

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών



Εργασία στο Μάθημα Ασαφή Συστήματα

Σχεδίαση Ασαφούς Ελεγκτή

Τραπέζι Εργασίας (T5)

Εργασία 1

Όνομα: Στέφανος Γανωτάκης

AEM: 7664

Email: sganotak@auth.gr

ΙΟΥΝΙΟΣ 2019

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	3
1.1	Αντικείμενο Εργασίας	3
1.2	Scripts Εργασίας	3
2	Σχεδίαση Γραμμικού Ελεγκτή	4
3	Σενάριο 1: Σχεδίαση Ασαφούς Ελεγκτή	5
3.1	Σχεδίαση του Ελεγκτή και Αποκρίσεις	5
3.2	Λειτουργία της βάσης του ελεγκτή και συμπεράσματα	7
3.3	Ερμηνεία του νόμου ελέγχου του FLC	8
4	Σενάριο 2	9

1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο Εργασίας

Στην εργασία αυτή παρουσιάσθηκε ένα πρόβλημα αυτομάτου ελέγχου σχετικά με τη σχεδίαση ενός μηχανισμού τραπεζιού υψηλής ακρίβειας. Αρχικά σχεδιάσθηκε ένας γραμμικός ελεγκτής, ο οποίος έπρεπε να πληροί τις κάποιες προδιαγραφές. Στη συνέχεια, σύμφωνα με κάποιους ασαφείς κανόνες που δόθηκαν διαμορφώθηκε μια ασαφής βάση κανόνων και σχεδιάσθηκε ένας ασαφής ελεγκτής ώστε να επιτευχθεί καλύτερη απόδοση από τον γραμμικό. Τέλος, με δυο πειράματα εξετάσθηκε η ικανότητα του ασαφούς ελεγκτή να παρακολουθεί εισόδους ράμπας

1.2 Scripts Εργασίας

Για την εκπόνηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω scripts σε Matlab και μοντέλα στο simulink

Linear_controller.m: Script για τη δημιουργία γραμμικού PI ελεγκτή

Control.slx: Μοντέλο στο Simulink για την ρύθμιση των κερδών του ασαφούς ελεγκτή

Scenario2.slx: Μοντέλο στο Simulink για το Σενάριο 2

2 Σχεδίαση Γραμμικού Ελεγκτή

Έχουμε έναν μηχανισμό τραπεζιού υψηλής ακρίβειας ο οποίος περιγράφεται από την παρακάτω συνάρτηση μεταφοράς σύμφωνα με την εκφώνηση

$$G_p(s) = \frac{25}{(s + 0.1)(s + 10)}$$

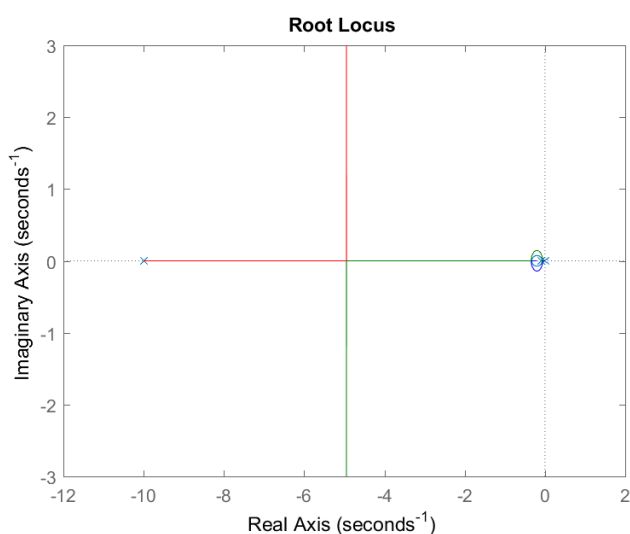
τον οποίο θέλουμε να ελέγξουμε με τη χρήση ενός γραμμικού PI ελεγκτή, ώστε να τηρούνται κάποιες προδιαγραφές. Πιο συγκεκριμένα θέλουμε χρόνο ανόδου μικρότερο από 0.6 δευτερόλεπτα και να μην εμφανίζονται υπερυψώσεις πάνω από 8%. Ο PI ελεγκτής που θα χρησιμοποιηθεί λοιπόν θα είναι της μορφής.

