



הדגמות ב-כא"מ מושרה – סלילי הלמהולץ

הערות למורה ולצוות הטכני

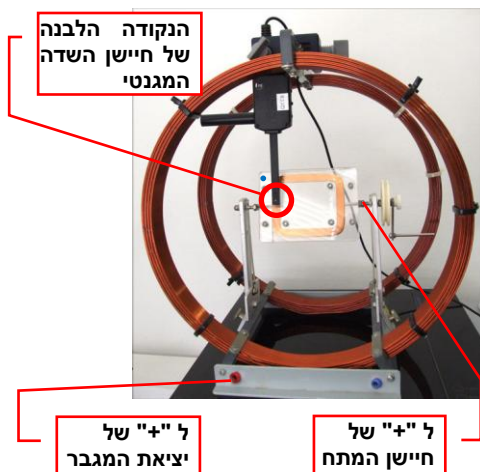
ציוד

- סלילי הלמהולץ עם סליל דק המסתובב ביניהם
- ממשק 850
- חיישן מתח עם שני תנינים
- חיישן שדה מגנטי
- מזהה קטבים מגנטיים
- נגד של 1Ω בעל הספק של 4W לפחות
- תילים
- מגנט מוט
- מחט מגנטית על ציר וקוביית פרספקס להגבהת המחט
- מעמד להתקנת מגנט מוט מול מרכז סלילי הלמהולץ
- מחבר זוויתי של Phywe

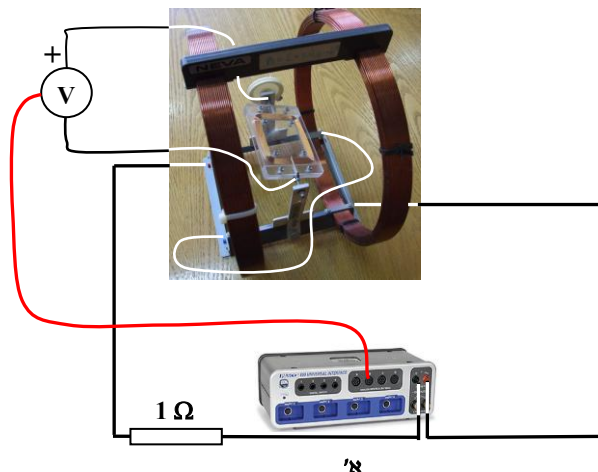
הכנת מערכת ההדגמה

1. הרכבת המערכת

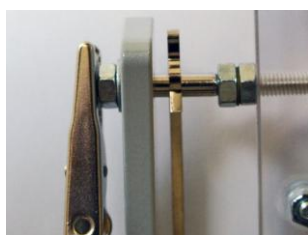
- א. מרכיבים את מערכת ההדגמה ואת המעגלים החשמליים בהתאם לאיורים א', ב' ו'ג'. יש להרכיב את המערכת על שולחן שאינו מכיל חומרים פרומגנטיים. לקבלת הסימן הנכון של כא"מ מושרה, יש להקפיד על החיבורים של סלילי הלמהולץ וחיישן המתח בהתאם למעגל החשמלי המופיע באיור א'. על מנת שכיוון הליפופים בסלילי הלמהולץ ובסליל הפנימי יהיה זהה, בהתקנת הסליל הפנימי יש להקפיד על כך שהנקודה הכחולה המסומנת על מסגרתו תימצא בפנינה השמאלית העליונה (איור ג'). התנאי הוא הכרחי להדגמת חוק לנץ.
- ב. יש לחבר את חיישן המתח ישירות לצירי הסליל הדק באמצעות תנינים (איור ד'); מגע רופף בין ציר הסליל לפין הקליפסים הקפיציים עלול לשבש מדידות של כא"מ מושרה.
- ג. מעמידים מחט מגנטית על ציר כך שיהיה בגובה של מרכז הסלילים; להגבהתה נעזרים בתיבה במידות מתאימות העשויה מחומר שאינו פרומגנטי. מסובבים את סלילי הלמהולץ כך שמישורם יהיה מקביל למחט המגנטית (כלומר, מישור סלילי הלמהולץ צריך להיות בכיוון "צפון – דרום"), ומזיזים את המחט הצידה.



