

הצעה לפתרון מלא — מערכות חשמל

בגרות · קיץ תשע"ט 2019 · שאלון 845381 · שאלות 1–10

✦ בנוי על ידי פהד גאנץ ✦

על המסמך: הצעה לפתרון מלא לשאלון 845381 — מערכות חשמל, קיץ תשע"ט 2019. במסמך פתרון של עשר השאלות, מחולק לשלושה פרקים: זרם ישר, קבלים ומגנטיות (שאלות 1–4), זרם חילופין (שאלות 5–8) ומערכות ספרתיות (שאלות 9–10). לכל סעיף מובאים הנתונים, הנוסחה, ההצבה, התוצאה הסופית עם יחידות והסבר קצר. 💡

שאלה 1 — מעגל זרם ישר עם מפסק

נתונים: $E = 90V$ · $R_1 = 20 \Omega$ · $R_2 = 30 \Omega$ · $R_3 = 60 \Omega$ · $R_4 = 30 \Omega$ · $R_5 = 50 \Omega$

מבנה המעגל (SW סגור): הנגדים R_2 ו- R_3 מחוברים במקביל זה לזה, בטור אליהם R_4 , וכל הצירוף מקביל ל- R_5 . הנגד R_1 מחובר בטור למקור.

סעיף א — ההתנגדות השקולה שרואה המקור (SW סגור)

תחילה מחשבים את השקול של R_2 במקביל ל- R_3 , מוסיפים את R_4 בטור, ואת התוצאה מחברים במקביל ל- R_5 :

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{30 \times 60}{30 + 60} = 20 \Omega$$

$$R_{234} = R_{23} + R_4 = 20 + 30 = 50 \Omega$$

$$R_p = \frac{R_{234} \cdot R_5}{R_{234} + R_5} = \frac{50 \times 50}{50 + 50} = 25 \Omega$$

$$R_{eq} = R_1 + R_p = 20 + 25 = 45 \Omega$$

$$R_{eq} = 45 \Omega$$

סעיף ב — המתח על פני הנגד R_1

הזרם הכללי מתקבל מחוק אוהם על כל המעגל, והמתח על R_1 הוא מכפלת הזרם בהתנגדותו:

$$I = \frac{E}{R_{eq}} = \frac{90}{45} = 2 \text{ A}$$

$$U_{R1} = I \cdot R_1 = 2 \times 20 = 40 \text{ V}$$

$$U_{R1} = 40 \text{ V}$$

סעיף ג — הזרם דרך הנגד R_5

המתח על הקטע המקבילי שווה למתח המקור פחות המתח על R_1 , ומחוק אוהם מתקבל הזרם:

$$U_p = E - U_{R1} = 90 - 40 = 50 \text{ V}$$

$$I_{R5} = \frac{U_p}{R_5} = \frac{50}{50} = 1 \text{ A}$$

$$I_{R5} = 1 \text{ A}$$

סעיף ד — המעגל כאשר המפסק SW פתוח

כאשר SW פתוח נותק הקשר הישיר בין ראש R_2 לראש R_3 , והזרם עובר בהכרח דרך R_2 אל הצומת התחתון. מהצומת קיימים שני מסלולים אל הדק המקור: דרך R_4 , או דרך R_3 בטור עם R_5 . לכן R_4 מקביל לצירוף הטורי של R_3 ו- R_5 :

$$R_{35} = R_3 + R_5 = 60 + 50 = 110 \text{ } \Omega$$

$$R_p = \frac{R_4 \cdot R_{35}}{R_4 + R_{35}} = \frac{30 \times 110}{30 + 110} = 23.57 \text{ } \Omega$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_p = 20 + 30 + 23.57 \approx 73.57 \text{ } \Omega$$

המתח על R_1 במצב זה:

$$I = \frac{E}{R_{eq}} = \frac{90}{73.57} \approx 1.223 \text{ A}$$

$$U_{R1} = I \cdot R_1 = 1.223 \times 20 \approx 24.47 \text{ V}$$

$$R_{eq} \approx 73.57 \text{ } \Omega ; U_{R1} \approx 24.47 \text{ V}$$

שאלה 2 — משפט תבנין

נתונים: $E = 12V$ (לכל מקור) $R = 2 \Omega$ (נגד טורי לכל ענף) $R_L = 9 \Omega$

מבנה המעגל: שני מקורות מתח זהים, לכל אחד נגד טורי R , ושני הענפים מחוברים במקביל בין הנקודות A ו-B. בהמשך מחובר נגד עומס R_L בין A ל-B.

סעיף א — התנגדות תבנין R_{TH} כלפי A ו-B

לחישוב התנגדות תבנין מאפסים את מקורות המתח (מחליפים אותם בקצר). שני הנגדים נראים אז מקבילים בין A ל-B:

$$R_{TH} = \frac{R \cdot R}{R + R} = \frac{2 \times 2}{2 + 2} = 1 \Omega$$

$$R_{TH} = 1 \Omega$$

סעיף ב — מתח תבנין U_{TH} בין A ל-B

שני המקורות זהים בערכם ובקוטביותם, ולכן בריקם לא זרם זרם סובב בחוג הפנימי ואין נפילת מתח על הנגדים. מתח ההדקים שווה למתח המקור:

$$I(\text{loop}) = \frac{E - E}{R + R} = \frac{0}{4} = 0 \text{ A}$$

$$U_{TH} = E = 12 \text{ V}$$

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

סעיף ג — ההספק המתפתח בנגד R_L

מציבים את מעגל התמורה של תבנין ומחשבים את זרם העומס ואת ההספק:

$$I_L = \frac{U_{TH}}{R_{TH} + R_L} = \frac{12}{1 + 9} = 1.2 \text{ A}$$

$$P(R_L) = I_L^2 \cdot R_L = 1.2^2 \times 9 = 12.96 \text{ W}$$

$$P(R_L) = 12.96 \text{ W}$$

סעיף ד — הזרם I_1 המסומן במעגל

המתח בין A ל-B עם העומס שווה למתח על R_L , והזרם בענף השמאלי מתקבל מהפרש המתחים על הנגד הפנימי:

$$U_{AB} = I_L \cdot R_L = 1.2 \times 9 = 10.8 \text{ V}$$

$$I_1 = \frac{E - U_{AB}}{R} = \frac{12 - 10.8}{2} = 0.6 \text{ A}$$

משיקולי סימטריה שני המקורות הזהים מתחלקים שווה בזרם העומס, ולכן כל מקור מספק מחצית מ-1.2 A, כלומר 0.6 A.

$$I_1 = 0.6 \text{ A}$$

שאלה 3 — מעגל קבלים

נתונים: $U = 2V$ מורה C_3 על-מתח $C_1 = 2\mu F$ · $C_2 = 4\mu F$ · $C_3 = 6\mu F$ · $C_4 = 8\mu F$

מבנה המעגל: C_2 בטור עם C_3 (הנקודה A ביניהם), הצירוף הטורי מקביל ל- C_1 , וכל הקבוצה בטור עם C_4 ועם המקור. מד-המתח מודד את המתח על C_3 .

סעיף א — המתח והמטען על הקבלים C_2 ו- C_4

בקבלים המחוברים בטור המטען שווה. המטען על C_3 ידוע מהמתח הנמדד, והוא גם המטען של C_2 :

$$Q_{C3} = C_3 \cdot U_{C3} = 6 \times 10^{-6} \times 2 = 12 \mu C = Q_{C2}$$

$$U_{C2} = \frac{Q_{C2}}{C_2} = \frac{12}{4} = 3 V$$

המתח על הענף המקבילי (וגם על C_1) הוא סכום המתחים על C_2 ו- C_3 . מכאן מטען C_1 , והמטען הכולל שזורם דרך C_4 הוא סכום מטעני שני הענפים:

$$U_p = U_{C2} + U_{C3} = 3 + 2 = 5 V$$

$$Q_{C1} = C_1 \cdot U_p = 2 \times 10^{-6} \times 5 = 10 \mu C$$

$$Q_{C4} = Q_{C1} + Q_{C3} = 10 + 12 = 22 \mu C$$

$$U_{C4} = \frac{Q_{C4}}{C_4} = \frac{22}{8} = 2.75 V$$

$$U_{C2} = 3 V ; Q_{C2} = 12 \mu C ; U_{C4} = 2.75 V ; Q_{C4} = 22 \mu C$$

סעיף ב — גודל מקור המתח E

לפי חוק המתחים של קירכהוף, מתח המקור שווה לסכום המתח על הקבוצה המקבילית והמתח על C_4 :

$$E = U_p + U_{C4} = 5 + 2.75 = 7.75 V$$

$$E = 7.75 \text{ V}$$

סעיף ג — הקיבול השקול של המעגל

מחשבים את הקיבול הטורי של C_2 ו- C_3 , מוסיפים במקביל את C_1 , ואת התוצאה מחברים בטור עם C_4 :

$$C_{23} = \frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3} = \frac{4 \times 6}{4 + 6} = 2.4 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_p = C_{23} + C_1 = 2.4 + 2 = 4.4 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_{eq} = \frac{C_p \cdot C_4}{C_p + C_4} = \frac{4.4 \times 8}{4.4 + 8} \approx 2.84 \text{ } \mu\text{F}$$

בדיקה: המטען הכולל $Q = C_{eq} \cdot E \approx 22 \text{ } \mu\text{C}$, בהתאמה מלאה למטען שחושב דרך C_4 .

$$C_{eq} \approx 2.84 \text{ } \mu\text{F}$$

שאלה 4 — מעגל מגנטי

נתונים: $N = 100 \cdot l = 1\text{m} \cdot A = 0.01\text{ m}^2 \cdot l = 1\text{A} \cdot \mu_r = 800 \cdot \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{ H/m}$

סעיף א — עוצמת השדה המגנטי בליבה

עוצמת השדה המגנטי שווה לכוח המגנטו-מניע ליחידת אורך:

$$H = \frac{N \cdot I}{l} = \frac{100 \times 1}{1} = 100\text{ A/m}$$

$$H = 100\text{ A/m}$$

סעיף ב — צפיפות השטף המגנטי בליבה

צפיפות השטף מתקבלת ממכפלת עוצמת השדה בחדירות המגנטית של הליבה:

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H = 4\pi \times 10^{-7} \times 800 \times 100 \approx 0.1005\text{ T}$$

$$B \approx 0.1\text{ T}$$

סעיף ג — השטף המגנטי בליבה

השטף שווה למכפלת צפיפות השטף בשטח החתך:

$$\Phi = B \cdot A = 0.1005 \times 0.01 \approx 1.005 \times 10^{-3}\text{ Wb}$$

$$\Phi \approx 1\text{ mWb}$$

סעיף ד — המיאון המגנטי של המעגל

המיאון (הרלוקטנציה) מתקבל מאורך המסלול המגנטי חלקי מכפלת החדירות בשטח החתך:

$$R_m = \frac{1}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A} = \frac{1}{4\pi \times 10^{-7} \times 800 \times 0.01} \approx 9.95 \times 10^4 \text{ A/Wb}$$

בדיקה לפי היחס בין הכוח המגנטו-מניע לשטף: $R_m = \frac{N \cdot I}{\Phi} = \frac{100}{1.005 \times 10^{-3}} \approx 9.95 \times 10^4 \text{ A/Wb}$ — מתקבלת אותה תוצאה.

$$R_m \approx 9.95 \times 10^4 \text{ A/Wb}$$

שאלה 5 — מעגל RLC טורי בעל אופי השראותי

נתונים: $R = 20 \Omega$ · $I = 0.3A$ · $U_L = 15V$ · $U = 10V$ · $f = 400Hz$ אופי השראותי

סעיף א — המתח על פני הנגד R

במעגל טורי זורם אותו זרם בכל הרכיבים, והמתח על הנגד מתקבל מחוק אוהם:

$$U_R = I \cdot R = 0.3 \times 20 = 6 \text{ V}$$

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

סעיף ב — היגב הסליל והשראותו

היגב הסליל מתקבל מחלוקת המתח עליו בזרם, וההשראות מההיגב ומהתדר:

$$X_L = \frac{U_L}{I} = \frac{15}{0.3} = 50 \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{50}{2\pi \times 400} \approx 0.0199 \text{ H}$$

$$X_L = 50 \Omega ; L \approx 19.9 \text{ mH}$$

סעיף ג — המתח על הקבל והיגב הקבל

ממשולש המתחים של מעגל טורי מתקיים כי ריבוע מתח המקור שווה לריבוע המתח על הנגד ועוד ריבוע הפרש המתחים ההיגביים:

$$U^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2$$

$$10^2 = 6^2 + (15 - U_C)^2 \rightarrow (15 - U_C)^2 = 64 \rightarrow 15 - U_C = \pm 8$$

מכיוון שנתון כי המעגל בעל אופי השראותי, המתח על הסליל גדול מהמתח על הקבל, ולכן בוחרים בפתרון החיובי:

$$U_c = 15 - 8 = 7 \text{ V}$$

$$X_c = \frac{U_c}{I} = \frac{7}{0.3} \approx 23.33 \text{ } \Omega$$

$$U_c = 7 \text{ V} ; X_c \approx 23.33 \text{ } \Omega$$

שאלה 6 — רשת תלת-מופעית עם שני עומסים סימטריים

נתונים: $U_L = 400V \cdot f = 50Hz$ · עומס A כוכב $R = 5 \Omega$ · עומס B משולש $X_L = 9 \Omega$

סעיף א — חישוב הזרמים

בעומס A (כוכב) המתח על כל נגד הוא המתח המופעי, וזרם הקו שווה לזרם המופע:

$$U_{ph} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} \approx 230.9 \text{ V}$$

$$I_1 = \frac{U_{ph}}{R} = \frac{230.9}{5} \approx 46.19 \text{ A}$$

בעומס B (משולש) שורר על כל סליל המתח הקווי, וזרם הקו גדול פי שורש שלוש מזרם המופע:

$$I_{ph} = \frac{U_L}{X_L} = \frac{400}{9} \approx 44.44 \text{ A}$$

$$I_2 = \sqrt{3} \cdot I_{ph} = \sqrt{3} \times 44.44 \approx 76.98 \text{ A}$$

זרם העומס ההתנגדתי במופע עם המתח, וזרם העומס ההשראותי מפגר אחריו ב- 90° , ולכן מחברים אותם וקטורית:

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2} = \sqrt{46.19^2 + 76.98^2} \approx 89.77 \text{ A}$$

$$I_1 \approx 46.19 \text{ A} ; I_2 \approx 76.98 \text{ A} ; I \approx 89.77 \text{ A}$$

סעיף ב — ההספק הממשי, ההיגבי והמדומה

עומס A צורך הספק ממשי בלבד ועומס B צורך הספק היגבי בלבד:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_1 = \sqrt{3} \times 400 \times 46.19 \approx 32000 \text{ W}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_2 = \sqrt{3} \times 400 \times 76.98 \approx 53333 \text{ var}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{32^2 + 53.33^2} \approx 62.2 \text{ kVA}$$

בדיקה: $S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I = \sqrt{3} \times 400 \times 89.77 \approx 62.2 \text{ kVA}$ — מתקבלת אותה תוצאה.

$$P = 32 \text{ kW} ; Q \approx 53.33 \text{ kvar} ; S \approx 62.2 \text{ kVA}$$

סעיף ג — משולש ההספקים של המקור

משולש ההספקים הוא משולש ישר-זווית: הניצב האופקי מייצג את ההספק הממשי, הניצב האנכי את ההספק ההשראותי, והיתר את ההספק המדומה. הזווית שבין P ל-S היא זווית המופע:

$$\tan \phi = \frac{Q}{P} = \frac{53.33}{32} \approx 1.667 \rightarrow \phi \approx 59^\circ$$

$$\cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{32}{62.2} \approx 0.514$$

$$\phi \approx 59^\circ ; \cos \phi \approx 0.514$$

שאלה 7 — מעגל מקבילי בעל אופי קיבולי

נתונים: $U = 30V$ · $f = 50Hz$ · $R = 300 \Omega$ · $X_L = 200 \Omega$ · A_2 מורה $0.1A$ · אופי קיבולי

המקור: מתח המקור נתון כ- $u(t) = 30\sqrt{2} \sin(\omega t)$ וולט, כלומר ערך יעיל של $30V$. שלושה ענפים במקביל: נגד, קבל וסליל. מד-הזרם A_2 מודד את הזרם המשותף של ענפי הקבל והסליל, ומד-הזרם A_1 מודד את זרם המקור.

סעיף א — הזרם היעיל דרך הנגד R

$$I_R = \frac{U}{R} = \frac{30}{300} = 0.1 \text{ A}$$

$$I_R = 0.1 \text{ A}$$

סעיף ב — הזרם דרך מד-הזרם A_1

זרם הקבל מקדים את המתח ב- 90° וזרם הסליל מפגר ב- 90° , ולכן הזרם דרך A_2 הוא ההפרש בין שני הזרמים ההיגביים, כלומר $0.1A$. זרם המקור הוא הסכום הווקטורי של זרם הנגד והזרם ההיגבי:

$$I_{A1} = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2} = \sqrt{0.1^2 + 0.1^2} \approx 0.1414 \text{ A}$$

$$I_{A1} \approx 0.14 \text{ A}$$

סעיף ג — ערכו של היגב הקבל X_C

תחילה זרם הסליל, ומכיוון שהמעגל בעל אופי קיבולי זרם הקבל גדול מזרם הסליל:

$$I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{30}{200} = 0.15 \text{ A}$$

$$I_C - I_L = 0.1 \rightarrow I_C = 0.15 + 0.1 = 0.25 \text{ A}$$

$$X_C = \frac{U}{I_C} = \frac{30}{0.25} = 120 \ \Omega$$

$$X_C = 120 \ \Omega$$

סעיף ד — הספקי המעגל ומשולש ההספקים

$$P = U \cdot I_R = 30 \times 0.1 = 3 \text{ W}$$

$$Q = U \cdot (I_C - I_L) = 30 \times 0.1 = 3 \text{ var}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3^2 + 3^2} \approx 4.24 \text{ VA}$$

במשולש ההספקים הניצב האנכי Q פונה כלפי מטה מפני שההספק ההיגבי קיבולי. מכיוון ש-P שווה ל-Q, הזווית ביניהם היא 45° , ולכן מקדם ההספק הוא 0.707.

$$P = 3 \text{ W} ; Q = 3 \text{ var} ; S \approx 4.24 \text{ VA}$$

שאלה 8 — מעגל RLC טורי בתהודה

נתונים: $R = 50 \, \Omega$ · $U = 20V$ · $BW = 2 \, \text{kHz}$ · $f_r = 40 \, \text{kHz}$ מצב תהודה

סעיף א — עוצמת הזרם הזורם במעגל

בתהודה טורית ההיגבים מתבטלים זה בזה והעכבה שווה להתנגדות בלבד:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{20}{50} = 0.4 \, \text{A}$$

$$I = 0.4 \, \text{A}$$

סעיף ב — גורם הטיב של המעגל

גורם הטיב שווה ליחס בין תדר התהודה לרוחב הפס:

$$Q = \frac{f_r}{BW} = \frac{40}{2} = 20$$

$$Q = 20$$

סעיף ג — השראות הסליל L וקיבול הקבל C

מגורם הטיב מתקבל היגב הסליל בתהודה, וממנו ההשראות:

$$X_L = Q \cdot R = 20 \times 50 = 1000 \, \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f_r} = \frac{1000}{2\pi \times 40000} \approx 3.98 \, \text{mH}$$

בתהודה היגב הקבל שווה להיגב הסליל, ומכאן הקיבול:

$$C = \frac{1}{2\pi f_r \cdot X_C} = \frac{1}{2\pi \times 40000 \times 1000} \approx 3.98 \text{ nF}$$

$$L \approx 3.98 \text{ mH} ; C \approx 3.98 \text{ nF}$$

סעיף ד — המתח על הסליל במצב תהודה

בתהודה טורית המתח על הסליל גדול פי גורם הטיב ממתח המקור:

$$U_L = Q \cdot U = 20 \times 20 = 400 \text{ V}$$

$$\text{לחלופין: } U_L = I \cdot X_L = 0.4 \times 1000 = 400 \text{ V}$$

$$U_L = 400 \text{ V}$$

סעיף ה — הכפלת גורם הטיב ללא שינוי תדר התהודה

גורם הטיב של מעגל טורי הוא $Q = \frac{X_L}{R}$, ואילו תדר התהודה תלוי רק ב-L וב-C. לכן כדי להכפיל את גורם הטיב יש להקטין את ההתנגדות פי שניים:

$$R' = \frac{R}{2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ } \Omega \rightarrow Q' = \frac{1000}{25} = 40$$

הקטנת R אינה משפיעה על תדר התהודה, ולכן הוא נשאר 40 kHz וגורם הטיב מוכפל.

$$R' = 25 \text{ } \Omega ; Q' = 40$$

שאלה 9 — מערכת שערים לוגיים

נתונים: שלושה קווי כניסה A, B, C. שני שערי AND ושער NOR

מבנה המערכת: שער AND עליון מקבל את A דרך מהפך ואת C דרך מהפך; שער AND תחתון מקבל את B ואת C ישירות; מוצאי שני שערי ה-AND נכנסים לשער NOR שמוצאו F. 💡

סעיף א — הביטוי במוצא המערכת F

מוצאי שני שערי ה-AND והמוצא הסופי של שער ה-NOR:

$$F_{AND1} = \bar{A} \cdot \bar{C}$$

$$F_{AND2} = B \cdot C$$

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

פיתוח הביטוי בעזרת משפט דה-מורגן לצורה של סכום מכפלות:

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

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

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

סעיף ב — טבלת האמת של המערכת

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

סעיף ג — שערים בודדים

שער XOR עם כניסות A ו-B, כאשר הכניסה B ברמה לוגית 1 — לפי הגדרת השער, כאשר כניסה אחת קבועה ברמה 1 המוצא שווה להיפוך של הכניסה השנייה:

$$F_1 = A \oplus 1 = \bar{A}$$

שער NOR עם כניסות A ו-B, כאשר הכניסה B ברמה לוגית 0 — האיבר הניטרלי של פעולת OR הוא 0, ולכן במוצא מתקבל היפוך של הכניסה A:

$$F_2 = \overline{(A + 0)} = \bar{A}$$

$$F_1 = \bar{A} ; F_2 = \bar{A}$$

שאלה 10 — מפת קרנו ומימוש ברכיבים משולבים

נתונים: מפת קרנו של פונקציה F התלויה במשתנים A, B, C

מפת קרנו של הפונקציה — שורות לפי C, עמודות לפי AB בסדר קוד גריי:

C \ AB	00	01	11	10
0	1	0	0	1
1	0	0	1	1

סעיף א — פישוט הפונקציה F למינימום משתנים

במפה שתי קבוצות של שני תאים סמוכים. הקבוצה הראשונה — שני התאים בשורה C=0 בעמודות AB=00 ו-AB=10 (עמודות קיצוניות סמוכות במפה), שבה B=0 ו-C=0 קבועים. הקבוצה השנייה — שני התאים בשורה C=1 בעמודות AB=10 ו-AB=11, שבה A=1 ו-C=1 קבועים:

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

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

סעיף ב — מימוש הפונקציה המפושטת בשערים לוגיים

למימוש דרושים שני מהפכים ליצירת $\bar{B}$ ו- $\bar{C}$, שני שערי AND בעלי שתי כניסות, ושער OR אחד בעל שתי כניסות. הכניסה B מחוברת למהפך שמוצא $\bar{B}$, והכניסה C מחוברת למהפך שמוצא $\bar{C}$; מוצאי שני המהפכים מחוברים לשער AND הראשון. הכניסות A ו-C מחוברות ישירות לשער AND השני. שני מוצאי שער ה-AND מחוברים לשער OR שמוצא F.

סעיף ג — הביטוי במוצא F של מערך הרכיבים המשולבים

מעקב אחר החיווט של שלושת הרכיבים. ברכיב 7404 (מהפכים): הכניסה A מחוברת להדק 1 ולכן בהדק 2 מתקבל $\bar{A}$; הכניסה C מחוברת להדק 3 ולכן בהדק 4 מתקבל $\bar{C}$; הכניסה B מחוברת להדק 5 ולכן בהדק 6 מתקבל $\bar{B}$. ברכיב 7408 (שערי AND): להדקי 1 ו-2 מגיעים $\bar{A}$ ו-B, ולכן בהדק 3 מתקבלת המכפלה $\bar{A} \cdot B$; להדקי 4 ו-5 מגיעים $\bar{B}$ ו- $\bar{C}$, ולכן בהדק 6 מתקבלת המכפלה $\bar{B} \cdot \bar{C}$. ברכיב 7432 (שער OR): שני המוצאים מגיעים להדקים 1 ו-2, והמוצא F נלקח מהדק 3:

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

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