

**בחינת מה"ט - תורת החשמל ומבוא לאלקטרוניקה, שאלון 97111 קיץ 2023 מועד ב**

**שאלה 1:**

גוף חימום של תנור חשמלי בטמפרטורה של  $20^{\circ}C$ , עשוי מתיל ניקל שאורכו  $0.09km$ , שטח החתך שלו הוא  $3mm^2$  ומקדם הטמפרטורה שלו הוא  $\alpha = 0.006 \left( \frac{1}{^{\circ}C} \right)$ .

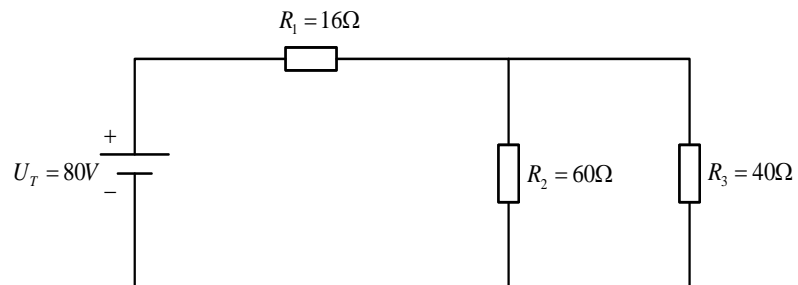
ההתנגדות הסגולית של ניקל היא  $0.078 \left[ \frac{\Omega mm^2}{m} \right]$

מהי התנגדותו של גוף החימום בטמפרטורה של  $60^{\circ}C$  ?

- א.  $0.234\Omega$
- ב.  $1.3\Omega$
- ג.  $0.18\Omega$
- ד.  $2.9\Omega$

**שאלה 2:**

באיור לשאלה 2 מוצג מעגל חשמלי:

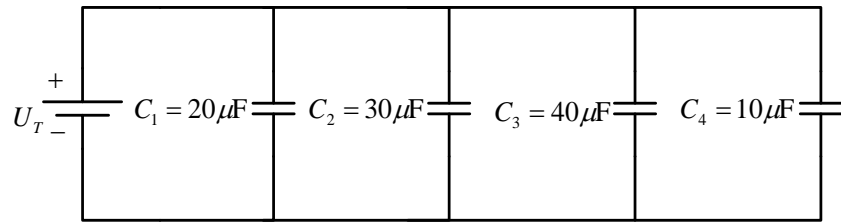


מהו הזרם דרך הנגד  $R_2$  ?

- א.  $0.8A$
- ב.  $0.7A$
- ג.  $2A$
- ד.  $2.4A$

**שאלה 3:**

באיור לשאלה 3 נתון מעגל חשמלי, המטען החשמלי האגור בקבל  $C_4$  הוא  $50 \mu\text{C}$ .



מהו המטען החשמלי הכללי שבמעגל?

א.  $Q_T = 75 \mu\text{C}$

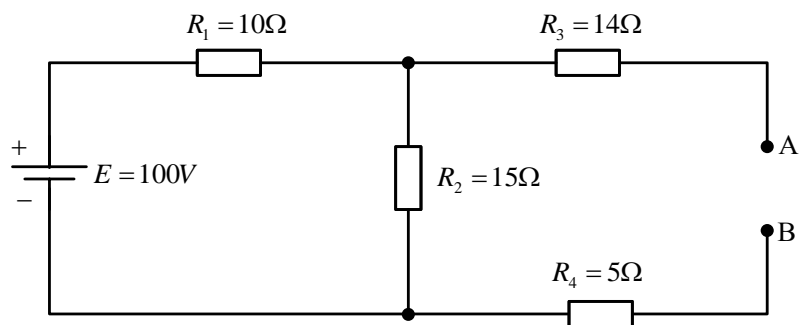
ב.  $Q_T = 125 \mu\text{C}$

ג.  $Q_T = 250 \mu\text{C}$

ד.  $Q_T = 500 \mu\text{C}$

**שאלה 4:**

באיור 4 נתון מעגל חשמלי.



מהו שקול תבנית בין הנקודות A ו-B ?

א.  $U_{Th} = 0V$   $R_{Th} = 0\Omega$

ב.  $U_{Th} = 50V$   $R_{Th} = 20\Omega$

ג.  $U_{Th} = 60V$   $R_{Th} = 25\Omega$

ד.  $U_{Th} = 100V$   $R_{Th} = 25\Omega$

**שאלה 5:**

נתון מעגל חשמלי המכיל סוללה בעלת חמישה תאים זהים המחוברים בטור. כל תא הוא בעל כא"מ של  $2V$  והתנגדות פנימית של  $0.4\Omega$ . הסוללה מחוברת לעומס שהתנגדותו  $20\Omega$ .

מהו הזרם במעגל?

0.158A

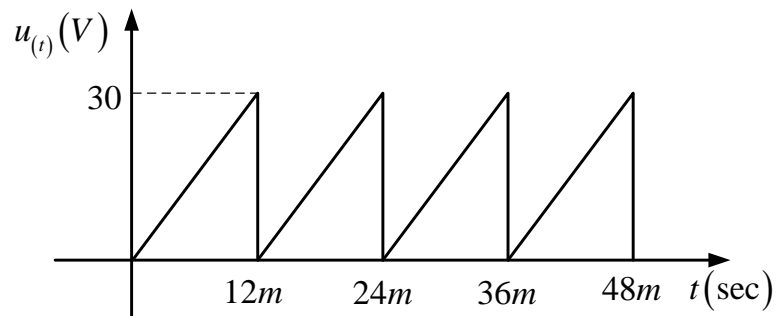
0.255A

0.454A

0.555A

**שאלה 6:**

The voltage-waveform across a  $60\Omega$  resistor, as measured by an oscilloscope is shown in the figure.



