

הצעה לפתרון מלא – חשמל ואלקטרוניקה לטכנאים

בחינת גמר • אביב תשפ"ד 2024 • 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"ד 2024. בשאלון עשר שאלות, והנבחן עונה על חמש בלבד. נוסח השאלות הוא של משרד החינוך; הפתרונות נכתבו במלואם ואומתו נומרית על ידי פהד גאנם.

פהד גאנם
faheed-lab.com

פרק ראשון – תורת החשמל • שאלות 1-4

שאלה 1 – שיטת ההרכבה: שני מקורות ושלושה ענפים

נתונים: $E_1 = 60 \text{ V}$ • $E_2 = 144 \text{ V}$ • $R_1 = 8 \Omega$ • $R_2 = 12 \Omega$ • $R_3 = 10 \Omega$ • $R_4 = 20 \Omega$ • $R_5 = 60 \Omega$

מבנה המעגל: שלושה ענפים נפגשים בצומת A ונסגרים בצומת B. הענף השמאלי מכיל את E_1 ואת R_1 ו- R_2 בטור (סך 20Ω), הענף האמצעי מכיל את R_3 ו- R_4 בטור (סך 30Ω), והענף הימני מכיל את E_2 ואת R_5 (סך 60Ω). קוטבם החיובי של שני המקורות פונה כלפי מעלה, ולכן שניהם דוחפים זרם אל הצומת A.

סעיף א – הזרמים בשיטת ההרכבה

בשיטת ההרכבה מפעילים מקור אחד בכל פעם ומקצרים את השני, ובסוף מחברים את התרומות עם הסימן המתאים. **שלב ראשון – רק E_1 פועל, המקור E_2 מקוצר.** הענף האמצעי והענף הימני נראים מן המקור כשני נגדים מקבילים:

$$R = 20 + (30 \parallel 60) = 20 + \frac{30 \times 60}{90} = 20 + 20 = 40 \Omega$$

$$I_1' = \frac{60}{40} = 1.5 \text{ A}$$

$$I_2' = 1.5 \times \frac{60}{30 + 60} = 1 \text{ A} ; I_3' = 1.5 \times \frac{30}{30 + 60} = 0.5 \text{ A}$$

שלב שני – רק E_2 פועל, המקור E_1 מקוצר:

$$R = 60 + (30 \parallel 20) = 60 + \frac{30 \times 20}{50} = 60 + 12 = 72 \Omega$$

$$I_3'' = \frac{144}{72} = 2 \text{ A}$$

$$I_1'' = 2 \times \frac{30}{30 + 20} = 1.2 \text{ A} ; I_2'' = 2 \times \frac{20}{30 + 20} = 0.8 \text{ A}$$

שלב שלישי – חיבור התרומות. נשמור על הכיוונים שסומנו באיור: הזרם I_1 נכנס אל A משמאל, הזרם I_3 נכנס אל A מימין, והזרם I_2 יורד מ-A ל-B. בשלב הראשון הזרם בענף הימני יוצא מ-A, ובשלב השני הזרם בענף השמאלי יוצא ממנו – ולכן שתי התרומות האלה נכנסות בסימן שלילי:

$$I_1 = 1.5 - 1.2 = 0.3 \text{ A}$$

$$I_2 = 1 + 0.8 = 1.8 \text{ A}$$

$$I_3 = -0.5 + 2 = 1.5 \text{ A}$$

$$I_1 = 0.3 \text{ A} ; I_2 = 1.8 \text{ A} ; I_3 = 1.5 \text{ A}$$

אימות בחוק הזרמים של קירכהוף: $1.8 = 1.5 + 0.3$ – שני הזרמים הנכנסים אל הצומת A שווים בדיוק לזרם היוצא ממנו ✓

