

מה חדש במעבדה

מבט חדש על שיטות ההוראה בנושא:

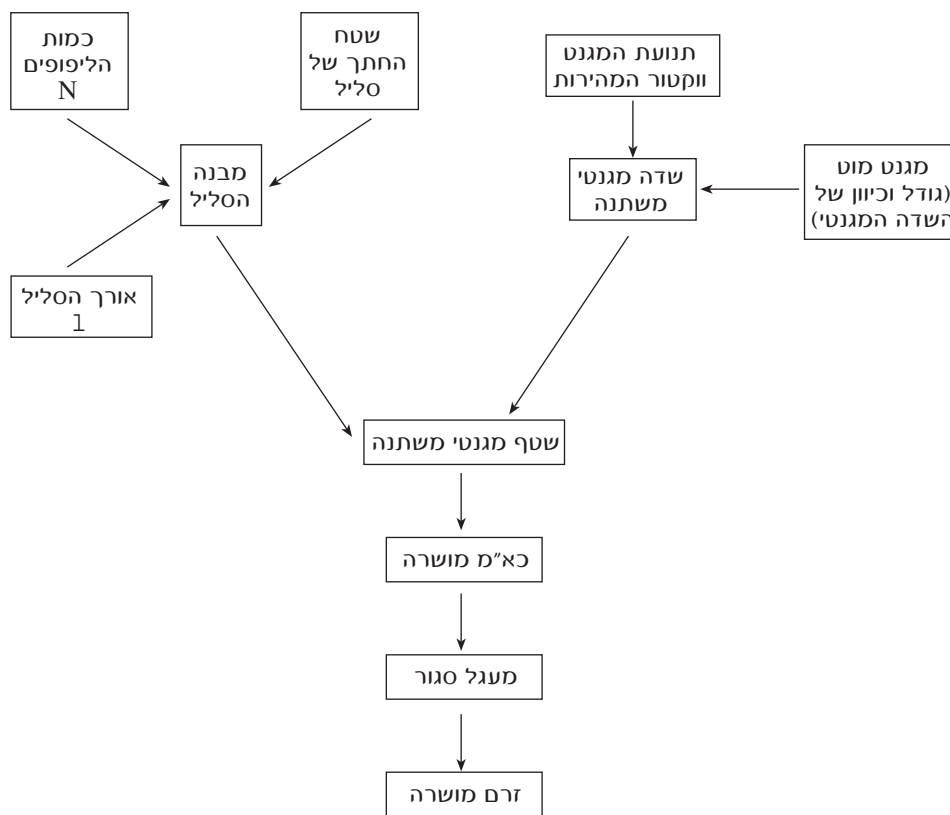
כא"מ מושרה בסליל כתוצאה מתנועת מגנט-מוט דרכו

מיכאל גוץ, בית ספר תיכון עירוני ע"ש ד. בן-גוריון, פתח תקוה
גלינה גוץ, בית ספר תיכון עירוני ע"ש אחד העם, פתח תקוה
אלי קרייסלר, בית ספר תיכון עירוני ע"ש ד. בן-גוריון, פתח תקוה

תקציר: מובא ניסוי חדש, שמטרתו להבהיר את התלות של הכא"מ המושרה, הנוצר בסליל כתוצאה מתנועת מגנט-מוט דרכו, במספר פרמטרים: מספר הליפופים בסליל, כיוון הליפופים, רדיוס הסליל, וגודל מהירות המגנט וכיוונה.
מילות מפתח: כא"מ מושרה, שטף מגנטי, סליל, Multilog.

