

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.

פרק ראשון: מערכות מכטרוניות

20

פרק שני: בקרת תהליכים ומכשור לבקרה ולאקטרוניקה תעשייתית

80

סה"כ: 100

נקודות

ג. חומר עזר מותר לשימוש: כל חומר עזר ומחשבון.

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 בעזרתך את השאלה. רשום בתשובתך את הנתון שהוספת.

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

בשאלון זה 13 עמודים ועמוד אחד של נספח.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר, אך מכוונות לנבחנות ולנבחנים כאחד.

בהצלחה!

השאלות

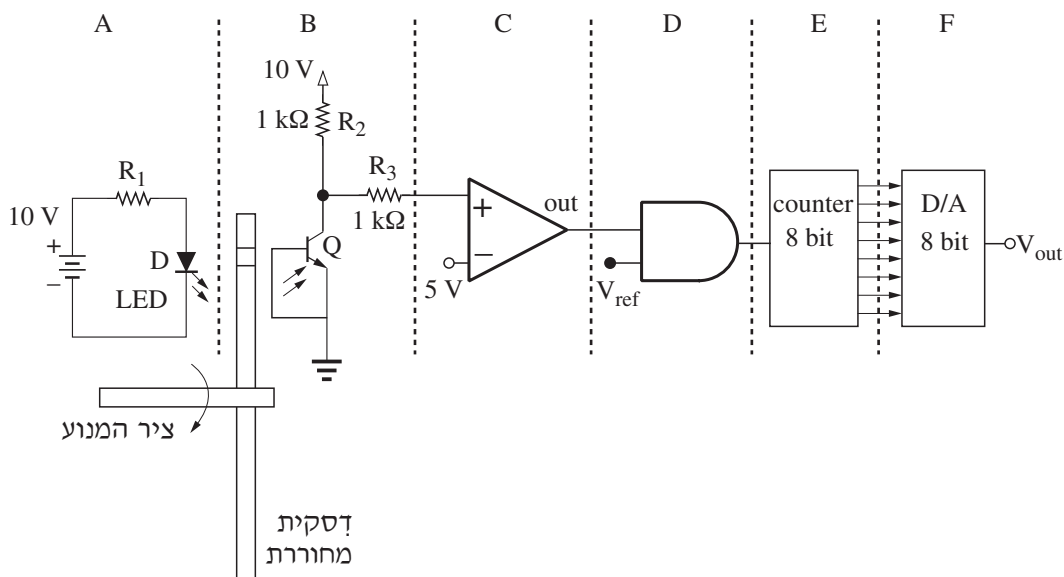
בשאלון זה שני פרקים, ובהם שמונה שאלות. עליך לענות על שאלה 1 שבפרק הראשון, ועל ארבע מבין השאלות 2-8 שבפרק השני (לכל שאלה – 20 נקודות).

פרק ראשון: מערכות מכטרוניות (20 נקודות)

ענה על שאלה 1 – שאלת חובה.

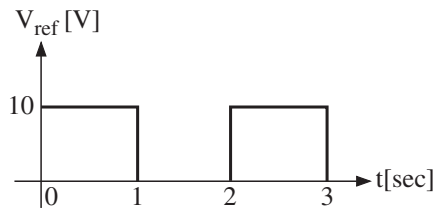
שאלה 1

באיור א' לשאלה זו נתון תרשים של מעגל חשמלי למדידת קצב סיבוב של מנוע.



איור א' לשאלה 1

על ציר המנוע מותקנת דסקית בעלת שמונה חורים בהיקפה, והיא מסתובבת בין דיודה פולטת אור (LED), המסומנת באות D, ובין פוטורניזיסטור, המסומן באות Q. המתח המתקבל במוצא הפוטורניזיסטור הוא סדרת פולסים. צורת מתח הייחוס, V_{ref} , היא גל ריבועי, כמתואר באיור ב' לשאלה זו.