What is the average current?

א. 0A

ב. 0.25A

ג. 0.5A

ד. 1A

**שאלה 7:**

מכשיר חשמלי ניזון מספק כח זרם-חילופים שהתדירות שלו אינה ידועה. במכשיר יש רק נגדים וסלילים.

הפעילו את המכשיר ומדדו את המתח ואת הזרם היעילים, ואת ההספק הפעיל של המכשיר:

$$U_1 = 230V \quad I_1 = 15A \quad P_1 = 3kW$$

מהו ההספק ההיגבי של המכשיר?

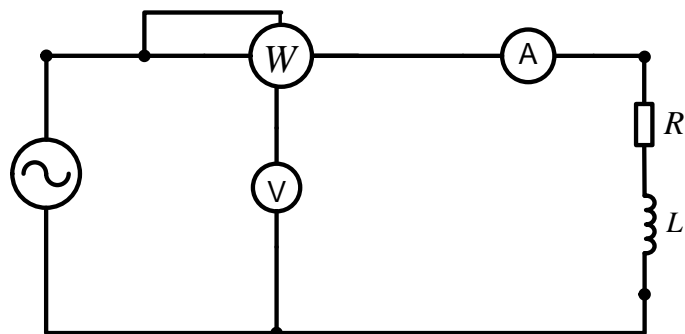
- א. אי אפשר לדעת.
- ב. **1707VA<sub>r</sub>**
- ג. 2255VA<sub>r</sub>
- ד. 2500VA<sub>r</sub>

**שאלה 8:**

כדי למצוא את התנגדותו ואת השראתו של הסליל, הוא חובר למקור מתח חילופין, שתדרו 50Hz כפי שמוצג באיור לשאלה 8:

קריאות מכשירי המדידה הן:

- מד זרם 5A
- מד המתח 230V
- מד ההספק 600W



מהו ההספק הראקטיבי?

אי אפשר לדעת.

753.65VA<sub>r</sub>

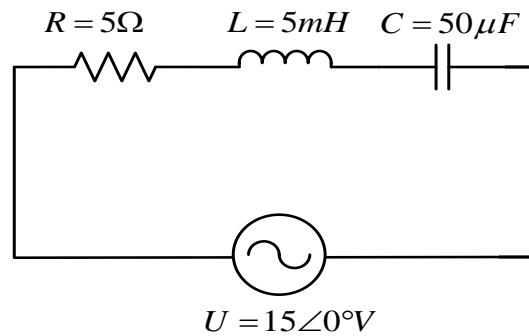
823.65VA<sub>r</sub>

**981.07VA<sub>r</sub>**

**שאלה 9:**

באיור לשאלה 9 נתון מעגל  $RLC$  טורי הנמצא במצב תהודה.

תדירות התהודה היא  $2000 \text{ Rad/sec}$ .



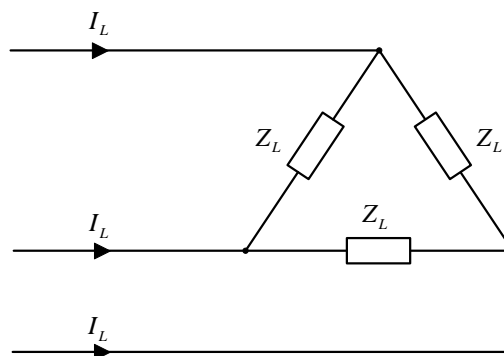
מהו מפל המתח על הנגד?

- א.  $0\angle 0^\circ V$
- ב.  $15\angle 0^\circ V$
- ג.  $5\angle 0^\circ V$
- ד. אי אפשר לדעת.

**שאלה 10:**

באיור לשאלה 10 מתואר עומס תלת-מופעי סימטרי, המחובר לרשת תלת-מופעית בעלת מתח

שלוש של  $U_L = 400V$ . שלוש העכבות זהות:  $Z_L = (16 + j12)\Omega$ .

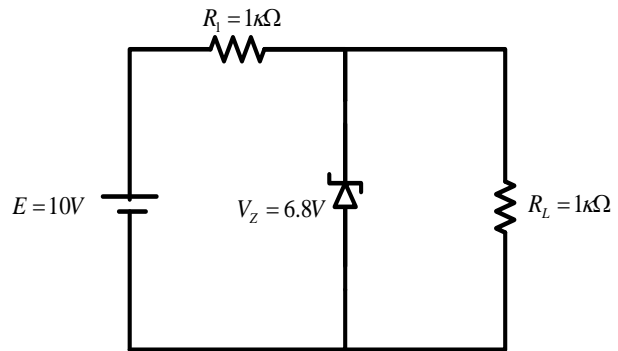


מהו ההספק הממשי של הרשת?

- א.  $P_T = 12.2kW$
- ב.  $P_T = 20.2kW$
- ג.  $P_T = 19.2kW$
- ד.  $P_T = 24.2kW$

**שאלה 11:**

באיור לשאלה 11 נתון המעגל החשמלי הבא

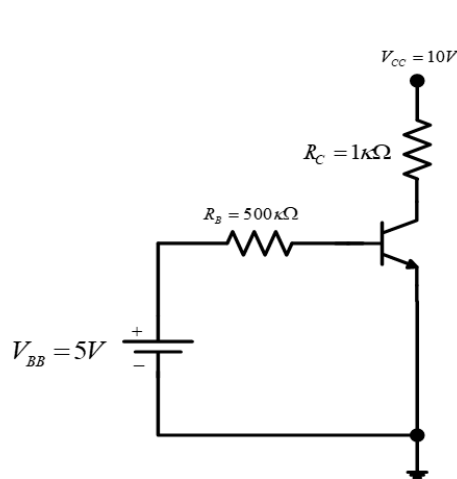


מהו ערכו של המתח בנגד  $R_L$  ?

- א.  $0V$
- ב.  $5V$
- ג. לא ניתן לדעת
- ד.  $6.8V$

**שאלה 12:**

באיור לשאלה 12 לטרנזיסטור הנתונים הבאים:



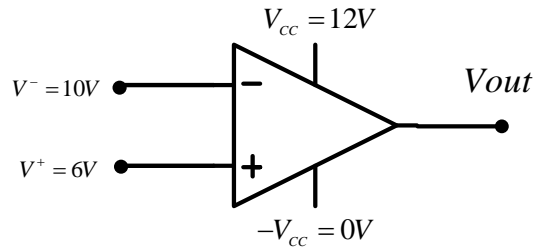
$\beta = 100$   
 $V_{BE} = 0.7V$

מהו זרם הקולקטור  $I_C$  ?

- א.  $0.25mA$
- ב.  $0.55mA$
- ג.  $0.86mA$
- ד.  $3.25mA$

**שאלה 13:**

המעגל שבאיור לשאלה 13 כולל מגבר שרת אידיאלי.

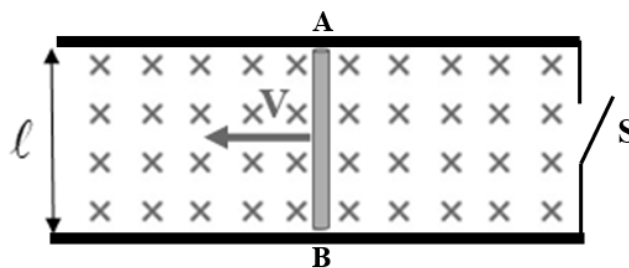


מהו מתח המוצא  $V_{out}$  ?

- א.  $V_{out} = 0V$
- ב.  $V_{out} = 6V$
- ג.  $V_{out} = 10V$
- ד.  $V_{out} = 12V$

**שאלה 14:**

באיור לשאלה 14 נתונה מערכת, הנמצאת בתוך שדה מגנטי. צפיפות השטף המגנטי אחידה ושיעורה הוא  $B = 0.6T$ . השדה ניצב למישור הדף וכיוונו ממישור הדף **פנימה**. המערכת כוללת שתי מסילות מתכתיות שהתנגדותן החשמלית זניחה. לאורכן של המסילות נע מוט מתכתי ללא חיכוך, שאורכו  $\ell = 0.8m$  והתנגדותו היא  $R = 8\Omega$ , במהירות של  $V = 9 \frac{m}{s}$ .

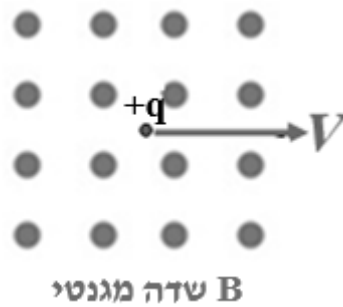


האם זרם זרם במוט  $AB$  כאשר המפסק  $S$  סגור? אם כן, חשבו את גודלו.

- א. לא זרם זרם
- ב.  $I = 0.54A$
- ג.  $I = 2.16A$
- ד.  $I = 4.32A$

**שאלה 15:**

מטען חיובי  $15 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  יוצא במאונך מהשדה מגנטי שעוצמתו  $0.6 \text{ T}$  במהירות של  $3 \cdot 10^6 \text{ m/sec}$ .



חשבו את גודלו וכיוונו של הפועל על המטען.

א.  $F = 0.054 \text{ N}$  הכוח בכיוון למטה.

ב.  $F = 0.054 \text{ N}$  הכוח בכיוון למעלה.

ג.  $F = 0.027 \text{ N}$  הכוח בכיוון למטה.

ד.  $F = 0.027 \text{ N}$  הכוח בכיוון למעלה.

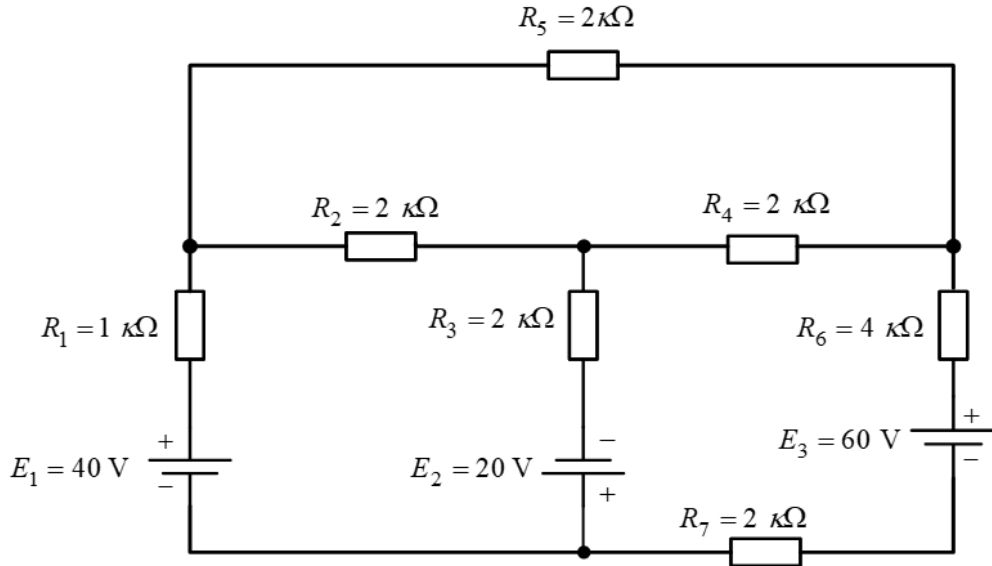


חלק ב' – שאלות פתוחות (60 נקודות)

בחלק זה 6 שאלות. עליכם לענות על 4 שאלות בלבד, ערך כל שאלה 15 נקודות.

**שאלה 16:**

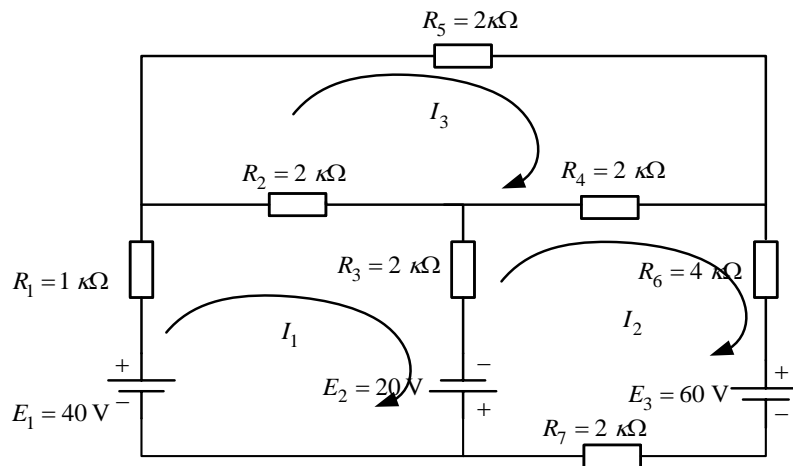
באיור לשאלה 16 נתון מעגל חשמלי.



8 נק') א. חשבו את הזרם דרך כל אחד מהנגדים שבמעגל השתמש בפתרוןך בשיטת זרמי חוגים.

7 נק') ב. חשבו את ההספק הנצרך במעגל, ההספק המיוצר במעגל וערוך מאזן הספקים.

**פתרון**



א. משוואת המתחים לכל חוג שסומן:

$$I_1(R_1 + R_2 + R_3) - I_2 \cdot R_3 - I_3 \cdot R_2 = E_1 + E_2$$

$$-I_1 \cdot R_3 + I_2(R_3 + R_4 + R_6 + R_7) - I_3 \cdot R_4 = -E_2 - E_3$$

$$-I_1 \cdot R_2 - I_2 \cdot R_4 + I_3(R_2 + R_4 + R_5) = 0$$

נציב את ערכי הרכיבים במשוואות:

$$5\kappa I_1 - 2\kappa I_2 - 2\kappa I_3 = 60$$

$$-2\kappa I_1 + 10\kappa I_2 - 2\kappa I_3 = -80$$

$$-2\kappa I_1 - 2\kappa I_2 + 6\kappa I_3 = 0$$

מפתרון המשוואות נקבל:

$$I_1 = 10.4 \text{ mA} \quad I_2 = -5.6 \text{ mA} \quad I_3 = 1.6 \text{ mA}$$

זרם  $I_2$  יצא שלילי, ז"א הכיוון שלו הפוך.

$$I_{R1} = I_1 = 10.4 \text{ mA}$$

$$I_{R2} = I_1 - I_3 = 10.4\text{m} - 1.6\text{m} = 8.8 \text{ mA}$$

$$I_{R3} = I_1 + I_2 = 10.4\text{m} + 5.6\text{m} = 16 \text{ mA}$$

$$I_{R4} = I_3 + I_2 = 1.6\text{m} + 5.6\text{m} = 7.2 \text{ mA}$$

$$I_{R5} = I_3 = 1.6 \text{ mA}$$

$$I_{R6} = I_2 = 5.6 \text{ mA}$$

$$I_{R7} = I_2 = 5.6 \text{ mA}$$

ב. נחשב את הספקי הצרכנים שבמעגל:

$$P_{R1} = I_{R1}^2 \cdot R_1 = (10.4\text{m})^2 \cdot 1\kappa = 108.16\text{mW}$$

$$P_{R2} = I_{R2}^2 \cdot R_2 = (8.8\text{m})^2 \cdot 2\kappa = 154.88\text{mW}$$

$$P_{R3} = I_{R3}^2 \cdot R_3 = (16\text{m})^2 \cdot 2\kappa = 512\text{mW}$$

$$P_{R4} = I_{R4}^2 \cdot R_4 = 7.2\text{m}^2 \cdot 2\kappa = 103.68\text{mW}$$

$$P_{R5} = I_{R5}^2 \cdot R_5 = (1.6\text{m})^2 \cdot 2\kappa = 5.12\text{mW}$$

$$P_{R6} = I_{R6}^2 \cdot R_6 = (5.6\text{m})^2 \cdot 4\kappa = 125.44\text{mW}$$

$$P_{R7} = I_{R7}^2 \cdot R_7 = (5.6\text{m})^2 \cdot 2\kappa = 62.72\text{mW}$$

סה"כ הספק נצרך :

$$P_T = 1072mW$$

נחשב את הספקי היצרנים שבמעגל :

$$P_{E1} = I_1 \cdot E_1 = 10.4m \cdot 40 = 416mW$$

$$P_{E3} = I_2 \cdot E_3 = 5.6m \cdot 60 = 336mW$$

$$P_{E2} = I_{R3} \cdot E_2 = 16m \cdot 20 = 320mW$$

שלושת מקורות המתח מהווים יצרנים

$$\Sigma P = \Sigma P$$

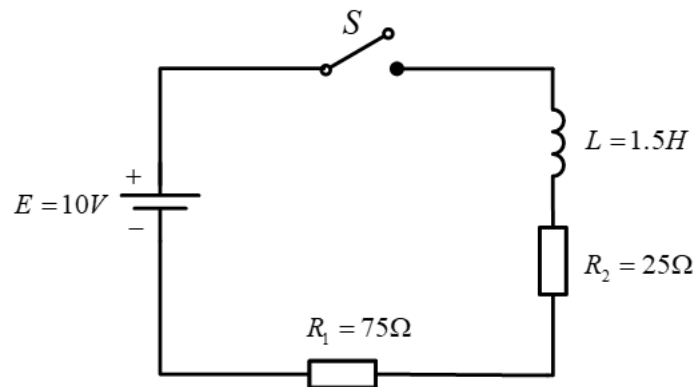
צרכנים יצרנים

$$P_{E1} + P_{E2} + P_{E3} = 416m + 226m + 320m = 1072mW$$

### שאלה 17:

באיור לשאלה 17 נתון מעגל חשמלי המוזן ממקור מתח ישר.

ברגע סגירת המפסק עוצמת הזרם בסליל היא  $I_{L(0)} = 50mA$ .



- א. (2 נק') חשבו את קבוע הזמן של המעגל.
- ב. (7 נק') חשבו את הזרם בסליל בזמן  $t = 5msec$  לאחר סגירת המפסק.
- ג. (23 נק') חשבו את המתח על הנגד  $R_2$  בזמן  $t = 5msec$ .
- ד. (4 נק') שרטטו זה מתחת לזה, בהתאמה, את הזרם בסליל  $I_L(t)$  ואת המתח על הסליל כפונקציה של הזמן.

**פתרון**

א. קבוע הזמן של המעגל:

$$\tau = \frac{L}{R_1 + R_2} = \frac{1.5}{100} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ sec}$$

ב. בסיום תופעות המעבר הסליל הוא קצר, ומכאן:

$$I_{L(\infty)} = \frac{E}{R} = \frac{10}{100} = 0.1A$$

משוואת זרם טעינת הסליל:

$$I_{L(t)} = I_{L(\infty)} - (I_{L(\infty)} - I_{L(0)}) \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}$$

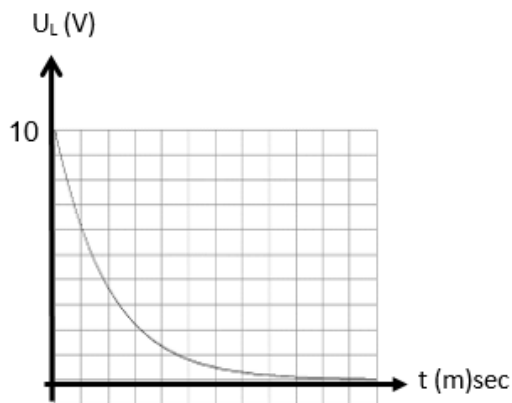
הזרם בסליל בזמן  $t = 5msec$ :

$$I_{L(t=5m)} = 0.1 - (0.1 - 0.05) \cdot e^{-\left(\frac{5m}{15m}\right)} = 64.173mA$$

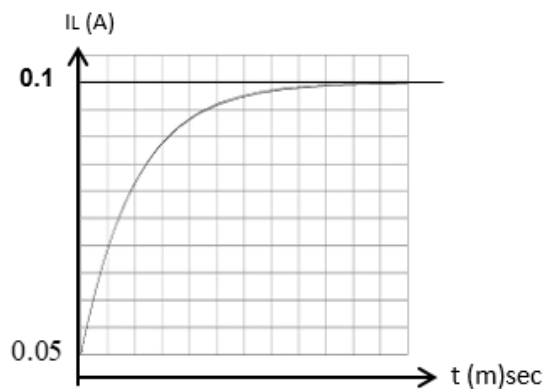
ג. המתח על הנגד  $R_2$  בזמן  $t = 5msec$ :

$$U_R = I_L \cdot R_2 = 64.173m \cdot 25 = 1.604V$$

ד. המתח בסליל:

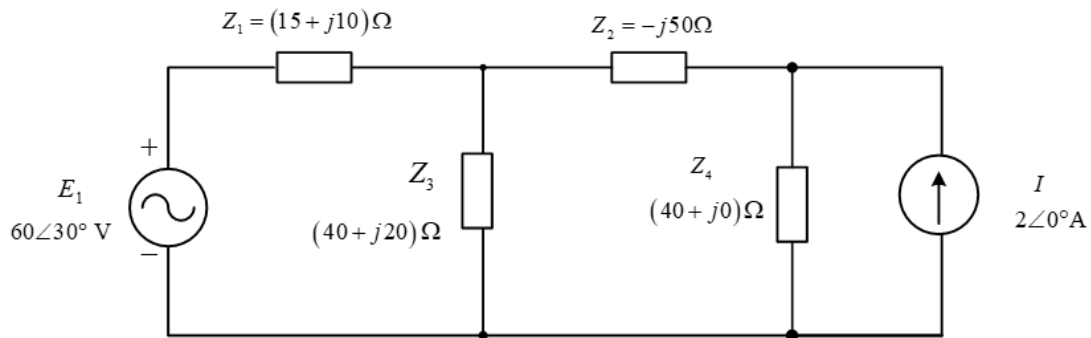


הזרם בסליל:



**שאלה 18:**

באיור לשאלה 18 נתון מעגל חשמלי בזרם חילופין:



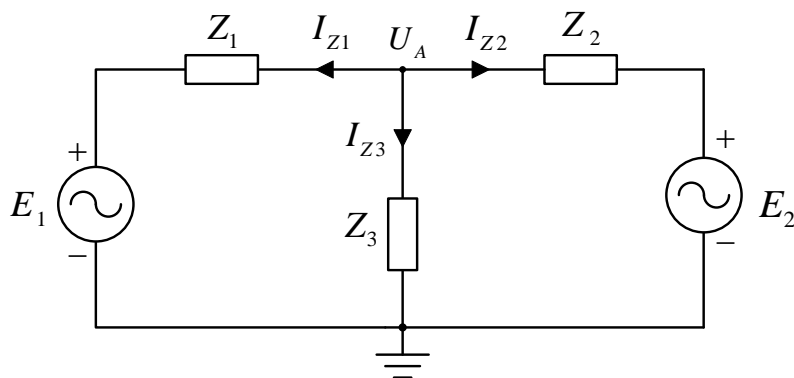
א. (5 נק') חשבו את המתח בעכבה  $Z_3$ .

ב. (5 נק') חשבו את הזרם דרך העכבה  $Z_1$ .

ג. (5 נק') חשבו את ההספק הממשי (הפעיל) בעכבה  $Z_3$ .

**פתרון**

א. נמיר את מקור הזרם ונסמן את הצומת  $U_A$ :



משוואת הצומת  $U_A$ :

$$\frac{U_A - E_1}{Z_1} + \frac{U_A - E_2}{Z_2} + \frac{U_A - 0}{Z_3} = 0$$

נוציא את הנעלם  $U_A$  כגורם משותף:

$$U_A \cdot \left[ \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \right] = \frac{E_1}{Z_1} + \frac{E_2}{Z_2}$$

נציב:

$$U_A \cdot \left[ \frac{1}{(15 + j10)} + \frac{1}{(0 - j50)} + \frac{1}{(40 + j20)} \right] = \frac{60 \angle 30^\circ}{(15 + j10)} + \frac{80 \angle 0^\circ}{(0 - j50)}$$

$$0.0693 \angle -17.429^\circ \cdot U_A = 3.599 \angle 22.648^\circ$$

$$U_A = U_{Z_3} = \frac{3.599 \angle 22.648^\circ}{0.0693 \angle -17.429^\circ} = 51.93 \angle 40.08^\circ \text{V}$$

ב. הזרם דרך העכבה  $Z_1$  :

$$I_{Z_1} = \frac{U_A - E_1}{Z_1} = \frac{51.93 \angle 40.08^\circ - 60 \angle 30^\circ}{(15 + j10)} = 0.704 \angle 130.609^\circ \text{A}$$

ג. הזרם דרך העכבה  $Z_3$  :

$$I_{Z_3} = \frac{U_A}{Z_3} = \frac{51.93 \angle 40.08^\circ}{(40 + j20)} = 1.161 \angle 13.514^\circ \text{A}$$

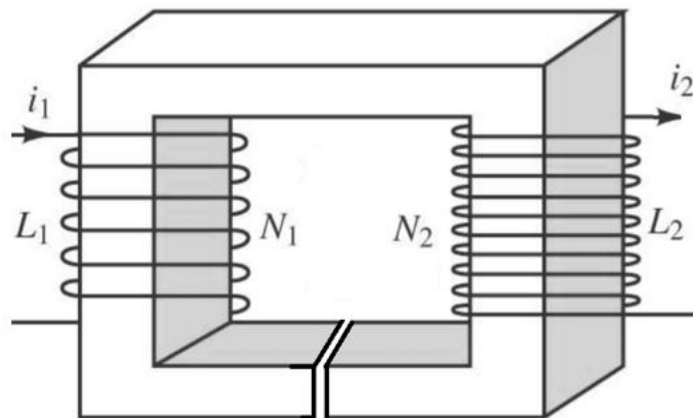
$$P_3 = I_3^2 \cdot R_3 = 1.161^2 \cdot 40 = 53.916 \text{W}$$

### שאלה 19:

באיור לשאלה נתון שרטוט של התקן אלקטרו-מגנטי. גרעין ההתקן עשוי מחומר פרומגנטי בעל חדירות יחסית  $\mu_r = 10,000$ . האורך הממוצע של הגרעין הפרומגנטי הוא  $325 \text{ mm}$  ושטח החתך שלו הוא  $2000 \text{ mm}^2$ . אורך חריץ אוויר הוא  $2 \text{ mm}$ .

על הגרעין הפרומגנטי מלופפים שני ליפופים בעלי מספר זהה של כריכות  $N_1 = N_2 = 400$ . ההתנגדות החשמלית של כל ליפוף היא  $R_1 = R_2 = 10 \Omega$ .

הזרם בליפוף השמאלי הוא  $I_1 = 1 \text{ A}$  והזרם בליפוף הימני הוא  $I_2 = 2 \text{ A}$ .



- (2 נק') מהו כיוון השטף הנוצר בכל אחד מהסלילים בהתקן?
- (7 נק') יש לחשב את השטף המגנטי בחריץ האוויר של ההתקן.
- (3 נק') יש לחשב את ההשראות של הסליל השמאלי.
- (3 נק') אם ההתקן מוזן בזרם חילופין, בתדירות  $60 \text{ Hz}$ , מהו מתח ההזנה לסליל הימני?

### פתרון

א. כיוון השטף בשני הסלילים הוא עם כיוון השעון

ב. המיאון המגנטי של הליבה:

$$R_{m_1} = \frac{\ell_1}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A} = \frac{325 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 10,000 \cdot 2000 \cdot 10^{-6}} = 12.931 \cdot 10^3 \frac{1}{H}$$

המיאון המגנטי של חריץ האוויר:

$$R_{m_0} = \frac{\ell_0}{\mu_0 \cdot A} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 2000 \cdot 10^{-6}} = 795.774 \cdot 10^3 \frac{1}{H}$$

המיאון המגנטי של המעגל:

$$R_{m_T} = R_{m_1} + R_{m_0} = 12.931 \cdot 10^3 + 795.774 \cdot 10^3 = 808.706 \cdot 10^3 \frac{1}{H}$$

השטף המגנטי בחרוץ האוויר:

$$\phi_T = \frac{\sum F_m}{R_{m_T}} = \frac{400 \cdot 1 + 400 \cdot 2}{808.706 \cdot 10^3} = 1.484 \text{ mwb}$$

השטף המגנטי בחרוץ האוויר:

מהתבוננות במעגל המגנטי השקול, ניתן לראות:

$$\phi_T = \phi_1 = \phi_0 = 1.484 \text{ mwb}$$

ג. השראות הסליל:

$$L_2 = L_1 = \frac{N^2}{R_{m_T}} = \frac{400^2}{808.706 \cdot 10^3} = 197.846 \text{ mH}$$

עכבת המעגל:

$$Z_2 = R_2 + jX_{L_2} = 10 + j2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot 197.846 \cdot 10^{-3} = 75.253 \angle 82.363^\circ \Omega$$

ג. מתח ההזנה לסליל הימני:

$$U_2 = I \cdot |Z_2| = 2 \cdot 75.253 = 150.507 \text{ V}$$

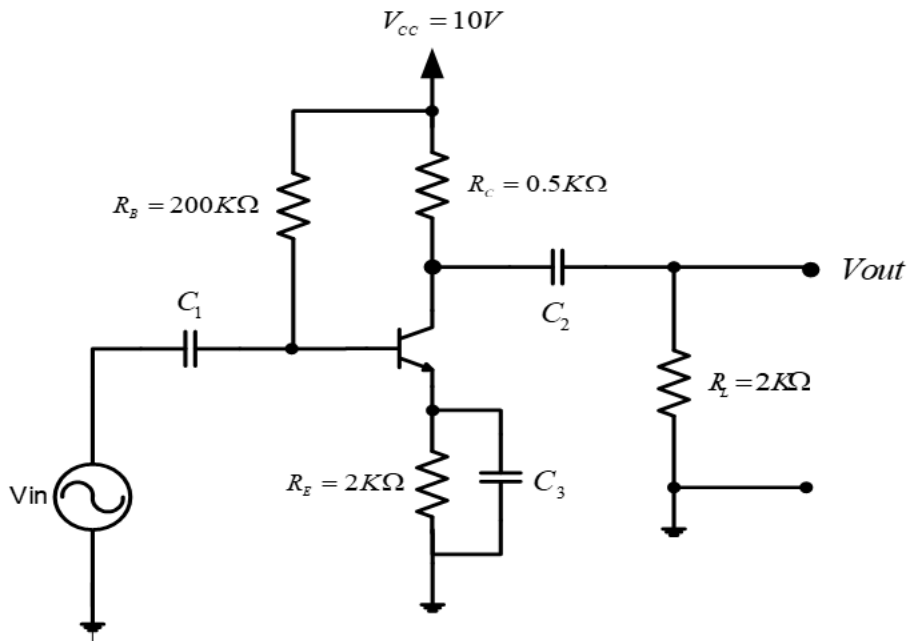


**שאלה 20:**

נתוני הטרנזיסטור שבאיור לשאלה 20 הנתון הם:

הקבלים גדולים מאוד.

$$\beta = h_{fe} = 150 \quad V_{BE} = 0.6V \quad h_{ie} = 1.2k\Omega$$



א. (5 נק') חשב את נקודת העבודה של הטרנזיסטור.

ב. (5 נק') שרטט את קו העבודה DC ומקם עליו את נקודת העבודה.

ג. (5 נק') חשב את הגבר המתח של המגבר.  

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

**פתרון**

א. משוואת המתחים של החוג הפנימי:

$$V_{CC} = I_B \cdot R_B + V_{BE} + I_B (\beta + 1) \cdot R_E$$

נציב:

$$10 = I_B \cdot 200k + 0.6 + I_B (150 + 1) \cdot 2k$$

זרם הבסיס:

$$I_B = \frac{10 - 0.6}{200k + (150 + 1) \cdot 2k} = 18.725 \mu A$$

זרם הקולקטור:

$$I_C = \beta \cdot I_B = 150 \cdot 18.725 \mu = 2.808 mA$$

חישוב מתח קולקטור אמיטר VCE :

משוואת המתחים של חוג המוצא:

$I_B$  קטן מאוד ביחס ל- $I_C$  (ניתן להזניח אותו)

$$I_E \cong I_C$$

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} + I_C \cdot R_E$$

נציב את הנתונים לתוך הנוסחה:

$$10 = 2.808m \cdot 0.5k + V_{CE} + 2.808m \cdot 2k$$

$$V_{CE} = 2.978V$$

נקודת העבודה של הטרנזיסטור:

$$[2.978V, 2.808mA]$$

ב. קו העבודה של הטרנזיסטור:

משוואת המוצא של הטרנזיסטור:

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} + I_C \cdot R_E$$

לקבלת נקודת הרוויה נציב:  $V_{CE} = 0V$

ומכאן:

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + I_C \cdot R_E$$

$$I_{C(\max)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = \frac{10}{0.5k + 2k} = 4mA$$

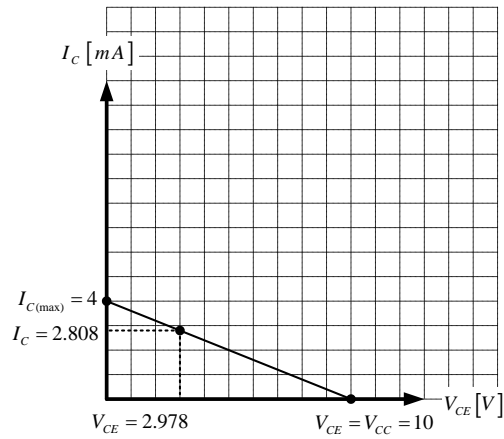
לקבלת נקודת קטעון נציב:  $I_C = 0A$

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} + I_C \cdot R_E$$

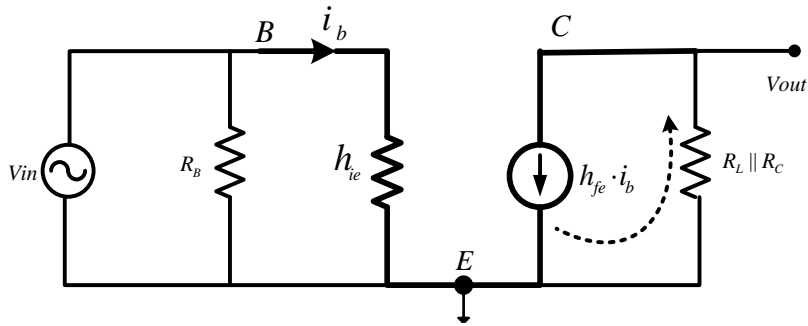
ומכאן:

$$V_{CC} = V_{CE} = 10V$$

הגרף לתיאור פעולת הטרנזיסטור:



ג. מעגל התמורה לאות חילופין:

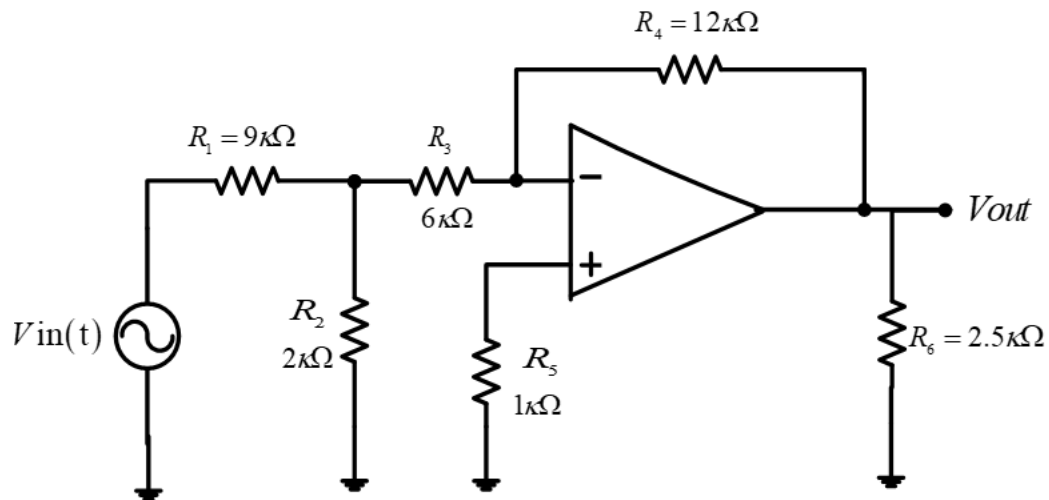


ד. הגבר המתח:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V} = \frac{-i_b \cdot h_{fe} \cdot (R_C \parallel R_L)}{i_b} = \frac{-h_{fe} \cdot (R_C \parallel R_L)}{1} = \frac{-150 \cdot (0.5k \parallel 2k)}{1} = -50$$

**שאלה 21:**

במעגל באיור לשאלה 21 מגבר השרת הוא אידיאלי.



- א. (5 נק') חשבו וסרטטו בהתאמה את מתח הכניסה והמוצא כאשר מתח  $V_{in}(t) = 35V$ .
- ב. (10 נק') נתון כי אות המבוא הוא  $V_{in}(t) = 3.5 \sin 628t$ , חשבו וסרטטו בהתאמה את מתח הכניסה והמוצא.

**פתרון**

א.

$$\frac{V_A - V_{in}}{R_1} + \frac{V_A - 0}{R_2} + \frac{V_A - V^-}{R_3} = 0$$

נציב את הנתונים:

$$\frac{V_A - 35}{9k} + \frac{V_A - 0}{2k} + \frac{V_A - 0}{6k} = 0$$

מפתרון המשוואה נקבל:

$$V_A = 5V$$

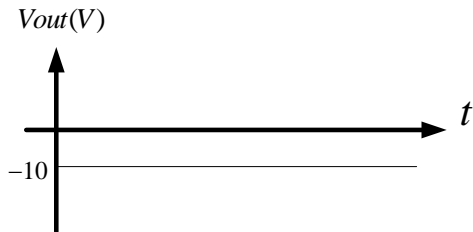
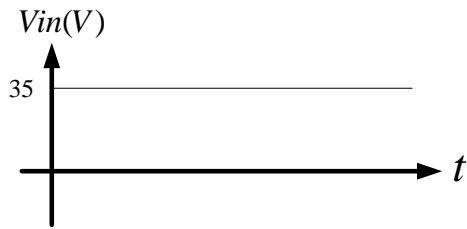
המגבר מחובר כמגבר הופך מופע, ומכאן:

$$\frac{V_{out}}{V_A} = -\frac{R_4}{R_3} = -\frac{12k}{6k} = -2$$

מתח המוצא:

$$V_{out} = -2 \cdot V_A = -2 \cdot 5 = -10V$$

שרטוט המתחים:



ב. נציב את  $(V_{in})$  במשוואת הצומת  $V_A$ :

$$\frac{V_A - V_{in}}{R_1} + \frac{V_A - 0}{R_2} + \frac{V_A - V^-}{R_3} = 0$$

נציב את הנתונים:

$$\frac{V_A - 3.5}{9\kappa} + \frac{V_A - 0}{2\kappa} + \frac{V_A - 0}{6\kappa} = 0$$

מפתרון המשוואה נקבל:

$$V_A = 0.5V$$

המגבר מחובר כמגבר הופך מופע, ומכאן:

$$\frac{V_{out}}{V_A} = -\frac{R_4}{R_3} = -\frac{12\kappa}{6\kappa} = -2$$

מתח המוצא:

$$\frac{V_{out}}{V_A} = -2 \Rightarrow V_{out} = -2 \cdot V_A$$

$$V_{out} = -2 \cdot V_A = -2 \cdot 0.5 = -1V$$

שרטוט המתחים בהתאמה:

