



מבוא לבקרה (034040)

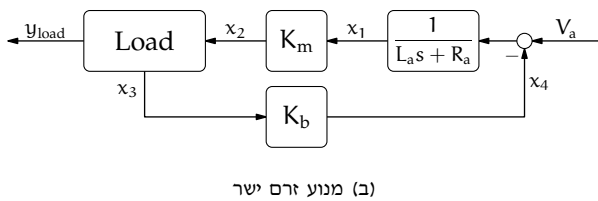
דוגמאות בחינות סופיות

7 במרץ 2022

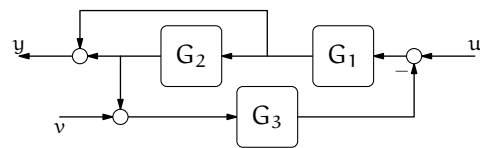
ד' באדר ב', תשפ"ב

חלק א'

דיאגרמות בלוקים, מידול, אותות ומערכות בזמן ובתדר



(ב) מנוע זרם ישר



(א) דיאגרמת בלוקים

איור 1:

שאלה מס' 1

מצאו את פונקציית התמסורת G_{yu} הקושרת בין u לבין y כמתואר באיור 1(א).

$G_{yu} =$ _____

שאלה מס' 2

מצאו את פונקציית התמסורת G_{yv} הקושרת בין v לבין y כמתואר באיור 1(א).

$G_{yv} =$ _____

שאלה מס' 3

באיור 1(ב) מוצגת דיאגרמת בלוקים המתארת מנוע זרם ישר המחובר לעומס. מהי המשמעות הפיסיקלית של האותות הבאים:

_____ x_1 הוא _____ x_2 הוא _____

_____ x_3 הוא _____ x_4 הוא _____

שאלה מס' 4

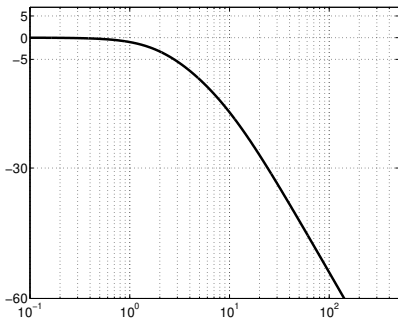
מהו הקשר בין הזרם בעוגן I_a לבין המומנט T_m המיוצר ע"י מנוע DC?

_____ $T_m(s) =$ _____ $I_a(s)$ כאשר _____

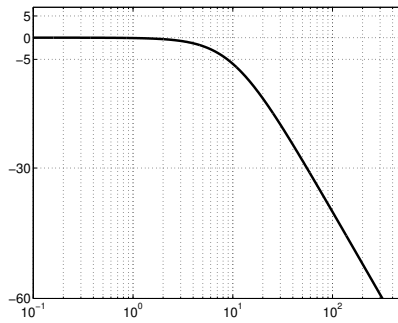
שאלה מס' 5

מהו הקשר בין מהירות הרוטור, ω_m , לבין הכח האלקטרוני הנגדי V_b במנוע DC?

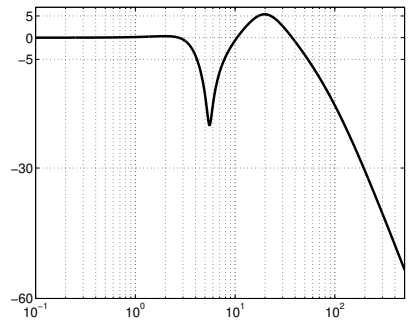
_____ $V_b(s) =$ _____ $\omega_m(s)$ כאשר _____



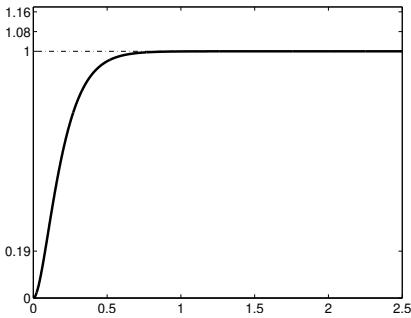
G₃ (ג)



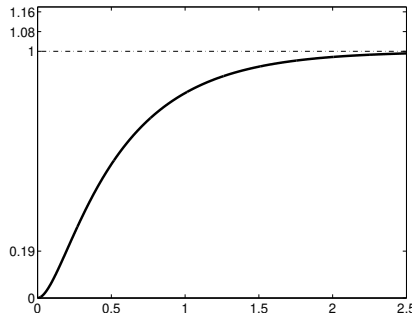
G₂ (ב)



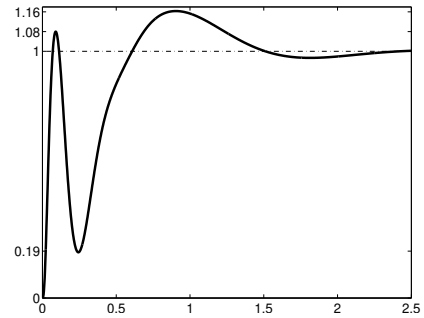
G₁ (א)



P₃ (ו)



P₂ (ה)



P₁ (ד)

איור 2:

שאלה מס' 6

נתונה תגובת המדרגה באיור 2(ד). מהן תגובות היתר OS והחסר US?

OS = _____ ו- US = _____

שאלה מס' 7

נתונה תגובת המדרגה באיור 2(ד). מהו זמן הרגיעה עבור רמת הרגיעה $\delta = 8\%$?

$t_s \approx$ _____

שאלה מס' 8

נתונה תגובת התדירות באיור 2(א). מהו (בקירוב) תדר התהודה?

$\omega_r \approx$ _____

שאלה מס' 9

נתונה תגובת התדירות באיור 2(ב). מהו (בקירוב) רוחב הסרט של המערכת?

$\omega_b \approx$ _____

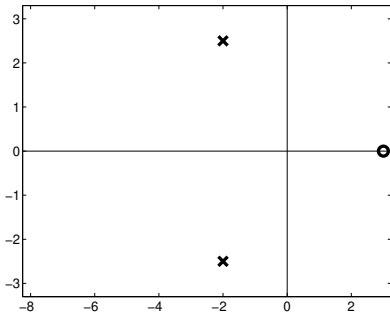
שאלה מס' 10

התאימו בין תגובות התדירות באיורים 2(א)–2(ג) לבין תגובות המדרגה באיורים 2(ד)–2(ו).