$$G_c(s) = \frac{K_p(s + c)}{s}$$

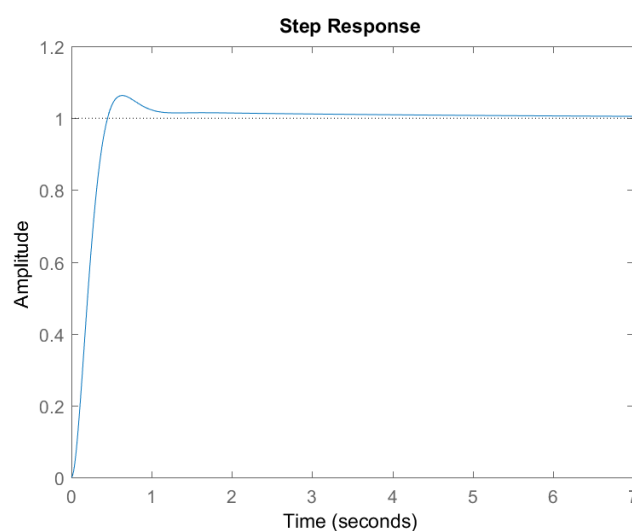
δίνοντάς μας έτσι τελική συνάρτηση μεταφοράς ανοιχτού βρόχου:

$$G_{ol}(s) = \frac{25K_p(s + c)}{s(s + 0.1)(s + 10)}$$

Τοποθετούμε το μηδενικό σε μια θέση κοντά στον κυρίαρχο πόλο δηλαδή το -0.1, αρά επιλέγουμε $c=0.2$. Ο γεωμετρικός τόπος ριζών για το σύστημα ανοιχτού βρόχου παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα. Από τον ΓΤΡ, ρυθμίζουμε το κέρδος μέχρις ότου να πετύχουμε τις επιθυμητές προδιαγραφές. Τελικά καταλήγουμε σε αναλογικό κέρδος $K_p = 2$ και εφόσον ισχύει $c = \frac{K_1}{K_p} = 0.2$ θα έχουμε ολοκληρωτικό κέρδος $K_1 = 0.4$. Εντέλει με τον γραμμικό ελεγκτή πετυχαίνουμε χρόνο ανόδου $t_r = 296$ ms και υπερύψωση 6.32%, άρα είμαστε εντός προδιαγραφών. Η απόκριση για το σύστημα κλειστού βρόχου απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα



Εικόνα 2: Γεωμετρικός τόπος ριζών συστήματος ανοιχτού βρόχου



Εικόνα 1: Βηματική απόκριση συστήματος κλειστού βρόχου

3 Σενάριο 1: Σχεδίαση Ασαφούς Ελεγκτή

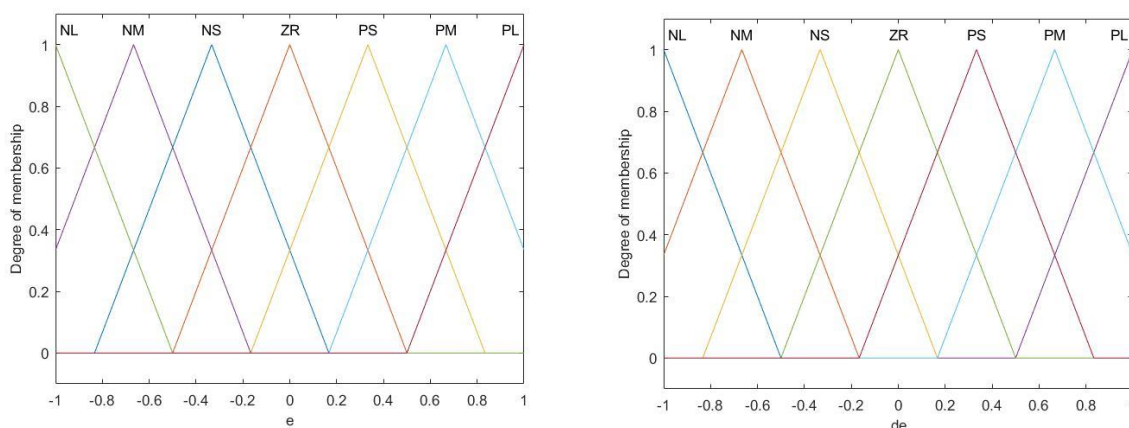
3.1 Σχεδίαση του Ελεγκτή και Αποκρίσεις

Μπορούμε να αντικαταστήσουμε τον γραμμικό PI ελεγκτή με έναν αντίστοιχο ασαφή PI ελεγκτή. Γνωρίζοντας ότι η είσοδος αναφοράς $r \in [0,50]$, κανονικοποιούμε το σφάλμα e και έχουμε $\tilde{e} = \frac{e}{50}$ καθώς και $\Delta\tilde{e} = \frac{\Delta e}{50}$. Η χρονική σταθερά ολοκλήρωσης είναι $T_i = \frac{K_p}{K_1} = \frac{1}{0.2} = 5$. Επιλέγουμε $K_e = 1$, συνεπώς για το αρχικό κέρδος K έχουμε $K = \frac{K_p}{F\{aK_e\}} = \frac{2}{F\{5*1\}} = \frac{2}{F\{5*1\}} = \frac{2}{1} = 2$. Εφόσον χρησιμοποιούμε PI ελεγκτή, το ασαφές σύστημα συμπερασμού έχει δύο μεταβλητές ως είσοδο, E, \dot{E} και μία μεταβλητή εξόδου \dot{U} . Οι μεταβλητές αυτές ορίζονται στο διάστημα $[-1, 1]$ και ο διαμερισμός του χώρου τους δίνεται στο πίνακα παρακάτω. Έχοντας διαμερίσει τις μεταβλητές σε λεκτικές τιμές, μπορούμε να εξαγάγουμε την βάση κανόνων, η οποία φαίνεται αναλυτικά στον πίνακα:

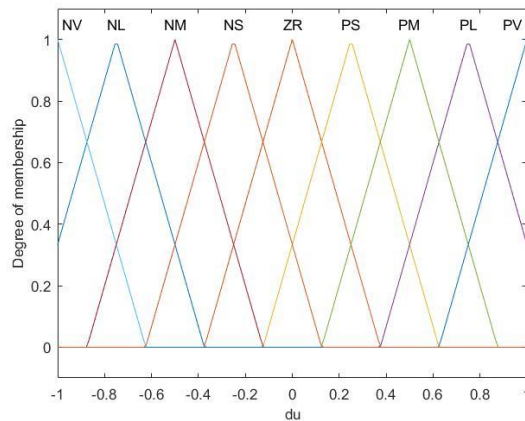
$E \backslash \dot{E}$	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL
PL	ZR	PS	PM	PL	PV	PV	PV
PM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV	PV
PS	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV
ZR	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL
NS	NV	NL	NM	NS	ZR	PS	PM
NM	NV	NV	NL	NM	NS	ZR	PS
NL	NV	NV	NV	NL	NM	NS	ZR

Πίνακας 1: Βάση Κανόνων Ασαφούς Ελεγκτή

Παρακάτω βλέπουμε τις συναρτήσεις συμμετοχής για τις εισόδους E, \dot{E} και την έξοδο όπως προέκυψαν από το Fuzzy Logic Toolbox του Matlab

