

# תורת הבקרה להנדסאי חשמל

## מבחן לדוגמה 4 – סמבטר ב'

**מקצוע:** תורת הבקרה    **משך הבחינה:** 3 שעות    **מרצה:** אופיר כוכבי  
**חומר עזר מותר:**

1. מחשבון (אין להשתמש במחשב נייד, מחשב כך יד או במחשבון בעל תקשורת חיצונית)
2. קלסר אחד בלבד עם חומר ההרצאות. אין להוציא דפים מהקלסר.
3. שני ספרי לימוד.

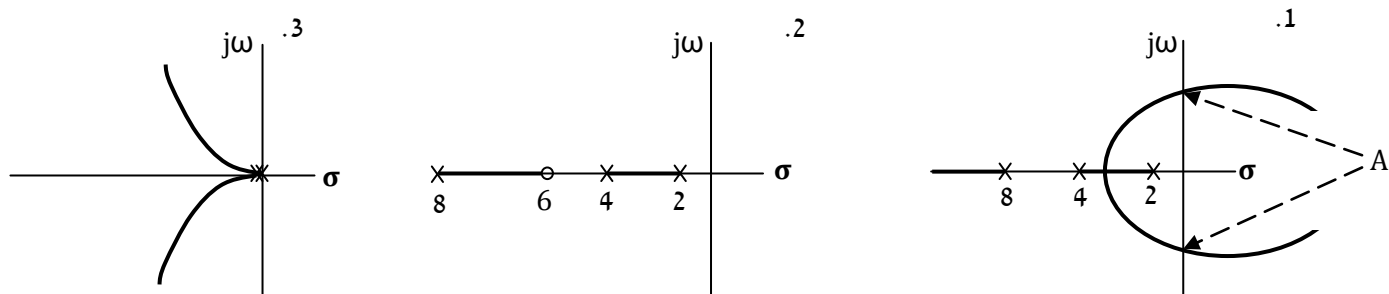
### הוראות לנבחן:

1. בשאלון 5 שאלות. יש לענות על 4 שאלות בלבד לבחירתך. כל השאלות שוות בערכן – 25 נקודות כל שאלה. סה"כ 100 נקודות.
2. אם בשאלה לא נאמר אחרת רכיבי המעגל הם אידיאליים.
3. חובה לתת את היחידות בכל תוצאות הביניים ותוצאות סופיות של החישוב.
4. יש להשאיר את העמוד הראשון במחברת ריק. בגמר הבחינה יש לרשום בעמוד זה את מספרי השאלות שיבדקו. במידה ולא צויין יבדקו ארבע השאלות הראשונות.
5. את התשובות יש לכתוב במחברת בעט בלבד, בכתב יד ברור ונקי.
6. יש להתחיל כל תשובה בעמוד חדש תוך ציון מספר השאלה והסעיף. אין צורך להעתיק את השאלה.
7. טיוטה תעשה במחברת הבחינה בלבד. יש לכתוב "טיוטה" ולהעביר קו על התשובה כדי שלא תבדק.
8. יש להציג פיתרון מלא ומנומק כולל חישובים כשצריך. הצגת תשובה סופית ללא דרך לפיתרון לא תזכה בניקוד.
9. אם להערכתך חסר נתון בשאלה, יש לציין זאת בתשובה ולבחור ערך מתאים שיאפשר לך להמשיך בפיתרון השאלה. במקרה כזה – חובה לנמק את הבחירה.

**ב ה צ ל ח ה !**

## שאלה 1

באיור נתון המיקום הגיאומטרי של השורשים (מג"ש) של שלוש מערכות שונות בעלות משווא יחידה.

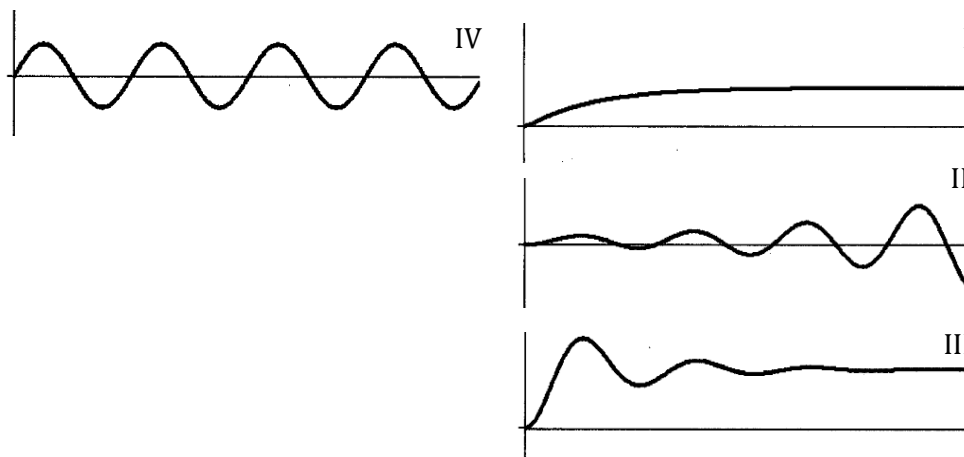


א. (12 נק') מהי הפונקציה  $G(s)$  של כל אחת מן המערכות ומהו סדרה? (יש להציג את הפונקציה כמכפלת האפסים חלקי מכפלת הקטבים).

$$G(s) = K \frac{\prod_i (s + z_i)}{\prod_j (s + p_j)}$$

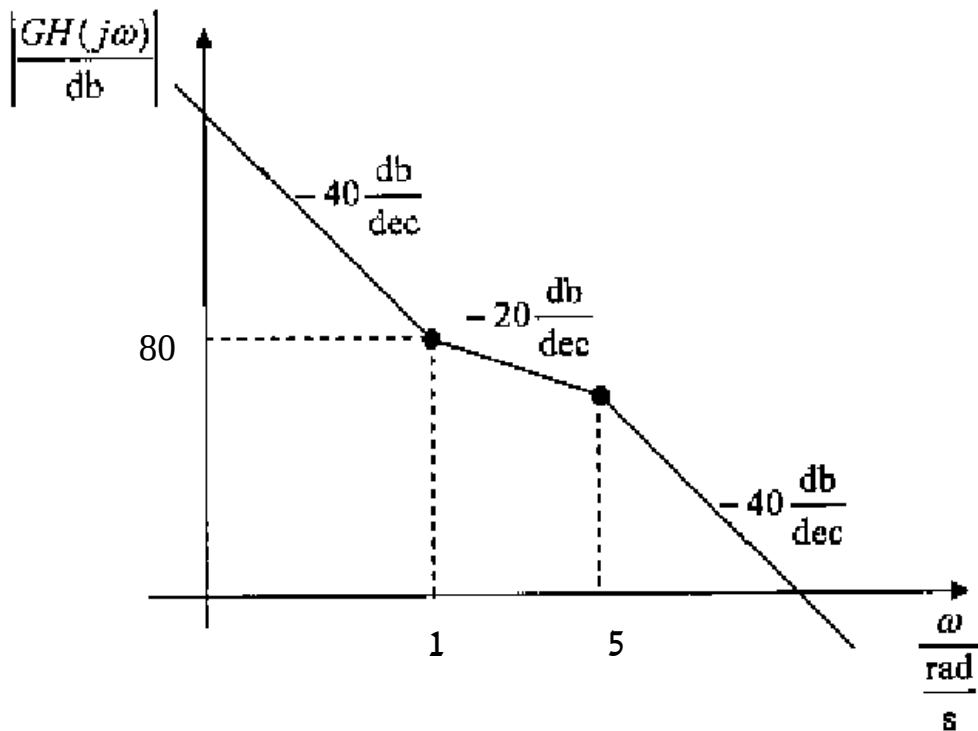
ב. (5 נק') איזה מן האותות הנתונים מטה (בסעיף ג') מאפיין את מערכת מס 1 בנקודת העבודה A? האם בנקודה זו המערכת יציבה?

ג. (8 נק') איזה מבין אותות המוצא הבאים אפשריים בכל אחת מן המערכות?



## שאלה 2

באיור נתון מתווה בודה עבור מערכת בקרה עם משוב יחידה :

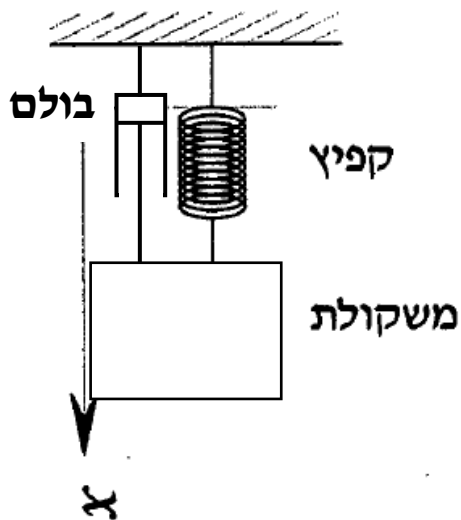


א. (15 נק') מהי פונקציית התמסורת של המערכת בהנחב שהגבר המשוב הוא 1?

ב. (5 נק') האם המערכת יציבה? נמק!

ג. (5 נק') האם יתכנו בתגובת המערכת לאילוץ מדרגה תנודות?

### שאלה 3



משקולת קשורה בקצה אחד לקפיץ סלילי. חקצת האחר של הקפיץ רתום לגוף גדול, כפי שמתואר באיור. כשהקפיץ רפוי ולא פועל עליו כל כוח חיצוני, כריכות הסליל נוגעות זו בזו. אורך הסליל במצב רפוי  $20\text{ mm}$  – אורכו המזערי. מסת הקפיץ קטנה מאוד בהשוואה למסת המשקולת.

$$k = 850 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

קבוע הכוח של הקפיץ

בתחום  $0\text{ m} \leq \Delta x \leq 0.2\text{ m}$  כוח הקפיץ יחסי ישר לשינוי

$$f_k = k \Delta x$$

באורכו:

$$B = 50 \frac{\text{N}}{\text{m/sec}}$$

מקדם החיכוך של הבולם

$$m = 5\text{ kg}$$

מסת המשקולת:

$$f_m = m a$$

וחכוח הפועל עליה יחסי לתאוצה

$$9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

שיעור תאוצת כוח הכבידה

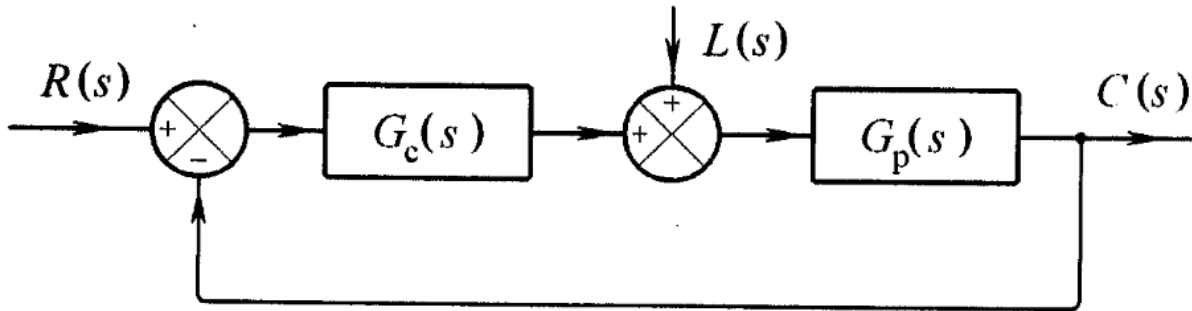
בזמן  $t=0$  שחררו את המשקולת ממקומה הנוכחי.

- (5נק') מהי המשוואה הדיפרנציאלית המתארת את המערכת?
- (5נק') מהי פונקציית התמסורת של המערכת?
- (5נק') מה הוא יחס הריסון ( $\zeta$ ) ומהי תדירות התנודות המרוסנות ( $\omega_d$ )?
- (5נק') מהו האילוץ למערכת? איזה סוג של אילוץ זה? (מדרגה, שיפוע, הלם)...
- (5נק') מה יהיה מרחק המשקולת ממקומה הנוכחי במצב המתמיד (כעבור כל תופעות המעבר)?

## שאלה 4

תרשים המלבנים שבאיור מתאר מערכת בקרה שבה האות  $L(s)$  הוא אות הפרעה חיצוני. לחלן פונקציות התמסורת של התהליך ובקר התהליך שבמערכת:

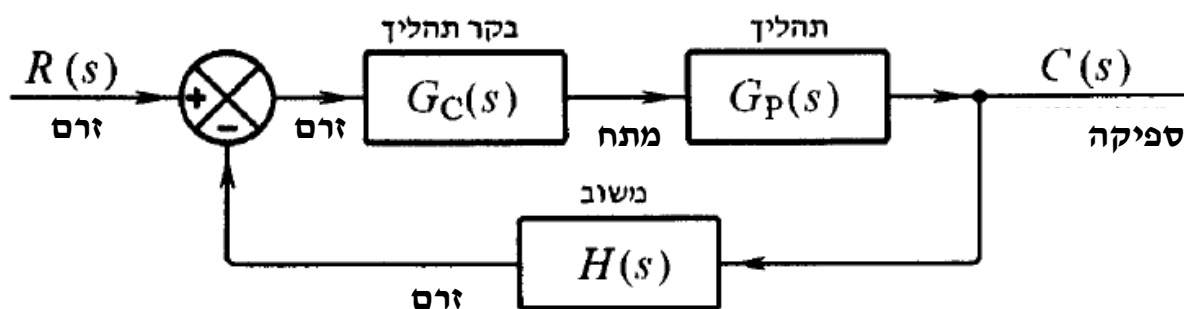
$$G_c(s) = k \left( 1 + \frac{20}{s} \right) \quad G_p(s) = \frac{5}{s+2}$$



- א. (10 נק') מהו תחום ערכי  $k$  עבורם יהיה ריסון המערכת תת קריטי?
- ב. (8 נק') מהי פונקציית התמסורת של תגובת המערכת כתלות באילוץ ובהפרעה? (סופרפוזיציה) הנח  $K$  עבור ריסון קריטי.
- ג. (7 נק') מהו הערך המתמיד של תגובת המערכת כשהערך הרצוי הוא מדרגה של 5 וההפרעה היא מדרגה של 1?

שאלה 5

באיור מתוארת מערכת לבקרת מפלס במיכל הכוללת תהליך, בקר תהליך ומשוב.



$$G_C(s) = k(1 + 2s) \quad G_P(s) = \frac{1400}{s^3 + 4.5s^2 + 6.7s + 8} \quad H(s) = 0.003$$

- א. (5 נק') מה הן היחידות הפיזיקאליות של פונקציית התמסורת של בקר התהליך, של המשוב ושל התהליך? (הנח כי הביטוי במכנה חסר יחידות)
- ב. (5 נק') מהו סוגו של בקר התהליך?
- ג. (10 נק') מה הם ערכי K עבורם תהיה המערכת יציבה?
- ד. (5 נק') עקב קצר ברגש נותק מעגל המשוב ומוצא הרגש אינו מספק זרם. האם כתוצאה מכך יגדל אות המוצא או יקטן? הסבר!

בתוך מבנה סדר מולד ל - גמר העתה

$$GH(s) = \frac{K}{(s+8)(s+4)(s+2)} \quad (3)$$

$$\frac{1/s^0}{1/s^0} \quad 1/s^0 \quad 1/s^0$$

$$GH(s) = \frac{K(s+6)}{(s+2)(s+4)(s+8)} \quad (3)$$

$$\frac{1/s^0}{1/s^0} \quad 1/s^0 \quad 1/s^0$$

$$GH(s) = \frac{K}{s^2} \quad (3)$$

$$\frac{1/s^0}{1/s^0} \quad 1/s^0 \quad 1/s^0$$

(2) את מספר 4 לעומת המספר 1 ונראה (5)

(2) מספר 1 - אפשרות 1, 2, 3, 4 (4)

מספר 2 - אפשרות 1 (2)

מספר 3 - אפשרות IV, III (2)

$$e) \quad db = 20 \log \frac{K}{\omega^2}$$

$$80 = 20 \log \frac{K}{1^2}$$

$$\log K = 4$$

$$10^4 = K = 10000(S)$$

$$GH(\omega) = \frac{10,000 \left(1 + \frac{\omega}{1}\right)}{\omega^2 \left(1 + \frac{\omega}{5}\right)} = \frac{K(1(\omega+1))}{\omega^2 \cdot 5(\omega+5)}$$

$$\frac{K+1}{5} = 10000 \rightarrow K = \frac{10000 \cdot 5}{1} = 50,000(S)$$

$$GH(\omega) = \frac{50,000(\omega+1)}{\omega^2(\omega+5)}$$

$$\frac{C}{\omega} = \frac{G}{1+GH} \quad \frac{G}{1+G} = \frac{50,000(\omega+1)}{\omega^2(\omega+5)} = \frac{50,000(\omega+1)}{\omega^2(\omega+5) + 50,000(\omega+1)}$$

$$= \frac{50,000\omega + 50,000}{\omega^3 + 5\omega^2 + 50,000\omega + 50,000} \quad (S)$$

1/ שני היתר:  $(-2+223.6j) (-2-223.6j) - 1$  (5)  
מחשבים - מחשבים וקצבה.

2/ אנו רואים שהשני היתר מקבילים. מחשבים היתר/מחשבים (5)  
והיתר בתחתית היתר.

3<sup>rd</sup> / 16

1c)

$$\Sigma f = m \cdot a$$

$$m \cdot g - B \cdot v - K \cdot x = m \cdot a$$

$$m \cdot a + B \cdot v + K \cdot x = f(t) \quad f(t) = m \cdot g$$

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + B \frac{dx(t)}{dt} + k \cdot x(t) = f(t)$$

$$\frac{5 \frac{d^2 x(t)}{dt^2}}{dt^2} + 50 \frac{dx(t)}{dt} + 850x = f(t) \quad (5)$$

$$2) \quad 5 \cdot s^2 \cdot x(s) + 50 \cdot s \cdot x(s) + 850 \cdot x(s) = F(s)$$

$$x(\$) [5\$^2 + 50\$ + 850] = F(\$)$$

$$\frac{X(\$)}{f(\$)} = \frac{1}{5\$^2 + 50\$ + 850} \cdot 5 \left( \frac{0.2}{\$^2 + 10\$ + 170} \right) \quad (5)$$

$$c) \omega_n = \sqrt{170} = 13.04 \text{ (1)}$$

$$2 \approx \omega_1 = 10$$

$$\Sigma = \frac{10}{247} = \frac{10}{2.13.07} = \underline{\underline{0.38}} \quad (2)$$

$$\omega_d = \omega_n \cdot \sqrt{1 - \zeta^2} = 13.07 \cdot \sqrt{1 - 0.38^2} = \underline{\underline{12.043 \left( \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right) (2)}}$$

[illegible]

$\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \lim_{\$ \rightarrow 0} x(\$) \cdot \$ = \lim_{\$ \rightarrow 0} \frac{0.2 \cdot 49.03 \cdot \$}{(\$^2 + 10/\$ + 170) \cdot \$} = 0.0577$   
 סכום 5.7 ש"ח  
 גובה התשלום הנמוך ביותר

$$\sum F = 0 \quad m \cdot g - B \cdot \cancel{V} - K \cdot x = 0 \quad \rightarrow m \cdot g = K \cdot x \quad \rightarrow x = \frac{m \cdot g}{15}$$

$$X = \frac{5.9807}{850} = 0.007036 \quad (B)$$

$$4 \rightarrow \sqrt{100}$$

$$c) \frac{C(\$)}{R(\$)} = \frac{(K\$ + 20K) \$}{\$ (\$ + 2)} = \frac{8K\$ + 100K}{\$ (\$ + 2) + 5K\$ + 100K}$$

$$1 + \frac{(K\$ + 20K) \$}{\$ (\$ + 2)} \cdot \$ (\$ + 2) \quad L(\$) = \frac{1}{\$}$$

$$= \frac{5K\$ + 100K}{\$}$$

$$(4) \$^2 + (2 + 5K) \$ + 100K$$

$$\omega_n = \sqrt{100K} = 10$$

$$2 \geq \omega_n = (2 + 5K)$$

$$\geq 0$$

$$2 + 5K = 0$$

$$K = -\frac{2}{5} = -0.4$$

$$2 \cdot 1 \cdot 10 = 2 + 0.5K$$

$$K = \frac{10 \cdot 2 - 2}{0.5} = 36$$

$$36 \geq K \geq -0.4$$

$$2) C(\$) = \frac{5(180\$ + 100)}{\$} + \frac{5\$}{\$}$$

$$= \frac{900\$ + 500 + 5\$}{(\$^2 + 182\$ + 100) \$} \quad (4)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} c(t) = \lim_{\$ \rightarrow 0} c(\$) \cdot \$$$

$$\lim_{\$ \rightarrow 0} \frac{(94\$ + 500) \$}{(\$^2 + 182\$ + 100) \$} = 5 \quad (3)$$

$$\frac{C(\$)}{L(\$)} = \frac{\frac{5}{\$ + 2}}{1 + \frac{(K\$ + 20) \$}{\$ (\$ + 2)}} = \frac{5\$}{\$ (\$ + 2) + (K\$ + 20) \$}$$

$$= \frac{5\$}{\$^2 + (2 + 5K) \$ + 100}$$

$$C(\$) = \frac{(5K\$ + 100) R(\$) + 5\$ \cdot L(\$)}{\$^2 + (2 + 5K) \$ + 100} \quad (4)$$

8 1/2

$$(2) \left( \frac{V}{mA} \right) \leftarrow K_c = \frac{V(V)}{I(mA)} \gg \gg (K$$

$$(2) K_p \left( \frac{m^3}{V \cdot \text{sec}} \right) \quad K_p = \frac{9 \text{ (m}^3\text{) / 50}}{V \text{ (V)}} \quad 1, 1, 2$$

$$(1) \quad K_f \left( \frac{m_A \cdot \text{Sec}}{m_3} \right) \quad K_H \quad \frac{I \text{ (mA)}}{q \text{ (m}^3/\text{Sec)}} \quad \text{2200}$$

ב) יש הנדסה ו/או סף הנחת הדואל PD  
 $(1K+2KS) \cdot 146$

$$\frac{C}{P} = \frac{\$^3 + 4.5 \$^2 + 6.7 \$ + 8}{1 + (K + 2K\$) \cdot 0.003} = \frac{1400K + 2800K\$}{\$^3 + 4.5 \$^2 + 6.7 \$ + 8 + 4.2K + 8.4K\$}$$

$$\frac{C}{R} = \frac{1400K + 2800K\$}{\$^3 + 4.5\$^2 + (6.7 + 8.4K)\$ + 4.21K + 8} \quad (2)$$

$$C_1 = \frac{(6.7 + 8.4K) 4.5 - (4.2K + 8)}{4.5}$$

$$\frac{33.6K + 22.15}{4.5} > 0$$

$$33.6k > -22.15$$

$$I_K > 0.66 \quad (2)$$

II  $4.2K + 8 > 0$

4.21 < > - 8

$$K > 1.9$$

$$-0.66 < 1 <$$

$$\frac{C}{r} = GC \cdot GP = \frac{(K + 2K\beta) \eta \omega^3}{\beta^3 + 4.5\beta^2 + 6.7\beta + 8}$$

ניתן להוסיף שמה א נתן חנינה של הסתלקות  
 ש מה המושב גדול ומה מזה של הפסח בלי  
 הוסיפה. כלומר נעזק במשולב וצריך לה  
 מזהב המושב.

היסט II הימשה ונוס ב (-)  $\epsilon = 3\epsilon$  צה  
 שנינו א צהאן אשהו ב (-) דם יוניו טל  
 ארן היא דם. גם דם א קיט, ארן הימיו  
 וזכר.

⑥