



Ασαφή Συστήματα 2018

Ομάδα 1

Έλεγχος ταχύτητας ενός μηχανισμού τραπεζιού
εργασίας με ασαφείς Ελεγκτές (T-9)

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΘΕΟΧΑΡΗΣ Ι.

Κοσμάς Τσιάκας
ΑΕΜ: 8255

11/10/2018

Περιεχόμενα

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.....	13
γ) Ερμηνεία του νόμου ελέγχου του FLC.....	15
Σενάριο 2.....	17
Επεξήγηση παραδοτέων αρχείων MATLAB.....	18

Σχήματα

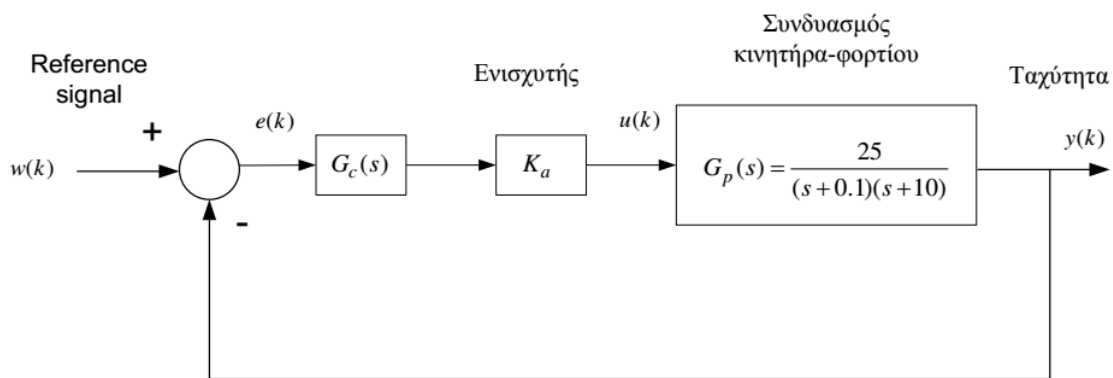
Σχήμα 1: Σύστημα ελέγχου.....	3
Σχήμα 2: Γεωμετρικός τόπος ριζών του συστήματος.....	4
Σχήμα 3: Βηματική απόκριση.....	4
Σχήμα 4: Ασαφής ελεγκτής.....	5
Σχήμα 5: Λεκτικές μεταβλητές σφάλματος και μεταβολής σφάλματος.....	5
Σχήμα 6: Λεκτικές μεταβλητές μεταβολής του σήματος.....	6
Σχήμα 7: Συνάρτηση συμμετοχής της μεταβλητής E.....	6
Σχήμα 8: Συνάρτηση συμμετοχής της μεταβλητής ΔE.....	7
Σχήμα 9: Συνάρτηση συμμετοχής της μεταβλητής ΔU.....	7
Σχήμα 10: Σχήμα ελέγχου.....	8
Σχήμα 11: Μοντέλο του ασαφούς PI ελεγκτή.....	8
Σχήμα 12: Αρχική απόκριση του ασαφούς ελεγκτή.....	9
Σχήμα 13: Νέα απόκριση ασαφούς ελεγκτή.....	10
Σχήμα 14: Διέγερση κανόνων.....	11
Σχήμα 15: Τρισδιάσταση επιφάνεια εξόδου.....	12
Σχήμα 16: Συναρτήσεις εισόδου.....	13
Σχήμα 17: Απόκριση ασαφούς ελεγκτή με είσοδο παλμό.....	13
Σχήμα 18: Απόκριση ασαφούς ελεγκτή με τραπεζοειδή είσοδο.....	14

Περιγραφή του προβλήματος

Στόχος της εργασίας είναι η υλοποίηση ενός ελεγκτή, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο της ταχύτητας ενός μηχανισμού τραπεζιού εργασίας υψηλής ακρίβειας. 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 ταχύτητας του μηχανισμού τραπεζιού εργασίας.



Σχήμα 1: Σύστημα ελέγχου

Ο γραμμικός ελεγκτής είναι της μορφής: $G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s} = \frac{K_p(s+c)}{s}$, όπου $c = \frac{K_I}{K_p}$.

Οι προδιαγραφές που θέλουμε να πληρούνται είναι οι εξής:

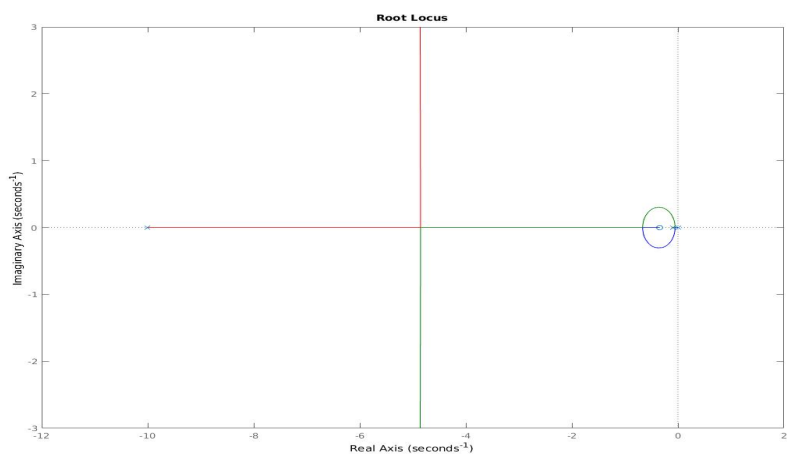
1. Υπερύψωση για βηματική είσοδο μικρότερη από 8%.
2. Χρόνος ανόδου μικρότερος από 0.6 δευτερόλεπτα.

Τοποθετούμε το μηδενικό του ελεγκτή στη θέση -0.35, δηλαδή ανάμεσα στους πόλους -0.1 και -10 του συστήματος και κοντά στον κυρίαρχο πόλο.

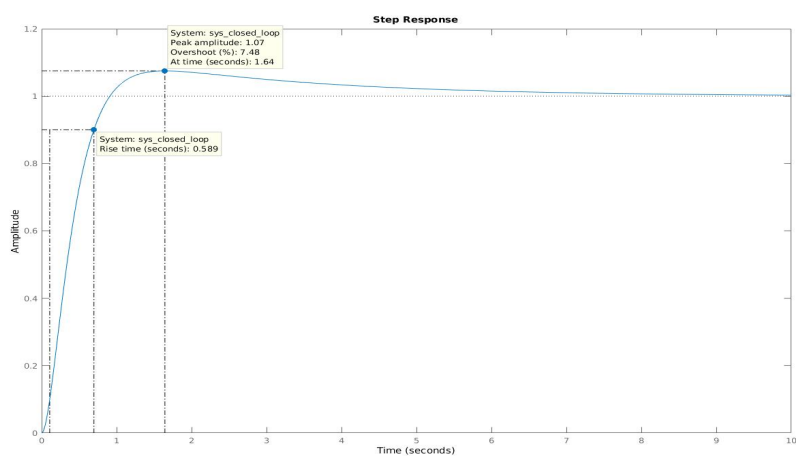
Επομένως, η συνάρτηση ανοιχτού βρόχου του συστήματος είναι της μορφής:

$$\frac{K(s+0.35)}{s(s+0.1)(s+10)}, \text{ όπου } K = 25K_p$$

Δημιουργούμε στο MATLAB τον γεωμετρικό τόπο ριζών του συστήματος με το rlocus.



