

Report

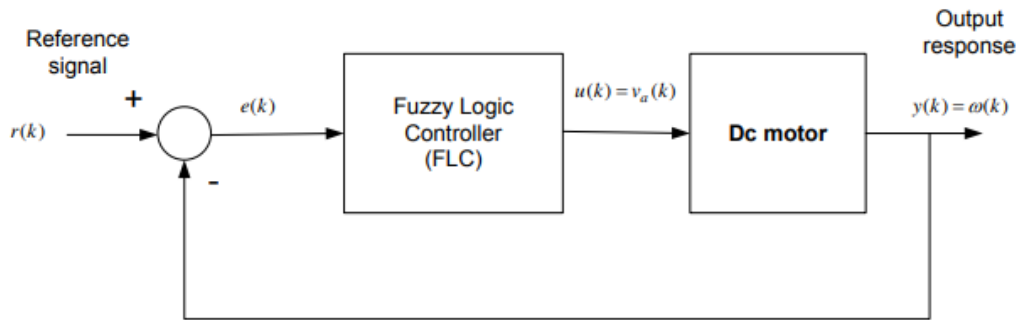
DC-MOTOR-FLC 04

ΟΝ/ΕΠ : ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΙΣΤΑΤΙΑΔΗΣ

AEM : 9175

Email : nikoista@ece.auth.gr

ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ



Σχ.1

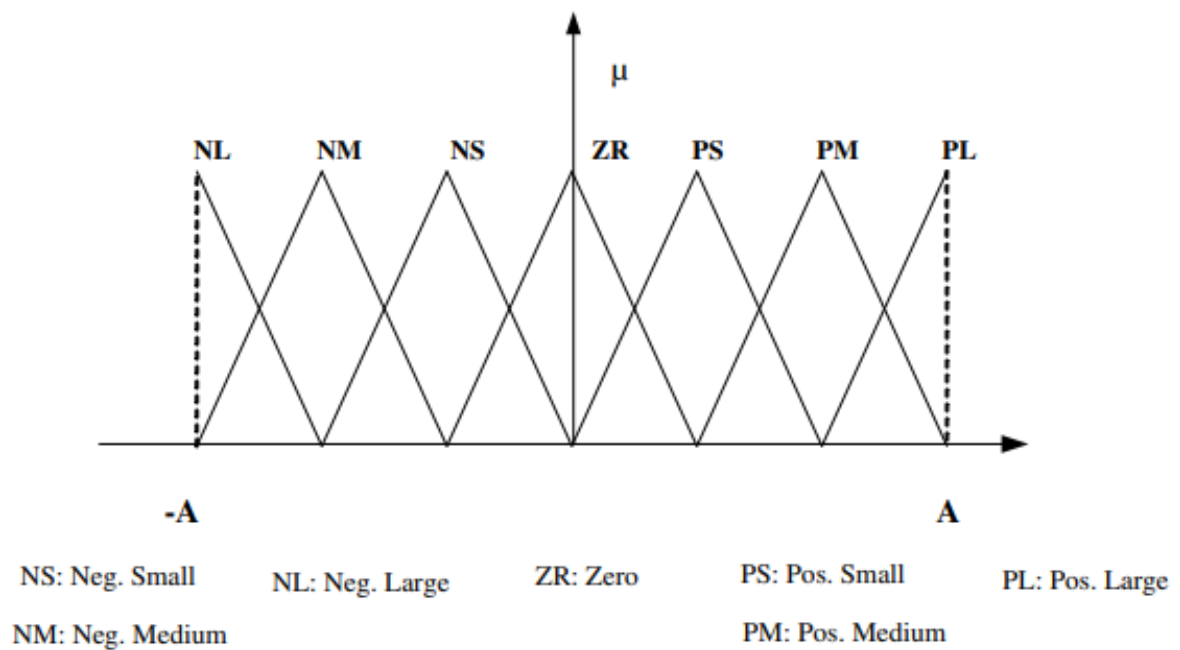
Θεωρούμε το σύστημα κλειστού βρόχου του Σχ.1 .

- $r(k)$ είναι το σήμα αναφοράς (Reference signal)
- $y(k)$ είναι η έξοδος του συστήματος
- $e(k)$ είναι το σφάλμα του σήματος αναφοράς σε σχέση με την έξοδο του συστήματος
- $e(k) = r(k) - y(k)$
- $u(k)$ είναι ο νόμος ελέγχου (έξοδος ελεγκτή)

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

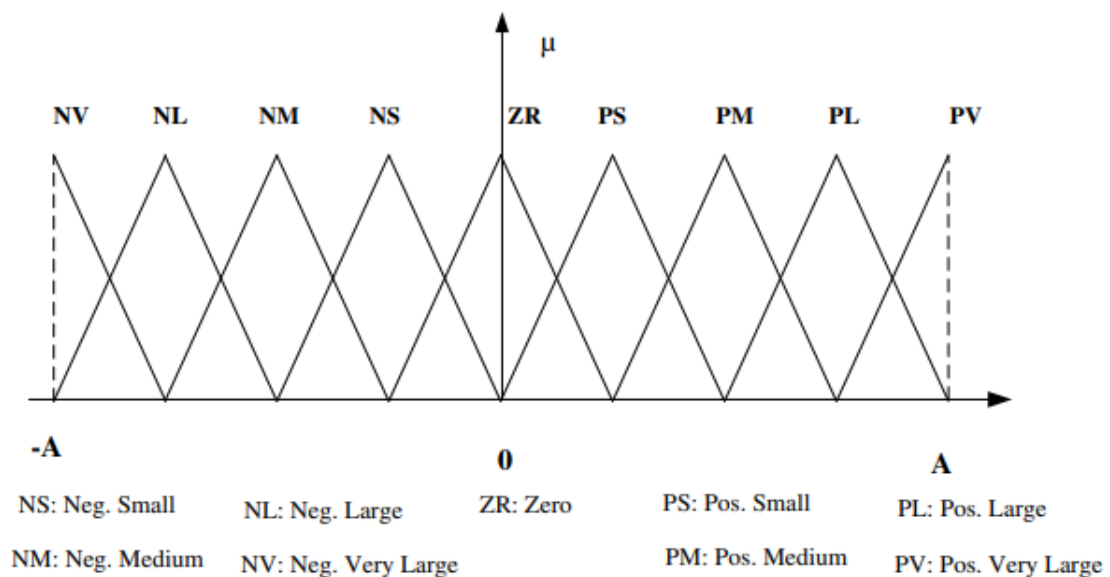
Οι προδιαγραφές του συστήματος ελέγχου είναι :

