GuyAI
מבית GOOL בגרויות

סוג הבחינה: בחינת גמר ממלכתית
מועד הבחינה: קיץ 2026 מועד א'
סמל השאלון: 97112
שם התלמיד/ה: _____

מערכות בקרה, רכיבים ומתמירים

הנדסת אלקטרוניקה · הנדסאים וטכנאים

הוראות

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: 17 שאלות בשאלון. השאלון מחולק לשני חלקים. חלק א' - שאלות סגורות. יש לענות על 8 שאלות בלבד, מתוך השאלות 1-11. ערך כל שאלה 5 נקודות, סה"כ 40 נקודות. חלק ב' - שאלות פתוחות. יש לענות על 4 שאלות בלבד, מתוך השאלות 12-17. ערך כל שאלה 15 נקודות, סה"כ 60 נקודות. סה"כ: 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר בשימוש: מחשבון (אין להשתמש במחשב כף יד או במחשבון עם תקשורת חיצונית). דפי נוסחאות יצורפו לשאלון הבחינה.

ד. הוראות מיוחדות: פתרונות לתרגילי חישוב יש להציג בסדר הזה: הסבר מילולי של פעולת החישוב, כתיבת הנוסחה המתאימה, הצבה (כל הערכים ביחידות המתאימות), כתיבת התוצאה עד שלוש ספרות משמעותיות אחרי הנקודה העשרונית, בציון יחידות המידה המתאימות ושימוש בכופלים הנדסיים או חזקות של 10. הוראות כלליות: 1. יש לקרוא בעיון את ההנחיות בדף השער ואת כל שאלות הבחינה ולוודא שהן מובנות. 2. יש להשאיר את העמוד הראשון במחברת הבחינה ריק. בסיום המבחן יש לרשום בעמוד זה את מספרי התשובות לבדיקה. התשובות תבדקנה לפי סדר כתיבתן בעמוד זה. לא תבדקנה תשובות עודפות. 3. יש לכתוב את התשובות בעט בלבד, בכתב יד ברור. אין להשתמש בנוזל תיקון. 4. יש להתחיל כל תשובה בעמוד חדש ולציין את מספר השאלה ואת הסעיף. אין צורך להעתיק את השאלה עצמה. אין למספר את עמודי מחברת הבחינה. 5. טיוטה יש לכתוב במחברת הבחינה בלבד. יש לרשום את המילה "טיוטה" בראש העמוד ולהעביר קו על הכתוב כדי שלא ייבדק. 6. יש להציג פתרון מלא ומנומק, כולל חישובים לפי הצורך. הצגת תשובה סופית ללא שלבי הפתרון לא תזכה בניקוד. 7. אם לדעתכם חסר נתון בשאלה, יש לציין זאת ולהוסיף נתון שיאפשר להמשיך בפתרון השאלה, נמקו את בחירתכם.

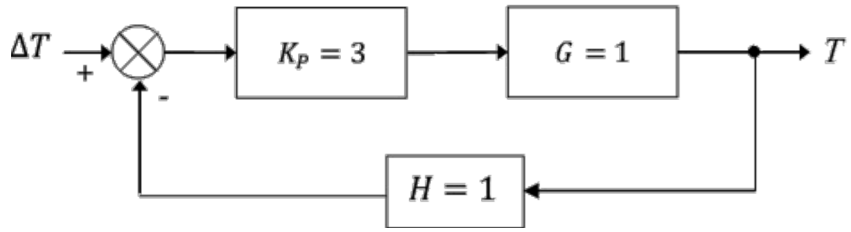
השאלות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים, אף על פי כן על כל תלמידה וכל תלמיד להשיב עליהן באופן אישי.

בהצלחה!

השאלות

1. באיור לשאלה 1 מוצגת מערכת לבקרת טמפרטורה בחוג סגור, הטמפרטורה הנמדדת במוצא שווה להגבר הבקר כפול הגבר התנור, כפול השגיאה.

