

9.9.1 Παράδειγμα γραμμικού συστήματος πρώτης τάξης

Το σύστημα που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή της μεθόδου αφορά έναν DC κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης. Στο σύστημα, είσοδοι είναι η τάση τροφοδοσίας V_a και η ροπή φορτίου T_L , και έξοδος η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα ω_δ . Μετά την κατάστρωση των διαφορικών εξισώσεων του συστήματος, την εύρεση του πίνακα μεταφοράς του συστήματος, την προσέγγιση κυρίου πόλου, και με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κινητήρα, η έξοδος του συστήματος δίνεται από την εξίσωση (9-79) (για περισσότερες πληροφορίες για την διαδικασία εύρεσης του πίνακα μεταφοράς και για την διαδικασία ελέγχου του συστήματος δείτε βιβλίο Πετρίδης, Β. «Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, Τόμος Α'», σελ. 247, Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2001):

$$\Omega(s) = \frac{18.69}{s+12.064} V_a(s) - \frac{2.92(s+440)}{s+12.064} T_L(s) \quad (9-79)$$

Η τάση τροφοδοσίας V_a είναι η είσοδος ελέγχου στο σύστημα, ενώ η ροπή του φορτίου είναι ένα είδος διαταραχής. Σκοπός της διαδικασίας ελέγχου του συστήματος είναι η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα ω_δ να διατηρείται σταθερή ή να επηρεάζεται λίγο από τη ροπή φορτίου T_L . Στην ανάλυση γραμμικού ελέγχου του μοντέλου τέθηκαν οι παρακάτω προδιαγραφές σχεδίασης:

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_δ να μεταβληθεί παροδικά και μετά να επιστρέψει (με καλή προσέγγιση) στην τιμή που είχε πριν από τη διαταραχή.
2. Μηδενική υπερύψωση για βηματική είσοδο.
3. Μηδενικό σφάλμα θέσης.
4. Χρόνος ανόδου το πολύ 193 msec.
5. $V_a(t) \leq 350V$ για κάθε $t > 0$.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να υπογραμμισθεί ότι ο συμβατικός ασαφής έλεγχος και η συγκριτική μέθοδος σχεδίασης και ρύθμισης των κερδών που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο αυτό δεν έχουν αναπτυχθεί με σκοπό την απόρριψη διαταραχών αλλά με σκοπό την ικανοποίηση χρονικών χαρακτηριστικών της απόκρισης, όπως ο χρόνος ανόδου, το ποσοστό υπερύψωσης, ο χρόνος αποκατάστασης, το μηδενικό μόνιμο σφάλμα, κ.τ.λ. Όμως, ο ασαφής

έλεγχος δοκιμάστηκε και στην απόρριψη διαταραχών για την ανίχνευση της συμπεριφοράς του και για την πληρότητα του παραδείγματος.

➤ Θεωρώντας $T_L = 0$ έχουμε την συνάρτηση μεταφοράς:

$$\frac{\Omega(s)}{V_a(s)} = \frac{18.69}{s + 12.064} \quad (9-80)$$

Τα κέρδη του γραμμικού ελεγκτή που βρέθηκαν ώστε να ικανοποιούνται οι προδιαγραφές είναι

$K_P = 1.75$ και $K_I = 8.75$ ($T_i = \frac{K_P}{K_I} = 0.2 \text{ sec}$). Από την μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος

αυτού δεν χρειάστηκε η χρησιμοποίηση διαφορικού όρου, γεγονός που συμβαίνει στα συστήματα πρώτης τάξης, όπου P ή PI είναι αρκετός για την ικανοποίηση των προδιαγραφών. Έτσι, το σύστημα αυτό θα ελεγχθεί μόνο με ασαφή PI έλεγχο.