- 1) Απόρριψη διαταραχών. Για κυκλική συχνότητα διαταραχής μικρότερη από 1(r/s) να υπάρχει κέρδος διαταραχής το πολύ 20 dB ,καθώς και αν υπάρξει μεταβολή της TL η ωδ να μεταβληθεί παροδικά και μετά να επιστρέψει στην τιμή που είχε πριν από την διαταραχή.
- 2) Υπερύψωση (M_p) το πολύ 5% για βηματική είσοδο $u(t)$.
- 3) Μηδενικό σφάλμα θέσης ($e_x = 0$).
- 4) Χρόνος ανόδου t_r το πολύ 160 msec.
- 5) $V_a(t)$ το πολύ 200V για κάθε $t > 0$.



Σχ. 2(β)

Τέλος έχουμε τις λεκτικές μεταβλητές της μεταβολής του σφάλματος \dot{E} που περιγράφονται από εννιά λεκτικές τιμές όπως φαίνεται στο Σχ.2(α)



Σχ.2 (α)

Θεωρούμε ότι η μέγιστη γωνιακή ταχύτητα του δρομέα που μας ενδιαφέρει είναι $\omega_{\max} = 150$ (r/s) . Επομένως το σήμα αναφοράς r μπορεί να κινείται οπουδήποτε στο διάστημα $[0,150]$. Ύστερα από όλα αυτά πρέπει να καθοριστεί το πεδίο ορισμού της μεταβλητής $e(k)$ καθώς το πεδίο ορισμού της μεταβλητής $\Delta e(k)$ θεωρούμε ότι είναι ίσο με $[-50, 50]$.

Τα χαρακτηριστικά του ασαφούς ελεγκτή είναι τα παρακάτω :

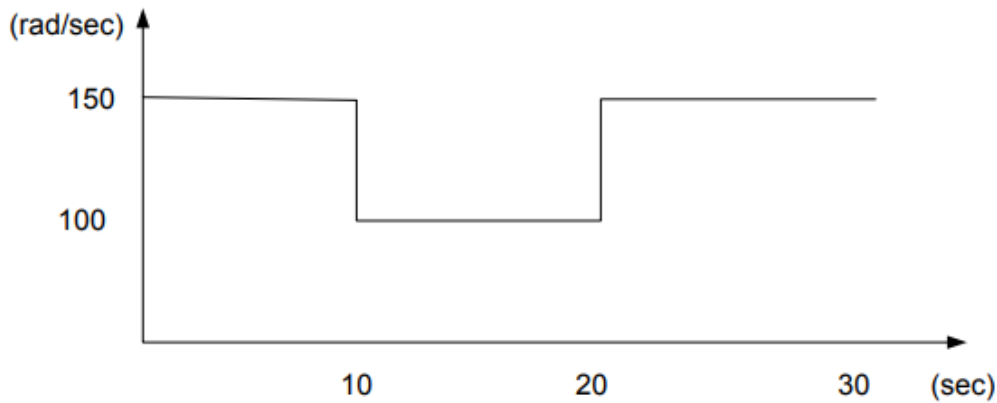
- Ασαφοποιητής Singleton.
- Το συνδετικό AND υλοποιείται με τον τελεστή \min .
- Η συνάρτηση συμπερασμού υλοποιείται με τον κανόνα Mamdani.
- Το συνδετικό ALSO υλοποιείται με τον τελεστή \max .
- Ο από-ασαφοποιητής υλοποιείται με την τεχνική COA.

ΖΗΤΟΥΜΕΝΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- Αρχικά να γίνει κλιμακοποίηση του σφάλματος και της μεταβολής του σφάλματος έτσι ώστε τα κανονικοποιημένα μεγέθη να μεταβάλλονται στο διάστημα $[-1,1]$.
- Να διαμορφωθεί η βάση κανόνων του ασαφούς ελεγκτή , με βάση τους μετα-κανόνες σωστής λειτουργίας του συστήματος κλειστού βρόχου.
- Να γραφτεί πρόγραμμα σε περιβάλλον matlab που υλοποιεί το σύστημα κλειστού βρόχου ασαφής ελεγκτής - κινητήρας.

ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Στην αρχική φάση θεωρούμε ότι $TL = 0$ και ότι το σήμα αναφοράς περιγράφεται στο Σχ.3



Σχ.3

1) ΕΡΩΤΗΜΑ

Σύμφωνα με το παράδειγμα 9.9.1 και τις σημειώσεις του μαθήματος θα ρυθμίσουμε τα κέρδη κλιμακοποίησης ώστε η απόκριση κλειστού βρόχου να πληροί τις προδιαγραφές που τέθηκαν προηγούμενα. Σαν αρχικές τιμές κερδών θεωρούμε αυτές που καθορίστηκαν κατά την εξέταση του συστήματος στο Κλασικό αυτόματο Έλεγχο.

