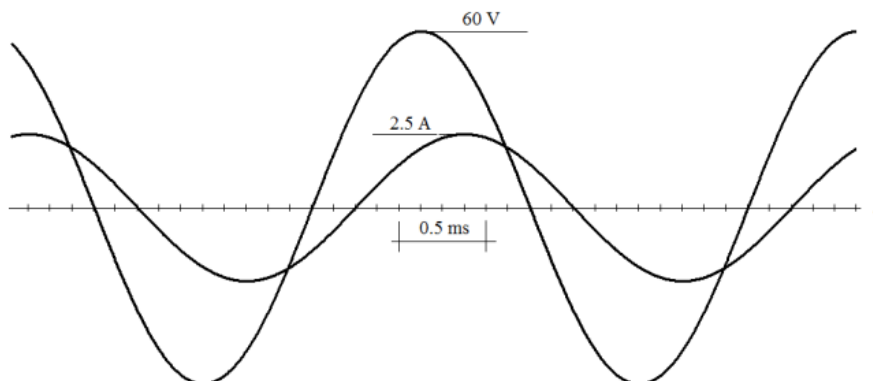


תרגיל 1 (מה"ט קיץ 2018 מועד ב' - שאלה 1)

מקור מתח חילופים סינוסואידי מזין מכשיר חשמלי באנרגייה. האותות שבאיור 1 הם אות המתח שבין הדקי המכשיר ואות הזרם במכשיר, אותות שנמדדו בו בזמן.



א. מה שמו של מכשיר המדידה שבאמצעותו מדדו את האותות שבאיור?

ב. מהם התדרים של האותות שבאיור?

ג. מה הפרש המופע שבין שני האותות שבאיור?

ד. מה אופי צריכת האנרגייה במכשיר, השראי או קיבולי?

ה. מה הספק צריכת האנרגייה במכשיר?

פתרון

א. אוסילוסקופ - משקף תנודות

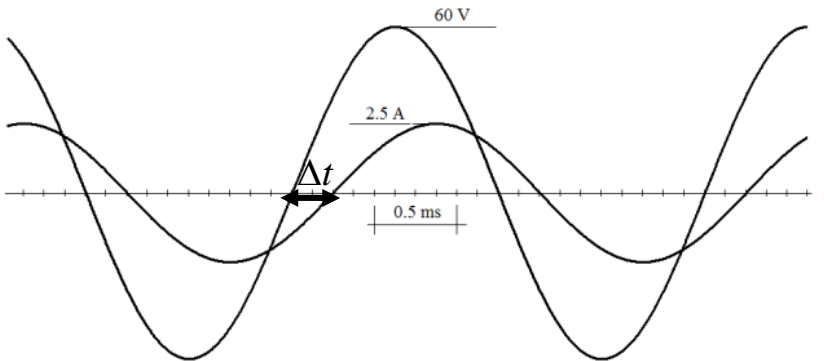
ב. זמן המחזור:

$$T = 5 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ sec}$$

תדר האות:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2.5 \cdot 10^{-3}} = 400 \text{ Hz}$$

ג. הפרש המופע שבין שני האותות



$$\Delta\varphi = \frac{360^\circ}{T} \cdot \Delta t = \frac{360^\circ}{2.5 \cdot 10^{-3}} \cdot 0.25 \cdot 10^{-3} = 36^\circ$$

$\Delta\varphi$ - הפרש מופע (במעלות)

T - זמן מחזור (sec)

Δt - משך הזמן המתואם להפרש מופע (sec)

ד. אופי השראי – המתח מקדים את הזרם

ה. נחשב תחילה את עכבת המעגל Z :

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{60 \angle 0^\circ}{2.5 \angle -36^\circ} = 24 \angle 36^\circ = 19.416 + j14.106 \Omega$$

צריכת האנרגיה במכשיר

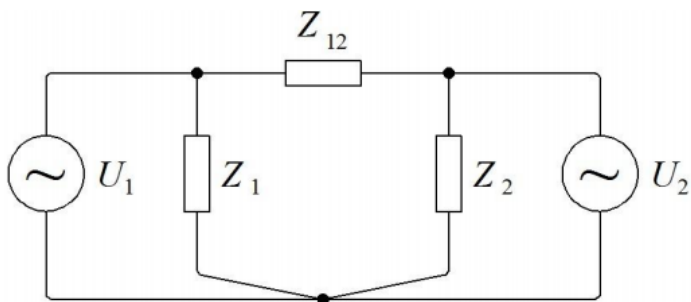
$$P_{av} = I_{eff}^2 \cdot R = \left(\frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \right)^2 \cdot R = \left(\frac{2.5}{\sqrt{2}} \right)^2 \cdot 19.416 = 60.676 \text{ W}$$

תרגיל 2 (מה"ט קיץ 2018 מועד ב' - שאלה 2)

הנתונים של שני מקורות מתח החילופים ושלוש העכבות שבמעגל שבאיור 2 הם:

$$\bar{U}_1 = 231\text{V} \angle +5^\circ \quad \bar{U}_2 = 231\text{V} \angle -3^\circ$$

$$\bar{Z}_1 = 50\Omega \angle 18^\circ \quad \bar{Z}_2 = 30\Omega \angle 25^\circ \quad \bar{Z}_{12} = (1 + j8)\Omega$$



א. מה ההספק צריכת האנרגייה הממשית וההיגבית בעכבה Z_1 ובעכבה Z_2 ?

ב. מה ההספק המרוכב בכל אחד משני מקורות המתח?

ג. מה מגמת זרימת האנרגייה דרך העכבה Z_{12} ?

