

הצעה לפתרון מלא — אלקטרוניקה ומחשבים

בגרות · קיץ תשע"ז 2017 · שאלון 815381 · שאלות 1–14

✦ בנוי על ידי פהד גאנם ✦

על המסמך: הצעה לפתרון מלא לשאלון 815381 — אלקטרוניקה ומחשבים, קיץ תשע"ז 2017. בשאלון ארבע-עשרה שאלות בשלושה פרקים, ועל הנבחן לענות על חמש שאלות — אחת לפחות מכל פרק. פרק ראשון (1–4) מבוא להנדסת אלקטרוניקה; פרק שני (5–6) תורת החשמל; פרק שלישי (7–14) מבוא להנדסת מחשבים — תכנות בשפת C ובסביבת Arduino. כאן פתורות כל השאלות, לנוחות הלימוד.

פרק ראשון — מבוא להנדסת אלקטרוניקה (שאלות 1-4)

שאלה 1 — שני מגברי שרת אידיאליים (מפחית ומסכם)

נתונים: $R_1=1\text{ k}\Omega$ · $R_2=2\text{ k}\Omega$ · $R_3=1\text{ k}\Omega$ · $R_4=3\text{ k}\Omega$ · $R_5=10\text{ k}\Omega$ · $R_6=20\text{ k}\Omega$ · מקור 2V · אספקה $\pm 12\text{V}$

מבנה המעגל: הדק A מוארק (0V). מחלק המתח R_3 – R_4 המוזן מ- 2V יוצר את נקודה X, המחוברת אל הכניסה החיובית של שני המגברים. המגבר הראשון מחובר במשוב שלילי דרך R_2 (מוצא V_{o1}) — צירוף לא-מהפך. המגבר השני מחובר במשוב שלילי דרך R_6 , וכניסתו השלילית היא הצומת שבין R_5 ל- R_6 . בשני המגברים מתקיים $V_- = V_+ = V_X$.

סעיף א — המתח בנקודה X

X הוא צומת מחלק המתח בין R_3 ל- R_4 , המוזן ממקור 2V (כניסות המגברים אינן מושכות זרם):

$$V_X = 2 \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 2 \cdot \frac{3}{1 + 3} = 1.5\text{ V}$$

$$V_X = 1.5\text{ V}$$

סעיף ב — הזרם בנגד R_1 וכיוונו

במגבר הראשון קיים קצר וירטואלי, ולכן מתח הכניסה השלילית (צומת B) שווה למתח הכניסה החיובית: $V_B = V_X = 1.5\text{V}$. הדק A מוארק ($V_A = 0$). לכן דרך R_1 עובר זרם מ-B אל A:

$$I(R_1) = \frac{V_B - V_A}{R_1} = \frac{1.5 - 0}{1000} = 0.0015\text{ A}$$

$$I(R_1) = 1.5\text{ mA (מ-B ל-A)}$$

סעיף ג — מתח המוצא של המגבר הראשון V_{o1}

A מוארק, R_1 מן ההארקה אל B, ו- R_2 במשוב מ- V_{o1} אל B — צירוף לא-מהפך בעל הגבר $R_2/R_1 + 1$ ביחס למתח בכניסה החיובית X:

$$V_{o1} = V_X \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 1.5 \cdot \left(1 + \frac{2}{1}\right) = 1.5 \times 3$$

$$V_{o1} = 4.5 \text{ V}$$

סעיף ד — מתח-המוצא V_o

במגבר השני הכניסה החיובית היא $V_X (1.5V)$, והכניסה השלילית (הצומת שבין R_5 ל- R_6) שווה לה. נכתוב את חוק הזרמים בצומת השלילי:

$$\frac{V_{o1} - V_X}{R_5} + \frac{V_o - V_X}{R_6} = 0$$

$$\frac{4.5 - 1.5}{10k} + \frac{V_o - 1.5}{20k} = 0 \rightarrow V_o - 1.5 = -6$$

$$V_o = -4.5 \text{ V}$$

שאלה 2 — מגבר טרנזיסטור במוצא משותף (CE) עם קבל עוקף

נתונים: $V_{CC}=12V$ · $V_{CE}=6V$ · $V_{BE}=0.7V$ · $\beta=h_{fe}=50$ · $h_{ie}=1.5k\Omega$ · $R_E=1k\Omega$ · $R_L=2k\Omega$ · $I_B=10\mu A$

