

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ασαφή Συστήματα

Εργασία #1 ~ FLC DC-Motor 4

Δημήτρης Παππάς

AEM: 8391

e-mail: dspappas@ece.auth.gr



Περιεχόμενα

1. Εργασία #1: FLC DC-Motor 4.....	3
1.1 Ελεγχόμενο Σύστημα	3
1.2 Σχεδίαση Ασαφούς Ελεγκτή.....	4
1.2.1 Συναρτήσεις Συμμετοχής.....	5
1.2.2 Επιλογή Τελεστών.....	8
1.2.3 Βάση Κανόνων	9
1.2.4 Simulink Μοντέλο	12
1.2.5 Ρύθμιση Κερδών	13
1.3 Υλοποίηση Σεναρίων.....	18
1.3.1 Σενάριο 1.....	18
1.3.2 Σενάριο 2.....	37
1.3.3 Σενάριο 3.....	43

1. Εργασία #1: FLC DC-Motor 4

1.1 Ελεγχόμενο Σύστημα

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

Σχήμα 1: Συνάρτηση Μεταφοράς DC Κινητήρα

Για το παραπάνω σύστημα (Σχήμα 1) θα σχεδιαστεί ένας κλασικός ελεγκτής σύμφωνα με το παράδειγμα 9.1.1 των σημειώσεων του μαθήματος Υπολογιστική Νοημοσύνη και στη συνέχεια ένας Ασαφής PI ελεγκτής.

Στόχος είναι να πιάσουμε τις παρακάτω προδιαγραφές:

- α) Απόρριψη Διαταραχών: Για κυκλική συχνότητα διαταραχής μικρότερη από 1 rad/sec να υπάρχει κέρδος διαταραχής το πολύ 20 dB. Επιπλέον, θέλουμε αν υπάρξει μεταβολή της T_L , η ω δ να μεταβληθεί παροδικά και μετά να επιστρέψει (με καλή προσέγγιση) στην τιμή που είχε πριν από τη διαταραχή.
- β) Το πολύ 5% υπερύψηση για βηματική είσοδο.
- γ) Μηδενικό σφάλμα θέσης
- δ) Χρόνος ανόδου το πολύ 160 msec.
- ε) $V_a(t) \leq 200V$ για κάθε $t > 0$.

Η Συνάρτηση Μεταφοράς του DC-Motor είναι:

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

Όπου V_a είναι η είσοδος του κινητήρα και T_L είναι η διαταραχή από τη ροπή του φορτίου.

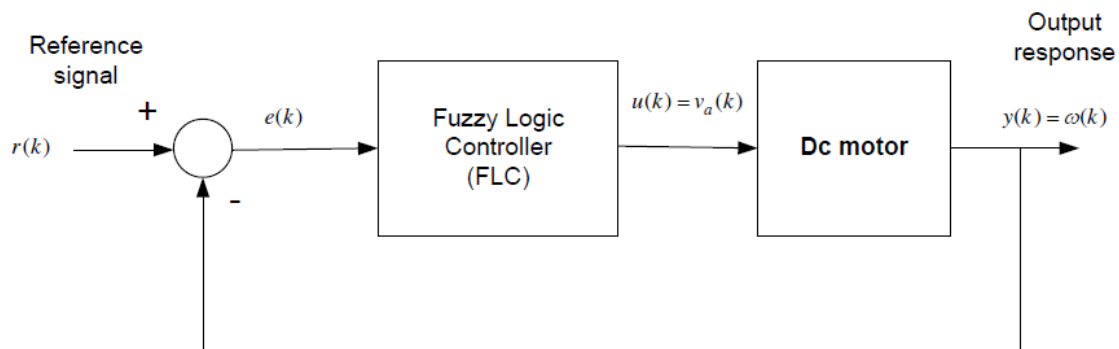
Γνωρίζουμε από το παράδειγμα 9.1.1 ότι τα αρχικά κέρδη ενός DC κινητήρα είναι:

$$K_p = 1.75$$

$$K_i = 8.75$$

Αρχικά, θεωρούμε ότι οι διαταραχές είναι μηδέν $T_L = 0$.

1.2 Σχεδίαση Ασαφούς Ελεγκτή



Σχήμα 2: Ασαφής Ελεγκτής

Επιλέγουμε FZ-PI ασαφή ελεγκτή, ο οποίος ικανοποιεί την προδιαγραφή για μηδενικό σφάλμα θέσης. Η υλοποίηση του ελεγκτή θα γίνει μέσω Simulink, όπου χρησιμοποιείται συχνότητα δειγματοληψίας $T=0.01$. Ο Ασαφής ελεγκτής θα έχει τη μορφή του Σχήματος 2.

Αρχικά, κάνουμε κανονικοποίηση σφάλματος στο διάστημα $[-1,1]$.

Η μέγιστη τιμή της γωνιακής ταχύτητας ω είναι 150rad/sec .

Η μέγιστη τιμή της εισόδου στον DC κινητήρα είναι 200V .

$$e_{max} = r_{max} - r_{min} = 150 - 0 = 150$$

$$e_{min} = r_{min} - r_{max} = 0 - 150 = -150$$

Άρα, το πεδίο ορισμού του σφάλματος e είναι το $[-150,150]$ και ομοίως το πεδίο ορισμού της μεταβολής του σφάλματος de είναι το $[-50,50]$.

- Για το σφάλμα e : $E = e/150$
- Για τη μεταβολή σφάλματος de : $DE = de/50$
- Για την έξοδο του ελεγκτή du : $DU = du/200$

Μετά την κανονικοποίηση το πεδίο ορισμού είναι το [-1,1].

Οι είσοδοι του ελεγκτή είναι το σφάλμα e και η μεταβολή του σφάλματος de , οι οποίες είναι κανονικοποιημένες στο διάστημα [-1,1].

Τα αρχικά κέρδη του Ασαφούς ελεγκτή είναι:

$$a = K_p/K_i = 0.2$$

$$K_e = 1$$

$$K_d = a * K_e = 0.2$$

$$K = \frac{K_e}{F\{a * K_e\}} = \frac{1.75}{F\{0.2 * 1\}} = 8.75$$

1.2.1 Συναρτήσεις Συμμετοχής

Η είσοδος e περιγράφεται από 9 λεκτικές τιμές, ενώ η de από 7 λεκτικές τιμές και η έξοδος από 9 λεκτικές τιμές, όπως φαίνεται παρακάτω.

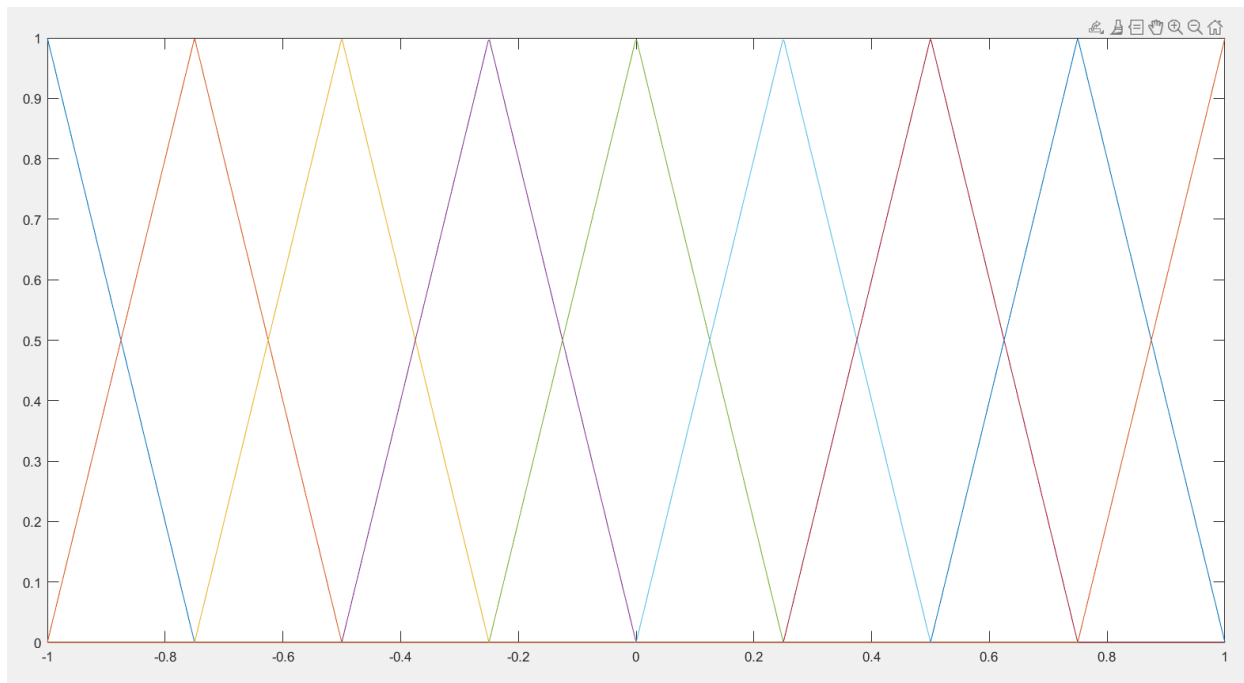
Οι Συναρτήσεις Συμμετοχής υλοποιούνται με τριγωνική mf.

```
%% Συνάρτηση Συμμετοχής (Membership Function)
% Για την είσοδο e
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'input', 1, 'NV', 'trimf', [-1,-1,-0.75]); % trimf = Triangular membership function
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'input', 1, 'NL', 'trimf', [-1,-0.75,-0.5]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'input', 1, 'NM', 'trimf', [-0.75,-0.5,-0.25]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'input', 1, 'NS', 'trimf', [-0.5,-0.25,0]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'input', 1, 'ZR', 'trimf', [-0.25,0,0.25]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'input', 1, 'PS', 'trimf', [0,0.25,0.5]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'input', 1, 'PM', 'trimf', [0.25,0.5,0.75]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'input', 1, 'PL', 'trimf', [0.5,0.75,1]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'input', 1, 'PV', 'trimf', [0.75,1,1]);

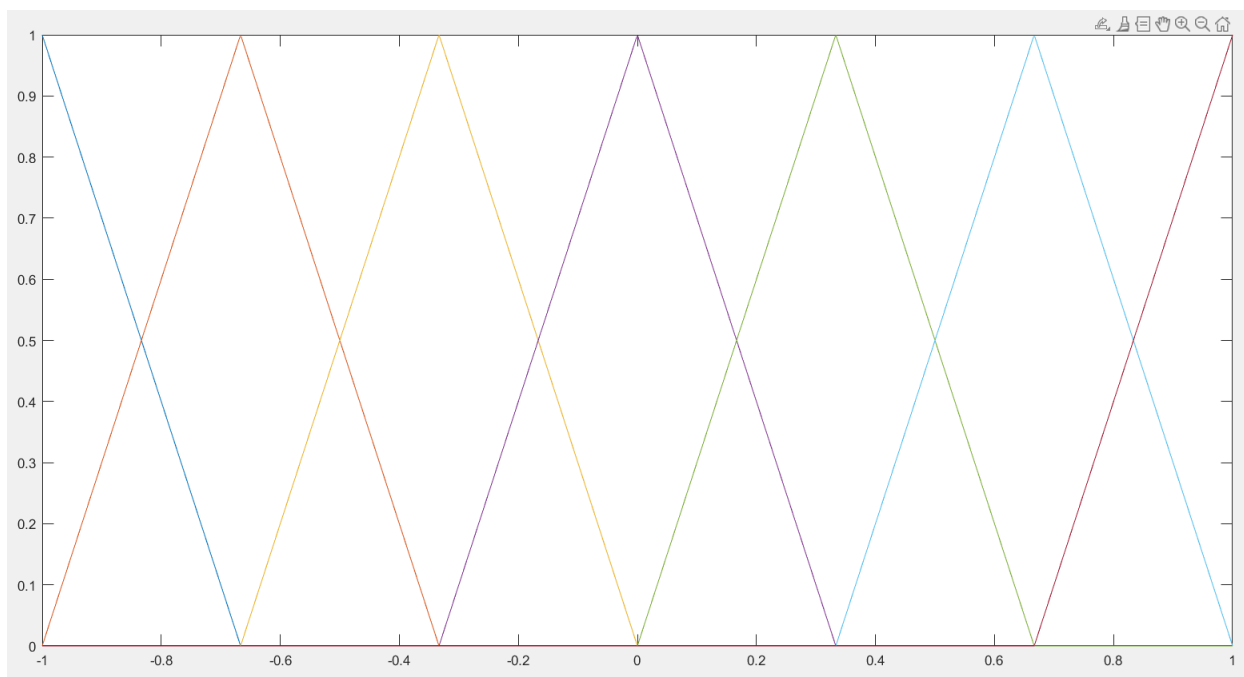
% Για την είσοδο de
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'input', 2, 'NL', 'trimf', [-1,-1,-2/3]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'input', 2, 'NM', 'trimf', [-1,-2/3,-1/3]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'input', 2, 'NS', 'trimf', [-2/3,-1/3,0]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'input', 2, 'ZR', 'trimf', [-1/3,0,1/3]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'input', 2, 'PS', 'trimf', [0,1/3,2/3]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'input', 2, 'PM', 'trimf', [1/3,2/3,1]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'input', 2, 'PL', 'trimf', [2/3,1,1]);

% Για την έξοδο du
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'output', 1, 'NV', 'trimf', [-1,-1,-0.75]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'output', 1, 'NL', 'trimf', [-1,-0.75,-0.5]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'output', 1, 'NM', 'trimf', [-0.75,-0.5,-0.25]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'output', 1, 'NS', 'trimf', [-0.5,-0.25,0]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'output', 1, 'ZR', 'trimf', [-0.25,0,0.25]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'output', 1, 'PS', 'trimf', [0,0.25,0.5]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'output', 1, 'PM', 'trimf', [0.25,0.5,0.75]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'output', 1, 'PL', 'trimf', [0.5,0.75,1]);
fuzzy_pi = addmf(fuzzy_pi, 'output', 1, 'PV', 'trimf', [0.75,1,1]);
```

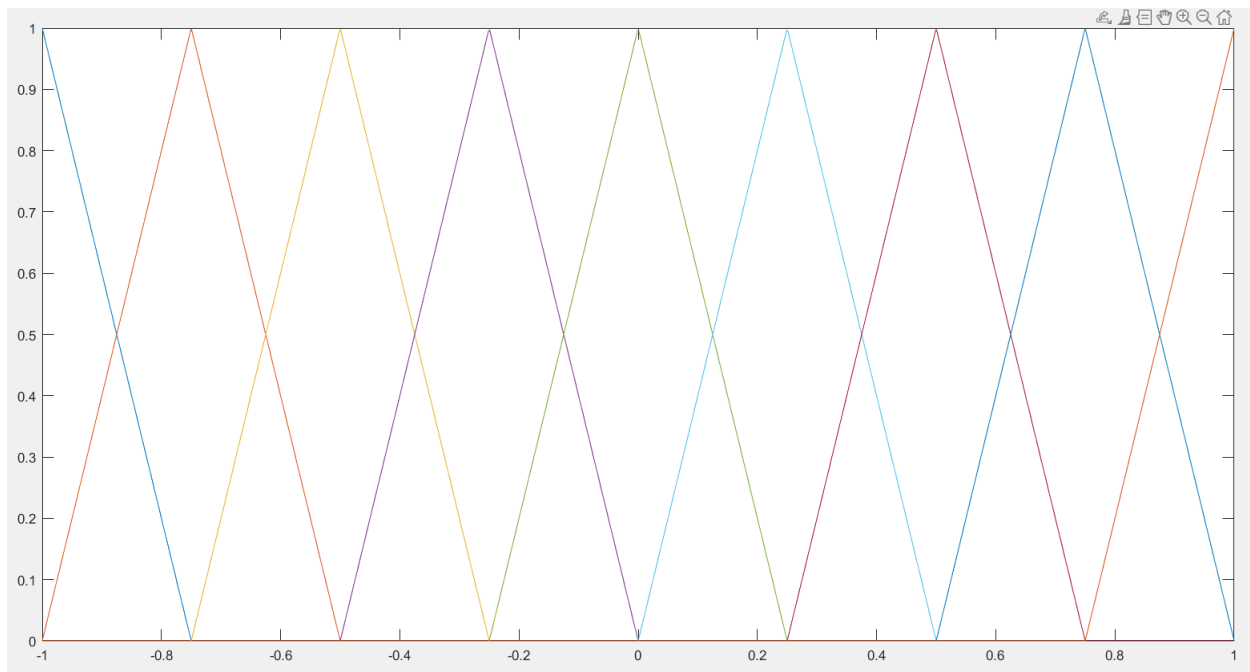
Σχήμα 3: Κώδικας Συναρτήσεων Μεταφοράς



Σχήμα 4: Συνάρτηση Συμμετοχής Input e

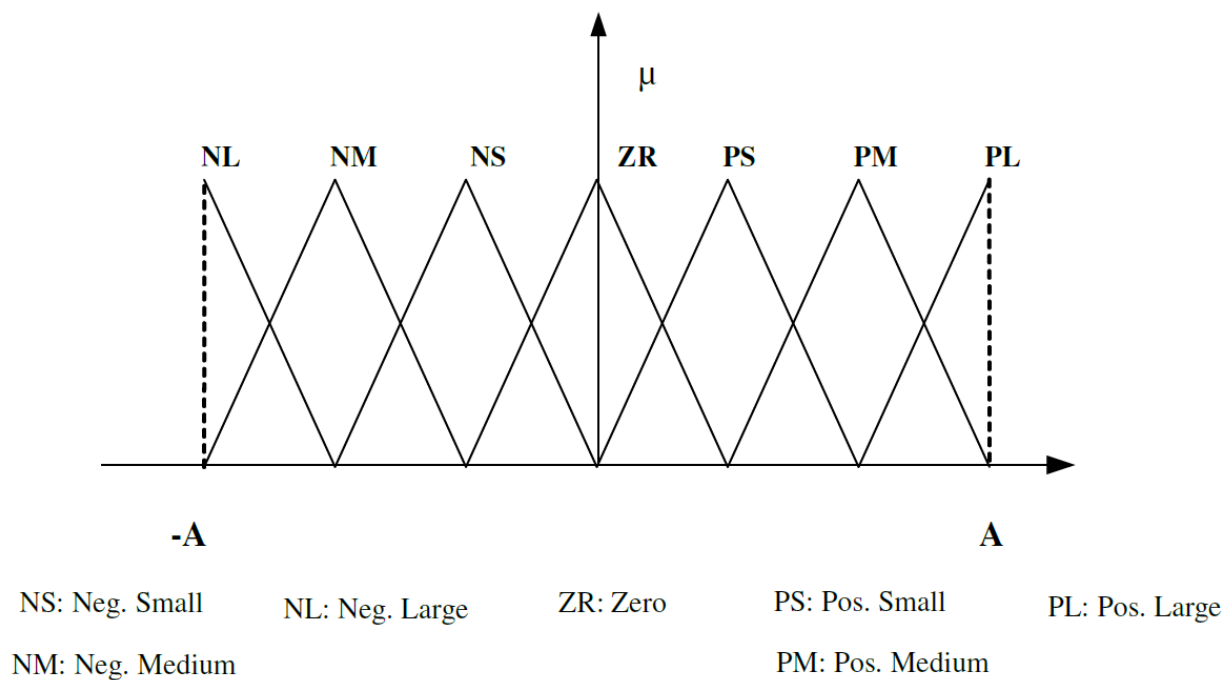


Σχήμα 5: Συνάρτηση Συμμετοχής Input de



Σχήμα 6: Συνάρτηση Συμμετοχής Output du

Οι λεκτικές τιμές ακολουθούν τους κανόνες της εκφώνησης.



