

Υπολογιστική Νοημοσύνη
-Πρώτη Εργασία-

Αλέξανδρος Πετρίδης

Τελευταία ενημέρωση: 25 Νοεμβρίου 2021

Περιεχόμενα

1	Ανάλυση κλασσικού ελεγκτή	3
1.1	Προδιαγραφές	3
1.2	Επιλογή ελεγκτή	3
1.3	Ικανοποίηση προδιαγραφών	4
1.3.1	Προδιαγραφή 5	4
1.3.2	Προδιαγραφή 3	4
1.3.3	Προδιαγραφή 2	4
1.3.4	Προδιαγραφή 1	4
1.3.5	Προδιαγραφή 4	5
1.3.6	Επιλογή Κερδών	5
2	Ελεγκτής FZ-PI	6
3	Σενάριο 1	7
3.1	Είσοδος συστήματος	7
3.2	Απόκριση και διέγερση συστήματος	7
3.3	Διέγερση $e = PS$, $de = NM$	8
3.4	Τρισδιάστατη επιφάνεια εξόδου του ασαφούς ελεγκτή	8
4	Σενάριο 2	9
4.1	Είσοδος συστήματος	9
4.2	Απόκριση και διέγερση συστήματος	9
5	Σενάριο 3	10
6	Εκτέλεση Εργασίας	10

Κατάλογος Σχημάτων

1	Έλεγχος με κλασσικό ελεγκτή	3
2	Χρόνος ανόδου	5
3	Απόκριση για βηματική είσοδο 150V	5
4	Απόκριση <i>fuzzy</i> ελεγκτή για βηματική είσοδο 150V	6
5	Είσοδος πρώτου σεναρίου	7
6	Έξοδος πρώτου σεναρίου (με την κόκκινη γραμμή)	7
7	Διέγερση $e = PS$, $de = NM$	8
8	Τρισδιάστατη επιφάνεια εξόδου του ασαφούς ελεγκτή	8
9	Είσοδος δεύτερου σεναρίου	9
10	Απόκριση και διέγερση δεύτερου σεναρίου	9
11	Κύκλωμα τρίτου σεναρίου	10
12	Απόκριση και διέγερση τρίτου σεναρίου	10

1 Ανάλυση κλασσικού ελεγκτή

Από το παράδειγμα 9.9.1 των σημειώσεων έχουμε την έξοδο του συστήματος ενός DC motor στην εξίσωση 1. Θεωρώντας $T_L = 0$ έχουμε την συνάρτηση μεταφοράς στην εξίσωση 2.

$$\Omega(s) = \frac{18.69}{s + 12.064} \cdot V_a(s) - \frac{2.92(s + 440)}{s + 12.064} \cdot T_L(s) \quad (1)$$

$$\frac{\Omega(s)}{V_a(s)} = \frac{18.69}{s + 12.064} \quad (2)$$

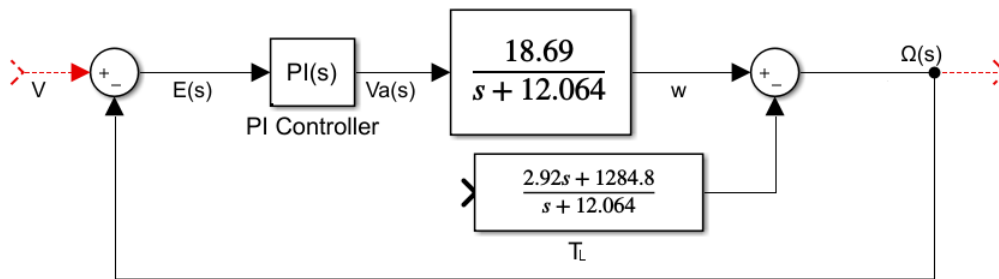
1.1 Προδιαγραφές

Οι προδιαγραφές του συστήματος ελέγχου είναι:

1. Απόρριψη διαταραχών. Για κυκλική συχνότητα διαταραχής μικρότερη από $1 \frac{rad}{sec}$ να υπάρχει κέρδος διαταραχής το πολύ 20dB. Επιπλέον, θέλουμε αν υπάρξει μεταβολή της T_L , η ω_s να μεταβληθεί παροδικά και μετά να επιστρέψει (με καλή προσέγγιση) στην τιμή που είχε πριν από τη διαταραχή.
2. Το πολύ 5% υπερύψωση για βηματική είσοδο.
3. Μηδενικό σφάλμα θέσης.
4. Χρόνος ανόδου το πολύ 160msec.
5. $V_a(t) \leq 200V$ για κάθε $t > 0$.

1.2 Επιλογή ελεγκτή

Παρακάτω γίνεται ανάλυση του ελεγκτή του σχήματος 1.



