

תוכן העניינים:

2	פרק 4
2	אלקטרומגנטיות וסלילים :
2	סרטון – השדה המגנטי :
2	הגדרות יסודיות :
3	שדות מגנטיים נפוצים :
5	תרגילים :
6	תשובות סופיות :
7	סרטון – כוח מגנטי, כא"מ מושרה ואנרגיה מגנטית :
7	חישוב כוח מגנטי :
7	אנרגיה מגנטית האגורה בסליל :
7	כא"מ מושרה :
8	תרגילים :
9	תשובות סופיות :
10	סרטון – הסליל במעגל החשמלי :
10	הגדרות בסיסיות :
10	ארבע התובנות של התנהגות הסליל :
10	מידול הסליל לנגד :
11	חיבור סלילים בטור ובמקביל :
11	תופעות המעבר של סליל במעגל החשמלי :
12	תרגילים :
14	תשובות סופיות :

פרק 4

אלקטרומגנטיות וסלילים

סרטון – השדה המגנטי:

הגדרות יסודיות:

שדה מגנטי:

השדה המגנטי הוא גודל בעל כיוון אשר מגיב למטענים חשמליים בתנועה. השדה המגנטי מפעיל כוח על מטענים אלו, הנקרא כוח מגנטי. כיוון הכוח אינו בכיוון השדה ותלוי בכיוון תנועת המטענים ומהירותם. סימון השדה המגנטי הוא B ויחידותיו הן טֶסְלָה [T].

עוצמת השדה המגנטי:

את עוצמת השדה המגנטי מקובל לסמן ב-H ויחידותיו הן $\frac{A}{m}$.

משוואת מקסוול למציאת עוצמת השדה המגנטי מזרמים:

עוצמת השדה המגנטי תחושב ע"י לקיחת מסלול סגור בתחום שבו יש זרמים

$$\oint_L H dl = \sum_{k=1}^N I_k$$

חשמליים שונים:

מקדם הפרמאביליות (permeability) של חומר:

הקשר שבין עוצמת השדה המגנטי לצפיפות השדה המגנטי: $B = \mu H$.

הגודל μ נקרא הפרמאביליות (permeability) של חומר מסוים.

נסמן: $\mu = \mu_0 \mu_r$ כאשר: μ_0 נקרא מקדם הפרמאביליות של ריק

ו- μ_r הוא מקדם הפרמאביליות היחסי של החומר.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{H}{m} \right] = 4\pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{N}{A^2} \right]$$

מקדם הפרמאביליות של ריק:

טבלת מקדמי הפרמאביליות היחסיים של חומרים נפוצים:

החומר	המקדם היחסי μ_r
ריק/אוויר	1
ניקל	100
פלדה	100
חומצה ברזלית	640
מתכת חשמלית	4000
ברזל טהור	5000

שטף מגנטי:

כמות השדה המגנטי שנמצא בתחום מסוים.

שטף מגנטי יסומן ב- ϕ ויחידותיו הן $[Wb]$.

צפיפות השדה המגנטי:

צפיפות השדה המגנטי מוגדרת בתור השטף המגנטי ליחידת שטח: $B = \frac{\phi}{A}$.

היחידות הן: $1 \left[\frac{Wb}{m^2} \right] = 1 [T]$.

השראות (Inductance):

היחס שבין השטף המגנטי לזרם היוצר אותו נקרא השראות ויסומן: $L = \frac{\phi}{I}$.

היחידות ההשראות הן הנרי $[H]$.

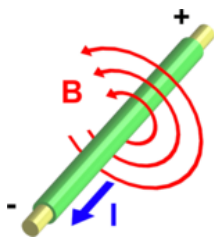
שדות מגנטיים נפוצים:

שדה מגנטי מתיל:

השדה המגנטי במרחק R מתיל אינסופי שבו זרם I

בתוך שבו נתון μ_r הוא: $B = \frac{\mu_0 \mu_r I}{2\pi R}$.

