

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) תורת החשמל; פרק שני (3–5) אלקטרוניקה תקבילית וספרתית; פרק שלישי (6–8) תכנות בשפת #C. במועד זה כל שאלות התכנות בשפת #C (אין פרק Python). כאן פתורות כל השאלות, לנוחות הלימוד. 💡

שאלה 1 — נגד בודד במקביל לענף טורי

נתונים: $E = 30V$ · $R_1 = 6\text{ k}\Omega$ · $R_3 = 4.8\text{ k}\Omega$ · $U(R_2) = 12.6V$ · $I(R_2) = 3\text{ mA}$

מבנה המעגל: המקור E מזין שני ענפים מקבילים — הנגד R_1 לבדו, ומולו ענף טורי של R_2 – R_3 – R_4 . שני הענפים מחוברים ישירות אל הדקי המקור, ולכן המתח על כל אחד מהם הוא $30V$. בענף הטורי הזרם משותף לשלושת הנגדים ושווה לזרם הנתון דרך R_2 — 3 mA .

סעיף א — המתח על R_3

בענף טורי הזרם זהה בכל הרכיבים, ולכן הזרם דרך R_3 שווה לזרם דרך R_2 :

$$U(R_3) = I \cdot R_3 = 0.003 \times 4800$$

$$U(R_3) = 14.4\text{ V}$$

סעיף ב — המתח על R_4

מתח המקור מתחלק בין שלושת הנגדים הטוריים, וסכום המתחים עליהם שווה ל- $30V$:

$$U(R_4) = E - U(R_2) - U(R_3) = 30 - 12.6 - 14.4$$

$$U(R_4) = 3\text{ V}$$

סעיף ג — ההתנגדות השקולה R_T

תחילה נמצא את ערכי R_2 ו- R_4 מחוק אוהם, ואת ההתנגדות הכוללת של הענף הטורי:

$$R_2 = \frac{U(R_2)}{I} = \frac{12.6}{0.003} = 4.2 \text{ k}\Omega ; R_4 = \frac{3}{0.003} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_{\text{eq}} = R_2 + R_3 + R_4 = 4.2 + 4.8 + 1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_{\text{eq}}}{R_1 + R_{\text{eq}}} = \frac{6 \times 10}{6 + 10}$$

$$R_T = 3.75 \text{ k}\Omega$$

סעיף ד — ההספק המתפתח בנגד R_1

הנגד R_1 מחובר ישירות אל הדקי המקור, ולכן המתח עליו הוא 30V. ההספק שלו:

$$P(R_1) = \frac{E^2}{R_1} = \frac{30^2}{6000} = \frac{900}{6000}$$

$$P(R_1) = 0.15 \text{ W} = 150 \text{ mW}$$

שאלה 2 — מעגל RC טורי בזרם חילופין

נתונים: $R = 80 \, \Omega$ · $X_C = 150 \, \Omega$ · $u(t) = 17\sqrt{2} \cdot \sin(8\pi \cdot 10^3 t)$ [V]

סעיף א — זמן המחזור של מתח המקור

מתוך ביטוי המתח נזהה את התדר הזוויתי $\omega = 8\pi \cdot 10^3$, וממנו את התדר וזמן המחזור:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{8\pi \cdot 10^3}{2\pi} = 4000 \, \text{Hz} = 4 \, \text{kHz}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{4000}$$

$$T = 250 \, \mu\text{s} = 0.25 \, \text{ms}$$

סעיף ב — קיבול הקבל C

מהיגב הקבל הנתון נחלץ את הקיבול:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi \times 4000 \times 150}$$

$$C \approx 265 \, \text{nF} \, (0.265 \, \mu\text{F})$$

סעיף ג — עכבת המעגל Z

בחיבור טורי של נגד וקבל העכבה היא הסכום הווקטורי של ההתנגדות וההיגב:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{80^2 + 150^2} = \sqrt{28900}$$

