



תורת החשמל רפורמה

להנדסאים ולטכנאים – הנדסת חשמל

פתרון בחינה 90711, 93611, 92023, 90611, 97160 – קיץ 2025 – מועד א

פתרון שאלה 1

.א

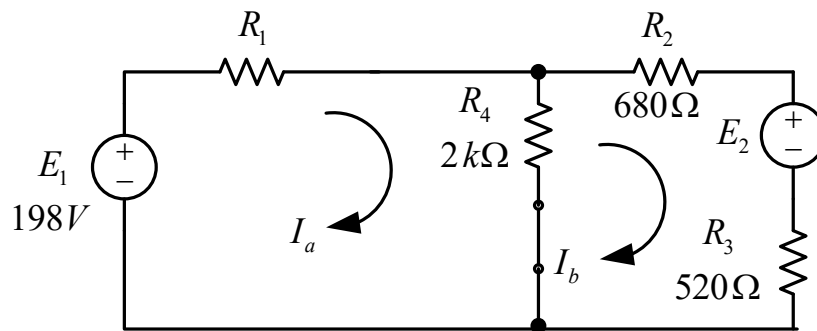
$$104 = E_2 + I_A \cdot R_3 = E_2 + 0.05 \cdot 520 \Rightarrow E_2 = 78V$$

.ב

$$E_1 - I_A \cdot R_1 - I_A \cdot R_2 - 104 = 0$$

$$198 - 0.05 \cdot R_1 - 0.05 \cdot 680 - 104 = 0 \Rightarrow R_1 = 1.2 k\Omega$$

.ג



$$\begin{pmatrix} R_1 + R_4 & -R_4 \\ -R_4 & R_2 + R_3 + R_4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_a \\ I_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 \\ -E_2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1.2 + 2 & -2 \\ -2 & 0.68 + 0.52 + 2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_a \\ I_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 198 \\ -78 \end{pmatrix}$$

$$I_a = 76.538 mA, I_b = 23.462 mA$$

$$I_{R1} = I_a = 76.538 mA$$

$$I_{R4} = I_a - I_b = 76.538 - 23.462 = 53.076 mA$$

.ד

$$P_{E2} = E_2 \cdot I_b = 78 \cdot 23.462 m = 1.83 W$$

מתנהג כצרכן.

פתרון שאלה 2

א. נחשב את מתח בצמתים a ו-b כאשר נגד R_L מנותק. משוואות הזרמים:

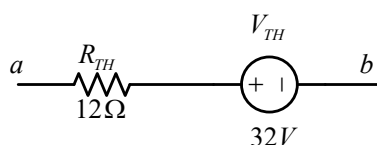
$$\frac{V_a - (V_b + V_2)}{R_1} - I = 0 ; \frac{V_b + V_2 - V_a}{R_1} + \frac{V_b + V_2 - V_1}{R_2} + \frac{V_b}{R_3} = 0$$

$$\frac{V_a - (V_b + 8)}{12} - 2 = 0 ; \frac{V_b + 8 - V_a}{12} + \frac{V_b + 8 - 14}{8} + \frac{V_b}{20} = 0$$

$$V_a = 47.714V, V_b = 15.714V \Rightarrow V_{TH} = V_a - V_b = 32V$$

$$R_{TH} = R_1 = 12\Omega$$

מעגל תבנית מוצג באיור הבא:



ב. חישוב הספק מכסימלי:

$$P_{\max} = \frac{V_{TH}^2}{4 \cdot R_{TH}} = \frac{32^2}{4 \cdot 12} = 21.333W ; 0.5 \cdot P_{\max} = 10.666W$$

$$P = \left(\frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_L} \right)^2 \cdot R_L ; 10.666 = \left(\frac{32}{12 + R_L} \right)^2 \cdot R_L$$

$$R_{L1} = 2.058\Omega ; R_{L2} = 69.947\Omega$$

ג.

$$I_L = \frac{V_{TH}}{R_{TH}} = \frac{32}{12} = 2.667A$$

הזרם זורם מ-a ל-b.

פתרון שאלה 3

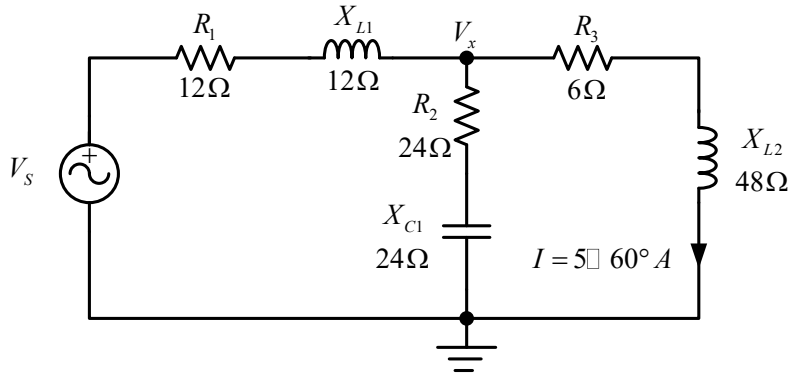
הערה לבדוק- נא לשים לב שבהצגה הפולארית סימני הזוויות מוצגות כחלק מהביטויים כמלבן במקום הסימון התקני
א.

$$X_{L1} = \omega \cdot L_1 = 1000 \cdot 12m = 12 \Omega$$

$$X_{L2} = \omega \cdot L_2 = 1000 \cdot 48m = 48 \Omega$$

$$X_{C1} = \frac{1}{\omega \cdot C_1} = \frac{1}{1000 \cdot 41.6666 \cdot 10^{-6}} = 24 \Omega$$

המעגל מתואר באיור הבא :



$$V_x = I \cdot (R_3 + jX_{L2}) = 5 \angle 60^\circ \cdot (6 + 48j) = 241.867 \angle 142.874^\circ V$$

$$I_{R2} = \frac{V_x}{R_2 - jX_{C1}} = \frac{241.867 \angle 142.874^\circ}{24 - 24j} = 7.126 \angle -172.125^\circ A$$

$$I_T = I_{L2} + I_{R2} = 5 \angle 60^\circ + 7.126 \angle -172.125^\circ = 5.659 \angle 143.659^\circ A$$

$$V_S = V_x + I_T \cdot (R_1 + jX_{L1}) = 241.867 \angle 142.874^\circ + 5.659 \angle 143.659^\circ \cdot (12 + 12j) = 316.425 \angle 155.44^\circ V$$

ב.

$$S = V \cdot I_T^* = 316.425 \angle 155.44^\circ \cdot 5.659 \angle -143.659^\circ$$

$$S = 1790.65 \angle 11.769^\circ VA = (1753 + j365.232) VA$$

$$P = 1753 W, Q = 365.232 VA_r$$

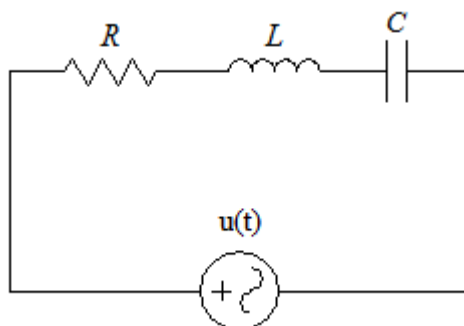
ג.

$$\cos \varphi = \cos(11.769) = 0.9789$$

ד.

