

הצעה לפתרון מלא — מערכות חשמל

בגרות · מועד 2022 · שאלון 845381 · שאלות 1–10

✦ בנוי על ידי פהד גאנץ ✦ 

על המסמך:  הצעה לפתרון מלא לשאלון 845381 — מערכות חשמל, מועד 2022. השאלון בנוי משלושה פרקים ובהם עשר שאלות. במסמך זה מובא פתרון מלא לכל עשר השאלות: לכל סעיף מוצגים הנתונים, הנוסחה, ההצבה, התוצאה הסופית עם יחידות המידה והסבר מילולי קצר.

שאלה 1 — מעגל זרם ישר עם נגדים בטור ובמקביל

נתונים: $E = 5\text{ V}$, $R_1 = 6\text{ }\Omega$, $R_2 = 2\text{ }\Omega$, $R_3 = 5\text{ }\Omega$, $R_4 = 7\text{ }\Omega$, $I_1 = 3\text{ A}$

מבנה המעגל: מחובר בטור בכניסה ו- R_5 בטור בחזרה. בין הנקודות A ו-B מחוברים שני ענפים במקביל — ענף אחד ובו R_2 בטור עם R_3 , וענף שני ובו R_4 . הזרם דרך R_2 הוא I_1 .

סעיף א — המתח בין הנקודות A ו-B

הנגדים R_2 ו- R_3 מחוברים בטור, ולכן הזרם I_1 עובר דרך שניהם. המתח בין A ל-B הוא סכום מפלי המתח על שניהם:

$$U_{AB} = I_1 \cdot (R_2 + R_3) = 3 \times (2 + 5) = 3 \times 7$$

$$U_{AB} = 21\text{ V}$$

סעיף ב — הזרם I_2

הנגד R_4 מחובר ישירות בין A ל-B, ולכן המתח עליו הוא בדיוק U_{AB} . לפי חוק אוהם:

$$I_2 = \frac{U_{AB}}{R_4} = \frac{21}{7}$$

$$I_2 = 3\text{ A}$$

סעיף ג — הזרם הכללי I_T

לפי חוק הזרמים של קירכהוף, הזרם הכללי הנכנס לנקודה A מתפצל לשני הענפים:

$$I_T = I_1 + I_2 = 3 + 3$$

$$I_T = 6\text{ A}$$

סעיף ד — מתח המקור E

לפי חוק המתחים של קירכהוף, מתח המקור שווה לסכום מפלי המתח על R_1 , על הקטע A-B ועל R_5 . דרך R_1 ו- R_5 זורם הזרם הכללי I_T :

$$E = I_T \cdot R_1 + U_{AB} + I_T \cdot R_5 = 6 \times 5 + 21 + 6 \times 6 = 30 + 21 + 36$$

$$E = 87 \text{ V}$$

שאלה 2 — מעגל עם שני מקורות מתח (חוקי קירכהוף)

נתונים: $E_1 = 30V$, $R_1 = 48 \Omega$, $E_2 = 33V$, $R_2 = 100 \Omega$, $R_3 = 60 \Omega$, $R_4 = 180 \Omega$

מבנה המעגל: בענף השמאלי E_1 בטור עם R_1 , ובענף הימני E_2 בטור עם R_2 . בענף האמצעי מחוברים במקביל R_3 ו- R_4 . שני הזרמים I_1 ו- I_2 זורמים לכיוון הצומת העליון לפי החיצים באיור.

סעיף א — חישוב הזרמים I_1 ו- I_2

תחילה נחשב את ההתנגדות השקולה של הענף האמצעי בחיבור מקבילי:

$$R_{34} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{60 \times 180}{60 + 180} = \frac{10800}{240} = 45 \Omega$$

לפי חוק הזרמים, הזרם בענף האמצעי הוא $I_3 = I_1 + I_2$. נכתוב שתי משוואות חוג לפי חוק המתחים של קירכהוף:

$$30 = 48 I_1 + 45(I_1 + I_2)$$

$$33 = 100 I_2 + 45(I_1 + I_2)$$

לאחר כינוס איברים מתקבלת מערכת המשוואות:

$$93 I_1 + 45 I_2 = 30$$

$$45 I_1 + 145 I_2 = 33$$

נפתור בשיטת הדטרמיננטות:

$$D = 93 \times 145 - 45 \times 45 = 13485 - 2025 = 11460$$

$$I_1 = \frac{30 \times 145 - 45 \times 33}{11460} = \frac{2865}{11460} = 0.25 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{93 \times 33 - 45 \times 30}{11460} = \frac{1719}{11460} = 0.15 \text{ A}$$