סעיף ב – המתח בין A ל-B

הדרך הקצרה היא דרך הענף האמצעי, שכל כולו נגדים:

$$U_{AB} = I_2 \cdot (R_3 + R_4) = 1.8 \times 30$$

$$U_{AB} = 54 \text{ V}$$

אותו מתח חייב להתקבל גם דרך שני הענפים האחרים – וזו הבדיקה הטובה ביותר לשלושת הזרמים:

$$54 \text{ V} \checkmark = 0.3 \times 20 - 60 \text{ דרך הענף השמאלי:}$$

$$54 \text{ V} \checkmark = 1.5 \times 60 - 144 \text{ דרך הענף הימני:}$$

סעיף ג – ההספק המתפתח על R_5

$$P(R_5) = I_3^2 \cdot R_5 = 1.5^2 \times 60 = 2.25 \times 60$$

$$P(R_5) = 135 \text{ W}$$

פרד גאנם · fahed-lab.com

שאלה 2 – שתי עכבות בטור במקביל לשלישית

נתונים: $U = 150\angle 0^\circ \text{ V}$ • $Z_1 = 20 - j12 \Omega$ • $Z_2 = 40\angle 30^\circ \Omega$ • $Z_3 = 10 + j30 \Omega$

סעיף א – העכבה השקולה

העכבות Z_1 ו- Z_2 מחוברות בטור, ולכן נחבר אותן – אבל רק אחרי שנעביר את Z_2 להצגה מלבנית:

$$Z_2 = 40\angle 30^\circ = 40 \cdot \cos 30^\circ + j40 \cdot \sin 30^\circ = 34.64 + j20 \Omega$$

$$Z_{12} = Z_1 + Z_2 = (20 + 34.64) + j(-12 + 20) = 54.64 + j8 = 55.22\angle 8.33^\circ \Omega$$

הצירוף הזה מקביל ל- Z_3 :

$$Z_T = \frac{Z_{12} \cdot Z_3}{Z_{12} + Z_3} = \frac{55.22\angle 8.33^\circ \times 31.62\angle 71.57^\circ}{(54.64 + j8) + (10 + j30)}$$

$$Z_T = \frac{1746\angle 79.9^\circ}{64.64 + j38} = \frac{1746\angle 79.9^\circ}{74.98\angle 30.45^\circ}$$

$$Z_T = 23.29\angle 49.45^\circ \Omega = 15.14 + j17.69 \Omega$$

סעיף ב – פאזורי הזרמים

המתח על שני הענפים המקביליים זהה ושווה למתח המקור, ולכן כל זרם ענף מתקבל בחלוקה ישירה:

$$I_1 = \frac{U}{Z_{12}} = \frac{150\angle 0^\circ}{55.22\angle 8.33^\circ} = 2.72\angle -8.33^\circ \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_3} = \frac{150\angle 0^\circ}{31.62\angle 71.57^\circ} = 4.74\angle -71.57^\circ \text{ A}$$

$$I_T = \frac{U}{Z_T} = \frac{150\angle 0^\circ}{23.29\angle 49.45^\circ} = 6.44\angle -49.44^\circ \text{ A}$$

$$I_1 = 2.72\angle -8.33^\circ \text{ A} ; I_2 = 4.74\angle -71.57^\circ \text{ A} ; I_T = 6.44\angle -49.44^\circ \text{ A}$$

אימות: סכום שני זרמי הענפים חייב לתת את הזרם הכולל. נחבר אותם בהצגה מלבנית:

$$I_1 + I_2 = (2.69 - j0.39) + (1.5 - j4.5) = 4.19 - j4.89$$

$$|4.19 - j4.89| = 6.44 \text{ A } \angle -49.4^\circ \checkmark$$

סעיף ג – פאזור המתח על Z_2

דרך Z_2 זורם הזרם I_1 בלבד, שכן שתי העכבות בטור:

$$U(Z_2) = I_1 \cdot Z_2 = 2.72 \angle -8.33^\circ \times 40 \angle 30^\circ$$

$$U(Z_2) = 108.65 \angle 21.67^\circ \text{ V}$$

סעיף ד – ההספק הממשי בעכבה Z_3

הספק ממשי מתפתח על החלק הנגדי בלבד – החלק המדומה של העכבה אינו צורך אנרגייה אלא רק אוגר ומחזיר אותה:

$$P(Z_3) = I_2^2 \cdot \text{Re}(Z_3) = 4.74^2 \times 10 = 22.5 \times 10$$

$$P(Z_3) = 225 \text{ W}$$

אותה תוצאה מתקבלת גם מנוסחת ההספק הכללית, כשהזווית היא זו של העכבה עצמה:

$$P = U \cdot I_2 \cdot \cos \phi = 150 \times 4.74 \times \cos(71.57^\circ) = 225 \text{ W } \checkmark$$

