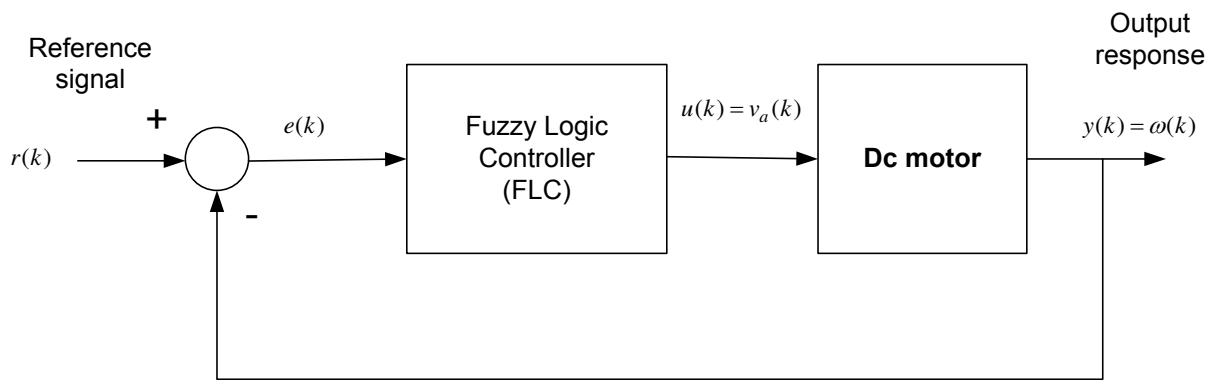


## Εργασία στα Ασαφή Συστήματα

### Έλεγχος κινητήρα με Ασαφείς Ελεγκτές

Θεωρούμε το σύστημα κλειστού βρόχου του Σχ.1 . Στην εργασία αυτή θεωρούμε σαν ελεγχόμενο σύστημα ένα dc κινητήρα με ανεξάρτητη διέγερση. Το μοντέλο του κινητήρα περιγράφεται αναλυτικά στο βιβλίο του κ. Πετρίδη, «Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, Τόμος Α΄» και εξετάστηκε στα πλαίσια του μαθήματος Κλασικού Αυτομάτου Ελέγχου. Το ίδιο σύστημα εξετάζεται και στα πλαίσια του μαθήματος των Ασαφών Συστημάτων και συγκεκριμένα στο Παράδειγμα 9.9.1.



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 του ελεγκτή)

Οι προδιαγραφές του συστήματος ελέγχου είναι

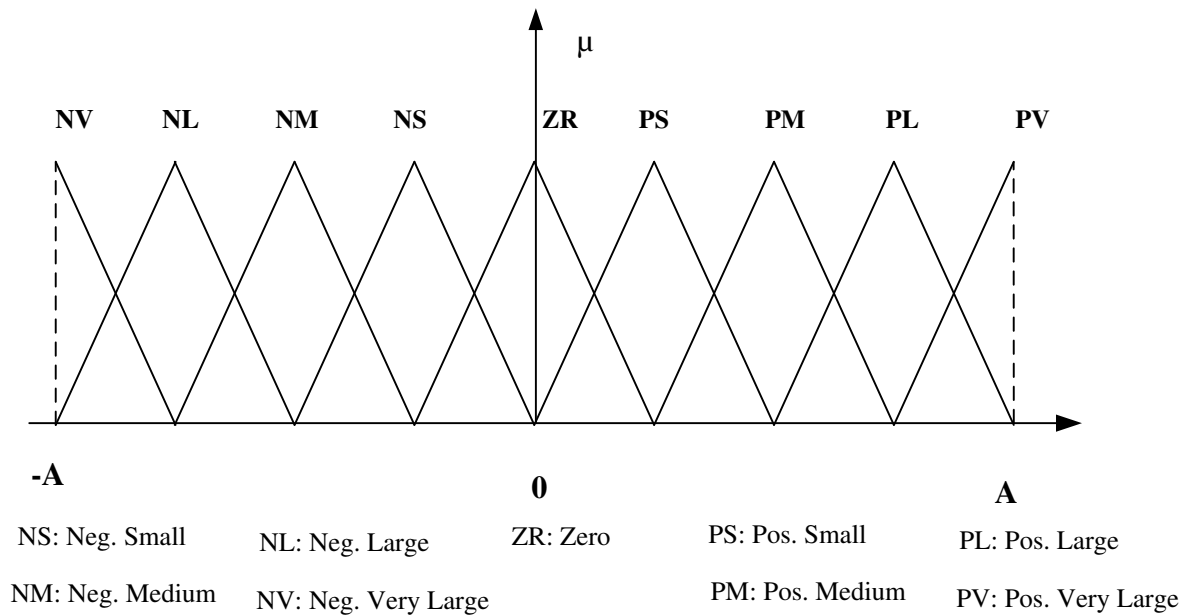
1. Απόρριψη διαταραχών. Για κυκλική συχνότητα διαταραχής μικρότερη από 1 rad/sec να υπάρχει κέρδος διαταραχής το πολύ 20 dB. Επιπλέον, θέλουμε αν υπάρξει μεταβολή της  $T_L$ , η  $\omega_s$  να μεταβληθεί παροδικά και μετά να επιστρέψει (με καλή προσέγγιση) στην τιμή που είχε πριν από τη διαταραχή.
2. Το πολύ 5% υπερύψωση για βηματική είσοδο.

