

סוג הבחינה: בגרות

מועד הבחינה: קיץ

מספר השאלון: 036382

שם התלמיד/ה: _____

פיזיקה

שאלון חקר - 5 יחידות לימוד

הוראות

- א. משך הבחינה: שעהיים.
 - ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה אחת-עשרה שאלות. עליך לענות על כל השאלות 1-9, ועל שאלה אחת מבין השאלות 10-11. סה"כ - 100 נקודות.
 - ג. חומר עזר מותר בשימוש: מחשבון וסרגל.
 - ד. הוראות מיוחדות: רשום את כל תשובותיך בגוף השאלון, במקומות המיועדים לכך.
- השאלות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים, אף על פי כן על כל תלמידה וכל תלמיד להשיב עליהן באופן אישי.

בהצלחה!

השאלות

1. חלק א': חקירת תופעת התהודה במעגל חשמלי טורי (90 נקודות)

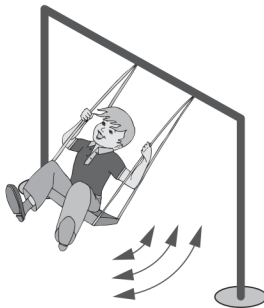
עליך לענות על כל השאלות 1-9.

רקע עיוני

תהודה

אחת התופעות הפיזיקליות היפות והמרתקות היא תופעת התהודה (resonance). תופעה זו מתאפיינת בכך שבמצב אידיאלי, בתדירות מסוימת, מתרחשת העברת אנרגיה מלאה ממצב אנרגטי אחד למשנהו.

ניתן להדגים זאת במקרה של נדנדה. כאשר מנדנדים נדנדה מתרחשים מעברי אנרגיה בין אנרגיה פוטנציאלית לאנרגיה קינטית (בהזנחת החיכוך). בתדירות נדנוד מסוימת, שהיא **תדירות התהודה**, מתרחשת העברת אנרגיה מרבית, ומתקבלת המשרעת הגדולה ביותר.



יישום נוסף של תופעת התהודה קיים בכלי נגינה, כמו כלי מיתר, תופים או כלי נשיפה. בכלי מיתר, שינוי האורך או המתיחות של המיתרים גורם לשינוי בתדירות הצליל המופק. באורכים מסוימים של המיתרים מתקבלת **תדירות התהודה**, שעבורה הצליל המופק הוא החזק ביותר.



יישום חשוב מאוד של מצב תהודה הוא במקלטי הרדיו, הקולטים את השידורים המועברים באמצעות קרינה אלקטרו־מגנטית. השידור נקלט באופן מיטבי כאשר המקלט מכוון לתדירות **הזהה לתדירות התהודה של המשדר**.



תהודה במעגל חשמלי

נתאר מקלט רדיו פשוט מאוד בעזרת מעגל RLC טורי, הפועל במתח ובזרם חילופין (Alternating Current, AC), בשונה ממעגלי מתח וזרם ישר (Direct Current, DC).

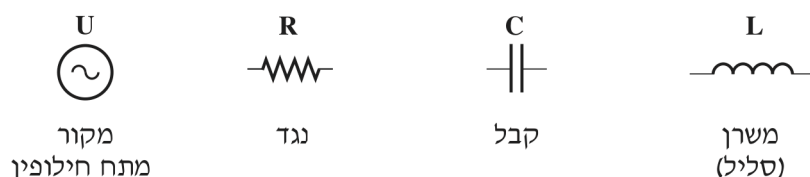
המעגל מורכב מארבעה רכיבים עיקריים:

נגד - בעל התנגדות R (אוהם, Ω).

קבל - בעל קיבול C (פראד, F). זהו רכיב האוגר מטען חשמלי. תפקידו לאגור אנרגיה פוטנציאלית חשמלית.

