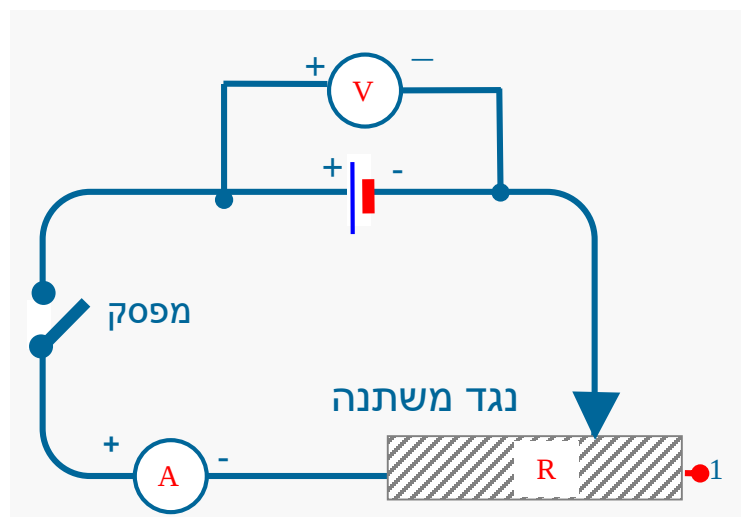
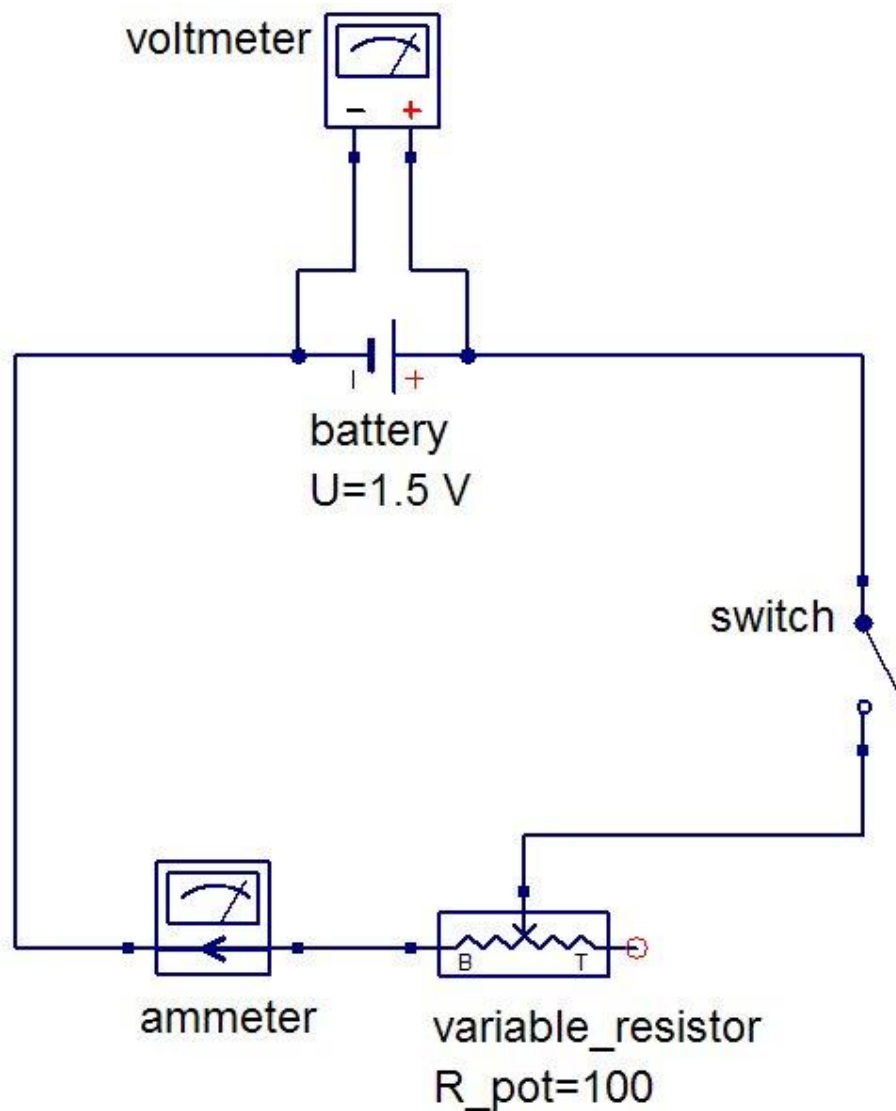


חשמל

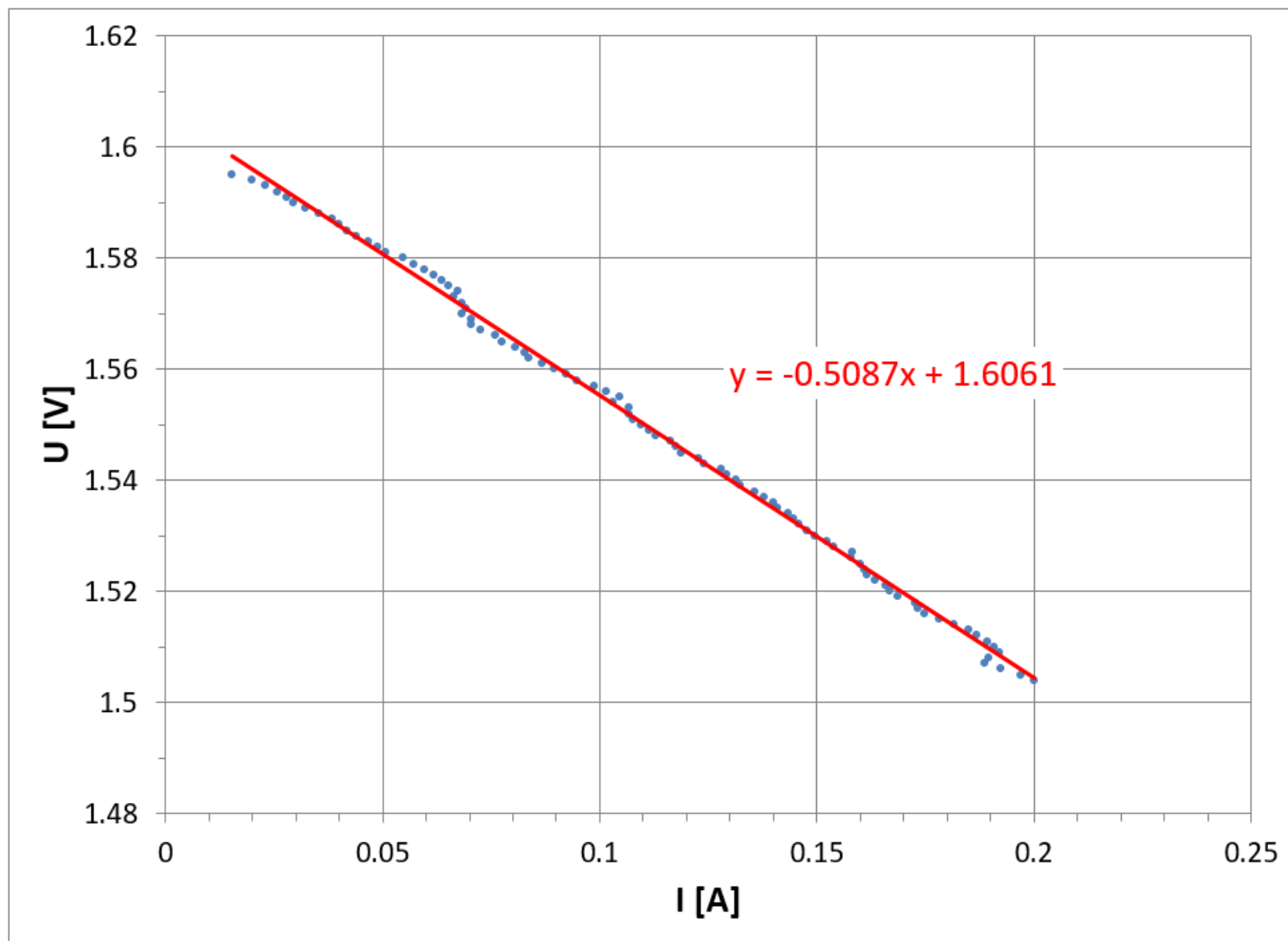
כא"מ, מתח הדקים, הספק ונצילות

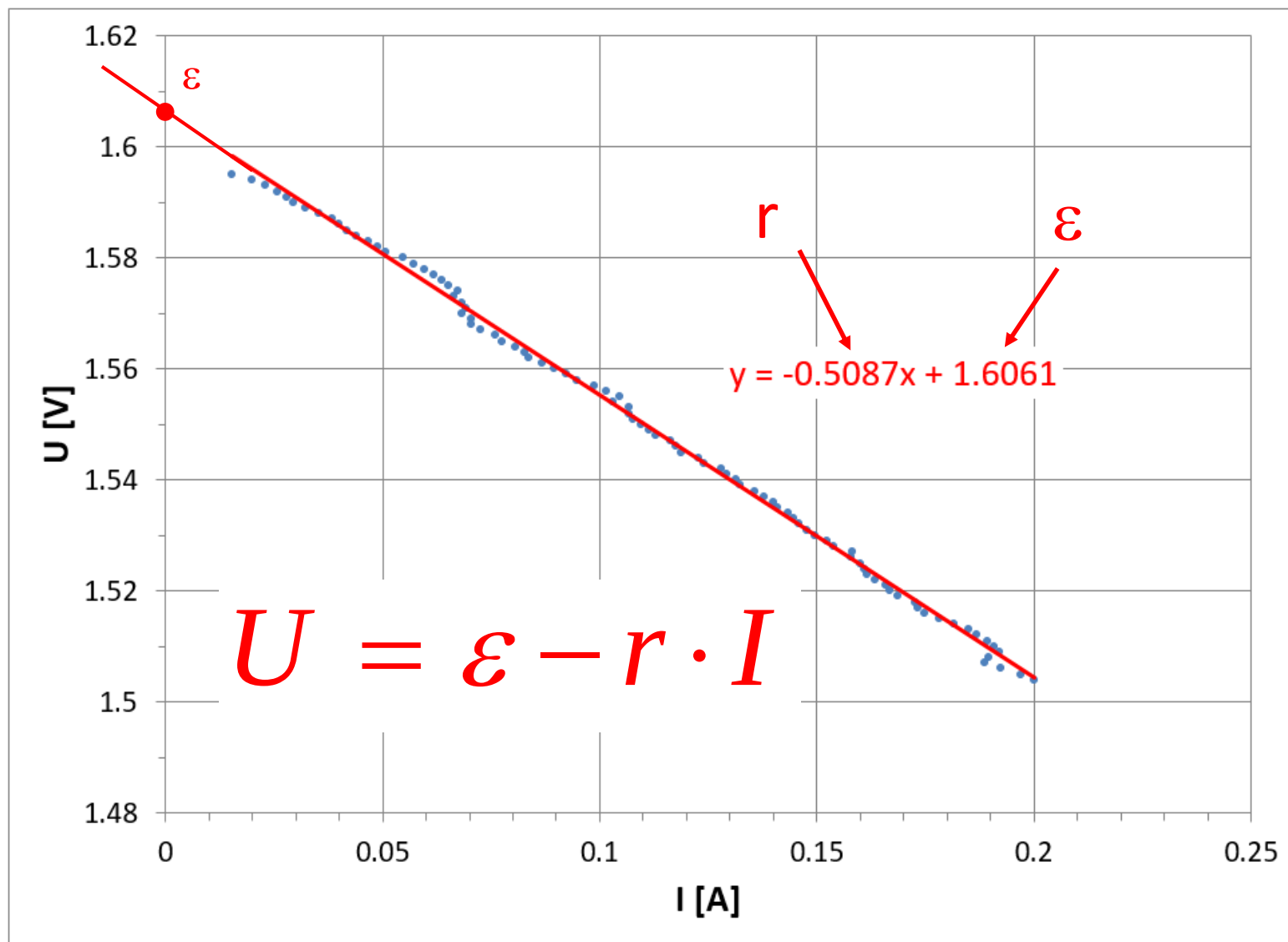


- ▶ הגדרת המושגים כא"מ, מתח הדקים וההתנגדות הפנימית, ותיאור הקשר ביניהם.
- ▶ חיבור תאים בטור ובמקביל.
- ▶ הגדרת הספק חשמלי ומציאת הביטוי להספק המרבי.
- ▶ נצילות המעגל החשמלי.