3. Μηδενικό σφάλμα θέσης.

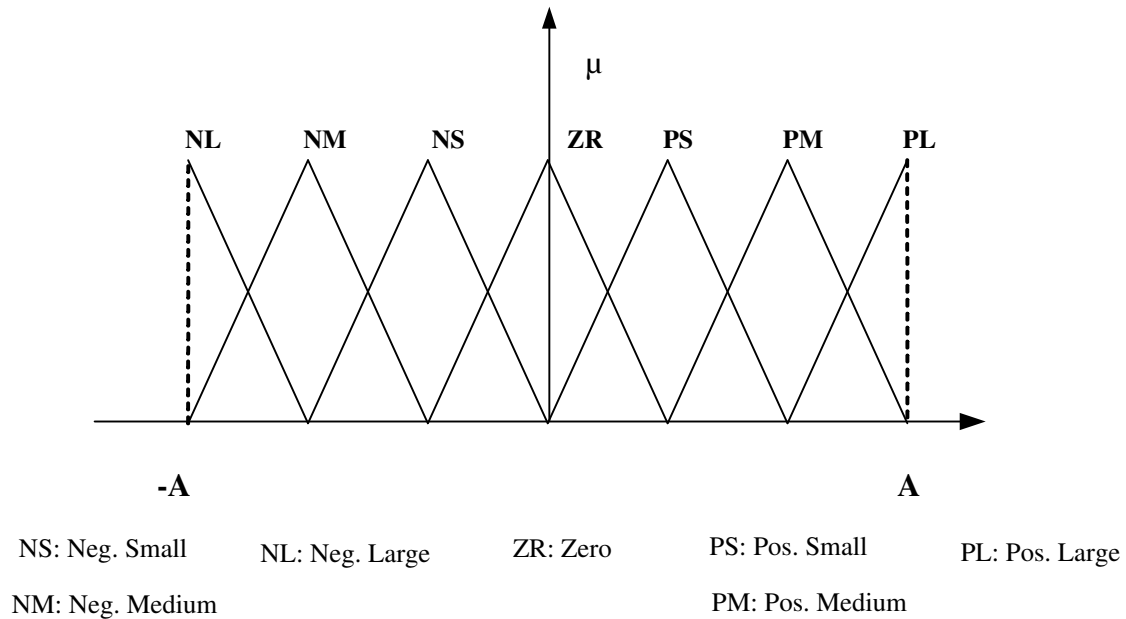
4. Χρόνος ανόδου το πολύ 160 msec.

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

- Προκειμένου να έχουμε μηδενικό σφάλμα μόνιμης κατάστασης για τις στροφές, επιλέγουμε ένα ασαφή ελεγκτή τύπου FZ-PI.
- Η υλοποίηση του συστήματος κλειστού βρόχου θα γίνει σε διακριτό χρόνο με διάστημα δειγματοληψίας  $T = 0.01 \text{ sec}$ .
- Η λεκτικές μεταβλητές του σφάλματος  $E$  περιγράφονται από επτά λεκτικές τιμές όπως φαίνεται στο Σχ.2 (β).
- Η λεκτικές μεταβλητές της μεταβολής του σφάλματος  $\dot{E}$  περιγράφονται από εννιά λεκτικές τιμές όπως φαίνεται στο Σχ.2(α).
- Η λεκτικές μεταβλητές της μεταβολής του σήματος ελέγχου  $\dot{U}$  περιγράφονται από εννιά λεκτικές τιμές όπως φαίνεται στο Σχ.2(α).



Σχ.2 (α)



Σχ. 2(β)

- Θεωρούμε ότι η μέγιστη γωνιακή ταχύτητα του δρομέα που μας ενδιαφέρει είναι  $\omega_{\max} = 150 \text{ (rad/sec)}$ . Επομένως, το σήμα αναφοράς  $r$  μπορεί να κινείται οπουδήποτε στο διάστημα  $[0, 150]$ .
- Να καθορισθεί το πεδίο ορισμού της μεταβλητής  $e(k)$ .
- Ειδικότερα, για το πεδίο ορισμού της μεταβλητής  $\Delta e(k)$  να ληφθεί 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 Center of Sums, COS.

