

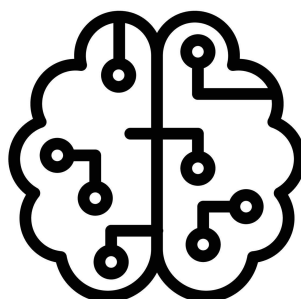
Εργασία 1 στα Ασαφή συστήματα

Υπολογιστική Νοημοσύνη

Έλεγχος κινητήρα με Ασαφείς Ελεγκτές

Παναγιώτης Αβραμίδης 8768

Αύγουστος 2024



Fuzzy Logic

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Ηλεκτρονικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρονικής

Περιεχόμενα

1	Περιγραφή Εργασίας	1
2	Αρχική Σχεδίαση Ελεγκτή	2
2.1	Κλιμακοποίηση μεταβλητών	2
2.2	Γενική Βάση Κανόνων	2
2.3	Σχεδίαση PI ελεγκτή	3
3	Ασαφής Ελεγκτής	5
3.1	Σχεδίαση Στο Simulink	5
3.2	Αρχικοποίηση Ασαφούς Ελεγκτή	5
3.3	Βελτίωση Ασαφούς Ελεγκτή	6
4	Σενάρια	8
4.1	Σενάριο 1	8
4.1.1	Απόκριση συστήματος	8
4.1.2	Επίδραση ρύθμισης παραμέτρων	9
4.1.3	Διέγερση κανόνων	9
4.1.4	Τρισδιάστατη επιφάνεια εξόδου	10
4.2	Σενάριο 2	11
4.3	Σενάριο 3	13
	Βιβλιογραφία	15

1 Περιγραφή Εργασίας

Ζητείται η υλοποίηση ελεγκτή με τις ακόλουθες προδιαγραφές (Fuzzy Controller 8):

1. 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_d 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 160 msec .
5. $V_a(t) \leq 200V$ για κάθε $t > 0$.

2 Αρχική Σχεδίαση Ελεγκτή

2.1 Κλιμακοποίηση μεταβλητών

Με βάση το παράδειγμα του κεφαλαίου 9 θα εκτελέσω κλιμακοποίηση των μεταβλητών.2.3.

Για το σφάλμα έχω $e(k) = r(k) - y(k)$, άρα:

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

και

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

Άρα καταλήγω με $e(k) \in [-150, 150]$

Το Δe δίνεται: $\Delta e(k) \in [-50, 50]$

Τελικά η $e(k)$ πολλαπλασιάζεται με τον όρο $1/150$ και η $\Delta e(k)$ με τον $1/50$ να τις θεωρήσω στο διάστημα $[-1, 1]$

2.2 Γενική Βάση Κανόνων

Για την κατασκευή του πίνακα ακολουθώ την λογική των σημειώσεων ([1]) (Πίν. 9.2) και την $\dot{U} = e + \Delta e$.

$\Delta e \backslash e$	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

2.3 Σχεδίαση PI ελεγκτή

Αρχικά σχεδιάζω έναν γραμμικό PI ελεγκτή, που ικανοποιεί τις προδιαγραφές.

Η σχεδίαση γίνεται με βάση την ανάλυση του Βιβλίου Πετρίδη στη σελίδα 272.

1. Για την προδιαγραφή 3 θέλω μηδενικό σφάλμα θέσης.

Από την Συνάρτηση μεταφοράς ανοικτού βρόχου:

$$A(s) = \frac{18.690}{s(s + 12.064)}$$

Επειδή είναι τύπου 1 το σύστημα έχει σφάλμα θέσης μηδέν.

2. Για τις προδιαγραφές 5 και 3 θα πρέπει να ισχύει $V_a(t) < 200 \forall t < 0$ και μηδενικό σφάλμα θέσης αντίστοιχα.

Από το μηδενικό σφάλμα θέσης έχω ότι η $V_{max} = \omega_{\delta max} = 150$ στη μόνιμη κατάσταση. Άρα θα πρέπει η μέγιστη βηματική είσοδος να είναι $V(s) = 150/s$.

