

הצעה לפתרון מלא — מערכות חשמל

בגרות · קיץ תשפ"ה 2025 · שאלון 845381 · שאלות 1–12

✦ בנוי על ידי פהד גאנץ ✦

על המסמך: הצעה לפתרון מלא לשאלון 845381 — מערכות חשמל, קיץ תשפ"ה 2025. בשאלון שתיים עשרה שאלות ועל הנבחן לענות על חמש בלבד. שאלות 1–8 לכלל הנבחנים, 9–10 לתלמידי הנדסת חשמל, 11–12 לתלמידי בקרת אקלים. 💡

שאלה 1 — לולאה טורית עם שני מקורות

נתונים: $R_1 = 17 \Omega$ · $R_2 = 23 \Omega$ · $R_3 = 12 \Omega$ · $R_4 = 18 \Omega$ · $E_1 = 25V$ · $E_2 = 10V$

קריאת הקוטביות: על-פי הסימון באיור שני המקורות פועלים זה כנגד זה — המקור E_1 (החזק יותר) מסייע את הזרם בלולאה, והמקור E_2 מתנגד לו.

סעיף א — ההתנגדות השקולה והזרם

כל הנגדים מחוברים בטור בלולאה אחת, ולכן ההתנגדות השקולה היא סכומם:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 17 + 23 + 12 + 18 = 70 \Omega$$

לפי חוק המתחים של קירכהוף, הזרם נקבע מהפרש המקורות חלקי ההתנגדות הכוללת:

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_T} = \frac{25 - 10}{70} = \frac{15}{70}$$

$$R_T = 70 \Omega ; I \approx 0.214 A$$

סעיף ב — ההספק על R_2

$$P(R_2) = I^2 \cdot R_2 = 0.214^2 \times 23 = 0.0459 \times 23$$

$$P(R_2) \approx 1.06 W$$

סעיף ג — המתח בין A ל-B

נעבור מ-B ל-A דרך המסלול השמאלי, הכולל את המקור E_1 ואת הנגדים R_1 ו- R_2 :

$$U_{AB} = E_1 - I \cdot (R_1 + R_2) = 25 - 0.214 \times 40 = 25 - 8.57$$

נוודא את התוצאה דרך המסלול הימני, הכולל את R_3 , R_4 ואת המקור E_2 :

$$U_{AB} = I \cdot (R_3 + R_4) + E_2 = 0.214 \times 30 + 10 = 6.43 + 10 = 16.43 \text{ V } \checkmark$$

$$U_{AB} \approx 16.43 \text{ V}$$

שאלה 2 — שלושה נגדים במקביל ושני מדי-זרם

$$\text{נתונים: } R_1 = 60 \, \Omega \cdot R_2 = 40 \, \Omega \cdot R_3 = 96 \, \Omega \cdot E = 48V$$

שלושת הנגדים מחוברים במקביל ישירות אל המקור, ולכן המתח על כל אחד מהם הוא 48V.

סעיף א — ההתנגדות השקולה

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{60} + \frac{1}{40} + \frac{1}{96} = 0.052083$$

$$R_T = 19.2 \, \Omega$$

סעיף ב — ההספק הכללי

$$P_T = \frac{E^2}{R_T} = \frac{48^2}{19.2} = \frac{2304}{19.2}$$

$$P_T = 120 \, W$$

סעיף ג — קריאות מדי-הזרם

מד-זרם קורא את הזרם העובר במקום שבו הוא מותקן. נחשב תחילה את הזרם בכל ענף:

$$I_1 = \frac{48}{60} = 0.8 \, A$$

$$I_2 = \frac{48}{40} = 1.2 \, A$$

$$I_3 = \frac{48}{96} = 0.5 \, A$$

$$I_T = 0.8 + 1.2 + 0.5 = 2.5 \, A \quad \checkmark$$

מד-הזרם A_1 נמצא בקו שאחרי ההסתעפות של R_1 , ולכן מזין יחד את R_2 ואת R_3 :

$$A_1 = I_2 + I_3 = 1.2 + 0.5 = 1.7 \text{ A}$$

מד-הזרם A_2 נמצא בקו שאחרי ההסתעפות של R_2 , ולכן מזין רק את R_3 :

$$A_2 = I_3 = 0.5 \text{ A}$$

$$A_1 = 1.7 \text{ A} ; A_2 = 0.5 \text{ A}$$

שאלה 3 — מעגל גשר עם מפסק

נתונים: $R_1 = 120 \Omega$ · $R_2 = 480 \Omega$ · $R_3 = 240 \Omega$ · $R_4 = 120 \Omega$ · $E = 36V$