$$Z = 170 \, \Omega$$

סעיף ד — המתח היעיל על הנגד R

משרעת המקור היא $17\sqrt{2}$, ולכן מתחו היעיל הוא $U = 17\text{ V}$. נחשב את הזרם היעיל ומתוכו את המתח על הנגד:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{17}{170} = 0.1\text{ A} = 100\text{ mA}$$

$$U_R = I \cdot R = 0.1 \times 80 = 8\text{ V}$$

בדיקה: $\checkmark U = 17\text{ V} = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} = \sqrt{8^2 + 15^2} = 17\text{ V}$ (כאשר $U_C = I \cdot X_C = 15\text{ V}$)

$$U_R = 8\text{ V}$$

שאלה 3 — מגבר טרנזיסטור במוצא משותף (CE)

נתונים: $V_{CE}=6V$ · $I_C=2mA$ · $I_b=40\mu A$ · נקודת עבודה מהגרף: $V_{BE}=0.7V$ · $h_{ie}=1k\Omega$ · $R_L=2k\Omega$

קריאת הגרף: נקודת העבודה מסומנת ב- $I_C=2mA$, $V_{CE}=6V$ על העקום $I_b=40\mu A$. קו העבודה (DC) חותך את ציר ה- V_{CE} ב-10V ואת ציר ה- I_C ב-5mA. האמיטר מוארק ישירות (אין נגד אמיטר R_E).

סעיף א — מקדם ההגברה β

מקדם ההגברה הוא היחס בין זרם הקולקטור לזרם הבסיס בנקודת העבודה:

$$\beta = \frac{I_C}{I_b} = \frac{2 \text{ mA}}{40 \mu A}$$

$$\beta = 50$$

סעיף ב — מתח האספקה V_{CC} וההתנגדות R_C

קו העבודה מקיים $V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$. חיתוך הקו עם ציר ה- V_{CE} (כאשר $I_C=0$) נותן את V_{CC} , וחיתוכו עם ציר ה- I_C (כאשר $V_{CE}=0$) נותן את R_C :

$V_{CC} = 10 \text{ V}$ (V_{CE} -פיתול ציר ה-)

$$R_C = \frac{V_{CC}}{I_{C(sat)}} = \frac{10}{5 \text{ mA}}$$

$$V_{CC} = 10 \text{ V} ; R_C = 2 \text{ k}\Omega$$

סעיף ג — ההתנגדות R_B

מולואת הבסיס: $V_{CC} = I_b \cdot R_B + V_{BE}$, ומכאן:

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_b} = \frac{10 - 0.7}{40 \mu A} = \frac{9.3}{40 \times 10^{-6}}$$

$$R_B = 232.5 \text{ k}\Omega$$

סעיף ד — דגם החילופין והגבר המתח A_V

בזרם חילופין כל הקבלים מהווים קצר: מתח המבוא מגיע לבסיס, המעבר בסיס-אמיטר מיוצג ב- $h_{ie} = 1 \text{ k}\Omega$, במוצא פועל מקור זרם תלוי $i_b \cdot \beta$, והעומס הוא $R_C \parallel R_L$ (האמיטר מוארק). הגבר המתח:

$$R_C \parallel R_L = \frac{2000 \times 2000}{2000 + 2000} = 1000 \Omega$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{\beta (R_C \parallel R_L)}{h_{ie}} = - \frac{50 \times 1000}{1000}$$

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

שאלה 4 — שלושה מגברי שרת: שני מגברים ומשווה

נתונים: $V_1=1V$, $V_2=2V$, $A_1: R_1=1k\Omega, R_2=1k\Omega$, $A_2: R_3=1k\Omega, R_4=2k\Omega$, $A_3: R_5=1k\Omega, R_6=2k\Omega, R_7=2k\Omega, R_8=4k\Omega$, $\pm 12V$ אספקה

מבנה המעגל: A_1 הוא מגבר לא-מהפך (V_1 בכניסה החיובית, R_1 אל האדמה ו- R_2 במשוב). A_2 הוא מגבר מהפך (V_2 דרך R_3 אל הכניסה השלילית, R_4 במשוב, הכניסה החיובית מוארקת). A_3 הוא מגבר עם משווא: R_7 כניסתו השלילית היא צומת B (דרך R_5 מ- V_{o2}), וכניסתו החיובית ניזונה ממחלק המתח R_6 - R_8 המחובר ל- V_{o1} .