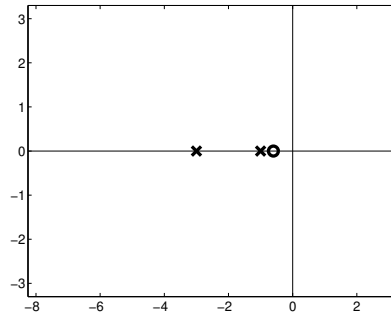
G₁ = P _____ מכיוון

G₂ = P _____ מכיוון

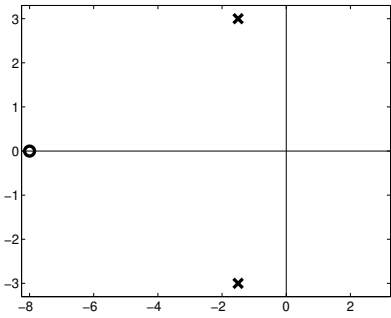
G₃ = P _____ מכיוון



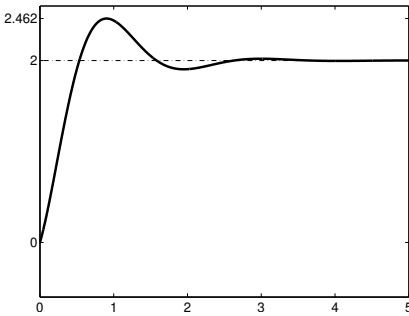
G_3 (ג)



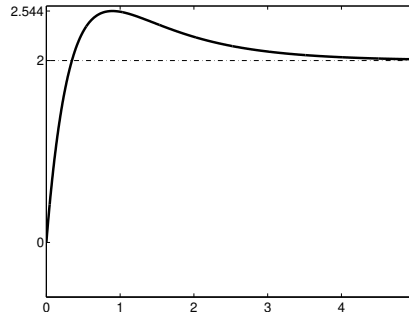
G_2 (ב)



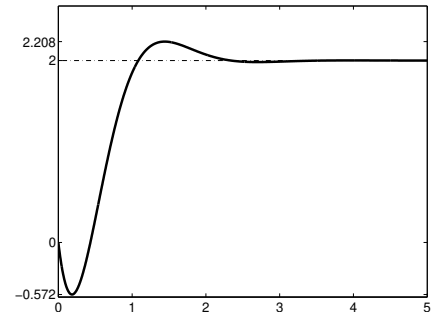
G_1 (א)



P_3 (ו)



P_2 (ה)



P_1 (ד)

איור 3:

שאלה מס' 11

מהי תגובת היתר בתגובה המוצגת באיור 3 (ד)?

$OS \approx$ _____

שאלה מס' 12

למי מהמערכות המוצגות באיורים 3(א)–3(ב) יש את הקטבים בעלי מנת הריסון, ζ , הקטנה ביותר?

G_1 , מכיוון _____

שאלה מס' 13

נתונות מפות קטבים-אפסים המופיעות באיורים 3(א)–3(ג). התאימו את המפות לתגובות המדרגה המופיעות באיורים 3(ד)–3(ו).

$G_1 = P$ _____ מכיוון

$G_2 = P$ _____ מכיוון

$G_3 = P$ _____ מכיוון

שאלה מס' 14

נתונה המערכת $P(s) = \frac{9}{s^2 + 3s + 9}$. הסבירו מה תהיה השפעת הוספת קוטב נוסף למערכת, $\frac{1}{0.06s + 1}$, על תגובת היתר.

שאלה מס' 15

נתונה המערכת $P(s) = \frac{4}{s^2 + 3s + 4}$, הסבירו מה תהיה השפעת הוספת האפס, $(s - 3)$, על תגובת היתר של המערכת.

שאלה מס' 16

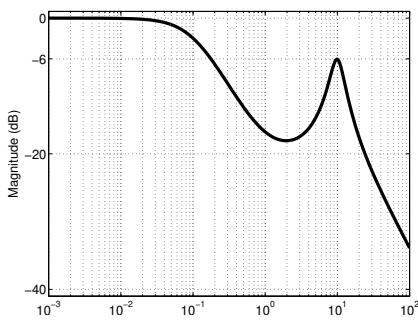
יהיו $y_1(t)$ ו- $y_2(t)$ תגובות המדרגה של $\frac{10}{(s+\pi)(s^2+s+1)}$ ו- $\frac{s+1}{s^2+s+1}$ בהתאמה. למי מהן זמן עליה קצר יותר? ל- y_1 , מכיוון _____

שאלה מס' 17

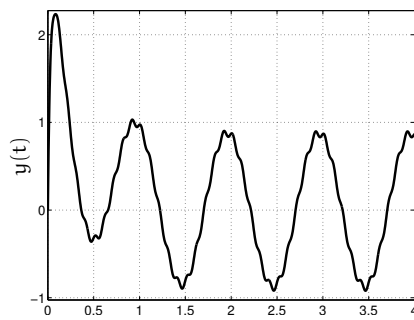
מהו רוחב הסרט של המערכת $\frac{2}{3s+2}$? $\omega_b =$ _____ מכיוון _____

שאלה מס' 18

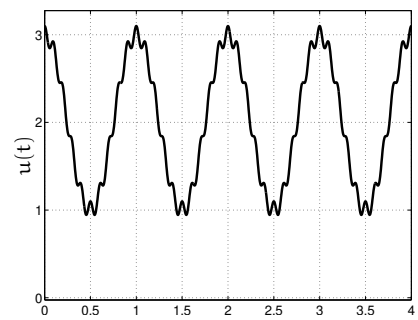
מהו רוחב הסרט של המערכת $\frac{s}{s^2+\sqrt{2}s+1}$? $\omega_b =$ _____ מכיוון _____



(ב) ספקטרום לשאלות מס' 20 ו-21



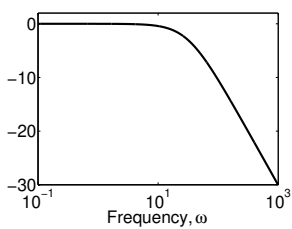
(א) אותות לשאלה מס' 19



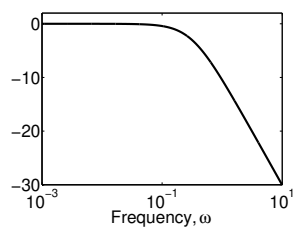
איור 4:

שאלה מס' 19

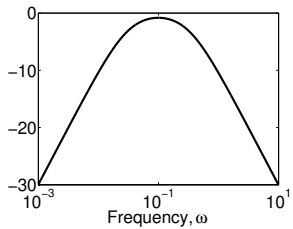
בציור מס' 4 (א) נתונים אותות כניסה ויציאה ממסנן F שמשומנים ב- u ו- y בהתאמה. מהי דיאגרמת הבודה (הגבר בלבד) המתאימה ל-F?