Γραμμικός Ελεγκτής PI

Για $TL = 0$ η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος είναι :

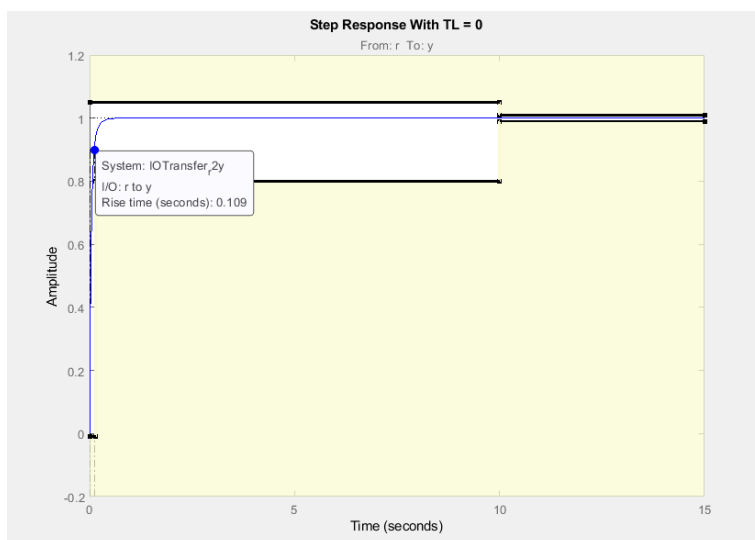
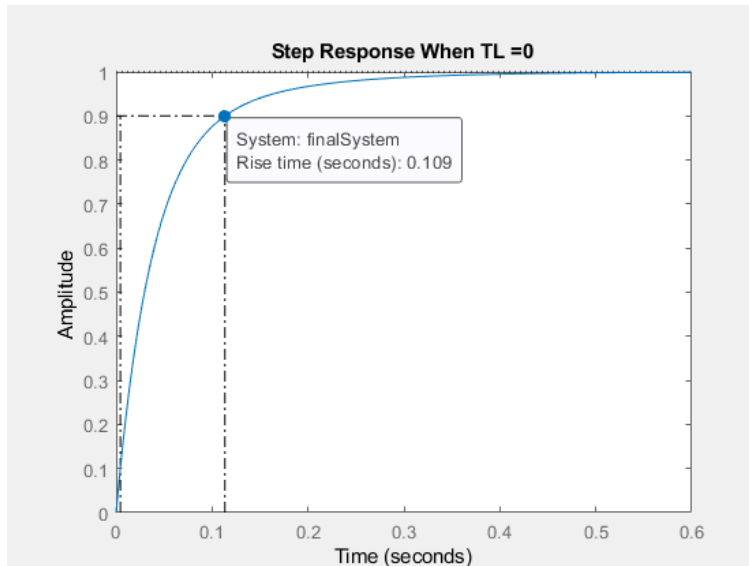
$$\Omega(s) = (18.69 \cdot V_a(s)) / (s + 12.064)$$

Λαμβάνοντας υπόψη της προδιαγραφές του συστήματος και ύστερα από πράξεις βρίσκουμε ότι τα κέρδη του ελεγκτή που ικανοποιούν τις προδιαγραφές είναι :

- $K_p = 1.3$
- $\mu = K_I / K_p = 10$
- $K_I = 13$
- $T_i = K_p / K_I = 0.1 \text{ sec}$

Από την μελέτη συμπεριφοράς του συστήματος αυτού δεν χρειάστηκε η χρησιμοποίηση του διαφορικού όρου, γεγονός που συμβαίνει στα συστήματα πρώτης τάξης. Οπότε το σύστημα αυτό θα ελεγχθεί μόνο με ασαφή PI έλεγχο.

Αν εκτελέσουμε το αρχείο Sxediash_FLC_4.m θα έχουμε τις παρακάτω plots:



2) ΕΡΩΤΗΜΑ

Να δείξετε ποια είναι η επίδραση στην έξοδο του συστήματος η οποία προκύπτει από την ρύθμιση των κερδών του ελεγκτή FZ-PI (K_e , a και K).

Βάση Κανόνων

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

Ελεγκτής FZ-PI

Τα αρχικά κέρδη κλιμακοποίησης του FZ-PI ελεγκτή:

- $A = T_i = 0.1$
- $K = K_p / F\{aK_e\} = 1.3 / F\{0.1 * 1\} = 1.3 / (0.1 * F\{1\}) = > K = 13$

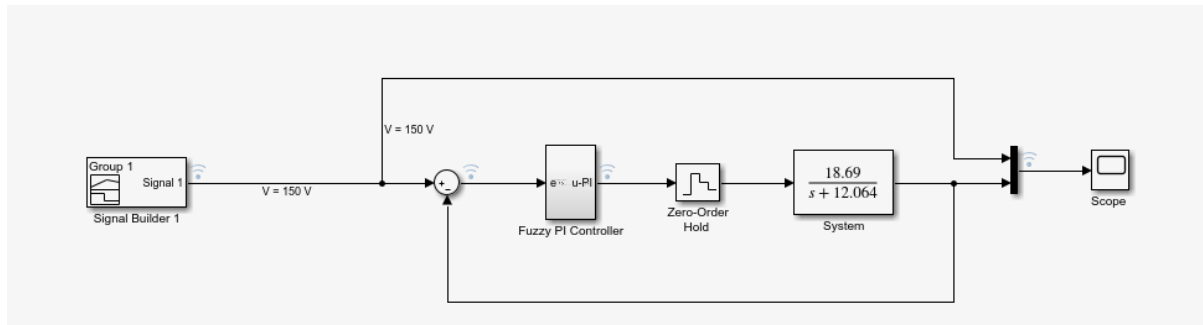
Συγκρίνοντας όμως την απόκριση του FZ-PI με τις αρχικές τιμές των κερδών κλιμακοποίησης με την απόκριση του γραμμικού ελεγκτή, παρατηρούμε ότι είναι πιο αργή και για αυτό χρειάζεται επιπλέον ρύθμιση.