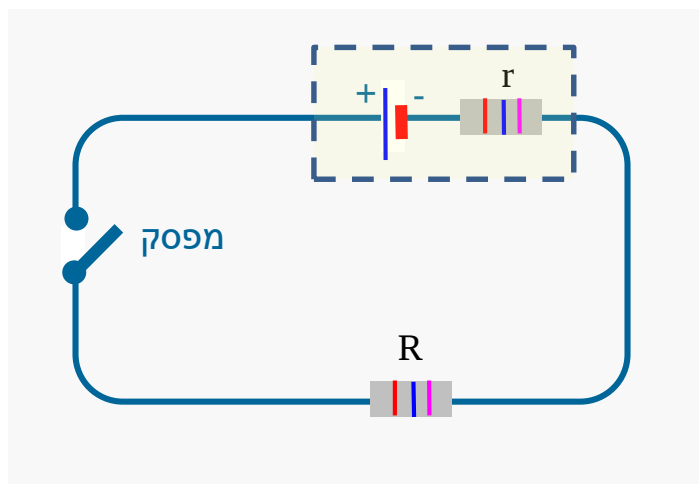








עד כה התייחסנו אל מקור המתח כעל **מקור אידיאלי**, כלומר- שניתן להזניח את התנגדותו. למקור מתח ממשי ישנה **התנגדות פנימית (אותה נסמן r)**, הנובעת מהתנגדות לתנועת היונים בתוך המקור. זאת הסיבה לכך שהסוללות מתחממות תוך כדי עבודתן. ככל שהסוללה משומשת יותר, כך היא מתחממת יותר ויעילותה יורדת. ננתח את המתרחש במעגל חשמלי בו מקור המתח (הסוללה) הוא ממשי. לפנינו מעגל טורי פשוט:



בעת סגירת המעגל, גם הנגד (נורה, מכשיר חשמלי) מתחמם (צורך אנרגיה) אבל גם הסוללה מתחממת (צורכת אנרגיה). כלומר, האנרגיה שמספק המקור מתחלקת בין הצרכן (תאורה, חימום, סיבוב) לבין הסוללה.

התהליך הכימי מספק אנרגיה למעגל. חלקה עובר לצרכן (R) וחלקה מתבזבז על חימום הסוללה (r).

$$E = E_r + E_R$$

על מנת לאפיין את יכולת הסוללה לספק אנרגיה ליחידת מטען, נעבור למונחים של מתח (ניזכר שהגדרנו את המתח כ"אנרגיה ליחידת מטען", כלומר $V=E/q$).

נחלק ב-q:

$$\frac{E}{q} = V_R + V_r$$

נסמן ב- ε את סך האנרגיה הכימית ליחידת מטען, המסופקת באמצעות הסוללה (כלומר E/q) ונקבל:

$$\varepsilon = V_R + V_r$$

ε שווה לסכום של המתח על הצרכן והמתח הפנימי של הסוללה, והוא אינו ניתן למדידה ישירה במעגל. גודל זה מכונה בשם **הכוח האלקטרומניע (כא"מ)** של מקור המתח.

כינוי זה אינו מדויק, כי כא"מ אינו כוח, אך זו המסורת שנשארה מהתקופה בה ההסבר המדעי, בנוגע למתרחש בתוך המעגל בכלל ובתוך המקור בפרט, היה שונה (ובדיעבד מוטעה).

הקשר בין הכא"מ, מתח הדקים וההתנגדות הפנימית

המתח על הנגד החיצוני V_R שווה גם למתח בין הדקי המקור V_{ab} (מכיוון שאין מפל מתח על התיל) מכאן:

הכא"מ - ε : כמות האנרגיה המוענקת לכל יחידת מטען העובר דרך המקור.

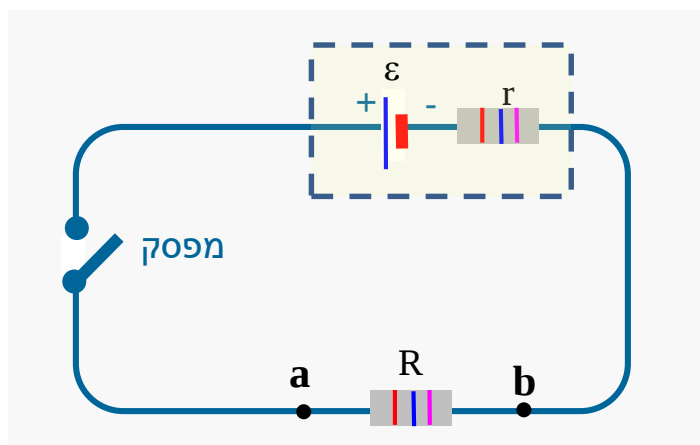
מתח הדקים - V_{ab} : כמות האנרגיה המשוחררת על ידי כל יחידת מטען במעגל החיצוני,

(שווה גם למתח על המעגל החיצוני שהתנגדותו השקולה R).

מתח פנימי - V_r : כמות האנרגיה המשוחררת על ידי כל יחידת מטען בתוך המקור

(המתח על ההתנגדות הפנימית r).

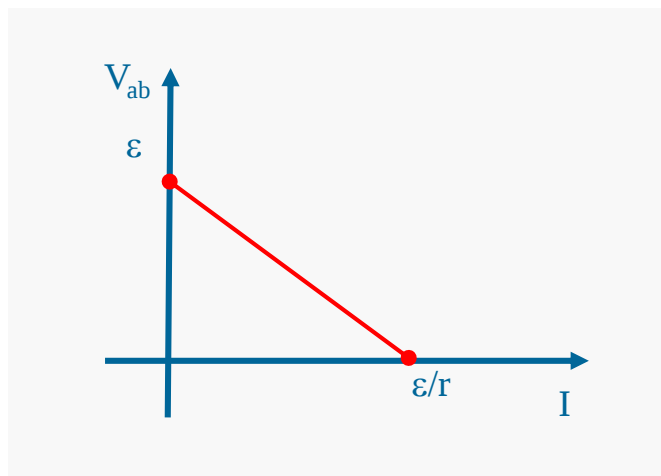
$$\varepsilon = V_{ab} + V_r$$



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

$$V_{ab} = \varepsilon - r \cdot I$$

הגרף הבא מתאר את הקשר בין מתח ההדקים לזרם במעגל:



בגרף זה מיוצגת ההתנגדות הפנימית r על ידי שיפוע הישר, והכא"מ ε על ידי נקודת החיתוך עם הציר האנכי.

שאלה: בחוק אוהם ראינו שהישר (המתאר את הקשר בין המתח לזרם) עולה וכאן הוא יורד. הכיצד?

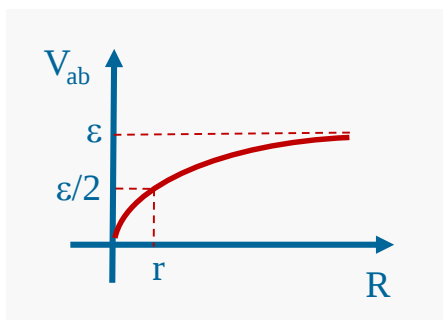
מהגרף ניתן לראות: כאשר אין זרם במעגל $I=0$, מתח ההדקים שווה לכא"מ. זה קורה כשהמעגל פתוח.

ניתן לומר, לכן: **הכא"מ של מקור מתח שווה למתח בין הדקי המקור כאשר המעגל פתוח.**

באופן מעשי, כדי למצוא את מתח ההדקים חייבים לבצע מדידה, כלומר- לסגור את המעגל.

כאשר המעגל סגור, המתח הנמדד אינו שווה לכא"מ כי יש מפל מתח בתוך הסוללה.

ניתן למצוא קשר בין מתח ההדקים להתנגדות החיצונית של המעגל R :



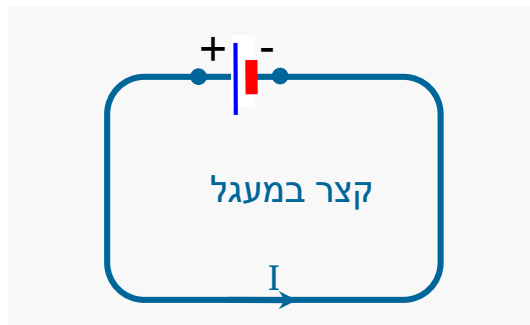
$$V_{ab} = V_R = I \cdot R = \frac{\varepsilon}{R + r} \cdot R = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{R}}$$

לפי הביטוי שקיבלנו ולפי הגרף רואים, שכאשר ההתנגדות החיצונית גדולה מאד לעומת ההתנגדות הפנימית

(כלומר $R \gg r$), אזי $V \rightarrow \varepsilon$. על כן, מד המתח בנוי כך שהתנגדותו גדולה מאד.

$$V_{ab} = V_R = I \cdot R = \frac{\varepsilon}{R + r} \cdot R = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{R}}$$

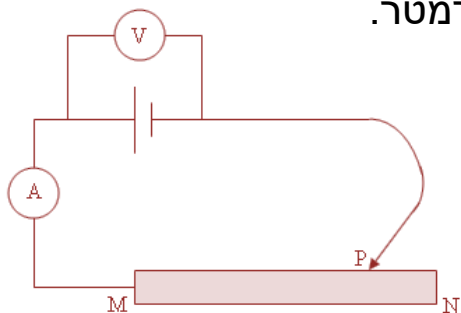
כאשר המעגל סגור על ידי תיל חסר התנגדות, מתח ההדקים מתאפס והזרם גדל עד ל- $\frac{\varepsilon}{r}$.
מצב כזה ייקרא "קצר" והזרם נקרא **זרם הקצר**.



במקרה של קצר בין הדקי המקור, הזרם גדל עד ל- ε/r .

תרגיל 1: כא"מ והתנגדות פנימית

תלמיד ערך ניסוי: הוא בנה מעגל חשמלי כמתואר בתרשים שלפניך, והזיז את הגרר P לנקודות שונות לאורך הנגד המשתנה שקצותיו מסומנים באותיות M ו-N. הנח כי מכשירי המדידה אידיאליים. אחרי כל הזזה של הגרר, הוא מדד ורשם את הוראת הוולטמטר ואת הוראת האמפרמטר. לפניך תוצאות המדידות:



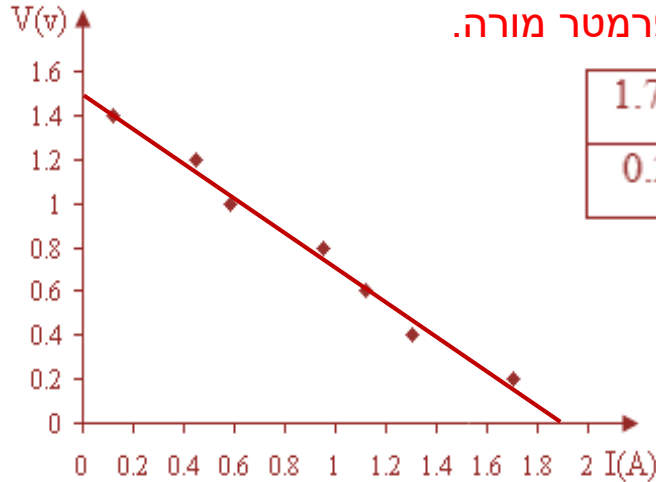
1.70	1.30	1.12	0.95	0.58	0.45	0.12	עצמת הזרם (אמפר)
0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	המתח (וולט)

- סרטטו גרף של המתח שהוולטמטר מורה כפונקציה של הזרם שהאמפרמטר מורה.
- התלמיד טוען שהוא יכול לקרוא מתוך הגרף את הכא"מ של מקור המתח. הסבירו כיצד.
- מצאו את הכא"מ של מקור המתח.

