

הצעה לפתרון מלא – חשמל ואלקטרוניקה לטכנאים

בחינת גמר • אביב תשפ"ו 2026 • שאלון 733001 • שאלות 1-10

✦ בנוי על ידי פהד גאנם ✦

על המסמך: הצעה לפתרון מלא לשאלון 733001 – חשמל ואלקטרוניקה לטכנאים, מגמת הנדסת חשמל, בקרה ואנרגייה (כיתה י"ג), אביב תשפ"ו 2026. בשאלון שלושה פרקים ובהם עשר שאלות, והנבחן עונה על חמש בלבד: לפחות אחת מן הפרק הראשון, לפחות אחת מן הפרק השני ואחת בלבד מן הפרק השלישי. נוסח השאלות הוא של משרד החינוך; הפתרונות נכתבו במלואם ואומתו נומרית על ידי פהד גאנם.

פהד גאנם
fahed-lab.com

פרק ראשון – תורת החשמל • שאלות 1-4

שאלה 1 – זרמי חוגים: מקור זרם ושלושה מקורות מתח

נתונים: $R_1 = 10 \Omega$ • $R_2 = 4 \Omega$ • $R_3 = 12 \Omega$ • $R_4 = 3 \Omega$ • $R_5 = 5 \Omega$ • $I = 2 \text{ A}$ • $E_2 = 16 \text{ V}$ • $E_3 = 30 \text{ V}$ • $E_4 = 12 \text{ V}$

קריאת המעגל: שלושת החוגים מסומנים באיור בכיוון השעון. מקור הזרם יושב בענף השמאלי לבדו, ולכן הוא קובע את זרם החוג הראשון ואין צורך לכתוב עבורו משוואה: $I_1 = 2 \text{ A}$. הנגד R_1 נמצא בטור עם מקור זרם אידאלי, ולכן אינו משפיע על אף אחד מן הזרמים.

סעיף א – הזרם דרך R_5

נכתוב משוואת מתחים לחוג השני ולחוג השלישי. הנגד R_2 משותף לחוג הראשון ולשני, והנגד R_5 משותף לשני ולשלישי – ובשניהם החוגים עוברים בכיוונים מנוגדים, ולכן האיבר המשותף נכנס בסימן שלילי:

$$-I_1 \cdot R_2 + I_2 \cdot (R_2 + R_3 + R_5) - I_3 \cdot R_5 = -E_3 - E_2$$

$$-I_2 \cdot R_5 + I_3 \cdot (R_4 + R_5) = -E_4$$

נציב את הנתונים. שימו לב לאיבר הראשון: הוא נושא את $R_2 = 4 \Omega$ – הנגד המשותף לחוג הראשון ולשני – ולא את R_1 :

$$-2 \cdot 4 + I_2 \cdot (4 + 12 + 5) - I_3 \cdot 5 = -30 - 16$$

$$21 \cdot I_2 - 5 \cdot I_3 = -46 + 8 = -38$$

$$-5 \cdot I_2 + 8 \cdot I_3 = -12$$

נחלץ את I_2 מן המשוואה השנייה ונציב בראשונה:

$$I_2 = \frac{8 \cdot I_3 + 12}{5}$$

$$21 \cdot \frac{8 \cdot I_3 + 12}{5} - 5 \cdot I_3 = -38$$

$$168 \cdot I_3 + 252 - 25 \cdot I_3 = -190 \rightarrow 143 \cdot I_3 = -442$$

$$I_2 = -2.55 \text{ A} ; I_3 = -3.09 \text{ A}$$

הסימן השלילי בשני הזרמים מלמד ששניהם זורמים בפועל בכיוון ההפוך לזה שסומן באיור. הנגד R_5 משותף לשני החוגים, ולכן הזרם דרכו הוא הפרש זרמי החוגים:

$$I(R_5) = I_2 - I_3 = -2.55 - (-3.09) = 0.55 \text{ A}$$

$$I(R_5) = 0.55 \text{ A} - \text{מ-B ל-C}$$

אימות עצמאי בשיטת מתחי הצמתים: אם נקבע $V_C = 0$, מתקבל $V_A = 2.18 \text{ V}$ ו- $V_B = 2.73 \text{ V}$. הנקודה B גבוהה מ-C, ולכן הזרם ב- R_5 אכן זורם מ-B ל-C, וגודלו הוא המתח 2.73 V מחולק בהתנגדות 5Ω – כלומר 0.55 A ✓

