

ΑΣΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ 2020 - 2021

Εργασία 1 - Satellite

Ονοματεπώνυμο: Παπαδάμ Στέφανος

AEM: 8885

email: sgpapadam@ece.auth.gr

Ομάδα Εργασίας: 10

Περιγραφή του προβλήματος

Η παρούσα εργασία έχει σκοπό την υλοποίηση αρχικά ενός γραμμικού ελεγκτή για τον έλεγχο της γωνίας προσανατολισμού ενός δορυφόρου πληρώντας συγκεκριμένες προδιαγραφές. Το σύστημα μας επιθυμούμε να έχει υπερύψωση μικρότερη από 10% για βηματική είσοδο και χρόνο ανόδου μικρότερο από 1.2 δευτερόλεπτα. Έπειτα, θα πρέπει να σχεδιάσουμε έναν ασαφή ελεγκτή ο οποίος θα πρέπει να διαθέτει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά εκτελώντας τα δύο σενάρια που περιγράφονται στην εκφώνηση.

Γραμμικός ελεγκτής

Ο ελεγκτής που καλούμαστε να σχεδιάσουμε είναι γραμμικός PI της μορφής:

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s} = \frac{K_p(s+c)}{s}, \text{ με } c = \frac{K_I}{K_p}$$

Οι προδιαγραφές που πρέπει να καλυφθούν είναι η υπερύψωση να είναι μικρότερη από 10% για βηματική είσοδο και ο χρόνος ανόδου μικρότερος από 1.2 δευτερόλεπτα.

Η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος που θέλουμε να ελέγξουμε είναι:

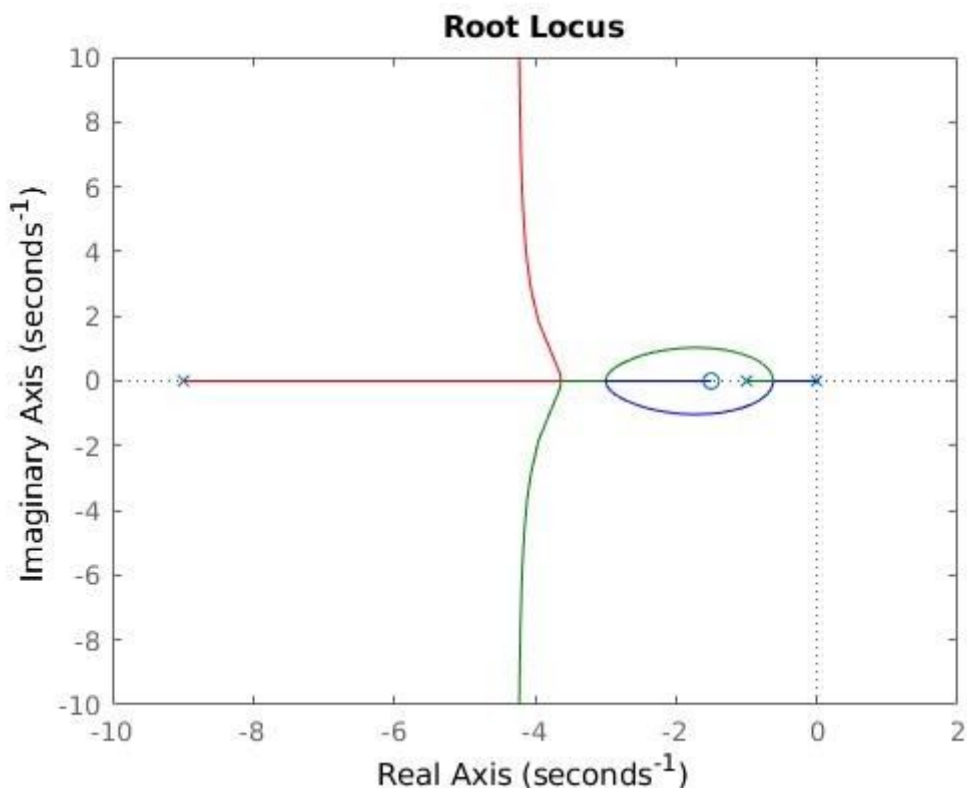
$$G_p(s) = \frac{10}{(s+1)(s+9)}$$

Με βάση την εκφώνηση θα πρέπει να επιλέξουμε ένα μηδενικό ανάμεσα στο -1 και -9 κοντύτερα στο κυρίαρχο πόλο -1. Το μηδενικό που επιλέγεται βρίσκεται στην τιμή -1.5 οπότε θα ισχύει: $c = 1.5$.

Το σύστημα ανοικτού βρόχου θα έχει συνάρτηση μεταφοράς της μορφής

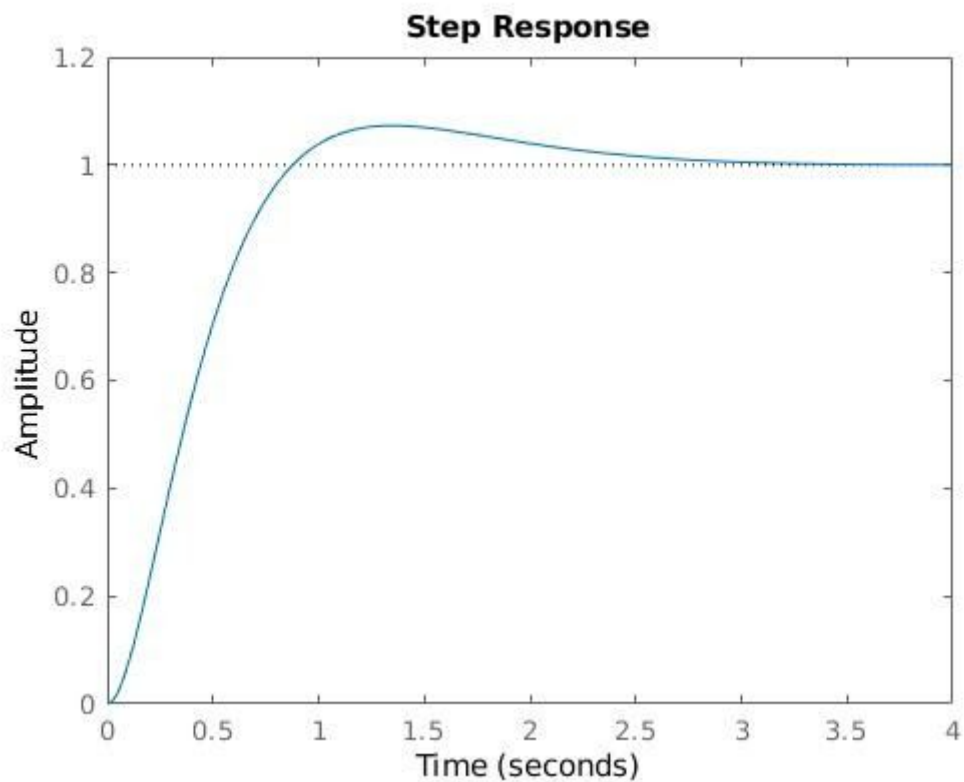
$$\frac{K(s+1.5)}{s(s+1)(s+9)} \text{ με } K = 10K_p.$$

Ο γεωμετρικός τόπος ριζών που σχηματίζεται φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Γεωμετρικός τόπος ριζών.