### Ζητούμενα της εργασίας

- Αρχικά να γίνει κλιμακοποίηση του σφάλματος και της μεταβολής του σφάλματος, έτσι ώστε τα κανονικοποιημένα μεγέθη να μεταβάλλονται στο διάστημα  $[-1, 1]$ .

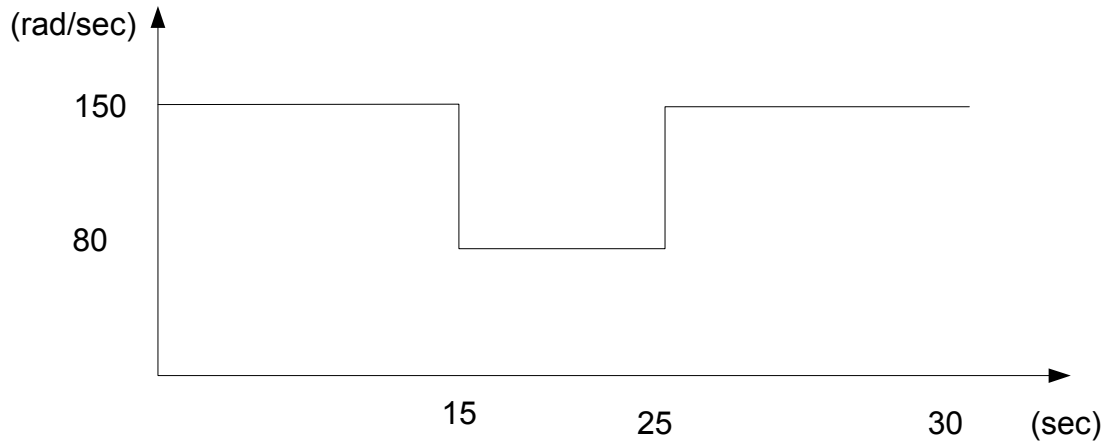
- Να διαμορφωθεί η βάση κανόνων του ασαφούς ελεγκτή, με βάση τους μετα-κανόνες σωστής λειτουργίας του συστήματος κλειστού βρόχου. Στόχος του ελεγκτή είναι να διεγείρει το σύστημα με τέτοιο τρόπο ώστε η έξοδος  $\omega$  να ακολουθεί πιστά το σήμα αναφοράς, και να πληρούνται οι προδιαγραφές που έχουν τεθεί.
- Να γραφεί ένα πρόγραμμα σε περιβάλλον matlab που να υλοποιεί το σύστημα κλειστού βρόχου ασαφής ελεγκτής – κινητήρας.
  - ✓ Για την δημιουργία του ελεγκτή να χρησιμοποιηθούν οι εντολές του Fuzzy toolbox, newfis, addmf, addvar, addrule, writefis, rule, readfis και evalfis.
  - ✓ Σαν εναλλακτική λύση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το περιβάλλον του Fuzzy editor. Το γραφικό αυτό περιβάλλον αυτό μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε και να αποθηκεύσουμε ένα ασαφές μοντέλο (name.fis object).

## Σενάριο 1

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

- Να ρυθμίσετε τα κέρδη κλιμακοποίησης ώστε η απόκριση κλειστού βρόχου να πληροί τις προδιαγραφές που τέθηκαν προηγούμενα. Σαν αρχικές τιμές των κερδών να θεωρήσετε αυτές που καθορίστηκαν κατά την εξέταση του συστήματος στο Κλασικό αυτόματο Έλεγχο.
- 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  $K_I$ ).
- Να δειχθεί η απόκριση του συστήματος και η διέγερση του συστήματος.
- Από την βάση που έχει διαμορφωθεί, να θεωρήσετε μια διέγερση όπου  $e$  is  $PM$  και  $\Delta e$  is  $NS$ . 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 σας αντιστοιχεί. Να σχολιάσετε την απόκριση του ελεγκτή για την περίπτωση αυτή.
- Να δημιουργήσετε την τρισδιάστατη επιφάνεια της εξόδου του ασαφούς ελεγκτή  $\Delta u(k)$  σε σχέση με τις εισόδους του  $e(k)$  και  $\Delta e(k)$  (χρησιμοποιήστε την εντολή gensurf του matlab ή