סעיף ב – המתח U_{AB}

נלך מ-A ל-B דרך הענף הימני, הכולל את R_3 ואת המקור E_3 . הזרם בענף זה הוא I_2 :

$$U_{AB} = I_2 \cdot R_3 + E_3 = (-2.55) \times 12 + 30 = -30.55 + 30$$

$$U_{AB} = -0.55 \text{ V} \text{ (הנקודה B גבוהה מ-A)}$$

נוודא דרך המסלול השני, מ-A דרך R_2 ו- E_2 אל C ומשם דרך R_5 אל B:

$$U_{AC} = (I_1 - I_2) \cdot R_2 - E_2 = (2 + 2.55) \times 4 - 16 = 2.18 \text{ V}$$

$$U_{CB} = -0.55 \times 5 = -2.73 \text{ V}$$

$$U_{AB} = 2.18 - 2.73 = -0.55 \text{ V} \quad \checkmark$$

סעיף ג – ההספק המתפתח על R_4

הנגד R_4 נמצא בחוג השלישי בלבד, ולכן הזרם דרכו הוא I_3 במלואו:

$$P(R_4) = I_3^2 \cdot R_4 = 3.09^2 \times 3 = 9.55 \times 3$$

$$P(R_4) = 28.7 \text{ W}$$

פרד גאנם · fahed-lab.com

שאלה 2 – מעגל מגנטי עם שני סלילים

$$\mu_r = 700 \cdot N(AB) = 500 \cdot N(CD) = 800 \cdot \ell = 0.5 \text{ m} \cdot A = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot I(AB) = 2 \text{ A}$$

נתונים:

סעיף א – כיוון הזרם בסליל AB

השטף באיור מסומן בכיוון אחד סביב הליבה. לפי כלל יד ימין – כאשר האצבעות מתעקלות בכיוון הזרם בליפופים, האגודל מצביע בכיוון השטף בתוך הליבה – הזרם המייצר את השטף המסומן זורם בסליל **A-ל-B**.

הזרם בסליל AB זורם מ-A ל-B

סעיף ב – השטף המגנטי Φ

נחשב תחילה את ההתנגדות המגנטית של המסלול. היא תלויה באורך המסלול, בשטח החתך ובחדירות החומר:

$$R_m = \frac{\ell}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A} = \frac{0.5}{4\pi \cdot 10^{-7} \times 700 \times 1 \cdot 10^{-4}}$$

$$R_m = 5.684 \cdot 10^6 \text{ A/Wb}$$

הכוח המניע המגנטי שמייצר הסליל AB הוא מכפלת מספר הכריכות בזרם, והשטף הוא היחס בינו לבין ההתנגדות המגנטית:

$$F_m = N(AB) \cdot I(AB) = 500 \times 2 = 1000 \text{ At}$$

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m} = \frac{1000}{5.684 \cdot 10^6} = 1.76 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\Phi = 0.176 \text{ mWb}$$

סעיף ג – הזרם בסליל CD לאיפוס השטף

כדי שהשטף בליבה יתאפס, על הכוח המניע המגנטי של הסליל CD להיות שווה בגודלו ומנוגד בכיוונו לזה של הסליל AB:

$$N(AB) \cdot I(AB) = N(CD) \cdot I(CD)$$

$$500 \times 2 = 800 \times I(CD)$$

$$I(CD) = 1.25 \text{ A} - \text{D-ל-C-מ}$$

מדוע דווקא מ-D-ל-C: שני הסלילים יושבים על שוקיים נגדיות של הליבה. לפי צורת הליפוף באיור, זרם הזרם מ-D-ל-C מייצר שטף המקיף את הליבה בכיוון ההפוך לזה שמייצר הזרם מ-A-ל-B – ולכן שני הכוחות המגנטיים מבטלים זה את זה. הגודל A 1.25 נובע ישירות מיחס הכריכות: פי 1.6 יותר כריכות מחייבות פי 1.6 פחות זרם.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – השטף כפונקציה של זרם הסליל. 

שאלה 3 – המרת מקורות, מעגל תמורה והספק מרבי

נתונים: $E_1 = 20 \text{ V}$ • $R_1 = 5 \Omega$ • $E_2 = 40 \text{ V}$ • $R_2 = 20 \Omega$ • $R_3 = 12 \Omega$

קריאת הקוטביות – כאן נופלים: באיור שני המקורות מצוירים באותו כיוון בדיוק, והקוטב החיובי של שניהם פונה כלפי מעלה אל הנקודה A. לכן שני מקורות הזרם השקולים פועלים **באותו כיוון** וזרמיהם מתחברים. חיסור במקום חיבור כאן משנה את כל תוצאות השאלה.

סעיף א1 – המרה למקורות זרם ומעגל התמורה

מקור מתח בטור עם נגד שקול למקור זרם במקביל לאותו נגד. עוצמת מקור הזרם היא מתח המקור חלקי הנגד:

$$I_{S1} = \frac{E_1}{R_1} = \frac{20}{5} = 4 \text{ A}$$

$$I_{S2} = \frac{E_2}{R_2} = \frac{40}{20} = 2 \text{ A}$$

מעגל התמורה: שני מקורות הזרם מזרימים באותו כיוון, ושלושת הנגדים R_1 , R_2 ו- R_3 מחוברים כולם במקביל בין A ל-B.

סעיף א2 – המתח U_{AB} וקוטביותו

$$I_T = I_{S1} + I_{S2} = 4 + 2 = 6 \text{ A}$$

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{5} + \frac{1}{20} + \frac{1}{12}} = \frac{1}{0.3333} = 3 \Omega$$

$$U_{AB} = I_T \cdot R_T = 6 \times 3$$

הנקודה A חיובית ביחס ל-B – $U_{AB} = 18 \text{ V}$

סעיף ב – ההספק על העומס R_L

נחזור למקור מתח שקול: מקור של 18 V בטור עם 3Ω . העומס מתחבר בין A ל-B, ולכן הוא בטור עם ההתנגדות הפנימית:

1. עומס של 9 Ω:

$$I(R_{L1}) = \frac{U_{AB}}{R_T + R_{L1}} = \frac{18}{3 + 9} = 1.5 \text{ A}$$

$$P(R_{L1}) = I^2 \cdot R_{L1} = 1.5^2 \times 9$$

$$P(R_{L1}) = 20.25 \text{ W}$$

2. עומס של 15 Ω:

$$I(R_{L2}) = \frac{18}{3 + 15} = 1 \text{ A}$$

$$P(R_{L2}) = 1^2 \times 15$$

$$P(R_{L2}) = 15 \text{ W}$$

סעיף ג – ההתנגדות להספק מרבי

ההספק על העומס מרבי כאשר התנגדותו שווה להתנגדות הפנימית של המקור השקול – זהו תנאי התאמת העכבות:

$$R_L = R_T = 3 \Omega$$

$$I = \frac{18}{3 + 3} = 3 \text{ A}$$

$$P_{\max} = 3^2 \times 3 = 27 \text{ W}$$

אפשר להגיע לאותה תוצאה גם ישירות מן הנוסחה של ההספק המרבי:

$$P_{\max} = \frac{U_{AB}^2}{4 \cdot R_T} = \frac{18^2}{4 \times 3} = \frac{324}{12} = 27 \text{ W} \checkmark$$

$$R_L = 3 \Omega ; P_{\max} = 27 \text{ W}$$

פרד גאנם · fahed-lab.com

שאלה 4 – מעגל זרם חילופין טורי-מקבילי

נתונים: $R_1 = 1.5 \, \Omega \cdot X(C_1) = 5 \, \Omega \cdot X(L_1) = 10 \, \Omega \cdot R_2 = 3 \, \Omega \cdot X(L_2) = 10 \, \Omega \cdot X(C_2) = 6 \, \Omega \cdot U(MN) = 20 \angle 30^\circ \, V$

סעיף א – העכבה השקולה ואופי המעגל

הענף הימני הוא טורי, ובו נגד, סליל וקבל:

$$Z_2 = R_2 + jX(L_2) - jX(C_2) = 3 + j10 - j6 = 3 + j4 = 5 \angle 53.13^\circ \, \Omega$$

ענף זה מקביל לסליל $X(L_1)$, ואת המקבילית מחברים בטור אל R_1 ואל $X(C_1)$:

$$Z_2 \parallel Z_3 = \frac{5 \angle 53.13^\circ \times 10 \angle 90^\circ}{3 + j4 + j10} = \frac{50 \angle 143.13^\circ}{14.32 \angle 77.91^\circ} = 3.49 \angle 65.22^\circ$$

$$Z_2 \parallel Z_3 = 1.46 + j3.17 \, \Omega$$

$$Z_{AB} = R_1 - jX(C_1) + (Z_2 \parallel Z_3) = 1.5 + 1.46 + j(3.17 - 5) = 2.96 - j1.83$$

$$Z_{AB} = 3.48 \angle -31.7^\circ \, \Omega \text{ – אופי המעגל קיבולי}$$

זווית העכבה שלילית, כלומר הזרם מקדים את המתח – וזהו סימן ההיכר של מעגל בעל אופי קיבולי.