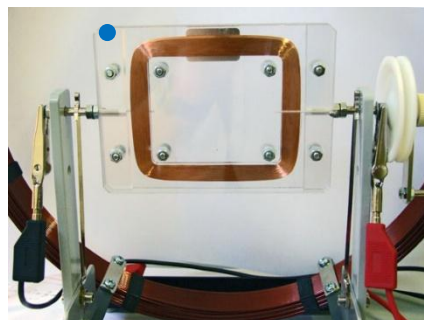
ב'



א'



ד'



איור 1

ג'

2. אתחול מערכת מדידה ממוחשבת

- א. מפעילים את ממשק 850 ומעלים את תבנית העבודה הדגמות בכא"מ מושרה.
 ב. מכוונים את חיישן השדה המגנטי: $10 \times \text{Range}$, כיוון המדידה - אנכי (הבוררים נמצאים על גוף החיישן).

ביצוע ההדגמות

הערה: קריאת חיישן השדה המגנטי היא חיונית כאשר וקטור השדה "נכנס" אל תוך הנקודה הלבנה המסומנת על מוט החיישן.

I. הדגמות איכותיות

1. היווצרות כא"מ מושרה בשטף מגנטי משתנה וחוק לנץ

בתוכנת Capstone עוברים לכרטיסיה "הדגמות עם מגנט קבוע"

א. שינוי בשטף המגנטי על ידי שינוי עוצמת השדה

- מכוונים את הסליל הפנימי במקביל למישור סלילי הלהולץ.
 - מאפסים את חיישן השדה המגנטי (כפתור Tare על גוף החיישן) כאשר מגנט מוט המסופק עם הערכה מורחק מהחיישן ומריצים מדידות. מקרבים את מגנט המוט אל הסליל הפנימי, מרחיקים אותו ועוצרים מדידות.
 - דנים בקשר בין שינוי השטף של שדה מגנטי לבין סימן ה-כא"מ המושרה.
- ב. שינוי בשטף השדה המגנטי באמצעות שינוי בזווית בין כיוון השדה המגנטי לבין מישור הסליל הפנימי
- מעמידים את מגנט המוט על המעמד בקרבה לסליל הפנימי כך שלא יפריע לסובב את הסליל.
 - מריצים מדידות, מסובבים את הסליל ברבע סיבוב ועוצרים את המדידות.

בתום ההדגמות מרחיקים את המגנט המוט מהמערכת.

II. הדגמות כמותיות

הדגמה טרומית - שדה מגנטי משתנה

ההדגמות הבאות מבוצעות בשדה מגנטי המשתנה בזמן באופן מחזורי (כאות משולש או כאות מלבני), לכן מתחילים מהדגמת את ההתנהגות של שדה מגנטי המשתנה באופן מחזורי בעזרת מחט מגנטית המסתובבת חופשי על צירה.

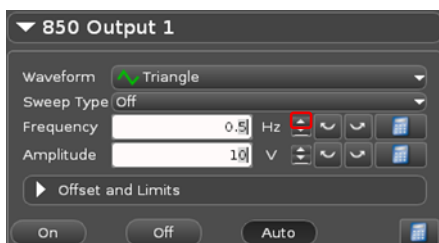
1. מעמידים בסמוך לסלילי הלהולץ מחט מגנטית על הגבהה (קובית פרספקס); המחט צריכה להיות בגובה מרכז הסלילים ומקבילה למישורם (בהתאם להכנת מערכת ההדגמה).
2. עוברים בתוכנת Capstone "התנהגות השדה המגנטי - משולש".
3. מאפסים את חיישן השדה המגנטי ומריצים מדידות (מחולל האותות יופעל אוטומטית).
4. אחרי הצפייה בהתנהגות המחט, מרחיקים אותה מהסלילים ועוצרים את המדידות.

במהלך ההרצה אפשר לראות שהמחט המגנטית מסתובבת הלוך וחזור ב- 180° . מסבירים את ההתאמה בין צורת הגרף $B(t)$ לבין תנועת המחט.

