

Ασαφή Συστήματα

Έλεγχος DC κινητήρα με ασαφή ελεγκτή

Υπατία Δάμη

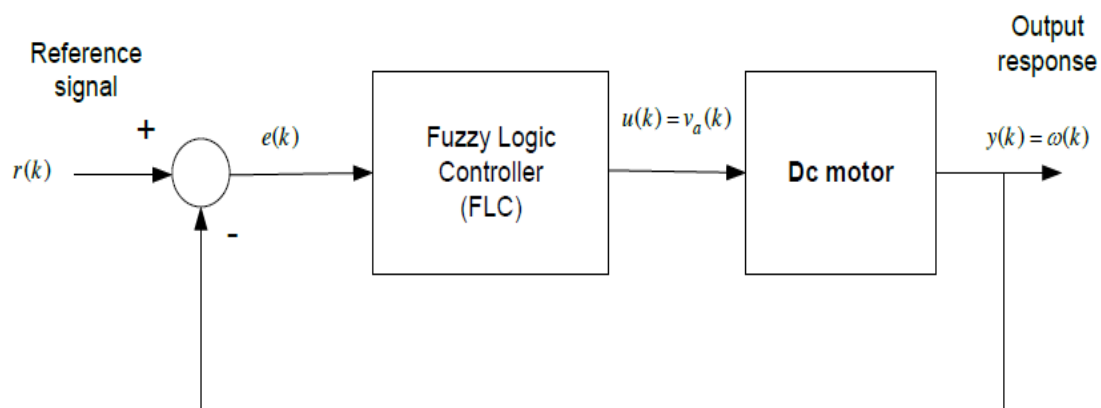
AEM:8606

16/08/19

Σκοπός εργασίας:

Στην εργασία αυτή καλούμαστε να σχεδιάσουμε έναν ασαφή ελεγκτή, για τον έλεγχο της γωνιακής ταχύτητας ενός κινητήρα. Το σύστημα κλειστού βρόγχου περιγράφεται στο Σχήμα 1 , όπου

- $r(k)$ το σήμα αναφοράς της επιθυμητής γωνιακής ταχύτητας
- $e(k)$ το σφάλμα μεταξύ του σήματος αναφοράς και της εξόδου του συστήματος
- $V_a(k)$ η τάση ελέγχου που ασκεί ο ελεγκτής στον κινητήρα για να διατηρήσει την επιθυμητή ταχύτητα
- $y(k)$ η έξοδος του συστήματος (γωνιακή ταχύτητα κινητήρα $\omega(k)$)



Σχήμα 1 : Μοντέλο ασαφούς ελεγκτή

Μετά από θεωρητική ανάλυση του συστήματος , προκύπτει η εξίσωση της εξόδου του :

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

Όπου $V_a(s)$ η τάση που ασκεί ο ελεγκτής στον κινητήρα και $T_L(s)$ μία διαταραχή που εισάγεται στο σύστημα.

Το διάστημα δειγματοληψίας είναι $T_s = 0,01 \text{ ms}$.

Εύρεση κερδών γραμμικού ελεγκτή PI:

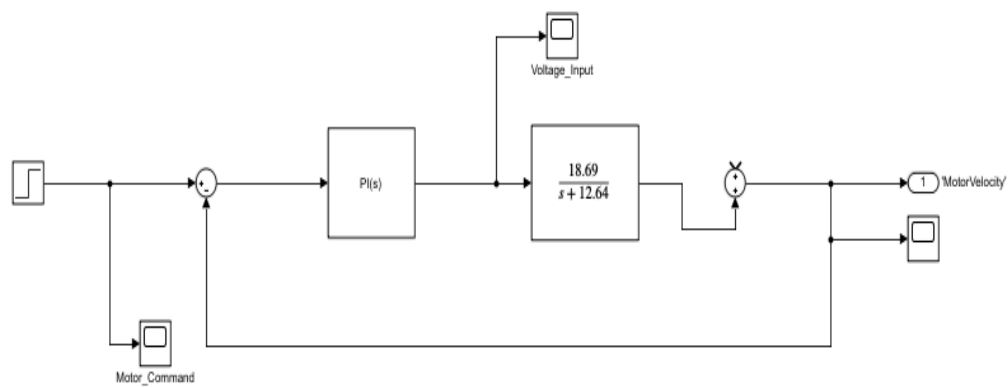
Για την εύρεση των κερδών του ασαφούς ελεγκτή σύμφωνα με την συγκριτική μέθοδο , βρίσκουμε αρχικά τα κέρδη του γραμμικού ελεγκτή PI για τα οποία ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις του συστήματος , οι οποίες είναι οι εξής:

- Απόρριψη διαταραχών
- Το πολύ 5% υπερύψωση για βηματική είσοδο
- Μηδενικό σφάλμα θέσης
- Το πολύ 160 msec χρόνος ανόδου
- $V_a < 200V$,για κάθε $t > 0$

Για την εύρεση των παραμέτρων K_i και K_p του γραμμικού ελεγκτή τρέχουμε στο matlab το script `pi_gains.m` , στο οποίο θέτουμε τους παραπάνω περιορισμούς . Δημιουργούμε επίσης ένα μοντέλο του γραμμικού ελεγκτή στο simulink, `linear_PI.slx`, μη λαμβάνοντας υπόψη τη διαταραχή .Το μοντέλο φαίνεται στο Σχήμα 2. Κάνοντας tuning στον ελεγκτή του μοντέλου μας και τρέχοντας παράλληλα το script στο matlab για να γίνονται οι κατάλληλοι έλεγχοι , καταλήγουμε στις τιμές των παραμέτρων :

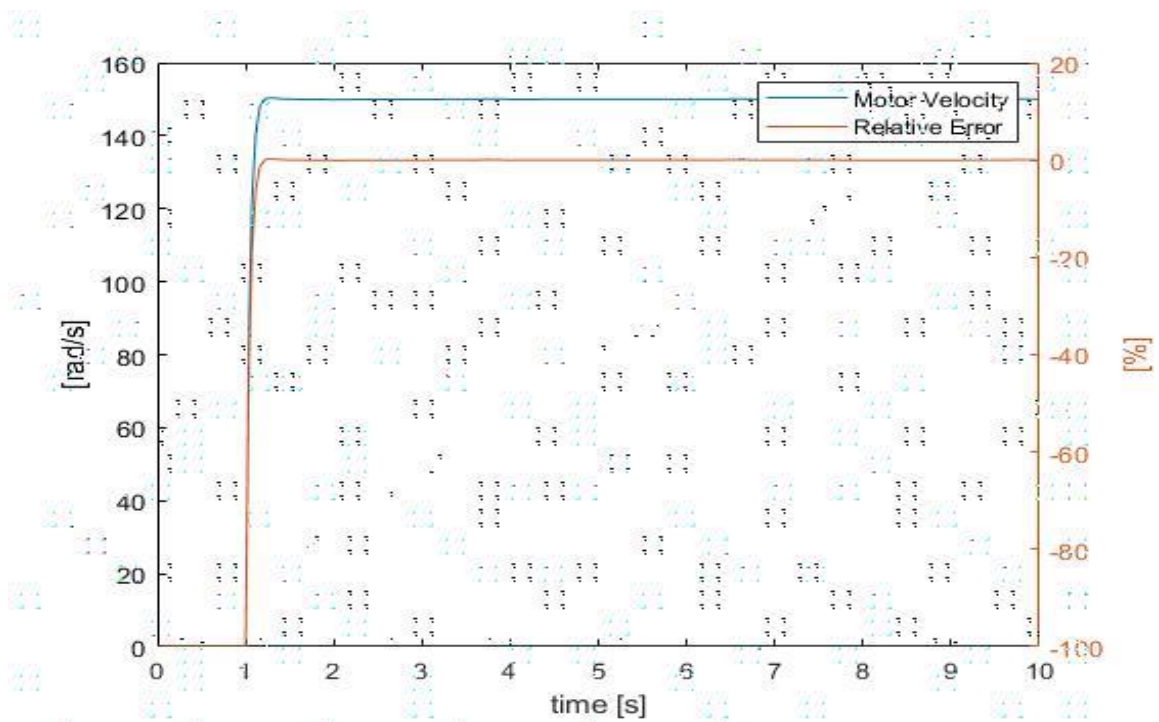
$K_i = 16.16$

$K_p = 1.18$



Σχήμα 2 Μοντέλο γραμμικού ελεγκτή PI

Για τις συγκεκριμένες παραμέτρους του γραμμικού ελεγκτή PI , η γωνιακή ταχύτητα του κινητήρα και το σφάλμα απόκρισης συστήματος και σήματος αναφοράς παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα.