מבוא

כל מורה יודע שאין זה קל להסביר את הפרק "אלקטרומגנטיות". אך גם בגבולות הנושא הזה רמת הקושי איננה אחידה. במקרים של תנועת מוליך קווי בשדה מגנטי או שינוי הזווית בין מסגרת מוליכה לשדה המגנטי רמת הקושי איננה כה גבוהה. לא כך הדבר במקרה של תנועה הדדית בין סליל ומגנט קבוע. הבעיה היא בכך, שלתלמידים קשה לקשור בין כל הגורמים: כיוון הזרם המושרה, כיוון הליפופים בסליל, שטח החתך של הסליל ואורכו, כיוון תנועת המגנט, מהירותו ומיקומו ההתחלתיים ביחס לסליל. אנחנו ניסינו למפות את המושגים הקשורים לנושא:



מפת המושגים

ברוב המקרים, בזמן הגשת החומר הני"ל, המורה מדגים את התופעות בעזרת מיקרואמפרמטר- מחוג (שבו האפס באמצע הסקאלה). בזמן תנועת המגנט, המחוג עושה תנודה סביב האפס. בחלוף הזמן, במטרה לשפר את רמת ההבנה של התלמידים עברנו להדגים את הניסוי בעזרת אוסילוסקופ. מה נותן החידוש הזה? התלמיד לא רק רואה, שיש תגובה לתנועת המגנט על-ידי סטיית מחוג המיקרואמפרמטר, אלא רואה על המסך את צורת העקומה המתארת את שינויי הזרם וגם יכול לקבוע את משך זמן התרחשותו של התהליך. גם שיטה זו מגבילה את הצפייה לתהליכים בזמן אמת בלבד. להלן מובא חלק מהשאלון הדיאגנוסטי שחובר על-ידינו במטרה לבדוק את רמת ההבנה וההפנמה של הנושא. בשאלון נדרש התלמיד לציין האם קיים זרם מושרה במעגלים שהוצגו לפניו, ומה כיוונו.

תרשים 1 א
תרשים 1 ג
תרשים 1 ב
תרשים 1 ד

א) מקרבים את הקוטב הצפוני של מגנט המוט לפתח הסליל אך המגנט לא עובר דרכו (תרשים 1א)
 ב) מרחיקים את הקוטב הדרומי של המגנט מהסליל. (תרשים 1ב)
 ג) מעבירים את המגנט דרך הסליל, כשפני הקוטב הצפוני של המגנט - לכיוון פתח הסליל. (תרשים 1ג)
 ד) מקרבים את הקוטב הצפוני של המגנט לסליל, כמו בסעיף א', אך הפעם ליפופי הסליל כרוכים בכיוון הפוך. (תרשים 1ד)

סלילים (השתמשו בסלילים שהוכנו באופן ידני). הפרמטרים של הסלילים בהם השתמשו הם כדלקמן (יחד עם זאת, הפרמטרים הללו אינם מחייבים):

- סליל מס' 1:** 30 ליפופים, אורך הסליל: 4 ס"מ, רדיוס הסליל: 2.25 ס"מ.
- סליל מס' 2:** 25 ליפופים, אורך הסליל: 30 ס"מ, רדיוס הסליל: 2.25 ס"מ.
- סליל מס' 3:** 30 ליפופים, אורך הסליל: 4 ס"מ, רדיוס הסליל: 3.25 ס"מ.
- סליל מס' 4:** 30 ליפופים, אורך הסליל: 4 ס"מ, רדיוס הסליל: 4.50 ס"מ.

התיל בו השתמשו בכל הסלילים הוא בקוטר של 1 מ"מ בקירוב.