חוק פאראדיי

בהדגמת חוק פאראדיי המסגרת מקובעת, שטחה ומספר הליפופים שלה קבועים, לכן שינוי השטף המגנטי נעשה על ידי שינוי השדה המגנטי בלבד. משנים את קצב שינוי השדה באמצעות שינוי תדירותו כאשר המשרעת שלו קבועה.

1. עוברים לכרטיסיה "חוק פאראדיי" ומקליקים על הספרה "5" בלוח הבקרה של המחולל (איור 2).



איור 2

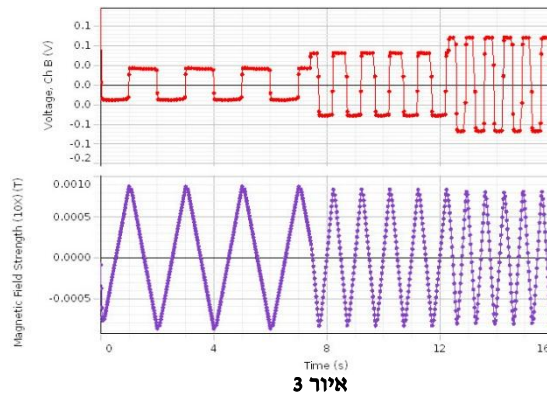
2. מאפסים את חיישן השדה המגנטי ומריצים מדידות. כעבור מספר שניות משנים את תדירות המחולל ל-1 Hz בעזרת לחיצות חוזרות על הכפתור וכעבור מספר שניות נוספות - ל-1.5 Hz, כל זה ללא הפסקת המדידות. עוצרים את המדידות אחרי מספר שניות של הרצה ב-1.5 Hz.

3. בעת שינוי התדירות ה-כא"מ גדל, לכן בתום המדידות צריך להתאים ידנית קנה מידה של מערכת הצירים $V(t)$ לגודל הגרף.

4. בגרפים המתקבלים אפשר לראות שהגדלת קצב שינוי השדה (נגזרת השדה לפי הזמן - שיפועי צלעות המשולש באות) מגדילה את ה-כא"מ המושרה (איור 3).

5. נעזרים בכלי שיפוע (Slope tool) ומוצאים את שיפועי צלעות המשולש בגרף $B(t)$ עבור כל אחת מתדירויות השדה. למציאת את ערכי ה-כא"מ המתאימים לנגזרות אלה מהגרף $V(t)$ בוחרים את קטעי הגרף (צלמית) מקליקים על צלמית הכלים הסטטיסטיים (ובוחרים ממוצע (Mean) ברשימה).

הערה: עקב שגיאה סיסטמית במדידת מתח על ידי המערכת, הגרף $V(t)$ אינו סימטרי ביחס לציר הזמן. לכן למציאת כא"מ מושרה מהגרף $V(t)$ יש לבחור מחזור אחד, למדוד את המתחים בכל אחד מחציי המחזור ולחשב את הממוצע של ערכיהם המוחלטים.



איור 3

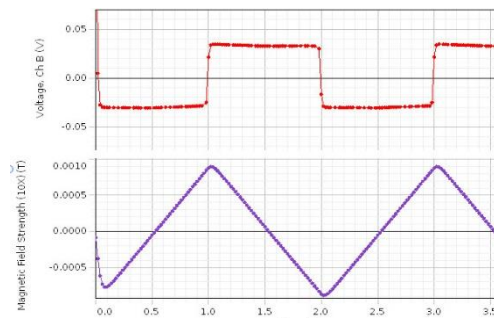
מוכיחים שעבור כל צמד התדירויות היחס בין נגזרות השדה הוא כיחס בין ערכי ה- $\epsilon_1/\epsilon_2 = B_1/B_2$, $\epsilon_2/\epsilon_3 = B_2/B_3$. תוצאה זו מאששת את היחס הפרופורציוני בין ϵ מושרה לבין המהירות השינוי של שטף השדה המגנטי, כאשר שטח הסליל ומיקומו קבועים.

6. אישוש ערך המקדם בקשר בין ϵ מושרה לבין נגזרת השדה המגנטי בחוק פאראדיי.