Σχήμα 7: 7 λεκτικές τιμές

1.2.3 Βάση Κανόνων

Οι κανόνες ακολουθούν τη λογική του Σχήματος 9 και του Σχήματος 10.

e\de	PL	PM	PS	ZR	NS	NM	NL
NV	NS	NM	NL	NV	NV	NV	NV
NL	ZR	NS	NM	NL	NV	NV	NV
NM	PS	ZR	NS	NM	NL	NV	NV
NS	PM	PS	ZR	NS	NM	NL	NV
ZR	PL	PM	PS	ZR	NS	NM	NL
PS	PV	PL	PM	PS	ZR	NS	NM
PM	PV	PV	PL	PM	PS	ZR	NS
PL	PV	PV	PV	PL	PM	PS	ZR
PV	PV	PV	PV	PV	PL	PM	PS

Σχήμα 9: Βάση Κανόνων

e Δe	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL
PL	0						
PM		0					
PS			0				
ZR				0			
NS					0		
NM						0	
NL							0

Σχήμα 10: Βάση Κανόνων part2

Η Βάση Κανόνων αποτελείται από 63 κανόνες:

- '1. If (e is NV) and (de is NL) then (du is NV) (1) '
- '2. If (e is NV) and (de is NM) then (du is NV) (1) '
- '3. If (e is NV) and (de is NS) then (du is NV) (1) '
- '4. If (e is NV) and (de is ZR) then (du is NV) (1) '
- '5. If (e is NV) and (de is PS) then (du is NL) (1) '

- '6. If (e is NV) and (de is PM) then (du is NM) (1) '
- '7. If (e is NV) and (de is PL) then (du is NS) (1) '
- '8. If (e is NL) and (de is NL) then (du is NV) (1) '
- '9. If (e is NL) and (de is NM) then (du is NV) (1) '
- '10. If (e is NL) and (de is NS) then (du is NV) (1)'
- '11. If (e is NL) and (de is ZR) then (du is NL) (1)'
- '12. If (e is NL) and (de is PS) then (du is NM) (1)'
- '13. If (e is NL) and (de is PM) then (du is NS) (1)'
- '14. If (e is NL) and (de is PL) then (du is ZR) (1)'
- '15. If (e is NM) and (de is NL) then (du is NV) (1)'
- '16. If (e is NM) and (de is NM) then (du is NV) (1)'
- '17. If (e is NM) and (de is NS) then (du is NL) (1)'
- '18. If (e is NM) and (de is ZR) then (du is NM) (1)'
- '19. If (e is NM) and (de is PS) then (du is NS) (1)'
- '20. If (e is NM) and (de is PM) then (du is ZR) (1)'
- '21. If (e is NM) and (de is PL) then (du is PS) (1)'
- '22. If (e is NS) and (de is NL) then (du is NV) (1)'
- '23. If (e is NS) and (de is NM) then (du is NL) (1)'
- '24. If (e is NS) and (de is NS) then (du is NM) (1)'
- '25. If (e is NS) and (de is ZR) then (du is NS) (1)'
- '26. If (e is NS) and (de is PS) then (du is ZR) (1)'
- '27. If (e is NS) and (de is PM) then (du is PS) (1)'
- '28. If (e is NS) and (de is PL) then (du is PM) (1)'
- '29. If (e is ZR) and (de is NL) then (du is NL) (1)'
- '30. If (e is ZR) and (de is NM) then (du is NM) (1)'
- '31. If (e is ZR) and (de is NS) then (du is NS) (1)'
- '32. If (e is ZR) and (de is ZR) then (du is ZR) (1)'

- '33. If (e is ZR) and (de is PS) then (du is PS) (1)'
- '34. If (e is ZR) and (de is PM) then (du is PM) (1)'
- '35. If (e is ZR) and (de is PL) then (du is PL) (1)'
- '36. If (e is PS) and (de is NL) then (du is NM) (1)'
- '37. If (e is PS) and (de is NM) then (du is NS) (1)'
- '38. If (e is PS) and (de is NS) then (du is ZR) (1)'
- '39. If (e is PS) and (de is ZR) then (du is PS) (1)'
- '40. If (e is PS) and (de is PS) then (du is PM) (1)'
- '41. If (e is PS) and (de is PM) then (du is PL) (1)'
- '42. If (e is PS) and (de is PL) then (du is PV) (1)'
- '43. If (e is PM) and (de is NL) then (du is NS) (1)'
- '44. If (e is PM) and (de is NM) then (du is ZR) (1)'
- '45. If (e is PM) and (de is NS) then (du is PS) (1)'
- '46. If (e is PM) and (de is ZR) then (du is PM) (1)'
- '47. If (e is PM) and (de is PS) then (du is PL) (1)'
- '48. If (e is PM) and (de is PM) then (du is PV) (1)'
- '49. If (e is PM) and (de is PL) then (du is PV) (1)'
- '50. If (e is PL) and (de is NL) then (du is ZR) (1)'
- '51. If (e is PL) and (de is NM) then (du is PS) (1)'
- '52. If (e is PL) and (de is NS) then (du is PM) (1)'
- '53. If (e is PL) and (de is ZR) then (du is PL) (1)'
- '54. If (e is PL) and (de is PS) then (du is PV) (1)'
- '55. If (e is PL) and (de is PM) then (du is PV) (1)'
- '56. If (e is PL) and (de is PL) then (du is PV) (1)'
- '57. If (e is PV) and (de is NL) then (du is PS) (1)'
- '58. If (e is PV) and (de is NM) then (du is PM) (1)'
- '59. If (e is PV) and (de is NS) then (du is PL) (1)'

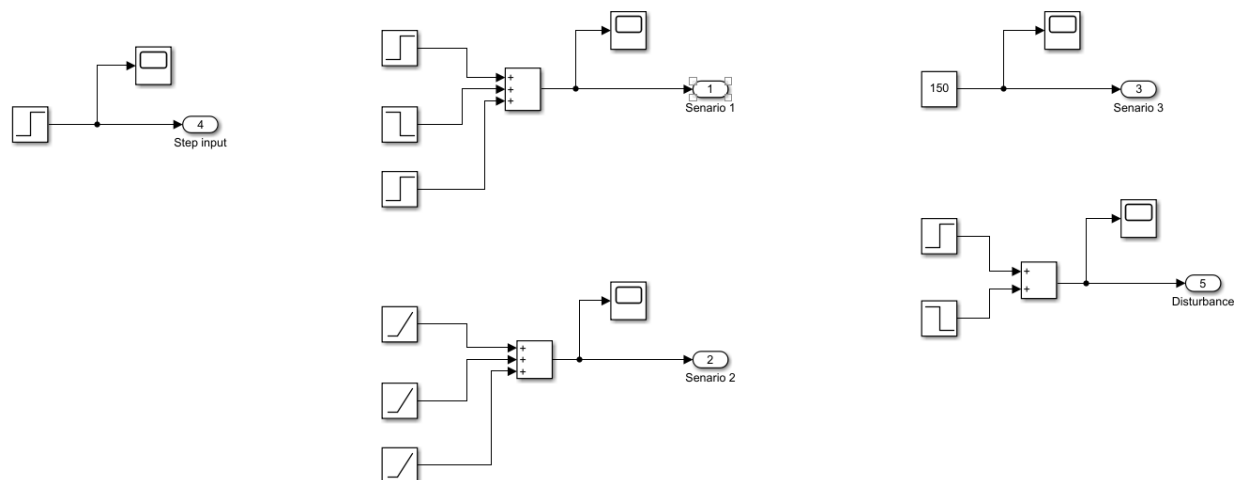
'63. If (e is PV) and (de is PL) then (du is PV) (1)'

Το τελικό μοντέλου του Ασαφή ελεγκτή φαίνεται στο Σχήμα 11.

Σχήμα 11: Simulink Μοντέλο

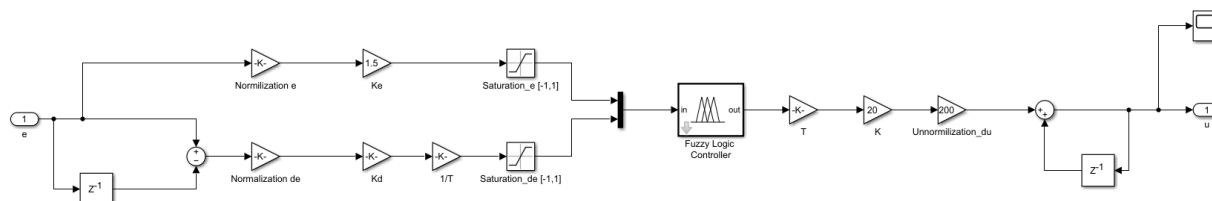
Σχήμα 12: Μοντέλο χωρίς διαταρχές

Οι είσοδοι στο μοντέλο περιέχονται στο Subsystem “Inputs”, όπως φαίνεται στο Σχήμα 13.



Σχήμα 13: Inputs

Ο Ασαφής Ελεγκτής FLC υλοποιείται στο Subsystem “FLC”, όπως φαίνεται στο Σχήμα 14.



Σχήμα 14: FLC FZ-PI

1.2.5 Ρύθμιση Κερδών

1.2.5.1 Αρχικά Κέρδη

Με βάση τα αρχικά κέρδη του κλασικού ελεγκτή έχουμε

$$a = 0.2$$

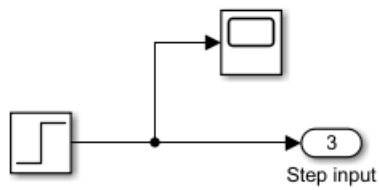
$$K_e = 1$$

$$K_d = 0.2$$

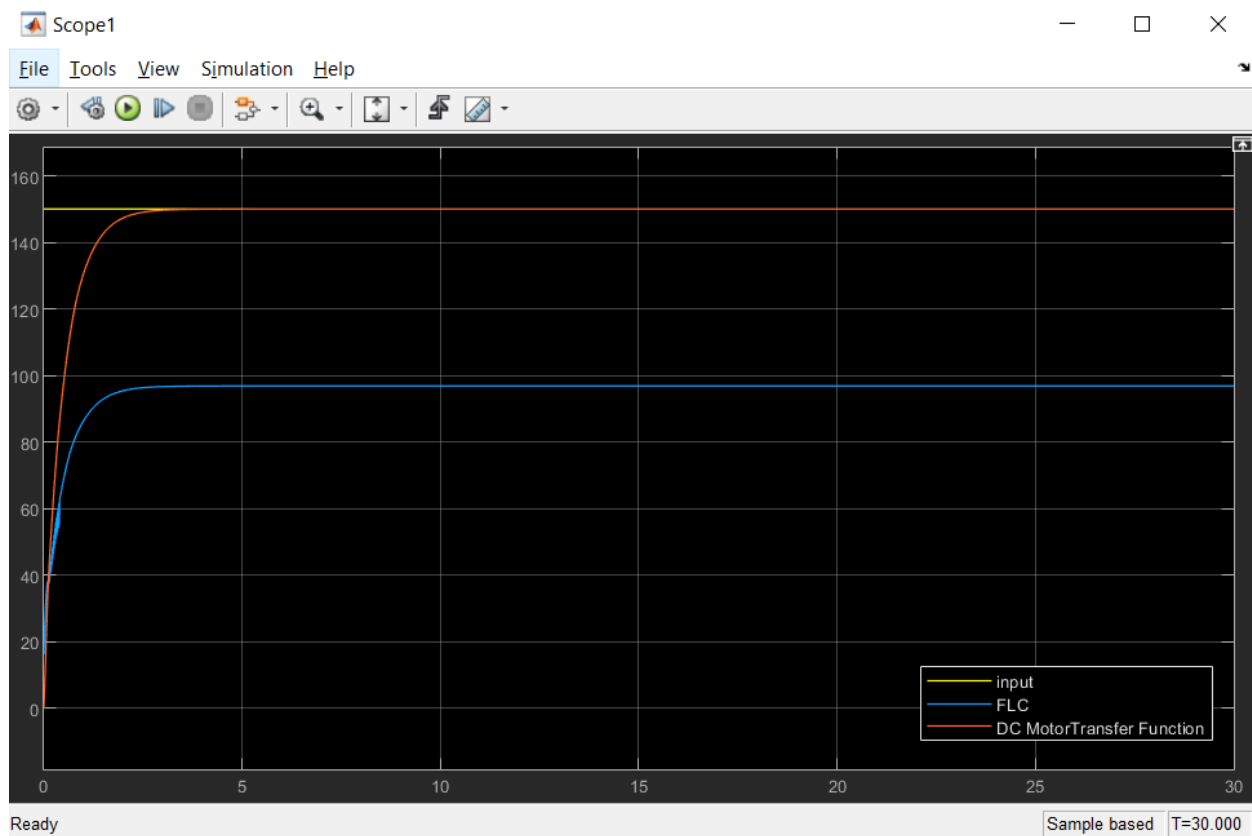
$$K = 8.75$$

Εισάγουμε μία βηματική είσοδο και προσομοιώνουμε τον ελεγκτή με αυτά τα κέρδη, για να ελέγξουμε τις προδιαγραφές.

Το σήμα εισόδου δημιουργείται σύμφωνα με το Σχήμα 15.



Σχήμα 15: Βηματική είσοδος

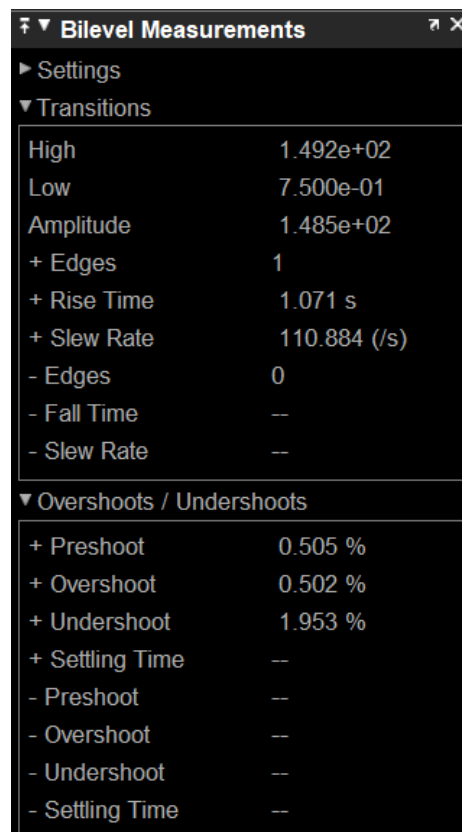


Σχήμα 16: Απόκριση - Βηματική είσοδος – Αρχικά κέρδη

Παρατηρούμε ότι υπάρχει μεγάλος χρόνος ανόδου.

rise time = 1.071 > 0.16 sec

Δεν πιάνουμε την προδιαγραφή.



Bilevel Measurements	
Settings	
Transitions	
High	1.492e+02
Low	7.500e-01
Amplitude	1.485e+02
+ Edges	1
+ Rise Time	1.071 s
+ Slew Rate	110.884 (/s)
- Edges	0
- Fall Time	--
- Slew Rate	--
Overshoots / Undershoots	
+ Preshoot	0.505 %
+ Overshoot	0.502 %
+ Undershoot	1.953 %
+ Settling Time	--
- Preshoot	--
- Overshoot	--
- Undershoot	--
- Settling Time	--

Σχήμα 17: Βηματική είσοδος – Αρχικά κέρδη - Stats

1.2.5.2 Τελικά Κέρδη

Κάνουμε tuning και καταλήγουμε στα κέρδη:

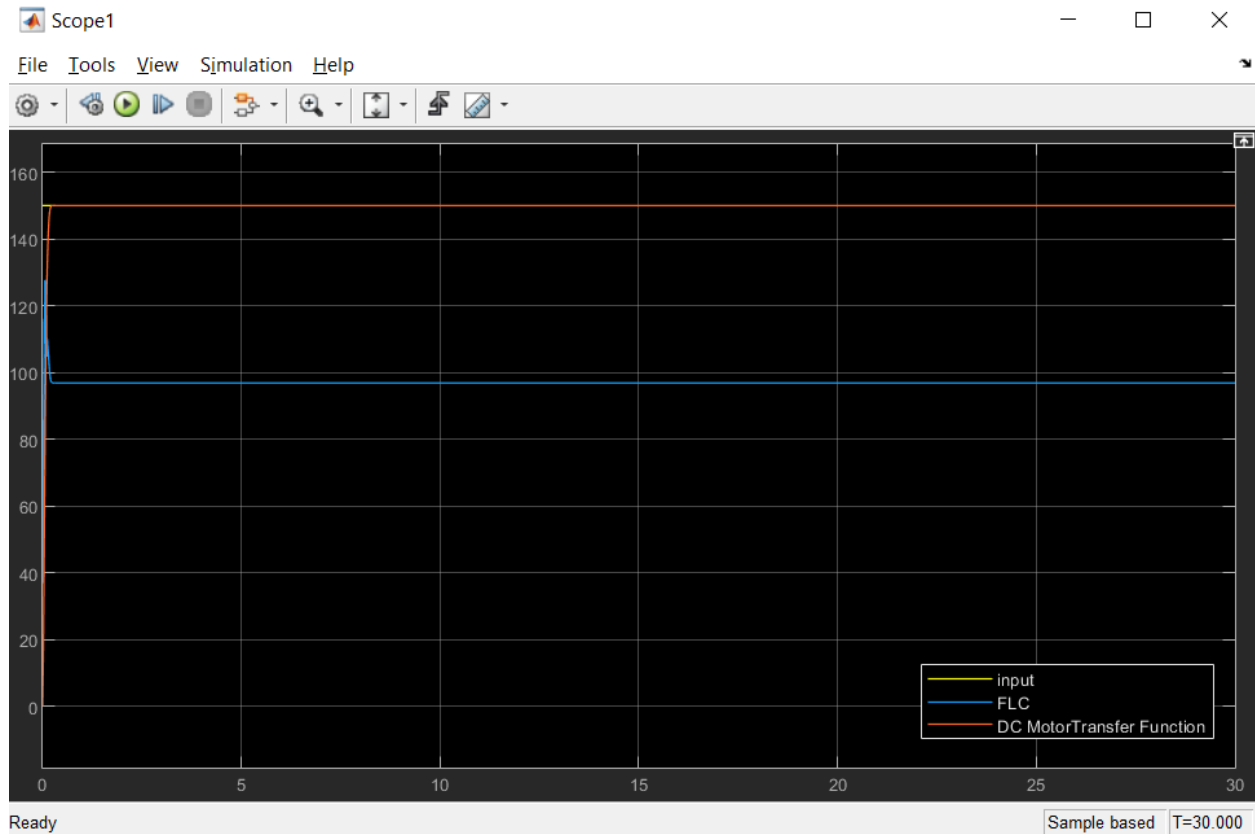
$$a = 0.02$$

$$K_e = 1.5$$

$$K = 20$$

Με τα νέα κέρδη έχουμε πιο γρήγορη απόκριση.

Προσομοιώνουμε το μοντέλο με τα νέα κέρδη.



Σχήμα 18: Απόκριση - Βηματική είσοδος – Τελικά κέρδη

Παρατηρούμε ότι ο χρόνος ανόδου έχει μειωθεί δραματικά.

rise time = $0.104942 < 0.160 \text{ sec}$

overshoot = $0.5\% < 5\%$

$V_a < 200V$

Πιάνουμε τις προδιαγραφές.