סעיף א — מתחי המוצא V_{o1} ו- V_{o2}

A_1 במבנה לא-מהפך, ו- A_2 במבנה מהפך:

$$V_{o1} = V_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = 1 \times \left(1 + \frac{1}{1} \right) = 2 \text{ V}$$

$$V_{o2} = - V_2 \cdot \frac{R_4}{R_3} = - 2 \times \frac{2}{1} = -4 \text{ V}$$

$$V_{o1} = +2 \text{ V} ; V_{o2} = -4 \text{ V}$$

סעיף ב — הזרם דרך R_5 וכיוונו

הכניסה החיובית של A_3 נקבעת ממחלק המתח R_6 - R_8 (אין זרם לכניסת המגבר). בשל המשוב השלילי, מתח הכניסה השלילית (צומת B) שווה למתח החיובית:

$$V_+ = V_B = V_{o1} \cdot \frac{R_8}{R_6 + R_8} = 2 \times \frac{4}{2 + 4} = 1.333 \text{ V}$$

$$I(R_5) = \frac{V_{o2} - V_B}{R_5} = \frac{-4 - 1.333}{1000} = -5.33 \text{ mA}$$

הסימן השלילי מציין שכיוון הזרם הוא **מצומת B אל צומת A** (מ-B ל-A), בגודל 5.33mA.

$$I(R_5) \approx 5.33 \text{ mA (בכיוון מ-B ל-A)}$$

סעיף ג — מתח המוצא V_o

נכתוב את חוק הזרמים בצומת B (הכניסה השלילית), עם $V_B = 1.333V$:

$$\frac{V_{o2} - V_B}{R_5} + \frac{V_o - V_B}{R_7} = 0$$

$$\frac{-4 - 1.333}{1} + \frac{V_o - 1.333}{2} = 0 \rightarrow V_o - 1.333 = 10.667$$

$$V_o = +12 \text{ V (המוצא נצמד למתח האספקה החיובי)}$$

סעיף ד — ניתוק הנגד R_7

ניתוק R_7 מבטל את המשוב, ו- A_3 הופך למשווה (Comparator). ללא R_7 אין זרם דרך R_5 , ולכן $V_B = V_{o2} = -4V$. בעוד הכניסה החיובית נשארת $1.333V$. מאחר ש- $V_- = -4 > V_+ = 1.333$, המוצא נצמד למתח האספקה החיובי:

$$V_o = +12 \text{ V}$$

שאלה 5 — מסנן RC מעביר-נמוכים עם מבוא פולס

נתונים: $R = 4 \text{ k}\Omega$ · $C = 2 \text{ }\mu\text{F}$ · מבוא: פולס 5V בקטע 0-10ms, ואחריו 0V

מבנה המעגל: הנגד R בטור והקבל C אל האדמה — רשת מעבירת-נמוכים (משלב). מתח המוצא V_o נמדד על הקבל. בזמן הפולס הקבל נטען לכיוון 5V, ולאחר סיום הפולס ($t=10\text{ms}$) המבוא מתאפס והקבל נפרק לכיוון 0V.

סעיף א — סרטוט מתח המוצא $V_o(t)$

קבוע הזמן של הרשת:

$$\tau = R \cdot C = 4000 \times 2 \times 10^{-6} = 8 \text{ ms}$$

בקטע $0 < t < 10\text{ms}$ עולה מעריכית מ-0 לכיוון 5V לפי $V_o = 5(1 - e^{-t/\tau})$; ברגע $t=10\text{ms}$ הוא מגיע לשיאו ($\approx 3.57\text{V}$). מ- $t=10\text{ms}$ ואילך המבוא 0, והקבל נפרק מעריכית מ-3.57V לכיוון 0 לפי $V_o = 3.57 \cdot e^{-(t-10\text{ms})/\tau}$.