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – שלושת הזרמים סביב מתח המקור. 🧪

שאלה 3 – מעגל מעורב בזרם חילופין, מן הזרם אל המקור

נתונים: $I_3 = 3\angle 50^\circ \text{ A}$ • $X(L_1) = 6 \Omega$ • $R_1 = 10 \Omega$ • $X(L_2) = 12 \Omega$ • $R_2 = 18 \Omega$ • $R_3 = 6 \Omega$ • $X(C) = 3 \Omega$

מבנה המעגל: מן הנקודה A יוצאים בטור הסליל $X(L_1)$ והנגד R_1 אל צומת ביניים. מן הצומת יורד ענף אחד ובו $X(L_2)$ ו- R_2 בטור (הזרם I_2), ויוצא ענף שני ובו R_3 ו- $X(C)$ בטור (הזרם I_3) – שני הענפים מקבילים זה לזה.

סעיף א – העכבה השקולה בין A ל-B

נחשב תחילה את שני הענפים המקביליים:

$$Z(I_3 \text{ ענף}) = R_3 - jX(C) = 6 - j3 = 6.71\angle -26.57^\circ \Omega$$

$$Z(I_2 \text{ ענף}) = R_2 + jX(L_2) = 18 + j12 = 21.63\angle 33.69^\circ \Omega$$

$$Z_p = \frac{(6 - j3) \cdot (18 + j12)}{(6 - j3) + (18 + j12)} = \frac{144 + j18}{24 + j9} = 5.51 - j1.32 \Omega$$

אל המקבילית מתחברים בטור הסליל והנגד שבכניסה:

$$Z_{AB} = R_1 + jX(L_1) + Z_p = (10 + 5.51) + j(6 - 1.32) = 15.51 + j4.68$$

$$Z_{AB} = 16.2\angle 16.8^\circ \Omega$$

סעיף ב – אופי המעגל

אופי המעגל השראותי

החלק המדומה של העכבה חיובי וזווית העכבה חיובית, כלומר הזרם הכולל מפגר אחרי מתח המקור. פיזיקלית: שני הסלילים גוברים על הקבל היחיד שבמעגל.

סעיף ג – הזרם I_1

הנתון היחיד הוא הזרם בענף הימני, ולכן נתחיל ממנו ונעלה אחורה. המתח על שני הענפים המקביליים משותף להם:

$$U(\text{על המקבילית}) = I_3 \cdot (6 - j3) = 3\angle 50^\circ \times 6.71\angle -26.57^\circ = 20.13\angle 23.43^\circ \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{20.13\angle 23.43^\circ}{21.63\angle 33.69^\circ} = 0.93\angle -10.26^\circ \text{ A}$$

$$I_1 = I_2 + I_3 = (0.92 - j0.17) + (1.93 + j2.30) = 2.84 + j2.13$$

$$I_1 = 3.55\angle 36.87^\circ \text{ A}$$

אימות בדרך השנייה – חלוקת המתח שעל המקבילית בעכבת המקבילית עצמה:

$$I_1 = \frac{20.13\angle 23.43^\circ}{5.66\angle -13.43^\circ} = 3.55\angle 36.86^\circ \checkmark$$

סעיף ד – גורם ההספק

גורם ההספק הוא הקוסינוס של זווית העכבה השקולה – אותה זווית שבין מתח המקור לזרם הכולל:

$$\cos \phi = \cos(16.8^\circ)$$

$$\cos \phi = 0.957 \text{ (מפגר – אופי השראות)}$$

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – מן הזרם הידוע אל שאר המעגל. 