איור ב' לשאלה 1

נתונים:

- מתח ההזנה של רכיבי המעגל הוא 10 V.
 - כאשר המתח על הדיודה D הוא 1.5 V, הזרם הזורם דרכה הוא 10 mA.
 - כושר ההבחנה (הרזולוציה) של הממיר D/A הוא 39 mV.
- א. הסבר בקצרה את פעולת המעגל. ציין בהסברך את תפקידו של כל אחד מחלקי המעגל המצוינים באיור א' באותיות A עד F.
- ב. חשב את התנגדות הנגד R_I שבמעגל.
- ג. המנוע החשמלי מסתובב בקצב של 675 r.p.m.
1. חשב את תדר המתח שמתקבל במוצא הפוטורניזיסטור.
 2. מצא את האות הבינארי שמתקבל במוצא המונה (counter).
 3. חשב את המתח, V_{out} , במוצא הממיר D/A.
- ד. מהו קצב הסיבוב המרבי של המנוע שהמעגל המתואר יכול למדוד? נמק את תשובתך.

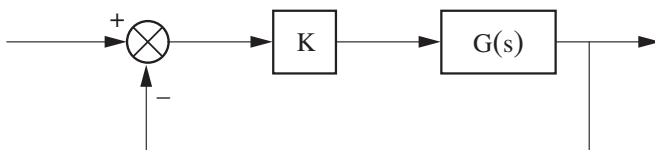
פרק שני: בקרת תהליכים ומכשור לבקרה ולאלקטרוניקה תעשייתית

(80 נקודות)

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

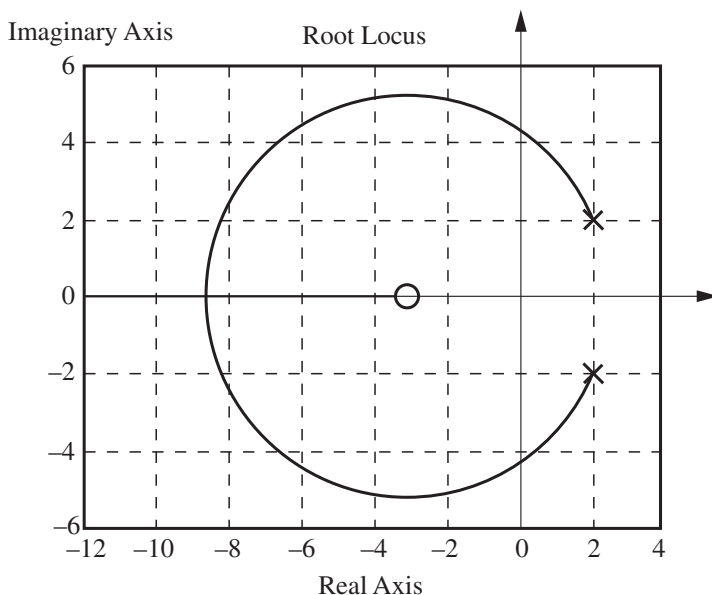
שאלה 2

באיור א' לשאלה זו נתונה דיאגרמת מלבנים של מערכת בחוג סגור.



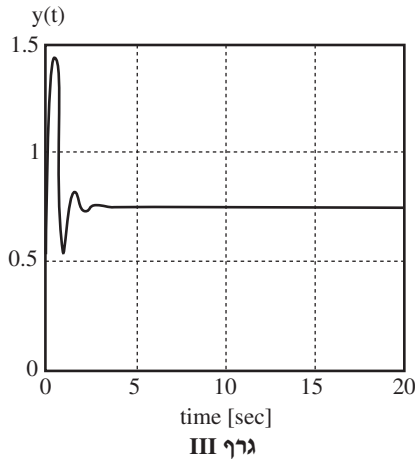
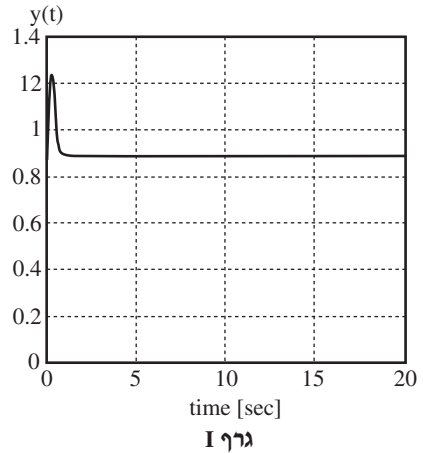
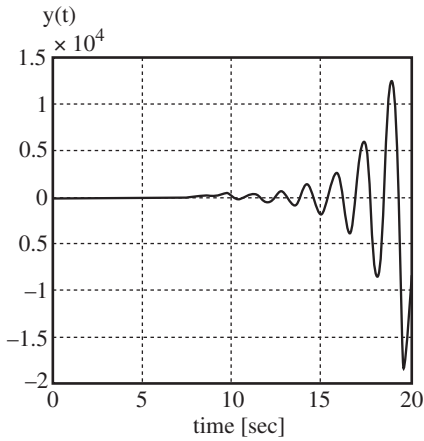
איור א' לשאלה 2