Η τιμή του K η οποία επιλέγεται είναι $K = 20$. Με βάση αυτή την τιμή δημιουργείται η απόκριση που δίνει το σύστημα σε μοναδιαία βηματική διέγερση. Η απόκριση σχηματίζεται με την εντολή `step(Gc)`. Η Εικόνα 2 απεικονίζει τη συγκεκριμένη απόκριση.



Εικόνα 2: Απόκριση βηματική διέγερσης.

Με χρήση της εντολής `stepinfo(Gc)` παίρνουμε τις παρακάτω πληροφορίες σχετικά με την απόκριση του συστήματος.

```
RiseTime: 0.5810
SettlingTime: 2.3981
SettlingMin: 0.9056
SettlingMax: 1.0729
Overshoot: 7.2851
Undershoot: 0
Peak: 1.0729
PeakTime: 1.3508
```

Παρατηρούμε ότι ο χρόνος ανόδου (RiseTime) είναι 0.581 δευτερόλεπτα και το ποσοστό υπερύψωσης 7.2851 %. Εφόσον ο χρόνος ανόδου είναι μικρότερος από 1.2 δευτερόλεπτα και η υπερύψωση (Overshoot) μικρότερη από 10 % προκύπτει ότι οι προδιαγραφές καλύπτονται.

Η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος κλειστού βρόχου είναι:

$$G_c(s) = \frac{20s + 30}{s^3 + 10s^2 + 29s + 30}$$

Για την τιμή $K=20$ που επιλέξαμε προκύπτουν οι εξής τιμές για τα K_p και K_I :

$$K_p = \frac{K}{10} = \frac{20}{10} = 2 \text{ και } K_I = cK_p = 1.5 \cdot 2 = 3 .$$

Ασαφής ελεγκτής

Έπειτα επιθυμούμε να σχεδιάσουμε έναν ασαφή ελεγκτή προκειμένου να ελέγξουμε το σύστημα μας. Τα χαρακτηριστικά του ελεγκτή θα είναι τα εξής:

- Ασαφοποιητής Singleton.
- Το συνδετικό AND υλοποιείται με τον τελεστή \min .
- Η συνάρτηση συμπερασμού υλοποιείται με τον κανόνα Larsen.
- Το συνδετικό ALSO υλοποιείται με τον τελεστή \max .
- Ο αποσαφοποιητής υλοποιείται με την τεχνική COA.

Οι λεκτικές μεταβλητές του σφάλματος και της μεταβολής του σφάλματος περιγράφονται από επτά λεκτικές τιμές ενώ οι λεκτικές μεταβλητές της μεταβολής του σήματος ελέγχου περιγράφονται από εννέα λεκτικές τιμές.

Αρχικά θα πρέπει να γίνει κανονικοποίηση του σφάλματος έτσι ώστε να ανήκει στο διάστημα $[-1, 1]$. Από την εκφώνηση έχουμε ως δεδομένο ότι το σήμα αναφοράς ανήκει στο διάστημα $[0, 50]$. Σύμφωνα με τις 9.31 και 9.32 των σημειώσεων έχουμε:

- Για το σφάλμα E : $e_{\max} = r_{\max} - y_{\min}$ και $e_{\min} = r_{\min} - y_{\max}$
- Για τη μεταβολή του σφάλματος ΔE : $\Delta E_{\max} = E_{\max} - E_{\min}$ και $\Delta E_{\min} = E_{\min} - E_{\max}$

Εφόσον δεν έχουμε κάποια πληροφορία για την περιοχή στην οποία ανήκει η έξοδος y θεωρούμε ότι ανήκει στο ίδιο διάστημα με το σήμα αναφοράς δηλαδή το $[0, 50]$. Οπότε προκύπτει:

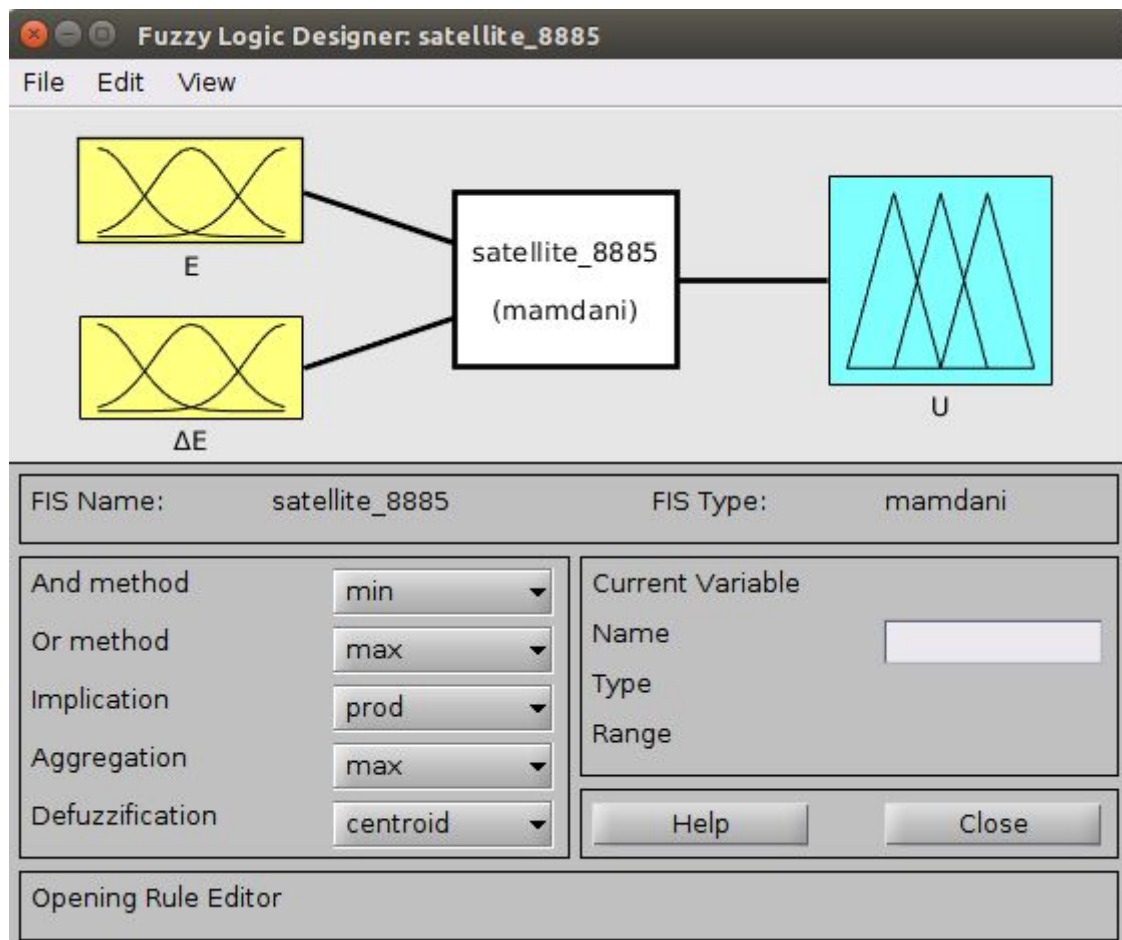
- $E_{\max} = r_{\max} - y_{\min} = 50 - 0 = 50$, $E_{\min} = r_{\min} - y_{\max} = 0 - 50 = -50$
Άρα, $E \in [-50, 50]$.
- $\Delta E_{\max} = E_{\max} - E_{\min} = 50 - (-50) = 100$, $\Delta E_{\min} = E_{\min} - E_{\max} = -50 - 50 = -100$
Άρα, $\Delta E \in [-100, 100]$.

