

## גשר ויטסטון

### א. מטרת הניסוי

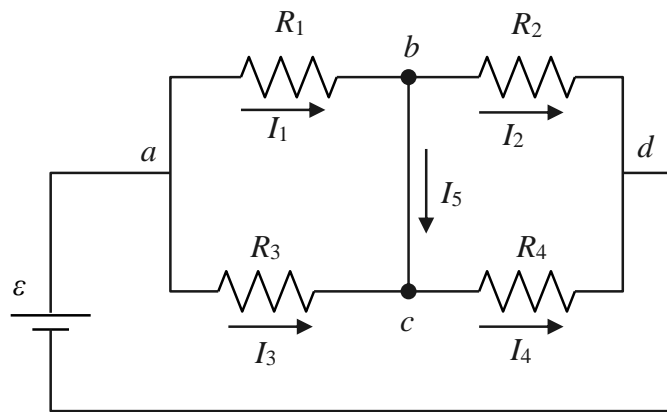
להכיר את מעגל גשר ויטסטון, ללמוד כיצד להרכיב אותו וכיצד להשתמש בו למדידת התנגדות.

### ב. רקע תיאורטי

#### גשר ויטסטון

גשר ויטסטון הוא מעגל חשמלי שמשמש למדידת התנגדות, בעיקר התנגדויות שהן בעלות ערך גדול מאוד (מסדר גודל התנגדות הוולטמטר) או נמוך מאוד (מסדר גודל התנגדות האמפרמטר). עבור התנגדויות מסדר גודל זה, השגיאה במדידת התנגדותן, המתקבלת על ידי שימוש בוולטמטר ואמפרמטר, היא גדולה יחסית.

מעגל גשר ויטסטון מורכב מארבעה נגדים,  $R_1, R_2, R_3, R_4$ , המחוברים עם מקור מתח בחיבור המתואר באיור 1. בחיבור זה הנקודות  $b$  ו- $c$  מחוברות בחוט מוליך שמהווה "גשר" ביניהן.



איור 1

אם מתקיים שהפוטנציאל החשמלי בשתי הנקודות  $b$  ו- $c$  אינו שווה, יעבור זרם בגשר מהפוטנציאל החשמלי הגבוה אל הפוטנציאל החשמלי הנמוך. במקרה זה נאמר: **הגשר אינו מאוזן**. לעומת זאת, אם מתקיים שהפוטנציאל החשמלי בשתי הנקודות  $b$  ו- $c$  שווה ( $V_b = V_c$ ), יהיה המתח על הגשר

אפס, ולא יעבור דרכו זרם. במקרה זה **הגשר מאוזן**.

נשאלת השאלה: מהו התנאי על הנגדים על מנת שהגשר יהיה מאוזן?

אם הגשר מאוזן, כלומר  $V_b = V_c$ , מתקיים:

$$(1) \quad V_{ab} = V_{ac}$$

$$(2) \quad V_{bd} = V_{cd}$$

משתי משוואות אלה נקבל:

$$(3) \quad I_1 R_1 = I_3 R_3$$

$$(4) \quad I_2 R_2 = I_4 R_4$$

הזרמים  $I_1, I_2, I_3, I_4$  הם הזרמים בנגדים  $R_1, R_2, R_3, R_4$  בהתאמה (ראה איור 1). מאחר והגשר מאוזן, לא עובר בו זרם, ולכן מתקיים:

$$(5) \quad I_1 = I_2$$

$$(6) \quad I_3 = I_4$$

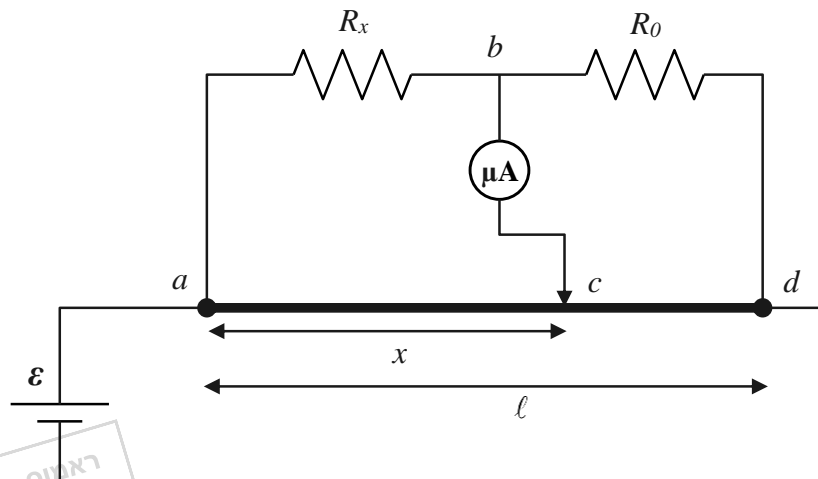
אם נחלק את המשוואה (3) במשוואה (4), וניעזר בקשרים (5) ו-(6), נקבל את התוצאה:

$$(7) \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

התוצאה האחרונה היא התנאי לכך שהגשר יהיה מאוזן במעגל המוצג באיור 1. אפשר לרשום את הקשר האחרון גם באופן הבא:

$$(8) \quad \frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

הקשר האחרון מתקיים, כאמור, כאשר הגשר מאוזן. הקשר האחרון שמתקיים כאשר הגשר מאוזן, משמש למדידת התנגדות לא ידועה  $R_x$  באופן הבא: מחברים את הנגד, שהתנגדותו  $R_x$  לא ידועה, בטור לנגד אחר, בעל התנגדות  $R_0$  ידועה, ושהיא מאותו סדר גודל של  $R_x$ . מחברים שני נגדים אלה לקצוות תיל מוליך, אחיד, ישר ומתוח על בסיס שהוא סרגל (על מנת למדוד אורכים) שאורכו  $\ell$  וחתך רוחבו קבוע. במקביל לנגדים אלה מחברים מקור מתח ישר (ראה איור 2). בין הנקודות  $b$  ו- $c$  מחברים מיקרו אמפרמטר שמהווה גשר בין נקודות אלה, כך שהמגע  $c$  הוא נייד. המיקרו אמפרמטר הוא מכשיר למדידת זרמים קטנים מסדר גודל של מיקרו אמפר, כלומר  $10^{-6}$  A.



איור 2

במצב זה מתחילים להזיז את נקודת המגע הניידת  $c$ , לאורך החוט  $ad$ , עד שמגיעים לנקודה שבה קריאת המיקרו אמפרמטר מתאפסת. בנקודה זו מתקיים שהגשר מאוזן, ולכן הקשר (7) מתקיים באופן הבא:

$$(9) \quad \frac{R_x}{R_0} = \frac{R_{ac}}{R_{cd}}$$

או לחלופין:

$$(10) \quad R_x = R_0 \left( \frac{R_{ac}}{R_{cd}} \right)$$

מצד אחר מתקיימות שתי המשוואות:

$$(11) \quad R_{ac} = \rho \frac{x}{S}$$

$$(12) \quad R_{cd} = \rho \frac{\ell - x}{S}$$

כאשר  $\rho$  היא ההתנגדות הסגולית של התיל,  $S$  הוא שטח החתך שלו ו- $x$  הוא מרחק הנקודה  $c$ , שבה הגשר מאוזן, מהנקודה  $a$ . מציבים את שני הקשרים (11) ו-(12) במשוואה (10) ומקבלים:

$$(13) \quad R_x = R_0 \frac{x}{\ell - x}$$

הערה: במידה ולא נמצא מיקרו-אמפרמטר במעבדה, ניתן לבצע הניסוי כשבין הנקודות  $b$  ו- $c$  מחובר מד מתח (וולטמטר); הגשר יהיה מאוזן גם אם קריאת מד המתח מתאפסת, שכן מכך נלמד כי  $V_b = V_c$ .

### ג. ציוד ומכשור

- (1) נגד  $R_x$  שהתנגדותו אינה ידועה.
- (2) נגד שהתנגדותו ידועה  $R_0$  (גודל התנגדות נגד זה צריכה להיות מאותו סדר גודל התנגדות הנגד  $R_x$ ).
- (3) תיל ישר שהתנגדותו אחידה. תיל זה מהודק בקצותיו לאורך סרגל כפי שמתואר באיור 3. סרגל זה משמש למדידת מרחקים כפי שנראה בהמשך.