Εφαρμόζοντας την συγκριτική μέθοδο ρύθμισης των κερδών έχουμε :

- Ρυθμίζουμε τα K_e/K για γρηγορότερη απόκριση, έτσι έχουμε $K_e = 1$ και $K = 28$
- Ρυθμίζουμε το a για ακόμα πιο γρήγορη απόκριση και παίρνουμε σαν τιμή $a = 0.05$

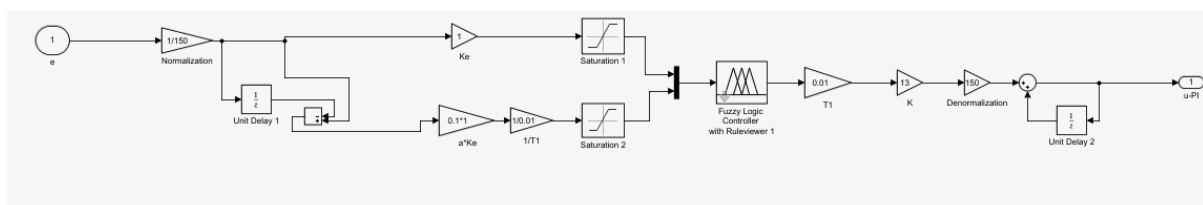
Στην παραπάνω εφαρμογή επιλέχθηκε χρόνος δειγματοληψίας $T = 0.01$ sec.

Δομή Συστήματος με Ελεγκτή FZ-PI

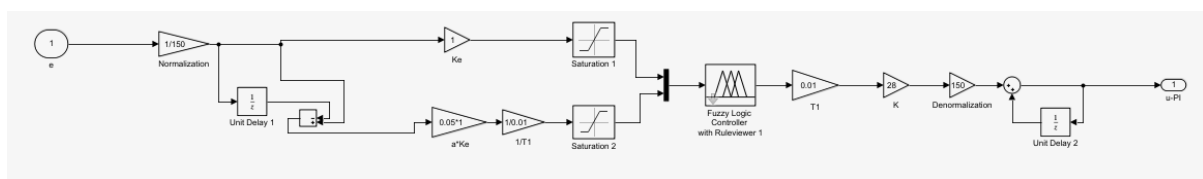


Δομή Ελεγκτής FZ-PI

- Αρχικός Ελεγκτής



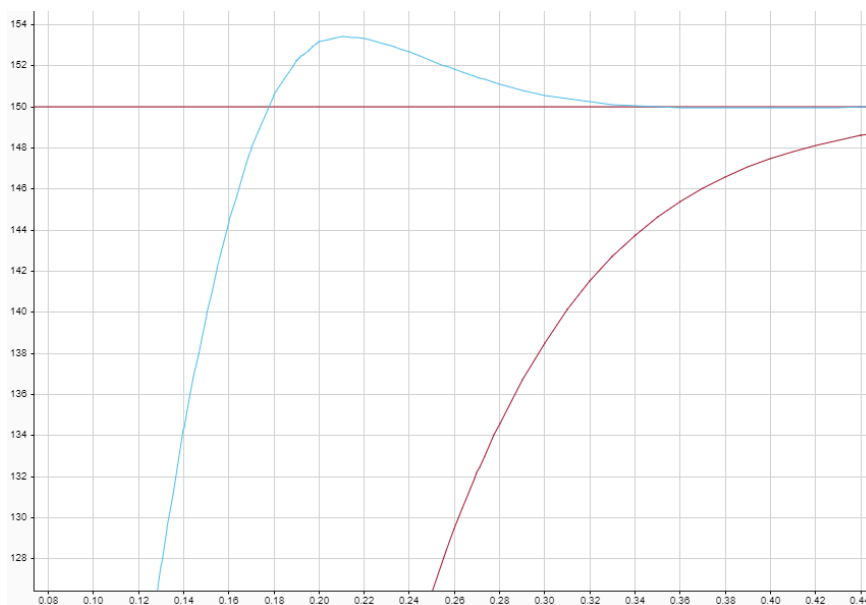
- Βελτιωμένος Τελικός Ελεγκτής



Με την παραπάνω σχεδίαση πετυχαίνουμε κλιμακοποίηση του σφάλματος και της μεταβολής του σφάλματος με τέτοιο τρόπο ώστε τα κανονικοποιημένα μεγέθη να μεταβάλλονται στο διάστημα $[-1,1]$.

3) ΕΡΩΤΗΜΑ

Να δειχθεί η απόκριση του συστήματος και η διέγερση του συστήματος.



Τα κέρδη του αρχικού ελεγκτή δεν εφάρμοζαν τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί. Συνεπώς δημιουργήσαμε έναν καλύτερο FLC για την τήρηση των προδιαγραφών όπως φαίνεται και στο γράφημα , Υπερύψωση (M_p) το πολύ 5% για βηματική είσοδο $u(t)$ και Χρόνος ανόδου t_r το πολύ 0.16 sec. Τα βελτιωμένα κέρδη του FLC είναι :