Επομένως διαιρούμε το σφάλμα με 50 και τη μεταβολή του σφάλματος με 100 έτσι ώστε να βρεθούν και τα δύο μεγέθη στο διάστημα $[-1, 1]$.

Έπειτα, θα πρέπει να διαμορφώσουμε τη βάση κανόνων που θα χρησιμοποιήσει ο ασαφής ελεγκτής. Ο παρακάτω πίνακας αποτελεί τη βάση κανόνων που χρησιμοποιούμε:

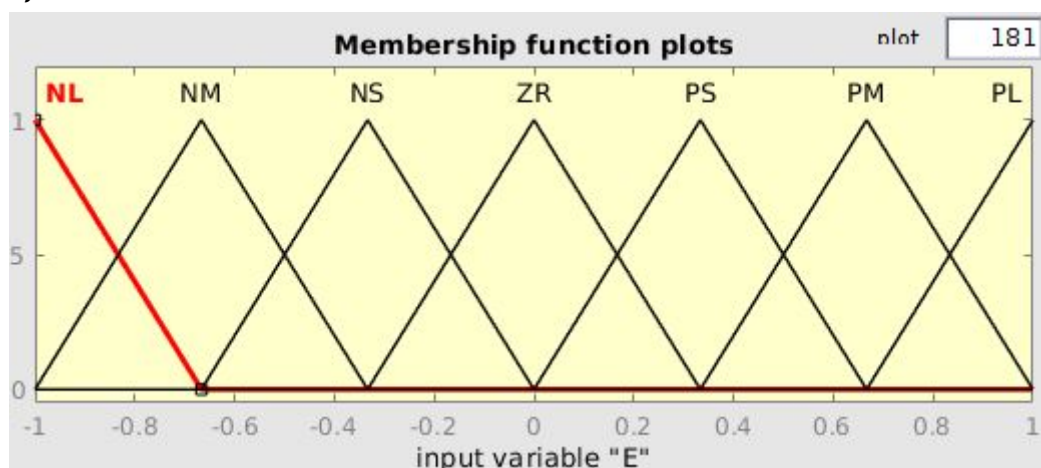
ΔΕ	E	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL
PL		ZR	PS	PM	PL	PV	PV	PV
PM		NS	ZR	PS	PM	PL	PV	PV
PS		NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV
ZR		NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL
NS		NV	NL	NM	NS	ZR	PS	PM
NM		NV	NV	NL	NM	NS	ZR	PS
NL		NV	NV	NV	NL	NM	NS	ZR

Παρακάτω στην Εικόνα 3 φαίνεται ο ασαφής ελεγκτής ο οποίος δημιουργούμε στο MATLAB με τη βοήθεια του FIS Editor. Όπως είναι εμφανές έχουμε επιλέξει όλα τα χαρακτηριστικά που προσδιορίζονται στην εκφώνηση.

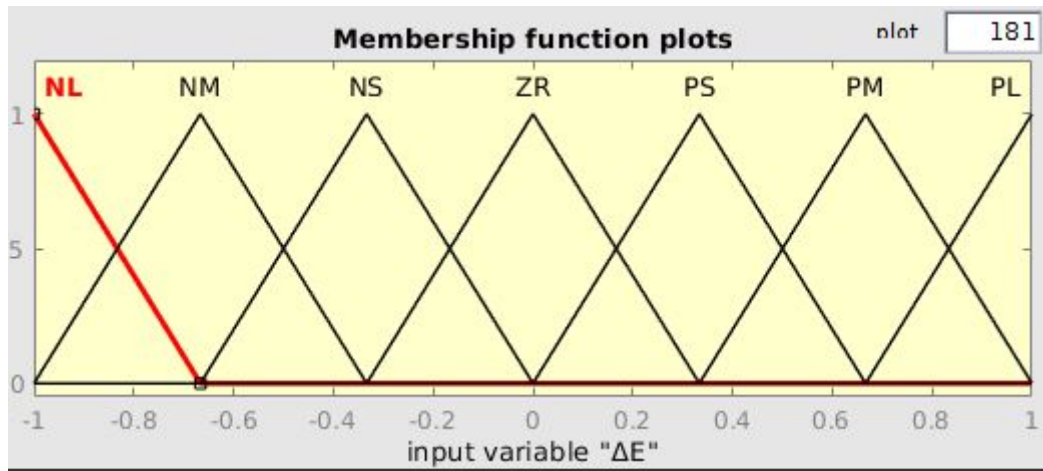


Εικόνα 3: Ασαφής ελεγκτής.

