

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Εργασία 1 – DC Motor 2

Αναφορά

Ασαφή Συστήματα / Υπολογιστική Νοημοσύνη

Άρης Ελευθέριος Παπαγγέλης, ariselefp@ece.auth.gr

AEM: 8883

Σχεδίαση ασαφούς ελεγκτή

Δεδομένου ότι $r \in [0, 150]$ και καθώς στο διάγραμμα δίνεται $y(k) = \omega(k)$, θα θεωρήσουμε ότι $y \in [0, 150]$ και θα υπολογίσουμε το εύρος του σφάλματος με βάση την παράγραφο 9.3.1 των σημειώσεων.

$$e \in [r_{\min} - y_{\max}, r_{\max} - y_{\min}] \rightarrow e \in [-150, 150]$$

Κανονικά, για την εύρεση του Δe θα εφαρμοζόταν ο εξής τύπος:

$$\Delta e \in [e_{\min} - e_{\max}, e_{\max} - e_{\min}]$$

Όμως, από την εκφώνηση της εργασίας μας δίνεται κατευθείαν ότι:

$$\Delta e \in [-50, 50]$$

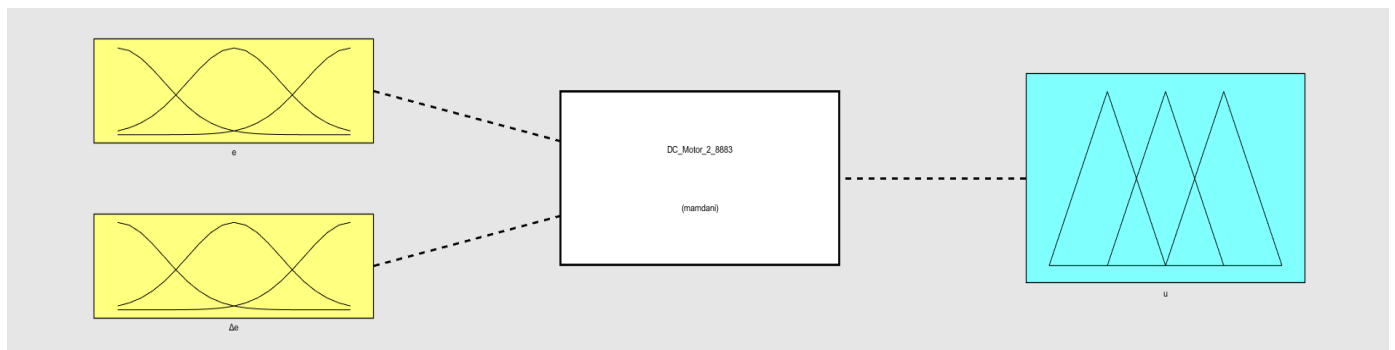
Συνεπώς, για την κανονικοποίηση θα πολλαπλασιάσουμε το σφάλμα με 1/150 και τη μεταβολή του σφάλματος με 1/50, ώστε να βρίσκονται πάντα στο διάστημα $[-1, 1]$.

Για το σύνολο κανόνων έχουμε ότι θα αποτελείται από $7*7 = 49$ κανόνες και θα βασίζεται στη βάση που προτάθηκε από τους Mc Vicar και Wheelan ακολουθώντας την εξής σχέση:

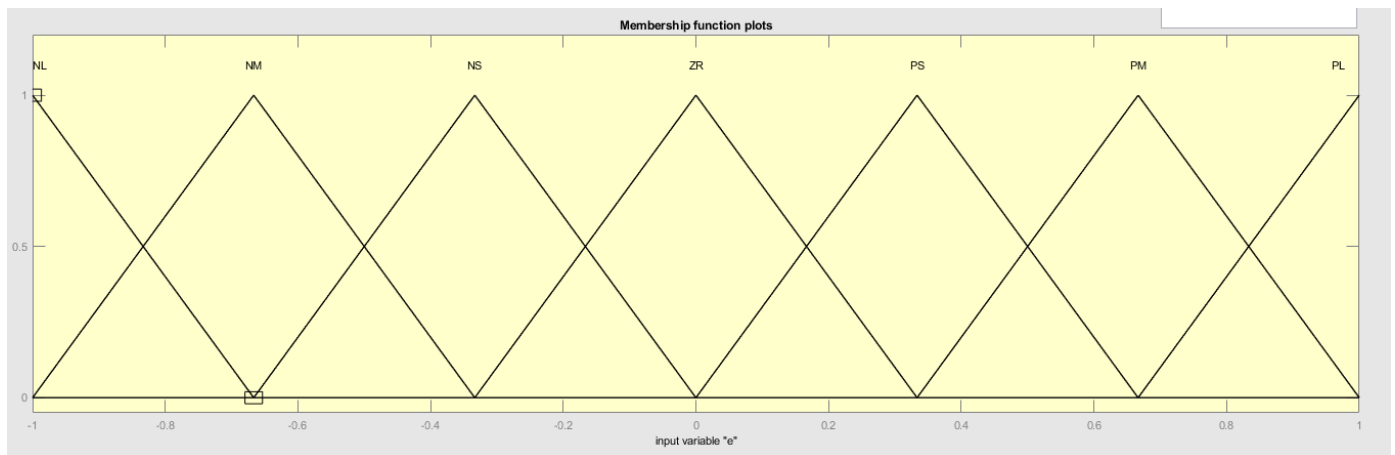
$$\dot{u} = e + \Delta e$$

Δe 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

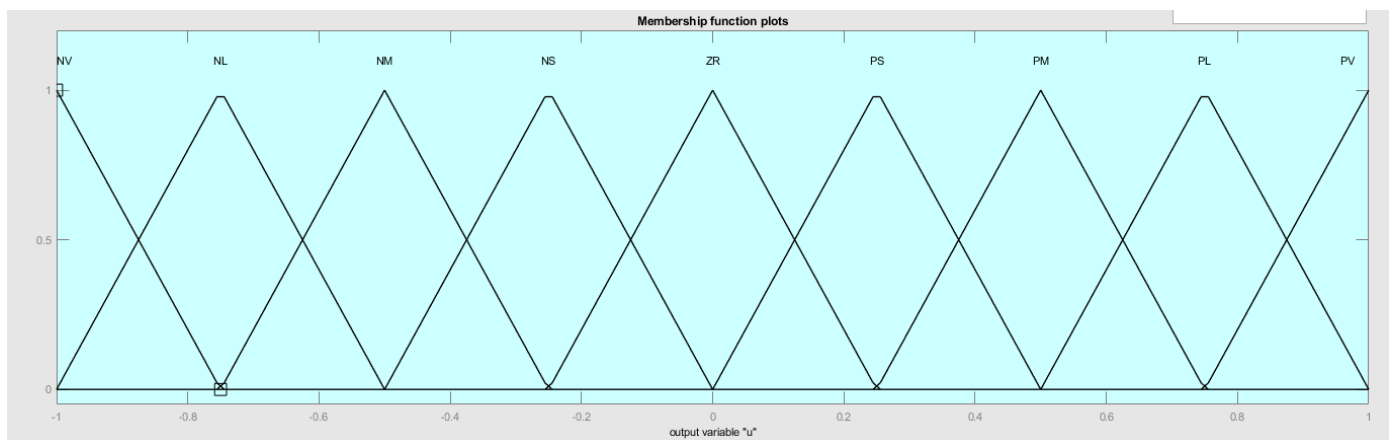
Το FIS που σχηματίστηκε για τον ασαφή ελεγκτή είναι το παρακάτω:



Με τις συναρτήσεις συμμετοχής να είναι για τα σήματα εισόδου οι εξής (παρουσιάζεται αυτή για το e):



Ενώ για το σήμα εξόδου είναι οι εξής:



Σενάριο 1

A) Αρχική ρύθμιση

Με βάση τη σχεδίαση του γραμμικού ελεγκτή που αναλύεται στο παράδειγμα 9.9.1 των σημειώσεων, έχουμε:

$$K_P = 1.75$$

$$K_I = 8.75$$

$$T_i = \frac{K_P}{K_I} = 0.2$$

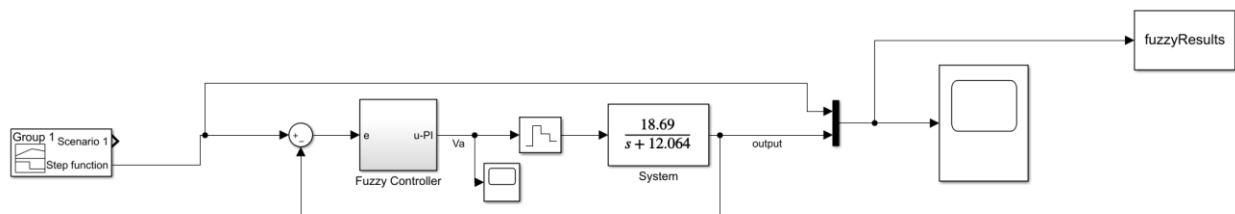
καθώς και τη μεθοδολογία που αναφέρεται στο **κεφάλαιο 9** των σημειώσεων προκύπτουν οι εξής αρχικές τιμές για τον ασαφή ελεγκτή:

$$a = T_i = \frac{K_p}{K_I} = 0.2$$

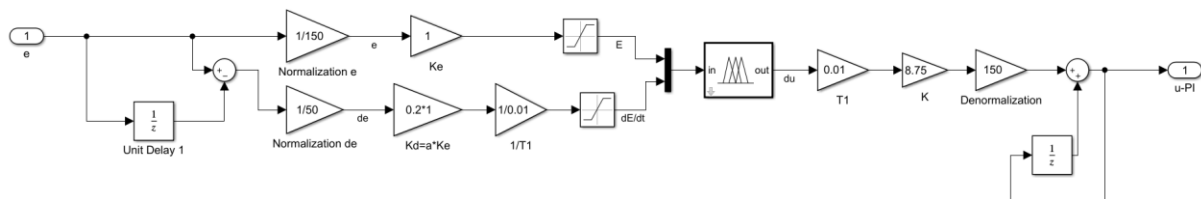
$$K_e = 1$$

$$K = \frac{K_p}{F\{aK_e\}} = 8.75$$

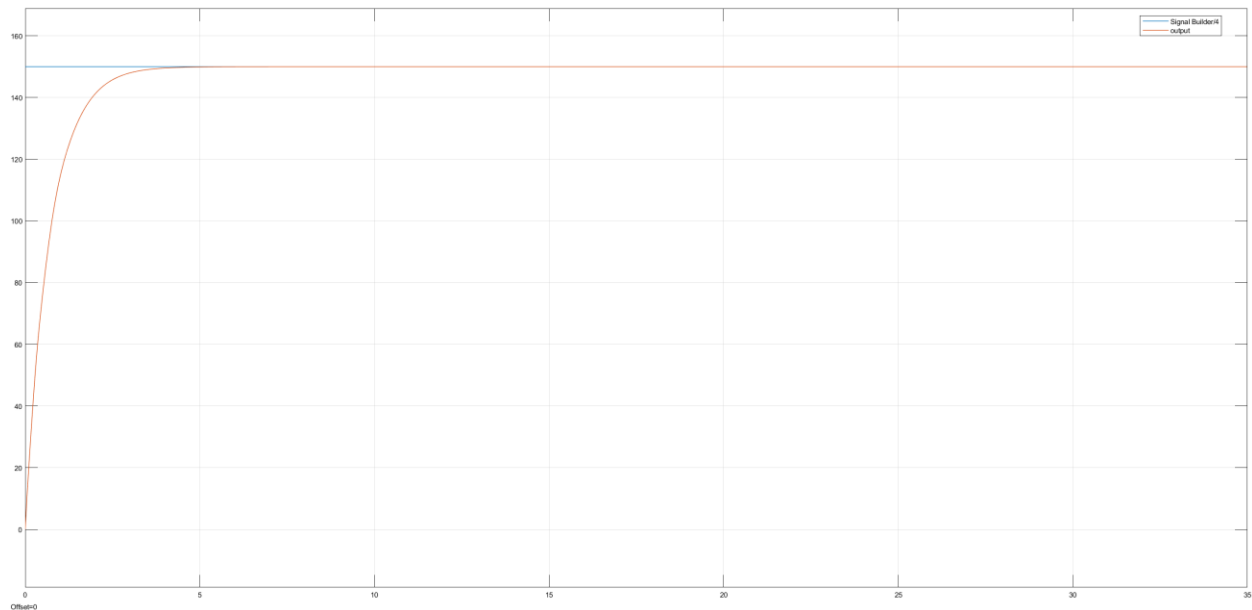
Άρα, το μοντέλο του συστήματος στο Simulink έχει την εξής μορφή αρχικά:



Ενώ για τον ασαφή ελεγκτή :



Με την παραπάνω, αρχική μορφή του ελεγκτή πριν τη ρύθμιση, έχουμε το εξής διάγραμμα μέγιστης βηματικής διέγερσης - απόκρισης:



RiseTime: 1.512 sec

Overshoot: 0.8 %

Max(Va): 96.8

Υπενθυμίζονται οι προδιαγραφές:

Οι προδιαγραφές του συστήματος ελέγχου είναι

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

Με πορτοκαλί παρατηρούμε τη νέα απόκριση του συστήματος χρησιμοποιώντας τις αρχικές τιμές για τα κέρδη κλιμακοποίησης με βάση τα κέρδη του γραμμικού ελεγκτή. Διαπιστώνεται ότι χρειάζεται περαιτέρω ρύθμιση, εφόσον ικανοποιούνται οι προδιαγραφές για το V_a και την υπερύψωση, αλλά όχι για τον χρόνο ανόδου.

Β) Ρύθμιση συστήματος

Η ρύθμιση έγινε σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφεται στην παράγραφο **9.7.1** των σημειώσεων. Ειδικότερα, παρατηρήθηκε ότι μεγαλύτερες τιμές του K οδηγούν σε γρηγορότερη απόκριση, αυξάνοντας όμως και τις ταλαντώσεις γύρω από την ευθεία για την απόκριση μόνιμης κατάστασης, για παράδειγμα για τιμές του K κοντά στο 100 ή μεγαλύτερες. Για το α παρατηρήθηκε ότι μικρότερες τιμές του οδηγούν σε γρηγορότερη απόκριση, όμως και σε μεγαλύτερη υπερύψωση ή και ταλάντωση, για παράδειγμα για τιμές του α κοντά στο 0.01. Το K_e έπαιξε σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση, καθώς μας έδωσε πρόσθετη ευελιξία στη ρύθμιση του K .

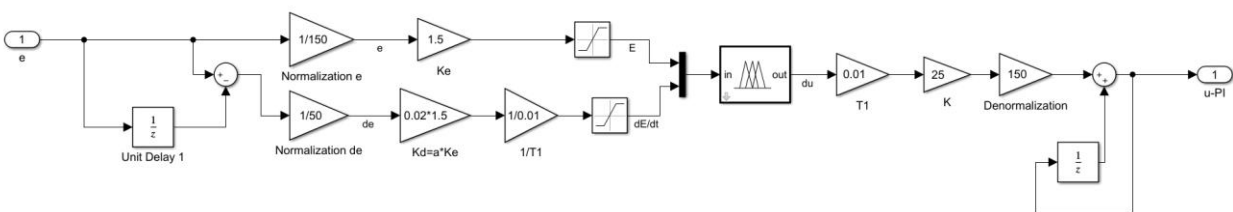
Προκειμένου να πετύχουμε τη ρύθμιση που θα ικανοποιεί τις προδιαγραφές για τη μέγιστη βηματική είσοδο $150u(t)$ προκύπτουν ως τελικές παράμετροι οι εξής:

$$\alpha = 0.02$$

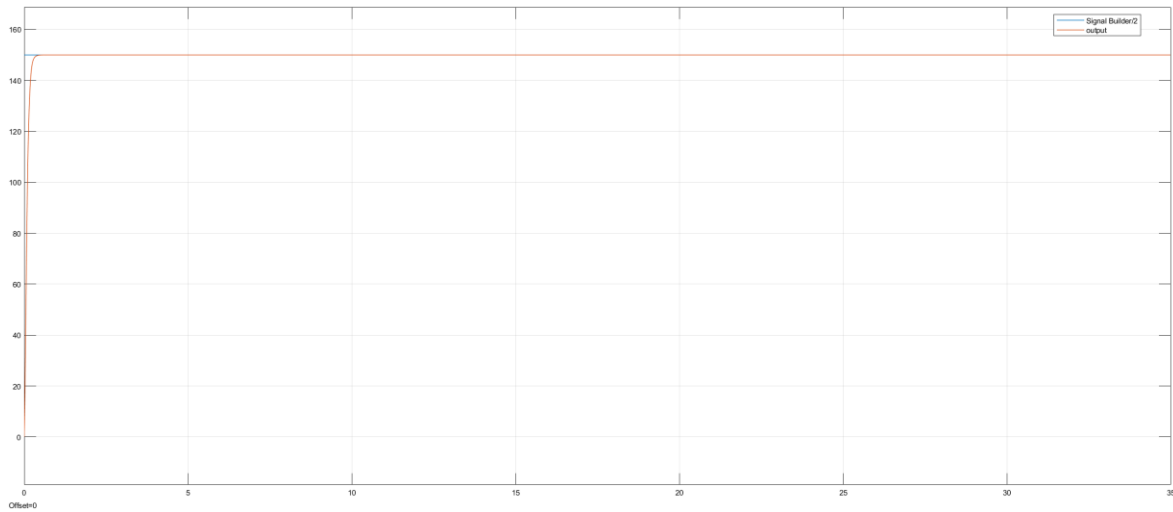
$$K_e = 1.5$$

$$K = 25$$

Η τελική μορφή του ασαφούς ελεγκτή είναι:



Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η απόκριση του συστήματος:



Παρατηρούμε πως μετά τη ρύθμιση των κερδών του ελεγκτή, η απόκριση έγινε πολύ γρηγορότερη, όπως αποδεικνύεται και από τις παρακάτω μετρικές:

RiseTime: 147.956 ms

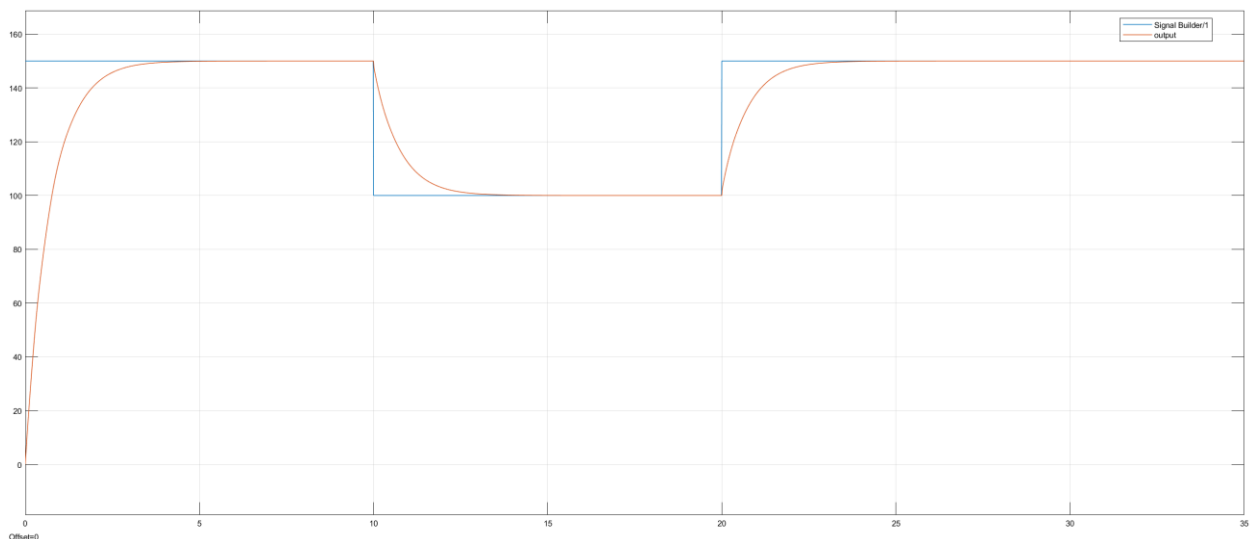
Overshoot: 0.504 %

Max(Va): 108.2

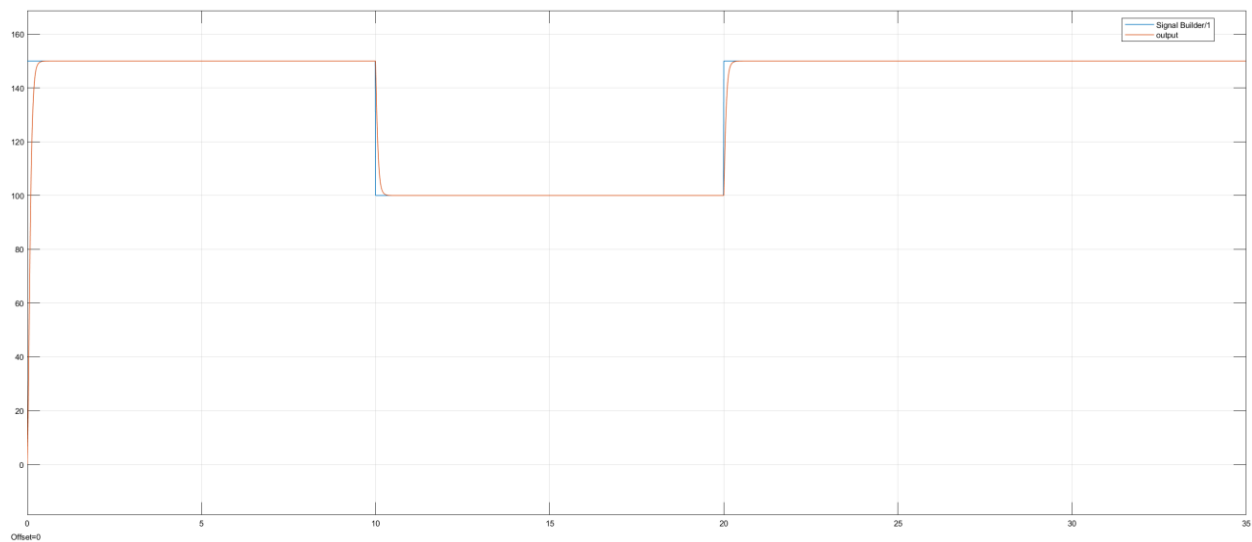
Παρατηρούμε ότι οι προδιαγραφές ικανοποιούνται με αρκετό περιθώριο. Ο σχεδιασμός του συστήματος έγινε με βάση την επιθυμία η απόκριση να ικανοποιεί τις προδιαγραφές για μέγιστη βηματική είσοδο, όχι για μοναδιαία.

