GuyAI
מבית GOOL בגרויות

סוג הבחינה: בחינת גמר ממלכתית
מועד הבחינה: אביב 2025 מועד ב'
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 שמונה שאלות בלבד, מתוך השאלות 1-11. ערך כל שאלה חמש נקודות, סה"כ 40 נקודות. חלק ב' - שאלות פתוחות. יש לענות על ארבע 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.

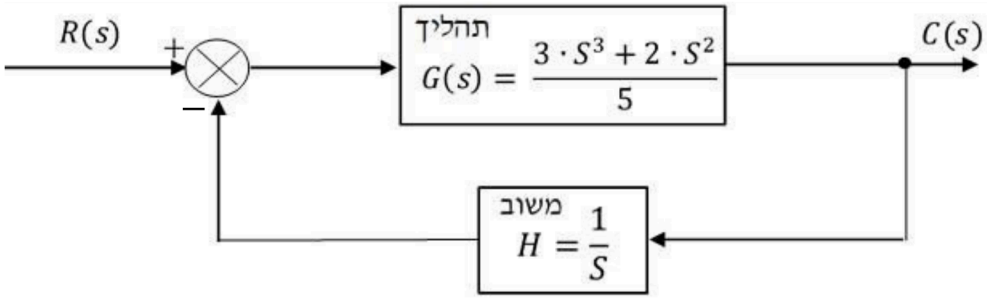
השאלות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים, אף על פי כן על כל תלמידה וכל תלמיד להשיב עליהן באופן אישי.

**בהצלחה!**

# השאלות

**1.** באיור לשאלה 1 מוצגת סכמת מלבנים של מערכת בקרה בחוג סגור.

פונקציית התמסורת של מערכת הבקרה בחוג סגור $G_f(s)=\frac{C(s)}{R(s)}$ היא:




א. $G_f(s)=\frac{3\cdot S^3+2\cdot S^2}{3\cdot S^2-2\cdot S+5}$ .

ב. $G_f(s)=\frac{3\cdot S^3+2\cdot S^2}{2\cdot S^2+3\cdot S+5}$ .

ג. $G_f(s)=\frac{3\cdot S^3+2\cdot S^2}{3\cdot S^2+2\cdot S+5}$ .

ד. $G_f(s)=\frac{3\cdot S^3+2\cdot S^2}{3\cdot S^2-2\cdot S+5}$ .

(5 נקודות)

**2.** נתונה הפונקציה $F(s)$ של מערכת בקרה מסוימת: $F(s)=\frac{3.1}{(S+7)^2+9.61}$

התמרת לפלס ההפוכה של הפונקציה $F(s)$ היא:

א. $f(t)=e^{-7t}\cdot\sin 3.1\,t$ .

ב. $f(t)=e^{-5t}\cdot\cos 3.1\,t$ .

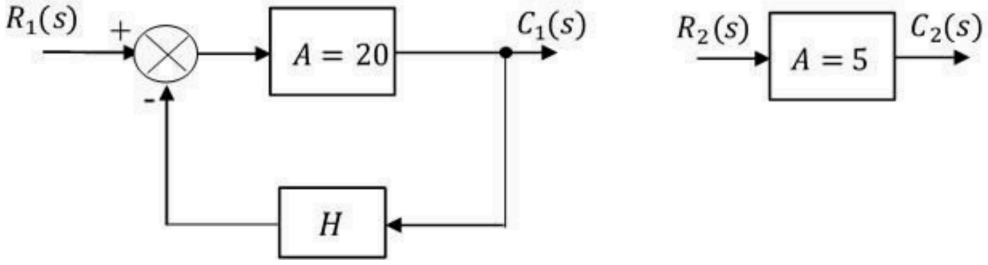
ג. $f(t)=e^{-5t}\cdot\sin 3.1\,t$ .

ד. $f(t)=e^{-7t}\cdot\cos 3.1\,t$ .

(5 נקודות)

**3.** באיור לשאלה 3 מוצגת שתי מערכות בקרה, האחת בחוג פתוח והשנייה בחוג סגור.

על מנת שההגבר של שתי המערכות יהיה זהה, $\frac{C_1(s)}{R_1(s)}=\frac{C_2(s)}{R_2(s)}$ , הערך של $H$ חייב להיות:





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

א. $H = 0.20$

ב. $H = 0.15$

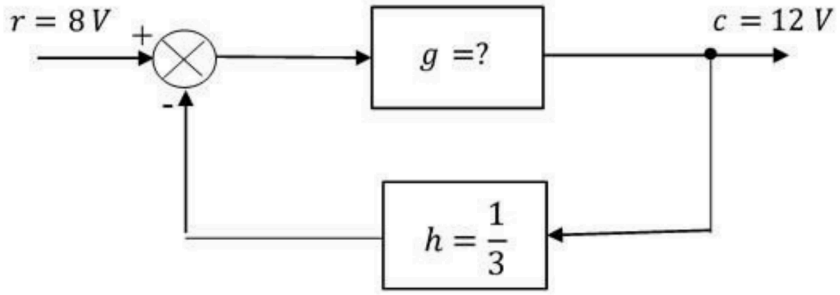
ג. $H = 0.30$

ד. $H = 0.25$

(5 נקודות)

**4. באיור לשאלה 4 מוצגת סכמת מלבנים של מערכת בקרה. כל הערכים המספריים המוצגים בסכמה נמדדו באותו זמן וכאשר המערכת פועלת.**

**ערך הפונקציה $g$ הוא:**




א. 4.7

ב. 4.2

ג. 3.0

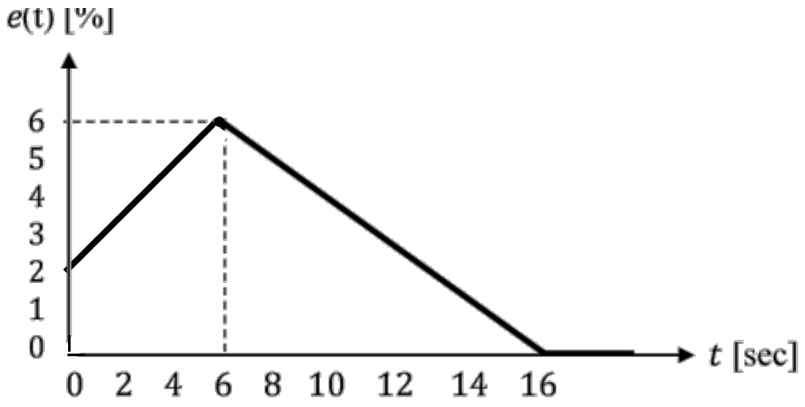
ד. 7.0

(5 נקודות)

**5. באיור לשאלה 5 נתון אופיין שגיאה עבור בקר יחסי - *Proportional Controler* .**

**נתון:** $P_0 = 14.7\%$ , $k_P = 1.9$ .

**ערכה הרגעי של תגובת הבקר** $P(t)\,[\%]$ **בזמן** $t = 10\,\text{sec}$ **הוא:**






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

א. $P(10) = 29.17\,\%$

ב. $P(10) = 24.06\,\%$

ג. $P(10) = 32.29\,\%$

ד. $P(10) = 21.54\,\%$

(5 נקודות)

**6.** מהו תפקידו העיקרי של החיישן (Sensor) במערכת המדידה?

א. להמיר את האות הנמדד לאות חשמלי

ב. להעביר את האות הנמדד ישירות למערכת

ג. לעבד ולחשב את האות ולהעבירו למערכת

ד. להפעיל את המערכת במקרה של תקלה

(5 נקודות)

**7.** מזרימים שמן דרך שסתום בקרה, בספיקה של 0.2 גלונים לשעה ובהפרש לחצים של $15.8\,\text{PSI}$.
המשקל הסגולי (specific gravity) של השמן הנתון: $\text{s.g.} = 0.82\,[\text{g/cm}^3]$.
איזה $C_v$ של שסתום בקרה מתאים עבור ספיקת השמן הנתונה בשאלה?

א. $C_v = 1.95$

ב. $C_v = 2.73$

ג. $C_v = 2.32$

ד. $C_v = 1.04$

(5 נקודות)

**8.** איזה סוג בקר מתאים במיוחד לניהול תהליכים מורכבים ורחבי היקף בתעשיות כמו זיקוק נפט ותחנות כוח, תוך שימוש בארכיטקטורה מבוזרת לחלוקת עומסי הבקרה?

א. בקר לוגי מתוכנת - *Programmable Logic Controller*

ב. בקר פרופורציונלי-אינטגרלי-נגזרי - *Proportional-Integral-Derivative Controller*

ג. מערכת בקרה מבוזרת - *Distributed Control System*

ד. בקר לוגי מבוסס ממסרים - *Relay Logic Controller*

(5 נקודות)

**9.** מהי חזרתיות ( *Repeatability* ) בהקשר של מדידות ובקרת תהליכים?

א. היכולת של מערכת מדידה לתת תוצאות עקביות כאשר המדידה מתבצעת בתנאים זהים.

ב. היכולת של מערכת מדידה להתאים את עצמה לשינויים בתנאי הסביבה.

ג. הדיוק של מערכת המדידה ביחס לערך האמיתי של המדידה.

ד. היכולת של מערכת המדידה להפיק תוצאות שונות בכל מדידה כדי להבטיח גמישות.

