



# Εργασία στα Ασαφή Συστήματα Έλεγχος κινητήρα με Ασαφείς Ελεγκτές (05\_DC-Motor-FLC)

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών  
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

*Εργασία του:* **Παπαδόπουλου Κωνσταντίνου**

**AEM: 8677**

## Εισαγωγή

### Ελεγχόμενο Σύστημα DC κινητήρα

Το ελεγχόμενο σύστημα πρόκειται για έναν DC κινητήρα με ανεξάρτητη διέγερση. Ως εισόδους του συστήματος θεωρούμε την τάση τροφοδοσίας  $V_a$  και τη ροπή φορτίου  $T_L$ . Η έξοδος λαμβάνεται ως η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα  $\omega_\delta$ . Με βάση τις σημειώσεις του μαθήματος, γνωρίζουμε πως η έξοδος του συστήματος μπορεί να δοθεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$\Omega(s) = \frac{18.69}{s + 12.064} V_a(s) - \frac{2.92(s + 440)}{s + 12.064} T_L(s)$$

Η τάση τροφοδοσίας  $V_a$  είναι, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, η είσοδος στο σύστημα ελέγχου, ενώ η ροπή του φορτίου είναι ένα είδος διαταραχής.

Στην εκφώνηση της εργασίας μπορούν να βρεθούν οι προδιαγραφές σχεδίασης, καθώς και τα χαρακτηριστικά του σχεδιαζόμενου ασαφούς ελεγκτή.

Στη συνέχεια ακολουθούμε τα εξής βήματα:

- ✓ Γράφουμε τις συναρτήσεις μεταφοράς στη Matlab με τη βοήθεια της συνάρτησης  $tf()$ .
- ✓ Υλοποιούμε μία επαναληπτική διαδικασία, όπου μεταβάλλουμε το μηδενικό  $a$  και το κέρδος  $K_p$ , έως ότου εντοπίσουμε τις τιμές για τις οποίες ο χρόνος ανόδου είναι το πολύ 160 msec, η υπερύψωση το πολύ 5% για βηματική είσοδο και κέρδος διαταραχής για

κυκλική συχνότητα διαταραχής μικρότερη από 1 rad/sec το πολύ 20 dB (όπως προστάζουν οι προδιαγραφές).

Τελικά οι τιμές που βρέθηκαν να πληρούν όλες τις προδιαγραφές είναι για  $K_i = 6.3$ ,  $K_p = 0.04$  και  $a = K_i / K_p = 157.5$ .

Πράγματι, για την εκπλήρωση της τρίτης προδιαγραφής του συστήματος ελέγχου με μοναδιαία αρνητική ανάδραση (μηδενικό σφάλμα θέσης) είναι λογική η χρήση ασαφή ελεγκτή τύπου FZ-PI. Με τον PI (μηδενικό και ολοκληρωτής) έχουμε σύστημα τύπου 1, το οποίο θα έχει μηδενικό σφάλμα θέσης.

Θα δούμε και γραφικά την τήρηση των προδιαγραφών παρακάτω.

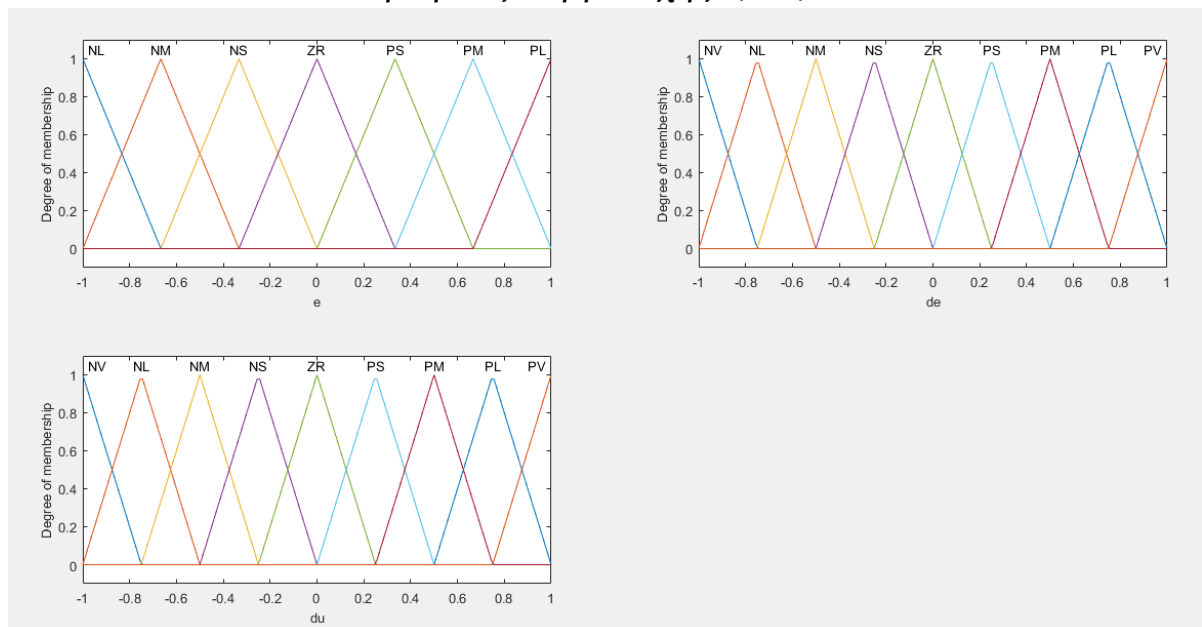
- ✓ Για το σχεδιασμό του ασαφή ελεγκτή χρησιμοποιήθηκαν οι συναρτήσεις *newfis()*, *addvar()* και *addrule()*. Η δημιουργία των κανόνων προκύπτει με βάση τη δομή του Fuzzy-PI ελεγκτή, όπως αυτή είναι γνωστή από τις σημειώσεις του μαθήματος. Για τη δημιουργία του πίνακα κανόνων χρησιμοποιήθηκε ένας πίνακας Toerliz όπως φαίνεται παρακάτω.