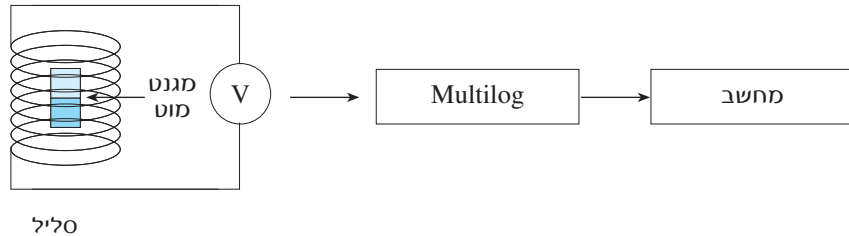
אחוזי ההצלחה של התלמידים היו נמוכים מאוד. על בסיס ניתוח של תשובות התלמידים, התברר לנו מעל לכל ספק, כי שיטת ההוראה בה נקטנו עד כה אינה אופטימלית. לאחר מחשבה רבה, הגענו למסקנה, כי שימוש בטכנולוגיה מודרנית, המאפשרת "לזכור" את תגובות המערכת, יהפוך את ההסבר להרבה יותר אפקטיבי. החלטנו לבחור במערכת Multilog ולאחר הבדיקות הראשוניות נוכחנו לדעת, כי בחירתנו הצדיקה את עצמה. נושא המאמר הקצר הזה יהיה תיאור סדרת ניסויים, שכדאי להדגים לתלמידים במהלך הוראת החומר הני"ל.

תיאור הניסויים

הציוד הנדרש: Multilog (מס' 5260 בקטלוג היצרן, חברת פורייה מערכות בע"מ, www.fourier-sys.com), מכשיר שמצוי היום כמעט בכל מעבדות הפיזיקה הבית-ספריות (מערכות דומות: Data Logger, HandyLog), מחשב 486 ומעלה, אוסף

במהלך הניסוי מגנט-מוט קבוע מתקרב, מתרחק וחודר דרך הסליל. הוולטמטר ($\pm 2.5 V$) קולט את כל שינויי המתח ומאפשר לצפות בתוצאות על גבי מסך המחשב למשך זמן בלתי מוגבל. תוצאות הניסויים נשמרות בזכרון המחשב ובזמן הוראת החומר ניתן לבצע את הניסוי מן ההתחלה או לשחזר תוצאות שמורות. כמו-כן, ניתן להשוות בין השפעות הפרמטרים השונים על-ידי תיאור שני גרפים או יותר במערכת צירים אחת.

המערכת המומלצת לביצוע סדרת הניסויים מתוארת בצורה סכמטית **בתרשים 2**.