Σχήμα 2: Γεωμετρικός τόπος ριζών του συστήματος



Σχήμα 3: Βηματική απόκριση

Επιλέγουμε την τιμή $K = 24$, δημιουργούμε στο MATLAB την απόκριση του συστήματος σε μοναδιαία είσοδο και προκύπτει το παραπάνω γράφημα.

Βλέπουμε ότι ικανοποιούνται όλες οι προδιαγραφές, καθώς το σύστημα έχει

- χρόνο ανόδου: $t_r = 0.589$ δευτερόλεπτα
- υπερύψωση: $M_p = 7.84\%$

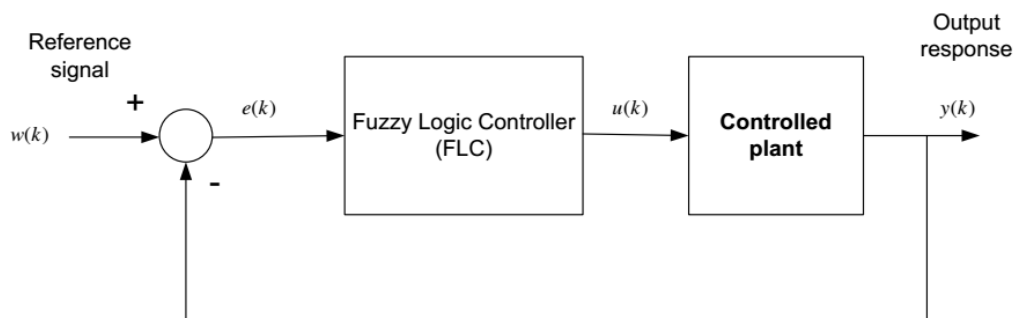
Για $K = 24$ έχουμε: $K = 25$ $K_p = 24 \Rightarrow$ άρα $K_p = 0.96$, $K_I = 0.336$.

Σχεδίαση ασαφούς ελεγκτή (FLC)

Τα χαρακτηριστικά του FLC που θα σχεδιαστεί είναι τα εξής:

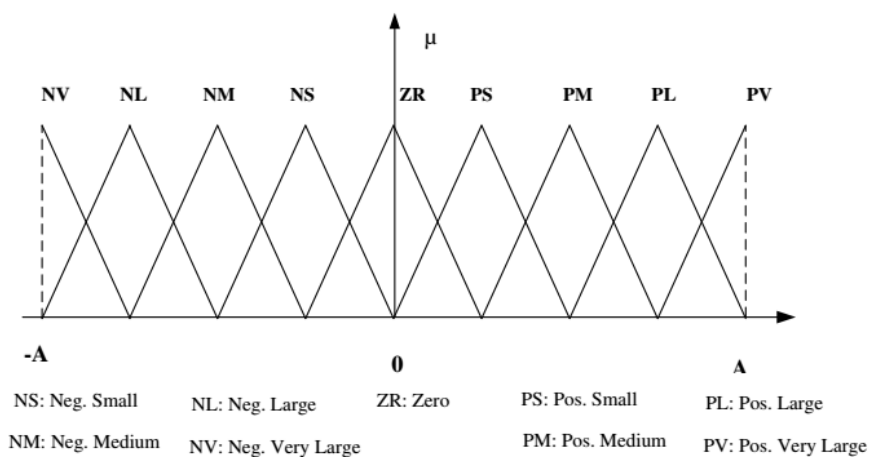
- Ασαφοποιητής Singleton
- Το συνδυαστικό AND υλοποιείται με τον τελεστή \min
- Η συνάρτηση συμπερασμού υλοποιείται με τον κανόνα Mamdani
- Το συνδυαστικό ALSO υλοποιείται με τον τελεστή \max
- Ο αποασαφοποιητής υλοποιείται με την τεχνική Center of Sums, COS

Ο ελεγκτής που θα σχεδιαστεί απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:

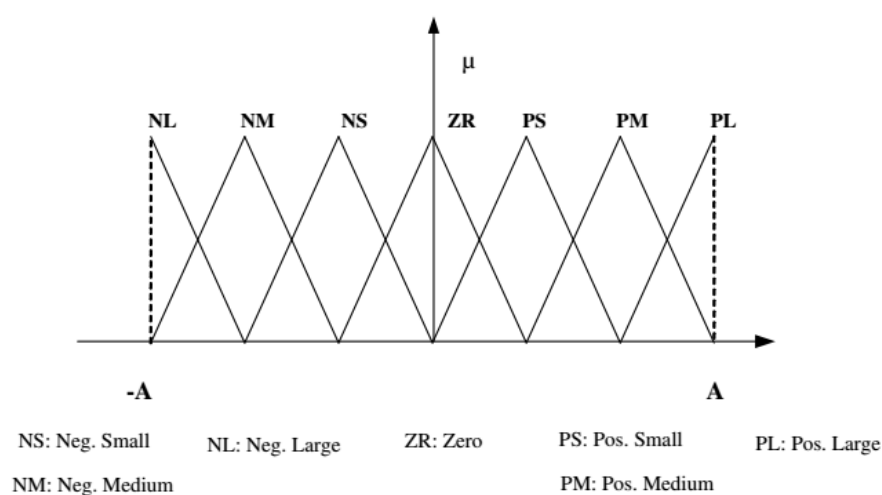


Σχήμα 4: Ασαφής ελεγκτής

Οι λεκτικές μεταβλητές του σφάλματος, της μεταβολής του σφάλματος και της μεταβολής του σήματος ελέγχου περιγράφονται από λεκτικές μεταβλητές που φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