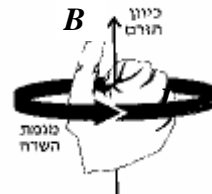
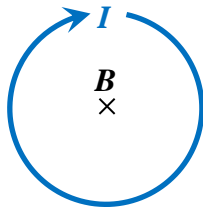
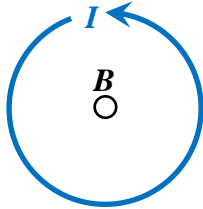
כיוון השדה יקבע לפי כלל יד ימין:



שדה מגנטי מכריכה מעגלית:

השדה המגנטי שנוצר במרכז של כריכה מעגלית ברדיוס R שבה זורם זרם I בתווך

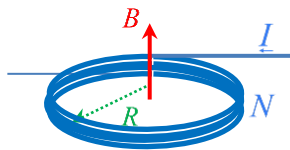
בו קיים μ_r הוא: $B = \frac{\mu_0 \mu_r I}{2R}$. את כיוון השדה נקבע לפי כלל יד ימין באופן הבא:



שדה מגנטי מסליל דק:

השדה המגנטי במרכז סליל דק המרוכב מ- N כריכות מעגליות ברדיוס R שבו זורם

זרם I ובו חומר עם מקדם פרמאביליות יחסי μ_r , הוא: $B = \frac{\mu_0 \mu_r NI}{2R}$.

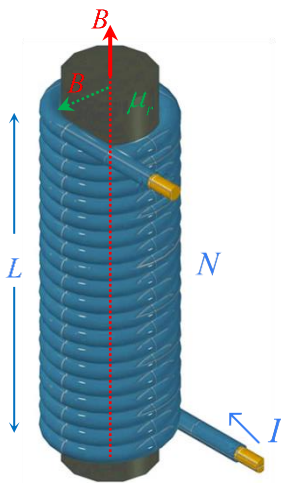


שדה מגנטי מסליל ארוך:

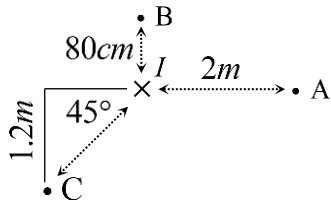
השדה המגנטי בתוך סליל גלילי בעל רדיוס R , ואורך L המכיל N ליפופים שזורם

בו זרם I ובתוכו חומר עם μ_r הוא: $B = \mu_0 \mu_r nI$.

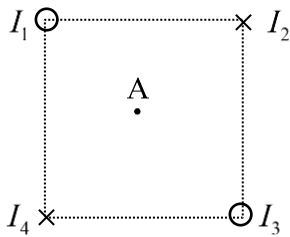
כאשר: $n = \frac{N}{L}$ - מספר הליפופים ליחידת אורך.



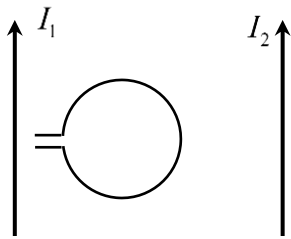
תרגילים:



1) בתיל שבאיור זורם זרם של $2A$ והוא נמצא בריק. חשב את עוצמת השדה המגנטי ואת כיוונו בנקודות הנתונות.



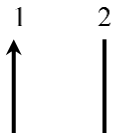
2) נתונים 4 מוליכים ב-4 קדקודיו של ריבוע בעל אורך צלע של $85cm$. הזרמים הם: $I_1 = 120A$, $I_2 = 100A$, $I_3 = 140A$, $I_4 = 90A$. חשב את עוצמת השדה השקול בנקודה A, הנמצאת במרכז הריבוע.



3) כריכה בעלת קוטר של $20cm$ נמצאת בין שני מוליכים. המרחק בין מוליך (1) למרכז הכריכה הוא $20cm$. המרחק בין מוליך (2) למרכז הכריכה הוא $30cm$. חשב את עוצמת הזרם וכיוונו שיש להזרים בכריכה על מנת לאפס את עוצמת השדה המגנטי במרכז הכריכה אם נתון כי: $I_1 = 80A$, $I_2 = 180A$.

4) נתונה כריכה מעגלית שרדיוסה הוא $5cm$. מדדו את צפיפות השדה המגנטי במרכז הכריכה וקיבלו $40T$.
 א. מהו השטף המגנטי?
 ב. מהו הזרם דרך הכריכה (הנח ריק).
 ג. מהי עוצמת השדה המגנטי במרכז הכריכה?

5) נתון סליל בעל ליבת אוויר הכרוך על גליל שקוטרו $12cm$. אורך הסליל הינו $30cm$ ומספר הכריכות הוא 500 .
 א. חשב כמה זרם יש להזרים דרך הסליל לקבלת שדה מגנטי של $5000 \frac{A}{m}$.
 ב. חשב את השטף המגנטי וצפיפות השטף המגנטי.