סעיף א — ערך הנגד R_B

זו הזנה קבועה (R_B מ- V_{CC} אל הבסיס) עם נגד אמיטר. זרם האמיטר $I_E = 0.51mA$ · $I_E = (\beta+1) \cdot I_B = 51 \times 10\mu A = 0.51mA$. נכתוב את לולאת הבסיס-אמיטר:

$$V_{CC} = I_B \cdot R_B + V_{BE} + I_E \cdot R_E$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - I_E R_E}{I_B} = \frac{12 - 0.7 - 0.51}{10\mu} = 1.079 \text{ M}\Omega$$

$$R_B \approx 1.08 \text{ M}\Omega$$

סעיף ב — ערך הנגד R_C

זרם הקולקטור $I_C = \beta \cdot I_B = 50 \times 10\mu A = 0.5mA$. נכתוב את לולאת המוצא (קולקטור-אמיטר):

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - I_E R_E}{I_C} = \frac{12 - 6 - 0.51}{0.5m} = 10.98 \text{ k}\Omega$$

$$R_C \approx 11 \text{ k}\Omega$$

סעיף ג — דגם החילופין הזעיר

בזרם חילופין כל הקבלים מהווים קצר. מתח המבוא V_i מגיע דרך C_1 אל הבסיס; המעבר בסיס-אמיטר מיוצג בהתנגדות $h_{ie}=1.5k\Omega$; הקבל C_3 מקצר את R_E ולכן האמיטר מוארק לחילופין; במוצא פועל מקור זרם תלוי $\beta \cdot i_b$ בקולקטור, המזין את העומס $R_L \parallel R_C$. הנגד R_B מחובר בין הבסיס לאדמת החילופין.

סעיף ד — הגבר המתח A_V

$$R_C \parallel R_L = \frac{11000 \times 2000}{11000 + 2000} \approx 1692 \, \Omega$$

$$A_v = - \frac{\beta (R_C \parallel R_L)}{h_{ie}} = - \frac{50 \times 1692}{1500}$$

$$A_v \approx -56 \text{ (מהפך)}$$

שאלה 3 — מסנן LP, משווה ונורית LED

נתונים: $E=12V$ · $R=2\text{ k}\Omega$ · $C=1000\text{ }\mu\text{F}$ · $R_1=10\text{ k}\Omega$ · $R_2=10\text{ k}\Omega$ · $V_{LED}=1.5V$ · $I_{LED}=10\text{ mA}$

מבנה המעגל: המגבר משמש כמשווה (הזנה יחידה 0–12V). הכניסה + מחוברת אל V_C — מתח הקבל הנטען דרך R ; הכניסה – מחוברת אל הצומת X של מחלק המתח R_1 – R_2 (מתח ייחוס קבוע). מתח הקבל ההתחלתי הוא 0V, וברגע $t=0$ סוגרים את המפסק S . ה-LED נדלק כאשר V_C עולה מעל מתח הייחוס X .

סעיף א — המתח בנקודה X

$$V_X = E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12 \cdot \frac{10}{10 + 10} = 6\text{ V}$$

$$V_X = 6\text{ V}$$

סעיף ב — סרטוט $V_C(t)$ ו- $V_o(t)$

מרגע סגירת המפסק הקבל נטען דרך R לפי $V_C(t) = 12(1 - e^{-t/\tau})$, כאשר קבוע הזמן $\tau = R \cdot C = 2000 \times 1000\text{ }\mu\text{F} = 2\text{ s}$. עקומת $V_C(t)$ עולה מעריכית מ-0 לכיוון 12V. מתח המוצא V_o נמוך (0V, LED) כבוי כל עוד $V_C < 6V$, וברגע ש- V_C חוצה את 6V הוא קופץ לרמה גבוהה ($\approx 12V$, LED דולק).

