

## תדריך מעבדה: כא"מ, מתח הדקים והספק- שאלות הכנה

לניסוי זה שני חלקים:



1 מציאת הקשר בין מתח ההדקים של הסוללה לבין הזרם העובר דרכה.

2 מציאת הקשר בין ההספק הנצרך על ידי הצרכן לבין הזרם דרכו.

רקע תאורטי:

**התנגדות פנימית וכוח אלקטרומוניע (כא"מ):**

למקור מתח ממשי ישנה התנגדות פנימית ( $r$ ), הנובעת מהתנגדות לתנועת היונים בתוך המקור. בעת סגירת המעגל הנגד מתחמם אבל גם הסוללה מתחממת. כלומר, האנרגיה שמספק המקור מתחלקת בין הצרכן לסוללה.

התהליך הכימי מספק אנרגיה למעגל.

חלקה עובר לצרכן ( $R$ ) וחלקה מתבזבז על חימום הסוללה ( $r$ ).

נסמן ב- $\epsilon$  את סך האנרגיה הכימית ליחידת מטען, המסופקת באמצעות הסוללה, ונקבל:

$$\epsilon = V_R + V_r$$

$\epsilon$  שווה לסכום של המתח על הצרכן והמתח הפנימי של הסוללה.

$\epsilon$  אינו ניתן למדידה ישירה במעגל.

גודל זה מכונה בשם הכוח האלקטרומוניע (כא"מ) של מקור המתח.

המתח על הנגד החיצוני  $V_R$  שווה גם למתח בין הדקי המקור  $V_{ab}$ , מכאן:

$$\epsilon = V_{ab} + V_r$$

$\epsilon$  (כא"מ): כמות האנרגיה המוענקת לכל יחידת מטען העובר דרך המקור.

$V_{ab}$  (מתח הדקים): כמות האנרגיה המשוחררת על ידי כל יחידת מטען במעגל החיצוני.

$V_r$  (מתח פנימי): כמות האנרגיה המשוחררת על ידי כל יחידת מטען בתוך המקור.

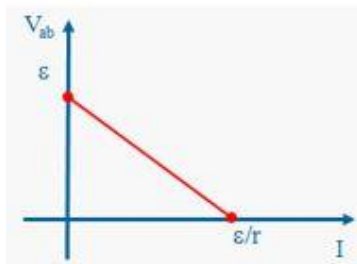
### בחלקו הראשון של הניסוי:

נחקור את הקשר בין מתח ההדקים של הסוללה לבין הזרם העובר דרכה.

מהביטוי  $\epsilon = V_{ab} + V_r$  נובע הקשר של המתח בין הדקי המקור  $V_{ab}$ , עוצמת הזרם ( $I$ ), הכא"מ ( $\epsilon$ ) וההתנגדות

הפנימית ( $r$ ) של המקור:

$$V_{ab} = \epsilon - V_r = \epsilon - Ir$$



הגרף הבא מתאר את הקשר בין מתח ההדקים לזרם במעגל:

ההתנגדות הפנימית  $r$  מיוצגת על ידי שיפוע הישר,

והכא"מ על ידי נקודת החיתוך עם הציר האנכי.

מהגרף ניתן לראות כי:

רח' קלאוזנר 16 רמת אביב • טל' 03-6460084 / 054-3997584 • פקס 03-6460714

כתובת מייל: [vschool@cet.ac.il](mailto:vschool@cet.ac.il)

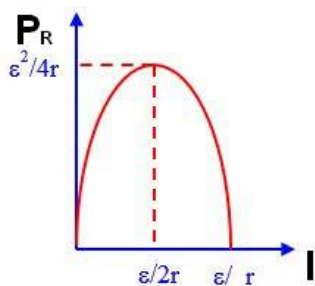
כתובת אתר התיכון: <http://www.vs.school.cet.ac.il>

1. כאשר אין זרם במעגל ( $I=0$ ), מתח ההדקים שווה לכא"מ. זה קורה כשהמעגל פתוח. ניתן לומר, לכן: הכא"מ של מקור מתח שווה למתח בין הדקי המקור כאשר המעגל פתוח.
2. כאשר המעגל סגור על ידי תיל חסר התנגדות, מתח ההדקים מתאפס והזרם גדל עד ל-  $\epsilon/r$ . מצב כזה ייקרא "קצר" והזרם נקרא זרם הקצר.