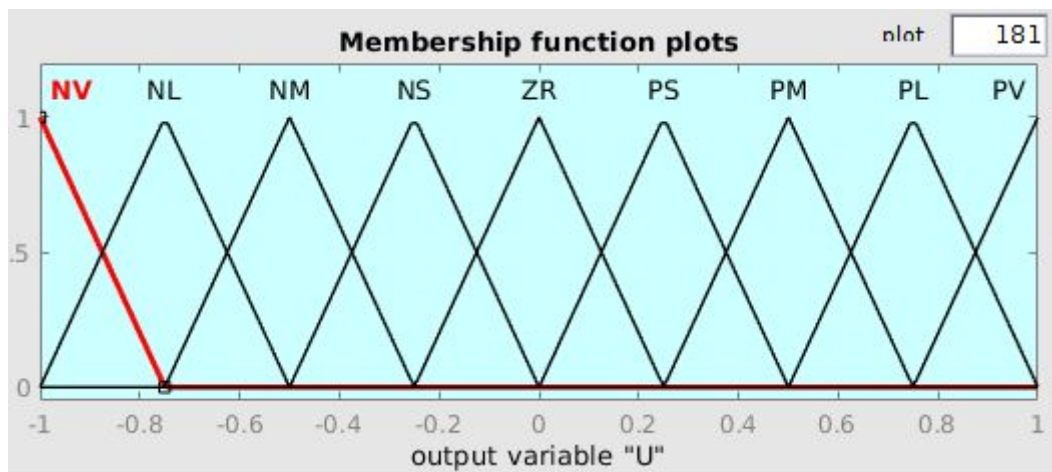
Στις εικόνες 4 - 6 παρουσιάζονται οι συναρτήσεις συμμετοχής των δύο εισόδων και της εξόδου.



Εικόνα 4: Συνάρτηση συμμετοχής σφάλματος E.



Εικόνα 5: Συνάρτηση συμμετοχής μεταβολής σφάλματος ΔΕ.



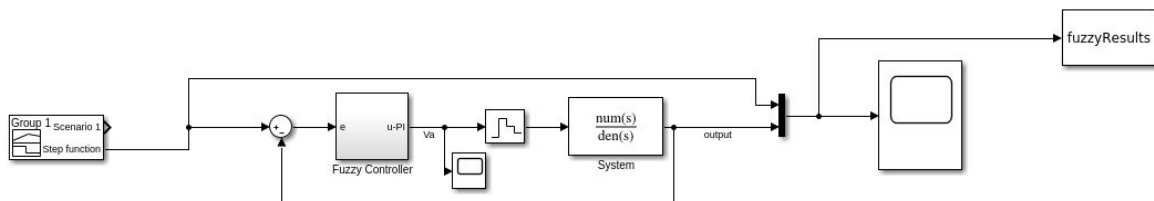
Εικόνα 6: Συνάρτηση συμμετοχής εξόδου U.

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τα δύο σενάρια της εκφώνησης.

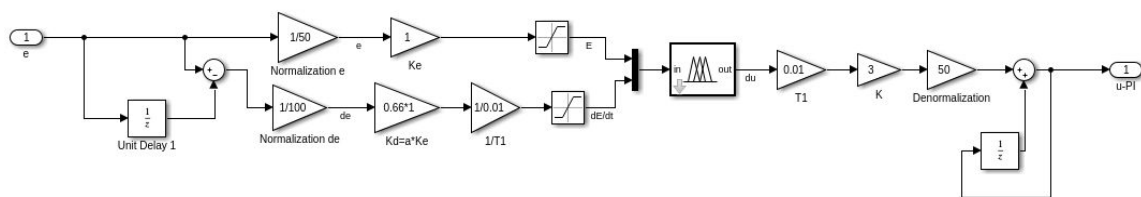
Σενάριο 1

α) Σχεδίαση του ελεγκτή και αποκρίσεις.

Αρχικά σχεδιάζουμε τον ελεγκτή στο Simulink. Στις εικόνες 7 και 8 φαίνονται το συνολικό σύστημα και ο ασαφής ελεγκτής αντίστοιχα.



Εικόνα 7: Συνολικό σύστημα.

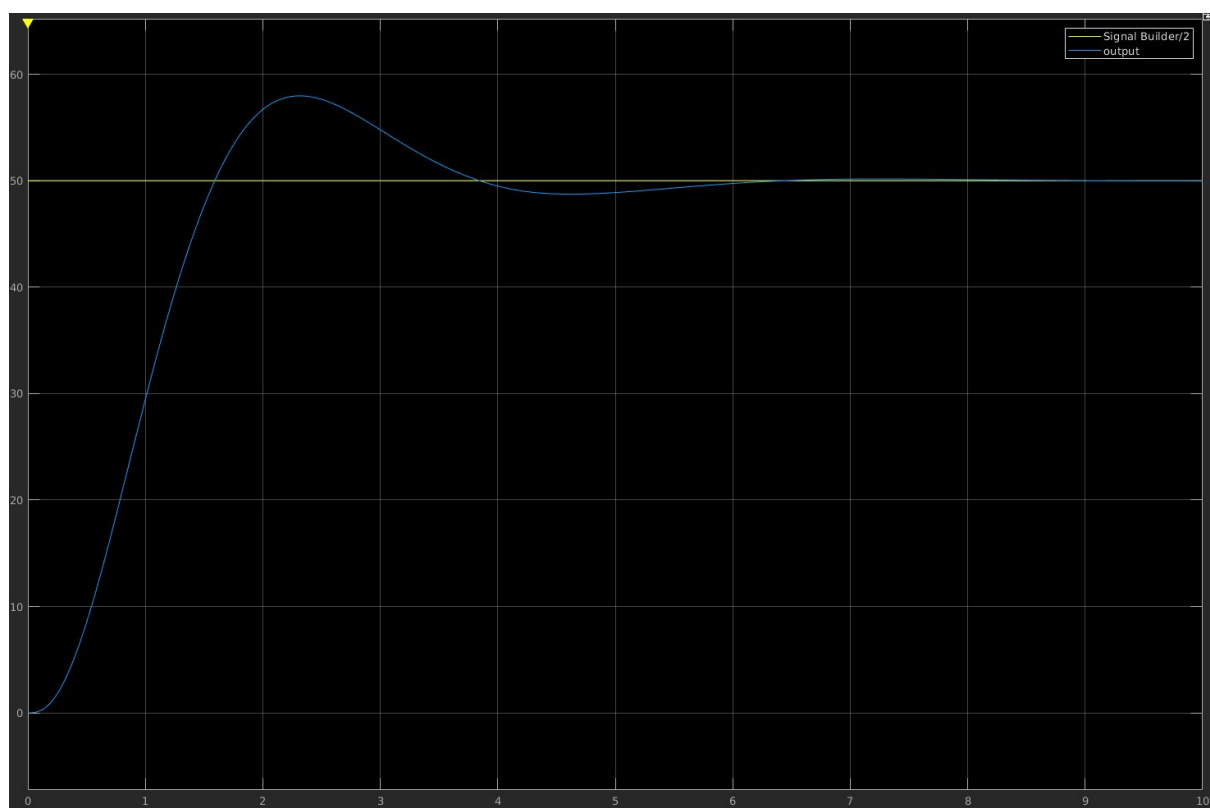


Εικόνα 8: Ασαφής ελεγκτής PI.