שאלה 4 – עומס תלת-מופעי בחיבור משולש

נתונים: $U = 400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$ • בכל מופע • חיבור משולש, עומס מאוזן

הכלל שקובע את כל השאלה: בחיבור משולש כל עכבה מחוברת ישירות בין שני קווים, ולכן מתח המופע שווה למתח הקו – 400V. לעומת זאת זרם הקו גדול פי $\sqrt{3}$ מזרם המופע ומפגר אחריו ב- 30° .

סעיף א1 – הזרם המופעי

$$|Z| = \sqrt{(20^2 + 16^2)} = \sqrt{656} = 25.61 \Omega ; \phi = \arctan \frac{16}{20} = 38.66^\circ$$

$$I(\text{ph}) = \frac{U(\text{ph})}{|Z|} = \frac{400}{25.61} = 15.62 \text{ A}$$

$$I(\text{ph}) = 15.62 \angle -38.66^\circ \text{ A (ביחס למתח המופע שלו)}$$

שלושת הזרמים המופעיים שווים בגודלם ומוסטים זה מזה ב- 120° , כי העומס מאוזן והמתחים סימטריים. כל אחד מהם מפגר אחרי מתח המופע שלו בזווית העכבה.

סעיף א2 – הזרם הקווי

$$I(L) = \sqrt{3} \cdot I(\text{ph}) = 1.732 \times 15.62$$

$$I(L) = 27.05 \text{ A} - 30^\circ \text{ מפגר אחרי הזרם המופעי ב-}$$

סעיף ב – שלושת ההספקים

נחשב את שלושת ההספקים ישירות מזרם המופע ומרכיבי העכבה, כי בכל מופע זורם אותו זרם:

$$P = 3 \cdot I(\text{ph})^2 \cdot R = 3 \times 15.62^2 \times 20 = 14\,634 \text{ W}$$

$$Q = 3 \cdot I(\text{ph})^2 \cdot X = 3 \times 15.62^2 \times 16 = 11\,707 \text{ var}$$

$$S = 3 \cdot U(\text{ph}) \cdot I(\text{ph}) = 3 \times 400 \times 15.62 = 18\,741 \text{ VA}$$

$$P = 14.63 \text{ kW} ; Q = 11.71 \text{ kvar} ; S = 18.74 \text{ kVA}$$

אימות כפול לשלושת ההספקים – משולש ההספקים מצד אחד, והנוסחה הקווית מצד שני:

$$\sqrt{(14\,634^2 + 11\,707^2)} = 18\,741 \text{ VA} \checkmark$$

$$\sqrt{3} \cdot U(L) \cdot I(L) = 1.732 \times 400 \times 27.05 = 18\,741 \text{ VA} \checkmark$$

$$\cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{14\,634}{18\,741} = 0.781 = \cos(38.66^\circ) \checkmark$$

סעיף ג – משולש ההספקים

משולש ההספקים הוא משולש ישר-זווית: הניצב האופקי הוא ההספק הממשי $P = 14.63 \text{ kW}$, הניצב האנכי הוא ההספק המדומה $Q = 11.71 \text{ kvar}$ ומצויר כלפי מעלה מפני שהעומס השראותי, והיתר הוא ההספק המדומה-הכולל $S = 18.74 \text{ kVA}$. הזווית שבין P לבין S היא 38.66° – בדיוק זווית העכבה.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – משולש ההספקים והמעבר בין משולש לכוכב. 