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{316.425 \angle 155.44^\circ}{5.659 \angle 143.659^\circ} = 55.915 \angle 11.781^\circ \Omega = 54.737 + 11.416j$$

פתרון שאלה 4



א. מציאת הרכיבים

$$R = \frac{U}{I} = \frac{0.2}{10m} = 20 \Omega$$

$$Q = \frac{\omega_0 \cdot L}{R} \quad \rightarrow \quad 20 = \frac{2000 \cdot L}{20} \quad \rightarrow \quad L = 0.2H$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad \rightarrow \quad 2000 = \frac{1}{\sqrt{C \cdot 0.2}} \quad \rightarrow \quad C = 1.25 \mu F$$

ב. בתהודה טורית הקבל והסליל מתנהגים כמו קו קצר.

$$\vec{I}_T = \frac{\vec{U}}{R_T} = \frac{10 \angle 0^\circ}{20} = 0.5 \angle 0^\circ A$$

$$P = |I|^2 \cdot R = 0.5^2 \cdot 20 = 5 W \quad \quad Q = 0 VAR$$

במצב תהודה האופי אוהמי טהור ולכן אין הספק היגבי.

ג. גורם הספק ואופי בתדר $\omega = 1000\pi$ r/s , $f = 500$ Hz

$$Z_L = j \cdot 1000\pi \cdot 0.2 = 628.318j \Omega \quad \quad Z_C = \frac{-j}{1000\pi \cdot 1.25\mu} = -254.648j \Omega$$

$$Z_T = 20 + 373.63j \Omega = 374.205 \angle 86.936^\circ \Omega$$

אופי השראי , גורם הספק $\cos\Phi = \cos 86.9 = 0.053$

פתרון שאלה 5

4 נק' א. הזרם המופעי I_{PH} : $I_{PH} = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{27.385}{\sqrt{3}} = 15.811 A$

7 נק' ב. המתח הקווי U_L : $U_L = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot I_L} = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 27.385} = 63.2482 V$

6 נק' ג. ההספק המתפתח בצרכן אחרי התקלה

לפני התקלה, $R_{PH} = \frac{P_{PH}}{I_{PH}^2} = \frac{1000}{(15.811)^2} = 4 \Omega$

אחרי התקלה, $R_{Total}[R_2 || (R_1 + R_3)] = \frac{R_2 \cdot (R_1 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{4 \cdot (4 + 4)}{4 + 4 + 4} = 2.667 \Omega$

$I_L(new) = \frac{U_L}{R_{total}} = \frac{63.2482}{2.667} = 23.715 A$

$P_{new} = U_L \cdot I_L(new) = 63.2482 \cdot 23.715 = 1.5 kW$

3 נק' ד. הזרמים הזורמים בנגדים לאחר התקלה

$I_{R3} = \frac{U_L}{R_3} = \frac{63.2482}{4} = 15.812 A$

$I_{R1} = I_{R2} = 0.5 \cdot I_{R2} = 7.9 A$

פתרון שאלה 6

4 נק' א. ההתנגדות המגנטית של המעגל.

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 \cdot H} = \frac{0.6}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 400} = 1193.6621 \cong 1194$$

$$R_{mT} = \frac{l_e}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A} + \frac{2 \cdot l_g}{\mu_0 \cdot A} = \frac{0.84}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1194 \cdot 25 \cdot 10^{-4}} + \frac{2 \cdot 0.003}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 25 \cdot 10^{-4}}$$

$$R_{mT} = 223,936.6 + 1,909,859.32 = 2,133,795.92 = \mathbf{2,133,796 \frac{AT}{Wb}}$$

6 נק' ב. צפיפות השטף המגנטית B .

$$B = \frac{N \cdot I}{A \cdot R_{mT}} = \frac{220 \cdot 4}{25 \cdot 10^{-4} \cdot 2,133,796} = \mathbf{0.165 \frac{Wb}{m^2}}$$

4 נק' ג. ההשראות העצמית של הסליל L .

$$L = \frac{N^2}{R_{mT}} = \frac{220^2}{2,133,796} = 0.02268 = \mathbf{22.68 mH}$$

ניתן גם:

$$L = \frac{N \cdot \Phi}{I} = \frac{N \cdot B \cdot A}{I}$$

6 נק' ד. הזרם I^* הדרוש בעבור צפיפות שטף מגנטית מרבית B_{max} .