- 6 שני מוליכים נמצאים באוויר ובמקביל אחד לשני. נתון: $I_1 = 120A$, $I_2 = 80A$. כיוון הזרם במוליך (1) הוא כלפי מעלה וידוע כי המרחק בין המוליכים הוא $1.5m$.
- א. חשב את מיקומה של הנקודה B, כך שעוצמת השדה המגנטי בה יהיה 0 וציין את כיוון הזרם במוליך השני לשם כך.
- ב. חשב את צפיפות השטף המגנטי במרכז המרחק שבין שני המוליכים.

תשובות סופיות:

$$(1) \quad H_A = 0.159 \frac{A}{m} \downarrow, \quad H_B = 0.397 \frac{A}{m} \leftarrow, \quad H_C = 0.187 \frac{A}{m} \swarrow$$

$$(2) \quad 5.926 \frac{A}{m}$$

$$(3) \quad 6.36A \text{ עם כיוון השעון.}$$

$$(4) \quad \text{א. } 314mWb \quad \text{ב. } 10MA \quad \text{ג. } 31.83M \frac{A}{m}$$

$$(5) \quad \text{א. } 3A \quad \text{ב. } B = 6.28mT, \quad \phi = 71.06\mu Wb$$

$$(6) \quad \text{א. עבור: } I_2 \text{ כלפי מעלה: } 0.9m \text{ מימין למוליך (1).}$$

$$\text{עבור: } I_2 \text{ כלפי מטה: } 3m \text{ מימין למוליך (2).}$$

$$\text{ב. עבור: } I_2 \text{ כלפי מעלה: } 10.66\mu T$$

$$\text{עבור: } I_2 \text{ כלפי מטה: } 53.33\mu T$$

סרטון – כוח מגנטי, כא"מ מושרה ואנרגיה מגנטית:

חישוב כוח מגנטי:

כוח מגנטי הפועל על מטען בודד:

הכוח המגנטי הפועל על מטען q שנע במהירות v בתוך בו שורר שדה מגנטי B כאשר הזווית שבין כיוון המהירות לשדה היא α הוא: $F_M = Bqv \sin \alpha$.

כוח מגנטי הפועל על תיל:

הכוח המגנטי הפועל על תיל באורך L שבו זרם I הנמצא בתחום בו שורר שדה מגנטי B כאשר הזווית שבין כיוון הזרם לשדה היא α הוא: $F_M = BIL \sin \alpha$.

כוח מגנטי בין שני תילים:

הכוח המגנטי הפועל על שני תילים מקבילים ארוכים שמרחקם זה מזה הוא d (כאשר $d \ll L$) ובהם זורמים הזרמים I_1 ו- I_2 הוא: $F_M = \frac{\mu I_1 I_2}{2\pi d}$.

אנרגיה מגנטית האגורה בסליל:

האנרגיה האגורה בסליל עם השראות L שזרם דרכו זרם I היא: $E = \frac{LI^2}{2}$.

כא"מ מושרה:

כא"מ המתפתח על תיל הנע בתחום שבו שדה מגנטי אחיד:

הכא"מ המתפתח על פני תיל באורך L הנע במהירות קבועה v בתוך תחום בו שורר שדה מגנטי אחיד B בזווית α הוא: $\varepsilon = BLv \sin \alpha$.

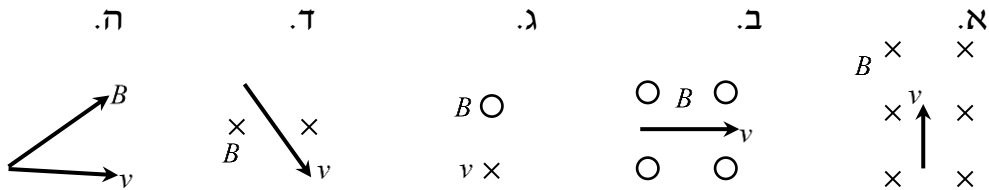
כא"מ המתפתח על מסגרת מסתובבת:

הכא"מ המתפתח על פני מסגרת ששטחה A אשר נמצאת בתחום בו שורר שדה מגנטי אחיד B ומסתובבת סביב המאונך לכיוון השדה במהירות זוויתית ω הוא: $\varepsilon(t) = \omega BA \sin(\omega t)$.

