

## מערכות מכטרוניות ה'

(להנדסאי מכונות)

### הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שני פרקים ובהם שמונה שאלות. עליך להשיב על שאלה 1 שבפרק הראשון ועל ארבע מבין השאלות 2–8 שבפרק השני (לכל שאלה – 20 נקודות).

פרק ראשון: מערכות מכטרוניות 20 נקודות

פרק שני: בקרת תהליכים ומכשור לבקרה ולאלקטרוניקה תעשייתית 80 נקודות

סך-הכול 100 נקודות

ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון, כל חומר עזר כתוב בכתב יד או מודפס על נייר.

ד. הוראות מיוחדות:

1. בטרם תתחיל לענות על השאלות, קרא בעיון את השאלון וודא שההנחיות בדף השער מובנות לך היטב.

2. ענה על השאלות על-פי הסדר הנראה לך.

3. ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות הנוספות.

4. בכל שאלה ניתנו הנתונים לפתרונה. אם לדעתך חסר נתון, הוסף אותו על-פי שיקול דעתך ופתור בעזרתו את השאלה. רשום בתשובתך את הנתון שהוספת.

5. בתשובה על שאלה חישובית, עליך להציג את שלבי הפתרון באופן מפורט ולהסבירם בקצרה. קבלת מֶרֶב הנקודות מותנית במילוי דרישה זו.

בשאלון זה 12 עמודים

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר, אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

## השאלות

בשאלון זה שני פרקים, ובהם שמונה שאלות. עליך לענות על שאלה 1 שבפרק הראשון, ועל ארבע מבין השאלות 2-8 שבפרק השני (לכל שאלה – 20 נקודות).

### פרק ראשון: מערכות מכטרוניות (20 נקודות)

ענה על שאלה 1 – שאלת חובה.

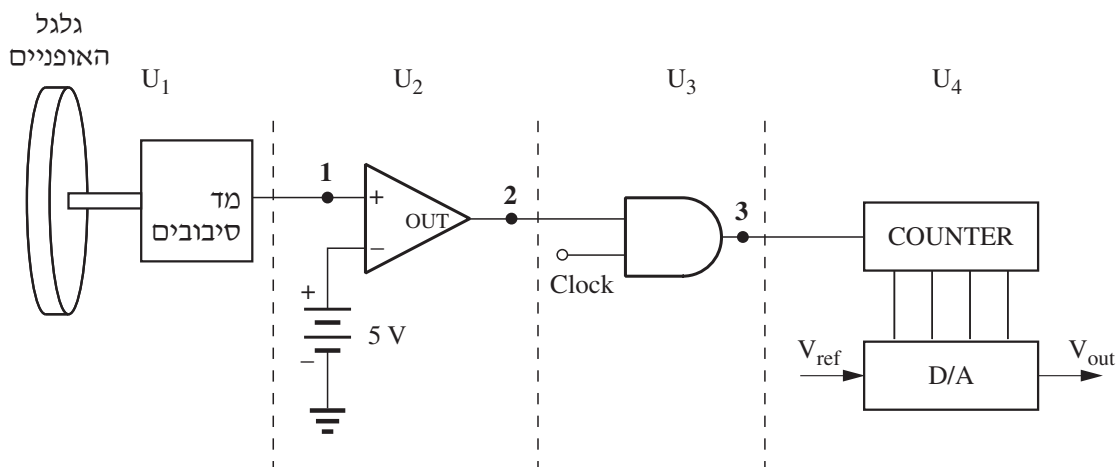
#### שאלה 1

מערכת שפותחה עבור נהגי כלי רכב מתריעה בפניהם על רוכב אופניים הנמצא בקרבתם.

במערכת שני חלקים:

- חלק I, המורכב באופניים, מודד את מהירות הנסיעה של גלגלי האופניים, ומשדר בטכנולוגיית bluetooth את הנתון שמדד לטלפון החכם של נהג הרכב.
- חלק II הוא אפליקציה ייחודית הנמצאת בטלפון החכם של נהג הרכב, שבאמצעותה יקבל הנהג מידע על רוכב האופניים שנמצא בקרבתו.