$$V_C = 6V \text{ קופץ מ-0V ל-12V כאשר } V_o = 6V ; \tau = 2\text{ s}$$

סעיף ג — הזמן עד הדלקת ה-LED

ה-LED נדלק כאשר V_C מגיע ל-6V:

$$12(1 - e^{-t/\tau}) = 6 \rightarrow e^{-t/\tau} = 0.5 \rightarrow t = \tau \cdot \ln 2$$

$$t = 2 \times 0.693 = 1.386\text{ s}$$

$$t \approx 1.39\text{ s}$$

כאשר המוצא גבוה $V_o \approx 12V$. R_L מגביל את זרם ה-LED:

$$R_L = \frac{V_o - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{12 - 1.5}{0.010}$$

$$R_L = 1050 \, \Omega$$

שאלה 4 — משווה עם אות משולש ומדידה באוסצילוסקופ

נתונים: אספקה יחידה 5V · מחלק 10 kΩ + 10 kΩ (ייחוס 2.5V) · אות מבוא משולש 0V–5V · זמן מחזור 1 ms

מבנה המעגל: V_{in} מחובר אל הכניסה החיובית, ומחלק המתח 10kΩ–10kΩ מייצר מתח ייחוס 2.5V. בכניסה השלילית. לכן מוצא המשווה גבוה ($\approx 5V$) כאשר $V_{in} > 2.5V$, ונמוך ($\approx 0V$) כאשר $V_{in} < 2.5V$.

סעיף א — חיבור שלושת המכשירים

מחברים את שלושת המכשירים כך:

מחולל-האותות: הדק ה-(+) אל מבוא המעגל V_{in} , והדק ה-(-) אל אדמת המעגל.

ספק-המתח (5V): הדק ה-(+) אל פס האספקה 5V (המזין את המגבר ואת מחלק המתח), והדק ה-(-) אל אדמת המעגל.

אוסצילוסקופ דו-ערוצי: ערוץ 1 — הדק ה-(+) אל V_{in} , הדק ה-(-) אל האדמה; ערוץ 2 — הדק ה-(+) אל V_{out} , הדק ה-(-) אל האדמה. כל הדקי ה-(-) משותפים לאדמה אחת.

סעיף ב — ערך ה-Time/div

למסך האוסצילוסקופ עשר משבצות לרוחב. כדי להציג שני מחזורים ($1ms = 2ms \times 2$) על מלוא הרוחב:

$$\text{Time/div} = \frac{2 \times 1 \text{ ms}}{10 \text{ משבצות}} = \frac{2ms}{10} = 0.2 \text{ ms/div}$$

$$\text{Time/div} = 0.2 \text{ ms/div}$$

סעיף ג — סרטוט V_o ו- V_{in}

אות המבוא הוא משולש 0V–5V בזמן מחזור 1ms. מוצא המשווה הוא אות מלבני בזמן מחזור זהה: **גבוה (5V)** בקטע שבו האות המשולש עובר את 2.5V (סביב הפסגה, כלומר $0.25ms < t < 0.75ms$ בכל מחזור), ו**נמוך (0V)** בשאר המחזור (סביב הבקעים). מחזור מלא של המבוא נותן מחזור מלא של המוצא ביחס מחזור 50%.

$$V_{in} > 2.5V \text{ — אות מלבני } 0/5V, \text{ מחזור } 1ms \text{ — גבוה כאשר}$$

שאלה 5 — מעגל RC טורי בזרם חילופין עם אמפרמטר ומפסק

נתונים: תנופה מרבית $U_{\max}=311.13\text{V}$ · $f=1\text{ kHz}$ · אמפרמטר אידיאלי · מפסק S במקביל לקבל

סעיף א — המתח היעיל של המקור

$$V_{\text{eff}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{311.13}{1.414}$$

$$V_{\text{eff}} = 220\text{ V}$$

סעיף ב — ההתנגדות R (המפסק סגור)

כאשר המפסק S סגור הוא מקצר את הקבל, ובמעגל נותר רק הנגד R. מנתון $I_{\text{eff}} = 5.5\text{A}$:

$$R = \frac{V_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{220}{5.5}$$

$$R = 40\ \Omega$$

סעיף ג — היגב הקבל (המפסק פתוח)

כשהמפסק פתוח R ו-C בטור. מהזרם החדש $I_{\text{eff}} = 4.4\text{A}$ נמצא את העכבה, ומתוכה את היגב הקבל:

$$Z = \frac{V_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{220}{4.4} = 50\ \Omega$$

$$X_C = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{50^2 - 40^2} = \sqrt{900} = 30\ \Omega$$

$$X_C = 30 \, \Omega$$

סעיף ד — הקיבול של הקבל C

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi \times 1000 \times 30}$$

$$C \approx 5.3 \, \mu\text{F}$$

שאלה 6 — רשת נגדים בזרם ישר

נתונים: $R_1=2\ \Omega$ · $R_2=2\ \Omega$ · $R_3=4\ \Omega$ · $R_4=4\ \Omega$ · $R_5=6\ \Omega$ · $I_2 = 2\text{ A}$ (בנגד R_2)