Γ) Διάγραμμα διέγερσης – απόκρισης σεναρίου (σχήμα 3 εκφώνησης)

Το διάγραμμα διέγερσης – απόκρισης πριν τη ρύθμιση του ελεγκτή είναι:



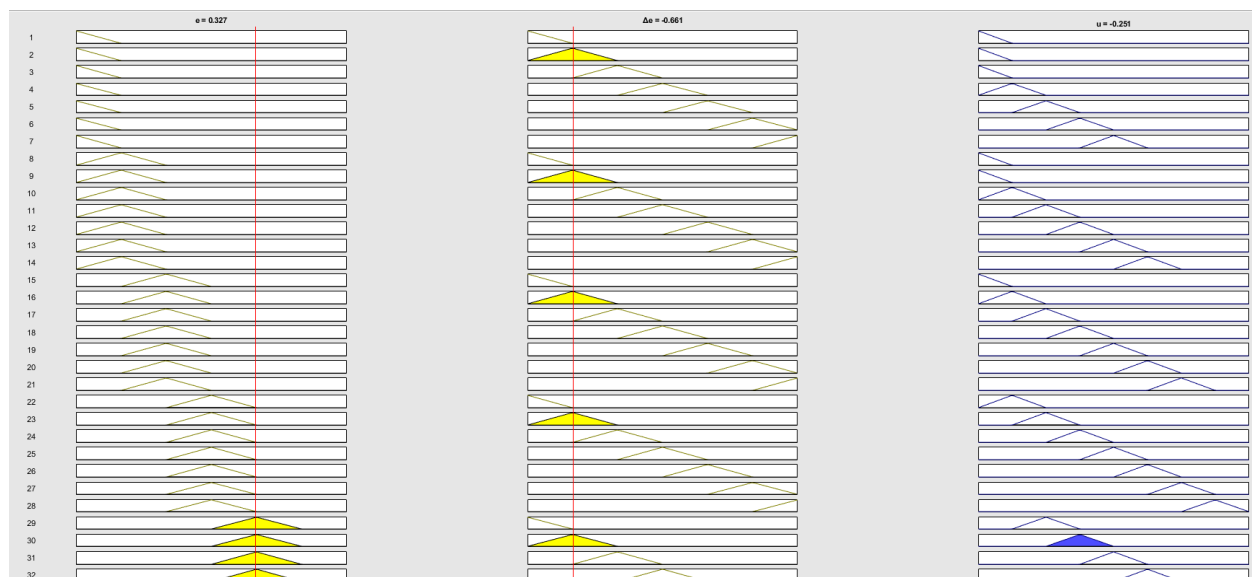
Το διάγραμμα διέγερσης – απόκρισης για το ρυθμισμένο ελεγκτή είναι:

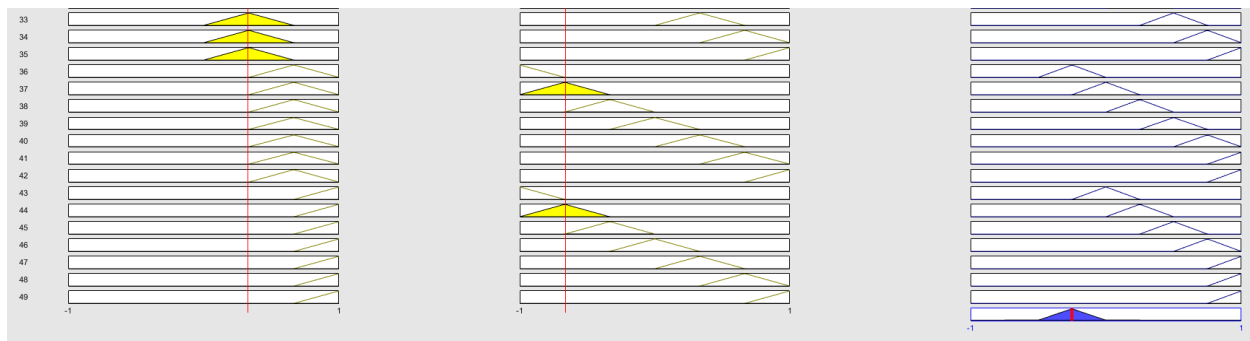


Παρατηρούμε πως η απόκριση ακολουθεί τις αλλαγές της διέγερσης πολύ πιο πιστά μετά τη ρύθμιση του ελεγκτή.

