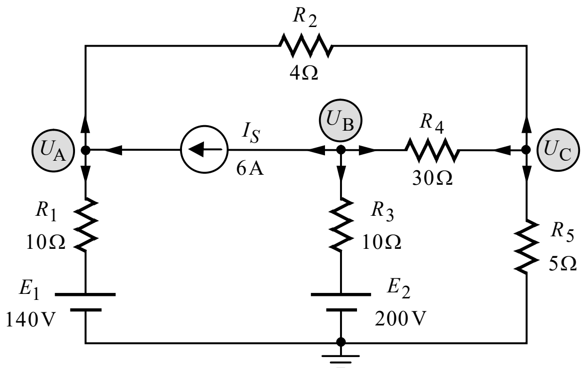
פתרון מלא לבחינת מה״ט בתורת החשמל – קיץ 2025 מועד ב׳

שאלה 1

א.



הנחנו כתמיד שכל הזרמים יוצאים מכל צומת וצומת (מלבד הזרם בענף של מקור הזרם).
נמצא את משוואות הצמתים.

צומת A:

נרשום את משוואת הזרמים על פי קירכהוף עבור צומת A:

שלב א׳: $$(\mathrm{A})\; I_{R_1} - I_S + I_{R_2} = 0$$

נבטא את הזרמים כמתח חלקי התנגדות (מלבד הזרם בענף של מקור הזרם):

שלב ב׳: $$(\mathrm{A})\; \frac{U_A - E_1}{R_1} - I_S + \frac{U_A - U_C}{R_2} = 0$$

נסדר את המשוואה שקיבלנו:

שלב ג׳: $$(\mathrm{A})\; \left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)U_A - (0)U_B - \left(\frac{1}{R_2}\right)U_C = \frac{E_1}{R_1} + I_S$$

נציב ערכים:

שלב ד׳: $$(\mathrm{A})\; \left(\frac{1}{10}+\frac{1}{4}\right)U_A - (0)U_B - \left(\frac{1}{4}\right)U_C = \frac{140}{10} + 6$$

צומת B:

נרשום את משוואת הזרמים על פי קירכהוף עבור צומת B:

שלב א׳: $$(\mathrm{B})\; I_S + I_{R_3} + I_{R_4} = 0$$

נבטא את הזרמים כמתח חלקי התנגדות (מלבד הזרם בענף של מקור הזרם):

שלב ב׳: $$(\mathrm{B})\; I_S + \frac{U_B - E_2}{R_3} + \frac{U_B - U_C}{R_4} = 0$$

נסדר את המשוואה שקיבלנו:

שלב ג׳: $$(\mathrm{B})\; -(0)U_A + \left(\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}\right)U_B - \left(\frac{1}{R_4}\right)U_C = \frac{E_2}{R_3} - I_S$$

נציב ערכים:

שלב ד׳: $$(\mathrm{B})\; -(0)U_A + \left(\frac{1}{10}+\frac{1}{30}\right)U_B - \left(\frac{1}{30}\right)U_C = \frac{200}{10} - 6$$

<u>צומת C:</u>

נרשום את משוואת הזרמים על פי קירכהוף עבור צומת C:

שלב א': $(\mathrm{C})\ I_{R_5}+I'_{R_4}+I'_{R_2}=0$

נבטא את הזרמים כמתח חלקי התנגדות:

שלב ב': $(\mathrm{C})\ \dfrac{U_\mathrm{C}-0}{R_5}+\dfrac{U_\mathrm{C}-U_\mathrm{B}}{R_4}+\dfrac{U_\mathrm{C}-U_\mathrm{A}}{R_2}=0$

נסדר את המשוואה שקיבלנו:

שלב ג': $(\mathrm{C})-\left(\dfrac{1}{R_2}\right)U_\mathrm{A}-\left(\dfrac{1}{R_4}\right)U_\mathrm{B}+\left(\dfrac{1}{R_5}+\dfrac{1}{R_4}+\dfrac{1}{R_2}\right)U_\mathrm{C}=0$

נציב ערכים:

שלב ד': $(\mathrm{C})-\left(\dfrac{1}{4}\right)U_\mathrm{A}-\left(\dfrac{1}{30}\right)U_\mathrm{B}+\left(\dfrac{1}{5}+\dfrac{1}{30}+\dfrac{1}{4}\right)U_\mathrm{C}=0$