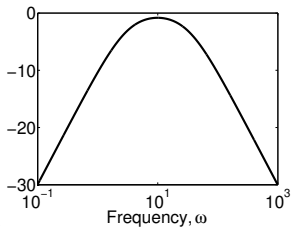
(ד)



(ג)



(ב)



(א)

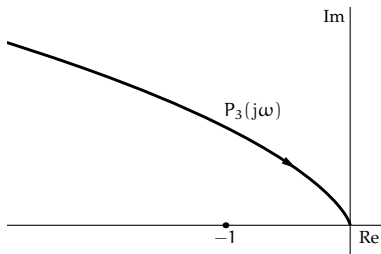
_____ , מכיוון _____

שאלה מס' 20

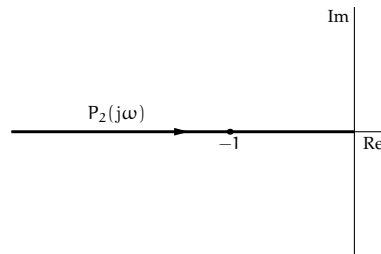
באיור 4 (ב) נתון ספקטרום של אות מסויים. הציעו מסנן שינחית את כל התדרים מעל $\omega = 2 \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$ בלפחות 70%.

שאלה מס' 21

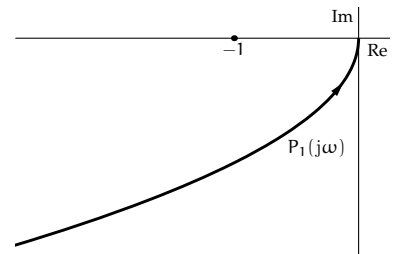
באיור 4 (ב) נתון ספקטרום של אות מסויים. הציעו מסנן כך שבמידה ואות זה יסונן דרכו, הספקטרום של אות היציאה לא יעלה על -20 [dB] בתדירויות מעל $\omega = 0.1 \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$



$P_3(s)$ (ג)



$P_2(s)$ (ב)



$P_1(s)$ (א)

איור 5: תיאורים פולרים לשאלה מס' 22

שאלה מס' 22

נתונים שלושה עקומים פולריים באיור 5 ונתונות שלוש מערכות:

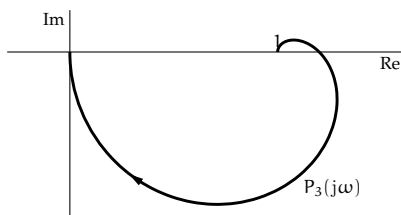
$$G_3(s) = \frac{s+1}{s^2}, G_2(s) = \frac{1}{s^2(s+1)}, G_1(s) = \frac{1}{s^2}$$

התאימו לכל מערכת את העקום הפולרי שלה.

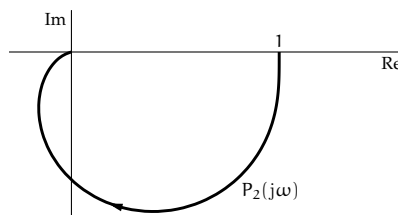
$G_1 = P$ מכיוון _____

$G_2 = P$ מכיוון _____

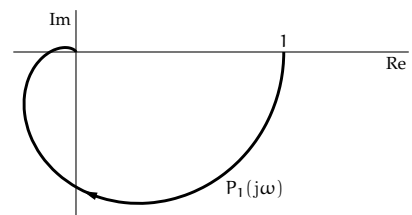
$G_3 = P$ מכיוון _____



$P_3(s)$ (ג)



$P_2(s)$ (ב)



$P_1(s)$ (א)

איור 6: תיאורים פולרים לשאלה מס' 23

שאלה מס' 23

נתונות פונקציות תמסורת של שלושה תהליכים:

$$G_3(s) = \frac{8(s+1)}{(s+2)^3}, G_2(s) = \frac{1}{(s+1)^3}, G_1(s) = \frac{6(s+1)}{(s+2)(s+3)}$$

התאימו לתהליכים אלו את העקומים הפולרים המופיעים באיור 6.

$G_1 = P$ מכיוון _____

$G_2 = P$ מכיוון _____

$G_3 = P$ מכיוון _____

בקרה בחוג פתוח

שאלה מס' 24

נתונה מערכת בקרה בחוג פתוח עם תהליך $P(s)$ ובקר שתוכנן בשיטת היפוך התהליך $C(s) = P^{-1}(s)$. בהנחה שאות הרפרנס הוא מדרגה $r(t) = 1(t)$ וההפרעה היא אות חסום כלשהו, קבעו האם המערכות הבאות קבילות.

$P(s) = \frac{1}{s+1}$ כן/לא מכיוון _____

$P(s) = \frac{s-2}{s+1}$ כן/לא מכיוון _____

$P(s) = \frac{s+2}{s-1}$ כן/לא מכיוון _____

שאלה מס' 25

חזרו על שאלה 24 עבור הדרישה שתגובת המערכת תתנהג בדומה למערכת מסדר ראשון $T_r(s) = \frac{1}{10s+1}$

$P(s) = \frac{1}{s+1}$ כן/לא מכיוון _____

$P(s) = \frac{s-2}{s+1}$ כן/לא מכיוון _____

$P(s) = \frac{s+2}{s-1}$ כן/לא מכיוון _____

שאלה מס' 26

נאמר וברצוננו לבקר בחוג פתוח את המערכת $P(s) = \frac{2s-3}{s^2+2s+6}$ באמצעות היפוך התהליך עם מודל הייחוס. האם ניתן לבצע זאת? אם כן, מהם האילוצים הנדרשים על מודל הייחוס?

שאלה מס' 27

נאמר וברצוננו לבקר בחוג פתוח את המערכת $P(s) = \frac{5s-1}{s^2+5s-7}$ באמצעות היפוך התהליך עם מודל הייחוס. האם ניתן לבצע זאת? אם כן, מהם האילוצים הנדרשים על מודל הייחוס?

שאלה מס' 28

נתונה מערכת בקרה בחוג הפתוח כאשר התהליך הוא $P(s) = \frac{1}{s+0.1}$ והבקר נתון על ידי $C(s) = \frac{10s+1}{s+1}$. מהי שגיאת המצב המתמיד $e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} |r(t) - y(t)|$ עבור $r(t) = t \cdot 1(t)$?

$e_{ss} =$ _____ מכיוון _____

שאלה מס' 29

נתון התהליך $P(s) = \frac{1}{2s+1}$ הניחו כי ניתן למדוד את אות הייחוס $r(t)$ ואת הנגזרת שלו בזמן $\dot{r}(t)$. מהו חוק הבקרה בחוג פתוח המבטיח כי $y(t) \equiv r(t)$ עבור כל $r(t)$?

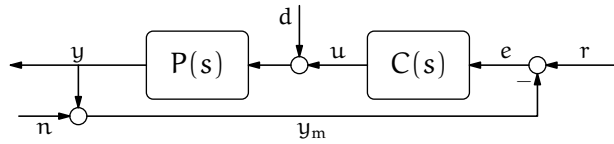
$u(t) =$ _____

שאלה מס' 30

התהליך $P(s) = \frac{1}{s^2-s+3}$ מבוקר בחוג הפתוח באמצעות הבקר $C(s) = \frac{3}{s+1}$. מהי שגיאת המצב המתמיד e_{ss} עבור $r(t) = 2 \cdot 1(t)$?