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

שאלה 5 – מגבר טרנזיסטורי בקיטוב קבוע

נתונים: $V_{CC} = 15\text{ V}$ • $V_{BE} = 0.7\text{ V}$ • $\beta = h_{fe} = 100$ • $h_{ie} = 1\text{ k}\Omega$ • $R_B = 810\text{ k}\Omega$ • $R_C = 5\text{ k}\Omega$ • $R_L = 8\text{ k}\Omega$

סעיף א – נקודת העבודה

בזרם ישר הקבלים מהווים נתק. הפולט מוארק ישירות – אין כאן נגד פולט – ולכן לולאת הבסיס קצרה במיוחד:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{15 - 0.7}{810 \cdot 10^3} = 17.65\text{ }\mu\text{A}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 100 \times 17.65 \cdot 10^{-6} = 1.77\text{ mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 15 - 1.77 \cdot 10^{-3} \times 5 \cdot 10^3 = 15 - 8.83$$

$$I_C = 1.77\text{ mA} ; V_{CE} = 6.17\text{ V}$$

נקודת עבודה תקינה: $V_{CE} = 6.17\text{ V}$ נמצא בערך באמצע התחום שבין הרוויה (0V) לניתוק (15V), ולכן האות יוכל להתנדנד לשני הכיוונים בלי לחתוך. זהו כל תפקידו של הקיטוב.

סעיף ב – מעגל התמורה לאות חילופין

בזרם חילופין הקבלים מהווים קצר, ומקור ההזנה נחשב אדמה. מעגל התמורה כולל: בכניסה – מקור האות מול R_B במקביל ל- h_{ie} ; ביציאה – מקור זרם מבוקר בעוצמת $h_{fe} \cdot i_b$, ומולו R_C במקביל ל- R_L .

$$R_B \parallel h_{ie} = 810\text{ k}\Omega \parallel 1\text{ k}\Omega \approx 0.999\text{ k}\Omega$$

$$R_C \parallel R_L = \frac{5 \times 8}{5 + 8} = \frac{40}{13} = 3.08\text{ k}\Omega$$

סעיף ג – הגבר המתח

$$A_v = \frac{-h_{fe} \cdot (R_C \parallel R_L)}{h_{ie}} = \frac{-100 \times 3.08 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3}$$

$$A_v = -307.7$$

ההגבר גבוה בהרבה מזה של מגבר עם נגד פולט לא מעוקף, וזה הגיוני: כל האות שנופל על מעבר הבסיס-פולט מתורגם לזרם קולט בלי שום משוב שיבלום אותו. המחיר הוא יציבות נמוכה – נקודת העבודה כאן תלויה ישירות ב- β , ושינוי טמפרטורה מזיז אותה.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – קו העומס בקיטוב קבוע. 

fahed-lab.com · פהד לאב

שאלה 6 – מייצב מתח בדיודת זנר

נתונים: $E = 12\text{ V}$ • $R = 6\ \Omega$ • $R(L) = 10\ \Omega$ • $V(Z) = 6\text{ V}$ • $I(Z\text{ max}) = 1.3\text{ A}$

סעיף א – המתח על העומס

קודם כול נבדוק אם הזנר בכלל מוליך. נחשב את המתח שהיה מתקבל על העומס בלעדיו:

$$V = E \cdot \frac{R(L)}{R + R(L)} = 12 \times \frac{10}{16} = 7.5\text{ V}$$

המתח הזה גבוה ממתח הזנר, ולכן הדיודה נכנסת לפעולה ומקבעת את המתח על ערכה. מכיוון שהדיודה אידיאלית, המתח עליה – ולכן גם על העומס המקביל לה – קבוע לחלוטין:

$$V(R(L)) = 6\text{ V}$$

סעיף ב – הזרמים במעגל

עכשיו כל שלושת הזרמים נובעים ישירות. הזרם הכולל נקבע על ידי המפל על הנגד הטורי, שהוא ההפרש בין המקור למתח המיוצב:

$$I = \frac{E - V(Z)}{R} = \frac{12 - 6}{6} = 1\text{ A}$$

$$I(L) = \frac{V(Z)}{R(L)} = \frac{6}{10} = 0.6\text{ A}$$

$$I(Z) = I - I(L) = 1 - 0.6$$

$$I = 1\text{ A} ; I(L) = 0.6\text{ A} ; I(Z) = 0.4\text{ A}$$

הזרם דרך הזנר קטן מן הזרם המרבי המותר 1.3 A , ולכן הדיודה עובדת בתחום הבטוח שלה.

