

הולכה חשמלית

מילות מפתח:

התנגדות, וולטמטר, אמפרמטר, נגד, דיודה, אופיין, התנגדות דינמית.

הציוד הדרוש: 2 רבי מודדים דגיטלים (מולטימטרים), פלטת רכיבים, ספק, כבלים חשמליים.

מטרות הניסוי:

- הכרת נושא ההולכה החשמלית ומכשירי המדידה
- הכרת חוק אום ומדידת האופיין של נגד אומי.
- מדידת התנגדות פנימית של מקור מתח.
- מדידת אופיין של דיודה.
- מדידת אופיין של נורת להט.

1. תיאוריה

1.1 חוק אום

מוליכות חשמלית מציינת תכונה של חומר המאפשר זרימה של זרם חשמלי. המוליכות של רכיב חשמלי מסוים מוגדרת כיחס שבין הזרם דרכו לבין מפל המתח על פני הרכיב. ההתנגדות החשמלית היא הגודל ההופכי למוליכות ומוגדרת כיחס שבין המתח לזרם, ההתנגדות נמדדת באום ($\text{Ohm}=\Omega$) כאשר $1\Omega=1\text{V}/\text{A}$. רכיב חשמלי שהתנגדותו קבועה ואינה תלויה בזרם או במתח נקרא נגד אומי או בקיצור נגד והוא מקיים את חוק אום:

$$(1) \quad V = I \cdot R$$

כאשר: V המתח, I הזרם ו R ההתנגדות.

סימונו של הנגד במעגל החשמלי הוא:  או .

התנגדות המוליכים: התנגדות המוליך תלויה בחומר ממנו הוא עשוי ובממדי המוליך. כלומר באורכו (L) בשטח החתך שלו (A) ובסוג החומר (ρ).

ρ - הינו ההתנגדות הסגולית של החומר אותה נהוג למדוד ביחידות $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$.

הקשר בין הגדלים נתון על ידי: $R = \frac{\rho \cdot L}{A}$.

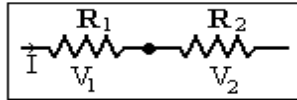
-הולכה חשמלית-

לדוגמה ההתנגדות הסגולית של נחושת $\rho = 0.018 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ ושל זהב

$\rho = 0.028 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$. ניתן לראות שבאופן מעשי התנגדות של החוטים באורכים

שבהם אנו עובדים היא קטנה, אולם אם דרוש דיוק רב במדידה יש צורך להתייחס גם להתנגדויות אלה.

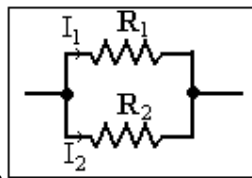
חיבור התנגדויות:



ההתנגדות השקולה של שני נגדים המחוברים בטור:

מתקבלת אם שמים לב לכך שהזרם דרך שני הנגדים זהה, ואילו המתח הוא סכום המתחים $V = V_1 + V_2 = I(R_1 + R_2)$. ולכן ההתנגדות השקולה היא סכום ההתנגדויות:

$$(2) \quad R = R_1 + R_2$$



כאשר שני נגדים מחוברים במקביל, מפל המתח עליהם שווה ואילו הזרם הכולל הוא סכום הזרמים: $I = I_1 + I_2 = V/R_1 + V/R_2$. ולכן ההתנגדות השקולה היא:

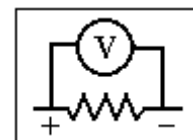
$$(3) \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

סימולציה:

https://phet.colorado.edu/sims/html/ohms-law/latest/ohms-law_en.html

1.2 אופן החיבור והמדידה של מתח זרם והתנגדות

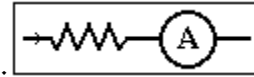
מדידת מתח נעשית באמצעות וולטמטר, אופן חיבור הוולטמטר למעגל החשמלי נעשה כאשר הוולטמטר מחובר במקביל לרכיב אשר על פניו אנו מעוניינים למדוד את



לולטמטר אידיאלי ישנה התנגדות אינסופית כלומר לא זורם דרכו זרם ולכן אינו משפיע על הזרמים במעגל. אולם, לולטמטר מעשי ישנה התנגדות פנימית (בדרך כלל גבוהה מאד) לכן, כאשר הוא מחובר למעגל זרם דרכו זרם הזרמים במעגל משתנים מעט ולעיתים יש לקחת זאת בחשבון.

-הולכה חשמלית-

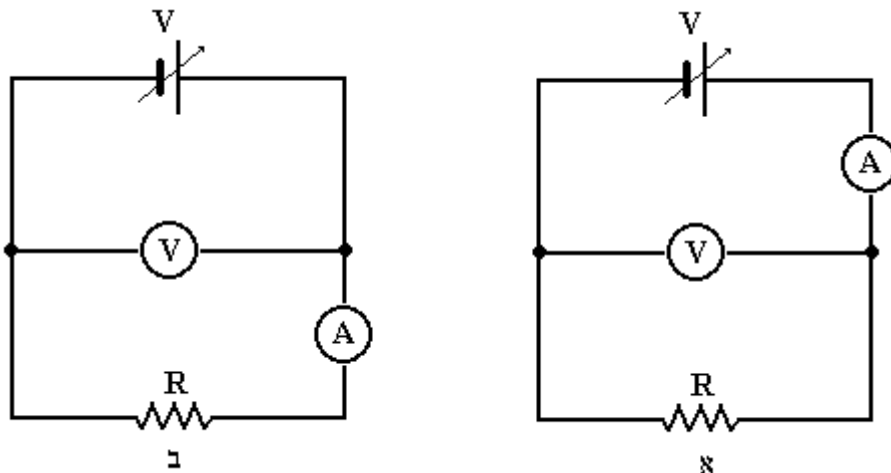
מדידת זרם נעשית באמצעות אמפרמטר, אופן חיבור האמפרמטר למעגל החשמלי נעשה כאשר האמפרמטר מחובר בטור לרכיב דרכו מעוניינים למדוד את



הזרם. לאמפרמטר אידיאלי התנגדות אפסית ולכן גם כאשר זרם דרכו זרם אין עליו מפל מתח והוא אינו משפיע על המעגל החשמלי. אולם, לאמפרמטר מעשי ישנה התנגדות פנימית ולכן כאשר הוא מחובר במעגל ישנו מפל מתח על האמפרמטר ולעיתים יש לקחת זאת בחשבון.

על מנת לחשב את התנגדותו של נגד באמצעות חוק אום, עלינו למדוד את המתח על הנגד ואת הזרם דרכו, החלוקה בין המתח לזרם תיתן את ההתנגדות. ניתן למדוד התנגדויות של נגדים באמצעות מכשיר אום-מטר המחובר לשתי הקצוות של הנגד.

ישנן שתי אפשרויות לחבר מכשירי מדידה (אמפרמטר וולטמטר) למדידת מתח והזרם העוברים דרך הנגד וחישוב התנגדותו. המעגלים מתוארים באיור 1.



איור 1: מעגלים למדידת התנגדות: א- וולטמטר במקביל לנגד. ב- אמפרמטר בטור לנגד.

במצב של מכשירי מדידה אידיאליים לא צריך להיות הבדל בין שתי צורות החיבור. אולם, באופן מעשי שהמכשירים אינם אידיאליים ישנם הבדלים בקריאות המכשירים בשל צורת החיבור השונה. באיור 1א המתח הנמדד בוולטמטר הוא אכן המתח על הנגד, אבל הזרם הנמדד באמפרמטר הוא סכום הזרמים דרך הנגד ודרך הוולטמטר. ולכן אם נחשב את התנגדות הנגד מתוך נתוני מדידה של המכשירים ולפי הנוסחה $R = \frac{V}{I}$ נקבל שגיאה מסוימת, כי הזרם שנמדד בעזרת האמפרמטר זה לא רק הזרם שעובר דרך הנגד. בחיבור כזה אם התנגדות הנגד תהיה קטנה מאוד יחסית

להתנגדות הפנימית של וולטמטר נקבל שגיאה קטנה יותר. כלומר מעגל א יהיה יעיל יותר למדידת התנגדויות קטנות.

באיור 1ב הזרם הנמדד באמפרמטר הוא באמת הזרם דרך הנגד, אך המתח הנמדד בוולטמטר הוא סכום המתחים על פני הנגד ועל פני האמפרמטר. אם נחשב את ההתנגדות ע"י החלוקה של המתח הנמדד בוולטמטר בזרם הנמדד באמפרמטר, נקבל התנגדות שקולה של הנגד בטור עם התנגדות הפנימית של האמפרמטר. מעגל זה יהיה יעיל למדידת התנגדויות הגדולות יחסית להתנגדות הפנימית של האמפרמטר, כך שהתנגדות הפנימית של האמפרמטר תהיה זניחה ביחס לנגד הנמדד.

1.3 התנגדות פנימית של ספק מתח

ספק מתח אידיאלי הוא כזה אשר המתח המופק ממנו קבוע ואינו משתנה עם העומס. בפועל המתח של ספק מתח משתנה כאשר ישנו עומס. ניתן לתאר ספק מתח מעשי כספק אידיאלי המייצר כוח אלקטרו מניע (כא"מ) קבוע, ואליו מחובר נגד בטור המתאר את ההתנגדות הפנימית של ספק המתח. מתח ההדקים של ספק המתח יתואר ע"י :

$$V = E - r \cdot I \quad (4)$$

כאשר E - הכא"מ של הספק, V - מתח ההדקים, r - ההתנגדות הפנימית ו I - הזרם דרך הספק. כאשר אין זרם (אין עומס) הכא"מ הוא מתח ההדקים.

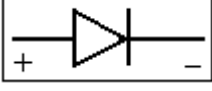
1.4 קו אופיין והתנגדות דינמית

קו אופיין של רכיב חשמלי הוא תיאור הזרם העובר דרך הרכיב כפונקציה של מפל המתח על הרכיב כלומר: $I(V)$. לדוגמא קו אופיין של נגד הוא קו ישר בשיפוע $\frac{1}{R}$. ישנם רכיבים חשמליים, כגון דיודה ומנורת להט, שהיחס בין המתח לזרם הזורם דרכם אינו קבוע (לא קו ישר כמו במקרה עם הנגד), ולכן לא ניתן למדוד התנגדות בצורה ישירה. בשל אופי לא ליניארי של עקומת ההתנגדות קיים ערך ייחודי של התנגדות בכל נקודה של עקומת המתח כתלות בזרם. ערך זה נקרא ההתנגדות הדינאמית של הרכיב. ההתנגדות הדינמית של רכיב חשמלי מוגדרת כ- $\frac{dV}{dI}$, כלומר השינוי במתח חלקי השינוי בזרם העובר דרך הרכיב. ישנם רכיבים דינאמיים מיוחדים שכאשר מפל המתח עליהם יעלה, הזרם לא בהכרח יעלה, אלא יכול גם לרדת. הדרך המקובלת למדוד התנגדות של רכיב דינאמי היא לבנות גרף של $\frac{dV}{dI}$ כפונקציה של הזרם ולבדוק מהי ההתנגדות שמתאימה לערך מסוים של הזרם.

-הולכה חשמלית-

בניסוי נמדוד את האופיינים של שני רכיבים : דיודה ונורת להט.

דיודה הינה רכיב חשמלי אסימטרי, הדיודה מוליכה בצורה טובה מאד בכיוון אחד ומעל ערך מסוים של מתח אך מהווה כמעט נתק כאשר זרם מנסה לזרום בכיוון ההפוך. התנגדות הדיודה תלויה לא רק במתח וזרם עליה, אלא גם בכיוון זרימת

הזרם. סימונה של דיודה במעגל החשמלי הוא  , כוון החץ הוא כיוון ההולכה של הדיודה. קו אופיין של דיודה נתון ע"י ביטוי מהצורה :

$$(5) \quad I = I_0 (e^{\alpha \cdot V} - 1)$$

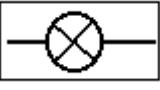
כאשר I_0 ו α קבועים חיוביים. נשים לב שכאשר המתח $V=0$ אין זרם. באופן מעשי, הגודל I_0 הוא קטן מאוד (מסדר גודל של 10^{-9} A) ולכן ניתן להזניח את ה-1 במשוואה ביחס למקדם האקספוננציאלי. הגודל I_0 נקרא "זרם הזליגה". לכן משוואה 5 תקבל את הצורה :

$$(6) \quad I = I_0 \cdot e^{\alpha \cdot V}$$

כלומר הקשר בין הזרם למתח הינו אקספוננציאלי. אם נפעיל \ln על שני צידי המשוואה ניתן לרשום :

$$(7) \quad \ln(I) = \ln(I_0) + \alpha \cdot V$$

ולכן ע"י שרטוט קו ישר של $\ln(I)$ כפונקציה של V , ניתן למצוא את המקדם α .

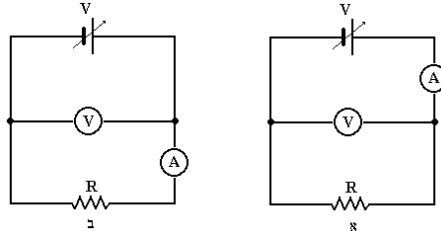
נורת להט מסומנת במעגל חשמלי ע"י  . קו אופיין של נורת להט תלוי באופן משמעותי ביותר בטמפרטורה. הטמפרטורה של נורת הלהט משתנה עם הזרם ואיתה משתנה גם ההתנגדות של הנורה. בניסוי זה נניח קו אופיין מהצורה :

$$(8) \quad I = c \cdot V^\beta$$

וננסה למצוא את הפרמטרים ולמדוד את ההתנגדות הדינמית של נורת הלהט.

1.5. שאלות הכנה

- 1.1. נניח שברשותך אמפרמטר בעל התנגדות פנימית של 10Ω ווולטמטר בעל התנגדות פנימית של $30k\Omega$ מה תהיה ההתנגדות שתמדוד עבור הנגדים של 1Ω , 100Ω , 10000Ω בכל אחד מהמעגלים המופיעים באיור 1א, 1ב. קבע עבור אילו התנגדויות R עדיף להשתמש בחיבור א או ב.

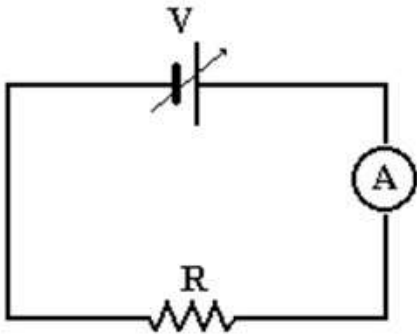


2. נתון ספק מתח של $10V$ ושני נגדים: $R_1 = 10\Omega \pm 0.5\Omega$ $R_2 = 15\Omega \pm 0.5\Omega$.
 R_T - ההתנגדות השקולה של R_1 ו R_2 .
 מהו הזרם דרך הנגד R_T כאשר R_1 ו R_2 מחוברים בטור?
 מהו הזרם דרך הנגד R_T כאשר R_1 ו R_2 מחוברים במקביל?
 חשב את השגיאות בזרמים.
3. לספק מתח יש מתח הדקים $4V \pm 0.1V$ כאשר לא זורם בו זרם. ידוע שעבור זרם של $I = 100mA \pm 1mA$ מתח ההדקים הינו $V = 2.7V \pm 0.3V$.
 השתמשו בנוסחה 4 כדי לחשב את ההתנגדות הפנימית.
4. ידוע שעבור דיודה עם המקדמים: $\alpha = 2 \left[\frac{c}{J} \text{ or } \frac{1}{V} \right]$ ו- $I_0 = 1nA$ (לפי נוסחה 6).
 בזמן פעולתה נמדד מפל מתח: $V_0 = 1V \pm 0.1V$.
 חשב את הזרם שעובר דרכה במתח V_0 והערך את השגיאה בזרם.
 מהי ההתנגדות הדיודה בזרם שחישבת קודם?
5. ידוע שעבור נורת להט בעלת המקדמים: $\beta = 3.5 \pm 0.2$ ו $c = 2 \pm 0.2 \left[\frac{1}{\Omega} \right]$ (נוסחה 8).
 כאשר מפל מתח על הנורה: $V_0 = 10V \pm 1V$, למה שווה הזרם? הערך את השגיאה.
 מהי תהיה ההתנגדות הנורה בזרם זה?

-הולכה חשמלית-

6. במעגל החשמלי המתואר נתון:

$R = 30\Omega$, התנגדות פנימית של מקור המתח הינה $r = 1\Omega$,
ההתנגדות הפנימית של האמפרמטר $r_A = 1\Omega$ והכא"מ של
הספק הוא $E = 100V$.



- א. מהי התנגדות החוטים אם הזרם הנמדד במעגל הינו $2A$.
ב. החוטים במעגל הוחלפו בחוטים העשויים מאותו חומר
ובעלי אותו אורך, אך עם שטח החתך הקטן פי 3. האם
הזרם במעגל יעלה או ירד ובכמה אחוז?

2. מהלך הניסוי

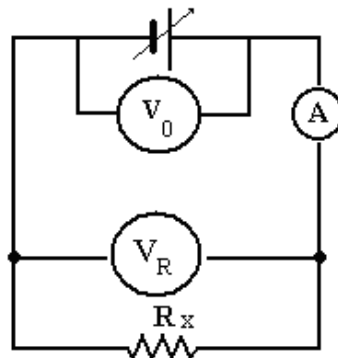
2.1 מדידת התנגדות של נגד

נתונים לכם: מקור מתח ישר-DC (הניתן לכוונון), וולטמטר דיגיטלי ואמפרמטר
דיגיטלי (המכשירים שלפניך הם רבי מודדים המסוגלים למדוד מתח זרם
התנגדות וכו').

הערה: למדידת מתח מומלץ להשתמש ברב מודד הקטן (הצהוב/אדום), ולמדידת

זרם ברב מודד שולחני גדול מדגם: GDH-8034.

בפלטת הרכיבים: נגד שאת התנגדותו אנו מעוניינים למדוד, מסומן ב- R_x .
הערה: בנספח ניתן למצוא הסבר לשימוש אופייני ברבי מודדים דיגיטליים.



איור 2: מעגל למדידת התנגדות כאשר הוולטמטר במקביל לנגד

- בגב המכשיר ישנו מתג בעל שני מצבים אפשריים מצב עליון מסומן
ב- 0Ω ומצב תחתון מסומן ב- $r-int$. ודאו כי בניסוי זה המתג נמצא במצבו
העליון כלומר על- 0Ω .

- הרכיבו את המעגל המתואר באיור 2, ודאו כי סקלת המתח בספק (V_0) מראה
אפס. תשתמשו ברב-מודד הנייד כוולט-מטר ותבחרו תחום עבודה של מדידת

-הולכה חשמלית-

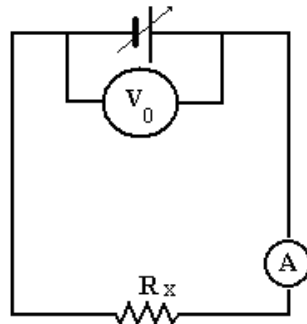
מתח ישר – $V(Dc)$. (במהלך המדידות שימו לב ליחידות המוצגות על הצג, לדוגמה אם מופיע $500mV$ זה שווה ל- $0.5V$).

חברו את הרב- מודד השולחני כמד זרם ותבחרו תחום עבודה של 200 mA (ודאו כי הנכס מחוברים לכניסות המתאימות לזרם ($2A_{Max}$) ואל תשנו את תחומי העבודה במהלך הניסוי).

• שנו את המתח בספק (V_0) מ- $0V$ ועד $2V$ בקפיצות של $0.2V$ ורישמו את ערכו של הזרם (I) והמתח במכשירי המדידה (V_R) עבור כל אחד ממתחי הספק. שימו לב שישנו הבדל בין מתח הספק (V_0) לבין מתח על הנגד (V_R) .

• שרטטו גרף של מתח הנגד (V_R) כפונקציה של הזרם ותמצאו את ההתנגדות בעזרת חוק אום (משוואה-1). חשבו את השגיאה בהתנגדות.

• הרכיבו את המעגל המתואר באיור 3, ודאו שוב כי המתח על הספק הוא אפס. מאחר ובמקרה זה מודד הוולט-מטר את מתח הספק וערך זה ניתן לקריאה באופן ישיר ממד המתח בספק לכן, אין צורך לחבר עוד וולט-מטר. תשתמשו שוב ברב- מודד השולחני כמד זרם ותבחרו תחום עבודה של 200 mA (אל תשנו את תחומי העבודה במהלך הניסוי).

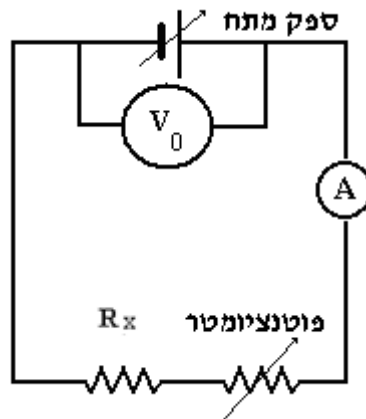


איור 3: מעגל למדידת התנגדות כאשר אמפרמטר בטור לנגד

- תשנו את המתח בספק מ- $0V$ ועד $2V$ בקפיצות של $0.2V$ ורישמו את ערכו של הזרם עבור כל אחד מהמתחים.
- שרטטו גרף של מתח הספק (V_0) כפונקציה של הזרם, ותמצאו את ההתנגדות בעזרת חוק אום (משוואה-1). חשבו את השגיאה בהתנגדות.
- תמדדו את התנגדות הנגד בעזרת אוממטר דיגיטלי (רב מודד אדום בסקלת Ω).
- השוו בין הערכים שקיבלתם בשלוש שיטות המדידה, הסבירו ממה נובעים ההבדלים. מה לדעתכם השיטה המדויקת יותר למדידת הנגד הנתון.

2.2 מדידת התנגדות פנימית של ספק מתח

- נתונים לכם: מקור מתח, וולטמטר דיגיטלי, אמפרמטר דיגיטלי.
בפלטת רכיבים: פוטנציומטר (נגד משתנה) שאליו מחובר נגד נוסף בטור.
- הרכיבו את המעגל המתואר באיור 4.
 - כוונו את המתח שבין הדקי הספק ל- $5V$ (V_0) כאשר המעגל מנותק (הזרם במעגל הוא אפס).
 - בגב המכשיר ישנו מתג בעל שני מצבים אפשריים מצב עליון מסומן ב- 0Ω ומצב תחתון מסומן ב- $r-int$. ודאו כי בניסוי זה המתג נמצא במצבו התחתון כלומר על- $r-int$. במצב זה אנו מגדילים במעט את התנגדות המקור כדי שנוכל למדוד אותה ביתר קלות. בסיום חלק זה של הניסוי החזירו את המתג למצבו העליון על 0Ω .



איור 4: מעגל למדידת התנגדות פנימית של ספק מתח

- חברו את הרב- מודד השולחני כמד זרם ותבחרו תחום עבודה של $2A$ (ודאו כי הנכם מחוברים לכניסות המתאימות לזרם ואל תשנו את תחומי העבודה במהלך הניסוי). את המתח V_0 יש לקרא במד מתח על הספק.
- סובבו את הנגד המשתנה לערכו המקסימלי (שמאלה נגד כיוון השעון).
- עיי שינוי התנגדות הפוטנציומטר (הקטנת ההתנגדות), עיי סיבוב של הנגד עם כיוון השעון) תגדל צריכת הזרם במעגל. תקראו תחילה את ערכו של הזרם באמפרמטר ואת ערכו של המתח בספק מיד עם חיבור הפוטנציומטר למעגל. כעת סובבו את הפוטנציומטר והגדילו את הזרם מ- 60 mA עד 220 mA בקפיצות של 20 mA , תקראו את מתח הספק בכל זרם.

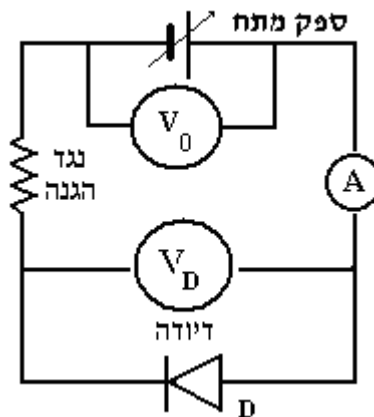
-הולכה חשמלית-

- שרטטו גרף של המתח כפונקציה של הזרם, היעזרו במשוואה (4) על מנת למצוא את ההתנגדות הפנימית של ספק המתח. העריכו את השגיאה מהגרף.

❖ תחזירו את המתג בגב המכשיר למצבו העליון על 0Ω .

2.3 מדידת קו אופיין של דיודה

- נתונים לכם: מקור מתח משתנה, וולטמטר דיגיטלי, אמפרמטר דיגיטלי. בפלטת הרכיבים: נגד הגנה, דיודה. הרכיבו את המעגל המתואר באיור 5.



איור 5: מעגל למדידת אופיין הדיודה

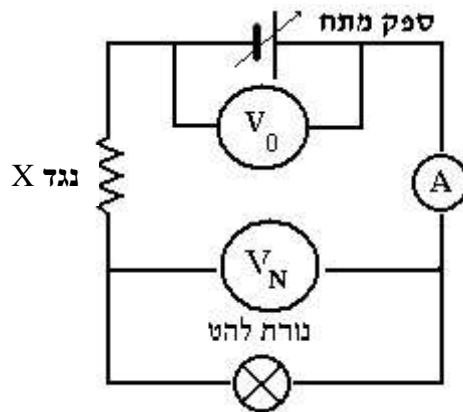
- תשתמשו ברב-מודד הנייד כוולט-מטר למדידת V_D , וברב-מודד השולחני כמד זרם. תבחרו תחום עבודה של $200mA$ (ודאו כי הנכס מחוברים לכניסות המתאימות לזרם).
- תשנו את המתח בספק V_0 עד לקבלת מתח של $0.1V$ (או $100mV$) בוולטמטר- V_D (שימו לב! מפל המתח על הדיודה שונה ממתח הספק) ותמדדו את הזרם באמפרמטר. תשנו את המתח על הדיודה (V_D) מ- $0.2V$ עד ל- $0.75V$ ובקפיצות של $0.05V$ ותמדדו את הזרם עבור כל מתח. בכל מקרה אין להגדיל את הזרם מעל $120mA$.
- שרטטו את אופיין הדיודה $I(V)$ עפ"י משוואה (6) (גרף של הזרם שזרם דרך הדיודה כפונקציה של המתח הנופל עליה- V_D).

-הולכה חשמלית-

- שרטטו את גרף ההתנגדות הדינמית $\frac{dV}{dI}$ של הדיודה כפונקציה של הזרם I . ניתן לבצע נגזרת נומרית – חלוקת הפרשים של הנקודות הסמוכות, הסבירו את משמעות העקומה שקיבלת?
 - שרטטו גרף של $\ln(I)$ כפונקציה של V מתח הדיודה עפ"י משוואה (7), תמצאו את המקדמים α ו- I_0 .
- עפ"י התיאוריה, המקדם α שווה בקירוב ל- $\alpha = e/2kT$, כאשר:
- $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ הוא מטען האלקטרון,
- T - הטמפרטורה במעלות קלווין (הטמפרטורה במעבדה בערך 21°C)
- $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ הוא קבוע בולצמן
- תשוו את התוצאה שהתקבלה מתוך הגרף עם הערך המחושב.

2.4 מדידת קו אופיין של נורת להט

נתונים לכם: מקור מתח משתנה, וולטמטר דיגיטלי, אמפרמטר דיגיטלי, בפלטת הרכיבים: נגד X ונורת להט. הרכיבו את המעגל המתואר באיור 6. תשתמשו ברב-מודד הנייד כוולט-מטר למדידת- V_N , וברב-מודד השולחני כמד זרם תבחרו תחום עבודה של 200 mA (ודאו כי הנכם מחוברים לכניסות המתאימות לזרם).



איור 6: מעגל למדידת אופיין נורת להט

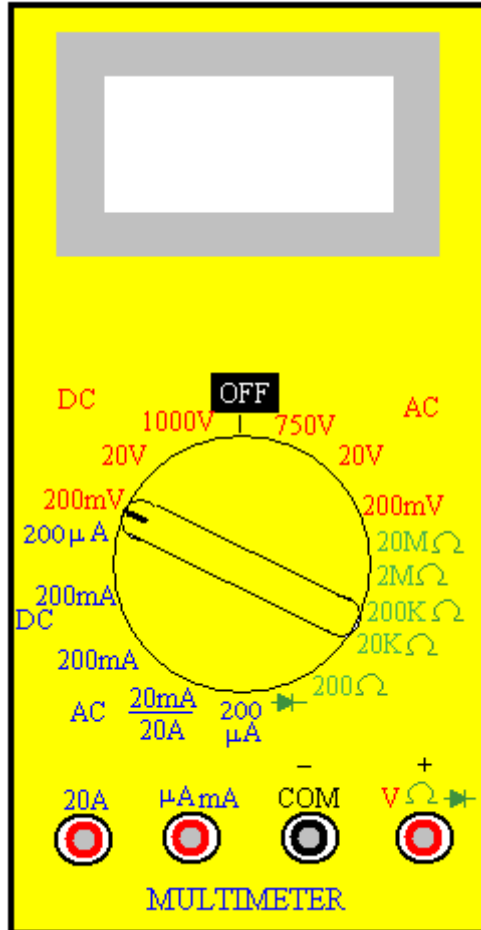
- תשנו את המתח בספק V_0 עד לקבלת מתח של 0.04 V בוולטמטר- V_N ותמדדו את הזרם באמפרמטר (שימו לב! מפל המתח על המנורה- V_N שונה ממתח הספק- V_0). תשנו את המתח על המנורה (V_N) מ- 0.04 V עד ל- 0.1 V

-הולכה חשמלית-

- בקפיצות של $0.01V$ ותמדדו את הזרם עבור כל מתח. ערכים אלו ישמשו אתכם לתיאור האופיין בתחום הזרמים הנמוכים.
- המשיכו את המדידה ותמדדו את הזרם כפונקציה של המתח, כאשר המתחים על המנורה הם מ- $0.1V$ עד ל- $0.9V$ ובקפיצות של $0.2V$ ומ- $1V$ עד $6V$ בקפיצות של $1V$. בכל מקרה אין לעבור את הזרם מעל $280mA$.
 - שרטטו את אופיין נורת הלהט $I(V)$ (גרף של זרם העובר דרך הנורה כפונקציה של מפל המתח עליה - V_N) והשווה למצופה עפ"י משוואה (8).
 - חלצו מתוך משוואת ההתאמה המעריכית את הפרמטרים c ו- β .
 - תבנו גרף של המתח כפונקציה של זרם עבור כל אחד משלושת התחומים. בצעו התאמה לינארית לכל גרף. מה אפשר להסיק על התנגדות הנורה בתחומים שונים?

3. נספח א': מולטימטר - רב מודד

מכשיר המולטימטר הינו מכשיר המאפשר מדידת: מתח ישר, מתח חילופין, זרם ישר, זרם חילופין והתנגדות. מכשיר לדוגמא מתואר באיור 7.



איור 7: מולטימטר דיגיטלי.

הבורר המרכזי מאפשר לבחור את סוג המדידה הרצויה וכן את תחום ערכי המדידה. לכל סוג מדידה יש לחבר את החוטים לשקעים המתאימים בחלקו התחתון של המכשיר. ליד כל שקע רישמו לאיזו מדידה יש להשתמש בו.

איזור מדידת מתח מסומן כאשר ליד הערכים מצוינת יחידת המדידה V, יש להבחין בין מדידת מתח ישר DC ומדידת מתח חילופין AC. השקעים בהם משתמשים

במדידת מתח הם: שקע COM כהדק השלילי והשקע הימני ביותר (מסומן ב V) להדק החיובי. לדוגמא: על מנת למדוד מתח ישר בתחום עד ל 200mV יש לכוון את הבורר למצב המופיע באיור 7.

-הולכה חשמלית-

מדידת זרם מסומן כאשר ליד הערכים מצוינת יחידת המדידה A, יש להבחין בין מדידת זרם ישר DC ומדידת זרם חילופין AC. השקעים בהם משתמשים במדידת זרם הם: שקע COM להדק השלילי והשקעים השמאליים להדק החיובי, מדידת זרם בתחום $\mu A, mA$ יש להשתמש בשקע השני משמאל ואילו למדידת זרם עד 20A יש להשתמש בשקע השמאלי ביותר.

מדידת התנגדות מסומן כאשר ליד הערכים מצוינת יחידת המדידה Ω . השקעים בהם משתמשים במדידת התנגדות הם: שקע COM והשקע הימני ביותר (מסומן ב- Ω).

למרות שישנם סוגים שונים של רבי מודד העיקרון בכולם דומה: חיבור של ההדקים לשקעים המתאימים (מתח והתנגדות, זרם וכו')
בחירת תחום העבודה בבורר (מתח, זרם, התנגדות וכו')
בחירת רזולוציה לפי ערכו של הגודל הנמדד, כלומר להתאים את הסקלה במכשיר שתתאים לערכים הנמדדים.