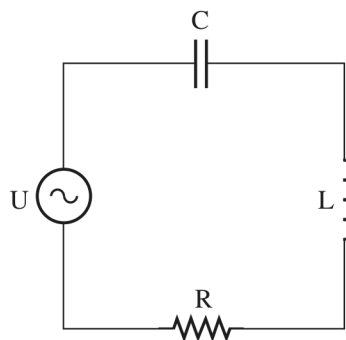
משרן (סליל) - בעל השראות L (הנרי, H), התלויה במבנה שלו, והתנגדות פנימית r .

מקור מתח חילופין - מתח חילופין הוא מתח המשנה את כיוונו ואת גודלו בתדירות מסוימת f (Hertz = $\frac{1}{\text{sec}}$), וגורם לזרם חילופין.



מה קורה במעגל זרם חילופין? בעקבות השינוי במתח ישתנה גם הזרם במעגל (קצב השינוי = תדירות), ונוכל לצפות בתופעות שאינן מתרחשות במעגלי זרם ישר.

במעגל זרם ישר, כאשר הקבל נטען הוא יוצר נתק. במעגל זרם חילופין, כשמחברים בטור קבל ומשרן - הקבל נטען ונפרק בהתאם לשינוי המתח במעגל, ובמשרן נוצר שינוי בהיגב ההשראי. נבנה מעגל חשמלי טורי הכולל את ארבעת הרכיבים האלה:



נגדיר לכל אחד מהרכיבים את היחס בין המתח (V) על הרכיב לזרם (I) דרכו. במעגלי זרם חילופין היחס בין המתח לזרם נקרא **היגב**. במעגלים אלו קיים היגב קיבולי X_C , היגב השראי X_L והיגב התנגדתי $X_R = R$.

$$X_R = \frac{V_R}{I} = R \quad \text{נגד}$$

$$X_C = \frac{V_C}{I} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \quad \text{קבל}$$

$$X_L = \frac{V_L}{I} = 2\pi \cdot f \cdot L \quad \text{משרן (סליל)}$$

המתח השקול במעגל מתקבל על-ידי חיבור וקטורי של שלושת המתחים. היחס בין גודל המתח לגודל הזרם העובר במעגל הוא:

$$Z = \sqrt{X_R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

גודל זה נקרא **עכבה** (impedance).

תדירות מקור המתח קובעת את X_L , את X_C ואת העכבה הכללית במעגל. בהתאם לכך נקבעת עוצמת הזרם במעגל. אם נשנה את תדירות מקור המתח, נוכל לקבל תדירות מסוימת f_0 , הנקראת **תדירות התהודה**, שבה מתקיים:

$$X_L = X_C$$

כלומר:

$$2\pi \cdot f_0 \cdot L = \frac{1}{2\pi \cdot f_0 \cdot C}$$

$$f_0^2 = \frac{1}{4\pi^2 \cdot L \cdot C}$$

$$(1) \quad f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}$$

מכאן, ששינוי התדירות של מתח המקור משנה את הזרם במעגל, מבלי לשנות את רכיבי המעגל (C או L , R).

בתדירות מסוימת, תדירות התהודה, העכבה היא מינימלית והזרם במעגל מרבי.

הציוד שהשתמשו בו בניסוי

• ערכת הניסוי

• סוללה 9 V DC

• רב־מודד

• שני חוטי חיבור, שבקצה האחד שלהם חיבור מצבט (תנין) ובקצה השני שלהם - הדק "בננה"

פירוט הרכיבים הנמצאים בערכת הניסוי, והמהווים את מעגל התהודה:

1. חיבור לסוללה 9 V DC .

2. בקרת תדר מחולל (בת"מ). כוללת כפתור הניתן לסיבוב, המאפשר לשנות את התדירות של המתח במעגל.

3. לבקרת תדר המחולל יש שני הדקים (פינים), P_1 ו- P_2 , שאליהם ניתן לחבר את הרב־מודד.

4. ארבעה קבלים המחוברים במקביל: $C = 0.1 \mu F$, $C_1 = 0.1 \mu F$, $C_2 = 0.2 \mu F$, $C_3 = 0.4 \mu F$.

ליד כל אחד מהקבלים C_1 , C_2 , C_3 ישנו מתג S_1 , S_2 , S_3 , בהתאמה, המאפשר לחבר אותו למעגל החשמלי או לנתק אותו ממנו.