שני הזרמים חיוביים, ולכן כיווני הזרמים שהונחו באיור נכונים.

$$I_1 = 0.25 \text{ A} ; I_2 = 0.15 \text{ A}$$

סעיף ב — המתח על הנגד R_3

הזרם בענף האמצעי הוא סכום שני הזרמים, והמתח על הצירוף המקבילי הוא גם המתח על R_3 :

$$I_3 = I_1 + I_2 = 0.25 + 0.15 = 0.4 \text{ A}$$

$$U_{R3} = R_{34} \cdot I_3 = 45 \times 0.4$$

$$U_{R3} = 18 \text{ V}$$

סעיף ג — ההספק המתפתח בנגד R_4

הנגד R_4 מחובר במקביל ל- R_3 , ולכן המתח עליו גם הוא 18 וולט:

$$P_{R4} = \frac{U^2}{R_4} = \frac{18^2}{180} = \frac{324}{180}$$

$$P_{R4} = 1.8 \text{ W}$$

שאלה 3 — מעגל קבלים

נתונים: $E = 160V$ · $C_1 = 60\mu F$ · $C_2 = 30\mu F$ · $C_3 = 120\mu F$ · $C_4 = 100\mu F$ · $C_5 = 40\mu F$

מבנה המעגל: C_1 מחובר בטור בין המקור לנקודה A. בין A ל-B מחוברים שני ענפים במקביל — ענף אחד ובו הצירוף המקבילי של C_2 ו- C_3 בטור עם C_4 , וענף שני ובו C_5 .

סעיף א — הקיבול השקול של המעגל

בחיבור מקבילי הקיבולים מתחברים, ובחיבור טורי מחשבים לפי מכפלה חלקי סכום. נצעד שלב אחר שלב:

$$C_{23} = C_2 + C_3 = 30 + 120 = 150 \mu F$$

$$C_{234} = \frac{C_{23} \cdot C_4}{C_{23} + C_4} = \frac{150 \times 100}{250} = 60 \mu F$$

$$C_{AB} = C_{234} + C_5 = 60 + 40 = 100 \mu F$$

$$C_T = \frac{C_1 \cdot C_{AB}}{C_1 + C_{AB}} = \frac{60 \times 100}{160}$$

$$C_T = 37.5 \mu F$$

סעיף ב — המטען בקבל C_1

הקבל C_1 מחובר בטור לכל שאר המעגל, ולכן המטען עליו שווה למטען הכללי שמספק המקור:

$$Q_1 = Q_T = C_T \cdot E = 37.5 \times 10^{-6} \times 160$$

$$Q_1 = 6 \times 10^{-3} C = 6 mC$$

סעיף ג — המתח בין הנקודות A ו-B

המטען הכללי עובר דרך הקיבול השקול שבין A ל-B:

$$U_{AB} = \frac{Q_T}{C_{AB}} = \frac{6 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-6}}$$

המתח על C_1 הוא 100 וולט, וסכום המתחים $100 + 60 = 160$ וולט שווה למתח המקור — הפתרון עקבי.

$$U_{AB} = 60 \text{ V}$$

סעיף ד — האנרגייה האצורה במעגל

$$W = \frac{1}{2} \cdot C_T \cdot E^2 = 0.5 \times 37.5 \times 10^{-6} \times 160^2 = 0.5 \times 37.5 \times 10^{-6} \times 25600$$

$$W = 0.48 \text{ J}$$

שאלה 4 — מעגל עם מפסק

נתונים: $E = 30V$, $R_1 = 20\ \Omega$, $R_5 = 30\ \Omega$, $R_2 = 15\ \Omega$, $R_3 = 18\ \Omega$, $R_4 = 12\ \Omega$

מבנה המעגל: R_1 בטור בכניסה ו- R_5 בטור בחזרה. בקטע האמצעי מחוברים במקביל הנגד R_2 , המפסק S , והענף הטורי R_3 עם R_4 .