### בחלקו השני של הניסוי:

נבדוק מה הקשר בין ההספק הנצרך על ידי הצרכן לבין הזרם דרכו, ומהם התנאים שצריכים להתקיים כדי שהעברת האנרגיה מהמקור לצרכן תתבצע ביעילות (נצילות) מרבית. ההספק המופק במעגל החיצוני הוא:

$$P_R = V_R \cdot I = (\epsilon - Ir)I = -rI^2 + \epsilon I$$



הפונקציה המתארת את הקשר בין  $P_R$  לבין  $I$  היא פונקציה ריבועית ותיאורה הגרפי הוא פרבולה הפוכה.

$P_R = V_R I$ : ההספק הנצרך על ידי הצרכן.

$P_r = I^2 r$ : ההספק המבוזבז במקור.

$P_s = \epsilon I$ : ההספק המסופק על ידי המקור.

1. למציאת נקודות החיתוך עם הציר האופקי נציב:  $P_R = 0$ , ונקבל:  $I = \epsilon/r$ ,  $I = 0$ .
2. את עוצמת הזרם, בו מתקבל הספק מרבי, ואת גודל ההספק המרבי ניתן למצוא לפי שיעור נקודות המקסימום של הפונקציה:

$$I = -\frac{b}{2a} = \frac{-\epsilon}{-2r} = \frac{\epsilon}{2r}$$

$$P = \frac{4ac - b^2}{4a} = \frac{4(-r) \cdot 0 - \epsilon^2}{-4r} = \frac{\epsilon^2}{4r}$$

3. דרך אחרת (למי שמכיר נגזרות): ניתן לגזור את  $P$  לפי  $I$  ולהשוות את הנגזרת לאפס:

$$P'_R = -2rI + \epsilon = 0 \rightarrow I = \frac{\epsilon}{2r}$$

נציב ערך זה בביטוי להספק:

$$P_R = -I^2 + \epsilon I = -r \left(\frac{\epsilon}{2r}\right)^2 + \epsilon \cdot \frac{\epsilon}{2r} = \frac{\epsilon^2}{4r}$$

4. לסיום נבדוק: עבור איזו התנגדות נקבל הספק מקסימלי?

הקשר בין הזרם לכא"מ במעגל הנתון הוא:

$$I = \frac{\epsilon}{R+r}$$

ההספק המרבי מתקבל עבור עוצמת זרם:

$$I = \frac{\epsilon}{2r}$$

נשווה בין הביטויים ונקבל:  $R=r$ .

מכאן, בגרף של ההספק הנצרך על ידי הצרכן בתלות בהתנגדותו נקבל מקסימום כאשר  $R=r$ .

5. נגדיר את נצילות המעגל החשמלי  $\eta$  כיחס בין ההספק המועיל  $P_R$  להספק המושקע  $P_S$ , כלומר:

$$\left. \begin{aligned} \eta &= \frac{P_R}{P_S} = \frac{V_R I}{\epsilon I} = \frac{V_R}{\epsilon} \\ V_{ab} = V_R = IR &= \frac{\epsilon}{R+r} R \end{aligned} \right\} \eta = \frac{V_R}{\epsilon} = \frac{\frac{\epsilon}{R+r} R}{\epsilon} = \frac{R}{R+r}$$

## שאלה 1

שני הגדלים בהם נעסוק ביחידה זו, כא"מ ומתח ההדקים, מתארים עבודה ליחידת מטען.

לכן יחידות המידה שלהם בשיטה SI הם:

- אמפר
- אום
- ואט
- וולט
- קולון
- ניוטון
- ג'אול

למרות זאת הם אינם גדלים שקולים.

- מתח חשמלי מתאר הפרש בפוטנציאל החשמלי בין שתי נקודות. מתח ההדקים שווה להפרש בפוטנציאל החשמלי בין שני הדקי הסוללה. מתח הדקי הסוללה הוא גודל קבוע/משתנה והוא לא תלוי/תלוי בזרם העובר דרך הסוללה. **מדידת מתח הדקים** מתבצעת בעזרת מד מתח אידיאלי, כאשר המעגל פתוח/סגור ולכן זרם/לא זרם זרם בסוללה.
- לעומת זאת, כא"מ בסוללה נוצר על ידי הפרדת מטענים שליליים מחיוביים באמצעות תגובה כימית. לכל סוללה יש כא"מ האופייני לה, שהוא גודל קבוע/משתנה ש לא תלוי/תלוי בזרם העובר דרך הסוללה. **מדידת הכא"מ** מתבצעת בעזרת מד מתח אידיאלי, כאשר המעגל פתוח/סגור ולכן זרם/לא זרם זרם בסוללה.

## שאלה 2

ביחידת לימוד זו נכיר גם שני גדלים המתארים התנגדות: **התנגדות אוהמית והתנגדות הפנימית של הסוללה**. עבור שני הגדלים, יחידות המידה בשיטה SI הן

- אמפר
- אום
- ואט
- וולט
- קולון
- ניוטון
- ג'אול

למרות זאת אלו אינם גדלים שקולים.

- התנגדות אוהמית של תיל תלויה בגיאומטריה של התיל ובחומר ממנו הוא עשוי, וכן בגורמים חיצוניים כמו טמפרטורה ולחץ. ההתנגדות הפנימית של הסוללה נובעת מהמבנה הפנימי של הסוללה.

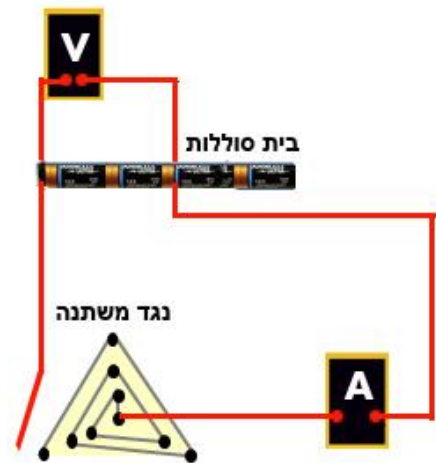
מדידת התנגדות אוהמית

- יכולה להתבצע רק באופן עקיף.
- יכולה להתבצע באופן ישיר בעזרת אוהם-מטר.

מדידת התנגדות פנימית

- יכולה להתבצע רק באופן עקיף.
- יכולה להתבצע באופן ישיר בעזרת אוהם-מטר.

בחלק א' של הניסוי תרכיבו מעגל חשמלי טורי כמוראה באיור:



במעגל זה ניתן לשנות את המתח המסופק למעגל (ע"י שינוי מספר הסוללות המחוברת בטור) ואת ההתנגדות של המעגל (ע"י שינוי נקודות החיבור בנגד המשתנה).

**מטרת הניסוי:** מדידת מתח ההדקים כתלות בזרם העובר במעגל.

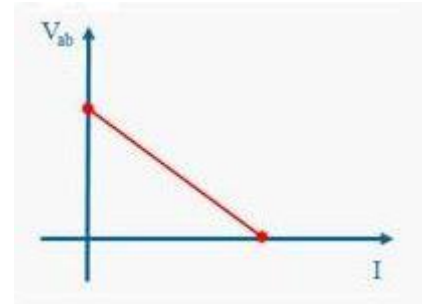
### שאלה 3

במצב בו יש נתק במעגל, אך מכשירי המדידה פועלים ומחוברים כפי שמראה האיור, מה מראה הוולטמטר?  
סמנו את התשובה או התשובות הנכונות.

- מתח על הנגד המשתנה
- כא"מ הסוללה
- מתח על האמפרמטר
- מתח על הוולטמטר
- מתח על ההתנגדות הפנימית
- כא"מ הסוללה, השווה גם למתח ההדקים שלה.

#### שאלה 4

הגרף של מתח הדקי הסוללה כפונקציה של הזרם העובר דרכה צפוי להיראות כך:



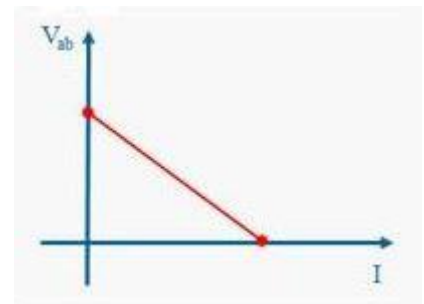
מתוך הגרף נכון לומר כי :

(סמנו את התשובה או התשובות הנכונות)

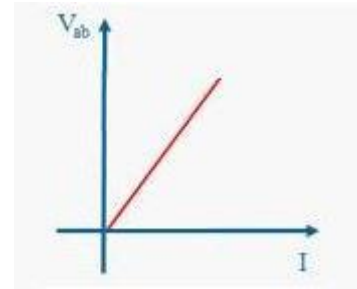
- שיפוע קו המגמה שווה לכא"מ הסוללה.
- שיפוע קו המגמה שווה להתנגדות הפנימית של הסוללה.
- נקודת החיתוך עם ציר הזרם שווה לכא"מ הסוללה.
- נקודת החיתוך עם ציר המתח שווה למתח של ההתנגדות הפנימית.
- נקודת החיתוך עם ציר המתח שווה לכא"מ הסוללה.
- שיפוע קו המגמה שווה למינוס התנגדות הפנימית של הסוללה.
- נקודת החיתוך עם ציר הזרם שווה לזרם הקצר.

#### שאלה 5

כאמור, הגרף של מתח הדקי הסוללה כפונקציה של הזרם העובר דרכה צפוי להיראות כך :



למדנו כי אופיין אוהמי של נגד הוא ליניארי, והגרף נראה כך:



מדוע לדעתכם מתקבל בניסוי זה הגרף העליון ולא האופייני אוהמי?

- כי בניסוי זה מדדנו את מתח ההדקים ולא את המתח על הנגד.
- כי בניסוי זה שינינו את ההתנגדות של המעגל.
- כי בניסוי זה הנגד המשתנה איננו בעל אופיין אוהמי.

### שאלה 6

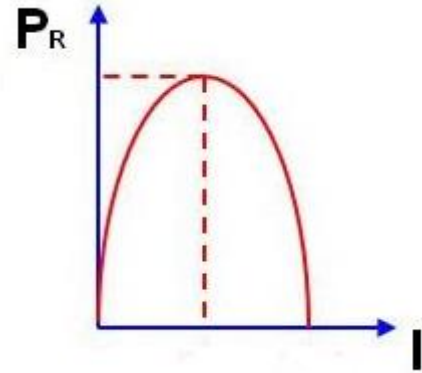
בעזרת המעגל הנתון, תכננו ניסוי שבאמצעותו ניתן לחשב את ההתנגדות המרבית של הנגד המשתנה. להזכירכם, במעגל זה ניתן לשנות את המתח המסופק למעגל (ע"י שינוי מספר הסוללות המחוברת בטור) וכן ניתן לשנות את ההתנגדות של המעגל (ע"י שינוי נקודות החיבור בנגד המשתנה).

טיפ: בססו את הניסוי שלכם על גרף אופיין אוהמי של הנגד המשתנה.

**תשובה:**

בחלקו השני של הניסוי נבדוק את הקשר בין **הספק הנצרך** על ידי ההתנגדות החיצונית לבין **הזרם** העובר דרכו.

הגרף התיאורטי הצפוי להיראות כך :



### שאלה 7

בגרף ניתן לראות כי הספק ההתנגדות החיצונית שווה לאפס בשתי נקודות:

1. כאשר הזרם במעגל שווה **אפס**, ואז התנגדות המעגל היא אינסופית / אפס.
  2. כאשר הזרם במעגל הוא **זרם הקצר** ואז התנגדות המעגל היא אינסופית / אפס.
- ההספק המכסימלי על ההתנגדות החיצונית מתקבל כאשר הזרם במעגל שווה ל - זרם הקצר / מחצית זרם הקצר / אפס.

### שאלה 8

כאשר התנגדות החיצונית שווה להתנגדות הפנימית של הסוללה, מתקבל הספק מקסימלי של התנגדות החיצונית. נכון / לא נכון.

חשבו: מהי היעילות (באחוזים) של תהליך הענקת אנרגיה לנגד החיצוני במצב בו  $R=r$  ?

יעילות התהליך היא

### שאלה 9

במציאות נקבל גרף על סמך נתוני המערכת .

שערו.

האם בגרף שתשרטטו צפויה להתקבל כל העקומה המתוארת, או רק חלק ממנה? איזה חלק?



**תשובה:**

**שאלה 10**

פתחו ביטוי מתמטי שמתאר את התלות של הספק ההתנגדות החיצונית בערך ההתנגדות שערן, כיצד יראה גרף של הספק ההתנגדות החיצונית כתלות בהתנגדות?

**תשובה:**