כאשר מחברים קבלים במקביל, הקיבול השקול שווה לסכום האלגברי של הקיבולים שלהם:

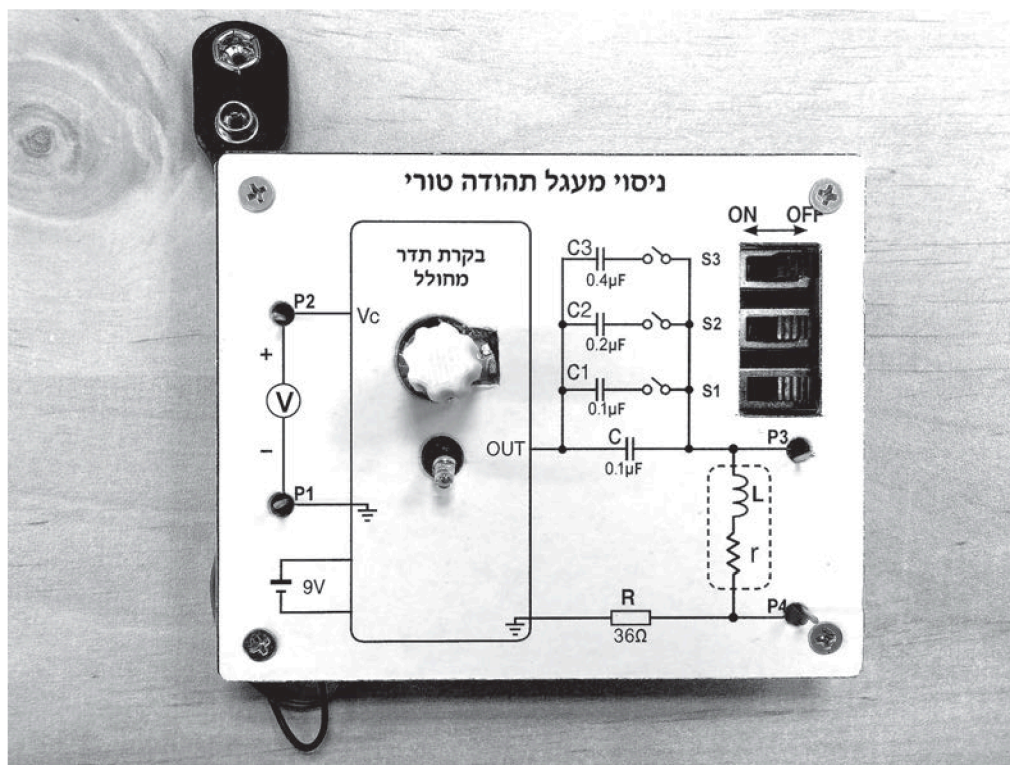
$$C_T = C_1 + C_2 + \dots$$

5. משרן (סליל) שהשראותו L והתנגדותו הפנימית r .

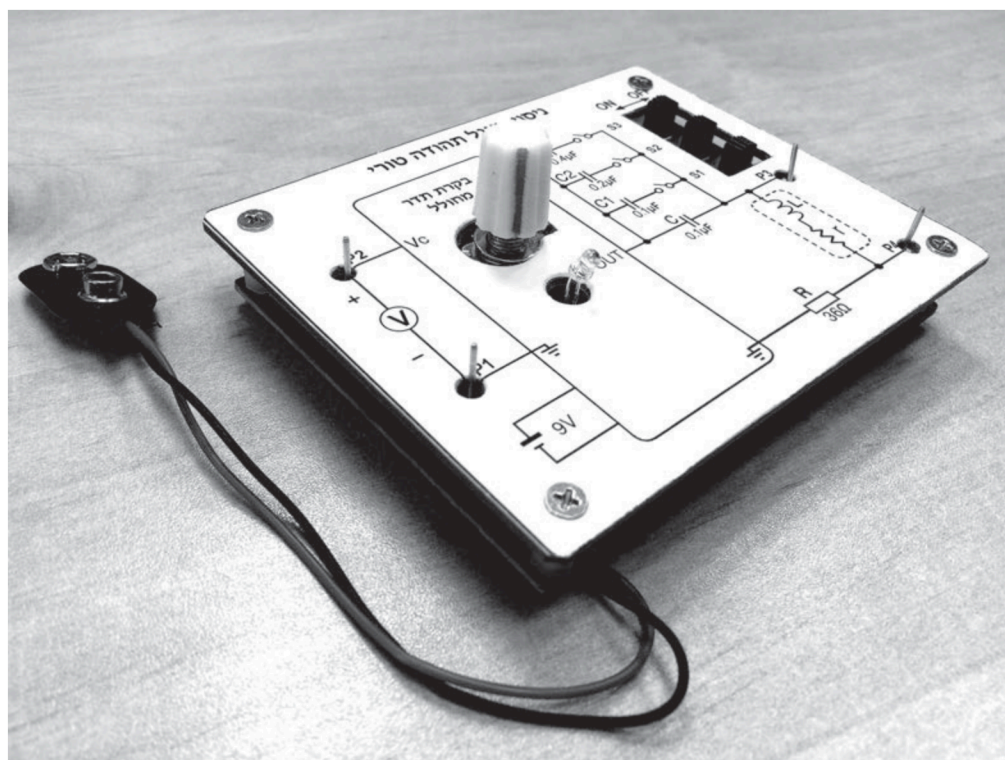
6. נגד R שהתנגדותו 36Ω .

7. נורית LED - עוצמת האור שלה מעידה על עוצמת הזרם במעגל.

8. הדקים (פינים) P_3 ו- P_4 משני צידי המשרן, שאליהם ניתן לחבר את הרב־מודד.



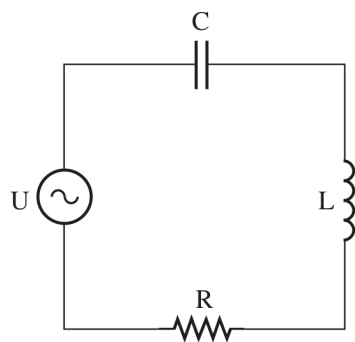
תצלום 1A של ערכת הניסוי – מבט-על



תצלום 1B של ערכת הניסוי – מבט-צד

שאלה 1

במעגל RLC טורי, המתואר באיור לשאלה 1, משתמשים במקור מתח חילופין שתדירותו $f = 50 \text{ Hz}$ ובקבל שקיבולו $C = 100 \mu\text{F}$. מהי ההשראות L של הסליל, הנדרשת על-מנת שהמעגל יימצא במצב תהודה?

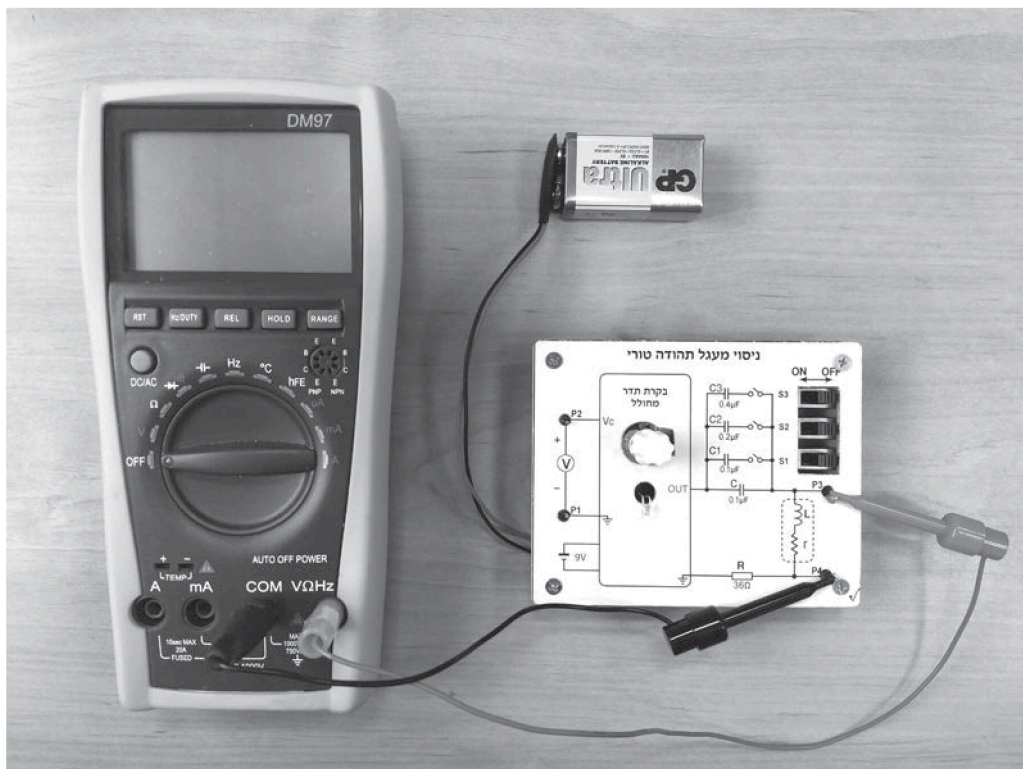


איור לשאלה 1

(4 נקודות)

2. פעולות שבוצעו בהתקנת המערכת:

1. מחברים את הסוללה לערכת הניסוי בעזרת החיבור המתאים.
2. מחברים את הרב-מודד לערכת הניסוי באופן הבא:
את צידם האחד (הדקי ה"בננה") של חוטי החיבור מחברים ל- COM ולמתח V ברב-מודד, ואת קצות המצבטים (התנינים) מחברים להדקי המשרן (פינים P_3 ו- P_4) בערכת הניסוי - ראה תצלום לשאלה 2.
3. הפעלת הרב-מודד: מכוונים את הרב-מודד, כך שיוכל למדוד מתח חילופין בין 0 V ל- 20 V . AC.
4. מביאים את ערכת הניסוי למצב ההתחלתי שלה: שלושת המתגים שבערכה נמצאים במצב פתוח (OFF).
מסובבים בעדינות את כפתור בקרת תדר המחולל (בת"מ) לצד שמאל (נגד כיוון השעון) עד הסוף. קיבול המעגל במצב הזה (שלושת המתגים במצב OFF והקבל C מחובר) הוא $0.1\text{ }\mu\text{F}$.
הבהרה: כאשר מתג נמצא במצב OFF - הקבל הסמוך לו לא מחובר למעגל. כשכפתור הבת"מ מסובב עד הסוף נגד כיוון השעון (שמאלה) - הזרם הזורם במעגל הוא הנמוך ביותר.