Επειδή η $V_a(t)$ μεγιστοποιείται για $t = 0$:

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

Υπολογίζω την $V_a(s)$:

$$\left. \begin{aligned} V_a(s) &= k_p(s + \mu) \\ E(s) &= V(s) - \Omega(s) \\ \Omega(s) &= \frac{18.69}{s + 12.064} V_a(s) \end{aligned} \right\} V_a(s) = \frac{k_p(s + \mu)(s + 12.064)}{s(s + 12.064) + 18.69k_p(s + \mu)} V(s) = H_a(s)V(s)$$

Με είσοδο $V(s) = 150/s$ και επειδή τα πολυώνυμα είναι βαθμού προκύπτει:

$$V_a(t = 0) = \lim_{t \rightarrow \infty} sV_a(s) = 150k_p \leq 200 \Rightarrow k_p \leq 4/3$$

3. Για την υπερύψωση (προδιαγραφή 2) θέλω το πολύ 5%. Κάνοντας δοκιμές με στο matlab η προδιαγραφή ικανοποιείται για $\mu < 20$. Επιλέγω $\mu = 19$ έχοντας overshoot 4.47 με την stepinfo.
4. Για την προδιαγραφή 1 θέλω:

$$\left| \frac{\Omega(j\omega)}{T_L(j\omega)} \right| \leq 10 \quad v = 0$$

για $\omega \leq 1 \text{ rad/s}$

5. Θέλω χρόνο ανόδου το πολύ 160 msec . Και εδώ με την στεπinfo βρίσκω 62 msec rise time.

Άρα ο σχεδιασμός ολοκληρώνεται για $K_p = 4/3 = 1.333$ και $K_i = K_p \mu = (4/3) * 19 = 25.333$

$$K_e = 1$$

$$a = T_i = 1/\mu = 1/19 \text{ (Χρονική σταθερά ολοκλήρωσης)} \quad K_d = a * K_e = (1/19) * 1 = 0.0526$$

$$K_1 = \frac{K_p}{F\{aK_e\}} = \frac{4/3}{F\{(1/19) * 1\}} = \frac{4/3}{(1/19) * F\{1\}} = \frac{4/3}{1/19} = 25.3333$$

3.3 Βελτίωση Ασαφούς Ελεγκτή

Όπως αναλύεται στην παράγραφο 9.7.1 των σημειώσεων, αυξάνω το K_1 και μειώνω το α για να πετύχω πιο γρήγορη απόκριση.

Έτσι επιλέγω:

$$\alpha = \alpha * 0.4 = 0.0211$$

$$K_e = 1.5$$

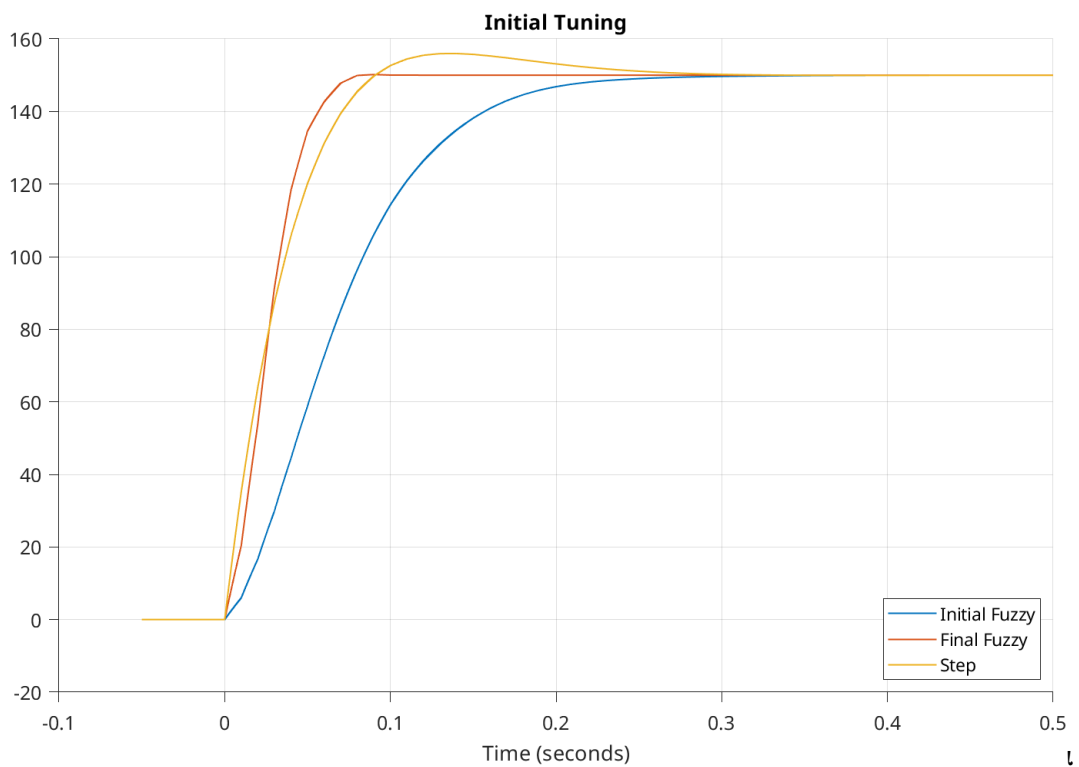
$$K_1 = K_1 * 3.4$$

Με την stepinfo υπολογίζω την απόδοση του κάθε ελεγκτή. Το αποτέλεσμα που φαίνεται παρακάτω δείχνει ότι πληρούνται οι προδιαγραφές, με σχεδόν μηδενική υπερύψωση και 43.21 ms χρόνο ανόδου.