- $K_e = 1$
- $\alpha = 0.05$
- $K = 28$

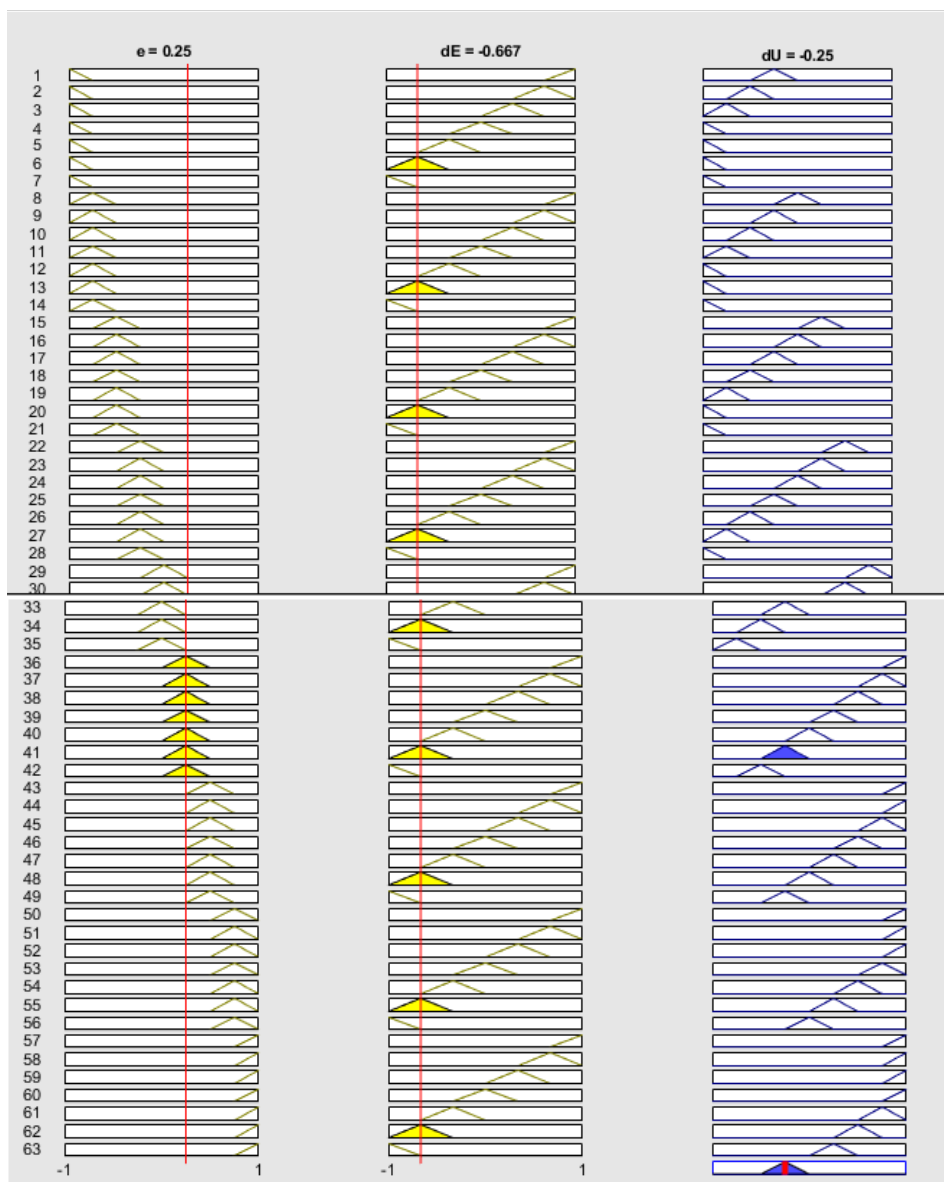
Μετά από πολλές δοκιμές που οδήγησαν σε λάθος αποτελέσματα μπόρεσα να καταλάβω τον τρόπο με τον οποίο επιδρούν τα κέρδη του FLC στην απόκριση

τους συστήματος . Το κέρδος K_e επηρεάζει τη μεταβολή του σφάλματος στην έξοδο ενώ το κέρδος K ρυθμίζει την απόκριση του συστήματος.

4) ΕΡΩΤΗΜΑ

Από την βάση που έχει διαμορφωθεί , να θεωρήσετε μια διέγερση όπου το e is PS και ΔE is NM . Να δείξετε γραφικά ποιοι κανόνες διεγείρονται και ποια επί μέρους συμπεράσματα προκύπτουν . Ποιο είναι τελικά το συνολικό συμπέρασμα που προκύπτει με βάση την μέθοδο από-ασαφοποίησης που έχουμε. Να σχολιάσετε την απόκριση του ελεγκτή για την περίπτωση αυτή.

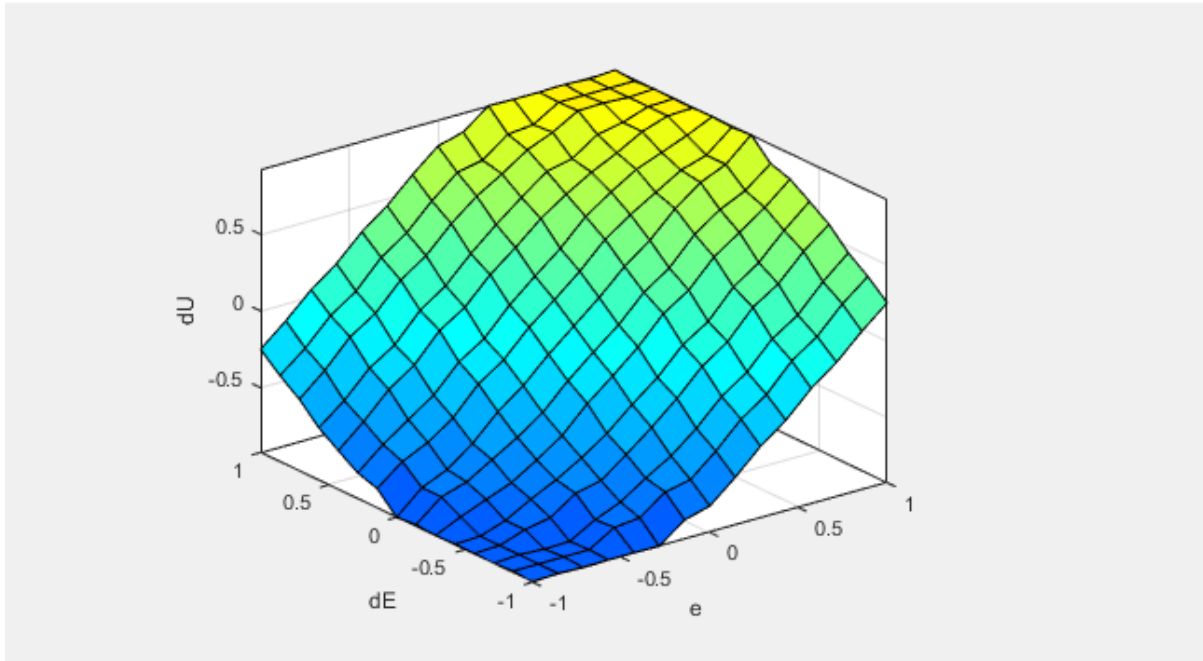
41. If (e is PS) and (dE is NM) then (dU is NS) (1)