סעיף ב – פאזור הזרם I_2

המתח על הענף הימני הוא בדיוק המתח בין M ל-N, שהוא נתון:

$$I_2 = \frac{U(MN)}{Z_2} = \frac{20 \angle 30^\circ}{5 \angle 53.13^\circ}$$

$$I_2 = 4 \angle -23.13^\circ \, A$$

סעיף ג – פאזור מתח המקור

אותו מתח מופיע גם על הסליל $X(L_1)$, ולכן נקבל את הזרם השלישי:

$$I_3 = \frac{U(MN)}{jX(L_1)} = \frac{20\angle 30^\circ}{10\angle 90^\circ} = 2\angle -60^\circ \text{ A}$$

זרם המקור הוא סכום שני הזרמים. נחבר אותם בהצגה מלבבית:

$$I_1 = I_2 + I_3 = (3.68 - j1.57) + (1 - j1.73) = 4.68 - j3.30$$

$$I_1 = 5.73\angle -35.2^\circ \text{ A}$$

$$U = I_1 \cdot Z_{AB} = 5.73\angle -35.2^\circ \times 3.48\angle -31.7^\circ$$

$$U = 19.9\angle -66.9^\circ \text{ V}$$

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – שלושת הזרמים והעכבה השקולה. 

פרק שני – אלקטרוניקה א' ומערכות ספרתיות • שאלות 5-8

שאלה 5 – שני מגברי שרת אידאליים

נתונים: $R(L) = 3 \text{ k}\Omega$ • $R_6 = 10 \text{ k}\Omega$ • $R_5 = 6 \text{ k}\Omega$ • $R_4 = 4 \text{ k}\Omega$ • $R_3 = 2 \text{ k}\Omega$ • $R_2 = 3 \text{ k}\Omega$ • $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$ • מקור 3 V • הזנה $V \pm 10$

שני כללי היסוד: במגבר שרת אידאלי עם משוב שלילי אין זרם הנכנס אל הכניסות, ומתחי שתי הכניסות שווים זה לזה (קצר מדומה). כל הפתרון נשען על שני הכללים האלה בלבד.

סעיף א – המתח בנקודה C

הנגדים R_3 ו- R_4 מהווים מחלק מתח על המקור של 3V, ואין זרם הנכנס אל כניסת המגבר:

$$V_C = 3 \times \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 3 \times \frac{4 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^3}$$

$$V_C = 2 \text{ V}$$

סעיף ב – הזרם דרך R_1 וכיוונו

הנקודה C מחוברת לכניסה החיובית של המגבר הראשון, ולכן לפי הקצר המדומה גם הכניסה השלילית, הנקודה B, נמצאת באותו מתח. הנקודה A מוארקת:

$$V_B = V_C = 2 \text{ V}$$

$$I(R_1) = \frac{V_B - 0}{R_1} = \frac{2}{2 \cdot 10^3}$$

$$I(R_1) = 1 \text{ mA} \text{ — } A \text{ — } B$$

הזרם זורם מן הנקודה שמתחה גבוה יותר אל הנקודה המוארקת, כלומר מ-B ל-A.

סעיף ג – המתח $V(o1)$

המגבר הראשון בנוי כמגבר לא-הופך: האות נכנס לכניסה החיובית, והמשוב מגיע דרך R_2 :

$$V_{o1} = V_C \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 2 \times \left(1 + \frac{3 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^3}\right) = 2 \times 2.5$$

$$V_{o1} = 5 \text{ V}$$

סעיף ד – הזרם וההספק על העומס

המגבר השני הוא מגבר הופך, אך כניסתו החיובית אינה מוארכת אלא מחוברת אף היא לנקודה C. לכן הכניסה השלילית שלו נמצאת ב-2 V, וזהו המתח שממנו נמדדים המפלים על R_5 ועל R_6 :