מבנה המעגל: שני מחלקי מתח מקביליים אל המקור — הענף השמאלי (R_1 מעל R_2) והענף הימני (R_3 מעל R_4). המפסק S מחבר את נקודת האמצע השמאלית לנקודת האמצע הימנית.

סעיף א — המתח על R_3 (פתוח)

כשהמפסק פתוח כל ענף פועל בנפרד כמחלק מתח:

$$R(\text{ימני}) = R_3 + R_4 = 240 + 120 = 360 \Omega$$

$$U(R_3) = E \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_4} = 36 \times \frac{240}{360}$$

$$U(R_3) = 24 V$$

סעיף ב — ההספק שמספק המקור (S פתוח)

$$R(\text{שמאלי}) = R_1 + R_2 = 120 + 480 = 600 \Omega$$

$$I(\text{שמאלי}) = \frac{36}{600} = 0.06 A$$

$$I(\text{ימני}) = \frac{36}{360} = 0.10 A$$

$$I_T = 0.06 + 0.10 = 0.16 A$$

$$P = E \cdot I_T = 36 \times 0.16$$

$$P = 5.76 W$$

סעיף ג — ההתנגדות השקולה (S סגור)

סגירת המפסק מחברת בין נקודות האמצע. כתוצאה מכך R_1 מקביל ל- R_3 , ו- R_2 מקביל ל- R_4 :

$$R_1 \parallel R_3 = \frac{120 \times 240}{120 + 240} = \frac{28800}{360} = 80 \quad \Omega$$

$$R_2 \parallel R_4 = \frac{480 \times 120}{480 + 120} = \frac{57600}{600} = 96 \quad \Omega$$

$$R_T = 80 + 96$$

$$R_T = 176 \quad \Omega$$

סעיף ד — הזרם דרך R_4 (S סגור)

$$I_T = \frac{E}{R_T} = \frac{36}{176} = 0.2045 \text{ A}$$

$$U = I_T \times 96 = 0.2045 \times 96 = 19.64 \text{ V}$$

$$I(R_4) = \frac{U}{R_4} = \frac{19.64}{120}$$

$$I(R_4) \approx 0.164 \text{ A}$$

שאלה 4 — שני מקורות, רשת דו-צמתית

$$\text{נתונים: } E_1 = 21\text{V} \cdot E_2 = 15\text{V} \cdot R_1 = 15\ \Omega \cdot R_2 = 18\ \Omega \cdot R_3 = 15\ \Omega$$

שלושת הענפים מחוברים בין צומת A לצומת B. נבחר את הפוטנציאל בצומת B שווה לאפס ונפתור בשיטת מתח הצומת.

סעיף א — הזרמים I_1, I_2, I_3

נכתוב את חוק הזרמים של קירכהוף בצומת A:

$$\frac{21 - V_A}{15} + \frac{15 - V_A}{18} = \frac{V_A}{15}$$

$$126 - 6V_A + 75 - 5V_A = 6V_A$$

$$201 = 17V_A \rightarrow V_A = 11.82\text{ V}$$

$$I_1 = \frac{21 - 11.82}{15} = 0.612\text{ A}$$

$$I_2 = \frac{15 - 11.82}{18} = 0.177\text{ A}$$

$$I_3 = \frac{11.82}{15} = 0.788\text{ A}$$

בדיקה בצומת: הסכום $0.177 + 0.612$ שווה בקירוב ל- I_3 ✓

$$I_1 \approx 0.612\text{ A} ; I_2 \approx 0.177\text{ A} ; I_3 \approx 0.788\text{ A}$$