Δ) Διέγερση e is PS and Δe is NM

Η αριστερή στήλη εκφράζει το σφάλμα, η μεσαία τη μεταβολή του σφάλματος και η τελική τα επιμέρους συμπεράσματα



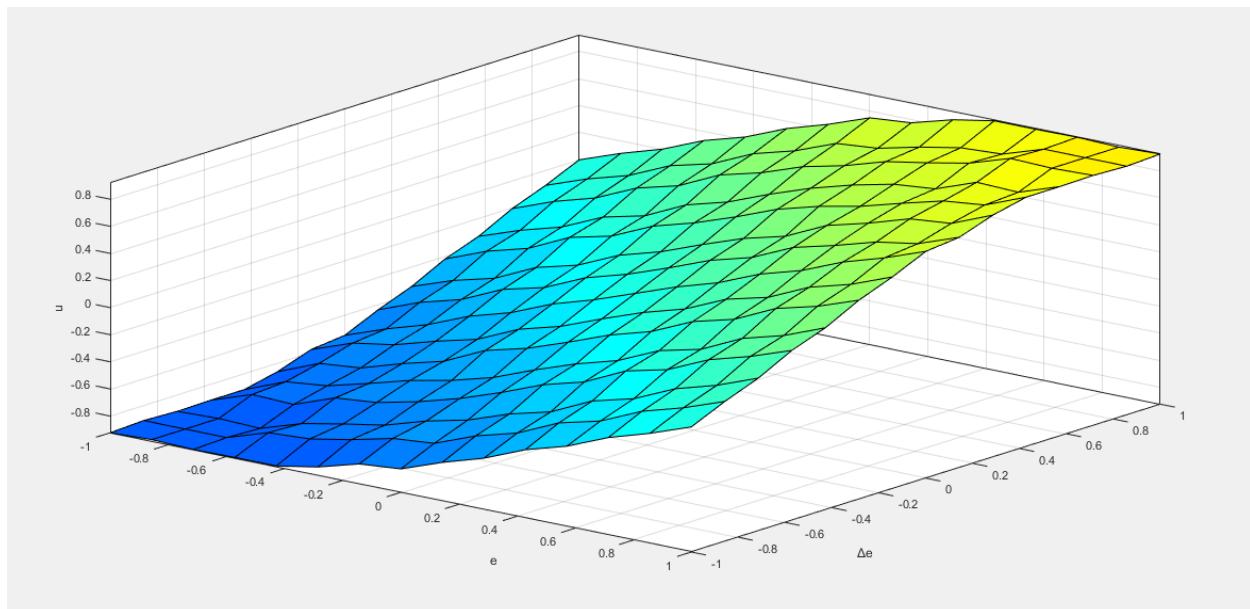


Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο συμπερασμού Mamdani έχουμε ότι μόνο στον κανόνα 30 υπάρχει μη μηδενικός βαθμός εκπλήρωσης w και για τους 2 κανόνες που αποτελούν το μέρος της υπόθεσης. Έτσι, το επιμέρους συμπέρασμα που προκύπτει, είναι αυτό του κανόνα 30, το οποίο είναι και το ολικό. Με βάση τον COA ασαφοποιητή το τελικό συμπέρασμα προκύπτει να είναι το κέντρο βάρους του ασαφούς συμπεράσματος και είναι το -0.251 . Σύμφωνα με τον κανόνα:

$$\dot{u} = e + \Delta e$$

PS + NM = NS, πράγμα που όντως βλέπουμε να επιβεβαιώνεται από το σύστημά μας.

Ε) Επιφάνεια $\Delta u(k)$ σε σχέση με $e(k)$ και $\Delta e(k)$



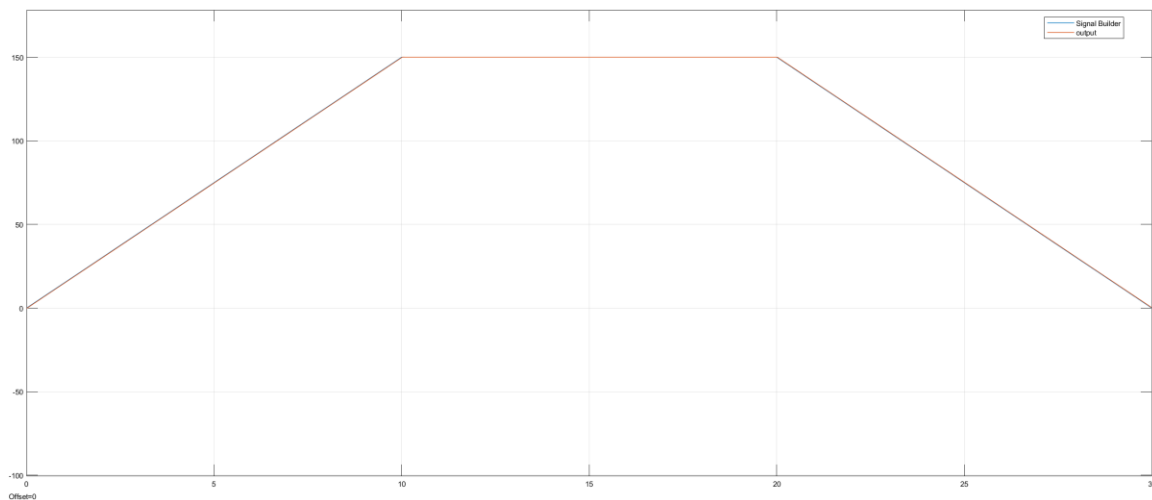
Η επιφάνεια παρουσιάζει συμμετρία εξαιτίας του ίσου αριθμού κανόνων για τις 2 εισόδους και ικανοποιεί την εξίσωση