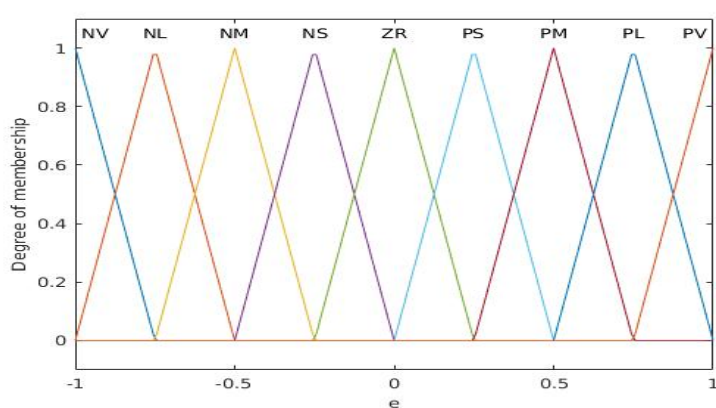
Σχήμα 5: Λεκτικές μεταβλητές σφάλματος και μεταβολής σφάλματος



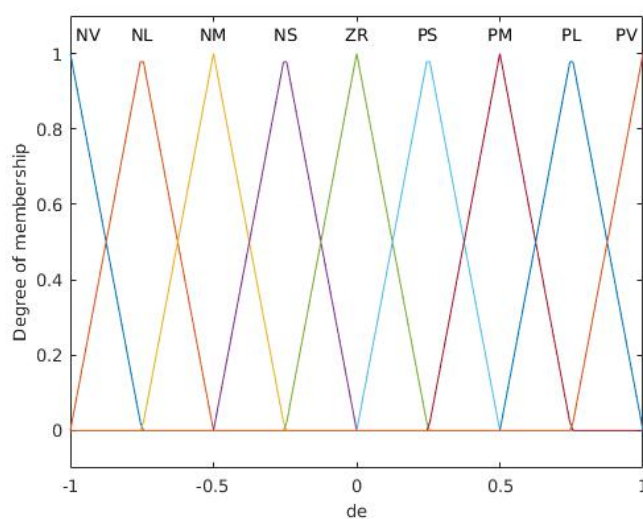
Σχήμα 6: Λεκτικές μεταβλητές μεταβολής του σήματος

Αρχικά, κλιμακοποιούμε το E και το \dot{E} , έτσι ώστε τα κανονικοποιημένα μεγέθη να μεταβάλλονται στο διάστημα $[-1, 1]$. Γνωρίζουμε ότι το σήμα αναφοράς έχει μέγιστη τιμή $\omega_{max} = 50 \text{ rad/sec}$. Μετά την κανονικοποίηση, διαιρώντας με το 50, το νέο πεδίο ορισμού είναι το $[-1, 1]$.

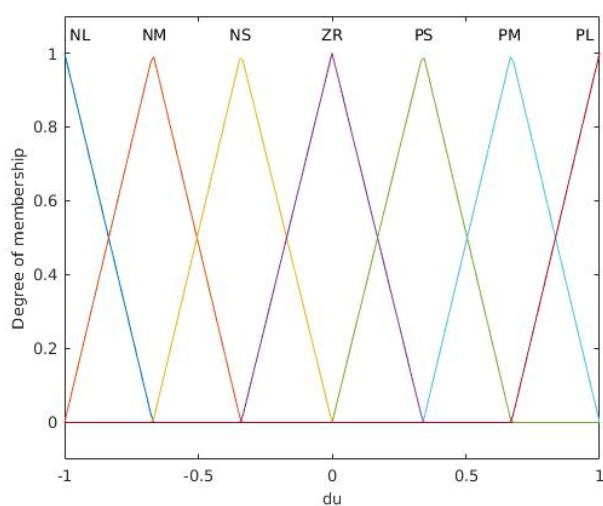
Συνέπως, οι λεκτικές μεταβλητές τώρα περιγράφονται ως εξής:



Σχήμα 7: Συνάρτηση συμμετοχής της μεταβλητής E



Σχήμα 8: Συνάρτηση συμμετοχής της μεταβλητής ΔΕ



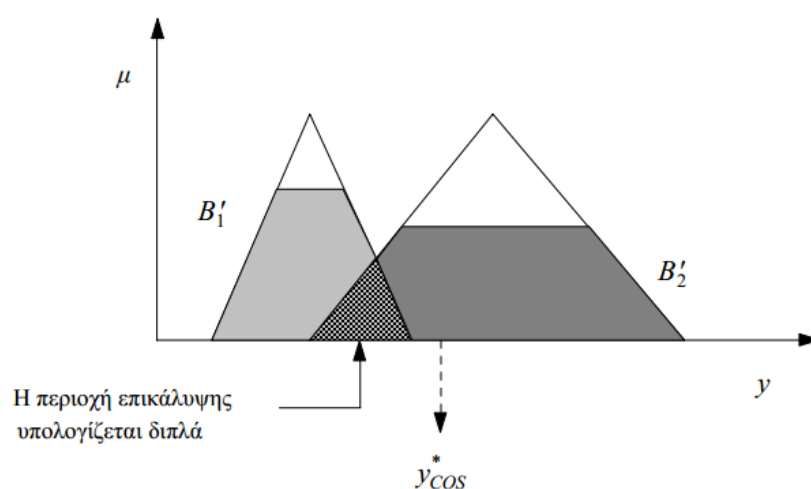
Σχήμα 9: Συνάρτηση συμμετοχής της μεταβλητής ΔU

Στη συνέχεια, πρέπει να διαμορφωθεί η βάση κανόνων του ασαφούς ελεγκτή, με βάση τους μετα-κανόνες σωστής λειτουργίας του συστήματος κλειστού βρόγχου.

Οι κανόνες για τον FZ-PI ελεγκτή, όπως προκύπτουν από τους κανόνες προσδιορισμού προσήμου και μεγέθους που περιγράφονται στις σημειώσεις, περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