$e_{ss} =$ _____ מכיוון _____

חלק ג' בקרה בחוג סגור



איור 7: דיאגרמת בלוקים של מערכת משוב יחידה

שאלה מס' 31

מהי פונקציית התמסורת בין r ל- e בדיאגרמת משוב היחידה המתוארת באיור 7?

_____ והיא נקראת $\frac{e(s)}{r(s)} =$ _____

שאלה מס' 32

מהי פונקציית הרגישות המשלימה עבור מערכת בקרה באיור 7? תנו 2 דוגמאות לאותות ביניהם היא מקשרת.

_____ , $T(s) =$ _____ לבין _____ לבין _____ ובין _____ לבין _____

שאלה מס' 33

הגדירו יציבות BIBO של מערכת ליניארית G (לא את הקריטריון, פשוט את ההגדרה).

G יציבה BIBO אם _____

שאלה מס' 34

האם המערכת המתוארת באיור 7 יציבה בחוג הסגור עבור $P(s) = \frac{1}{s-2}$ ו- $C(s) = \frac{2s+1}{s}$?

כן/לא, מכיוון _____

שאלה מס' 35

האם המערכת המתוארת באיור 7 יציבה בחוג הסגור עבור $P(s) = \frac{0.5s-1}{(s+2)(s^2+2s+1)}$ ו- $C(s) = \frac{(s+2)(s+1)}{(s-2)(s+5)}$?

כן/לא, מכיוון _____

שאלה מס' 36

מהי שגיאת המצב המתמיד עבור $r(t) = 1(t)$ כאשר $P(s) = \frac{1}{s(s+1)}$ ו- $C(s) = 10$?

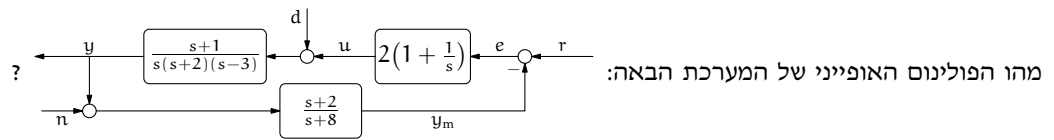
$e_{ss} =$ _____ מכיוון _____

שאלה מס' 37

מהי שגיאת המצב המתמיד עבור $d(t) = 1(t)$ כאשר $P(s) = \frac{1}{s(s+1)}$ ו- $C(s) = \frac{1}{s}$?

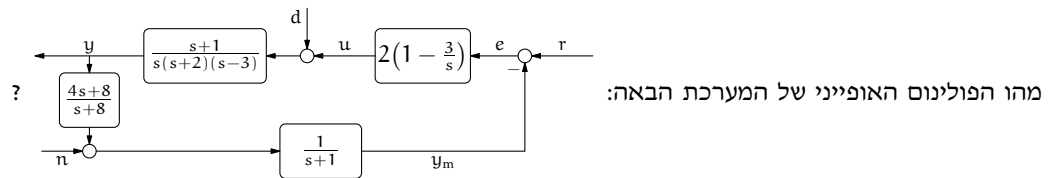
$e_{ss} =$ _____ מכיוון _____

שאלה מס' 38



$$\chi_{cl}(s) = \underline{\hspace{15cm}}$$

שאלה מס' 39



$$\chi_{cl}(s) = \underline{\hspace{15cm}}$$

חלק ד' מג"ש

שאלה מס' 40

באיור 7 $P(s) = \frac{1}{(s-1)(s+2)}$ ו- $C(s) = k$. היכן המג"ש עבור k חיובי חוצה את הציר המדומה?

ב $s =$ מכיוון

שאלה מס' 41

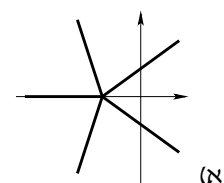
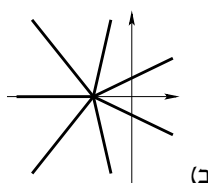
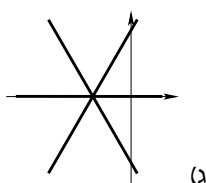
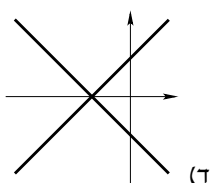
היכן מסתיימים ענפי המג"ש של המערכת $G_k(s) = \frac{s^2 + \sqrt{2}s + 1}{s^3(s + a_1)(s + a_2)}$?

שאלה מס' 42

היכן מסתיימים ענפי המג"ש של המערכת $G_k(s) = 1 + \frac{3s^2 + 3s + 1}{s^3}$?

שאלה מס' 43

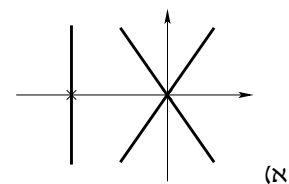
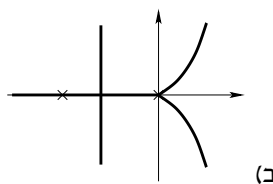
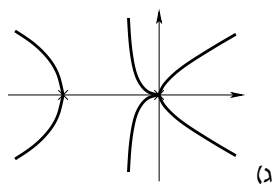
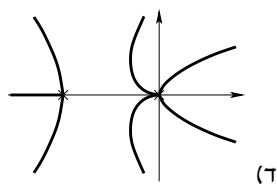
איזה מבין הגרפים הבאים לא יכול להיות מג"ש ביחס להגבר בקר חיובי של מערכת מהצורה $\frac{1}{(s+1)^n}$ עבור n שלם וחיובי כלשהוא?



, מכיוון

שאלה מס' 44

למערכת מסוימת 4 קטבים בראשית ו-2 קטבים ב-1. איזה מהציורים הבאים הוא המג"ש של המערכת?

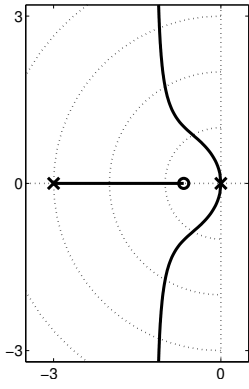


, מכיוון

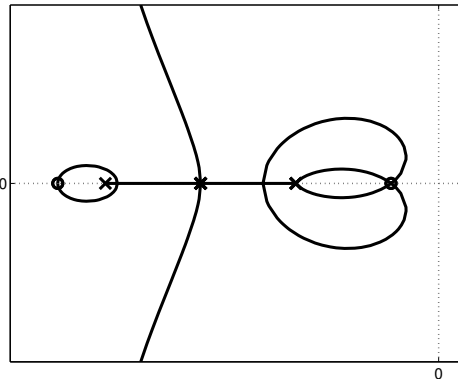
שאלה מס' 45

באיור 8 (א) מופיע המג"ש של מערכת מסויימת. האם ניתן לייצב מערכת זו באמצעות בקר הגבר חיובי?

