

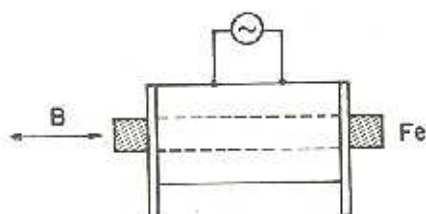
גילוי הפרשי מופע במטגלי זרם חילופין בעזרת דגם חנוע פיצול מופע*

מאת: חיים ברוקר
גמנסיה "אהל שם", רמת גן

קיימות שיטות רבות לגילוי הפרשי מופע במעגלי AC; להלן תאור שיטה יפה מאד, אם כי פחות ידועה, לגילוי והבלטה של הפרשי המופע במעגלי זרם חילופין.

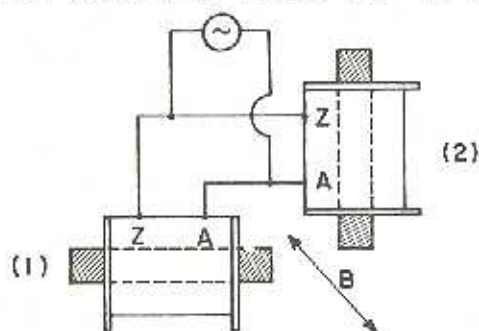
השדה המגנטי B של סליל שעובר דרכו זרם חילופין, משתנה בזמן בצורה

$$B = B_0 \sin 2\pi ft \quad \text{מחזורית כהתאם לפונקציה:}$$



תרשים 1: סליל עם ליבה ברזל המחובר למקור AC יוצר שדה מגנטי שגודלו וכיוונו משתנים בזמן.

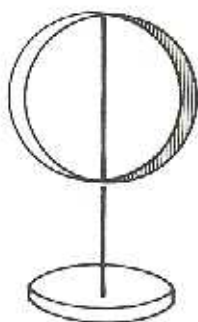
אם A ו Z מסמנים את ההתחלה והסוף של ליפוף הסליל, אזי אם משתמשים בשני סלילים זהים המחוברים במקביל למקור מתח חילופין, ומעמידים אותם בניצב זה לזה, ייווצר בחלל שבין שני הסלילים שדה שקול כמתואר בתרשים הבא:



תרשים 2: מערך ניסוי בו שני סלילים זהים (1) ו- (2) המחוברים למקור מתח AC יוצרים שדה מגנטי שקול הנטוי לעומת צירי הסלילים.

* מנוע פיצול-מופע split-phase motor

אם נעמיד בתחום שבין שני האלקטרומגנטים טבעת מתכתית דקה היכולה להסתובב סביב ציר אנכי המתלכד עם קוטרה (ראה תרשים 3), תסתובב הטבעת לאט ותאיצב כך שמישורה יתלכד עם כיוון השדה השקול B. זהו מצב של שיווי משקל יציב, היות והשטף המגנטי העובר בטבעת אפס, אין זרמי השראה בטבעת והכח השקול הפועל עליה אפס. אם הניצב למישור הטבעת מתלכד עם B קיים זרם מושרה בטבעת אבל הכוחות הפועלים עליה הם על קו פעולה אחד לכן המומנט הפועל על הטבעת אפס. גם במקרה זה קיים שיווי-משקל אבל הפעם זה שיווי-משקל רופף, והוצאת הטבעת משיווי משקלה תגרום לסיבובה ולבסוף להעמדתה כמישור המקביל ל-B.



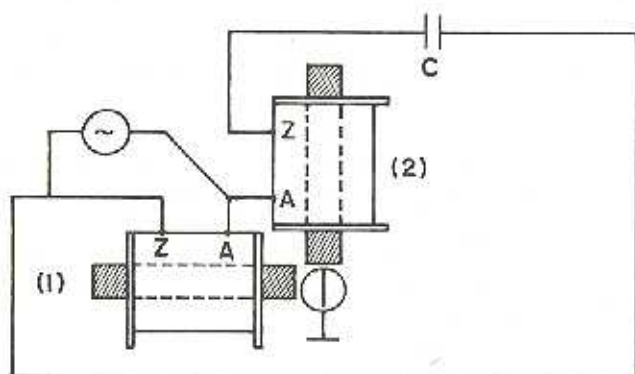
תרשים 3: טבעת מתכתית היכולה להסתובב סביב ציר אנכי.