Αρχικός γενικός πίνακας 9x9

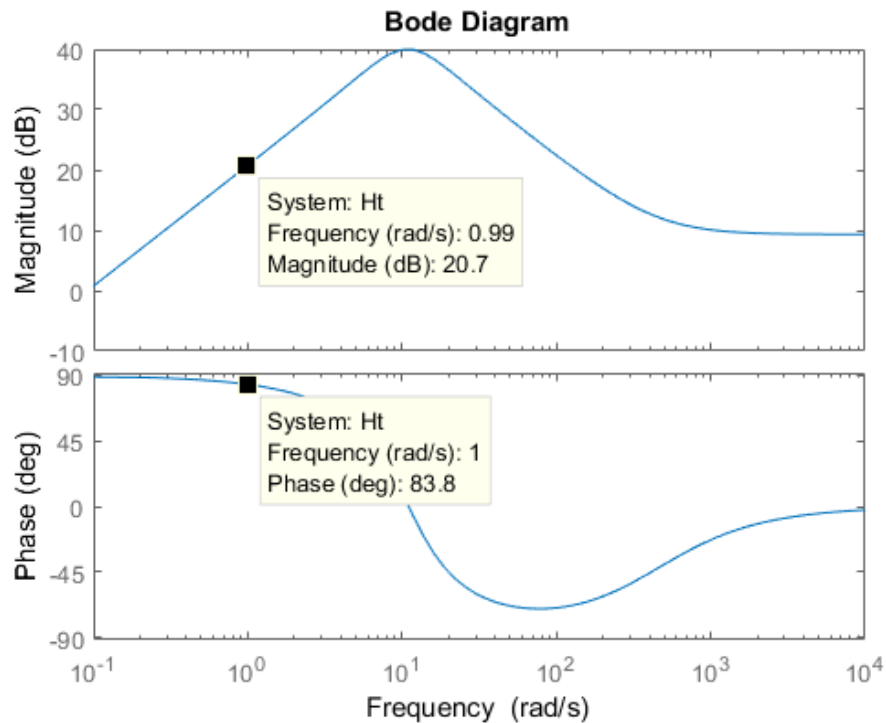
$E$ $\dot{E}$	NV	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV
PV	ZR	PS	PM	PL	PV	PV	PV	PV	PV
PL	NS	ZR	PS	PM	PL	PV	PV	PV	PV
PM	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV	PV	PV
PS	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV	PV
ZR	NV	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV
NS	NV	NV	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL
NM	NV	NV	NV	NL	NM	NS	ZR	PS	PM
NL	NV	NV	NV	NV	NL	NM	NS	ZR	PS
NV	NV	NV	NV	NV	NV	NL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

## Σωστός τελικός πίνακας 9x7

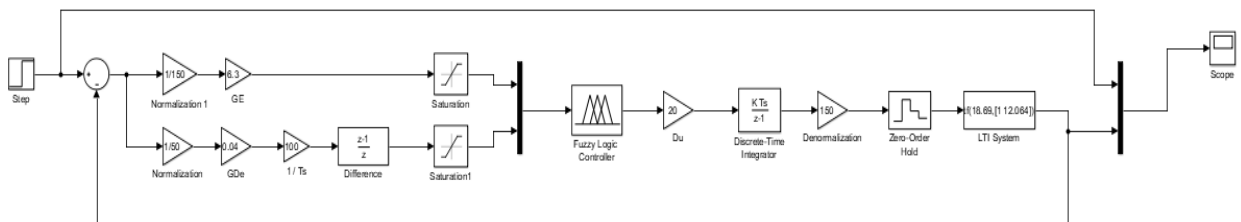
$E$ $\dot{E}$	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL
PV	PS (6)	PM (7)	PL (8)	PV (9)	PV (9)	PV (9)	PV (9)
PL	ZR (5)	PS (6)	PM (7)	PL (8)	PV (9)	PV (9)	PV (9)
PM	NS (4)	ZR (5)	PS (6)	PM (7)	PL (8)	PV (9)	PV (9)
PS	NM (3)	NS (4)	ZR (5)	PS (6)	PM (7)	PL (8)	PV (9)
ZR	NL (2)	NM (3)	NS (4)	ZR (5)	PS (6)	PM (7)	PL (8)
NS	NV (1)	NL (2)	NM (3)	NS (4)	ZR (5)	PS (6)	PM (7)
NM	NV (1)	NV (1)	NL (2)	NM (3)	NS (4)	ZR (5)	PS (6)
NL	NV (1)	NV (1)	NV (1)	NL (2)	NM (3)	NS (4)	ZR (5)
NV	NV (1)	NV (1)	NV (1)	NV (1)	NL (2)	NM (3)	NS (4)

Συναρτήσεις συμμετοχής  $e$ ,  $de$ ,  $du$ 

- ✓ Εδώ διαπιστώνουμε την απόρριψη διαταραχών περίπου ίση με 20dB για κυκλική συχνότητα 1 rad/sec.