מבנה המעגל: מן המקור עובר R_1 אל צומת עליון, ומשם מתפצל לשני ענפים בין הצומת העליון לצומת התחתון: הענף R_2 ($2\ \Omega$), והענף הטורי R_3+R_4 ($4+4=8\ \Omega$) המקביל לו. מן הצומת התחתון חוזר הזרם דרך R_5 אל המקור. הזרם ב- R_1 וב- R_5 הוא זרם המקור המלא.

סעיף א — הזרם בנגד R_4

המתח על R_2 שווה למתח על הענף R_3+R_4 (הם מקבילים):

$$U(R_2) = I_2 \cdot R_2 = 2 \times 2 = 4\text{ V}$$

$$I(R_4) = I(R_3) = \frac{U(R_2)}{R_3 + R_4} = \frac{4}{4 + 4} = 0.5\text{ A}$$

$$I(R_4) = 0.5\text{ A}$$

סעיף ב — הזרם שמספק המקור E

בצומת העליון זרם R_1 מתפצל בין R_2 לענף R_3+R_4 :

$$I(E) = I_2 + I(R_4) = 2 + 0.5$$

$$I(E) = 2.5\text{ A}$$

סעיף ג — ההתנגדות השקולה של המעגל

$$R_2 \parallel (R_3+R_4) = \frac{2 \times 8}{2 + 8} = 1.6\ \Omega$$

$$R_{\text{שקולה}} = R_1 + 1.6 + R_5 = 2 + 1.6 + 6$$

$$R_{9.6} = 9.6 \, \Omega$$

סעיף ד — מתח המקור E

$$E = I(E) \cdot R_{\text{שקולה}} = 2.5 \times 9.6$$

$$E = 24 \, \text{V}$$

סעיף ה1 — ההספק על כל אחד מהנגדים

$$P(R_1) = I(E)^2 \cdot R_1 = 2.5^2 \times 2 = 12.5 \, \text{W}$$

$$P(R_2) = I_2^2 \cdot R_2 = 2^2 \times 2 = 8 \, \text{W}$$

$$P(R_3) = I(R_3)^2 \cdot R_3 = 0.5^2 \times 4 = 1 \, \text{W}$$

$$P(R_4) = I(R_4)^2 \cdot R_4 = 0.5^2 \times 4 = 1 \, \text{W}$$

$$P(R_5) = I(E)^2 \cdot R_5 = 2.5^2 \times 6 = 37.5 \, \text{W}$$

$$P_1=12.5\text{W} \cdot P_2=8\text{W} \cdot P_3=1\text{W} \cdot P_4=1\text{W} \cdot P_5=37.5\text{W}$$

סעיף ה2 — סכום ההספקים שווה להספק המקור

$$\Sigma P = 12.5 + 8 + 1 + 1 + 37.5 = 60 \, \text{W}$$

$$P(E) = E \cdot I(E) = 24 \times 2.5 = 60 \, \text{W} \checkmark$$

$$\Sigma P_{\text{נגדים}} = P(E) = 60 \, \text{W}$$

שאלה 7 (C) — קריאת מפסקים והפעלת שמונה נוריות

חומרה: מפתח-קלט 300H (מפסקים S_0, S_1 על D_0, D_1) · מפתח-פלט 301H (שמונה נוריות D_0-D_7)

מצב המפסקים: כל מפסק מחובר אל $5V+$, ונגד-מטה (pull-down) אל האדמה. לכן מפסק **סגור** → הביט 1, מפסק **פתוח** → הביט 0. בפלט: כל נורית נדלקת כאשר הביט המתאים הוא 1 ($0xFF =$ כל הנוריות דולקות, $0x00 =$ כבויים).

