

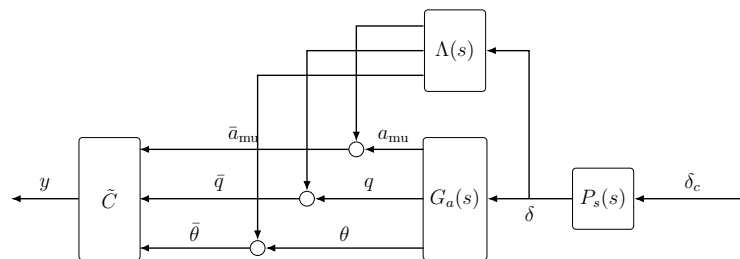


035188 - תורת הבקרה

תרגול 10

12 ביוני 2025

שאלה מספר 1



איור 1: המערכת בשאלה 1

באיור 1 נתון חלק ממידול של טיל במעופו. האות δ_c הוא פקודת הזווית לכנפוני היגוי של הטיל, פונקציית התמסורת $P_s(s)$ היא מערכת מסדר ראשון המהווה מודל מפושט של דינמיקת המפעיל של הכנפונים, והמערכת $G_a(s)$ היא המודל הפיזיקלי של הטיל, המקשרת בין זווית הכנפונים לבין תאוצת ה-IMU, המהירות הזוויתית של גוף הטיל, וזווית גוף הטיל, בהתאמה. בעיה מוכרת במערכות תעופתיות, ובטילים בפרט, היא השפעתם של מודים מבניים (Structural modes) המרעידים את גוף הטיל על מדידות החיישנים השונים. השפעתם של מודים אלו על שלוש המדידות ממודלת בעזרת פונקציית התמסורת,

$$\Lambda(s) = \begin{bmatrix} k_a \omega_0^2 s^2 \\ k_q \omega_0 s \\ k_\theta \end{bmatrix} \frac{1}{s^2 + 2\zeta \omega_0 s + \omega_0^2}$$

כאשר ω_0 הוא תדר המוד המבני, ζ ריסונו, וההגברים הם הקבועים הרוונטיים. הבלוק $\tilde{C}$ הוא מטריצה סטטית המגדירה איזה שילוב של האותות מגיע לבקר. השפעתם המודים המבניים על חוגי בקרת הטיסה מוסיפה רעש מדידה למערכת, כלומר גם אם הבקר לא נדרש לבקר אותם, השפעתם תופיע במדידה ותגרום להם לתנוד. ניתן לראות השפעה זו באופן איכותי באיור 2, המציג את תגובת האותות השונים לכניסה כלשהי $\delta_c(t)$ ב.

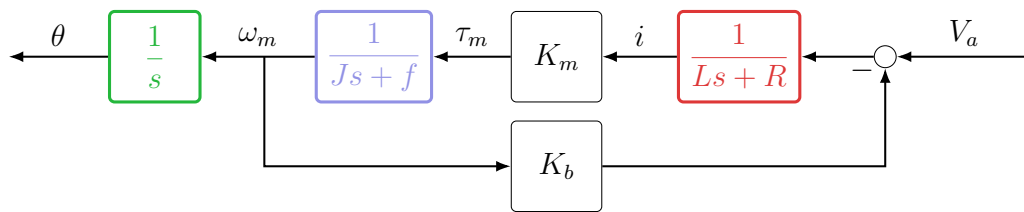
1. בהנחה כי דינמיקת המפעיל נתונה על ידי מודל מסדר ראשון $P_s(s) = 1/(\tau s + 1)$, כיתבו מימושים במרחב המצב למפעיל ול $\Lambda(s)$.

2. כיתבו מימוש במרחב המצב למערכת הכוללת.

3. האם ניתן לבחור את המטריצה $\tilde{C}$ בצורה כזו שתבטל את השפעת המודים המבניים על המדידה?

4. באם התשובה חיובית, בחרו את המטריצה בצורה מתאימה.

שאלה מספר 2



איור 5: דיאגרמת בלוקים של מנוע חשמלי

באיור 5 מופיעה דיאגרמת בלוקים של מנוע DC, המורכבת מחלק חשמלי, חלק מכאני ואינטגטור, המסומנים באדום, כחול, וירוק בהתאמה. נתון המימוש הפיזיקלי שמצאנו בתרגולים קודמים.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_e(t) \\ \dot{x}_m(t) \\ \dot{x}_\theta(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R/L & -K_b/L & 0 \\ K_m/J & -f/J & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_e(t) \\ x_m(t) \\ x_\theta(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/L \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(t)$$

בתרגול הקודם, הוצע להשתמש בחוק הבקרה הבא

$$V_a(t) = -3Lx_e(t) + \left(K_b - \frac{3JR}{K_m}\right)x_m(t) - \frac{3Rf}{K_m}x_\theta(t)$$

מכיוון שחוק בקרה זה מבוסס על משוב מצב מלא, נדרש להוסיף משערך מצב על מנת לממש את חוק בקרה זה.

1. האם ניתן לממש את חוק הבקרה כאשר על המנוע מורכב אנקודר בלבד? אם כן, תכננו משערך לונברגר עם קטבים $p_l = -29, -30, -31$. מה ניתן להגיד על דינמיקת המשערך ביחס לשערך המהירות?

2. עבור המשערך מהסעיף הקודם, מה הם עודפי היציבות של החוג הסגור המתקבל בשימוש במשערך? מה רוחב הסרט של פונקציית הרגישות המשלימה?

$$K_m = 0.0396[\text{Nm/A}], \quad K_b = 0.0396[\text{Vs/rad}], \quad J = 0.125[\text{Kg} \cdot \text{m}^2], \\ f = 0.05[\text{Nm} \cdot \text{s/m}], \quad R = 6.8[\Omega], \quad L = 2.65 \times 10^{-4}[\text{H}]$$