סעיף ג – העומס שיביא את זרם הזנר ל-0.8 A

המפתח כאן: **הזרם הכולל אינו משתנה כלל**. הוא נקבע על ידי המקור, הנגד הטורי ומתח הזנר – ואף אחד מן השלושה אינו תלוי בעומס. לכן כל אמפר שהזנר לוקח, העומס מפסיד:

$$I(L) = I - I(Z) = 1 - 0.8 = 0.2 \text{ A}$$

$$R(L) = \frac{V(Z)}{I(L)} = \frac{6}{0.2}$$

$$R(L) = 30 \Omega$$

הכיוון ההפוך מן האינטואיציה: כדי שהזרם יוליך יותר, יש להגדיל את התנגדות העומס – כלומר להקטין את הזרם שהוא לוקח. הזרם הוא זה שבולע את העודף, וזה בדיוק מנגנון הייצוב: הוא מפצה על שינויי העומס כדי לשמור על מתח קבוע. 💡

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – מתח המוצא כפונקציה של העומס. 🧪

fahed-lab.com · גאון

שאלה 7 – שני מגברי שרת אידאליים

נתונים: $\pm 15\text{ V}$ הזנה • $R_1 = 4\text{ k}\Omega$ • $R_2 = 12\text{ k}\Omega$ • $R_3 = 5\text{ k}\Omega$ • $R_4 = 20\text{ k}\Omega$ • $R_5 = 10\text{ k}\Omega$ • $R_6 = 10\text{ k}\Omega$ • $V_1 = 2\text{ V}$ • $V_2 = 6\text{ V}$

שני כללי היסוד: במגבר שרת אידאלי עם משוב שלילי אין זרם הנכנס אל הכניסות, ומתחי שתי הכניסות שווים. זה לזה. כל הפתרון נשען עליהם.

סעיף א – המתחים בנקודות X, Y ו-Z

הנקודה X היא הכניסה השלילית של המגבר הראשון, וכניסתו החיובית מחוברת ישירות למקור V_1 :

$$V_X = V_1 = 2\text{ V}$$

הנקודה Z נקבעת על ידי מחלק המתח של R_4 ו- R_5 על המקור V_2 , ואין זרם שנכנס אל כניסת המגבר השני ומפריע לו:

$$V_Z = V_2 \cdot \frac{R_5}{R_4 + R_5} = 6 \times \frac{10}{20 + 10} = 2\text{ V}$$

הנקודה Y היא הכניסה השלילית של המגבר השני, ולכן היא שווה לכניסתו החיובית:

$$V_Y = V_Z = 2\text{ V}$$

$$V_X = 2\text{ V} ; V_Y = 2\text{ V} ; V_Z = 2\text{ V}$$

סעיף ב – המתח V_{o1}

הקומה הראשונה היא מגבר לא-הופך: R_1 יורד מן הנקודה X אל האדמה, ו- R_2 סוגר את המשוב אל המוצא:

$$V_{o1} = V_1 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 2 \times \left(1 + \frac{12}{4}\right) = 2 \times 4$$

$$V_{o1} = 8\text{ V}$$

סעיף ג – מתח המוצא

הקומה השנייה היא מגבר הופך שכניסתו החיובית מוחזקת ב-2 V. הזרם הזורם דרך R_3 ממשיך במלואו דרך R_6 , שכן אל הכניסה עצמה אין זרם:

$$I(R_3) = \frac{V_{o1} - V_Y}{R_3} = \frac{8 - 2}{5 \cdot 10^3} = 1.2 \text{ mA}$$

$$V_o = V_Y - I(R_3) \cdot R_6 = 2 - 1.2 \cdot 10^{-3} \times 10 \cdot 10^3 = 2 - 12$$

$$V_o = -10 \text{ V}$$

בדיקת שפיות: מתח ההזנה הוא $\pm 15\text{V}$, ו-10 V - נמצא בתחום – המגבר אינו ברוויה והחישוב הליניארי תקף.