Οι αρχικές τιμές των κερδών του ασαφή ελεγκτή τίθενται ίσες με αυτές του γραμμικού, οπότε προκύπτουν οι εξής τιμές για τον FZ-PI ελεγκτή:

- $a = T_i = \frac{K_p}{K_I} = \frac{2}{3} = 0.66$
- $K_e = 1$
- $K = \frac{K_p}{F \{aK_e\}} = \frac{2}{F \{0.66 \cdot 1\}} = \frac{2}{0.66} = 3$

Θεωρούμε ως είσοδο την μέγιστη βηματική διέγερση $50 \cdot u(t)$. Στην Εικόνα 9 φαίνεται η απόκριση και η βηματική διέγερση.



Εικόνα 9: Βηματική είσοδος και απόκριση ασαφούς ελεγκτή.

Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η απόκριση του συστήματος και με κίτρινο η αρχική βηματική είσοδος. Τα αποτελέσματα που παίρνουμε από την πρώτη αυτή δοκιμή χρησιμοποιώντας τα κέρδη του γραμμικού ελεγκτή φαίνονται στην Εικόνα 10. Παρατηρούμε ότι ο χρόνος ανόδου είναι 1.017 δευτερόλεπτα και το ποσοστό υπερέγωσης 15.69 % το οποίο σημαίνει ότι σε καμία περίπτωση δεν ικανοποιούνται οι προδιαγραφές άρα θα χρειαστούμε περαιτέρω ρύθμιση.

+ Rise Time	1.017 s
+ Slew Rate	39.217 (/s)
- Edges	0
- Fall Time	--
- Slew Rate	--
▼ Overshoots / Undershoots	
+ Preshoot	0.581 %
+ Overshoot	15.698 %
+ Undershoot	2.825 %

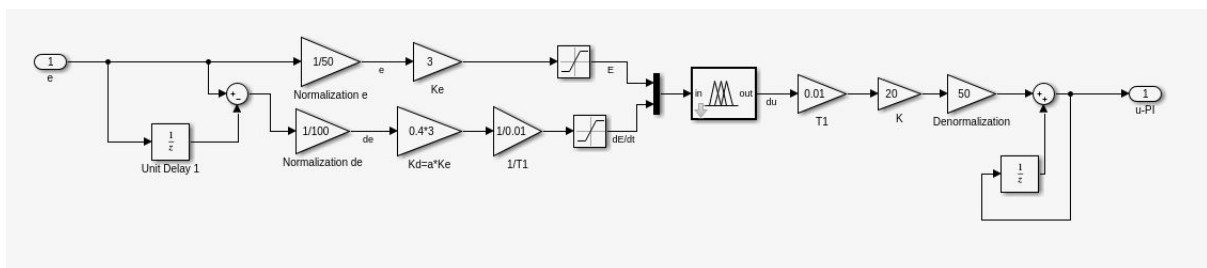
Εικόνα 10: Μετρήσεις αρχικής προσέγγισης.

Ρύθμιση συστήματος

Σύμφωνα με τις σημειώσεις η αύξηση στην τιμή του κέρδους K κάνει γρηγορότερη την απόκριση μειώνοντας το σφάλμα μόνιμης κατάστασης. Η τιμή του K παρολα αυτά δεν θα πρέπει να αυξηθεί πολύ γιατί θα προκληθεί έντονη ταλάντωση ή και αστάθεια. Έπειτα, η μείωση στην τιμή του α προκαλεί γρηγορότερη απόκριση μειώνοντας το σφάλμα μόνιμης κατάστασης αλλά και σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να μειωθεί τόσο ώστε να μην γίνει το σύστημα ασταθές. Τέλος, η αύξηση του K_e παίζει σημαντικό ρόλο στην γρηγορότερη απόκριση αυξάνοντας το πριν επέλθει κορεσμός στην είσοδο. Ακολουθώντας αυτό το σκεπτικό και κάνοντας δοκιμές καταλήξαμε στις εξής παραμέτρους:

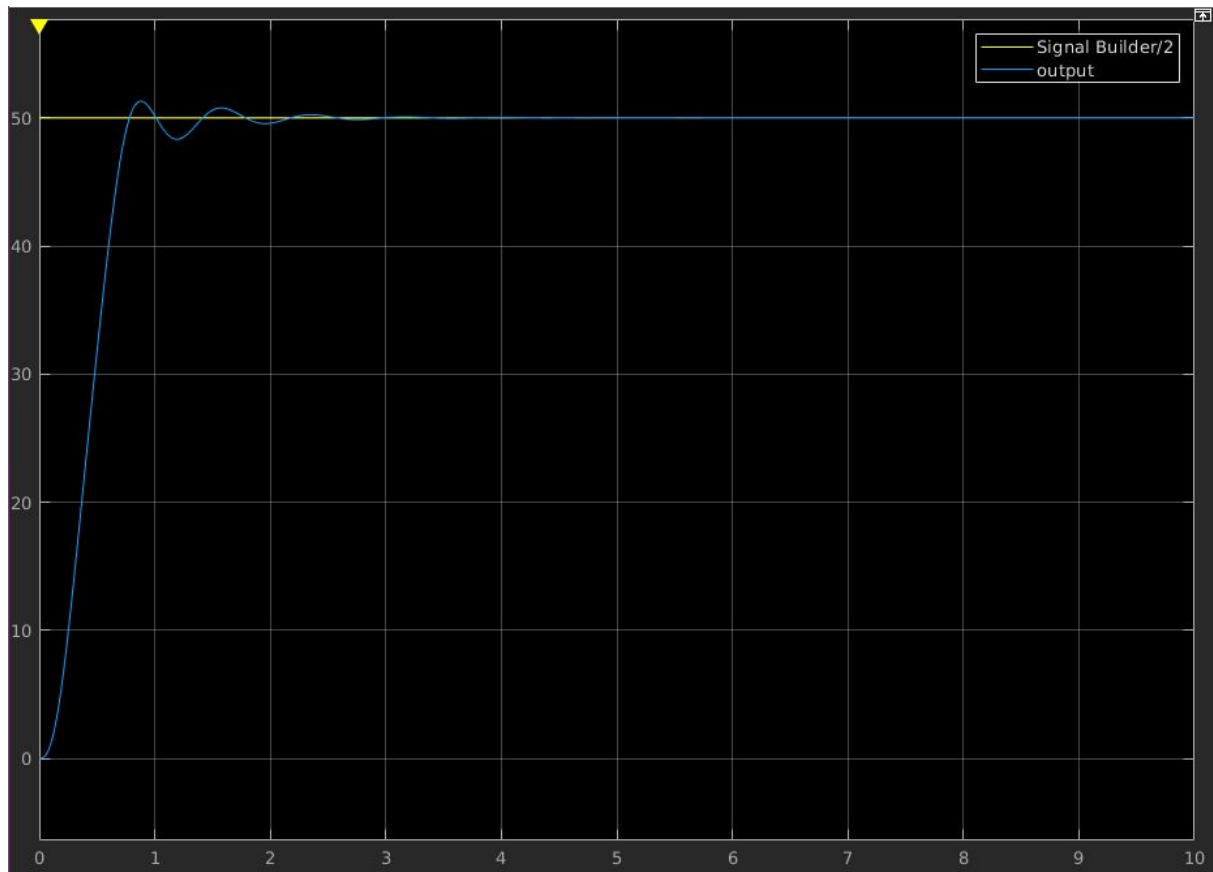
- $\alpha = 0.4$
- $K_e = 3$
- $K = 20$

Ο νέος ασαφής ελεγκτής με τις ανανεωμένες παραμέτρους φαίνεται στην εικόνα 11.



Εικόνα 11: Ασαφής ελεγκτής PI με ανανεωμένες τιμές.

Στην εικόνα 12 φαίνεται η νέα απόκριση του συστήματος:



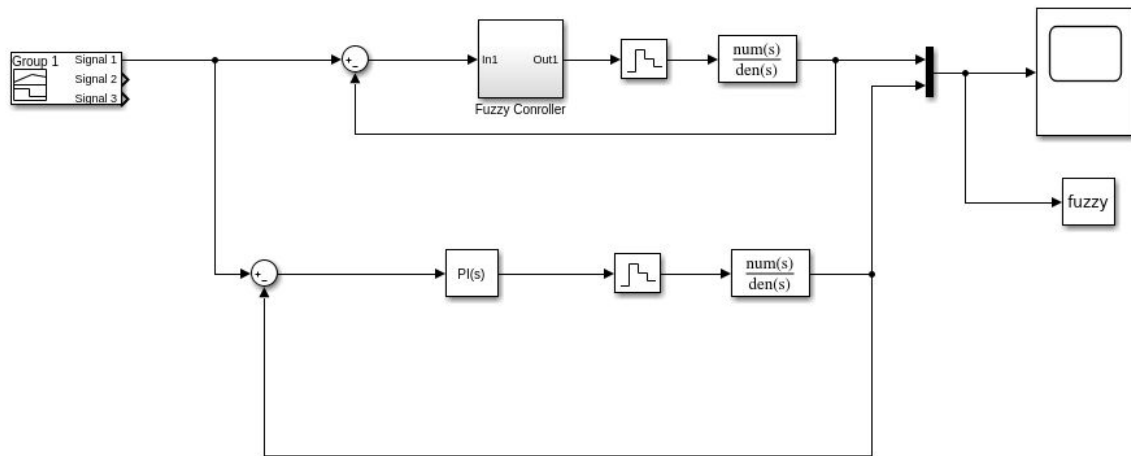
Εικόνα 12: Νέα απόκριση συστήματος.

Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η απόκριση του συστήματος και με κίτρινο η αρχική βηματική είσοδος. Τα αποτελέσματα που παίρνουμε από την βελτιωμένη αυτή δοκιμή φαίνονται στην Εικόνα 13. Παρατηρούμε ότι ο χρόνος ανόδου είναι 0.484 δευτερόλεπτα και το ποσοστό υπερύψωσης 2.577 % το οποίο σημαίνει ότι οι προδιαγραφές ικανοποιούνται εφόσον θέλαμε χρόνο ανόδου μικρότερο των 0.6 δευτερολέπτων και ποσοστό υπερύψωσης μικρότερο του 7 %.

+ Rise Time	484.868 ms
+ Slew Rate	82.111 (/s)
- Edges	0
- Fall Time	--
- Slew Rate	--
▼ Overshoots / Undershoots	
+ Preshoot	0.515 %
+ Overshoot	2.577 %
+ Undershoot	3.398 %

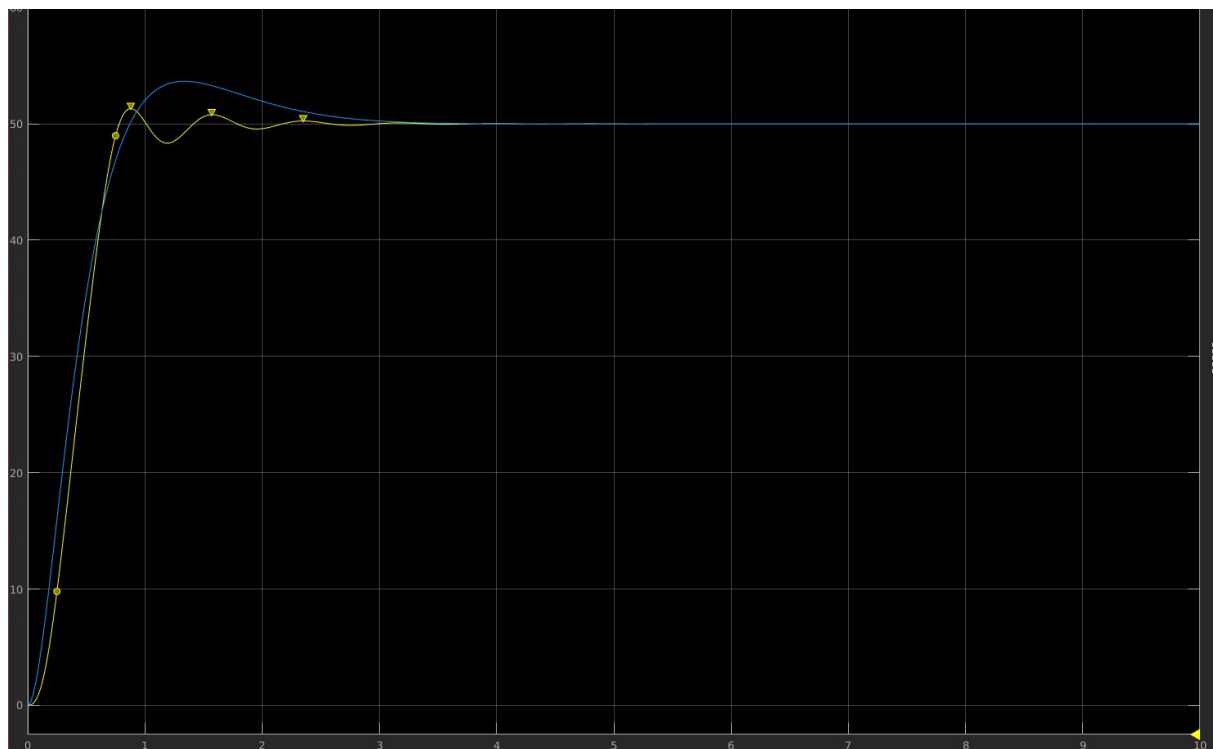
Εικόνα 13: Μετρήσεις τελικής προσέγγισης.

