

הצעה לפתרון מלא — אלקטרוניקה ומחשבים

בגרות · קיץ תשפ"א 2021 · שאלון 815381 · שאלות 1–8

✦ בנוי על ידי פהד גאנם ✦

על המסמך: הצעה לפתרון מלא לשאלון 815381 — אלקטרוניקה ומחשבים, קיץ תשפ"א 2021. בשאלון שמונה שאלות בשלושה פרקים, ועל הנבחן לענות על חמש שאלות — אחת לפחות מכל פרק. פרק ראשון (1–2) יסודות תורת החשמל; פרק שני (3–5) אלקטרוניקה תקבילית וספרתית; פרק שלישי (6–8) תכנות בשפת #C. בשאלון זה אין פרק Python נפרד. כאן פתורות כל השאלות, לנוחות הלימוד. 💡

שאלה 1 — רשת נגדים עם מקור מתח יחיד

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

מבנה המעגל: מהמקור E יוצא הזרם דרך R_1 אל הצומת העליון A . מ- A מתפצל המעגל לשני ענפים מקבילים המגיעים לצומת התחתון B : הענף האמצעי R_2 , והענף הימני R_3 בטור עם R_4 . מ- B חוזר הזרם דרך R_5 אל המקור. לכן מקביל לטור R_3+R_4 , והצירוף כולו בטור עם R_1 ו- R_5 .

סעיף א — הזרם דרך R_4

הזרם הנתון I_2 זורם דרך R_2 , וממנו נחשב את המתח על הענף האמצעי. מתח זה שווה למתח על הענף המקביל R_3+R_4 , ומתוכו הזרם בו:

$$U_{AB} = I_2 \cdot R_2 = 2 \times 2 = 4 \text{ V}$$

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

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

סעיף ב — הזרם שמספק המקור E

זרם המקור הוא סכום הזרמים בשני הענפים המקבילים בין A ל- B :

$$I = I_2 + I(R_4) = 2 + 0.5 = 2.5 \text{ A}$$

$$I = 2.5 \text{ A}$$

סעיף ג — ההתנגדות השקולה של המעגל

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

$$R_{eq} = R_1 + 1.6 + R_5 = 2 + 1.6 + 6 = 9.6 \, \Omega$$

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

סעיף ד — מתח המקור E

$$E = I \cdot R_{eq} = 2.5 \times 9.6 = 24 \, V$$

$$E = 24 \, V$$

סעיף ה1 — ההספק על כל אחד מהנגדים

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

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

$$P(R_3) = 0.5^2 \times 4 = 1 \, W$$

$$P(R_4) = 0.5^2 \times 4 = 1 \, W$$

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

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

סעיף ה2 — סכום ההספקים שווה להספק המקור

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

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

$$\text{סכום ההספקים} = 60 \, W = P(E) \, \checkmark$$

שאלה 2 — מעגל RC טורי בזרם חילופין עם מפסק מקצר

נתונים: $U_{\max} = 16.97 \text{ V}$, $f = 10 \text{ kHz}$ · המפסק S מקביל לקבל C

מבנה המעגל: המקור U מזין נגד R בטור עם קבל C. המפסק S מחובר במקביל לקבל: כשהוא סגור הוא מקצר את C ובמעגל נשאר רק R; כשהוא פתוח פועל מעגל RC טורי מלא.

סעיף א — המתח היעיל של המקור

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{16.97}{1.414} = 12 \text{ V}$$

$$U_{\text{eff}} = 12 \text{ V}$$

סעיף ב — התנגדות הנגד R (המפסק סגור)

כשהמפסק S סגור הקבל מקוצר, ובמעגל פועל הנגד R בלבד עם הזרם $I_{\text{eff}} = 0.5 \text{ A}$:

$$R = \frac{U_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{12}{0.5} = 24 \text{ } \Omega$$

$$R = 24 \text{ } \Omega$$

סעיף ג — העכבה הכללית Z והיגב הקבל X_C (המפסק פתוח)

כשהמפסק פתוח פועל המעגל הטורי המלא, והזרם יורד ל- $I_{\text{eff}} = 480 \text{ mA}$. נחשב את העכבה, ומתוך $Z^2 = R^2 + X_C^2$ את היגב הקבל:

$$Z = \frac{U_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{12}{0.48} = 25 \text{ } \Omega$$

$$X_C = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{25^2 - 24^2} = \sqrt{49} = 7 \text{ } \Omega$$

$$Z = 25 \, \Omega ; X_C = 7 \, \Omega$$

סעיף ד — קיבולו של הקבל C

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi \times 10000 \times 7}$$

$$C \approx 2.27 \, \mu\text{F}$$

שאלה 3 — מגבר טרנזיסטור במוצא משותף (CE) עם קו עומס

נתונים: $V_{BE} = 0.7V$, $h_{ie} = 4\text{ k}\Omega$, $\beta = h_{fe} = 100$, $V_{CC} = 12V$, $R_L = 6\text{ k}\Omega$

קריאת קו העומס: בגרף המאפיינים קו העומס חותך את ציר הזרם ב- $I_C = 4\text{ mA}$ (כאשר $V_{CE} = 0$) ואת ציר המתח ב- $V_{CE} = 12V$ (כאשר $I_C = 0$). מכאן נגזרים R_C ונקודת העבודה.

