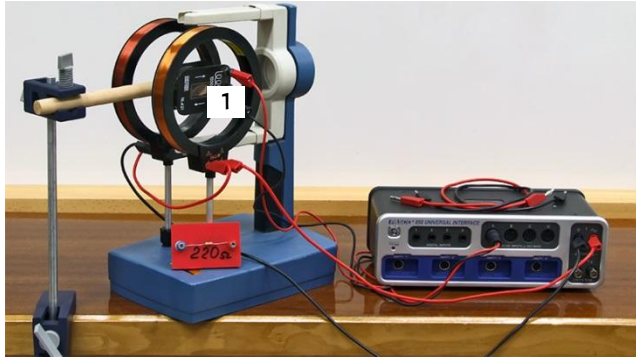




כא"מ מושרה

ציוד

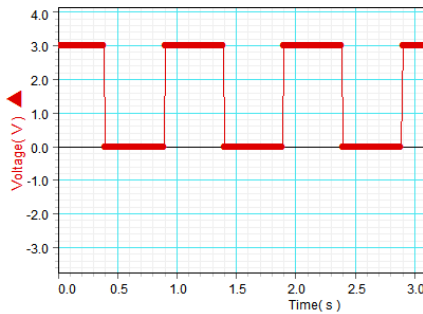
- סליל UNILAB 111.421 (1200 + 1200 ליפופים)
- סלילי הלמהולץ על המעמד (Teltron)
- נגד של כ- 220 אוהם
- ממשק 850
- חיישן מתח
- קליבר דיגיטלי
- צבט להתקנת סליל UNILAB
- מוט באורך של כ- 50 ס"מ
- מחבר שולחני
- מחבר זוויתי
- 2 תילי חיבור באורך של 75 ס"מ ו-3 תילים באורך של 50 ס"מ



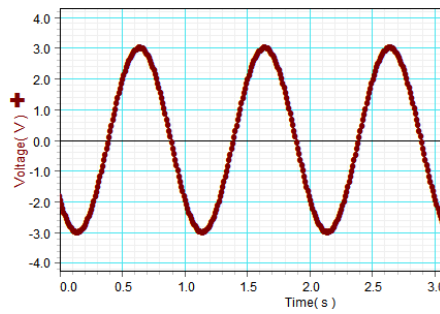
איור 1

תיאור המערכת ורקע עיוני

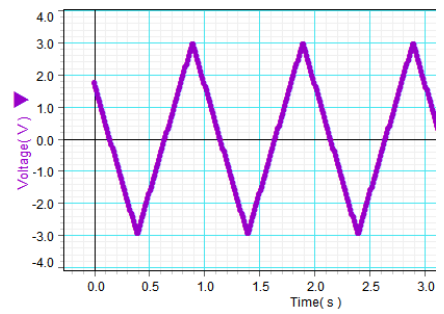
סלילי הלמהולץ (זוג סלילים זהים שהמרחק ביניהם שווה לרדיוסיהם) יוצרים שדה מגנטי אחיד במרחב ביניהם. הסלילים מחוברים למחולל אותות חשמליים (גנרטור); צורת האותות, משרעתם ותדירותם ניתנות לשינוי. בניסוי זה נעשה שימוש באותות "משולש", "סינוס" ו"מלבן חיובי" (איור 2).



א



ב



א

איור 2

השדה המגנטי הנוצר בין הסלילים פרופורציוני לזרם הזורם בהם, והזרם פרופורציוני למתח בין קצוות הסלילים. לפיכך, תלות השדה המגנטי בזמן דומה לתלות המתח בזמן, כלומר, השדות המגנטיים בהם משתמשים בניסוי, גם משתנים בהתאם לגרפים שבאיור 2.



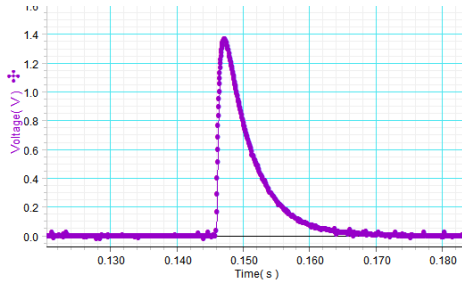
איור 3

בין סלילי הלמהולץ מותקן סליל כפול נוסף (סליל 1 באיור 1) המכיל שני סלילים בעלי 1200 ליפופים כל אחד, שמלופפים אחד מעל השני ומחוברים בטור. קצוות של אחד הסלילים מחוברים לשקעים 1, 2 (איור 3), וקצוות הסליל השני - לשקעים 2, 3. בסלילים אלה נוצר כא"מ מושרה כאשר סלילי הלמהולץ יוצרים שדה מגנטי משתנה.

לפני ביצוע הניסוי, ענו על השאלות הבאות:

1. במערכת הניסוי איתה תעבדו, שטח החתך של הסליל בו נוצר כא"מ מושרה הינו קבוע. בהסתמך על חוק פאראדיי, הסבירו מדוע הקשר המתמטי בין הכא"מ המושרה לבין קצב שינוי השדה המגנטי הוא יחס ישר, ורשמו ביטוי עבור מקדם הפרופורציה.
2. הניחו שהשדה המגנטי משתנה בהתאם לאיור א2'. העתיקו את האיור למחברת והוסיפו מתחתיו את סקיצת הגרף של ה-כא"מ המושרה שנוצר בסליל 1.

3. אם השדה המגנטי משתנה בהתאם לאיור 2ב' (תלות סינוסואלית) – מהי התלות בזמן של ה-כא"מ המושרה בסליל 1? בהסתמך על חוק פאראדיי, רשמו ביטוי למשרעת ה- כא"מ המושרה, $\epsilon_{\max}$ באמצעות הפרמטרים: A (שטח החתך של הסליל), N (מספר כריכות בסליל), f (תדירות השדה המגנטי), B_0 (משרעת השדה).



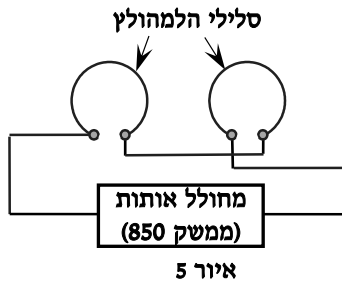
איור 4

4. מחברים לסליל 1 נגד שהתנגדותו R, ומחברים את סלילי הלמהולץ למקור מתח ישר (DC). בעת החיבור, בסליל 1 נוצר כא"מ מושרה - תלות בזמן מוצגת באיור 4:

א. הסבירו מדוע ה- כא"מ המושרה מתאפס אחרי הזמן $t=0.17$ s.

- ב. הסבירו כיצד אפשר לחשב את כמות המטען שעבר בנגד, בהסתמך על הגרף שבאיור 4 ועל התנגדות הנגד.

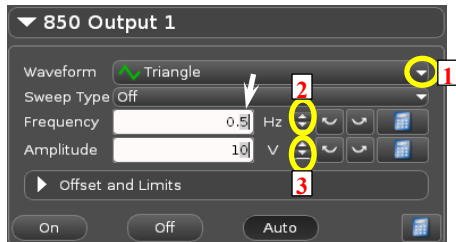
הכנת מערכת הניסוי



איור 5

1. כווננו את המיקום של סלילי הלמהולץ כך שסליל 1 ימצא באמצע ביניהם.
2. הרכיבו מעגל חשמלי בהתאם לאיור 5.
3. חברו את חיישן המתח לשקעים 1, 3 של סליל 1 (איור 3), את התקע השחור של החיישן תחברו לשקע 3.
4. הפעילו את ממשק 850 על ידי לחיצה ארוכה על הכפתור בפניה השמאלית העליונה של הממשק.
5. פתחו את קובץ תבנית העבודה (Template) "כא_מ מושרה" (הקליקו עליו פעמיים בסייר הקבצים של Windows, נתיב הקובץ יינתן יל ידי המורה). בכל הכרטיסיות המוגדרות בתבנית העבודה של התוכנה, במערכת הצירים העליונה יוצגו הגרפים של הפנימי, כתלות בזמן. במערכת הצירים התחתונה, יוצגו הגרפים של הזרם בסלילי הלמהולץ כתלות בזמן. שימו לב שחיישן הזרם המוגדר בתבנית העבודה הוא החיישן המובנה של ממשק 850; חיישן זה מודד זרם במעגל המחובר למחולל הממשק (כלומר, בסלילי הלמהולץ בניסוי זה).

הפעלת המחולל של ממשק 850 באמצעות לוח הבקרה (איור 6):



איור 6

1. להגדרת הצורה של אות המתח, יש ללחוץ על צלמית 1 ולבחור את הצורה הרצויה מהרשימה הנפתחת.
 2. לשינוי התדירות יש ללחוץ על אחת החיצים (2).
 3. לשינוי משרעת המתח יש ללחוץ על אחד החיצים (3).
- הערה: אפשר להגדיר את משרעת ותדירות האותות על ידי הקלדה ישירה בשדות המתאימים של לוח הבקרה.

ביצוע המדידות

שימו לב – בניסוי זה אין התייחסות לחוק לנץ, לכן אין הקפדה על החיבור הנכון של סליל 1 ביחס לחיבור סלילי הלמהולץ. לפיכך, יתכן שבמערכת שלכם מופע ה-כא"מ המושרה יהיה שגוי.

1. חקירת הקשר בין כא"מ מושרה לבין קצב שינוי השטף המגנטי

בחלק זה של הניסוי עליכם לחקור את הקשר בין כא"מ מושרה הנוצר בין קצוות הסליל הפנימי, לבין קצב שינוי השטף המגנטי (חוק פאראדיי) כאשר שטח חתך הסליל הינו קבוע. השדה המגנטי בו נמצא הסליל יתנהג בהתאם לאיור 2א' ("פונקציה משולש").

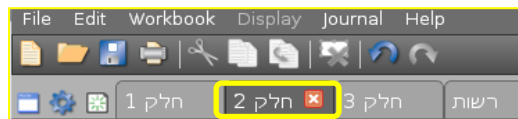
- א. הכינו בגיליון Excel טבלה עם 2 עמודות, בה תזינו קצב שינוי הזרם בסלילי הלמהולץ ערכי כא"מ מושרה.
- ב. הקליקו על הספרה "5" בלוח הבקרה של המחולל (איור 6). פרוש הפעולה: בשינוי תדירות המחולל באמצעות חצים (2) באיור 6, במספר המביע את תדירות המחולל תשתנה ספרה זו.
- ג. הריצו מדידות (הקליקו על צלמית Record בסרגל Controls הנמצא בתחתית החלון). כעבור כ-5 שניות, בלי לעצור את המדידות, הגדילו את תדירות המחולל ב- 0.2Hz (הקליקו פעמיים על צלצית מקבוצה (2) - איור 6). המשיכו להגדיל את תדירות המחולל ב- 0.2Hz כל 5 שניות. כשתגיעו לתדירות של 2.1 Hz, עצרו את המדידות. שמו את הפעילות.
- ד. עבור כל אחת מהתדירויות, יש למדוד את קצב שינוי הזרם ואת ערכו המוחלט של ה-כא"מ המושרה, ולהזין אותם בגיליון Excel.

למציאת קצב שינוי הזרם יש לפעול באופן הבא:

- לנוחות הצפייה בנתונים, סגרו את לוח הבקרה של המחולל – הקליקו על צלמית **Signal Generator** בסרגל **Tools**.
 - התמקדו באחד מהקטעים העולים של הגרף $I(t)$. לשינוי קנה מידה של ציר הזמן אחזו באחד המספרים בציר זה, ובלי לשחרר את לחצן העכבר גררו את המספר החוצה או פנימה. להזזת הגרף כולו, אחזו במקום כלשהו במערכת הצירים (רק לא בנקודות על הגרף עצמו!) וגררו את הגרף.
 - הקליקו על הצלמית של כלי בחירה  בסרגל הכלים של מערכת צירים – יופיע מלבן הבחירה. באמצעות הזזת צלעותיו המלבן, התאימו את מידותיו לקטע הנדרש.
 - הערה: למחיקת מלבן הבחירה, הקליקו עליו והקליקו על צלמית "x" שתופיע מעל המלבן.
 - הקליקו על צלמית המשולש ליד צלמית הבחירה של קו מגמה  בחרו ברשימה את **Linear Fit**.
- למציאת כא"מ מושרה הפעילו את הכלים הסטטיסטיים (צלמית ) ובחרו באמצעות מלבן הבחירה את קטע הגרף $\varepsilon(t)$ בו ה-כא"מ קבוע וחיובי. ורשום את הערך הממוצע של ה-כא"מ בקטע.

2. השפעת שטח חתך הסליל על כא"מ מושרה

- א. עברו לכרטיסיה "חלק 2" בחוברת העבודה של התוכנה, בה מוגדר אות משולש בתדירות ההתחלתית של 1 Hz.



איור 7

- ב. הריצו מדידה במשך של כ-3 שניות.
- ג. כעת העבירו את התקע האדום של חיישן המתח לשקע (2) של הסליל הפנימי (איור 3) ושוב הריצו מדידות במשך של כ-3 שניות.
- ד. החזירו את התקע האדום של חיישן המתח לשקע (3) של הסליל, ואת התקע השחור העבירו לשקע (2). הריצו מדידות במשך של כ-3 שניות.
- ה. עבור כל אחד מהמקרים הנ"ל, מדדו את ה-כא"מ המושרה:
- הקלק על גרף ה-כא"מ,
 - פתחו את מלבן הבחירה והתאימו את מידותיו לקטע הגרף בו ה-כא"מ קבוע,
 - הפעילו את הכלים הסטטיסטיים, קרא את ה-כא"מ הממוצע ורשמו אותם.

3. חקירת כא"מ מושרה הנוצר בשדה מגנטי המשתנה כפונקציה סינוס

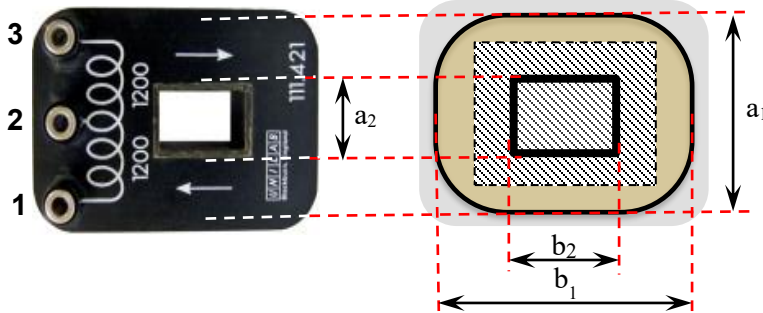
חלק זה של הניסוי מדמה את עבודת גנראטור מתח חילופין. סליל של גנראטור מסתובב בקצב קבוע בשדה מגנטי קבוע – לכן, שטף השדה המגנטי דרך הסליל משתנה כפונקציה סינוס. בניסוי זה הסליל לא מסתובב – אבל השדה המגנטי בו נמצא הסליל (ולכן גם השטף דרך הסליל), הוא זה שמשתנה עם הזמן כפונקציה סינוס. לפיכך, התנהגות ה-כא"מ המושרה בסליל זהה בשני המקרים הנ"ל.

- א. הכינו בגיליון Excel טבלה עם 2 עמודות, בה תזינו ערכי ה-כא"מ המושרה ותדירות השדה המגנטי.
- ב. חברו את חיישן המתח לשקעים 1, 3 של הסליל הפנימי (איור 3).
- ג. עברו לכרטיסיה "חלק 3" בחוברת העבודה בתוכנה. בכרטיסיה זו מוגדר אות סינוס בתדירות ההתחלתית של 0.5 Hz.
- ד. הקליקו על הספרה "5" בערך התדירות בלוח הבקרה של המחולל. הריצו מדידות במשך של כ-5 שניות, ובלי לעצור אותן, הגדילו את תדירות המחולל ב- 0.2 Hz (חץ עליון בקבוצה (2) באיור 6). המשיכו להגדיל את תדירות המחולל ב- 0.2 Hz כל 5 שניות. כשתגיעו לתדירות של 2.1 Hz, עצרו את המדידות.
- ה. מדדו את משרעת הזרם בסלילי הלמהולץ:
- בחרו באמצעות מלבן הבחירה את קטע הגרף $I(t)$ המכיל מספר מחזורים והציגו את הכלים הסטטיסטיים (צלמית ). קראו את הערכים המקסימלי והמינימלי של עוצמת הזרם, חישבו באמצעותם את משרעת הזרם ורשמו אותה.
- ו. עבור כל אחת מהתדירויות, מדדו את משרעת ה-כא"מ המושרה: בחר קטע הגרף $\varepsilon(t)$ המכיל מספר מחזורים בעלי אותה התדירות והציגו את הכלים הסטטיסטיים. הזינו בטבלה שהכנתם בגיליון Excel את הערכים המקסימלי והמינימלי של ה-כא"מ המושרה מול התדירות המתאימה.

ניתוח תוצאות המדידות

1. חקירת הקשר בין כ"מ מושרה לבין קצב שינוי השטף המגנטי

- מדוע, לדעתכם, בחלק זה של הניסוי נעשה שימוש בשדה מגנטי משתנה כ"פונקציה משולש"?
- הוסיפו לטבלה שמילאתם בגיליון Excel בחלק זה של הניסוי עמודה בה תחשבו את קצב השינוי של השדה המגנטי $\dot{B} = dB/dt$ הנוצר בין סלילי הלמהולץ. בחישוב של $\dot{B}$, הסמכו על הקשר בין השדה המגנטי לבין הזרם I בסלילי הלמהולץ: $B = k \cdot I$. ערכו של מקדם k רשום על הסלילים.
- בנו גרף של כ"מ מושרה כתלות בקצב שינוי השדה המגנטי. האם הקשר שהתקבל תואם את השערתכם? הסבירו.
- הוסיפו לגרף קו מגמה יחד עם משוואתו. מהי משמעותו הפיזיקלית של שיפוע הגרף?



איור 8

- היעזרו בשיפוע הגרף ומצאו את שטח החתך האפקטיבי של הסליל הפנימי.
- העריכו את שטח החתך האפקטיבי של הסליל על ידי מדידות ישירות:
 - מדדו באמצעות קליבר את האורכים a_1, a_2, b_1, b_2 (ראה איור 8),
 - חישובו על סמך המדידות את שטח המלבן המקוקו שצלעותיו עוברות באמצע בין השכבות החיצונית והפנימית של הסליל.

- מהו אחוז הסטייה של התוצאה שקיבלתם בסעיף ה' מזו שקיבלתם בסעיף ו'? איזו תוצאה יותר מדויקת, לדעתכם? הסבירו.

2. השפעת שטח חתך הסליל על כ"מ מושרה

- בחלק השני של הניסוי מדדתם את ה-כ"מ המושרה בסלילים מהם מורכב הסליל הפנימי, אשר נוצר על ידי שדה מגנטי משתנה.
- מדוע בין קצוות הסלילים התקבל כ"מ המושרה שונה? רמז: קרא אודות המבנה של הסליל הפנימי בתיאור מערכת הניסוי.
- היעזר במדידות ה-כ"מ המושרה בין קצוות הסלילים ומצאו את היחס בין שטחי החתך האפקטיביים של סלילים אלה.
- בהסתמך על המדידות, הסיקו מסקנה לגבי הקשר בין ה-כ"מ-ים המושרים בין הקצוות (1,3), (1,2), ו-(2,3).

3. חקירת כ"מ מושרה הנוצר בשדה מגנטי המשתנה כפונקציה סינוס

- הוסיפו לטבלה שמילאתם בחלק זה של הניסוי, עמודות בהן תחשבו את התדירות הזוויתית (ω) של השדה, ואת המשרעת הממוצעת $\mathcal{E}_{max}$ של ה-כ"מ המושרה.
- בנו גרף של משרעת ה-כ"מ המושרה $\mathcal{E}_{max}$ כתלות בתדירות הזוויתית ω . האם הגרף שהתקבל תואם את השערתכם? הסבירו.
- הוסיפו לגרף קו מגמה יחד עם משוואתו. מהי המשמעות הפיזיקלית של שיפוע הגרף?
- חישובו משרעת של עוצמת השדה המגנטי, B_0 , לפי משרעת הזרם בסלילי הלמהולץ בחלק השלישי של הניסוי.
- בהיעזר בערך B_0 ובשטח החתך האפקטיבי של הסליל הפנימי שמצאתם בחלק הראשון של הניסוי, מצאו באמצעות הגרף את מספר הליפופים בסליל הפנימי (כולו).
- חישוב את השגיאה היחסית במציאת מספר הליפופים בדרך זו (להזכירכם, בסליל יש 2400 ליפופים).

רשות

מציאת מטען חשמלי המועבר במעגל על ידי כ"מ מושרה במהלך ניתוק המעגל ממקור המתח

בחלק זה של הניסוי תחקור את היווצרות כ"מ מושרה בסליל תוך התהוות או היעלמות השדה המגנטי, בו נמצא הסליל. סלילי הלמהולץ המחוברים למחולל האותות, ישמשו כמקור השדה המגנטי. להתהוות והיעלמות השדה המגנטי בניסוי, משתמשים באות המחולל "מלבן חיובי", בו הזרם הישר דרך הסלילים משתנה בקצב הקבוע מראש (ראו איור ג2').

ביצוע המדידות

1. מבלי לנתק את חיישן המתח מהסליל הפנימי, חברו במקביל לסליל הפנימי את הנגד שסופק עם מערכת הניסוי.
2. עברו לכרטיסיה "רשות" בחוברת העבודה בתוכנה. בכרטיסיה זו, במערכת הצירים התחתונה יתוסף גרף של מתח יציאת המחולל כתלות בזמן, לצד גרף של זרם היציאה כתלות בזמן. צורת המתח שנקבעה בתבנית העבודה- אות "מלבן חיובי" בתדירות של 0.5 Hz, קצב הדגימה – 20 kHz.
3. הריצו מדידות, וכאשר תופיע "מדרגה" על הגרף של מתח המחולל – עצור אותן. במידה זו, עקב קצב הדגימה הגבוה, המערכת מוצפת בנתונים תוך פרק זמן קצר ועוצרת עם הודעת שגיאה. לכן עליך לפעול מהר כדי לעצור מדידות בזמן.

ניתוח תוצאות המדידות

- א. הסבירו מדוע נוצר כא"מ מושרה בסליל הפנימי בעת הפסקה/התהוות של זרם בסלילי הלמהולץ.
- ב. הביטו בגרפים של הזרם והמתח ביציאת המחולל. לכאורה, צורת הגרפים $I(t)$, $V(t)$ צריכה להיות זהה (לפי חוק אוהם), אך אפשר לראות שהשינוי במתח הרבה יותר מהיר מאשר השינוי בזרם. הסבירו מדוע.
- ג. כידוע, הקשר בין מטען לבין זרם חשמלי הוא: $q = \int_0^t i dt$, כלומר בגרף הזרם כתלות בזמן ערכו של המטען שווה לערך שטח מתחת לגרף.
בהסתמך על חוק אוהם, מצאו את המטען שעבר דרך הנגד בעת שינוי הזרם בסלילי הלמהולץ. התנגדות הנגד רשומה על הלוחית עליה הוא מותקן. למציאת השטח מתחת לקטע גרף, יש לבחור את קטע הגרף הרלוונטי באמצעות מלבן הבחירה וללחוץ על הכפתור  בסרגל הכלים של התצוגה.