$$I(R_5) = \frac{V_{o1} - V_C}{R_5} = \frac{5 - 2}{6 \cdot 10^3} = 0.5 \text{ mA}$$

$$V_o = V_C - I(R_5) \cdot R_6 = 2 - 0.5 \cdot 10^{-3} \times 10 \cdot 10^3 = 2 - 5$$

$$V_o = -3 \text{ V}$$

כל הזרם שנכנס דרך R_5 ממשיך דרך R_6 אל מוצא המגבר, שכן אין זרם הנכנס אל הכניסה עצמה. כעת אפשר לחשב את העומס:

$$I(R_L) = \frac{V_o}{R_L} = \frac{-3}{3 \cdot 10^3} = -1 \text{ mA}$$

$$P(R_L) = \frac{V_o^2}{R_L} = \frac{(-3)^2}{3 \cdot 10^3} = \frac{9}{3 \cdot 10^3}$$

$$I(R_L) = 1 \text{ mA (מן האדמה אל המוצא)} ; P(R_L) = 3 \text{ mW}$$

בדיקת שפיות: מתח ההזנה הוא $\pm 10\text{V}$, ושני המוצאים – 5 V ו- -3 V – נמצאים בתחום. אילו היה מתקבל מוצא גדול מן ההזנה, סימן שהמגבר נכנס לרוויה והחישוב הליניארי אינו תקף.

פהד גאנם · fahed-lab.com

שאלה 6 – רשת RC בכניסת אות ריבועי

נתונים: $0 \leq t \leq 4 \text{ msec}$ בתחום 8 V אות הכניסה: $t = 0$ בזמן $V(C) = 0$ • $R = 2 \text{ k}\Omega$ • $C = 4 \text{ }\mu\text{F}$ ואפס אחריו

אופי הרשת: הקבל בטור והמוצא נלקח על הנגד – זוהי רשת מעבירת גבוהים (רשת גזירה). מתח הקבל אינו יכול להשתנות בקפיצה, ולכן **כל קפיצה במתח הכניסה עוברת במלואה אל המוצא**, ומשם המוצא דועך מעריכית לעבר האפס.

סעיף א – צורת אות המוצא

נחשב תחילה את קבוע הזמן:

$$\tau = R \cdot C = 2 \cdot 10^3 \times 4 \cdot 10^{-6} = 8 \text{ msec}$$

כעת נעקוב אחרי שלושת השלבים. בזמן אפס קופצת הכניסה ל-8V, וכל הקפיצה מופיעה על הנגד:

$$V_o(t) = V_o(0) \cdot e^{-t/\tau} = 8 \cdot e^{-t/8\text{ms}}$$

$$V_o(4 \text{ msec}) = 8 \cdot e^{-0.5} = 4.85 \text{ V}$$

בזמן 4 מילישניות יורדת הכניסה מן 8 V לאפס – קפיצה של 8 V כלפי מטה. גם היא עוברת במלואה אל המוצא, ולכן המוצא צונח מן 4.85 V אל:

$$V_o(4 \text{ msec}^+) = 4.85 - 8 = -3.15 \text{ V}$$

ומשם הוא דועך מעריכית חזרה לאפס. אות המוצא הוא אפוא שני קטעים מעריכיים: הראשון יורד מן 8 V אל 4.85 V, והשני עולה מן -3.15 V לעבר האפס.

$$V_o(0) = 8 \text{ V} \rightarrow V_o(4 \text{ msec}) = 4.85 \text{ V} \rightarrow V_o(4 \text{ msec}^+) = -3.15 \text{ V} \rightarrow 0$$

סעיף ב – מתח המוצא בשני זמנים

1. בזמן 2 מילישניות – עדיין בקטע הדועך הראשון:

$$V_o(2 \text{ msec}) = 8 \cdot e^{-2/8} = 8 \cdot e^{-0.25} = 8 \times 0.7788$$

$$V_o(2 \text{ msec}) = 6.23 \text{ V}$$

2. בזמן 6 מילישניות – שתי מילישניות אחרי הקפיצה, בקטע השני:

$$V_o(6 \text{ msec}) = -3.15 \cdot e^{-2/8} = -3.15 \times 0.7788$$

$$V_o(6 \text{ msec}) = -2.45 \text{ V}$$

סעיף ג – הזמן שבו המוצא הוא 5 V

מתח של 5V מתקבל רק בקטע הראשון, בדרך מ-8V כלפי מטה:

$$5 = 8 \cdot e^{-t/8\text{ms}} \rightarrow \frac{5}{8} = e^{-t/8\text{ms}}$$

$$t = 8 \cdot \ln\left(\frac{8}{5}\right) = 8 \times 0.47$$

$$t = 3.76 \text{ msec}$$

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – הקפיצה במוצא ברגע שהדופק נגמר. 🧪