$$I^* = \frac{B_{max} \cdot A \cdot R_{mT}}{N} = \frac{0.6 \cdot 0.0025 \cdot 2,133,796}{220} = \mathbf{14.55 A}$$

פתרון שאלה 7

א. האנרגיה האגורה בסליל והמתח בין A-B

בגלל הנתק בין A-B נוצרים 2 מעגלי זרימה שאינם תלויים זה בזה.

$$I_{L_1} = \frac{U_1}{R_1 + R_2} = \frac{120}{(6 + 4)k} = 12 \text{ mA} \quad \rightarrow \quad W_{L_1} = \frac{40\mu \cdot (12m)^2}{2} = 2.88 \text{ nJ}$$

$$I_{L_2} = \frac{U_2}{R_3 + R_4} = \frac{40}{(20 + 5)k} = 1.6 \text{ mA} \quad \rightarrow \quad W_{L_2} = \frac{25\mu \cdot (1.6m)^2}{2} = 32 \text{ pJ}$$

$$U_{AB} = U_{R_2} - U_{R_4} = 4K \cdot 12m - 5K \cdot 1.6m = 48 - 8 = 40 \text{ V}$$

ב. מתח ואנרגיה בכל קבל

נחשב קיבול שקול :

$$C_T = \frac{1}{20^{-1} + 4^{-1} + 5^{-1}} = 2 \mu F$$

$$Q_{C_1} = Q_{C_2} = Q_{C_3} = 2\mu \cdot 40 = 80 \mu C$$

$$U_{C_1} = \frac{80\mu}{20\mu} = 4 \text{ V} \quad \rightarrow \quad W_{C_1} = \frac{20\mu \cdot 4^2}{2} = 160 \mu J$$

$$U_{C_2} = \frac{80\mu}{4\mu} = 20 \text{ V} \quad \rightarrow \quad W_{C_2} = \frac{4\mu \cdot 20^2}{2} = 800 \mu J$$

$$U_{C_3} = \frac{80\mu}{5\mu} = 16 \text{ V} \quad \rightarrow \quad W_{C_3} = \frac{5\mu \cdot 16^2}{2} = 640 \mu J$$

ג. האנרגיה הנצרכת במעגל ביחידות וואט-שעה, במשך 20 שעות

$$P_{U_1} = 120 \cdot 12m = 1.44 \text{ W} \quad , \quad P_{U_2} = 40 \cdot 1.6m = 64 \text{ mW}$$

$$P_T = 1.44 + 64m = 1.504 \text{ W}$$

$$W_T = P \cdot t = 1.504 \cdot 20 = 30.08 \text{ Wh}$$

פתרון שאלה 8

.א.

$$v_1(t): 4 \cdot T = 8\mu \Rightarrow T = 2 \mu \text{sec} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\mu} = 500 \text{kHz}$$

$$v_2(t): T = 8 \mu \text{sec} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{8 \mu \text{sec}} = 125 \text{kHz}$$

.ב.

$$v_1(t) = 6 + 6 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 125k \cdot t) = 6 + 6 \cdot \sin(\pi \cdot 10^6 \cdot t) \text{ V}$$

$$v_2(t) = 10 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 125k \cdot t) = 10 \cdot \sin(2.5 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot t) \text{ V}$$

.ג+ד.

$$v_R(t) = v_1(t) - v_2(t) = 6 + 6 \cdot \sin(\pi \cdot 10^6 \cdot t) - 10 \cdot \sin(2.5 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot t) \text{ V}$$

$$V_{avg} = 6 \text{ V}$$

.ה.

$$V_{R(rms)} = \sqrt{V_{DC}^2 + V_{rms1}^2 + V_{rms2}^2} = \sqrt{6^2 + \left(\frac{6}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{10}{\sqrt{2}}\right)^2} = 10.198 \text{ V}$$

.ו.

$$P = \frac{V_{R(rms)}^2}{R} = \frac{10.198^2}{10} = 10.4 \text{ W}$$

© כל הזכויות שמורות למה"ט