Σχήμα 1: Έλεγχος με κλασσικό ελεγκτή

Επιλέχθηκε ελεγκτής PI. Η σχεδίαση συνίσταται στον υπολογισμό των κερδών K_I και K_P , ώστε το σύστημα κλειστού βρόγχου να ικανοποιεί τις προδιαγραφές που δίνονται στην εκφώνηση. Η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή γράφεται στην εξίσωση 3, όπου $\mu = \frac{K_I}{K_P}$

$$K_P + \frac{K_I}{s} = \frac{K_P \cdot (s + \mu)}{s} \quad (3)$$

Ακόμα από το σχήμα προκύπτει:

$$\begin{aligned} \Omega(s) &= \frac{18.69 \cdot K_P \cdot (s + \mu)}{s \cdot (s + 12.064) + 18.69 \cdot K_P \cdot (s + \mu)} \cdot V(s) - \frac{2.92 \cdot s \cdot (s + 440)}{s \cdot (s + 12.064) + 18.69 \cdot K_P \cdot (s + \mu)} \cdot T_L(s) \\ &= H_K(s) \cdot V(s) + H_{TL}(s) \cdot T_L(s) \end{aligned} \quad (4)$$

1.3 Ικανοποίηση προδιαγραφών

1.3.1 Προδιαγραφή 5

Η σχεδίαση ξεκινάει από την ικανοποίηση του περιορισμού της V_a . Επειδή θέλουμε μηδενικό σφάλμα θέσης στην μόνιμη κατάσταση η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα ω θα ισούται με την είσοδο αναφοράς V . Εφόσον έχουμε την μέγιστη γωνιακή ταχύτητα του δρομέα ως σύμα αναφοράς με $\omega_{max} = 150 \frac{rad}{sec}$, θα έχουμε $V(s) = \frac{150}{s}$ με μέγιστη τιμή της V_a για $t > 0$ να είναι το πολύ $200V$. Για να δούμε αν αυτό ισχύει πρέπει να υπολογίσουμε τη μέγιστη τιμή της $V_a(t)$. Η τάση $V_a(t)$ παίρνει τη μέγιστη τιμή της όταν $w_d = 0$ δηλαδή κατα την εκκίνηση του κινητήρα όταν $t = 0$. Άρα εξετάζουμε την τιμή

$$V_a(0) = \lim_{t \rightarrow 0} V_a(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} s \cdot V_a(s) \leq 200 \quad (5)$$

Αρχικά πρέπει να υπολογισθεί η $V_a(s)$. Από το σχήμα 1 έχουμε:

$$V_a(s) = \frac{K_P \cdot (s + \mu) \cdot E(s)}{s} \quad (6)$$

$$E(s) = V(s) - \Omega(s) \quad (7)$$

$$\Omega(s) = \frac{18.69}{s + 12.064} \cdot V_a \quad (8)$$

Απαλείφοντας τις $E(s)$ και $\Omega(s)$ προκύπτει:

$$V_a = \frac{K_P \cdot (s + \mu) \cdot (s + 12.064)}{s \cdot (s + 12.064) + 18.69 \cdot K_P \cdot (s + \mu)} \cdot V(s) = H_a \cdot V(s) \quad (9)$$

όπου $V(s) = \frac{150}{s}$. Αντικαθιστώντας την εξίσωση (8) στην (4) προκύπτει:

$$\begin{aligned} 150 \cdot K_P &\leq 200 \\ K_P &\leq 1.333 \end{aligned} \quad (10)$$

Για να ικανοποιείται η προδιαγραφή (5) επιλέγεται $K_P = 1.2$.

1.3.2 Προδιαγραφή 3

Η συνάρτηση μεταφοράς ανοικτού βρόγχου του συστήματος για $T_L = 0$, είναι:

$$A(s) = \frac{18.69 \cdot K_P \cdot (s + \mu)}{s \cdot (s + 12.064)} \quad (11)$$

Επειδή είναι συνάρτηση τύπου 1 το σύστημά θα έχει σφάλμα θέσης μηδέν.

1.3.3 Προδιαγραφή 2

Η συνάρτηση μεταφοράς κλειστού βρόγχου προκύπτει για $T_L = 0$,

$$H_k(s) = \frac{18.69 \cdot K_P \cdot (s + \mu)}{s \cdot (s + 12.064) + 18.69 \cdot K_P \cdot (s + \mu)} \quad (12)$$

Βλέπουμε ότι υπάρχει ένα μηδενικό στη θέση $-\mu$. Για να έχουμε υπερύψωση το πολύ 5%, το $-\mu$ δεν πρέπει να είναι πολύ κοντά στην αρχή των αξόνων. Επιλέγεται $\mu = 20$.