התוכנית בשפת C

```
void main(void)
{
    int in, i;
    while (1)
    {
        in = Inp32(0x300) & 0x03;      /* read the two switches, mask D2..D7 */

        if (in == 0x03)                /* both switches open -> all LEDs on */
            Out32(0x301, 0xFF);
        else if (in == 0x00)           /* both switches closed -> all LEDs off */
            Out32(0x301, 0x00);
        else                           /* exactly one switch closed -> blink */
        {
            for (i = 0; i < 10; i++) /* blink 10 times */
            {
                Out32(0x301, 0xFF);
                delay(500);
                Out32(0x301, 0x00);
                delay(500);
            }
        }
    }
}
```

הפעולה $\text{Inp32}(0x300) \& 0x03$ מבודדת את שני הביטים D_0, D_1 בלבד (מיסוך שאר המבואות). שלושת המצבים נבדקים לפי הערך המתקבל: $0x03$ (שניהם פתוחים), $0x00$ (שניהם סגורים), וכל ערך אחר ($0x01$ או

0x02) פירושו מפסק אחד סגור והשני פתוח — ואז לולאת ה-for מהבהבת את כל הנוריות עשר פעמים בהשהיה בין הדלקה לכיבוי.

שאלה 8 (C) — מערך, איברים במקומות אי-זוגיים וסכומם

הפעולות: הגדרת מערך של עשרה שלמים, קליטה, הדפסה, איברים אי-זוגיים וסכומם

מקומות אי-זוגיים: בשפת C האינדקסים מתחילים מ-0, ולכן המקומות האי-זוגיים הם אינדקסים 1, 3, 5, 7, 9. 💡

התוכנית בשפת C

```
#include <stdio.h>
void main(void)
{
    int arr[10];                /* 1 - array of ten integers */
    int i, sum_ez = 0;

    /* 2 - read from keyboard, fill the array and print the values */
    for (i = 0; i < 10; i++)
    {
        scanf("%d", &arr[i]);
        printf("%d ", arr[i]);
    }
    printf("\n");

    /* 3 - print the whole array in one row, one space between values */
    printf("arr : ");
    for (i = 0; i < 10; i++)
        printf("%d ", arr[i]);
    printf("\n");

    /* 4 - print, on the next row, the elements at odd positions */
    for (i = 1; i < 10; i += 2)
        printf("%d ", arr[i]);
    printf("\n");

    /* 5 - sum of the elements at odd positions */
    for (i = 1; i < 10; i += 2)
        sum_ez += arr[i];
    printf("sum ez = %d\n", sum_ez);
}
```

שורות 4-5 (הלולאה עם $i += 2$ החל מ-1) עוברות על המקומות האי-זוגיים בלבד: תחילה מדפיסות אותם בשורה, ואחר-כך צוברות את סכומם ל-`sum_ez` ומדפיסות אותו בתבנית `... = sum_ez` בתחתית.

שאלה 9 (C) — ספירת מפסקים סגורים ותצוגה על Segment-7

חומרה: שמונה מפסקים על מפתח-קלט 300H · תצוגת seg-7 בחיבור קתודה משותפת (CC) על מפתח-פלט 301H

קטע הקוד הנתון

```
void main(void)
{
    int arr[]={0x3F,0x06,0x5B,0x4F,0x66,0x6D,0x7D,0x07,0x7F};
    int i,in,t;
    while (1)
    {
        t = 0;
        in = Inp32(0x300);
        for (i = 0; i < 8; i++)
        {
            if ((in & 1) == 1) t = t + 1;
            in = in >> 1;
        }
        Out32(0x301, arr[t]);
    }
}
```

סעיף א — הסבר השורות 8, 11, 12, 14

שורה 8: `in = Inp32(0x300)` — קוראת את מצב שמונת המפסקים ממפתח-הקלט 300H אל המשתנה `in`.

שורה 11: `t = t + 1; if ((in & 1) == 1)` — בודקת את הביט הימני ביותר; אם המפסק הנוכחי סגור (הביט 1), מגדילה את המונה `t`.

שורה 12: `in = in >> 1` — הזזה ימינה כדי לבחון את המפסק הבא.

שורה 14: `Out32(0x301, arr[t])` — מוציאה אל תצוגת ה-seg-7 את הקוד `arr[t]`, כלומר את הספרה השווה למספר המפסקים הסגורים.

המערך `arr` מכיל את קודי ה-seg-7 (קתודה משותפת) של הספרות 0–8, ולכן התוכנית מציגה את **מספר המפסקים הסגורים**.