Εν τέλει οι τρεις αποκρίσεις με βηματική είσοδο φαίνονται παρακάτω.

	K_p	K_I	K_e	α	K	Χρόνος ανόδου	Ποσοστό Υπερύ- ψωσης	Χρόνος Αποκατά- στασης
PI	1.333	25.333	-	-	-	62.01 ms	4.47%	218.52 ms
FZ-PI Αρχικά	-	-	1	0.0526	25.333	121.86 ms	0%	202.08 ms
FZ-PI Τελικά	-	-	1.5	0.021	86.133	43.21 ms	0.12%	68.38 ms

Πίνακας 3.1: Πίνακας Αποτελεσμάτων και των τριών ελεγκτών



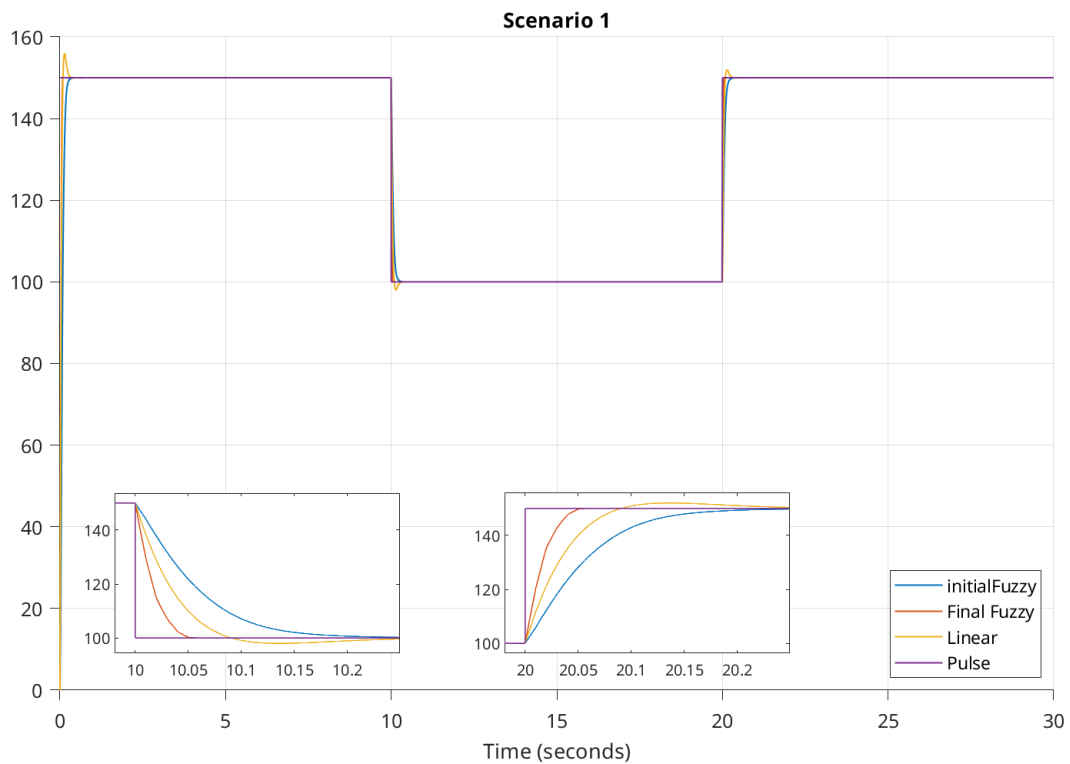
Σχήμα 3.3: Αρχική είσοδος οι αποκρίσεις των τριών ελεγκτών

4 Σενάρια

4.1 Σενάριο 1

4.1.1 Απόκριση συστήματος

Με $T_L = 0$, και το σήμα αναφοράς έχουμε την εξής απόκριση:

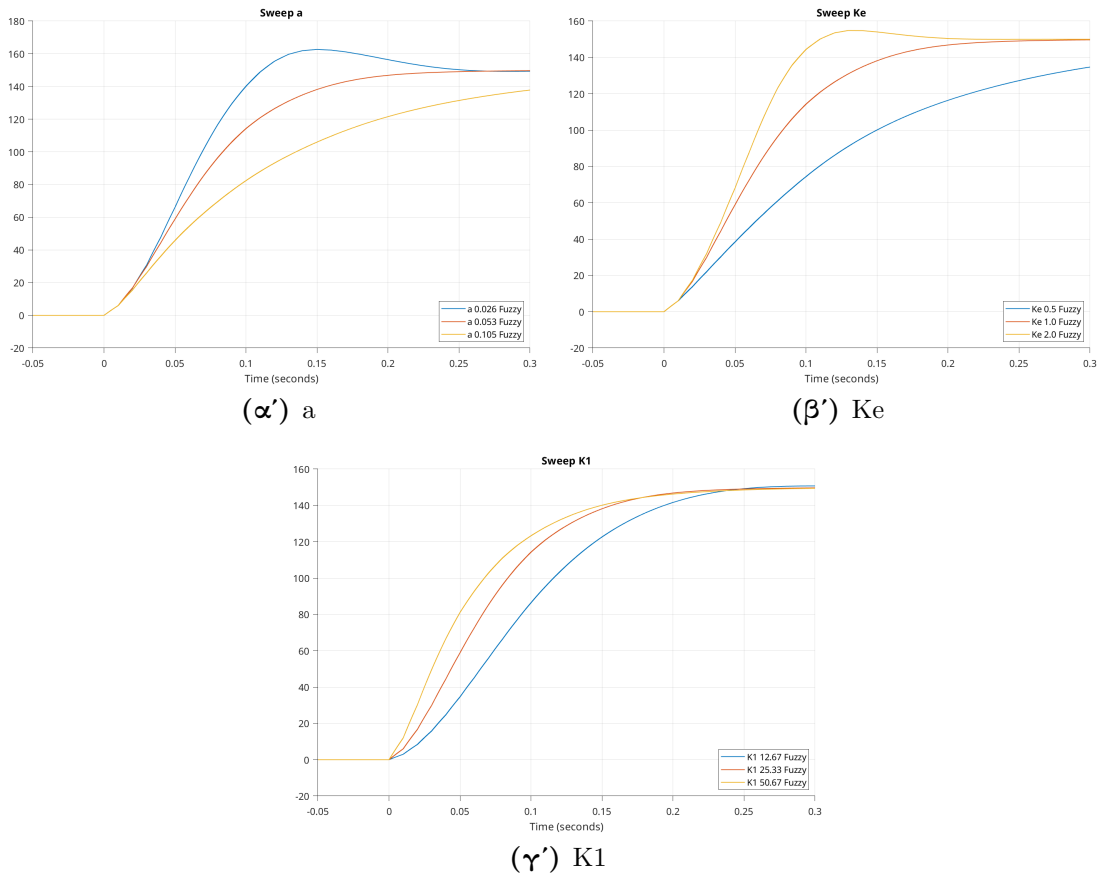


Σχήμα 4.1: Σενάριο 1, είσοδος και αποκρίσεις

Όπως φαίνεται και από το γράφημα όλες οι προδιαγραφές πληρούνται με το σύστημα να ακολουθεί το σήμα αναφοράς.

4.1.2 Επίδραση ρύθμισης παραμέτρων

Οι επιδράσεις των εξόδων φαίνονται παρακάτω. Και στις τρεις περιπτώσεις έγινε παραμετρική ανάλυση, με τρεις τιμές κάθε φορά, η μικρή τιμή στο 50% της μεσαίας και η μεγάλη διπλάσια της μεσαίας.