<u>לסיכום:</u>

קיבלנו שלוש משוואות בשלושה נעלמים:

$$\begin{cases}(\mathrm{A})\ \left(\dfrac{1}{10}+\dfrac{1}{4}\right)U_\mathrm{A}-(0)U_\mathrm{B}-\left(\dfrac{1}{4}\right)U_\mathrm{C}=\dfrac{140}{10}+6\\ (\mathrm{B})-(0)U_\mathrm{A}+\left(\dfrac{1}{10}+\dfrac{1}{30}\right)U_\mathrm{B}-\left(\dfrac{1}{30}\right)U_\mathrm{C}=\dfrac{200}{10}-6\\ (\mathrm{C})-\left(\dfrac{1}{4}\right)U_\mathrm{A}-\left(\dfrac{1}{30}\right)U_\mathrm{B}+\left(\dfrac{1}{5}+\dfrac{1}{30}+\dfrac{1}{4}\right)U_\mathrm{C}=0\end{cases}$$

פתרון המשוואות נותן:

$U_\mathrm{A}=100(\mathrm{V})$

$U_\mathrm{B}=120(\mathrm{V})$

$U_\mathrm{C}=60(\mathrm{V})$

ב. נחשב את הזרם העובר דרך E_1, בעזרת הביטוי שקיבלנו לעיל בשלב ב' של משוואת צומת A:

$$I_{E_1}=I_{R_1}=\frac{U_\mathrm{A}-E_1}{R_1}=\frac{100-140}{10}=-4(\mathrm{A})$$

ביטוי זה נלקח ממשוואת צומת A, שלגביה הנחנו שכל הזרמים יוצאים מהצומת. קיבלנו תוצאה שלילית, מה שאומר שכיוונו של הזרם הפוך להנחה ההתחלתית – כלומר **הוא נכנס לצומת A**. נמצא שהזרם יוצא מההדק החיובי של E_1 ולכן מקור זה **ספק**. נחשב את ההספק שלו:

$$P_{E_1}=E_1\cdot I_{E_1}=140\cdot 4=560(\mathrm{W})$$

נחשב את הזרם העובר דרך E_2, בעזרת הביטוי שקיבלנו לעיל בשלב ב׳ של משוואת צומת B :

$$I_{E_2} = I_{R_3} = \frac{U_\mathrm{B} - E_2}{R_3} = \frac{120-200}{10} = -8(\mathrm{A})$$

גם כאן קיבלנו תוצאה שלילית, מה שאומר שכיוונו של הזרם הפוך להנחה ההתחלתית – כלומר **הוא נכנס לצומת B**. נמצא שהזרם יוצא מההדק החיובי של E_2 ולכן מקור זה **ספק**. נחשב את ההספק שלו :

$$P_{E_2} = E_2 \cdot I_{E_2} = 200 \cdot 8 = 1600(\mathrm{W})$$

נחשב כעת את המתח של I_S :

$$U_{I_S} = U_\mathrm{A} - U_\mathrm{B} = 100-120 = -20(\mathrm{V})$$

המתח של מקור הזרם יצא שלילי ולכן מקור זה **צרכן** (או במילים אחרות – הפוטנציאל בצד ראש החץ קטן מהפוטנציאל בצד בסיס החץ, ולכן מקור זה צרכן). נחשב את ההספק שלו :

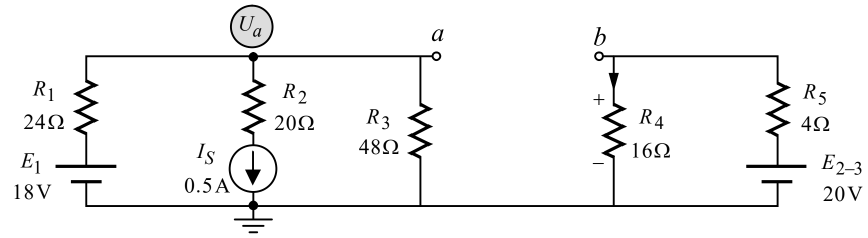
$$P_{I_S} = U_{I_S} \cdot I_S = 20 \cdot 6 = 120(\mathrm{W})$$

ג. התבאר בסעיף הקודם : מקורות המתח ספקים, ומקור הזרם צרכן.

שאלה 2

א. **חישוב מתח תבנין:**

נתנק את R_L ונשרטט את המעגל המתקבל:



ביאור: ניתוקו של R_L גורם לכך ששני חלקי המעגל מתפקדים כשני מעגלים נפרדים (במצב זה לא עובר זרם דרך התיל התחתון המחבר בין שני חלקי המעגל). את המקורות E_2 ו- E_3 צמצמנו למקור אחד שקול. מאחר והכיוונים שלהם מנוגדים אחד לשני, חיסרנו בין המקורות באופן הבא:

$$E_{2-3} = E_3 - E_2 = 28 - 8 = 20(\text{V})$$

קוטביות המתח של R_4 סומנה מראש על גבי השרטוט (בנגד נקודת הכניסה של הזרם מקבלת סימן "פלוס"). נחשב את המתח של נגד זה בעזרת כלל מחלק המתח:

$$U_{R_4} = \frac{E_{2-3} \cdot R_4}{R_4 + R_5} = \frac{20 \cdot 16}{16+4} = 16(\text{V})$$

