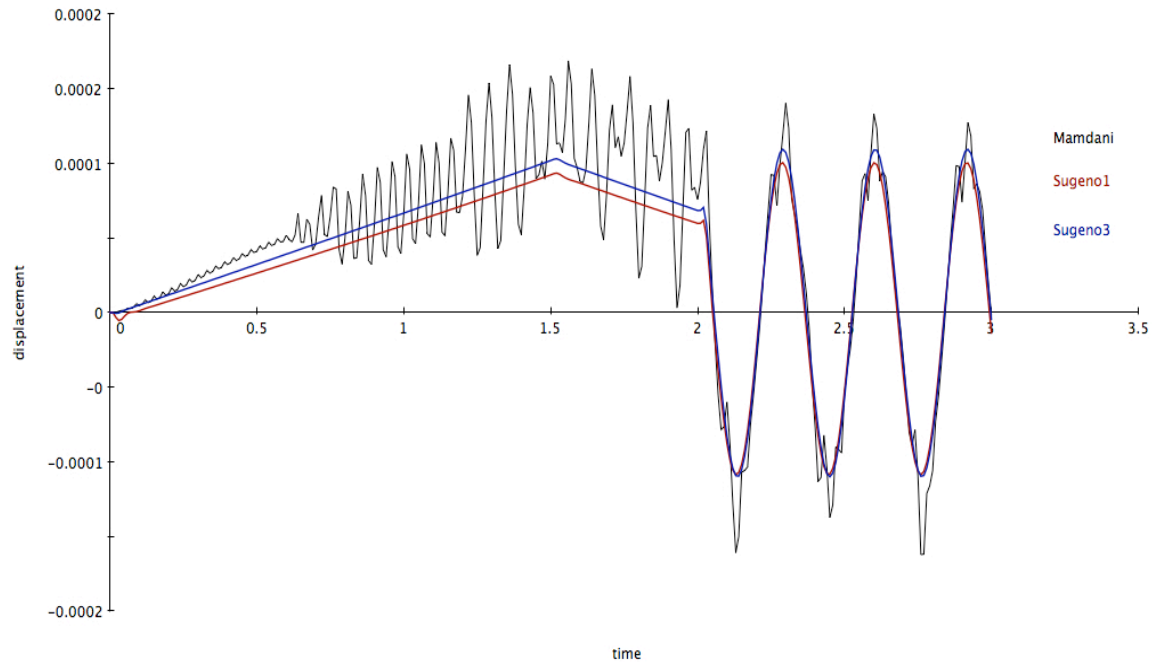
Κατόπιν της σύγκρισης του Sugeno με τον LQR παρατηρούμε πως η μετατόπιση στον δεύτερο είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με τον πρώτο στην πάροδο του χρόνου.



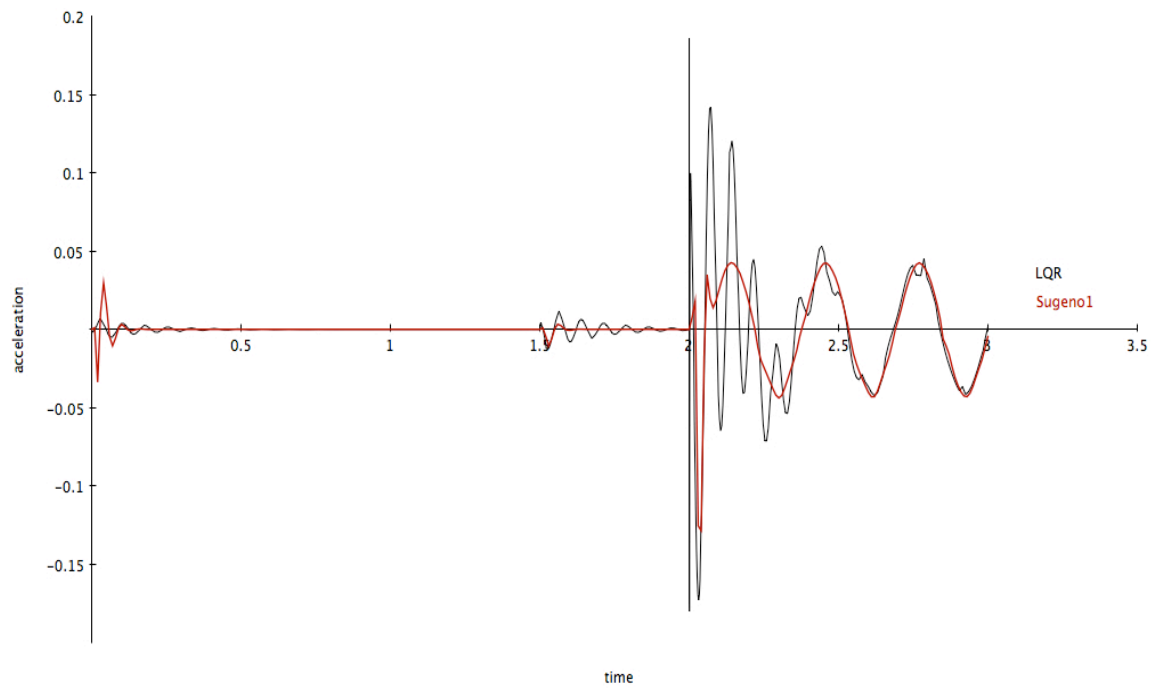
Όπως επίσης η ταλάντωση της ταχύτητας στον LQR ελεγκτή αργεί να ομαλοποιηθεί συγκριτικά με τον Sugeno ελεγκτή.