Στο παραπάνω γράφημα φαίνεται ο μοναδικός κανόνας που ενεργοποιείται, καθώς $e = 0.25$, $\Delta E = -0.667$, $\Delta U = -0.25$.

5) ΕΡΩΤΗΜΑ

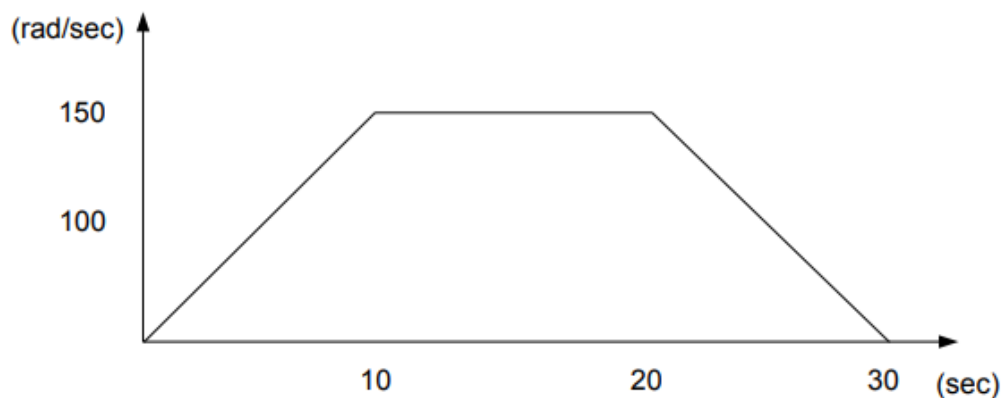
Να δημιουργήσετε την τρισδιάστατη επιφάνεια της εξόδου του ασαφούς ελεγκτή $\Delta u(k)$ σε σχέση με τις εισόδους του $e(k)$ και $\Delta e(k)$



Μετά από την ρύθμιση της βάσης κανόνων στον FIS Editor επιλέγουμε να εμφανίσουμε την τρισδιάστατη επιφάνεια της εξόδου του ασαφούς ελεγκτή $\Delta U(k)$ σε σχέση με τις εισόδους $e(k)$ και $\Delta E(k)$. Είναι εμφανές πως ο άξονας z αναφέρεται στο $\Delta U(\Delta U)$ και βλέπουμε πως όταν το e , ΔE βρίσκονται στις τιμές $[1,1]$ δηλαδή στα σημεία PV,PL πάνω δεξιά του πίνακα της βάσης κανόνων τότε το $\Delta U = 1$ δηλαδή PV . Αντίθετα όταν το e , ΔE βρίσκονται στις τιμές $[-1,-1]$ δηλαδή στα σημεία NV,NL κάτω αριστερά του πίνακα της βάσης κανόνων τότε το $\Delta U = -1$ δηλαδή NV. Τέλος βλέπουμε την κλιμακοποίηση βάση του χρώματος , μπλε Negative και κίτρινο στα Positive, καθώς και το μπλέξιμο των χρωμάτων στα ZR δηλαδή γαλάζιο.

ΣΕΝΑΡΙΟ 2

Στην θεωρώντας πάλι ότι $TL = 0$ εξετάζουμε τώρα το προφίλ κίνησης που φαίνεται στο Σχ.4



Σχ.4

Στην περίπτωση αυτή ο ασαφής ελεγκτής χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ενός συρμού μεταφοράς (subway) κινούμενο με ηλεκτροκινητήρα, η παραπάνω μορφή αντιστοιχεί στην επιτάχυνση του συρμού από στάση μέχρι την μέγιστη επιθυμητή τιμή των στροφών (ταχύτητα συρμού) και στην συνέχεια την επιβράδυνση του συρμού μέχρι την στάση.

1) ΕΡΩΤΗΜΑ

Να ρυθμίσετε τα κέρδη κλιμακοποίησης ώστε η απόκριση κλειστού βρόχου να έχει πολύ μικρό σφάλμα μόνιμης κατάστασης, να παρακολουθεί πιστά την μορφή επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, και κυρίως υπερύψωση σχεδόν μηδενική.

Θα δημιουργήσουμε 3 ελεγκτές που θα λειτουργούν παράλληλα για να βρούμε ποια κέρδη είναι κατάλληλα για τις προδιαγραφές του ερωτήματος.