Μέσω του *Fuzzy Logic Designer* σχεδιάζουμε το παρακάτω σύστημα (*dc\_new\_1.slx*).

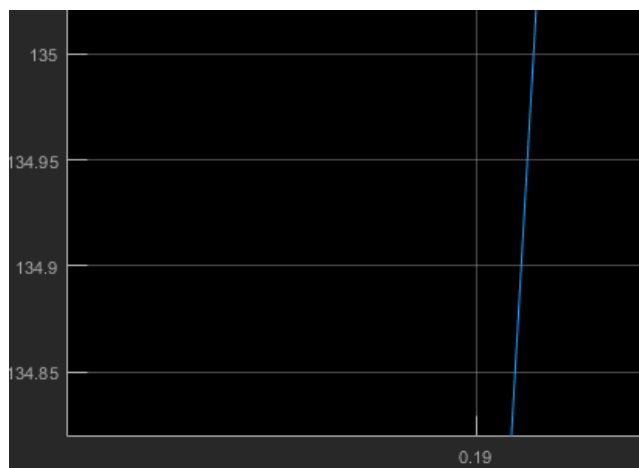
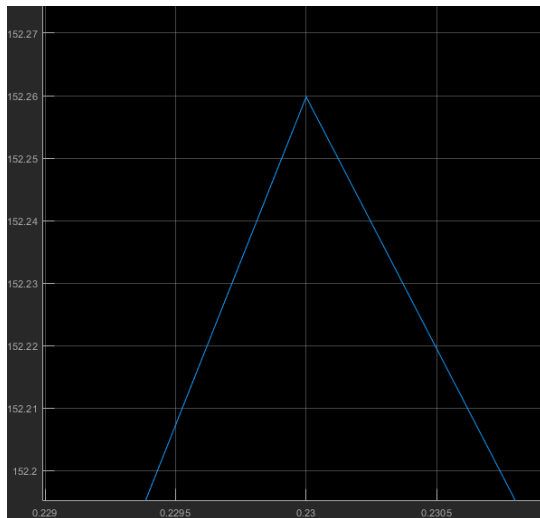


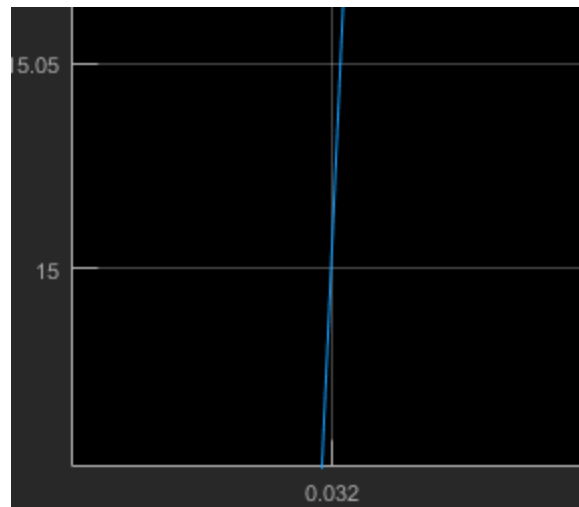
Σε αυτό το σύστημα ελέγχουμε το Scope για να βεβαιωθούμε ότι τηρούνται οι προδιαγραφές.



Υπερύψωση:  $(152.26 - 150) / 150 = 1.51\%$

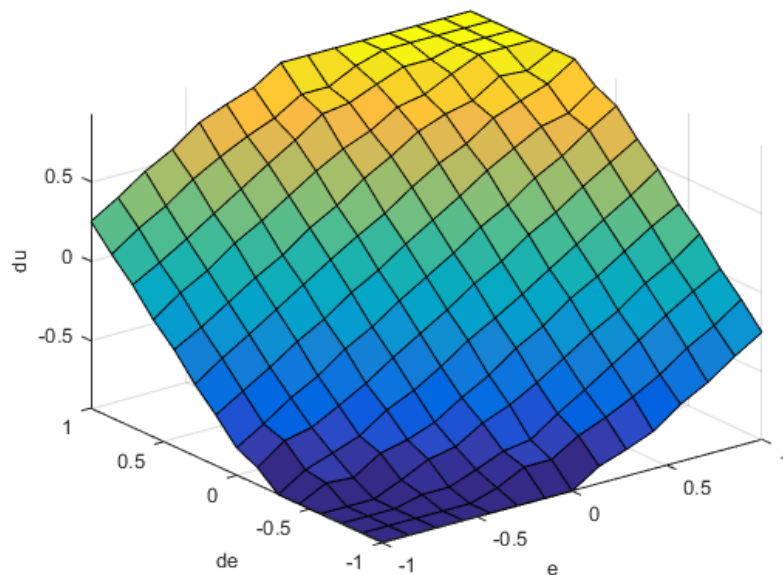
Χρόνος ανόδου:  $0.191 - 0.032 = 0.159 \text{ sec}$