סעיף ד – מה קורה כשמקצרים את R_6

קיצור נגד המשוב הופך את הקומה השנייה למעקב מתח: המוצא מחובר ישירות אל הכניסה השלילית, ולכן הוא נאלץ להשתוות אליה – והיא, לפי הקצר המדומה, שווה לכניסה החיובית:

$$V_o = V_Y = V_Z = 2 \text{ V}$$

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

לאן נעלם הזרם: הזרם דרך R_3 ממשיך לזרום – 1.2 mA כמקודם – אבל הוא נבלע כולו במוצא המגבר, שמחזיק את הנקודה Y במתחה. ההגבר של הקומה הזאת ירד לאפס, והמתח בכניסה החיובית הוא שקובע לבדו את המוצא.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – שרשרת המתחים ומתחי ההזנה.

שאלה 8 – מערכת שערים לוגיים

נתונים: שער NOT על A • שער AND ראשון על מוצא ה-NOT ועל B • שער AND שני על C ועל B • שער AND שלישי המאחד את שני הקודמים • שער NOR על A ועל B • שער OR סופי

סעיף א – ביטוי הפונקציה

נעקוב אחרי המערכת שער אחרי שער. שער ה-AND הראשון מקבל את המשלים של A ואת B, השני מקבל את C ואת B, והשלישי מכפיל את שני המוצאים. במקביל, שער ה-NOR נותן את המשלים של הסכום A+B, ושער ה-OR הסופי מאחד את שני הענפים:

$$F(A,B,C) = (\bar{A} \cdot B) \cdot (B \cdot C) + \overline{A + B}$$

סעיף ב – צמצום למינימום ליטרלים

נפתח את שני האיברים. במכפלה, המשתנה B מופיע פעמיים – ומכפלת משתנה בעצמו היא המשתנה עצמו. את האיבר השני נפתח לפי חוק דה-מורגן:

$$(\bar{A} \cdot B) \cdot (B \cdot C) = \bar{A} \cdot B \cdot C$$

$$\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$$

$$F = \bar{A} \cdot B \cdot C + \bar{A} \cdot \bar{B}$$

המשלים של A משותף לשני האיברים, ולכן נוציא אותו כגורם משותף:

$$F = \bar{A} \cdot (B \cdot C + \bar{B})$$

בתוך הסוגריים פועל כלל הבליעה: סכום של משתנה עם מכפלה שמכילה את משלימו מוותר על המשלים שבתוך המכפלה:

$$\bar{B} + B \cdot C = \bar{B} + C$$

$$F = \bar{A} \cdot (\bar{B} + C)$$

$$\text{– שלושה ליטרלים } F = \bar{A} \cdot (\bar{B} + C)$$

$$F = \bar{A} \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot C$$

נוודא בטבלת אמת שהפונקציה המקורית והמצומצמת נותנות אותן תוצאות:

A	B	C	F
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

המערכת מוציאה אחד רק כאשר A הוא אפס, ובנוסף B הוא אפס או C הוא אחד – בדיוק מה שאומרת הצורה המצומצמת.

סעיף ג – מימוש בשערים לוגיים

הצורה המצומצמת דורשת ארבעה שערים בלבד: שני שערי NOT, שער OR ושער AND:

$$A \rightarrow \text{NOT} \rightarrow \bar{A} ; B \rightarrow \text{NOT} \rightarrow \bar{B} ; (\bar{B}, C) \rightarrow \text{OR} ; (\bar{A}, \text{OR}) \rightarrow \text{AND} \rightarrow F$$

מה הרווחנו: המערכת המקורית מנתה שישה שערים – שלושה AND, שער NOT, שער NOR ושער OR. הצמצום הוריד אותה לארבעה, בלי לשנות אף שורה בטבלת האמת.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – טבלת האמת המלאה, שורה אחר שורה. 

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 בתחנת אגירה שאובה, ושאלה 10 בטורבינות רוח. 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.