סעיף א — הזרם הכללי I_T (המפסק פתוח)

כאשר S פתוח, בקטע האמצעי פועלים במקביל R_2 והענף $R_3 + R_4$:

$$R_{34} = R_3 + R_4 = 18 + 12 = 30\ \Omega$$

$$R_{mid} = \frac{R_2 \cdot R_{34}}{R_2 + R_{34}} = \frac{15 \times 30}{45} = 10\ \Omega$$

$$R_T = R_1 + R_{mid} + R_5 = 20 + 10 + 30 = 60\ \Omega$$

$$I_T = \frac{E}{R_T} = \frac{30}{60}$$

$$I_T = 0.5\ A$$

סעיף ב1 — חיבור מד-זרם ומד-מתח

כדי למדוד את הזרם דרך R_2 מחברים מד-זרם בטור עם הנגד R_2 , בתוך הענף של R_2 עצמו. כדי למדוד את המתח על R_4 מחברים מד-מתח במקביל לנגד R_4 , בין שני הדקיו.

סעיף ב2 — קריאות המכשירים

המתח על הקטע המקבילי הוא מכפלת הזרם הכללי בהתנגדות השקולה שלו, וממנו נגזרות קריאות שני המכשירים:

$$U_{mid} = I_T \cdot R_{mid} = 0.5 \times 10 = 5\ V$$

$$I_{R2} = \frac{U_{mid}}{R_2} = \frac{5}{15} = 0.333\ A$$

$$I_{R34} = \frac{U_{mid}}{R_3 + R_4} = \frac{5}{30} = 0.1667 \text{ A}$$

$$U_{R4} = I_{R34} \cdot R_4 = 0.1667 \times 12$$

$$I_{R2} \approx 0.33 \text{ A} ; U_{R4} = 2 \text{ V}$$

סעיף ג — ההספק המתפתח בנגד R_1 (המפסק סגור)

סגירת המפסק S מקצרת את הקטע האמצעי, שהתנגדותו נעשית אפס, ולכן במעגל נותרים למעשה רק R_1 ו- R_5 בטור:

$$R_T = R_1 + R_5 = 20 + 30 = 50 \text{ } \Omega$$

$$I_T = \frac{E}{R_T} = \frac{30}{50} = 0.6 \text{ A}$$

$$P_{R1} = I_T^2 \cdot R_1 = 0.6^2 \times 20 = 0.36 \times 20$$

$$P_{R1} = 7.2 \text{ W}$$

פרק שני — זרם חילופין

שאלה 5 — מעגל RLC טורי בזרם חילופין

נתונים: $R = 30 \Omega$ · $L = 0.4H$ · $C = 47\mu F$ · $U = 230V$ · $f = 50Hz$

סעיף א — היגב הסליל והיגב הקבל

$$X_L = 2\pi f L = 2\pi \times 50 \times 0.4 \approx 125.66 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 47 \times 10^{-6}} \approx 67.73 \Omega$$

$$X_L \approx 125.66 \Omega ; X_C \approx 67.73 \Omega$$

סעיף ב — עכבת המעגל ואופיו

$$X = X_L - X_C = 125.66 - 67.73 = 57.93 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{30^2 + 57.93^2} = \sqrt{900 + 3356}$$

היגב הסליל גדול מהיגב הקבל, ולכן ההיגב הכולל השראותי ואופי המעגל השראותי — הזרם מפגר אחרי המתח.

$$Z \approx 65.24 \Omega$$

סעיף ג — המתחים על הנגד, על הסליל ועל הקבל

תחילה נחשב את הזרם במעגל, המשותף לכל הרכיבים בחיבור טורי:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{230}{65.24} = 3.53 \text{ A}$$

$$U_R = I \cdot R = 3.53 \times 30 \approx 105.8 \text{ V}$$

$$U_L = I \cdot X_L = 3.53 \times 125.66 \approx 443 \text{ V}$$

$$U_C = I \cdot X_C = 3.53 \times 67.73 \approx 238.8 \text{ V}$$

הסכום הפאזורי של המתחים שווה בקירוב למתח המקור 230 וולט, כנדרש.