Bilevel Measurements	
Settings	
Transitions	
High	1.493e+02
Low	7.500e-01
Amplitude	1.485e+02
+ Edges	1
+ Rise Time	104.942 ms
+ Slew Rate	1.132 (/ms)
- Edges	0
- Fall Time	--
- Slew Rate	--
Overshoots / Undershoots	
+ Preshoot	0.505 %
+ Overshoot	0.505 %
+ Undershoot	1.408 %
+ Settling Time	--
- Preshoot	--
- Overshoot	--
- Undershoot	--
- Settling Time	--

Σχήμα 19: Βηματική είσοδος – Τελικά κέρδη - Stats

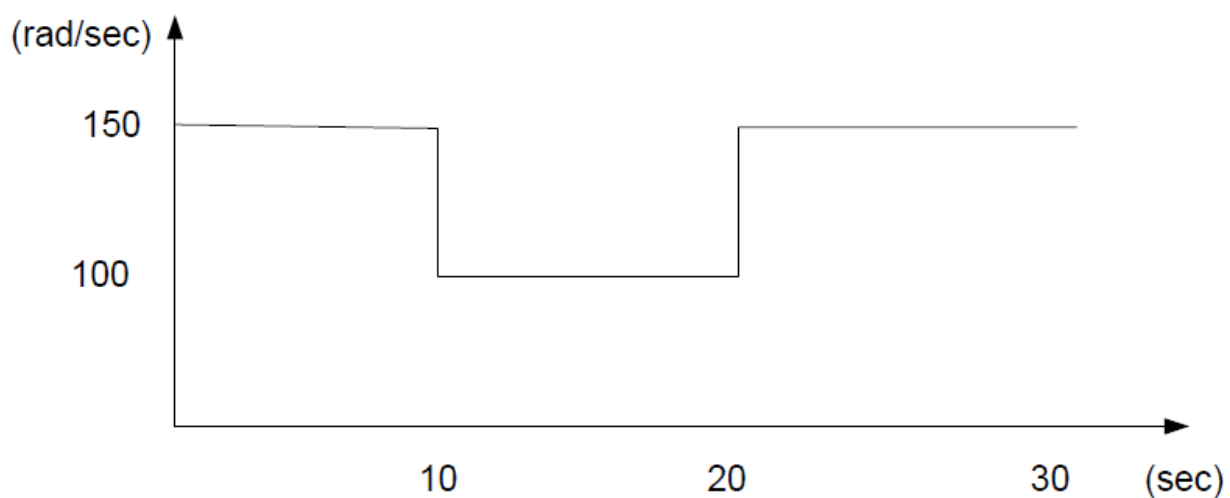
1.3 Υλοποίηση Σεναρίων

Παρακάτω θα δώσουμε διάφορα σήματα στην είσοδο του μοντέλου και θα βγάλουμε συμπεράσματα για το σήμα εξόδου και για τους κανόνες που διεγείρονται.

1.3.1 Σενάριο 1

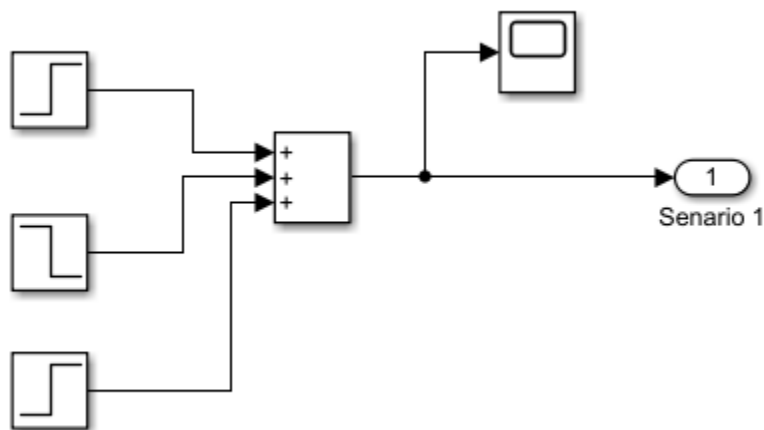
Το σύστημα υλοποιείται με βάση το μοντέλο του Σχήματος 12.

Δίνουμε ως είσοδο στο μοντέλο το σήμα του Σχήματος 20.



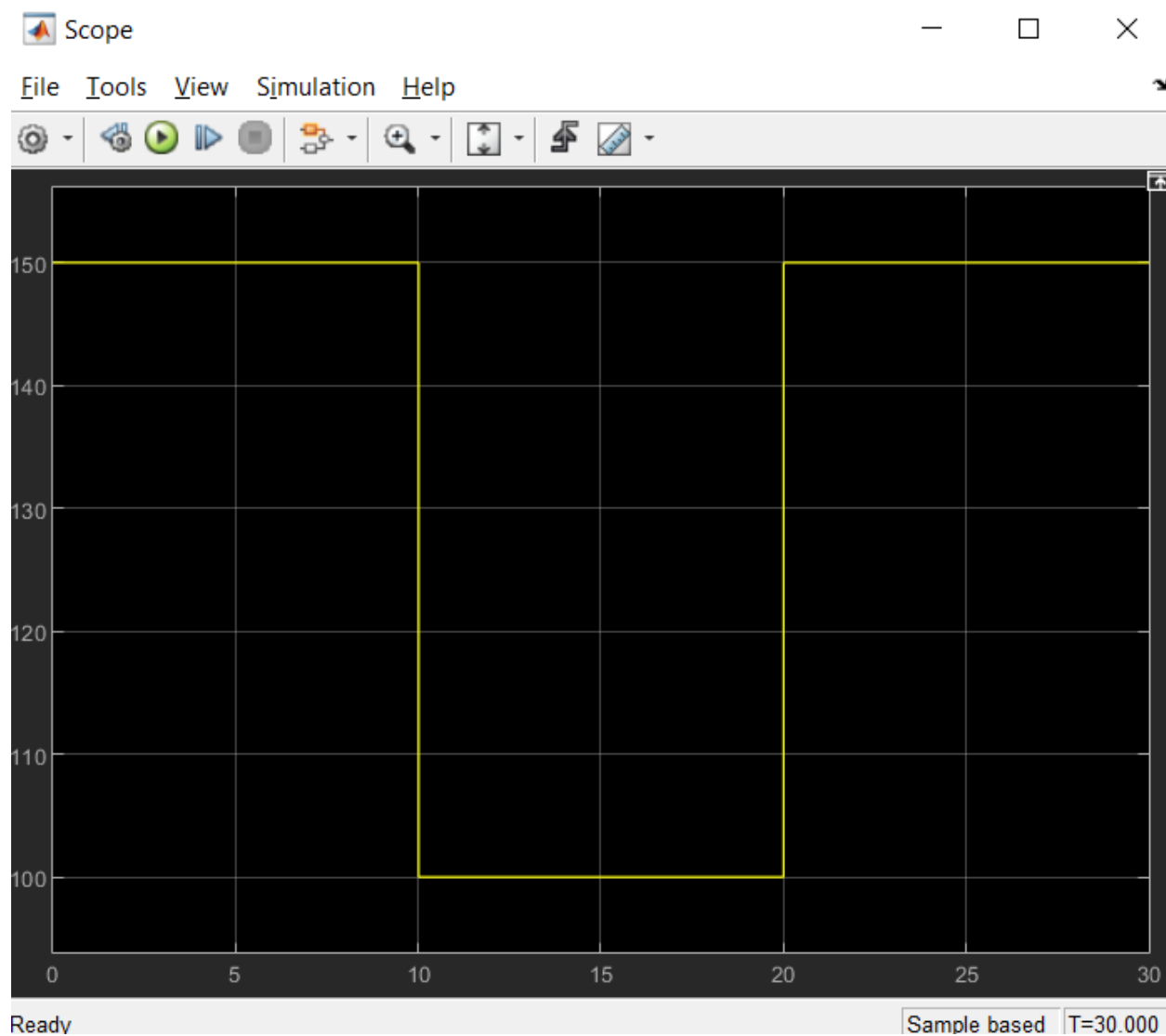
Σχήμα 20: Σενάριο 1 – Είσοδος

Κατασκευάζουμε το σήμα εισόδου στο Simulink.



Σχήμα 21: Σενάριο 1 – Είσοδος Simulink Μοντέλο

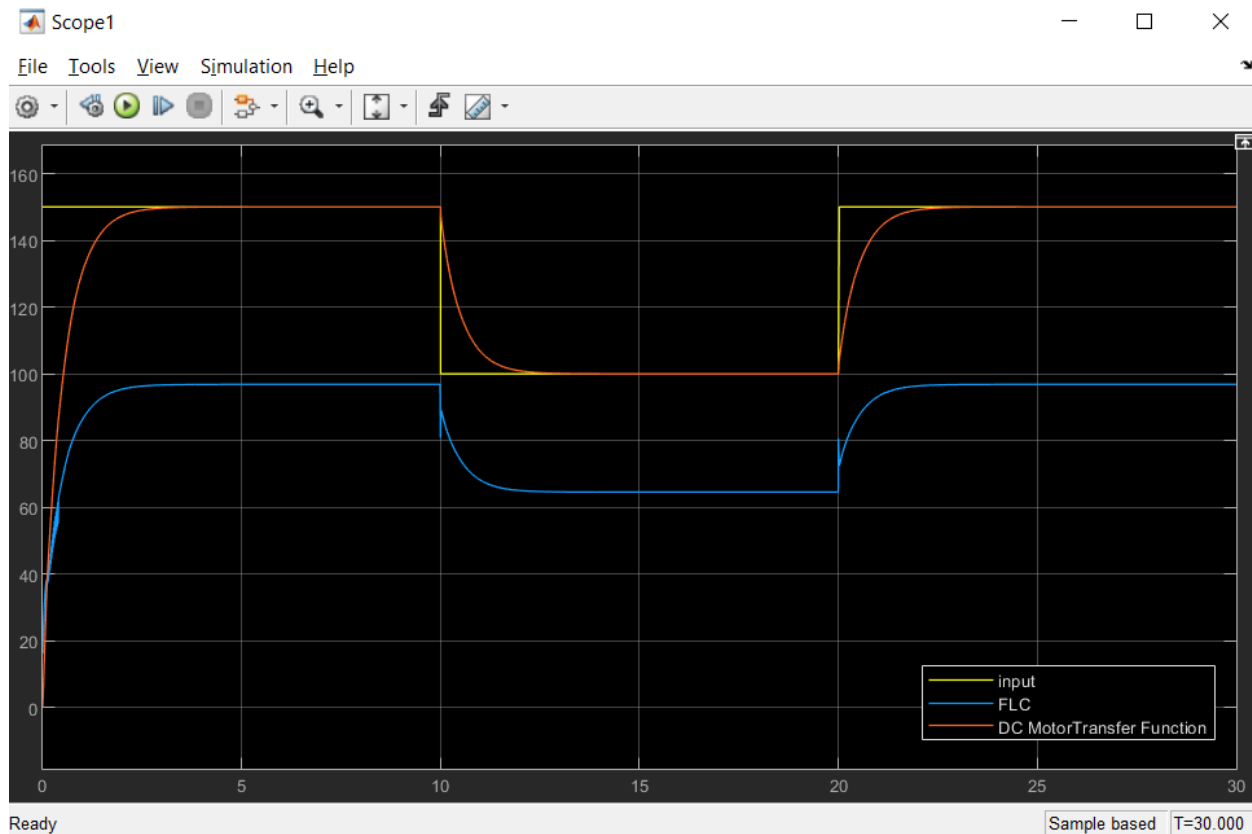
Πατατηρούμε ότι η είσοδος που δημιουργούμε είναι η επιθυμητή.



Σχήμα 22: Σενάριο 1 – Είσοδος Simulink

Θέλουμε η έξοδος να ακολουθεί πιστά το σήμα εισόδου.

Αρχικά, βλέπουμε την απόκριση με τα αρχικά κέρδη.

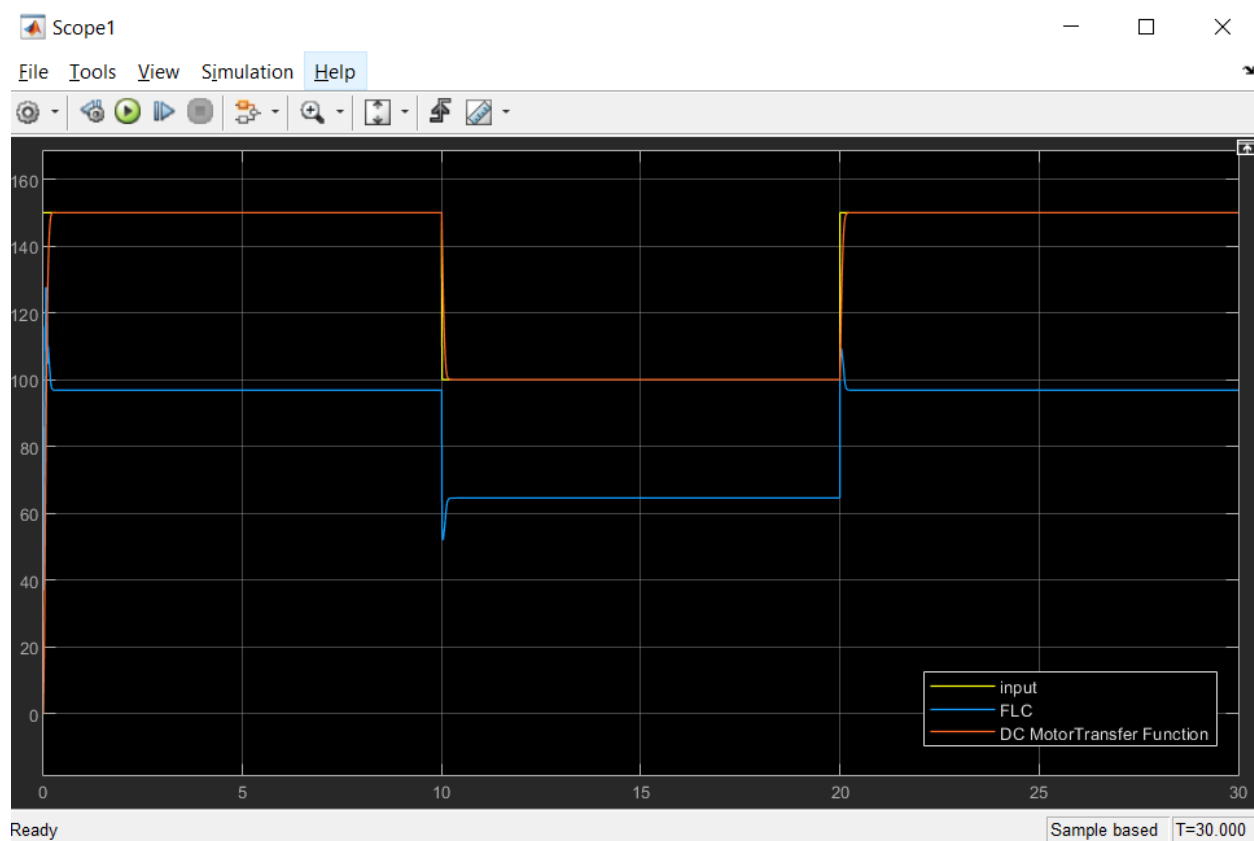


Σχήμα 23: Σενάριο 1 - Απόκριση - Αρχικά κέρδη

Η απόκριση του συστήματος δεν είναι καλή.

Όμως, μετά το tuning με τα τελικά κέρδη παρατηρούμε ότι η απόκριση είναι αρκετά καλύτερη.

Η έξοδος ακολουθεί τη είσοδο πλέον με ικανοποιητικό ρυθμό.



Σχήμα 24: Σενάριο 1 - Απόκριση - Τελικά κέρδη

Bilevel Measurements	
Settings	
Transitions	
High	1.493e+02
Low	7.500e-01
Amplitude	1.485e+02
+ Edges	1
+ Rise Time	104.942 ms
+ Slew Rate	1.132 (/ms)
- Edges	0
- Fall Time	—
- Slew Rate	—
Overshoots / Undershoots	
+ Preshoot	0.505 %
+ Overshoot	0.505 %
+ Undershoot	1.408 %
+ Settling Time	—
- Preshoot	—
- Overshoot	—
- Undershoot	—
- Settling Time	—

Σχήμα 25: Σενάριο 1 – Τελικά κέρδη - Stats

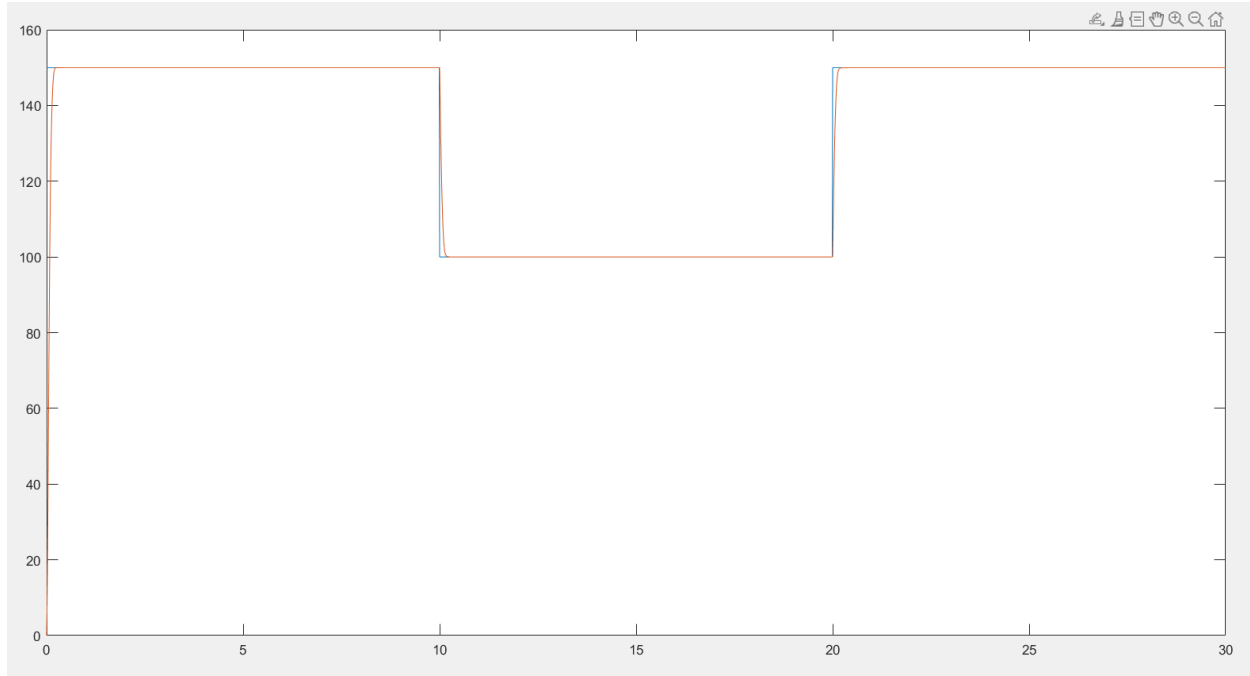
rise time = $0.104 < 0.160$ sec

overshoot = $0.5\% < 5\%$

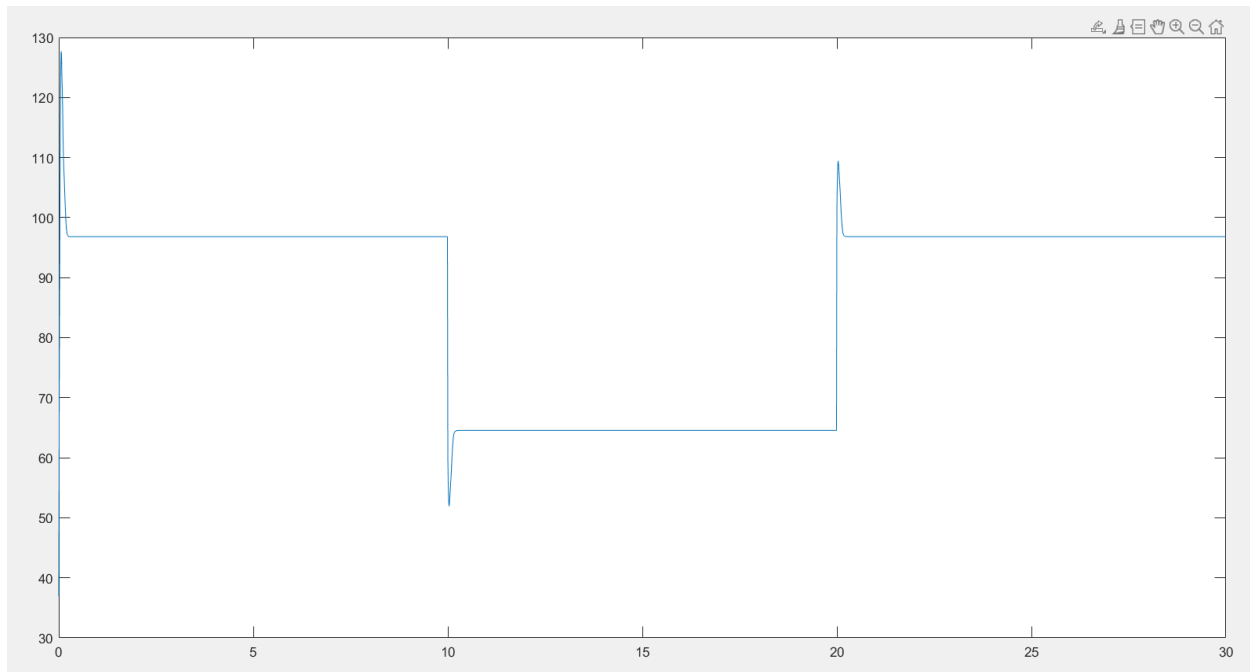
Πιάνουμε τις προδιαγραφές.