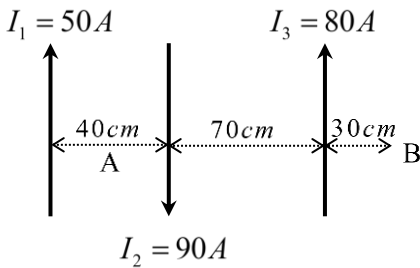
תרגילים:

1) מהו הכוח המגנטי הפועל על מטען של $Q = 6\mu C$ הנע במאונך לשדה מגנטי שגודלו $12T$ במהירות $3\frac{m}{s}$?

2) באילו מקרים לא יפעל כוח על מטען? נמק.



3) שלושה מוליכים נמצאים במקביל זה לזה לפי האיור הבא:



א. חשב את צפיפות השטף בנקודה A,

הנמצאת במרכז שבין התילים I_1 ו- I_2

ובנקודה B הנמצאת במרחק של $30cm$

מימין לתיל I_3 .

ב. מצא את הכוח שמפעיל תיל I_3 על התיל I_1 .

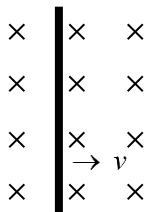
ג. מצא את הכוח שמפעיל תיל I_2 על התיל I_3 .

4) מוליך באורך של חצי מטר נע בתוך שדה מגנטי

בעל צפיפות של $6T$ במהירות של $0.5\frac{m}{s}$.

חשב את עוצמת הכא"מ המושרה המתפתח

במוליך ואת כיוונו.



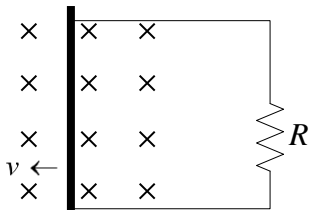
5) מחברים לנגד שערכו 50Ω תילים המחוברים למוט

באורך $40cm$ שנע במהירות קבועה בתוך תחום בו

נמצא שדה מגנטי בצפיפות של $8T$ כמתואר באיור.

מצא באיזו מהירות יש להזיז את המוט כדי ליצור

הספק של $1w$ על הנגד.



6) על סליל בעל 800 כריכות הכרוך סביב ליבת אוויר בעלת שטח חתך

של $0.414m^2$ נוצר כא"מ מושרה של $4v$ כאשר הזרם עלה בסליל מ- $2A$ ל- $14A$

בקצב אחד תוך שתי שניות. חשב את אורך מסלול השטף המגנטי בסליל.

תשובות סופיות:

(1) $.216\mu N$

(2) רק במקרה ג'.

(3) א. $B_A = 122.22\mu T$, $B_B = 42.47\mu T$ ב. $727.27\mu N$ ג. $.2.05mN$

(4) $1.5v$, כלפי מעלה.

(5) $.2.21\frac{m}{s}$

(6) $.50cm$

סרטון – הסליל במעגל החשמלי:

הגדרות בסיסיות:

הקשר שבין המתח הנופל על פני סליל ושינוי הזרם העובר דרכו: $U_L = \frac{dI}{dt}$.

טעינה של סליל:

מצב בו הסליל אוגר זרם חשמלי בתוכו והשדה המגנטי הרגעי בו מגיע לערכו המירבי.

פריקה של סליל:

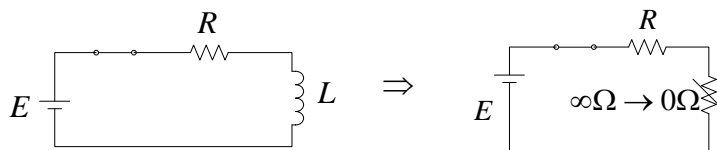
מצב בו הסליל משחרר את הזרם האגור בו אל המעגל והשדה שבתוכו קטן לאפס.

ארבע התובנות של התנהגות הסליל:

1. הזרם במעגל ברגע הראשון הוא אפס.
נסמן זאת: $I(0^+) = I(0^-) = 0A$.
2. הזרם במעגל במצב המתמיד שווה E/R .
נסמן זאת: $I(\infty) = \frac{E}{R}$.
3. המתח על הסליל ברגע הראשון הוא E .
נסמן זאת: $U_L(0^+) = E$.
4. המתח על הסליל במצב המתמיד הוא אפס.
נסמן זאת: $U_L(\infty) = 0$.