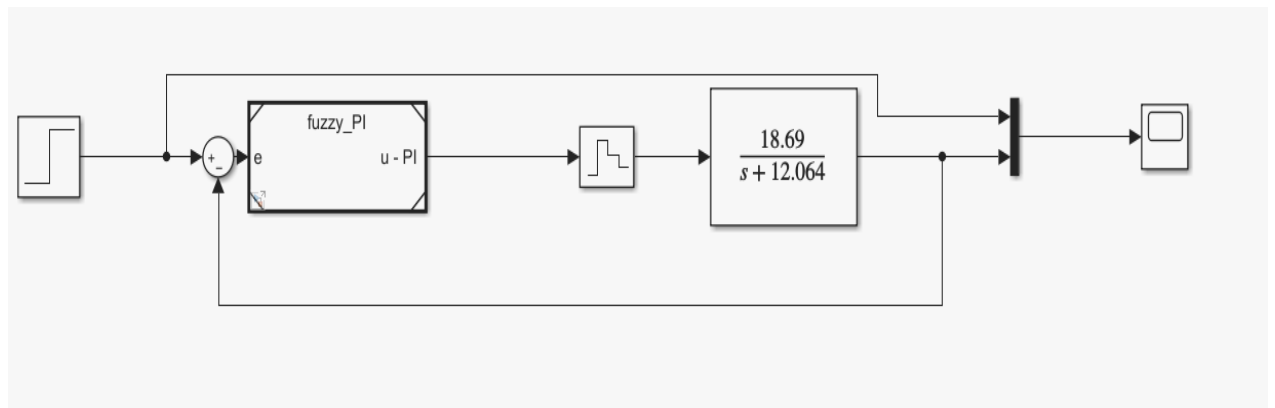
Σχήμα 3 : Απόκριση γραμμικού ελεγκτή PI και σχετικό σφάλμα για δεδομένες παραμέτρους K_i και K_p

Εύρεση κερδών και σχεδιασμός ασαφούς ελεγκτή PI :

Με τις τιμές των παραμέτρων που εκλάβαμε από τον γραμμικό ελεγκτή PI , μέσω των παρακάτω τύπων υπολογίζουμε τις παραμέτρους του ασαφούς ελεγκτή PI , K_e, K_p, K και α :

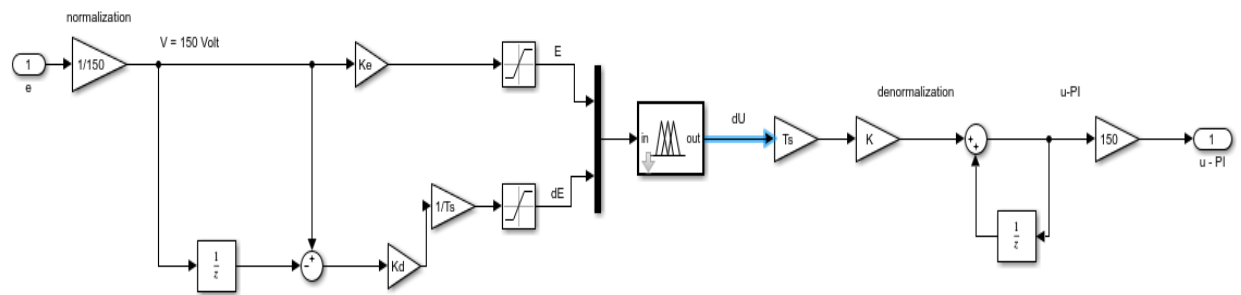
- $K_e=1$
- $K=K_p/F(a*K_e)$
- $K_p=a*K_e$
- $\alpha=150$

Από τη θεωρία στην πρώτη εκτίμηση παραμέτρων του ασαφούς ελεγκτή θεωρούμε $K_e=1$. Ο συντελεστής K υπολογίζεται από τον παραπάνω τύπο , ο οποίος περιέχει τη συνάρτηση F , που η τιμή της υπολογίζεται μέσω του script 'F_function.m' στο matlab. Στο script fuzzy_gains.m υπολογίζουμε τις παραμέτρους μέσω των παραπάνω τύπων. Το τρέχουμε για να οριστούν οι μεταβλητές στο workspace και έπειτα τρέχουμε το βασικό μας μοντέλο του κινητήρα στο simulink main_model.slx , στο οποίο έχουμε βάλει ως είσοδο ένα βήμα 150 rad/s. Το βασικό μας μοντέλο φαίνεται στο Σχήμα 4.