Ελεγκτής FZ – PI:

Επειδή το σήμα αναφοράς είναι 150rad/sec, σε πρώτη φάση το κανονικοποιούμε στο διάστημα [-1,1], διαιρώντας το με 150. Αντικαθιστώντας στις εξισώσεις (9-74) βρίσκουμε τα αρχικά κέρδη κλιμακοποίησης του FZ-PI ελεγκτή:

$$a = T_i \Rightarrow a = 0.2,$$

$$K = \frac{K_P}{F\{aK_e\}} = \frac{1.75}{F\{0.2*1\}} = \frac{1.75}{0.2F\{1\}} \Rightarrow K = \frac{1.75}{0.2*1} \Rightarrow K = 8.75$$

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

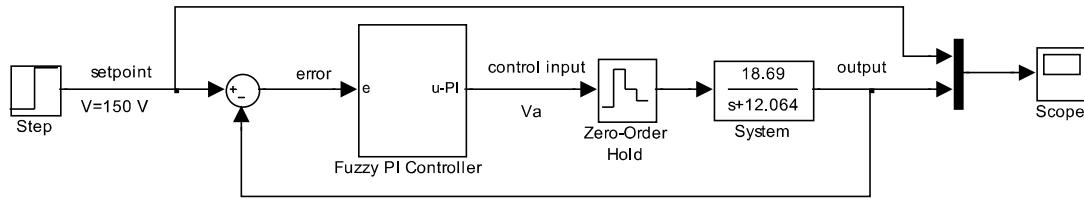
Εφαρμόζοντας την συγκριτική μέθοδο ρύθμισης των κερδών, έχουμε:

a) Ρυθμίζουμε τα K_e / K για γρηγορότερη απόκριση. Έτσι έχουμε $K_e = 1.5$ και $K = 12$.

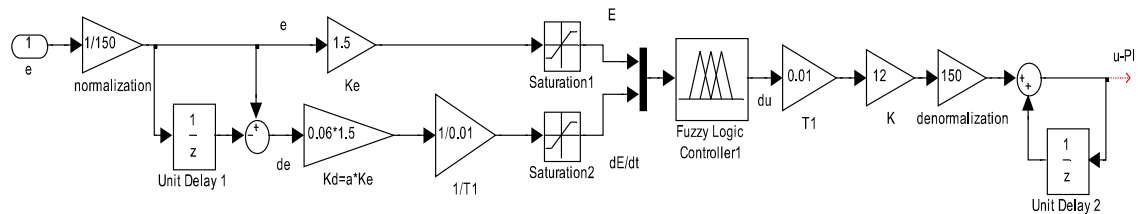
b) Ρυθμίζουμε το a για ακόμα πιο γρήγορη απόκριση και παίρνουμε σαν τιμή $a = 0.06$.

Στην παραπάνω εφαρμογή, επιλέχθηκε χρόνος δειγματοληψίας $T = 0.01 \text{ sec}$ και ο χρόνος προσομοίωσης ήταν 3 sec.

Το διάγραμμα προσομοίωσης στο περιβάλλον Simulink δίνεται στο Σχ. 9.19 και το μοντέλο του ελεγκτή στο Σχ. 9.20. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι λόγω της κανονικοποίησης, μετά το κέρδος εξόδου K του ελεγκτή, απο-κανονικοποιούμε την έξοδο, πολλαπλασιάζοντας την με 150. Οι βηματικές αποκρίσεις των ελεγκτών δίνονται στο Σχ. 9.21 ενώ στο Σχ.9.22 φαίνεται η είσοδος ελέγχου.