Τελειώνοντας το μοντέλο A θα μελετήσουμε τα διαγράμματα σύγκρισης που έχουν επέλθει υπό μικτή μορφή φόρτισης.



Στο από πάνω διάγραμμα παρατηρούμε πως η μετατόπιση του sugeno ελεγκτή είναι μικρότερη απο του mamdani και πιο σταθερή.Αρα ο sugeno είναι καλύτερος αφού στόχος μας είναι να μειώσουμε τη μετατόπιση



Στο τελευταίο διάγραμμα παρατηρούμε ότι ο LQR ελεγκτής είναι πιο ασταθής από τον sugeno και ειδικότερα μετά το 2^ο δευτερόλεπτο.

Επίλογος

Οι ασαφής ελεγκτές είναι κατάλληλοι για τον έλεγχο περίπλοκων συστημάτων ακόμα και για μη γραμμικές δομές προσαρμοσμένοι ασαφής ελεγκτές μπορούν να καλύψουν τις υψηλές απαιτήσεις σχετικά με την αποτελεσματικότητα και την ομαλότητα του προκύπτοντος ελεγχόμενου συστήματος. Περαιτέρω έρευνα για την πιο περίπλοκη ανάλυση τρισδιάστατων δομών καθώς και εφαρμογές άλλων μεθόδων σε νευρωνικά δίκτυα θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε τις προτεινόμενες τεχνικές.

References

- [1] H. Adeli, A. Saleh, "Control, optimization and smart structures: High performance bridges and buildings of the future", Wiley, 1999.
- [2] M. Betti, G.E. Stavroulakis, C.C. Baniotopoulos, "Active vibration suppression of smart beams", PAMM, 6(1), 799-800, 2006.
- [3] R.L. Clark, W.R. Saunders, G.P. Gibbs, "Adaptive structures: Dynamics and Control", Wiley-Interscience, 1998.
- [4] I.Z. Mar Darus, M.O. Tokhi, „Soft computing-based active vibration control of a flexible structure“, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 18, 93-114, 2007.
- [5] P. Gaudenzi, "Smart Structures: Physical behaviour, mathematical modelling and applications", Wiley, 2009.
- [6] Z.Q. Gu, S. Olutunde Oyadiji, "Application of MR damper in structural control using ANFIS method", Computers & Structures, 86, 427-436, 2008.
- [7] M. Marinaki, Y. Marinakis, G.E. Stavroulakis, "Fuzzy control optimized by PSO for vibration suppression of beams", Control Engineering Practice, 18(6), 618-629, 2010.
- [8] M. Marinaki, Y. Marinakis, G.E. Stavroulakis, "Fuzzy control optimized by a multi-objective particle swarm optimization algorithm for vibration suppression of smart structures", Structural and Multidisciplinary Optimization, 43(1), 29-42, 2011.
- [9] B. Miara, G.E. Stavroulakis, V. Valente (eds), "Topics on Mathematics for Smart Systems", European Conference, Roma 26-28 October 2006, World Scientific Publishers, 2007.
- [10] A. Moutsopoulou, G.E. Stavroulakis, A. Pouliezos, "Uncertainty modeling and robust control for smart structures", In: M. Papadrakakis, M. Fragiadakis, N.D. Lagaros (eds), Computational Methods in Earthquake Engineering, 439-464, Springer, 2010.
- [11] A. Moutsopoulou, G.E. Stavroulakis, A. Pouliezos, "Robust control in smart structures using the Hinfinity criterion and m-analysis", In: B.H.V. Topping, et al. (eds), Proceedings of the Tenth International Conference

on Computational Structures Technology, Paper 208, Civil-Comp Press, Stirlingshire, U.K., 2010.

- [12] R.E. Precup, H. Hellendoorn, "A survey on industrial applications of fuzzy control", *Computers in Industry*, 62, 213-226, 2011.
- [13] A. Preumont, "Mechatronics: Dynamics of electromechanical and piezoelectric systems", Springer, 2011.
- [14] G.K. Tairidis, G.E. Stavroulakis, D.G. Marinova, E.C. Zacharenakis, "Classical and soft robust active control of smart beams", In: M. Papadrakakis et al. eds, "Computational Structural Dynamics and Earthquake Engineering", Ch. 11, 165-178, CRC Press, Balkema and Taylor & Francis, London, 2009.
- [15] R. Vepa, "Dynamics of smart structures", Wiley, 2010.