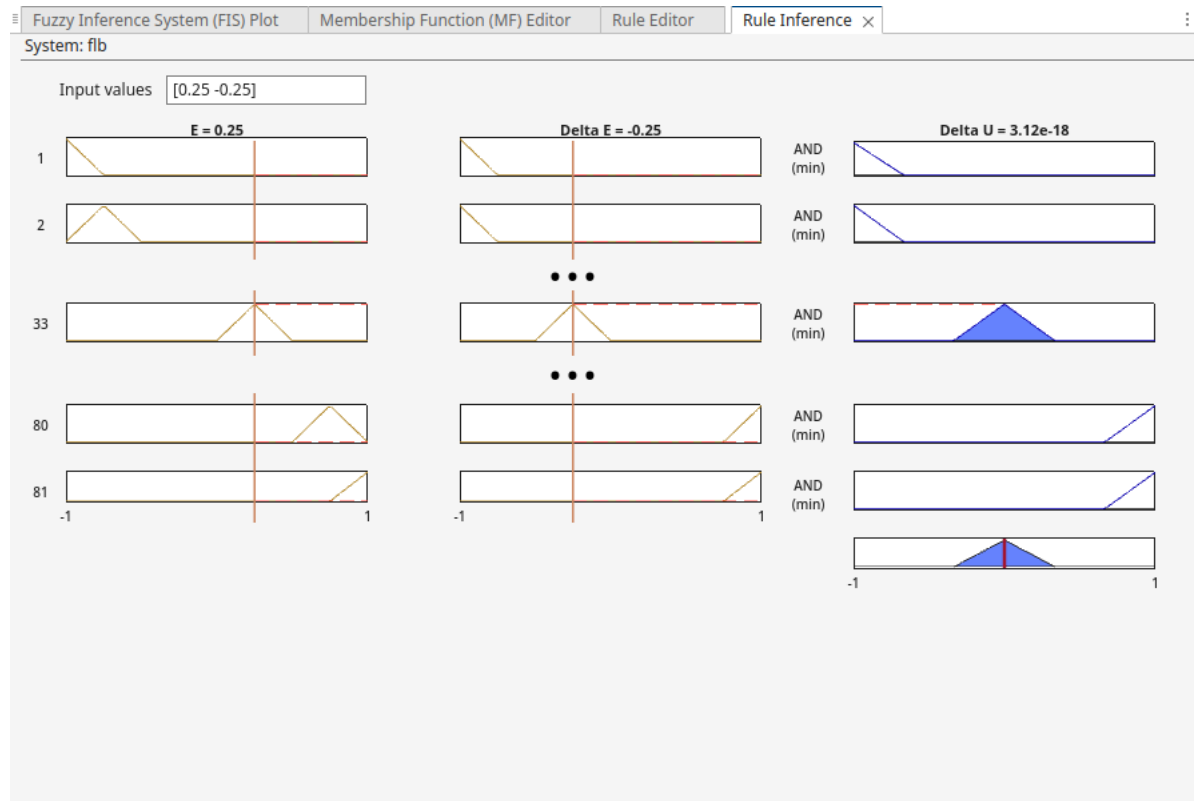
Σχήμα 4.2: Παραμετρική ανάλυση

Όπως φαίνεται από τα γραφήματα, αυξάνοντας το a μειώνεται η ταχύτητα απόκρισης, αλλά αυξάνοντάς το μπορεί να οδηγηθούμε σε υπερύψωση. Το αντίστροφο ισχύει με τα K_1 και K_e .

4.1.3 Διέγερση κανόνων

Ζητείται η διέγερση της βάσης κανόνων με e is PS και Δe is NS . Η πλήρης διέγερση των προτάσεων αυτών αντιστοιχεί για $e = 0.25$ και $\Delta e = -0.25$. Υπάρχει μόνο ένας κανόνας για τον οποίο ο βαθμός ικανοποίησης δεν μηδενίζει, και είναι ο 33 (μιν(1,1)=1). Παρακάτω στο εργαλείο Rule Inference έγινε οπτικοποίηση την διέγερσης των κανόνων για τιμές 0.25 και -0.25 . Η έξοδος είναι ουσιαστικά 0. Το φυσικό συμπέρασμα

στην περίπτωση αυτή είναι ότι αν το σφάλμα είναι μικρό και η ρυθμός μεταβολής του σφάλματος μικρός και αντίθετός του, η δε θα χρειαστεί να μεταβάλλω το U , καθώς αναμένεται το σφάλμα να μειωθεί από μόνο του και να προσεγγίσει το 0.

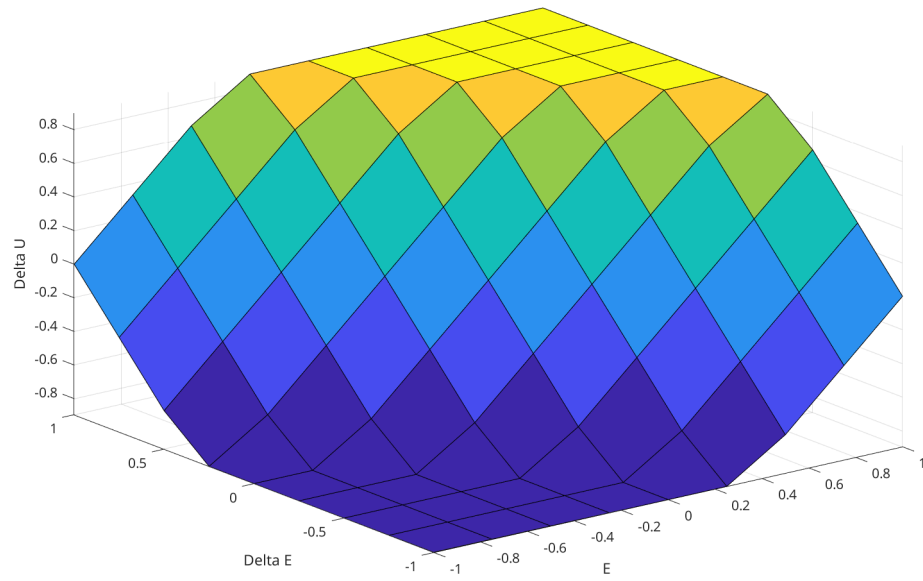


Σχήμα 4.3: Διέγερση Κανόνων (Fuzzy Logic Designer)