מידול הסליל לנגד:

ניתן למדל את הסליל לנגד שהתנגדותו ברגע הראשון היא $\infty\Omega$, ז"א נתק, ובמהלך פעולת המעגל התנגדותו קטנה עד ל- 0Ω , שמשמעו קצר.



חיבור סלילים בטור ובמקביל:

1. בחיבור של סלילים בטור נסכום את ערכי ההשראות שלהם: $L_T = \sum_{k=1}^N L_k$

2. בחיבור של סלילים במקביל נסכום את הערכים ההופכיים שלהם: $\frac{1}{L_T} = \sum_{k=1}^N \frac{1}{L_k}$

תופעות המעבר של סליל במעגל החשמלי:

מקרה כללי:

המתח על פני הנגד: $U_R(t) = U_R(\infty) - (U_R(\infty) - U_R(0))e^{-\frac{t}{\tau}}$

המתח על פני הסליל: $U_L(t) = (U_R(\infty) - U_R(0))e^{-\frac{t}{\tau}}$

הזרם במעגל: $I(t) = I(\infty) - (I(\infty) - I(0))e^{-\frac{t}{\tau}}$

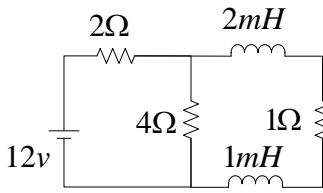
קבוע הזמן של המעגל: $\tau = \frac{L}{R}$

מקרה פרטי:

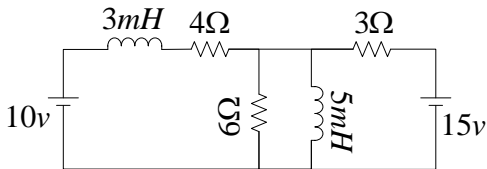
המתח על הסליל: $U_L(t) = U_L(0)e^{-\frac{t}{\tau}}$

הזרם במעגל: $I(t) = I(\infty)\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$

תרגילים:

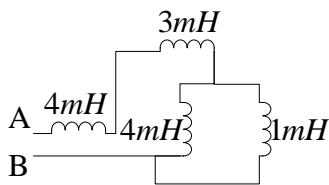


1) לפניך המעגל הבא :
חשב את האנרגיה האגורה בכל סליל במצב המתמיד.

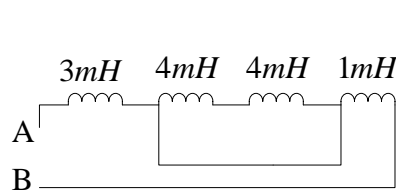


2) נתון המעגל הבא :
חשב את האנרגיה האגורה בכל אחד מהסלילים.

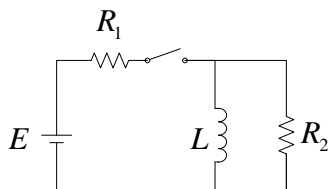
3) חשב את ערכי ההשראות השקולים של הסלילים הבאים בין הנקודות A ו-B :



ב.



א.



4) לפניך המעגל הבא :

נתון : $E = 24v$, $R_1 = 6k\Omega$, $R_2 = 3k\Omega$, $L = 2H$.

בזמן $t = 0$ סגרו את המפסק.

א. מהו ההספק על R_2 בזמן זה?

ב. כמה זמן יש להשאיר את המפסק סגור כדי

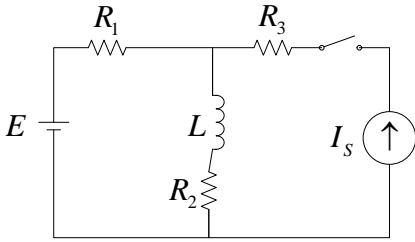
לקבל זרם מירבי בסליל ומהי עוצמתו?

ג. תוך כמה זמן ימדד הספק של $6.75mW$ על הנגד R_2 ?

פתחו את המפסק לאחר $3.5msec$.

ד. מהו המתח על הנגד R_2 ומהי קוטביותו?

ה. תוך כמה זמן ימדד זרם מינימלי דרך הסליל?



5) לפניך המעגל הבא :

נתון : $E = 40v$, $R_1 = 2k\Omega$, $R_2 = 2k\Omega$.

$R_3 = 2k\Omega$, $I_s = 2mA$, $L = 4H$

זמן רב לאחר שהמפסק היה פתוח סגרו אותו.