Στην Εικόνα 14 φαίνεται το κύκλωμα που χρησιμοποιήθηκε για να αναπαρασταθούν σε κοινό διάγραμμα οι αποκρίσεις του γραμμικού και του ασαφή ελεγκτή.



Εικόνα 14: Κύκλωμα για την κοινή απεικόνιση των αποκρίσεων.

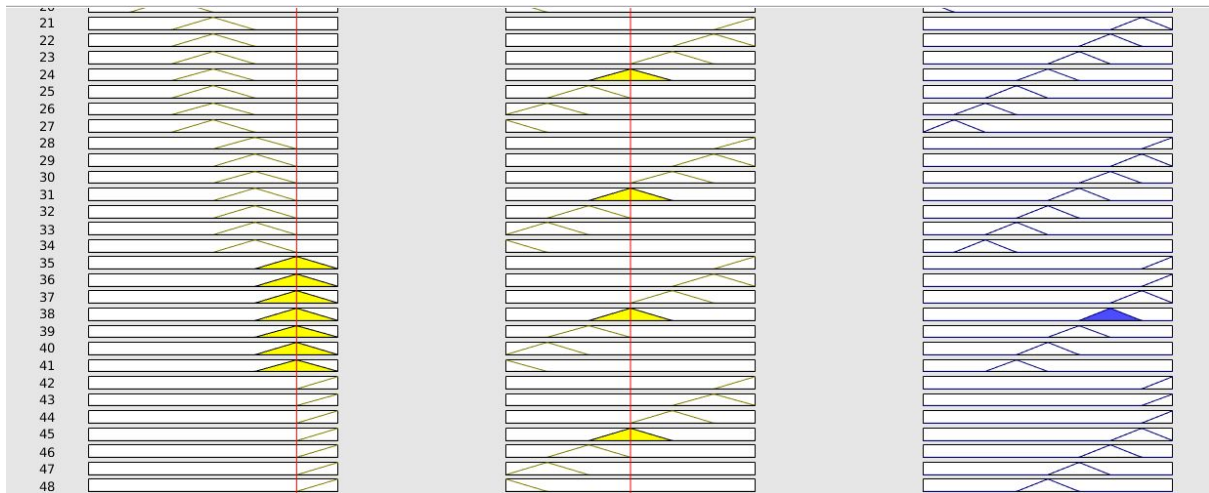
Στην Εικόνα 15 φαίνονται σε κοινό διάγραμμα οι αποκρίσεις του γραμμικού και του ασαφή ελεγκτή. Με μπλε χρώμα φαίνεται του ασαφή και με κίτρινο του γραμμικού. Παρατηρούμε ότι ο ασαφής ελεγκτής έχει γρηγορότερη απόκριση και μικρότερη υπερύψωση. Το μόνο μειονέκτημα είναι η μεγαλύτερη ταλάντωση που δημιουργεί σε σχέση με τον γραμμικό.



Εικόνα 15: Σύγκριση απόκρισης ασαφούς και γραμμικού ελεγκτή.

β) Λειτουργία της βάσης του ελεγκτή και συμπεράσματα.

Εφαρμόζουμε μία διέγερση στο σύστημα όπου το σφάλμα E είναι PM δηλαδή 0.6666 και η μεταβολή του σφάλματος ΔE είναι ZR δηλαδή 0. Τα αποτελέσματα που παίρνουμε φαίνονται στην εικόνα 16.

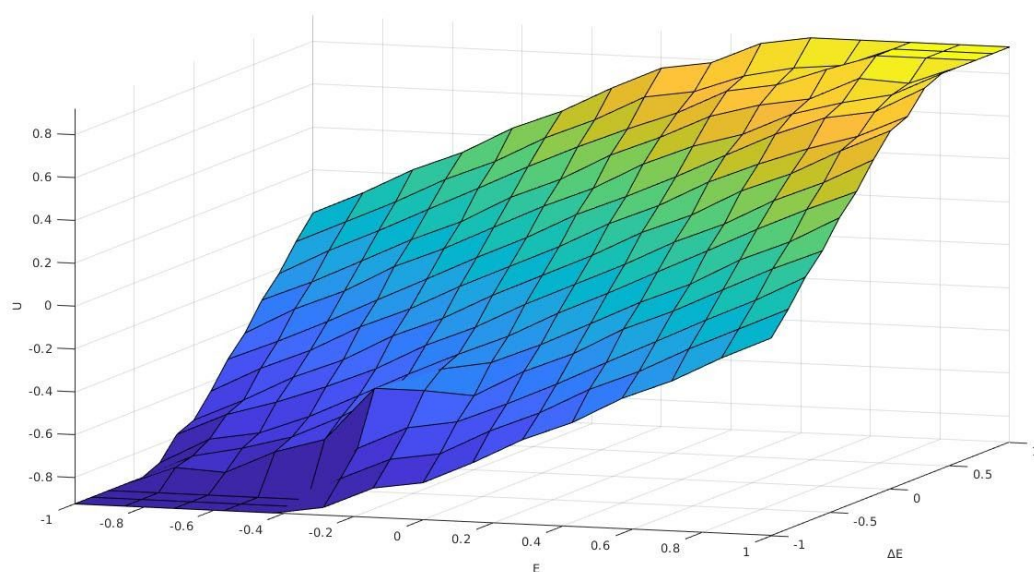


Εικόνα 16: Κανόνες που διεγείρονται.

Στην πρώτη στήλη φαίνεται το σφάλμα, στην μεσαία η μεταβολή του σφάλματος και στην τελευταία το συμπέρασμα. Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι διεγείρεται μόνο ο κανόνας 38 ο οποίος είναι: IF (E IS PM) AND (ΔE IS ZR) THEN (U IS PM). Σύμφωνα με τον αποασαφοποιητή COA το συμπέρασμα προκύπτει σαν το κέντρο βάρους του ασαφούς συμπεράσματος για αυτό και είναι 0.5. Η τιμή PM για την έξοδο U προκύπτει από το γεγονός ότι η έξοδος U είναι 0.5. Αυτό είναι λογικό για το σύστημα εφόσον το σφάλμα είναι μεσαίο θετικό (positive medium) και η μεταβολή του σφάλματος μηδενική (zero) οπότε και το U θα είναι μεσαίο θετικό (positive medium).

