



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών  
Ηλεκτρονικών Υπολογιστών

Εργασία 1: «Τραπέζι Εργασίας 21»  
Υπολογιστική Νοημοσύνη

Διδάσκων: Θεοχάρης Ιωάννης

Γιάννης Τατσόγλου, 9568

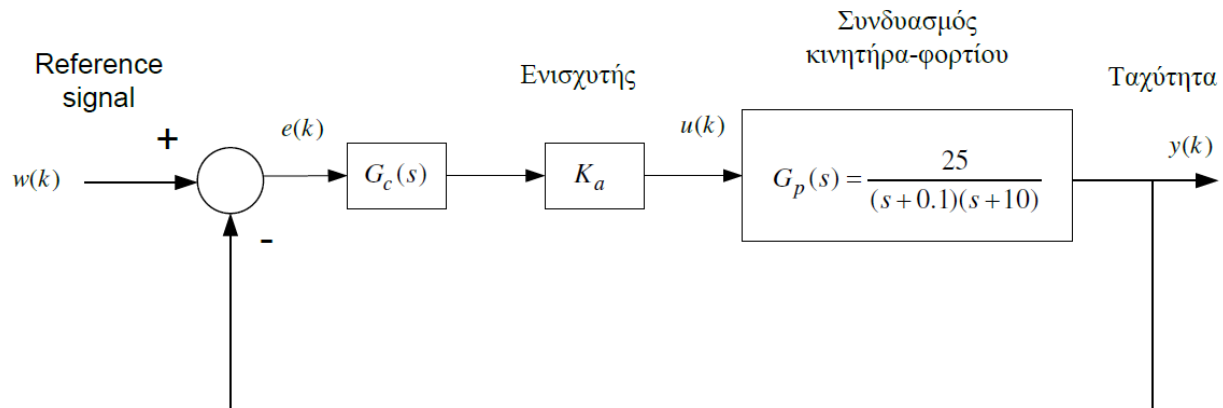
Σεπτέμβριος, 2023

## Περιεχόμενα

Ελεγχόμενο Σύστημα .....	3
Σχεδίαση Γραμμικού Ελεγκτή .....	3
Σχεδίαση Ασαφούς Ελεγκτή .....	5
Λειτουργία της Βάσης του Ασαφούς Ελεγκτή και Συμπεράσματα .....	7
Ερμηνεία του Νόμου Ελέγχου του FLC.....	8
Σενάριο Δεύτερο .....	9
Κώδικας.....	10

## Ελεγχόμενο Σύστημα

Το σύστημα προς έλεγχο είναι ο μηχανισμός ενός τραπεζιού εργασίας υψηλής ακρίβειας, και ενός DC κινητήρα απευθείας οδήγησης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



## Σχεδίαση Γραμμικού Ελεγκτή

Για τον έλεγχο επιλέγουμε ένα γραμμικό PI ελεγκτή ώστε να επιτύχουμε μηδενικό σφάλμα στην μόνιμη κατάσταση. Ο ελεγκτής θα είναι της μορφής

$$G_c(s) = Kp + \frac{Kl}{s} = \frac{Kp(s + c)}{s}, \quad c = \frac{Kl}{Kp}$$

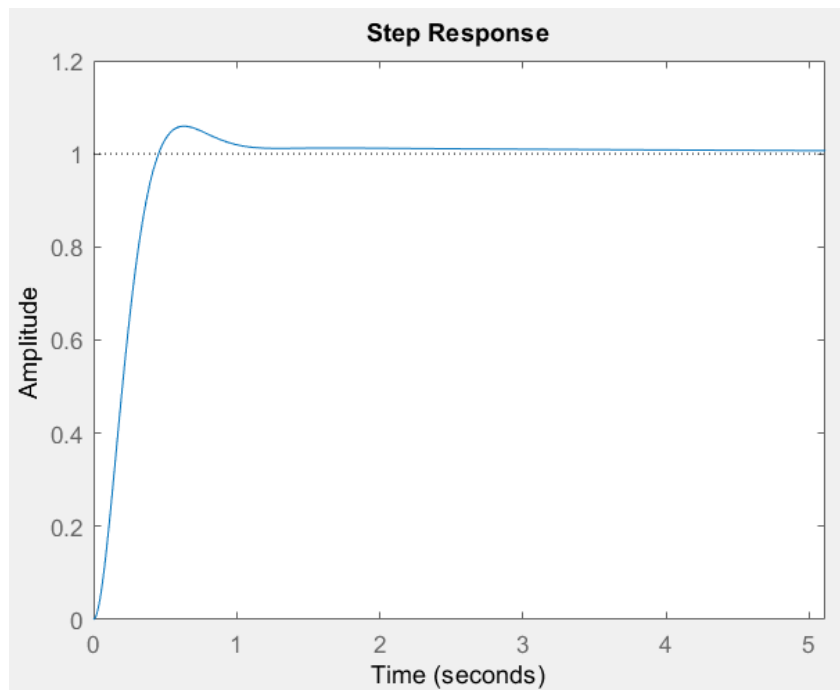
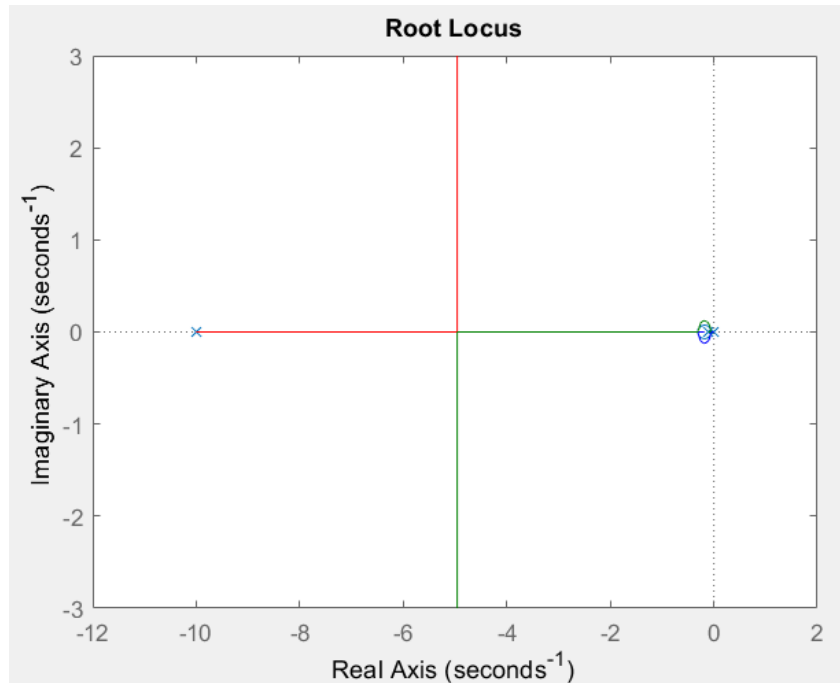
Οι προδιαγραφές που πρέπει να πληρούνται είναι:

1. Υπερύψωση για βηματική είσοδο μικρότερη από 8%.
2. Χρόνος ανόδου μικρότερος από 0.6 δευτερόλεπτα.

Χρησιμοποιώντας το control toolbox του MATLAB και μέσα από trial-error διαδικασία κατέληξα στις εξής παραμέτρους για τον PI ελεγκτή.

- $c = 0.18$
- $K = 50$
- $Kp = \frac{K}{25} = \frac{50}{25} = 2$
- $Ki = c * Kp = 0.18 * 2 = 0.36$

Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται ο γεωμετρικός τόπος ριζών του συστήματος ανοιχτού βρόχου, και η απόκριση του συστήματος κλειστού βρόχου σε βηματική είσοδο.



Με τις παραπάνω παραμέτρους για τον PI ελεγκτή, τα χαρακτηριστικά του συστήματος παίρνουν τις παρακάτω τιμές και είναι εμφανές ότι πληρούνται οι προϋποθέσεις.

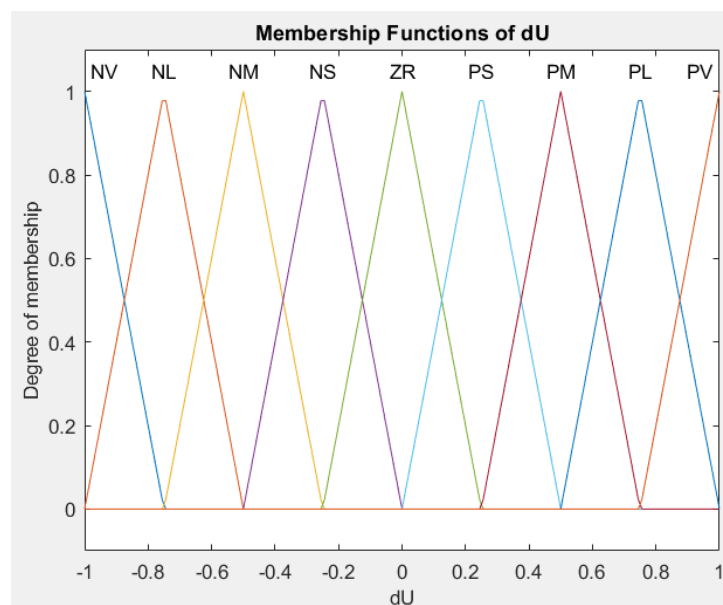
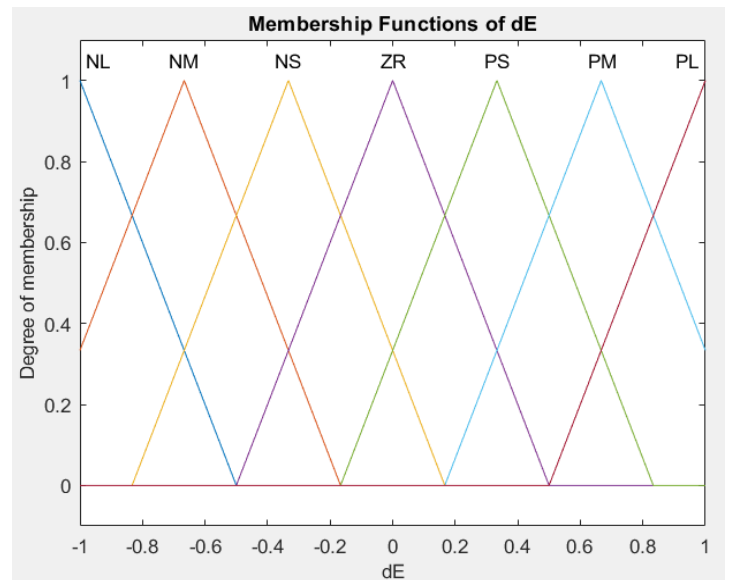
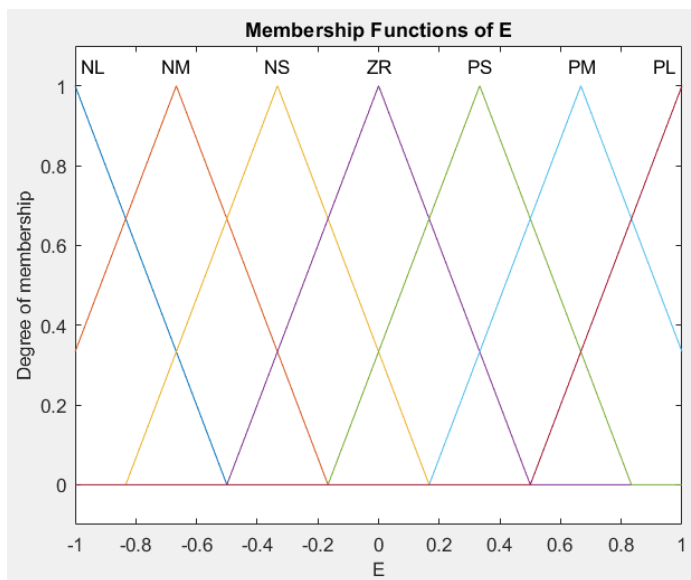
- Χρόνος Ανόδου: 0.2976 s
- Υπερύψωση : 5.9295 %

## Σχεδίαση Ασαφούς Ελεγκτή

Όπως αναφέρεται και στην εκφώνηση της εργασίας, για να έχουμε μηδενικό σφάλμα μόνιμης κατάστασης επιλέγουμε έναν ελεγκτή τύπου FZ-PI.

Ο ελεγκτής έχει δύο εισόδους  $E$ ,  $dE$  και μια έξοδο  $dU$ . Οι λεκτικές τιμές του σφάλματος  $E$  και της μεταβολής του σφάλματος  $dE$ , περιγράφονται από επτά λεκτικές μεταβλητές, ενώ η μεταβολή του σήματος εξόδου από εννιά μεταβλητές.

Μετά την κλιμακοποίηση του σφάλματος και της μεταβολής του σφάλματος ώστε τα κανονικοποιημένα μεγέθη να μεταβάλλονται στο διάστημα  $[-1, 1]$ , οι συναρτήσεις συμμετοχής για κάθε λεκτική μεταβλητή φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.



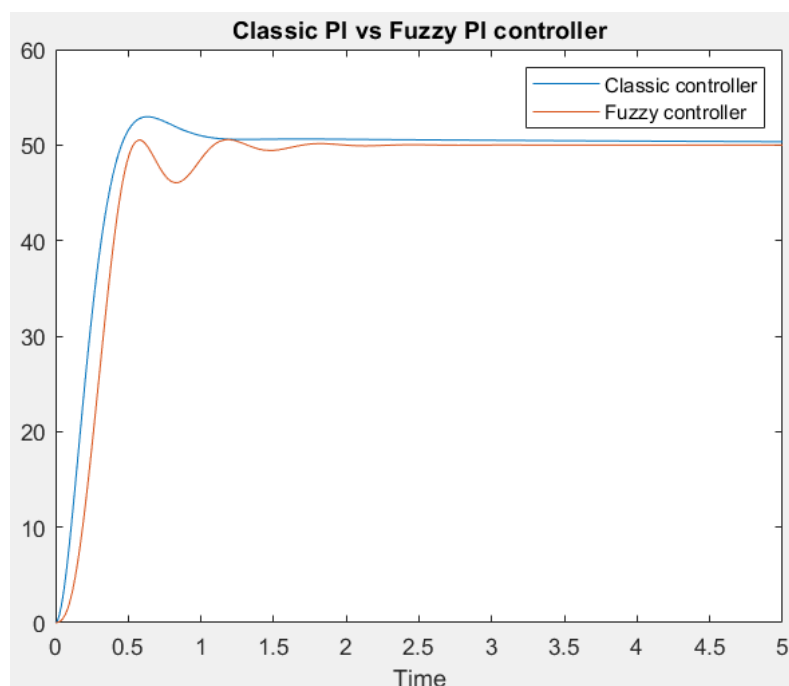
Οι ασαφείς κανόνες βάσης που συνδέουν τις εισόδους με την έξοδο του ελεγκτή, και διέπουν συνεπώς την λειτουργία του, απεικονίζονται στον πίνακα παρακάτω.

$E \backslash dE$	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

Αρχικά οι τιμές για τα κέρδη του ασαφούς ελεγκτή είναι ίδιες με αυτές του κλασσικού PI ελεγκτή που σχεδιάστηκε παραπάνω. Μετά από αρκετές δοκιμές κατέληξα στις τιμές:

- $\alpha = 0.31$
- $Ke = 1.2$
- $K1 = 18$
- $Kd = \alpha * Ke = 0.37$

Τέλος, στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται συγκριτικά η απόκριση του κλασσικού και του ασαφούς ελεγκτή για είσοδο της μορφής  $50*stepfun$ .



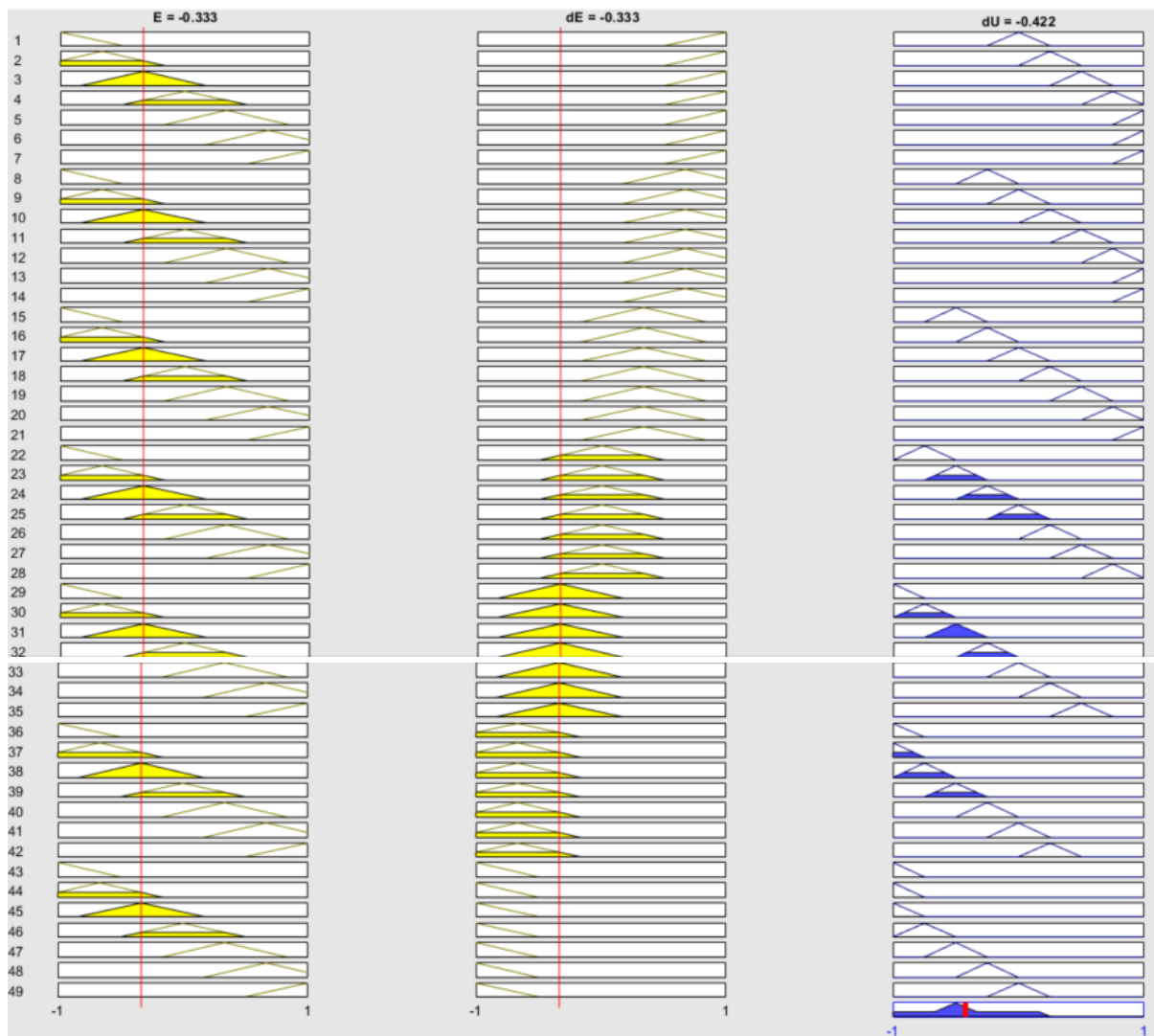
Με τα παραπάνω κέρδη για τον ασαφή ελεγκτή, τα χαρακτηριστικά της απόκρισης του διαμορφώνονται ως εξής:

- Χρόνος Ανόδου: 0.3104 s
- Υπερύψωση : 1.1306 %

Παρατηρούμε ότι ο χρόνος ανόδου είναι ελαφρώς μεγαλύτερος από αυτόν του κλασσικού PI ελεγκτή, όμως το ποσοστό υπερύψωσης είναι σημαντικά μικρότερο.

## Λειτουργία της Βάσης του Ασαφούς Ελεγκτή και Συμπεράσματα

Θεωρώντας μια διέγερση του ασαφούς ελεγκτή όπου  $E$  is NS και  $dE$  is NS, στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι κανόνες οι οποίοι διεγείρονται από αυτήν.

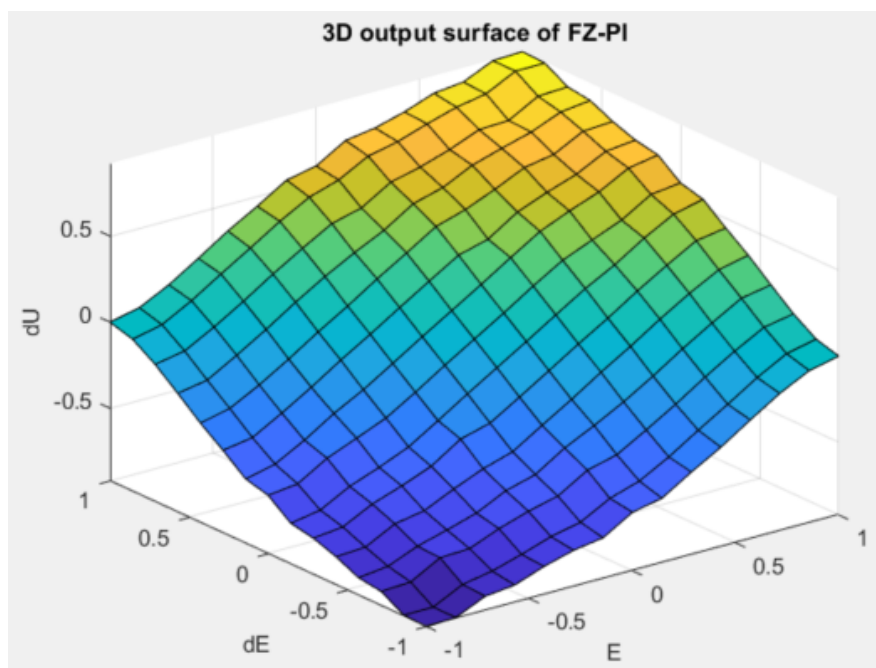


Παρατηρούμε ότι διεγείρονται αρκετοί κανόνες σε διαφορετικό βαθμό ο καθένας, και η απόκριση του ελεγκτή είναι -0.422, η κοντινότερη crisp μεταβλητή είναι η NM στο -0.5. Η συμπεριφορά αυτή είναι αναμενόμενη.

Η λογική της δράσης του ελεγκτή στον κύκλο αυτό είναι η ακόλουθη: Το σφάλμα της ταχύτητας είναι ελαφρώς αρνητικό, το σφάλμα της μεταβολής της ταχύτητας είναι ελαφρώς αρνητικό. Επομένως ο ελεγκτής εφαρμόζει ελαφρώς αρνητική τιμή στο σήμα εξόδου ώστε στον επόμενο κύκλο να έρθει το σύστημα ξανά στην κατάσταση ισοροπίας.

## Ερμηνεία του Νόμου Ελέγχου του FLC

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η τρισδιάστατη επιφάνεια της εξόδου του ασαφούς ελεγκτή  $dU$  σε σχέση με τις εισόδους  $E$ ,  $dE$ . Το σχήμα δείχνει τη λειτουργία του ασαφούς ελεγκτή όπως αυτή προκύπτει από την μορφή των κανόνων της βάσης του.



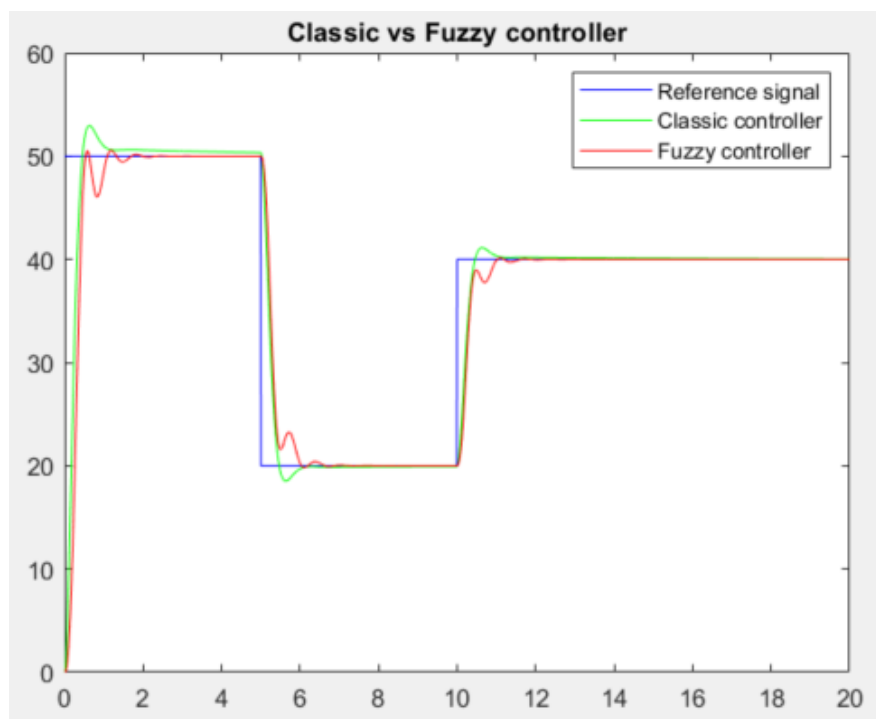
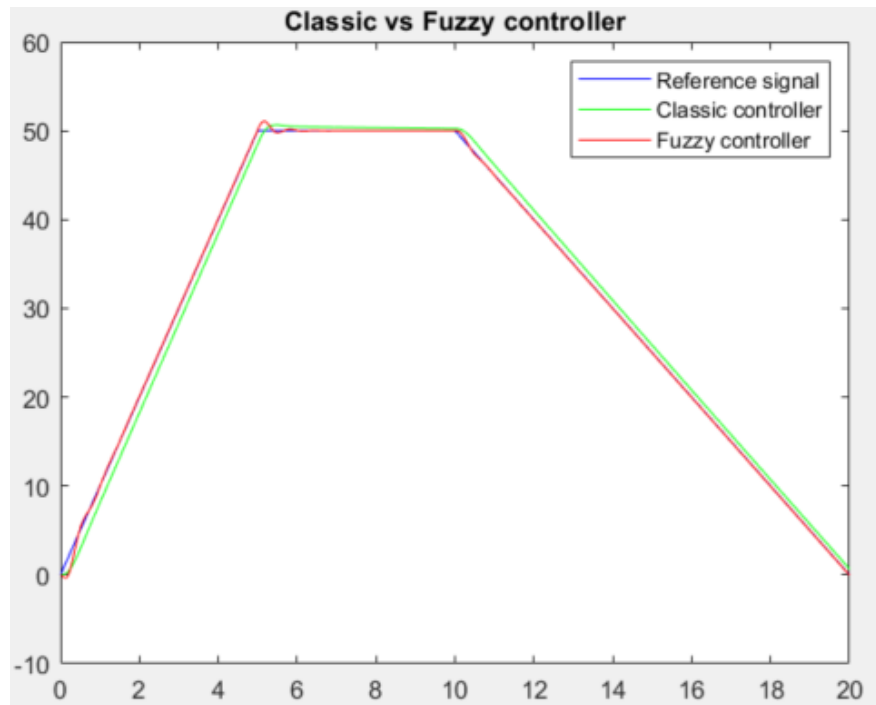
Ερμηνεύοντας την τρισδιάστατη επιφάνεια, μπορούμε να εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα:

- Όταν  $E < 0$  και  $dE < 0$  τότε  $dU < 0$  καθώς πρέπει να διορθωθεί το σφάλμα που απομακρύνεται.
- Όταν  $E > 0$  και  $dE > 0$  τότε  $dU > 0$  καθώς πρέπει να διορθωθεί το σφάλμα που απομακρύνεται.
- Επίσης σύμφωνα με την θεωρία, η απόκριση του ελεγκτή είναι η αναμενόμενη ανάλογα με την ζώνη (A1 – A4) που βρισκόμαστε.



## Σενάριο Δεύτερο

Παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες οι αποκρίσεις τόσο του κλασσικού όσο και του ασαφούς ελεγκτή για δυο διαφορετικά προφίλ εισόδου.



Συμπεραίνουμε από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις ότι ο ασαφής ελεγκτής ανταποκρίνεται καλύτερα από τον κλασσικό για συναρτήσεις ράμπας ως σήμα αναφοράς, αφού ακολουθεί χωρίς πρόβλημα τις μεταβολές και προσαρμόζεται ιδιαίτερα γρήγορα, ενώ ο κλασσικός ελεγκτής φαίνεται να μην μπορεί να προσαρμοστεί τόσο καλά.

Για βηματικές συναρτήσεις ως σήματα εισόδου, καλύτερη απόκριση φαίνεται να έχει ο κλασσικός ελεγκτής καθώς φτάνει στην μόνιμη κατάσταση γρηγορότερα απ' ότι ο ασαφής. Παρ' όλα αυτά το σφάλμα μόνιμης κατάστασης είναι μηδενικό.

## Κώδικας

Ο Κώδικας για τις παραπάνω υλοποιήσεις βρίσκεται στο GitHub, στο link:

[https://github.com/giatats/Computational Intelligence](https://github.com/giatats/Computational_Intelligence)