סעיף א — התנגדות הנגד R_C

בנקודת החיתוך של קו העומס עם ציר הזרם מתקיים $V_{CE} = 0$, ולכן כל מתח האספקה נופל על R_C :

$$R_C = \frac{V_{CC}}{I_{C(sat)}} = \frac{12}{4 \times 10^{-3}} = 3\text{ k}\Omega$$

$$R_C = 3\text{ k}\Omega$$

סעיף ב — הנגד R_B עבור $V_{CE} = 9V$

מקו העומס, עבור $V_{CE} = 9V$ זרם הקולקטור הוא $I_C = (V_{CC} - V_{CE}) / R_C = (12 - 9) / 3000 = 1\text{ mA}$ (הנקודה שעל עקום $I_B = 10\text{ }\mu A$). מלולאת הבסיס:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1\text{ mA}}{100} = 10\text{ }\mu A$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{12 - 0.7}{10 \times 10^{-6}} = 1.13\text{ M}\Omega$$

$$R_B = 1.13\text{ M}\Omega$$

סעיף ג — דגם החילופין הזעיר של המעגל

בזרם חילופין הקבלים C_1 ו- C_2 מהווים קצר, ומקור המתח V_{CC} מוארק. לכן: מתח המבוא V_i מגיע דרך C_1 אל הבסיס; המעבר בסיס-אמיטר מיוצג בהתנגדות $h_{ie} = 4 \text{ k}\Omega$ בין הבסיס לאמיטר (המוארק); במוצא פועל מקור זרם תלוי $\beta \cdot i_b$ בקולקטור; העומס בקולקטור הוא $R_C \parallel R_L$; והנגד R_B מחובר בין הבסיס לאדמת החילופין. אין נגד אמיטר, ולכן האמיטר מוארק ישירות.

סעיף ד — הגבר המתח A_v

$$R_C \parallel R_L = \frac{3000 \times 6000}{3000 + 6000} = 2000 \text{ }\Omega$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{\beta (R_C \parallel R_L)}{h_{ie}} = - \frac{100 \times 2000}{4000}$$

$$A_v = -50 \text{ (מהפך, } |A_v| = 50)$$

שאלה 4 — שני מגברי שרת: עוקב מתח ומגבר הפרש

נתונים: $\pm 15V$ · $R_1 = 1k\Omega$ · $R_2 = 2k\Omega$ · $R_3 = 2k\Omega$ · $R_4 = 1k\Omega$

מבנה המעגל: המגבר A_1 מחובר כעוקב מתח — כניסתו החיובית ל- V_1 וכניסתו השלילית מחוברת ישירות למוצא, ולכן $V_1 = X$. המגבר A_2 הוא מגבר הפרש: הכניסה השלילית שלו (צומת Y) מוזנת מ-X דרך R_1 עם נגד משוב R_2 , והכניסה החיובית מוזנת מ- V_2 דרך מחלק המתח R_4 - R_3 .

סעיף א — תפקידו של המגבר A_1

מאחר שהמוצא של A_1 מוזן חזרה ישירות אל הכניסה השלילית, ההגבר שלו הוא 1, והוא משמש **מגבר מפריד (עוקב מתח)**. תפקידו לבדוד את מקור V_1 מעומס המעגל שאחריו — הוא מעביר את V_1 לצומת X ללא נפילת מתח וללא משיכת זרם ממקור V_1 :

$$V_X = V_1 = 1 \text{ V}$$

$$V_X = V_1 ; \text{ עוקב מתח (מפריד), הגבר } A_1 = 1$$

סעיף ב1 — המתח בצומת X ומתח המוצא V_o

נתון $V_1 = 1V$, $V_2 = 6V$. הכניסה החיובית של A_2 מקבלת ממחלק המתח R_4 - R_3 :

$$V_X = V_1 = 1 \text{ V}$$

$$V_+ = V_2 \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_4} = 6 \times \frac{2}{2 + 1} = 4 \text{ V}$$

$$V_o = V_+ \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - V_X \cdot \frac{R_2}{R_1} = 4 \times 3 - 1 \times 2 = 10 \text{ V}$$

$$V_X = 1 \text{ V} ; V_o = 10 \text{ V}$$

סעיף ב2 — הזרם דרך R_1 וכיוונו

כניסות של A_2 אין הפרש מתח (קצר וירטואלי), ולכן $V_+ = V_- = 4V$. הזרם דרך R_1 :

$$I(R_1) = \frac{V_X - V_Y}{R_1} = \frac{1 - 4}{1000} = -3 \text{ mA}$$

הסימן השלילי מציין שהזרם זורם מהצומת Y (4V) אל הצומת X (1V), בגודל 3mA.