באיור לשאלה זו נתון תרשים לתיאור חלק I של המערכת: מעגל אלקטרוני המודד את מהירות הנסיעה של גלגלי האופניים, מפיק מתח מוצא  $V_{out}$  המשודר לטלפון החכם של הנהג.



איור לשאלה 1

### נתונים נוספים:

- כל רכיבי המערכת מחוברים למקור מתח של 10 V ולאדמה.
  - מד-סיבובים המפיק אות סינוס בעל מתח מרבי של 10 V ומתח מזערי של 0 V .
  - תדר האות במוצאו של מד-הסיבובים שווה ביחידות kHz למהירות הנסיעה של גלגלי האופניים ביחידות  $\frac{\text{km}}{\text{hr}}$  .
  - תדר השעון של הרכיב  $U_3$  הוא 100 kHz .
  - מתח הייחוס של רכיב ה- $D/A$  הוא  $V_{\text{ref}} = 10 \text{ V}$  .
- א.**
1. הסבר בקצרה את אופן הפעולה של חלק I של המערכת, המתואר באיור לשאלה. בהסברך ציין את תפקידי הרכיבים המסומנים באיור ב- $U_1$  ,  $U_2$  ,  $U_3$  ו- $U_4$  .
  2. סרטט שלושה גרפים, זה תחת זה, המתארים את האותות המתקבלים בנקודות 1 , 2 , ו-3 כפונקציה של הזמן.
- ב.**
1. הסתמך על האיור לשאלה וחשב את כושר ההבחנה של רכיב ה- $D/A$  .
  2. כיצד ניתן לשפר את כושר ההבחנה של רכיב ה- $D/A$  פי **ארבעה**?
- ג.**
1. מהירות הנסיעה של גלגלי האופניים היא  $20 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$  . חשב את תדר האות בנקודה 2 .
  2. חשב את האות הבינארי במוצא המונה (counter) .
  3. חשב את המתח  $V_{\text{out}}$  במוצא רכיב ה- $D/A$  .
- ד.** האם מתח המוצא מרכיב ה- $D/A$  יגדל, יקטן או לא ישתנה כאשר תגדל מהירות הנסיעה של גלגלי האופניים? נמק את תשובתך.

## פרק שני: בקרת תהליכים ומכשור לבקרה ולאלקטרוניקה תעשייתית (80 נקודות)

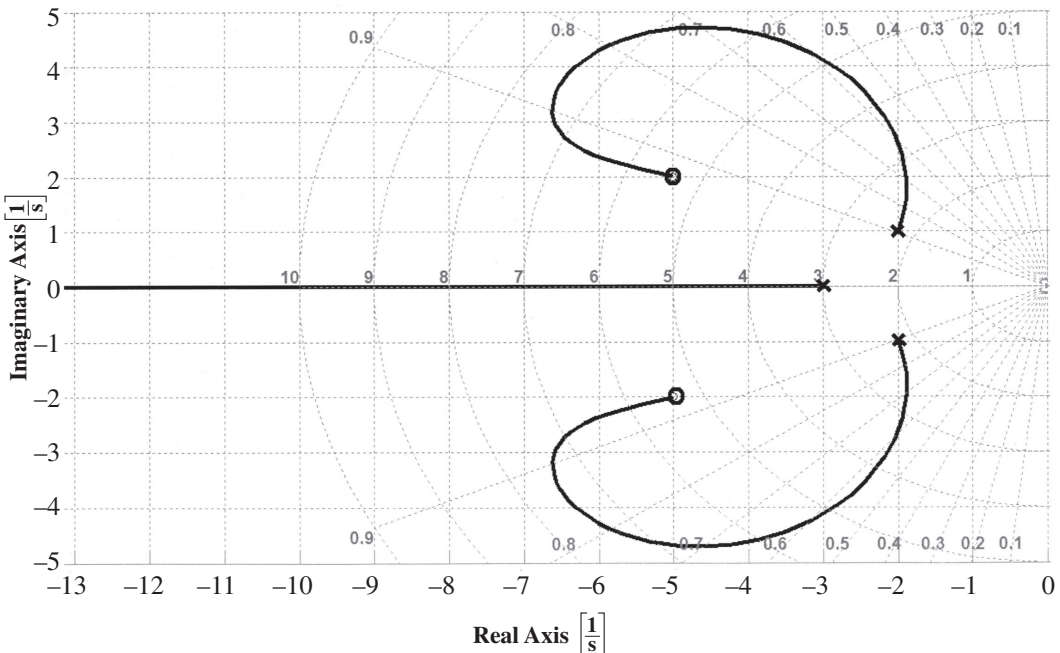
ענה על ארבע מבין השאלות 2-8 (לכל שאלה – 20 נקודות).