1.3.4 Προδιαγραφή 1

Για να ικανοποιείται η προδιαγραφή (1) πρέπει,

$$\left| \frac{\Omega(j\omega)}{T_L(j\omega)} \right| \leq 10 \quad (13)$$

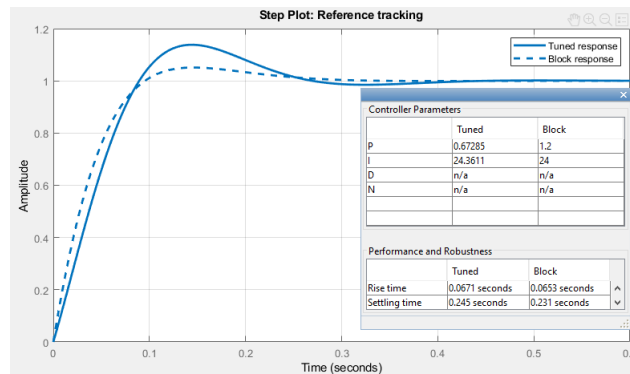
για $v = 0$, για $\omega \leq 1 \frac{rad}{sec}$.
Από την εξίσωση 4 έχουμε:

$$H_{TL}(s) = \frac{\Omega(s)}{T_L} = \frac{-2.92 \cdot s \cdot (s + 440)}{s \cdot (s + 12.064) + 18.69 \cdot K_P \cdot (s + \mu)} \quad (14)$$

Παρατηρούμε από την εξίσωση 14 ότι η ανισότητα 13 ικανοποιείται για $0 < \omega \leq 1 \frac{rad}{sec}$, αφού $|H_{TL}(j\omega)|_{\omega=1} = 2.8622$.

1.3.5 Προδιαγραφή 4

Η ικανοποίηση της (4) θα ελεγχθεί με προσομοίωση υπολογίζοντας την απόκριση για $T_L = 0$. Ο χρόνος ανόδου προκύπτει από το σχήμα 2 της απόκρισης και παρατηρούμε πως πληρεί τις προδιαγραφές, καθώς ο χρόνος ανόδου είναι περίπου $65ms$.



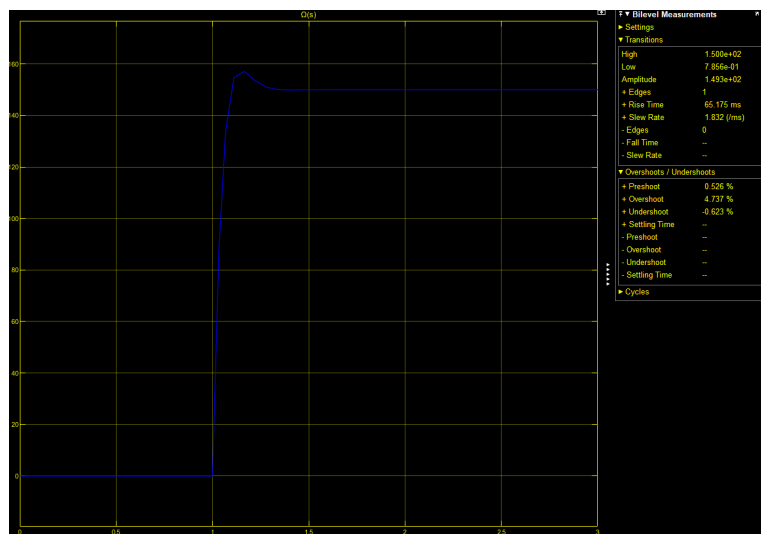
Σχήμα 2: Χρόνος ανόδου

1.3.6 Επιλογή Κερδών

Συμπερασματικά επιλέγουμε τα κέρδη για τον PI ελεγκτή, ως εξής:

$$K_P = 1.2, \mu = 20 \implies K_I = \mu \cdot K_P = 24 \text{ όπως επίσης } \implies T_i = \frac{K_P}{K_I} = 0.05sec$$

Με τα παραπάνω κέρδη έχουμε την εξής απόκριση για βηματική είσοδο $150V$, η οποία επίσης ικανοποιεί τις προδιαγραφές.



Σχήμα 3: Απόκριση για βηματική είσοδο $150V$

2 Ελεγκτής FZ-PI

Από τις παρακάτω εξισώσεις βρίσκονται οι αρχικές τιμές των κερδών εξόδου και της τιμής a ενός FZ-PI ελεγκτή:

$$K_e = 1 \quad (15)$$

$$a \approx T_i = 0.05 \quad (16)$$

$$K = \frac{K_P}{F\{a \cdot K_e\}} \geq K_P \quad (17)$$

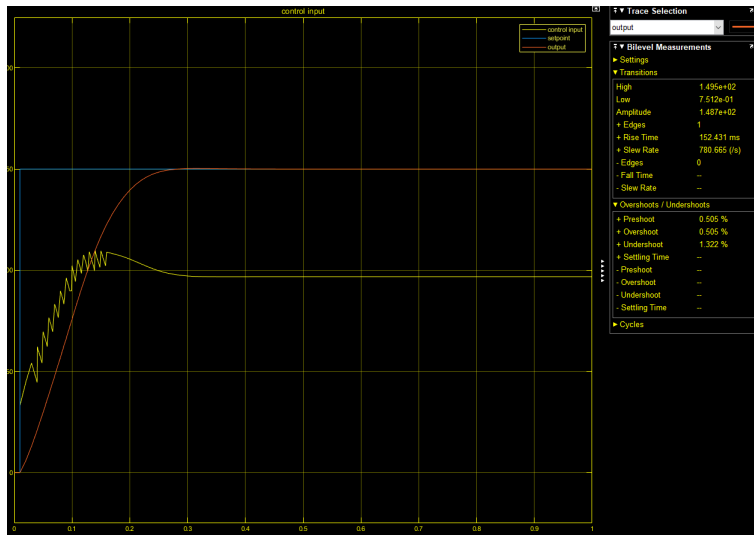
$$K_d = a \cdot K_e \quad (18)$$

Αντικαθιστώντας βρίσκονται τα αρχικά κέρδη κλιμακοποίησης του FZ-PI ελεγκτή:

$$K = \frac{K_P}{F\{a \cdot K_e\}} = \frac{1.2}{F\{0.05 \cdot 1\}} = \frac{1.2}{0.05 \cdot F\{1\}} \Rightarrow K = \frac{1.2}{0.05 \cdot 1} \Rightarrow K = 24 \quad (19)$$

$$K_d = a \cdot K_e \Rightarrow K_d = 0.05 \quad (20)$$

Με την χρήση των παραπάνω κερδών έχω την εξής βηματική απόκριση του συστήματος, στην οποία φαίνεται πως ικανοποιούνται όλες οι προδιαγραφές.

