

מבוא

חיבור מעגלים חשמליים כוללים רכיבים רבים אשר לכל אחד מהם תפקיד שונה במעגל. בניסוי זה נבחן התנהגות בסיסית של **מעגלי זרם ישר** (DC) – כלומר, מעגלים אשר מגמת זרימת המטענים קבועה בזמן ואינה משנה עוצמה או כיוון. במעגלים אלו, מקור המתח מספק מתח קבוע, והאלמנטים החשמליים הם נגדים. לשם השוואה, מעגל בו הזרם אינו קבוע בזמן, יהיה בעל מקור מתח משתנה בזמן ו/או יכיל רכיבים חשמליים נוספים כגון קבל ושנאי.

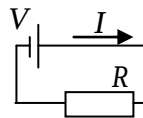
חלק א'-מושגי יסוד, חוק אוהם והתנגדות שקולה

חוק אוהם:

נתבונן במעגל באיור (1) המכיל מקור מתח V ונגד R . נראה כי מקור המתח והנגד יוצרים מעגל חשמלי סגור ועל כן במעגל יזרום זרם I עפ"י חוק אוהם:

$$V = IR(1)$$

התנגדות הנגד R נמדדת ביחידות של אוהם $[\Omega]$, המתח V נמדד ביחידות של וולט $[V]$ והזרם I נמדד ביחידות של אמפר $[A]$.



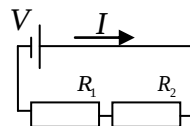
איור 1: חוק אוהם. המתח שווה למכפלת הזרם בהתנגדות הנגד.

התנגדות שקולה:

כאשר נתונה רשת נגדים מורכבת, אשר לה כניסה אחת ויציאה אחת, אפשר להחליף את כל הרשת בנגד שקול אחד, אשר יתנהג בדיוק כמו הרשת.

חיבור נגדים בטור:

ניתן לחבר את הנגדים כמו באיור (2), חיבור זה נקרא חיבור בטור.



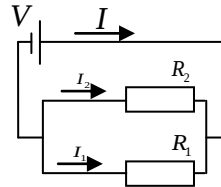
איור 2: חיבור שני נגדים בטור.

המתח על שני הנגדים הוא חיבור המתחים על כל נגד בנפרד $V = V_1 + V_2$. בעזרת חוק אוהם נקבל כי ערך הנגד השקול לשני הנגדים יהיה:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{V_1 + V_2}{I} = R_1 + R_2 \quad (2)$$

חיבור נגדים במקביל:

ניתן לחבר את הנגדים כמו באיור (3) חיבור זה נקרא חיבור במקביל.



איור 3: חיבור נגדים במקביל.

הזרם במעגל שווה לסכום הזרמים העוברים דרך הנגדים $I = I_1 + I_2$. המתח הנופל על כל

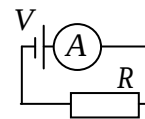
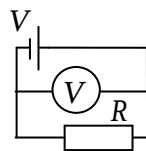
נגד זהה ושווה ל V ולכן נקבל כי ערך הנגד השקול לשני הנגדים יהיה - $R = \frac{V}{I} = \frac{V}{I_1 + I_2}$

ולכן נסיק כי:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (3)$$

חלק ב' – מכשירי מדידה עקרונות פעולה

על מנת למדוד את המתח והזרם במעגל החשמלי אנו משתמשים בוולטמטר ואמפרמטר בהתאמה. לכל מכשיר מדידה שני הדקים, חיבור מתאים של הדקים אילו במעגל יאפשר לנו למדוד את הגדלים הרצויים. האמפרמטר מודד את הזרם הזורם דרכו ולכן נחבר אותו בטור אל הרכיב אותו נרצה למדוד כפי שנראה באיור (4). הוולטמטר מודד את המתח בין הדקיו ולכן עלינו לחברו במקביל לרכיב אותו נרצה למדוד כפי שנראה באיור (5).



איור 4: חיבור אמפרמטר למדידת זרם. איור 5: חיבור וולטמטר למדידת מתח.

על מנת שמכשירי המדידה לא יפריעו למדידה על התנגדות הוולטמטר להיות גדולה מאוד ביחס לנגד $R_v \gg R$ ואילו התנגדות האמפרמטר נמוכה מאוד ביחס להתנגדות הנגד

$$R_A \ll R$$

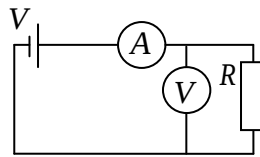
מדידת מתח וזרם בו זמנית:

כאשר אנו מעוניינים למדוד את הזרם והמתח על הנגד בו זמנית יהיה עלינו לחבר מעגל באחד מהאופנים המתוארים באיורים (6) ו (7) המתאימים למקרים שונים. נסמן את התנגדות האמפרמטר ב- R_A ואת התנגדות הוולטמטר ב- R_V ונבחן את המקרים הבאים:

מקרה 1: $R \ll R_V$

כאשר התנגדות הנגד קטנה מאוד ביחס להתנגדות הוולטמטר נשתמש במעגל המתואר

באיור (6)



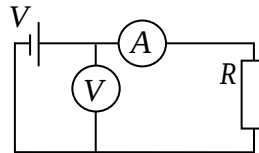
איור 6: חיבור מכשירי המדידה עפ"י מקרה 1.