$$\dot{u} = e + \Delta e$$

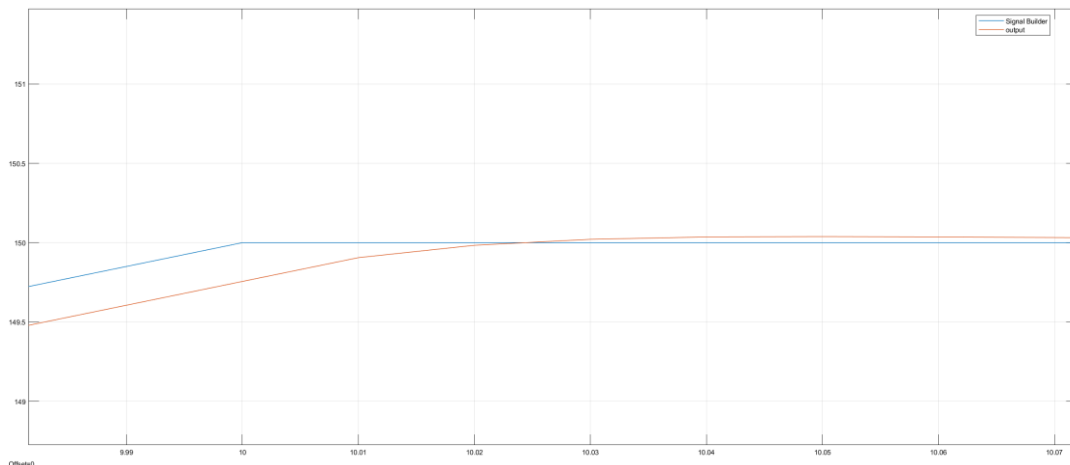
Όταν το e είναι αρκετά μεγάλο, δηλαδή βρισκόμαστε κάτω από το σήμα αναφοράς, το σήμα ελέγχου αυξάνεται για να προσεγγίσουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα, ειδικά όταν η μεταβολή του σφάλματος δεν μαρτυρά τάση προσέγγισης του σήματος αναφοράς. Αντίστοιχα, η έξοδος του ελεγκτή γίνεται πολύ μικρή (αρνητική) όταν το σήμα εξόδου βρίσκεται πάνω από το σήμα αναφοράς και τείνει να συνεχίσει να μεγαλώνει. Όταν το σήμα εξόδου βρίσκεται κοντά στο επιθυμητό και το προσεγγίζει με μικρή ταχύτητα, τότε θα είναι και μικρή η διορθωτική έξοδος του ελεγκτή.

Σενάριο 2

Παρακάτω βλέπουμε την απόκριση του συστήματος για την είσοδο ράμπας:



Μεγέθυνση του διαγράμματος στις άκρες τις ράμπας:



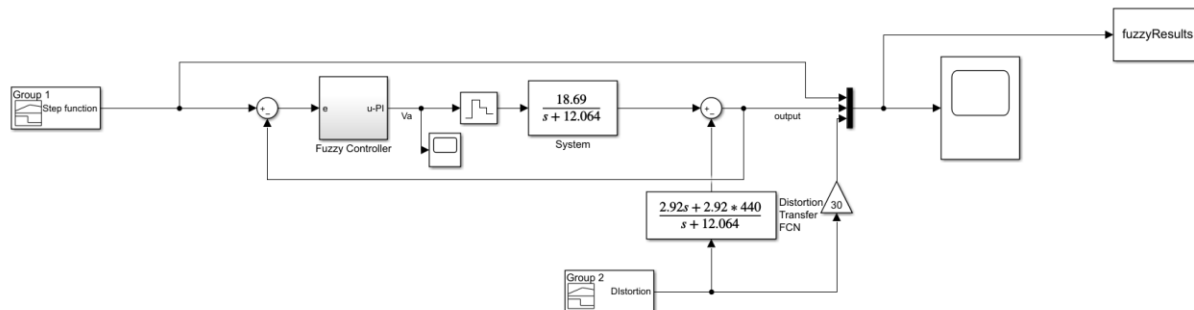
Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα, η απόκριση είναι ήδη πολύ καλή με βάση την ρύθμιση του ελεγκτή στο σενάριο 1, ακολουθώντας αρκετά πιστά τόσο την επιτάχυνση όσο και την επιβράδυνση, ενώ επιτυγχάνει πολύ χαμηλό σφάλμα μόνιμης κατάστασης όπως βλέπουμε στο δεύτερο διάγραμμα. Η υπερύψωση είναι ήδη αρκετά χαμηλή, στο 0.769%, αλλά θα προσπαθήσουμε να τη βελτιώσουμε περεταίρω.

Ρυθμίζοντας το κέρδος εξόδου K και τα κέρδη K_e και α σε διάφορες τιμές, δεν παρατηρήθηκε κάποια σημαντική αλλαγή στην μορφή της απόκρισης για αυτή τη διέγερση, ούτε στο ποσοστό υπερύψωσης.