אם, מסיבה כלשהיא, קיים הפרש מופע בין השדות המגנטיים הנוצרים בשני הסלילים עקב הפרש מופע בזרמים העוברים דרכם, יוצר שדה מגנטי שקול שכיוונו בזמן אינו קבוע אלא מסתובב בתדירות השווה לתדירות השדות הניצבים*. אם השדה של (1) מקדים את השדה של (2) יסתובב B במגמת השעון. אם השדה של (2), לעומת זאת, מקדים את השדה של (1) יסתובב B במגמה נגדית. את התנהגותו של השדה אפשר להמחיש כעזרת הטבעת המתכתית המוצבת בחלל שבין ליבות הברזל של שני הסלילים. אם מישור הטבעת ניצב לליבת הברזל של אחד הסלילים אזי שינוי השטף דרך סליל זה יוצר זרמי השראה בטבעת והשדה של הסליל השני גורם למומנט המסובב את הטבעת. אפשר להוכיח שכיוון סיבוב הטבעת ככיוון סיבוב השדה השקול B.

כל עוד מעגלי שני הסלילים זהים אין הפרש מופע בין הזרמים של הסלילים ובין השדות המגנטיים של (1) ו (2) ותטבעת נשארת במנוחה. אבל אם נכניס במעגל הסליל (2) קבל למשל, תחיל הטבעת להסתובב במגמה נגדית למגמת השעון.

* ראה גליונות כרך 6, מס' 2, עמודים 2-4.

סיבוב הטבעת בניגוד למגמת השעון בא להוכיח שהזרם במעגל (2) המכיל את הקבל מקדים את הזרם במעגל (1), דבר החואם את התנהגותו של מעגל קיבולי.



תדשים 4: מערך ניסוד ליצירת שדה מגנטי מסתובב שיגרום לסיבוב הטבעת המוצבת בין שני הסלילים, הסליל (2) מכיל תוספת הגב קיבולי לעומת הסליל (1) ועל כן תסתובב הטבעת במגמה נגדית למגמת השעון.

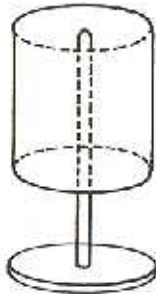
אם במקום הקבל נכניס סליל בעל ליבת ברזל סגורה יוצרים במעגל (2) תוספת השראתית לעומת (1), דבר שיגרום לפיגור הזרם במעגל (2) יחסית ל- (1) והטבעת תסתובב הפעם במגמת השעון.

אם מכניסים כו-זמנית במעגל הסליל (2) קבל וסליל אזי תיתכן אחת משלוש האפשרויות הבאות: הטבעת תסתובב במגמת השעון, הטבעת תסתובב במגמה נגדית למגמת השעון או הטבעת כלל לא תסתובב. האפשרות הראשונה מצביעה על העובדה שלפנינו מקרה של מעגל בו ההגב השראתי עולה על ההגב הקיבולי, האפשרות השניה מוכיחה שההגב הקיבולי גדול מההגב השראתי והאפשרות האחרונה תואמת את מקרה התהודה.

הניסויים שהוזכרו לעיל אינם רק כלים דידיקטיים להוראת הנושא זרם חילופין, קיימים מנועים חשמליים המבוססים על העקרון הזה, אם כי ראוי לציין שהספק המנועים הנ"ל די נמוך. בספרות הטכנית ידועים מנועים אלו בשם: fractional horse power motors. מבחינה מסוימת אפשר לראות במנוע כזה את הגירסה הפרימיטיבית של המנוע התלת פאזי. בשני המקרים נוצר, בגלל הפרשי המופע, שדה מגנטי מסתובב הגורם לסיבוב מסגרת מתכתית.

הערות לביצוע הניסויים

מצינור אלומיניום דק אפשר לחתוך טבעת שקוטרה כ 2.5 ס"מ ורוחבה 0.5 ס"מ. על בסיס עץ שממדיו 5x5 ס"מ תוקעים מסמר בניצב לבסיס, ולאחר שקודחים חור בנקודה כלשהיא על היקף הטבעת, משחילים את המסמר דרך החור שבהיקף הטבעת, כך שזאת תוכל להסתובב חופשית סביב המסמר המשמש לה כציר. גליל אלומיניום המשמש כאריזה לסרטי צילום מהווה תחליף נאות לטבעת המתכתית. עם מדיגש יוצרים שקע קטן במרכז הבסיס הפנימי של הגליל. לאחר מכן הופכים אותו, מלבישים את הגליל על המסמר, ומכניסים אותו בחלל שבין שני האלקטרומגנטים וכך הוא מוכן לפעולה.