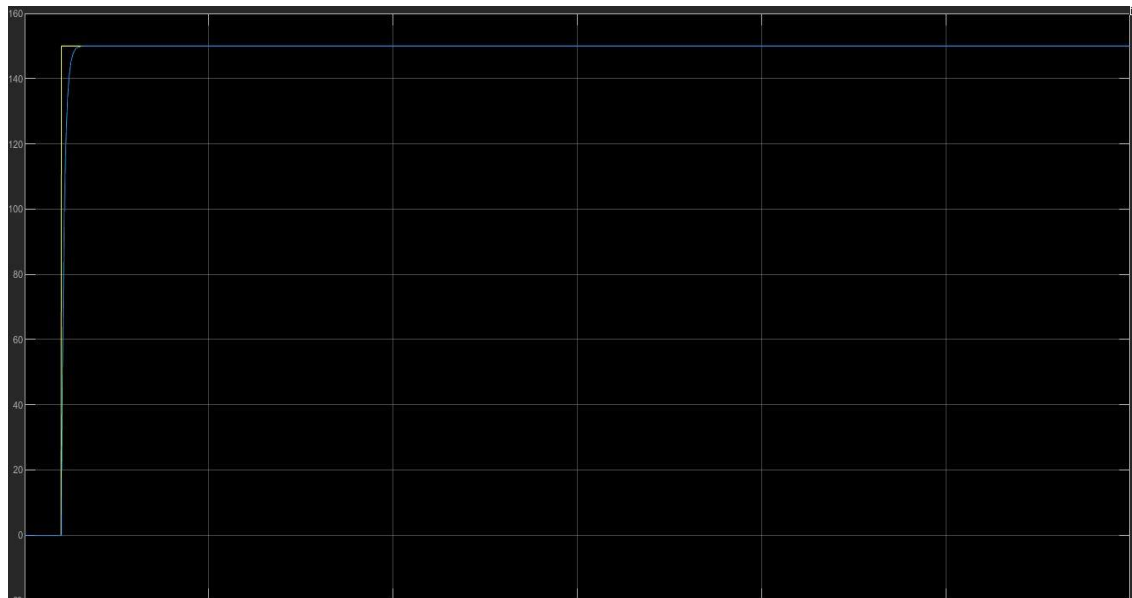
Σχήμα 4 : Βασικό μοντέλο κινητήρα με ασαφή ελεγκτή , με είσοδο βηματική συνάρτηση 150 rad/s

Ο σχεδιασμός του ασαφή ελεγκτή fuzzy_PI στο simulink φαίνεται στο Σχήμα 5 :



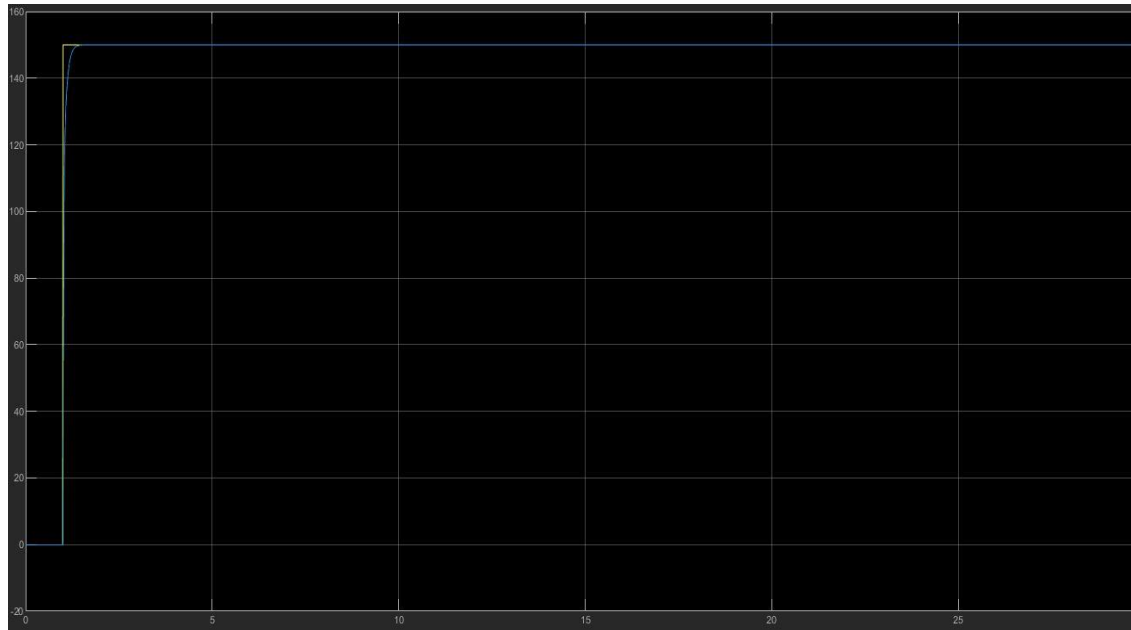
Σχήμα 5 : Μοντέλο ασαφούς ελεγκτή PI

Αφού τρέξουμε το script για τις αρχικές τιμές των παραμέτρων προκύπτει η παρακάτω απόκριση του συστήματος



Σχήμα 6 : Απόκριση συστήματος με είσοδο βηματική συνάρτηση 150 rad/s , για τις αρχικές τιμές των παραμετρων

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6 η απόκριση είναι αρκετά κοντά στην επιθυμητή. Με κίτρινο παριστάνεται η βηματική είσοδος και με μπλε η απόκριση του συστήματος. Για να βελτιώσουμε ακόμα περισσότερο το αποτέλεσμα ρυθμίζουμε τα κέρδη του ελεγκτή, μετατρέποντας το λόγο K_e/K από 1/16 σε 1.5/24. Με τη ρύθμιση των κερδών προκύπτει η παρακάτω έξοδος του συστήματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7:



Σχήμα 7 : Απόκριση συστήματος με είσοδο βηματική συνάρτηση 150 rad/s , για τις τελικές τιμές των παραμέτρων.

Η έξοδος μετά τη ρύθμιση των παραμέτρων είναι ακόμα πιο κοντά στην επιθυμητή ,τηρώντας όλες τις προϋποθέσεις που τίθενται για τον ελεγκτή.

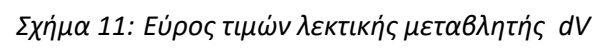
Σχεδιασμός βάσης κανόνων ασαφούς ελεγκτή:

Ο σχεδιασμός της βάσης κανόνων βασίστηκε στο πρότυπο βάσης κανόνων ενός ασαφούς ελεγκτή ΠΙ που έχει ως είσοδο το σφάλμα 'e' και τη διαφορά σφάλματος 'Δe' και ως έξοδο τη διαφορά τάσης που ασκεί ο ελεγκτής 'ΔV'. Ο πίνακας της γενικής βάσης κανόνων φαίνεται στο Σχήμα 8.

Δe ^e	<i>NL</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>ZR</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PL</i>
<i>PL</i>	<i>ZR</i>	PS	PM	PL	PL	PL	PL
<i>PM</i>	NS	<i>ZR</i>	PS	PM	PL	PL	PL
<i>PS</i>	NM	NS	<i>ZR</i>	PS	PM	PL	PL
<i>ZR</i>	NL	NM	NS	<i>ZR</i>	PS	PM	PL
<i>NS</i>	NL	NL	NM	NS	<i>ZR</i>	PS	PM
<i>NM</i>	NL	NL	NL	NM	NS	<i>ZR</i>	PS
<i>NL</i>	NL	NL	NL	NL	NM	NS	<i>ZR</i>

Σχήμα 8 : Γενική βάση κανόνων ασαφούς ελεγκτή PI

Στη βάση κανόνων του ελεγκτή της εργασίας εισήγαμε δύο επιπλέον τιμές για τις μεταβλητές ‘e’ και ‘de’, τις NV (very negative) και PV (very positive). Οι τιμές αυτές αποτελούν και τις δύο ακραίες τιμές του ελεγκτή. Για να προσαρμοστούν στην γενική βάση κανόνων προστέθηκαν οι κατάλληλοι κανόνες έτσι ώστε η μετάβαση να γίνεται ομαλά όπως στην πρότυπη βάση. (Ο αριθμός κανόνων αυξήθηκε από 49 σε 64, εφόσον κάθε λεκτική μεταβλητή έχει 8 πιθανές τιμές). Έτσι το διάγραμμα της βάσης που προκύπτει τρέχοντας το script rulebase_surface.m στο matlab φαίνεται στο Σχήμα 9. Στο Σχήμα 10 φαίνεται το εύρος τιμών των λεκτικών μεταβλητών ‘e’ και ‘de’, ενώ στο Σχήμα 11 φαίνεται το εύρος τιμών της λεκτικής μεταβλητής ‘dV’.



Σχήμα 11: Εύρος τιμών λεκτικής μεταβλητής dV

Ζητούμενα εργασίας:

Ζητούμενο 1:

Για το πρώτο ζητούμενο της εργασίας τρέχουμε το script `task1.m` στο matlab, αρχικά για τις τιμές των παραμέτρων του ελεγκτή πριν την ρύθμισή του και έπειτα για τις τελικές τιμές. Παράλληλα τρέχουμε το μοντέλο `task_1_2.slx` στο simulink. Για τις τελικές τιμές του ελεγκτή η έξοδος του συστήματος σε σχέση με το σήμα αναφοράς φαίνεται στο Σχήμα 12.