אחרי שהודגם ש- $\epsilon \propto \dot{B}$, אפשר להראות שכאשר השדה מאונך למישור הסליל, המקדם בקשר בין ϵ מושרה לבין נגזרת השדה המגנטי הוא מכפלת שטח הסליל במספר הליפופים בו:

$$|\epsilon| = N \cdot A \cdot |\dot{B}|$$

מתמקדים בקטעי הגרפים $B(t)$ & $V(t)$ שהתקבלו בתדירות של 0.5 Hz (איור 4).



איור 4

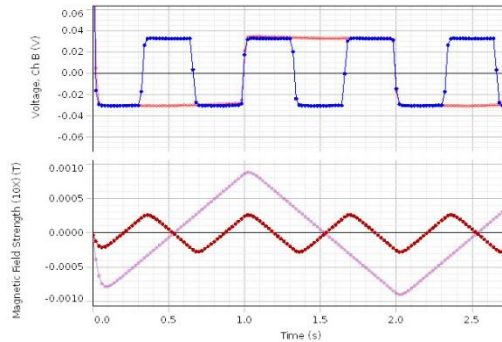
מוצאים את נגזרת השדה המגנטי לפי הזמן ואת ה- ϵ מושרה שנוצר בסליל הפנימי במחצית המחזור. שטחו האפקטיבי של הסליל הוא 41.7 סמ"ר. לפי הנתונים הנ"ל, מחשבים את מספר הליפופים בסליל ומשווים אותו עם נתון היצרן ($N=4000$).

כא"מ מושרה ועוצמת השדה המגנטי

מדגימים שעבור קצב נתון של שינוי השדה המגנטי גודל של ϵ מושרה אינו תלוי בעוצמת השדה.

1. עוברים לכרטיסיה " ϵ מושרה ועוצמת השדה".

2. מריצים מדידות במשך מספר שניות ועוצרים אותן.



איור 5

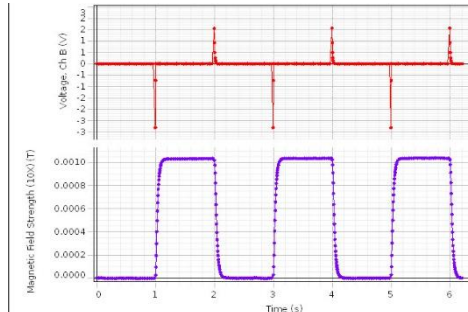
3. משנים עת תדירות המחולל ל- 1.5 Hz ואת משרעת מתח המחולל ל- 1V (שינוי זה אינו משפיע על שיפוע של צלע אות המשולש) ושוב מריצים מדידות. אפשר לראות שבשני המקרים מתקבל אותו ערך ה- ϵ מושרה (איור 5).

חוק לנץ**היווצרות כא"מ מושרה בשדה מגנטי המשתנה כאות מלבני חיובי**

להדגמה זו נבחר אות חיובי (ולא סימטרי ביחס לציר הזמן) למניעת התפיסה השגויה אצל תלמידים שהיפוך הסימן של כא"מ מושרה קשור להיפוך הכיוון של שדה מגנטי.

1. עוברים לכרטיסיה "חוק לנץ, אות מלבני".

2. מאפסים את חיישן השדה המגנטי ומריצים מדידות במשך מספר שניות.



איור 6

אפשר לראות ש-כא"מ מושרה לא נוצר כשהשדה המגנטי אינו משתנה (איור 6). שינויים חדים של השדה המגנטי גורמים לקפיצות של ה-כא"מ המושרה; סימן ה- כא"מ מנוגד לסימן נגזרת השדה לפי הזמן (חוק לנץ).

III. הדגמת מחולל זרם חילופין

1. עוברים לכרטיסיה "מחולל זרם חילופין".

2. מסירים את חיישן השדה המגנטי מהמסגרת של סלילי הלמהולץ.

3. מעבירים את חיבורי חיישן המתח מציר הסליל הפנימי לשקעים במסגרת בה הוא מותקן (איור 7).

4. בתבנית העבודה (Template) בכרטיסיה זו הוגדר מתח קבוע (DC Voltage) של 3V. מריצים מדידות ומסובבים את הסליל הפנימי.



איור 7

IV. הפקת כא"מ מושרה בשדה המגנטי הארצי

1. מנתקים את הממשק מסלילי הלמהולץ.

2. מריצים מדידות ומסובבים את הסליל הפנימי.