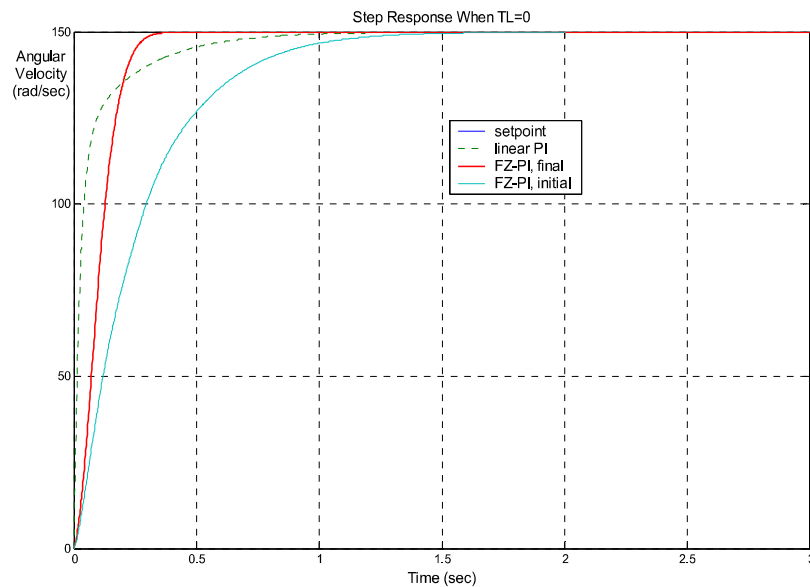


Σχ. 9.19 Σχήμα ελέγχου

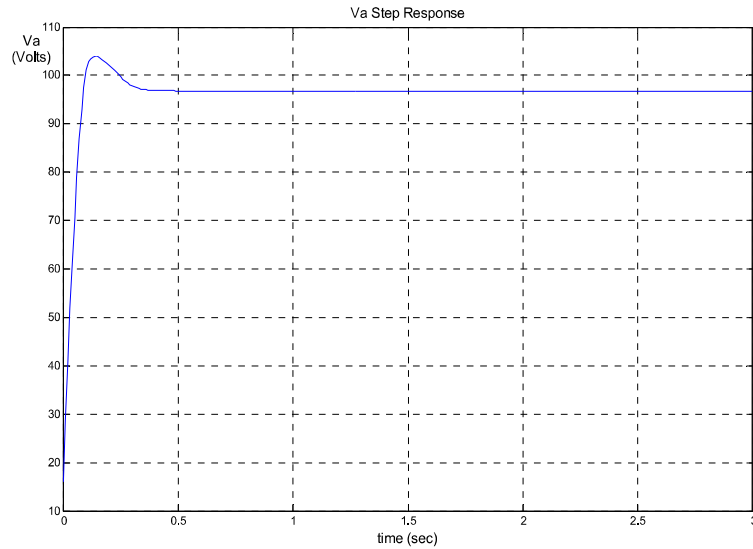


Σχ. 9.20 Μοντέλο του ασαφούς PI ελεγκτή

Όπως παρατηρούμε από το Σχ. 9.22 ικανοποιείται η πέμπτη προδιαγραφή, δηλαδή ισχύει $V_a(t) \leq 350V$ για κάθε $t > 0$.



Σχ. 9.21 Σύγκριση βηματικών αποκρίσεων PI και FZ-PI στο σύστημα του DC κινητήρα

Σχ. 9.22 Βηματική απόκριση σήματος ελέγχου V_a

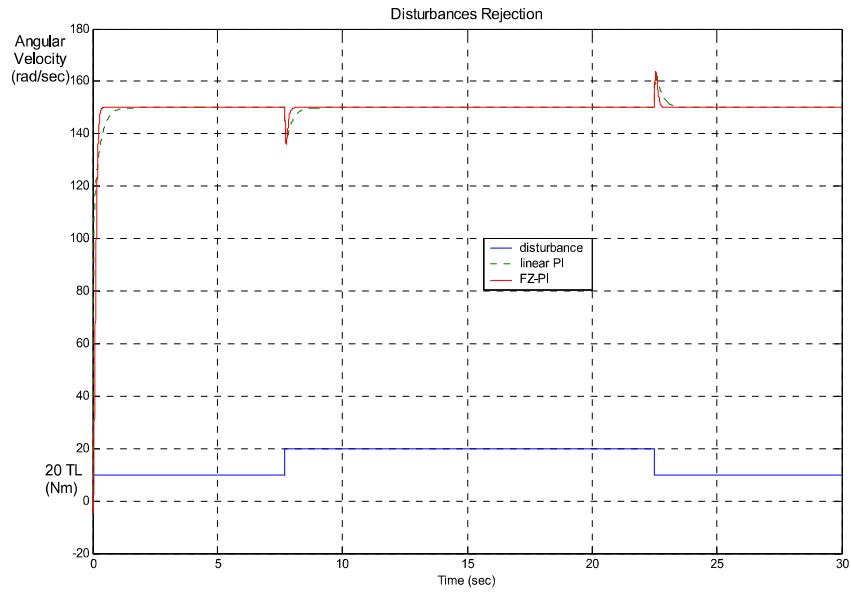
Τα χαρακτηριστικά των αποκρίσεων του γραμμικού PI και του FZ-PI δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