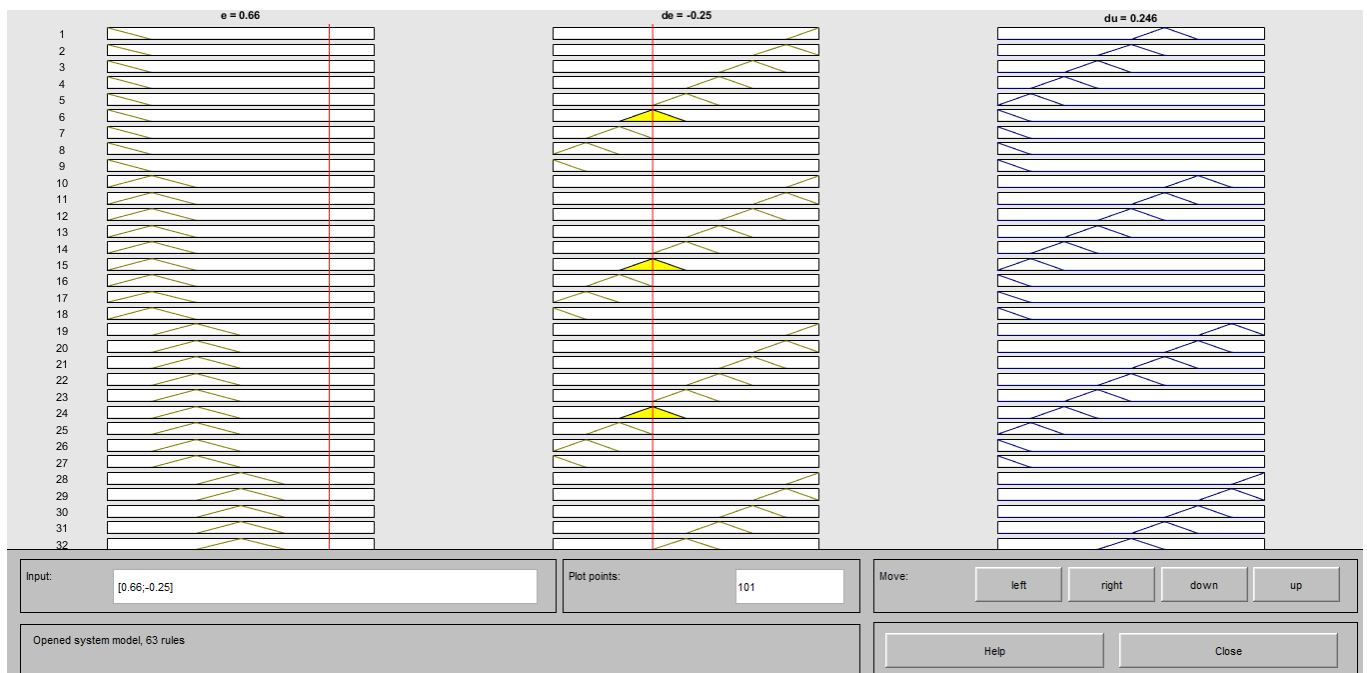
## Σενάριο 1

Σχηματισμός της τρισδιάστατης επιφάνειας της εξόδου του ασαφούς ελεγκτή  $\Delta u(k)$  σε σχέση με τις εισόδους του  $e(k)$  και  $\Delta e(k)$ , με χρήση της συνάρτησης *gensurf()* του Matlab.