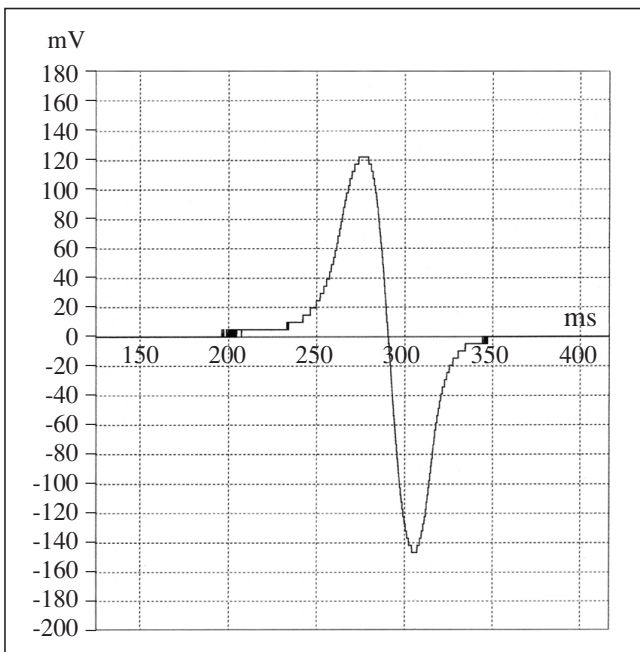


תרשים 2: תיאור סכימטי של מערך הניסוי

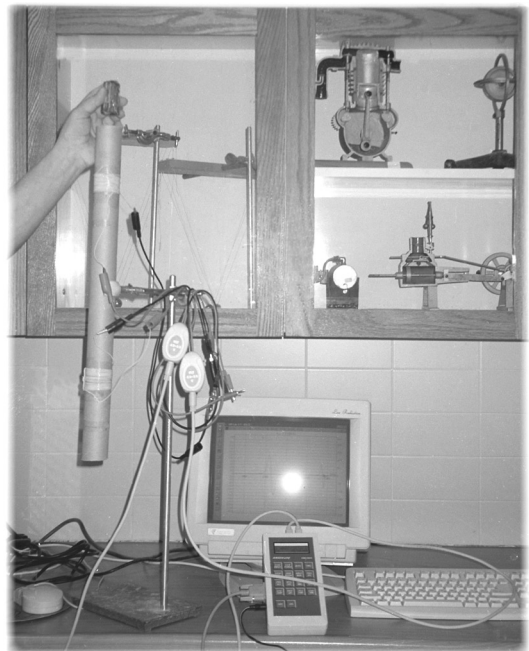
בכל הניסויים המתוארים להלן מגנט, המשוחרר מגובה מסוים, עובר בנפילה חופשית דרך סליל או מערכת סלילים, כשהוא גורם לכא"מ מושרה. גרף הכא"מ כפונקציה של הזמן מתואר לכל ניסוי בנפרד.

ניסוי א':

בניסוי זה אורך הסליל שווה בקירוב לאורך המגנט (תרשימים 3 א', 3 ב'). **בתרשים 3 א'** נראה צינור ועליו שני סלילים (שניהם - מס' 1), שני וולטמטרים, Multilog ומחשב. בניסוי זה רק סליל אחד מחובר לוולטמטר. **בתרשים 3 ב'** נראה גרף המתאר את הכא"מ המושרה כפונקציה של הזמן. הכא"מ חיובי, כאשר המגנט נכנס לסליל, ושילילי בצאת המגנט מן הסליל. חשוב לציין, כי הכא"מ המושרה המקסימלי הנוצר ביציאה, גדול מן הכא"מ המושרה המקסימלי הנוצר בכניסה. ניתן להסביר זאת בכך, שבמהלך נפילת המגנט דרך הסליל, הוא צובר מהירות, וככל שמהירותו גדולה יותר, הכא"מ המושרה גדול יותר.



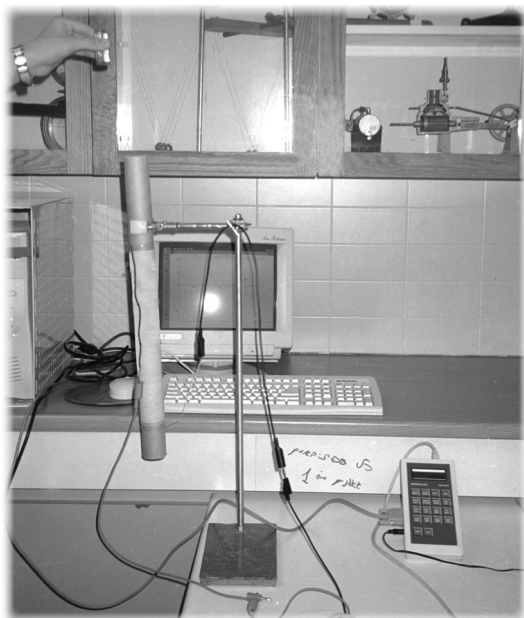
תרשים 3 ב': לניסוי א' הכא"מ, המושרה ב-mV כפונקציה של הזמן ב-ms



תרשים 3א': מערך ניסוי א'. רק הסליל העליון מחובר, ואורכו כאורך המגנט (סליל מס' 1).

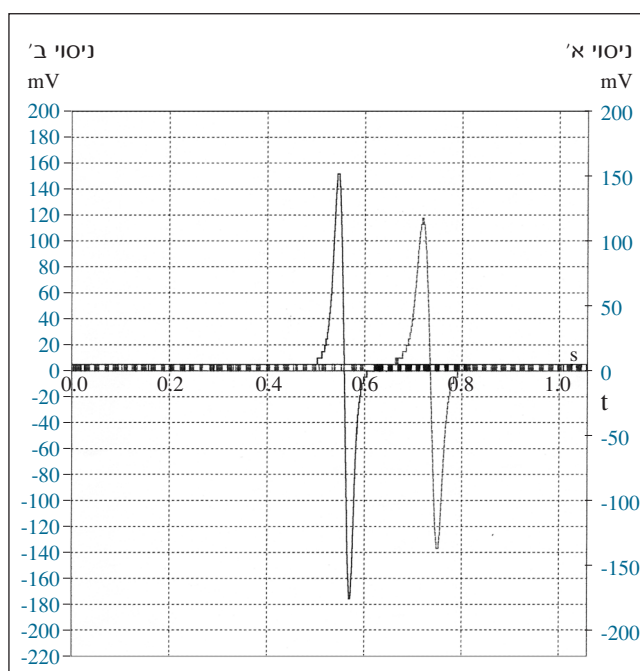
ניסוי ב':

