

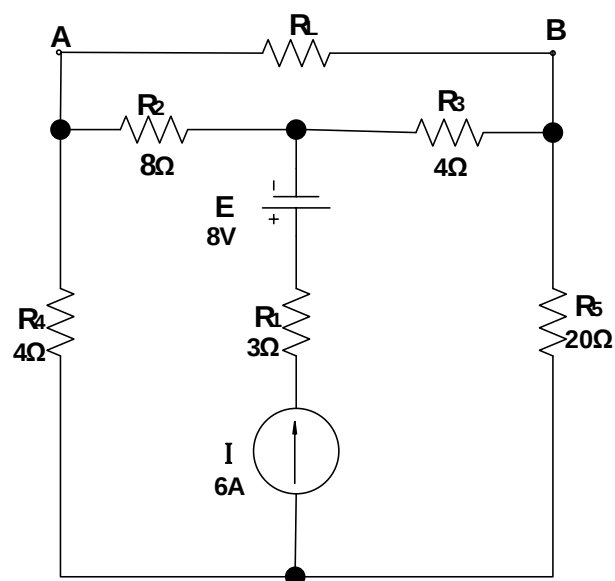
פתרון מוצע לבחינת מה"ט בתורת החשמל

מועד א' תשע"ט, אביב 2019

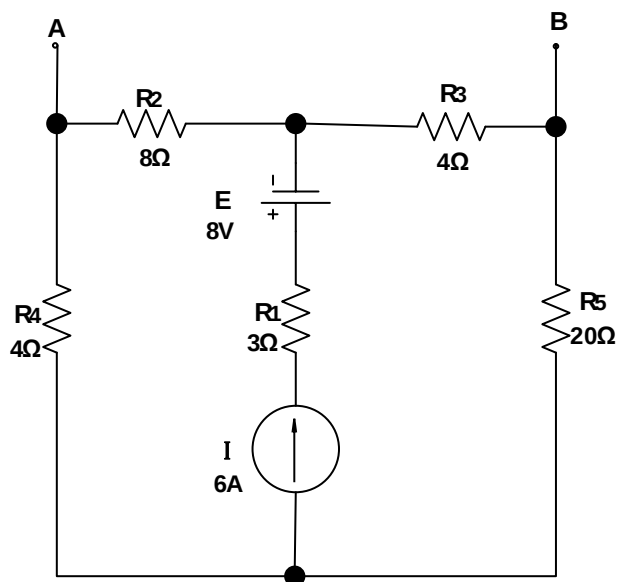
פתר: מר אלחסיד רמון, מכללת אורט סינגאלובסקי

שאלה מספר 1

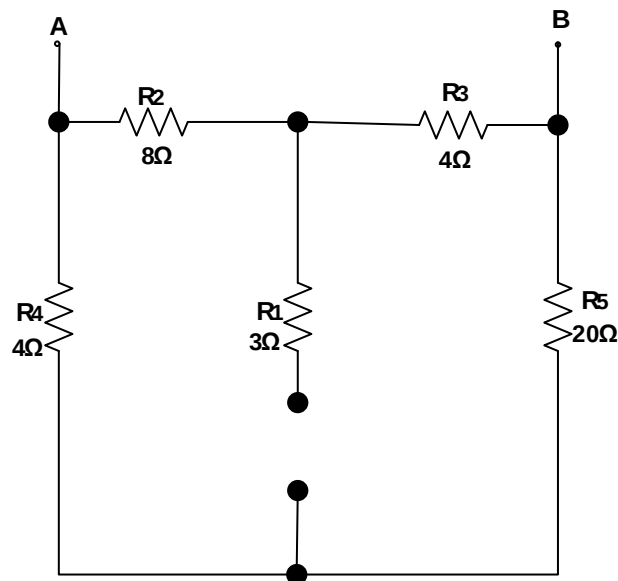
א.



עבור הסעיפים א' וב', יש למצוא את מעגל התמורה תבנין יחסית להדקים A ו B של נגד העומס. מנתקים את נגד העומס R_L .



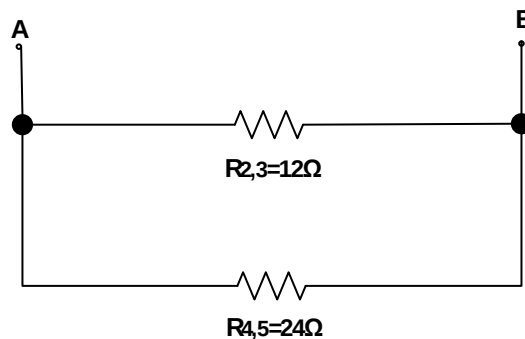
על מנת למצוא את R_{TH} , משתקים את כל המקורות, ומחשבים את ההתנגדות השקולה יחסית להדקים A ו B.



מאחר והנגד R_1 מנותק, הנגדים R_2 ו R_3 מחוברים בטור, וגם הנגדים R_4 ו R_5 מחוברים בטור.

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 8 + 4 = 12\Omega$$

$$R_{4,5} = R_4 + R_5 = 4 + 20 = 24\Omega$$



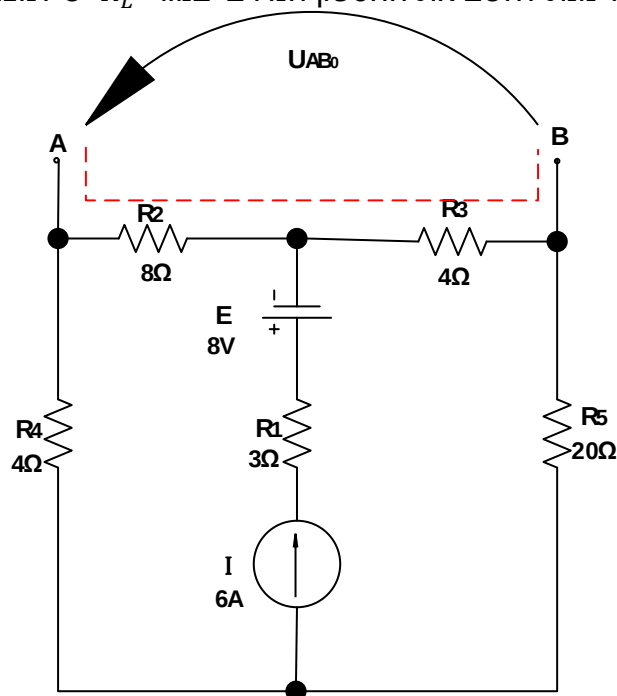
$$R_{eqAB} = R_{2,3} || R_{4,5} = \frac{R_{2,3} \cdot R_{4,5}}{R_{2,3} + R_{4,5}} = \frac{12 \cdot 24}{12 + 24} = 8\Omega$$

$$R_{TH} = R_{eqAB} = 8\Omega$$

מקבלים הספק מירבי בנגד העומס R_L כאשר:

$$R_L = R_{TH} = 8\Omega$$

ב. על מנת לחשב את ההספק המירבי בנגד R_L יש למצוא את E_{TH}

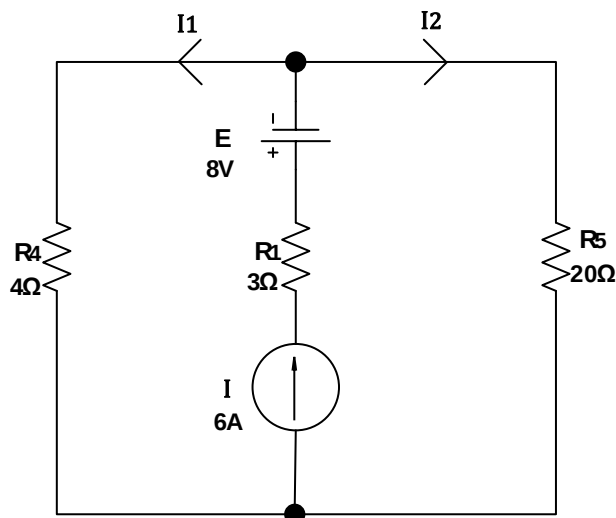


$$E_{TH} = U_{AB_0}$$

ידוע ש $E_{TH} = U_{AB_0}$ מתקדמים מההדק A להדק B לאורך המסלול המקווקו ומסכמים את המתחים על פני הרכיבים שנמצאים במסלול זה. הזרם בענף האמצעי מוכתב ע"י מקור הזרם I (לא חשוב אלו רכיבים מחוברים בטור למקור זרם אידיאלי, הזרם בענף מוכתב ע"י מקור הזרם האידיאלי). הנגדים R_3 ו R_5 מחוברים בטור. גם הנגדים R_2 ו R_4 מחוברים בטור (דרך החוטים המובילים להדקים A ו B לא זורם זרם, כי קצה אחד שלהם נמצא באוויר).

$$R_{3,5} = R_3 + R_5 = 4 + 20 = 24\Omega$$

$$R_{2,4} = R_2 + R_4 = 8 + 4 = 12\Omega$$

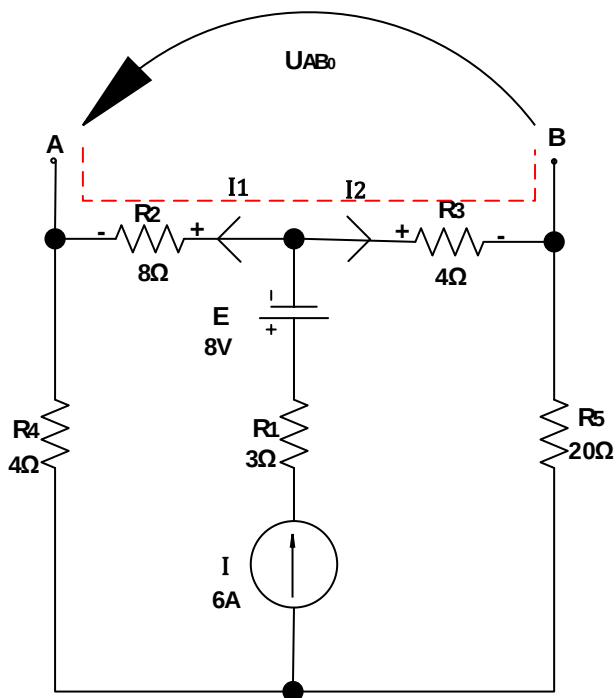


בהתאם לכלל מחלק הזרם:

$$I_1 = I \cdot \frac{R_{3,5}}{R_{2,4} + R_{3,5}} = 6 \cdot \frac{24}{12 + 24} = 4A$$

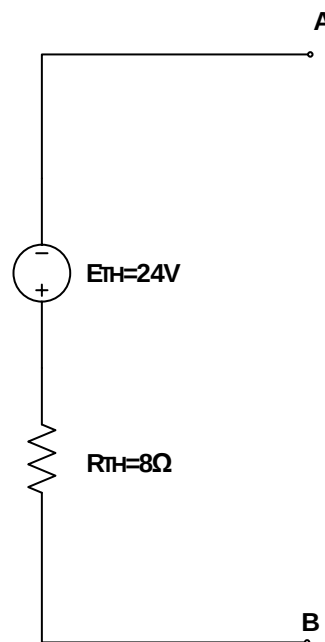
בהתאם ל-KCL:

$$I_2 = I - I_1 = 6 - 4 = 2A$$

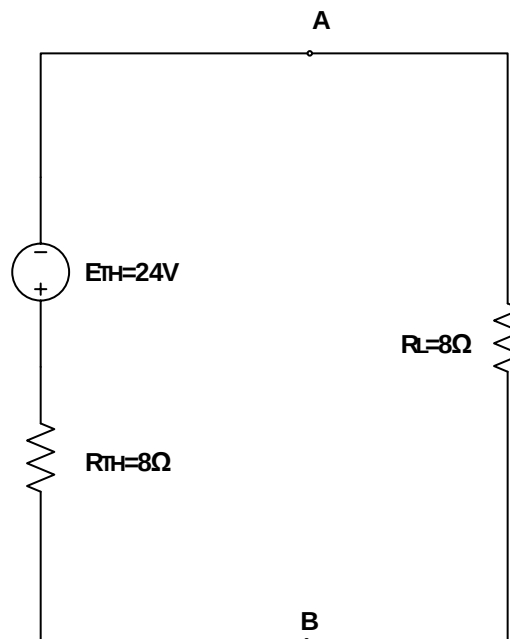


$$U_{AB_0} = -U_{R_2} + U_{R_3} = -R_2 I_1 + R_3 I_2 = -8 \cdot 4 + 4 \cdot 2 = -24V$$

מעגל התמורה תבנין הינו:



כפי שמצאנו בסעיף א', מתפתח הספק מירבי בנגד העומס כאשר:
 $R_L = R_{TH} = 8\Omega$

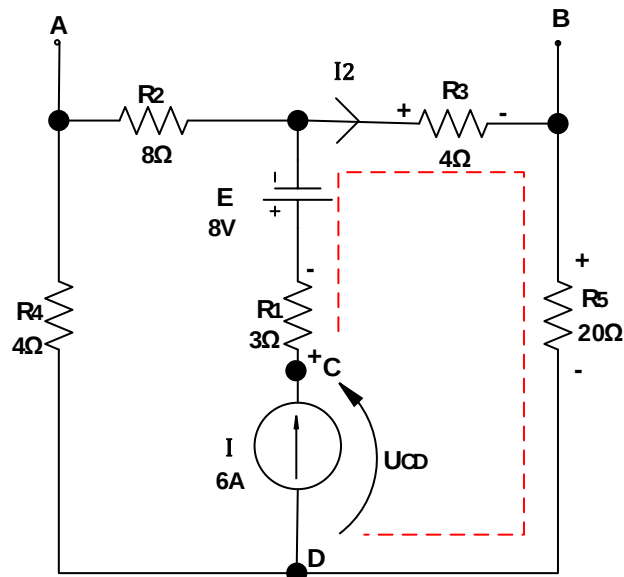


ההספק המירבי שמתקבל בנגד העומס R_L הוא:

$$P_{R_{Lmax}} = \frac{E_{TH}^2}{4R_{TH}} = \frac{24^2}{4 \cdot 8} = 18W$$

ג.

על מנת לחשב את הספק מקור הזרם, כאשר נגד העומס מנותק, יש לחשב את המתח בין הדקי מקור הזרם



נסמן ב C ו D את ההדקים של מקור הזרם. בוחרים מסלול מ C ל D ומסכמים את המתחים על כל הרכיבים הנמצאים במסלול

$$U_{CD} = U_{R_1} + E + U_{R_3} + U_{R_5} = R_1 I + E + R_3 I_2 + R_5 I_2 = 3 \cdot 6 + 8 + 4 \cdot 2 + 20 \cdot 2 = 74V$$

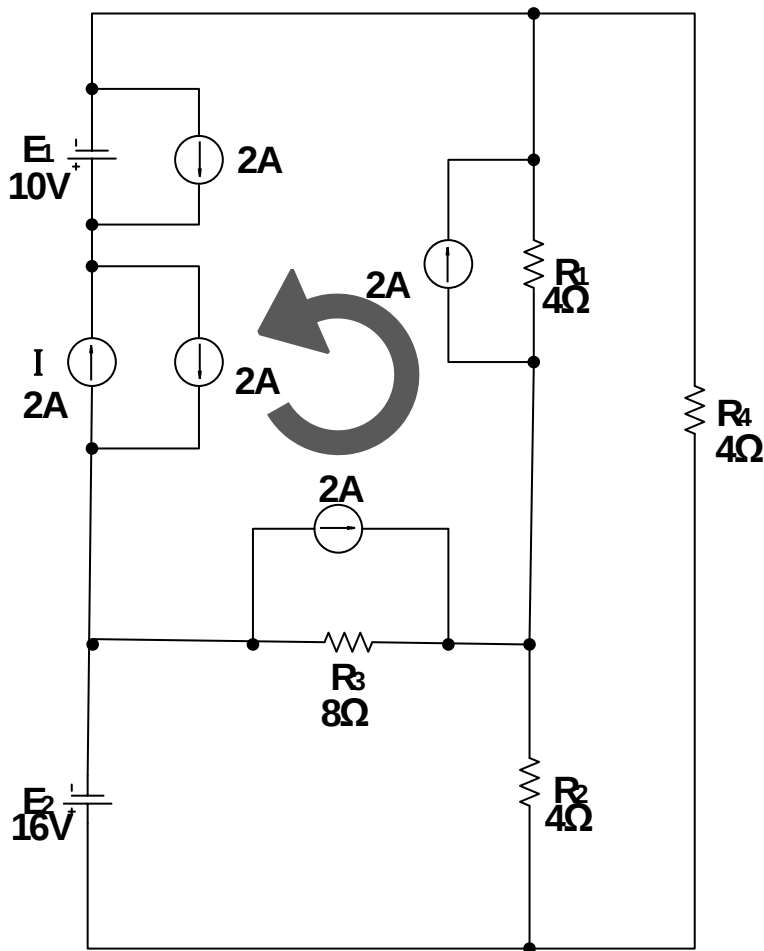
הספק מקור הזרם הוא:

$$P_I = U_{CD} \cdot I = 74 \cdot 6 = 444W$$

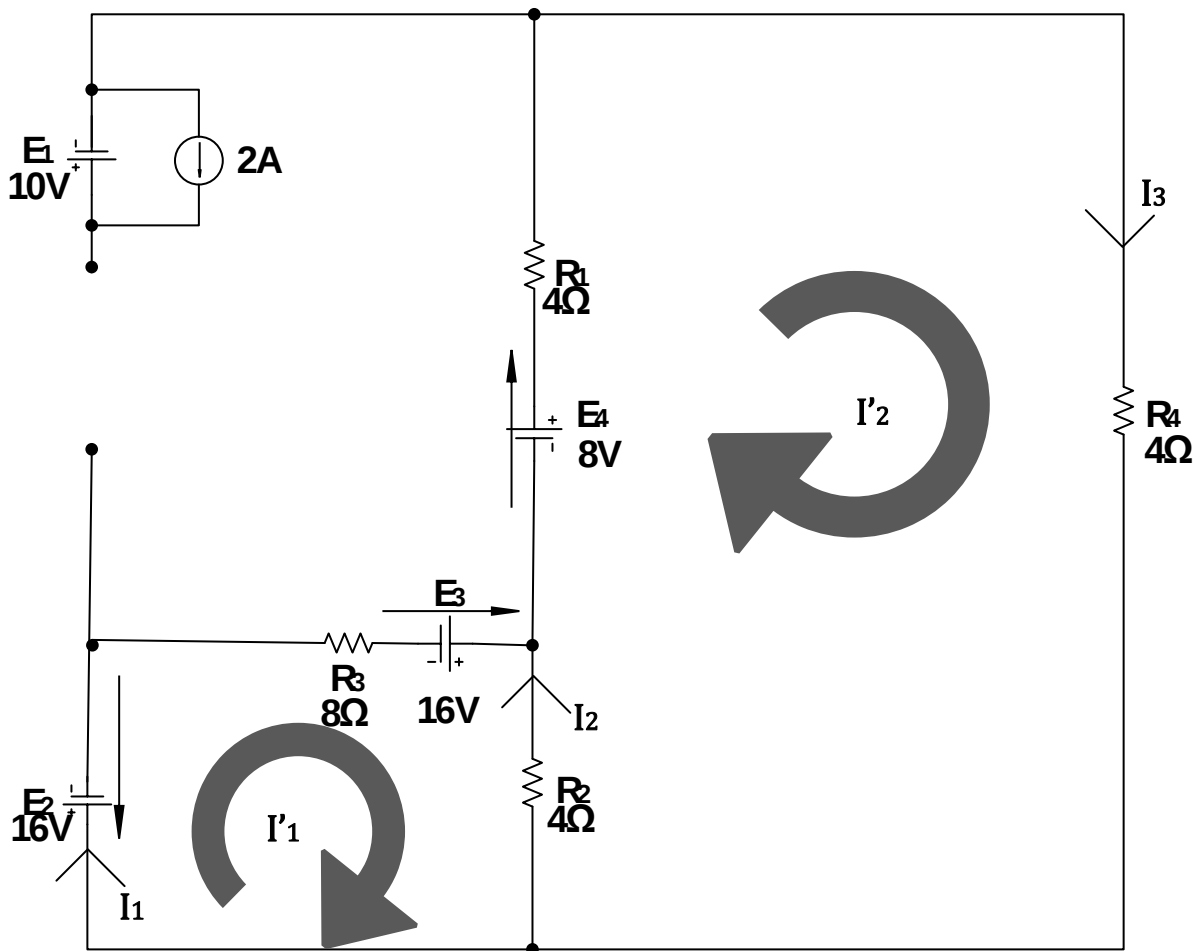
שאלה מספר 2

א.

על מנת לחשב את הזרמים במעגל, נשתמש בשיטת זרמי העניבות.
מאפסים את מקור הזרם האידיאלי באמצעות שימוש במשפט ואשי עבור מקורות זרם.



לאחר איפוס מקור הזרם האידיאלי, בענף שבו הוא נמצא נוצר נתק.
ממירים את מקורות הזרם הממשיים שהופיעו במעגל למקורות מתח ממשיים.



לאחר איפוס מקור הזרם האידיאלי, המעגל מצטמצם למעגל בעל 2 ענפים בלבד.

$$R_{11}I'_1 - R_{12}I'_2 = E'_1$$

$$-R_{21}I'_1 + R_{22}I'_2 = E'_2$$

$$R_{11} = R_3 + R_2 = 8 + 4 = 12\Omega$$

$$R_{12} = R_2 = 4\Omega$$

$$R_{21} = R_{12} = 4\Omega$$

$$R_{22} = R_1 + R_2 + R_4 = 4 + 4 + 4 = 12\Omega$$

$$E'_1 = -E_2 + E_3 = -16 + 16 = 0$$

$$E'_2 = E_4 = 8V$$

$$12I'_1 - 4I'_2 = 0$$

$$-4I'_1 + 12I'_2 = 8$$

$$I'_1 = 0.25A$$

$$I'_2 = 0.75A$$

נסמן ב I_1 את הזרם האמיתי בענף שבו נמצא מקור המתח E_2 .

$$I_1 = I'_1 = 0.25A$$

ב.

הספק מקור המתח E_2 הוא:

$$P_{E_2} = -E_2 \cdot I_1 = -16 \cdot 0.25 = -4W$$

מאחר שהספק המקור E_2 הוא שלילי, המקור פועל כצרכן, כלומר, הוא צורך אנרגיה.

ג.

$$W_{E_2} = P_{E_2} \cdot t = (-4) \cdot 1 \cdot 60 = -240J$$

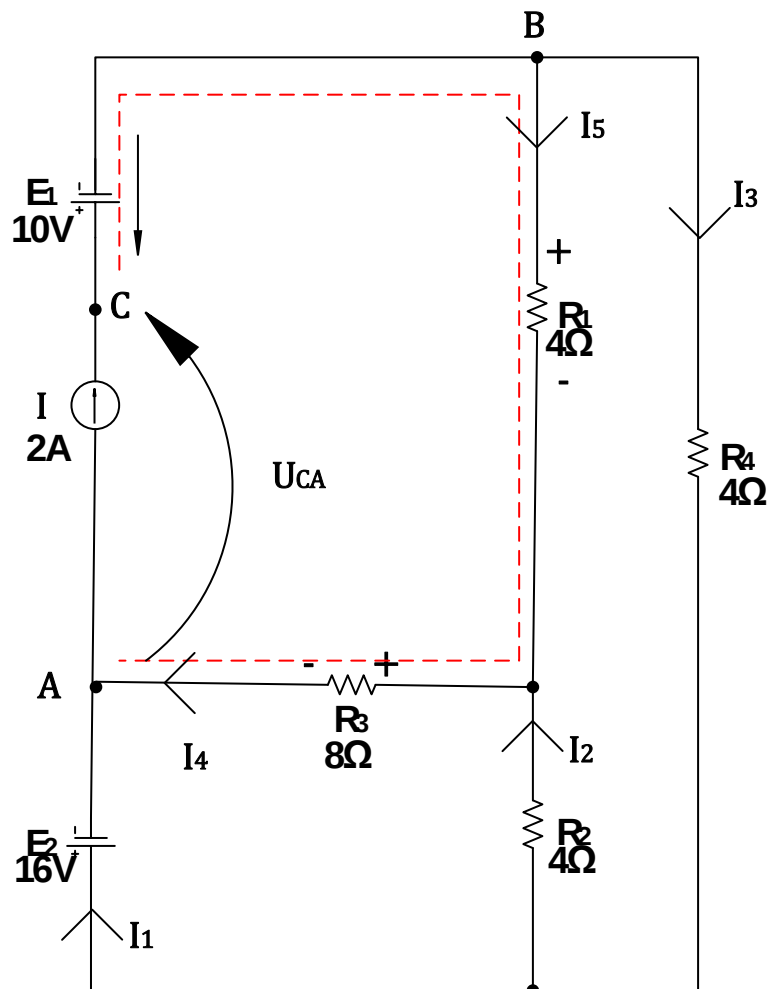
ד.

על מנת שנוכל לחשב את המתח על מקור הזרם, חייבים לדעת את הזרמים דרך הנגדים R_3 ו R_1 .
בענפים שבהם לא עשינו מקורות זרם ממשיים למקורות מתח ממשיים, הזרמים זהים לאלו שמחשבים במעגל המותמר:

$$I_2 = I'_2 - I'_1 = 0.75 - 0.25 = 0.5A$$

$$I_3 = I'_2 = 0.75A$$

אבל בנגדים R_3 ו R_1 הכלולים בהמרות, הזרמים במעגל המקורי שונים מאלו שבמעגל המותמר. חוזרים למעגל המקורי ומחשבים את הזרמים ב R_3 ו R_1 באמצעות KCL.



כותבים KCL בצומת A:

$$I_1 + I_4 = I$$

$$I_4 = I - I_1 = 2 - 0.25 = 1.75A$$

כותבים KCL בצומת B:

$$I = I_5 + I_3$$

$$I_5 = I - I_3 = 2 - 0.75 = 1.25A$$

הנקודות A ו C הן ההדקים של מקור הזרם. בשביל חישוב המתח U_{CA} בוחרים מסלול התקדמות מהנקודה C לנקודה A (המסלול המקווקו).
 ה.

$$U_{CA} = E_1 + U_{R_1} + U_{R_3} = E_1 + R_1 I_5 + R_3 I_4 = 10 + 4 \cdot 1.25 + 8 \cdot 1.75 = 29V$$

הספק מקור הזרם הוא:

$$P = U_{CA} \cdot I = 29 \cdot 2 = 58W$$

והוא פועל כספק.

הספק מקור המתח E_1 הוא:

$$P_{E_1} = -E_1 \cdot I = -10 \cdot 2 = -20W$$

והוא פועל כצרכן.

הספק מקור המתח E_2 הוא:

$$P_{E_2} = -4W$$

והוא פועל כצרכן.

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{נגדים}} &= R_1 I_5^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_4^2 + R_4 I_3^2 = 4 \cdot 1.25^2 + 4 \cdot 0.5^2 + 8 \cdot 1.75^2 + 4 \cdot 0.75^2 = \\ &= 34W \end{aligned}$$

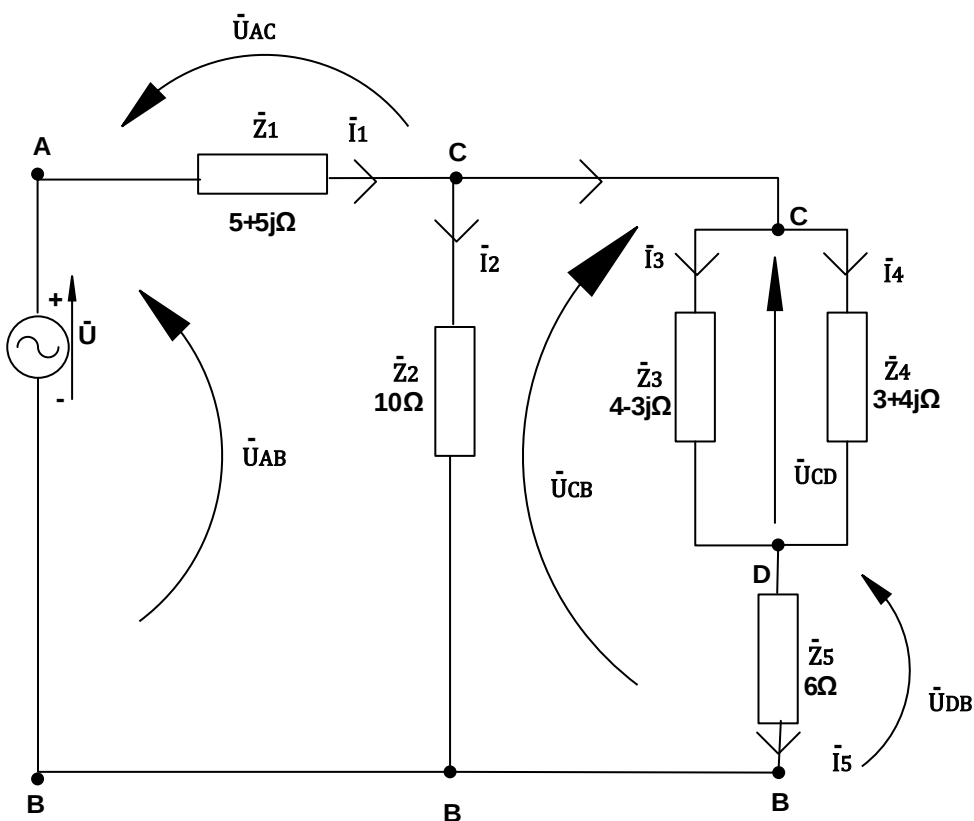
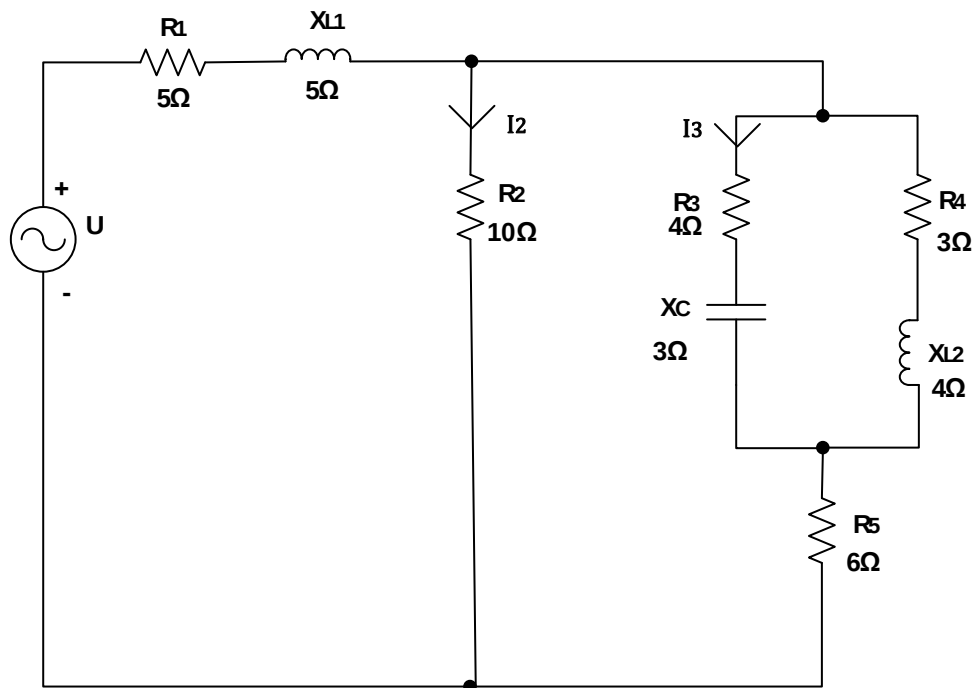
$$P_{\text{נצרך}} = \sum P_{\text{נגדים}} + |P_{E_1}| + |P_{E_2}| = 34 + 20 + 4 = 58W$$

האנרגיה הנצרכת במעגל במשך דקה אחת:

$$W_{\text{נצרכת}} = P_{\text{נצרך}} \cdot t = 58 \cdot 1 \cdot 60 = 3480J$$

שאלה מספר 3

.א



$$\bar{I}_3 = 2 \angle 90^\circ A$$

$$\begin{aligned}\bar{U}_{CD} &= \bar{Z}_3 \cdot \bar{I}_3 = (4 - 3j) \cdot 2 \angle 90^\circ = 10 \angle 53.13^\circ V \\ \bar{I}_4 &= \frac{\bar{U}_{CD}}{\bar{Z}_4} = \frac{10 \angle 53.13^\circ}{3 + 4j} = 2 \angle 0^\circ A \\ \bar{I}_5 &= \bar{I}_3 + \bar{I}_4 = 2 \angle 90^\circ + 2 \angle 0^\circ = 2.828 \angle 45^\circ \\ \bar{U}_{DB} &= \bar{Z}_5 \cdot \bar{I}_5 = 6 \cdot 2.828 \angle 45^\circ = 17 \angle 45^\circ V \\ \bar{U}_{CB} &= \bar{U}_{CD} + \bar{U}_{DB} = 10 \angle 53.13^\circ + 17 \angle 45^\circ = 26.93 \angle 48^\circ V \\ \bar{I}_2 &= \frac{\bar{U}_{CB}}{\bar{Z}_2} = \frac{26.93 \angle 48^\circ}{10} = 2.693 \angle 48^\circ A \approx 2.7 \angle 48^\circ A \\ |\bar{I}_2| &= 2.7 A \\ \varphi_{I_2} &= 48^\circ\end{aligned}$$

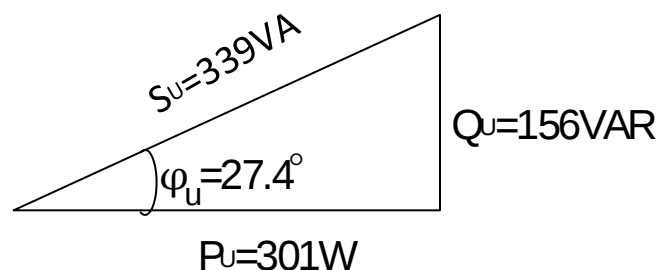
ב.

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_2 + \bar{I}_5 = 2.7 \angle 48^\circ + 2.828 \angle 45^\circ = 5.52 \angle 46.4^\circ A$$

$$\begin{aligned}\bar{U}_{AC} &= \bar{Z}_1 \cdot \bar{I}_1 = (5 + 5j) \cdot 5.52 \angle 46.4^\circ = 39 \angle 91.4^\circ V \\ \bar{U} &= \bar{U}_{AB} = \bar{U}_{AC} + \bar{U}_{CB} = 39 \angle 91.4^\circ + 26.93 \angle 48^\circ = 61.4 \angle 73.8^\circ V \\ |\bar{U}| &= 61.4 V \\ \varphi_U &= 73.8^\circ\end{aligned}$$

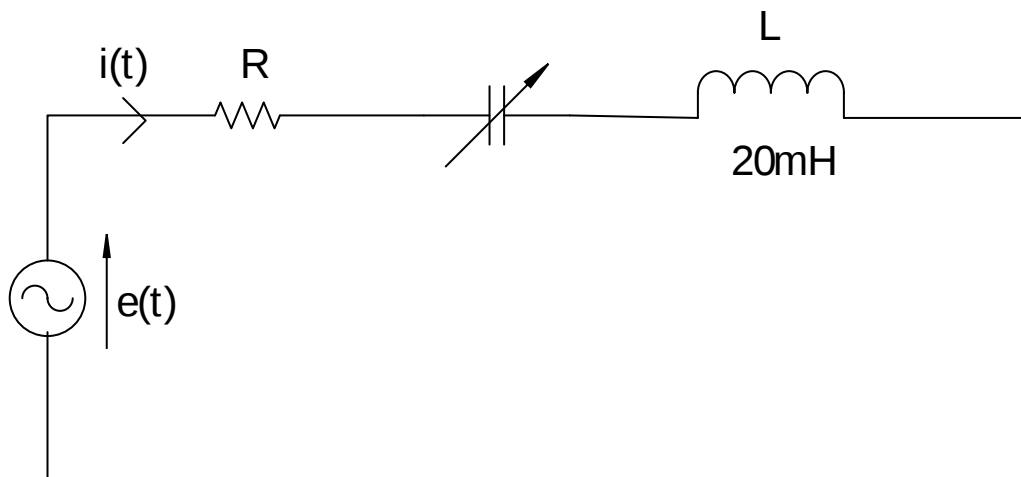
ג.

$$\begin{aligned}\bar{S}_U &= \bar{U} \cdot \bar{I}_1^* = 61.4 \angle 73.8^\circ \cdot 5.52 \angle -46.4^\circ = 339 \angle 27.4^\circ VA = \\ &= (301 + 156j) VA \\ P_U &= 301 W \\ Q_U &= 156 VAR \\ S_U &= 339 VA\end{aligned}$$



שאלה 4

א.



$$e(t) = 100\sqrt{2} \cdot \sin 1000t \text{ (V)}$$

$$i(t) = 10\sqrt{2} \cdot \sin \left(1000t - \frac{\pi}{3} \right) \text{ (A)}$$

$$\frac{\pi}{3} \text{ rad} = 60^\circ$$

$$i(t) = 10\sqrt{2} \cdot \sin(1000t - 60^\circ) \text{ (A)}$$

המעגל לא נמצא בתהודה, מפני שזווית המופע של הכא"מ לא שווה לזווית המופע של הזרם (או מפני שההפרש בין זווית המופע של הכא"מ לזווית המופע של הזרם לא שווה לאפס).

ב.

$$\bar{E} = 100 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\bar{I} = 10 \angle -60^\circ \text{ A}$$

$$\bar{Z} = \frac{\bar{E}}{\bar{I}} = \frac{100 \angle 0^\circ}{10 \angle -60^\circ} = 10 \angle 60^\circ \Omega = 5 + 8.66j \Omega$$

$$R = 5 \Omega$$

ג.

התנאי לתהודה במעגל RLC טורי הוא:

$$X_L = X_C$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$\omega^2 LC = 1$$

$$C = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{1000^2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 50 \mu\text{F}$$

ד. רוחב הפס הוא:

$$BW = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{R}{L} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{5}{20 \cdot 10^{-3}} = 39.78 \text{ Hz}$$

תדר התהודה הוא:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1000}{2\pi} = 159.15 \text{ Hz}$$

גורם הטיב הוא:

$$Q = \frac{f_0}{BW} = \frac{159.15}{39.78} = 4$$

מאחר וגורם הטיב הוא נמוך, גרף תלות עוצמת הזרם בתדר אינו סימטרי לגמרי ביחס ל f_0 , ולכן השימוש בנוסחאות הפשוטות

$$f_1 = f_0 - \frac{BW}{2}$$

$$f_2 = f_0 + \frac{BW}{2}$$

לא נותן תוצאות מדויקות מאוד.

במקרה הזה, נשתמש בנוסחאות הכלליות לחישוב תדרי מחצית הספק.

התדר הזוויתי של מחצית ההספק הראשון הוא:

$$\omega_1 = -\frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \omega_0^2} = -\frac{5}{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} + \sqrt{\left(\frac{5}{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}\right)^2 + 1000^2} =$$

$$= 882.78 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

תדר מחצית ההספק הראשון הוא:

$$f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} = \frac{882.78}{2\pi} = 140.5 \text{ Hz}$$

התדר הזוויתי של מחצית ההספק השני הוא:

$$\omega_2 = \frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \omega_0^2} = \frac{5}{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} + \sqrt{\left(\frac{5}{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}\right)^2 + 1000^2} =$$

$$= 1132.7 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

תדר מחצית ההספק השני הוא:

$$f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi} = \frac{1132.7}{2\pi} = 180.2 \text{ Hz}$$

ה. כאשר המעגל נמצא בתהודה, העכבה המרוכבת של המעגל היא:

$$\bar{Z}_0 = R = 5 \Omega$$

הזרם בתהודה הוא:

$$\bar{I}_0 = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_0} = \frac{100 \angle 0^\circ}{5} = 20 \angle 0^\circ \text{ A}$$

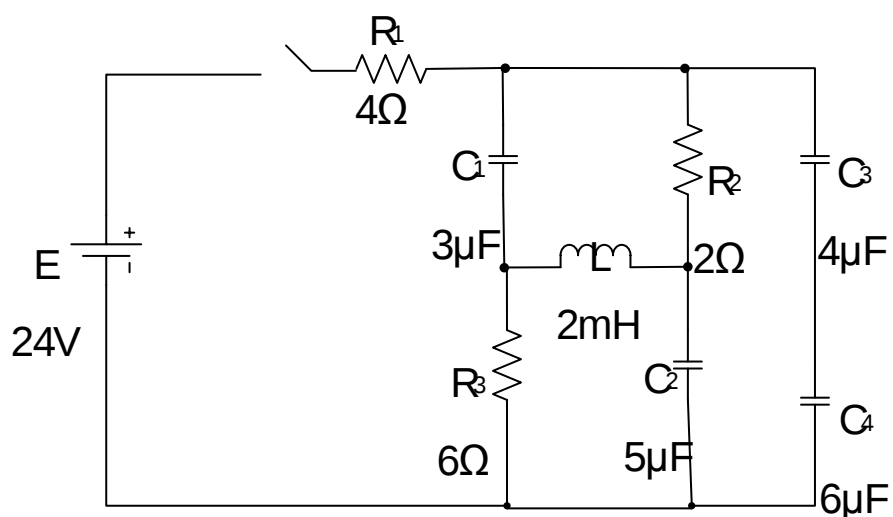
הערך היעיל של הזרם בתהודה הוא: $|\bar{I}_0| = 20 \text{ A}$

הערך היעיל של הזרם בתדרי מחצית ההספק הוא:

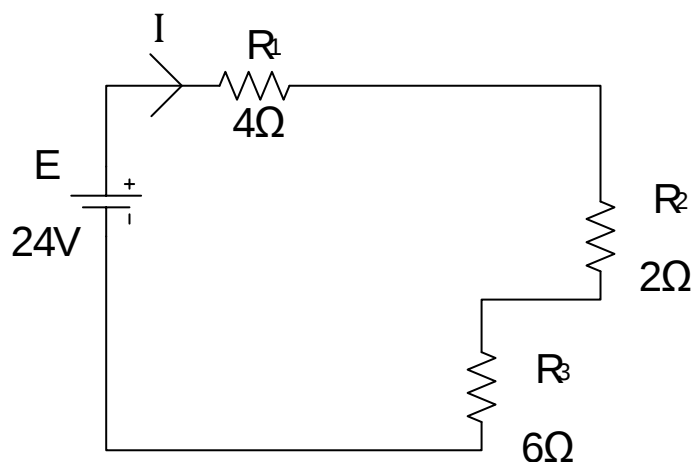
$$|\bar{I}_1| = \frac{|\bar{I}_0|}{\sqrt{2}} = \frac{20}{\sqrt{2}} = 14.14A$$

שאלה מספר 5

.א.



במצב מתמיד הקבלים הופכים לנתק והסליל לקצר.
המעגל שמאפשר את הזרימה הקבועה של הזרם במצב מתמיד הוא:



$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 = 4 + 2 + 6 = 12\Omega$$

$$I = \frac{E}{R_{eq}} = \frac{24}{12} = 2A$$

הקבל C_1 מחובר במקביל לנגד R_2 במצב מתמיד, כי הסליל הוא קצר

$$U_{R_2} = R_2 \cdot I = 2 \cdot 2 = 4V$$

$$U_{C_1} = U_{R_2} = 4V$$

הקבל C_2 מחובר במקביל לנגד R_3 במצב מתמיד, כי הסליל הוא קצר

$$U_{R_3} = R_3 \cdot I = 6 \cdot 2 = 12V$$

$$U_{C_2} = U_{R_3} = 12V$$

הענף שבו נמצאים הקבלים C_3 ו C_4 מחובר במקביל לנגדים R_2 ו R_3 יחד (הנגדים R_2 ו R_3 מחוברים בטור כי הסליל הוא קצר).

המתח על הנגדים R_2 ו R_3 יחד הוא:

$$U_{R_2 R_3} = U_{R_2} + U_{R_3} = 4 + 12 = 16V$$

על מנת לחשב את המתחים על הקבלים C_3 ו C_4 נשתמש בכלל מחלק המתח בשביל קבלים במצב אלקטרוסטטי:

$$U_{C_3} = U_{R_2 R_3} \cdot \frac{C_4}{C_3 + C_4} = 16 \cdot \frac{6}{10} = 9.6V$$

$$U_{C_4} = U_{R_2 R_3} - U_{C_3} = 16 - 9.6 = 6.4V$$

ב.

הזרם דרך הסליל L במצב מתמיד הוא:

$$I_L = I = 2A$$

ג.

האנרגיה האגורה בקבל C_1 במצב מתמיד היא:

$$W_{C_1} = \frac{C_1 U_{C_1}^2}{2} = \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 4^2}{2} = 24 \cdot 10^{-6} J = 24 \mu J$$

האנרגיה האגורה בקבל C_2 במצב מתמיד היא:

$$W_{C_2} = \frac{C_2 U_{C_2}^2}{2} = \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 12^2}{2} = 360 \cdot 10^{-6} J = 360 \mu J$$

האנרגיה האגורה בקבל C_3 במצב מתמיד היא:

$$W_{C_3} = \frac{C_3 U_{C_3}^2}{2} = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 9.6^2}{2} = 184.32 \cdot 10^{-6} J = 184.32 \mu J$$

האנרגיה האגורה בקבל C_4 במצב מתמיד היא:

$$W_{C_4} = \frac{C_4 U_{C_4}^2}{2} = \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot 6.4^2}{2} = 122.88 \cdot 10^{-6} J = 122.88 \mu J$$

האנרגיה האגורה בסליל במצב מתמיד היא:

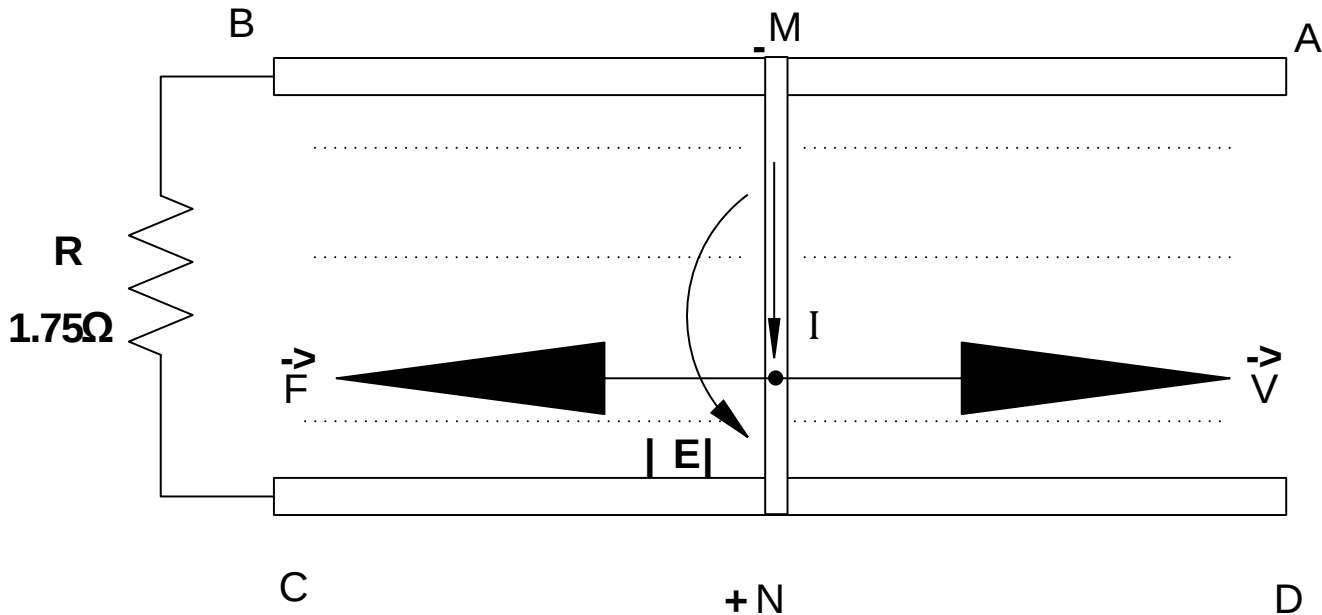
$$W_L = \frac{L I_L^2}{2} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 2^2}{2} = 4 \cdot 10^{-3} J = 4000 \mu J$$

האנרגיה האגורה במעגל במצב מתמיד היא:

$$W_t = W_{C_1} + W_{C_2} + W_{C_3} + W_{C_4} + W_L = 24 + 360 + 184.32 + 122.88 + 4000 = 4691.2 \mu J = 4.6912 mJ$$

שאלה מספר 6

א.



צפיפות השטף: $B = 0.6T$

אורך המוט: $l = 15cm = 0.15m$

מהירות המוט: $V = 5 \frac{m}{s}$

$R_{MN} = 0.25\Omega$

$R = 1.75\Omega$

הכא"מ המושרה הוא: $E = -Blv \sin \alpha$

לוקחים אותו במודול וכיוונו נקבע באמצעות כלל הימנית.

המודול של הכא"מ המושרה במוט MN נתון ע"י הנוסחה:

$$|E| = Blv \sin \alpha$$

כאשר α היא הזווית בין ווקטור המהירות לבין קווי השדה המגנטי.

במצב המתואר בשאלה, הזווית בין המהירות לבין קווי השדה המגנטי היא $\alpha = 90^\circ$.

המודול של הכא"מ המושרה יהיה

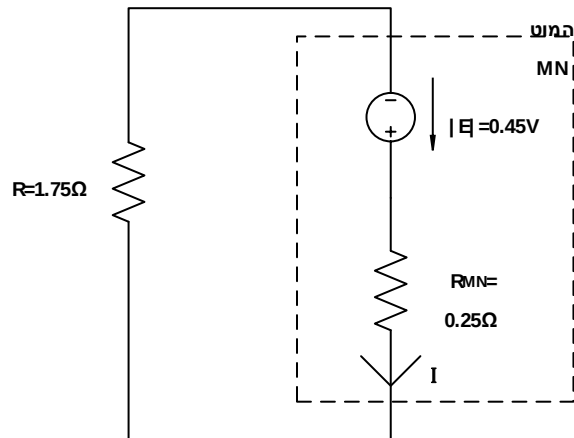
$$|E| = Blv \sin 90^\circ = Blv = 0.6 \cdot 0.15 \cdot 5 = 0.45V$$

כיוון הכא"מ המושרה נתון ע"י כלל הימנית (כלל Fleming):

אם קווי השדה המגנטי נכנסים לכף היד הימנית והאגודל מראה את כיוון המהירות, אז האצבעות מראות את כיוון הכא"מ המושרה.

מתקבל הכיוון המפורט באיור שבתחילת פתרון השאלה.

מקבלים את המעגל הבא:



עוצמת הזרם בנגד R היא

$$I = \frac{|E|}{R_{MN} + R} = \frac{0.45}{0.25 + 1.75} = 0.225A$$

ב.

בהתאם לכלל היד הימנית נקבע בסעיף א' כיוון הכא"מ.
כיוון הזרם מופיע באיור שבתחילת הפתרון (M ל N).

ג.

הכוח שפועל על המוט MN בשדה המגנטי נתון ע"י הנוסחה
 $F = BIl \sin \alpha$
כאשר α היא הזווית בין המוט לבין קווי השדה המגנטי.
בשאלה הנתונה הזווית α היא:

$$\alpha = 90^\circ$$

$$F = BIl \sin 90^\circ = BIl = 0.6 \cdot 0.225 \cdot 0.15 = 0.02N$$

כיוון הכוח נתון ע"י כלל היד השמאלית: אם קווי השדה המגנטי נכנסים לכף היד השמאלית והאצבעות מראות את כיוון הזרם דרך המוט MN, אז האגודל מראה את כיוון ווקטור הכוח שפועל על המוט.
אם משתמשים בכלל הזה, מקבלים את כיוון הכוח שמופיע באיור שבתחילת פתרון השאלה.

ד.

אם כיוון קווי השדה היה מקביל למישור הדף, אז הזווית α בין ווקטור המהירות לבין קווי השדה המגנטי הייתה $\alpha = 0$.
במצב זה מקבלים

$$|E| = Blv \sin 0^\circ = 0$$

אם הכא"מ המושרה שווה ל 0, אז גם הזרם במעגל יהיה 0 וגם הכוח על המוט יהיה 0.

שאלה מספר 7

א.

נסמן ב l_{Fe} את האורך הממוצע של המסלול המגנטי בחומר הפרומגנטי:

$$l_{Fe} = l_{ave} - l_0 = 1203 - 3 = 1200mm = 1.2m$$

שטח החתך של הליבה הוא:

$$A = 900mm^2 = 900 \cdot 10^{-6}m^2$$

המיאון של החומר הפרומגנטי הוא:

$$R_{m_{Fe}} = \frac{l_{Fe}}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{1.2}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1500 \cdot 900 \cdot 10^{-6}} = 707355 \frac{1}{H}$$

המיאון של חריץ האוויר הוא:

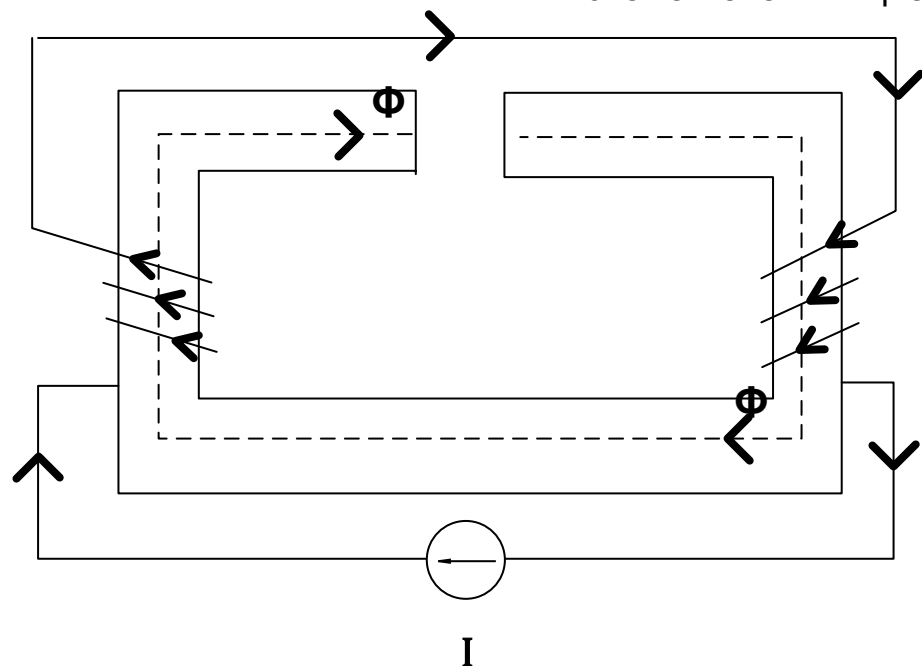
$$R_{m_0} = \frac{l_0}{\mu_0 A} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 900 \cdot 10^{-6}} = 2652582 \frac{1}{H}$$

המיאון השקול של המעגל המגנטי הוא:

$$R_{m_{eq}} = R_{m_{Fe}} + R_{m_0} = 707355 + 2652582 = 3359937 \frac{1}{H}$$

ב.

על מנת שנוכל לקבוע את גודלו וכיוונו של השטף המגנטי במעגל המגנטי, נשרטט את אמצעל המגנטי ונסמן את כיוון הזרם בכריכות של כל סליל.



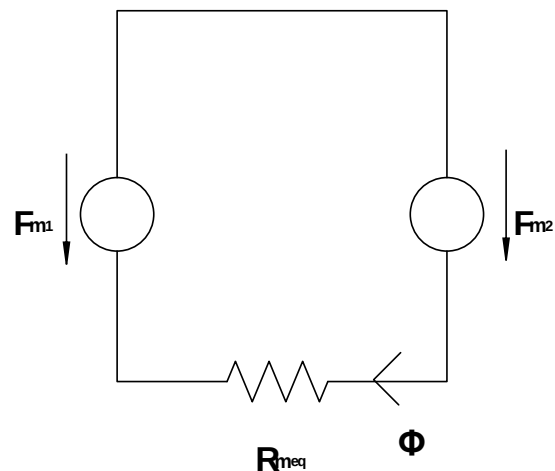
הכוח המגנטומיניע (כמ"מ) של הסליל הראשון הוא:

$$F_{m_1} = N_1 I = 800 \cdot 2 = 1600 \text{At (Ampere} \cdot \text{turns)}$$

הכמ"מ של הסליל השני הוא:

$$F_{m_2} = N_2 I = 1200 \cdot 2 = 2400 \text{At}$$

הכיוון של כל כ"מ נקבע באמצעות כלל הימנית: אם האצבעות סביב הליבה מראות את כיוון הזרם דרך הכריכות, אז האגודל מראה את הכיוון של הכמ"מ.
המעגל החשמלי המייצג את המעגל המגנטי הוא:



רואים שהכמ"מ של הסלילים מנוגדים זה לזה. מאחר ש F_{m_2} גדול מ F_{m_1} , F_{m_2} יקבע את כיוון השטף המגנטי. כיוון השטף המגנטי מסומן במעגל החשמלי המייצג, וגם בשרטוט המעגל המגנטי.

$$\phi = \frac{F_{m_2} - F_{m_1}}{R_{m_{eq}}} = \frac{2400 - 1600}{3359937} = 0.238 \cdot 10^{-3} \text{Wb} = 0.238 \text{mWb}$$

ג. צפיפות השטף המגנטי במעגל היא:

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{0.238 \cdot 10^{-3}}{900 \cdot 10^{-6}} = 0.264 \text{T}$$

עוצמת השדה המגנטי בליבה היא:

$$H_{Fe} = \frac{B}{\mu_0 \mu_r} = \frac{0.264}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1500} = 140 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

עוצמת השדה המגנטי בחריץ האוויר היא:

$$H_0 = \frac{B}{\mu_0} = \frac{0.264}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 210084 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

ד. השראות הסליל הראשון היא:

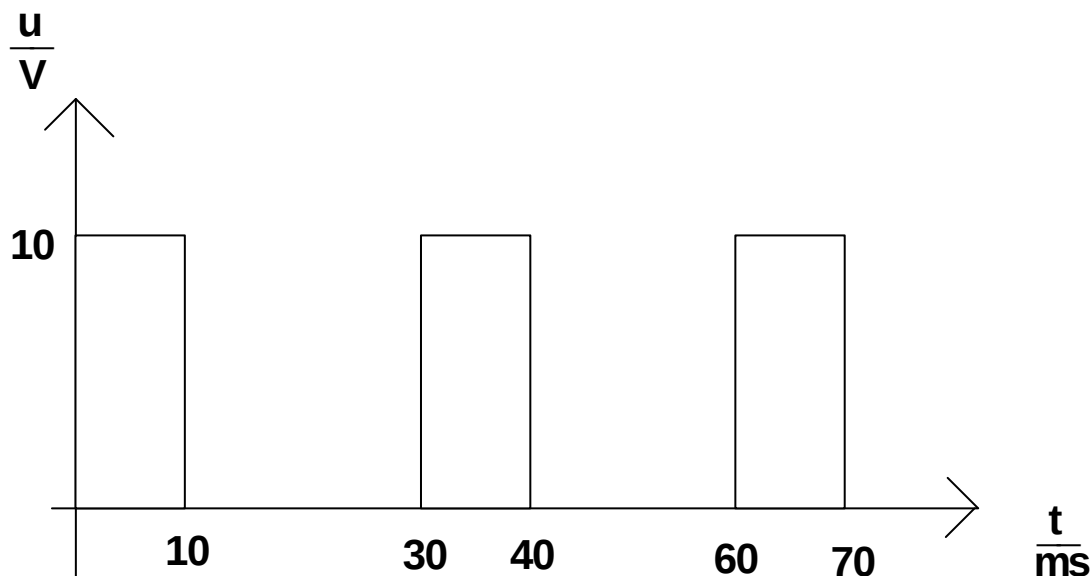
$$L_1 = \frac{N_1^2}{R_{m_{eq}}} = \frac{800^2}{3359937} = 0.19 \text{H} = 190 \text{mH}$$

השראות הסליל השני היא:

$$L_2 = \frac{N_2^2}{R_{m_{eq}}} = \frac{1200^2}{3359937} = 0.428 \text{H} = 428 \text{mH}$$

שאלה מספר 8

א.



זמן המחזור של האות הנתון הוא:

$$T = 30ms$$

תדר האות הנתון הוא:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{30 \cdot 10^{-3}} = 33.33Hz$$

ב.

הערך הממוצע של המתח הנתון:

$$\begin{aligned} U_{av} &= \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{30 \cdot 10^{-3}} \left[\int_0^{10 \cdot 10^{-3}} 10 dt + \int_{10 \cdot 10^{-3}}^{30 \cdot 10^{-3}} 0 \cdot dt \right] = \\ &= \frac{1}{30 \cdot 10^{-3}} \cdot 10 \cdot \int_0^{10 \cdot 10^{-3}} dt = \frac{1}{30 \cdot 10^{-3}} \cdot 10 \cdot t \Big|_0^{10 \cdot 10^{-3}} = \\ &= \frac{1}{30 \cdot 10^{-3}} \cdot 10 \cdot (10 \cdot 10^{-3} - 0) = \frac{1}{30 \cdot 10^{-3}} \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 3.33V \end{aligned}$$

הערך הממוצע של הזרם דרך הנגד של 20Ω הוא:

$$I_{av} = \frac{U_{av}}{R} = \frac{3.33}{20} = 0.1665A$$

ג.

הערך היעיל של המתח הנתון הוא:

$$\begin{aligned}
 U_{RMS} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{30 \cdot 10^{-3}} \left[\int_0^{10 \cdot 10^{-3}} 10^2 dt + \int_{10 \cdot 10^{-3}}^{30 \cdot 10^{-3}} 0 \cdot dt \right]} = \\
 &= \sqrt{\frac{1}{30 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^2 \cdot \int_0^{10 \cdot 10^{-3}} dt} = \sqrt{\frac{1}{30 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^2 \cdot t \Big|_0^{10 \cdot 10^{-3}}} = \\
 &= \sqrt{\frac{1}{30 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^2 \cdot 10 \cdot 10^{-3}} = 5.77V
 \end{aligned}$$

הערך היעיל של הזרם בנגד הוא:

$$I_{RMS} = \frac{U_{RMS}}{R} = \frac{5.77}{20} = 0.2885A$$

ד.

ממוצע הספק החום בנגד הוא ההספק הפעיל שמתפתח בנגד

$$P = \frac{U_{RMS}^2}{R} = \frac{5.77^2}{20} = 1.66W$$