γ) Ερμηνεία του νόμου ελέγχου του FLC.

Στην Εικόνα 17 παρατηρείται η τρισδιάστατη επιφάνεια της εξόδου του ασαφούς ελεγκτή σε σχέση με τις εισόδους E και ΔE .



Εικόνα 17: Τρισδιάστατη επιφάνεια εξόδου.

Από την παραπάνω επιφάνεια συμπεραίνουμε ότι:

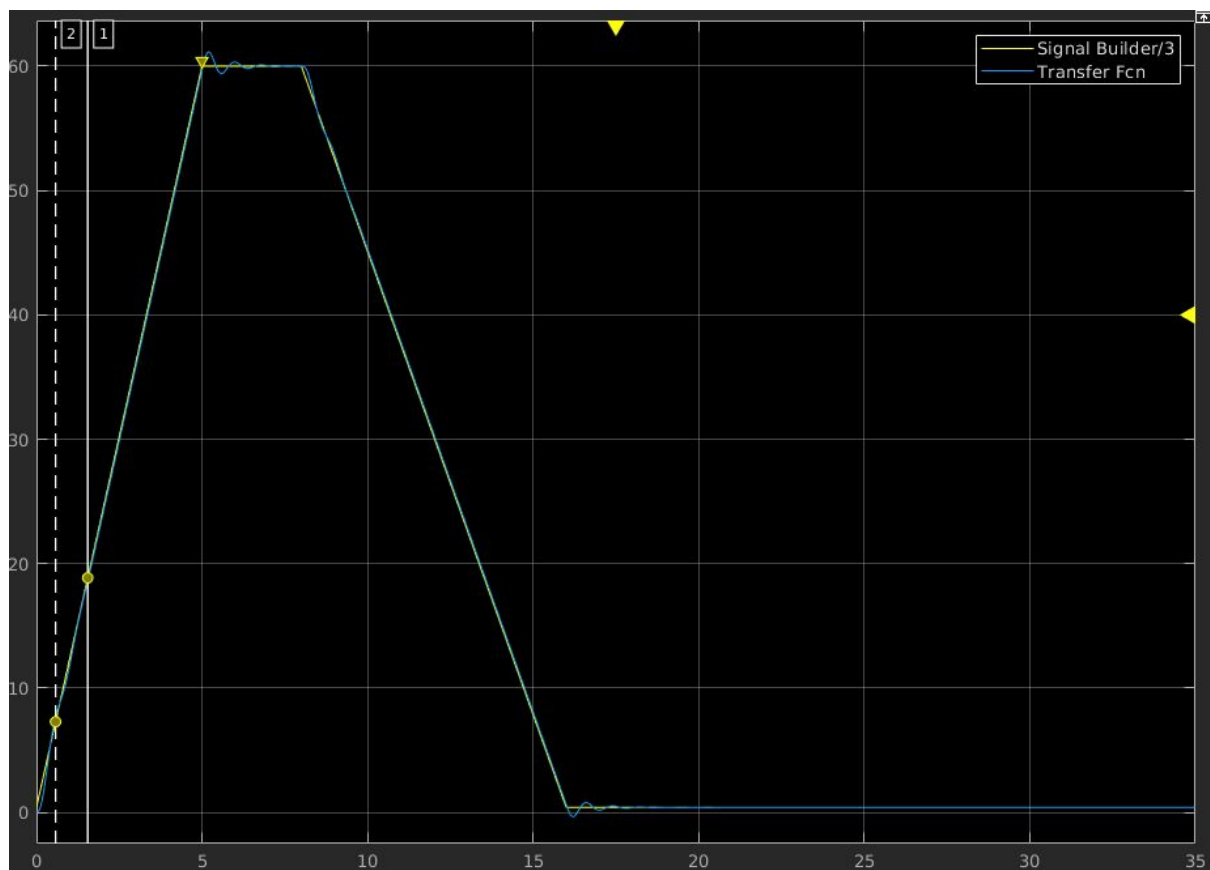
- Όταν τα E και ΔE είναι θετικά (σήμα αναφοράς πάνω από την έξοδο) τότε και το σήμα ελέγχου U θα είναι θετικό καθώς θα πρέπει να μειώσει το σφάλμα που τείνει να αυξηθεί.
- Όταν το σφάλμα E είναι κοντά στο μηδέν και η μεταβολή του είναι μικρή τότε και η έξοδος U θα είναι κοντά στο μηδέν καθώς το σφάλμα τείνει να διορθωθεί μόνο του.
- Όταν τα E και ΔE είναι αρνητικά (σήμα αναφοράς κάτω από την έξοδο) τότε και το σήμα ελέγχου U θα είναι αρνητικό καθώς θα πρέπει να μειώσει το σφάλμα που τείνει να αυξηθεί.

Σενάριο 2

Έπειτα επιθυμούμε να παρακολουθήσουμε τη συμπεριφορά του ελεγκτή σε δύο σήματα αναφοράς. Παρατηρούμε ότι η απόκριση του ελεγκτή είναι καλή καθώς ακολουθεί το σήμα αναφοράς που δίνεται ως είσοδος. Παρόλα αυτά επηρεάζεται αρκετά από τις απότομες μεταβολές στον παλμό αναφοράς για αυτό και δεν τον ακολουθεί εντελώς πιστά. Συμπεραίνουμε δηλαδή ότι σε αυτή την περίπτωση υπάρχει περιθώριο βελτίωσης. Στη δεύτερη είσοδο αναφοράς η οποία είναι μία είσοδος ράμπας παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα είναι σαφώς βελτιωμένα αφού η έξοδος του ελεγκτή ακολουθεί σχεδόν τέλεια το σήμα αναφοράς καθώς παρατηρούνται μικροτερες μεταβολές στο σήμα εισόδου. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι ο ελεγκτής μπορεί να ακολουθήσει με μεγαλύτερη ακρίβεια σήματα τέτοιου είδους. Στην Εικόνα 18 φαίνεται η πρώτη απόκριση και η είσοδος που δίνεται ως παλμός και στην εικόνα 19 φαίνεται η δεύτερη απόκριση και η είσοδος που δίνεται ως ράμπα (τραπεζοειδές σχήμα).



Εικόνα 18: Απόκριση με παλμική είσοδο.



Εικόνα 19: Απόκριση με τραπεζοειδή είσοδο.