### שאלה 2

באיור לשאלה זו מסורטטת בקווים עבים דיאגרמת מג"ש של מערכת בחוג סגור. הקווים המעגליים המרוסקים שבאיור מתארים קווים שווי תדר טבעי במרווחים של  $1 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$ . הקווים הישרים המרוסקים היוצאים מהראשית מתארים קווים שווי יחס ריסון במרווחים של 0.1. הסתמך על דיאגרמת המג"ש שבאיור וענה על השאלות שלהלן:

- האם המערכת יציבה בחוג סגור עבור כל הגבר? נמק את תשובתך.
- האם ייתכן שלמערכת בחוג סגור יהיו תנודות חופשיות בתדר עצמי של  $\omega_n = 6 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$ ? נמק את תשובתך.
- האם ייתכן שלמערכת בחוג סגור יהיה תדר עצמי מרוסן של  $\omega_d = 4 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$ ? נמק את תשובתך.
- האם ייתכן שלא יהיו תנודות לתגובת המערכת בחוג סגור לכניסת מדרגה? נמק את תשובתך.

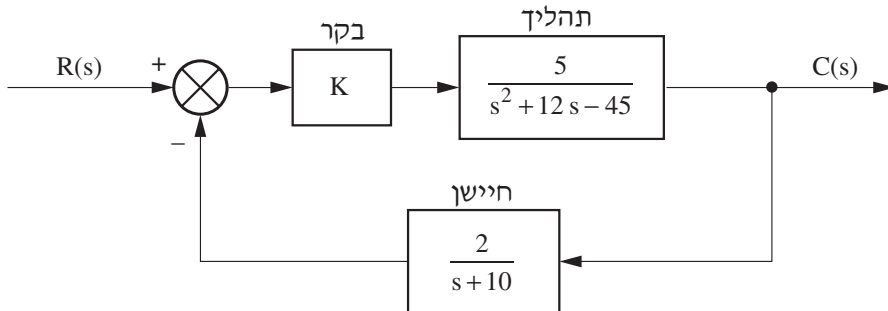
Root Locus



איור לשאלה 2

### שאלה 3

באיור לשאלה זו נתון תרשים מלבנים של מערכת בחוג סגור.

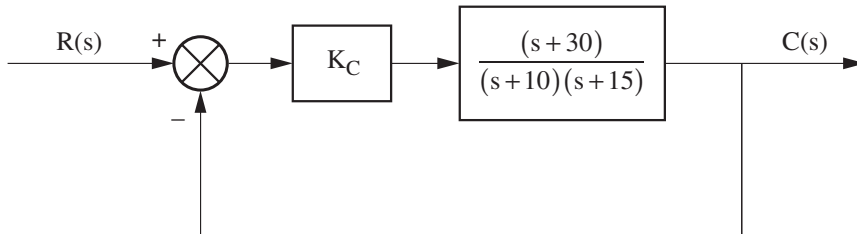


### איור לשאלה 3

- א. רשום את פונקציית התמסורת של החוג הסגור.
- ב. חשב את תחום ההגברים של הבקר K שבעבורו המערכת תהיה יציבה בחוג סגור.
- ג. חשב את תחום ההגברים של הבקר K שבעבורו יהיה למערכת בחוג סגור רק קוטב אחד בחלקו הימני של המישור.
- ד. חשב את תחום ההגברים של הבקר K שבעבורו יהיו למערכת בחוג סגור שני קטבים בחלקו הימני של המישור.
- ה. האם יש הגבר שבעבורו כל שלושת הקטבים של החוג הסגור נמצאים בחלקו הימני של המישור?

#### שאלה 4

באיור לשאלה זו נתון תרשים מלבנים של מערכת בקרה עם בקר פרופורציונלי  $K_C$ .

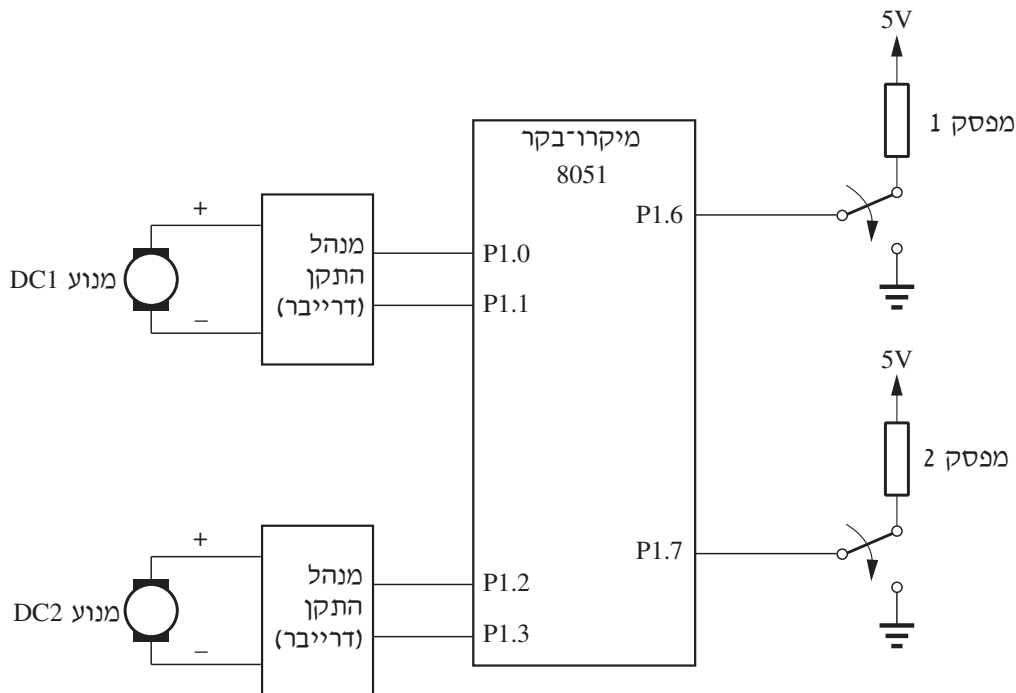


איור לשאלה 4

- א. רשום את פונקציית התמסורת של החוג הסגור,  $G_{cl}(s) = \frac{C(s)}{R(s)}$ .
- ב. חשב את הגבר הבקר הדרוש כדי להבטיח כי בעת כניסת מדרגה למערכת:
  1. המערכת תהיה יציבה בחוג סגור.
  2. שגיאת המערכת תהיה קטנה מ-20% ( $\text{offset} < 20\%$ ).
  3. למערכת לא יהיו תנודות בתגובה לכניסת המדרגה.
- ג. קבע אם קיים תחום הגברים שבו מתקיימות כל שלוש הדרישות שפורטו בסעיף ב'.
- ד. איזה סוג של בקר יש לבחור כדי לבטל לחלוטין את שגיאת המערכת ( $\text{offset}$ )?

## שאלה 5

באיור לשאלה זו מתוארת מערכת בקרה.



### איור לשאלה 5

#### רכיבי המערכת:

- מיקרו-בקר 8051 .
- מפסק 1 המחובר ל-P1.6 (מצב ON - "0" לוגי, מצב OFF - "1" לוגי).
- מפסק 2 המחובר ל-P1.7 (מצב ON - "0" לוגי, מצב OFF - "1" לוגי).
- מנוע DC1 - "+" מחובר ל-P1.0 ו-"-" מחובר ל-P1.1
- מנוע DC2 - "+" מחובר ל-P1.2 ו-"-" מחובר ל-P1.3

להלן קטע מתכנית בשפת ASM51 להפעלת מערכת הבקרה. המערכת מניעה את המנועים על-פי מצבם של המפסקים:

1. אם מפסקים 1 ו-2 במצב OFF שני המנועים לא פועלים.
2. אם מפסק 1 במצב ON ומפסק 2 במצב OFF, אזי מנוע 1 פועל ומנוע 2 אינו פועל.
3. אם מפסק 1 במצב OFF ומפסק 2 במצב ON, אזי מנוע 1 אינו פועל ומנוע 2 פועל.
4. אם מפסקים 1 ו-2 במצב ON, אזי שני המנועים פועלים.

בקטע חסרים **חמישה** ביטויים, המסומנים במספרים בסוגריים עגולים. רשום במחברתך את מספרי הביטוי החסרים, (1) - (5), בסדר עולה, וכתוב ליד כל מספר את הביטוי החסר שהוא מייצג.

CLR P1.1

CLR P1.3

START:

JB P1.6, AB

\_\_\_\_\_ (1) \_\_\_\_\_ P1.7, CD

SETB P1.0

\_\_\_\_\_ (2) \_\_\_\_\_

SJMP START

AB:

JNB P1.7, EF

CLR P1.0

CLR P1.2

\_\_\_\_\_ (3) \_\_\_\_\_

CD:

\_\_\_\_\_ (4) \_\_\_\_\_

CLR P1.2

SJMP START

EF:

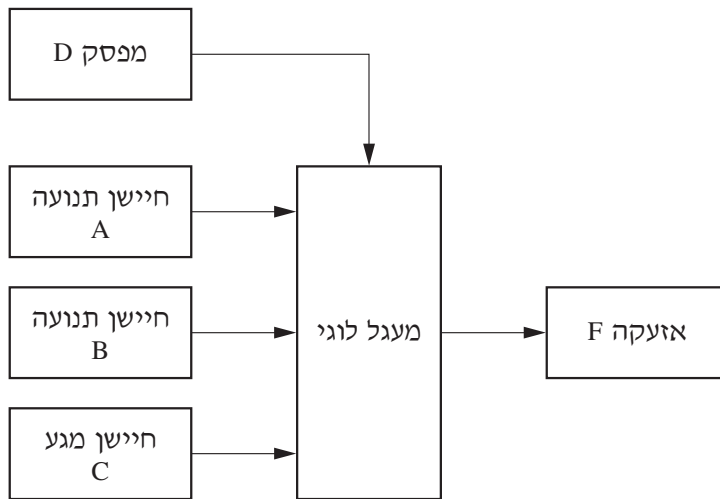
\_\_\_\_\_ (5) \_\_\_\_\_

SETB P1.2

SJMP START

## שאלה 6

באיור לשאלה זו נתונה סכמה של מערכת אזעקה לבית.



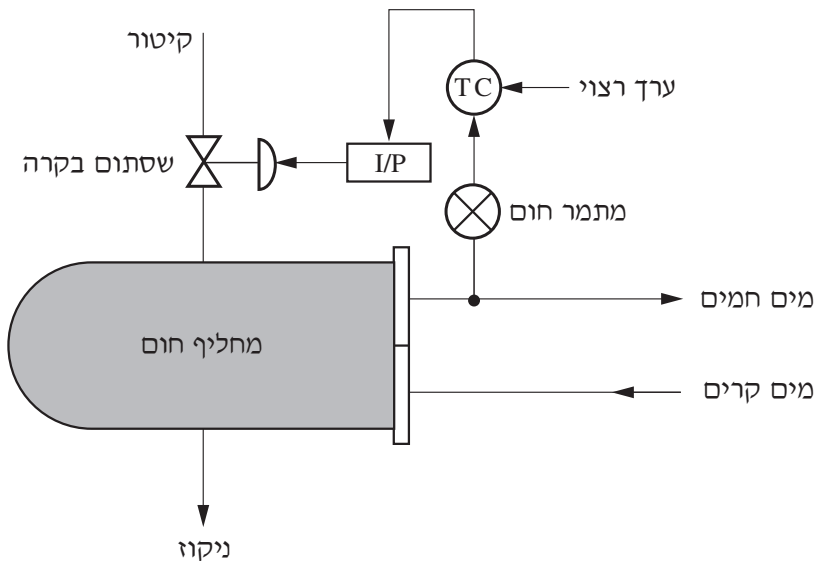
איור לשאלה 6

במערכת האזעקה מותקנים שלושה חיישנים ספרתיים: שני חיישני תנועה, A ו-B, וחיישן מגע, C. כמו כן מותקן מפסק D להפעלת האזעקה. כל אחד מחיישני התנועה מפיק את הערך "1" לוגי כאשר הוא מזהה תנועה או מגע, והוא מפיק את הערך "0" לוגי כאשר הוא אינו מזהה תנועה או מגע. האזעקה F מופעלת באופן אוטומטי כאשר המפסק D מופעל וכן כאשר לפחות שניים מבין שלושת החיישנים: A, B ו-C מפיקים "1" לוגי.

- א. רשום במחברתך טבלת אמת של המעגל הלוגי עבור המשתנים A, B ו-C והמוצא F.
- ב. הסתמך על הטבלה שרשמת בתשובתך לסעיף א', סרטט מפת קרנו, ורשום את הביטוי הלוגי המצומצם ביותר עבור המוצא F.
- ג. ממש את המעגל הלוגי הדרוש להפעלת האזעקה F באמצעות שערי NOR בלבד. סרטט את המעגל.

## שאלה 7

באיור א' לשאלה זו מתוארת מערכת הכוללת מחליף חום שבו מחוממים מים באמצעות קיטור. ספיקת הקיטור נשלטת באמצעות שסתום בקרה פנימטי, וכך ניתן לשנות את טמפרטורת המים החמים. שינוי בטמפרטורת המים הקרים הנכנסים למחליף החום מהווה הפרעה למערכת.



איור א' לשאלה 7

TC – בקר טמפרטורה

I/P – ממיר זרם חשמלי ללחץ פנימטי

באיור לשאלה זו נתונים חמישה גרפים:

בגרף I מתואר שינוי בטמפרטורת המים הנכנסים למחליף החום מ- $20^{\circ}\text{C}$  ל- $10^{\circ}\text{C}$ . בגרפים II, III, IV ו-V מתוארות ארבע תגובות שונות של המערכת עבור סוגים שונים של בקרים, כמפורט להלן:

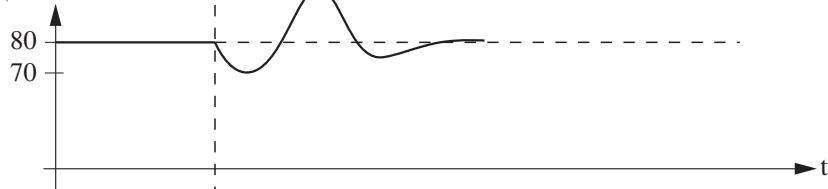
- פעולה ללא מעגל מדידה (מערכת בקרה בחוג פתוח).
- פעולה עם בקר יחסי בלבד (בקר P).
- פעולה עם בקר אינטגרלי בלבד (בקר I).
- פעולה עם בקר יחסי-אינטגרלי (בקר PI).

עבור כל אחת מהתגובות המתוארות בגרפים II, III, IV ו-V קבע מהו סוג הבקר שפועל במערכת. נמק את תשובתך.