פתרון תרגיל 1: כא"מ והתנגדות פנימית

א. סרטטו גרף של המתח שהוולטמטר מורה כפונקציה של הזרם שהאמפרמטר מורה.

1.70	1.30	1.12	0.95	0.58	0.45	0.12	עצמת הזרם (אמפר)
0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	המתח (וולט)



ב. התלמיד טוען שהוא יכול לקרוא מתוך הגרף את הכא"מ של מקור המתח. הסבירו כיצד.

$$V = \mathcal{E} - I \cdot r$$

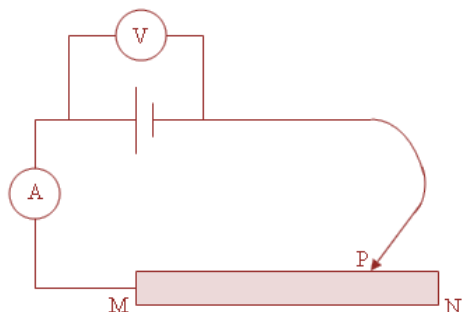
כאשר הזרם מתאפס הערך של המתח שווה לערך של כא"מ המקור.

לכן נקודת החיתוך של הגרף עם ציר ה- V היא הכא"מ.

ג. מצאו את הכא"מ של מקור המתח.

נקודת החיתוך של הגרף עם הציר האנכי שווה ל- $1.5V$ ומכאן שהכא"מ של המקור הוא $1.5V$.

תרגיל 1 (המשך): כא"מ והתנגדות פנימית



1.70	1.30	1.12	0.95	0.58	0.45	0.12	עצמת הזרם (אמפר)
0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	המתח (וולט)

ד. חשבו את ההתנגדות הפנימית של מקור המתח.

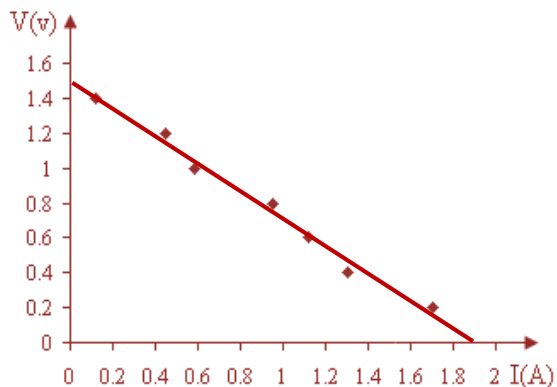
ה. מהו הזרם המרבי שיכול לזרום במעגל החשמלי? נמקו.

ו. המתח שמדד התלמיד במדידה הראשונה (1.4 וולט) היה הגבוה ביותר מבין הערכים שהוא

מדד, ובמידותיו שלאחריה ערכי המתח הלכו וקטנו. לאיזו כיוון הזיז התלמיד את הגרר במהלך

הניסוי – לעבר הקצה N של הנגד המשתנה או לעבר הקצה M? נמקו את תשובתכם.

פתרון תרגיל 1 (המשך): כא"מ והתנגדות פנימית



1.70	1.30	1.12	0.95	0.58	0.45	0.12	עצמת הזרם (אמפר)
0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	המתח (וולט)

ד. חשבו את ההתנגדות הפנימית של מקור המתח.

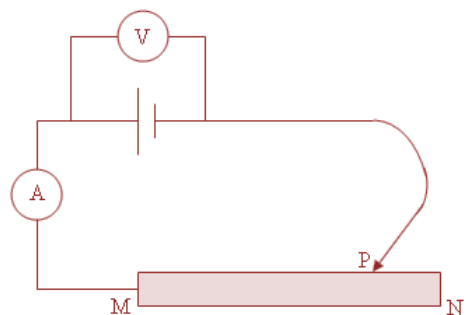
שיפוע הגרף (בערכו המוחלט) שווה להתנגדות הפנימית של מקור המתח.

$$\text{נבחר שתי נקודות מהגרף:} \quad -r = \frac{0.4 - 1.5}{1.4 - 0} = -0.786 [\Omega] \Rightarrow r = 0.786 [\Omega]$$

ה. מהו הזרם המרבי שיכול לזרום במעגל החשמלי? נמקו.

הזרם המרבי שיזרום במעגל יתקבל כאשר הגרר בנקודה M (ההתנגדות החיצונית של המעגל היא אפס). **דרך אחרת:** נקודת החיתוך של הגרף עם הציר האופקי מתקבלת כאשר המתח על המקור הוא אפס. זה קורה כאשר מקור המתח מקוצר וזרם זרם מרבי. מהגרף מתקבל (בקירוב) 1.92A.

ו. המתח שמדד התלמיד במדידה הראשונה (1.4 וולט) היה הגבוה ביותר מבין הערכים שהוא מדד, ובמידותיו שלאחריה ערכי המתח הלכו וקטנו. לאיזו כיוון הזיז התלמיד את הגרר במהלך הניסוי – לעבר הקצה N של הנגד המשתנה או לעבר הקצה M? נמקו את תשובתכם.



התלמיד הזיז את הגרר **שמאלה** לעבר הקצה M.

לפי הקשר $V = \varepsilon - I \cdot r$, אם המתח קטן אז הזרם גדל,

מכאן שההתנגדות הכוללת של המעגל קטנה.

לרשותו של תלמיד מקור מתח שהתנגדותו הפנימית $2\ \Omega$, נגד, וולטמטר ואלקטרומטר.
(באמצעות אלקטרומטר ניתן למדוד מתחים ללא מעבר זרם באלקטרומטר).

התלמיד מבצע את שלוש הפעולות הבאות:

1. חיבר את האלקטרומטר אל הדקי מקור המתח. האלקטרומטר הראה $24[V]$.
2. חיבר גם את הנגד אל הדקי מקור המתח. האלקטרומטר הראה $22[V]$.
3. ניתק את האלקטרומטר ממקור המתח, וחיבר במקומו את הוולטמטר (הנגד היה עדיין מחובר).
הוולטמטר הראה $21.6[V]$.

א. (1) סרטט את המעגלים החשמליים בשלושת המקרים 1-3.

(2) מדוע תוצאת המדידה השנייה קטנה מהראשונה?

(3) מדוע תוצאת המדידה השלישית קטנה מהשנייה?

ב. מצאו את התנגדות הנגד.

ג. מצאו את התנגדות הוולטמטר.

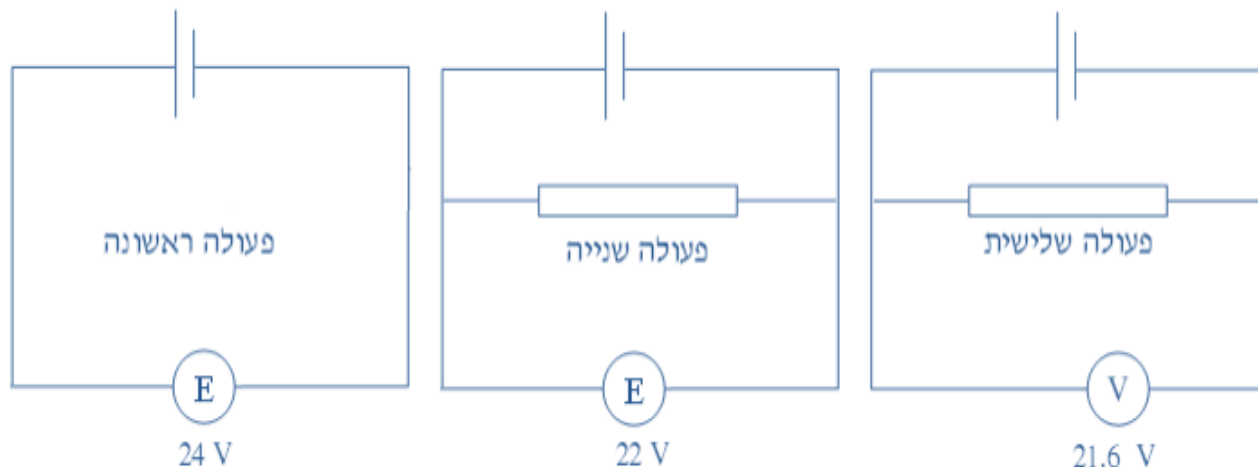
ד. אם התלמיד היה מחליף את הוולטמטר שעמד לרשותו בוולטמטר אחר (בלי לנתק את הנגד),

האם תוצאת המדידה הייתה יכולה להיות גדולה מ- $21.6[V]$? הסבירו.

ה. האם יכול וולטמטר אחר להראות $23V$ (בלי לנתק את הנגד)? הסבירו.

לרשותו של תלמיד מקור מתח שהתנגדותו הפנימית $2[\Omega]$, נגד, וולטמטר ואלקטרומטר. התלמיד מבצע את שלוש הפעולות הבאות:

1. חיבר את האלקטרומטר אל הדקי מקור המתח. האלקטרומטר הראה $24[V]$.
 2. חיבר גם את הנגד אל הדקי מקור המתח. האלקטרומטר הראה $22[V]$.
 3. ניתק את האלקטרומטר ממקור המתח, וחיבר במקומו את הוולטמטר (הנגד היה עדיין מחובר). הוולטמטר הראה $21.6[V]$.
- א. (1) סרטטו את המעגלים החשמליים בשלושת המקרים 1-3.



(2) מדוע תוצאת המדידה השנייה קטנה מהראשונה?

במדידה הראשונה, הוריית האלקטרומטר היא הכא"מ של המקור, ובמדידה השנייה היא מתח ההדקים במעגל החשמלי. מתח ההדקים קטן מהכא"מ (בגלל מפל מתח על ההתנגדות הפנימית).

(3) מדוע תוצאת המדידה השלישית קטנה מהשנייה?

החלפת האלקטרומטר בעל התנגדות אינסופית בוולטמטר בעל התנגדות סופית, מקטינה את ההתנגדות החיצונית; ולכן הזרם דרך המקור גדול יותר, ולכן המתח הפנימי גדול יותר. מכאן שמתח ההדקים במדידה השלישית קטן ממתח ההדקים במדידה השנייה.

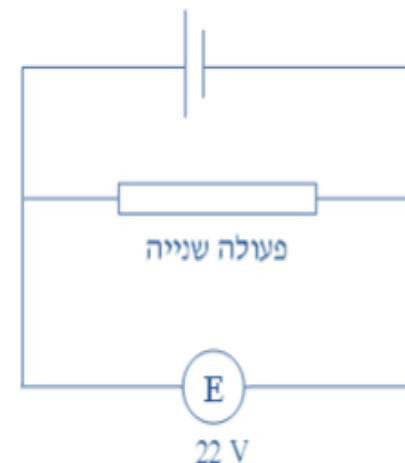
ב. מצאו את התנגדות הנגד.

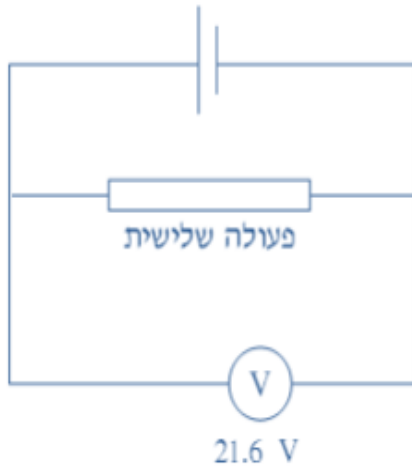
במעגל השני:

$$\mathcal{E} = V_r + V_R \Rightarrow 24 = V_r + 22 \Rightarrow V_r = 2[V]$$

$$V_R = I \cdot r \Rightarrow I = \frac{V_r}{r} = \frac{2}{2} = 1[A]$$

$$V_R = I \cdot R \Rightarrow R = \frac{V_R}{I} = \frac{22}{1} = 22[\Omega]$$





ג. מצאו את התנגדות הוולטמטר.

במעגל השלישי:

$$\mathcal{E} = V_r + V_R \Rightarrow 24 = V_r + 21.6 \Rightarrow V_r = 2.4[V]$$

$$V_r = I \cdot r \Rightarrow I = \frac{V_r}{r} = \frac{2.4}{2} = 1.2[A]$$

הזרם דרך הנגד:

$$I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{21.6}{22} = 0.982[A]$$

הזרם דרך הוולטמטר:

$$I_V = I - I_R = 1.2 - 0.982 = 0.218[A]$$

התנגדות הוולטמטר:

$$R_V = \frac{V_R}{I_V} = \frac{21.6}{0.218} \Rightarrow R_V = 99[\Omega]$$

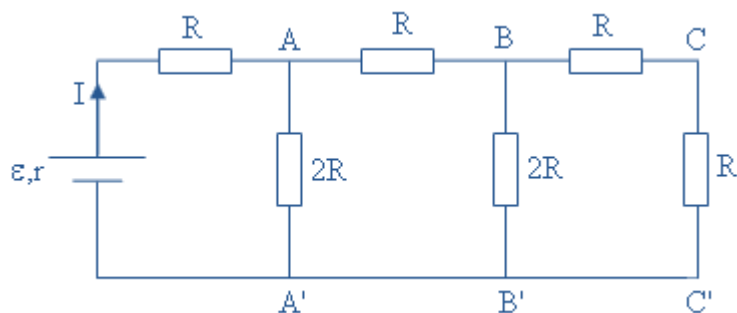
ד. אם התלמיד היה מחליף את הוולטמטר שעמד לרשותו בוולטמטר אחר (בלי לנתק את הנגד), האם תוצאת המדידה הייתה יכולה להיות גדולה מ- $21.6[V]$? הסבירו.

כן. החלפת הוולטמטר באחר בעל התנגדות גדולה מ- $99[\Omega]$, הייתה גורמת להתנגדות חיצונית גדולה יותר, לכן הזרם דרך המקור היה קטן יותר, ולכן מתח ההדקים היה גדול מ- $21.6[V]$.

ה. האם יכול וולטמטר אחר להראות $23[V]$ (בלי לנתק את הנגד)? הסבירו.

לא. החלפת האלקטרומטר בוולטמטר במעגל השני, תקטין את התנגדות המעגל ותגדיל את הזרם דרך המקור. הגדלת הזרם דרך המקור תגרום לכך שמתח ההדקים יקטן, ויהיה קטן מ- $22[V]$.

במעגל החשמלי הנתון, הכא"מ של מקור המתח הוא $\varepsilon=34[V]$, התנגדותו הפנימית היא $r=3[\Omega]$, ועצמת הזרם דרך מקור המתח היא I .

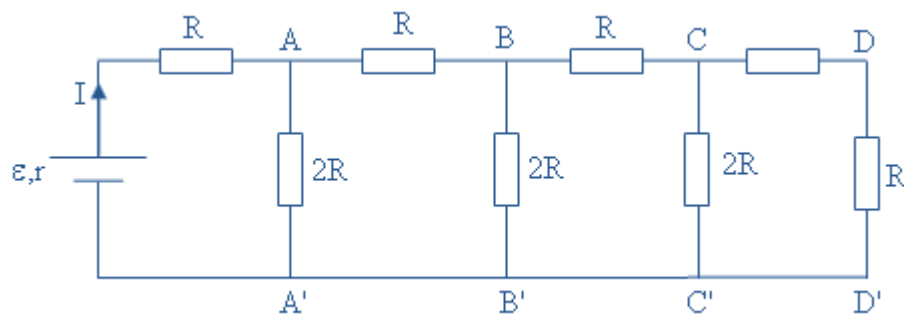


א. בטאו באמצעות R את ההתנגדות החשמלית השקולה החיצונית של המעגל.

ב. חשבו את ההתנגדות R , אם נתון כי עוצמת הזרם I במעגל החשמלי היא $1.5[A]$.

ג. חשבו את המתח על כל אחד מהנגדים AA' , BB' , CC' .

ד. הרחיבו את המעגל הנתון למעגל המתואר בתרשים ב'. האם עוצמת הזרם I' דרך מקור המתח במעגל

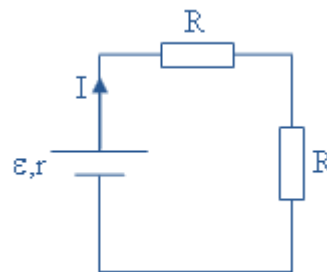
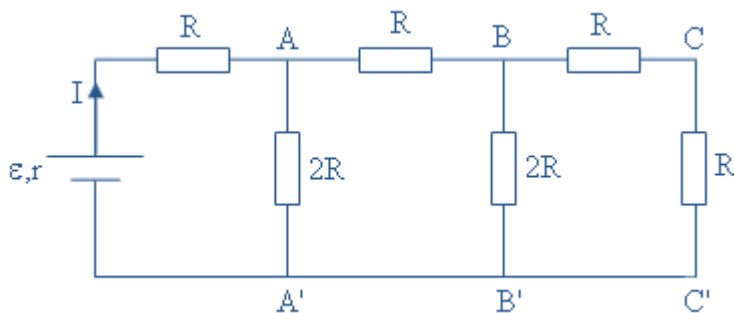


החדש קטנה, גדולה או שווה ל- I . נמקו.

פתרון תרגיל 3: כא"מ והתנגדות פנימית

הכא"מ של מקור המתח הוא $\varepsilon=34[V]$, התנגדותו הפנימית היא $r=3[\Omega]$ ועצמת הזרם דרך מקור המתח היא I .
א. בטאו באמצעות R את ההתנגדות החשמלית השקולה החיצונית של המעגל.

את ההתנגדות של הלולאה $BCC'B'$ (הנמצאת מן הצד הרחוק ביחס למקור) ניתן להמיר בנגד שהתנגדותו R :
שני נגדים מחוברים בטור והתנגדותם השקולה היא $2R$, והם מחוברים במקביל לנגד שהתנגדותו $2R$.
הלולאה השנייה $ABB'A'$ זזה לקודמתה ולכן גם התנגדותה היא R .



לבסוף, המקור מחובר לשני נגדים המחוברים בטור שהתנגדות כל אחד מהם היא R .
לכן ההתנגדות החיצונית השקולה הכוללת היא $2R$.

פתרון תרגיל 3: כא"מ והתנגדות פנימית

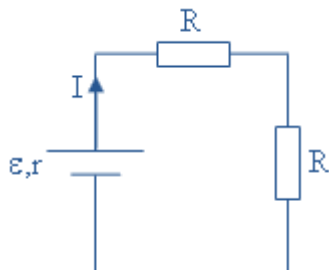
הכא"מ של מקור המתח הוא $\varepsilon=34[V]$, התנגדותו הפנימית היא $r=3[\Omega]$ ועצמת הזרם דרך מקור המתח היא א.

ב. חשבו את ההתנגדות R , אם נתון כי עוצמת הזרם במעגל החשמלי היא $1.5[A]$.

על פי המעגל הימני שבתרשים לסעיף א':

$$\varepsilon = I(2R + r)$$

$$34 = \frac{3}{2}(2R + 3) \Rightarrow R = 9.833[\Omega]$$

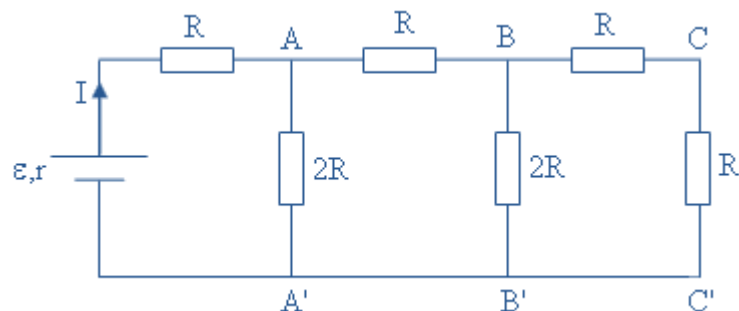


ג. חשבו את המתח על כל אחד מהנגדים AA' , BB' , CC' .

$$I_{AA'} = \frac{1}{2}I = \frac{3}{4}[A] \Rightarrow V_{AA'} = I_{AA'} \cdot R_{AA'} = \frac{3}{4} \cdot 2 \cdot 9.833 = 14.75[V]$$

$$I_{BB'} = \frac{1}{4}I = \frac{3}{8}[A] \Rightarrow V_{BB'} = I_{BB'} \cdot R_{BB'} = \frac{3}{8} \cdot 2 \cdot 9.833 = 7.375[V]$$

$$I_{CC'} = \frac{1}{4}I = \frac{3}{8}[A] \Rightarrow V_{CC'} = I_{CC'} \cdot R_{CC'} = \frac{3}{8} \cdot 9.833 = 3.6875[V]$$

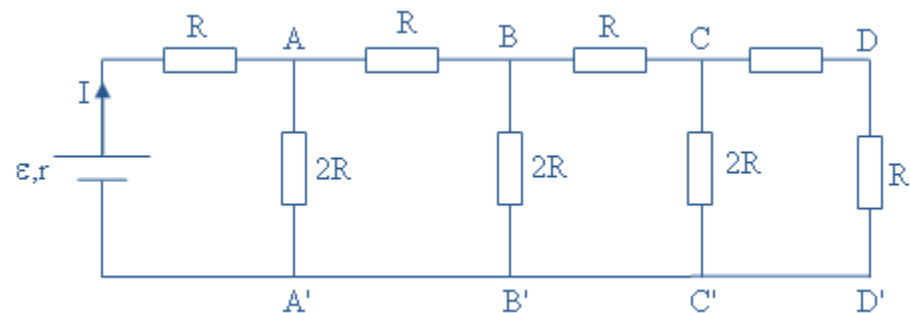


ד. הרחיבו את המעגל הנתון למעגל המתואר בתרשים ב'. האם עוצמת הזרם I' דרך מקור המתח במעגל החדש קטנה,

גדולה או שווה ל- I . נמקו.

התוספת למעגל לא תשנה את ההתנגדות השקולה,

לכן לא יחול כל שינוי בזרם הכללי במעגל.



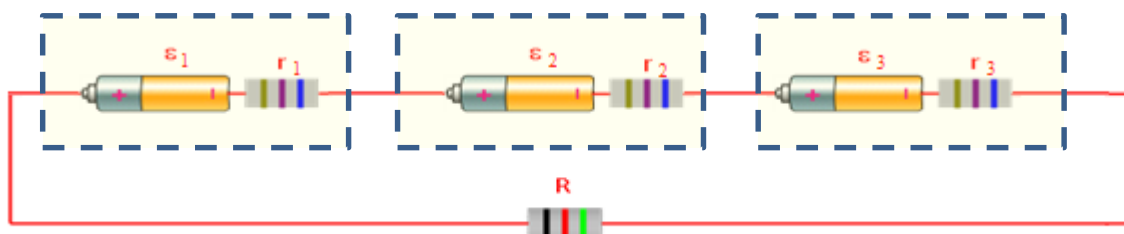
התא החשמלי הוא בד"כ בעל מתח נתון, למשל התא המקובל ביותר הוא של 1.5 וולט.

לעיתים, על מנת להזין צרכן דרושים לנו מתח, זרם והספק גדולים מאלה שמקור יחיד מסוגל לספק.

במקרה זה, נחבר מספר מקורות מתח באותו המעגל.

כאשר נדרש **מתח** גדול יותר (למשל, שלט טלוויזיה הפועל במתח של 3V), נחבר את מקורות המתח **בטור**.

חיבור בטור של מקורות מתח הוא חיבור שבו ההדק החיובי של תא אחד מחובר להדק השלילי של התא השני.



במקרה זה, הכא"מ השקול של הסוללה הוא סכום הכא"מים של התאים הבודדים:

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$$

מאחר והחיבור הוא טורי, ההתנגדות הפנימית השקולה שווה לסכום ההתנגדויות הפנימיות של התאים.