פתרון

א. הזרם דרך העכבה Z_1 :

$$I_{Z_1} = \frac{U_1}{Z_1} = \frac{231 \angle 5^\circ}{50 \angle 18^\circ} = 4.62 \angle -13^\circ \text{ A}$$

ההספק המדומה בעכבה Z_1 :

$$S_{Z_1} = U_1 \cdot I_{Z_1}^* = 231 \angle 5^\circ \cdot 4.62 \angle +13^\circ = 1067.22 \angle 18^\circ \text{ VA}$$

$$S_{Z_1} = 1067.22 \angle 18^\circ = \underbrace{1041.986}_{P_{Z_1}} + j \underbrace{329.789}_{Q_{Z_1}}$$

הזרם דרך העכבה Z_2 :

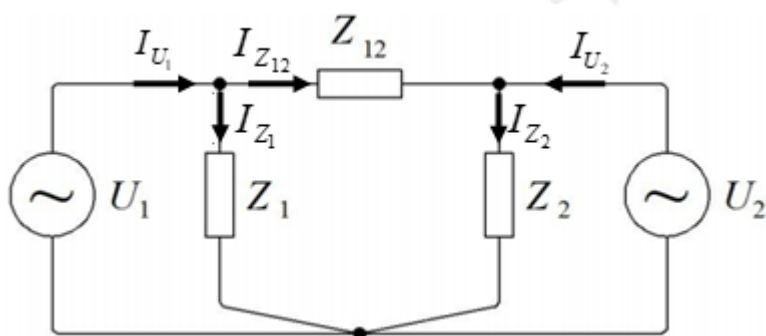
$$I_{Z_2} = \frac{U_2}{Z_2} = \frac{231 \angle -3^\circ}{30 \angle 25^\circ} = 7.7 \angle -28^\circ \text{ A}$$

ההספק המדומה בעכבה Z_2 :

$$S_{Z_2} = U_2 \cdot I_{Z_2}^* = 231 \angle -3^\circ \cdot 7.7 \angle +28^\circ = 1778.7 \angle 25^\circ \text{ VA}$$

$$S_{Z_2} = 1778.7 \angle 25^\circ = \underbrace{1612.049}_{P_2} + j \underbrace{751.711}_{Q_2}$$

ב. נסמן את הזרמים וכיוונם במעגל



הזרם דרך העכבה Z_{12} :

$$I_{Z_{12}} = \frac{U_1 - U_2}{Z_{12}} = \frac{231 \angle 5^\circ - 231 \angle -3^\circ}{1 + j8} = 3.997 \angle 8.125^\circ \text{ A}$$

הזרם במקור המתח U_1 :

$$I_{U_1} = I_{Z_1} + I_{Z_{12}}$$

$$I_{U_1} = 4.62 \angle -13^\circ + 3.997 \angle 8.125^\circ = 8.472 \angle -3.2^\circ \text{ A}$$

ההספק המדומה במקור המתח U_1 :

$$S_{U_1} = U_1 \cdot I_{U_1}^* = 231 \angle 5^\circ \cdot 8.472 \angle + 3.2^\circ = 1957.032 \angle 8.2^\circ \text{VA}$$

$$S_{U_1} = 1957.032 \angle 8.2^\circ = \underbrace{1937.032}_{P_{U_1}} + j \underbrace{279.129}_{Q_{U_1}}$$

הזרם במקור המתח U_2

$$I_{Z_2} = I_{U_2} + I_{Z_{12}}$$

$$I_{U_2} = I_{Z_2} - I_{Z_{12}}$$

$$I_{U_2} = 7.7 \angle -28^\circ - 3.997 \angle 8.125^\circ = 5.05 \angle -55.788^\circ \text{A}$$

ההספק המדומה במקור המתח U_2 :

$$S_{U_2} = U_2 \cdot I_{U_2}^* = 231 \angle -3^\circ \cdot 5.05 \angle + 55.788^\circ = 1166.55 \angle 52.788^\circ \text{VA}$$

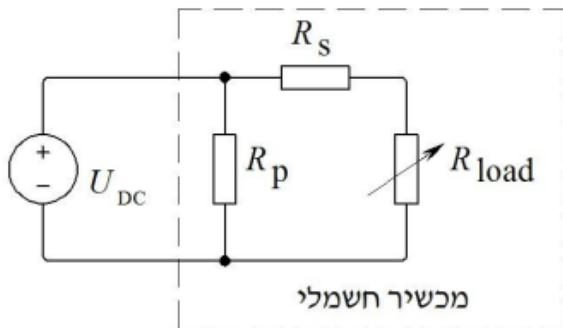
$$S_{U_2} = 1166.55 \angle 52.788^\circ = \underbrace{705.489}_{P_{U_2}} + j \underbrace{929.044}_{Q_{U_2}}$$

ג. זווית הזרם $I_{Z_{12}} = \angle 8.125^\circ$. המשמעות היא: כיוון הזרם וזרימת

האנרגיה, בהתאם לסימון במעגל, משמאל לימין.

תרגיל 3 (מה"ט קיץ 2018 מועד ב' - שאלה 3)

מכשיר חשמלי הפועל בזרם ישר מחובר למקור מתח ישר (להלכה) של $U_{DC} = 180\text{ V}$.



איור 3.1

שלושת ההתנגדויות שבאיור 3.1 הן מעגל התמורה החשמלי של המכשיר.

ההתנגדות R_{load} היא התנגדות שגודלה משתנה, והיא מייצגת את הספק המוצא של המכשיר.

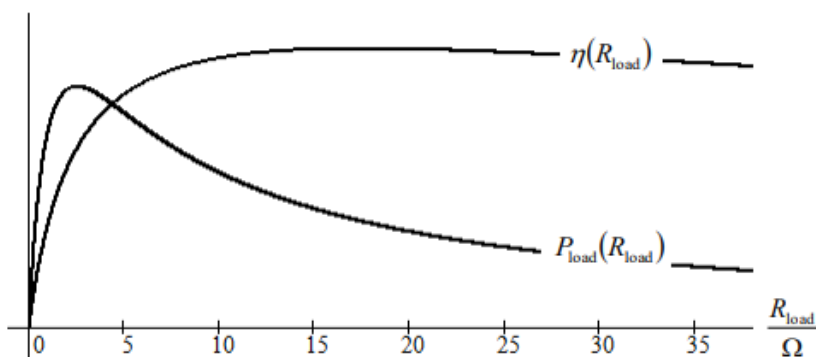
שתי ההתנגדויות האחרות הן

$$R_s = 2.5\Omega \quad R_p = 120\Omega$$

הגודל של התנגדויות אלו קבוע, והן

מייצגות את איבודי האנרגיה שבמכשיר.