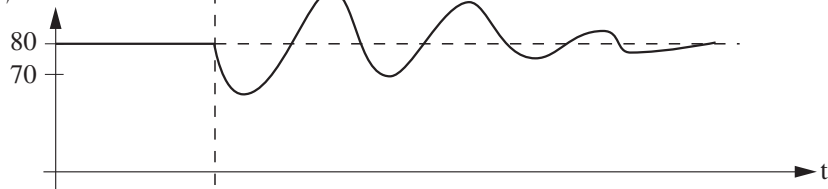
טמפרטורת  
המים הנכנסים,  $^{\circ}\text{C}$



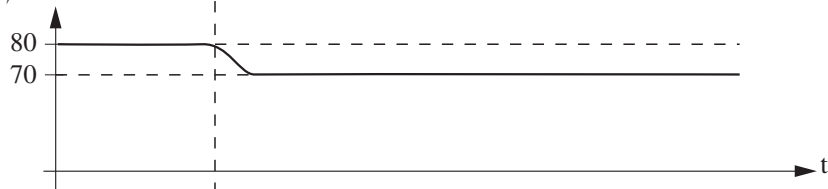
טמפרטורת  
המים החמים,  $^{\circ}\text{C}$



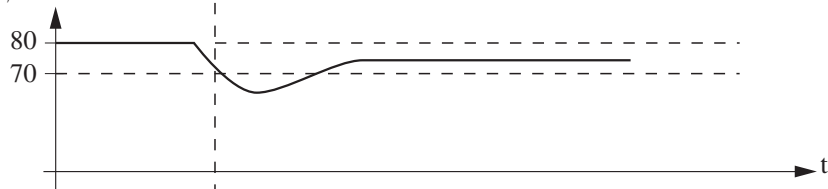
טמפרטורת  
המים החמים,  $^{\circ}\text{C}$



טמפרטורת  
המים החמים,  $^{\circ}\text{C}$



טמפרטורת  
המים החמים,  $^{\circ}\text{C}$

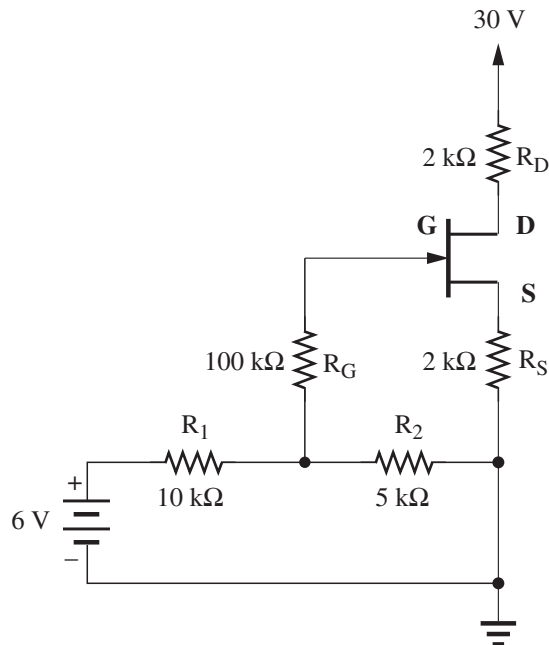


## שאלה 8

באיור לשאלה זו מתואר מעגל חשמלי הכולל טרנזיסטור FET. נתוני הטרנזיסטור הם:

– זרם הרוויה:  $I_{DSS} = 4 \text{ mA}$

– מתח החסימה:  $V_P = -2 \text{ V}$



איור לשאלה 8

- א. חשב את נקודת העבודה של הטרנזיסטור.
- ב. סרטט במחברתך מערכת צירים מתאימה וסרטט בה את קו העבודה של הטרנזיסטור. סמן את נקודת העבודה של הטרנזיסטור על הקו.
- ג. השווה בין טרנזיסטור מסוג BJT ובין טרנזיסטור מסוג FET מבחינת אופן הבקרה של הטרנזיסטור ותדר הפעולה המרבי שלו.

## בהצלחה!