שאלה 7 – מגבר טרנזיסטורי בפולט משותף

נתונים: $V_{CC} = 15\text{ V}$ • $V_{CE} = 6\text{ V}$ • $V_{BE} = 0.7\text{ V}$ • $I_B = 25\text{ }\mu\text{A}$ • $\beta = h_{fe} = 80$ • $h_{ie} = 2\text{ k}\Omega$ • $R_E = 1.5\text{ k}\Omega$ • $R_L = 3\text{ k}\Omega$

סעיף א – הנגד R_B

בקיטוב מחשבים בזרם ישר, ולכן הקבלים מהווים נתק. נכתוב משוואת מתחים ללולאת הבסיס: מן המקור, דרך R_B , מעבר הבסיס-פולט, ונגד הפולט אל האדמה. שימו לב שדרך נגד הפולט זורם זרם הבסיס ולא זרם הבסיס:

$$I_E = (1 + \beta) \cdot I_B = 81 \times 25 \cdot 10^{-6} = 2.025\text{ mA}$$

$$V_E = I_E \cdot R_E = 2.025 \cdot 10^{-3} \times 1.5 \cdot 10^3 = 3.04\text{ V}$$

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

$$R_B = \frac{15 - 0.7 - 3.04}{25 \cdot 10^{-6}} = \frac{11.26}{25 \cdot 10^{-6}}$$

$$R_B = 450.5\text{ k}\Omega$$

סעיף ב – הנגד R_C

זרם הקולט נובע ישירות מזרם הבסיס:

$$I_C = \beta \cdot I_B = 80 \times 25 \cdot 10^{-6} = 2\text{ mA}$$

כעת נכתוב משוואת מתחים ללולאת המוצא – מן המקור, דרך R_C , דרך הטרנזיסטור מקולט לפולט, ודרך R_E אל האדמה:

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} + V_E$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_E}{I_C} = \frac{15 - 6 - 3.04}{2 \cdot 10^{-3}} = \frac{5.96}{2 \cdot 10^{-3}}$$

$$R_C = 2.98 \text{ k}\Omega$$

⚠ המכשלה הנפוצה בסעיף הזה: אסור לחשב את נגד הקולט מן ההפרש $V_{CC} - V_{CE}$ בלבד. המתח V_{CE} נמדד בין הקולט לפולט, ואילו הפולט עצמו אינו מוארק אלא יושב במתח של 3.04 V מעל האדמה – ולכן חייבים להחסיר גם אותו. השמטתו מגדילה את הנגד בכ-50% ומקלקלת בעקבותיה גם את סעיף ד.

סעיף ג – מעגל התמורה לאות חילופין

בזרם חילופין הקבלים מהווים קצר: קבל המעקף מקצר את נגד הפולט אל האדמה, ומקור ההזנה נחשב אף הוא כאדמה. המעגל השקול כולל אפוא: מקור האות בכניסה, הנגד $R(B)$ במקביל להתנגדות הכניסה של הטרנזיסטור h_{ie} , מקור זרם מבוקר בעוצמת $h_{fe} \cdot i_b$ במוצא, והנגדים $R(C)$ ו- $R(L)$ במקביל זה לזה על המוצא.

בצד הכניסה נראות שתי ההתנגדויות במקביל, ובצד המוצא נראה מקור הזרם המבוקר מול המקבילית של נגד הקולט עם העומס:

$$R_B \parallel h_{ie} = 450.5 \text{ k}\Omega \parallel 2 \text{ k}\Omega \approx 1.99 \text{ k}\Omega$$

$$R_C \parallel R_L = 2.98 \text{ k}\Omega \parallel 3 \text{ k}\Omega = 1.49 \text{ k}\Omega$$

סעיף ד – הגבר המתח

מתח המוצא הוא זרם המקור המבוקר כפול העכבה שהוא רואה, ומתח הכניסה הוא זרם הבסיס כפול h_{ie} . הסימון השלילי מבטא את היפוך הפאזה האופייני לפולט משותף:

$$R_C \parallel R_L = \frac{2.98 \times 3}{2.98 + 3} = 1.49 \text{ k}\Omega$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-h_{fe} \cdot i_b \cdot (R_C \parallel R_L)}{i_b \cdot h_{ie}} = \frac{-80 \times 1.49 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^3}$$

$$A_V = -59.8$$

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – התכנון ההפוך – מנקודת העבודה אל הנגדים. 

שאלה 8 – מערכת שערים לוגיים

נתונים: שער NAND על X ו-Y • שער NOT על Z • שער OR המאחד ביניהם • שער AND על X ועל השלילה של Y • שער NOR סופי

סעיף א – ביטוי הפונקציה

נעקוב אחרי המערכת שער אחרי שער. שער ה-NAND נותן את השלילה של המכפלה $X \cdot Y$, שער ה-NOT נותן את השלילה של Z, ושניהם נכנסים לשער ה-OR. במקביל, שער ה-AND פועל על X ועל השלילה של Y. שני המוצאים נכנסים לשער NOR סופי, שמוצאו הוא שלילת הסכום שלהם:

$$F(X, Y, Z) = \overline{\overline{X \cdot Y} + \overline{Z} + X \cdot \overline{Y}}$$

סעיף ב – פישוט הפונקציה

לפי חוק דה-מורגן, שלילת הסכום היא מכפלת שלילותיהם של שלושת האיברים. שלילה כפולה מתבטלת, ולכן שני האיברים הראשונים חוזרים לעצמם: הראשון חוזר להיות המכפלה $X \cdot Y$ והשני חוזר להיות Z. האיבר השלישי אינו משולל מלכתחילה, ושלילתו נעשית שוב לפי דה-מורגן – מכפלה הופכת לסכום, וכל אחד ממרכיביה מתהפך:

$$\overline{X \cdot Y} = \overline{X} + \overline{Y}$$

$$F = X \cdot Y \cdot Z \cdot (\overline{X} + \overline{Y})$$

נפתח את הסוגריים. האיבר הראשון מכיל גם את X וגם את השלילה שלו ולכן הוא מתאפס, והאיבר השני נבלע לפי חוק הבליעה:

$$F = X \cdot Y \cdot Z \cdot \overline{X} + X \cdot Y \cdot Z \cdot \overline{Y} = 0 + X \cdot Y \cdot Z$$

$$F = X \cdot Y \cdot Z \text{ (3 ליטרלים – שער AND יחיד בעל שלוש כניסות)}$$

סעיף ג – טבלת האמת

הפונקציה המפושטת מקבלת אחד רק כאשר שלושת המשתנים הם אחד:

#	X	Y	Z	F
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	1	0	0	0
5	1	0	1	0
6	1	1	0	0
7	1	1	1	1

המסקנה: חמישה שערים שלמים מתכווצים לשער AND יחיד בעל שלוש כניסות. זו בדיוק הסיבה שמפשטים את הפונקציה לפני המימוש – פחות רכיבים, פחות השהיה ופחות מקומות שבהם המעגל עלול להיכשל.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – חמשת השערים מול שער AND יחיד.

פרק שלישי – אנגלית טכנית • שאלות 9-10

שאלות 9-10 – אנגלית טכנית

שתי השאלות האחרונות נשענות על קטעי קריאה באנגלית המצורפים לשאלון בנספחים א' ו-ב': שאלה 9 עוסקת באגירת אנרגייה, ושאלה 10 בבינה מלאכותית. בכל שאלה ארבעה סעיפים, והנבחן עונה על אחת מהן בלבד.

 **שלושה כללים שמזכים בניקוד המלא:** עונים **בעברית** ולא באנגלית; מסתמכים **רק על הכתוב בקטע** ולא על ידע כללי; ולכל סעיף מציינים את **מספרי השורות** בקטע שעליהן מבוססת התשובה – סעיף בלי מספרי שורות מאבד ניקוד גם אם תוכנו נכון.

מכיוון שהתשובות נגזרות ישירות מנוסח הקטעים המצורפים, אין כאן פתרון מספרי לצטט. עברו על הקטע, סמנו בו את השורות הרלוונטיות לכל סעיף, וכתבו תשובה קצרה ומדויקת המפנה אליהן.