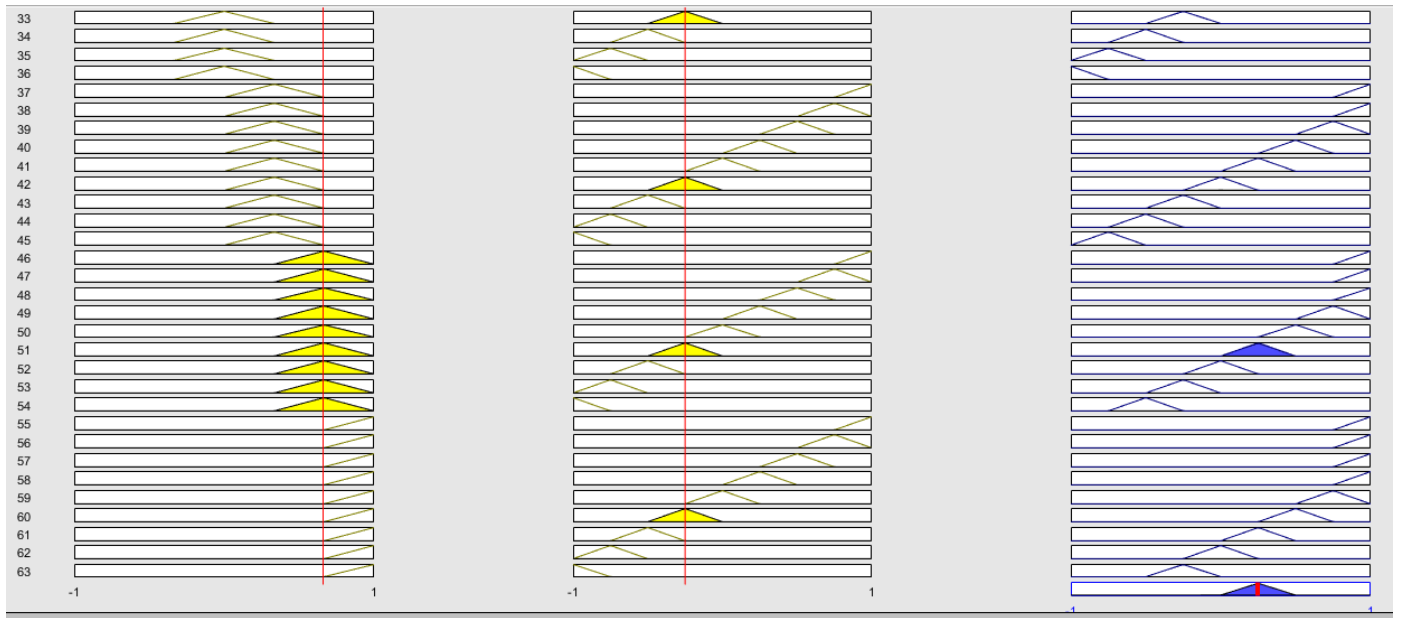


Θεωρούμε μια διέγερση όπου  $e$  είναι PM (παίρνουμε στο κέντρο της συνάρτησης συμμετοχής) και  $\Delta e$  είναι NS (και πάλι παίρνουμε στο κέντρο της συνάρτησης συμμετοχής) και παρατηρούμε ποιοι κανόνες διεγείρονται και ποια επί μέρους συμπεράσματα προκύπτουν.

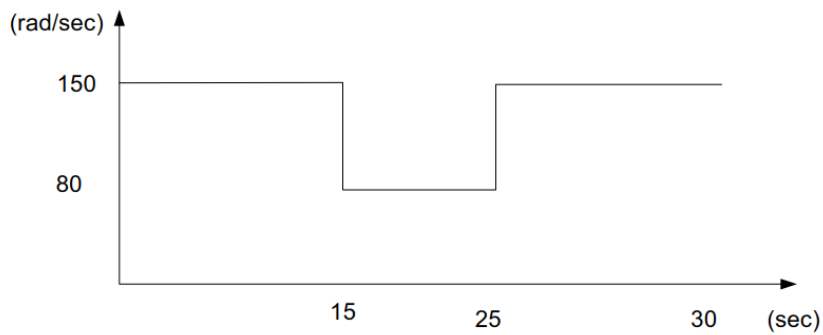
Παρατηρούμε ότι διεγείρεται μόνο ο κανόνας 51, μιας και βάλαμε ως διέγερση ακριβώς τα κέντρα των συναρτήσεων συμμετοχής και τελεστή AND στο τμήμα της υπόθεσης. Το  $\Delta u$  είναι όπως βλέπουμε PS, κάτι που επιβεβαιώνεται και από τον πίνακα κανόνων.