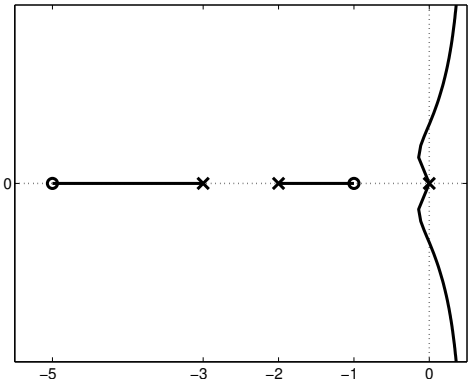
כן/לא, מכיוון



47 מג"ש לשאלה מס' 47 (ג)



46 מג"ש לשאלה מס' 46 (ב)



45 מג"ש לשאלה מס' 45 (א)

איור 8: מג"שים

שאלה מס' 46

כמה קטבים ואפסים סופיים יש למערכת המתוארת במג"ש שבציור 8 (ב)?

קטבים ו אפסים סופיים

שאלה מס' 47

עברו המערכת מאיור 8 (ג), האם קיים בקר הגבר עבורו למערכת בחוג הסגור קטבים דומיננטים בעלי תדירות טבעית $\omega_n = 3 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$?

כן/לא, מכיוון

שאלה מס' 48

האם ניתן לבקר את המערכת $P(s) = \frac{s+10}{s^4+s^3+s^2+s+1}$ באמצעות בקר הגבר גבוה במיוחד?

כן/לא, מכיוון

שיטות בתחום התדר (עישוב החוג, קריטריון נייקוויסט וכו')

שאלה מס' 49

עבור המערכת $P(s) = \frac{1}{s(s+1)}$ באיור 7, האם קיים בקר $C(s)$ כך ש- $|S(j\omega)| = 0.1$ ו- $|T(j\omega)| = 0.5$ עבור $\omega = \pi$?

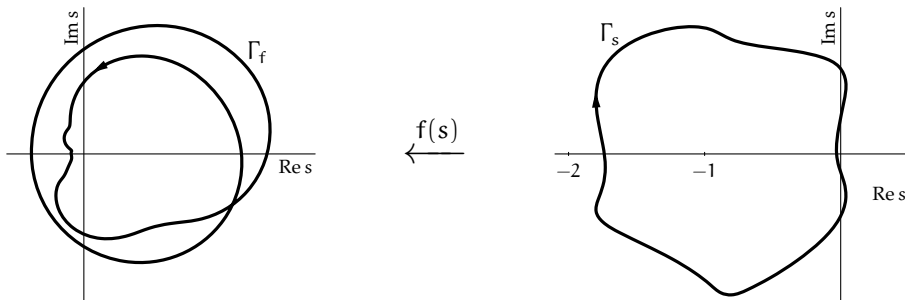
כן/לא, מכיוון _____

שאלה מס' 50

כיצד יש לשנות את תגובות התדירות של החוג הפתוח, $L(j\omega)$, על מנת להאיץ את תגובת המעבר של החוג הסגור ?

שאלה מס' 51

נתונים מסלול פשוט וסגור Γ_s במישור המרוכב ופונקציה ראציונלית $f(s)$ כך ש- Γ_s לא עוברת דרך קטבים ואפסים של $f(s)$. עקרון הארגומנט אומר שכאשר s נע על Γ_s עם כיוון השעון, Γ_f (כלומר, העתקת Γ_s ע"י $f(s)$) מקיף _____



איור 9: העתקת העקום Γ_s

שאלה מס' 52

באיור 9 מתוארת העתקת העקום Γ_s על ידי הפונקציה $f(s) = \frac{s(s+1)}{D_f(s)}$, כאן $D_f(s)$ הוא פולינום. כמה שורשים יש ל- $D_f(s)$ בתוך Γ_s ?

_____ , מכיוון _____

שאלה מס' 53

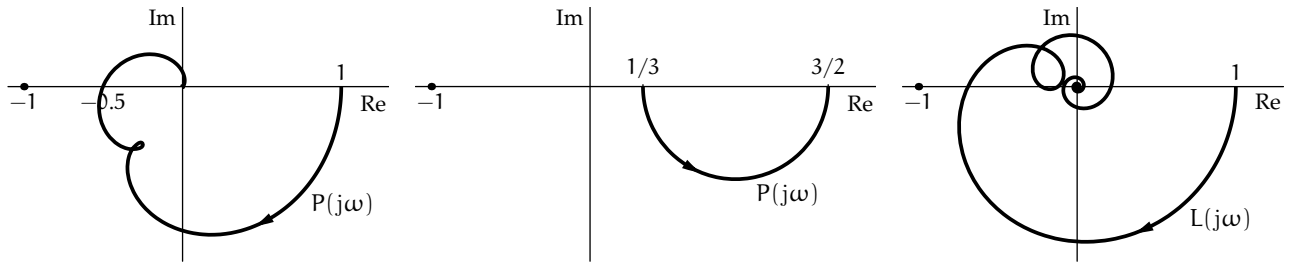
נתון התיאור הפולרי של החוג הפתוח היציב $L(s)$ באיור 10(א). האם המערכת יציבה בחוג הסגור ?

כן/לא, מכיוון _____

שאלה מס' 54

נתון התיאור הפולרי של תהליך בעל קוטב לא יציב אחד $P(s)$. המערכת מבוקרת כמתואר באיור 7 באמצעות בקר הגבר $C(s) = k_p$. מהו תחום הגברים עבורם החוג הסגור יציב ?

$k_p \in$ _____



55 (ג) תיאור פולרי לשאלה מס'

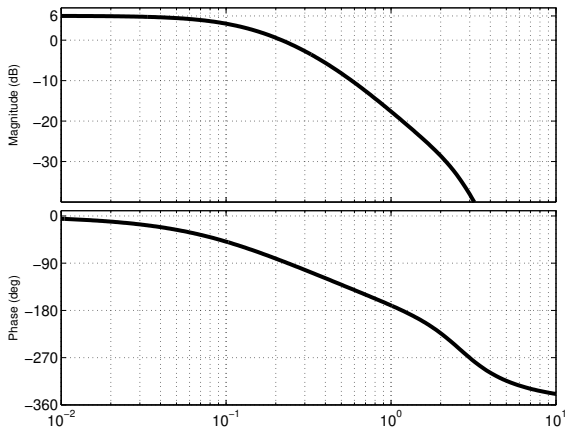
54 (ב) תיאור פולרי לשאלה מס'

53 (א) תיאור פולרי לשאלה מס'