(5 נקודות)

**10.** צינור מספק זרימה בקצב של $25\,\mathrm{LPM}$ . אם הברז נפתח למשך $40\ minute$ אך לאחר $20\ minute$ מזמן הפתיחה, קצב הזרימה יורד ב- $20\,\%$ . כמה ליטרים של נוזל יעברו דרך הצינור?

א. $V = 500\,\mathrm{Liter}$ .

ב. $V = 920\,\mathrm{Liter}$ .

ג. $V = 900\,\mathrm{Liter}$

ד. $V = 960\,\mathrm{Liter}$

(5 נקודות)

**11.** מה מסמלות האותיות P & ID בהקשר של הנדסת בקרה ואוטומציה?

א. Power & Instrumentation Diagram - תרשים חשמל ומכשור

ב. Process & Instrumentation Diagram - תרשים תהליך ומכשור

ג. Pipeline & Installation Diagram - תרשים צנרת והתקנה

ד. Pressure & Indicator Display - תצוגת לחץ ומדדים

(5 נקודות)

**12.** (סעיף ד אינו קשור ליתר הסעיפים)

נתונה מערכת בקרה מסדר ראשון עם פונקציית תמסורת בחוג פתוח: $G(s) = \frac{5}{2 \cdot S + 1}$ .

מוסיפים משוב שלילי למערכת שערכו $H(s) = 1$ .

**א.** מִצְאוּ את פונקציית התמסורת $G_f(s)$ של המערכת בחוג סגור.

(3 נקודות)

**ב.** חַשְׁבוּ את ההגבר הסטטי $H_{closed}(0)$ של המערכת בחוג סגור.

(3 נקודות)

**ג.** חַשְׁבוּ את קבוע הזמן $\tau$ החדש של המערכת בחוג סגור.

(3 נקודות)

**ד. הערה:** סעיף זה אינו קשור לסעיפים הקודמים של השאלה.

נתונה תגובה של מערכת בקרה במישור הזמן $y(t) = \frac{5}{6} \cdot \left(1 - e^{-\frac{3 \cdot t}{2}}\right)$ .

חַשְׁבוּ את הזמן (בשניות) בו תגיע התגובה ל- $90\%$ מערכה הסופי (ערך המצב המתמיד).

(6 נקודות)

**13.** נתונה מערכת בקרה בחוג פתוח עם פונקציית תמסורת $G(s) = \frac{K}{s \cdot (s+a)}$ . **נתון:** $a > 0, K > 0$ .

**א.** מהו סוג מערכת הבקרה? מהו מקדם השגיאה $K_v$ של המערכת?

(5 נקודות)

**ב.** חַשְׁבוּ את השגיאה במצב המתמיד של המערכת עבור כניסת מדרגת יחידה $r(t) = u(t)$ .
מהי מסקנתך מהתשובה שקיבלת?

(5 נקודות)

**ג.** כיצד שינוי הפרמטר $K$ ישפיע על השגיאה במצב מתמיד עבור כניסת שיפוע $r(t) = t \cdot u(t)$ ?

(5 נקודות)

**14.** נתונה פונקציית תמסורת בחוג הפתוח של מערכת בקרה: $G(s) \cdot H(s) = \frac{10}{s \cdot (s+2) \cdot (s+5)}$ .

**א.** חַשְׁבוּ את שגיאת מצב המתמיד ( *steady-state error* ) של המערכת כאשר אות הכניסה הוא אות מדרגה ( *step input* ) בעל גודל 1, $r(t) = 1$ .

(5 נקודות)

**ב.** חַשְׁבוּ את שגיאת מצב המתמיד של המערכת כאשר אות הכניסה הוא אות רמפה ( *ramp input* ) בעל שיפוע 2, $r(t) = 2 \cdot t$ .

(5 נקודות)

**ג.** חַשְׁבוּ את שגיאת מצב המתמיד של המערכת כשאות הכניסה הוא אות פרבולה ( *parabola input* ) בעל תאוצה 4, $r(t) = 4 \cdot t^2$ .

(5 נקודות)

**15.** נתונה מערכת בקרה עם משוב של יחידה. פונקציית התמסורת של המערכת בחוג הפתוח היא: $G(s) = \frac{K}{S \cdot (S+4) \cdot (S+10)}$

**א.** על פי הקריטריון של ראוט-הורביץ, מהו תחום הערכים של $K$ , שעבורו מערכת הבקרה יציבה?

(7 נקודות)

**ב.** מהו הערך של $K$ שבו המערכת נמצאת על סף יציבות? מהם ערכי התדרים בהם המערכת תתנדנד?

(8 נקודות)

