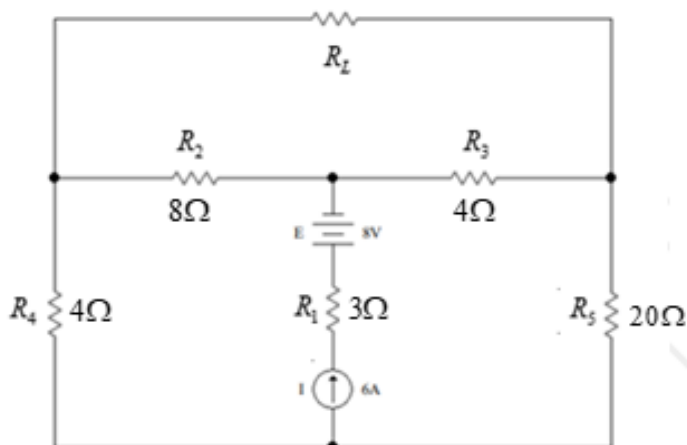


תרגיל 1 (מה"ט אביב 2019 מועד א' -שאלה 1)

באיור לשאלה נתון מעגל חשמלי.



א. מהו ערך הנגד, R_L , כדי לקבל בו הספק מרבי?

ב. מהו ההספק המרבי המתקבל בנגד R_L ?

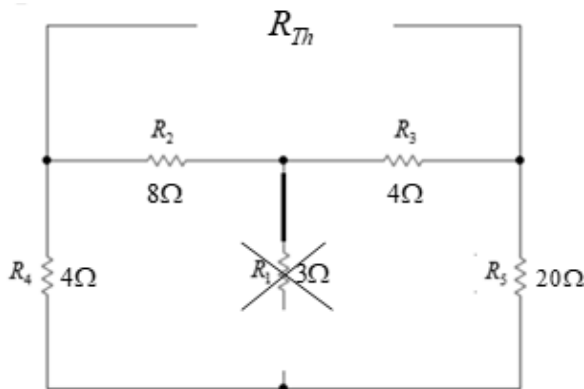
ג. מנתקים את נגד העומס R_L . מהו ההספק של מקור הזרם I ?

פתרון

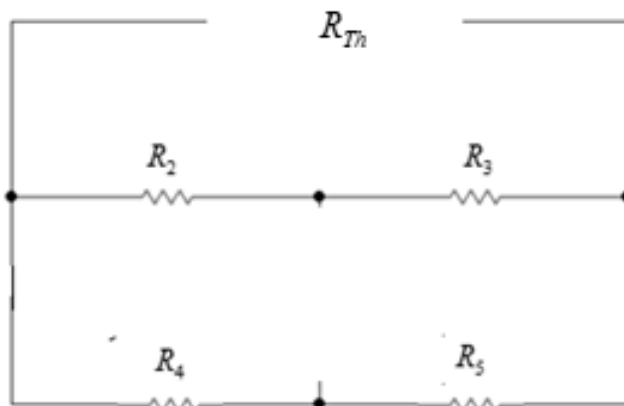
א. חישוב ההתנגדות R_{Th} .

מקצרים את מקור המתח E ומנתקים את מקור הזרם I .

נחשב את התנגדות הנתק שבין ההדקים R_{Th}



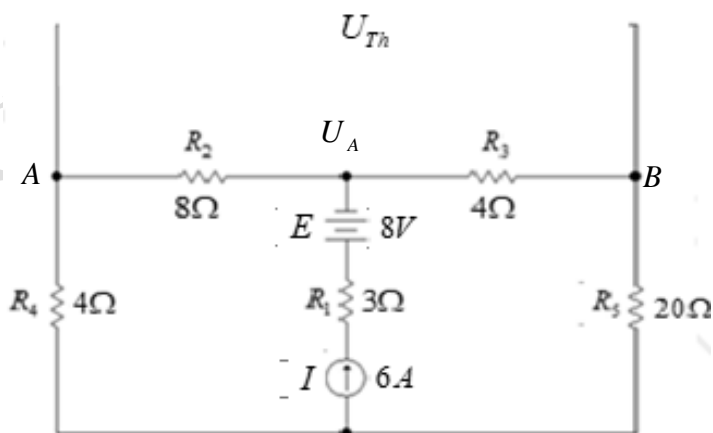
נשרטט את המעגל בצורה משופרת



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

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

ב. מחזירים את מקור המתח ומקור הזרם ומחשבים את המתח שבין הנקודות A ו-B, זהו למעשה U_{Th} .



משוואת המתחים לצומת U_A

$$\frac{U_A}{R_2 + R_4} + \frac{U_A}{R_3 + R_5} - I = 0$$

$$U_A \cdot \left(\frac{1}{R_2 + R_4} + \frac{1}{R_3 + R_5} \right) = I$$

$$U_A \cdot \left(\frac{1}{8+4} + \frac{1}{4+20} \right) = 6$$

מפתרון המשוואה נקבל:

$$U_A = 48V$$

מידיעת מתח הצומת U_A ניתן לחשב את הזרם בנגדים שבמעגל.

$$I_{R_{2,4}} = \frac{U_A}{R_2 + R_4} = \frac{48}{8+4} = 4 \text{ A}$$

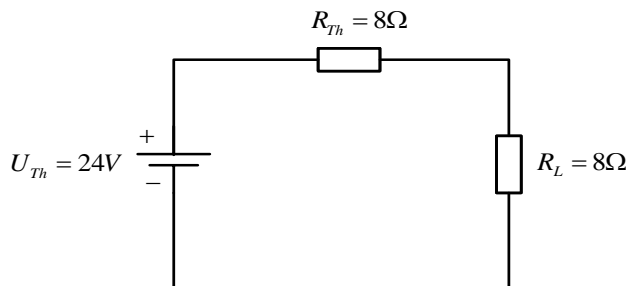
$$I_{R_{3,5}} = \frac{U_A}{R_3 + R_5} = \frac{48}{4+20} = 2 \text{ A}$$

מתח הנתק U_{Th} :

$$U_{Th} = U_{R_2} - U_{R_3}$$

$$U_{Th} = I_{R_{2,4}} \cdot R_2 - I_{R_{3,5}} \cdot R_3 = 4 \cdot 8 - 2 \cdot 4 = 24 \text{ V}$$

מעגל תמורה הכולל: R_L, R_{Th}, U_{Th} .



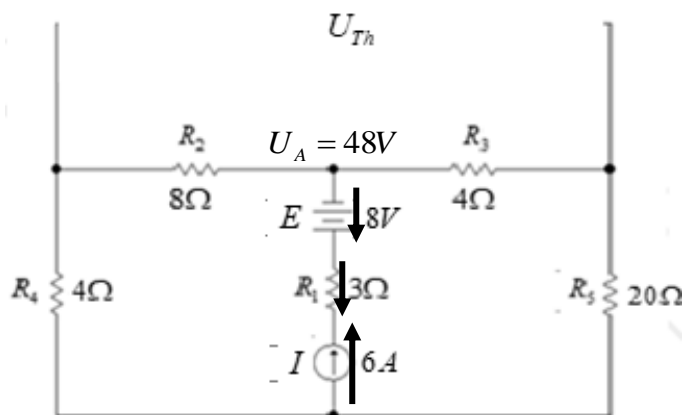
הזרם בעומס:

$$I = \frac{U_{Th}}{R_{Th} + R_L} = \frac{20}{8 + 8} = 1.5A$$

ההספק המרבי המתקבל בנגד העומס:

$$P_{R_L} = I^2 \cdot R_L = 1.5^2 \cdot 8 = 18W$$

ג. נסמן את כיווני המתחים במעגל



משוואת המתחים בנקודה A

$$U_A = U_I - U_{R_1} - E$$

$$U_A = U_I - I \cdot R_1 - E$$

$$48 = U_I - 6 \cdot 3 - 8$$

המתח במקור הזרם:

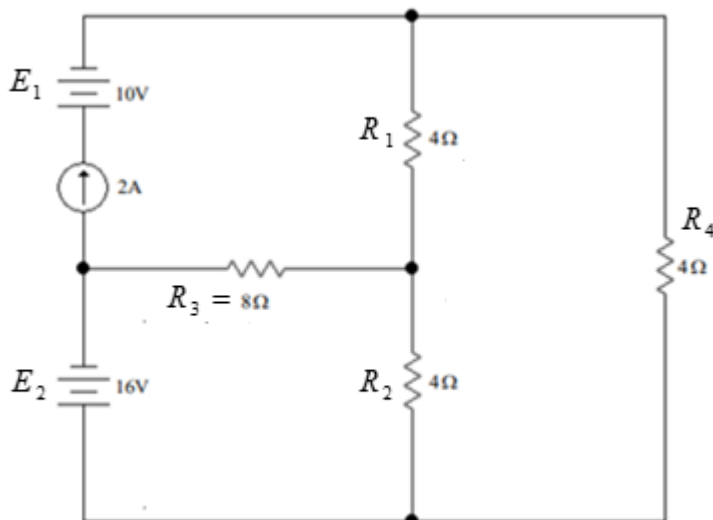
$$U_I = 74V$$

הספק מקור הזרם:

$$P_I = I \cdot U_I = 6 \cdot 74 = 444W$$

תרגיל מספר 2 (מה"ט אביב 2019, מועד א' - שאלה 2)

באיור לשאלה נתון מעגל חשמלי.



א. מהי עוצמת הזרם במקור המתח E_2 ?

ב. האם מקור המתח, E_2 , צורך אנרגיה או מספק אנרגיה? תשובה ללא נימוק תידחה.

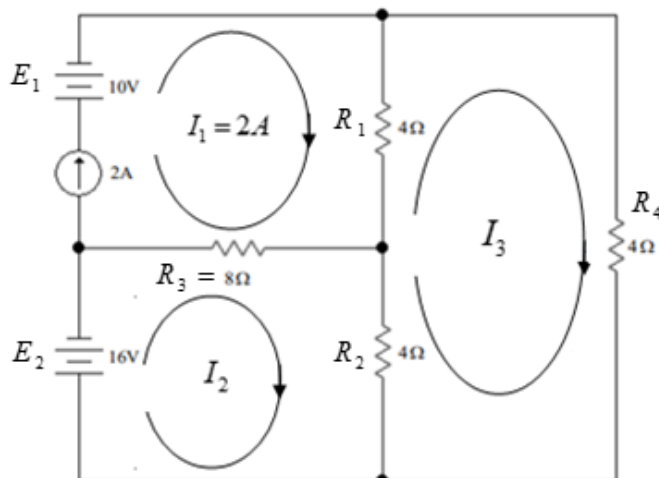
ג. כמה אנרגיה מתפתחת במקור המתח E_2 בדקה אחת?

ד. מהו המתח על מקור הזרם I ?

ה. כמה אנרגיה נצרכת במעגל במשך דקה אחת?

פתרון

א. נסמן את זרמי החוגים במעגל (נניח כי כיוון הזרם הינו עם כיוון תנועת מחוגי השעון):



נכתוב את משוואות המתחים לשני החוגים שבמעגל:

בחוג הראשון הזרם נתון $I_1 = 2A$

$$-I_1 \cdot R_3 + I_2 \cdot (R_2 + R_3) - I_3 \cdot R_2 = -E_2$$

$$-I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2 + I_3 (R_1 + R_2 + R_4) = 0$$

נציב את הנתונים שבמעגל:

$$-2 \cdot 8 + I_2 \cdot (4 + 8) - I_3 \cdot 4 = -16$$

$$-2 \cdot 4 - I_2 \cdot 4 + I_3 (4 + 4 + 4) = 0$$

קיבלנו מערכת של שתי משוואות עם שני נעלמים:

$$12 \cdot I_2 - 4 \cdot I_3 = 0$$

$$-4 \cdot I_2 + 12 \cdot I_3 = 8$$

מפתרון מערכת המשוואות נקבל:

$$I_2 = 0.25A \quad I_3 = 0.75A$$

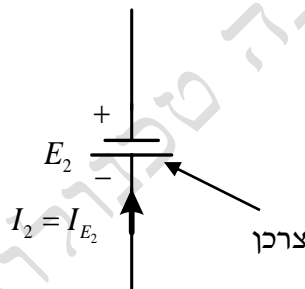
עוצמת הזרם במקור המתח

$$I_{E_2} = I_2 = 0.25A$$

הזרמים I_2 ו- I_3 חיוביים. משמעות הדבר שהכיוון האמיתי שלהם הוא בהתאם להנחת היסוד (עם כיוון מחוגי השעון).

ב. נבחן את מקור המתח:

כיוון הזרם דרך מקור המתח E_2 הינו מהמינוס לפלוס. משמעות הדבר E_2 מוגדר כצרכן- צורך אנרגיה.



ג. האנרגיה המתפתחת במקור E_2

$$W_{E_2} = P_2 \cdot t = E_2 \cdot I_2 \cdot t = 16 \cdot 0.25 \cdot 60 = 240J$$

ד. מהתבוננות בשרטוט ניתן לראות שהנגד R_4 מחובר במקביל למקורות המתח ומקור הזרם.

מכאן, משוואת המתחים

$$U_{R_4} = U_I - E_1 - E_2$$

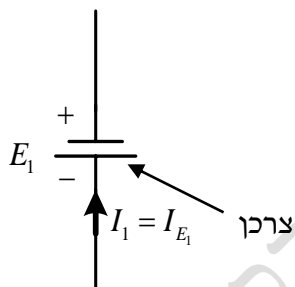
$$I_3 \cdot R_4 = U_I - E_1 - E_2$$

$$0.75 \cdot 4 = U_I - 10 - 16$$

המתח במקור הזרם:

$$U_I = 29V$$

ה. כיוון הזרם דרך מקור המתח E_1 הינו מהפלוס למינוס. משמעות הדבר E_1 מוגדר כצרכן.



שני מקורות המתח מוגדרים כצרכנים. המשמעות היא: מקור הזרם מהווה היצרן שבמעגל. הספק מקור הזרם:

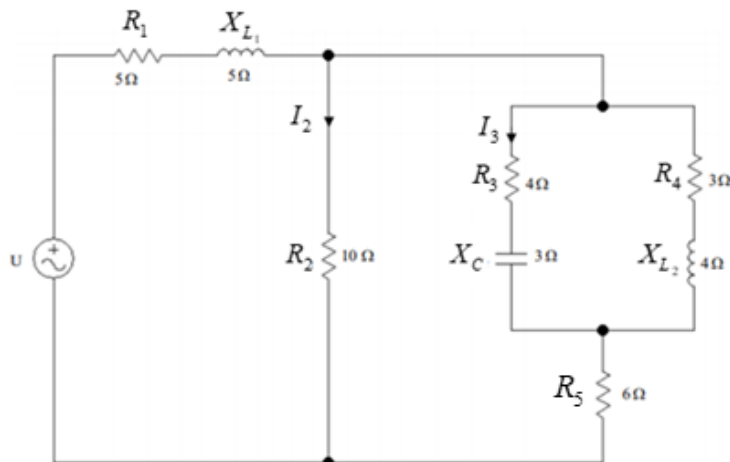
$$P_I = I_1 \cdot U_I = 2 \cdot 29 = 58W$$

האנרגיה הנצרכת במעגל במשך דקה

$$W = P_I \cdot t = 58 \cdot 60 = 3480J$$

תרגיל 3 (מה"ט אביב 2019 מועד א' -שאלה 3)

באיור לשאלה נתון מעגל חשמלי.



נתון: $I_3 = 2\angle 90^\circ \text{ A}$

א. מהו הגודל ומהי הזווית של הזרם I_2 ?

ב. מהו הגודל ומהי הזווית של מקור המתח U ?

ג. מוהם הגדלים של ההספק הפעיל P , ההספק ההיגבי Q , וההספק הנדמה S , של מקור

המתח?

סרטט את משולש הספקים, וציין עליו את שלושת ההספקים ואת הזווית שבין ההספק הפעיל להספק הנדמה.

פתרון

א. המתח בעכבה Z_3 :

$$U_3 = I_3 \cdot Z_3 = 2 \angle 90^\circ \cdot (4 - j3) = 6 + j8 = 10 \angle 53.13^\circ V$$

העכבות Z_3 ו- Z_4 מחוברות במקביל ולכן המתח עליהן שווה :

$$U_3 = U_4 = 10 \angle 53.13^\circ V$$

הזרם דרך העכבה Z_4

$$I_4 = \frac{U_4}{Z_4} = \frac{10 \angle 53.13^\circ}{3 + j4} = 2 \angle 0^\circ A$$

$$I_5 = I_3 + I_4 = 2 \angle 90^\circ + 2 \angle 0^\circ = 2.828 \angle 45^\circ A$$

$$U_5 = I_5 \cdot Z_5 = 2.828 \angle 45^\circ \cdot 6 \angle 0^\circ = 16.97 \angle 45^\circ V$$

המתח בעכבה Z_2 :

$$U_2 = U_4 + U_5$$

$$U_2 = 10 \angle 53.13^\circ + 16.97 \angle 45^\circ = 26.9 \angle 48^\circ V$$

$$I_2 = \frac{U_2}{Z_2} = \frac{26.9 \angle 48^\circ}{10} = 2.69 \angle 48^\circ A$$

ב. הזרם הכללי במעגל :

$$I_T = I_1 = I_2 + I_5 = 2.69 \angle 48^\circ + 2.828 \angle 45^\circ = 5.516 \angle 46.468^\circ A$$

נחשב את המתח U_1 :

$$U_1 = I_1 \cdot Z_1$$

$$U_1 = 5.516 \angle 46.468^\circ \cdot (5 + j5) = 39 \angle 91.468^\circ V$$

המתח הכללי במעגל:

$$U_T = U_1 + U_2$$

$$U_T = 39 \angle 91.468^\circ + 26.9 \angle 48^\circ = 61.388 \angle 73.923^\circ V$$

ג. ההספק המדומה שמספק המקור:

$$S_T = U_T \cdot I_T^*$$

$$S_T = 61.388 \angle 73.923^\circ \times 5.516 \angle -46.468^\circ = 338.617 \angle 27.455^\circ VA$$

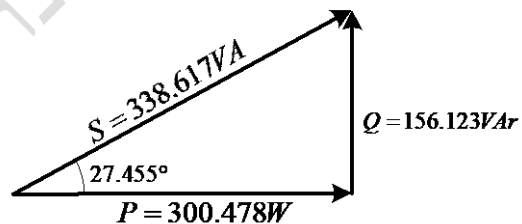
למציאת ההספק הפעיל וההיגבי, נעבור מהצגה פולרית של (S_T) להצגה קרטזית.

$$S_T = (300.478 + j156.123) VA$$

\uparrow
 P

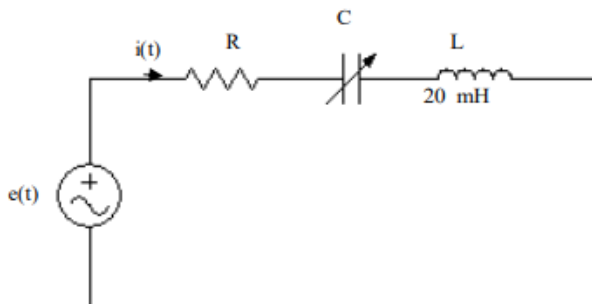
\uparrow
 Q

משולש הספקים



תרגיל 4 (מה"ט אביב 2019 מועד א' - שאלה 4)

באיור לשאלה נתון מעגל חשמלי.



המעגל חובר למקור מתח שביטוי הוא: $e(t) = 100 \sqrt{2} \sin(1000t)$ [V]

ביטוי הזרם, הזורם במעגל, הוא: $i(t) = 10 \sqrt{2} \sin(1000t - \frac{\pi}{3})$ [A]

א. האם המעגל נמצא בתהודה? תשובה ללא נימוק לא תתקבל.

ב. מהו ערך הנגד R?

ג. מהו ערך הקבל C הדרוש, כדי שהמעגל יפעל בתהודה?

ד. מהם הערכים של תדרי מחצית ההספק, כשהמעגל נמצא במצב תהודה?

ה. כמה זרם זורם במעגל בתדרי מחצית ההספק?

פתרון

א. העכבה השקולה:

$$Z = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} = \frac{100 \angle 0^\circ}{10 \angle -60^\circ} = 10 \angle 60^\circ \Omega$$

בתדר התהודה זווית העכבה שווה ל-0. ומכאן שהמעגל לא במצב תהודה.

ב. לצורך מציאת הנגד נעבור להצגה קרטזית:

$$Z = 10 \angle 60^\circ = 5 + j8.66 \Omega$$

$$R = 5 \Omega$$

ג. ההיגב ההשראי:

$$X_L = \omega \cdot L = 1000 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 20\Omega$$

בתהודה $X_L = X_C = 20\Omega$

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C} = \frac{1}{1000 \cdot 20} = 50\mu F$$

ד. רוחב הפס:

$$BW = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{R}{L} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{5}{20 \cdot 10^{-3}} = 39.788\text{Hz}$$

הערך הנמוך של תדירות מחצית ההספק:

$$f_1 = f_0 - \frac{BW}{2} = \frac{1000}{2\pi} - \frac{39.788}{2} = 139.26\text{Hz}$$

הערך הגבוה של תדירות מחצית ההספק:

$$f_2 = f_0 + \frac{BW}{2} = \frac{1000}{2\pi} + \frac{39.788}{2} = 179.049\text{Hz}$$

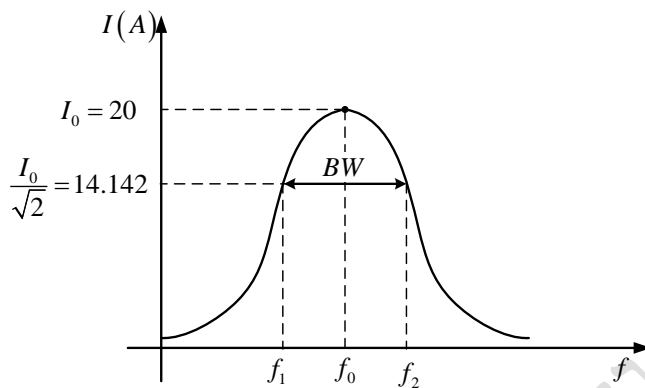
ה. זרם המעגל בתהודה:

$$I_0 = \frac{U_{eff}}{Z} = \frac{100\angle 0^\circ}{5\angle 0^\circ} = 20\angle 0^\circ\text{A}$$

זרם מחצית ההספק:

$$\frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{20\angle 0^\circ}{\sqrt{2}} = 14.142\angle 0^\circ\text{A}$$

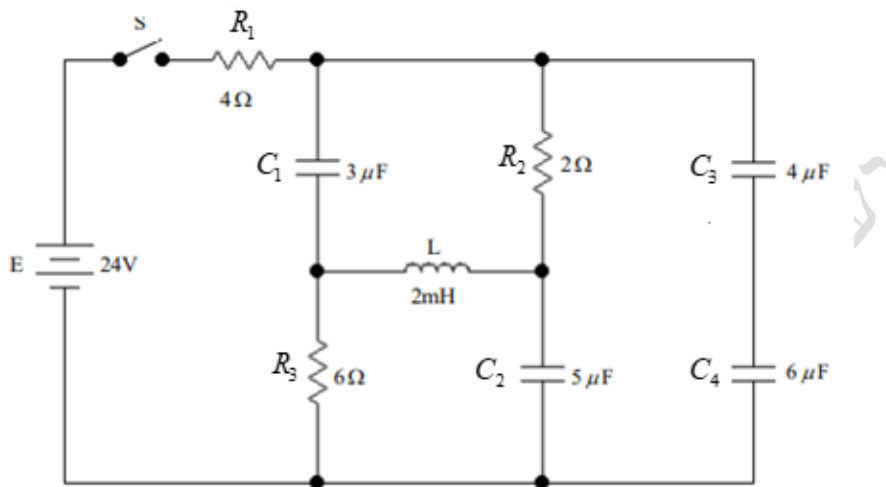
גרף המתאר את הזרם כפונקציה של התדר



יעוץ והדרכה טכנולוגית - IRG

תרגיל 5 (מה"ט אביב 2019 מועד א' - שאלה 5)

באיור לשאלה נתון מעגל חשמלי.



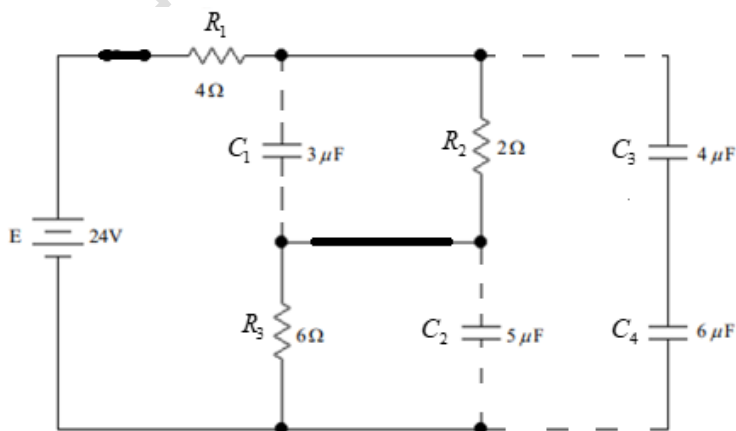
א. מהם הערכים של המתחים על הקבלים על זמן רב לאחר סגירת המתג S (כאשר כל תופעות המעבר חלפו)?

ב. מהי עוצמת הזרם בסליל L זמן רב לאחר סגירת המתג S?

ג. כמה אנרגיה אגורה במעגל בתום כל תופעות המעבר?

פתרון

א. נשרטט את המעגל בסיום תופעות המעבר



בסיום תופעות המעבר הקבלים מהווים נתק והזרם דרכם בשלב זה הוא 0A.
והסליל מהווה קצר, מפל המתח בשלב זה הוא 0V.

נחשב את המתח על הנגד R_2 בעזרת שיטת מחלק מתח:

$$U_{C_1} = U_{R_2} = E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = 24 \cdot \frac{2}{4 + 2 + 6} = 4V$$

נחשב את המתח על הנגד R_3 בעזרת שיטת מחלק מתח:

$$U_{C_2} = U_{R_3} = E \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 24 \cdot \frac{6}{4 + 2 + 6} = 12V$$

את המתח על הקבלים C_3 ו- C_4 נחשב לפי שיטת מחלק מתח על קבלים:

$$U_{C_3} = U_{R_{2,3}} \cdot \frac{C_4}{C_3 + C_4} = 16 \cdot \frac{6\mu}{4\mu + 6\mu} = 9.6V$$

$$U_{C_4} = U_{R_{2,3}} \cdot \frac{C_3}{C_3 + C_4} = 16 \cdot \frac{4\mu}{4\mu + 6\mu} = 6.4V$$

ב. עוצמת הזרם בסליל

$$I_T = I_L = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{24}{4 + 2 + 6} = 2A$$

ג. האנרגיה האגורה בקבלים:

$$W_{C_1} = \frac{C_1 \cdot U_1^2}{2} = \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 4^2}{2} = 24\mu J$$

$$W_{C_2} = \frac{C_2 \cdot U_2^2}{2} = \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 12^2}{2} = 360\mu J$$

$$W_{C_3} = \frac{C_3 \cdot U_3^2}{2} = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 9.6^2}{2} = 184.32 \mu J$$

$$W_{C_4} = \frac{C_4 \cdot U_4^2}{2} = \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot 6.4^2}{2} = 122.88 \mu J$$

האנרגיה האגורה בסליל:

$$W_{L_1} = \frac{L_1 \cdot I_{L_1}^2}{2} = \frac{2m \cdot 2^2}{2} = 4mJ$$

האנרגיה האגורה במעגל:

$$W_T = W_{C_1} + W_{C_2} + W_{C_3} + W_{C_4} + W_L$$

$$W_T = 24 \mu + 360 \mu + 184.32 \mu + 122.88 \mu + 4m = 4.6912mJ$$

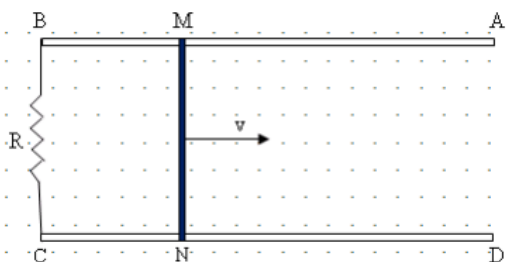
תרגיל 6 (מה"ט אביב 2019 מועד א' - שאלה 6)

באיור לשאלה 6 נתונה מערכת, הנמצאת בתוך שדה מגנטי. צפיפות השטף המגנטי אחידה, ושיעורה הוא $B = 0.6T$. השדה ניצב למישור הדף, וכיוונו הוא ממישור הדף החוצה.

המערכת כוללת שתי מסילות מתכתיות, AB ו-CD, שהתנגדותן החשמלית זניחה.

בקצות המסילות מחובר נגד, שהתנגדותו היא $R = 1.75 \Omega$, ולאורכן נע ללא חיכוך מוט מתכתי,

שאורכו הוא 15 ס"מ, במהירות קבועה של $v = 5 \frac{m}{s}$, והתנגדותו החשמלית היא $R_{MN} = 0.25 \Omega$.



א. מהי עוצמת הזרם בנגד R?

ב. מהו כיוון הזרם במוט MN? תשובה ללא נימוק לא תתקבל.

ג. כמה כוח (גודל וכיוון) פועל על המוט MN ע"י השדה המגנטי?

ד. אם כיוון השדה המגנטי היה משמאל לימין (במקביל למישור הדף), כיצד היו משתנות

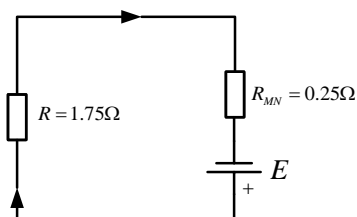
התוצאות, המתקבלות בסעיפים א, ב ו- ג?

פתרון

א. הכוח האלקטרומגנטי (לפי חוברת הנוסחאות):

$$E = B \cdot v \cdot L \cdot \sin \alpha = 0.6 \cdot 5 \cdot 0.15 \cdot \sin 90^\circ = 0.45 [V]$$

בתרשים מתואר מעגל חשמלי שקול.



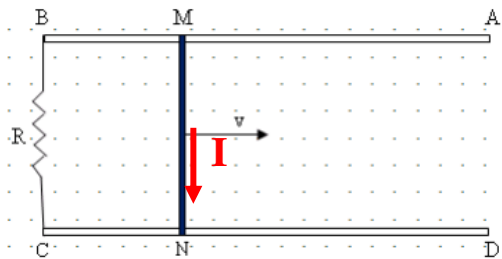
הזרם החשמלי בנגד:

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

ב. כיוון הזרם במוט

לפי כלל יד ימין, כיוון זרימת המטענים החיוביים על המוט לנקודה N. המשמעות היא: בנקודה N הפוטנציאל הגבוה, ומכאן שניתן לדמות לסוללה בעלת הדק חיובי בנקודה N.

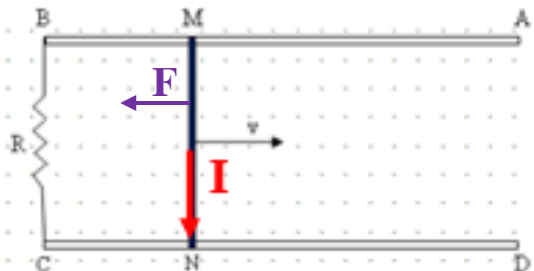
נסמן את כיוון הזרם במוט



ג. הכוח על הכריכה:

$$F = B \cdot I \cdot L \cdot \sin 90^\circ = 0.6 \cdot 0.225 \cdot 0.15 \cdot \sin 90^\circ = 0.02025 N$$

כיוון הכוח הפועל על המוט ע"י השדה המגנטי – שמאלה



ד. כאשר השדה במקביל למישור הדיף.

המשמעות היא $\alpha = 0^\circ$

$$E = B \cdot V \cdot L \cdot \sin 0^\circ = 0$$

הכא"מ שווה ל-0, לכן אין זרם במעגל ולא מופעל כוח.

יעוץ והדרכה טכנולוגית - IRG

תרגיל 7 (מה"ט אביב 2019 מועד א' -שאלה 7)

באיור לשאלה 7 נתון מעגל מגנטי. המעגל בנוי מליבה פרומגנטית בעלת שטח חתך אחיד וחרץ אוויר. על הליבה מלופפים שני סלילים, L_1 ו- L_2 , המחוברים בטור למקור זרם ישר, I.

נתוני המעגל הם:

$\mu_r = 1500$ - חדירות מגנטית יחסית של הליבה-

$l_{ave} = 1203 \text{ mm}$ - האורך הממוצע של המסלול המגנטי-

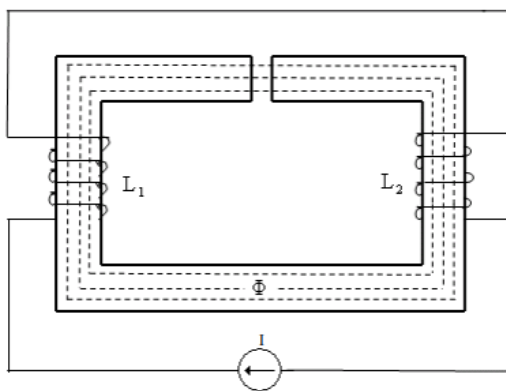
$l_o = 3 \text{ mm}$ - אורך חריץ האוויר-

$A = 900 \text{ (mm)}^2$ - שטח החתך של הליבה-

$N_1 = 800$ - מספר הכריכות של הסליל L_1 -

$N_2 = 1200$ - מספר הכריכות של הסליל L_2 -

$I = 2 \text{ A}$ - מקור זרם ישר, I -



איור לשאלה 7

א. מהו ערך המיאון (ההתנגדות המגנטית) של המעגל המגנטי?

ב. מהו גודלו ומהו כיוונו של השטף המגנטי, Φ ?

ג. מהן עוצמות השדה המגנטי בליבה ובחריץ האוויר?

ד. מהם הערכים של השראות הסלילים L_1 ו- L_2 ?

פתרון

א. המיאון של הליבה

$$R_m = \frac{L_{ave}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A} = \frac{1200 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1500 \cdot 900 \cdot 10^{-6}} = 0.707 \cdot 10^6 \frac{1}{H}$$

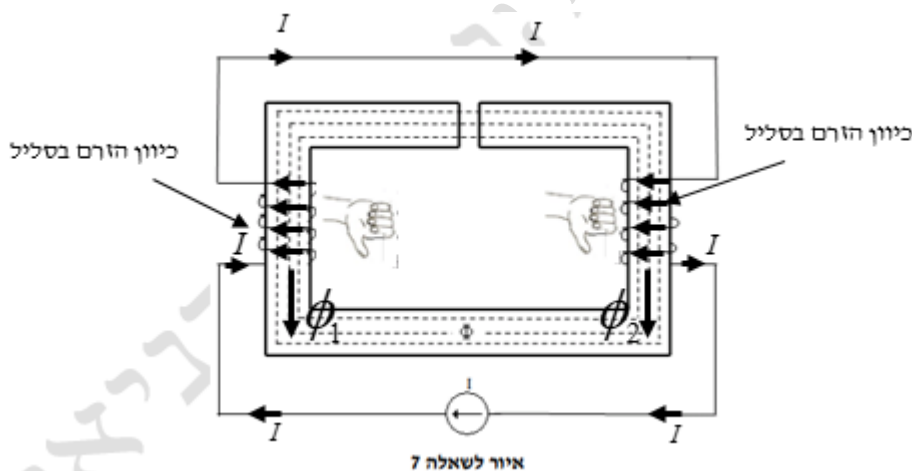
המיאון של חריץ האוויר

$$R_{m_0} = \frac{L_0}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 900 \cdot 10^{-6}} = 2.652 \cdot 10^6 \frac{1}{H}$$

המיאון הכללי של המעגל המגנטי:

$$R_{m_T} = R_m + R_{m_0} = 0.707 \cdot 10^6 + 2.652 \cdot 10^6 = 3.359 \cdot 10^6 \frac{1}{H}$$

ב. נסמן את כיוון הזרם והשטף במעגל המגנטי



כיוון השטף המגנטי נקבע לפי כלל היד הימנית - נניח את יד ימין כך שהאצבעות סוגרות על התיל נושא הזרם. האצבעות יראו את כיוון הזרם והאגודל את כיוון השטף המגנטי. ומכאן, שכיווני השטף הנוצרים בשני הסלילים מנוגדים.

השטף המגנטי השקול (עם כיוון השעון):

$$\phi_T = \phi_2 - \phi_1 = \frac{F_m}{R_{m_T}} = \frac{N_2 \cdot I - N_1 \cdot I}{R_{m_T}} = \frac{(N_2 - N_1) \cdot I}{R_{m_T}} = \frac{(1200 - 800) \cdot 2}{3.359 \cdot 10^6} = 0.238 \text{ mwb}$$

ג. צפיפות השטף המגנטי:

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

עוצמת השדה המגנטי בליבה

$$H_1 = \frac{B}{\mu_0 \cdot \mu_r} = \frac{0.264}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1500} = 140.056 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

עוצמת השדה המגנטי בחריץ האוויר

$$H_0 = \frac{B}{\mu_0 \cdot \mu_r} = \frac{0.264}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1} = 210.084 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

ד. השראות הסליל L_1 :

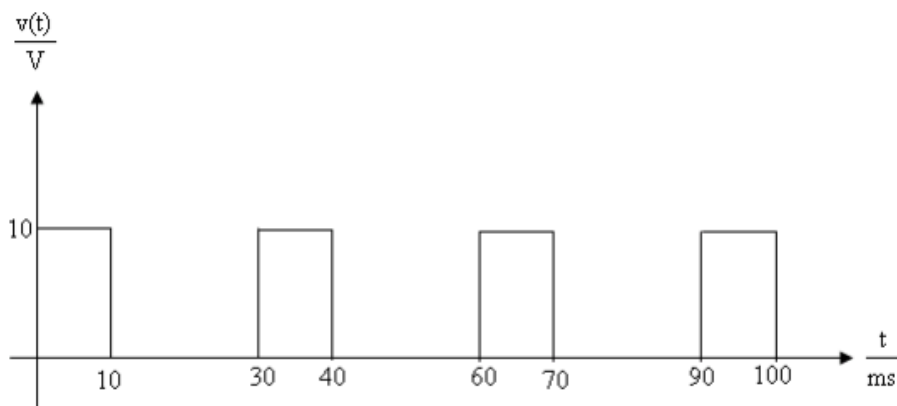
$$L_1 = \frac{N_1^2}{R_{m_T}} = \frac{800^2}{3.359 \cdot 10^6} = 190.532 \text{ mH}$$

השראות הסליל L_2 :

$$L_2 = \frac{N_2^2}{R_{m_T}} = \frac{1200^2}{3.359 \cdot 10^6} = 428.7 \text{ mH}$$

תרגיל 8 (מה"ט אביב 2019 מועד א' - שאלה 8)

באיור 8 מתואר גל מתח, המתקבל על מסך משקף תנודות (אוסצילוסקופ) בין ההדקים של נגד שערכו 20Ω .



א. מהו ערך תדר האות המופיע באיור?

ב. מהו הערך הממוצע של אות הזרם הזורם בנגד?

ג. מהו הערך היעיל (האפקטיבי) של אות הזרם הזורם בנגד?

ד. מהו ממוצע הספק החום המתפתח בנגד?

פתרון

א. זמן המחזור:

$$T = 30 \text{ msec}$$

תדר האות:

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{30 \cdot 10^{-3}} = 33.333 \text{ Hz}$$

ב. נחשב תחילה את הערך הממוצע של המתח

בדרך א'

$$U_{av} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{30 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[\int_0^{10 \cdot 10^{-3}} 10 dt + \int_{10 \cdot 10^{-3}}^{30 \cdot 10^{-3}} 0 dt \right]$$

$$U_{av} = \frac{10}{30 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[t \Big|_0^{10 \cdot 10^{-3}} \right] = \frac{10}{30 \cdot 10^{-3}} (10 \cdot 10^{-3} - 0) = 3.333V$$

בדרך ב' - לפי חישוב שטחים:

$$U_{av} = \frac{10 \times 10 \cdot 10^{-3} - 0}{T} = \frac{10 \times 10 \cdot 10^{-3} - 0}{30 \cdot 10^{-3}} = 3.333V$$

הערך הממוצע של הזרם:

$$I_{av} = \frac{U_{av}}{R} = \frac{3.333}{20} = 0.166A$$

ג. המתח האפקטיבי:

$$U_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt$$

נציב את הנתונים לתוך הנוסחה:

$$U_{eff}^2 = \frac{1}{30 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[\int_0^{10 \cdot 10^{-3}} 10^2 dt + \int_{10 \cdot 10^{-3}}^{30 \cdot 10^{-3}} 0^2 dt \right]$$

$$U_{eff}^2 = \frac{10^2}{30 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[t \Big|_0^{10 \cdot 10^{-3}} \right] = \frac{100}{30 \cdot 10^{-3}} (10 \cdot 10^{-3} - 0) = 33.333$$

$$U_{eff} = 5.7735V$$

הערך היעיל של אות הזרם בנגד

$$I_{eff} = \frac{U_{eff}}{R} = \frac{5.7735}{20} = 0.288A$$

ד. ממוצע הספק החום המתפתח בנגד:

$$P_{av} = I_{eff}^2 \cdot R = 0.288^2 \cdot 20 = 1.658W$$