סעיף ב — ההספק שמספק המקור E_1

$$P(E_1) = E_1 \cdot I_1 = 21 \times 0.612$$

$$P(E_1) \approx 12.85\text{ W}$$

$$U_{AB} = V_A - V_B = 11.82 - 0$$

$$U_{AB} = I_3 \cdot R_3 = 0.788 \times 15 = 11.82 \text{ V } \checkmark$$

$$U_{AB} \approx 11.82 \text{ V}$$

שאלה 5 — מעגל RLC טורי בזרם חילופין

נתונים: $R = 20 \Omega \cdot L = 0.2H \cdot C = 100\mu F \cdot f = 50Hz \cdot U = 230V$

סעיף א — עכבת המעגל ואופיו

$$X_L = 2\pi f L = 2\pi \times 50 \times 0.2 = 62.83 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 100 \times 10^{-6}} = 31.83 \Omega$$

$$X = X_L - X_C = 62.83 - 31.83 = 31.0 \Omega$$

$$|Z| = \sqrt{20^2 + 31^2} = \sqrt{1361} = 36.89 \Omega$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{31}{20}\right) = 57.18^\circ$$

היגב המשרן גדול מהיגב הקבל, ההיגב השקול חיובי והזרם מפגר אחרי המתח — **המעגל השראותי**.

$$Z = 20 + j31 \Omega = 36.89 \Omega \angle 57.18^\circ$$

סעיף ב — המתח על רכיבי המעגל

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{230 \angle 0^\circ}{36.89 \angle 57.18^\circ} = 6.234 \angle -57.18^\circ A$$

$$U_R = I \cdot R = 6.234 \times 20 = 124.7 \angle -57.18^\circ V$$

$$U_L = I \cdot X_L = 6.234 \times 62.83 = 391.7 \angle +32.82^\circ V$$

$$U_C = I \cdot X_C = 6.234 \times 31.83 = 198.4 \angle -147.18^\circ V$$

$$U_R \approx 124.7 \angle -57.2^\circ V ; U_L \approx 391.7 \angle 32.8^\circ V ; U_C \approx 198.4 \angle -147.2^\circ V$$

$$P = I^2 \cdot R = 6.234^2 \times 20 \approx 777.2 \text{ W}$$

$$Q = I^2 \cdot X = 38.86 \times 31 \approx 1204.7 \text{ var}$$

$$S = U \cdot I = 230 \times 6.234 \approx 1433.8 \text{ VA}$$

בדיקה לפי משולש ההספקים, וכן מקדם ההספק:

$$S = \sqrt{777.2^2 + 1204.7^2} \approx 1433.6 \text{ VA} \quad \checkmark$$

$$\cos \phi = \frac{R}{|Z|} = \frac{20}{36.89} = 0.542$$

$$P \approx 777.2 \text{ W} ; Q \approx 1204.7 \text{ var} ; S \approx 1433.8 \text{ VA}$$

שאלה 6 — מעגל RLC טורי קיבולי

נתונים: $U = 15V$ · $R = 24 \Omega$ · $L = 60mH$ · $\omega = 400 \text{ rad/s}$ · מד-מתח על R קורא $12V$ · אופי קיבולי

סעיף א — היגב המשרן

$$X_L = \omega L = 400 \times 0.06$$

$$X_L = 24 \Omega$$

סעיף ב — עכבת המעגל

מד-המתח מודד את המתח על הנגד, ומכאן נחשב את הזרם המשותף:

$$I = \frac{U(R)}{R} = \frac{12}{24} = 0.5 \text{ A}$$

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{15}{0.5}$$

$$I = 0.5 \text{ A} ; Z = 30 \Omega$$

סעיף ג — מפל המתח על המשרן

$$U_L = I \cdot X_L = 0.5 \times 24$$

$$U_L = 12 \text{ V}$$

סעיף ד — היגב הקבל

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$

$$30^2 = 24^2 + X^2 \rightarrow X^2 = 324 \rightarrow |X_L - X_C| = 18 \Omega$$

נתון שאופי המעגל קיבולי, ולכן היגב הקבל גדול מהיגב המשרן:

$$X_C = X_L + 18 = 24 + 18$$

$$X_C = 42 \ \Omega$$

שאלה 7 — מעגל מקבילי עם ערכי זרם נתונים

נתונים: $R = 10 \Omega$ · חיבור מקבילי $I_R = 2.4A$ · $I_L = 0.5A$ · $I_C = 1.2A$