1) $\alpha=0.1$, $K_e = 1.5$, $K = 20$

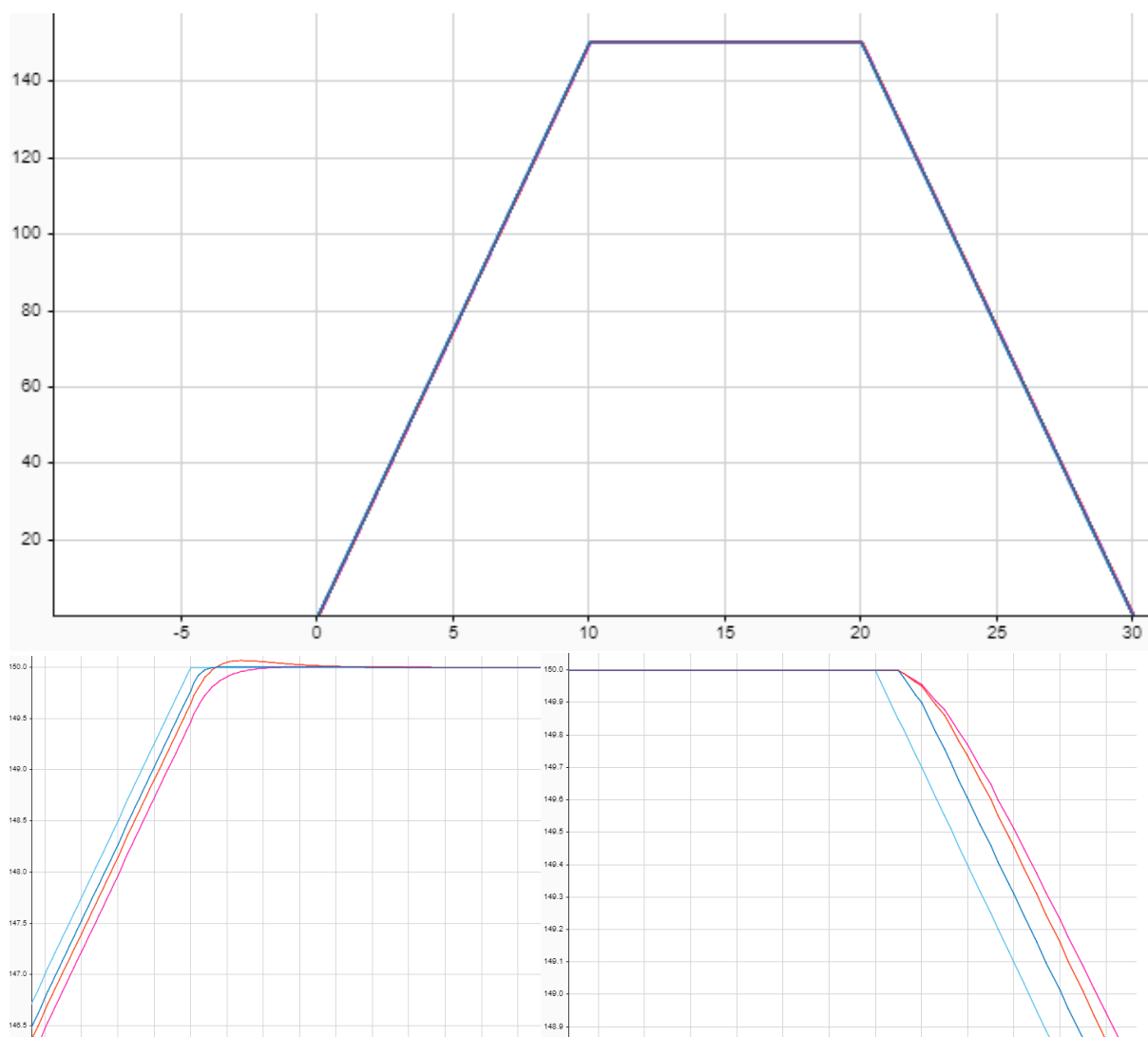
2) $\alpha=0.9$, $K_e = 1.5$, $K=18$

3) $\alpha=0.06$, $K_e = 1.5$, $K=15$

Όπως θα δούμε και στην συνέχεια η καλύτερη κλιμακοποίηση των κερδών είναι η 1) διότι έχει πολύ μικρό σφάλμα μόνιμης κατάστασης σε σύγκριση με τις άλλες δυο αλλά και παρακολουθεί πιστά την μορφή επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, και κυρίως υπερύψωση σχεδόν μηδενική.

2) ΕΡΩΤΗΜΑ

Να γίνει γραφική παράσταση της απόκρισης των στροφών του συστήματος κλειστού βρόχου σε σχέση με το προφίλ κίνησης που προδιαγράφεται.



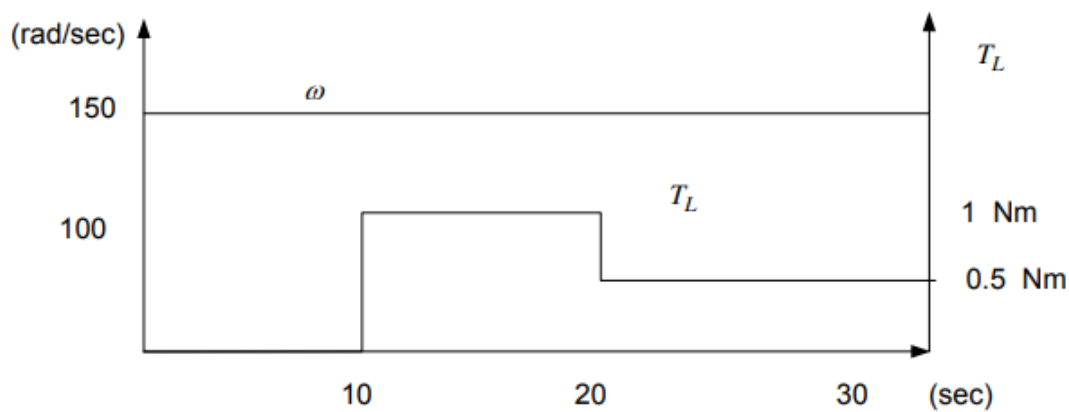
Όπως βλέπουμε στα παραπάνω γραφήματα, γραφήματα ο ελεγκτής 1) (μπλε)