סעיף ב — הערך המרבי של V_o

הערך המרבי מתקבל בסוף הפולס, ב- $t=10\text{ms}$:

$$V_{o(\max)} = 5(1 - e^{-10/8}) = 5(1 - e^{-1.25}) = 5 \times 0.7135$$

$$V_{o(\max)} \approx 3.57 \text{ V}$$

סעיף ג — מתח המוצא ב- $t = 15 \text{ ms}$

ב- $t=15\text{ms}$ הקבל כבר נפרק במשך 5ms מהערך 3.57V:

$$V_o(15\text{ms}) = 3.57 \cdot e^{-(15-10)/8} = 3.57 \cdot e^{-0.625} = 3.57 \times 0.5353$$

$$V_o(15\text{ms}) \approx 1.91 \text{ V}$$

סעיף ד — הכפלת הנגד R

אם R גדל פי שניים, קבוע הזמן מוכפל ל- $\tau=16\text{ms}$, והטעינה איטית יותר. לכן בתום אותו פולס (10ms) הקבל מספיק להיטען פחות:

$$V_o(\text{max})' = 5(1 - e^{-10/16}) = 5(1 - e^{-0.625}) = 5 \times 0.4647 \approx 2.32 \text{ V}$$

מאחר ש- $2.32\text{V} < 3.57\text{V}$, הערך המרבי של מתח המוצא **יקטן**.

($2.32\text{V} \approx$ ל- 3.57V מ- 3.57V) הערך המרבי יקטן

שאלה 6 (C#) — ספירת שכיחויות במערך מונים

התוכנית: קולטת מספרים ומונה במערך `arr[10]` כמה פעמים נקלט כל ערך 0-9

המערך `arr` מאוחל לאפסים. כל עוד המספר הנקלט בטווח $0 \leq \text{num} < 10$, מתבצע `arr[num]++` — ספירה של הופעת הערך `num`. הקליטה נעצרת כשנקלט מספר מחוץ לטווח. בסוף מודפסת כל תא ומספר ההופעות שלו.

סעיף א — הפלט עבור הקלט הנתון

הקלט (משמאל לימין): 10 0 4 3 2 8 4 3 2 4 3 2. נספור את ההופעות עד שנקלט 10 (מחוץ לטווח — עוצר):

0 → 1 2 → 3 3 → 3 4 → 3 8 → 2
(שאר הערכים 1,5,6,7,9 לא נקלטו – 0 הופעות)
המספר 10 עוצר את הלולאה ($10 > 10$ שקר) ואינו נספר

```
0--1
1--0
2--3
3--3
4--3
5--0
6--0
7--0
8--2
9--0
```

סעיף ב — שינוי התנאי ל-`num < 8`

כעת הלולאה נעצרת ברגע שנקלט מספר גדול-או-שווה ל-8. עם אותו קלט, כשנקלט המספר הראשון 8 (הופעה שביעית) הלולאה נעצרת מיד — ולכן נספרים רק ששת המספרים שלפניו: 2 3 4 2 3 4.

```
0--0
1--0
2--2
3--2
4--2
5--0
6--0
7--0
8--0
9--0
```

הסבר: הערכים 0, 4, 3, 2, 8, 8 שאחרי המספר 8 הראשון אינם נקלטים כלל, כי המספר 8 (הגדול מ-7) עוצר את הלולאה עוד לפני עדכון המערך.

סעיף ג — הוספת מונה לכמות המספרים שנקלטו

מוסיפים משתנה מונה `count`, מגדילים אותו בכל סיבוב של הלולאה, ומדפיסים אותו לאחר קליטת המספר האחרון:

```
int count = 0; // מונה חדש
Console.WriteLine("Enter Number:");
num = int.Parse(Console.ReadLine());
while (num >= 0 && num < 10)
{
    arr[num] = arr[num] + 1;
    count++; // ספירת מספר שנקלט
    Console.WriteLine("Enter Number:");
    num = int.Parse(Console.ReadLine());
}
Console.WriteLine("Total numbers: " + count);
```