סעיף ב — התצוגה כאשר S_1, S_3, S_5, S_7 סגורים

ארבעה מפסקים סגורים ושאר המפסקים פתוחים, ולכן `t = 4`. מתקבל `arr[4] = 0x66` — קוד הספרה 4:

4 התצוגה מראה את הספרה

סעיף ג — מעבר לחיבור אנודה משותפת (CA)

בתצוגת אנודה משותפת קטע נדלק כאשר מזינים אותו ב-0 (פעולה משלימה לקתודה משותפת). כדי לשמר את אותה תצוגה, יש להוציא את הקוד המשלים. משנים את שורה 14:

```
Out32(0x301, arr[t] ^ 0xFF); /* invert all 8 bits for common-anode */
```

הפעולה $arr[t] \wedge 0xFF$ (או $\sim arr[t] \& 0xFF$) הופכת כל ביט, כך שאותם קטעים בדיוק נדלקים — והפלט הנראה אינו משתנה מהחלפת התצוגה.

שאלה 10 (C) — היפוך ספרות של מספרים דו-ספרתיים

קליטה: עד עשרה מספרים שלמים בטווח 0-99 · לכל מספר מחשבים את היפוך ספרותיו

קטע הקוד הנתון

```
#include <stdio.h>
void main(void)
{
    int arr1[10], arr2[10];
    int cnt = 0, i;
    while (cnt < 10)
    {
        scanf("%d", &i);
        if ((i >= 0) && (i < 100))
        {
            arr1[cnt] = i;
            cnt++;
        }
    }
    for (i = 0; i < 10; i++)
    {
        arr2[i] = (arr1[i] / 10) + ((arr1[i] % 10) * 10);
        printf("%d-->%d\n", arr1[i], arr2[i]);
    }
}
```

סעיף א — הסבר השורות 4, 6, 9, 17

שורה 4: `int arr1[10], arr2[10];` — הגדרת שני מערכים בני עשרה איברים שלמים.

שורה 6: `while (cnt < 10)` — הלולאה נמשכת עד שנקלטו עשרה מספרים **תקינים**.

שורה 9: `if ((i >= 0) && (i < 100))` — מסננת: רק מספרים בטווח 0-99 מתקבלים ונשמרים; מספרים מחוץ לטווח מושמטים.

שורה 17: `arr2[i] = (arr1[i]/10) + ((arr1[i]%10)*10)` — מחליפה בין ספרת העשרות לספרת האחדות (היפוך המספר הדו-ספרתי).

סעיף ב — הפלט עבור רצף הקלט

רצף הקלט (משמאל לימין): 16, 21, 145, 45, 50, 1, 10, 0, 23, 256, 14, 73. המספרים 145 ו-256 נדחים (מחוץ לטווח 0-99), ולכן עשרת המספרים שנשמרים ב-`arr1` הם: 16, 21, 45, 50, 1, 10, 0, 23, 14, 73. לכל מספר מוחלפות הספרות:

```
16-->61
21-->12
45-->54
50-->5
1-->10
10-->1
0-->0
23-->32
14-->41
73-->37
```

סעיף ג — הצגת האיבר הגדול ביותר ב-arr2

מוסיפים בסוף התוכנית קטע-קוד המוצא את הערך המרבי במערך arr2:

```
int max = arr2[0];
for (i = 1; i < 10; i++)
    if (arr2[i] > max)
        max = arr2[i];
printf("max = %d\n", max);      /* -> 61 */
```

61 האיבר הגדול ביותר ב-arr2 הוא

שאלה 11 (Arduino) — בקרת נורית RGB לפי שלושה מפסקים

חומרה: SW_0, SW_1, SW_2 בהדקים 2,3,4 · נוריות RED, GREEN, BLUE ב- PB_1, PB_2, PB_3 (הדקים 9,10,11)

💡 **מצב המפסקים:** כל מפסק מחובר אל 5V עם נגד-מטה, ולכן מפסק **סגור** → **HIGH**, מפסק **פתוח** → **LOW**. אם SW_0 פתוח — שלוש הנוריות כבויות; אם SW_0 סגור — הצבע נקבע לפי SW_1 ו- SW_2 (לפי טבלת המצבים).