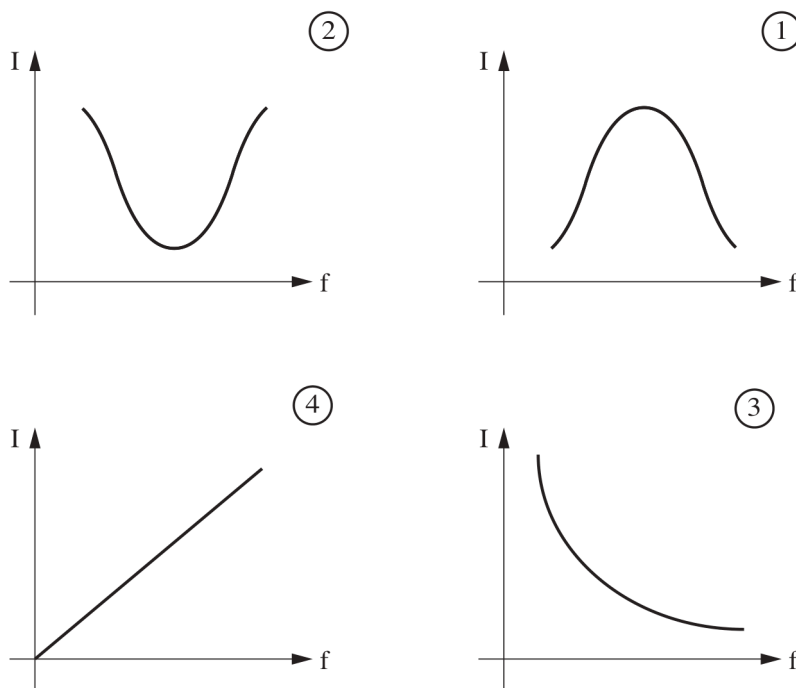
תצלום לשאלה 2

תיאור ביצוע הניסוי:

מסובבים את כפתור הבת"מ עם כיוון השעון (ימינה) באיטיות עד הסוף. עוצמת האור בנורית ה-LED והמתח על המשרן המוצג ברב-מודד גדלים עד לנקודה מסוימת, שבה הם מרביים (מקסימליים). כאשר ממשיכים לסובב את הכפתור באותו כיוון - עוצמת האור בנורית ה-LED והמתח על המשרן קטנים.

שים לב: כאשר עוצמת האור בנורית ה-LED והמתח המוצג ברב-מודד מרביים - זהו מצב התהודה.

- א. מדוע ניתן להניח שכאשר עוצמת האור ב-LED היא מרבית, המעגל נמצא בתדר התהודה שלו? בתשובתך, היעזר ברקע העיוני.
- ב. באיור לשאלה 2 נתונים ארבעה גרפים, המסומנים בספרות ① - ④. רשום את מספרו של הגרף המתאר בצורה הנכונה את הקשר שבין עוצמת הזרם במעגל לבין תדירות המחולל. הסבר את בחירתך.



איור לשאלה 2

3. מהלך הניסוי

הקדמה

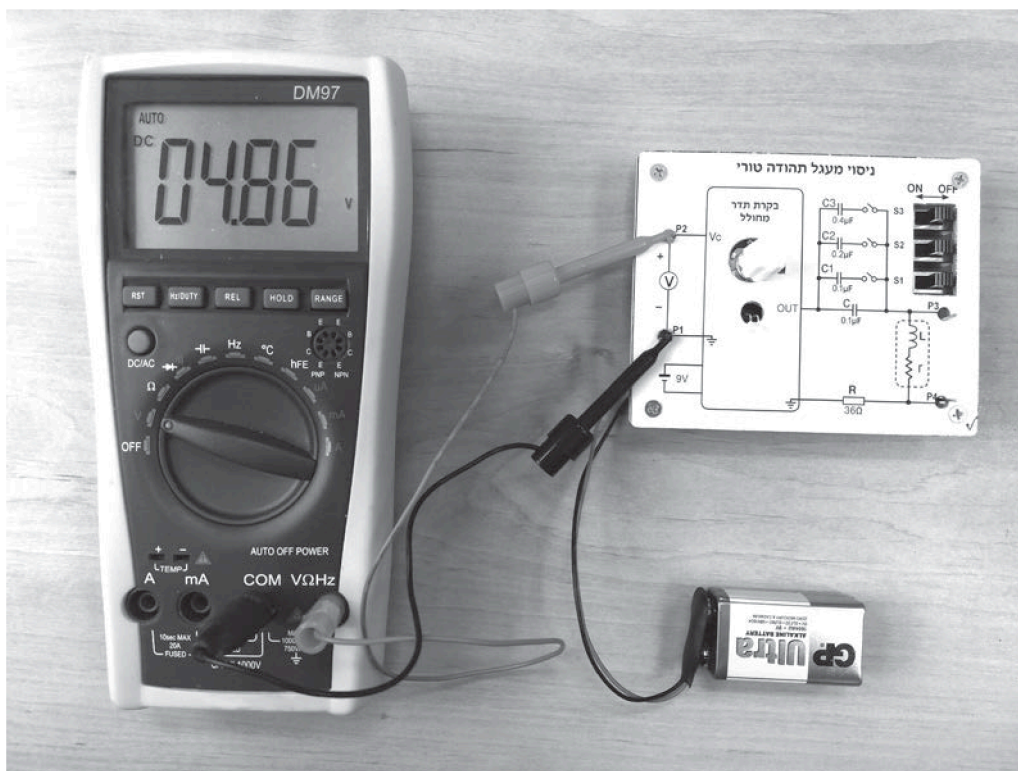
כפתור הבת"מ משנה את המתח של מחולל התדר. יתרונה של המערכת שלפניך הוא שניתן לחבר אליה סוללה של מתח ישר, ולבצע את המדידות של הניסוי כשהרב-מודד מכוון למצב DC.