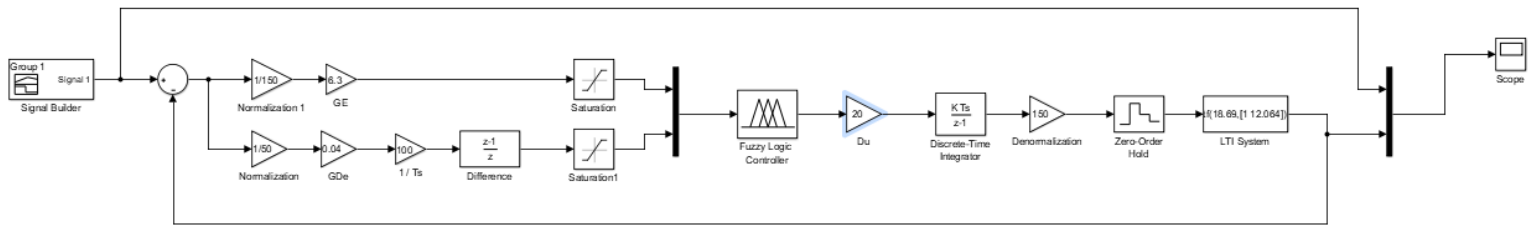




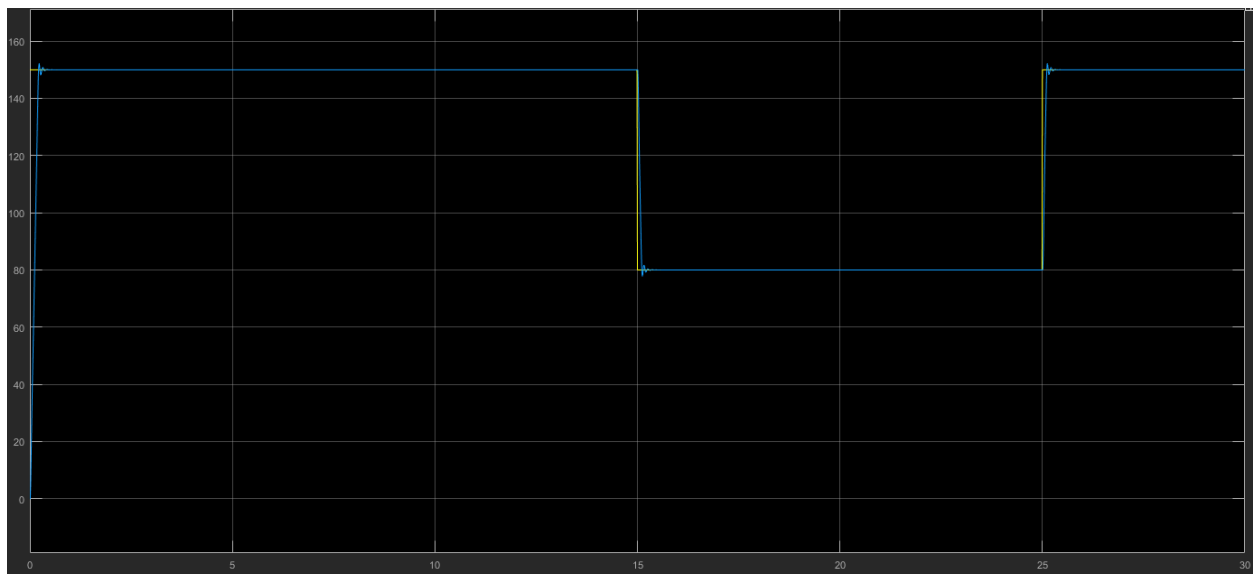
Παρακάτω θεωρούμε  $T_L = 0$  και σήμα αναφοράς:



Μέσω του *Fuzzy Logic Designer* σχεδιάζουμε το παρακάτω σύστημα (*dc\_scenario\_1.slx*).



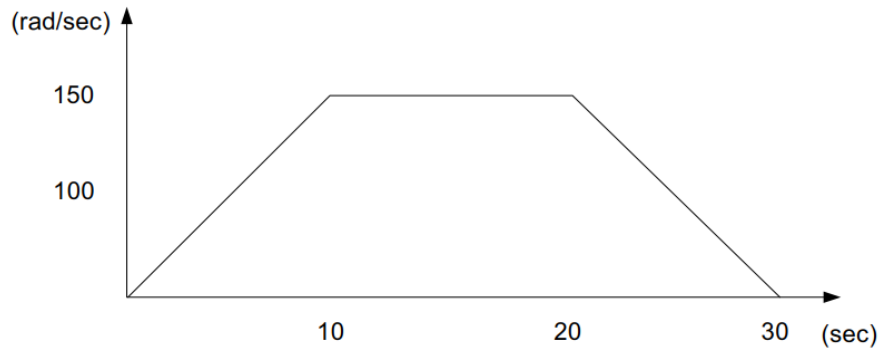
Σε αυτό το σύστημα ελέγχουμε το Scope για να βεβαιωθούμε ότι τηρούνται οι προδιαγραφές.



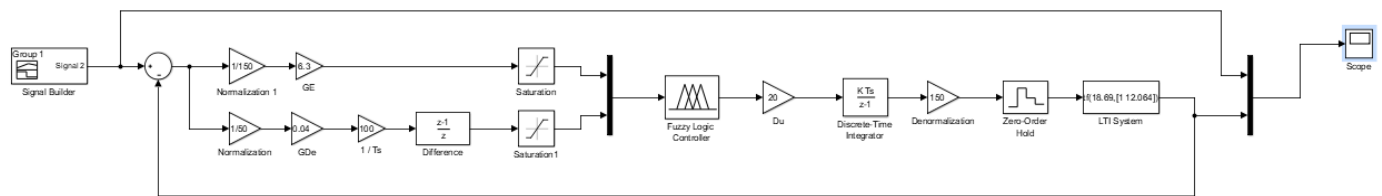
Με βάση το παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνουμε ότι ο ασαφής ελεγκτής δυσκολεύεται όταν ως σήμα αναφοράς έχει βηματικές συναρτήσεις. Ουσιαστικά πρέπει να παρέλθει κάποιο χρονικό διάστημα μέχρι το σύστημα να προσαρμοστεί στις απότομες αλλαγές του συστήματος αναφοράς. Παρόλα αυτά, το σφάλμα της μόνιμης κατάστασης της εξόδου όπως φαίνεται είναι μηδενικό.

