



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Διευθυντής Γ.Π. Παπαβασιλόπουλος

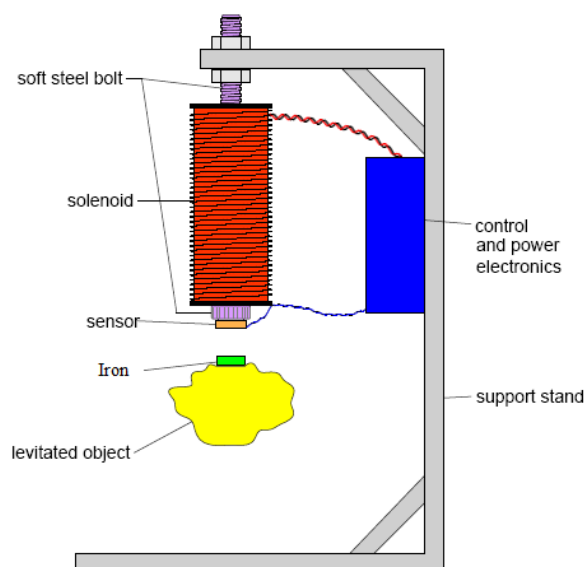
Μάθημα: Προχωρημένες Τεχνικές Συστημάτων Αυτομάτου
Ελέγχου

Τίτλος Άσκησης: “Magnetic Levitation”

Ακαδημαϊκό έτος: 2009-2010

Περιγραφή συστήματος

Στην παρούσα άσκηση μελετάμε τον έλεγχο του συστήματος μαγνητικής αιώρησης του διπλανού σχήματος. Στο σύστημα αυτό ένα αντικείμενο αιωρείται υπό την επίδραση μαγνητικού πεδίου που παράγεται από ένα πηνίο. Η τάση στα άκρα του πηνίου παράγεται από κάποιο ελεγκτή έτσι ώστε το αντικείμενο να ισορροπεί σε κάποια επιλεγμένη κατακόρυφη θέση.



Μοντελοποίηση

Για τη μοντελοποίηση της κίνησης του αιωρούμενου σώματος γράφουμε τις εξισώσεις κίνησης:

$$m\ddot{y} = -ky + mg + F(y, i)$$

όπου y είναι η κατακόρυφη θέση του σώματος (προς τα κάτω ξεκινώντας από το πηνίο), m είναι η μάζα του σώματος, k ο συντελεστής αντίστασης του αέρα, g η επιτάχυνση της βαρύτητας, $F(y, i)$ η ηλεκτρομαγνητική δύναμη που ασκείται στο σώμα και i το ρεύμα του πηνίου. Η αυτεπαγωγή του πηνίου είναι:

$$L(y) = L_1 + \frac{L_0}{1 + y/a}$$

όπου L_0, L_1 και a σταθερές. Η δύναμη που ασκείται στο σώμα, $F(y, i)$ μπορεί να υπολογιστεί συναρτήσει της αποθηκευμένης ενέργειας στο πηνίο $E(y, i) = \frac{1}{2} L(y) i^2$:

$$F(y, i) = \frac{\partial E}{\partial y}$$

Στη συνέχεια γράφουμε το δεύτερο νόμο Kirchhoff για το πηνίο:

$$V = \frac{d\phi}{dt} + Ri$$

όπου ϕ είναι η πεπλεγμένη ροή στο πηνίο $\phi = L(y)i$ και R η αντίσταση του πηνίου.

Ερώτηση 1: Να γραφτεί το μοντέλο του συστήματος της μαγνητικής αιώρησης σε μορφή εξισώσεων κατάστασης με μεταβλητές: $x_1 = y$, $x_2 = \dot{y}$ και $x_3 = i$ και είσοδο $u = V$.