באיור ב' לשאלה מתוארת דיאגרמת המג"ש (דיאגרמת Root Locus) של המערכת.



איור ב' לשאלה 2

- א. רשום את פונקציית התמסורת של המערכת בחוג פתוח (KG(s)) ואת פונקציית התמסורת שלה בחוג סגור.
- ב. חשב את תחום הערכים להגבר K של הבקר שבעבורו המערכת תהיה יציבה בחוג סגור.
- ג. באיור ג' לשאלה 2 נתונים שלושה גרפים (I, II, III) המתארים את תגובת החוג הסגור לכניסת מדרגה בגודל יחידה (1) עבור ערכים שונים של הגברים.

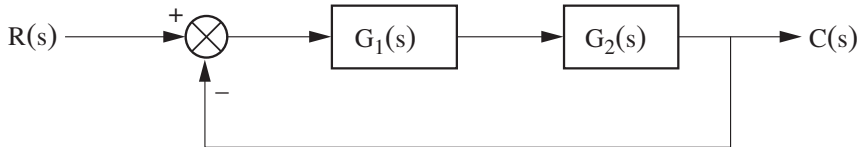


איור ג' לשאלה 2

קבע איזה גרף מייצג את התגובה שהתקבלה בעבור ההגבר הקטן ביותר, ואיזה גרף מייצג את התגובה שהתקבלה בעבור ההגבר הגדול ביותר. נמק את קביעותיך.

שאלה 3

באיור לשאלה זו נתון תרשים מלבנים של מערכת בחוג סגור, שבה מתרחשים שני תהליכים:
 $G_1(s)$ ו- $G_2(s)$.



איור לשאלה 3

בנספח לשאלה זו נתונות דיאגרמות בודה (Bode) אסימפטוטיות של כל אחד משני התהליכים.

א. רשום את פונקציית התמסורת של כל אחד מהתהליכים $G_1(s)$ ו- $G_2(s)$.

ב. סרטט על גבי הנספח לשאלה, במערכת הצירים התחתונה, דיאגרמת בודה של ההגבר הכולל של המערכת כאשר שני התהליכים מחוברים בטור.

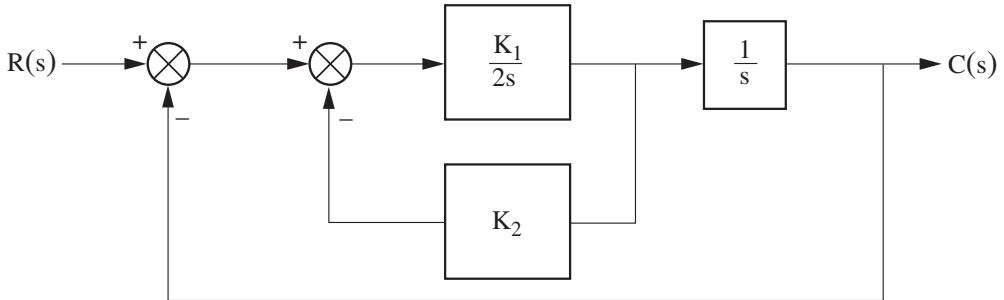
ג. הסתמך על הדיאגרמה שסרטטת בתשובתך לסעיף ב', וקבע פי כמה גדולה אמפליטודת היציאה של המערכת מאמפליטודת הכניסה שלה, כאשר תדר העירור הוא $2 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$.