הפולס ביציאה גדול יותר וצר בהרבה מהפולס בכניסה, כי המגנט צבר מהירות במהלך נפילתו בתוך הסליל. בניסוי זה הסליל ארוך בהרבה מהמגנט (פי 7 בערך); כל עוד המגנט בתוך הסליל, אין כא"מ מושרה (ראה **תרשים 5 ב')**.

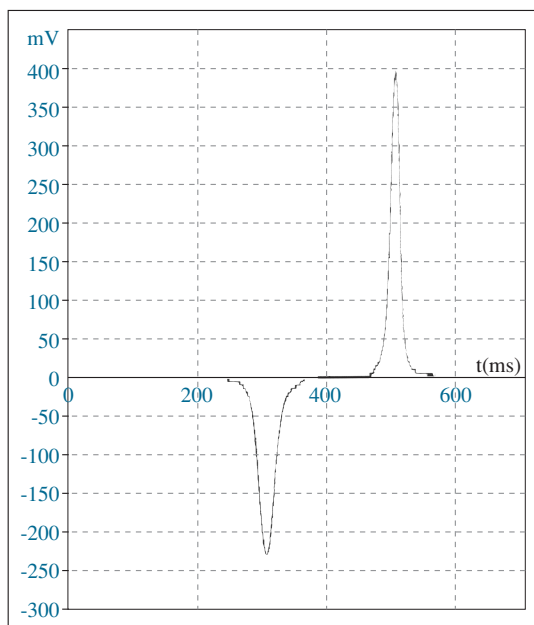


תרשים 5א: מערכת ניסוי ג'. הסליל בעל 250 ליפופים (סליל מס' 2)

החיבורים נותרים כמו בניסוי א', אבל כעת משחררים את המגנט מגובה גדול יותר מאשר בניסוי א'. אם בניסוי א' שוחרר המגנט מגובה כ- 10 ס"מ, הרי שכעת הוא משוחרר מגובה 20 ס"מ ביחס לקצה הסליל. **בתרשים 4** מובאות שתי עקומות להשוואה על-גבי מערכת צירים משותפת (יש לציין, כי שני הניסויים בוצעו בנפרד, והעקומות הובאו בגרף משותף, כדי להשוות בין המקסימא של הכא"מ בכל מקרה): העקומה מימין מתארת את ניסוי א', והעקומה משמאל - את ניסוי ב'. קצב שינוי השטף המגנטי בניסוי ב' מהיר יותר וגם אמפליטודת הכא"מ המושרה גדולה יותר.



תרשים 4: הכא"מ המושרה כפונקציה של הזמן. חיבור שני ניסויים במערכת צירים אחת. העקום השמאלי מתאים לגובה נפילה גדול יותר של המגנט (ניסוי ב').