**16.** באיור לשאלה 16 מוצגת מערכת הכוללת מיכל אטום המכיל סולר אשר נלחץ באמצעות אוויר דחוס $P_{air}$.

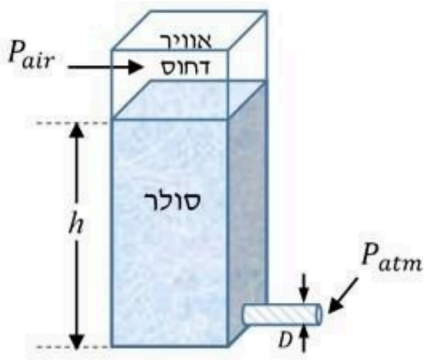
גובה הסולר במיכל הוא $h$. מיכל הסולר פתוח לצינור הנמצא בתחתיתו והכולל ברז (אינו מוצג באיור).

במצב התחלתי הברז סגור. הקוטר הפנימי של הצינור $D = 8\,\text{cm}$ והוא פתוח לאטמוספירה.

**נתון:** לחץ האוויר הדחוס $P_{air} = 220\,\text{kPa}$, הלחץ האטמוספרי $P_{atm} = 102\,\text{kPa}$.

תאוצת הכובד $g = 981\,\text{cm/sec}^2$. בסיס המיכל הפנימי $S = 0.8\,\text{m}^2$. צפיפות הסולר $\rho = 0.8\left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right]$.

גובה הסולר במיכל $h = 1.2\,\text{m}$. בפתרונכם הזניחו את חיכוך הסולר בדופן המיכל ובדופן הצינור.




**א.** מהו נפח הסולר $V_{dis}$? ומהו משקלו $W_{dis}$?

(4 נקודות)

**ב.** פותחים את ברז הסולר לרווחה. מהי מהירות זרימת הסולר ההתחלתית $v_{initial}$ בצינור?

בפתרונכם היעזרו בנוסחה: $P_{air} + \rho \cdot g \cdot h = \frac{\rho \cdot (v_{initial})^2}{2} + P_{atm}$

שימוש בנוסחה זו מחייב להפוך את היחידות של $\rho \cdot g \cdot h$ ליחידות $\text{Pa}$.

(6 נקודות)

**ג.** מהי ספיקת הסולר ההתחלתית $Q_{initial}$ בצינור?

(5 נקודות)


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

**17.** בתהליך חימום תנור תעשייתי, חיישן מודד את הטמפרטורה ובקר PID שולט על אספקת האנרגיה כך שהטמפרטורה תישאר יציבה. כיול נכון של בקר ה- PID מבטיח הגעה מהירה לערך הרצוי ומונע תנודות יתר - $Overshoot$ .

**נתון:** הגבר הבקר $K_P = 2$ , זמן אינטגרציה $T_i = 10\,\text{sec}$ , זמן שינוי דיפרנציאלי $T_d = 2\,\text{sec}$ .

התנור מתוכנן לפעול בטמפרטורה של $400\,^\circ\text{C}$ אך בשלב מסוים חלה ירידה בטמפרטורה ל- $370\,^\circ\text{C}$ עקב פתיחת דלת.

**א.** חַשְׁבוּ את ערך השגיאה היחסית $P$ בהתבסס על הבדל הטמפרטורה בין הערך הרצוי $Setpoint$ לבין הערך הנמדד, תוך שימוש בנוסחה: $P = e \cdot K_P$ . $e$ - היא השגיאה.

(4 נקודות)

**ב.** נתון שהשגיאה הממוצעת לאורך 20 שניות היא $10\,^\circ\text{C}$ . חַשְׁבוּ את תרומת הרכיב האינטגרלי $I$ לבקרה באמצעות הנוסחה: $I = \frac{K_P}{T_i} \cdot \sum e \cdot \Delta t$ . $\Delta t$ הוא משך הזמן הנמדד.

(4 נקודות)

**ג.** אם השגיאה השתנתה מ- $30\,^\circ\text{C}$ ל- $10\,^\circ\text{C}$ תוך 5 שניות, חַשְׁבוּ את תרומת הרכיב הדיפרנציאלי $D$ באמצעות הנוסחה: $D = K_P \cdot T_d \cdot \frac{de}{dt}$ . $\frac{de}{dt}$ הוא קצב השינוי בשגיאה.

(4 נקודות)

**ד.** מהו הסכום הכולל של רכיבי הבקרה $P$ , $I$ ו- $D$ ?

__הערה__: מכיוון שלא צוין איך הבקר שולט על התנור, ניתן לומר שהתוצאה היא **ערך יחסי של השפעת הבקר על המערכת**, והתוצאה נמדדת ביחידות היציאה של הבקר (כגון אחוזי הספק, וולט, או אמפר), לכן כתבו את הסכום המחושב ללא יחידות.

(3 נקודות)

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