Η έξοδος ακολουθεί πιστά την είσοδο.

Και βάζοντας τις τιμές των σημάτων στο matlab με δειγματοληψία $T=0.01$, βλέπουμε ότι επαληθεύονται τα αποτελέσματά μας.



Σχήμα 26: Σενάριο 1 - Τελικά κέρδη - Απόκριση Συστήματος - Matlab



Σχήμα 27: Σενάριο 1 - Τελικά κέρδη - Έξοδος Ελεγκτή - Matlab

Παρατηρούμε πάλι ότι η ρύθμιση των κερδών επιτάχυνε σε πολύ μεγάλο βαθμό την απόκριση του συστήματος, ενώ ικανοποιούνται και οι υπόλοιπες προδιαγραφές. Η υπερύψωση είναι $< 5\%$, ο χρόνος ανόδου είναι < 0.16 sec και το σφάλμα μόνιμης κατάστασης είναι μηδεν, ενώ η έξοδος του ελεγκτή V_a παραμένει κάτω από την τιμή των 200V.

1.3.1.1 Διέγερση Κανόνων

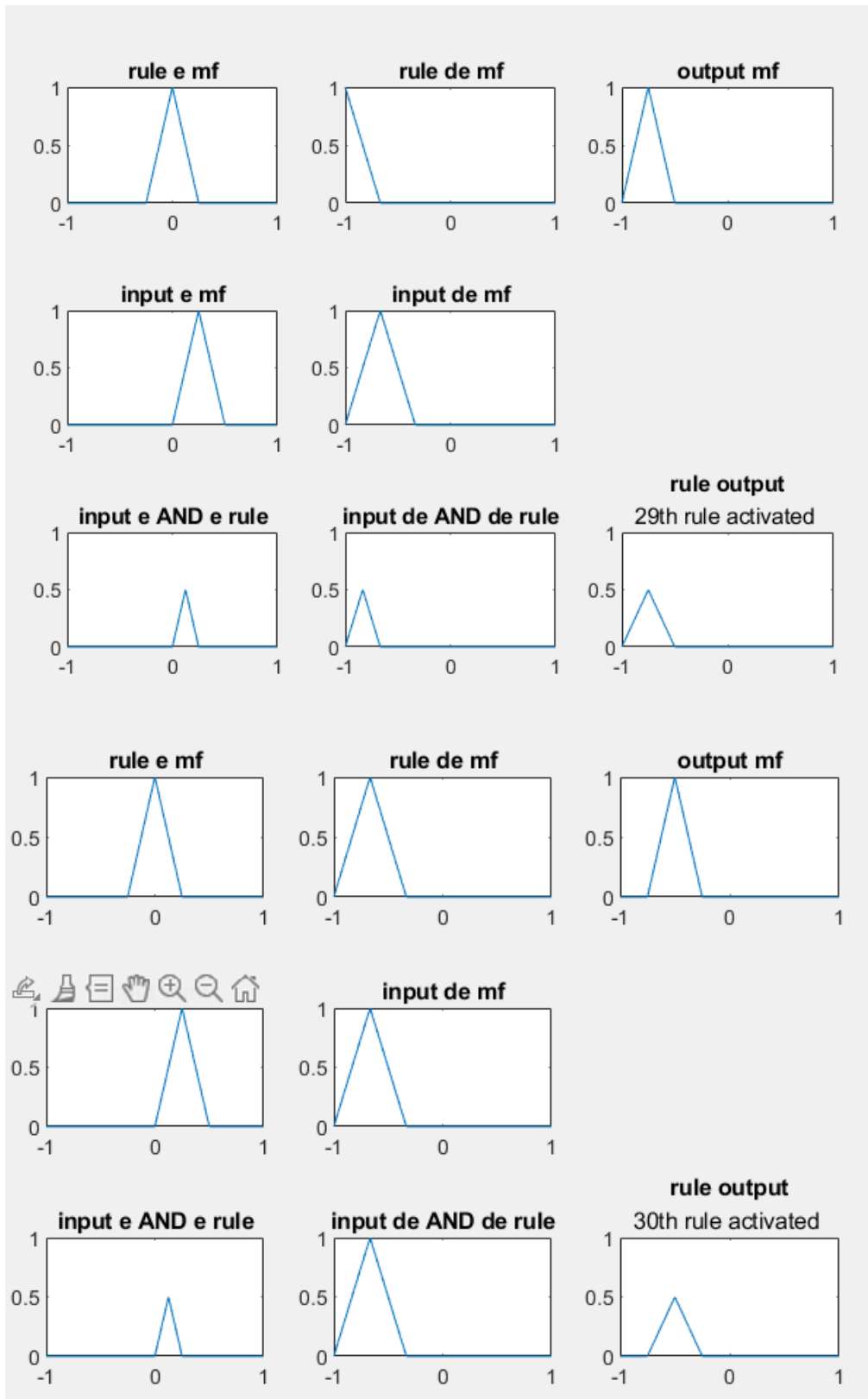
Θεωρούμε διέγερση e is PS και de is NM.

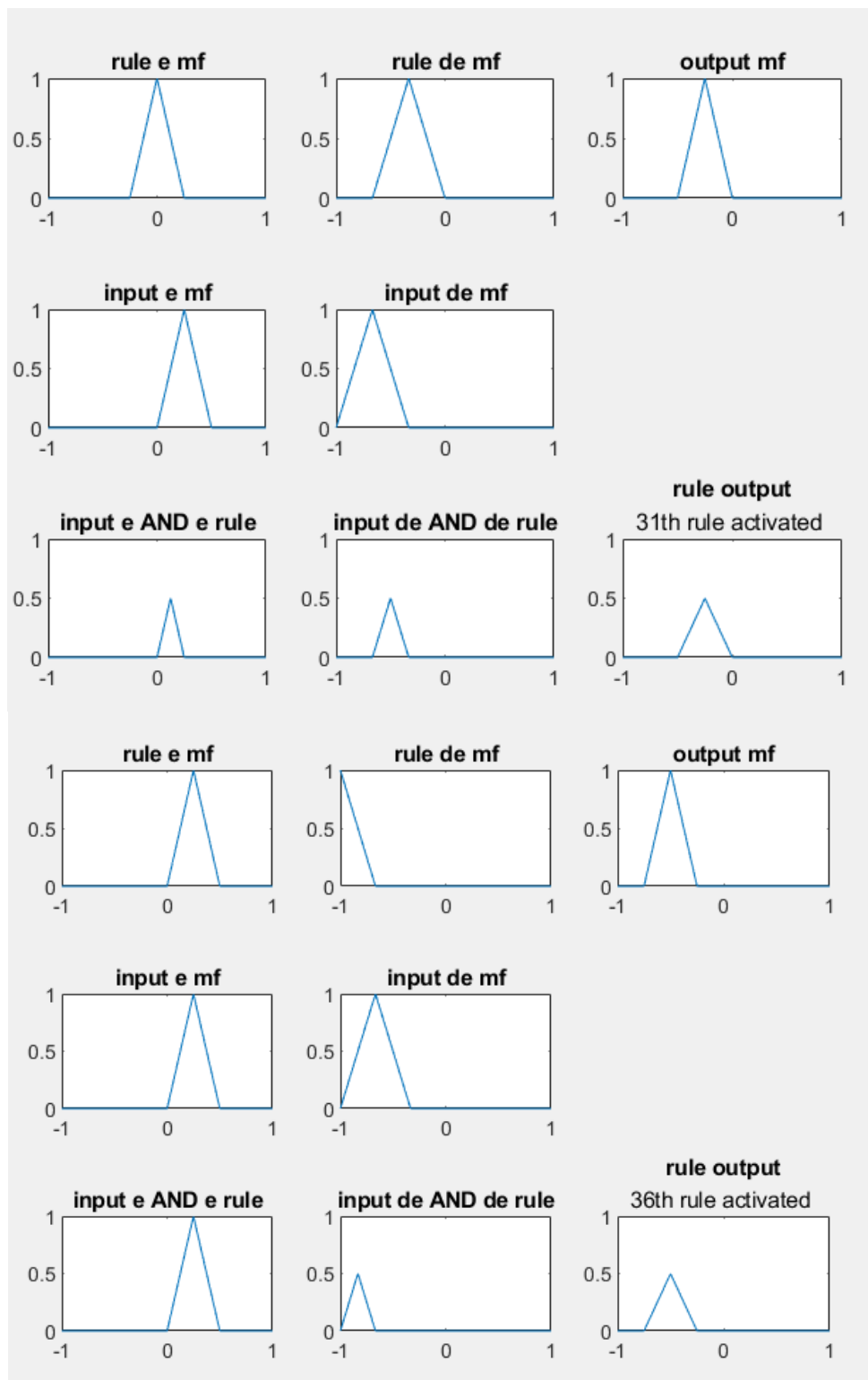
Θα δούμε ποιοί κανόνες διεγείρονται και θα τους αναπαραστήσουμε γραφικά.

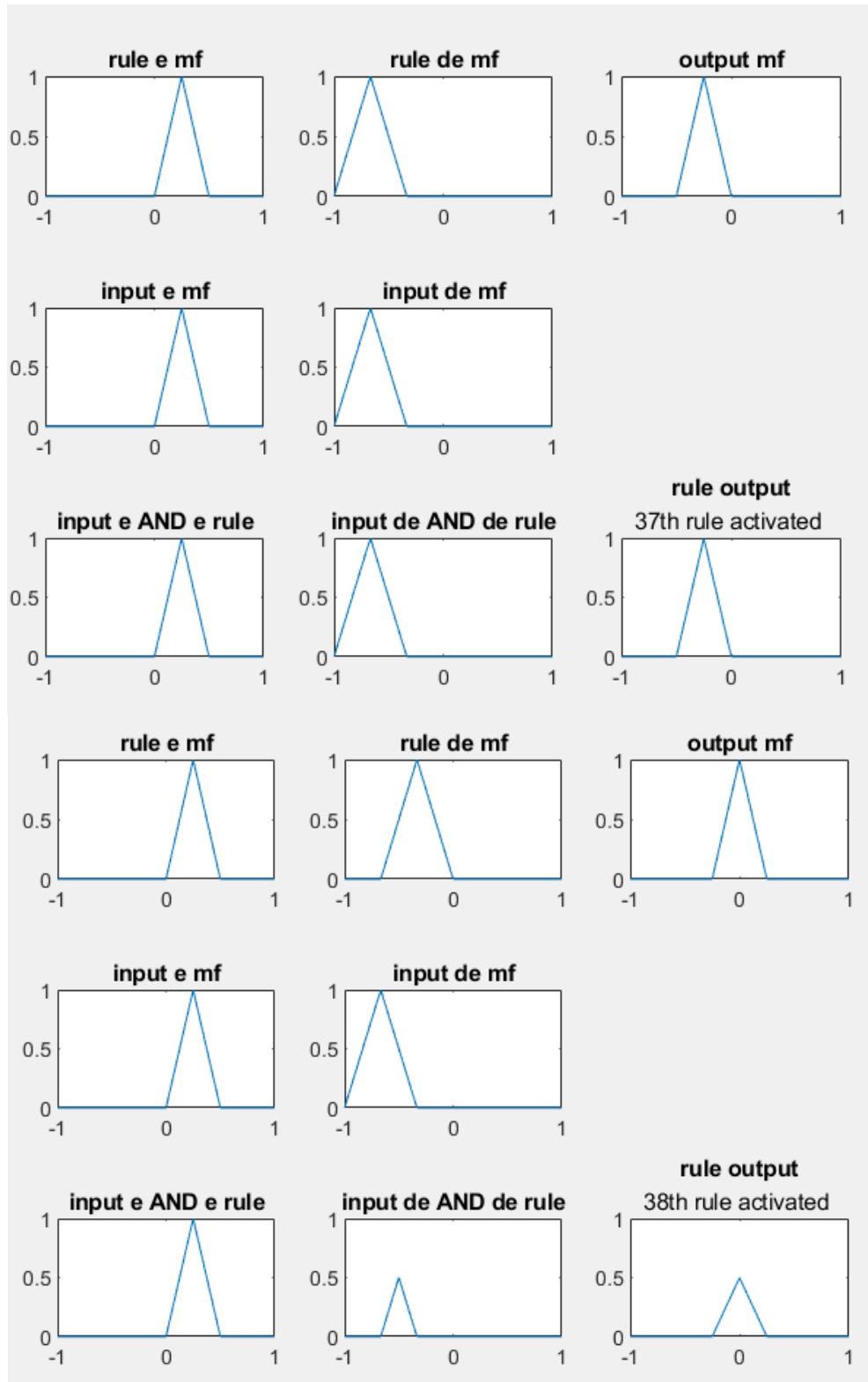
Θα χρησιμοποιήσουμε απο-ασαφопоποιητή COA.

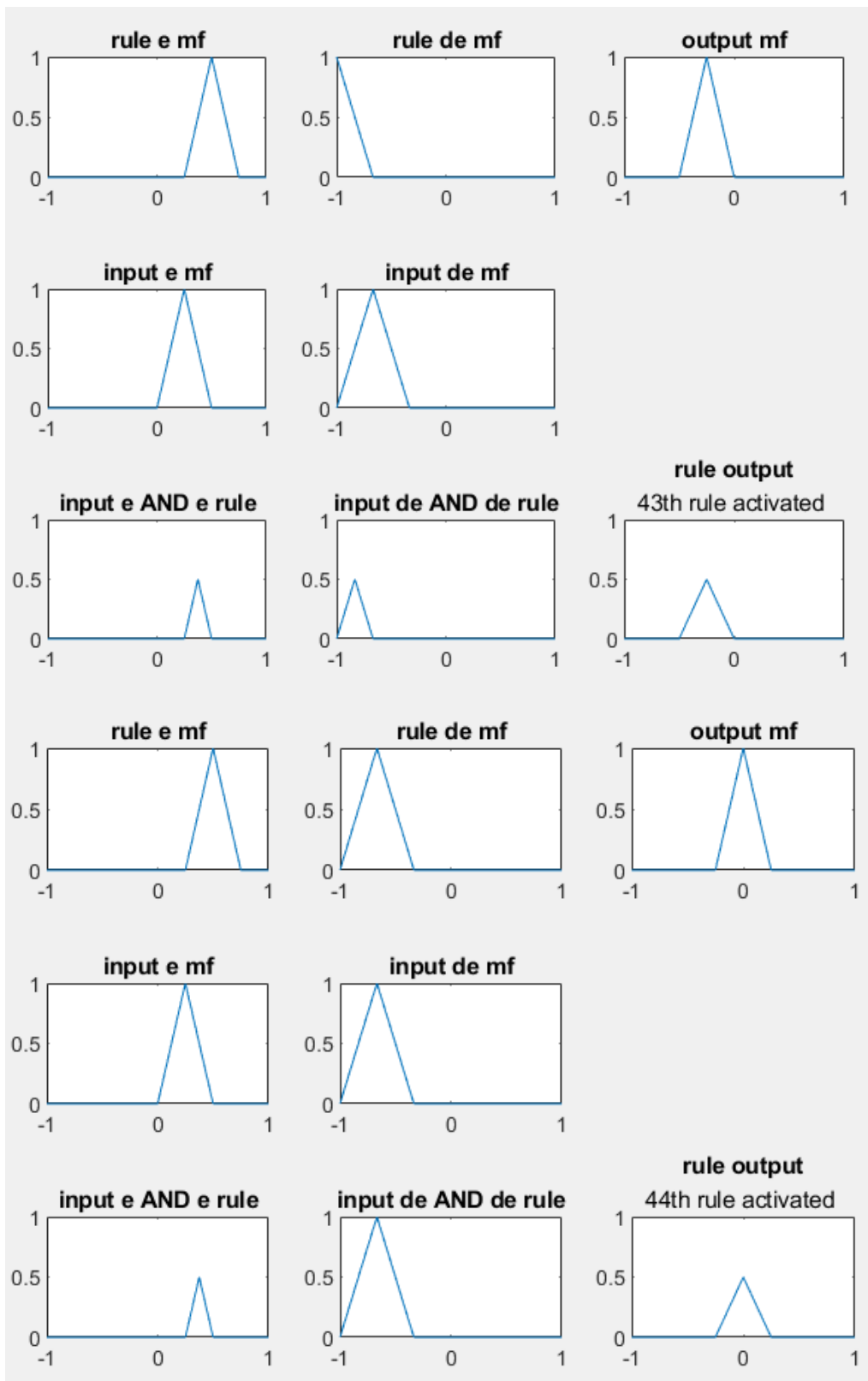
Οι κανόνες που διεγείρονται είναι οι: 29,30,31,36,37,38,43,44,45.