ד. הסתמך על הדיאגרמה שסרטטת בתשובתך לסעיף ב', וקבע בקירוב מהו התדר שממנו המערכת מתחילה להנחית את אות הכניסה.

הקפד להדביק את מדבקת הנבחן שלך על-גבי הנספח ולצרף אותו למחברתך.

שאלה 4

באיור לשאלה זו נתון תרשים מלבנים של מערכת בקרה.



איור לשאלה 4

- א. רשום את פונקציית התמסורת של החוג הסגור, $G_{cl}(s) = \frac{C(s)}{R(s)}$.
 - ב. המערכת נדרשת לעמוד בדרישות שלהלן כתוצאה מהפעלת כניסת מדרגה:
 - תגובת-יתר בשיעור 20% לכל היותר ($M_o\% \leq 20\%$).
 - זמן ההגעה לשיא, t_p , יהיה קטן מ-2 sec.
- חשב את הערכים של K_1 ו- K_2 שיבטיחו כי הדרישות הללו יתקיימו.

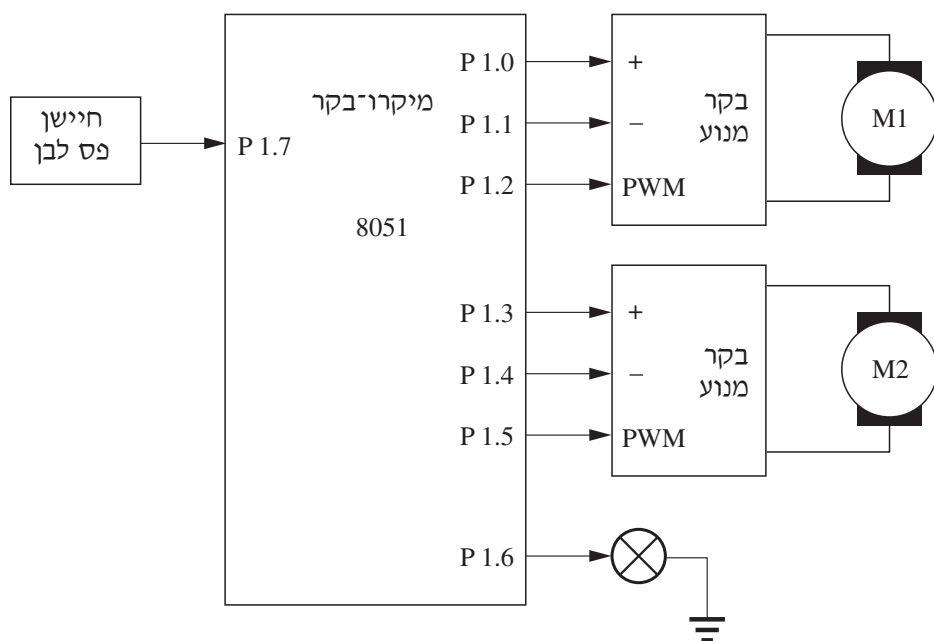
ללא קשר לתוצאה שקיבלת בסעיף ב', הנח כי $K_1 = 50$ ו- $K_2 = 0.2$.

ג. חשב את שגיאת העקיבה בעבור כניסת מדרגה $r(t) = 5$.

ד. חשב את שגיאת העקיבה בעבור כניסת ריצה $r(t) = 2t$.

שאלה 5

באיור לשאלה זו מתוארת מערכת בקרה לרובוט הנמצא בין שני פסים שחורים הדבוקים על-גבי משטח לבן.