ניעזר במשפט מילמן ונחשב את U_a:

$$U_a = \frac{\frac{E_1}{R_1} - I_S}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3}} = \frac{\frac{18}{24} - 0.5}{\frac{1}{24} + \frac{1}{48}} = 4(\text{V})$$

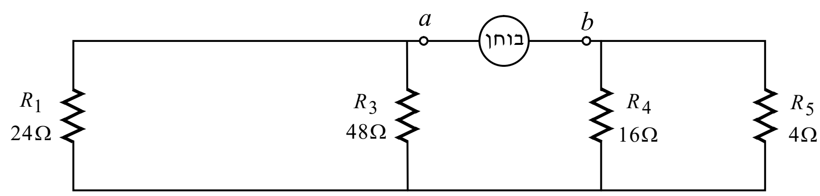
נצא למסלול מתחים מ-a ל-b ונחשב את E_{Th}:

$$E_{\text{Th}} = U_{ab} = U_a - U_{R_4} = 4 - 16 = -12(\text{V})$$

התוצאה השלילית שקיבלנו עבור E_{Th} אומרת, שיש לחברו כך שההדק החיובי שלו יפנה אל נקודה b (הנקודה שבה סיימנו את מסלול המתחים). תהיה לדבר חשיבות בסעיף ג'.

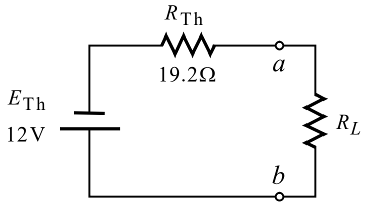
חישוב התנגדות תבנין:

נקצר את מקורות המתח, ננתק את מקור הזרם, נניח מקור בוחן בין a ל-b, ונשרטט את המעגל המתקבל:



$$R_{\text{Th}} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3}\right)^{-1} + \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{24} + \frac{1}{48}\right)^{-1} + \left(\frac{1}{16} + \frac{1}{4}\right)^{-1} = 19.2(\Omega)$$

נשרטט את מעגל תבנין המתקבל כנדרש בשאלה:



ב. נמצא תחילה את ערך ההספק המרבי. התנאי להעברת הספק מרבי הוא:

$$R_L = R_{Th} = 19.2(\Omega)$$

נחשב את ההספק המרבי:

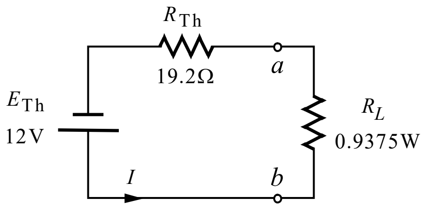
$$I = \frac{E_{Th}}{R_{Th} + R_L} = \frac{12}{19.2 + 19.2} = 0.3125(A)$$

$$P_{R_{L(\max)}} = I^2 \cdot R_L = 0.3125^2 \cdot 19.2 = 1.875(W)$$

חצי מההספק המרבי הוא אפוא:

$$P_{R_L} = \frac{P_{R_{L(\max)}}}{2} = \frac{1.875}{2} = 0.9375(W)$$

כעת עלינו לחשב אֵילו ערכים של R_L נותנים הספק זה. ישנם שני ערכים כאלה. נחבר את R_L למעגל תבנין ונציין על גביו את הידוע לנו:



נרשום את מאזן ההספקים של המעגל:

$$P_E = P_{R_{Th}} + P_{R_L}$$

נבטא את ההספקים בעזרת נוסחאות ההספקים המוכרות, מלבד ההספק של R_L שערכו ידוע לנו:

$$E_{Th} \cdot I = I^2 \cdot R_{Th} + 0.9375$$

נציב ערכים ונסדר את המשוואה בצורה של משוואה ריבועית (נציין כי ערך הזרם שקיבלנו לעיל התקבל עבור $R_L = R_{Th}$ ועבור מצב של הספק מרבי, ולכן הוא אינו רלוונטי כעת):

$$12I = 19.2I^2 + 0.9375$$

$$19.2I^2 - 12I + 0.9375 = 0$$

קיבלנו משוואה ריבועית שלה שני פתרונות:

$$I_1 = 0.533(A)$$

$$I_2 = 0.091(A)$$

ניעזר בשני פתרונות אלה ובמעגל תבנין שקיבלנו, ונחשב עבורם שני ערכים של R_L :

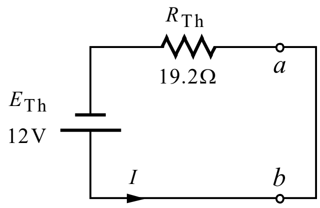
$$P_{R_L} = {I_2}^2 \cdot R_{L_2} \quad \Rightarrow$$

$$R_{L_2} = \frac{P_{R_L}}{{I_2}^2} = \frac{0.9375}{0.091^2} = 111.905(\Omega)$$

$$P_{R_L} = {I_1}^2 \cdot R_{L_1} \quad \Rightarrow$$

$$R_{L_1} = \frac{P_{R_L}}{{I_1}^2} = \frac{0.9375}{0.533^2} = 3.294(\Omega)$$

ג. נחבר תיל בין a ל-b במעגל תבנין שקיבלנו:

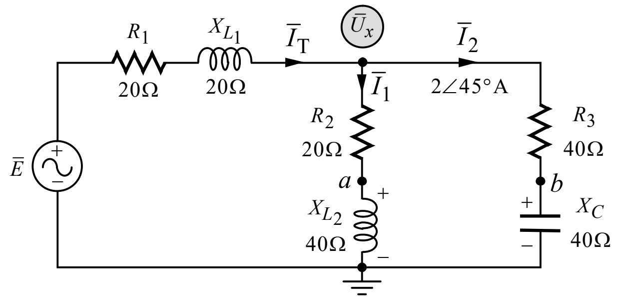


כיוונו של הזרם הוא מ-b ל-a, זאת בהתאם לכיוונו של E_{Th} אותו קיבלנו. נחשב את גודלו של הזרם:

$$I = \frac{E_{Th}}{R_{Th}} = \frac{12}{19.2} = 0.625(A)$$

שאלה 3

א.



לשם הנוחות הענקנו סימונים לכל זרמי המעגל. כמו כן סימנו את הקוטביות של X_{L_2} ושל X_C לצורך סעיף ב' (בהיגב כמו בנגד, נקודת הכניסה של הזרם מקבלת סימן "פלוס"). נחשב תחילה את העכבה השקולה של המעגל:

$$\bar{Z}_T = R_1 + jX_{L_1} + \left(\frac{1}{R_2 + jX_{L_2}} + \frac{1}{R_3 - jX_C}\right)^{-1} = 20 + 20j + \left(\frac{1}{20+40j} + \frac{1}{40-40j}\right)^{-1} =$$

$$= 60 + 33.33j(\Omega) = 68.637\angle 29.054°(\Omega)$$

נחשב את מתח המקור:

$$\bar{U}_x = \bar{I}_2 \cdot (R_3 - jX_C) = (2\angle 45°)(40-40j) = 113.137\angle 0°(\text{V})$$

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{U}_x}{R_2 + jX_{L_2}} = \frac{113.137\angle 0°}{20+40j} = 2.529\angle -63.43°(\text{A})$$

$$\bar{I}_T = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 = 2.529\angle -63.43° + 2\angle 45° = 2.683\angle -18.43°(\text{A})$$

$$\bar{E} = \bar{I}_T \cdot \bar{Z}_T = (2.683\angle -18.43°)(60+33.33j) = 184.173\angle 10.61°(\text{V})$$

ב. נחשב את המתחים של X_{L_2} ושל X_C:

$$\bar{U}_{X_{L_2}} = \bar{I}_1 \cdot (jX_{L_2}) = (2.529\angle -63.43°)(40j) = 101.192\angle 26.56°(\text{V})$$

$$\bar{U}_{X_C} = \bar{I}_2 \cdot (-jX_C) = (2\angle 45°)(-40j) = 80\angle -45°(\text{V})$$

נחשב את המתח בין a ל-b בעזרת מסלול מתחים בין הנקודות:

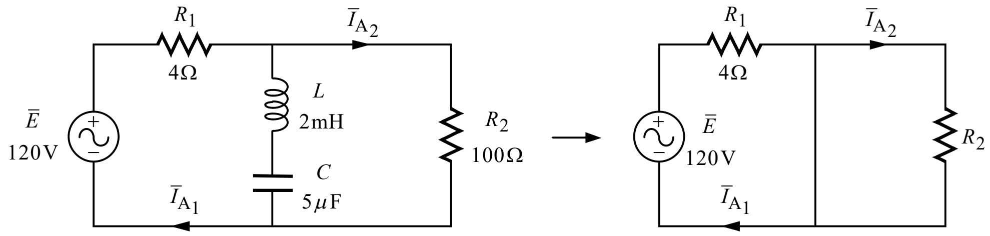
$$\bar{U}_{ab} = +\bar{U}_{X_{L_2}} - \bar{U}_{X_C} = 101.192\angle 26.56° - 80\angle -45° = 107.331\angle 71.56°(\text{V})$$

ג. זווית המופע של המעגל היא הזווית של העכבה השקולה, אותה חישבנו לעיל. מכאן:

$$PF = \cos(\phi) = \cos(29.054°) = 0.874$$

שאלה 4

א.



<u>ביאור</u>: בצד שמאל של האיור מופיע המעגל הנתון בשאלה. נתון כי מדי הזרם הם אידיאליים, כלומר הם שקולים לקֶצר. בשרטוט ציינו את סימוני הזרמים של מדי הזרם.
בצד ימין של האיור מובא המעגל כאשר הוא בתהודה. התהודה היחידה האפשרית במעגל זה היא תהודה טורית בין הסליל והקבל. בתהודה טורית הסליל והקבל שקולים לקֶצר.

ניגש כעת אל המבוקש בשאלה. תדר התהודה של ענף טורי נתון על ידי:

$$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}=\frac{1}{\sqrt{2\text{m}\cdot 5\mu}}=10000\left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$$

$$f_0=\frac{\omega_0}{2\pi}=\frac{10000}{2\pi}=1591.54(\text{Hz})$$

ב. נתבונן על צד ימין של האיור לעיל. ניתן לראות כי הקצר הנוצר על ידי הסליל והקבל גורם לקיצורו של R_2. המעגל ה"פעיל" כולל למעשה רק את מקור המתח ואת R_1. מכאן:

$$\bar{I}_{A_1}=\frac{\bar{E}}{R_1}=\frac{120}{4}=30\,(\text{A})$$

$$\bar{I}_{A_2}=0(\text{A})$$

ג. משנים כעת את התדר ל- $f=159.155\text{ Hz}$. תדר זה אינו תדר התהודה של המעגל, מה שאומר שהמעגל אינו בתהודה. נפתור כמו מעגל AC רגיל. נחשב את היגבי הסליל והקבל:

$$X_L=2\pi fL=2\pi\cdot 159.155\cdot 2\text{m}\approx 2(\Omega)$$

$$X_C=\frac{1}{2\pi fC}=\frac{1}{2\pi\cdot 159.155\cdot 5\mu}\approx 200(\Omega)$$

נחשב את העכבה השקולה של המעגל:

$$\bar{Z}_T=\left(\frac{1}{jX_L-jX_C}+\frac{1}{R_2}\right)^{-1}+R_1=\left(\frac{1}{2j-200j}+\frac{1}{100}\right)^{-1}+4=83.676-40.240j(\Omega)$$

$$\bar{I}_T=\frac{\bar{E}}{\bar{Z}_T}=\frac{120}{83.676-40.240j}=1.292\angle 25.68^\circ(\text{A})$$

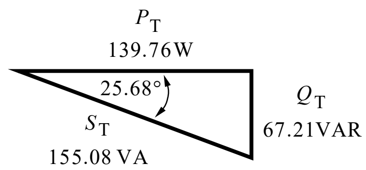
$$\bar{S}_T=\bar{E}\cdot\bar{I}_T^{\,*}=(120)(1.292\angle-25.68^\circ)=139.76-67.21j=155.08\angle-25.68^\circ(\text{VA})$$

מכאן:

$P_T = 139.76(W)$

$Q_T = 67.21(VAR)$

$S_T = 155.08(VA)$

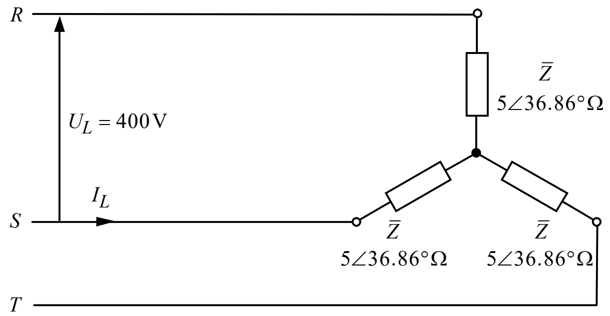


שאלה 5

א. נתון $R=4\Omega$, $X_L=3\Omega$. מכאן:

$$\bar{Z}=R+jX_L=4+j3=5\angle 36.86^\circ(\Omega)$$

נשרטט את המעגל ונציין על גביו את הידוע לנו:



כאשר העכבות מחוברות בכוכב, המתח של כל אחת מהן קטן פי $\sqrt{3}$ ממתח הקו U_L. מכאן:

$$U_Z=\frac{U_L}{\sqrt{3}}=\frac{400}{\sqrt{3}}=230.94(\text{V})$$

ניתן לראות כי זרם הקו המבוקש הוא במקרה זה גם הזרם של כל עכבה. מכאן:

$$I_L=I_Z=\frac{U_Z}{Z}=\frac{230.94}{5}=46.188(\text{A})$$

הערה: שאלה זו דורשת חישוב גדלים בלבד, ללא זוויות, ולכן עבדנו עם ערכים מוחלטים. היא מתבססת על הקשרים הידועים במעגלים תלת פאזיים. ביאור נרחב יותר על נידונים אלה ניתן למצוא בספרנו ״תורת החשמל להנדסאים״, מהדורה שלישית ואילך.

ב.

$$PF=\cos(\phi)=\cos(36.86^\circ)=0.8$$

ג.

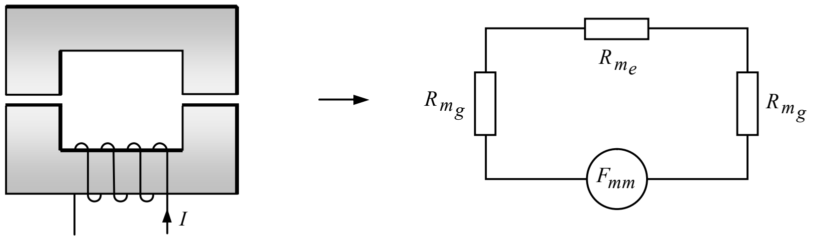
$$P_{\text{T}}=\sqrt{3}\,U_L\,I_L\cos\phi=\sqrt{3}\cdot 400\cdot 46.188\cdot\cos(36.86^\circ)=25600(\text{W})$$

$$Q_{\text{T}}=\sqrt{3}\,U_L\,I_L\sin\phi=\sqrt{3}\cdot 400\cdot 46.188\cdot\sin(36.86^\circ)=19200(\text{VAR})$$

$$S_{\text{T}}=\sqrt{3}\,U_L\,I_L=\sqrt{3}\cdot 400\cdot 46.188=32000(\text{VA})$$

שאלה 6

א.



בצד שמאל של האיור מובא תיאור הליבה. על פי כלל יד ימין לסולנואיד, בהתאם לכיוון הזרם בסליל וכיוון הליפוף שלו, כיוונו של השטף הנוצר בליבה הוא **עם כיוון השעון**.

ב. בצד ימין של האיור לעיל מובא המעגל ה״חשמלי״ האנלוגי למעגל המגנטי. המיאון R_{m_e} הוא המיאון הכולל של שני חלקי הליבה. המיאון R_{m_g} הוא המיאון של כל אחד מחריצי האוויר (יש לשני חריצי האוויר נתונים זהים). נרכז נתונים:

<u>נתוני הסליל</u>

$$\rho = 0.018\left(\frac{\Omega\cdot \mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}\right)$$

$$\ell_L = 70(\mathrm{m})$$

$$A_L = 0.3\left(\mathrm{mm}^2\right)$$

<u>נתוני הליבה</u>

$$N = 120$$

$$\ell_e = 12.4(\mathrm{cm}) = 12.4\times 10^{-2}(\mathrm{m})$$

$$\ell_g = 3(\mathrm{mm}) = 3\times 10^{-3}(\mathrm{m})$$

$$A = 2\left(\mathrm{cm}^2\right) = 2\times 10^{-4}\left(\mathrm{m}^2\right)$$

$$\mu_r = 250$$

נחשב את התנגדות הסליל מתוך נתוני הסליל:

$$R = \frac{\rho\cdot \ell_L}{A_L} = \frac{0.018\cdot 70}{0.3} = 4.2(\Omega)$$

נציין כי נתוני הסליל נתונים ביחידות המדידה המתאימות להצבה בנוסחה בה עשינו שימוש, ולכן לא המרנו ליחדות מדידה אחרות.

נתון שהסליל מחובר למקור מתח ישר של 10V. עבור מתח DC הסליל שקול לקֶצר, ולכן המעגל החשמלי המזין את הסליל כולל את מקור המתח ואת ההתנגדות שלו בלבד. מכאן:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{10}{4.2} = 2.380(\mathrm{A})$$

ג. יש לשים לב ש- ℓ_e הוא האורך הכולל של שני חלקי הליבה (ללא חריצי האוויר), ואילו ℓ_g הוא האורך של חריץ אוויר אחד בלבד. מכאן:

$$R_{m_e} = \frac{\ell_e}{\mu_0\mu_r A} = \frac{12.4\times 10^{-2}}{4\pi 10^{-7}\cdot 250\cdot 2\times 10^{-4}} = 1.973\times 10^6\left(\frac{1}{\mathrm{H}}\right)$$

$$R_{m_g} = \frac{\ell_g}{\mu_0\cancel{\mu_r} A} = \frac{3\times 10^{-3}}{4\pi 10^{-7}\cdot 2\times 10^{-4}} = 11.936\times 10^6\left(\frac{1}{\mathrm{H}}\right)$$

$$R_{m_\mathrm{T}} = R_{m_e} + 2\times R_{m_g} = 1.973\times 10^6 + 2\times 11.936\times 10^6 = 25.846\times 10^6\left(\frac{1}{\mathrm{H}}\right)$$

ד.

$$\phi=\frac{F_{mm}}{R_{m_{\mathrm{T}}}}=\frac{NI}{R_{m_{\mathrm{T}}}}=\frac{120\cdot 2.380}{25.846\times 10^{6}}=11.054\left(\mu\mathrm{Wb}\right)$$

$$B=\frac{\phi}{A}=\frac{11.054\times 10^{-6}}{2\times 10^{-4}}=0.0552\left(\mathrm{T}\right)=55.27\left(\mathrm{mT}\right)$$

שאלה 7

א. נתון:

$$v_1(t) = 6\sin(200\pi \cdot t + 60°)(\text{V})$$

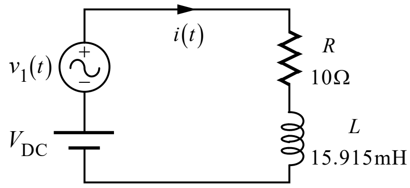
מכאן:

$$\omega = 200\pi\left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{200\pi}{2\pi} = 100(\text{Hz})$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{100} = 0.01(\text{s}) = 10(\text{ms})$$

ב.



מכיוון שהמעגל הנתון מכיל מקורות מסוגים שונים, יש לפתור בסופרפוזיציה.

תרומת $v_1(t)$:

נתון:

$$v_1(t) = 6\sin(200\pi \cdot t + 60°)(\text{V})$$

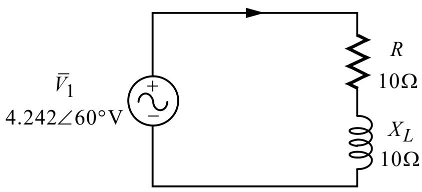
נציג את מתח המקור בהצגה חלקית (פאזורית):

$$\bar{V}_1 = \frac{6\angle 60°}{\sqrt{2}} = 4.242\angle 60°(\text{V})$$

עבור מקור AC יש לסליל היגב מסוים. ניעזר בתדר המקור ונחשב היגב זה:

$$X_L = \omega L = 200\pi \cdot 15.915\times 10^{-3} \approx 10(\Omega)$$

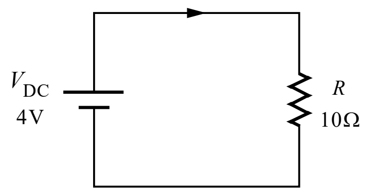
נקצר את V_{DC} ונשרטט את המעגל המתקבל:



$$\bar{I}' = \frac{\bar{V}_1}{R + jX_L} = \frac{4.242\angle 60°}{10 + 10j} = 0.3\angle 15°(\text{A})$$

תרומת V_{DC} :

עבור מקור DC הסליל שקול לקֶצר (במצב המתמיד). נקצר את $v_1(t)$ ונשרטט את המעגל המתקבל:



$$I'' = \frac{V_{\text{DC}}}{R} = \frac{4}{10} = 0.4(\text{A})$$

נסכם את התרומות: את הזרם הכולל נציג כתלות בזמן כנדרש בפתרון בספורפוזיציה, וכנדרש בשאלה עצמה. כל הזרמים שתורמים כל המקורות, פועלים כולם באותו הכיוון ולכן כולם יופיעו בסימן חיובי. מכאן:

$$i(t) = i'(t) + i''(t) = 0.3\sqrt{2}\sin(200\pi t + 15°) + 0.4(\text{A})$$

ג. את **ההספק הממוצע** מחשבים תמיד בעזרת הערך **היעיל** השקול. נחשב ערך זה בעזרת הנוסחה לערך יעיל של אות מורכב:

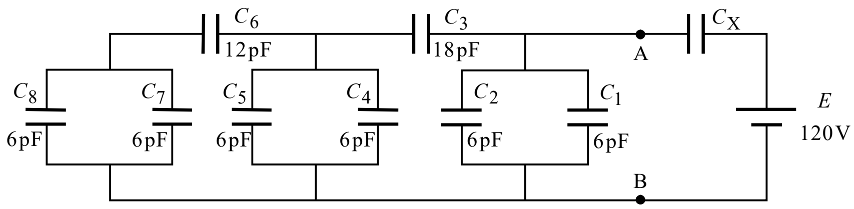
$$I_{(\text{rms})} = \sqrt{I_{\text{rms}_1}^2 + I_{\text{rms}_2}^2} = \sqrt{0.3^2 + 0.4^2} = 0.5(\text{A})$$

ביקשו את ההספק **הפעיל**. זהו ההספק P המתפתח בנגד. מכאן:

$$P = I_{(\text{rms})}^2 \cdot R = 0.5^2 \cdot 10 = 2.5(\text{W})$$

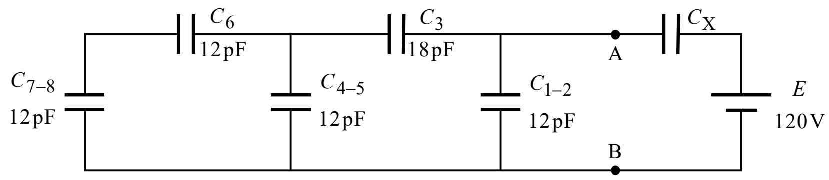
<u>שאלה 8</u>

א.



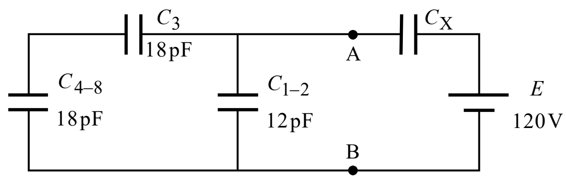
לצורך בהירות הפתרון הענקנו סימונים לכל הקבלים שבמעגל. נחשב את הקיבול השקול של כל אחד מזוגות הקבלים המחוברים במקביל ונשרטט מעגל שקול:

$$C_{1-2}=C_{4-5}=C_{7-8}=6\text{p}+6\text{p}=12(\text{pC})$$



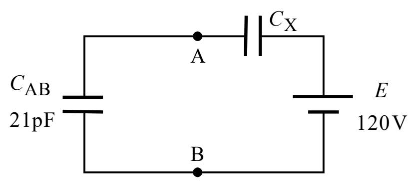
״נקפל״ כעת שלב אחרי שלב את המעגל מצד שמאל לכיוון הנקודות AB:

$$C_{4-8}=\left(\frac{1}{C_{7-8}}+\frac{1}{C_6}\right)^{-1}+C_{4-5}=\left(\frac{1}{12\text{p}}+\frac{1}{12\text{p}}\right)^{-1}+12\text{p}=18(\text{pC})$$



$$C_{1-8}=\left(\frac{1}{C_{4-8}}+\frac{1}{C_3}\right)^{-1}+C_{1-2}=\left(\frac{1}{18\text{p}}+\frac{1}{18\text{p}}\right)^{-1}+12\text{p}=21(\text{pC})$$

$$C_{\text{AB}}=C_{1-8}=21(\text{pC})$$



נחשב את האנרגיה האגורה ב- C_{AB}. במעגל שהתקבל מתח המקור מתחלק בין שני הקבלים שבמעגל. נתון שהמתח הנופל על C_X הוא 40V. מכאן:

$$U_{C_{\text{AB}}}=E-U_{C_X}=120-40=80(\text{V})$$

$$W_{C_{\text{AB}}}=\frac{C_{\text{AB}}\cdot U_{C_{\text{AB}}}^2}{2}=\frac{21\text{p}\cdot 80^2}{2}=67.2(\text{nJ})$$

ב. נחשב את המטען של C_{AB} שהוא גם המטען של C_X וגם המטען הכללי של המעגל (המטען בקבלים דומה לזרם בנגדים):

$$Q_T = Q_{C_{AB}} = U_{C_{AB}} \cdot C_{AB} = 80 \cdot 21\text{p} = 1.68(\text{nC})$$

מכאן:

$$C_X = \frac{Q_T}{U_{C_X}} = \frac{1.68\text{n}}{40} = 42(\text{pF})$$

ג. נרכז את נתוני הקבל C_X:

$$A = 94.87\left(\text{mm}^2\right) = 94.87 \times 10^{-6}\left(\text{m}^2\right)$$

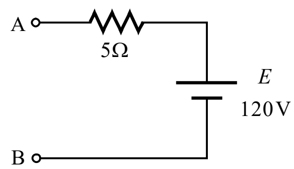
$$d = 0.2(\text{mm}) = 0.2 \times 10^{-3}(\text{m})$$

את הנתונים העברנו מראש ליחידות המדידה הנדרשות לנוסחה הבאה:

$$C_X = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{d} \quad \Rightarrow$$

$$\varepsilon_r = \frac{C_X \cdot d}{\varepsilon_0 \cdot A} = \frac{42 \times 10^{-12} \cdot 0.2 \times 10^{-3}}{\varepsilon_0 \cdot 94.87 \times 10^{-6}} \approx 10$$

ד. בסוף תופעות המעבר הקבלים שקולים לנֶתק. נשרטט מעגל שקול:



במעגל שהתקבל לא זורם זרם כלל. מסלול מתחים בין A ל-B נותן:

$$U_{AB} = E = 120(\text{V})$$