GuyAI
מבית GOOL בגרויות

סוג הבחינה: בחינת גמר ממלכתית
מועד הבחינה: קיץ 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. מהו ההבדל העיקרי בין תגובה דינמית לבין תגובה סטטית של מערכת בקרה?

א. התגובה הדינמית מתארת את תגובת המערכת למצב יציב לאחר זמן ארוך, בעוד שהתגובה הסטטית מתארת את השינוי הראשוני במצב.

ב. התגובה הדינמית עוסקת בתפקוד המערכת בתדרים גבוהים בלבד, בעוד שהתגובה הסטטית עוסקת בתדרים נמוכים בלבד.

ג. התגובה הדינמית מתארת את אופן השינוי של המערכת בזמן (כולל זמן עליה, זמן התייצבות, תנודות), בעוד שהתגובה הסטטית מתארת את ההתנהגות הסופית של המערכת לאחר שהשפעת הזמן נעלמה.

ד. אין הבדל בין תגובה דינמית לסטטית - שתיהן מתארות את אותו תהליך אך במונחים שונים.

(5 נקודות)

2. מערכת בקרה המבוססת על תגובה של מערכת ממסר תרמי ניתנת לתיאור על ידי המשוואה הדיפרנציאלית הבאה:

$$K \cdot u(t) = y(t) + \frac{dy(t)}{dt} \cdot \tau$$

נתון:

- $u(t)$ - אות המבוא.
- $y(t)$ - אות המוצא.
- τ - קבוע הזמן של המערכת.
- K - הגבר המערכת.

מהי פונקציית התמסורת $G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$ של מערכת ממסר תרמי זו?

א. $G(s) = \frac{k}{\tau \cdot s + 1}$

ב. $G(s) = \frac{1}{k \cdot \tau \cdot s + 1}$

ג. $G(s) = \frac{k}{\tau \cdot s}$

ד. $G(s) = \frac{k \cdot \tau \cdot s}{s + 1}$

(5 נקודות)

3. מהו היתרון המרכזי של שימוש במשוב שלילי במערכת בקרה?

א. הוא מבטל את הצורך בבקר כלשהו.

ב. הוא מסייע בהקטנת השגיאה במצב מתמיד ובהפחתת השפעת הפרעות חיצוניות.

ג. הוא מבטיח שהמערכת תהיה תמיד יציבה, ללא תלות בפרמטרים.

ד. הוא מגביר את השפעת תנודות והפרעות על יציאת המערכת.

(5 נקודות)

4. נתונה מערכת בקרה הכוללת שני פיגורים ($Dead\ Times$) משמעותיים, המבוקרת על ידי בקר דו-מצבי ($On\text{-}Off\ Controller$). אות הכניסה לבקר הוא אות השגיאה $e(t)$ ומוצא הבקר $u(t)$ הוא בעל שני מצבים בלבד:

1. U_{max} כאשר $e(t) > 0$
2. U_{min} כאשר $e(t) \leq 0$

ניתן לתאר את המערכת ע"י פונקציית תמסורת עם שני פיגורים בזמן:

$$G(s) = \left(P_1(s) \cdot e^{-T_1 \cdot s}\right) \cdot \left(P_2(s) \cdot e^{-T_2 \cdot s}\right)$$

כאשר P_1 ו- P_2 הן פונקציות תמסורת מסדר ראשון או שני ללא פיגורים, ו- $T_1, T_2 > 0$ הם זמני הפיגור.

כיצד הפיגורים בזמן (T_1, T_2) משפיעים על ביצועי מערכת בקרה דו-מצבית זו, ובמיוחד על תגובתה והיציבות שלה?

א. הפיגורים מפחיתים את תגובת היתר ($Overshoot$) ומייצבים את המערכת, אך מאריכים את זמן העלייה.

ב. הפיגורים אינם משפיעים על המערכת במצב מתמיד, אלא רק על התגובה הזמנית הראשונית.

ג. הפיגורים עלולים לגרום לתנודות גדולות יותר ($Oscillations$) ואף לחוסר יציבות, ולהאריך את מחזור ההיסטרזיס ($Hysteresis\ Cycle$).

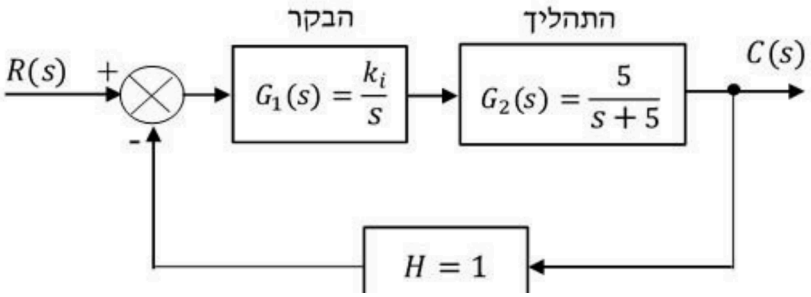
ד. הפיגורים משפרים את זמן התגובה של הבקר, ומאפשרים לו להגיב מהר יותר לשינויים בשגיאה.

(5 נקודות)

5. באיור לשאלה 5 מוצגת סכמת מלבנית של מערכת בקרה. הבקר הוא בקר איטגרלי - $Integral\ Controler$.

למערכת הכניסו מדרגת יחידה. נתון: $k_i = 1$.

שגיאת המערכת E_{ss} במצב המתמיד היא:



א. $E_{ss} = 1$

ב. $E_{ss} = 0.5$

ג. $E_{ss} = \infty$

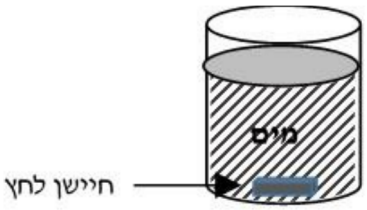
ד. $E_{ss} = 0$

(5 נקודות)

6. באיור לשאלה 6 מוצגת מערכת מדידת לחץ מים. לחץ המים נמדד באמצעות חיישן שממיר את לחץ המים למתח חשמלי בתחום של $0 \div 10\,\mathrm{V}$. כאשר $0\,\mathrm{V}$ מייצג $0\,bar$, ו- $10\,\mathrm{V}$ מייצג $100\,bar$.

המתח עובר בקו תמסורת שאורכו 50 מטר וגורם להנחתה של 10% .

המתח U שיתקבל בקצה קו התמסורת כאשר נמדד לחץ מים של $60\,bar$ הוא:



א. $U = 5.4\,\mathrm{V}$

ב. $U = 6.0\,\mathrm{V}$

ג. $U = 6.6\,\mathrm{V}$

ד. $U = 7.0\,\mathrm{V}$

(5 נקודות)

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

7. באיור לשאלה 7 מוצג שסתום בקרה. שסתום הבקרה נמצא בתהליך תעשייתי ושולט על ספיקת מים בצינור.

היחס בין מִפתח השסתום לבין הספיקה הוא לינארי: כאשר מִפתח השסתום הוא $100\,\%$, הספיקה היא 80 ליטר/דקה. המפעיל מקבל אות פיקוד של $15\,mA \div 3$, כאשר $3\,mA$ מייצג $0\,\%$ פתיחה, ו- $15\,mA$ מייצג $100\,\%$ פתיחה.

אם אות הבקרה הנוכחי הוא $9\,mA$ אז הספיקה בפועל היא:



א. 30 ליטר/דקה.

ב. 40 ליטר/דקה

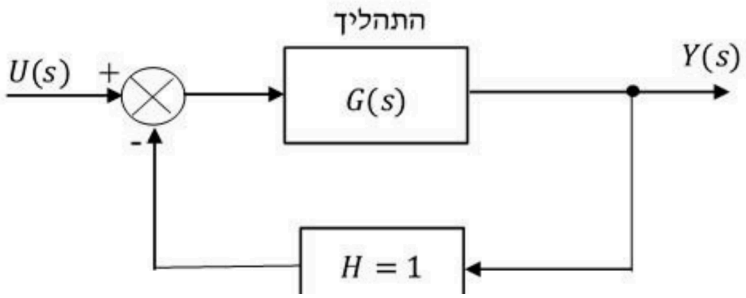
ג. 50 ליטר/דקה

ד. 60 ליטר/דקה

(5 נקודות)

8. באיור לשאלה 8 מוצגת סכמת מלבנים של מערכת בקרה המייצגת תהליך תעשייתי שבו אות הבקרה $u(t)$ מפעיל את שינוי הטמפרטורה $y(t)$. אם אות הבקרה הוא מדרגת יחידה, אז אות המוצא יהיה $y(t) = 5 \cdot \left(1 - e^{-2 \cdot t}\right)$.

מהו סדר התהליך הנתון? ומהי פונקציית התמסורת שלו?



א. תהליך אינטגרלי טהור; $G(s) = \frac{5}{s}$.

ב. תהליך מסדר ראשון; $G(s) = \frac{10}{s-8}$.

ג. תהליך מסדר שני; $G(s) = \frac{10}{s^2+7 \cdot s+10}$.

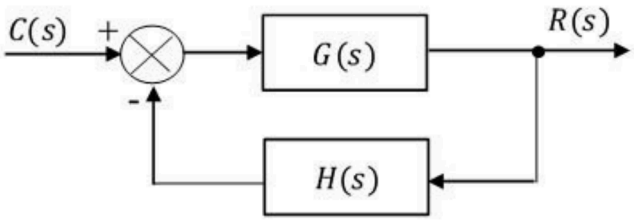
ד. תהליך עם פיגור זמן; $G(s) = 5 \cdot \frac{e^{-2 \cdot s}}{s}$.

(5 נקודות)

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

9. באיור לשאלה 9 מוצגת סכמת מלבנים של מערכת בקרה. פונקציית תמסורת המערכת: $G_f(s) = \frac{100}{s^2+20 \cdot s+100}$.

איזה סוג ריסון מתאר את תגובת המערכת?



א. תת-ריסון $(\xi < 1)$

ב. ריסון יתר $(\xi > 1)$

ג. ריסון קריטי $(\xi = 1)$

ד. ללא ריסון $(\xi = 0)$

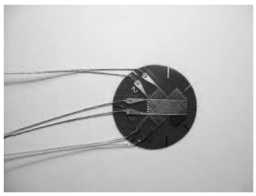
(5 נקודות)

10. באיור לשאלה 10 מוצג מד עיוות ($Strain\ Gauge$). להלן נתוני מד המעוות:

- התנגדות במנוחה של מד העיוות: $R = 120\,\Omega$
- אורך מד העיוות במנוחה: $L = 80\,mm$

כתוצאה מהפעלת לחץ על מד המעוות הוא התקצר ב- 15% והתנגדותו הוקטנה ב- 10% .

לפי הנתונים מקדם העיוות $G.F.$ הוא:



א. $G.F. = 0.54$

ב. $G.F. = 1.05$

ג. $G.F. = 0.29$

ד. $G.F. = 0.67$

(5 נקודות)

11. איזה מבין הסימנים הבאים מייצג שסתום בקרה ($Control\ Valve$) על פי תקני ISA?

א. מעגל עם שני קווים אלכסוניים החוצים זה את זה.

ב. ריבוע עם שני קווים אלכסוניים החוצים זה את זה.

ג. מעגל עם קו אלכסוני אחד.

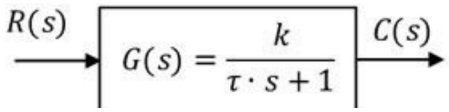
ד. ריבוע עם קו אלכסוני אחד.

(5 נקודות)

12. באיור לשאלה 12 מוצגת מערכת בקרה:

נתון:

1. $k = 5$ - הגבר המערכת.
2. $\tau = 2\,sec$ - קבוע הזמן של המערכת.



א. חיברו למערכת הבקרה משוב יחידה $H(s) = 1$ והפכו אותה למערכת בקרה $G_f(s)$ בחוג סגור.

חַשבו את פונקציית התמסורת של מערכת הבקרה בחוג סגור $G_f(s) = \frac{C(s)}{R(s)}$.

(4 נקודות)

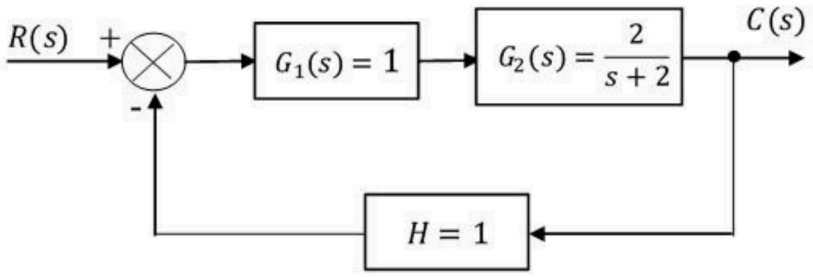
ב. חַשבו את ההגבר הסטטי k_f ($DC\ Gain$) של מערכת הבקרה בחוג סגור. האם k_f גדול או קטן יותר מההגבר k ? חַשבו בכמה אחוזים קטן או גדול.

(6 נקודות)

ג. חַשבו את קבוע הזמן של מערכת הבקרה בחוג הסגור τ_f . האם τ_f גדול או קטן יותר מקבוע הזמן בחוג פתוח τ ? חַשבו בכמה אחוזים קטן או גדול.

(5 נקודות)

13. באיור לשאלה 13 מוצגת סכמת מלבנים של מערכת בקרה.



א. חַשבו את השגיאה במצב המתמיד e_{ss} עבור כניסה מדרגת יחידה $R(s) = \frac{1}{s}$.

(4 נקודות)

ב. מחליפים את המלבן G_1 בבקר יחסי P עם הגבר k_P . חַשבו את השגיאה במצב המתמיד עבור כניסת מדרגת יחידה $R(s) = \frac{1}{s}$. הסבירו, כיצד רכיב ההגבר של הבקר P משפיע על השגיאה?

(5 נקודות)

ג. כעת משתמשים בבקר מסוג PI (במקום הבקר P מסעיף ב') פונקציית התמסורת של הבקר PI היא $C(s) = k_P \cdot \left(1 + \frac{1}{k_I \cdot s}\right)$.

נתון:

- $k_P = 3$ - הגבר יחסי של הבקר.
- $k_I = 1$ - הגבר אינטגרלי ביחידות $[sec^{-1}]$.

חַשבו את השגיאה במצב המתמיד עבור כניסת מדרגת יחידה $R(s) = \frac{1}{s}$.

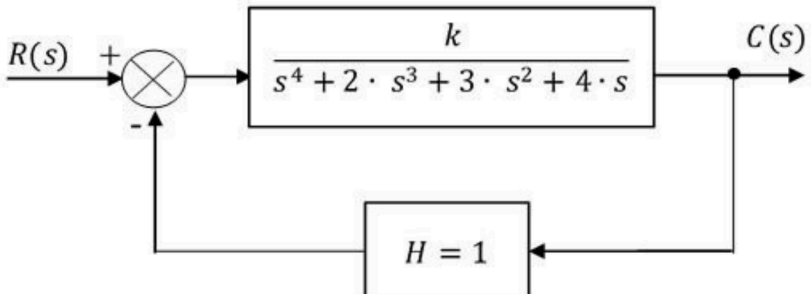
הסבירו, כיצד רכיב האינטגרציה של הבקר PI משפיע על השגיאה?

(6 נקודות)

14. א. נתונה פונקציית התמסורת של מערכת בקרה מסוימת $G(s) = \frac{1}{s^2+4 \cdot s+3}$.

האם פונקציית זו יציבה? נמקו תשובתכם.

(5 נקודות)

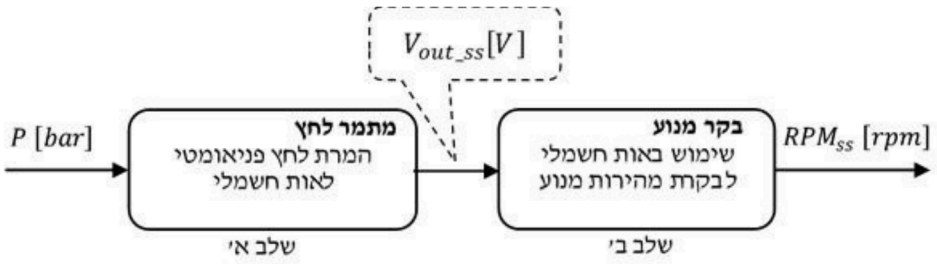


ב. באיור לשאלה 14 מוצגת סכמה מלבנים של מערכת בקרה מסוימת. הפרמטר k הוא הגבר המערכת.

חַשבו את תחום הערכים של k שעבורו המערכת תהיה יציבה לפי קריטריון ראוט.

(10 נקודות)

15. באיור לשאלה 15 מוצגת סכמה של מערכת בקרה דו-שלבית הממירה לחץ פניאומטי לאות חשמלי. האות החשמלי משמש כְּכניסה לבקרת מהירות מנוע.



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

א. מדידת הלחץ מתבצעת על ידי מתמר לחץ ($Pressure\ Transducer$) הממיר לחץ פניאומטי לאות חשמלי.

פונקציית התמסורת של מתמר הלחץ היא: $G_1 = \frac{k_1}{\tau_1 \cdot s + 1}$. **נתון:** יחס ההגברה של המתמר $k_1 = 0.5\ \frac{\text{V}}{bar}$.

קבוע הזמן של המתמר $\tau_1 = 0.1\ sec$. המצב היציב של הלחץ הפניאומטי הוא: $P_1 = 3\,bar$.

בכניסת המערכת ניתנה כניסת מדרגה של $\Delta P = 2\,bar$ ואז הלחץ הפניאומטי התייצב ל: $P_2 = 5\,bar$.

חַשבו את ערך המוצא של המתח החשמלי במצב מתמיד V_{out_ss} .

(5 נקודות)

ב. האות החשמלי מהסעיף הקודם מוזן לבקר מהירות מנוע ($Motor\ Speed\ Controller$) אשר ממיר אות מתח חשמלי למהירות סיבוב מנוע (RPM). פונקציית התמסורת של בקר המנוע היא: $G_2 = \frac{k_2}{\tau_2 \cdot s + 1}$.

נתון: הגבר בקר במנוע $k_2 = 100\ \frac{RPM}{\text{V}}$. קבוע הזמן של הבקר $\tau_2 = 0.02\ sec$. האות החשמלי המופק בסעיף א' (V_{out_ss}) משמש כעת כאות כניסה לבקר מהירות המנוע.

מהי מהירות המנוע RPM_{ss} במצב המתמיד?

(5 נקודות)

ג. מחליפים את בקר המנוע בבקר אחר עם הגבר פי שניים מזה הקודם, אבל עם אותו קבוע זמן כמו קודם.

מהי מהירות המנוע במצב המתמיד החדש? האם מהירות זו גבוהה יותר או נמוכה יותר. **נמקו תשובתכם.**

(5 נקודות)

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

16. באיור לשאלה 16 מוצג תרמיסטור שנמצא במערכת בקרת טמפרטורה. מערכת הבקרה מבוססת על תגובה של התרמיסטור הניתנת לתיאור על ידי המשוואה הדיפרנציאלית הבאה:

$$K \cdot u(t) = y(t) + \frac{dy(t)}{dt} \cdot \tau$$

נתון:

1. $u(t)$ - אות המבוא.
2. $y(t)$ - אות המוצא.
3. $\tau = 2sec$ - קבוע הזמן של המערכת.
4. $K = 5$ - הגבר המערכת.



א. חַשבו את פונקציית התמסורת של המערכת $G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$.

(5 נקודות)

ב. חַשבו את תגובת המערכת $y(t)$ לשינוי פתאומי בטמפרטורה, כלומר לכניסת מדרגה: $u(t) = 1$.

(5 נקודות)

ג. חַשבו את ערך המתח במוצא $y(\infty)$ במצב המתמיד.

(5 נקודות)

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

17. באיור לשאלה 17 מוצג מכל מים כאשר מפלס המים מבוקר על ידי בקר אינטגרלי I . הבקר מחשב את אות הפיקוד לשסתום עבור כניסת המים למכל בהתאם לשגיאה בין המפלס הרצוי למפלס הנמדד. הבקר פועל לפי הנוסחה:

$$m(t) = \frac{1}{T_i}\int e(t)dt + m_0$$

נתון:

1. $m(t)$ - אות היציאה מהבקר שהוא אות הפיקוד לשסתום.
2. K_i $\left[\frac{1}{sec}\right]$ - מהירות האינטגרציה. $K_i = \frac{1}{T_i}$.
3. $e(t) = 4\,\%$ - גודל השגיאה.
4. $T_i = 8\,sec$ - זמן האינטגרציה.
5. $m_0 = 2\,\%$ - תפוקת הבקר באחוזים כאשר השגיאה אפס.



א. חַשבו את מהירות האינטגרציה K_I .

(3 נקודות)

ב. נניח שהשגיאה $e(t)$ קבועה ושווה ל- 4% במשך 10 שניות, וכי בתחילת זמן זה (כאשר $t = 0$) האינטגרל הוא אפס. מה יהיה ערך תפוקת הבקר $m(t)$ בתום 10 שניות אלו?

(4 נקודות)

ג. הסבירו, מה יקרה לתפוקת הבקר $m(t)$ אם במשך פעולת הבקר $(t > 0)$ השגיאה תגיע ל- 0% ותישאר אפס. האם במצב היציב תפוקת הבקר תשתווה ל- m_0 ? **נמקו את תשובתכם.**

(8 נקודות)

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