4.1.4 Τρισδιάστατη επιφάνεια εξόδου

Η επιφάνεια δημιουργήθηκε με την εντολή `gensurf` συνδυαστικά με την `surf`, ώστε να γίνει αποθήκευση απ' ευθείας στο φάκελο.

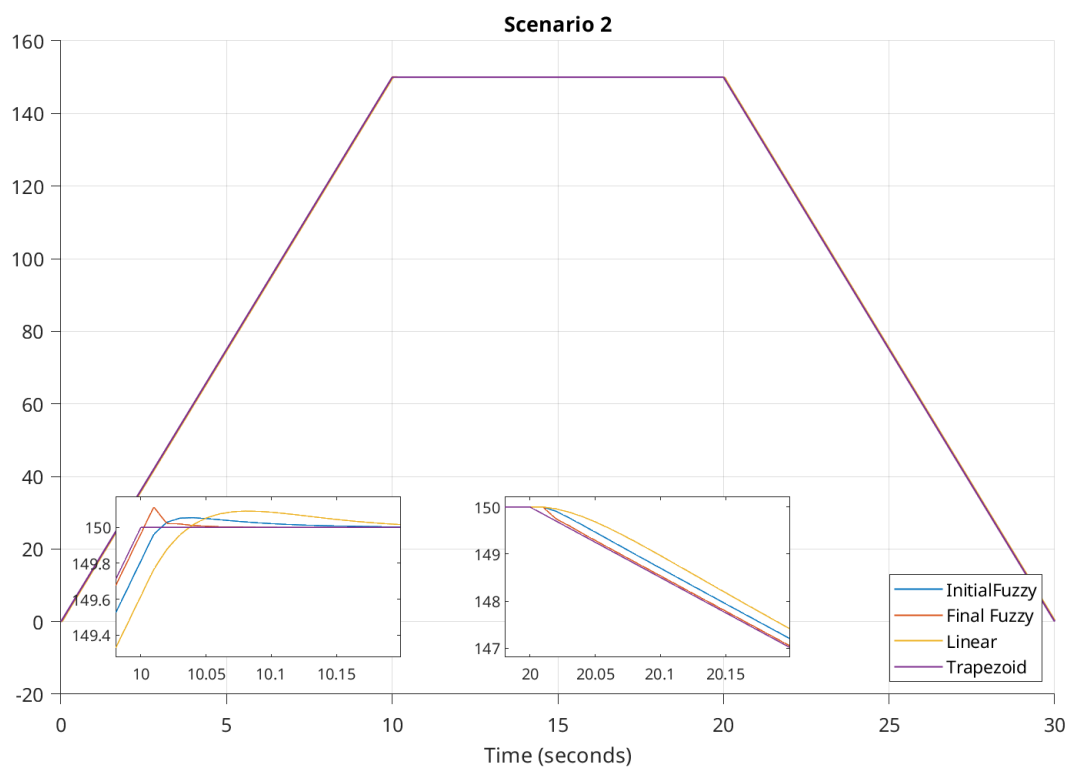
Η επιφάνεια έχει ένα σχήμα «πλαγιάς» που προκύπτει από τον πίνακα της βάσης κανόνων, όπως υποδείχθηκε στις σημειώσεις του μαθήματος ($\Delta U = E + \Delta E$, εξίσωση 9.54). Το ΔU είναι μεγάλο (ή μικρό) όταν τα E και ΔE είναι θετικά (ή αρνητικά αντίστοιχα.). Πράγμα που έχει λογική, αφού η κατάσταση E εκφράζει το σφάλμα που πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μηδενικό, και με το ΔU μεταβάλλεται η έξοδος του ελεγκτή.



Σχήμα 4.4: Η επιφάνεια εξόδου

4.2 Σενάριο 2

Θεωρώντας πάλι $T_L = 0$. Επειδή η υπερύψωση του συστήματος όπως ρυθμίστηκε στην αρχική ρύθμιση είναι σχεδόν μηδενική (0.12%), και το σφάλμα μόνιμης κατάστασης επίσης μηδενικό (peak=150) συνάγεται ότι οι προδιαγραφές ήδη ικανοποιούνται.



Σχήμα 4.5: Σήμα αναφοράς και αποκρίσεις 2ου σεναρίου

4.3 Σενάριο 3

Για το τελευταίο σενάριο υλοποιήθηκε καινούριο σχέδιο στο simulink, ώστε να προσομοιώνει και τις διαταραχές.

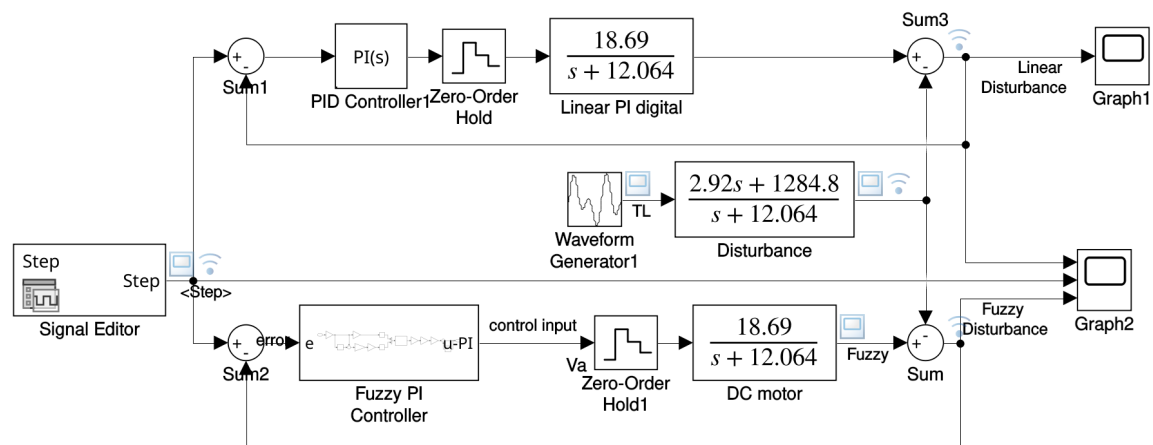
Η ανάλυση του συστήματος έτσι όπως εξηγείται στις σημειώσεις (εξ. 9-79) και παραπέμπεται στο βιβλίο του κυρίου Πετρίδη, έχει συνάρτηση μεταφοράς:

$$T_L = \frac{2.92(s + 440)}{s + 12.064} \xrightarrow{\text{απλοποίηση}} \frac{2.92s + 1284.8}{s + 12.064}$$

Όπως φαίνεται και από το σχέδιο, το μόνο που προστέθηκε είναι η συνάρτηση μεταφοράς με το μπλοκ κυματομορφών. η απαιτούμενη κυματομορφή επιτυγχάνεται με την εξής εντολή στο μπλοκ:

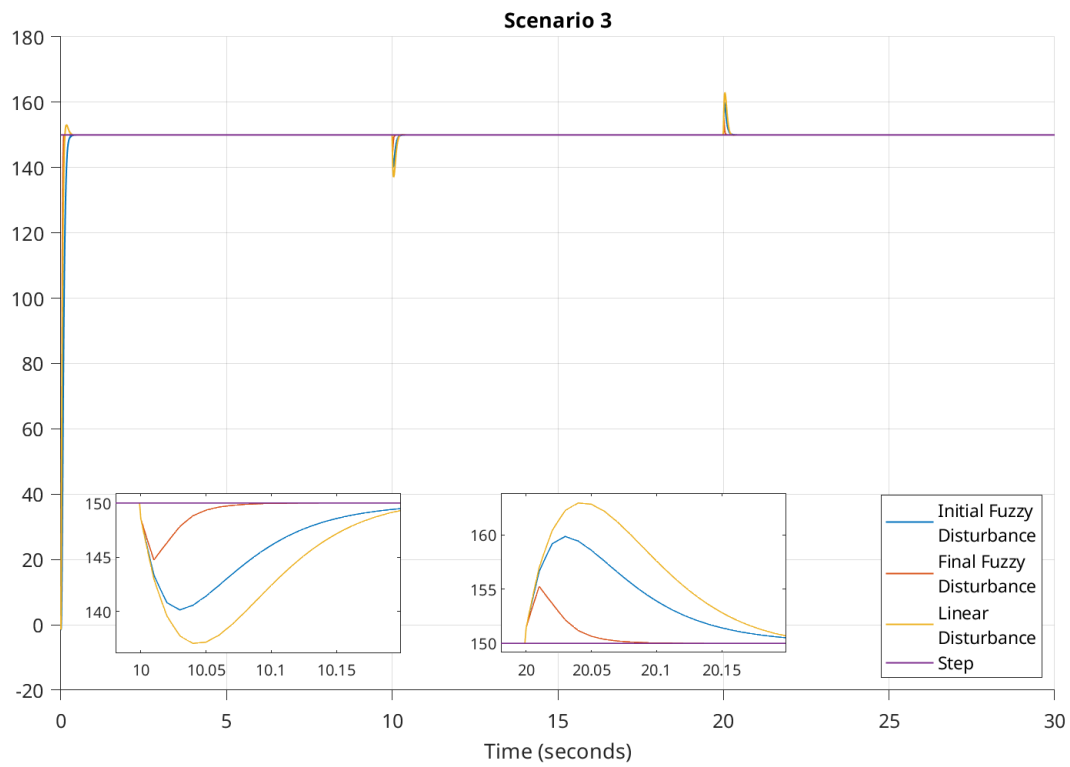
`0.5+pulse('Amplitude',0.5,'TriggerTime',10,'Duration',9.95)`

Έτσι επιτυγχάνεται ο ζητούμενος παλμός, που αποτελείται από μία dc τιμή 0.5 και από έναν μεταβατικό παλμό διάρκειας 10 δευτερολέπτων.

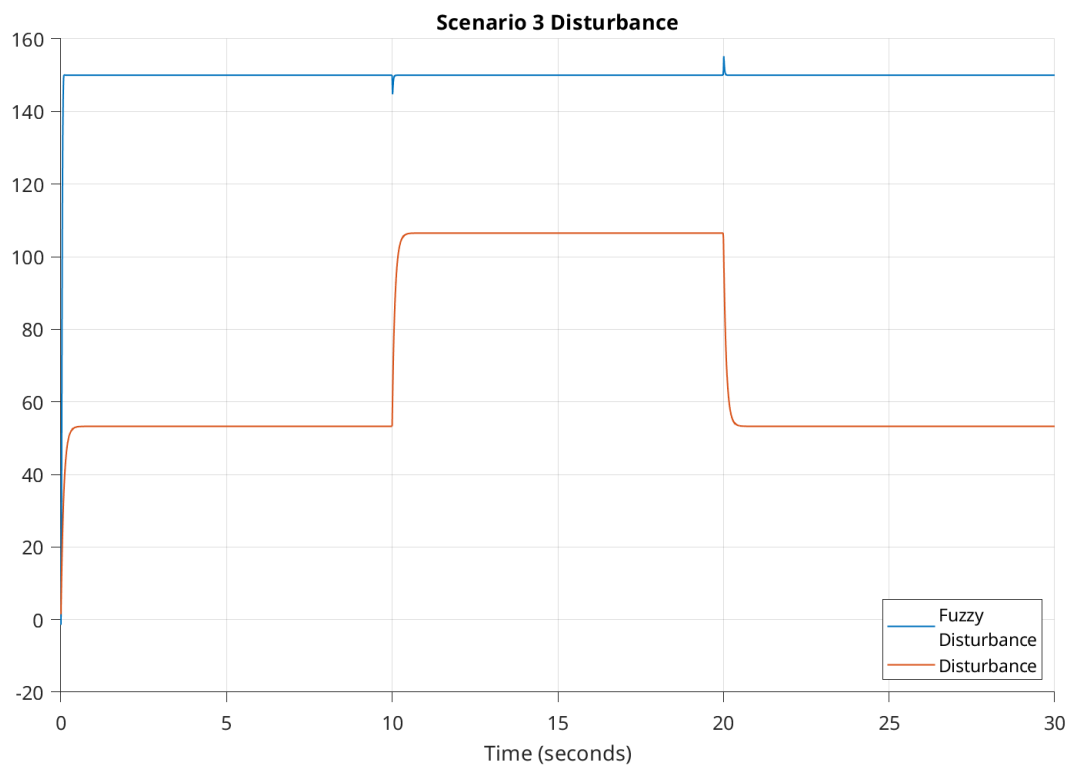


Σχήμα 4.6: Σχέδιο Simulink με διαταραχές

Το σύστημα όπως φαίνεται στο ακόλουθο γράφημα έχει ελάχιστη υπερύψωση με είσοδο των διαταραχών. Αν και η θεωρητική ανάλυση των ασαφών ελεγκτών δεν συμπεριέλαβε την απόρριψη διαταραχών, στην πράξη έχει παρατηρηθεί ότι αποδίδουν ικανοποιητικά.



Σχήμα 4.7: Απόκριση στις διαταραχές



Σχήμα 4.8: Απόκριση σε σχέση με την διαταραχή

Βιβλιογραφία

- [1] Ασαφή Συστήματα, Ι. Θεοχάρης <https://elearning.auth.gr/mod/folder/view.php?id=446790>