## Σενάριο 2

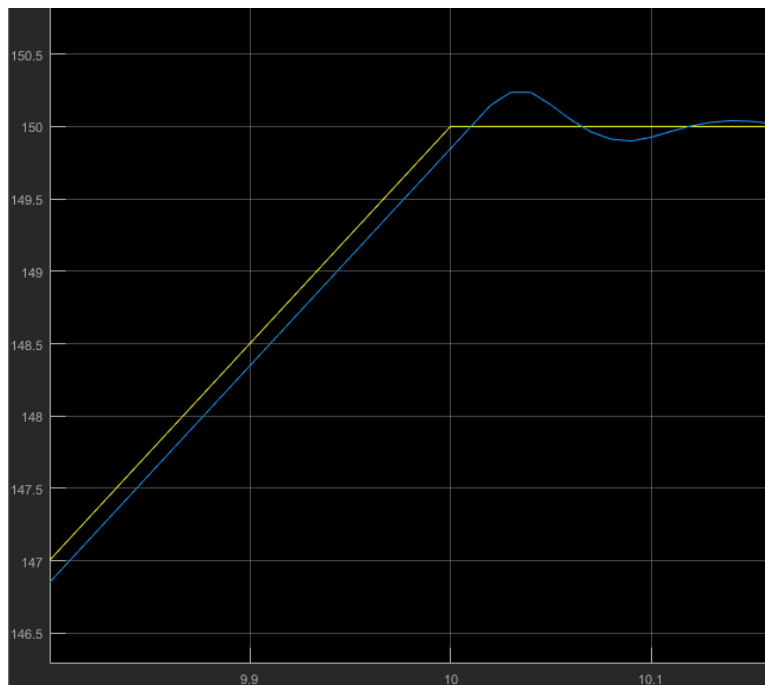
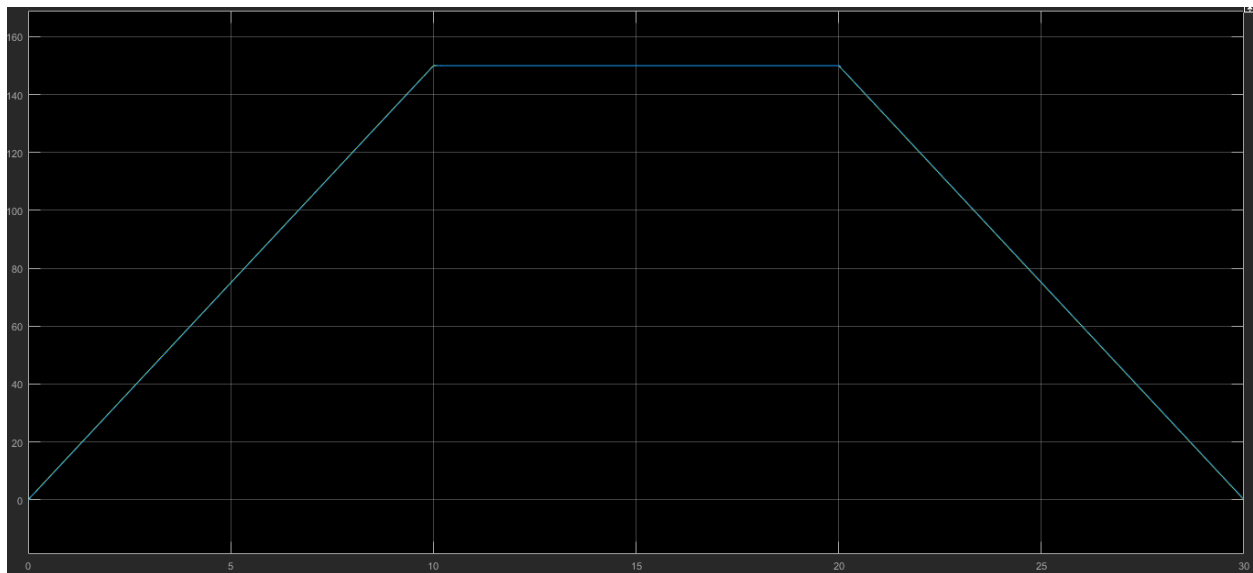
Παρακάτω θεωρούμε  $T_L = 0$  και σήμα αναφοράς:



Μέσω του *Fuzzy Logic Designer* σχεδιάζουμε το παρακάτω σύστημα (*dc\_scenario\_2.slx*).



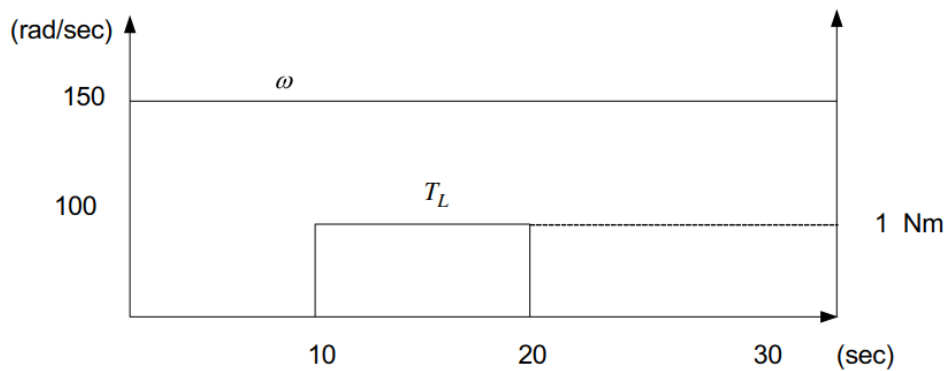
Σε αυτό το σύστημα ελέγχουμε το Scope για να βεβαιωθούμε ότι τηρούνται οι προδιαγραφές.



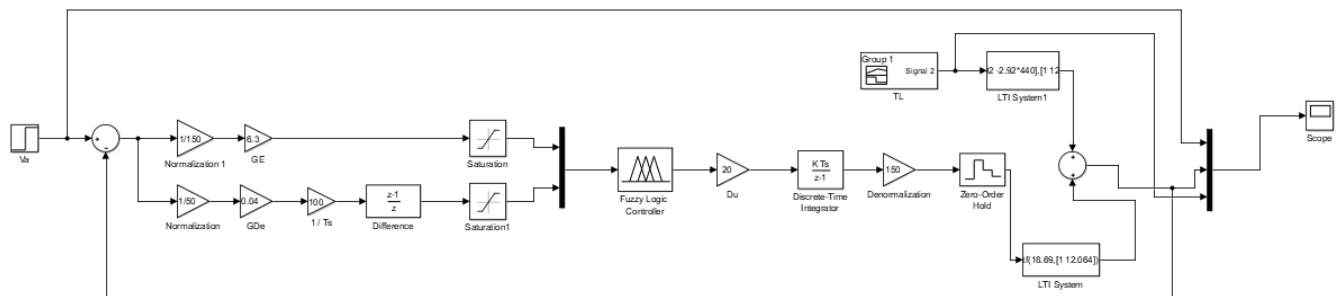
Παρατηρούμε ότι σε αυτό το σενάριο, όπου η συνάρτηση αναφοράς είναι τύπου ράμπας, το σύστημά μας προσαρμόζεται ιδιαίτερα γρήγορα και το σφάλμα που προκύπτει είναι ελάχιστο.

## Σενάριο 3

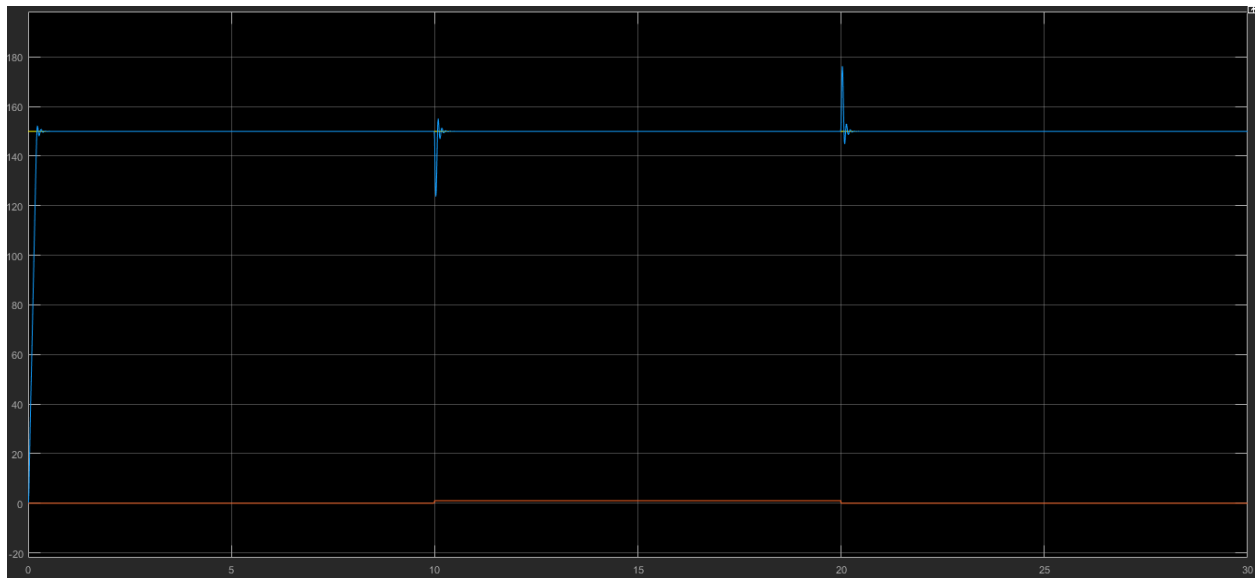
Παρακάτω θεωρούμε ότι το σύστημα δουλεύει στις ονομαστικές στροφές (150 rad/sec) και ότι για κάποιο χρονικό διάστημα εμφανίζεται μια διαταραχή, όπως παρακάτω:



Μέσω του *Fuzzy Logic Designer* σχεδιάζουμε το παρακάτω σύστημα (*dc\_scenario\_3.slx*).



Σε αυτό το σύστημα ελέγχουμε το Scope για να βεβαιωθούμε ότι τηρούνται οι προδιαγραφές.



Παρατηρούμε ότι με την εμφάνιση της διαταραχής παρουσιάζεται μια μικρή βύθιση στις στροφές ( $124 / 150 = 82.67\%$  της αρχικής τιμής) και στη συνέχεια επανέρχονται στην κανονική τιμή λειτουργίας τους. Το σύστημα κλειστού βρόχου απορροφά τις διαταραχές και αναπροσαρμόζει τη λειτουργία του έτσι ώστε η ταχύτητα να παραμένει

σταθερή. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με την εξαφάνιση της διαταραχής, όπου παρουσιάζεται μια μικρή υπερύψωση.