איור 3

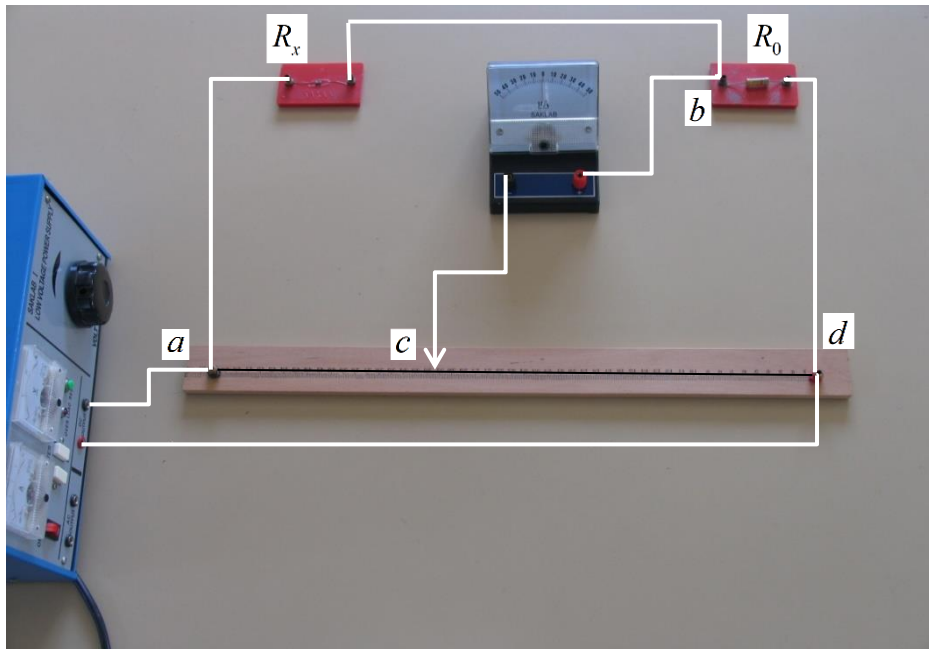
- (4) ספק מתח ישר.
- (5) תילים.
- (6) מיקרו-אמפרמטר (ראה איור 4), או וולטמטר.



איור 4

### ד. הניסוי (בניית המערכת וביצוע המדידות)

- (1) בנה את המעגל המתואר באיור 5 (מעגל גשר ויטסטון).
- (2) הזז את המגע הנייד  $c$  ימינה או שמאלה, עד לנקודה שבה קריאת המיקרו-אמפרמטר מתאפסת. בנקודה זו הגשר מאוזן. מדוד במצב זה את מרחק הנקודה  $c$  מהנקודה  $a$  (הגודל  $x$ ) ואת מרחק הנקודה  $c$  מהנקודה  $d$  (הגודל  $\ell - x$ ).
- (3) העזר במשוואה (13) וחשב את ההתנגדות של הנגד  $R_x$ .
- (4) חזור על אותה מדידה עבור נגדים  $R_x$  שונים.



איור 5

ראמוס - ספרים וייעוץ  
www.ramose.co.il

### ה. שאלות הכנה

- 1) הוכח את הקשרים (7), (8) ו-(13).
- 2) נניח שהגשר מאוזן בנקודה  $c$  מסוימת באיור 2. קבע את כיוון הזרם בגשר אם מזיזים את המגע שבנקודה  $c$  שמאלה (ראה איור 2).
- 3) הצע דרך נוספת למדידת התנגדות של נגד באמצעות וולטמטר ואמפרמטר.
- 4) הסבר מדוע לא ניתן להשתמש בשיטה שהצעת בשאלה הקודמת למדידת התנגדויות קטנות מאוד שהן מאותו סדר גודל התנגדות האמפרמטר, או למדידת התנגדויות גדולות שהן מאותו סדר גודל התנגדות הוולטמטר (ראה סעיף 14 עמוד 207 בפרק 8 בספר חשמל ומגנטיות – כרך א).
- 5) מהי העדיפות של השימוש בגשר ויטסטון למדידת התנגדות ביחס לשימוש בוולטמטר ואמפרמטר?