שאלה 7 (#C) — המחלקה Time

המחלקה: Time עם התכונות Hour ו-Minute · הפעולה DoSomething מוסיפה דקות ומגרמלת לשעות ולדקות

סעיף א — הפלט של קטע הקוד

```
Time t1 = new Time(12, 59);           // תקין → Hour=12, Minute=59
Console.WriteLine(t1.print());         // "12:59"
t1.DoSomething(90);                   //  $t = 12 \cdot 60 + 59 + 90 = 869$ 
                                       //  $\text{Hour} = 869 / 60 = 14$  ;  $\text{Minute} = 869 \% 60 = 29$ 
Console.WriteLine(t1.print());         // "14:29"
```

```
12:59
14:29
```

סעיף ב — הוספת השורות עם Time(17,70)

הערך 70 אינו חוקי ($60 \leq 70$), ולכן הבנאי מפעיל את ה-else ומאתחל את השעה ל-0:0. הוספת 90 דקות נותנת:

```
Time t2 = new Time(17, 70);           // לא תקין → Hour=0, Minute=0
t2.DoSomething(90);                   //  $t = 0 \cdot 60 + 0 + 90 = 90$ 
                                       //  $\text{Hour} = 90 / 60 = 1$  ;  $\text{Minute} = 90 \% 60 = 30$ 
Console.WriteLine(t2.print());         // "1:30"
```

```
1:30
```

סעיף ג — שינוי הפעולה ל-minute - והרצת סעיף א

כעת DoSomething מחסירה דקות: $\text{minute} = \text{Hour} \cdot 60 + \text{Minute} - \text{minute}$. נריץ שוב את קטע הקוד מסעיף א:

```
Time t1 = new Time(12, 59);           // Hour=12, Minute=59
Console.WriteLine(t1.print());         // "12:59"
t1.DoSomething(90);                   //  $t = 12 \cdot 60 + 59 - 90 = 689$ 
                                       //  $\text{Hour} = 689 / 60 = 11$  ;  $\text{Minute} = 689 \% 60 = 29$ 
Console.WriteLine(t1.print());         // "11:29"
```

12:59

11:29

שאלה 8 (#C) — אחוז תוצאות חיוביות בבדיקות קורונה

המשימה: קליטת מספר הבדיקות ומספר התוצאות החיוביות מכל יישוב, עד שנקלט מספר שלילי, והצגת אחוז התוצאות החיוביות מכלל הבדיקות בישראל ביום אחד

התוכנית צוברת את סך הבדיקות ואת סך התוצאות החיוביות. מספר היישובים אינו ידוע מראש — הקליטה נמשכת כל עוד הנתונים תקינים, ונעצרת כאשר נקלט מספר שלילי (בדוגמה: בדיקות 0 ותוצאות -1). בסיום מחושב האחוז מתוך כלל הבדיקות.

התוכנית

```
int totalTests = 0;
int totalPositive = 0;

Console.Write("Tests: ");
int tests = int.Parse(Console.ReadLine());
Console.Write("Positive: ");
int positive = int.Parse(Console.ReadLine());

while (tests >= 0 && positive >= 0)
{
    totalTests = totalTests + tests;
    totalPositive = totalPositive + positive;

    Console.Write("Tests: ");
    tests = int.Parse(Console.ReadLine());
    Console.Write("Positive: ");
    positive = int.Parse(Console.ReadLine());
}

if (totalTests > 0)
{
    double percent = (double)totalPositive / totalTests * 100;
    Console.WriteLine("Positive percentage: " + percent + "%");
}
else
    Console.WriteLine("No tests were performed.");
```

הרצה על הדוגמה שבשאלון

קלט: (100,10), (500,15), (300,15), (100,10), ולסיום (-1,0). סך הבדיקות $1000 = 100 + 500 + 300 + 100$, סך התוצאות החיוביות $50 = 10 + 15 + 15 + 10$:

$$\text{TPR} = \frac{50}{1000} \times 100 = 5\%$$

Positive percentage: 5%