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

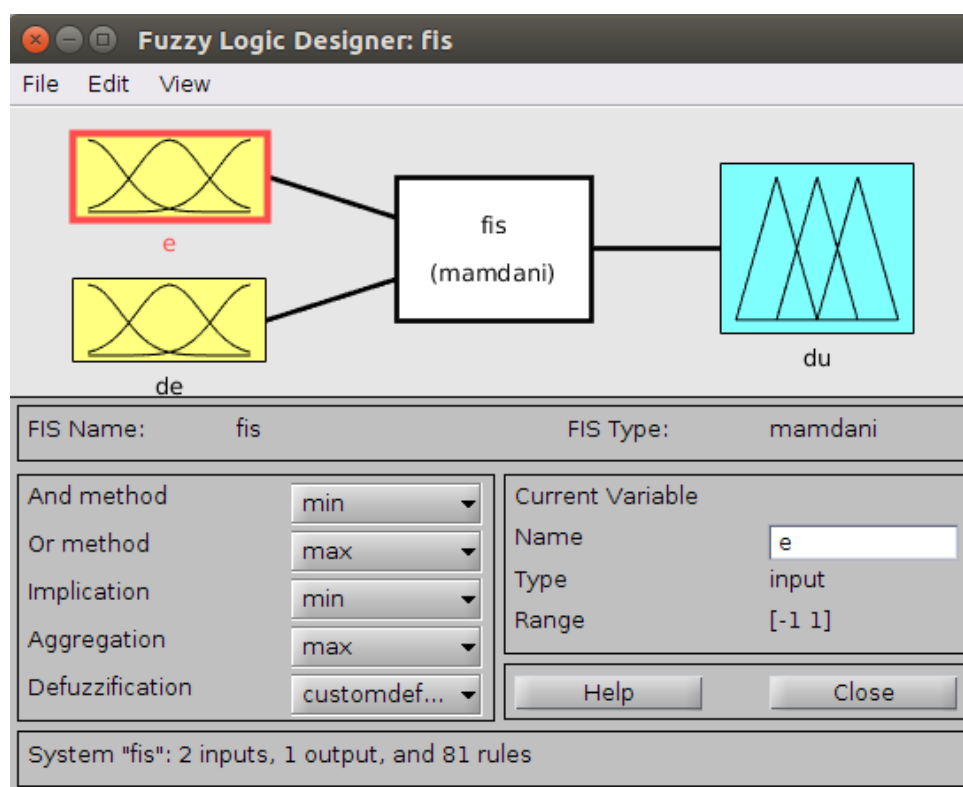
Επίσης, το MATLAB δεν παρέχει έτοιμη την συνάρτηση αποασαφοποίησης με τη μέθοδο Center Of Sums (COS). Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε η συνάρτηση αυτή, η οποία έχοντας ως είσοδο την τιμές των x και των y της συνάρτησης συμμετοχής της εξόδου, υπολογίζει την έξοδο του ελεγκτή, με βάση τα εμβαδά που φαίνονται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



Σχήμα 10: Αποασαφοποιητής COS

Ο τύπος υπολογισμού της εξόδου είναι ο εξής:

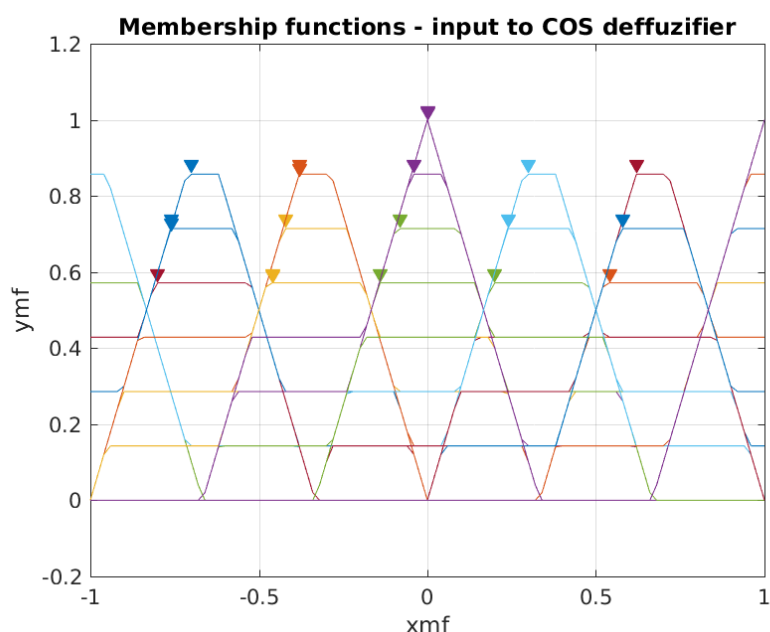
$$y = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i V_i)}{\sum_{i=1}^n V_i}$$



Σχήμα 11: Συνολική εικόνα του Fuzzy ελεγκτή στο Fuzzy Logic Designer

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. Στο παρακάτω σχήμα, μπορεί να φανεί πιο ξεκάθαρα τι ακριβώς είναι οι κορυφές που βρίσκουμε και ποια είναι συνολικά η είσοδος στον αποασαφοποιητή.



Σχήμα 12: Είσοδος στον αποασαφοποιητή

Έτσι για κάθε κορυφή, μπορούμε να υπολογίσουμε το μήκος της πάνω βάσης, δηλαδή την απόσταση για την οποία το y_{mf} έχει την ίδια τιμή όσο η κορυφή. Άρα, έχοντας το ύψος και το μήκος των δύο βάσεων, μπορούμε να υπολογίσουμε το εμβαδό του τραπεζίου με τον κλασικό τύπο. Υπολογίζουμε το κέντρο βάρους με τον παρακάτω τύπο:

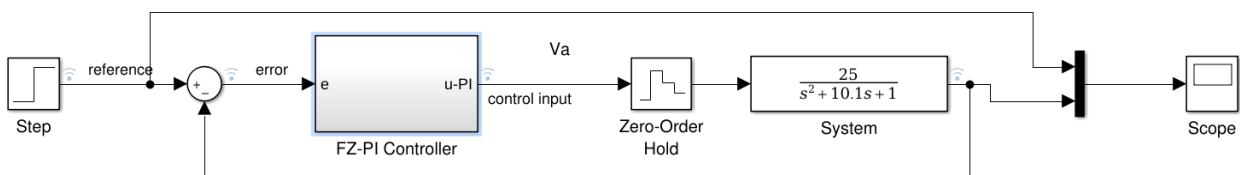
$$center\ of\ area = \frac{(x_1 + x_2)}{2}, \text{ όπου } x_1 \text{ η τετμημένη του πρώτου σημείου της άνω βάσης και } x_2 \text{ η τετμημένη του δεύτερου σημείου της άνω βάσης.}$$

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.