במערכת זו, כל שינוי של 1 V DC במתח הנמדד על-ידי הרב-מודד בין ההדקים P_1 ו- P_2 גורם לשינוי של 1 kHz בתדירות המחולל.

שאלה 3

מכוונים את הרב-מודד, כך שיוכל למדוד מתח ישר (המסומן DC) המתאים לסדר-הגודל של כא"מ הסוללה.

מנתקים את קצות המצבטים מהפינים P_3 ו- P_4 , ומחברים אותם לפינים P_1 ו- P_2 .



תצלום לשאלה 3

מחזירים את כפתור הבת"מ למצבו ההתחלתי. מסובבים אותו באיטיות עם כיוון השעון, ומביטים בעוצמת האור המשתנה בנורית ה-LED. מכוונים את הכפתור לנקודה שבה עוצמת האור בנורית ה-LED היא מרבית. זהו מצב התהודה.

א. רשום את הקיבול של המעגל במצב הזה: _____.

ב. המתח המוצג ברב-מודד במצב הזה היה: 4.86 V . רשום את ערך התדירות המתאים למתח הזה: _____.

ג. רשום את מצב המפסקים ואת התדירות מסעיף ב' בעמודות המתאימות בטבלה המוצגת בשאלה הבאה.

4. א. משנים את הקיבול השקול במעגל בעזרת המתגים S_1 , S_2 ו- S_3 .
 למשל: עבור קיבול שקול של $0.2 \mu F$ - על המתג S_1 להיות במצב ON, ועל המתגים S_2 ו- S_3 להיות במצב OFF.
 עבור כל ערך של הקיבול השקול המופיע בטבלה - הביאו את המעגל החשמלי מחדש למצב תהודה (עוצמת אור מרבית בנורית ה-LED), ומדדו את המתח בין הפינים P_1 ו- P_2 במצב הזה.
 רשום בטבלה את מצב המפסקים ואת תדירות התהודה המתאימה לכל אחד מן המתחים שהתקבלו במדידות $2 \div 6$.

מספר מדידה	הקיבול השקול (μF)	מצב המפסקים ON / OFF S_3	מצב המפסקים ON / OFF S_2	מצב המפסקים ON / OFF S_1	המתח (V) בין הפינים P_1 ו- P_2	תדירות התהודה (kHz)
1	0.1				4.86	
2	0.2	OFF	OFF	ON	3.35	
3	0.3				2.83	
4	0.4				2.43	
5	0.6				2.03	
6	0.8				1.67	

הערה: את העמודות הריקות שבטבלה תידרש למלא בהמשך השאלון.

ב. בהתאם למדידות שבוצעו בסעיף א', מהו המשתנה הבלתי-תלוי ומהו המשתנה התלוי בניסוי?

5. א. היעזר בנוסחת תדירות התהודה f_0 שברקע העיוני (נוסחה 1) בעמוד 4, והגדר משתנה בלתי-תלוי ומשתנה תלוי חדשים, כך שיתקבל קשר קווי ישר ביניהם (גרף ליניארי).

- ב. הוסף בראש העמודות הריקות בטבלה שבשאלה 4 את המשתנים החדשים שהגדרת בסעיף א' ואת יחידות-המידה שלהם, ומלא את הטבלה.

הצג את הערכים בטבלה בכתיבה מדעית, למשל: את הערך 3,333,333 הצג בטבלה כ- $3.33 \cdot 10^6$.

בסרטוט הדיאגרמה בשאלה הבאה, רשום את חזקת ה- 10 המשותפת לכל הערכים בכל אחד מן הצירים ליד יחידות-המידה. עשה זאת גם אם עיבוד הנתונים מתבצע בעזרת מחשב.

6. א. סרטט על הנייר המילימטרי (שבעמוד הבא) דיאגרמת פיזור של המשתנה התלוי החדש כפונקציה של המשתנה הבלתי-תלוי החדש, על-פי התוצאות שרשמת בטבלה שבשאלה 4.

בסרטוטך, רשום את החזקה המתאימה של 10 ביחידות-המידה של המשתנים בשני הצירים, כך שהערכים שתרושום לאורך הצירים יהיו המקדמים המספריים בלבד. עשה זאת גם אם עיבוד הנתונים מתבצע בעזרת מחשב.

הערה: תוכל להשתמש גם בגיליון האלקטרוני. אם השתמשת בו, הדבק את מדבקת הנבחן שלך גם על תדפיס המחשב, וצרף אותו לשאלון.

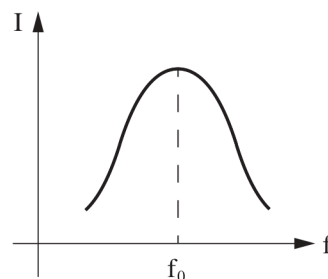
- ב. העבר קו מגמה בדיאגרמת הפיזור שסרטטת.

7. א. חשב את השיפוע של קו המגמה שסרטטת, וציין את יחידות-המידה שלו.

- ב. בעזרת השיפוע שמצאת בסעיף א', חשב את ההשראות L של המשרן.

8. מהם היתרונות של סרטוט הגרף הליניארי בשאלה 6 על-פני סרטוט גרף של התדירות f_0 כפונקציה של הקיבול C_T ? (4 נקודות)

9. התבונן בתצלום של ערכת הניסוי, וענה על השאלה שלהלן:
באיור לשאלה 9 נתון גרף המתאר את עוצמת הזרם I במעגל החשמלי שבניסוי כפונקציה של תדירות המחולל f .



איור לשאלה 9

אילו הנגד $R = 36 \Omega$ (המחובר בטור לסליל) היה מקוצר (לא היה קיים) בערכת הניסוי, האם גובהו של ה"פעמון" המתואר בגרף היה גדל, קטן או לא היה משתנה? נמק את תשובתך. (4 נקודות)

10. חלק ב': שאלות מניסויי החובה (10 נקודות)

ענה על אחת מבין השאלות 10-11 (לכל שאלה - 10 נקודות).

שאלה 10

החוק השני של ניוטון

א. בשלב הראשון של הניסוי, שבו המסה הכוללת של המערכת (העגלה והסל) נשארת קבועה - מהו המשתנה הבלתי-תלוי ומהו המשתנה התלוי?

ב. האם הסל ינוע בתאוצת הנפילה החופשית כאשר החיכוך בין העגלה למשטח זניח? הסבר את תשובתך.

ג. בניסוי מסרטטים גרף של התאוצה כפונקציה של הכוח השקול הפועל על המערכת.

כאשר החיכוך בין העגלה למשטח אינו זניח:

(1) כיצד ישתנה שיפוע הגרף לעומת שיפועו במקרה שבו החיכוך זניח?

(2) כיצד ישתנה מיקום נקודת החיתוך של הגרף עם הציר האופקי לעומת מיקומה במקרה שבו החיכוך זניח?

11. גלונומטר טנגנטי

א. הסבר כיצד ניתן למדוד בגלונומטר טנגנטי את הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור-הארץ (B_E).

ב. מדוע הגלונומטר הטנגנטי מודד בניסוי אך ורק את הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור-הארץ?

ג. הסבר מדוע לא ניתן לקבל בניסוי הזה זווית-סטייה של 90° במחט-המצפן.

כל הברריות בפיזיקה עם פתרונות מלאים: www.guyai.co.il/bagrut/physics