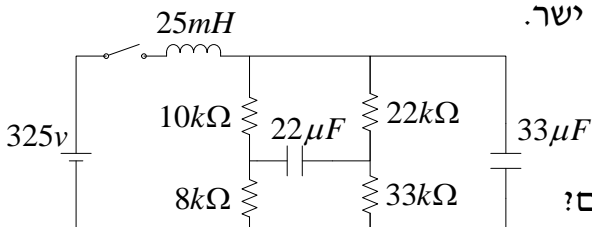
א. מהו ההספק על R_2 מיד לאחר סגירת המפסק?

ב. מהו הזרם דרך הסליל $3msec$ לאחר סגירת המפסק?

לאחר $4msec$ פתחו שוב את המפסק.

ג. מהו ההספק על מקור המתח מיד עם פתיחת המפסק?

ד. תוך כמה זמן ימדד זרם של $10.5mA$ דרך הסליל?



6) מקור המתח שבמעגל שלהלן הוא מקור מתח ישר.

העבירו את המתג למצב מחובר (on),

וחיכו עד אשר כל תופעות המעבר יחלפו.

א. כמה אנרגיה אגורה בסליל?

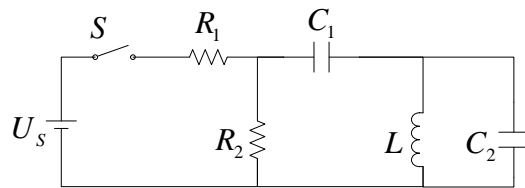
ב. מה המטען החשמלי בכל אחד מהקבלים?

ג. כמה אנרגיה אגורה בכל אחד מהקבלים?

7) באיור שלהלן נתון תרשים החיבורים של רכיבים חשמליים.

מקור אנרגיית החשמל הוא מקור זרם ישר DC.

העבירו את המתג S למצב מחובר on.



נתון : $U_s = 42v$, $R_1 = 100\Omega$, $R_2 = 400\Omega$, $C_1 = 22\mu F$, $C_2 = 33\mu F$, $L = 12mH$

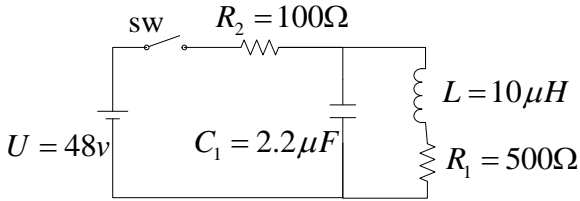
א. מה המתח השורר בין הדקי הקבל C_1 לאחר שחלפו כל תופעות המעבר?

ב. כמה אנרגיה אגורה בקבל C_2 כאשר המתג נמצא במצב מחובר זמן רב?

ניתקו את אספקת האנרגיה החשמלית באמצעות העברת המתג

למצב מופסק off.

ג. כמה אנרגיה הפכה לחום בנגד R_2 .



8) המתג sw שבמעגל שבאיור נמצא במצב מופסק off זמן ממושך מאוד. כל תופעות המעבר שהיו במעגל חלפו. מעבירים את המתג sw למצב מחובר on.

- א. מה הזרם העובר בנגד R_2 מיד עם העברת המתג sw למצב מחובר on.
- ב. כשהמתג במצב מחובר הרבה זמן, מה ההספק בנגד R_1 ?
- ג. כמה אנרגיה אגורה בהשראות במצב מתמיד?
- ד. כמה מטען חשמלי יהיה אגור בקבל לאחר שכל תופעות המעבר חלפו?

תשובות סופיות:

- (1) $5.877mJ$, $11.755mJ$
- (2) $9.375mJ$, $0.14J$
- (3) א. $6mH$. ב. $7.8mH$
- (4) א. $21.33mW$. ב. $I_{max} = 4mA$, $\Delta t = 5msec$. ג. $\Delta t = 0.575msec$
- ד. $11.637v$, הפוטנציאל החיובי בתחתית, הזרם נגד כיוון השעון.
- ה. $\Delta t = 3.33msec$
- (5) א. $0.2w$. ב. $11.9mA$. ג. $478mW$. ד. $\Delta t = 1.36msec$
- (6) א. $299.55\mu J$. ב. $1.11mC$, $10.725mC$. ג. $1.74J$. ד. $28.1mJ$
- (7) א. $33.6v$. ב. $0J$. ג. $0.124J$
- (8) א. $0.48A$. ב. $3.2W$. ג. $32nJ$. ד. $88\mu C$