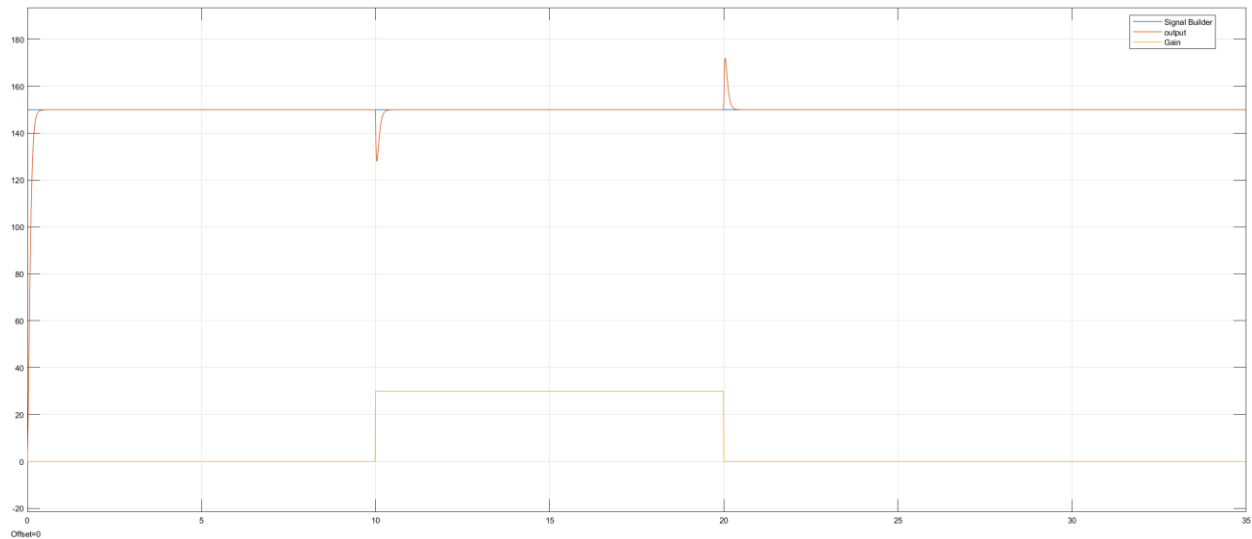
Επομένως, κρίνεται σκόπιμο ο ελεγκτής να παραμείνει ρυθμισμένος ως έχει, μιας και η υπερύψωση είναι ήδη σχεδόν μηδενική.

Σενάριο 3

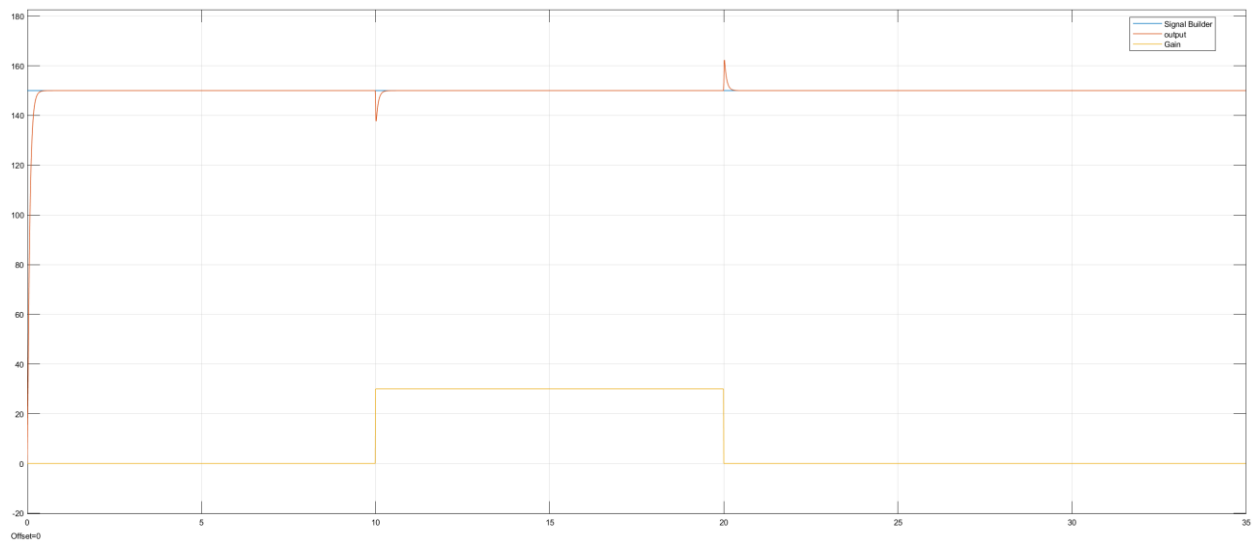
Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στο Simulink για την απόρριψη των διαταραχών είναι το εξής:



Με τον ελεγκτή στη ρύθμιση που πήρε στα προηγούμενα σενάρια, η γραφική παράσταση είναι αυτή:



Η βύθιση φτάνει στα 128 rad/s, ενώ η υπερύψωση στα 171 rad/s. Θα θέλαμε να το βελτιώσουμε λίγο αυτό, οπότε ρυθμίζοντας το κέρδος K από 25 σε 60, έχουμε την εξής γραφική παράσταση:



Η βύθιση τώρα φτάνει στα 138 rad/s, ενώ η υπερύψωση στα 161 rad/s, που κρίνεται ικανοποιητικό. Επιπλέον, βελτιώθηκε ελάχιστα και η προδιαγραφή του χρόνου ανόδου.

Σε κάθε περίπτωση, βλέπουμε πως οι στροφές παρουσιάζουν μια μικρή βύθιση ή υπερύψωση κατά τις απότομες αλλαγές της διαταραχής, και στη συνέχεια επανέρχονται στην κανονική τιμή λειτουργίας. Επομένως, το σύστημα κλειστού βρόχου απορροφά επιτυχώς τις διαταραχές και αναπροσαρμόζει τη λειτουργία του για τη διατήρηση σταθερής ταχύτητας.