Είναι ο καλύτερος σε σύγκριση με τους άλλους δύο. Επίσης ο ελεγκτής 2) (πορτοκαλί) οδηγεί σε υπερύψωση που σημαίνει ότι είναι μη κατάλληλος για το σύστημα μας. Ο 3) ελεγκτής είναι κατώτερος του 1) αλλά μπορεί να

εφαρμόσεται. Τέλος η απαίτηση για μηδενική υπερύψωση υπαγορεύεται από το γεγονός ότι η ύπαρξη της κατά την επιτάχυνση, δημιουργεί ένα δυσάρεστο συναίσθημα στους επιβάτες. Βλέπουμε πως ο στόχος αυτός εκπληρώνεται με σωστή ρύθμιση των κερδών κλιμακοποίησης.

ΣΕΝΑΡΙΟ 3

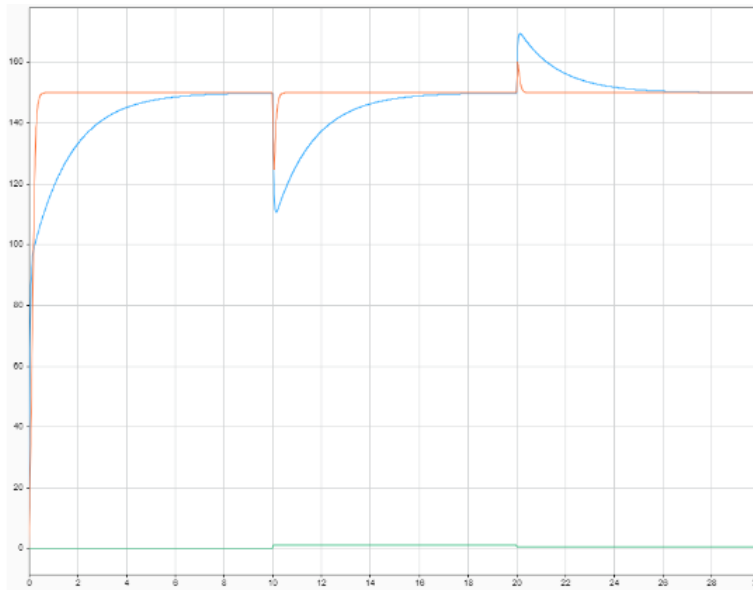
Υποθέτουμε ότι το σύστημα δουλεύει στις ονομαστικές στροφές (150 r/s) και ότι για κάποιο χρονικό διάστημα εμφανίζεται μια διαταραχή, όπως φαίνεται στο Σχ.5



Σχ.5

1) ΕΡΩΤΗΜΑ

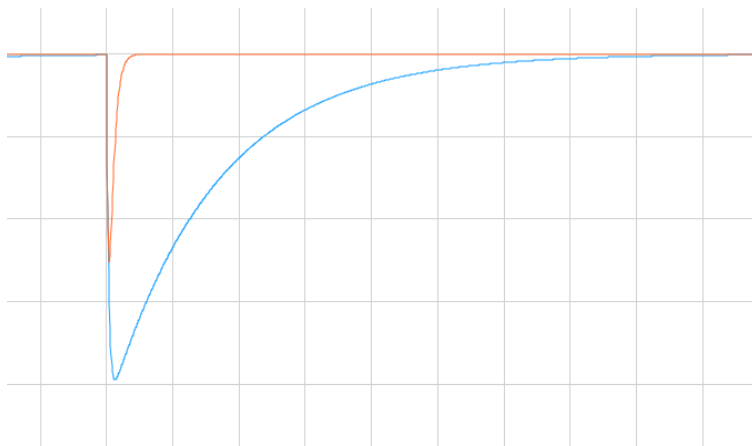
Για τον ασαφή ελεγκτή που σχεδιάστηκε, να γίνει γραφική παράσταση της απόκρισης των στροφών του συστήματος κλειστού βρόχου και της διέγερσης του συστήματος σε σχέση με το προφίλ κίνησης και την ύπαρξη της διαταραχής.



2) ΕΡΩΤΗΜΑ

Να δείξετε ότι οι στροφές με την εμφάνιση της διαταραχής παρουσιάζουν μια μικρή βύθιση και στην συνέχεια επανέρχονται στην κανονική τιμή λειτουργίας.

Με άλλα λόγια , το σύστημα κλειστού βρόχου απορροφά τις διαταραχές και αναπροσαρμόζει την λειτουργία του έτσι ώστε η ταχύτητα να παραμένει σταθερή.



Όταν εμφανίζεται η διαταραχή παρουσιάζεται μια μικρή βύθιση στο γραφήμα (πορτοκαλί) του FLC που σχεδιάσαμε αλλά είναι φανερό πως ο ελεγκτής επανέρχεται στην κανονική λειτουργία σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα σε σύγκριση με τον Κλασσικό PI ελεγκτή που χρειάζεται 7-8 δευτερόλεπτα για να επανέλθει στην κανονική του τιμή. Συνεπώς το σύστημα κλειστού βρόχου με

τον FLC απορροφά τις διαταραχές και αναπροσαρμόζει την λειτουργία του έτσι ώστε η ταχύτητα να παραμένει σταθερή.

Τα αρχεία εκτελέστηκαν με την σειρά:

1) **Sxediash_FLC_4.m** (PI_CLASSIC_CONTROLLER.slx)

Και αφού δημιουργήσουμε την ασαφή βάση κανόνων
FLC_FUZZY_RULES_4.fis

2) **FLC_FUZZY_1.slx**

3) **FLC_FUZZY_2.slx**

4) **FLC_FUZZY_3.slx**