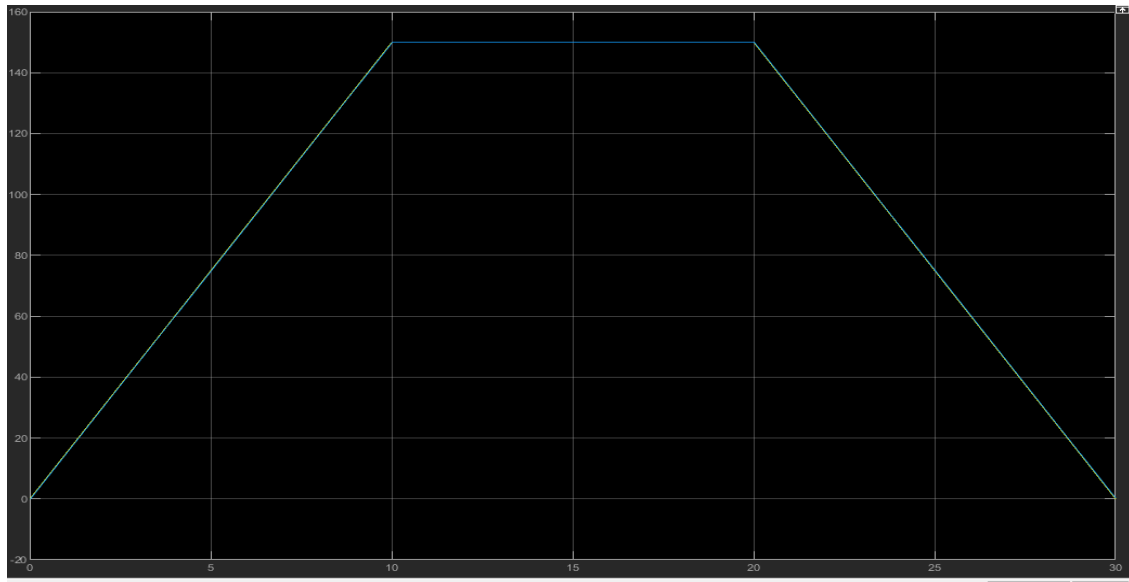


Σχήμα 12 :Σενάριο 1, απόκριση του συστήματος και είσοδος

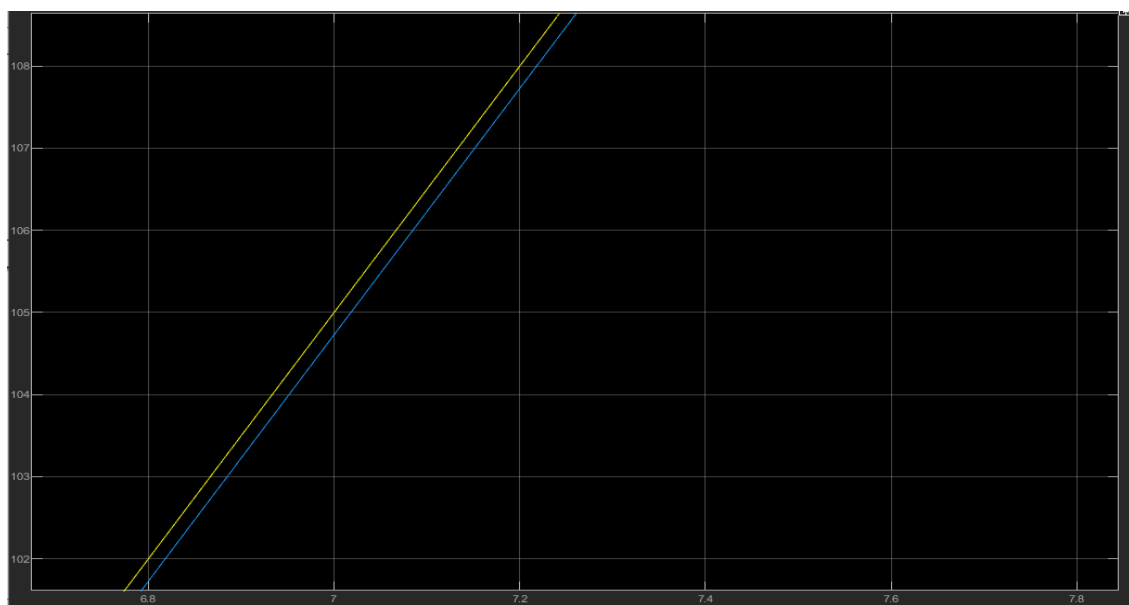
Όπως φαίνεται πέρα από την απόκλιση στο διάστημα της ανόδου ο ελεγκτής κρατάει την απόκριση του συστήματος πολύ κοντά στην επιθυμητή, με πολύ μικρό σφάλμα μόνιμης κατάστασης.

Ζητούμενο 2:

Για το ζητούμενο 2 της εργασίας τρέχουμε το script task2.m στο matlab και παράλληλα το μοντέλο task_1_2.slx στο simulink. Το μοντέλο αυτή τη φορά μέσω του script task2.m παίρνει ως είσοδο την παράσταση που παριστά την επιτάχυνση και την επιβράδυνση ενός μετρό. Στο Σχήμα 13 φαίνεται πως ο ελεγκτής κρατάει την απόκριση του συστήματος πολύ κοντά στην επιθυμητή, με σχεδόν μηδενικό σφάλμα μόνιμης κατάστασης, όπως βλέπουμε στο Σχήμα 14.



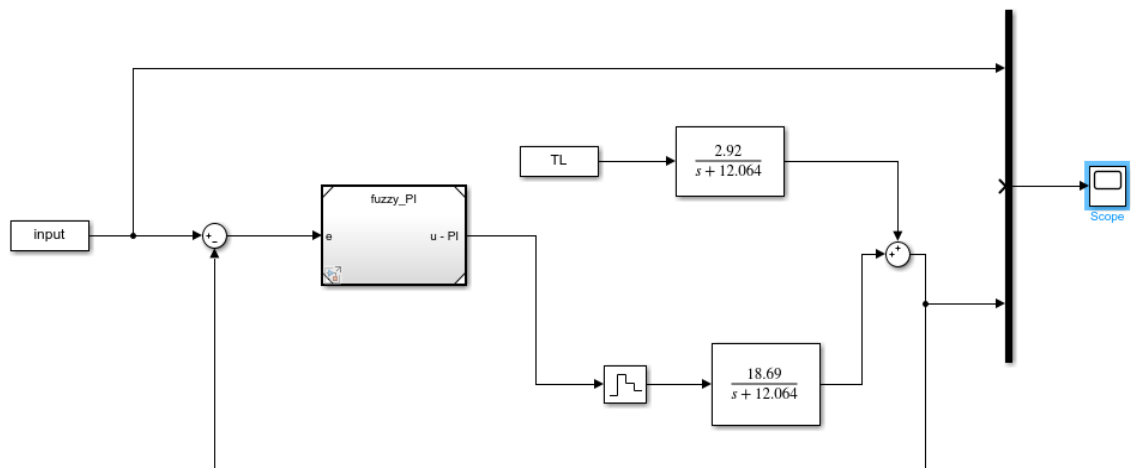
Σχήμα 13 :Σενάριο 2, απόκριση του συστήματος και είσοδος



Σχήμα 14 :Σενάριο 2, σφάλμα μόνιμης κατάστασης

Ζητούμενο 3:

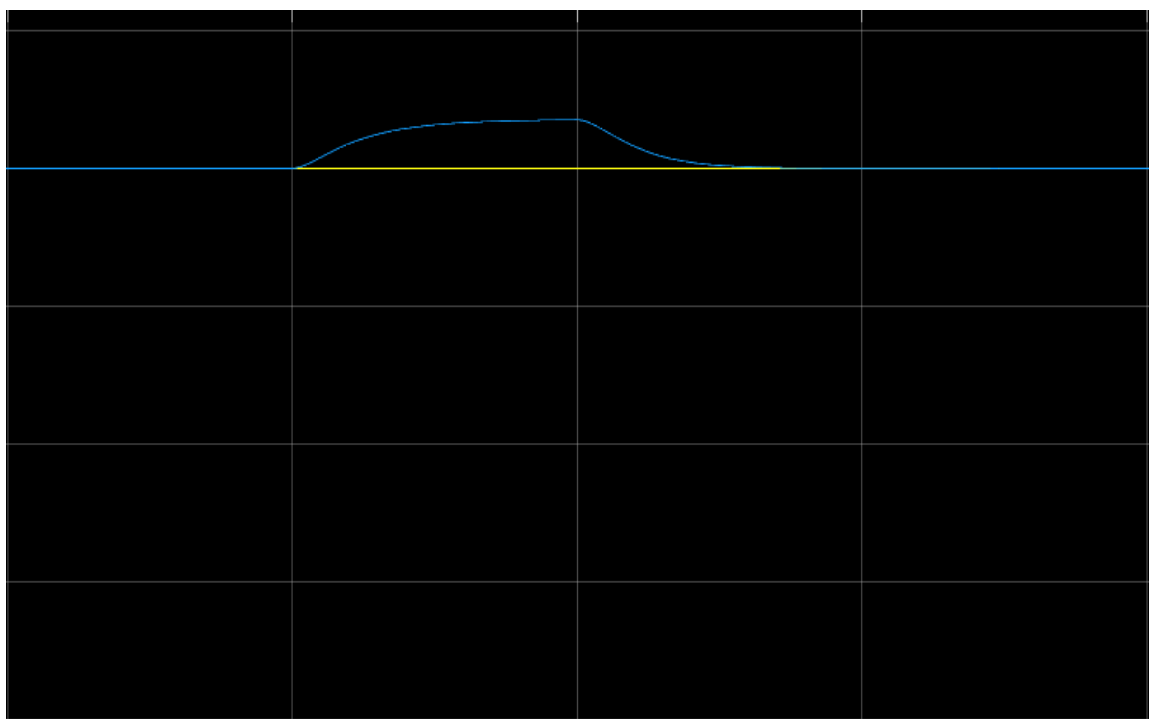
Στο ζητούμενο 3 της εργασίας , εισάγουμε στο μοντέλο μας μια διαταραχή TL. Σκοπός είναι ο ελεγκτής να εκμηδενίσει την διαταραχή όσο περισσότερο γίνεται για να μην υπάρξει μεγάλη μεταβολή στην έξοδο. Τρέχοντας το Script task3.m στο matlab και παράλληλα το μοντέλο task_3.slx στο simulink , παίρνουμε την γραφική παράσταση που φαίνεται στο Σχήμα 15. Διακρίνουμε πως τις χρονικές στιγμές αρχής και τέλους της διαταραχής , στην έξοδο του συστήματος παρουσιάστηκαν μικρές βυθίσεις, αλλά κατά τα άλλα η έξοδος του συστήματος διατηρήθηκε κοντά στην επιθυμητή από τον ελεγκτή.



Σχήμα 15 :Μοντέλο κινητήρα με εισαγωγή διαταραχής TL



Σχήμα 16 :Σενάριο 3, απόκριση του συστήματος και είσοδος



Σχήμα 17 :Σενάριο 3, θύθιση που προκαλεί η διαταραχή στην είσοδο