



Οι λύσεις των ασκήσεων (σε αρχείο pdf) μαζί με οποιοδήποτε συνοδευτικό αρχείο (πχ MATLAB) θα πρέπει να ενσωματωθούν σε ένα αρχείο zip με το Ονοματεπώνυμό σας και να αποσταλούν στην εξής διεύθυνση: graduatecontrol@gmail.com.

Θέμα

Ο σκοπός αυτής της άσκησης είναι ο σχεδιασμός ρυθμιστών για ένα αεροσκάφος, για το οποίο η δυναμική συμπεριφορά (όπως προκύπτει από τη γραμμικοποίηση γύρω από ένα σημείο ισορροπίας και στη συνέχεια την κανονικοποίηση) περιγράφεται από το ακόλουθο σύστημα μεταβλητών κατάστασης:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.460 & 0 & 2.4276 \\ 0.0575 & -0.4 & -0.1326 \\ 0.3107 & 0 & -2.23 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.4182 & 5.2026 \\ 0.1365 & -0.0436 \\ 0.5186 & 0.0236 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix}$$

Η φυσική σημασία των μεταβλητών είναι η εξής:

x_1 : δρομέας ταχύτητας χαμηλής πίεσης (σε rpm)

x_2 : θερμοκρασία τουρμπίνας (σε °F)

x_3 : δρομέας ταχύτητας υψηλής πίεσης (σε rpm)

u_1 : ροή καυσίμου (σε lbs/hr)

u_2 : η επιφάνειας έκχυσης (σε in²)

A.

- (1) Υπολογίστε τους πόλους και τις μηδενικές θέσεις του πολυμεταβλητού συστήματος.
- (2) Υπολογίστε τις τέσσερις επιμέρους συναρτήσεις μεταφοράς ανάμεσα στις μεταβλητές εισόδου και εξόδου. Υπολογίστε τις μηδενικές θέσεις που αντιστοιχούν σε κάθε μια και συγκρίνετε με τις μηδενικές θέσεις του πολυμεταβλητού συστήματος.
- (3) Σχεδιάστε τις ιδιάζουσες τιμές του μοντέλου για $10^{-2} \leq \omega \leq 10^3$

B. Σχεδιασμός LQR

- (1) Σχεδιάστε ρυθμιστή LQR, ώστε σε χαμηλές συχνότητες οι ιδιάζουσες τιμές του πίνακα συναρτήσεων μεταφοράς ανοικτού βρόχου να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά και η συχνότητα bandwidth να είναι περίπου 10 rad/s. Υπολογίστε τους πόλους του συστήματος κλειστού βρόχου και σχεδιάστε τις ιδιάζουσες τιμές του πίνακα συναρτήσεων μεταφοράς ανοικτού βρόχου.
- (2) Σχεδιάστε ρυθμιστή LQR, ώστε σε υψηλές συχνότητες οι ιδιάζουσες τιμές του πίνακα συναρτήσεων μεταφοράς ανοικτού βρόχου να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά και η συχνότητα bandwidth να είναι περίπου 10 rad/s. Υπολογίστε τους πόλους του συστήματος κλειστού βρόχου και σχεδιάστε τις ιδιάζουσες τιμές του πίνακα συναρτήσεων μεταφοράς ανοικτού βρόχου.
- (3) Υπολογίστε τις αποκρίσεις και στις δύο περιπτώσεις για $0 \leq t \leq 5s$ για τις ακόλουθες αρχικές τιμές των μεταβλητών κατάστασης $x_1(0) = 0.2, x_2(0) = 0.0, x_3(0) = -0.3$ (Χρησιμοποιήστε για τις προσομοιώσεις το αρχείο LQR_closed που επισυνάπτεται)

Γ. Προσθήκη ολοκληρωτικών στοιχείων

Προσθέστε ολοκληρωτικά στοιχεία στην έξοδο του συστήματος και δημιουργήστε το επαυξημένο σύστημα $G_a(s)$

$$z(s) = G_a(s)u(s)$$

- (1) Σχεδιάσετε ρυθμιστή LQR για το επαυξημένο σύστημα, ώστε οι ιδιάζουσες τιμές του πίνακα συναρτήσεων μεταφοράς ανοικτού βρόχου (ας το ονομάσουμε L_{LQ}) να πληροί όσο το δυνατόν περισσότερες από τις ακόλουθες προδιαγραφές:

$$\sigma_{\min}(L_{LQ}(j\omega)) \geq 20db \text{ για } \omega < 1 \text{ rad/s}$$

$$\sigma_{\max}(L_{LQ}(j\omega)) \leq -20db \text{ για } \omega > 100 \text{ rad/s}$$

$$\sigma_{\min}(L_{LQ}(j\omega)) \approx \sigma_{\max}(L_{LQ}(j\omega)) \approx 0 \text{ db για } \omega = 10 \text{ rad/s}$$

Για να το πετύχετε αυτό βρείτε τρόπο ώστε οι ιδιάζουσες τιμές του $L_{LQ}(j\omega)$ να είναι όμοιες τόσο σε πολύ χαμηλές όσο και σε πολύ υψηλές συχνότητες.

- (2) Σχεδιάστε και σχολιάστε τις αποκρίσεις για $0 \leq t \leq 10s$ των μεταβλητών εξόδου και εισόδου όταν το σύστημα ξεκινά από το σημείο ισορροπίας όπου όλες οι μεταβλητές είναι 0 και δίνονται οι εξής μεταβολές στις επιθυμητές τιμές:
 - (α) $r_1(t) = 1.0, r_2(t) = 0.0$
 - (β) $r_1(t) = 0.0, r_2(t) = 1.0$
 - (γ) $r_1(t) = 1.0, r_2(t) = 1.0$
 - (δ) $r_1(t) = 1.0, r_2(t) = -1.0$

(Χρησιμοποιήστε για τις προσομοιώσεις το αρχείο LQR_integration που επισυνάπτεται)