התלות של הספק המוצא של המכשיר ושל הנצילות שלו בהתנגדות R_{load} , מתוארת באיור 3.2.



איור 3.2

- א מה הספק המוצא המרבי?
- ב מה הנצילות של המעגל שבאיור 3.1, בנקודת העבודה שבה הספק המוצא מרבי?
- ג מה הספק המוצא של המכשיר בנקודת העבודה שבה הנצילות מרבית?
- ד מה הנצילות המרבית?

ההתנגדות R_{load} שבה הנצילות מרבית נתונה בביטוי $R_{load}|_{\eta_{max}} = \sqrt{R_s(R_s + R_p)}$

ה האם התשובות על ארבעת השאלות לעיל, מתאימות לעקומים שבאיור 3.2?

חובה להעתיק (ביד חופשית) את איור 3.2 אל מחברת הבחינה. את התשובות יש לכתוב על

האיור שבמחברת הבחינה, ולהראות שיש או אין התאמה בין התשובות לעקומים שבאיור.

פתרון

א. הספק המוצא המרבי מתקבל כאשר:

$$R_S = R_L = 2.5\Omega$$

$$I_{R_L} = \frac{U}{R_S + R_L} = \frac{180}{2.5 + 2.5} = 36A$$

$$P_{R_L(\max)} = I_L^2 \cdot R_L = 36^2 \cdot 2.5 = 3240W$$

ב.

$$I_{R_P} = \frac{U}{R_P} = \frac{180}{120} = 1.5A$$

$$I_T = I_{R_P} + I_{R_L} = 1.5 + 36 = 37.5A$$

ההספק המיוצר במעגל

$$P_T = I_T \cdot U = 37.5 \cdot 180 = 6750W$$

נצילות המעגל כאשר ההספק מרבי

$$\eta_{\%} = \frac{P_{R_L}}{P_T} \cdot 100 = \frac{3240}{6750} \cdot 100 = 48\%$$

ג. ההתנגדות שבה הנצילות מקסמלית

$$R_L |_{\eta_{\max}} = \sqrt{R_S (R_S + R_P)} = \sqrt{2.5(2.5 + 120)} = 17.5\Omega$$

$$I_{R_L(\eta_{\max})} = \frac{U}{R_S + R_L |_{\eta_{\max}}} = \frac{180}{2.5 + 17.5} = 9A$$

$$P_{R_L(\eta_{\max})} = I_L^2 \cdot R_{L(\eta_{\max})} = 9^2 \cdot 17.5 = 1417.5W$$

ד. הזרם כאשר הנצילות מרבית

$$I_{T(\eta_{\max})} = I_{R_p} + I_{R_L(\eta_{\max})} = 1.5 + 9 = 10.5A$$

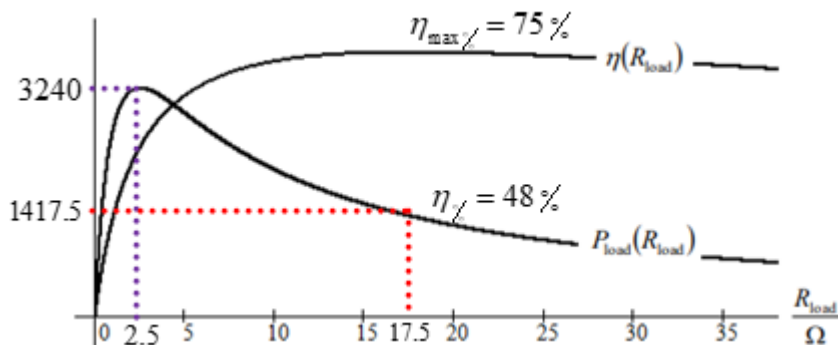
ההספק המיוצר במעגל בנצילות מרבית

$$P_{T(\eta_{\max})} = I_{T(\eta_{\max})} \cdot U = 10.5 \cdot 180 = 1890W$$

נצילות המעגל המרבית

$$\eta_{\max} \% = \frac{P_{R_L(\eta_{\max})}}{P_{T(\eta_{\max})}} \cdot 100 = \frac{1417.5}{1890} \cdot 100 = 75 \%$$

ה. תלות הספק המוצא והנצילות בהתנגדות העומס



תרגיל 4 (מה"ט קיץ 2018 מועד ב' - שאלה 4)

שני מצברים אלקטרוכימיים מחוברים למטען. שני המצברים שווים זה לזה, ורכיבי המעגל החשמלי המתארים אותם הם: כוח-אלקטרומוטורי $E_b = 11.8\text{ V}$; והתנגדות פנימית $R_b = 0.15\Omega$. המצברים מחוברים זה לזה

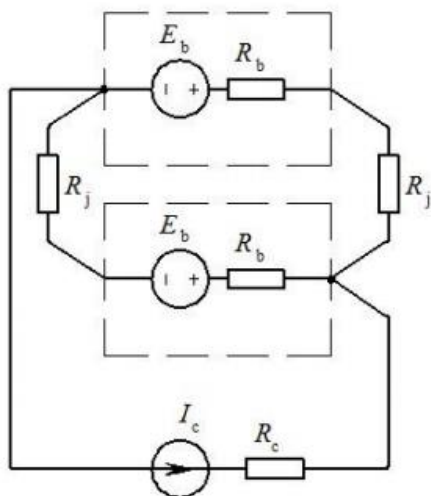
במקביל. ההתנגדות של כל אחד משני המוליכים המגשרים ביניהם היא $R_j = 0.05\Omega$.

המטען הוא מקור זרם ישר להלכה שעוצמתו $I_c = 8\text{ A}$. אורך המוליכים שבין המטען למצברים הוא 6 m , ושטח

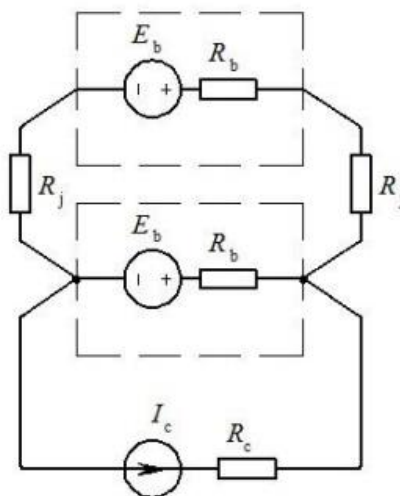
החתך שלהם הוא 4 mm^2 . בטמפרטורת הסביבה שבה נמצאים המוליכים, ההתנגדות הסגולית של החומר

שממנו עשויים המוליכים היא $0.018\frac{\Omega\cdot\text{mm}^2}{\text{m}}$. התנגדות R_c שבאיור 4, היא התנגדות מוליכים אלו.

המעגל החשמלי של שתי צורות חיבור אפשריות של המצברים למטען, נתון באיור 4.



איור 4.2



איור 4.1

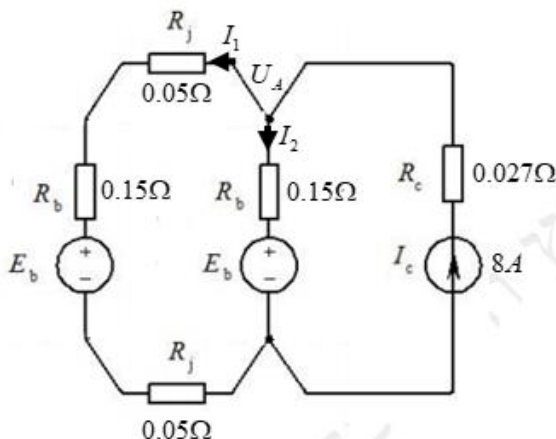
א מה עוצמת זרם הטעינה בכל אחד משני המצברים, לפי המעגל שבאיור 4.1?

ב מה עוצמת זרם הטעינה בכל אחד משני המצברים, לפי המעגל שבאיור 4.2?

ג מה הספק איבודי האנרגייה במוליכים המחברים את המטען אל המצברים?

ד מהי לדעתך צורת החיבור העדיפה?

נשרטט את המעגל שבאיור 4.1 בצורה משופרת (הזזה שמאלה ב- 90 מעלות) ונסמן את כיווני הזרמים.



התנגדות המולכים :

$$R_c = \rho \frac{L}{A} = 0.018 \cdot \frac{6}{4} = 0.027\Omega$$

נפתור לפי שיטת מתחי צמתים, נניח שכל הזרמים יוצאים מהצומת

משוואת הצומת U_A :

$$\frac{U_A - E_b}{R_j + R_b + R_j} + \frac{U_A - E_b}{R_b} - I_c = 0$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{I_1} \quad \underbrace{\hspace{5em}}_{I_2}$

נציב :

$$\frac{U_A - 11.8}{0.05 + 0.15 + 0.05} + \frac{U_A - 11.8}{0.15} - 8 = 0$$

מפתרון המשוואה נקבל :

$$U_A = 12.55V$$

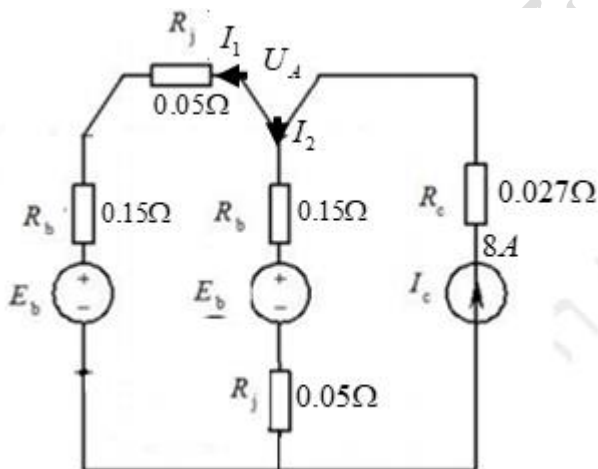
זרם הטעינה במצבר 1:

$$I_1 = \frac{U_A - E_b}{R_j + R_b + R_j} = \frac{12.55 - 11.8}{0.25} = 3A$$

זרם הטעינה במצבר 2:

$$I_2 = \frac{U_A - E_b}{R_b} = \frac{12.55 - 11.8}{0.15} = 5A$$

ב. נשרטט את המעגל שבאיור 4.2 בצורה משופרת (הזזה שמאלה ב- 90 מעלות) ונסמן את כיווני הזרמים.



נפתור לפי שיטת מתחי צמתים, נניח שכל הזרמים יוצאים מהצומת משוואת הצומת U_A :

$$\frac{U_A - E_b}{R_j + R_b} + \frac{U_A - E_b}{R_b + R_j} - I_C = 0$$

נציב:

$$\frac{U_A - 11.8}{0.05 + 0.15} + \frac{U_A - 11.8}{0.15 + 0.05} - 8 = 0$$

מפתרון המשוואה נקבל :

$$U_A = 12.6V$$

זרם הטעינה במצבר 1 :

$$I_1 = \frac{U_A - E_b}{R_j + R_b} = \frac{12.6 - 11.8}{0.2} = 4A$$

זרם הטעינה במצבר 2 :

$$I_2 = \frac{U_A - E_b}{R_j + R_b} = \frac{12.6 - 11.8}{0.2} = 4A$$

ג. איבודי האנרגיה במולכים שהמעגל שבאיור 4.1

$$P = I_1^2 \cdot (R_j + R_j) + I_C^2 \cdot R_C = 3^2 \cdot 0.1 + 8^2 \cdot 0.027 = 2.628W$$

איבודי האנרגיה במולכים שהמעגל שבאיור 4.2

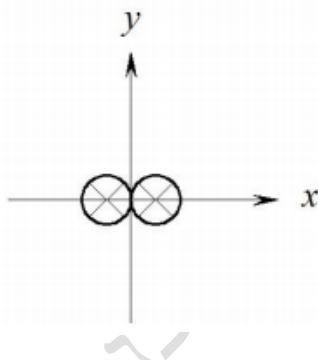
$$P = I_1^2 \cdot R_j + I_2^2 \cdot R_j + I_C^2 \cdot R_C = 4^2 \cdot 0.05 + 4^2 \cdot 0.05 + 8^2 \cdot 0.027 = 3.328W$$

ד. צורת החיבור שבאיור 4.2 עדיפה - קיימת סימטריה בזרם הטעינה

תרגיל 5 (מה"ט קיץ 2018 מועד ב' - שאלה 5)

שני מוליכים מבודדים, צמודים ומקבילים זה לזה (הבידוד של האחד נוגע בבידוד של האחר), כמתואר בתמונת חתך הרוחב שבאיור 5. בכל אחד משני המוליכים זורם ישר שעוצמתו 15 A. כיוון הזרם במוליכים מסומן באיור (אל תוך הדף). אורך כל אחד מהמוליכים הוא 3 m, שטח החתך שלו הוא 6 mm^2 , וקוטר המוליך והבידוד העוטף אותו יחד הוא 5 mm.

המוליך הסוגר את המעגל החשמלי וזה המחבר את המוליכים שבאיור אל ספק הזרם הישר הוא מוליך גמיש, והוא מותקן רחוק מאוד משני המוליכים שבאיור. הזרם שבמוליך הגמיש אינו משפיע על השדה המגנטי שליד המוליכים שבאיור.



א כמה כוח פועל על שני המוליכים שבאיור, ומה מגמתו?

ב מה צפיפות השדה המגנטי בנקודה $(x, y) = (0.5 \text{ m}, 0 \text{ m})$ שעל ציר x?

ג מה צפיפות השדה המגנטי בנקודה $(x, y) = (0 \text{ m}, 1.0 \text{ m})$ שעל ציר y?

בקירוב טוב בנקודה זו, שני הווקטורים של צפיפות השדה המגנטי מקבילים זה לזה.

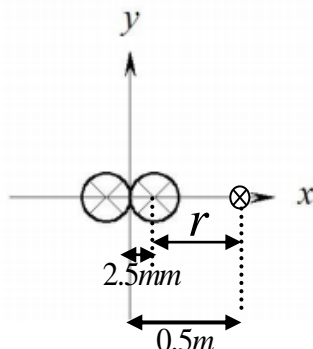
ד מה צפיפות הזרם במוליכים?

פתרון

א. הכוח הפועל על שני המוליכים

$$F = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot L}{2\pi \cdot d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 15 \cdot 15 \cdot 3}{2\pi \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = 27 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

ב. נסמן את הנקודה על הגרף



השדה המגנטי כתוצאה מהזרם I_1

$$B_{I_1} = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot I_1}{2\pi \cdot r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 15}{2\pi \cdot \left(\underbrace{0.5 - 2.5 \cdot 10^{-3}}_r \right)} = 6.03 \cdot 10^{-6} T$$

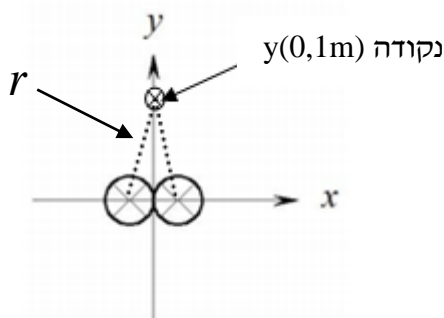
השדה המגנטי כתוצאה מהזרם I_2

$$B_{I_2} = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot I_2}{2\pi \cdot r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 15}{2\pi \cdot (0.5 + 2.5 \cdot 10^{-3})} = 5.97 \cdot 10^{-6} T$$

כיוון הזרם בשני המוליכים "פנימה" (אל תוך הדף), ומכאן שיש לחבר את שני השדות המגנטיים הנוצרים.

$$B_T = B_{I_1} + B_{I_2} = 6.03 \cdot 10^{-6} + 5.97 \cdot 10^{-6} = 12 \mu T$$

ג. נסמן את הנקודה על הגרף



את המרחק בין המולכים לצפיפות השדה בנקודה y נחשב לפי משפט פיתגורס:

$$r = \sqrt{2.5^2 + 1000^2} \cong 1000 \text{ mm}$$

השדה המגנטי כתוצאה מהזרם I_1

$$B_{I_1} = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot I_1}{2\pi \cdot r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 15}{2\pi \cdot 1000^{-3}} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

השדה המגנטי כתוצאה מהזרם I_2 שווה לשדה המגנטי כתוצאה מהזרם I_1

$$B_{I_2} = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot I_1}{2\pi \cdot r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 15}{2\pi \cdot 1000^{-3}} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

כיוון הזרם בשני המולכים "פנימה" (אל תוך הדף), ומכאן שיש לחבר את שני השדות המגנטיים הנוצרים.

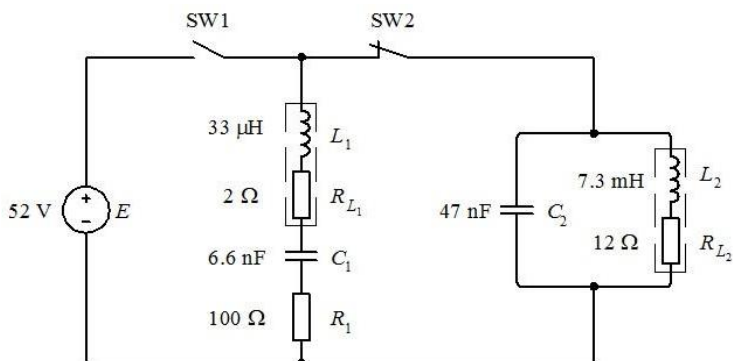
$$B_T = B_{I_1} + B_{I_2} = 3 \cdot 10^{-6} + 3 \cdot 10^{-6} = 6 \mu\text{T}$$

ד. צפיפות הזרם במוליך

$$J_1 = J_2 = \frac{I_1}{A} = \frac{15}{6} = 2.5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

תרגיל 6 (מה"ט קיץ 2018 מועד ב' - שאלה 6)

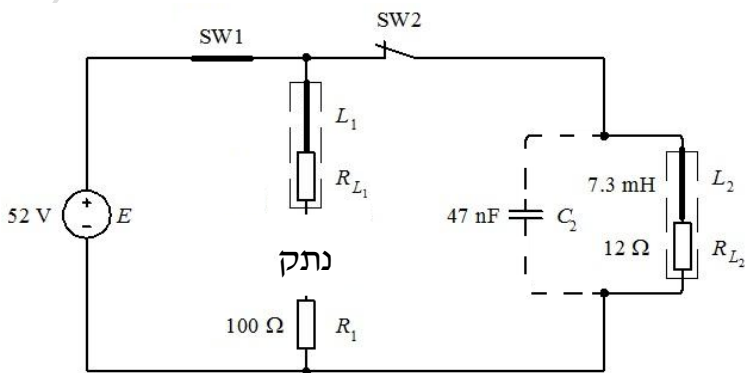
שמונה התקנים מחוברים זה לזה, כמתואר בתרשים החיבורים שבאיור 6:
 מקור מתח-ישר; SW1 – מתג רגיל-פתוח NO; SW2 – מתג רגיל-סגור NC; שני קבלים; שני משרנים; ונגד אחד.
 העבירו את המתג SW1 למצב מחובר on.



- א. מה הזרם במקור המתח, לאחר שחלפו כל תופעות המעבר?
- ב. לאחר שחלפו כל תופעות המעבר, כמה אנרגייה אגורה בכל אחד משני המשרנים שבאיור?
- ג. כמה מטען חשמלי אגור בקבלים שבמעגל, כאשר הם טעונים?
- ד. העבירו את המתג SW2 למצב מופסק off. (המתג SW1 נשאר במצב מחובר on).
 לאחר שחלפו כל תופעות המעבר, כמה אנרגייה אגורה במעגל?

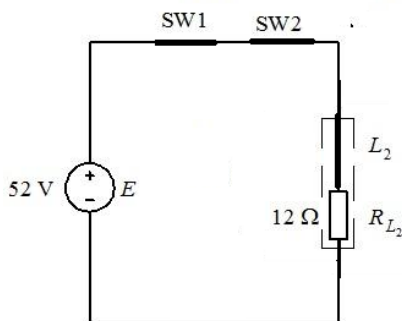
פתרון

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.

נשרטט את המעגל בצורה משופרת



הזרם במעגל:

$$I = \frac{E}{R_{L_2}} = \frac{52}{12} = 4.333A$$

ב. האנרגיה האגורה בסליל L_1 :

אין זרם דרך הסליל, ומכאן:

$$W_{L_1} = 0J$$

האנרגיה האגורה בסליל L_2 :

$$W_{L_2} = \frac{L_2 \cdot I_{L_2}^2}{2} = \frac{7.3 \cdot 10^{-3} \cdot 4.333^2}{2} = 68.528mJ$$

ג. נחשב תחילה את המתח על הקבלים

המתח על הקבל C_1 : הקבל מהווה נתק ולכן, אין זרם בענף.

המשמעות היא : מתח הקבל שווה למתח המקור.

$$U_{C_1} = E = 52V$$

נחשב את המתח על הנגד R_3 בעזרת שיטת מחלק מתח:

המתח על הקבל C_2 :

$$U_{C_2} = U_{R_L} = E = 52V$$

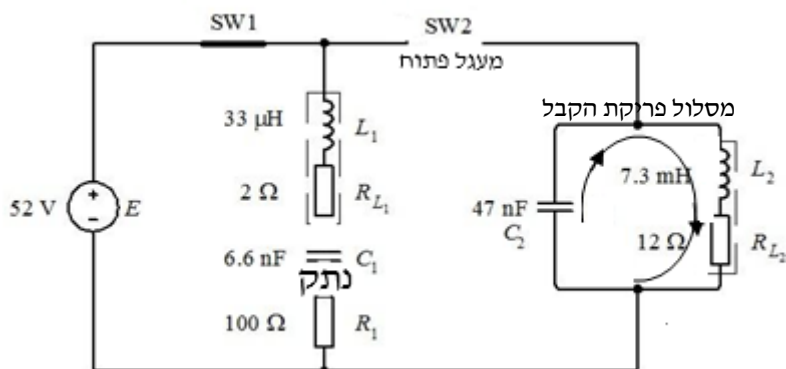
המטען החשמלי האגור בקבלים:

$$Q_{C_1} = U_{C_1} \cdot C_1 = 52 \cdot 6.6 \cdot 10^{-9} = 0.343 \mu c$$

$$Q_{C_2} = U_{C_2} \cdot C_2 = 52 \cdot 47 \cdot 10^{-9} = 2.444 \mu c$$

ד. נשרטט את המעגל בסיום תופעות המעבר כאשר המפסק $SW1$ סגור והמפסק $SW2$ פתוח

אין זרם במעגל ולכן, האנרגיה דרך שני הסלילים שווה ל- 0



האנרגיה האגורה בקבל C_1 :

$$W_{C_1} = \frac{C_1 \cdot U_1^2}{2} = \frac{6.6 \cdot 10^{-9} \cdot 52^2}{2} = 24 \mu J$$

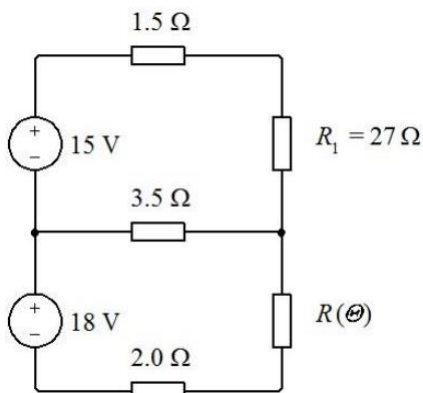
הקבל C_2 נפרק דרך הסליל והנגד. ולכן בסיום תופעות המעבר המתח בקבל שווה ל- 0 וולט.

$$W_{C_2} = 0J$$

תרגיל 7 (מה"ט קיץ 2018 מועד ב' - שאלה 7)

ארבעה התקנים במעגל שבאיור 7: שני מקורות מתח ישר; נגד R_1 שהתנגדותו קבועה; ונגד $R(\theta)$ שהתנגדותו תלויה בטמפרטורה. שלושת ההתנגדויות האחרות שבמעגל הן התנגדויות המוליכים המחברים את מקורות המתח אל הנגדים.

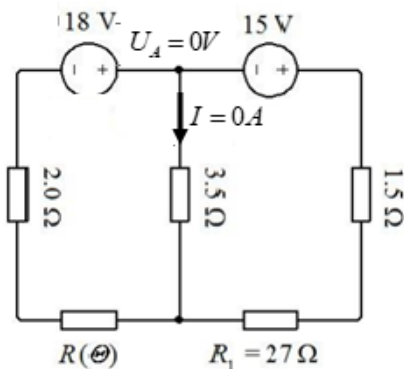
התלות בטמפרטורה של התנגדות נגד $R(\theta)$ היא לפי קו ישר. בטמפרטורה של 15°C התנגדותו היא $12.3\ \Omega$ וקבוע הטמפרטורה שלו הוא $0.03\ \frac{1}{^\circ\text{C}}$.



- א. מה ההתנגדות של נגד $R(\theta)$, כשהזרם בהתנגדות של $3.5\ \Omega$ הוא אפס אמפר $0\ \text{A}$?
- ב. מה הטמפרטורה של נגד $R(\theta)$, כשהזרם בהתנגדות של $3.5\ \Omega$ הוא אפס אמפר $0\ \text{A}$?
- ג. מה מגמת הזרם בהתנגדות של $3.5\ \Omega$, כשהטמפרטורה של נגד $R(\theta)$ היא 15°C ?

פתרון

א. נפתור לפי שיטת מתחי צמתים



המתח בצומת U_A :

$$U_A = I \cdot 3.5 = 0 \cdot 3.5 = 0V$$

כתיבת משוואת הצומת U_A :

$$\frac{U_A - 18}{2 + R_{(\theta)}} + \frac{U_A + 15}{1.5 + 27} = 0$$

נציב:

$$\frac{0 - 18}{2 + R_{(\theta)}} + \frac{0 + 15}{1.5 + 27} = 0$$

מפתרון המשוואה נקבל:

$$R_{(\theta)} = 32.2\Omega$$

ב. התנגדותו של הנגד $R_{1(\theta)}$ תלויה בטמפרטורה

$$R_{(\theta)} = R_0 [1 + \alpha(\theta - \theta_0)]$$

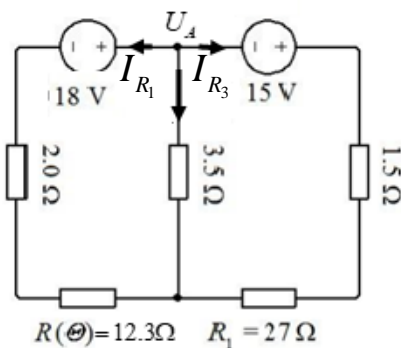
נציב את הנתונים לתוך הנוסחה:

$$32.2 = 12.3 [1 + 0.03(\theta - 15)]$$

מפתרון המשוואה נקבל:

$$\theta = 68.929^\circ c$$

ג. נפתור לפי שיטת מתחי צמתים



משוואת הזרמים:

נניח שכל הזרמים יוצאים מהצומת ולכן:

$$I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} = 0$$

$$\underbrace{\frac{U_A - 18}{2 + 12.3}}_{I_{R1}} + \underbrace{\frac{U_A - 0}{3.5}}_{I_{R2}} + \underbrace{\frac{U_A + 15}{1.5 + 27}}_{I_{R3}} = 0$$

משוואת הצומת U_A :

מפתרון המשוואה נקבל:

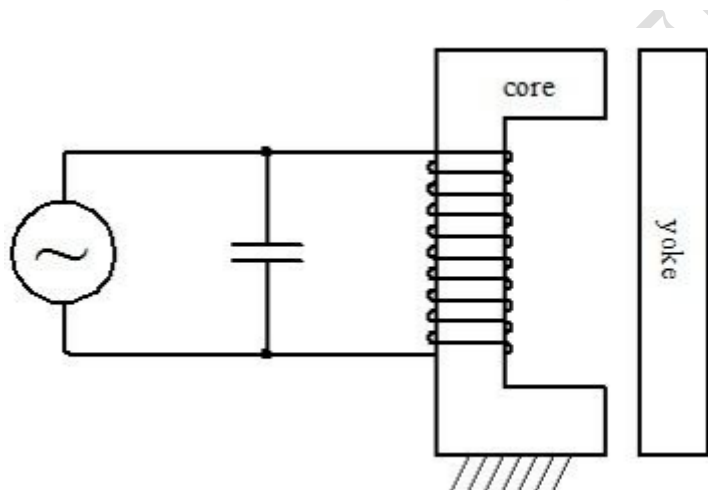
$$U_A = 1.874V$$

$$I_{(R=3.5\Omega)} = \frac{U_A}{3.5} = \frac{1.874}{3.5} = 0.535A$$

הזרם בנגד 3.5Ω חיובי, משמעות הדבר היא שהכיוון האמיתי של הזרם זהה לכיוון ההנחה - כזכור הנחנו שכל הזרמים יוצאים מהצומת.