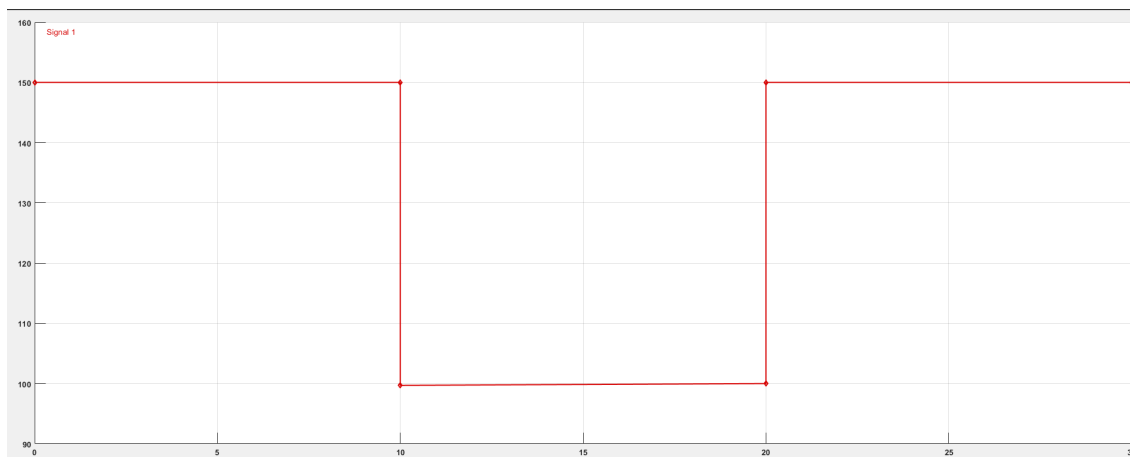


Σχήμα 4: Απόκριση *fuzzy* ελεγκτή για βηματική είσοδο 150V

3 Σενάριο 1

3.1 Είσοδος συστήματος

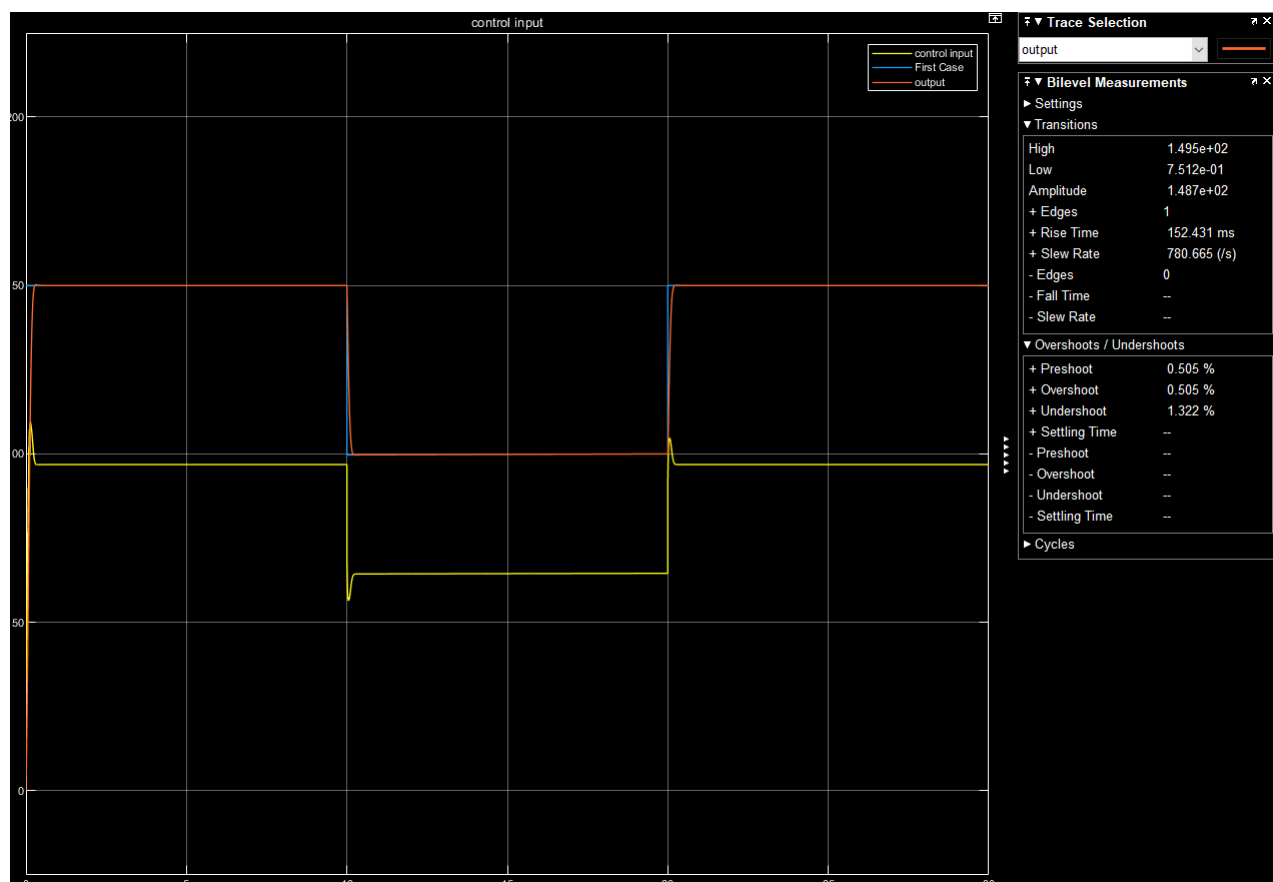
Χρησιμοποιούνται τα κέρδη που αναλύθηκαν στην 2η ενότητα. Ως είσοδος έχουμε το παρακάτω σήμα.



Σχήμα 5: Είσοδος πρώτου σεναρίου

3.2 Απόκριση και διέγερση συστήματος

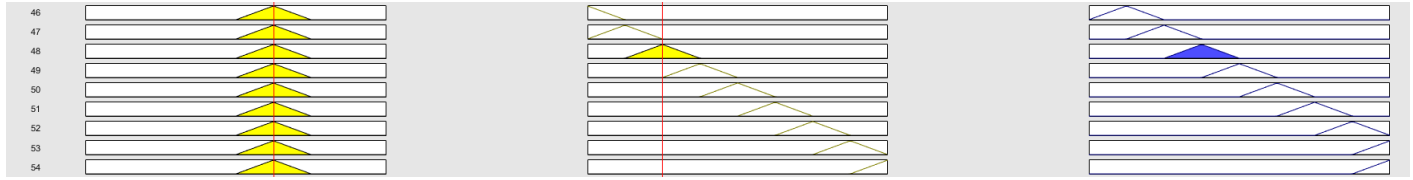
Με την παραπάνω είσοδο έχουμε την παρακάτω έξοδο από τον fuzzy ελεγκτή, η οποία είναι η αναμενόμενη. Ακόμα παρατηρείται ότι η υπερύψωση είναι σε πολύ χαμηλές τιμές, σχεδόν μηδενική, ενώ ο χρόνος ανόδου βρίσκεται εντός των προδιαγραφών.



Σχήμα 6: Έξοδος πρώτου σεναρίου (με την κόκκινη γραμμή)

3.3 Διέγερση $e = PS$, $de = NM$

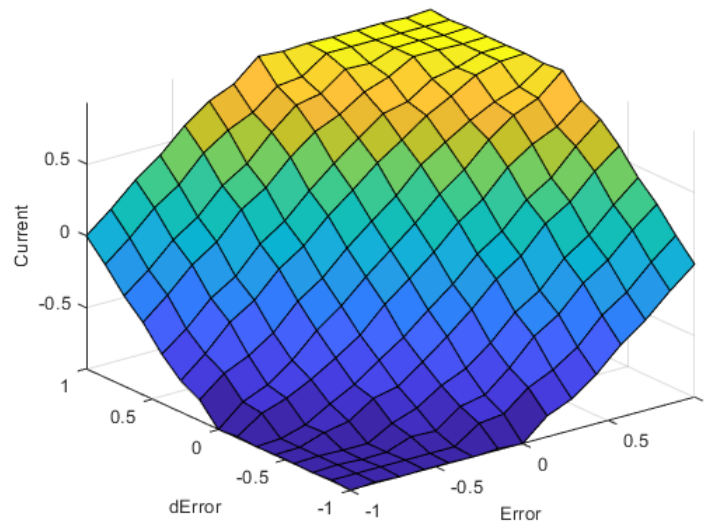
Απο την παρακάτω γραφική απεικόνιση των κανόνων του ελεγκτή παρατηρείται ότι η έξοδος που προκύπτει από το συγκεκριμένο σενάριο είναι $output = NS$



Σχήμα 7: Διέγερση $e = PS$, $de = NM$

3.4 Τρισδιάστατη επιφάνεια εξόδου του ασαφούς ελεγκτή

Η τρισδιάστατη απεικόνιση της βάσης κανόνων, όπως περιγράφηκε και στην περιγραφή του προβλήματος, οι 81 κανόνες σύνθεσης των δύο πιθανών linguistic εισόδων, εξάγονται από την σχέση $dU = e + dE$. Το συμπέρασμα που εξάγεται παρατηρώντας την συμπεριφορά της εξόδου, σύμφωνα με τις δύο εισόδους, είναι πως η απομάκρυνση τουλάχιστον μία από τις δύο από το μηδέν αυξάνει ή μειώνει την έξοδο, έτσι ώστε να γίνει καλύτερη προσέγγιση της επιθυμητής λειτουργίας. Όσο το σφάλμα και ο ρυθμός μεταβολής διατηρούν μικρές τιμές τόσο και ο ρυθμός μεταβολής της εξόδου θα παραμένει σε μικρές τιμές.