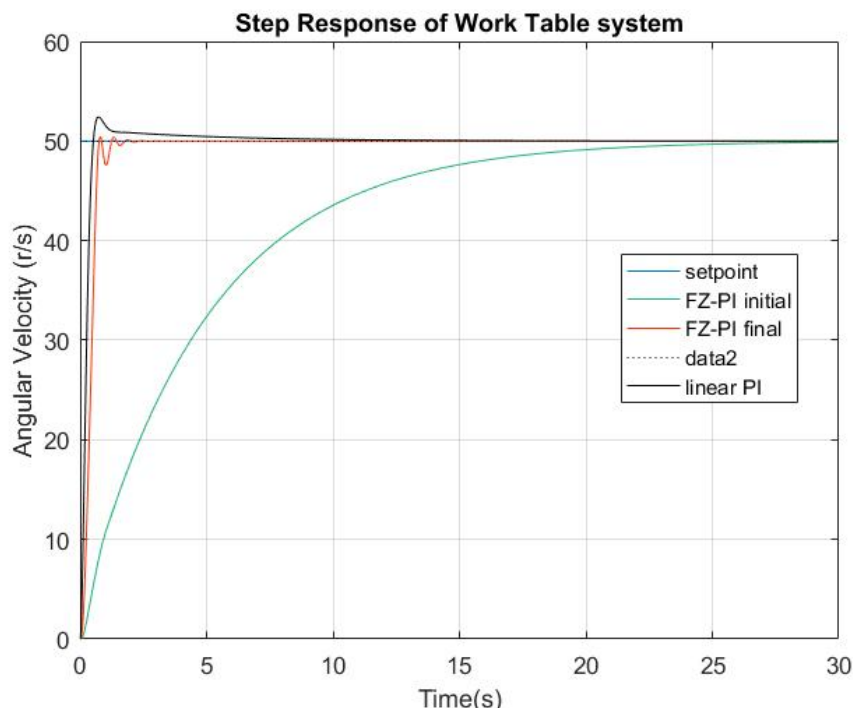


Εικόνα 3: Συνάρτησεις συμμετοχής εισόδου



Εικόνα 4: Συναρτήσεις συμμετοχής εξόδου

Συγκρίνοντας τις αποκρίσεις του γραμμικού PI και του FZ-PI με τις αρχικές τιμές των κερδών κλιμακοποίησης που επιλέξαμε, παρατηρούμε ότι ενώ πετυχαίνουμε σχεδόν μηδενική υπερύψωση, έχουμε αρκετά πιο αργή απόκριση με χρόνο ανόδου περίπου 10.6 s. Για αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να ρυθμίσουμε τα κέρδη ώστε να πετύχουμε καλύτερη απόδοση του ασαφούς ελεγκτή. Αυξάνουμε την τιμή των K_e και K σε 2.5 και 12, ενώ μειώνουμε την τιμή του a σε 0.3. Με τις ρυθμίσεις που κάνουμε διατηρούμε την σχεδόν μηδενική υπερύψωση που πετύχαμε προηγουμένως και έχουμε χρόνο ανόδου περίπου 470 ms, αρά εντέλει ο ασαφής ελεγκτής έχει αρκετά καλύτερη απόδοση από τον γραμμικό. Οι αρχικές και τελικές τιμές των προδιαγραφών που πετυχαίνουμε για τον γραμμικό και τον ασαφή ελεγκτή πριν και μετά την ρύθμιση του παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες και διαγράμματα

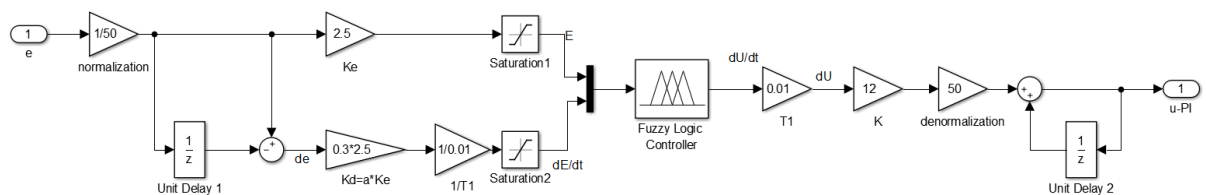


Εικόνα 5: Σύγκριση Βηματικών αποκρίσεων γραμμικού και ασαφούς ελεγκτή

	K_p	K_1	K_e	a	K	Χρόνος ανόδου	Ποσοστό Υπερύψωσης
PI	2	0.4	-	-	-	0.296 s	6.32%
FZ-PI αρχικά	-	-	1	5	2	10.57 s	0.5%
FZ-PI τελικά	-	-	2.5	0.3	12	0.469 s	0.5%

