



035188 - תורת הבקרה

תרגול 4

23 באפריל 2025

שאלה מספר 1

נתון התהליך הגמיש

$$P(s) = \frac{-42s^2}{(s+18)(s^2+0.02s+23)}.$$

בהרצאה ראיתם כי התהליך תונד מאוד, והוא רוסן באמצעות בקר פיגור פאזה ומסנן מעבר נמוכים, כך שהבקר הכולל היה

$$C_1(s) = -0.451 \frac{s+5.85}{s+1.188}.$$

תכננו בקר המרסן את המערכת ללא שימוש בבקר קידום הופכי אלא בעזרת מסנן מעביר נמוכים מסדר ראשון

$$C(s) = \frac{k}{\tau s + 1}$$

כיצד בחירת קבוע הזמן והגבר הבקר משפיעה על תגובת המערכת?

שאלה מספר 2

נתונים חמישה תהליכים

$$P_i(s) = \left\{ \frac{0.1}{(s+1)(s+0.1)}, \frac{1}{(s+1)(s^2+0.1s+1)}, \frac{10(s+0.1)}{(s+1)^2}, \frac{s^2+0.1s+1}{(s+1)^3}, \frac{10(0.1-s)}{(s+1)^2} \right\}$$

1. עבור כל אחד מהתהליכים, האם ניתן לתכנן בקר מייצב כך שפונקציית הרגישות המשלימה של החוג תקיים

$$T(s) \equiv T_{\text{dream}}(s) = \frac{10}{(s+10)(s^2+\sqrt{2}s+1)}$$

2. באם אפשר, תכננו בקרים כאלו, ובחנו את פונקציות הרגישות להפרעה והרגישות לאות הבקרה עבור כל אחד מן התהליכים.

שאלה מספר 3

תזכורת:

1. ניתן לייצב תהליך באמצעות בקר יציב (ייעוב חזק) אם ורק אם יש לו מספר זוגי של קטבים ממשיים בין כל זוג אפסים ממשיים בחצי המישור הימני הסגור, כולל בפלוס אינסוף.

2. מספר האפסים הממשיים בפלוס אינסוף שווה לדרגה היחסית של התהליך.

האם ניתן לייצב את התהליכים הבאים בחוג סגור באמצעות בקר יציב?

$$1. \quad P(s) = \frac{(s-1)(s-0.5)}{s(s-2)(s+1)}$$

$$2. \quad P(s) = \frac{(s-1)(s-0.5)}{s(s-2)}$$

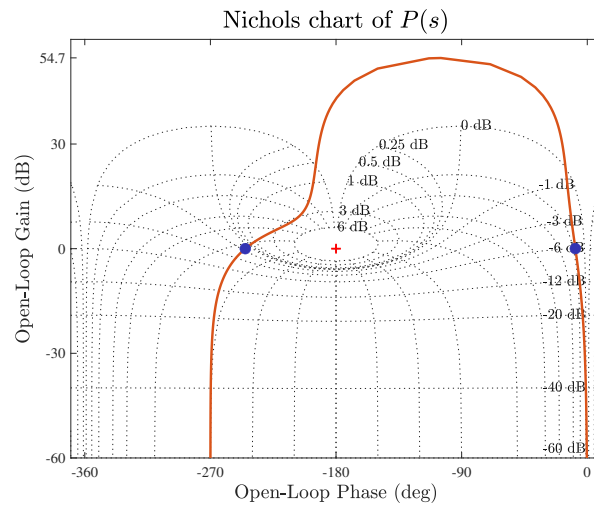
$$3. \quad P(s) = \frac{(s-1)(s-0.5)}{s(s+1)(s-2)(s-3)}$$

$$4. \quad P(s) = \frac{1}{s-1}, \quad \frac{s+2}{s-1}, \quad \frac{s^2-s+1}{s^2+s+1}$$

$$5. \quad P(s) = \frac{s-2}{(s^2+s+1)(s+3)} \quad \text{: תרגיל למחשבה}$$

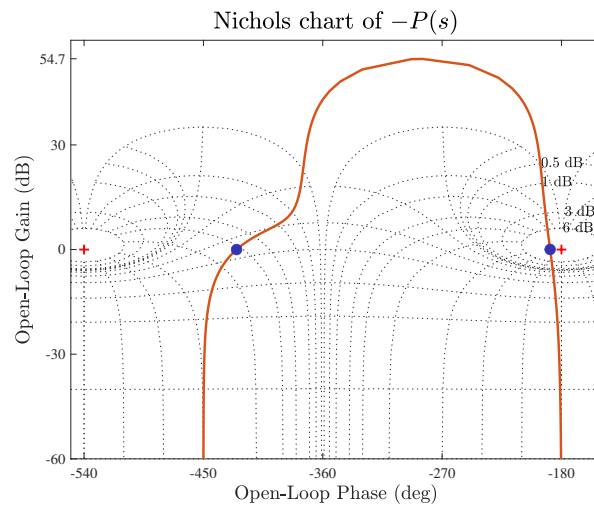
פתרון שאלה מספר 1

בהרצאה ראיתם כי התהליך אינו יציב בחוג סגור עם בקר יחידה $C(s) = 1$, נבחן את דיאגרמת ניקולס של התהליך המתוארת באיור 1.



איור 1: דיאגרמת ניקולס של החוג הפתוח

אם נרצה להשתמש במשוב שלילי נצטרך להוסיף קידום פאזה משמעותי (מעל 65 מעלות) בתדר המעבר הגבוה, דבר שכזכור עשוי לפגוע בביצועים ולדרוש בקר מסדר גבוה. אפשרות אחרת, כפי שראיתם בהרצאה, היא להשתמש במשוב חיובי, עבור משוב חיובי דיאגרמת ניקולס של התהליך מוסטת ב 180° , ולמעשה כבר יציבה. דיאגרמת ניקולס עבור מקרה זה מתוארת באיור 2



איור 2: דיאגרמת ניקולס של החוג הפתוח עבור משוב חיובי

בסוג כזה של תכן אנחנו רוצים "לדחוס" את העקום בין שתי הנקודות הקריטיות על מנת להרחיק אותו משתייהן - את הדחיסה הזו ניתן להשיג באמצעות **פיגור** פאזה. פיגור פאזה כזה ניתן להשיג גם באמצעות מסנן מעביר נמוכים פשוט, שגם ינחית את ההגבר בתדרים גבוהים באופן טבעי (roll-off), בניגוד לבקר שהודגם בהרצאה. מסנן מסדר ראשון גורם לפיגור פאזה של עד -90° , כאשר פיגור הפאזה מתחיל לפני שמתחילה הנחתה בהגבר, נוכל להשתמש בתכונות הללו לטובתנו. אם נבחר קבוע זמן מספיק קטן, נוכל להרחיק משמעותית את תדירות המעבר הראשונה מהנקודה הקריטית, ולהשתמש בהנחתת ההגבר בתדרים