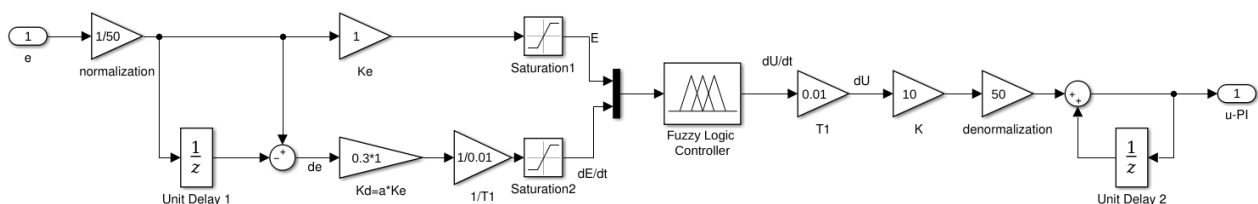
Σενάριο 1

α) Σχεδίαση του ελεγκτή και αποκρίσεις

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



Σχήμα 13: Σχήμα ελέγχου

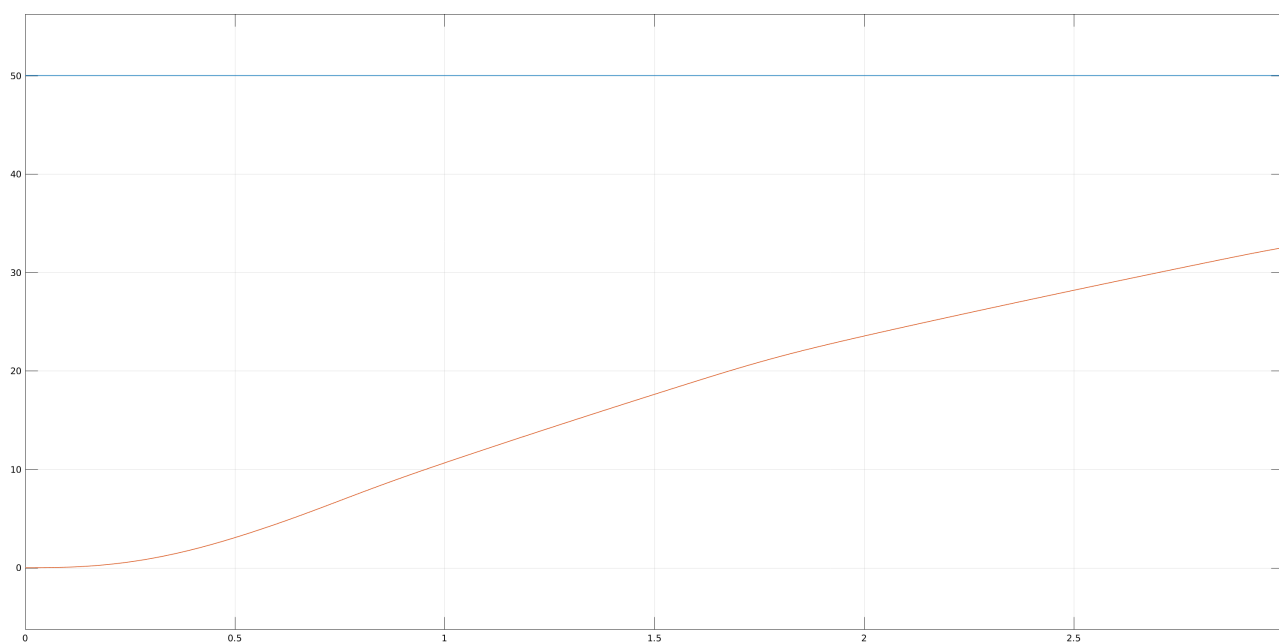


Σχήμα 14: Μοντέλο του ασαφούς PI ελεγκτή

Υπολογίζουμε τα αρχικά κέρδη κλιμακοποίησης του FZ-PI ελεγκτή:

- $K_e = 1$
- $a \approx T_i = \frac{K_p}{K_I} = \frac{0.96}{0.336} = 2.85$
- $K = \frac{K_p}{F\{aK_e\}} = \frac{0.96}{F\{2.85*1\}} = \frac{0.96}{2.85 F\{1\}} = \frac{0.96}{2.85} = 0.33$

Η αρχική απόκριση του ελεγκτή, για είσοδο $r = 50 * \text{stepfun}$ φαίνεται στη συνέχεια:

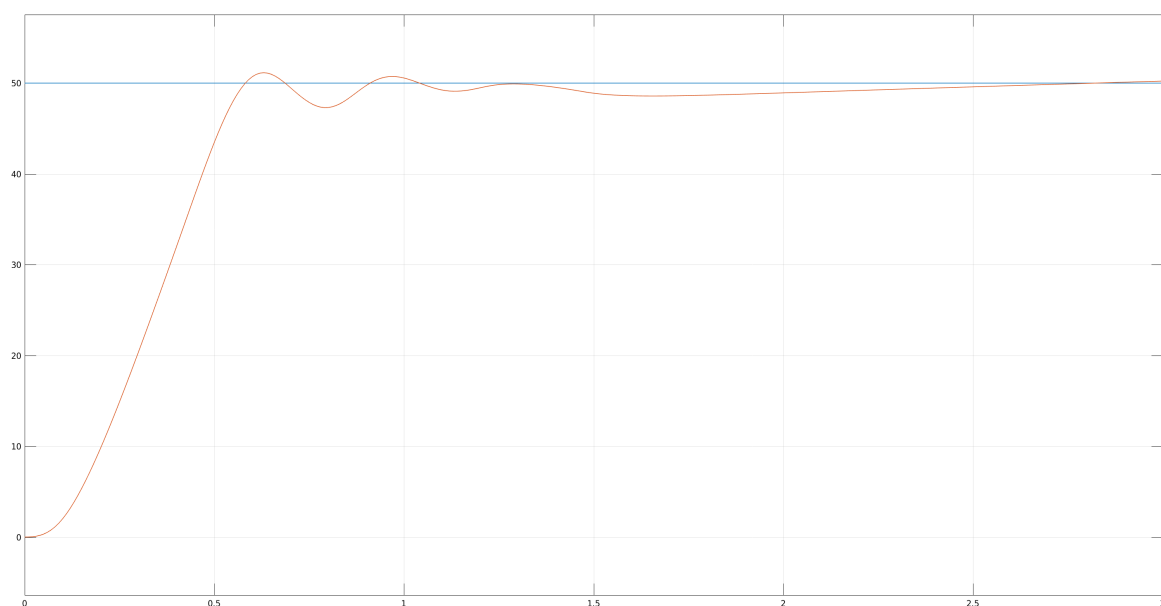


Σχήμα 15: Αρχική απόκριση του ασαφούς ελεγκτή

Παρατηρούμε ότι η απόκριση δεν καλύπτει σε καμία περίπτωση τις προδιαγραφές που είχαμε θέσει. Για το λόγο αυτό, θα πραγματοποιήσουμε κάποιες αλλαγές στον ελεγκτή και στις τιμές των κερδών, οι οποίες φαίνονται στη συνέχεια.