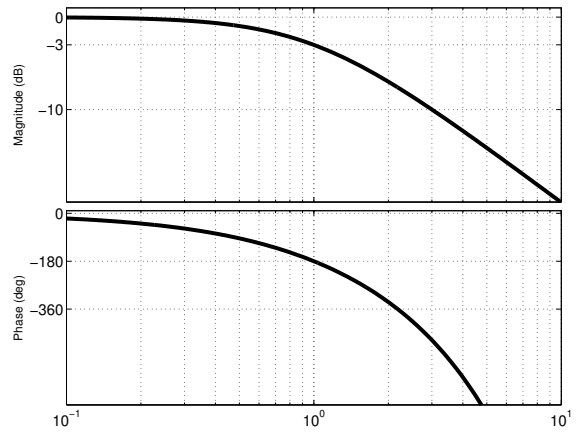
איור 10:

שאלה מס' 55

באיור 10 (ג) נתון התיאור הפולרי של תהליך יציב $P(s)$ המבוקר כמתואר באיור 7 באמצעות בקר הגבר $C(s) = k_p$. חשבו את שגיאת המצב המתמיד e_{ss} כפונקציה של $k_p > 0$ עבור $r(t) = 1(t)$.



57 (ב) דיאגרמת בודה לשאלה מס'



56 (א) דיאגרמת בודה לשאלה מס'

איור 11:

שאלה מס' 56

באיור 11 (א) נתון תיאור הבודה של המערכת $P(s) = \frac{e^{-sh}}{s+1}$ עבור h כלשהו. קבעו מהו הזמן המת במערכת.

h , מכיוון _____

שאלה מס' 57

מהם עודפי הגבר והפאזה של המערכת היציבה הנתונה על ידי דיאגרמת הבודה באיור 11 (ב)?

$\mu_g \approx$ _____ $\mu_{ph} \approx$ _____ מכיוון _____

שאלה מס' 58

מהם עודפי ההגבר, הפאזה והזמן המת של $L(s) = \frac{1}{s}$?

$\mu_d = \underline{\hspace{2cm}}$ $\mu_{ph} = \underline{\hspace{2cm}}$ $\mu_g = \underline{\hspace{2cm}}$

שאלה מס' 59

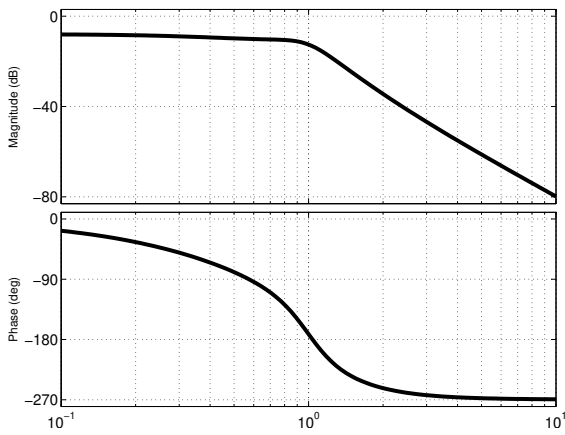
מהו עודף הזמן המת של $L(s) = \frac{1}{(s+2)^2}$?

$\mu_d = \underline{\hspace{2cm}}$, מכיוון

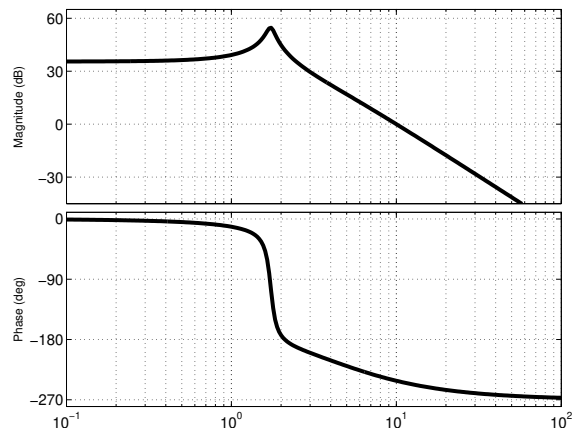
שאלה מס' 60

מהו עודף הזמן המת של $L(s) = \frac{2s^2 + 2}{s^2 + \sqrt{2}s + 1}$?

$\mu_d = \underline{\hspace{2cm}}$, מכיוון



(ב) דיאגרמת בודה לשאלה מס' 62



(א) דיאגרמת בודה לשאלה מס' 61

איור 12:

שאלה מס' 61

נתון תיאור הבודה של תהליך יציב מסויים, $P(s)$, באיור 12(א). דרוש לייצב את החוג הסגור כך ש- $\omega_c = 10 \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$. לצורך כך ניתן להשתמש בבקר:

קידום / פיגור, על מנת

שאלה מס' 62 ←

מהי תדירות מעבר ההגבר המקסימלית שניתן להשיג על ידי בקר יחסי מייצב בלבד, עבור המערכת היציבה המתוארת באיור 12(ב) ?

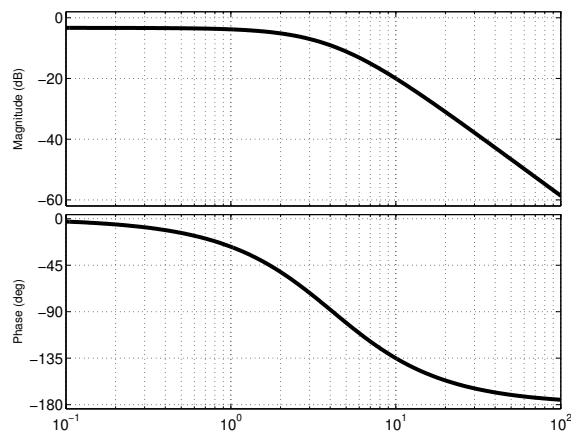
$\omega_c^{\max} \approx \underline{\hspace{2cm}} \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$, מכיוון

שאלה מס' 63

בבקר קידום, מדוע נהוג לבחור את ω_m כ- ω_c הרצויה?

שאלה מס' 64

בבקר פיגור, מדוע נהוג לבחור את ω_m כ- ω_c הרצויה?



איור 13: דיאגרמת בודה לשאלות מס' 65 ו-66

שאלה מס' 65

עקום בודה של תהליך יציב בחוג פתוח נתון באיור 13. דרוש לבקר את המערכת בחוג סגור כך שיתקיים:

א. שגיאת מצב מתמיד אפס לכניסת מדרגה באות הרפרנס ובהפרעה,

ב. תדר מעבר ההגבר $\omega_c = 10 \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$,

ג. עודף פאזה $\mu_{ph} \approx 39^\circ$.