סעיף א — מתח המקור

בחיבור מקבילי המתח משותף לכל הענפים, ולכן נחשב אותו מהענף הנגדי:

$$U = I_R \cdot R = 2.4 \times 10$$

$$U = 24 \text{ V}$$

סעיף ב — הזרם המשולב וזרם הכללי

זרם המשרן וזרם הקבל מנוגדים בפאזה (הפרש של 180° ביניהם) ולכן נחסרים:

$$I_{LC} = I_C - I_L = 1.2 - 0.5 = 0.7 \text{ A}$$

הזרם הכללי הוא הסכום הפאזורי של זרם הנגד (בפאזה) ושל הזרם המשולב (מקדים ב- 90°):

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_{LC}^2} = \sqrt{2.4^2 + 0.7^2} = \sqrt{6.25}$$

$$I_{LC} = 0.7 \text{ A} ; I_T = 2.5 \text{ A}$$

סעיף ג — היגב המשרן והיגב הקבל

$$X_L = \frac{U}{I_L} = \frac{24}{0.5} = 48 \Omega$$

$$X_C = \frac{U}{I_C} = \frac{24}{1.2} = 20 \Omega$$

$$X_L = 48 \ \Omega ; X_C = 20 \ \Omega$$

סעיף ד — עכבת המעגל ואופיו

$$Z = \frac{U}{I_T} = \frac{24}{2.5} = 9.6 \ \Omega$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{I_{LC}}{I_R}\right) = \arctan\left(\frac{0.7}{2.4}\right) = 16.26^\circ$$

זרם הקבל גדול מזרם המשרן, ולכן הזרם הכללי **מקדים** את המתח — **המעגל קיבולי**.

$$Z = 9.6 \ \Omega \angle 16.26^\circ$$

שאלה 8 — רשת תלת-מופעית, עומס סימטרי בחיבור כוכב

נתונים: $Z = 8 + j4 \Omega$ לכל מופע · U (קווי) $= 400V \cdot f = 50Hz$ · חיבור כוכב

סעיף א — הזרם המופעי והזרם הקווי

$$|Z| = \sqrt{8^2 + 4^2} = \sqrt{80} = 8.944 \Omega ; \quad \phi = \arctan\left(\frac{4}{8}\right) = 26.57^\circ$$

בחיבור כוכב המתח המופעי קטן פי שורש שלוש מהמתח הקווי, והזרם הקווי שווה לזרם המופעי:

$$U(\text{מופע}) = \frac{U(\text{קווי})}{\sqrt{3}} = \frac{400}{1.732} = 231 V$$

$$I(\text{מופע}) = \frac{231}{8.944} = 25.83 A$$

$$I(\text{מופע}) = I(\text{קווי}) \approx 25.83 A$$

סעיף ב — ההספקים P , Q , S

$$P = 3 \cdot I_2 \cdot R = 3 \times 25.83 \times 8 \approx 16013 W$$

$$Q = 3 \cdot I_2 \cdot X = 3 \times 667.2 \times 4 \approx 8006 \text{ var}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \approx 17902 VA$$

בדיקה לפי ההספק המדומה בחיבור תלת-מופע:

$$S = \sqrt{3} \cdot U(\text{קווי}) \cdot I(\text{קווי}) = 17895 \approx 25.83 \times 400 \times 1.732 VA \checkmark$$

$$P \approx 16 \text{ kW} ; Q \approx 8 \text{ kvar} ; S \approx 17.9 \text{ kVA}$$

סעיף ג — מעבר מחיבור כוכב לחיבור משולש

במעבר לחיבור משולש כל עכבה מקבלת את המתח הקווי המלא במקום את המתח המופעי, כלומר מתח גדול פי שורש שלוש:

$$U(\text{מופעי}) = 400 \text{ V}$$

$$I(\text{מופעי}) = \frac{400}{8.944} = 44.72 \text{ A}$$

$$I(\text{קווי}) = \sqrt{3} \times 44.72 = 77.46 \text{ A}$$

$$P = 3 \cdot I(\text{מופעי})^2 \cdot R = 3 \times 44.72^2 \times 8 = 48000 \text{ W}$$

דרך מהירה: ההספק בחיבור משולש גדול פי שלוש מההספק בחיבור כוכב.

$$P(\text{משולש}) = 48 \text{ kW}$$

כלל אצבע:  עבור אותו עומס ואותה רשת, ההספק בחיבור משולש גדול פי שלושה מההספק בחיבור כוכב. זהו העיקרון שבבסיס מתנע כוכב-משולש להנעת מנועים.