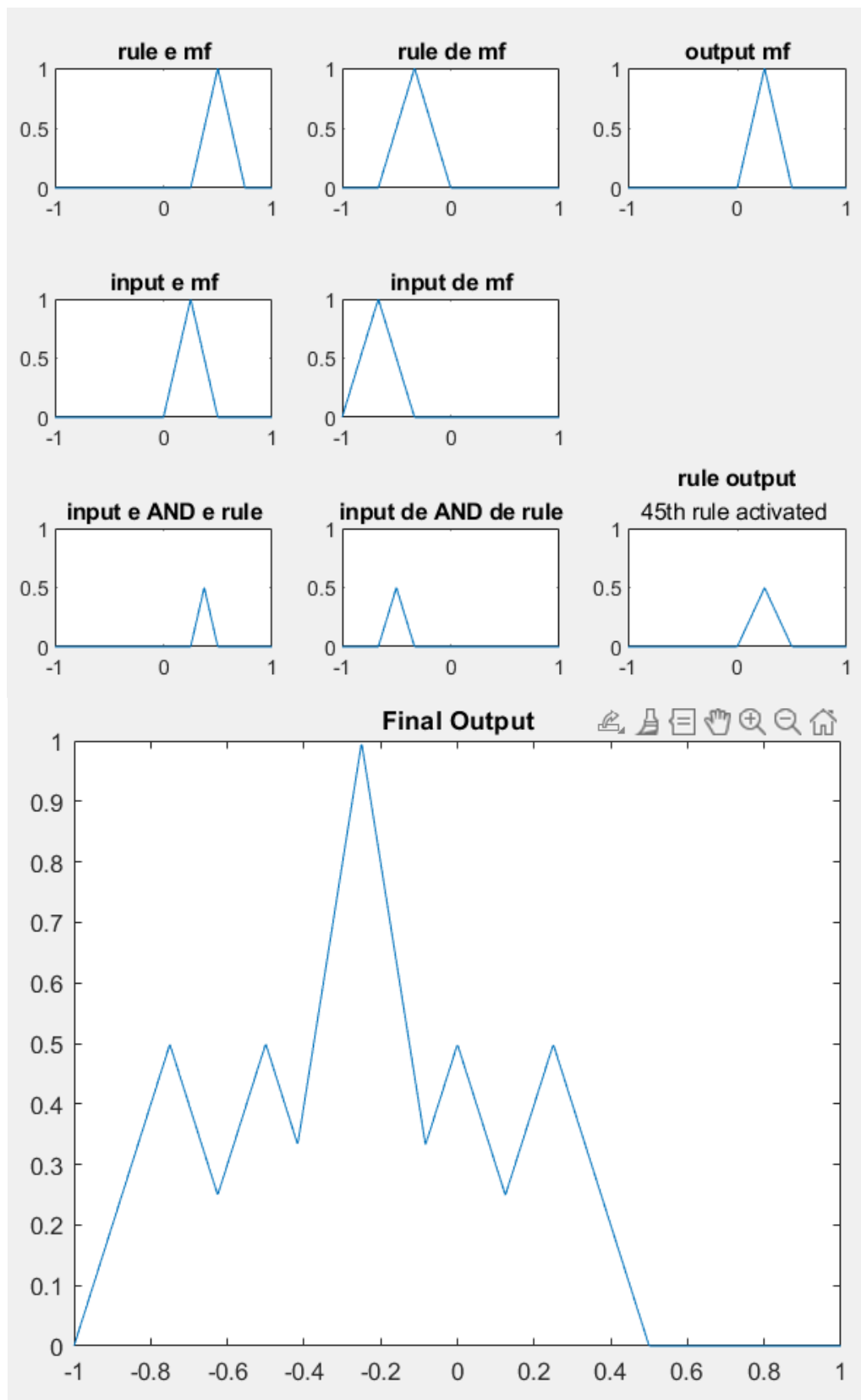
Με βάση το script "dc_motor.m" παίρνουμε τις εξής γραδικές παραστάσεις.









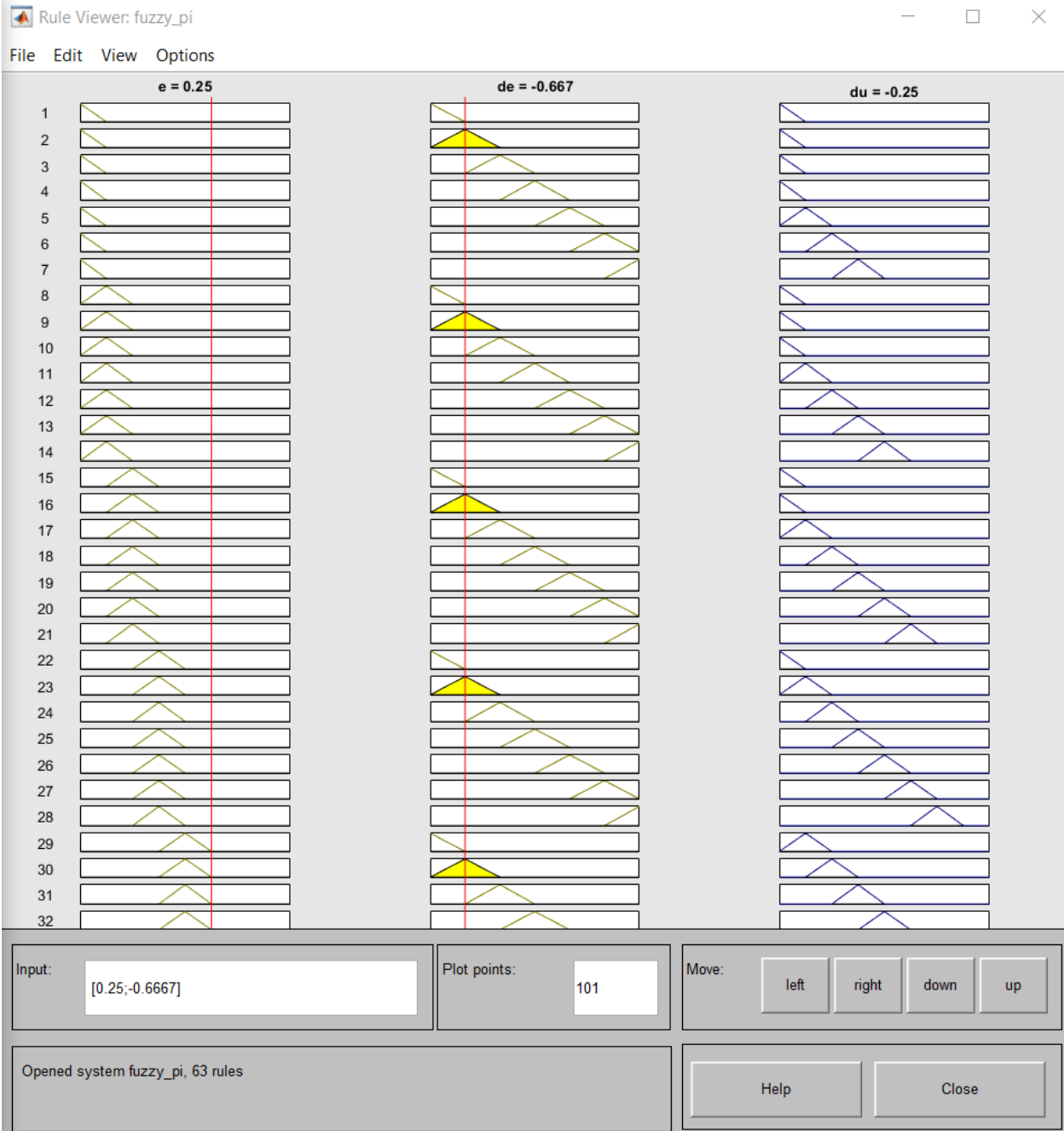


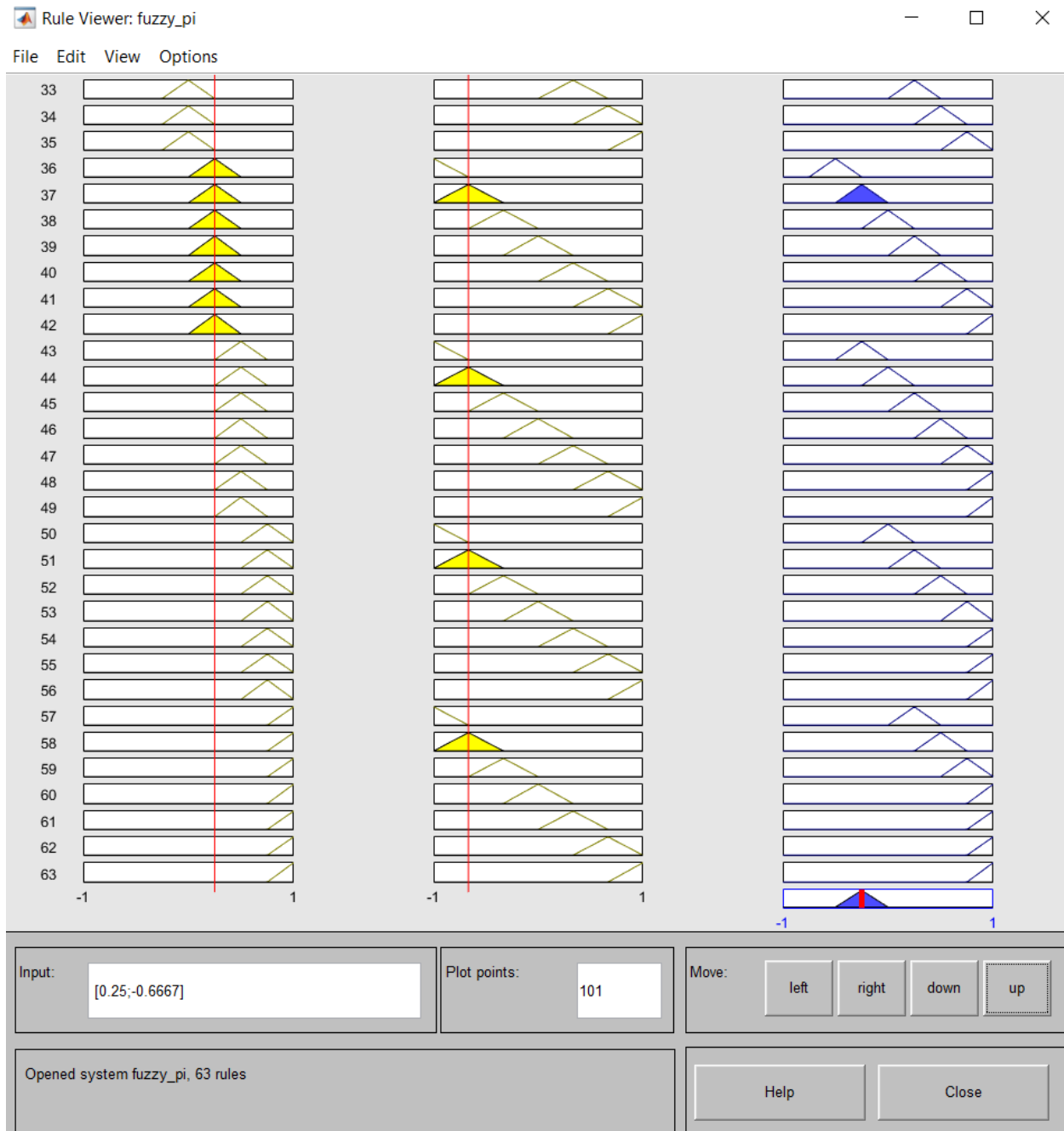
Σχήμα 28: Διέγερση κανόνα e is PS AND de is NM

Η τελική έξοδος έχει peak στο -0.25 δηλαδή στο NS όπως περιμέναμε.

Επίσης, μπορούμε μέσω την εντολής “fuzzyLogicDesigner('fuzzy_pi.fis')”, να δώσουμε διάφορες τιμές στα inputs e και de και να δούμε γραφικά ποιοί κανόνες διεγείρονται.

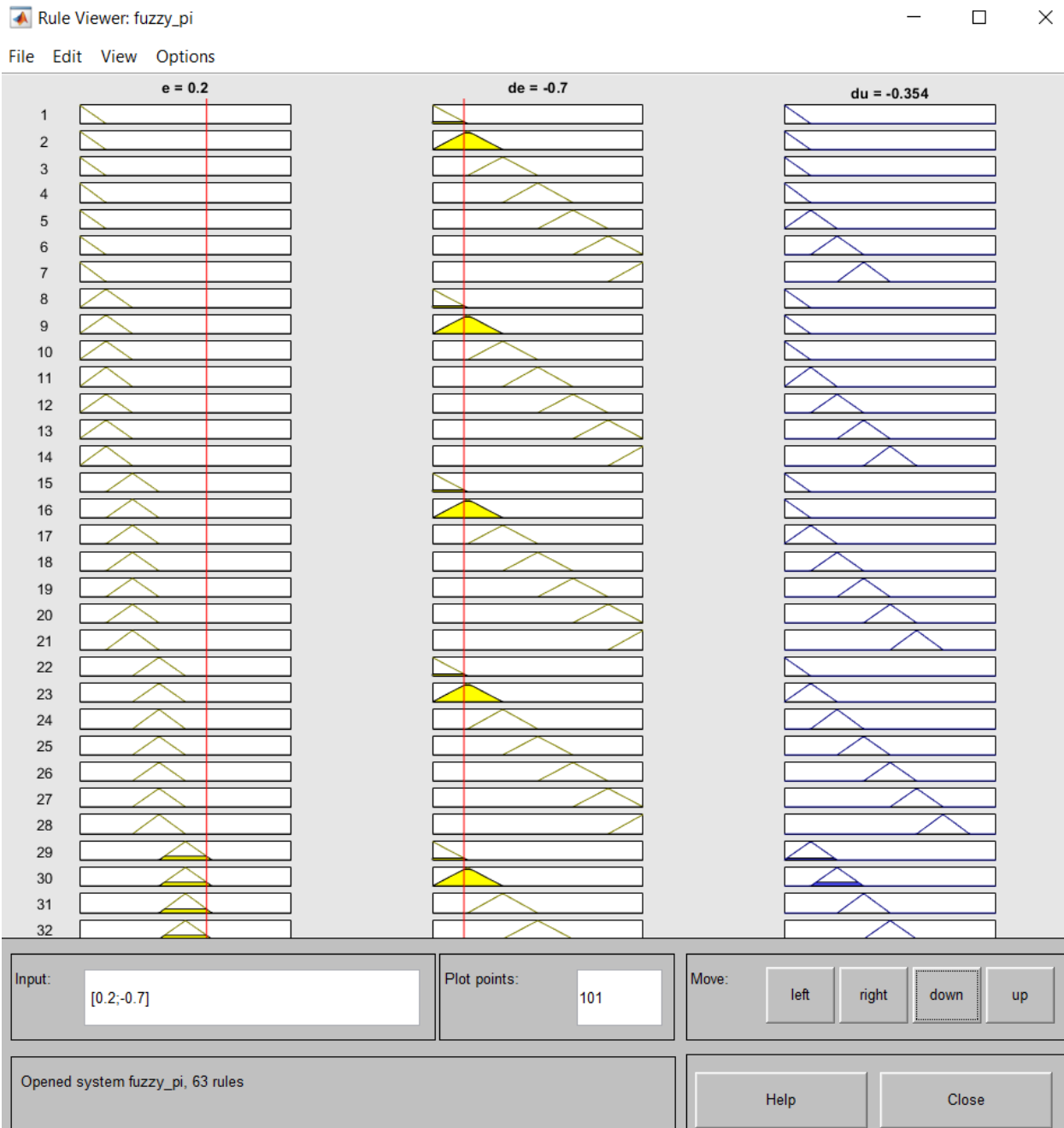
Για $e=0.25$ και $de=-0.667$ έχουμε $du=-0.25$:

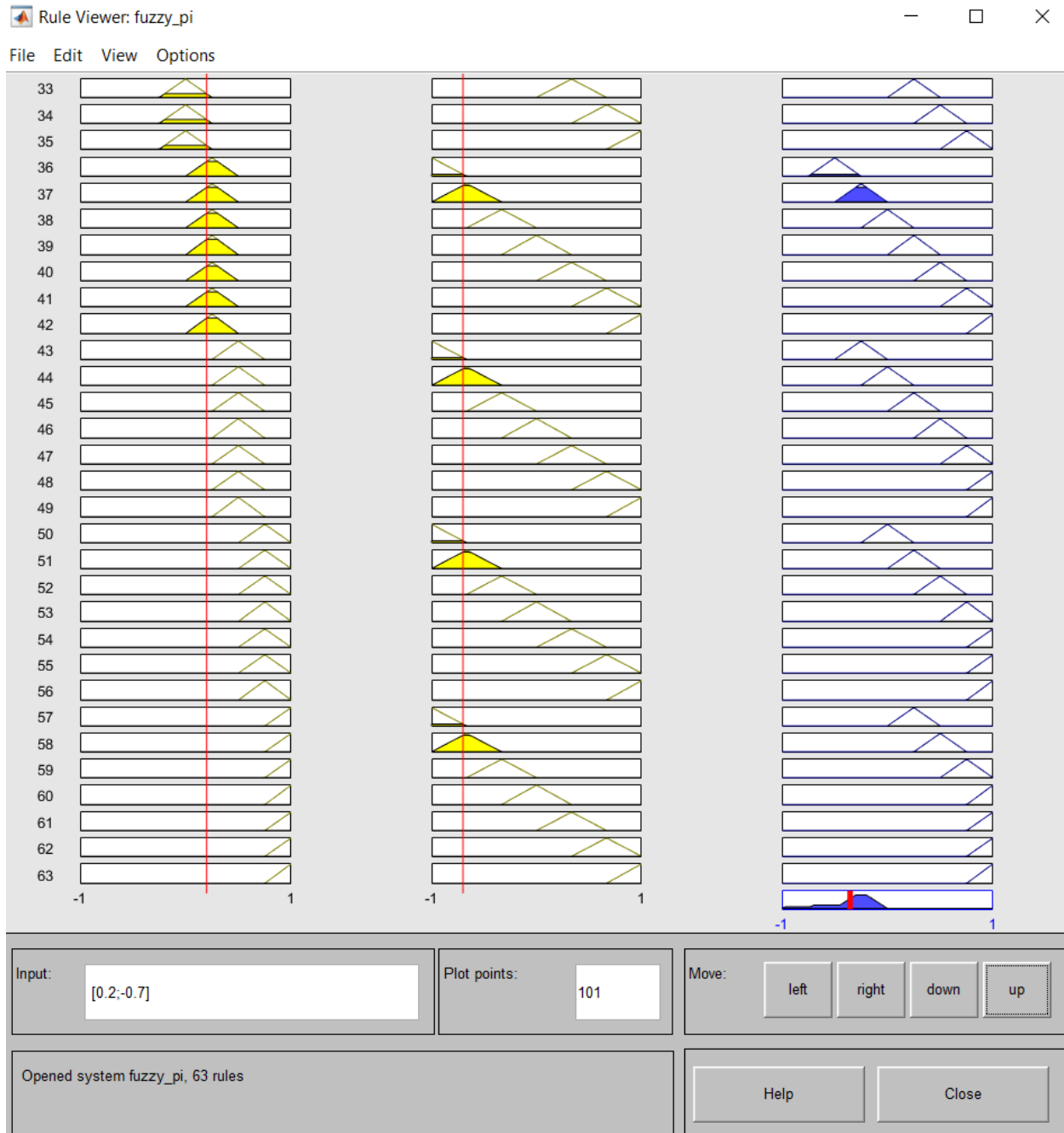




Σχήμα 29: Διέγερση κανόνων - $e=0.25$, $de=-0.667$, $du=-0.25$

Για $e=0.20$ και $de=-0.70$ έχουμε $du=-0.354$:

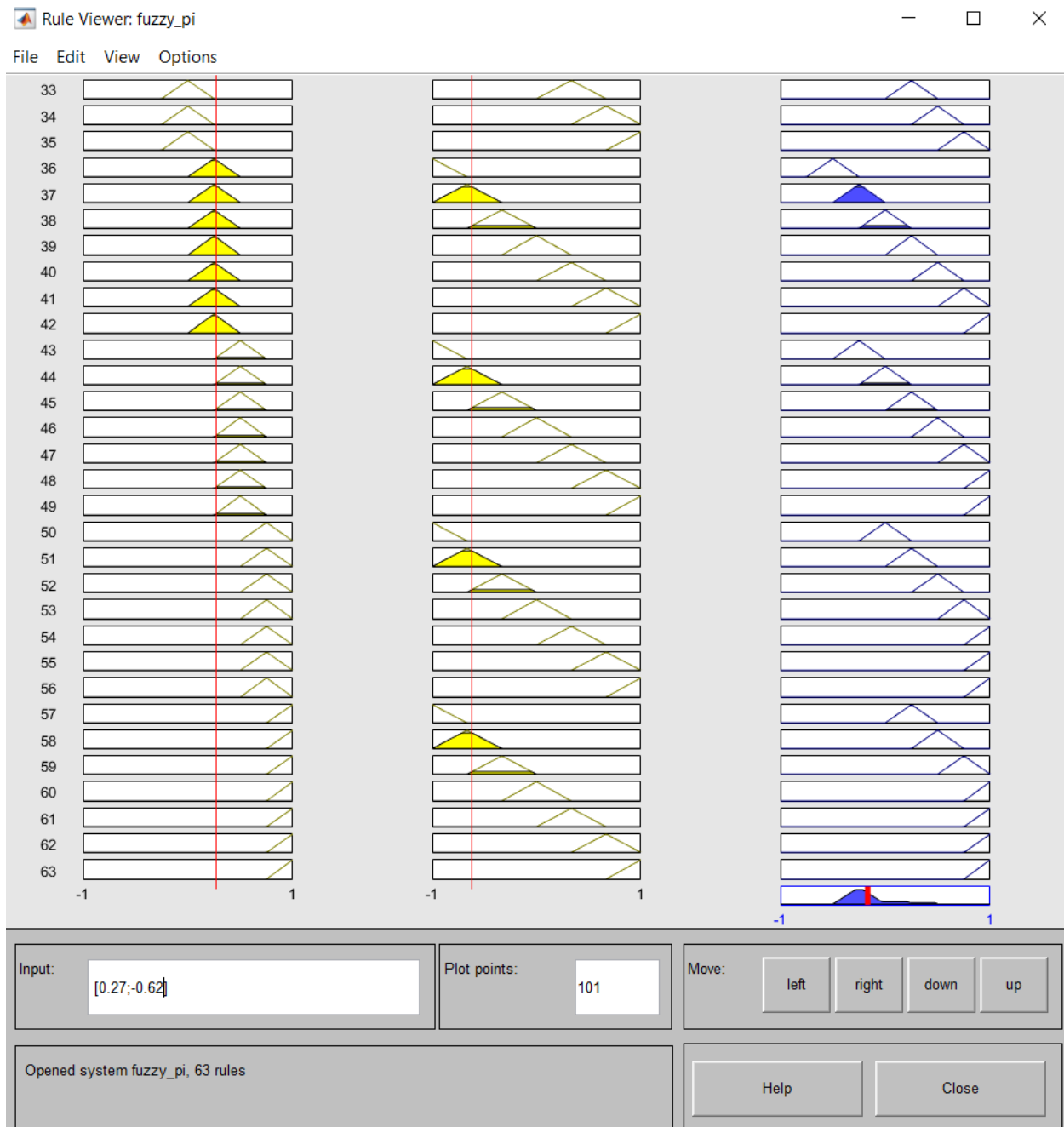




Σχήμα 30: Διέγερση κανόνων - $e=0.20$, $de=-70$, $du=-0.354$

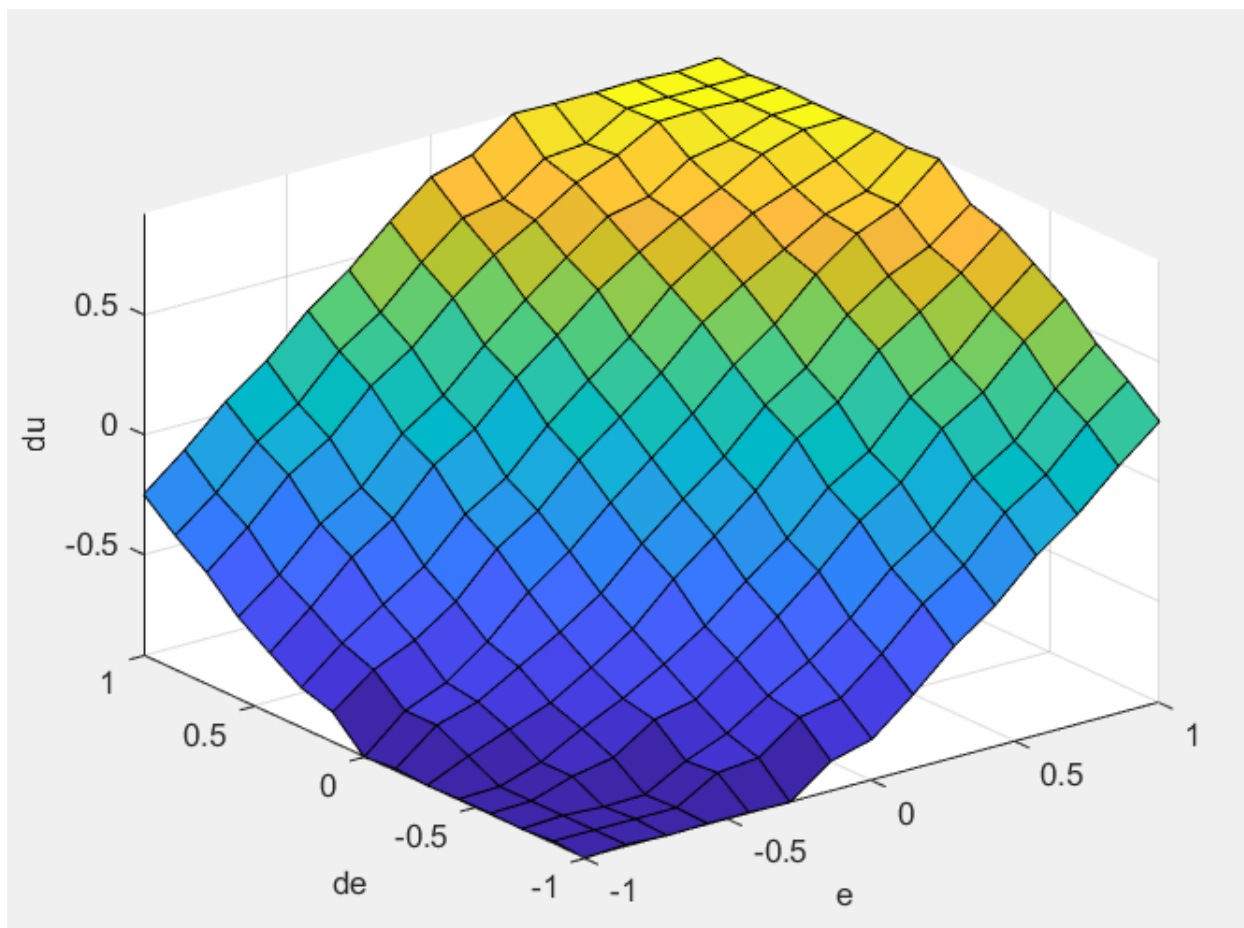
Για $e=0.27$ και $de=-0.62$ έχουμε $du=-0.167$:





Σχήμα 31: Διέγερση κανόνων - $e=0.27$, $de=-62$, $du=-0.167$

Παρακάτω φαίνεται η τρισδιάστατη επιφάνεια εξόδου του ασαφούς ελεγκτή.



Σχήμα 32: gensurf

Η παραπάνω επιφάνεια είναι η τρισδιάστατη απεικόνιση της βάσης κανόνων.

Η τιμή αυξάνεται ή μειώνεται όταν απομακρυνόμαστε από την διαγώνιο.

Από την επιφάνεια της εξόδου βλέπουμε ότι στις περιπτώσεις όπου το σφάλμα είναι θετικό και η παράγωγος του θετική η έξοδος είναι θετική, ώστε να αυξηθεί η έξοδος του συστήματος και να πλησιάσει την επιθυμητή είσοδο αναφοράς.

Στην περίπτωση του αρνητικού σφάλματος και αρνητικής παραγώγου του σφάλματος η έξοδος είναι αρνητική, ώστε να μειωθεί η έξοδος του συστήματος και να πλησιάσει την είσοδο αναφοράς.

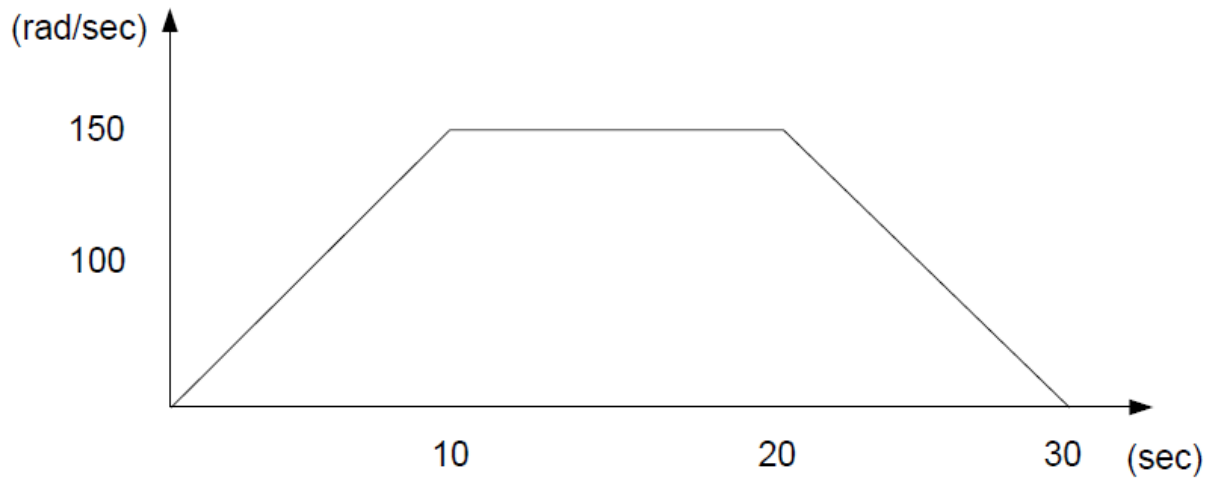
Για θετικό σφάλμα e και αρνητικό de η έξοδος κινείται κοντά στο 0, καθώς έχει σωστή συμπεριφορά το σύστημα, αφού το σφάλμα οδηγείται στο 0 και κατά συνέπεια θέλουμε να διατηρήσουμε αυτή την συμπεριφορά ή να την προσαρμόσουμε για να αποφύγουμε υπερυψώσεις. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση του αρνητικού σφάλματος και της θετικής παραγώγου του, ωστόσο στην περίπτωση της προσαρμογής της εξόδου θέλουμε να αποφύγουμε τις μεγάλες βυθίσεις.

Όταν το σφάλμα είναι κοντά στο 0 και η παράγωγος κοντά στο 0, τότε θέλουμε η έξοδος να είναι μηδενική και να διατηρήσει αυτήν την κατάσταση.

1.3.2 Σενάριο 2

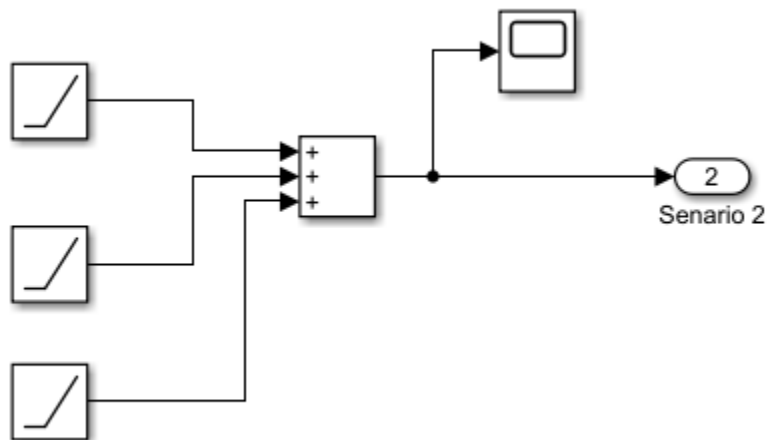
Το σύστημα υλοποιείται με βάση το μοντέλο του Σχήματος 12.

Δίνουμε ως είσοδο στο μοντέλο το σήμα του Σχήματος 33.



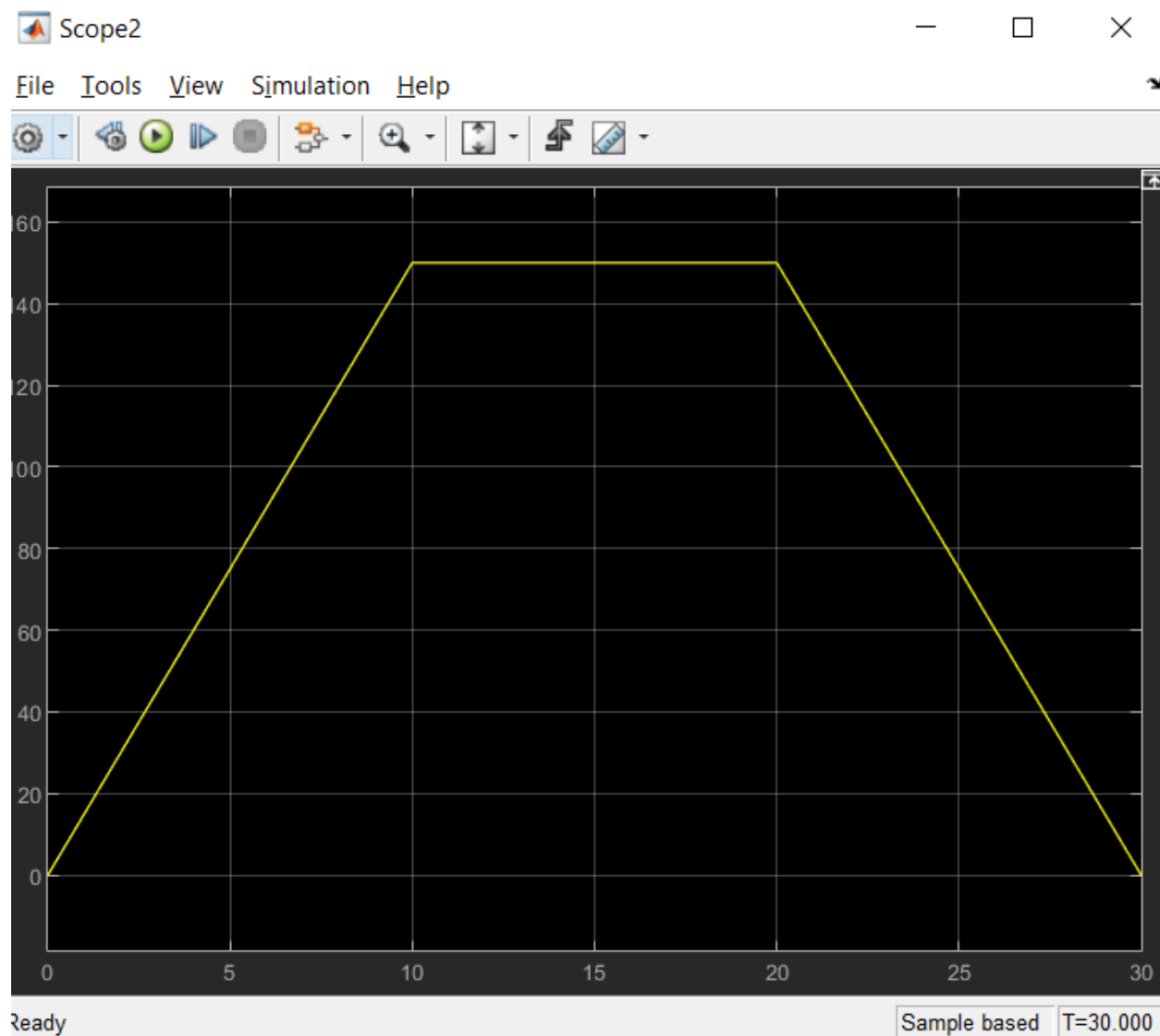
Σχήμα 33: Σενάριο 2 – Είσοδος

Κατασκευάζουμε το σήμα εισόδου στο Simulink.



Σχήμα 34: Σενάριο 2 – Είσοδος Simulink Μοντέλο

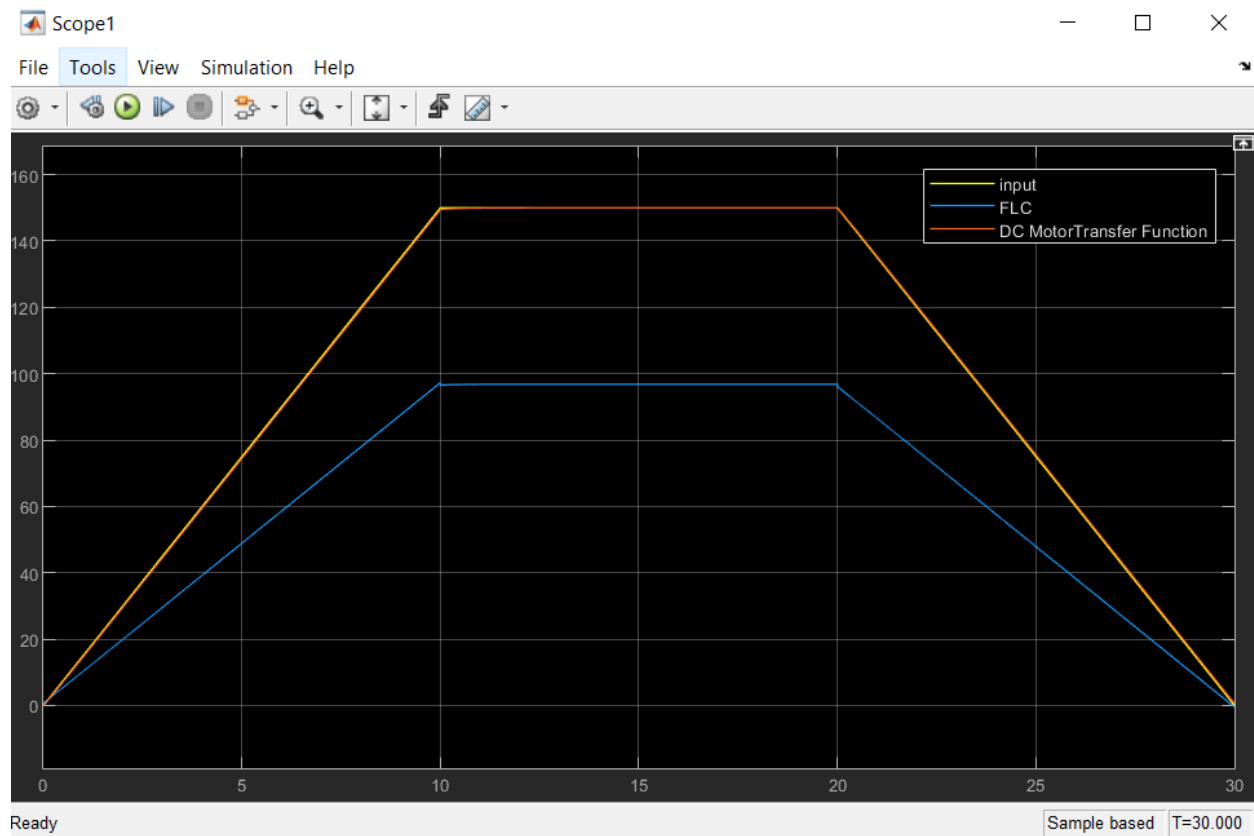
Πατατηρούμε ότι η είσοδος που δημιουργούμε είναι η επιθυμητή.