התוכנית בשפת C (Arduino)

```

#define SW0 2
#define SW1 3
#define SW2 4
#define RED 9
#define GREEN 10
#define BLUE 11

void setup()
{
    pinMode(SW0, INPUT); pinMode(SW1, INPUT); pinMode(SW2, INPUT);
    pinMode(RED, OUTPUT); pinMode(GREEN, OUTPUT); pinMode(BLUE, OUTPUT);
}

void loop()
{
    int s0 = digitalRead(SW0);
    int s1 = digitalRead(SW1);
    int s2 = digitalRead(SW2);

    /* default - all LEDs off */
    digitalWrite(RED, LOW);
    digitalWrite(GREEN, LOW);
    digitalWrite(BLUE, LOW);

    if (s0 == HIGH)                /* SW0 closed */
    {
        if (s1 == LOW && s2 == LOW) digitalWrite(RED, HIGH);
        else if (s1 == LOW && s2 == HIGH) digitalWrite(GREEN, HIGH);
        else if (s1 == HIGH && s2 == LOW) digitalWrite(BLUE, HIGH);
        else /* s1 == HIGH && s2 == HIGH */
        {
            digitalWrite(RED, HIGH);
            digitalWrite(GREEN, HIGH);
            digitalWrite(BLUE, HIGH);
        }
    }
}

```

SW1	SW2	נוריות שנדלקות
open (LOW)	open (LOW)	RED
open (LOW)	closed (HIGH)	GREEN
closed (HIGH)	open (LOW)	BLUE
closed (HIGH)	closed (HIGH)	RED, GREEN, BLUE

שאלה 12 (Arduino) — חיישן אור LDR וממיר A/D

חומרה: LDR מ-5V, נגד 20 kΩ אל האדמה, הצומת A₀ · נורית LED ב-PB₁ (הדק 9) · ממיר A/D בעל 10 סיביות

סעיף א — המתח בהדק A₀ בהארה 6 lux

מהגרף, בהארה של 6 lux ההתנגדות של ה-LDR היא $R_{LDR} = 20\text{ k}\Omega$. המתח בהדק A₀ נקבע ממחלק המתח בין ה-LDR לנגד 20kΩ:

$$V_{A_0} = 5 \cdot \frac{R}{R_{LDR} + R} = 5 \cdot \frac{20k}{20k + 20k} = 2.5\text{ V}$$

$$V_{A_0} = 2.5\text{ V}$$

ככל שההארה גדלה, R_{LDR} קטנה ולכן V_{A_0} עולה. סף ההארה 6 lux מתאים ל-2.5V, כלומר לקריאת ממיר $\text{analogRead} \approx 2.5/5 \times 1023 \approx 511$. הארה גדולה מ-6 lux → קריאה גדולה מ-511. 💡

סעיף ב — התוכנית בשפת C (Arduino)

```
#define analogPin A0
#define ledPin 9
int val;

void setup()
{
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

void loop()
{
    val = analogRead(analogPin);    /* 1 - read the analog voltage at A0 (0..1023) */

    if (val > 511)                   /* V(A0) > 2.5V <=> illumination > 6 lux */
        digitalWrite(ledPin, HIGH); /* 2 - LED on */
    else
        digitalWrite(ledPin, LOW);  /* LED off (illumination <= 6 lux) */
}
```

הנורית נדלקת כאשר ההארה גדולה מ-6 lux (המתח בהדק A_0 עולה מעל 2.5V, כלומר הקריאה עולה מעל 511), ונכבית כאשר ההארה שווה ל-6 lux או קטנה ממנו.

שאלה 13 (Arduino) — הזזת נורית דולקת לפי תווים מהמקלדת

חומרה: PB_0-PB_5 (הדקים 8-13) המחוברים לשש נוריות LED דרך נגדי $220\ \Omega$

קטע הקוד הנתון

```
byte c, out;
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    DDRB = 0x3F;
    out = 1;
    PORTB = out;
}
void loop()
{
    if (Serial.available() > 0)
    {
        c = Serial.read();
        if (c == '+') out = out << 1;
        if (out == 0x20) out = 1;
        PORTB = out;
    }
}
```

סעיף א — הסבר השורות 4, 5, 11, 15

שורה 4: `Serial.begin(9600)` — אתחול תקשורת טורית בקצב 9600 סיביות לשנייה.

שורה 5: `DDRB = 0x3F` — הגדרת ההדקים PB_0-PB_5 (הביטים 0-5, $0x3F = 00111111$) כמוצאים.