$$U_R \approx 105.8 \text{ V} ; U_L \approx 443 \text{ V} ; U_C \approx 238.8 \text{ V}$$

סעיף ד — ההספק הממשי P

הספק ממשי מתפתח רק בנגד:

$$P = I^2 \cdot R = 3.53^2 \times 30 = 12.43 \times 30$$

$$P \approx 373 \text{ W}$$

שאלה 6 — מעגל RLC מקבילי בזרם חילופין

נתונים: $U = 240V$ · $f = 50Hz$ · $I_R = 3A$ · $I_L = 7A$ · $I_C = 3A$ חיבור מקבילי

סעיף א — הזרם I שמספק מקור המתח

בחיבור מקבילי זרם הנגד נמצא במופע עם המתח, זרם הסליל מפגר ב- 90° וזרם הקבל מקדים ב- 90° . החיבור נעשה באופן פאזורי:

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} = \sqrt{3^2 + (7 - 3)^2} = \sqrt{9 + 16} = \sqrt{25}$$

$$I = 5 \text{ A}$$

סעיף ב — התנגדות הנגד, השראות הסליל וקיבול הקבל

המתח על כל ענף שווה למתח המקור, ומכאן נגזרים ערכי הרכיבים:

$$R = \frac{U}{I_R} = \frac{240}{3} = 80 \ \Omega$$

$$X_L = \frac{U}{I_L} = \frac{240}{7} = 34.29 \ \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{34.29}{2\pi \times 50} \approx 0.109 \text{ H}$$

$$X_C = \frac{U}{I_C} = \frac{240}{3} = 80 \ \Omega$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 80} \approx 39.8 \ \mu F$$

$$R = 80 \ \Omega ; L \approx 0.109 \text{ H} = 109 \text{ mH} ; C \approx 39.8 \ \mu F$$

סעיף ג — דיאגרמה פאזורית

מתח המקור בגודל 240 וולט משורטט על הציר האופקי החיובי בזווית 0° והוא פאזור הייחוס. זרם הנגד בגודל 3 אמפר משורטט על אותו ציר במופע עם המתח. זרם הסליל בגודל 7 אמפר משורטט כלפי מטה בזווית -90° ומפגר אחרי המתח ברבע מחזור. זרם הקבל בגודל 3 אמפר משורטט כלפי מעלה בזווית $+90^\circ$ ומקדים את המתח ברבע מחזור. הזרם הכללי הוא הסכום הפאזורי — רכיב אופקי 3 אמפר ורכיב אנכי כלפי מטה 4 אמפר, אורכו 5 אמפר, והוא מפגר אחרי המתח בזווית:

$$\phi = \arctan\left(\frac{I_L - I_C}{I_R}\right) = \arctan\left(\frac{4}{3}\right) = 53.13^\circ$$

הזרם הכללי מפגר אחרי המתח, ולכן אופי המעגל השראותי.

$$\phi \approx 53.1^\circ \text{ (אופי השראותי)}$$

שאלה 7 — רשת תלת-מופעית, עומס סימטרי בחיבור משולש

נתונים: U (קווי) = $400V \cdot f = 50Hz \cdot Z = 16 + j10 \Omega$ לכל מופע · חיבור משולש

סעיף א — הזרם המופעי והזרם הקווי

גודל העכבה וזווית המופע שלה:

$$|Z| = \sqrt{16^2 + 10^2} = \sqrt{256 + 100} = \sqrt{356} = 18.87 \Omega$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{10}{16}\right) = 32^\circ$$

בחיבור משולש המתח על כל מופע שווה למתח הקווי, והזרם הקווי גדול פי שורש שלוש מהזרם המופעי:

$$I(\text{מופע}) = \frac{U(\text{קווי})}{|Z|} = \frac{400}{18.87} \approx 21.2 \text{ A}$$

$$I(\text{קווי}) = \sqrt{3} \cdot I(\text{מופע}) = 36.7 \approx 21.2 \times 1.732 \text{ A}$$

$$I(\text{מופע}) \approx 21.2 \text{ A} ; I(\text{קווי}) \approx 36.7 \text{ A}$$

סעיף ב — גורם ההספק

$$\cos \phi = \frac{R}{|Z|} = \frac{16}{18.87}$$

הזרם מפגר אחרי המתח, ולכן גורם ההספק השראותי.

$$\cos \phi \approx 0.848 \text{ (השראותי)}$$

סעיף ג — ההספק הממשי, ההספק ההיגבי וההספק המדומה

$$P = 3 \cdot I(\text{מופעי})^2 \cdot R = 3 \times 21.2^2 \times 16 \approx 21.57 \text{ kW}$$

$$Q = 3 \cdot I(\text{מופעי})^2 \cdot X_L = 3 \times 449.4 \times 10 \approx 13.48 \text{ kvar}$$

$$S = 3 \cdot U(\text{מופעי}) \cdot I(\text{מופעי}) = 25.44 \approx 21.2 \times 400 \times 3 \text{ kVA}$$

בדיקה לפי משולש ההספקים:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{21.57^2 + 13.48^2} \approx 25.44 \text{ kVA} \checkmark$$

$$P \approx 21.57 \text{ kW} ; Q \approx 13.48 \text{ kvar} ; S \approx 25.44 \text{ kVA}$$

סעיף ד — משולש ההספקים

המשולש הוא משולש ישר-זווית שבו הניצב האופקי מייצג את ההספק הממשי $P = 21.57$ קילו-וואט, הניצב האנכי מייצג את ההספק ההיגבי $Q = 13.48$ קילו-וואר, והיתר מייצג את ההספק המדומה $S = 25.44$ קילו-וולט-אמפר. הזווית שבין P ל- S היא זווית המופע $\varphi = 32^\circ$, שעבורה גורם ההספק שווה ל-0.848.

שאלה 8 — מעגל RLC טורי בתהודה

נתונים: $R = 5 \Omega \cdot L = 7\text{mH} \cdot C = 150\mu\text{F} \cdot U = 12\text{V}$ מצב תהודה

סעיף א — התנאי לתהודה

מעגל RLC טורי נכנס למצב תהודה כאשר היגב הסליל שווה להיגב הקבל. במצב זה שני ההיגבים מבטלים זה את זה, העכבה הכוללת מזערית ושווה להתנגדות בלבד, הזרם במעגל מרבי, והזרם והמתח נמצאים באותו מופע — זווית המופע אפס וגורם ההספק שווה לאחד. התנאי מתקיים בתדר מסוים הנקרא תדר התהודה:

$$X_L = X_C$$

סעיף ב — תדר התהודה

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{7 \times 10^{-3} \times 150 \times 10^{-6}}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{1.05 \times 10^{-6}}} = \frac{1}{2\pi \times 1.0247 \times 10^{-3}}$$

$$f_0 \approx 155.3 \text{ Hz}$$

סעיף ג — הזרם במעגל במצב תהודה

בתהודה העכבה שווה להתנגדות בלבד:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{R} = \frac{12}{5}$$

$$I = 2.4 \text{ A}$$

סעיף ד — המתחים על הנגד, על הסליל ועל הקבל בתהודה

$$U_R = I \cdot R = 2.4 \times 5 = 12 \text{ V}$$

$$X_L = 2\pi f_0 L = 2\pi \times 155.3 \times 7 \times 10^{-3} = 6.83 \text{ } \Omega$$

$$U_L = I \cdot X_L = 2.4 \times 6.83 \approx 16.4 \text{ V}$$

$$U_C = I \cdot X_C = 2.4 \times 6.83 \approx 16.4 \text{ V}$$

המתחים על הסליל ועל הקבל שווים בגודלם והפוכים במופעם, ולכן הם מבטלים זה את זה, והמתח על הנגד שווה בדיוק למתח המקור.

$$U_R = 12 \text{ V} ; U_L \approx 16.4 \text{ V} ; U_C \approx 16.4 \text{ V}$$

שאלה 9 — פונקצייה בוליאנית ומפת קרנו

נתונים: פונקצייה בוליאנית F של שלושה משתנים x, y, z

סעיף א — הצגת הפונקצייה על גבי מפת קרנו

הפונקצייה הנתונה:

$$F(x,y,z) = \bar{x} \bar{y} \bar{z} + \bar{x} y z + \bar{x} \bar{y} z + x y z + x \bar{y} \bar{z}$$