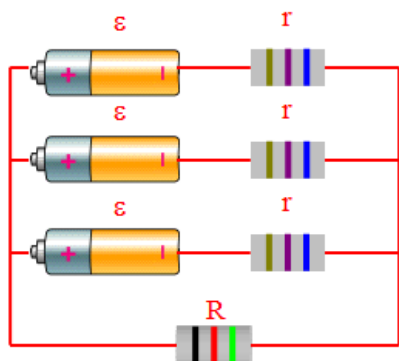
$$r_T = r_1 + r_2 + r_3$$

השפעת מכשיר מדידה לא אידיאלי על המעגל

- ◀ כיצד משפיע על המעגל חיבור של מכשיר מדידה אמיתי, שאינו אידיאלי?
- ◀ צפו בסרטון הבא (המופיע בתיקיה שלכם).
- ◀ שוחחו לאחר מכן על המשמעות של מה שראיתם.



חיבור במקביל של תאים יוצר סוללה אחת "גדולה" יותר, המסוגלת לספק אנרגיה במשך זמן ארוך יותר. בחיבור כזה, ההדקים החיוביים של התאים מחוברים זה לזה, ויוצרים קוטב חיובי משותף, וההדקים השליליים של אותם התאים מחוברים זה לזה, ויוצרים קוטב שלילי משותף.



כשהכא"מים של התאים הוא זהה, הכא"מ השקול שווה לכא"מ של כל אחד מהתאים.

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_3$$

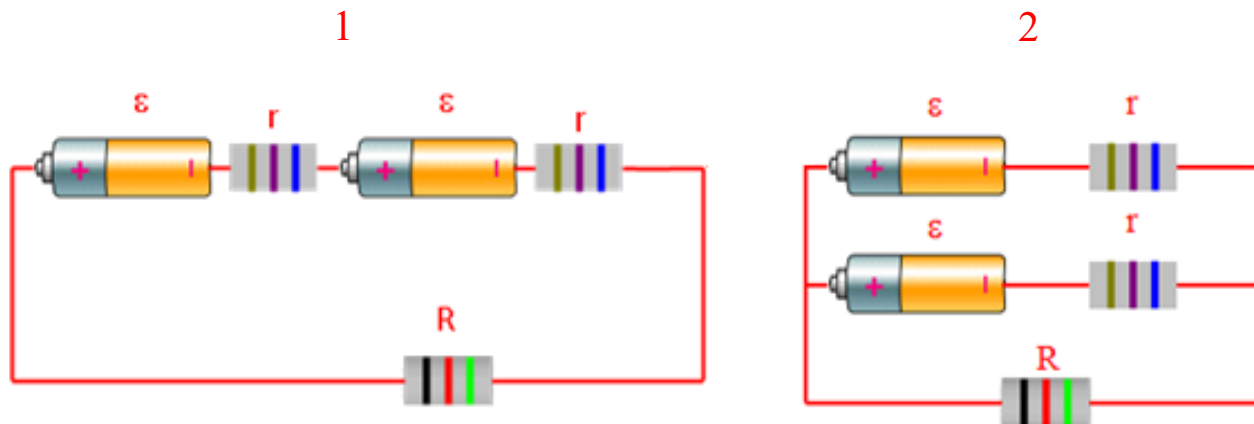
מאחר והחיבור הוא מקבילי, ההתנגדות הפנימית השקולה ל:

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r}$$

$$r_T = \frac{r}{n}$$

היתרון בחיבור כזה הוא בכך שההתנגדות הפנימית קטנה, ולכן האנרגיה המבוזבזת על חימום המקור קטנה.

שני מקורות מתח זהים בעלי כא"מ ε והתנגדות פנימית r חוברו פעם בטור לנגד R ופעם במקביל.
נתונים: R , ε , r .



- א. בטאו את עוצמת הזרם העובר דרך הנגד R עבור כל אחד מהתרשימים.
- ב. בטאו את מתח ההדקים של כל אחד מהמקורות בתרשים 1 ובתרשים 2.
- ג. באיזה תנאי יהיה הזרם במעגל 1 שווה לזרם שבמעגל 2? נמקו.
- ד. באיזה תנאי יהיה הזרם במעגל 1 גדול מהזרם שבמעגל 2? נמקו.
- ה. מה צריך להיות ערכו של r בכדי שהמתח על פני הנגד R יהיה שווה בשני המעגלים?

פתרון תרגיל חיבור מספר תאים

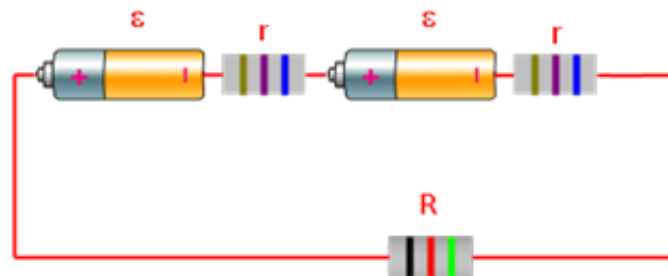
- א. בטאו את עוצמת הזרם העובר דרך הנגד R עבור כל אחד מהתרשימים.
ב. בטאו את מתח ההדקים של כל אחד מהמקורות בתרשים 1 ובתרשים 2.

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 = 2\mathcal{E}$$

$$R_T = 2r + R$$

$$I = \frac{\mathcal{E}_T}{R_T} = \frac{2\mathcal{E}}{R + 2r}$$

$$V_{ab} = \mathcal{E} - I \cdot r = \mathcal{E} - \frac{2\mathcal{E}}{R + 2r} \cdot r$$



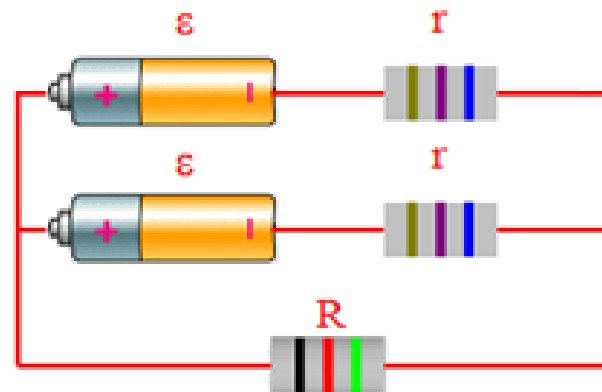
$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}$$

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} \Rightarrow r_T = \frac{r}{2}$$

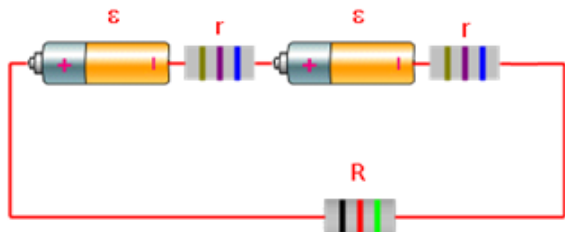
$$R_T = R + \frac{r}{2}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}_T}{R_T} = \frac{\mathcal{E}}{R + \frac{r}{2}}$$

$$V_{ab} = \mathcal{E} - \frac{\mathcal{E}}{R + \frac{r}{2}} \cdot r$$



פתרון תרגיל חיבור מספר תאים



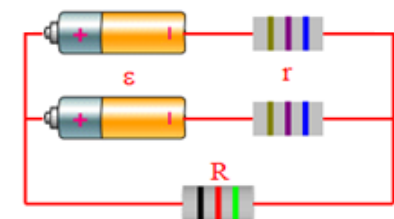
ג. באיזה תנאי יהיה הזרם במעגל 1 שווה לזרם שבמעגל 2? נמקו.

$$\frac{\varepsilon}{R + \frac{r}{2}} = \frac{2\varepsilon}{R + 2r}$$

התנאי הוא: $R=r$

$$R + 2r = 2R + r$$

$$R = r$$



ד. באיזה תנאי יהיה הזרם במעגל 1 גדול מהזרם שבמעגל 2? נמקו.

התנאי הוא: $R > r$

ה. מה צריך להיות ערכו של r בכדי שהמתח על פני הנגד R יהיה שווה בשני המעגלים?

התנאי הוא: $R=r$ (הזרם צריך להיות שווה, כמו בסעיף ג).

$$E = qV$$

האנרגיה הנצרכת במעגל היא:

בדר"כ מתעניינים בקצב יצירת החום (למשל כאשר רוצים להתחמם באמצעות תנור חשמלי), ומשתמשים במושג הספק, אותו למדנו במכניקה, המוגדר כקצב השינוי באנרגיה (בליעה או פליטה):

$$P = \frac{E}{t} = \frac{q \cdot V}{t}$$

במקרה של נגד הפולט כמות חום Q:

$$P = \frac{Q}{t}$$

$$P = V \cdot I$$

כידוע, $q=It$, ולכן:

$$1[W] = \frac{1[J]}{1[s]}$$

כזכור, יחידת ההספק היא וואט:

$$P = V \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$

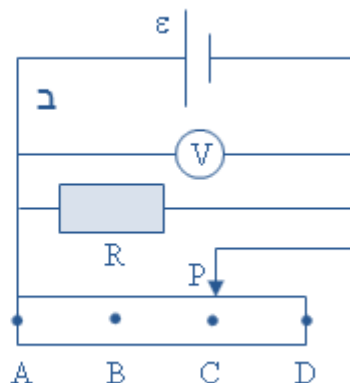
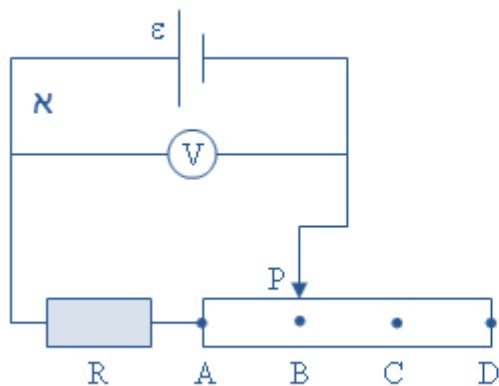
אם נציב לתוך הביטוי את חוק אוהם עבור המתח ($V=RI$) נקבל:

שתי הנוסחאות האחרונות נכונות לרכיבים המקיימים את חוק אוהם.

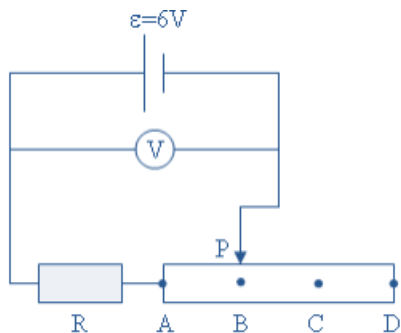
כאשר מוליכים מחוברים בטור נוח יותר להשתמש בנוסחה: $P=I^2 \cdot R$ כדי להשוות בין ההספקים שלהם,

וכאשר המוליכים מחוברים במקביל נוח יותר להשתמש בנוסחה: $P=V^2/R$ כדי להשוות בין ההספקים שלהם.

מקור מתח, שהכא"מ שלו הוא $6V$, והתנגדותו הפנימית אינה ידועה, מחובר לנגד R ולנגד משתנה AD (תרשים א). הנקודות B ו- C מחלקות את הנגד המשתנה לשלושה קטעים שהתנגדותם שווה. כאשר מחברים את המגע הנייד P ל- A , מראה הוולטמטר מתח של $5V$ וכמות החום שנוצרת בנגד R במשך $30s$ היא $300J$. כאשר מעבירים את המגע הנייד לנקודה B , מראה הוולטמטר $5.5V$. (התנגדות הוולטמטר גדולה מאוד).



- חשב את התנגדות הנגד R .
- חשב את ההתנגדות הפנימית של המקור.
- מהי ההתנגדות המרבית של הנגד המשתנה?
- מחברים את הנגד המשתנה במקביל לנגד R (תרשים ב), ומעבירים את המגע מ- D ל- C , אחר-כך ל- B ואחר-כך ל- A . האם המתח שמראה הוולטמטר ילך ויגדל, ילך ויקטן או לא ישתנה? הסבר.



מקור מתח, שהכא"מ שלו הוא $6V$, והתנגדותו הפנימית אינה ידועה, מחובר לנגד שהתנגדותו R ולנגד משתנה AD (תרשים א). הנקודות B ו- C מחלקות את הנגד המשתנה לשלושה קטעים שהתנגדותם שווה.

כאשר מחברים את המגע הנייד P ל- A , מראה הוולטמטר מתח של $5V$ וכמות החום שנוצרת בנגד R במשך $30s$ היא $300J$. כאשר מעבירים את המגע הנייד לנקודה B , מראה הוולטמטר $5.5V$. (התנגדות הוולטמטר גדולה מאד).

א. חשב את התנגדות הנגד R .

כאשר המגע P נמצא בנקודה A :

$$E = V \cdot I \cdot t$$

$$300 = 5 \cdot I \cdot 30 \Rightarrow I = 2A$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5}{2} = 2.5\Omega$$

ב. חשב את ההתנגדות הפנימית של המקור.

כאשר המגע P נמצא בנקודה A :

$$\varepsilon = I \cdot (R + r)$$

$$6 = 2 \cdot (2.5 + r) \Rightarrow r = 0.5\Omega$$

ג. מהי ההתנגדות המרבית של הנגד המשתנה?

כאשר המגע P נמצא בנקודה B, ההתנגדות החיצונית של המעגל:

$$R_T = \frac{V}{I'} = \frac{5.5}{1} = 5.5\Omega$$

$$R_T = R + R_{AB}$$

$$5.5 = 2.5 + R_{AB} \Rightarrow R_{AB} = 3\Omega$$

ההתנגדות המרבית של הנגד המשתנה :

$$R_{AD} = 3 \cdot R_{AB} = 3 \cdot 3 = 9\Omega$$

ד. מחברים את הנגד המשתנה במקביל לנגד R (תרשים ב).

מעבירים את המגע מ-D ל-C, אחר-כך ל-B ואח"כ ל-A.

האם המתח שמראה הוולטמטר ילך ויגדל, ילך ויקטן או לא ישתנה? הסבירו.

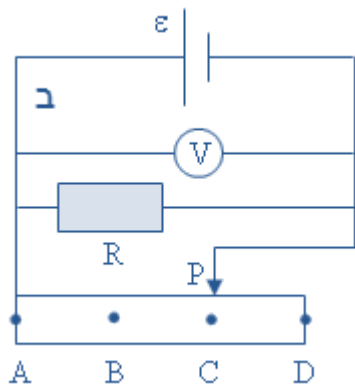
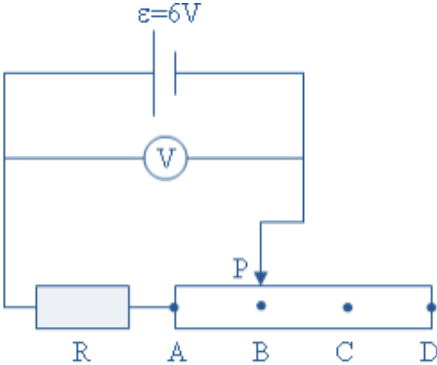
העברת המגע P מ-D ל-C ואחר כך ל-A מקטינה את ההתנגדות הנגד המשתנה

הגורמת להקטנת ההתנגדות החיצונית של המעגל.

הקטנת ההתנגדות החיצונית גורמת להגדלת הזרם. הגדלת הזרם גורמת להגדלת

המתח על ההתנגדות הפנימית, ולכן להקטנת המתח על ההתנגדות החיצונית.

לסיכום: המתח שמראה מד המתח ילך ויקטן.



תלמיד קיבל שתי נורות חשמליות שעל האחת כתוב $2W, 3V$, ועל האחרת כתוב: $3W, 6V$.

א. חשב את הזרם המקסימאלי שיכול לעבור דרך כל אחת מהנורות.

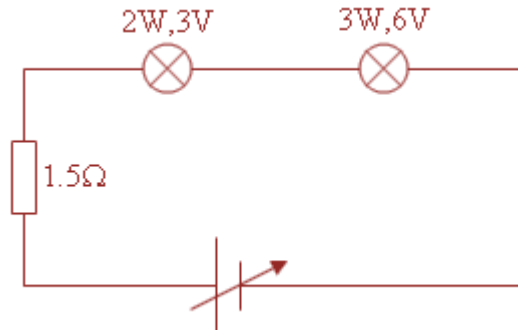
ב. התלמיד חיבר את הנורות בטור לספק, שהמתח שלו ניתן לשינוי, ולנגד של 1.5Ω .

התנגדות התילים במעגל זניחה. המתח של הספק נקבע כך שהנורות מפיקות את עוצמת

האור המקסימאלית האפשרית בחיבור זה בלי לחרוג מהגבלת המתח (וההספק) על כל אחת מהן.

רק באחת הנורות מתפתח ההספק שרשום עליה. באיזה נורה מתפתח הספק קטן מן הרשום

עליה? הסבר.



ג. חשב את המתח בין ההדקים של הספק במצב המתואר בסעיף ב.

ד. התלמיד הגיע למסקנה כי אם יחבר נגד במקביל לאחת הנורות, יוכל להגדיל את מתח הספק,

וכך תגדל גם עוצמת האור עד שבכל נורה יתפתח ההספק הרשום עליה.

תלמיד קיבל שתי נורות חשמליות שעל האחת כתוב $2W, 3V$, ועל האחרת כתוב: $3W, 6V$.
א. חשב את הזרם המקסימאלי שיכול לעבור דרך כל אחת מהנורות.

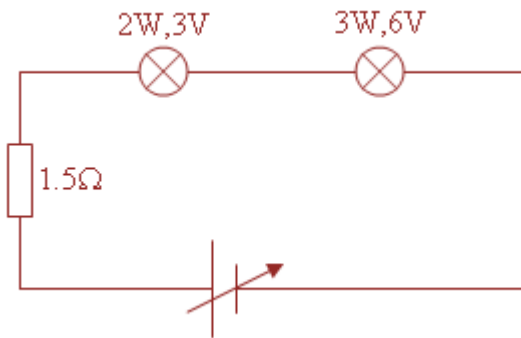
$$P = V \cdot I \Rightarrow I = \frac{P}{V}$$

הזרם המקסימאלי דרך הנורה $2W, 3V$:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{2}{3} = 0.67A$$

הזרם המקסימאלי דרך הנורה $3W, 6V$:

$$I = \frac{3}{6} = 0.5A$$

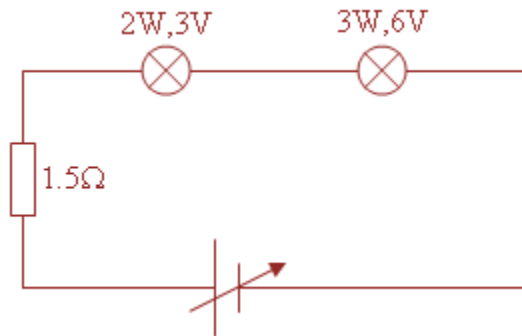


ב. התלמיד חיבר את הנורות בטור לספק, שהמתח שלו ניתן לשינוי, ולנגד של 1.5Ω .

התנגדות התילים במעגל זניחה. המתח של הספק נקבע כך שהנורות מפיקות את עוצמת האור המקסימאלית האפשרית בחיבור זה בלי לחרוג מהגבלת המתח (וההספק) על כל אחת מהן. רק באחת הנורות מתפתח ההספק שרשום עליה. באיזה נורה מתפתח הספק קטן מן הרשום עליה? הסבירו.

מאחר ואין חריגה מההספק הרשום, הזרם המרבי לא יכול לעלות על $0.5A$ כי הנורות מחוברות בטור, הזרם דרכן שווה. מכאן שבנורה שרשום עליה $3V, 2W$ התפתח הספק קטן מזה שרשום עליה.

ג. חשב את המתח בין ההדקים של הספק במצב המתואר בסעיף ב.



$$R_1 = \frac{V_1^2}{P_1} = \frac{3^2}{2} = 4.5\Omega$$

$$R_2 = \frac{V_2^2}{P_2} = \frac{6^2}{3} = 12\Omega$$

$$R_T = R + R_1 + R_2 = 1.5 + 4.5 + 12 = 18\Omega \quad \text{: ההתנגדות השקולה}$$

$$V = I \cdot R_T = 0.5 \cdot 18 = 9V \quad \text{: מתח ההדקים הוא}$$

ד. התלמיד הגיע למסקנה, כי אם יחבר נגד במקביל לאחת הנורות, יוכל להגדיל את מתח הספק, וכך תגדל גם עוצמת האור, עד שבכל נורה יתפתח ההספק הרשום עליה. היכן יש לחבר את הנגד? הסבירו.

יש לחבר את הנגד במקביל לנורה 2- שרשום עליה $3W, 2V$ - , כי אז ניתן להזרים במעגל זרם של $0.67A$.

זרם זה יגרום לנורה 1 (שרשום עליה $2W, 3V$) להאיר באורה המלא.

מאחר ונורה 2 מחוברת במקביל לנגד, הזרם יכול להתחלק בין הנורה לנגד כך שדרך הנורה יזרום זרם של

$0.5A$, ודרך הנגד יזרום זרם של $0.17A$.

לרשותך שלוש נורות של פנס כיס, סוללה, נגד משתנה (אחד בלבד) ותילים מוליכים.

על אחת הנורות רשום $10V$, $2W$, ועל שתי האחרות רשום: $4V$; $0.4W$.

כא"מ הסוללה הוא $18V$ והתנגדותה הפנימית היא 2Ω .

א. בחר באחת הנורות, והסבר את משמעות המספרים הרשומים עליה.

ב. האם שלוש הנורות יכולות לפעול בהתאם לרשום עליהן, כאשר הן מחוברות בטור זו לזו? נמק.

ג. תכנן מעגל חשמלי ובו כל הרכיבים שלרשותך, כך שכל שלוש הנורות יאירו בהתאם לרשום

עליהן. סרטט את המעגל, והסבר.

ד. חשב את התנגדות הנגד המשתנה במעגל שתכננת.

לרשותך שלוש נורות של פנס כיס, סוללה, נגד משתנה (אחד בלבד) ותילים מוליכים.

על אחת הנורות רשום $10V$, $2W$, ועל שתי האחרות רשום: $4V$, $0.4W$.

כא"מ הסוללה הוא $18V$ והתנגדותה הפנימית היא 2Ω .

א. בחר באחת הנורות, והסבר את משמעות המספרים הרשומים עליה.

משמעות המספרים על הנורה $10V, 2W$ היא, שאם המתח על הנורה יהיה $5V$ אז ההספק יהיה $2W$.
מתח זה הוא המתח המרבי המותר להפעלת הנורה.

ב. האם שלוש הנורות יכולות לפעול בהתאם לרשום עליהן, כאשר הן מחוברות בטור זו לזו? נמקן.

כאשר הנורות פועלות בהתאם לרשום עליהן הזרמים הם:

$$P_1 = V_1 \cdot I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{2}{10} = 0.2A$$

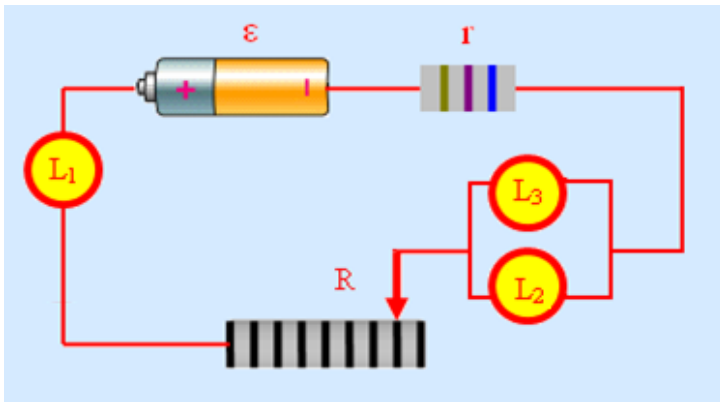
$$P_2 = V_2 \cdot I_2 \Rightarrow I_2 = \frac{0.4}{4} = 0.1A$$

מאחר ובחיבור בטור הזרם דרך הרכיבים שווה, לא ניתן לחבר את כל הנורות בטור.

פתרון תרגיל 7: הספק (המשך)

ג. תכננו מעגל חשמלי ובו כל הרכיבים שלרשותכם, כך שכל שלוש הנורות יאירו בהתאם לרשום עליהן. סרטטו את המעגל, והסבירו.