	K_P	K_I	K_e	a	K	Χρόνος Ανόδου	Ποσοστό Υπερύψωσης	Χρόνος Αποκατάστασης
<i>PI</i>	1.75	8.75	-	-	-	192.9 msec	0 %	368.3 msec
<i>FZ-PI, Αρχικά</i>	-	-	1	0.2	8.75	576.1 msec	0 %	796.3 msec
<i>FZ-PI, Τελικά</i>	-	-	1.5	0.06	12	168.2 msec	0 %	233.5 msec

Πίν. 9.5 Σύγκριση χαρακτηριστικών αποκρίσεων γραμμικού PI και FZ-PI

Στη συνέχεια, για να δούμε την συμπεριφορά του συστήματος σε διαταραχές υπολογίζουμε την

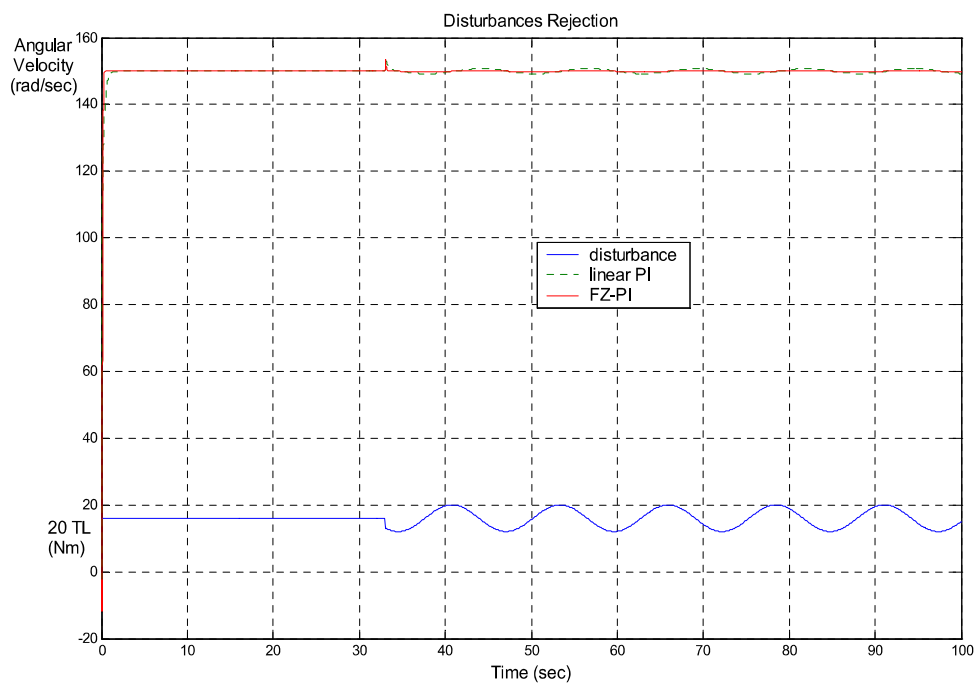
ω_s όταν $V(s) = \frac{150}{s}$ και η $T_L(t)$ είναι 0.5 Nm για $t < 7.7$ sec, 1 Nm έως $t = 22.5$ sec και μετά ξανά 0.5 Nm.