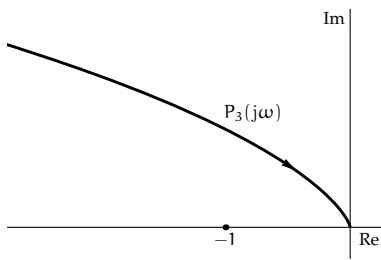
$C(s) =$ _____ ההיגיון מאחורי הבחירה הזו:

שאלה מס' 66

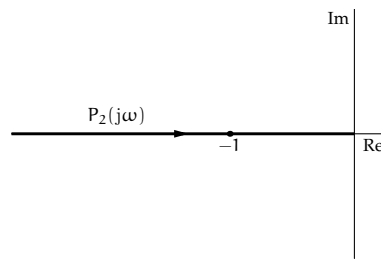
לתהליך באיור 13 נוסף זמן מת $h = \frac{\arcsin 0.6}{10} \approx 0.064$ שניות. תכננו בקר כך שהחוג הסגור יעמוד בכל הדרישות של שאלה 65.

$C(s) =$ _____ ההיגיון מאחורי הבחירה הזו:

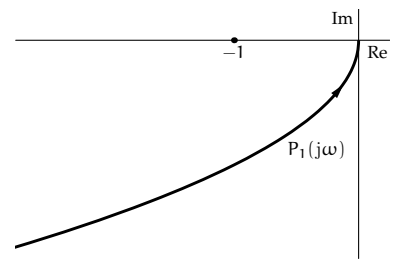
חלק ו' קשרים



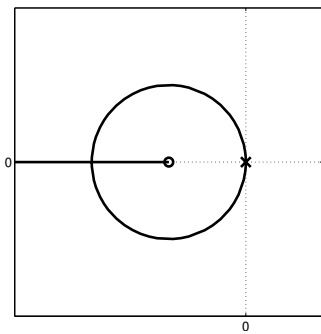
$P_3(s)$ (ג)



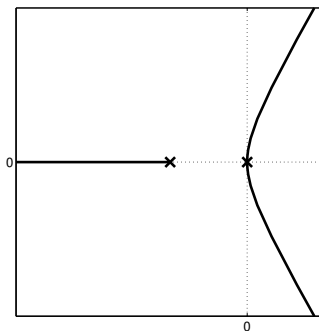
$P_2(s)$ (ב)



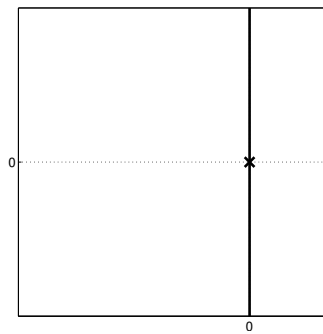
$P_1(s)$ (א)



$G_3(s)$ (ו)



$G_2(s)$ (ה)



$G_1(s)$ (ד)

איור 14: עקומים פולאריים ומג"שים לשאלה מס' 67

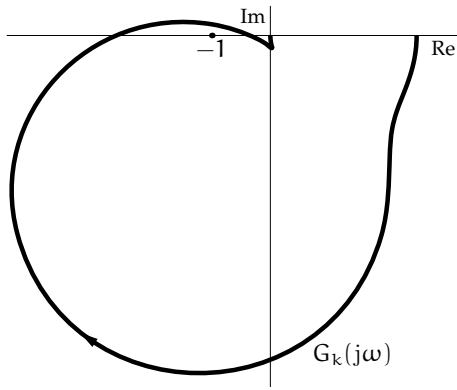
שאלה מס' 67

באיור 14 נתונים עקומים פולאריים של שלושה תהליכים בחוג פתוח. מבקרים כל אחד מהתהליכים בחוג סגור באמצעות בקר הגבר חיובי. תיאורי המג"ש המתקבלים נתונים באיור 14. התאימו בין המערכות למג"שים.

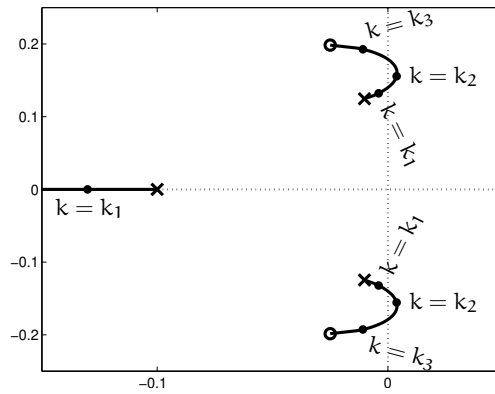
$G_1 = P$ מכיוון _____

$G_2 = P$ מכיוון _____

$G_3 = P$ מכיוון _____



(ב) אקוס פולרי



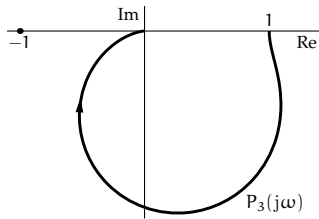
(א) מג"ש

איור 15: תיאורים לשאלה מס' 68

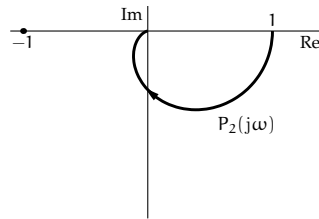
שאלה מס' 68

בציור 15 (א) מתואר מג"ש של מערכת $G_k(s)$ מסויימת ביחס לפרמטר k . שלוש נקודות על כל ענף (מתוכן 2 אשר נמצאות על הענף שעל הציר הממשי - אינן נראות בציור) מתאימות לשלושה ערכים של k : k_1, k_2, k_3 . היעזרו בתיאור הפולרי של $G_k(j\omega)$ בכדי לקבוע מי מהנקודות מתאימה ל- $k = 1$.

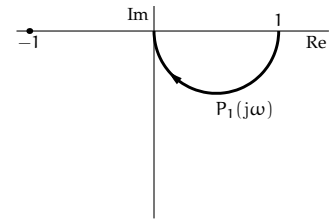
$k = 1$, מכיוון



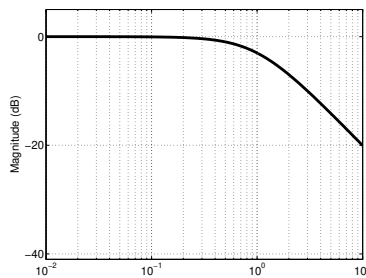
$P_3(s)$ (ג)



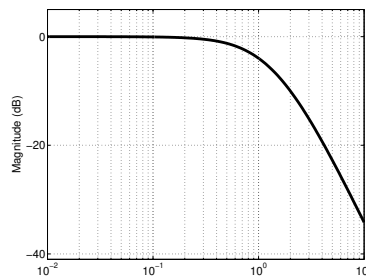
$P_2(s)$ (ב)



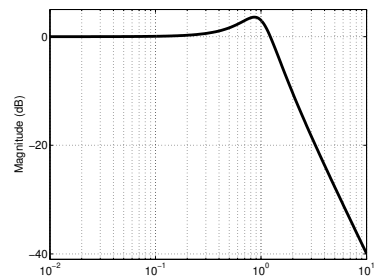
$P_1(s)$ (א)