מאחר ודרך נורה 1 צריך לזרום זרם של 0.2A ודרך שתי הנורות האחרות צריך לזרום זרם של 0.1A, נחבר את שתיהן במקביל ואת השקול שלהן בטור לנורה 1:



ד. חשבו את התנגדות הנגד המשתנה במעגל שתכננת. סכום המתחים שווה לכא"מ המקור:

$$\varepsilon = V_1 + V_{2,3} + V_r + V_R$$

$$18 = 4 + 2 + 2 \cdot 0.2 + V_R$$

$$V_R = 11.6V$$

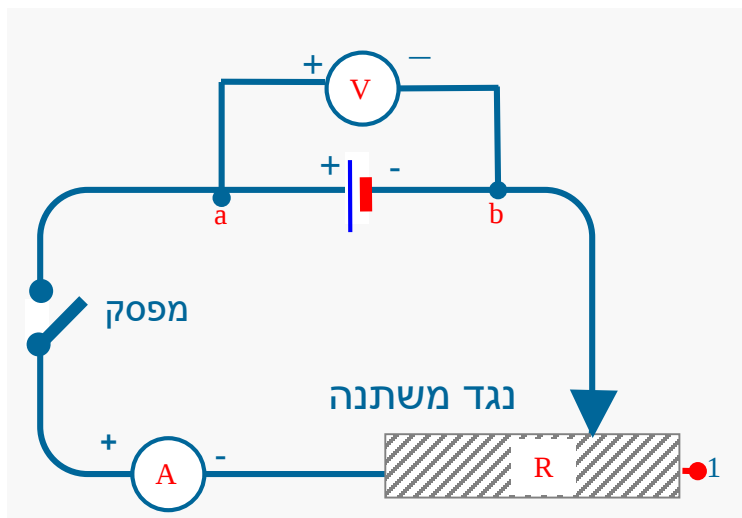
$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{11.6}{0.2} = 58\Omega$$

כשאנו משתמשים במקור אנרגיה, נרצה לנצל אותו ביעילות מקסימלית.

במקרה של מעגל חשמלי, מהם התנאים (מאפייני המעגל) כדי שהעברת האנרגיה מהמקור לצרכן תתבצע

ביעילות (נצילות) מרבית? כפי שנראה, יעילות זו קשורה ביחס ההתנגדויות במעגל.

נתבונן במעגל עם מקור בעל כ"מ ε והתנגדות פנימית r נתונים וצרכן R , שאת התנגדותו נוכל לשנות (ראוסטט).



$$V_{ab} = V_R = \varepsilon - I \cdot r$$

ההספק המופק במעגל החיצוני במצב בו המפסק סגור הוא:

$$P_R = V_R \cdot I = (\varepsilon - I \cdot r) \cdot I = -r \cdot I^2 + \varepsilon \cdot I$$

כידוע:

P_R : הספק הנצרך על ידי הצרכן

$r \cdot I^2$: הספק המבוזבז במקור

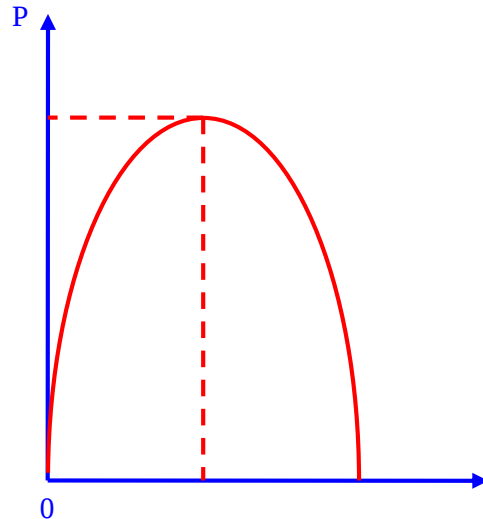
$\varepsilon \cdot I$: הספק המסופק על ידי המקור

$$P_R = V_R \cdot I = (\varepsilon - I \cdot r) \cdot I = -r \cdot I^2 + \varepsilon \cdot I$$

הפונקציה המתארת את הקשר בין I ו- P_R :

היא פונקציה ריבועית ותאורה הגרפי הוא פרבולה.

$$(a < 0)y = ax^2 + bx + c$$



מהגרף ניתן לראות שכאשר הזרם גדל עד לערך מסוים, גם ההספק גדל. מעבר לערך זה הגדלת הזרם גורמת להקטנת ההספק.

נרצה להגדיל ככל האפשר את ההספק P . לכאורה, ככל שנקטין את ההתנגדות החיצונית הזרם יגדל (בריבוע) ולכן ההספק הנצרך יגדל. מצד שני, הגדלת הזרם תגרום להגדלת ההספק המבוזבז בסוללה. מתברר שזו בעיית אופטימיזציה (מינימום-מקסימום) שניתנת לפתרון מתמטי.

- ❖ למציאת נקודות החיתוך עם הציר האופקי נציב: $P_R = 0$, ונקבל: $I = \varepsilon/r$, $I_1 = 0$
- ❖ את עוצמת הזרם בו מתקבל הספק מרבי, ואת ההספק המרבי ניתן למצוא לפי שיעור נקודות המקסימום של הפונקציה:

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

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

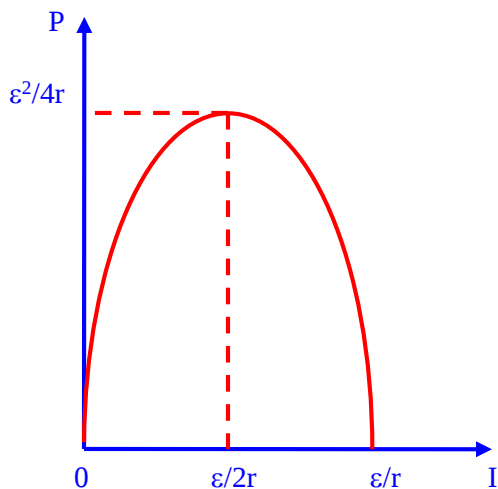
- ❖ ניתן גם לגזור את P לפי I ולהשוות את הנגזרת לאפס:

$$P'_R = -2rI + \varepsilon = 0$$

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

- ❖ נציב ערך זה בביטוי להספק:

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



הקשר בין הזרם לכא"מ במעגל הנתון הוא:

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

ההספק המרבי מתקבל עבור עוצמת זרם:

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

נשווה בין הביטויים ונקבל:

$$R = r$$

ההספק המרבי מתקבל כאשר ההתנגדות החיצונית שווה להתנגדות הפנימית, כלומר: $R=r$.

ההתנגדות הפנימית גורמת לבזבז אנרגיה. עובדה זו מתבטאת בכך שההספק המסופק על ידי המקור $I \cdot \varepsilon P =$, גדול יותר מההספק הנצרך על ידי הצרכן $P_R = I^2 \cdot R$ אשר נחשב מבחינתנו להספק המועיל.
נצילות המעגל החשמלי η מוגדרת כיחס בין ההספק המועיל P_R להספק המושקע P , כלומר:

$$\eta = \frac{P_R}{P} = \frac{V_R \cdot I}{\varepsilon \cdot I} = \frac{V_R}{\varepsilon}$$

$$V_{ab} = V_R = I \cdot R = \frac{\varepsilon}{R + r} \cdot R = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{R}}$$

$$\eta = \frac{V_R}{\varepsilon} = \frac{\frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{R}}}{\varepsilon} = \frac{1}{1 + \frac{r}{R}}$$

כאשר ההתנגדות הפנימית שווה להתנגדות החיצונית ההספק הוא מרבי, ושתייהן צורכות הספק זהה.
מכאן שבמקרה זה יעילות התהליך של הענקת אנרגיה לנגד החיצוני היא 0.5, כלומר 50%.
ההתנגדות הפנימית של סוללות עולה ככל שמשמשים בהן יותר. על כן, הנצילות שלהן הולכת וקטנה בהתאם לנוסחה, עד אשר לא ניתן להשתמש בהן יותר.

ילד רוצה להפעיל צעצוע חשמלי באמצעות סוללות זהות העומדות לרשותו. לכל אחת מהסוללות כא"מ של 1.5V והתנגדות פנימית של 100Ω . ההתנגדות החשמלית של הצעצוע היא 20Ω .

א. הילד חיבר לצעצוע סוללה אחת. חשבו את הזרם העובר במעגל החשמלי של הצעצוע.

ב. נצילות המעגל החשמלי מוגדרת כיחס בין ההספק המופק בצעצוע לבין ההספק המושקע במעגל כולו. הראו כי נצילות המעגל, שבו סוללה אחת מחוברת לצעצוע, היא $1/6$.

ג. כדי שהצעצוע יפעל "חזק יותר" וכדי להגדיל את הנצילות, הילד מחבר לצעצוע שתי סוללות בטור (במקום הסוללה האחת).

(1) חשבו את הזרם בצעצוע במצב זה.

(2) הראו כי נצילות המעגל, שבו שתי סוללות מחוברות בטור, אף נמוכה מנצילות

המעגל, שבו רק סוללה אחת הייתה מחוברת לצעצוע.

ד. אחותו של הילד מציעה לחבר לצעצוע שני סוללות שיהיו מחוברות במקביל (במקום בטור).

(1) חשבו את הזרם בצעצוע במצב החדש (חיבור במקביל).

(2) חשבו את נצילות המעגל במצב החדש, והראה כי חיבור שתי הסוללות במקביל אכן

ישפר את הנצילות בהשוואה לנצילות בסעיף ב.

פתרון תרגיל 8: הספק ונצילות- סעיפים א+ב

ילד רוצה להפעיל צעצוע חשמלי באמצעות סוללות זהות העומדות לרשותו. לכל אחת מהסוללות כא"מ של 1.5V והתנגדות פנימית של 100Ω . ההתנגדות החשמלית של הצעצוע היא 20Ω .

א. הילד חיבר לצעצוע סוללה אחת. חשבו את הזרם העובר במעגל החשמלי של הצעצוע.

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{1.5}{20 + 100} = 0.0125A$$

ב. נצילות המעגל החשמלי מוגדרת כיחס בין ההספק המופק בצעצוע לבין ההספק המושקע במעגל כולו. הראו כי נצילות המעגל, שבו סוללה אחת מחוברת לצעצוע, היא $1/6$.

$$\eta = \frac{P_1}{P_2} = \frac{I^2 \cdot R}{I^2 \cdot R + I^2 \cdot r} = \frac{R}{R + r} = \frac{20}{20 + 100} = \frac{1}{6} = 0.1666$$

פתרון תרגיל 8: הספק ונצילות - סעיפים ג+ד

ג. כדי שהצעצוע יפעל "חזק יותר" וכדי להגדיל את הנצילות, הילד מחבר לצעצוע שתי סוללות בטור (במקום הסוללה האחת).
(1) חשבו את הזרם בצעצוע במצב זה.

$$I_1 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_1}{R + 2r} = \frac{1.5 + 1.5}{20 + 2 \cdot 100} = 0.0136A$$

(2) הראו כי נצילות המעגל, שבו שתי סוללות מחוברות בטור, נמוכה מנצילות המעגל, שבו רק סוללה אחת מחוברת לצעצוע.

$$\eta_1 = \frac{I^2 \cdot R}{I^2 \cdot R + I^2 \cdot 2r} = \frac{R}{R + 2r} = \frac{20}{20 + 2 \cdot 100} = 0.09$$

$$\eta_1 < \eta$$

ד. אחותו של הילד מציעה לחבר לצעצוע שני סוללות שיהיו מחוברות במקביל (במקום בטור).

(1) חשבו את הזרם בצעצוע במצב החדש (חיבור במקביל).