תרגיל 8 (מה"ט קיץ 2018 - מועד ב' - שאלה 8)

שלושה התקנים בתרשים החיבורים החשמלי שבאיור 8:
 מקור מתח חילופים סינוסואידי בתדר של 2.7 kHz ; קבל של $1.1 \mu\text{F}$; ואלקטרומגנט.
 שלושה חלקים באלקטרומגנט: סליל שבו 200 כריכות והתנגדותו החשמלית היא 1.7Ω .
 ליבה core שעליה מותקן הסליל; וחלק הסוגר את המעגל המגנטי, עולה yoke.
 הליבה והעולה עשויים חומר פרומגנטי בעל חדירות יחסית של 1200.
 אורך מסלול השטף המגנטי בליבה ובעולה יחד (ללא מרווח האוויר) הוא 0.2 m .
 שטח החתך של מסלול השטף, בליבה ובעולה ובמרווח האוויר, הוא $3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$.



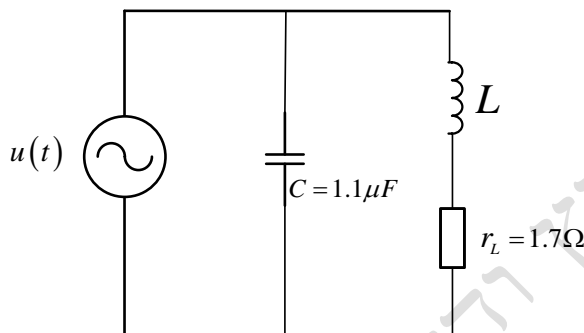
א מה השראות האלקטרומגנט בנקודת העבודה שבה המעגל החשמלי בתהודה?
 התשובה על שאלה זו היא שני ערכים השונים זה מזה.

ב מעגל מגנטי מתאים לתיאור התכונות המגנטיות של האלקטרומגנט, רק כאשר אורך מרווח האוויר קטן מאוד בהשוואה לאורך מסלול השטף המגנטי.

לאיזה אורך יש לכוון את מרווח האוויר שבין הליבה לעולה, כדי שהמעגל החשמלי יהיה בתהודה?

פתרון

א. נשרטט את המעגל האנלוגי



מחוברת נוסחאות של מה"ט (עמוד 26):

מקרה פרטי $r_c = 0 \Omega$

$$W_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{r_L^2}{L^2}}$$

$$W_0^2 = \frac{1}{LC} - \frac{r_L^2}{L^2}$$

נציב את התדר:

$$(2\pi f)^2 = \frac{1}{LC} - \frac{r_L^2}{L^2}$$

נציב את הנתונים:

$$(2\pi \cdot 2.7 \cdot 10^3)^2 = \frac{1}{L \cdot 1.1 \cdot 10^{-6}} - \frac{1.7^2}{L^2}$$

נכפיל את המשוואה ב- L^2

$$(2\pi \cdot 2.7 \cdot 10^3)^2 \cdot L^2 = \frac{1}{1.1 \cdot 10^{-6}} \cdot L - 1.7^2$$

"נסדר" את המשוואה הריבועית:

$$(2\pi \cdot 2.7 \cdot 10^3)^2 \cdot L^2 - \frac{1}{1.1 \cdot 10^{-6}} \cdot L + 1.7^2 = 0$$

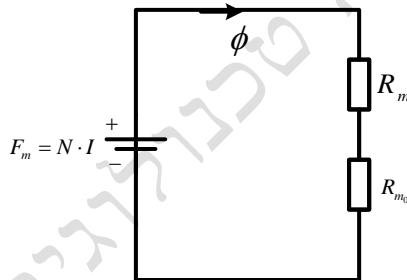
$$287.797 \cdot 10^6 \cdot L^2 - 909.09 \cdot 10^3 \cdot L + 2.89 = 0$$

מפתרון המשוואה הריבועית קיבלנו שתי תשובות:

$$L = 3.156 \text{mH}$$

$$L = 3.182 \mu\text{H}$$

ב. המעגל המגנטי השקול:



המיאון של הליבה:

$$R_m = \frac{\ell}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A} = \frac{0.2}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1200 \cdot 3 \cdot 10^{-4}} = 442097.06 \frac{1}{\text{H}}$$

המיאון של חריץ האוויר

$$R_{m_0} = \frac{\ell_0}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}$$

המיאון הכללי של המעגל המגנטי:

$$R_{m_T} = R_m + R_{m_0}$$

$$L = \frac{N^2}{R_{m_T}}$$

$$R_{m_T} = \frac{N^2}{L} = \frac{200^2}{3.156 \cdot 10^{-3}} = 12.674 \cdot 10^6 \frac{1}{H}$$

המיאון של חריץ האוויר:

$$R_{m_0} = R_{m_T} - R_m = 12.674 \cdot 10^6 - 442097.06 = 12.232 \cdot 10^6 \frac{1}{H}$$

מציאת האורך:

$$12.232 \cdot 10^6 = \frac{\ell_0}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1.3 \cdot 10^{-4}}$$

מפתרון המשוואה נקבל:

$$\ell_0 = 4.6111 \cdot 10^{-3} mm$$

אורך חריץ האוויר בכל צד, כדי שהמעגל יהיה בתהודה

$$\ell_{0_1} = \ell_{0_2} = \frac{4.611 \cdot 10^{-3}}{2} = 2.305 mm$$