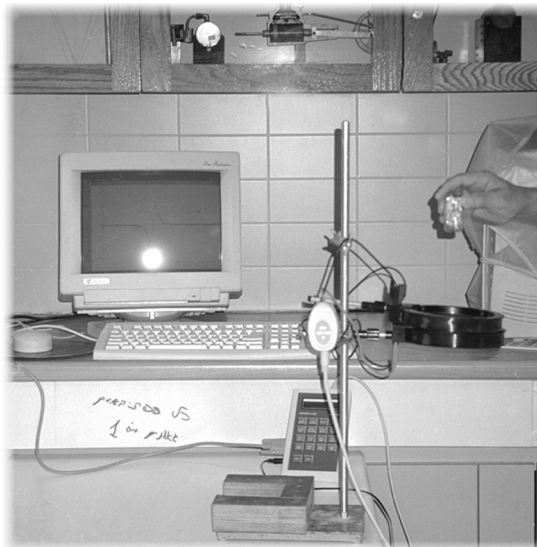
תרשים 5ב: המגנט שוחרר הפעם בכיוון דרום-צפון. כיוון הפולסים הפוך לזה שבניסוי א'. מקסימום הכא"מ המושרה ביציאה גדול מזה שבכניסה.

ניסוי ג':

מחליפים את הסליל בסליל מס' 2, ראה **תרשים 5 א'**, משחררים את המגנט מגובה 10 ס"מ, כמו בניסוי א'. הכא"מ המושרה (המקסימלי) יהיה גדול יותר מאשר בניסוי א' בגלל מספר הליפופים הרב יותר (**תרשימים 5 א', 5 ב')**. הפעם שוחרר המגנט בכיוון דרום-צפון, להבדיל מהניסויים הקודמים בהם שוחרר בכיוון צפון-דרום. הפולס הנוצר בכניסה לסליל הוא שלילי הפעם, והפולס הנוצר ביציאה מהסליל - חיובי.

ניסוי ד':

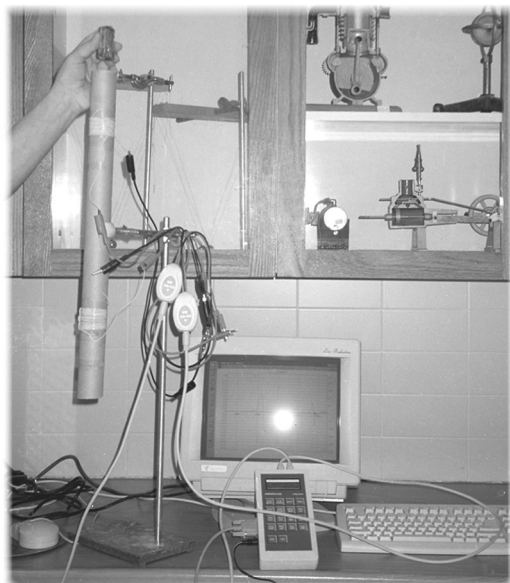
החיבורים דומים לאלה שבניסוי א'. הפעם מחליפים את הסליל בסליל אחר, שמספר הליפופים שלו הוא 30 כמו בניסוי א', אך רדיוס הסליל גדול יותר, כמתואר ב**תרשים 6 א'**. ערכנו את הניסוי בשלושה סלילים: מס' 1, מס' 3 ומס' 4. לגבי שלושת הניסויים שעשינו, הכא"מ המושרה קטן יותר כאשר רדיוס הסליל קטן יותר, כמתואר ב**תרשים 6ב'**. לא נעשו בדיקות עם סלילים בעלי רדיוסים גדולים מאוד. (נציין, שהניסויים בוצעו בנפרד, והעקומות הובאו במערכת צירים אחת, כדי להשוות בין המקסימא השונים של הכא"מ).



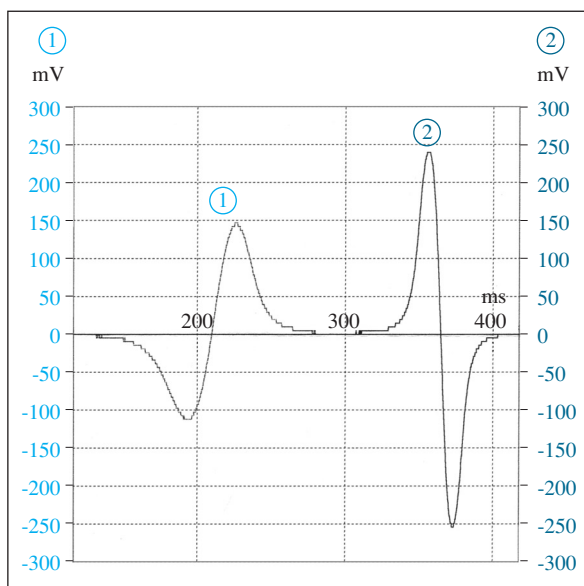
תרשים 6א': המערכת של ניסוי ד'.

ניסוי ה':

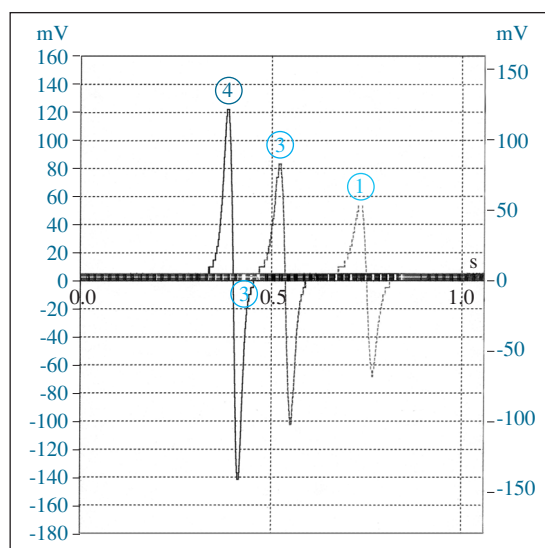
נחזור למבנה שבסעיף א', אך הפעם נחבר את שני הסלילים הכרוכים על אותו גליל (שניהם - מס' 1), כיוון ליפופי הסליל השני הפוך לכיוון ליפופי הסליל הראשון (ראה **תרשים 7 א'**). כתוצאה מכך, גם שני ה"פולסים" הפוכים (ראה **תרשים 7 ב'**). להבדיל מן התרשימים הקודמים, כאן המדידות, בשני הוולטמטרים, בוצעו באותו הזמן (רואים את תגובת הסליל העליון לפני תגובת הסליל התחתון).



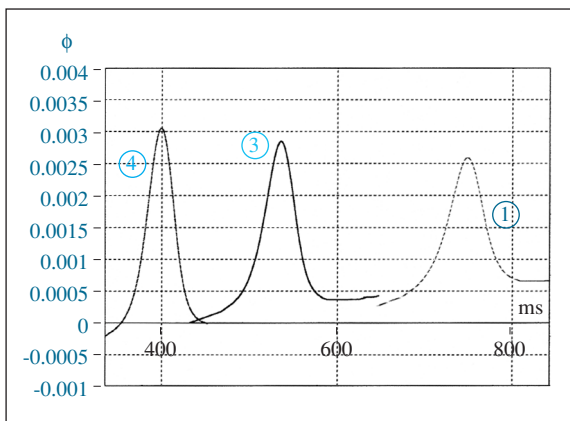
תרשים 7א': מערכת ניסוי ה'



תרשים 7ב': הכא"מ המושרה כפונקציה של הזמן. הציר האנכי הימני נותן את קריאת הוולטמטר של הסליל התחתון והציר השמאלי את קריאת הוולטמטר של הסליל העליון.



תרשים 6ב': גרף הכא"מ המושרה ב-mV כפונקציה של הזמן ב-s- מתאר מדידה אחת מתוך השלוש. העקומה השמאלית - סליל 4, העקומה האמצעית - סליל 3, העקומה הימנית - סליל 1.



תרשים 9: השטף המגנטי ב- Wb , דרך כל אחד משלושת הסלילים 1, 3, 4.

עבור שלוש העקומות שתוארו בניסוי די (תרשים 6 ב') ביצענו אינטגרציה. שלוש העקומות החדשות שקיבלנו (תרשים 9) מתארות את השטף המגנטי לכל סליל בנפרד. בתנאים הנ"ל, נראה כי השטף קטן יותר כאשר רדיוס הסליל קטן יותר.