$$I(R_1) = 3 \text{ mA (מ-Y ל-X)}$$

שאלה 5 — מסנן מעביר-גבוהים (HP) בתגובה לאות דמוי-מדרגה

נתונים: $C = 0.1 \mu\text{F}$ (בטור) $R = 10 \text{ k}\Omega$ (המוצא V_o על R) · אות מבוא רב-מפלסי

סעיף א — סוג המסנן

הקבל מחובר בטור בין המבוא למוצא, והמוצא נמדד על הנגד המוארק. במבנה זה תדרים נמוכים (רכיב ה-DC) נחסמים על-ידי הקבל ורק שינויים מהירים עוברים — זהו **מסנן מעביר-גבוהים (HP)**, המתפקד כמעגל גזירה (CR).

מסנן מעביר-גבוהים (HP) — מעגל גזירה CR

סעיף ב — צורת אות המוצא $V_o(t)$

קבוע הזמן: $\tau = R \cdot C = 10000 \times 0.1 \times 10^{-6} = 1 \text{ ms}$. במסנן HP המוצא "קופץ" בכל מדרגת מבוא בגובה שווה לקפיצת המבוא, ואז דועך מעריכית לעבר 0 עם קבוע הזמן τ . אות המבוא: 0V עד $t=1\text{ms}$, קפיצה ל-10V בקטע $t=1\text{ms}$ – 2ms , ואז ל-8V– $t=2\text{ms}$ והלאה.

$$t = 1 \text{ ms} : \Delta V_{in} = +10\text{V} \rightarrow V_o \text{ קופץ ל-} +10\text{V}, \text{ דועך: } V_o(t) = 10 \cdot e^{-(t-1\text{ms})/\tau}$$

$$V_o(2\text{ms}) = 10 \cdot e^{-1} = 3.68 \text{ V}$$

$$t = 2 \text{ ms} : \Delta V_{in} = -8 - 10 = -18\text{V} \rightarrow V_o \text{ קופץ ל-} -14.32\text{V} = 18 - 3.68$$

$$0 \text{ ואז דועך לעבר } : V_o(t) = -14.32 \cdot e^{-(t-2\text{ms})/\tau}$$

בסרטוט: פולס חיובי חד המתחיל ב-10V ב- $t=1\text{ms}$ ודועך ל-3.68V עד $t=2\text{ms}$; לאחריו קפיצה שלילית חדה ל-14.32V– $t=2\text{ms}$ הדועכת לעבר 0.

סעיף ג — מתח המוצא ב- $t = 3 \text{ ms}$

$t=3\text{ms}$ הוא 1ms (קבוע זמן אחד) לאחר הקפיצה השלילית שב- $t=2\text{ms}$:

$$V_o(3\text{ms}) = -14.32 \cdot e^{-1\text{ms}/\tau} = -14.32 \times 0.368 = -5.27 \text{ V}$$

$$V_o(3\text{ms}) \approx -5.27 \text{ V}$$

סעיף ד — הזמן t שבו $V_o = -8\text{V}$

מדובר בקטע הדעיכה שלאחר $t=2\text{ms}$ (המתח עולה מ- -14.32V לעבר 0):

$$-14.32 \cdot e^{-(t-2\text{ms})/\tau} = -8 \rightarrow t - 2\text{ms} = -\tau \cdot \ln\left(\frac{8}{14.32}\right) = 0.582 \text{ ms}$$

$$t = 2 + 0.582 = 2.58 \text{ ms}$$

$$t \approx 2.58 \text{ ms}$$

שאלה 6 (#C) — המחלקה ArithmeticSeries (סדרה חשבונית)

המחלקה: $a1$ = איבר ראשון $\cdot d$ = הפרש הסדרה $\cdot An(n)$ מחזירה את האיבר ה- n : $a1 + (n-1) \cdot d$

סעיף א — הפלט של קטע הקוד

seq1 נוצר עם $d=2$, $a1=3$. הלולאה מדפיסה את שלושת האיברים הראשונים וסוכמת אותם, ואז נוצר seq2 עם $a1$ השווה לסכום ו- d זהה:

```
seq1 = (a1=3, d=2)
An(1)=3+0·2=3 · An(2)=3+1·2=5 · An(3)=3+2·2=7
sum3 = 3+5+7 = 15
seq2 = (a1=15, d=2) → An(2) = 15 + 1·2 = 17
```

```
3
5
7
sum3=15
17
```