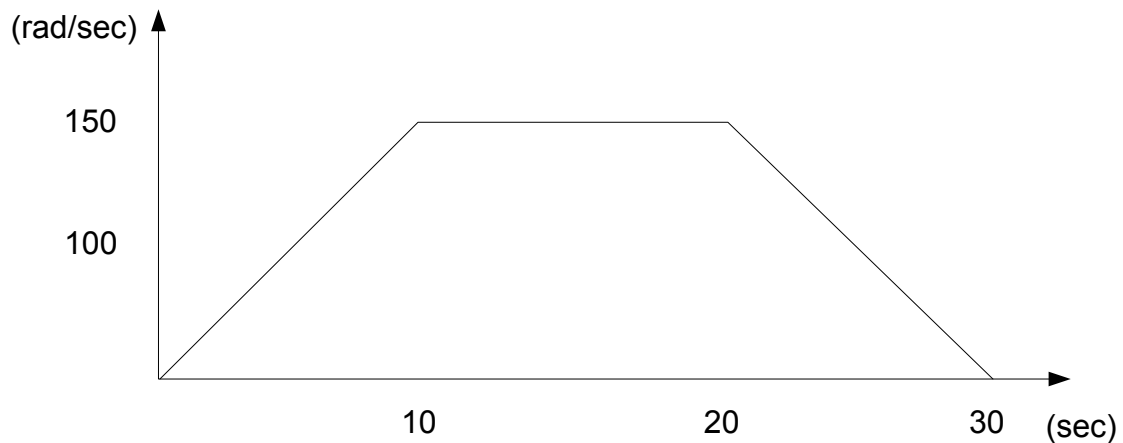
δημιουργείστε την απεικόνιση με δικό σας πρόγραμμα). Να ερμηνεύσετε το σχήμα αυτό με βάση την μορφή των κανόνων του ελεγκτή.



Σχ.3

## Σενάριο 2

Θεωρώντας και πάλι  $T_L = 0$ , εξετάζουμε τώρα το προφίλ κίνησης που φαίνεται στο Σχ.4.



Σχ.4

Αν θεωρήσουμε ότι ο ασαφής ελεγκτής χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ενός συρμού μεταφοράς (subways) κινούμενο με ηλεκτροκινητήρα, το 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.

- 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, υπερένωση σχεδόν μηδενική.

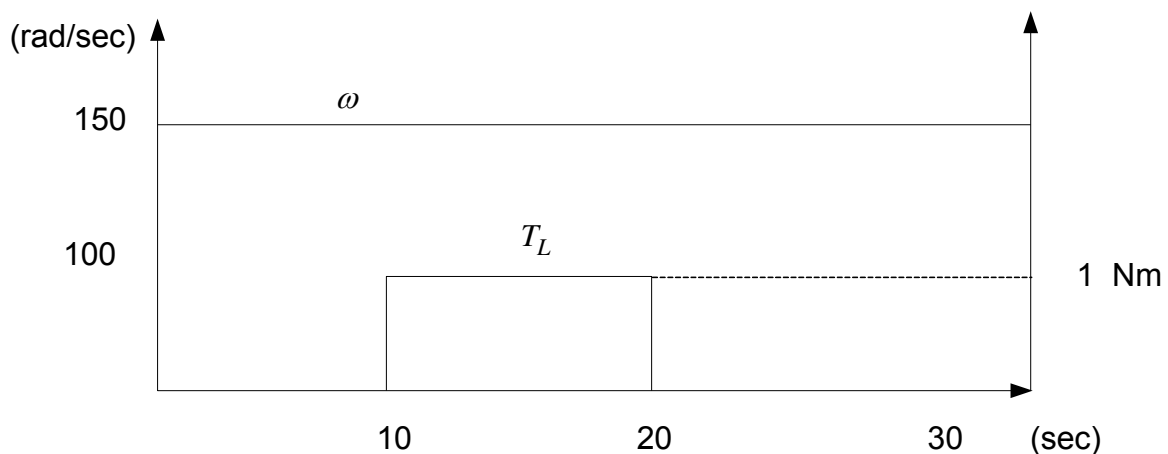
- Να γίνει γραφική παράσταση της απόκρισης των στροφών του συστήματος κλειστού βρόχου σε σχέση με το προφίλ κίνησης που προδιαγράφεται.

Η απαίτηση για μηδενική υπερύψωση υπαγορεύεται από το γεγονός ότι η ύπαρξή της κατά την επιτάχυνση, δημιουργεί ένα δυσάρεστο συναίσθημα στους επιβάτες, ενώ κατά την επιβράδυνση η ταχύτητα δεν μπορεί να είναι μικρότερη από μηδέν.

### Σενάριο 3

Υποθέτουμε ότι το σύστημα δουλεύει στις ονομαστικές στροφές (150 rad/sec) και ότι για κάποιο χρονικό διάστημα εμφανίζεται μια διαταραχή, όπως φαίνεται στο Σχ. 5. (Η εμφάνιση της διαταραχής με την μορφή ροπής αντιστοιχεί στην περίπτωση όπου έχουμε για παράδειγμα ένα ισχυρό ρεύμα ανέμου που διαταράσσει την ομαλή πορεία του συστήματος.)

- 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.
- 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.



Σχ.5