- $\alpha: 2.85 \rightarrow 0.3$
- $K_e: 1 \rightarrow 3$
- $K: 0.33 \rightarrow 12$

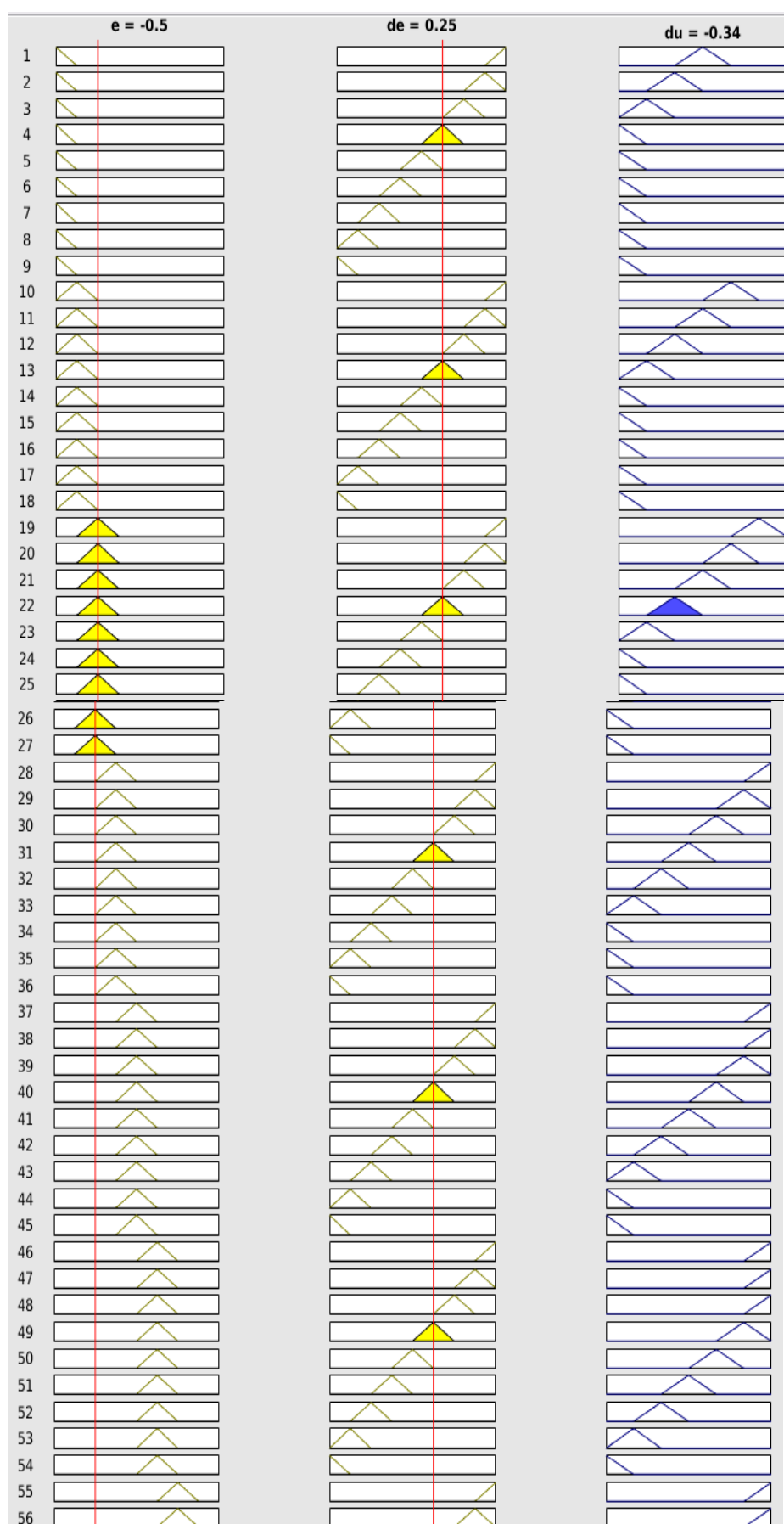
Με τις αλλαγές αυτές επιτυγχάνουμε την παρακάτω απόκριση, η οποία έχει χρόνο ανόδου 361 ms και υπερύψωση 3.6%. Ικανοποιούνται δηλαδή όλες οι προδιαγραφές μας.

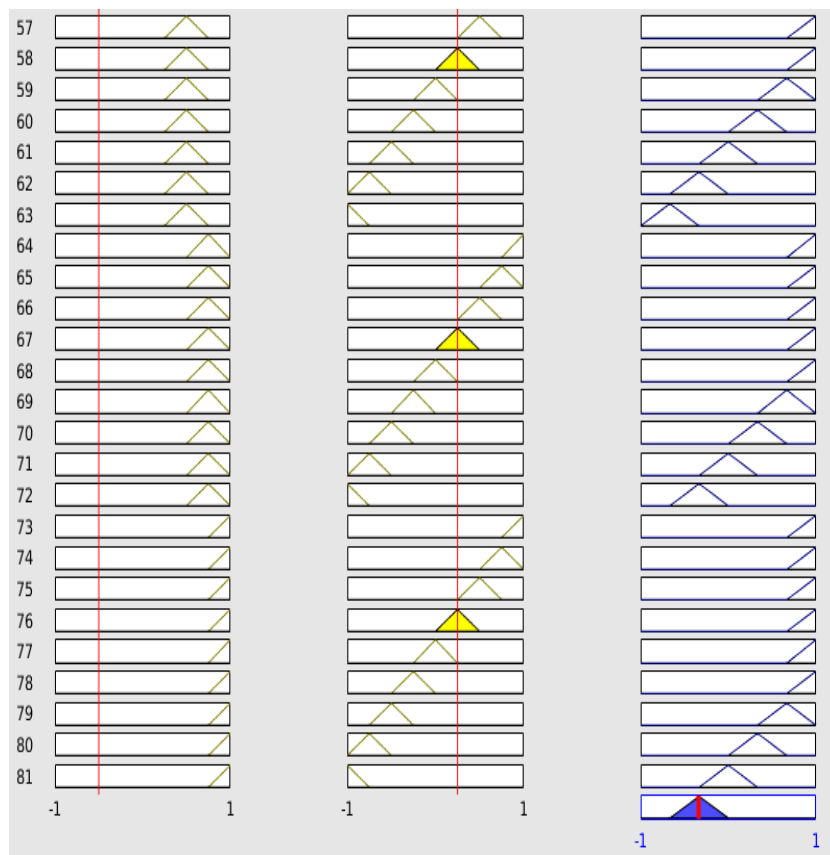


Σχήμα 16: Νέα απόκριση ασαφούς ελεγκτή

β) Λειτουργία της βάσης του ελεγκτή και συμπεράσματα

Θεωρούμε μια διέγερση όπου e is NM και Δe is PS, θέτουμε δηλαδή $e = -0.5$ και $\Delta e = 0.25$. Στο σχήμα βλέπουμε ποιοι κανόνες διεγείρονται από αυτήν.