אנו מקווים, כי מאמר זה, והרעיונות שהוצגו בו, יקלו על מורי הפיזיקה את הוראת הפרק "אלקטרומגנטיות" מחד, ומאידך - יקלו על התלמידים את הבנת הנושא המורכב הזה, בראותם על מסך המחשב את העקומות המתארות תהליכים פיזיקליים הן בזמן ביצוע הניסויים והן את שיחזורן לפי הצורך. נשמח אם מאמר זה יהווה פתח לרעיונות נוספים בהצגת הנושא.

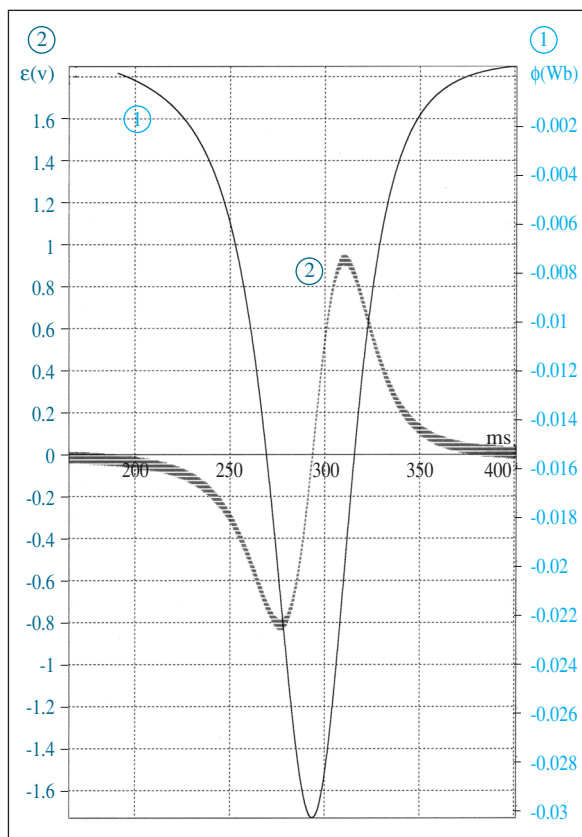
לקריאה נוספת:

1. Feynman R. P., Leighton R. B., Sands M. (1964) : "The Feynman Lectures on Physics", (Vol. II, ch. 1, 13, 14). Reading, MA, Adison-Wesley.
2. Galili, I., & Kaplan, D., (1997). Changing approach to teaching electromagnetism in a conceptually oriented physics course. *American Journal of Physics*, 65 (7), 657-667.
3. גלר: צבי, "הפרדת מטענים במוליך הנע בשדה מגנטי", "תהודה", 20(1), עמ' 43 - 51.
4. זינגר, ד., "חשמל", חלק ב', הוצאת "רכגולד", 1999, פרקים ט', י'

תהודה

במסגרת הפיתוח העיתי של אופן ההצגה וההסבר המתוארים כאן, מתוכננת הרכבה של סדרת סלילים, שחלקם - באורך המגנט בערך, גדולים בהרבה מאורך המגנט וקטנים ממנו בהרבה.

להלן מובא גרף המתאר ניסוי הדומה לניסוי אי (השוני הוא, שהפעם המגנט שוחרר בכיוון הפוך - דרי-צפי, ולא צפי-דרי), ובאותה מערכת צירים - אינטגרל של המתח כפונקציה של הזמן (השטף המגנטי), שניתן לקבל ממערכת Multilog. אנו רואים, שכאשר הכא"מ שווה לאפס (המגנט בתוך הסליל), השטף הוא מקסימלי (ראה תרשים 8).



תרשים 8: הציר האנכי השמאלי מתאר את הכא"מ ב- V והציר האנכי הימני את השטף המגנטי ב- Wb , שניהם כפונקציה של הזמן ב- ms . שימו לב שהאפס של עקום הכא"מ אינו האפס של עקום השטף.