Σχ. 9.23 Απόρριψη διαταραχών γραμμικού PI και FZ-PI (απότομες αλλαγές T_L)

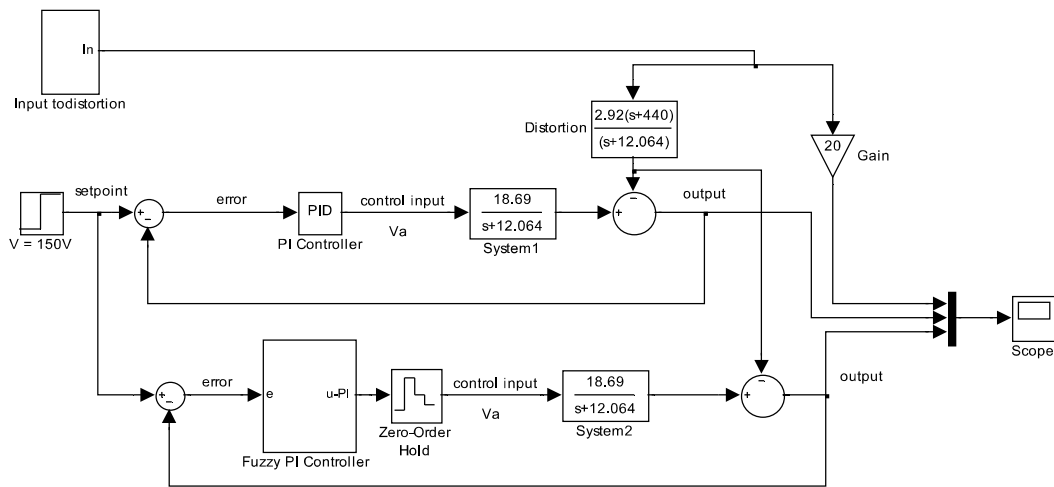
Τέλος, υπολογίζουμε την ω_s όταν $V(s) = \frac{150}{s}$ και $T_L = 0.8 + 0.2\sin(0.5t)$ για $t > 33$ sec ενώ

$T_L = 0.8$ για $t \leq 33$ sec. Η απόκριση φαίνεται στο Σχ.9.24:



Σχ. 9.24 Απόρριψη διαταραχών γραμμικού PI και FZ-PI (ημιτονοειδής αλλαγή T_L)

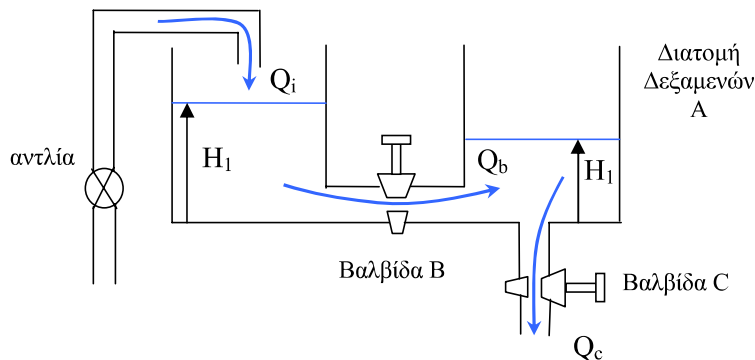
Το μοντέλο του Simulink που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της απόρριψης διαταραχών φαίνεται στο Σχ.9.25.



Σχ. 9.25 Μοντέλο Simulink για τον έλεγχο της απόρριψης διαταραχών

9.9.2 Παράδειγμα γραμμικού συστήματος δεύτερης τάξης

Το σύστημα 2^{ης} τάξης που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή της μεθόδου, είναι ένα σύστημα συζευγμένων δεξαμενών (coupled tanks) [13], το οποίο φαίνεται στο Σχ.9.26:



Σχ. 9.26 Σύστημα συζευγμένων δεξαμενών

όπου A είναι το εμβαδόν της διατομή των δεξαμενών, Q_i η ροή του υγρού που μπαίνει στη πρώτη δεξαμενή, Q_b η ροή του υγρού από την πρώτη δεξαμενή στη δεύτερη, Q_c η ροή που βγαίνει από τη δεύτερη δεξαμενή, H_1 το ύψος του υγρού στην πρώτη δεξαμενή και H_2 το ύψος του υγρού στη δεύτερη δεξαμενή. Οι καταστάσεις του συστήματος είναι το ύψος H_1 του υγρού στην πρώτη δεξαμενή και το ύψος H_2 του υγρού στη δεύτερη δεξαμενή. Εάν επιλέξουμε ως