Σχήμα 35: Σενάριο 2 – Είσοδος Simulink

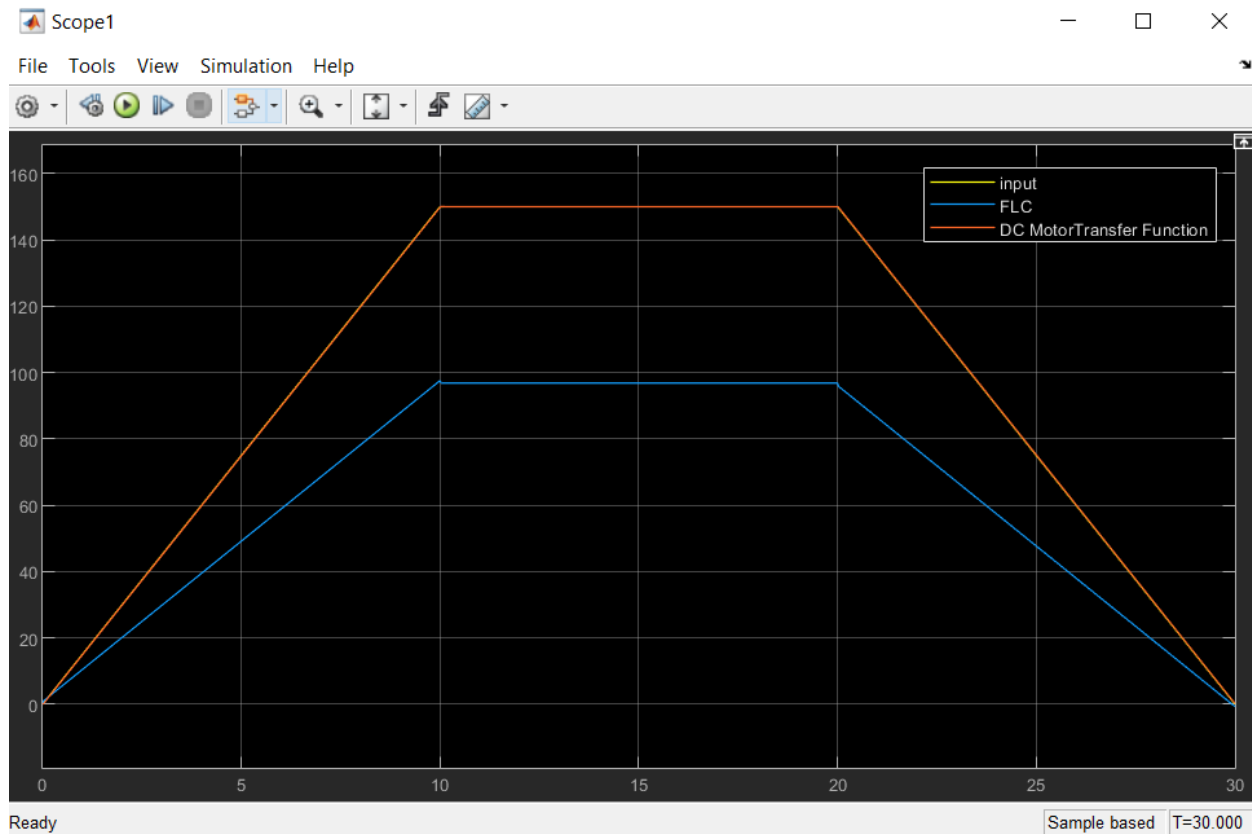
Θέλουμε η έξοδος να ακολουθεί πιστά το σήμα εισόδου.

Αρχικά, βλέπουμε την απόκριση με τα αρχικά κέρδη.



Σχήμα 36: Σενάριο 2 - Απόκριση - Αρχικά κέρδη

Και στη συνέχεια βλέπουμε ξανά την απόκριση με τα τελικά κέρδη.



Σχήμα 37: Σενάριο 2 - Απόκριση - Τελικά κέρδη

▼ Overshoots / Undershoots	
+ Preshoot	0.505 %
+ Overshoot	0.505 %
+ Undershoot	1.980 %
+ Settling Time	--
- Preshoot	--
- Overshoot	--
- Undershoot	--
- Settling Time	--

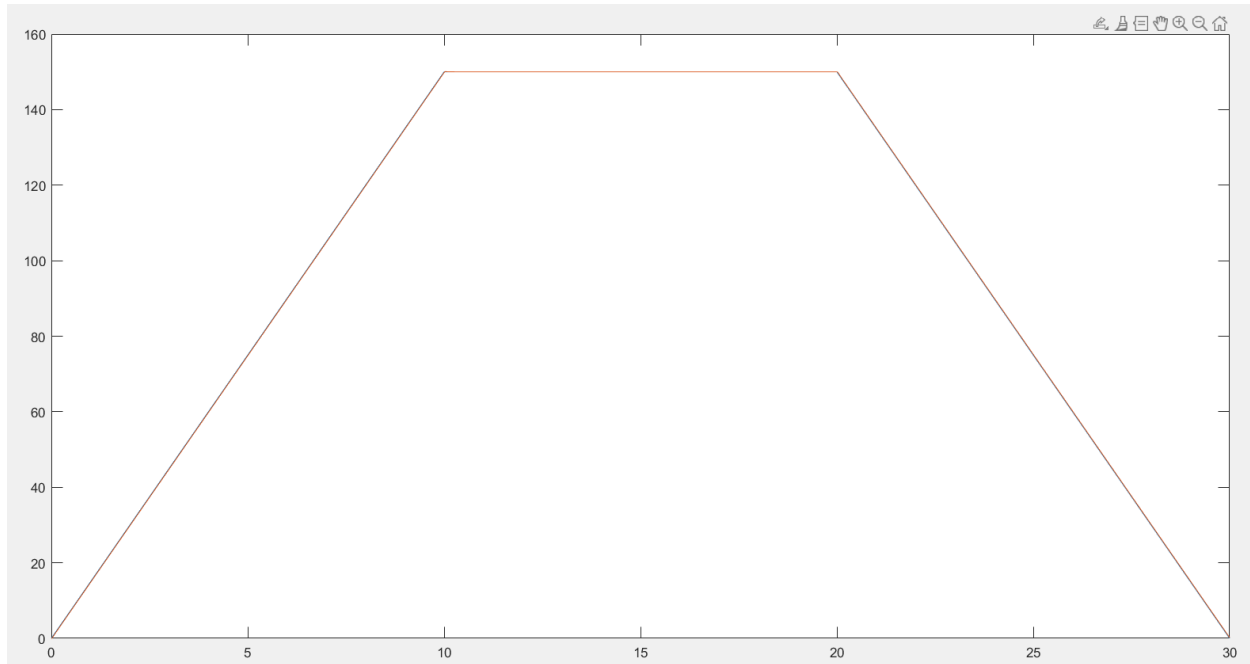
Σχήμα 38: Σενάριο 2 – Τελικά κέρδη - Stats

$\text{overshoot} = 0.5\% < 5\%$

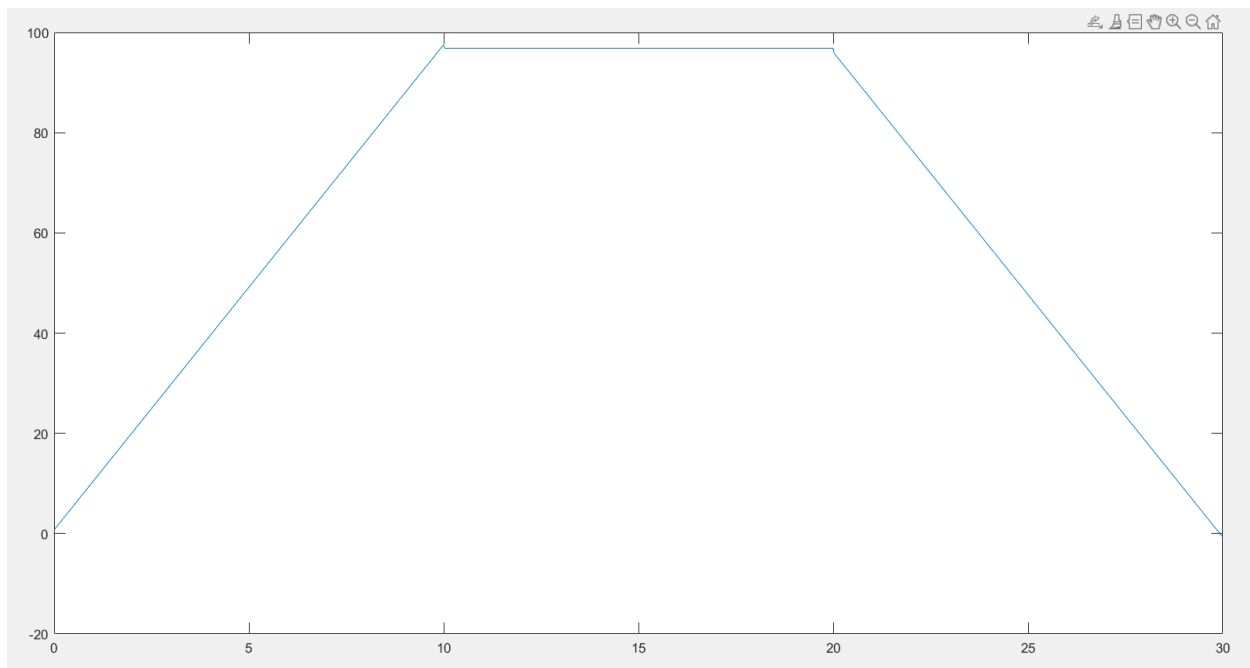
Πιάνουμε τις προδιαγραφές.

Η έξοδος ακολουθεί πιστά την είσοδο.

Και βάζοντας τις τιμές των σημάτων στο matlab με δειγματοληψία $T=0.01$, βλέπουμε ότι επαληθεύονται τα αποτελέσματα μας.

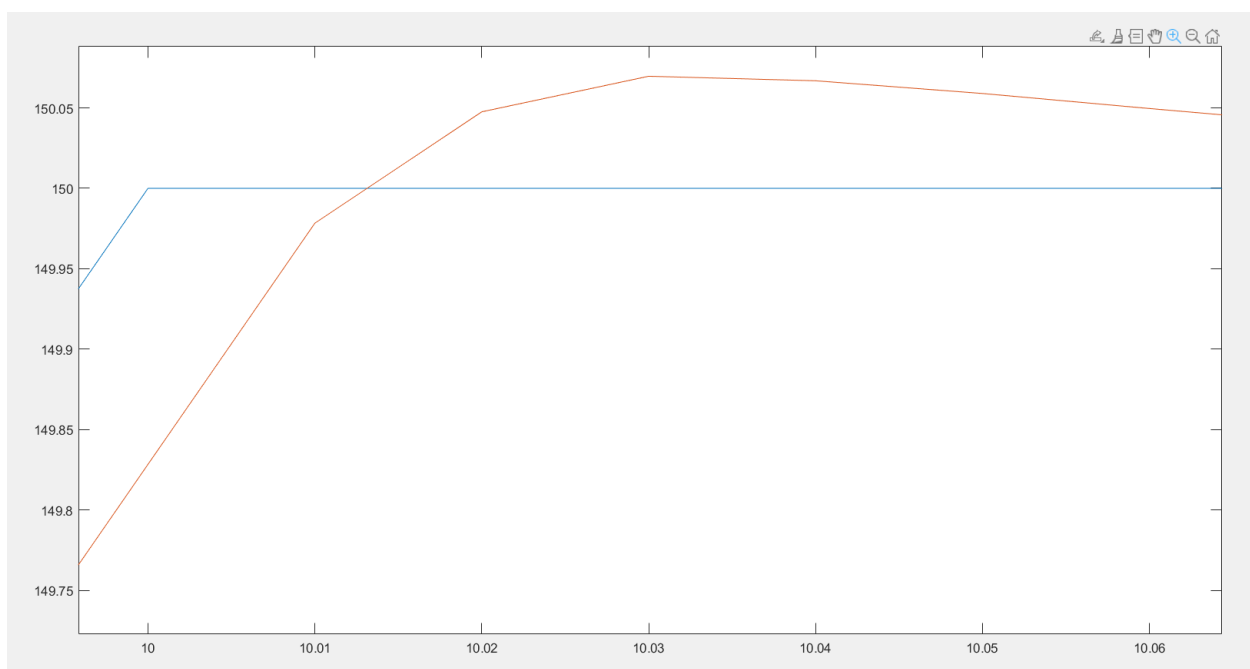


Σχήμα 39: Σενάριο 2 - Τελικά κέρδη – Απόκριση Συστήματος - Matlab



Σχήμα 40: Σενάριο 2 - Τελικά κέρδη - Έξοδος Ελεγκτή - Matlab

Κάνοντας zoom-in παρατηρούμε ότι το σφάλμα είναι της τάξης του 0.05 rad/sec.



Σχήμα 41: Σενάριο 2 - Τελικά κέρδη – Απόκριση Συστήματος- Zoom in - Matlab

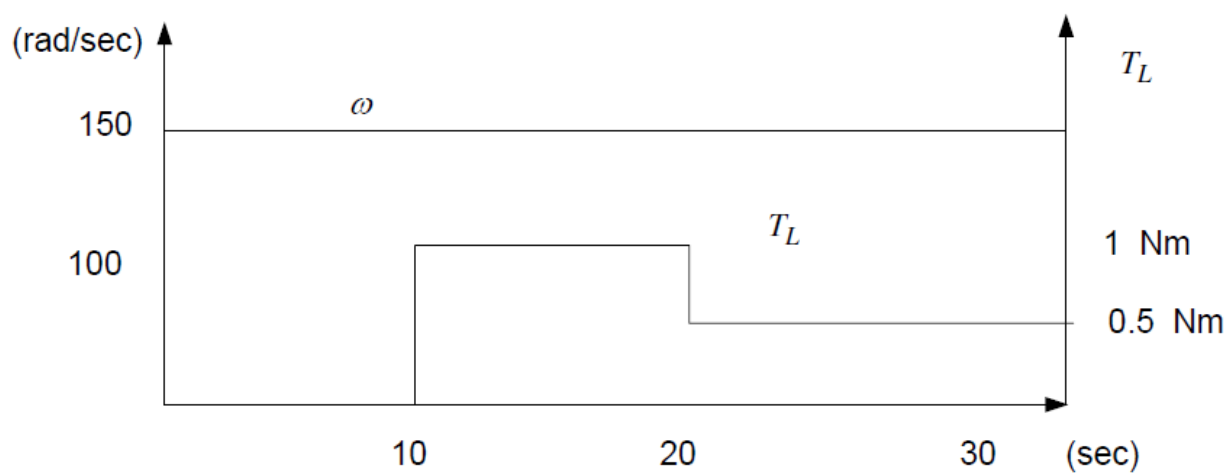
Παρατηρούμε ότι τα σφάλματα είναι της τάξης του 0.05 rad/sec στα χρονικά διαστήματα όπου η επιτάχυνση είναι μη μηδενική, ενώ όταν η γωνιακή ταχύτητα είναι σταθερή το σφάλμα είναι μηδέν.

1.3.3 Σενάριο 3

Το σύστημα υλοποιείται με βάση το μοντέλο του Σχήματος 11.

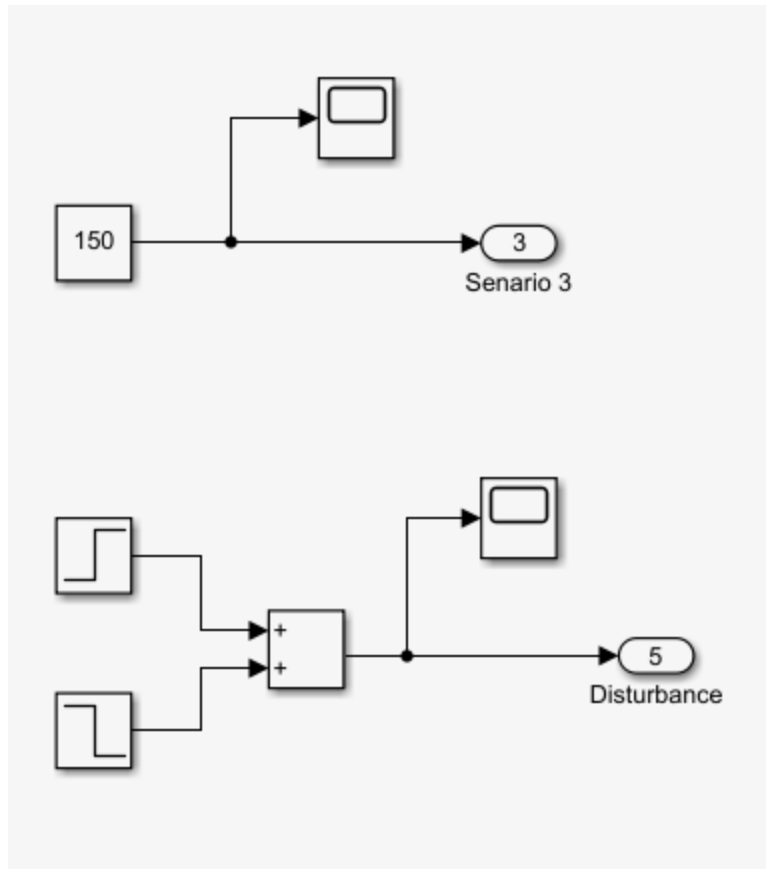
Σε αυτό το σενάριο θα εξετάσουμε την συμπεριφορά του συστήματος όταν υπάρχουν διαταραχές, με την μορφή ροπής. Υποθέτουμε ότι το σύστημα δουλεύει στις ονομαστικές στροφές, δηλαδή 150rad/sec

Η διαταραχή έχει τη μορφή του Σχήματος 42.



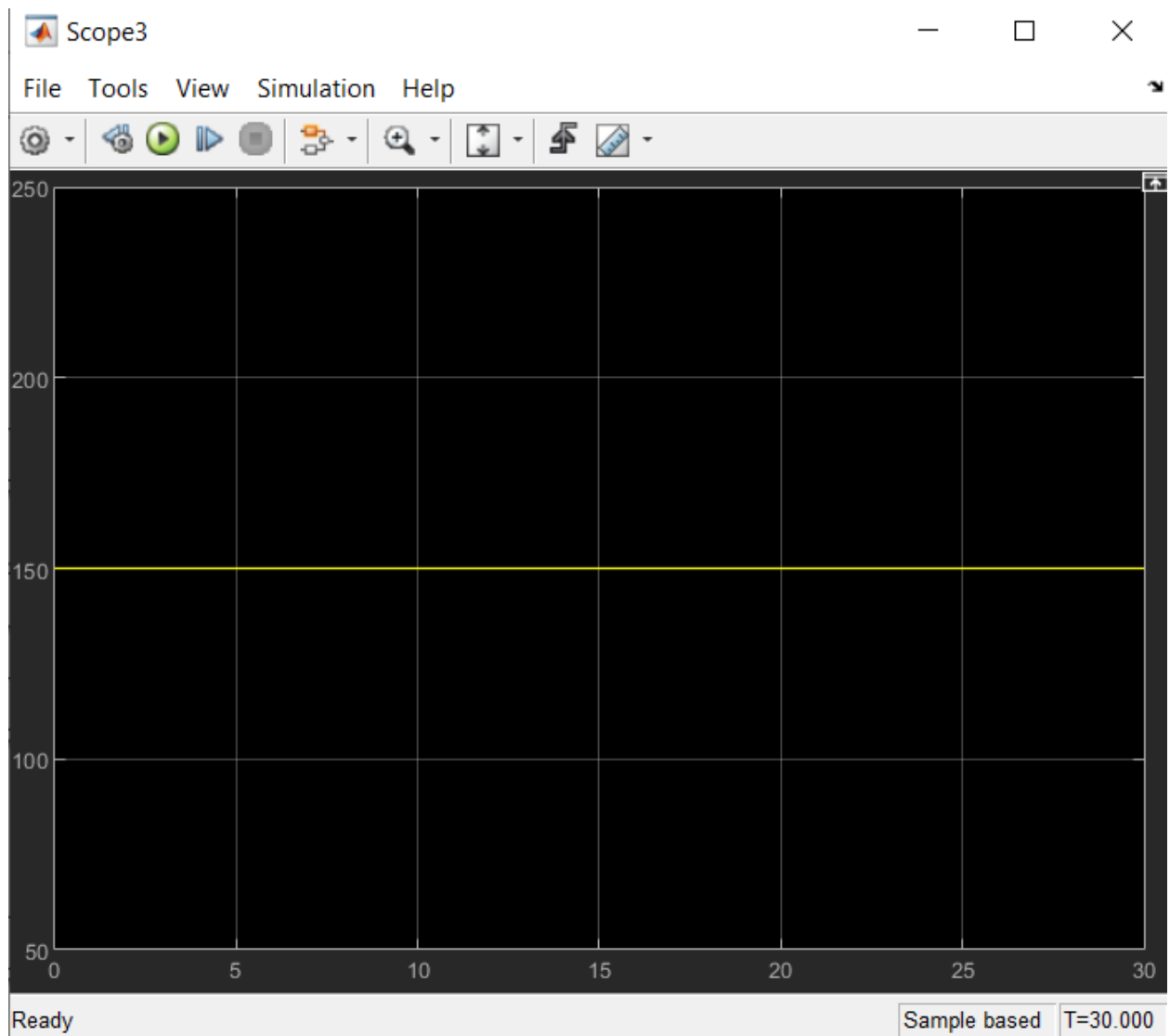
Σχήμα 42: Σενάριο 3 – Είσοδος

Κατασκευάζουμε το σήμα εισόδου και το σήμα διαταραχής στο Simulink.