נתונים: הגבר הבקר: $K_P = 3$. הגבר התנור: $G = 1$. שינוי הטמפרטורה המבוקש (הכניסה): $\Delta T = 16\,^\circ\mathrm{C}$.



שגיאת הטמפרטורה במצב מתמיד היא:

א. $e_{ss} = 4\,^\circ\mathrm{C}$

ב. $e_{ss} = 0\,^\circ\mathrm{C}$

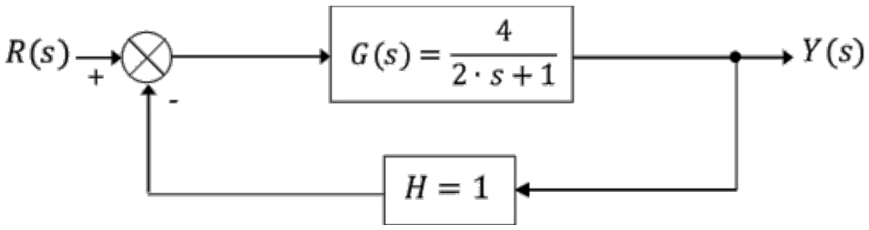
ג. $e_{ss} = 8\,^\circ\mathrm{C}$

ד. $e_{ss} = 2\,^\circ\mathrm{C}$

(5 נקודות)

2. באיור לשאלה 2 מוצגת מערכת בקרה מסדר ראשון.

נתון: למערכת זו נתנו קלט של מדרגת יחידה $u(t) = 1$.



ערך המוצא $y(t)$ בזמן של $t = 2\,sec$ הוא:

א. $y(2) = 1.271$

ב. $y(2) = 0.795$

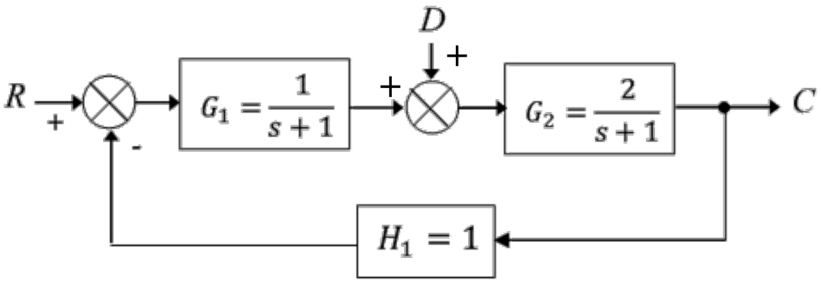
ג. $y(2) = 0.285$

ד. $y(2) = 3.161$

(5 נקודות)

נכתב ונבדק על ידי צוותי GOOL בגרויות ו-GuyAI · www.guyai.co.il

3. באיור לשאלה 3 מוצגת סכמת מלבנים של מערכת בקרה עם שתי כניסות. לכניסה R נתנו מדרגת יחידה $\frac{1}{s}$, ולכניסה D נתנו מדרגת שלוש יחידות $\frac{3}{s}$. נתון שהמערכת יציבה לחלוטין.



מוצא מערכת הבקרה במצב המתמיד $c(\infty)$ הוא:

א. $c(\infty) = 2.836$

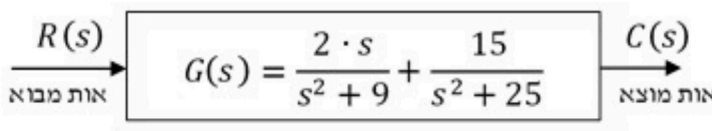
ב. $c(\infty) = 3.093$

ג. $c(\infty) = 6.312$

ד. $c(\infty) = 2.667$

(5 נקודות)

4. באיור לשאלה 4 מוצגת פונקציית תמסורת $G(s)$ של מערכת בקרה מסוימת.



התמרת לפלס ההפוכה של $G(s)$ היא:

א. $g(t) = 2 \cdot \sin(9t) + 3 \cdot \cos(5t)$

ב. $g(t) = 2 \cdot \cos(3t) + 5 \cdot \sin(3t)$

ג. $g(t) = 2 \cdot \cos(3t) + 3 \cdot \sin(5t)$

ד. $g(t) = 4 \cdot \cos(9t) + 3 \cdot \sin(5t)$

(5 נקודות)

נכתב ונבדק על ידי צוותי GOOL בגרויות ו-GuyAI · www.guyai.co.il

5. באיור לשאלה 5 מוצגת מערכת בקרה עם בקר PID.

לבקר יש שגיאה קבועה בזמן של מדרגה בגודל 3 יחידות $e(t) = 3 \cdot u(t)$.

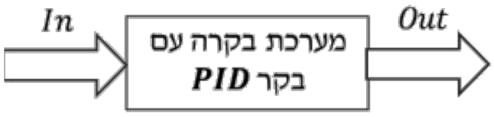
משוואת יציאת הבקר היא: $m_0 = P_0 + K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(t)dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$

נתון: ההגבר היחסי של הבקר $k_p = 4$.

ההגבר האינטגרלי של הבקר $k_i = 2$.

ההגבר הדיפרנציאלי של הבקר $k_d = 1$.

יציאת הבקר בזמן $t = 0\,sec$ היא: $P_0 = 0$.



אות יציאת הבקר m_0 בזמן $t = 2\,sec$ הוא:

א. $m_0 = 12$

ב. $m_0 = 16$

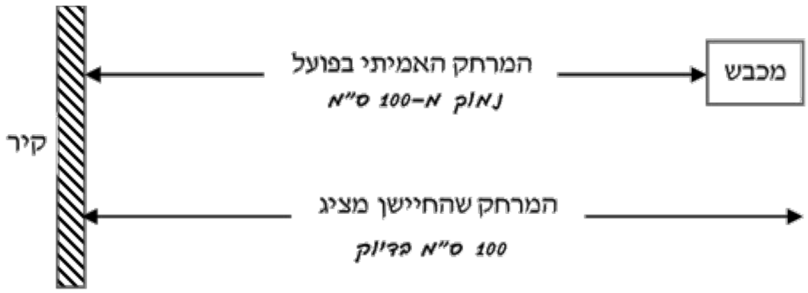
ג. $m_0 = 24$

ד. $m_0 = 28$

(5 נקודות)

6. באיור לשאלה 6 מוצג קיר ומכבש. טכנאי משתמש במערכת מדידה המבוססת על מד-טווח לייזר כדי לקבוע את מרחק המכבש מהקיר. המערכת מתוכננת כך שהיא מזיזה את המכבש קדימה עד שהחיישן מראה מרחק של **100 ס"מ** בדיוק מהקיר. הטכנאי שכח לבצע כיול לחיישן. כתוצאה מכך, החיישן מציג תמיד ערך שגוי: הוא מראה תוצאה שהיא **גדולה ב- 5%** מהמרחק האמיתי. כלומר: על כל 100 ס"מ של מרחק אמיתי, הוא מציג 105 ס"מ.

במדידה האחרונה שבוצעה, המערכת נעצרה ברגע שהחיישן הראה 100 ס"מ.



במדידה האחרונה, המרחק **האמיתי** של המכבש מהקיר הוא:

א. $x = 105.0\,cm$

ב. $x = 95.0\,cm$

ג. $x = 100.0\,cm$

ד. $x = 95.24\,cm$

(5 נקודות)

7. נתון שסתום בקרה המבקר מערכת השקיית מים מועשרים בסיבים. הלחץ הסטטי של המים לפני ההצרה הוא: $P_1 = 2.7\,PSI$. הלחץ הסטטי של המים המועשרים במהלך ההצרה קטן ב- 20% מהלחץ של P_1 . ספיקת המים היא: $Q = 3.8\,GPM$. **נתון:** משקל סגולי של המים המועשרים: $g = 1.1\left[\frac{gr}{cm^3}\right]$.

ערך ה- C_v של השסתום הנתון הוא:

א. $C_v = 3.93$.

ב. $C_v = 4.68$.

ג. $C_v = 5.42$.

ד. $C_v = 7.11$.

(5 נקודות)

8. במערכת בקרת טמפרטורה של תנור תעשייתי, מתלבטים מהנדסי המערכת האם להשתמש בבקר דו-מצבי (On-Off Controller) או בבקר רציף מסוג (PID Controller).

הֶהְגֵד המתאר נכונה את ההבדל בהתנהגות המערכת ובמאמץ של רכיבי הקצה (כגון גופי החימום או השסתומים) בין שני סוגי הבקרים הוא:

א. בקר דו-מצבי יביא את המערכת למצב מתמיד ללא שגיאה (Steady-state error) וללא תנודות, בעוד שבקר רציף יגרום לתנודתיות מתמדת סביב ערך המטרה (Set-point).

ב. בקר דו-מצבי גורם לתנודות מתמידות (Oscillations) של המשתנה המבוקר סביב ערך המטרה ומגדיל את הבלאי המכני/חשמלי של רכיבי הקצה, בעוד שבקר רציף מאפשר הגעה לערך המטרה בצורה חלקה ויציבה תוך שינוי מתון של אות הבקרה.

ג. אות המוצא של בקר דו-מצבי משתנה באופן ליניארי ורציף בהתאם לגודל השגיאה, ואילו בקר רציף מספק רק שני ערכי מוצא קיצוניים (מקסימום ואפס).

ד. שימוש בבקר רציף תמיד דורש פחות משאבי חישוב וזול יותר ליישום בהשוואה לבקר דו-מצבי, אך הוא פחות מדויק ממנו במצב מתמיד.

(5 נקודות)

9. באיור לשאלה 9 מוצג ממיר אנלוגי-לדיגיטלי ADC המשמש במערכת בקרה. **נתון:** בטווח מדידה של $0 \div 10\,V$ מתקבל פלט דיגיטלי בן 12 סיביות $12\,bits$.



כושר ההפרדה (Resolution) של ממיר ה- ADC הוא:

א. $res = 0.244\,mV$

ב. $res = 2.44\,mV$

ג. $res = 24.4\,mV$

ד. $res = 0.024\,mV$

(5 נקודות)

10. באיור לשאלה 10 מוצג מד עיוות (Strain Gage) מודבק על מוט פלדה באורך התחלתי של 500 מ"מ. במהלך ניסוי מתיחה נמדדה התארכות של 0.4 מ"מ.



העיוות היחסי ε שנמדד על ידי מד העיוות הוא:

א. $\varepsilon = 0.0008$

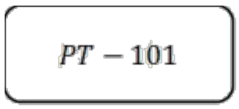
ב. $\varepsilon = 0.008$

ג. $\varepsilon = 0.08$

ד. $\varepsilon = 1250$

(5 נקודות)

11. באיור לשאלה 11 מוצג סימון של מכשיר מסוים כ: $PT-101$ בהתאם לסימוני ISA.



משמעות הסימון הנתון הוא:

א. משדר לחץ.

ב. מד טמפרטורה.

ג. בקר לחץ.

ד. משדר זרימה.

(5 נקודות)

12. במערכת בקרה מסדר ראשון נמדדה תגובת המערכת למבוא מדרגה. נמצא כי עבור מבוא מדרגה בגודל 8 יחידות, הערך הסופי של המוצא הוא 24 יחידות. כמו כן, ידוע כי המוצא מגיע ל- 63.2% מערכו הסופי לאחר 5 שניות.

א. מהו ההגבר הסטטי K של המערכת?

(2 נקודות)

ב. מהו קבוע הזמן τ של המערכת?

(3 נקודות)

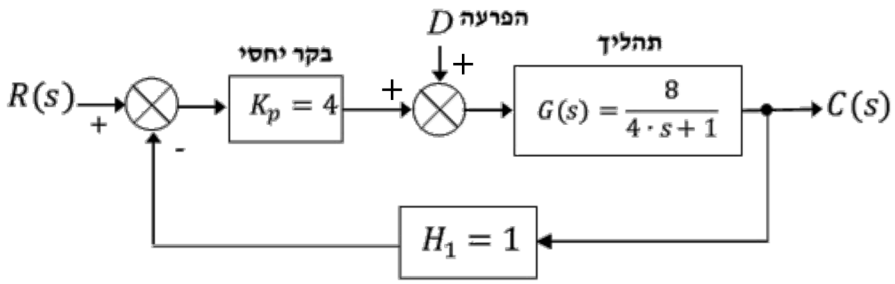
ג. מהי פונקציית התמסורת המנורמלת של המערכת?

(4 נקודות)

ד. מהו ערך המוצא $y(t)$ לאחר 10 שניות עבור מבוא מדרגה בגודל 8 יחידות?

(6 נקודות)

13. באיור לשאלה 13 מוצג תרשים מלבנים של מערכת בקרת לחות אוויר. באיור ניתן לראות תהליך ובקר יחסי.



למערכת הבקרה נכנסה הפרעת מדרגה בגודל 3 יחידות $d(t) = 3\,u(t)$. בפתרונכם הניחו: $r(t) = 0$.

א. מהי פונקציית התמסורת כתוצאה מההפרעה: $G_d(s) = \frac{C(s)}{D(s)}$?

(4 נקודות)

ב. מהו ערך המוצא במצב מתמיד $c(\infty)$ הנגרם כתוצאה מההפרעה D בלבד?

(6 נקודות)

ג. מהי השגיאה e_{ss} במצב מתמיד עקב ההפרעה במוצא המחסר של R?

(5 נקודות)

14. נתונה מערכת בקרה אשר המשוואה האופיינית שלה היא:

$P(s) = s^3 + 6 \cdot s^2 + 11 \cdot s + K$.

נתון ש- K הוא פרמטר חיובי וממשי.

א. רשמו את טבלת ראוט (Routh Array) עבור המערכת הנתונה כפונקציה של הפרמטר K .

(5 נקודות)

ב. חִשְבו את תחום הערכים של K שעבורו המערכת תהיה יציבה לפי קריטריון ראוט-הורוביץ.

(4 נקודות)

ג. עבור אילו ערכים של K המערכת תהיה על סף יציבות?

חִשְבו מה יהיה תדר התנודות העצמיות ω_n של המערכת במצב זה.

(6 נקודות)

נכתב ונבדק על ידי צוותי GOOL בגרויות ו-GuyAI · www.guyai.co.il

15. שנאי הפרש $LVDT$ משמש למדידת תזוזות ליניאריות. בתחום העבודה הליניארי של ה-$LVDT$, מתח היציאה פרופורציונלי לתזוזת הליבה.

נתון:

1. רגישות ה-$LVDT$: $Sen = 0.4\,\frac{V}{mm}$.
2. מתח היציאה בתחום העבודה הליניארי נתון על ידי: $V_{out} = Sen \cdot x\left[\frac{V}{mm}\right]$.

$V_{out}\,[V]$ - מתח היציאה, $x\,[mm]$ - תזוזת הליבה.

א. הליבה זזה $x = +8\,mm$ מנקודת האפס. מהו מתח המוצא V_{out} של ה-$LVDT$?

(2 נקודות)

ב. במדידה אחרת התקבל מתח יציאה $V_{out} = -3.2\,V$. מהי תזוזת הליבה x ? מהו כיוון התנועה ביחס לנקודת האפס, תנועה **בכיוון הצד החיובי** או **בכיוון הצד השלילי**?

(2 נקודות)

ג. ה-$LVDT$ מחובר לממיר A/D בעל תחום מדידה: $-5V \le V_{in} \le +5\,V$ ורזולוציה של 12 ביט.

חִשְבו את גודל צעד הכימות (LSB) במתח. **גודל צעד הכימות הוא למעשה הרזולוציה של הממיר**, והוא קובע את השינוי המינימלי בכניסה שניתן להמיר לערך דיגיטלי שונה.

(5 נקודות)

ד. חִשְבו את רזולוציית התזוזה המינימלית $\Delta x_{min}\,[\mu m]$ שהמערכת מסוגלת למדוד.

(6 נקודות)

16. במערכת אוטומטית למיון אריזות, מסוע נע במהירות קבועה של $0.8\,\frac{m}{sec}$. על המסוע נעה אריזה שעליה מותקן מגנט. בקצה המסוע מותקנים שני מפסקי גבול:

- **מפסק גבול מגנטי** הממוקם במרחק $4.6\,m$ מנקודת ההתחלה.
- **מפסק גבול מכני** הממוקם במרחק $5.0\,m$ מנקודת ההתחלה.

כאשר אחד המפסקים מופעל, נשלחת פקודת עצירה למנוע. זמן התגובה של מערכת הבקרה הוא $0.15\,sec$ ובמהלך זמן זה המסוע ממשיך לנוע במהירות קבועה.

א. מהו מיקום x האריזה ברגע העצירה הסופי אם פקודת העצירה מתקבלת ממפסק הגבול המגנטי?

מיקום x האריזה ברגע העצירה יחושב **יחסית** לנקודת התחלת הנסיעה של האריזה.

(4 נקודות)

ב. קבעו האם האריזה תגיע למפסק הגבול המכני לפני עצירתה? **נמקו תשובתכם באמצעות חישוב.**

(5 נקודות)

ג. מהו המרחק המינימלי x_{min} שבו יש להציב את המפסק המגנטי לפני המפסק המכני כדי להבטיח שהאריזה תיעצר בדיוק $5\,cm$ לפני המפסק המכני?

(6 נקודות)

17. באיור לשאלה 17 מוצג מעגל חשמלי למדידת טמפרטורה. טכנאי מעוניין להשתמש בתרמיסטור NTC לצורך מדידת טמפרטורה של מים בדוד תעשייתי.

נתוני היצרן של התרמיסטור הם:

- התנגדות התרמיסטור R_T בטמפרטורת הייחוס של $25\,^\circ\mathrm{C}$ היא: $10\,K\Omega$.
- קבוע החומר (רגישות התרמיסטור) הוא: $\beta = 3950\,[^\circ K]$.
- נוסחת התרמיסטור: $R_T = R_0 \cdot e^{\beta \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$

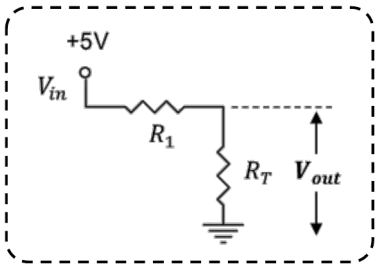
הטמפרטורות הן **במעלות קלווין**.

T - טמפרטורת היעד. T_0 - טמפרטורת הייחוס. β - רגישות התרמיסטור.

R_0 - התנגדות התרמיסטור בטמפרטורת הייחוס.

התרמיסטור מחובר בטור לנגד קבוע $R_1 = 10\,K\Omega$ ולמקור מתח יציב של $V_{in} = 5\,V$ (מעגל מחלק מתח).

מתח המוצא V_{out} נמדד על פני התרמיסטור.



א. חשבו את התנגדות התרמיסטור R_T כאשר טמפרטורת המים מגיעה ל- $60\,^\circ\mathrm{C}$.

(3 נקודות)

ב. מה יהיה מתח המוצא הנמדד V_{out} על פני התרמיסטור בטמפרטורה זו ($60\,^\circ\mathrm{C}$)?

(4 נקודות)

ג. בגלל תקלה, מד המתח מציג ערך של $1.5\,V$ במקום המתח האמיתי שחישבתם בסעיף ב'. מהי הטמפרטורה (במעלות צלזיוס) שהמערכת "תחשוב" שיש בדוד כתוצאה מקריאה שגויה זו?

(8 נקודות)

כל מבחני מה"ט עם פתרונות מלאים: www.guyai.co.il/mahat