Θα χρησιμοποιήσουμε τις τιμές: $m = (0,1 + 0,003d_1) \text{ Kg}$, $k = 0,001 \text{ Ns/m}$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $a = 0,05 \text{ m}$, $L_0 = (0,01 + 10^{-4}d_2) \text{ H}$, $L_1 = 0,02 \text{ m}$ και $R = (1 - 0,01d_3) \Omega$. Όπου d_1, d_2 και d_3 είναι το τελευταίο, προτελευταίο και τρίτο από το τέλος ψηφίο του αριθμού μητρώου σας.

Υπολογισμός σημείων ισορροπίας

Στόχος είναι να σταθεροποιήσουμε το αιωρούμενο αντικείμενο σε μια επιλεγμένη θέση. Για καθεμία επιλεγμένη θέση θα υπολογίσουμε τις τιμές ισορροπίας των μεταβλητών κατάστασης και της εισόδου ελέγχου.

Ερώτηση 2: Να βρεθεί το σύνολο των σημείων ισορροπίας του συστήματος.

Γραμμικοποίηση γύρω από κάποιο σημείο ισορροπίας

Έστω ότι θέλουμε να σταθεροποιήσουμε το αιωρούμενο αντικείμενο σε μια θέση με $x_1 = r$. Για να εφαρμόσουμε γραμμικό έλεγχο, θα γραμμικοποιήσουμε γύρω από το σημείο ισορροπίας το οποίο αντιστοιχεί στην επιθυμητή θέση. Το αντίστοιχο γραμμικό σύστημα στη μορφή $\dot{x} = Ax + Bu$ προκύπτει από την:

$$A = [a_{ij}] \quad a_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial x_j}$$

$$B = [b_i] \quad b_i = \frac{\partial f_i}{\partial u}$$

όπου $\dot{x} = f(x, u)$ είναι οι εξισώσεις του μοντέλου του συστήματος αιώρησης.

Ερώτηση 3: Για κάποιο σημείο ισορροπίας, να βρεθούν οι πίνακες A και B του γραμμικοποιημένου μοντέλου

Κατασκευή ελεγκτή ανατροφοδότησης κατάστασης

Θα κατασκευάσουμε έναν ελεγκτή ανατροφοδότησης κατάστασης με βάση το γραμμικοποιημένο μοντέλο, έτσι ώστε το σύστημα κλειστού βρόχου να είναι ευσταθές γύρω από κάποιο επιθυμητό σημείο ισορροπίας.

Ερώτηση 4: Είναι το γραμμικοποιημένο σύστημα ελέγξιμο για τις συγκεκριμένες τιμές;

Ερώτηση 5: Τοποθετήστε τους πόλους κατάλληλα έτσι ώστε το η θέση στο γραμμικοποιημένο σύστημα να συγκλίνει στο 0 πιο γρήγορα από την e^{-8t} .

Ερώτηση 6: Πώς θα εφαρμοστεί ο νόμος ελέγχου που σχεδιάστηκε για το γραμμικοποιημένο σύστημα, στο αρχικό. Προσομοιώστε το σύστημα κλειστού βρόχου.

Κατασκευή παρατηρητή πλήρους βαθμού

Για το σύστημα της μαγνητικής αιώρησης μετράμε μόνο τη θέση του αιωρούμενου σώματος και το ρεύμα στο πηνίο. Θα κατασκευάσουμε ένα παρατηρητή πλήρους τάξης.

Ερώτηση 7: Για το γραμμικοποιημένο σύστημα κατασκευάστε ένα παρατηρητή πλήρους τάξης.

Ερώτηση 8: Πώς θα εφαρμοστεί ο παραπάνω παρατηρητής στο αρχικό σύστημα (πριν τη γραμμικοποίηση); Προσομοιώστε το σύστημα κλειστού βρόχου με ελεγκτή και παρατηρητή.

Ερώτηση 9: Να επαναληφθούν οι ερωτήσεις 9 και 10 στην περίπτωση που μετράμε μόνο τη θέση.

Κατασκευή παρατηρητή μειωμένης τάξης

Ερώτηση 10: Να κατασκευαστεί παρατηρητής μειωμένης τάξης στην περίπτωση που μετράμε μόνο τη θέση