



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών
Υπολογιστών

ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΑ ΑΣΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

**Έλεγχος γωνίας προσανατολισμού ενός δορυφόρου με
ασαφείς ελεγκτές - Group1 - S07**

Μανουσαρίδης Ιωάννης (8855)

Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2019

Περιεχόμενα

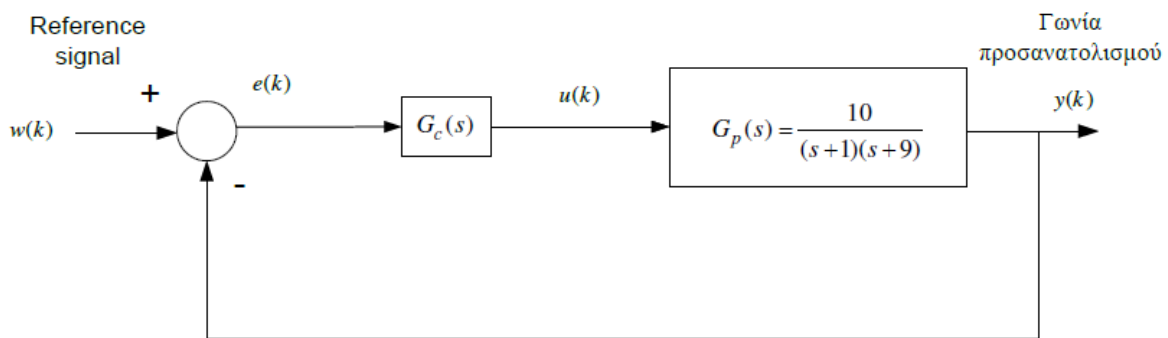
Περιεχόμενα	2
Περιγραφή του προβλήματος	3
Σχεδίαση γραμμικού ελεγκτή	3
Σχεδίαση ασαφούς ελεγκτή (FLC)	5
Επεξήγηση λειτουργίας της μεθόδου αποασαφοποίησης	9
Σενάριο 1	10
α) Σχεδίαση του ελεγκτή και αποκρίσεις	10
β) Λειτουργία της βάσης του ελεγκτή και συμπεράσματα	12
γ) Ερμηνεία του νόμου ελέγχου του FLC	13
Σενάριο 2	14
Επεξήγηση παραδοτέων αρχείων MATLAB και Simulink	15

Περιγραφή του προβλήματος

Στόχος της εργασίας είναι η σχεδίαση ενός ελεγκτή, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο της γωνίας προσανατολισμού ενός δορυφόρου. Αρχικά, θα σχεδιαστεί ένας γραμμικός ελεγκτής, του οποίου θα προσδιορίσουμε τις παραμέτρους, ώστε να τηρούνται ορισμένες προδιαγραφές. Στη συνέχεια, θα υλοποιηθεί ένας ασαφής ελεγκτής με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Για τον ασαφή ελεγκτή θα υλοποιηθούν και δύο διαφορετικά σενάρια στα οποία θα χρησιμοποιηθεί.

Σχεδίαση γραμμικού ελεγκτή

Στο σχήμα φαίνεται το σύστημα ελέγχου της γωνίας προσανατολισμού ενός δορυφόρου.



Σχήμα 1: Σύστημα ελέγχου

Εφόσον θέλω μηδενικό σφάλμα στην μόνιμη κατάσταση επιλέγω PI ελεγκτή.

Οι προδιαγραφές που πρέπει να πληρούνται σύμφωνα με την εκφώνηση είναι:

- $M_p < 0.1$
- $tr < 1.2$

Ο γραμμικός ελεγκτής είναι της μορφής:

$$G_c(s) = K_P + \frac{K_I}{s} = \frac{K_P(s+c)}{s}, \quad (1) \quad c = \frac{K_I}{K_P}$$

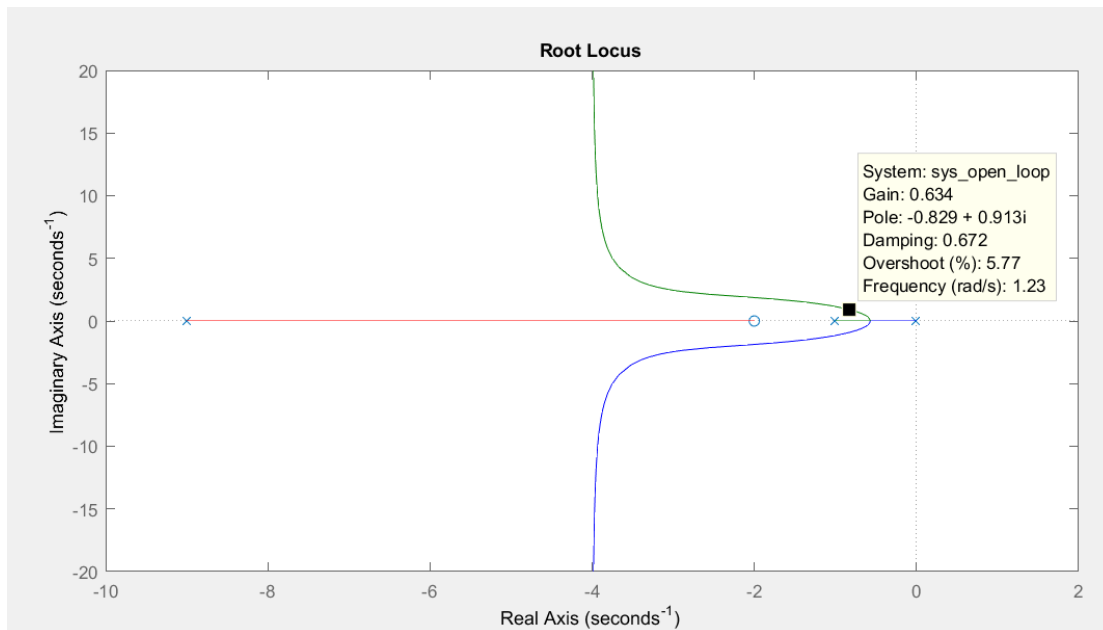
Τοποθετούμε το μηδενικό του ελεγκτή ανάμεσα στο -1 και -9 σε μία θέση κοντά στο -1. Επιλέχθηκε η τιμή -2.

Έχουμε:

$$G_c(s) = \frac{K_P(s+2)}{s}$$

Άρα $c = 2$ και η συνάρτηση ανοιχτού βρόγχου θα γίνει:

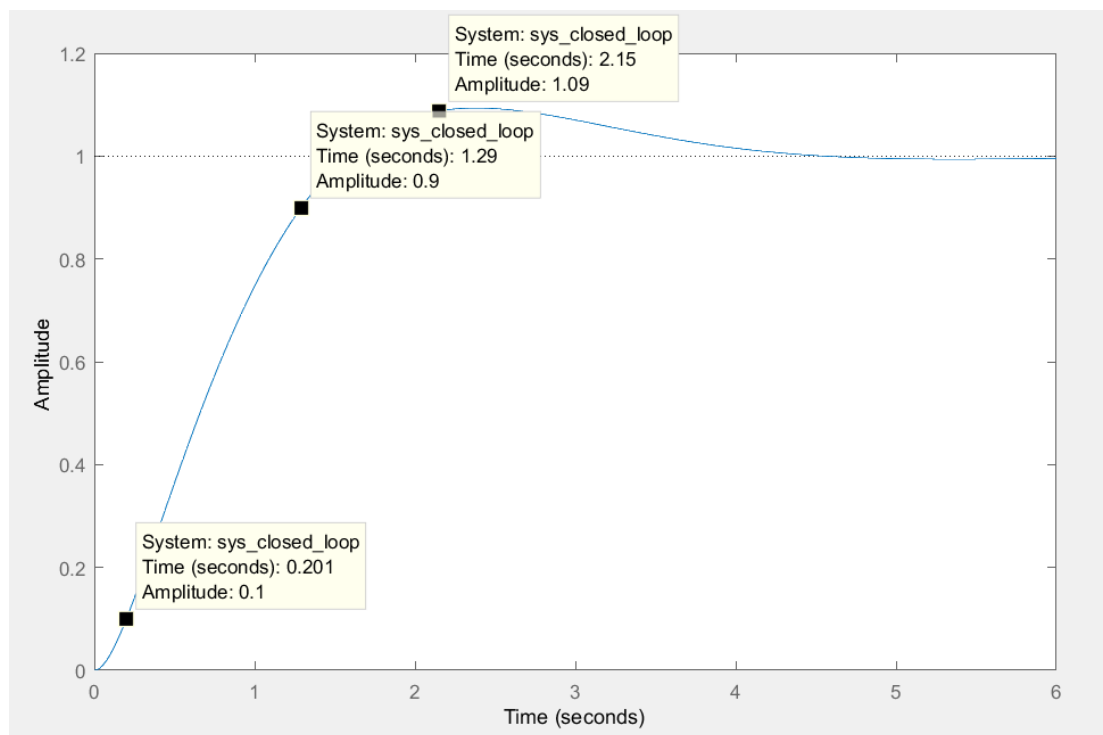
$$A(s) = G_c(s) \cdot G_p(s) = \frac{K_P(s+2)}{s} \cdot \frac{10}{(s+1)(s+9)} \Rightarrow A(s) = \frac{10K_P(s+2)}{s(s+1)(s+9)}$$



Σχήμα 2: Γεωμετρικός τόπος ριζών του συστήματος

Ο χρόνος ανόδου είναι αντίστροφα ανάλογος της απόστασης του πόλου από την αρχή των αξόνων ($\tau = 1/|\rho|$). Αφού ισχύει η προδιαγραφή $\tau < 1.2$ άρα οι πόλοι θα πρέπει να είναι πιο αριστερά από τη θέση $-1/1.2 = -0.833$. Άρα πρέπει το K_r να είναι μεγαλύτερο του περίπου 0.64. Μετά από δοκιμές επιλέχθηκε η τιμή 0.8.

Για τη βηματική απόκριση του κλειστού βρόγχου:



Σχήμα 3: Βηματική απόκριση

Βλέπουμε ότι καλύπτονται οι προδιαγραφές και συγκεκριμένα μέσω του matlab έχουμε:

- Rise Time : $t_r = 1.09 < 1.2$
- Overshoot : $M_p = 0.9 < 10$

Άρα $K_p = 0.8$ και

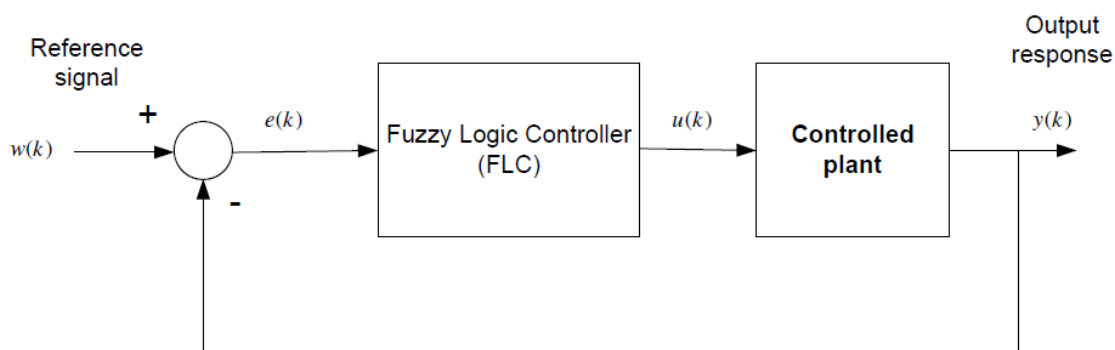
$$c = 2 = \frac{K_I}{K_P} \Rightarrow K_I = 1.6$$

Σχεδίαση ασαφούς ελεγκτή (FLC)

Τα χαρακτηριστικά του FLC που θα σχεδιαστεί είναι τα εξής:

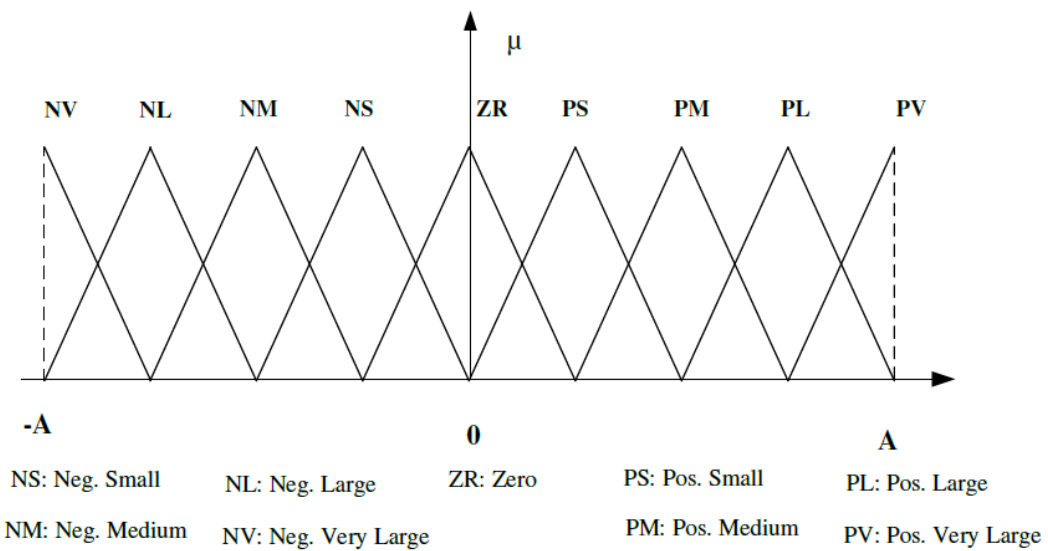
- ✓ Ασαφοποιητής Singleton
- ✓ Το συνδετικό AND υλοποιείται με τον τελεστή \min
- ✓ Η συνάρτηση συμπερασμού υλοποιείται με τον κανόνα Mamdani
- ✓ Το συνδετικό ALSO υλοποιείται με τον τελεστή \max
- ✓ Ο αποασαφοποιητής υλοποιείται με την τεχνική Center of Sums, COS

Ο ελεγκτής που θα σχεδιαστεί απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4: Ασαφής ελεγκτής

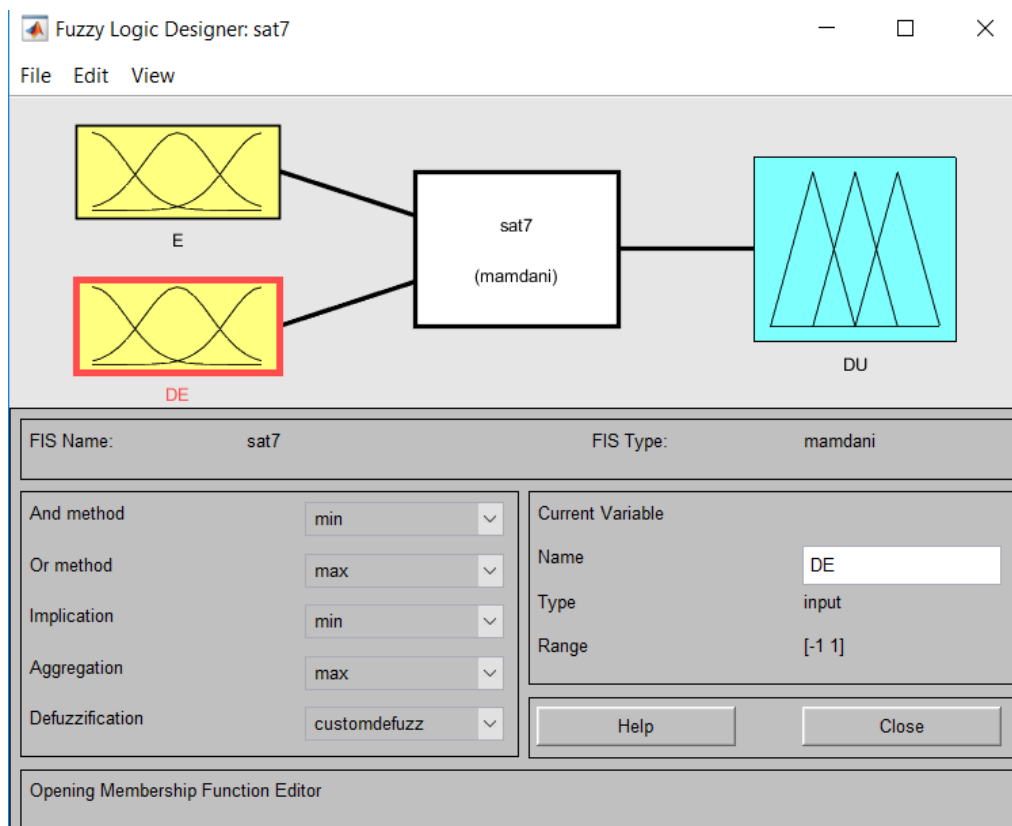
Οι λεκτικές μεταβλητές του σφάλματος, της μεταβολής του σφάλματος και της μεταβολής του σήματος ελέγχου περιγράφονται από λεκτικές μεταβλητές όπως το παρακάτω σχήμα:



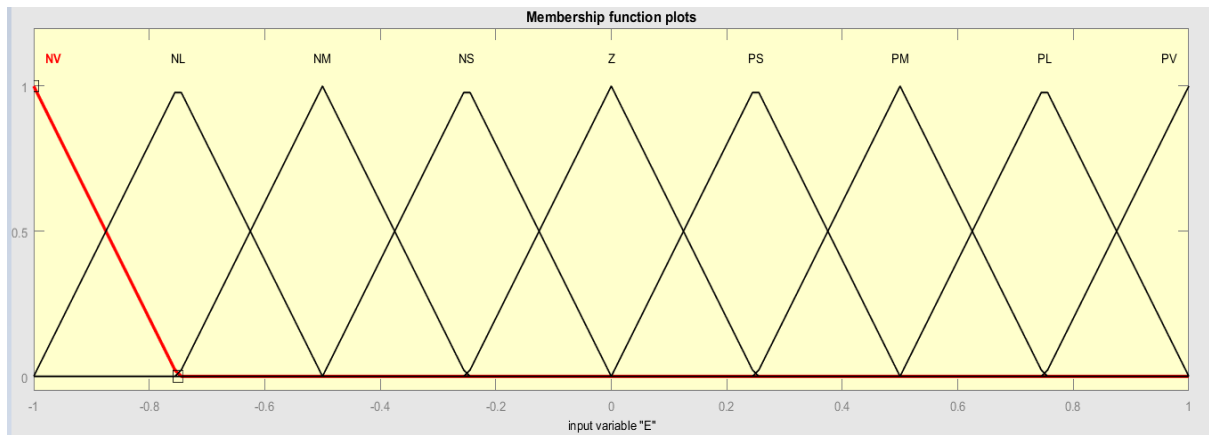
Σχήμα 5: Λεκτικές μεταβλητές σφάλματος, μεταβολής σφάλματος και μεταβολής του σήματος.

- ✓ Ο χρόνος δειγματοληψίας είναι $T=0.01$ sec.
- ✓ Το σήμα αναφοράς r κινείται στο διάστημα $[0, 50]$.
- ✓ Προκειμένου να έχουμε μηδενικό σφάλμα στη μόνιμη κατάσταση επιλέγεται ελεγκτής τύπου FZ-PI.

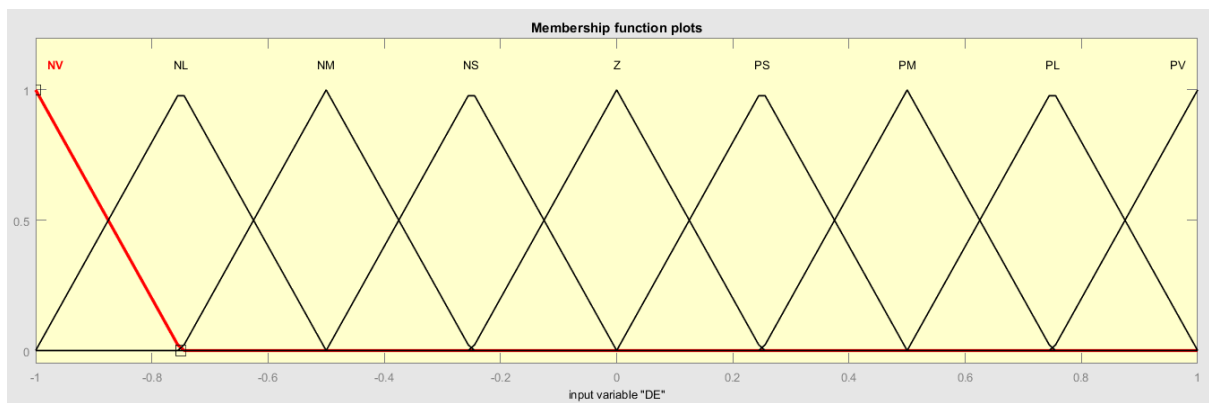
Αρχικά κανονικοποιούμε τα μεγέθη έτσι ώστε οι τιμές να βρίσκονται ανάμεσα στο $[-1,1]$. Έτσι οι λεκτικές του E του ΔE και του U έχουν τις παρακάτω μορφές.



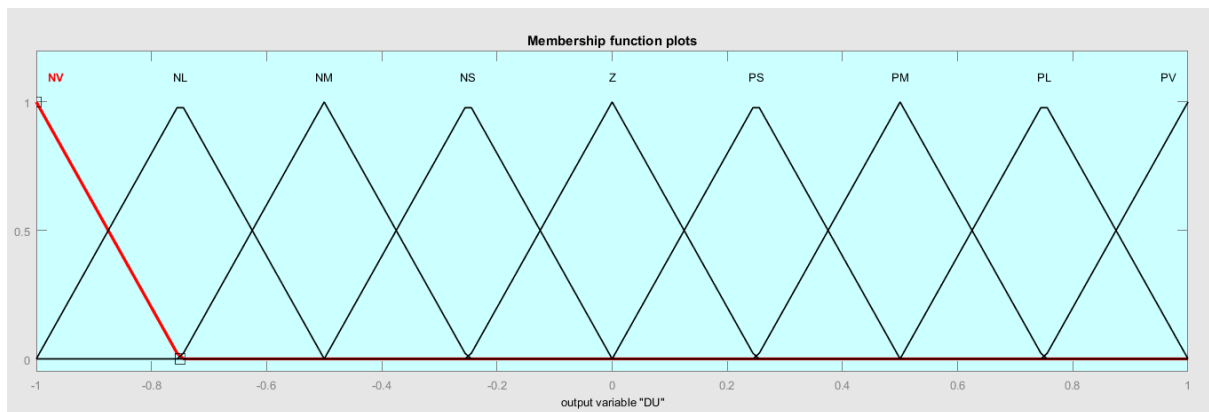
Σχήμα 6: Συνολική εικόνα του Fuzzy ελεγκτή στο Fuzzy Logic Designer



Σχήμα 7: Συνάρτηση συμμετοχής της μεταβλητής Ε



Σχήμα 8: Συνάρτηση συμμετοχής της μεταβλητής ΔΕ



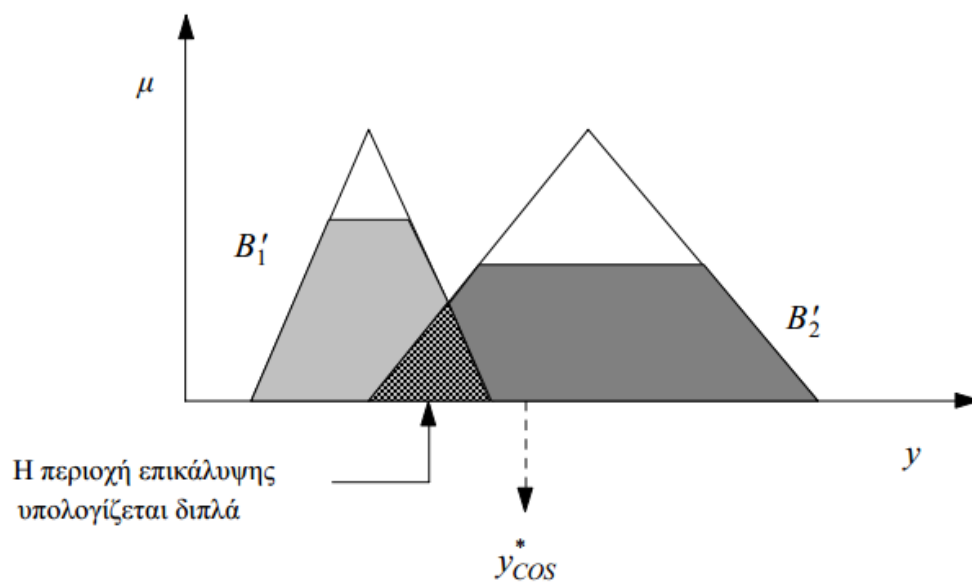
Σχήμα 9: Συνάρτηση συμμετοχής της μεταβλητής ΔΥ

Οι κανόνες βάσης για τον ελεγκτή FZ-PI δίνονται παρακάτω:

Πίνακας 1.

DE \ E	NV	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV
PV	ZR	PS	PM	PL	PV	PV	PV	PV	PV
PL	NS	ZR	PS	PM	PL	PV	PV	PV	PV
PM	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV	PV	PV
PS	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV	PV
ZR	NV	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV
NS	NV	NV	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL
NM	NV	NV	NV	NL	NM	NS	ZR	PS	PM
NL	NV	NV	NV	NV	NL	NM	NS	ZR	PS
NV	NV	NV	NV	NV	NV	NL	NM	NS	ZR

Επίσης, το MATLAB δεν παρέχει έτοιμη την συνάρτηση αποασαφοποίησης με τη μέθοδο Center Of Sums (COS). Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε η συνάρτηση αυτή, η οποία έχοντας ως είσοδο την τιμές των x και των y της συνάρτησης συμμετοχής της εξόδου, υπολογίζει την έξοδο του ελεγκτή, με βάση τα εμβαδά που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



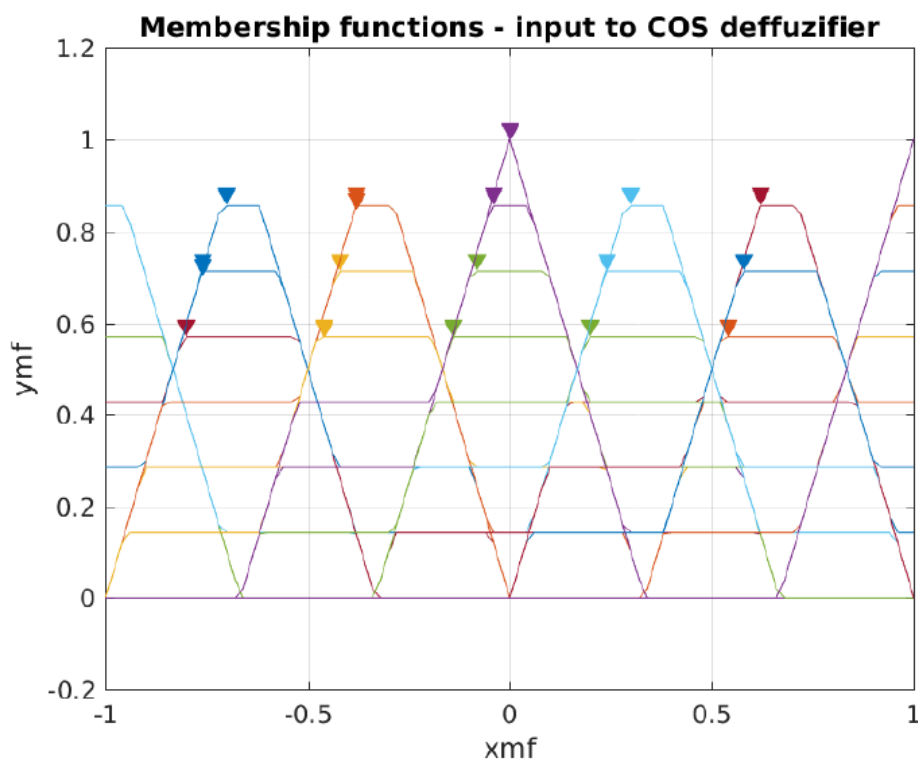
Σχήμα 10: Αποασαφοποιητής COS

Ο τύπος υπολογισμού της εξόδου είναι ο εξής:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i V_i)}{\sum_{i=1}^N V_i}, \quad (2)$$

Επεξήγηση λειτουργίας της μεθόδου αποασαφοποίησης

Στο αρχείο customdefuzz.m υλοποιείται η μέθοδος Center Of Sums. Αρχικά, εντοπίζουμε τα σημεία peaks της ymf και κρατάμε την τιμή αυτή, καθώς και την θέση που είναι το κάθε peak. Έτσι για κάθε κορυφή, μπορούμε να υπολογίσουμε το μήκος της πάνω βάσης, δηλαδή την απόσταση για την οποία το ymf έχει την ίδια τιμή όσο η κορυφή. Άρα, έχοντας το ύψος και το μήκος των δύο βάσεων, μπορούμε να υπολογίσουμε το εμβαδό του τραpezίου με τον κλασσικό τύπο. Υπολογίζουμε το κέντρο βάρους με τον παρακάτω τύπο: $\text{center of area} = (x_1+x_2)/2$, όπου x_1 η τετμημένη του πρώτου σημείου της άνω βάσης και x_2 η τετμημένη του δεύτερου σημείου της άνω βάσης. Το πρόβλημα με τη χρήση της συνάρτησης findpeaks του MATLAB είναι ότι δεν ανιχνεύει ως τοπικό μέγιστο εάν η συνάρτηση βρίσκεται στα τέρμα δεξιά ή τέρμα αριστερά της εισόδου, δηλαδή για τις περιπτώσεις των NL και PL που πρέπει να εξετάσουμε ξεχωριστά και να προσθέσουμε στο τελικό άθροισμα. Για τις περιπτώσεις αυτές, ελέγχουμε αν η τιμή του είναι διάφορη του 0, υπολογίζουμε το ολοκλήρωμα για τον υπολογισμό του εμβαδού ως ένα ολοκλήρωμα ευθείας και ενός τριγώνου. Υπολογίζουμε πάλι το center of area διαιρώντας την περιοχή του ολοκληρώματος προς την συνολική περιοχή και εφαρμόζουμε τον τύπο του COS. Έχοντας ελέγξει πλέον όλες τις συναρτήσεις, υπολογίζουμε την έξοδο του αποασαφοποιητή

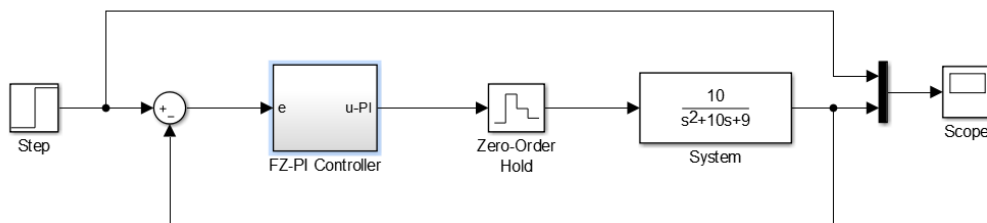


Σχήμα 11: Είσοδος στον αποασαφοποιητή

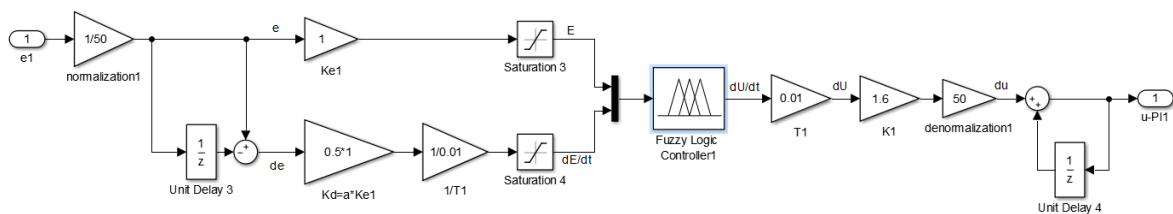
Σενάριο 1

α) Σχεδίαση του ελεγκτή και αποκρίσεις

Αρχικά, σχεδιάζουμε τον ελεγκτή στο Simulink, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 12: Σχήμα ελέγχου



Σχήμα 13: Μοντέλο του ασαφούς PI ελεγκτή

Σύμφωνα με την εκφώνηση θέλουμε:

- Υπερύψωση μικρότερη από 7% $\Rightarrow M_p < 0.07$
- Χρόνος ανόδου μικρότερος από 0.6 sec $\Rightarrow t_r < 0.6$

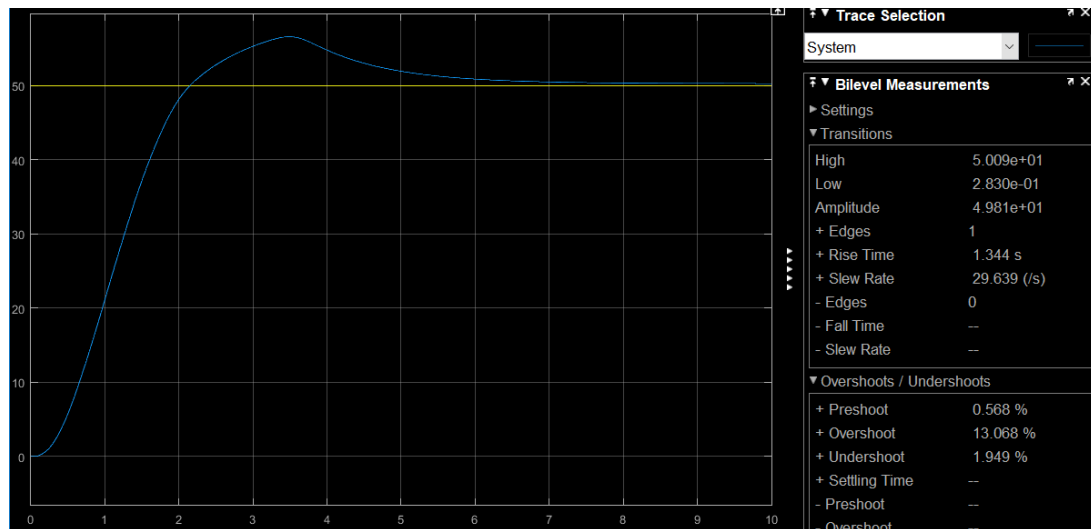
Αρχικά ρυθμίζουμε τα κέρδη του ελεγκτή στις ακόλουθες τιμές:

$$K_e = 1$$

$$\alpha = T_i = K_p/K_i = 0.5$$

$$K = K_p/F\{\alpha * K_e\} = 0.8 / F\{0.5 * 1\} = 1.6$$

Η αρχική απόκριση του ελεγκτή φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 14: Αρχική απόκριση του ασαφούς ελεγκτή

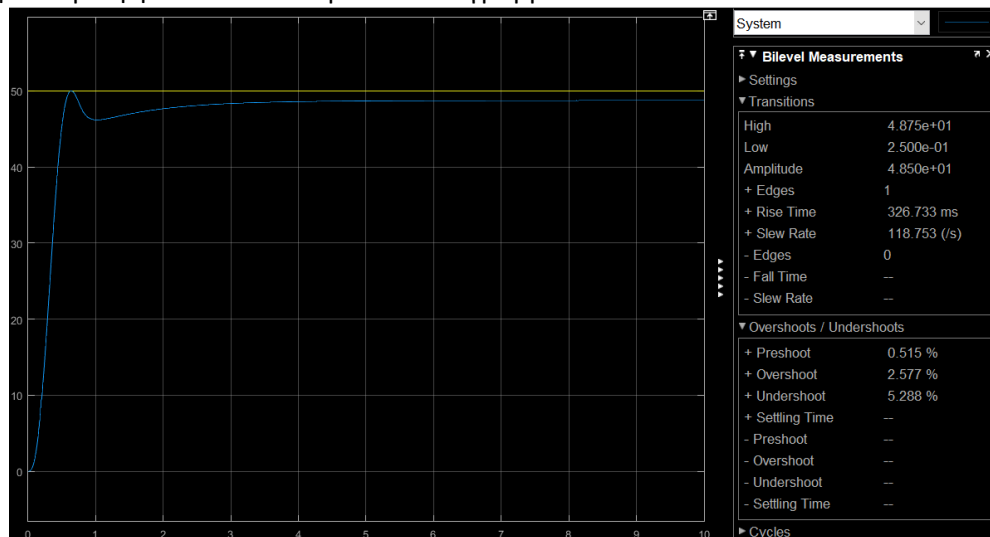
Μπορούμε να δούμε πολύ εύκολα ότι δεν καλύπτονται οι προδιαγραφές του συστήματος καθώς η υπερύψωση ισούται με $M_p=13\%$ ενώ ο χρόνος ανόδου ισούται με $t_r=1.344 > 0.6 \text{ sec}$. Άρα χρειάζεται επιπλέον ρύθμιση. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν αρχικά αύξηση των κερδών, στη συνέχεια μείωση του α και περαιτέρω αύξηση των κερδών μέχρις ότου καλύπτονταν οι προδιαγραφές. Είναι φανερό πως η μείωση του α μειώνει κατά πολύ το χρόνο ανόδου αλλά αυξάνει συγχρόνως και το ποσοστό υπερύψωσης. Γι' αυτό συνοδεύεται από αύξηση των κερδών, που μειώνουν το ποσοστό αυτό. Οι τιμές των K_e , K και α που δοκιμάστηκαν μαζί με τους χρόνους αποκατάστασης και τα ποσοστά υπερύψωσης αντίστοιχα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2.

	K_e	K	α	Rising time	Overshoot
Αρχικά	1	1.6	0.5	1.344	13.068
Τελικό	1.5	25	0.26	0.326	2.77

Βλέπουμε ότι τελικά καλύπτονται οι προδιαγραφές μας σε ικανοποιητικό βαθμό.

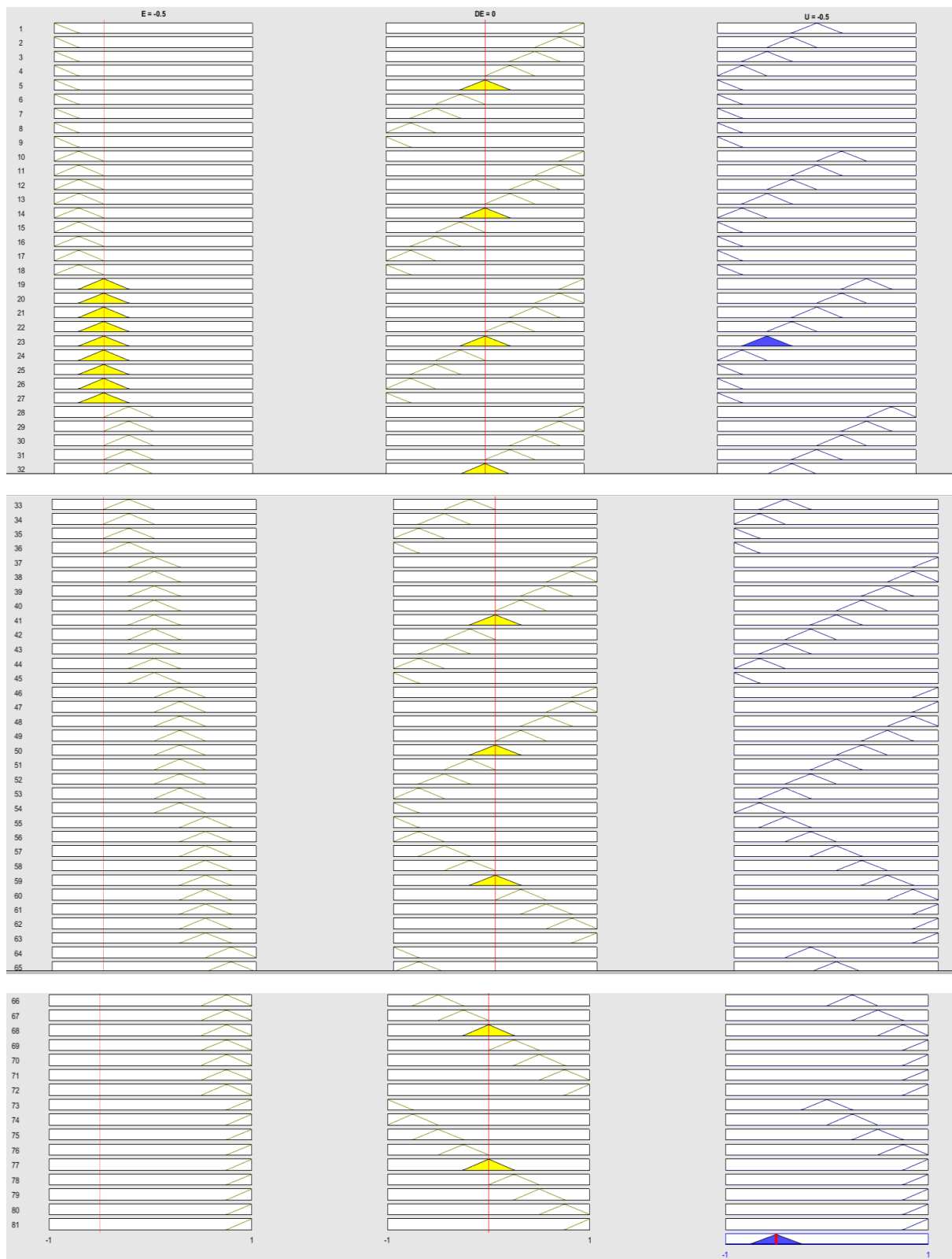
Η τελική απόκριση φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 15: Νέα απόκριση ασαφούς ελεγκτή

β) Λειτουργία της βάσης του ελεγκτή και συμπεράσματα

Θεωρούμε μια διέγερση όπου e is NM και Δe is ZR, θέτουμε δηλαδή $e = -0.5$ και $\Delta e = 0$. Στο σχήμα βλέπουμε ποιοι κανόνες διεγείρονται από αυτήν.



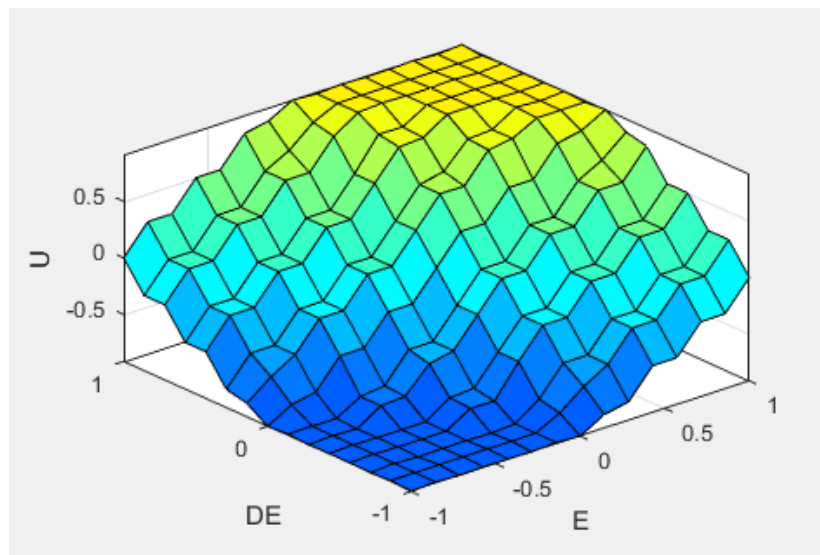
Σχήμα 16: Διέγερση κανόνων

Το τελικό αποτέλεσμα όπως φαίνεται και στο διάγραμμα ισούται με -0,5. Λόγω της μη διεγερσης άλλων κανόνων η τελική τιμή είναι αποτέλεσμα μόνο του κανόνα 23, ο οποίος είναι **if (E is NM) and (DE is ZR) then (U is NM)** . Μπορούμε να πούμε ότι γι' αυτές τις τιμές ο ελεγκτής μας έχει crisp συμπεριφορά. Ο κανόνας 23 ερμηνεύεται ως εξής: Αν το e είναι medium negative και το Δe είναι zero, τότε ο ελεγκτής πρέπει να δώσει έξοδο medium negative για να διορθώσει την γωνία.

γ) Ερμηνεία του νόμου ελέγχου του FLC

Παρακάτω φαίνεται η επιφάνεια της εξόδου του ασαφούς ελεγκτή. Παρατηρώντας την βλέπουμε την τάση που έχει ο ελεγκτής να οδηγεί το σφάλμα προς το μηδέν. Πρακτικά έχουμε 3 περιπτώσεις

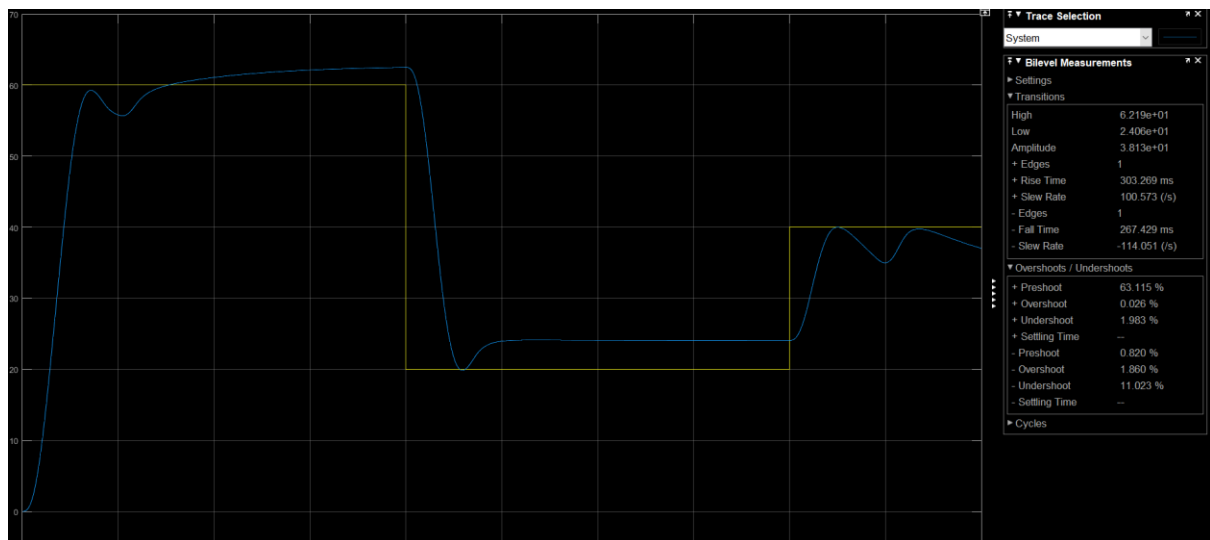
- Αν το σφάλμα αρνητικό και το Δe αρνητικό τότε το σφάλμα απομακρύνεται άρα δίνει έξοδο αρνητική για να το διορθώσει.
- Αν το σφάλμα θετικό και το Δe θετικό τότε το σφάλμα απομακρύνεται άρα δίνει έξοδο θετική για να το διορθώσει.
- Αν το σφάλμα αυτοδιορθώνεται ή είναι ήδη μηδενικό δεν χρειάζεται περαιτέρω αλλαγή και η έξοδος είναι μηδενική



Σχήμα 17: Τρισδιάσταση επιφάνεια εξόδου

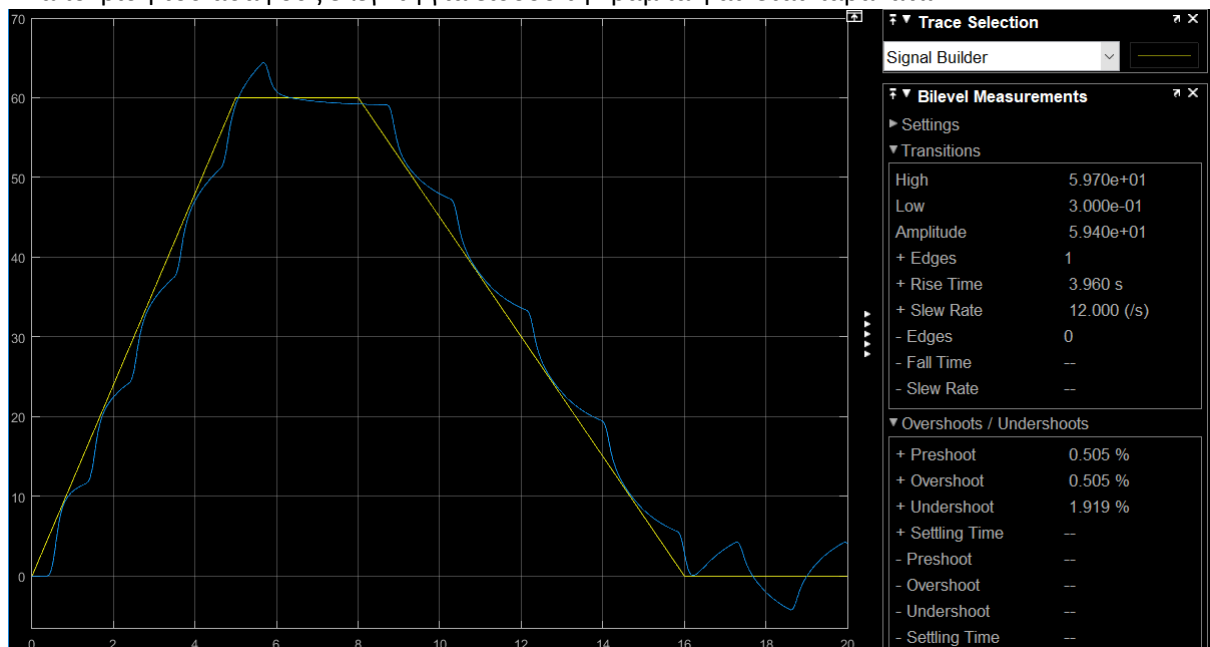
Σενάριο 2

Η απόκριση του ασαφούς ελεγκτή για είσοδο τον παλμό φαίνεται παρακάτω



Σχήμα 18: Απόκριση ασαφούς ελεγκτή με είσοδο παλμό

Η απόκριση του ασαφούς ελεγκτή για είσοδο την ράμπα φαίνεται παρακάτω



Σχήμα 19: Απόκριση ασαφούς ελεγκτή με τραπεζοειδή είσοδο

Βλέπουμε πως ο ελεγκτής παρακολουθεί καλύτερα τη ράμπα καθώς δεν υπάρχουν τόσο απότομες μεταβολές σε σχέση με τον παλμό.

Επεξήγηση παραδοτέων αρχείων MATLAB και Simulink

- **customdefuzz.m**: MATLAB Script -Μέθοδος αποασαφοποίησης COS
- **sat7.fis**: Fuzzy Logic Designer File - Περιέχει τους κανόνες και τις συναρτήσεις συμμετοχής για τον ελεγκτή
- **LinearController.m**: MATLAB Script - Υλοποίηση του γραμμικού ελεγκτή
- **fzpi_sat_one.slx**: SIMULINK FILE - Σενάριο 1
- **fzpi_sat_pulse.slx**: SIMULINK FILE - Παλμός Σενάριο 2
- **fzpi_sat_ramp.slx**: SIMULINK FILE -Ράμπτα Σενάριο 2