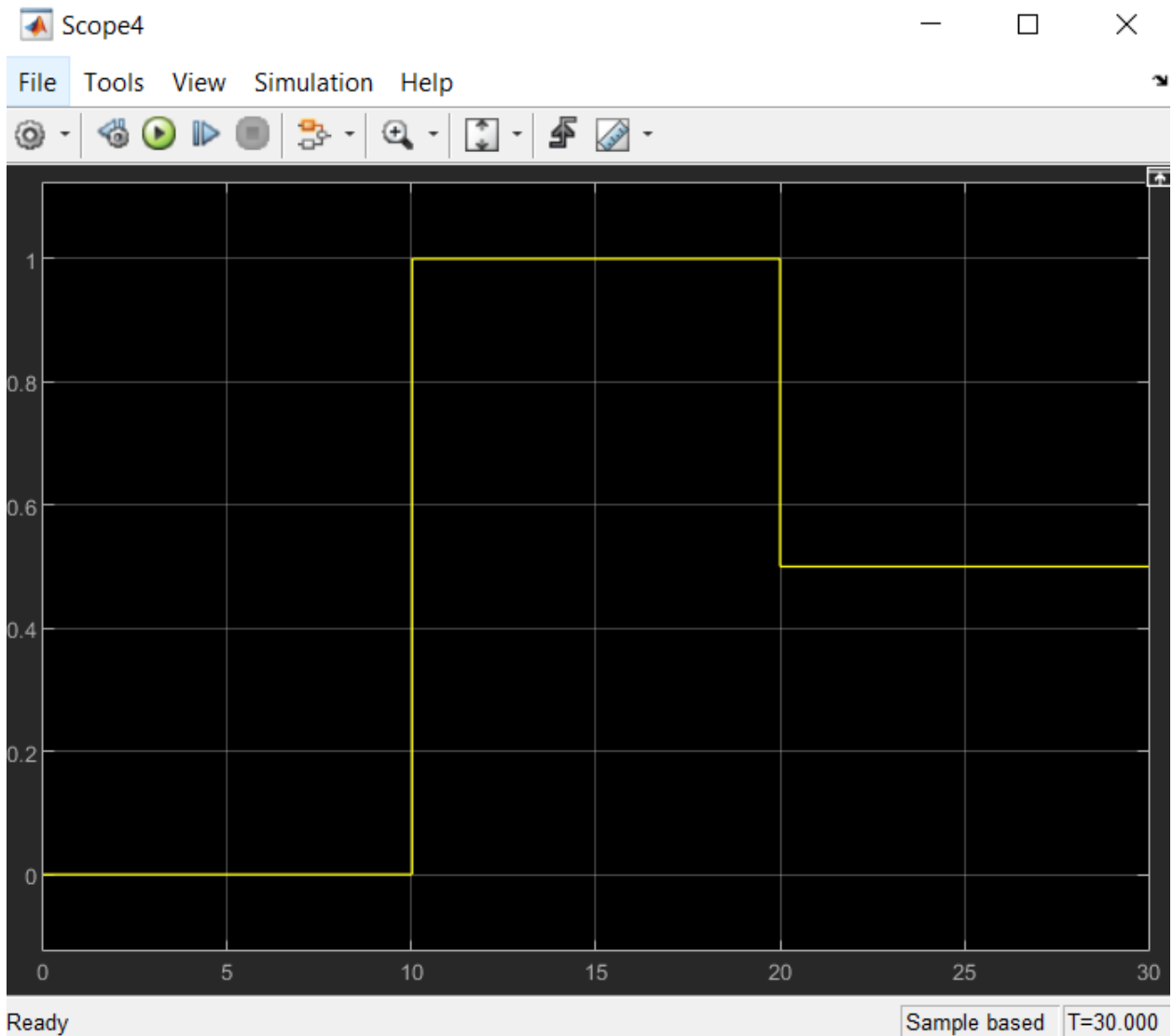


Σχήμα 43: Σενάριο 3 – Είσοδος Simulink Μοντέλο

Πατατηρούμε ότι η είσοδος που δημιουργούμε είναι η επιθυμητή.



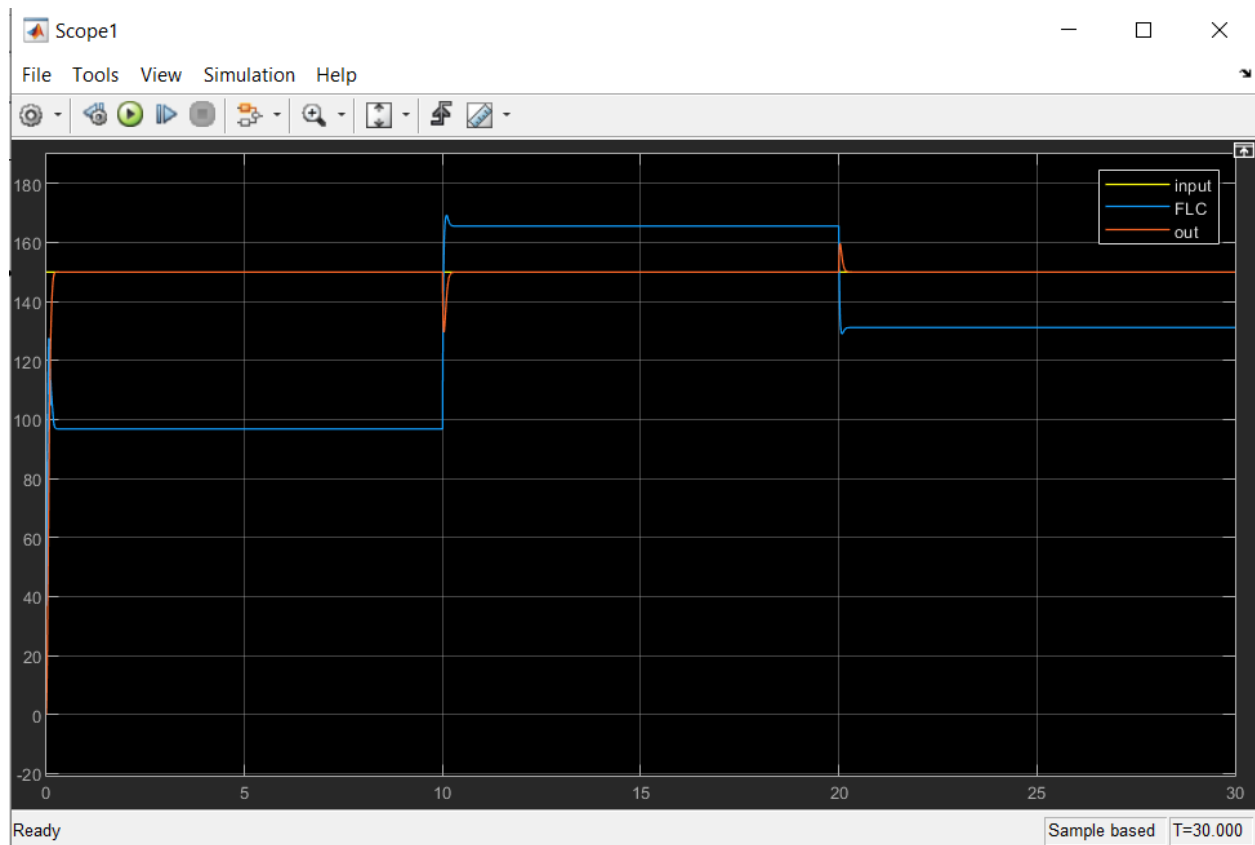
Σχήμα 44: Σενάριο 3 – Είσοδος Simulink



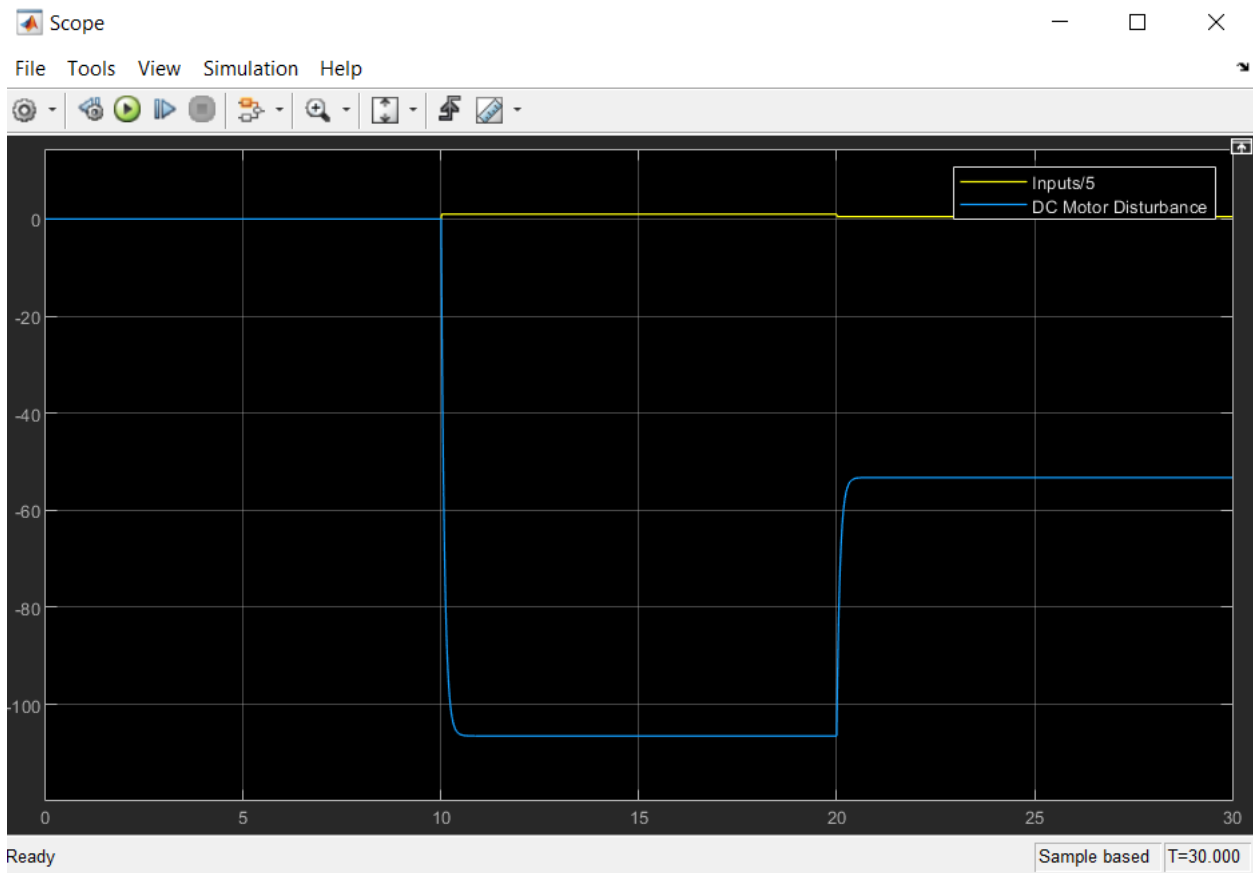
Σχήμα 45: Σενάριο 3 – Είσοδος Διαταραχής Simulink

Θέλουμε η έξοδος να ακολουθεί πιστά το σήμα εισόδου, χωρίς να επηρεάζεται από τη διαταραχή.

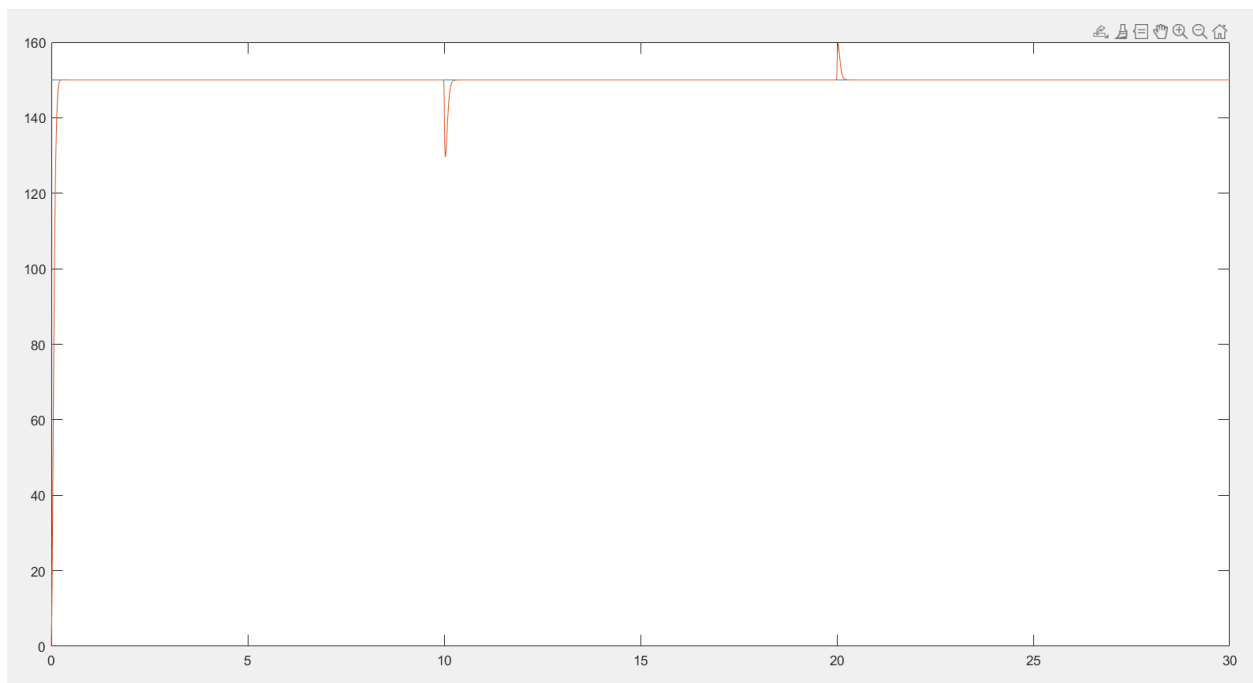
Μετά το tuning και έχοντας εφαρμόσει τα τελικά κέρδη η απόκριση του συστήματος και η έξοδος του ελεγκτή και της συνάρτησης μεταφοράς των διαταραχών φαίνονται παρακάτω.



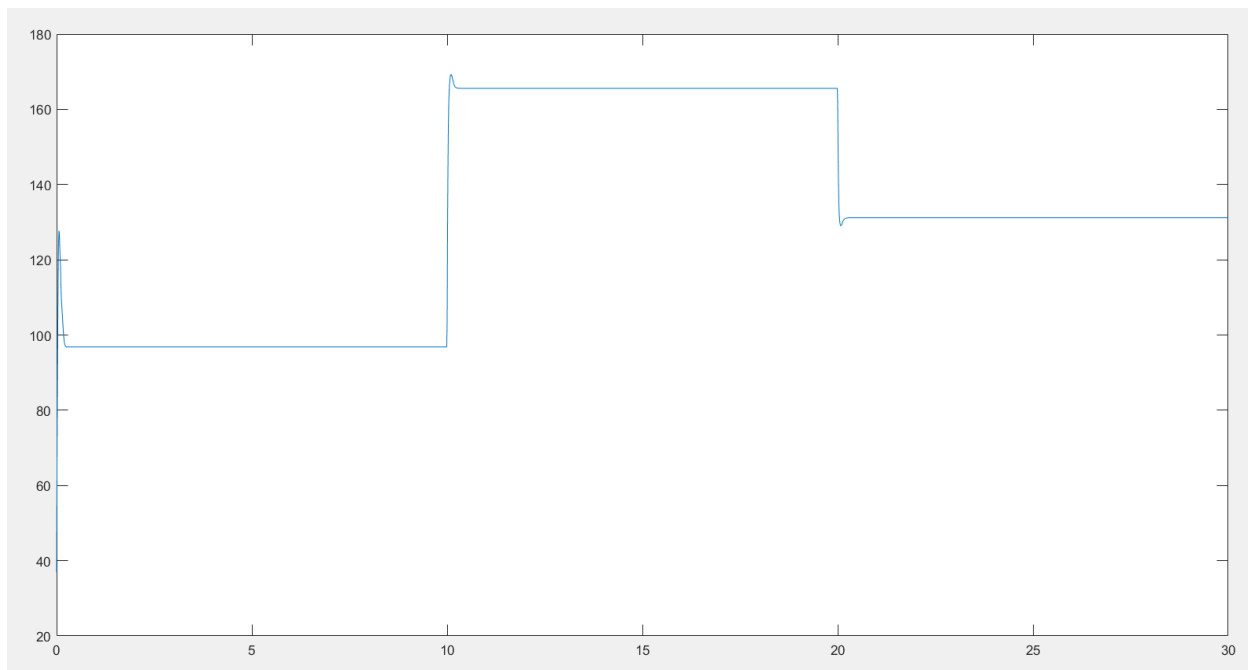
Σχήμα 46: Σενάριο 3 – Απόκριση - Τελικά κέρδη



Σχήμα 47: Σενάριο 3 – Διαταραχή



Σχήμα 48: Σενάριο 3 – Απόκριση - Τελικά κέρδη - Matlab



Σχήμα 49: Σενάριο 3 - Τελικά κέρδη - Έξοδος Ελεγκτή - Matlab

Παρατηρούμε ότι παρόλο που το σήμα κάνει spike, λόγω της διαταραχής, επανέρχεται γρήγορα στην κανονική κατάσταση.

Όπως βλέπουμε από τα παραπάνω γραφήματα η έξοδος ακολουθεί την είσοδο αναφοράς, ενώ όταν εμφανίζεται η διαταραχή παρουσιάζει μία μικρή βύθιση κι έπειτα επανέρχεται στην κανονική τιμή λειτουργίας. Όταν η τιμή της ροπής της διαταραχής μειώνεται το σύστημα εμφανίζει μία μικρή υπερύψωση και στην συνέχεια επανέρχεται κι ακολουθεί την ονομαστική τιμή, δηλαδή το σήμα αναφοράς. Σε όλη την διάρκεια της προσομοίωσης η τάση εξόδου του ελεγκτή παραμένει μικρότερη από 200V και οι προδιαγραφές ικανοποιούνται.