Πίνακας 2: Σύγκριση χαρακτηριστικών αποκρίσεων γραμμικού PI και FZ-PI

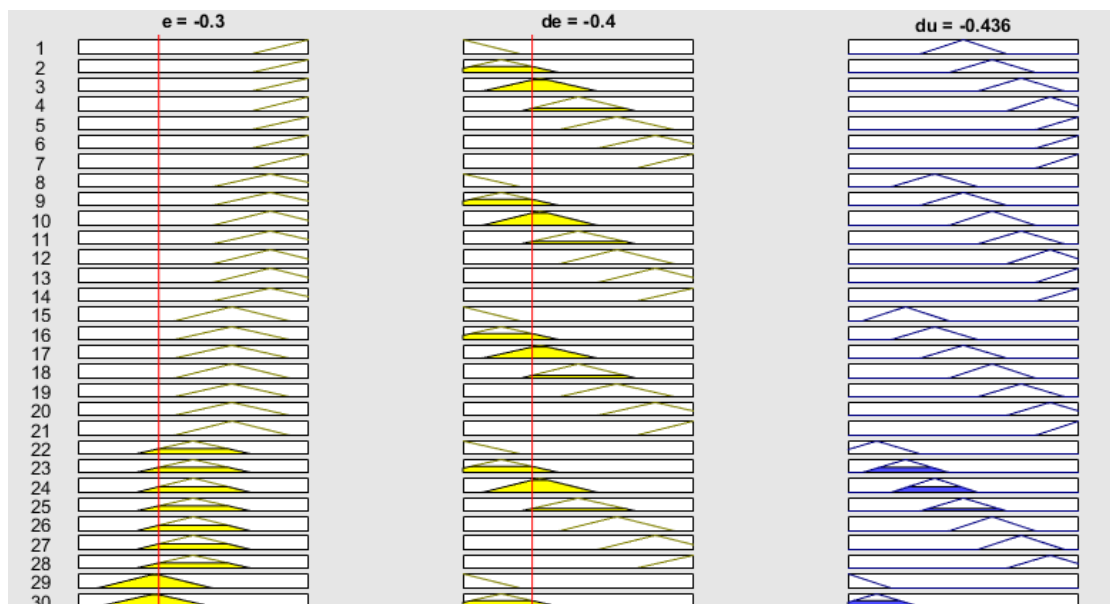
Το μοντέλο του ασαφούς ελεγκτή PI μετά την ρύθμιση των κερδών όπως σχεδιάστηκε στο Simulink παρουσιάζεται παρακάτω

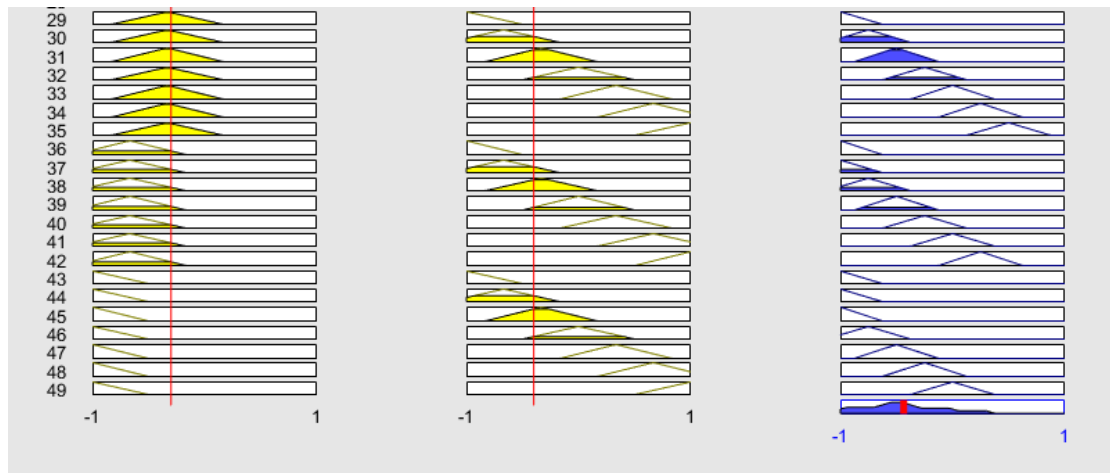


Εικόνα 6: Μοντέλο FZ-PI ελεγκτή

3.2 Λειτουργία της βάσης του ελεγκτή και συμπεράσματα

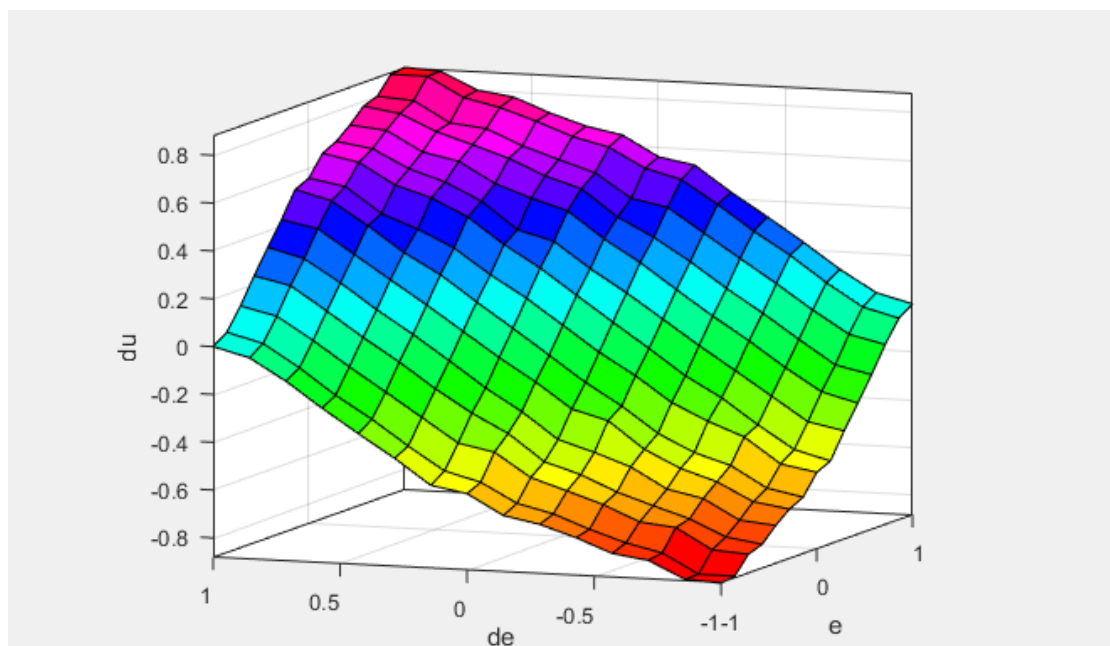
Θεωρούμε ότι έχουμε διέγερση e is NS και de is NS η οποία μεταφράζεται ως το ασαφές singleton $(-0.3, -0.4)$. Σύμφωνα με τον πίνακα η έξοδος είναι NM και επειδή κάθε φορά ενεργοποιείται ένας κανόνας θα έχουμε $DOF=1$ και $\Delta U=-0.436$. Το σύνολο των κανόνων που διεγείρονται και των συμπερασμάτων που προκύπτουν παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω





3.3 Ερμηνεία του νόμου ελέγχου του FLC

Παρακάτω απεικονίζεται η επιφάνεια με τους κανόνες όπως προέκυψε από το fuzzy logic toolbox



Εικόνα 7: Επιφάνεια εισόδου-εξόδου FLC

4 Σενάριο 2

Στο σενάριο αυτό θέλουμε να πιάσουμε την μεταβολή στην είσοδο αναφοράς με μηδενική διαταραχή. Μάλιστα θέλουμε να διατηρήσουμε την μηδενική υπερύψωση(ακόμα και στην ράμπα). Όντως βλέπουμε ότι ο ασαφής ελεγκτής ανταποκρίνεται το ίδιο καλά με τον γραμμικό και τηρεί πάντα το μηδενικό σφάλμα θέσης και στις δυο περιπτώσεις