שאלה 9 — פישוט פונקציה מטבלת אמת

נתונים: פונקציה F של שלושה משתנים X, Y, Z נתונה בטבלת אמת

סעיף א — הצגה במפת קרנו ופישוט

טבלת האמת של הפונקציה:

X	Y	Z	F
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

נעביר את הערכים למפת קרנו — שורות לפי X, עמודות לפי YZ בסדר קוד גרעי:

X \ YZ	00	01	11	10
0	1	1	0	1
1	1	1	1	0

קיבוץ ראשון — ריבוע של ארבעה תאים בעמודות YZ=00 ו-01 בשתי השורות, המשתנה המשותף היחיד הוא המשלים של Y. קיבוץ שני — שני תאים בשורה X=0 בעמודות 00 ו-10. קיבוץ שלישי — שני תאים בשורה X=1 בעמודות 01 ו-11.

$$F = \bar{Y} + \bar{X} \cdot \bar{Z} + X \cdot Z$$

 **שימו לב:** שני האיברים האחרונים יוצרים יחד את הפונקציה $\bar{x} \cdot \bar{z} + x \cdot z$, שהיא בדיוק פעולת ה-XNOR של X ו-Z. אפשר לכתוב אפוא גם: $F = \bar{y} + \overline{x \oplus z}$.

סעיף ב — מימוש בשערים לוגיים

נדרשים שלושה מהפכים (על X, Y, Z), שני שערי AND וז-כניסיים ושער OR תלת-כניסי, המחוברים כך שכל איבר במכפלה נכנס לשער OR המשותף.

סעיף ג — מימוש במערכת מתגים

סכום לוגי מתממש בענפים מקביליים, ומכפלה לוגית מתממשת במגעים בטור. לכן המערכת בנויה משלושה ענפים המחוברים במקביל: ענף אחד עם מגע המשלים של Y, ענף שני עם שני מגעים בטור למשלים של X ולמשלים של Z, וענף שלישי עם שני מגעים בטור ל-X ול-Z.

שאלה 10 — שערים בסיסיים ומערכת לוגית

נתונים: מערכת המשלבת מהפכים, שער NAND, שער AND ושער NOR

סעיף א1 — טבלת האמת של שער NAND

השער מבצע מכפלה לוגית ולאחריה שלילה. המוצא הוא 0 רק כאשר שתי הכניסות הן 1:

A	B	$F_1 = \text{NAND}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

סעיף א2 — טבלת האמת של שער NOR

השער מבצע סכום לוגי ולאחריו שלילה. המוצא הוא 1 רק כאשר שתי הכניסות הן 0:

A	B	$F_2 = \text{NOR}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

סעיף ב — הביטוי במוצא המערכת

נעקוב אחרי המערכת שער אחרי שער: שני המהפכים נותנים את המשלים של A ואת המשלים של B; שער ה-NAND פועל עליהם; שער ה-AND נותן את המכפלה של B ו-C; ושער ה-NOR הסופי מאחד את הכול:

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

סעיף ג — פישוט

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

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

לפי חוק הבליעה, הסכום $B + B \cdot C$ שווה ל- B , ולאחר מכן חוק דה-מורגן:

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

$$F = \bar{A} \cdot \bar{B} = \overline{A + B} \text{ (ליטרלים 2)}$$

המסקנה:  המשתנה C נעלם לחלוטין מהפונקציה. כל המערכת המורכבת שקולה לשער NOR יחיד עם הכניסות A ו- B בלבד — דוגמה מצוינת לחשיבות הפישוט לפני המימוש.

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

שאלות 11-12 — לתלמידי בקרת אקלים

שאלה 11 — מחזור תלת-שלבי של גז אידיאלי

נתונים: גז חד-אטומי $A \rightarrow B$ · $P_A = 1 \text{ atm}$ · $T_B = 300 \text{ K}$ · $T_A = 450 \text{ K}$ אדיאבטי · $B \rightarrow C$ איזוברי · $C \rightarrow A$ איזוכורי

סעיף א — הגדרת המושגים

תהליך איזוכורי — תהליך שבו נפח הגז נשאר קבוע. הגז אינו מבצע עבודה, וכל החום הנכנס או היוצא משנה את האנרגייה הפנימית בלבד. הלחץ והטמפרטורה משתנים ביחס ישר.

תהליך אדיאבטי — תהליך שבו אין חילופי חום עם הסביבה. העבודה נעשית כולה על חשבון האנרגייה הפנימית של הגז, ומתקיים בו הקשר שמכפלת הלחץ בנפח בחזקת גמא נשארת קבועה.

תהליך איזוברי — תהליך שבו לחץ הגז נשאר קבוע. הנפח והטמפרטורה משתנים ביחס ישר זה לזה, והעבודה מחושבת ממכפלת הלחץ בשינוי הנפח.

סעיף ב — סרטוט המחזור במישור לחץ-נפח

המחזור סגור: הגז מתפשט אדיאבטית מנקודה A לנקודה B, נדחס בלחץ קבוע מ-B ל-C (שם הנפח שווה לנפח ההתחלתי), וחוזר לנקודת המוצא בנפח קבוע. הגרף מתחיל בלחץ גבוה ונפח קטן ב-A, יורד בעקומה תלולה ל-B, ממשיך אופקית שמאלה ל-C, ועולה אנכית חזרה ל-A.

סעיף ג — חישוב הטמפרטורה TC

$$\gamma = \frac{5}{3} = 1.667$$

הלחץ בנקודה B מתקבל מהקשר האדיאבטי בין הלחץ לטמפרטורה:

$$\frac{P_B}{P_A} = \left(\frac{T_B}{T_A} \right)^{2.5} = (0.6667)^{2.5} = 0.363$$

$$P_B = 1 \times 0.363 = 0.363 \text{ atm}$$

התהליך $B \rightarrow C$ איזוברי ולכן הלחץ נשמר, והתהליך $C \rightarrow A$ איזוכורי ולכן הנפח נשמר. משוואת המצב בין A ל-C נותנת:

$$\frac{T_C}{T_A} = \frac{P_C}{P_A} = 0.363$$

$$T_C = 450 \times 0.363$$

$$T_C \approx 163.4 \text{ K} \approx -109.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

שאלה 12 — התפשטות איזותרמית ועבודת הגז

נתונים: $n = 5 \text{ mol}$ · $T = 15^\circ\text{C}$ · $V_2/V_1 = 5/4$ · תהליך איזותרמי

סעיף א — הגדרת המושג "תהליך איזותרמי"

תהליך איזותרמי הוא תהליך שבו הטמפרטורה של הגז נשארת קבועה לאורך כולו. עבור גז אידיאלי מתקיים בו חוק בויל: מכפלת הלחץ בנפח קבועה. מכיוון שהאנרגייה הפנימית של גז אידיאלי תלויה בטמפרטורה בלבד, שינוי האנרגייה הפנימית בתהליך שווה לאפס.

סעיף ב — החוק הראשון של התרמודינמיקה

ניסוח כללי: שינוי האנרגייה הפנימית שווה להפרש בין החום שנמסר לגז לבין העבודה שהגז מבצע.

$$\Delta U = Q - W$$

בתהליך איזותרמי הטמפרטורה קבועה, ולכן שינוי האנרגייה הפנימית שווה לאפס, ומכאן שכל החום שנכנס הופך במלואו לעבודה:

$$Q = W$$

סעיף ג — העבודה שביצע הגז

$$W = n \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$T = 15 + 273 = 288 \text{ K}$$

$$n \cdot R \cdot T = 5 \times 8.314 \times 288 = 11972 \text{ J}$$

$$\ln(1.25) = 0.2231$$

$$W = 11972 \times 0.2231$$

$$W \approx 2671 \text{ J} \approx 2.67 \text{ kJ}$$

העבודה חיובית — הגז התפשט וביצע עבודה על סביבתו. מכיוון שהתהליך איזותרמי, גם החום שנמסר לגז שווה ל-2671 ג'אול.