סעיף ב — ערכי התכונות של seq1 ו- seq2 בסיום

הלולאה אינה משנה את תכונות seq1, ו- seq2 נוצר מ- sum3 ומ- d של seq1:

```
seq1: a1 = 3 , d = 2
seq2: a1 = 15 , d = 2
```

סעיף ג — קטע קוד: איברים 7 עד 100 של סדרה ($a1=10$, $d=5$)

```
ArithmeticSeries seq = new ArithmeticSeries(10, 5);
for (int i = 7; i <= 100; i++)
    Console.WriteLine(seq.An(i));
```

סעיף ד — האם ניתן לשנות את d לאחר יצירת העצם?

 **התשובה: לא ניתן.** התכונה d מוגדרת private, ובמחלקה קיימת רק פעולת קריאה (GetD()) — אין פעולת קביעה (setter) עבור d. בניגוד ל-a1, שעבורו קיימת הפעולה SetA1, אין דרך לשנות את ערך d מבחוץ. כדי לאפשר זאת יש להוסיף למחלקה פעולה:

```
public void SetD(int d)    // תוספת נדרשת למחלקה
{
    this.d = d;
}
```

שאלה 7 (#C) — ספירת סיביות דלוקות במספר

הקוד: קולט מספר שלם בין 0 ל-255 וסופר במעבר על 8 סיביות

סעיף א — טבלת מעקב ופלט עבור הקלט 25

בכל סיבוב מוסיפים ל-count את הסיבית הימנית ביותר ($\text{num} \& 1$) ואז מזיזים את num סיבית ימינה ($\text{num} \gg 1$). עבור $25_{10} = 11001_2$:

i	num (start)	num & 1	count
0	25	1	1
1	12	0	1
2	6	0	1
3	3	1	2
4	1	1	3
5	0	0	3
6	0	0	3
7	0	0	3

```
result = 3
```

סעיף ב — מה מבצע קטע הקוד

הקוד **סופר כמה סיביות דלוקות (בעלות ערך 1)** יש בייצוג הבינארי של המספר הנקלט — כלומר מספר האחדות בבסיס 2. עבור $25_{10} (11001_2)$ התוצאה 3.

סעיף ג — התאמת התוכנית לטווח 0 עד 1023

המספר 1023 מיוצג ב-10 סיביות ($1023_{10} = 1111111111_2$), ולכן יש להגדיל את מספר הסיבובים מ-8 ל-10. משנים **שורה אחת בלבד** — תנאי הלולאה בשורה 4:

```
for (int i = 0; i < 10; i++) // שורה 4: 8 הופצף ב-10
```

שאלה 8 (#C) — מכונה אוטומטית למכירת סוללות

נתונים: מחיר סוללה 2.5 ₪ · כל לקוח קונה 1–10 סוללות · המכירה נעצרת כשנותרות פחות מ-10 סוללות

אלגוריתם: קולטים את כמות הסוללות ההתחלתית. כל עוד יש במכונה לפחות 10 סוללות — קולטים מלקוח את הכמות המבוקשת, מציגים לו את המחיר לתשלום (כמות $\times 2.5$), מפחיתים מהמלאי, וסופרים את הלקוח ואת התקבול. בסיום מציגים את מספר הלקוחות ואת סך התקבול. לפי ההערה — מניחים שהקלט תקין.

התוכנית הראשית

```
const double PRICE = 2.5;           // מחיר סוללה בש"ח

Console.WriteLine("Enter number of batteries in the machine:");
int batteries = int.Parse(Console.ReadLine());

int customers = 0;                   // מונה לקוחות
double total = 0;                    // סך התקבול

while (batteries >= 10)               // כל עוד נותרו לפחות 10 סוללות
{
    Console.WriteLine("Enter quantity (1-10):");
    int qty = int.Parse(Console.ReadLine());

    double toPay = qty * PRICE;
    Console.WriteLine("Please pay: " + toPay + " shekels");

    batteries = batteries - qty;       // עדכון המלאי
    customers = customers + 1;         // ספירת הלקוח
    total = total + toPay;             // צבירת התקבול
}

Console.WriteLine("Total customers: " + customers);
Console.WriteLine("Total sum: " + total + " shekels");
```

דוגמה: מלאי התחלתי 25 סוללות; לקוח א' קונה 10 (משלם 25 ₪, נותרו 15), לקוח ב' קונה 10 (משלם 25 ₪, נותרו 5). כעת $10 < 5$ והלולאה נעצרת. הפלט: 2 לקוחות, סך תקבול 50 ₪.

```
Total customers: 2
Total sum: 50 shekels
```