איור לשאלה 5

רכיבי המערכת

- מיקרו-בקר 8051 המחובר לגביש בעל תדר של 12 MHz (אינו מופיע באיור).
- שני מנועי D.C. שכל אחד מהם מחובר למיקרו-בקר באמצעות בקר מנועים.
- שני בקרי מנועים שלכל אחד מהם שלוש כניסות לוגיות: שתי כניסות לקביעת כיוון הנסיעה וכניסה אחת עבור התדר.
- כדי לשנות את מהירות המנוע, הבקר מפעיל ומפסיק לסירוגין את המתח למנוע וכך הוא מספק מתח ממוצע שונה למנוע. הבקר פועל בשיטת (Pulse Width Modulation) PWM.
- חיישן פס לבן מסוג ON / OFF :
 - מצב ON – "1" לוגי – כאשר החיישן על משטח לבן
 - מצב OFF – "0" לוגי – כאשר החיישן על משטח שחור
- מנורה

להלן נתון קטע תכנית בשפת אסמבלר להפעלת מערכת הבקרה של הרובוט:

```

ORG      3
        XRL    P1,#0X24
        RETI
ORG      100
        MOV    TMOD,#0X11
        MOV    TH0,#0XFC
        MOV    TL0,#0XE8
        SETB   TR0
        SETB   EA
        SETB   ET0
        MOV    P1,#0X2D
W1:      JB     P1.7,W1
        MOV    P1,#0X64
        SJMP   $
    
```

- א. תאר את הפעולות שמבצע הרובוט במהלך הרצת התכנית.
- ב. הסבר את משמעות הפקודה `XRL P1,#0X24` בשורה השנייה בתכנית.
- ג. החליפו את הפקודה `MOV P1,#0X64` בפקודה `MOV P1,#0X44`. הסבר כיצד תפעל המערכת לאחר הרצת קטע התכנית מחדש.

שאלה 6

כדי למצוא פרמטרים מאפיינים של שלושה בקרים שונים, עורכים ניסוי בחוג פתוח, בשלושת הבקרים באופן הזה:
מחברים למבוא הבקר אות מתח $e(t)$ המדמה שגיאה, ובוחרים את המתח המתקבל במוצא הבקר, $m(t)$, שהוא תפוקת הבקר.
נתוני שלושת הבקרים שנבדקו מפורטים להלן:

בקר יחסי – P

משוואת הבקר היא: $m(t) = K_p \cdot e(t)$

כאשר,

K_p – הגבר הבקר היחסי

בקר אינטגרלי – I

משוואת הבקר היא: $m(t) = \frac{1}{T_i} \int e(t) dt$

כאשר,

T_i – זמן האינטגרציה

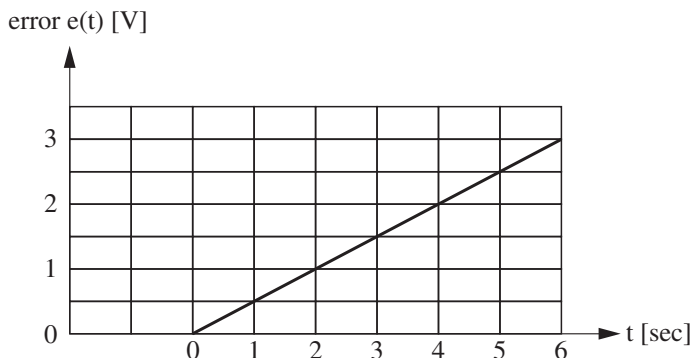
בקר נגזרת – D

משוואת הבקר היא: $m(t) = T_d \frac{de(t)}{dt}$

כאשר,

T_d – מקדם הנגזרת

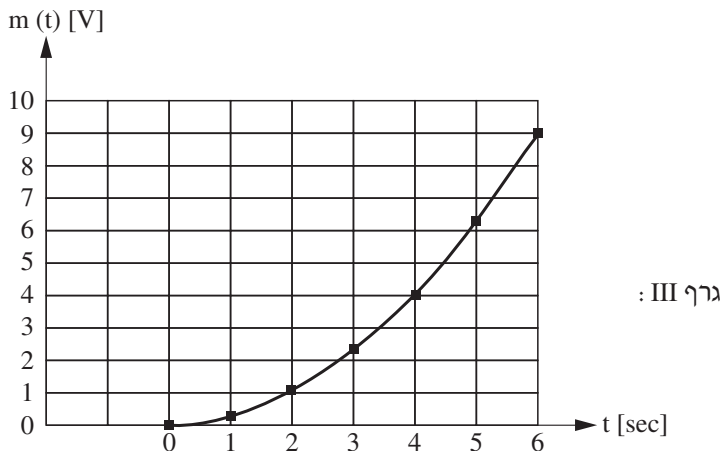
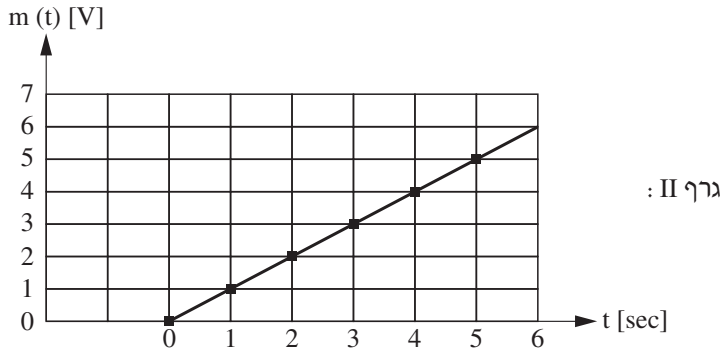
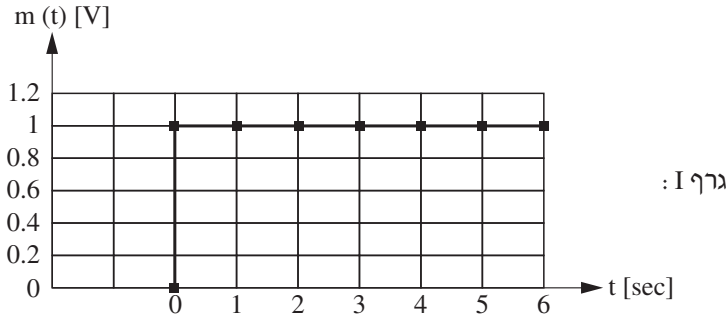
באיור א' לשאלה זו מתואר אות המתח $e(t)$ במבוא של כל אחד מן הבקרים:



איור א' לשאלה 6

א. רשום ביטוי מתמטי לתיאור האות $e(t)$.

ב. באיור ב' לשאלה זו נתונים שלושה גרפים (I ו-II ו-III) המתארים את התגובה, $m(t)$, של כל אחד משלושת הבקרים לאות הכניסה, $e(t)$, הנתון באיור א'.



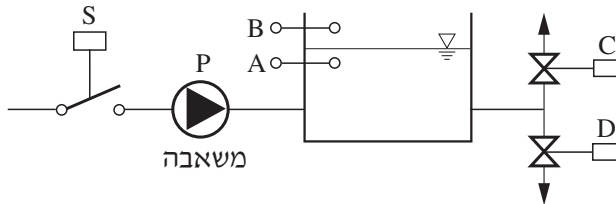
איור ב' לשאלה 6

1. קבע איזה בקר מייצג כל אחד מהגרפים I, II ו-III.

2. מצא את הפרמטר האופייני לכל בקר: K_p לבקר P, T_i לבקר I ו- T_d לבקר D.

שאלה 7

באיור לשאלה זו מתואר מתקן לאגירת מים.



איור לשאלה 7

המשאבה P ממלאת את מכל המים. המשאבה מופעלת באמצעות מפסק S.

במכל מותקנים שני חיישני גובה, A ו-B, מסוג "מגע רגיל פתוח" (N.O.).

החיישן A מותקן בגובה 2 m מתחתית המכל.

החיישן B מותקן בגובה 3 m מתחתית המכל.

המכל מספק מים לצרכנים באמצעות שני שסתומים: C ו-D.