חמש המכפלות מתאימות למינטרמים שבהם F שווה 1: m_0 (000), m_1 (001), m_3 (011), m_4 (100), m_7 (111).
נעביר את הערכים למפת קרנו — שורות לפי x , עמודות לפי yz בסדר קוד גרעי:

$x \setminus yz$	00	01	11	10
0	1	1	1	0
1	1	0	1	0

סעיף ב — צמצום הפונקצייה

נאתר זוגות של אחדים סמוכים במפה. בעמודה $yz=00$ (התאים m_0 -ו- m_4) המשתנה x משתנה בין התאים ומתקבל הגורם המשלים של y כפול המשלים של z . בעמודה $yz=11$ (התאים m_3 -ו- m_7) המשתנה x משתנה ומתקבל הגורם y כפול z . בתאים m_1 -ו- m_3 (השורה $x=0$, העמודות 01 ו-11) המשתנה y משתנה ומתקבל הגורם המשלים של x כפול z .

$$F = \bar{y} \bar{z} + y z + \bar{x} z$$

הצבת כל שמונת הצירופים בביטוי המצומצם מחזירה בדיוק את חמשת המינטרמים הנתונים.

$$F = \bar{y} \cdot \bar{z} + y \cdot z + \bar{x} \cdot z$$

סעיף ג — מימוש הפונקצייה המצומצמת בשערים לוגיים

נדרשים שלושה שערי NOT ליצירת המשלים של x , של y ושל z . שלושה שערי AND דו-כניסיים: הראשון מקבל את המשלים של y ואת המשלים של z ומוציא את מכפלתם, השני מקבל את y ו- z , והשלישי מקבל את המשלים של x ואת z . שער OR תלת-כניסי מקבל את שלוש יציאות שערי ה-AND, וביציאתו מתקבלת הפונקציה F .

שאלה 10 — טבלת אמת, מפת קרנו ומימוש ברכיבים 7432 / 7408 / 7404

נתונים: טבלת אמת של פונקציית F של שלושה משתנים A, B, C · מימוש ברכיבים 7432 / 7408 / 7404

סעיף א — מפת קרנו ופישוט הפונקצייה

טבלת האמת של הפונקצייה:

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

הפונקצייה שווה 1 במינטרמים $m_2(010)$, $m_4(100)$, $m_5(101)$, $m_6(110)$. נעביר אותם למפת קרנו:

A \ BC	00	01	11	10
0	0	0	0	1
1	1	1	0	1

נאתר זוגות של אחדים סמוכים. בתאים m_4 ו- m_5 (השורה $A=1$, העמודות 00 ו-01) המשתנה C משתנה ומתקבל הגורם A כפול המשלים של B. בעמודה $BC=10$ (התאים m_2 ו- m_6) המשתנה A משתנה ומתקבל הגורם B כפול המשלים של C:

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

הצבת כל שמונת הצירופים בביטוי המפושט מחזירה בדיוק את טבלת האמת הנתונה.

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

סעיף ב — מימוש על גבי הרכיבים 7404, 7408, 7432

הרכיב 7404 מכיל שישה שערי NOT, הרכיב 7408 מכיל ארבעה שערי AND דו-כניסיים, והרכיב 7432 מכיל ארבעה שערי OR דו-כניסיים. המימוש דורש שני שערי NOT, שני שערי AND ושער OR אחד. בכל אחד משלושת הרכיבים מחברים את הדק 14 למתח ההזנה +5V ואת הדק 7 לאדמה.

חיבורי האותות: הכניסה B מחוברת להדק 1 של 7404 וביציאתו, הדק 2, מתקבל המשלים של B. הכניסה C מחוברת להדק 3 של 7404 וביציאתו, הדק 4, מתקבל המשלים של C. ברכיב 7408 הכניסה A מחוברת להדק 1 והאות המשלים של B מחובר להדק 2, וביציאה, הדק 3, מתקבל A כפול המשלים של B. ברכיב 7408 הכניסה B מחוברת להדק 4 והאות המשלים של C מחובר להדק 5, וביציאה, הדק 6, מתקבל B כפול המשלים של C. ברכיב 7432 שני האותות מחוברים להדקים 1 ו-2, וביציאה, הדק 3, מתקבלת הפונקציה F.