תרשים 5: גליל אלומיניום על ציר אנכי משמש תחליף לטבעת.

הסלילים השייכים למערכות השונות* של הטרנספורמטור המתפרק מתאימים לביצוע הניסוי. כדי לקבל את המעגלים המאוזנים (1) ו (2) אפשר לקחת שני סלילים בני 500 ליפופים השייכים למערכת הנפוצה ששיווק בזמנו הקיבוץ המאוחד. יש לדאוג להכניס בחללי הסלילים שתי ליבות ברזל זהות. כדאי לציין שמכל סליל כזה אפשר לקחת רק 250 ליפופים ואז מסתפקים במקור מתח נמוך שאינו עולה על 25 וולט AC.

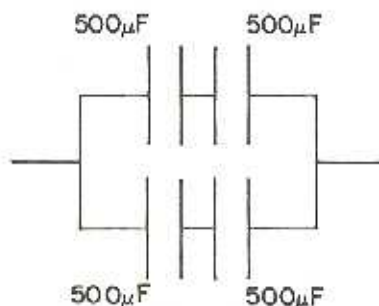
כדי להפר את האיזון בין המעגלים משתמשים למשל בקבל, שמכניסים באחד משני המעגלים הזחים. ככל שמתח המקור נמוך יותר חייבים להשתמש בקבל בעל קיבול גדול יותר. קבלים לא אלקטרוליטיים בעלי קיבול גדול יקרים מאד על כן אפשר להשתמש בקבלים אלקטרוליטיים בצורה הבאה: מחברים בטור שני קבלים בני $1000\mu F$, 50 וולט כך שהלוחות המיועדים להתחבר להדק השלילי של מקור מתח ישר מחובכים יחד:



ואת שתי הקצוות הנותרים מחברים למעגל (2) למשל, בטור עם הסליל. זול

* לדוגמה הקיבוץ המאוחד, Unilab, Leybold

יותר הצורך תבא: לוקחים 4 קבלים $500\mu\text{F}$, 50 וולט, ומחברים אותם כדלהלן:



גם הפעם קיבלנו קבל שקול כן $500\mu\text{F}$, 50 וולט*. שימש אותנו יפה ליצירת מעגל בעל הגב קיבולי עודף יחד עם 2 סלילים בני 250 ליפופים, ליכות ברזל זהות ומקור מתח של 25 וולט.

אם במקום הקבל מכניסים סליל נוסף עם ליכה ברזל סגורה, נוצר מעגל בעל הגב השראתי עודף, ואז הטבעת או גליל האלומיניום יסתובבו במגמה נגדית.

אם מכניסים בו זמנית קבל וסליל, אפשר לשנות את ערך הקיבול או לתמוך עם ה"צלע" הסוגרת את ליכה הברזל כדי לקבל הגב שקול קיבולי או השראתי, או כדי לקבל תהודה ובכך לעצור את סיבוב הטבעת.

מורים יכולים לגנון את הניסויים כדי הדימיון הטובה עליהם; התוצאות תמיד מרשימות והמאמץ הכרוך בהכנת הניסויים כדאי בהחלט.

לקריאה נוספת:

1. Nuffield Advanced Science, Teachers' guide Unit 4 Magnetic fields, Penguin Books Ltd. 1971, pp. 124-128.
2. Fitzgerald and Higginbotham: Basic Electrical Engineering, McGraw-Hill Book Comp. Inc. 1957, pp. 324-328.
3. Handbuch der Experimentellen Schulphysik; Elektrizitaetslehre III, Aulis Verlag, Deubner & Co. Köln 1965, pp. 74-77.

* אם הקבלים מיועדים לעמוד במתח מסויים אין לעבור על מתח זה היות והקבלים עלולים להתפוצץ, ומלבד הנזק הכספי האנשים הנמצאים בקרבת מקום עלולים להיפצע.