$G_3(s)$ (ו)



$G_2(s)$ (ה)



$G_1(s)$ (ד)

איור 16: עקומים לשאלה מס' 69

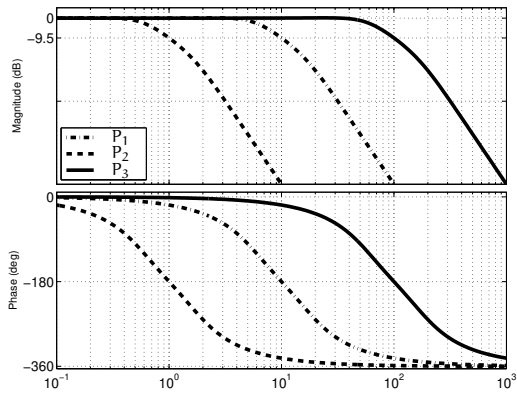
שאלה מס' 69

באיור 16 נתונים עקומי בודה של שלוש מערכות ועקומים פולאריים עבור אותן המערכות. התאימו בין העקומים.

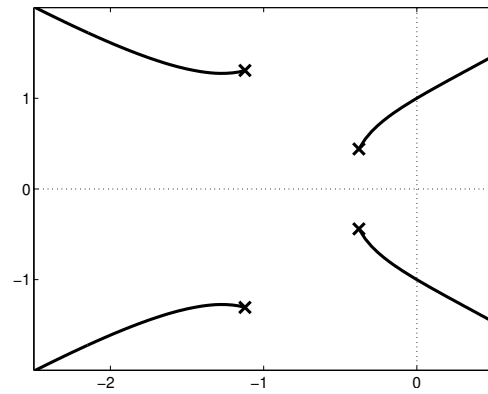
$G_1 = P$ מכיוון

$G_2 = P$ מכיוון

$G_3 = P$ מכיוון



(ב) דיאגרמות בודה של $P_1(s)$, $P_2(s)$ ו- $P_3(s)$



(א) מג"ש של $G_k(s)$

איור 17: תיאורים לשאלות מס' 70 ו-71

שאלה מס' 70

המג"ש של איזו מערכת מבין המערכות המתוארות באיור 17 (ב) מוצג באיור 17 (א)?

$G_k = P$ מכיוון

שאלה מס' 71

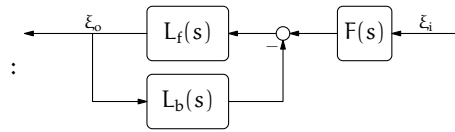
איזה בקר PI יתקבל באמצעות שיטת הכיוונון של זיגלר-ניקולס המופעלת על התהליך $P_1(s)$, כאשר תיאור הבודה שלו מוצג באיור 17 (ב)?

$C(s) =$ מכיוון

דף נוסחאות

• תגובת היתר לעומת מנת הריסון עבור מערכות מסדר שני תת-מרוסנות ללא אפסים

$1/\sqrt{2}$	1/2	1/3	1/4	1/5	ζ
4.32	16.3	32.93	44.43	52.66	OS (%-ב)

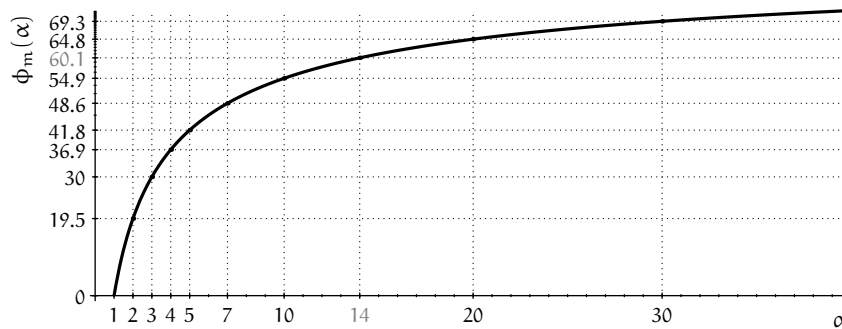


• תגובות מצב מתמיד עבור מערכת :

סוג 3	סוג 2	סוג 1	סוג 0	
0	0	0	$\frac{ F(0) }{ 1/L_f(0) + k_{st} }$	מדרגה: $\xi_i(t) = 1(t)$
0	0	$\frac{ F(0) }{ k_v }$	∞	ריצה: $\xi_i(t) = t \cdot 1(t)$
0	$\frac{2 F(0) }{ k_a }$	∞	∞	פרבולה: $\xi_i(t) = t^2 \cdot 1(t)$

כאשר $k_a := \lim_{s \rightarrow 0} s^2 L_b(s)$, $k_v := \lim_{s \rightarrow 0} s L_b(s)$, $k_{st} := \lim_{s \rightarrow 0} L_b(s)$

• בקר קידום: $C_{lead}(s) = \frac{\sqrt{\alpha}s + \omega_m}{s + \sqrt{\alpha}\omega_m}$, כאשר $\phi_m = \arcsin \frac{\alpha - 1}{\alpha + 1}$ (כדאי ש- $\phi_m \leq 60^\circ$) או $\alpha = \frac{1 + \sin \phi_m}{1 - \sin \phi_m}$



• בקר פיגור: $C_{lag}(s) = \frac{10s + \omega_m}{10s + \omega_m/\beta}$

• טבלת זיגלר-ניקולס:

	k_p	τ_i	τ_d
P	$0.5 K_u$		
PI	$0.45 K_u$	$\frac{T_u}{1.2}$	
PID	$0.6 K_u$	$\frac{T_u}{2}$	$\frac{T_u}{8}$

• התאמת יחידות:

$\sqrt{2}$	2	3	5	7	15	25	50	75	יחידות רגילות
≈ 3	≈ 6	≈ 9.5	≈ 14	≈ 16.9	≈ 23.5	≈ 28	≈ 34	≈ 37.5	dB

2	1.75	1.5	1.25	1	rad
≈ 114.59	≈ 100.27	≈ 85.94	≈ 71.62	≈ 57.3	deg

• כמה נוסחאות טריגונומטריות (לא לפבלב¹ בשימושן):

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \sin \beta \cos \alpha, \quad \cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \beta \sin \alpha,$$

$$\arctan \alpha \pm \arctan \beta = \arctan \frac{\alpha \pm \beta}{1 \mp \alpha\beta}$$

• שורש מיחידה המדומה: $\sqrt{j} = \frac{1}{\sqrt{2}} + j\frac{1}{\sqrt{2}}$

¹התניה פבלובית היא תהליך למידה שבו גירוי נייטרלי נלמד מעורר אצל אדם או בעל חיים תגובה רפלקסיבית.