Σχήμα 17: Διέγερση κανόνων

Διεγείρεται μόνο ο κανόνας 22, ο οποίος είναι:

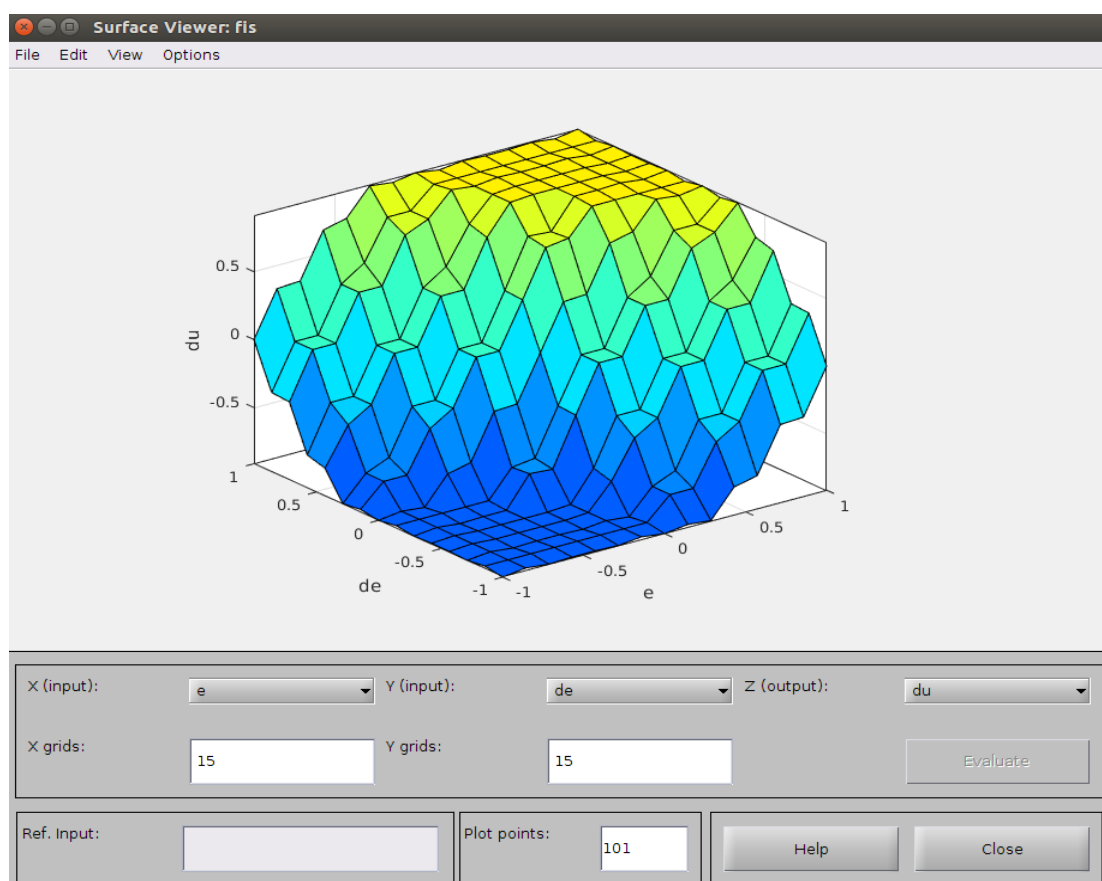
- if (e is NM) and (de is PS) then (du is NS)

Αυτο ερμηνεύεται ως εξής: Αν το e είναι medium negative και το Δe είναι positive small, τότε ο ελεγκτής πρέπει να δώσει έξοδο μικρή αρνητική για να διορθώσει την ταχύτητα.

Αφου δεν διεγείρονται άλλοι κανόνες, το τελικό αποτέλεσμα είναι $du = -0.33$ και ο ελεγκτής να λειτουργεί με crisp τρόπο για την συγκεκριμένη περίπτωση, αφού δεν υπάρχει άλλος κανόνας να επηρεάσει το αποτέλεσμα. Το αποτέλεσμα στην δική μας περίπτωση, είναι -0.34 , πολύ κοντά στην τιμή που περιμέναμε, όμως λογικό να υπάρχει κάποια μικρή απόκλιση, λόγω της custom υλοποίησης του αποασαφοποιητή.

γ) Ερμηνεία του νόμου ελέγχου του FLC

Η τρισδιάστατη επιφάνεια της εξόδου του ασαφούς ελεγκτή σε σχέση με τις εισόδους του φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 18: Τρισδιάσταση επιφάνεια εξόδου

Παρατηρώντας την καμπύλη μπορούμε να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα, όπως ότι:

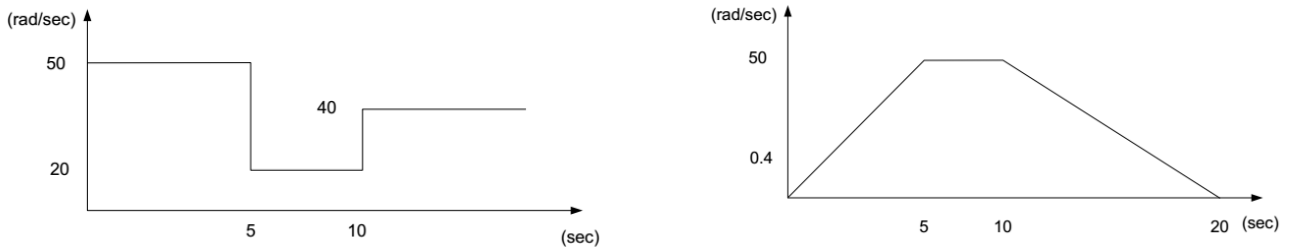
- Αν το e και Δe είναι αρνητικά, τότε και το Δu είναι αρνητικό, καθώς πρέπει να διορθώσει το σφάλμα που απομακρύνεται.
- Αν το σφάλμα είναι σταθερό και τη μεταβολή του μηδενική, τότε δεν απαιτείται καμία διόρθωση, άρα η έξοδος είναι μηδενική.
- Αν το σφάλμα και η μεταβολή του είναι θετικά, τότε η μεταβολή της εξόδου είναι θετική επίσης για την διόρθωση του σφάλματος.

Αυτά τα τρία περιγράφουν συνοπτικά και την λειτουργία του ασαφούς ελεγκτή.

Λόγω της ύπαρξης μόνο 7 κανόνων για την έξοδο, παρατηρούμε ότι στα άκρα η καμπύλη γίνεται σχεδόν επίπεδη στην τιμή 0. Έαν είχαμε δύο παραπάνω κανόνες, θα μπορούσαμε να έχουμε πιο ομαλή μετάβαση προς το μηδέν. Παρόλα αυτά, το αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό.

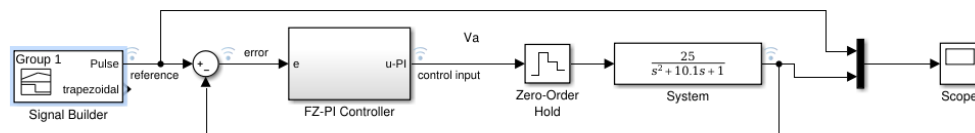
Σενάριο 2

Στο σενάριο αυτό, εισάγουμε τους παρακάτω παλμούς στον ελεγκτή για να παρακολουθήσουμε την ικανότητα του να ακολουθεί διαφορετικά σήματα αναφοράς.