מכיוון ש $R \ll R_V$ הנגד השקול המייצג את התנגדות הנגד והוולטמטר יהיה בקירוב טוב התנגדות הנגד בלבד.

מקרה 2: $R \gg R_A$

כאשר התנגדות הנגד מסדר גודלה מאוד מהתנגדות האמפרמטר נשתמש במעגל המתואר

באיור (7)



איור 7: חיבור מכשירי המדידה עפ"י מקרה 2.

מכיוון ש $R \gg R_A$ הנגד השקול המייצג את התנגדות הנגד והאמפרמטר יהיה בקירוב טוב התנגדות הנגד בלבד.

מה ניתן לעשות אם איננו יודעים את היחס בין התנגדות הנגד להתנגדות מכשירי המדידה? במקרה כזה נבצע את הבדיקה הבאה:

נחבר את המעגל בשתי שיטות החיבור, נמדוד את המתח והזרם בכל אחת מהן ונפעל עפ"י המקרים הבאים:

א. המתח נשאר קבוע והזרם השתנה: אין שינוי במתח ולכן נסיק שהתנגדות האמפרמטר אכן זניחה - נבחר בחיבור עפ"י איור (7). חשבו מדוע טענה זו נכונה.

ב. המתח השתנה והזרם נשאר קבוע: אין שינוי בזרם ולכן נסיק שהתנגדות הוולטמטר גדולה מספיק - נבחר בחיבור עפ"י איור (6). חשבו מדוע טענה זו נכונה.

ג. שניהם נשארו קבועים: כנראה שני מכשירי המדידה תואמים לדרישות ולכן ניתן לבחור בכל אפשרות.

ד. שניהם משתנים: כנראה יש בעיה בשני מכשירי המדידה ולכן יש להחליפם.

חלק ג' – גשר ויטסטון

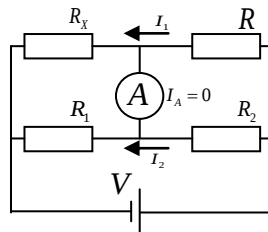
התנגדות סגולית

בנוסף לסוג החומר ממנו עשוי הנגד גם צורתו הגיאומטרית קובעת את התנגדותו. התנגדות הנגד תהיה פרופורציונית לאורכו L (כמו חיבור בטור של הרבה נגדים קטנים), ופרופורציונית הפוכה לשטח החתך שלו S (כמו חיבור במקביל של הרבה נגדים קטנים). למקדם הפרופורציה קוראים ההתנגדות הסגולית של החומר והיא נמדדת ביחידות של אוהם-מטר:

$$\rho = \frac{RS}{\ell} \quad (1)$$

גשר ויטסטון

גשר ויטסטון הוא חיבור בו ניתן למדוד את ערכו של נגד לא ידוע בעזרת נגדים ידועים. נתבונן במעגל שאיור (8) הנקרא גשר ויטסטון:

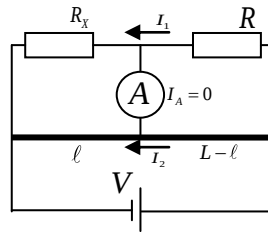


איור 8: גשר ויטסטון – ארבעה נגדים.

נניח שמערכת הנגדים מקיימת את התנאי של $I_A = 0$, מיד נראה כי $I_1 R_x = I_2 R_1$ וכן $I_1 R = I_2 R_2$ מתנאי על המתח הנופל על כל נגד. נחלק משוואה במשוואה ונקבל:

$$\frac{R_x}{R} = \frac{R_1}{R_2} \quad (2)$$

במקום R_1 ו R_2 ניתן להשתמש בחוט בעל התנגדות שאורכו L נחבר את הצומת שבין R ל R_x לנקודה בחוט דרך האמפרמטר כפי שמודגם באיור (9). נבחר את הנקודה על פני החוט כך שלא יזרום זרם באמפרמטר.



איור 9: גשר ויטסטון – שני נגדים וחוט מוליך באורך L .

את היחס של $\frac{R_1}{R_2}$ יחליף היחס $\frac{\ell}{L-\ell}$, אם נדע את ערכו של R ניתן יהיה למצוא את R_x ע"י:

$$R_x = R \frac{\ell}{L-\ell} \quad (3)$$

חלק ד' – סיכום

בניסוי זה נבצע מדידות של זרמים מתחים והתנגדויות במעגלי זרם ישר (DC). נעמוד על בעיית המדידה של הזרם והמתח בו זמנית על נגד במעגל, נבחן את אופן מדידת התנגדות נגד לא ידוע בעזרת גשר ויטסטון ונבחן מעשית את חוק חיבור נגדים בטור.