כדי לשמור על מפלס המים במכל בגובה שבין 2m ל-3m, מופעלת המשאבה על-ידי סגירת המפסק בכל אחד מהמקרים הבאים:

I. מפלס המים ירד מתחת לגובה 2 m מתחתית המכל.

II. מפלס המים נמצא בגובה שבין 2 m ל-3 m מתחתית המכל והשסתום C פתוח.

III. מפלס המים נמצא מעל לגובה 3 m מתחתית המכל ושני השסתומים, C ו-D, פתוחים.

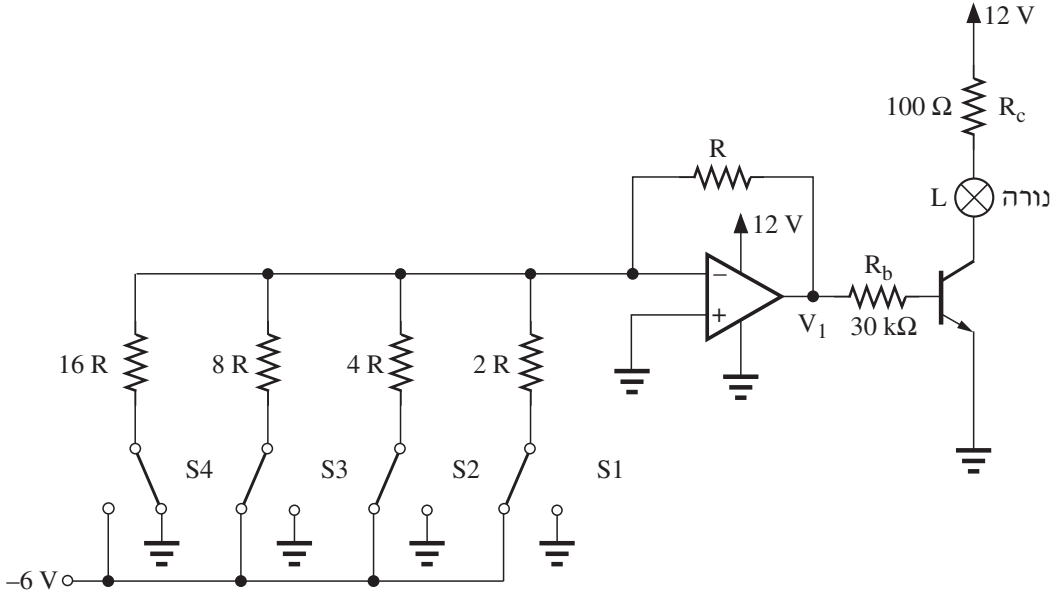
א. רשום ביטוי לוגי לסכום הצירופים של A, B, C ו-D שיגרום לסגירת המפסק S (הפעלת המשאבה).

ב. צמצם את הביטוי שרשמת בתשובתך לסעיף א' באמצעות חוקי האלגברה הבוליאנית, ורשום את הביטוי הפשוט ביותר.

ג. סרטט את המעגל הלוגי הדרוש להפעלת המשאבה.

שאלה 8

באיור לשאלה זו מתואר מעגל חשמלי המפעיל את הנורה L. המעגל כולל ממיר D/A.



איור לשאלה 8

– נתוני הטרנזיסטור במעגל: $\beta = 100$, $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$, $V_{CEsat} = 0.2 \text{ V}$

– נתוני הנורה:

המתח על הנורה כאשר היא דולקת: $V_L = 1.2 \text{ V}$

הזרם המינימלי הדרוש להדלקת הנורה L: $I_{L_{min}} = 15 \text{ mA}$

א. זהה את סוג הממיר שבמעגל, וקבע איזה מפסק (S1, S2, S3 או S4) מייצג את הסיבית המשמעותית ביותר (MSB).

ב. חשב את כושר ההבחנה (הרזולוציה) של הממיר.

ג. מצא את המתח V_1 במוצא הממיר בעבור מצב המפסקים שבאיור.

ד. קבע על סמך התוצאה שקיבלת בסעיף ג' אם הנורה L תידלק עבור מצב המפסקים שבאיור. בסס את קביעתך על חישובים מתאימים.

בהצלחה!