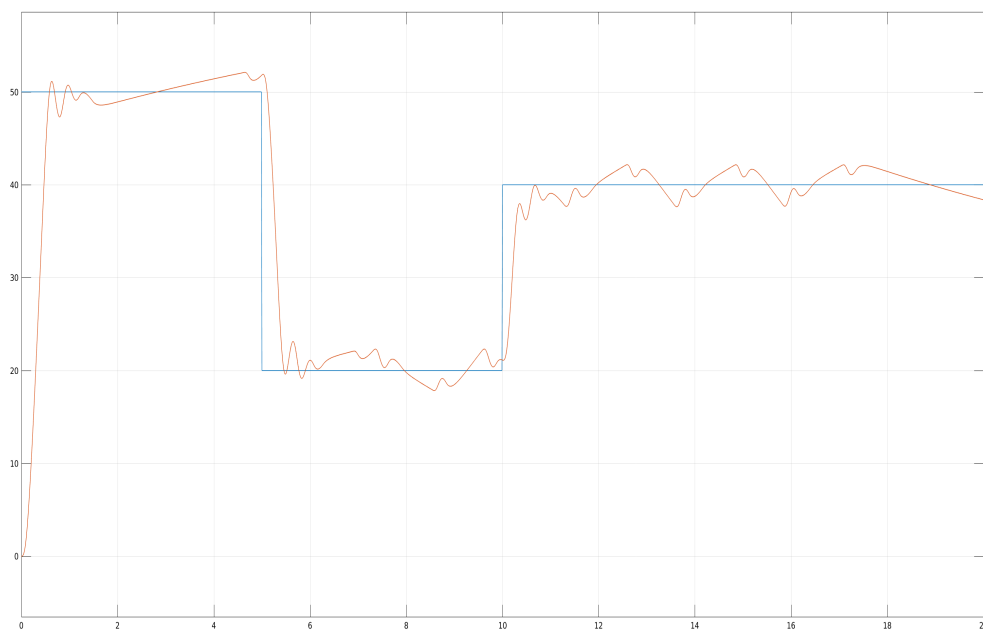


Σχήμα 19: Συναρτήσεις εισόδου

Χρησιμοποιούμε τον Signal Builder του Simulink ως εξής:

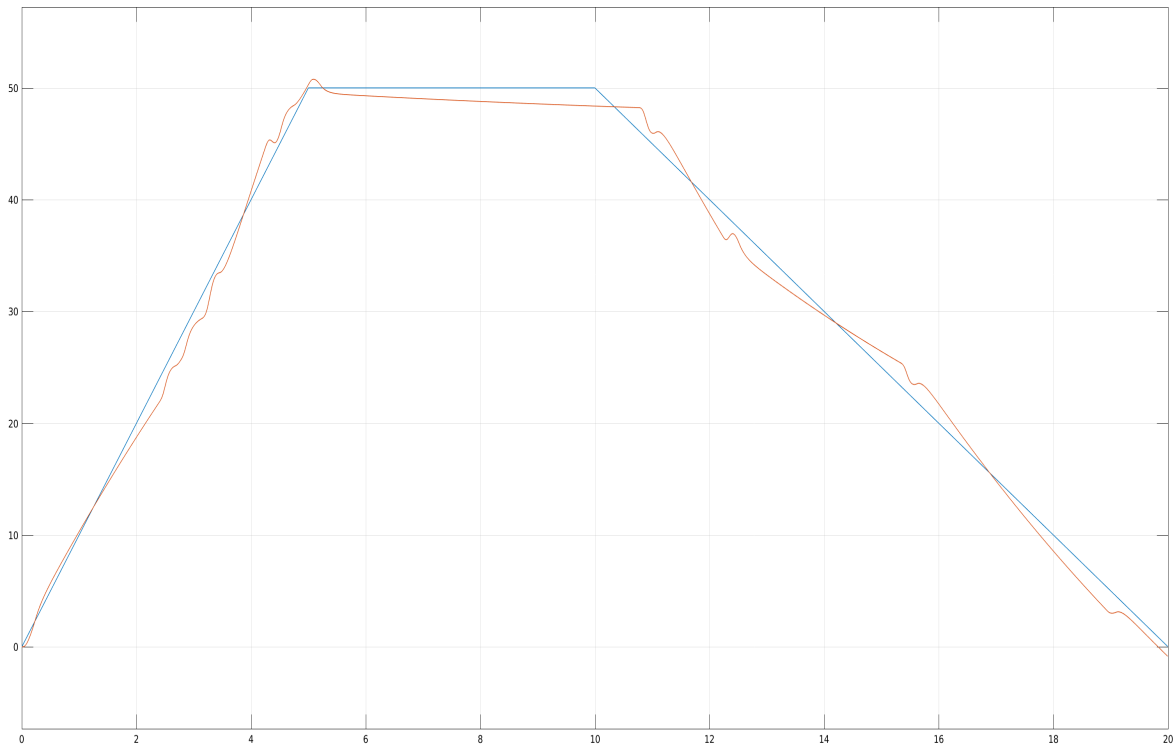


Η απόκριση για τον πρώτο παλμό είναι η εξής:



Σχήμα 20: Απόκριση ασαφούς ελεγκτή με είσοδο παλμό

Η απόκριση για την ράμπα είναι η εξής:



Σχήμα 21: Απόκριση ασαφούς ελεγκτή με τραπεζοειδή είσοδο

Η έξοδος του ελεγκτή έχει τη δυνατότητα να ακολουθεί το σήμα αναφοράς που του δίνεται. Παρατηρούμε ότι ο ελεγκτής ακολουθεί πολύ καλύτερα την δεύτερη είσοδο, καθώς γενικά υπάρχουν λιγότερες μεταβολές. Στην περίπτωση του παλμού υπάρχει μεγαλύτερη απόκλιση, καθώς το σήμα αλλάζει πιο συχνά και απότομα κατεύθυνση, ενώ στο τέλος δεν καταφέρνει και να σταθεροποιηθεί.

Επεξήγηση παραδοτέων αρχείων MATLAB

- `linear_controller.m`: Υλοποίηση του γραμμικού ελεγκτή
- `customdefuzz.m`: Μέθοδος αποασαφοποίησης COS
- `fis.fis`: Το FIS που περιέχει τους κανόνες και τις συναρτήσεις συμμετοχής για τον ελεγκτή
- `control.mdl`: Υλοποίηση του πρώτου σεναρίου του ασαφούς ελεγκτή
- `control_scenario2.mdl`: Υλοποίηση του δεύτερου σεναρίου του ασαφούς ελεγκτή