שורה 11: `if (Serial.available() > 0)` — בדיקה אם התקבל תו כלשהו בכניסה הטורית.

שורה 15: `if (out == 0x20) out = 1` — כאשר הביט הדולק מגיע ל- $0x20$ (PB_5), מאפסים חזרה ל- PB_0 ($0x01$) עוד לפני ההוצאה ל-`PORTB`.

סעיף ב — טבלת המעקב אחר המשתנה OUT

הנורית הדולקת	OUT	"+" לחיצות על
LED0	0x01	לפני התחלת הלחיצות
LED1	0x02	אחרי הלחיצה הראשונה
LED2	0x04	אחרי הלחיצה השנייה
LED3	0x08	אחרי הלחיצה השלישית
LED4	0x10	אחרי הלחיצה הרביעית
LED0	0x01	אחרי הלחיצה החמישית
LED1	0x02	אחרי הלחיצה השישית

סעיף ג — האם ניתן להדליק את LED5

לא. ברגע ש-out מגיע לערך 0x20 (הביט של LED5), שורה 15 מאפסת אותו ל-0x01 עוד לפני ההוצאה ל-PORTB, ולכן LED5 **לעולם אינו נדלק**. כדי שגם LED5 יידלק, יש לשנות את סף האיפוס בשורה 15 ל-0x40:

```
if (out == 0x40) out = 1; /* now 0x20 (LED5) is displayed before wrapping */
```

כך הערך 0x20 מוצא אל PORTB (LED5 נדלק), ורק ההזזה הבאה (0x40, שאין לו נורית) מאפסת חזרה ל-0x01.

שאלה 14 (Arduino) — יצירת אות PWM לפי פוטנציומטר

חומרה: פוטנציומטר בהדק A₀ · מוצא "out" ב-PB₅ (הדק 13) · ממיר A/D בעל 10 סיביות

קטע הקוד הנתון

```
#define analogPin A0
#define outPin 13
int analogValue;
void setup()
{
    pinMode(outPin, OUTPUT);
}
void loop()
{
    analogValue = analogRead(analogPin) / 100;
    digitalWrite(outPin, HIGH);
    delay(analogValue);
    digitalWrite(outPin, LOW);
    delay(10 - analogValue);
}
```

סעיף א — הסבר השורות 2, 6, 10, 12

שורה 2: `#define outPin 13` — הגדרת קבוע בשם `outPin` המייצג את הדק 13.

שורה 6: `pinMode(outPin, OUTPUT)` — הגדרת הדק 13 כמוצא.

שורה 10: `analogValue = analogRead(analogPin) / 100` — קריאת המתח האנלוגי ב-A₀ (ערך 0–1023) וחלוקתו ב-100 (חלוקה שלמה) לקבלת ערך שלם 0–10.

שורה 12: `delay(analogValue)` — השהיית המוצב במצב HIGH למשך `analogValue` אלפיות-שנייה.

סעיף ב — תחום הערכים של `analogValue`

הפעולה `analogRead` מחזירה 0–1023; חלוקה שלמה ב-100 נותנת $1023/100 = 10$ לכל היותר:

0 – 10 `analogValue` מקבל ערכים שלמים בתחום

סעיף ג — צורת הגל בהדק 13

התוכנית יוצרת אות PWM בזמן מחזור קבוע של 10ms, שבו משך ה-HIGH הוא `analogValue` ומשך ה-LOW הוא `(analogValue - 10)`. לכל מתח בהדק A₀:

- 1) $V_{A0}=1.25V \rightarrow \text{analogRead} \approx 255 \rightarrow /100 = 2 \rightarrow \text{HIGH } 2\text{ms} , \text{LOW } 8\text{ms}$ (מחזור פעולה 20%)
- 2) $V_{A0}=2.5V \rightarrow \text{analogRead} \approx 511 \rightarrow /100 = 5 \rightarrow \text{HIGH } 5\text{ms} , \text{LOW } 5\text{ms}$ (מחזור פעולה 50%)
- 3) $V_{A0}=3.75V \rightarrow \text{analogRead} \approx 767 \rightarrow /100 = 7 \rightarrow \text{HIGH } 7\text{ms} , \text{LOW } 3\text{ms}$ (מחזור פעולה 70%)

2ms • 5ms • 7ms בכל המקרים זמן המחזור 10ms; יחס ה-HIGH: