

Εργασία
Στα Ασαφή Συστήματα
(Trapezi-ergsias_04)

ΟΝΟΜΑ: Αντώνης
ΕΠΩΝΥΜΟ: Μυρσινιάς
ΑΕΜ:8873
ΕΤΟΣ:2020

Περιεχόμενα

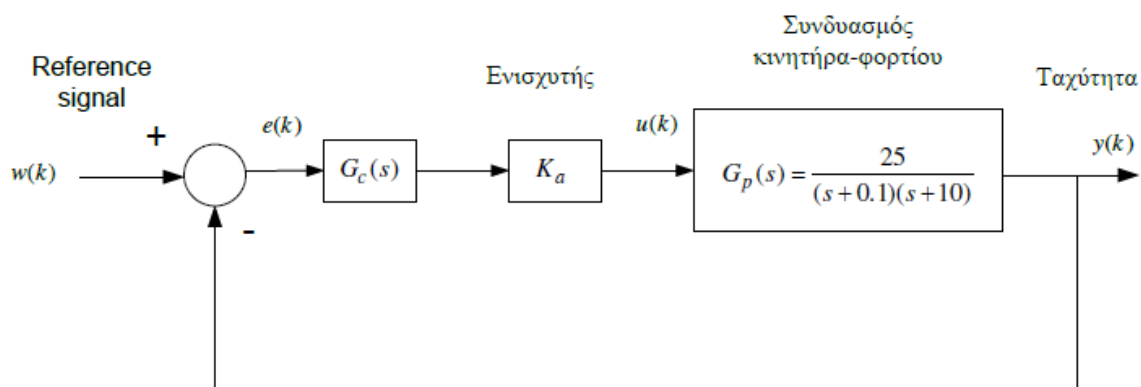
Πρόβλημα.....	2
Γραμμικός Ελεγκτής.....	2
Σχήμα 1	2
Σχήμα 2	3
Σχήμα 3	4
Ασαφής Ελεγκτής.....	5
Σχήμα 4	5
Σχήμα 5	6
Σχήμα 6	8
Σενάριο 1	9
Σχήμα 7	9
Σχήμα 8: Υλοποίηση του FLC-PI	9
Σχήμα 9	10
Σχήμα 10: Προσομοίωση έπειτα από τις ρυθμίσεις.....	10
Λειτουργία της βάσης του Ελεγκτή	11
Σχήμα 11: Ενεργοποιημένοι και Μη κανόνες (1-31)	11
Σχήμα 12: Ενεργοποιημένοι και Μη κανόνες (32-62)	12
Σχήμα 13: Ενεργοποιημένοι και Μη κανόνες (63-81)	12
Λειτουργία της βάσης του Ελεγκτή	14
Σχήμα 14	14
Σενάριο 2	15
Σχήμα 15	15
Σχήμα 16	15
Σχήμα 17: Απόκριση για είσοδο του Σχ.15	16
Σχήμα 18: Απόκριση για είσοδο του Σχ.16	16
Αρχεία.....	17

Πρόβλημα

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι ο σχεδιασμός ενός ελεγκτή, για ένα μηχανισμό τραπεζιού μεγάλης ακρίβειας. Βασική προϋπόθεση είναι να διατηρήσουμε την υψηλή ακρίβεια στην μόνιμη κατάσταση ισορροπίας του ελέγχου ταχύτητας. Το πρώτο μέρος της εργασίας αποτελείται από το σχεδιασμό ενός ελεγκτή με αναλογική και ολοκληρωτική δράση, ενώ το δεύτερο μέρος αποτελείται από το σχεδιασμό ενός ασαφούς ελεγκτή (FLC).

Γραμμικός Ελεγκτής

Στο Σχ.1 παρουσιάζεται το σύστημα ελέγχου της ταχύτητας του μηχανισμού.



Σχήμα 1

- $w(k)$ είναι το σήμα αναφοράς (Reference signal)
- $y(k)$ είναι η έξοδος του συστήματος
- $e(k)$ είναι το σφάλμα του σήματος αναφοράς σε σχέση με την έξοδο του συστήματος
- $e(k) = w(k) - y(k)$
- $u(k)$ είναι ο νόμος ελέγχου (έξοδος του ελεγκτή)

Επειδή απαιτείται μηδενικό σφάλμα στη μόνιμη κατάσταση του ελέγχου ταχύτητας επιλέγουμε ένα γραμμικό ελεγκτή PI της μορφής

$$G_c(s) = k_p + \frac{k_I}{s} = \frac{k_p(s+c)}{s}, c = \frac{k_I}{k_p}$$

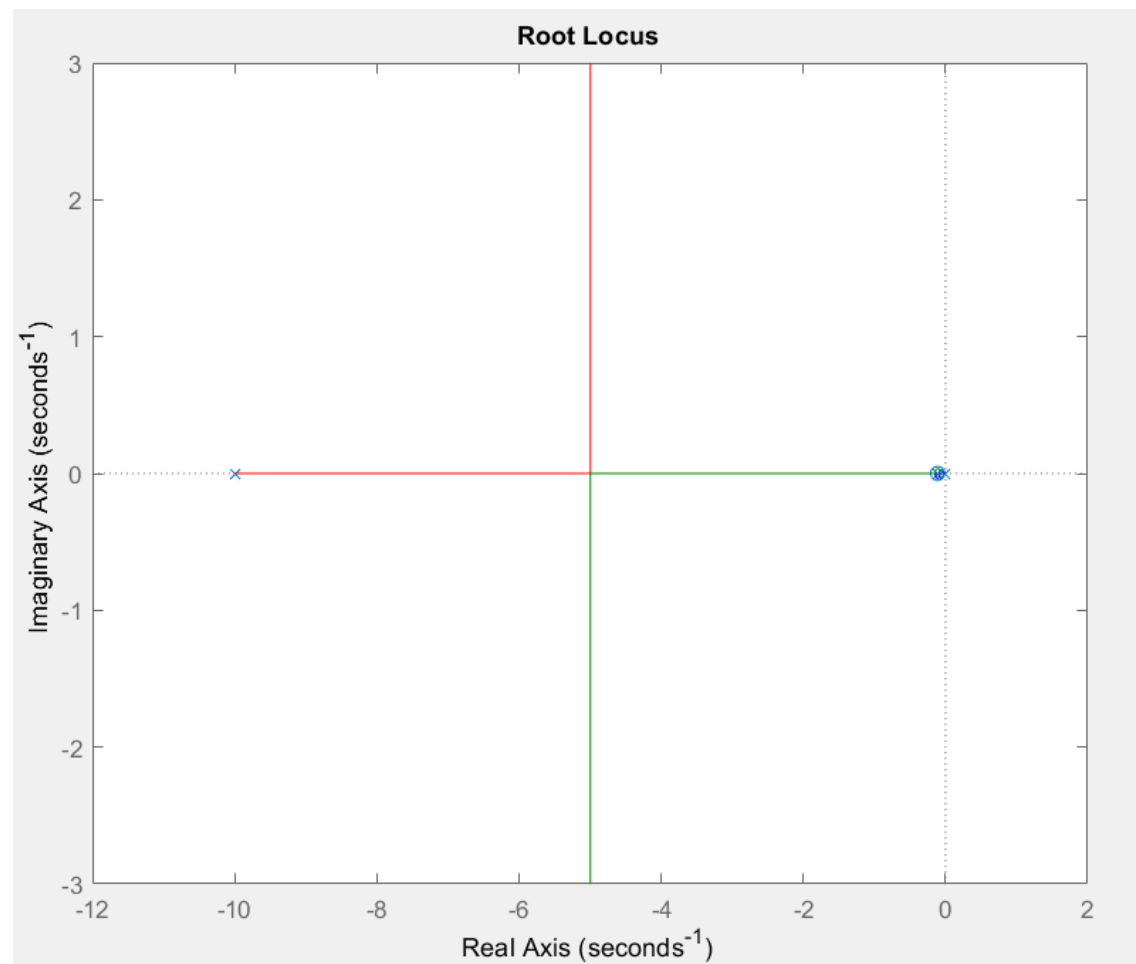
Οι προδιαγραφές που πρέπει να τηρηθούν κατά τον καθορισμό των παραμέτρων του ελεγκτή είναι:

1. Υπερύψωση για βηματική είσοδο μικρότερη από 8%.
2. Χρόνος ανόδου μικρότερος από 0,6 δευτερόλεπτα.

Αρχικά τοποθετούμε το μηδενικό του ελεγκτή κοντά στο κυρίαρχο πόλο -0.1. Έστω ότι το $c = -0.111$. Η συνάρτηση ανοιχτού βρόγχου του συστήματος είναι:

$$A(s) = \frac{k \cdot (s + 0.111)}{s \cdot (s + 0.1) \cdot (s + 10)}, \text{ όπου } k = 25 \cdot K_a \cdot K_p$$

Με τη βοήθεια του Matlab παρουσιάζεται παρακάτω ο γεωμετρικός τύπος ριζών της $A(s)$.



Σχήμα 2

Στη συνέχεια, με τη βοήθεια του SisoTool (εργαλείο του Matlab για το σχεδιασμό ελεγκτών), επιλέχθηκε $k = 54.054$. Επιλέγουμε $K_a = 1$ και συνεπώς έχουμε:

$$k = 54.054 = 25 \cdot 1 \cdot k_p \Rightarrow$$

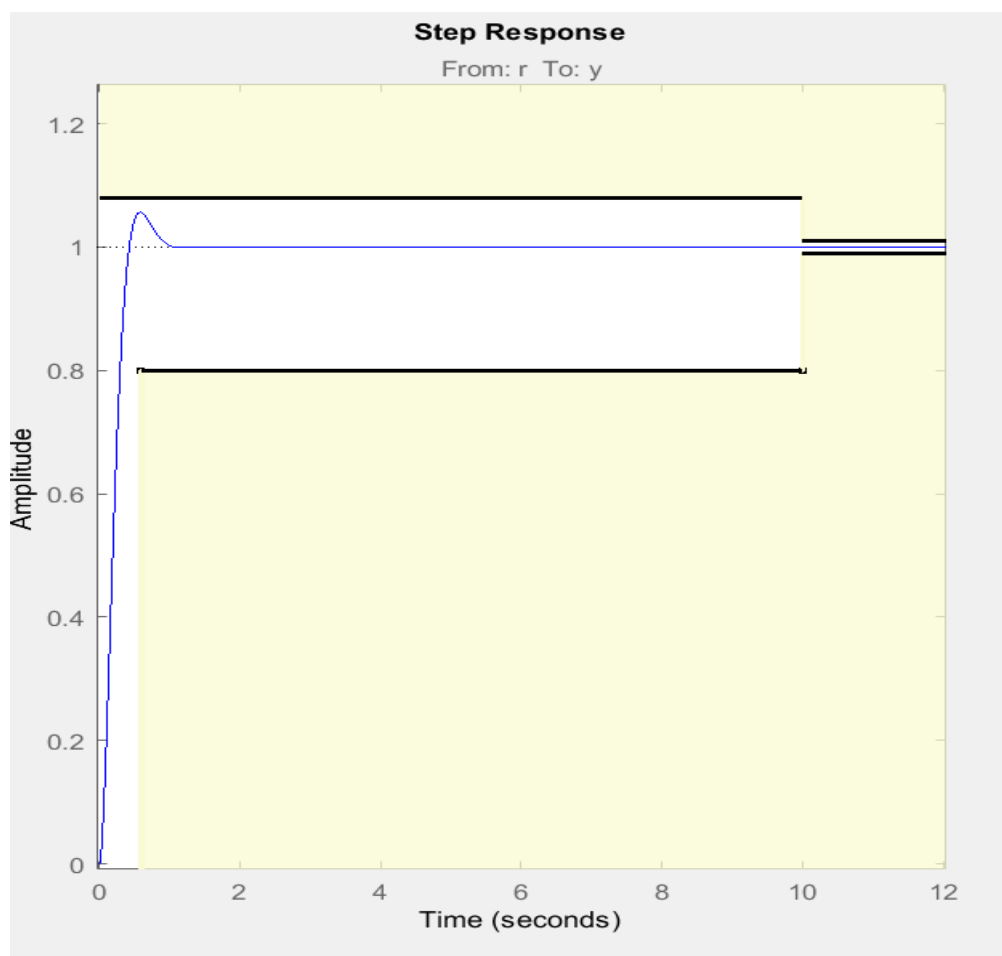
$$k_p = \frac{54.054}{25} = 2.1622$$

$$c = 0.111 = \frac{k_I}{k_p} \Rightarrow$$

$$k_I = 0.111 \cdot 2.1622 = 0.24$$

Με τη βοήθεια της προσομοίωσης του Matlab βλέπουμε ότι πληρούνται όλες οι προδιαγραφές, αφού:

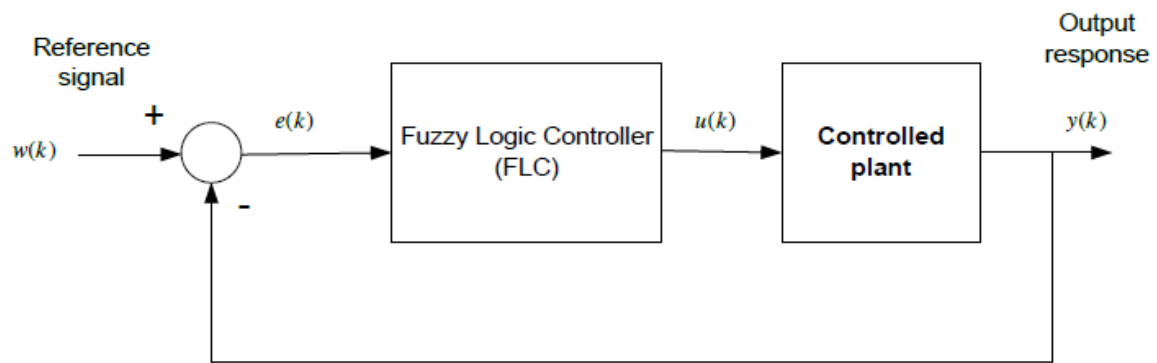
1. Υπερύψωση = 5.635 %
2. Χρόνος Ανόδου = 0.2805s



Σχήμα 3

Ασαφής Ελεγκτής

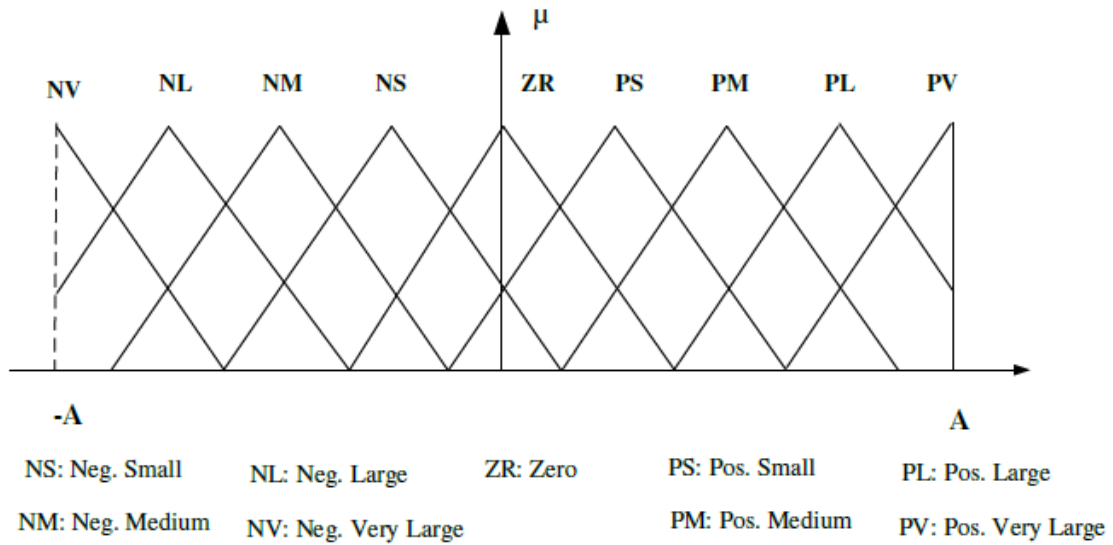
Στη συνέχεια θέλουμε να ελέγξουμε το παραπάνω σύστημα με τη χρήση ενός ασαφούς ελεγκτή (FZ-PI Controller), ο οποίος παρουσιάζεται στο Σχ.4.



Σχήμα 4

Η σχεδίαση του FLC βασίζεται στις παρακάτω προδιαγραφές:

- Η υλοποίηση του συστήματος κλειστού βρόγχου θα γίνει σε διακριτό χρόνο με διάστημα δειγματοληψίας $T = 0.01$ sec.
- Το σήμα αναφοράς r μπορεί να κινείται οπουδήποτε στο διάστημα $[0, 50]$.
- Οι λεκτικές μεταβλητές του σφάλματος E περιγράφονται από εννιά λεκτικές τιμές όπως φαίνεται στο Σχ.5.
- Οι λεκτικές μεταβλητές της μεταβολής του σφάλματος \dot{E} περιγράφονται από εννιά λεκτικές τιμές όπως φαίνεται στο Σχ.5.
- Οι λεκτικές μεταβλητές της μεταβολής του σήματος ελέγχου \dot{U} περιγράφονται από εννιά λεκτικές τιμές όπως φαίνεται στο Σχ.5.



Σχήμα 5

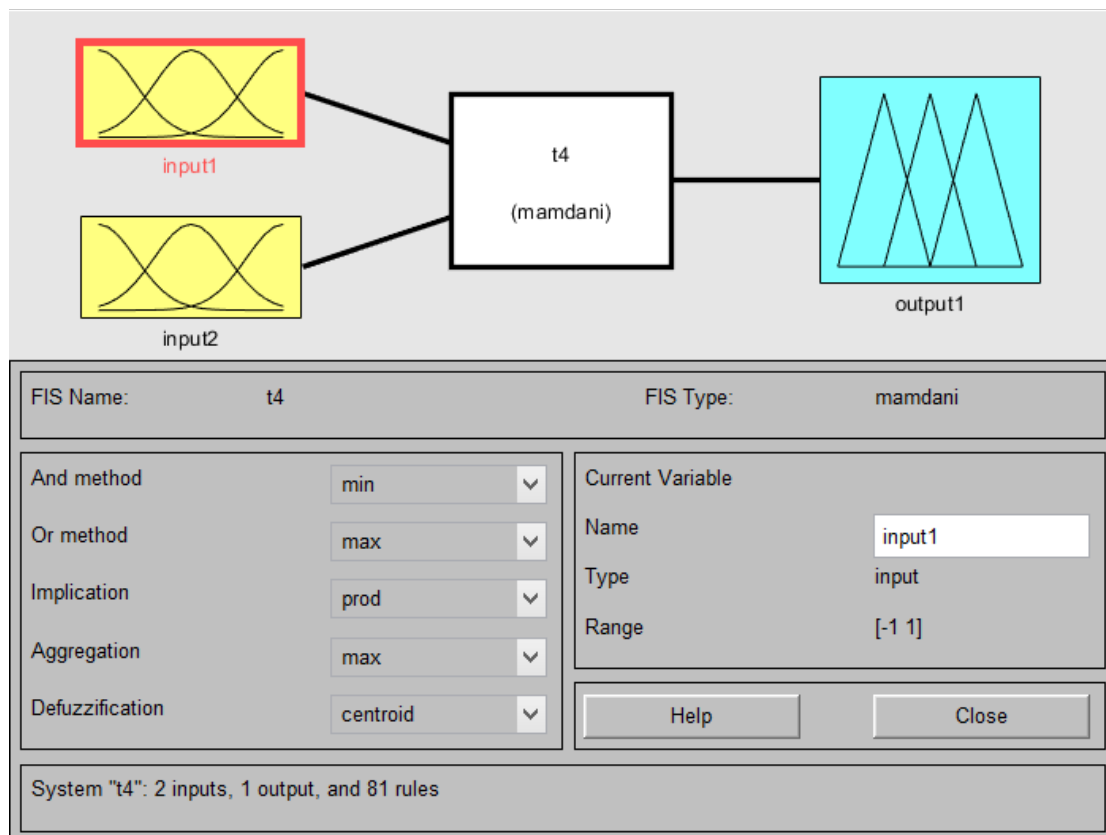
Ο ελεγκτής FZ-PI θα πρέπει να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Ασαφοποιητής Singleton.
- Το συνδετικό AND να υλοποιείται με τελεστή min.
- Η συνάρτηση συμπερασμού υλοποιείται με τον κανόνα Larsen.
- Το συνδετικό ALSO υλοποιείται με τον τελεστή max.
- Ο από-ασαφοποιητής υλοποιείται με την τεχνική COA.

Αρχικά κλιμακοποιούμε τα E και \dot{E} , διαιρώντας με το 50 αφού $\omega_{\max} = 50 \text{ rad/sec}$, έτσι ώστε να παίρνουν τιμές στο διάστημα $[-1, 1]$. Στη συνέχεια κατασκευάζουμε τους κανόνες, που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα και έχουν αριθμό $9^2 = 81$.

Ů		Ě								
		NV	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV
E	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NL	NM	NS	ZR
	NL	NV	NV	NV	NV	NL	NM	NS	ZR	PS
	NM	NV	NV	NV	NL	NM	NS	ZR	PS	PM
	NS	NV	NV	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL
	ZR	NV	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV
	PS	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV	PV
	PM	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV	PV	PV
	PL	NS	ZR	PS	PM	PL	PV	PV	PV	PV
	PV	ZR	PS	PM	PL	PV	PV	PV	PV	PV

Παρακάτω παρουσιάζονται οι ρυθμίσεις του FLC.

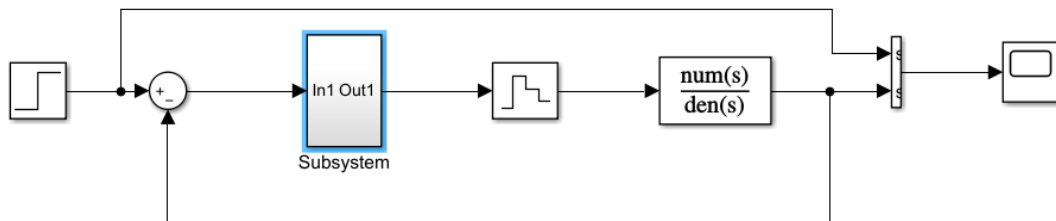


Σχήμα 6

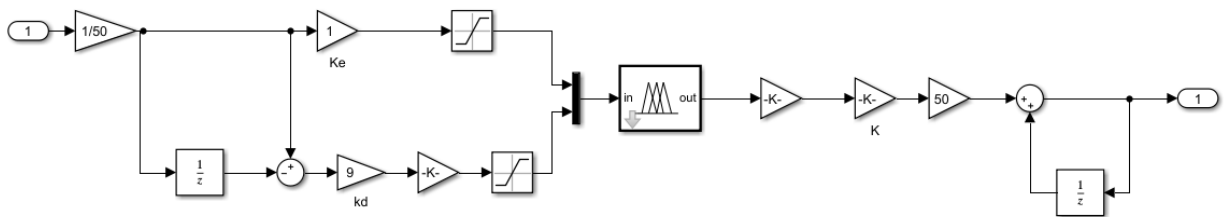
Όπου input1 = Ε και input2 = Ε̇.

Σενάριο 1

Με τη βοήθεια του Simulink κατασκευάζουμε το μπλοκ διάγραμμα του ασαφούς ελεγκτή που φαίνεται στο Σχ.7.



Σχήμα 7



Σχήμα 8: Υλοποίηση του FLC-PI

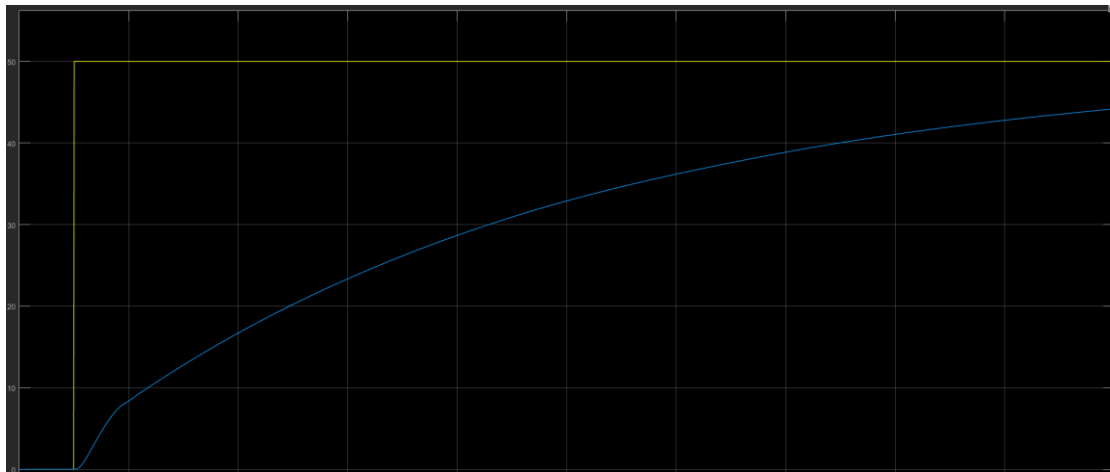
Τα αρχικά κέρδη κλιμακοποίησης υπολογίζονται ως εξής:

$$K_e = 1$$

$$a \approx T_i = \frac{K_p}{K_I} = 9.009$$

$$K = \frac{K_p}{F\{a \cdot K_e\}} = \frac{2.1622}{1} = 2.1622$$

Στο Σχ. 9 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της προσομοίωσης του Simulink μετά την εφαρμογή μίας βηματικής εισόδου, με πλάτος 50, στο σύστημα κλειστού βρόγχου.



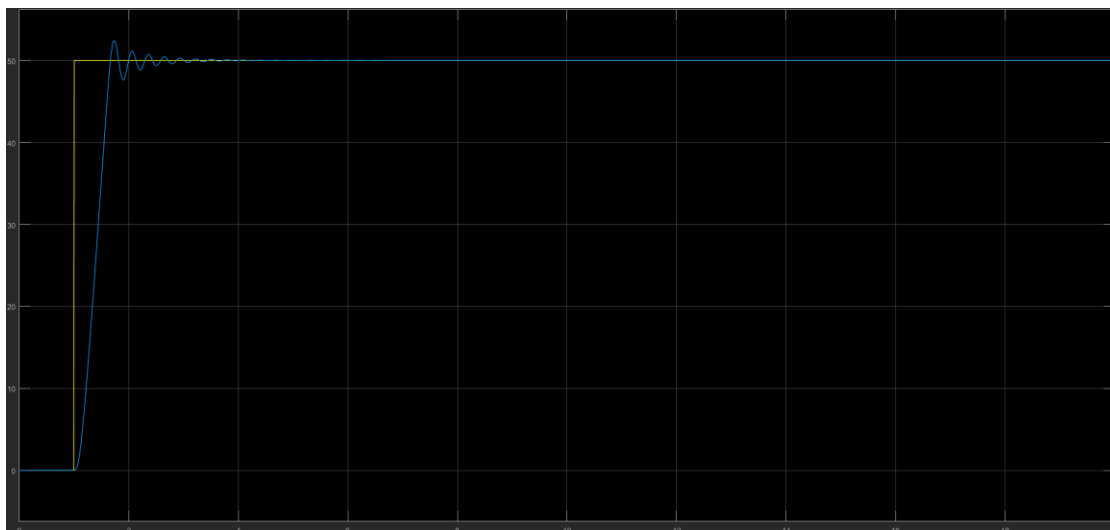
Σχήμα 9

Τα αποτελέσματα δεν είναι καθόλου ικανοποιητικά, αφού δεν πληρείται καμία από της προδιαγραφές. Συνεπώς πρέπει να προβούμε σε περεταίρω ρυθμίσεις. Τα τελικά κέρδη που προέκυψαν έπειτα από τις ρυθμίσεις είναι:

$$K_e = 5$$

$$K_d = 1.23$$

$$K = 16.2$$



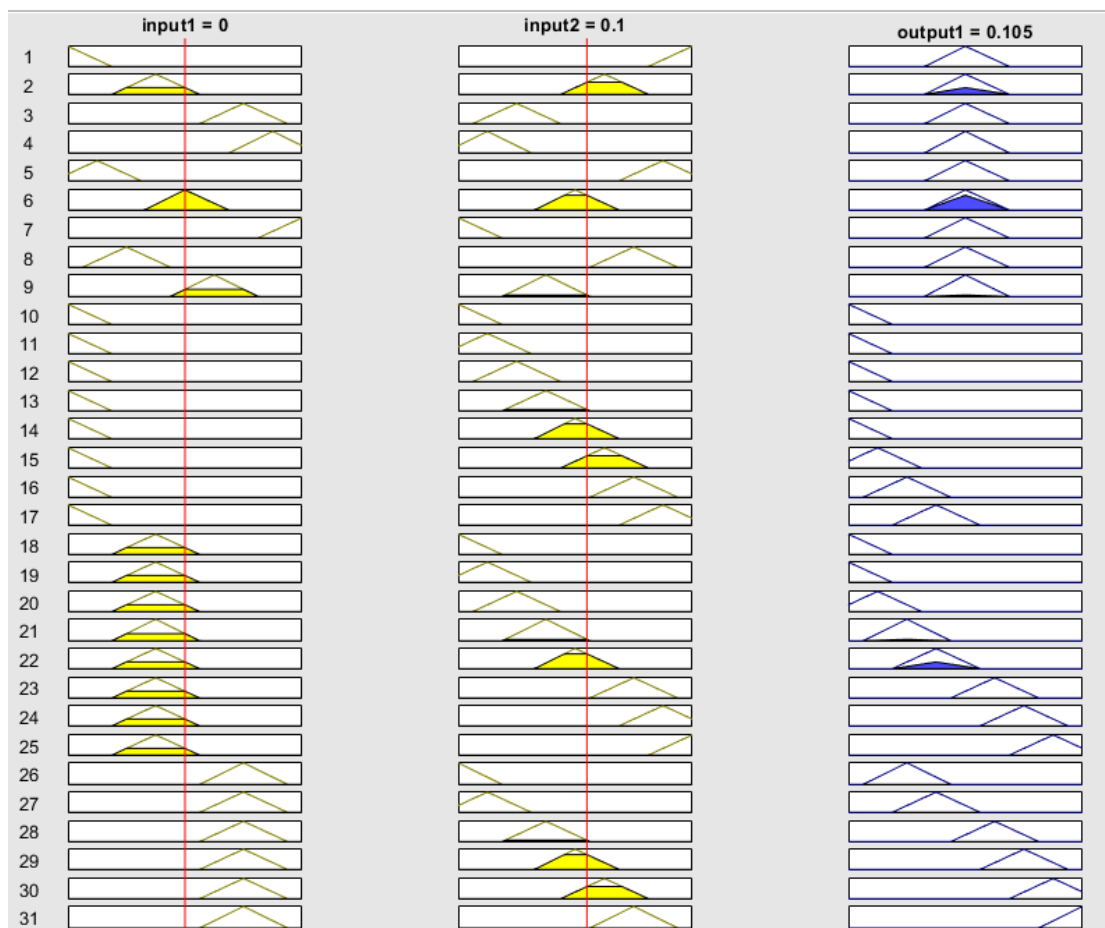
Σχήμα 10: Προσομοίωση έπειτα από τις ρυθμίσεις

Στο Σχ. 10 φαίνεται η απόκριση του συστήματος μετά τις ρυθμίσεις. Το σύστημα πλέον πληροί τις προδιαγραφές αφού:

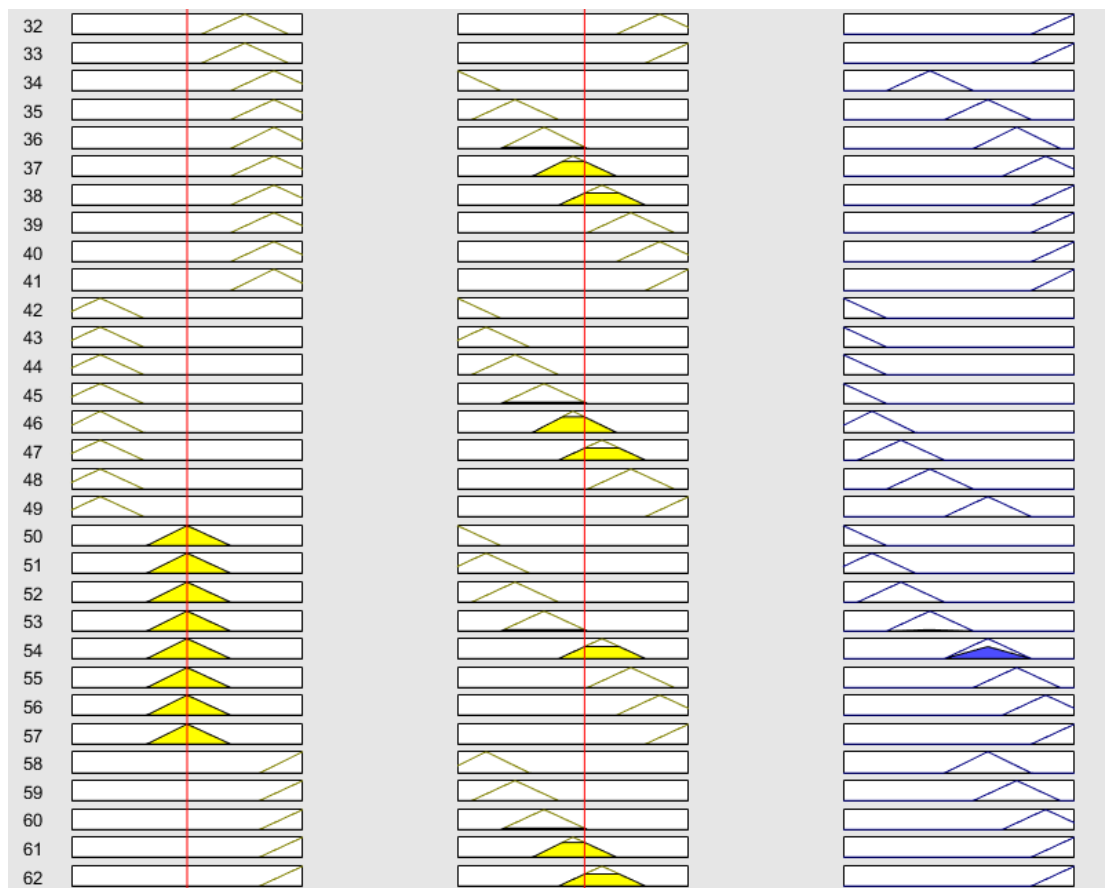
1. Χρόνος Ανόδου: 0.446s.
2. Υπερύψωση: 4.8%

Λειτουργία της βάσης του Ελεγκτή

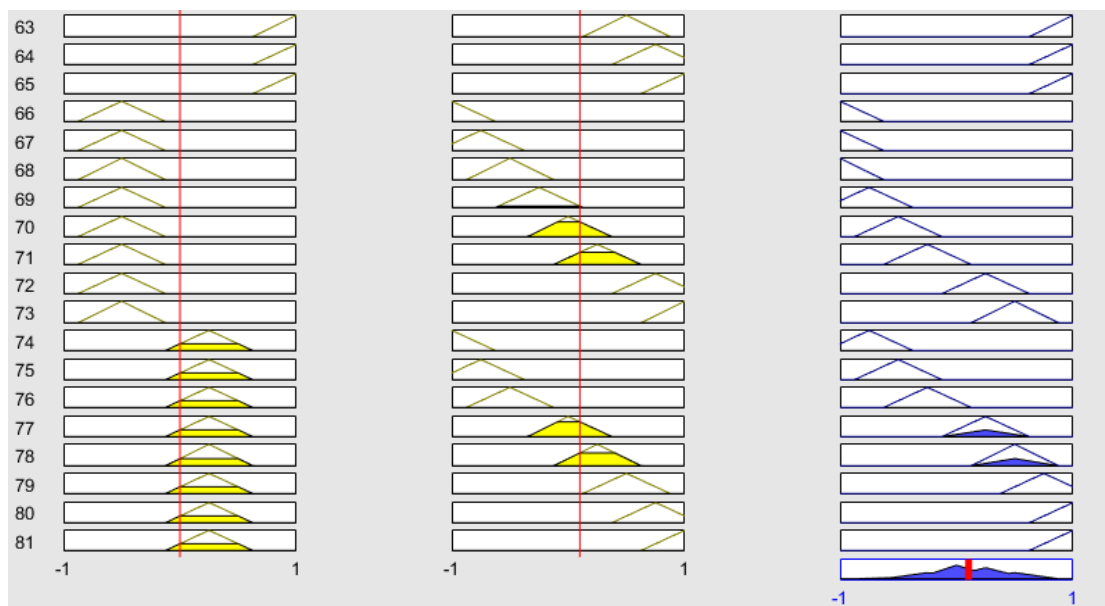
Θεωρούμε ότι έχουμε μία διέγερση με $e = 0.6$ και $\Delta e = 0.1$. Παρακάτω παρουσιάζονται γραφικά ποιοι κανόνες ενεργοποιούνται.



Σχήμα 11: Ενεργοποιημένοι και Μη κανόνες (1-31)



Σχήμα 12: Ενεργοποιημένοι και Μη κανόνες (32-62)



Σχήμα 13: Ενεργοποιημένοι και Μη κανόνες (63-81)

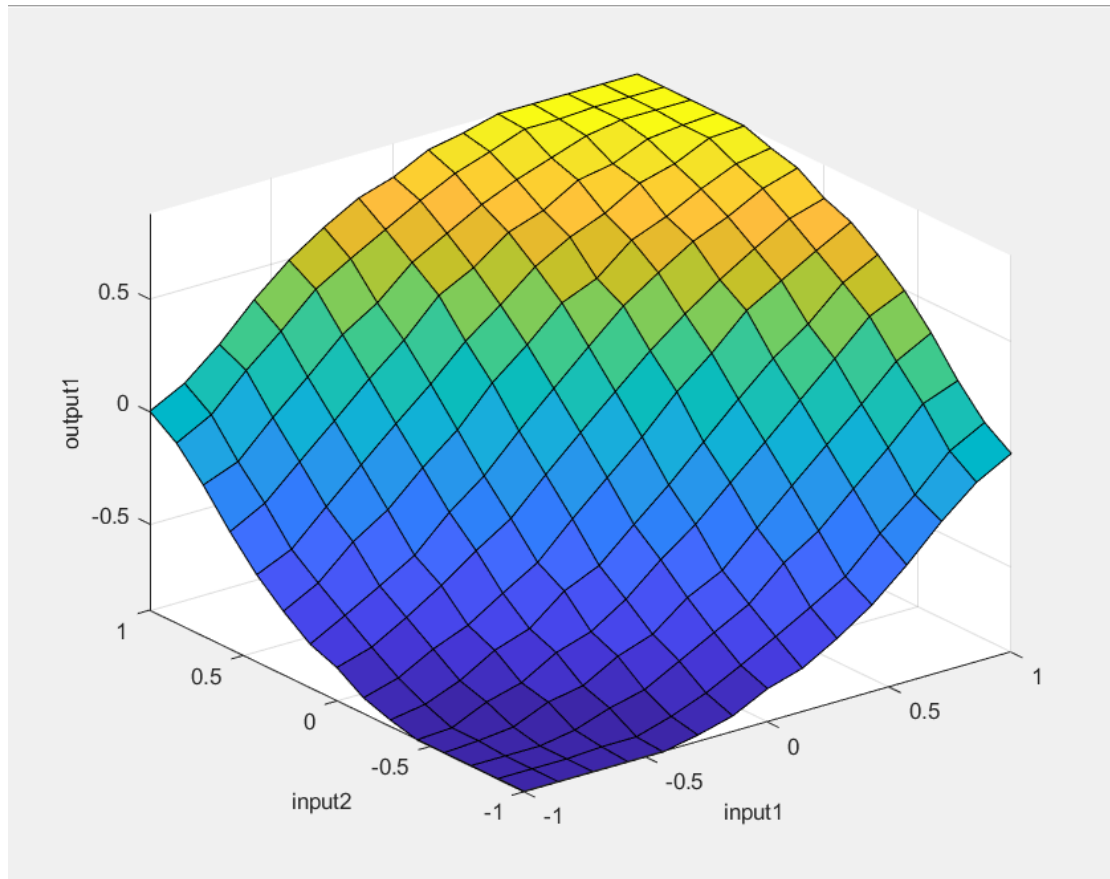
Από τα παραπάνω σχήματα βλέπουμε ότι ενεργοποιούνται οι 2, 6, 22, 54, 77, 78 κανόνες. Το συνδετικό AND υλοποιείται με τον τελεστή min. Έτσι, βρίσκουμε τους βαθμούς εκπλήρωσης DOF και μετά επειδή η συνάρτηση συμπερασμού υλοποιείται με τον κανόνα Larsen, κλιμακοποιείται η έξοδος του κάθε κανόνα. Έπειτα, σύμφωνα με τη μέθοδο από-ασαφοποίησης COA αρκεί να βρούμε το κέντρο βάρους της γραφικής παράστασης που προκύπτει από σύνθεση των κλιμακοποιημένων εξόδων, λαμβάνοντας τα κοινά εμβαδά μόνο μία φορά.

Να σημειωθεί ότι ο COA ως εξής:

$$z^* = \frac{\int z \cdot \mu_{C^i}(z) dz}{\int \mu_{C^i}(z) dz}$$

Λειτουργία της βάσης του Ελεγκτή

Παρακάτω φαίνεται η τρισδιάστατη επιφάνεια εξόδου του ασαφούς ελεγκτή σε σχέση με τις εισόδους του.



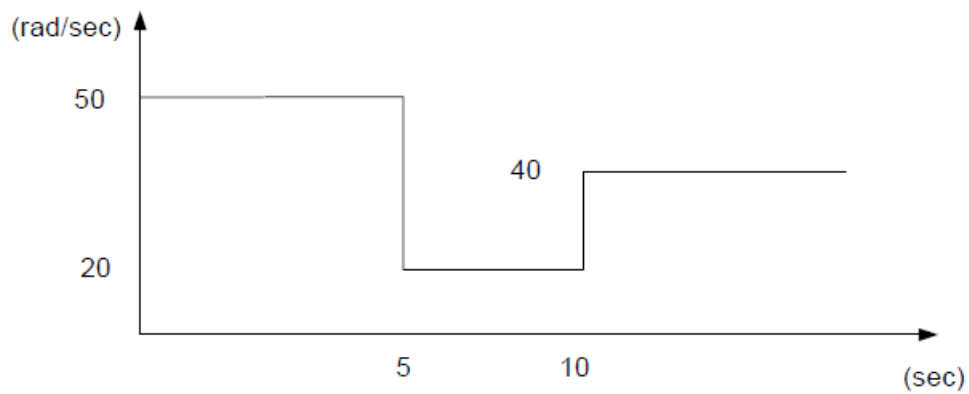
Σχήμα 14

Παρατηρώντας το παραπάνω σχήμα μπορούμε να εξάγουμε τα συμπεράσματα:

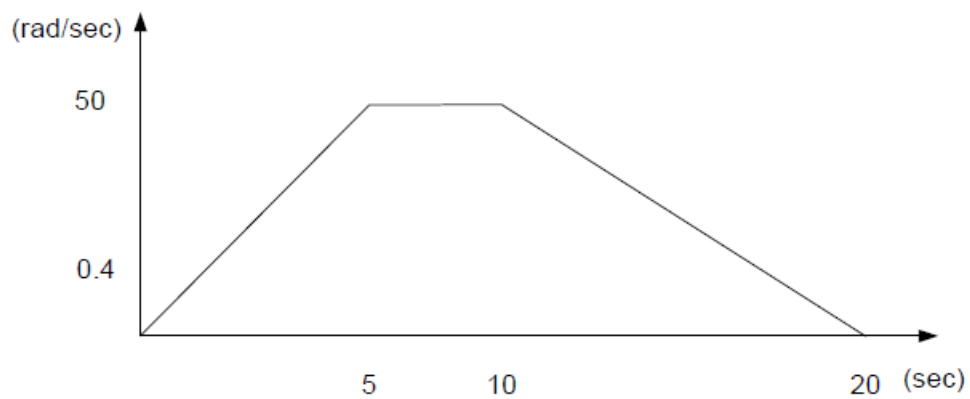
- Αν το E είναι αρνητικό και το ΔE είναι αρνητικό τότε η έξοδος ΔU είναι αρνητική για να το διορθώσει το σφάλμα που απομακρύνεται από το 0.
- Αν το E είναι θετικό και το ΔE είναι θετικό τότε η έξοδος ΔU είναι θετική για να το διορθώσει το σφάλμα που απομακρύνεται από το 0.
- Αν το E είναι μηδέν και το ΔE είναι μηδέν τότε η έξοδος ΔU είναι μηδενική, διότι δεν απαιτείται κάποια διόρθωση στο σφάλμα.

Σενάριο 2

Στο συγκεκριμένο σενάριο εισάγονται δύο διαφορετικά σήματα αναφοράς, όπως φαίνονται στα Σχ.15 και στο Σχ.16

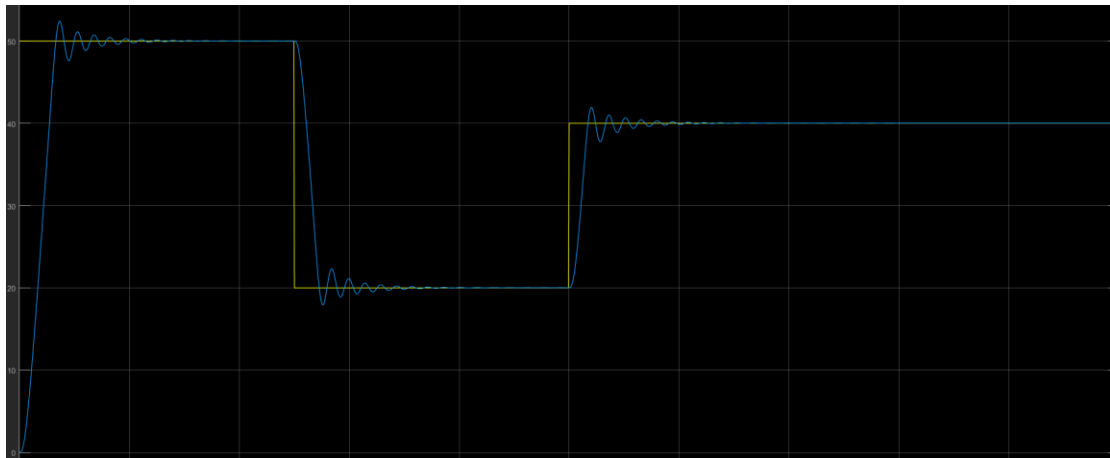


Σχήμα 15

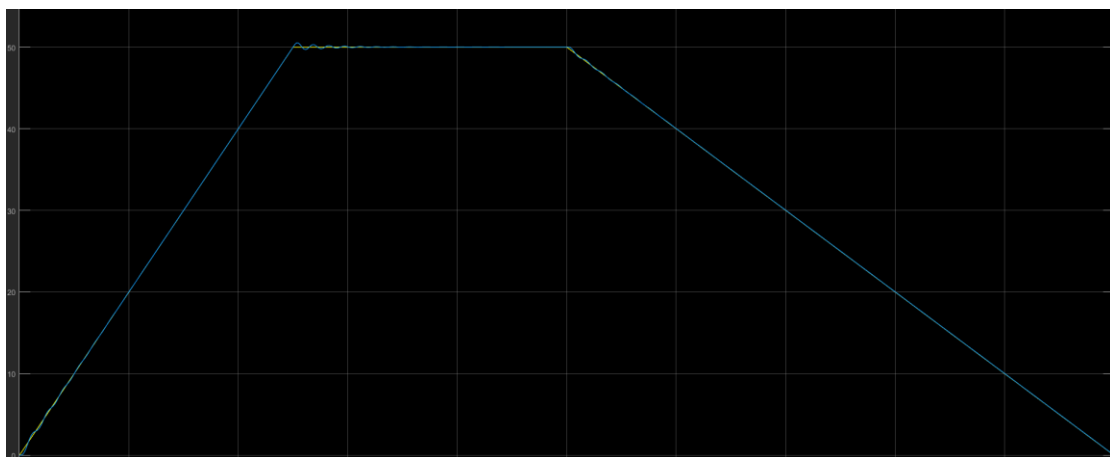


Σχήμα 16

Παρακάτω παρουσιάζονται οι αποκρίσεις για τις δύο διαφορετικές εισόδους του συστήματος κλειστού βρόγχου.



Σχήμα 17: Απόκριση για είσοδο του Σχ.15



Σχήμα 18: Απόκριση για είσοδο του Σχ.16

Από τα διαγράμματα βλέπουμε ότι οι εισοδοι προσεγγίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό. Ιδιαίτερα καλά τα πηγαίνει στη δεύτερη είσοδο, όπου παρουσιάζει πιο ομαλές μεταβολές σε σύγκριση με την πρώτη.

Αρχεία

- trapezi4.m: Έλεγχος για την υπερύψωση και το χρόνο ανόδου του γραμμικού ελεγκτή.
- trapezi04.mat: MAT αρχείο του γραμμικού ελεγκτή.
- t4.fis: FIS αρχείο του FLC.
- fuzzyT4.slx: Simulink αρχείο του Fuzzy-PI.