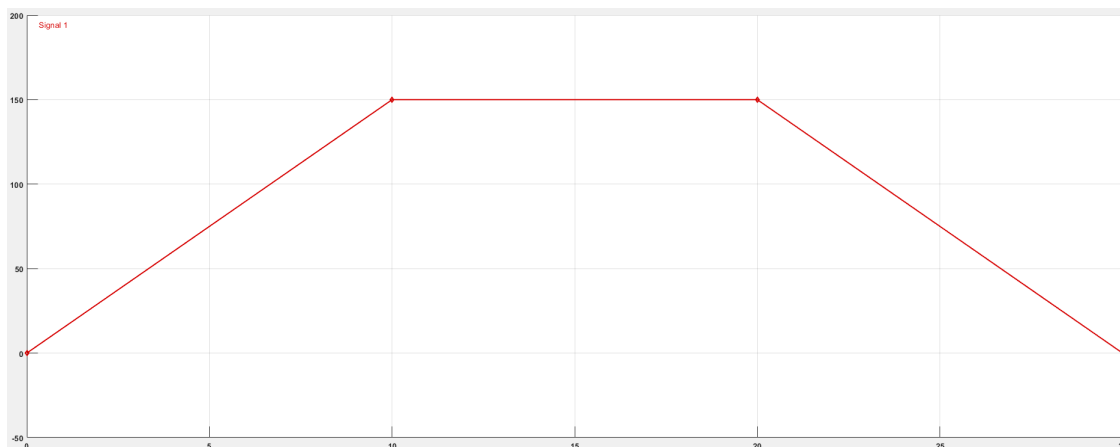


Σχήμα 8: Τρισδιάστατη επιφάνεια εξόδου του ασαφούς ελεγκτή

4 Σενάριο 2

4.1 Είσοδος συστήματος

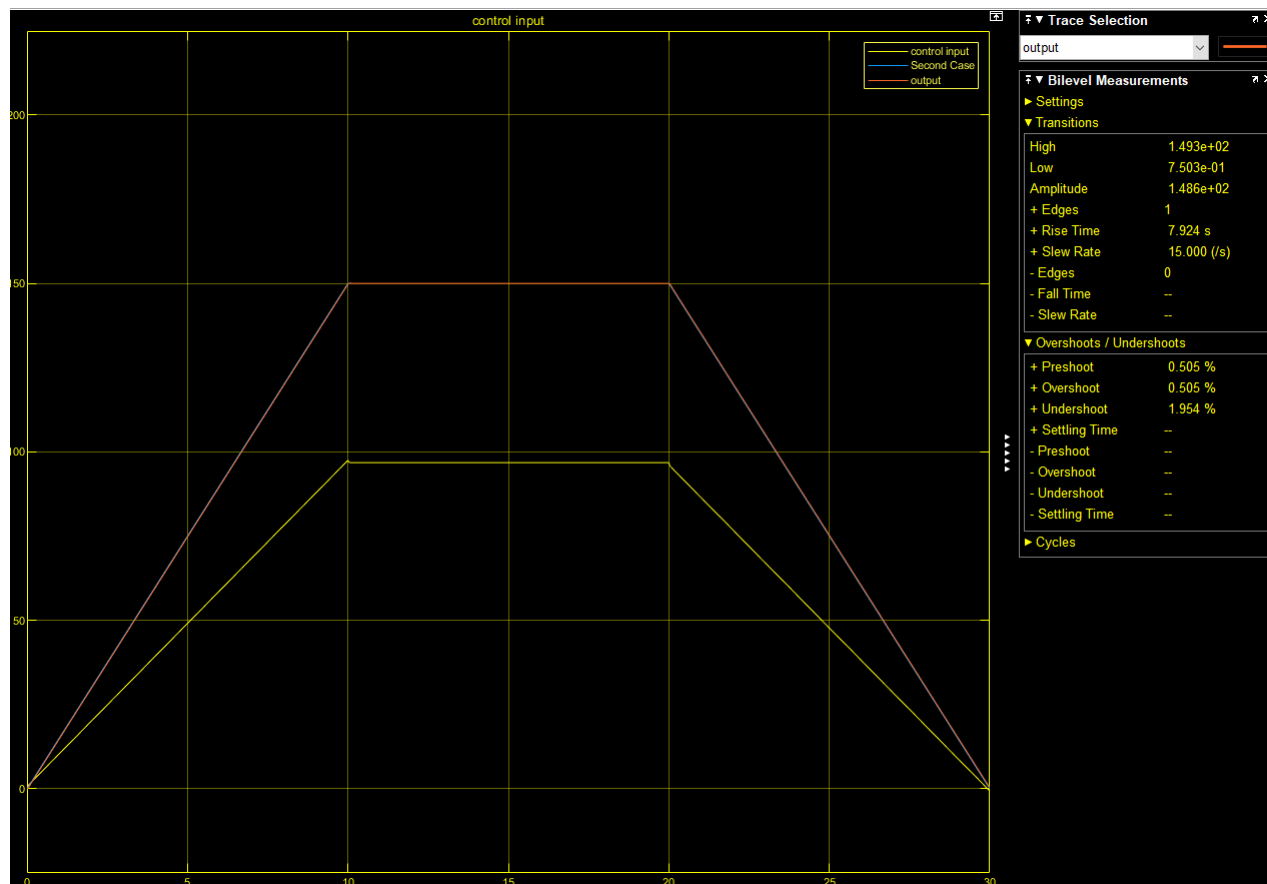
Σε αυτό το σενάριο, γίνεται η επισήμανση ότι το πιο σημαντικό είναι να υπάρχει σχεδόν μηδενική υπερύψωση.



Σχήμα 9: Είσοδος δεύτερου σεναρίου

4.2 Απόκριση και διέγερση συστήματος

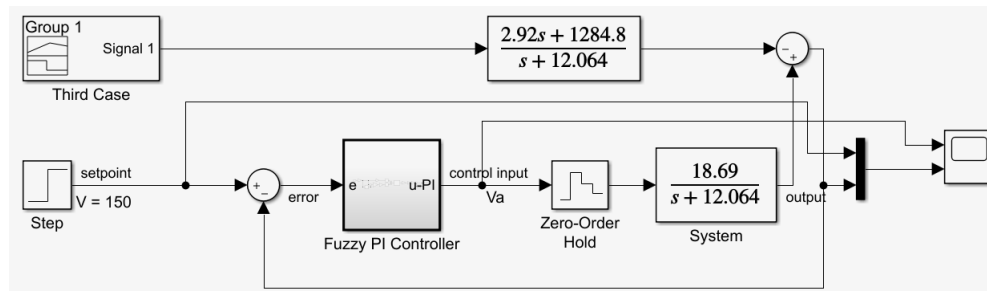
Όπως παρατηρείται και από το σχήμα η υπερύψωση είναι σχεδόν μηδενική.



Σχήμα 10: Απόκριση και διέγερση δεύτερου σεναρίου

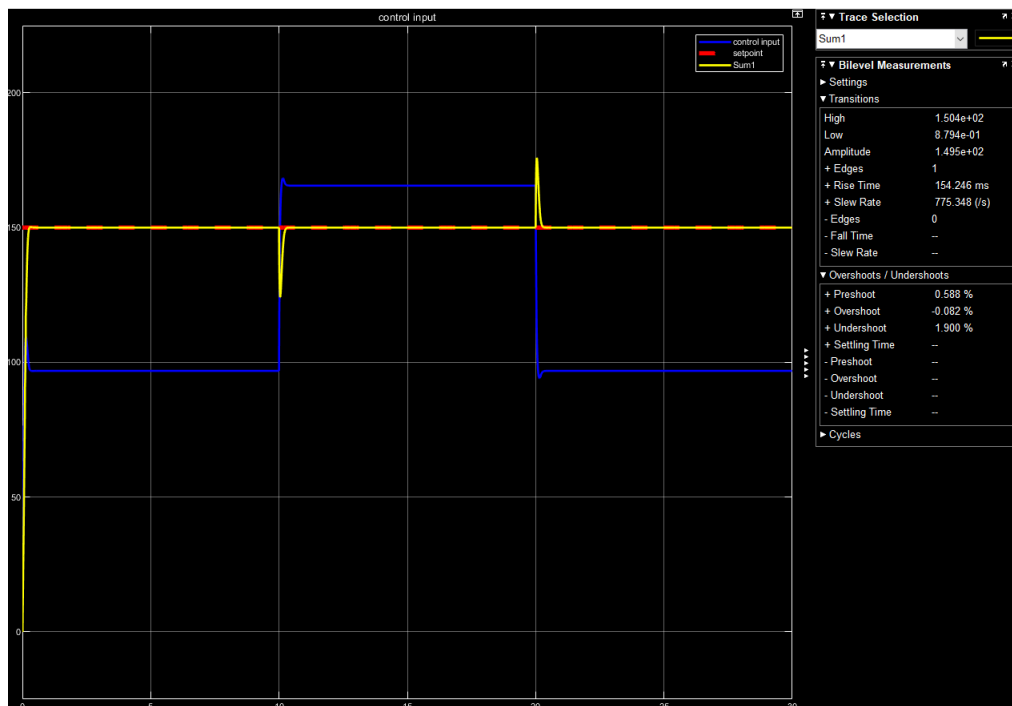
5 Σενάριο 3

Στο τρίτο και τελευταίο σενάριο, το σύστημα ελέγχεται υπό την επίδραση ενός παλμού διαταραχής, με σταθερή είσοδο. Σύμφωνα με την ανάλυση του 6.4 του βιβλίου Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου του κ.Πετρίδη για τον σχεδιασμό του σήματος διαταραχών σχεδιάστηκε το παρακάτω κύκλωμα. Ως ιδανική έξοδος θα ήταν το σήμα να μην επηρεαστεί καθόλου από την



Σχήμα 11: Κύκλωμα τρίτου σεναρίου

ύπαρξη διαταραχών, όμως αυτό είναι αδύνατο και η επιθυμητή λειτουργία είναι να δημιουργηθεί μία ακίδα κατά την εμφάνιση της διαταραχής και στη συνέχεια να επανέρθει στην κανονική λειτουργία. Όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα το σύστημα πετυχαίνει την επιθυμητή λειτουργία.



Σχήμα 12: Απόκριση και διέγερση τρίτου σεναρίου

6 Εκτέλεση Εργασίας

Τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτουν από την εκτέλεση πρώτα του αρχείου myfuzzy.m το οποίο δημιουργεί τον fuzzy ελεγκτή. Στη συνέχεια μέσω του simulink δημιουργήθηκαν τα κυκλώματα για κάθε σενάριο. Πρώτα δημιουργήθηκε το αρχείο my_pi.slx για την δημιουργία του κλασσικού PI ελεγκτή. Έπειτα το αρχείο my_fuzzyp_i.slx στο οποίο υπάρχει ο fuzzy ελεγκτής με τα 3 σενάρια που ζητούνται. Τέλος για κάθε ένα σενάριο εκτελέστηκαν τα πειράματα όπως αναλύθηκε παραπάνω.