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R + \frac{r}{2}} = \frac{1.5}{20 + \frac{100}{2}} = 0.0214A$$

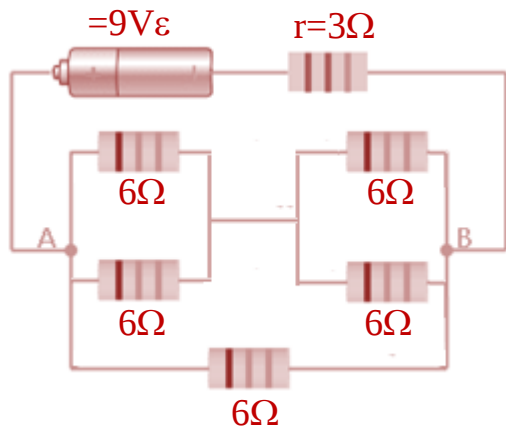
(2) חשבו את נצילות המעגל במצב החדש, והראו כי חיבור שתי הסוללות במקביל

אכן ישפר את הנצילות בהשוואה לנצילות בסעיף ב.

$$\eta_2 = \frac{I^2 \cdot R}{I^2 \cdot R + I^2 \cdot \frac{r}{2}} = \frac{R}{R + \frac{r}{2}} = \frac{20}{20 + \frac{100}{2}} = 0.286$$

$$\eta_2 > \eta_1$$

המעגל חשמלי שבתרשים כולל סוללה שהכא"מ שלה $9V$ והתנגדות הפנימית 3Ω , וחמישה נגדים.



א. מצאו את ההתנגדות השקולה בין הנקודות A ו-B.

ב. מצאו את מתח ההדקים של הסוללה.

ג. חשבו את ההספק:

1. המבוזבז במקור.

2. המנוצל במעגל.

3. המסופק על ידי המקור.

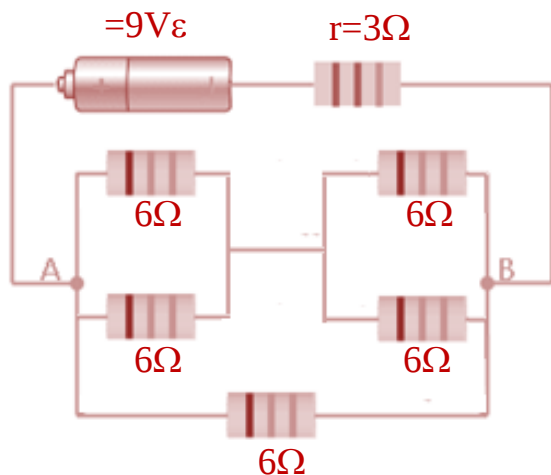
ד. חשבו את נצילות המקור.

ה. מנתקים את הנגד התחתון ביותר (הנגד שהתנגדותו 20Ω) מהמעגל.

האם מתח ההדקים יגדל, יקטן או לא ישתנה? נמקו.

פתרון תרגיל 9: הספק ונצילות

המעגל חשמלי שבתרשים כולל סוללה שהכא"מ שלה $9V$ והתנגדות הפנימית 3Ω , וחמישה נגדים.



א. מצאו את ההתנגדות השקולה בין הנקודות A ו- B.

$$R_{AB} = \left[\left(\frac{6 \cdot 6}{6 + 6} + \frac{6 \cdot 6}{6 + 6} \right) // 6 \right] = 3\Omega$$

ב. מצאו את מתח ההדקים של הסוללה.

$$R_T = 3 + \left[\left(\frac{6 \cdot 6}{6 + 6} + \frac{6 \cdot 6}{6 + 6} \right) // 6 \right] = 6\Omega$$

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{9}{6} = 1.5A$$

$$V_{AB} = \varepsilon - I \cdot r = 9 - 1.5 \cdot 3 = 4.5V$$

ג. חשבו את ההספק: (1) המבוזבז במקור (2) המנוצל במעגל (3) המסופק על ידי המקור.

$$P_R = I \cdot V_{AB} = 1.5 \cdot 4.5 = 6.75W$$

P_R : הספק הנצרך על ידי הצרכן

$$P_r = I^2 \cdot r = 1.5^2 \cdot 3 = 6.75W$$

$r \cdot I^2$ הספק המבוזבז במקור

$$P = I \cdot \mathcal{E} = 1.5 \cdot 9 = 13.5W$$

$I \cdot \mathcal{E}$: הספק המסופק על ידי המקור

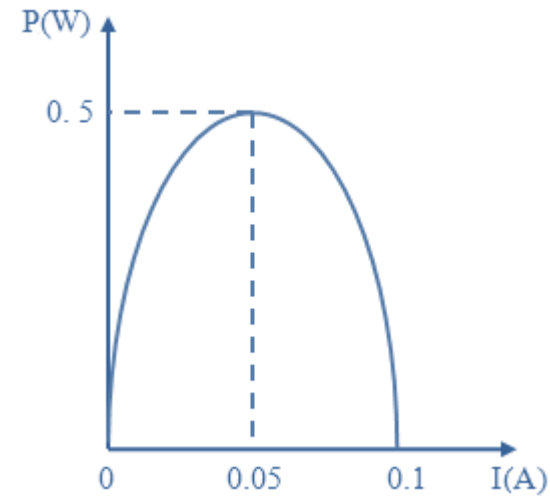
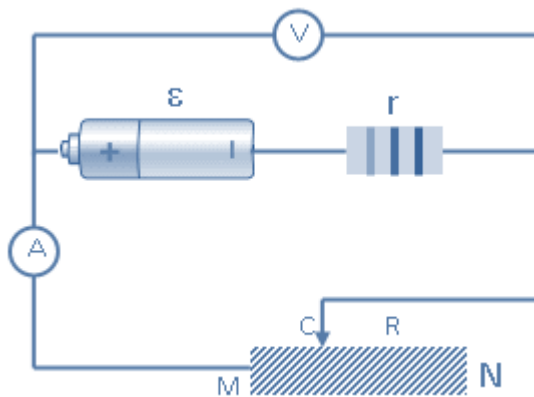
ד. חשבו את נצילות המקור.

$$\eta = \frac{P_R}{P} = \frac{6.75}{13.5} = 0.5$$

ה. מנתקים את הנגד התחתון ביותר (הנגד שהתנגדותו 20Ω) מהמעגל.
האם מתח ההדקים יגדל, יקטן או לא ישתנה? נמקו.

ההתנגדות השקולה תגדל, הזרם יקטן, ולכן מתח ההדקים יגדל.

בתרשים מתואר מעגל חשמלי הכולל מקור מתח שהכא"מ שלו ε , והתנגדותו הפנימית r ונגד משתנה R .
הגרף מתאר את ההספק P , המתפתח על הנגד המשתנה R , כפונקציה של הזרם I במעגל.



א. הוכח כי הקשר בין ההספק המתפתח על הנגד המשתנה (בקטע CM) לזרם במעגל מתואר על ידי

$$P_{(R)} = I \cdot \varepsilon - I^2 \cdot r \quad \text{הקשר:}$$

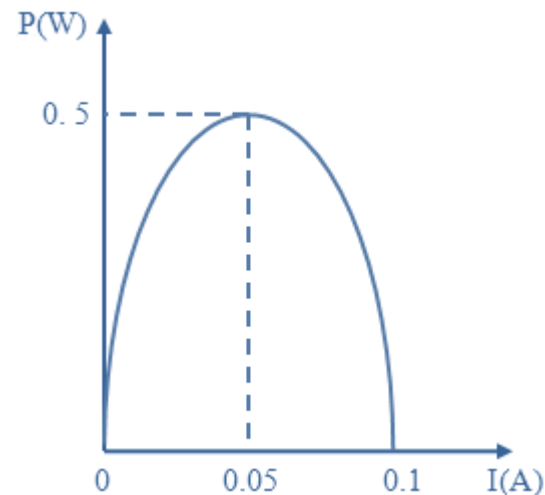
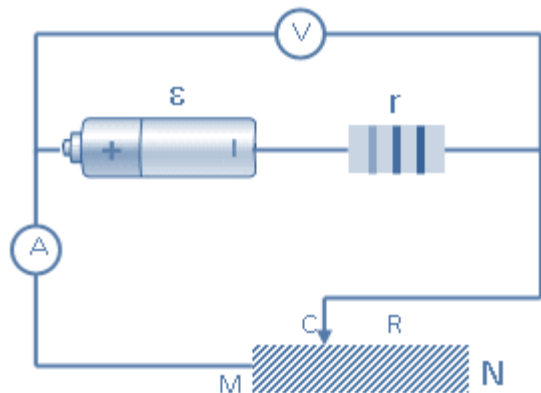
ב. באמצעות הביטוי בסעיף א', והגרף שלפניך מצא את הכא"מ ואת ההתנגדות הפנימית של המקור.

ג. היכן הייתה ממוקמת הגררה C בשני המצבים בהם ההספק P מתאפס?

ד. מה הייתה ההתנגדות R של הנגד המשתנה, במצב שבו ההספק P הוא מקסימאלי?

ה. מה היה המתח, ומה הייתה ההתנגדות R של הנגד המשתנה, במצב בו ההספק P שווה ל-0.2 W?

פתרון תרגיל 10: הספק ונצילות



א. הוכח כי הקשר בין ההספק המתפתח על הנגד המשתנה (בקטע CM) לזרם במעגל מתואר על ידי
הקשר: $P_{(R)} = I \cdot \varepsilon - I^2 \cdot r$.

$$P_R = V_R \cdot I = (\varepsilon - I \cdot r) \cdot I = -r \cdot I^2 + \varepsilon \cdot I$$

ב. באמצעות הביטוי בסעיף א', והגרף שלפניכם, מצאו את הכא"מ ואת ההתנגדות הפנימית של המקור.

$$0.1 = \frac{\varepsilon}{r}$$

נקודת החיתוך עם האופקי שווה ל- ε / r מכאן:

כאשר הזרם שווה ל- $0.05A$ ההספק הוא $0.5W$, מכאן:

$$0.5 = -r \cdot 0.05^2 + \varepsilon \cdot 0.05$$

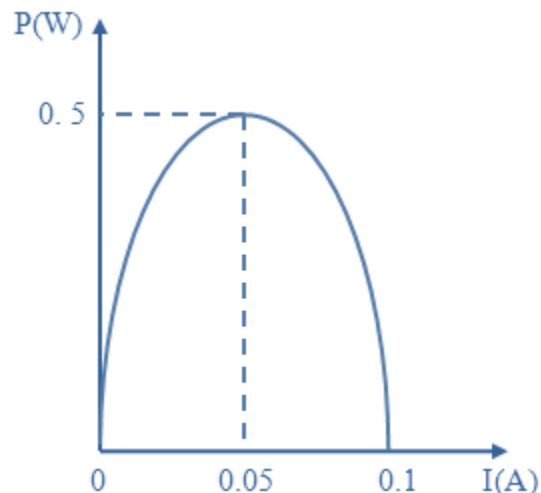
$$0.5 = -r \cdot 0.05^2 + 0.1r \cdot 0.05 \Rightarrow r = 200\Omega \Rightarrow \varepsilon = 0.1 \cdot 200 = 20V$$

פתרון תרגיל 10: הספק ונצילות- המשך

ג. היכן הייתה ממוקמת הגררה C בשני המצבים בהם ההספק P מתאפס?

כאשר הגררה מנותקת, הזרם שווה לאפס

וכאשר הגררה בנק' M הזרם שווה ל- ϵ / r כלומר 0.1A.



ד. מה הייתה ההתנגדות R של הנגד המשתנה, במצב שבו ההספק P הוא מקסימאלי?

במצב בו ההספק מרבי, מתקיים $R=r$ כלומר: $R=200\Omega$.

ה. מה היה המתח, ומה הייתה ההתנגדות R של הנגד המשתנה, במצב בו ההספק P שווה ל- 0.2 W?

$$P_R = -r \cdot I^2 + \epsilon \cdot I$$

$$0.2 = -200I^2 + 20I \Rightarrow I = 0.0102A$$

$$V_R = \epsilon - I \cdot r = 20 - 0.0102 \cdot 200 = 17.74V$$

$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{17.74}{0.0102} = 1739.8\Omega$$

❖ למקור מתח ממשי ישנה **התנגדות פנימית** r , הנובעת מהתנגדות לתנועת היונים בתוך המקור.
בעת סגירת המעגל החשמלי, הנגד והסוללה מתחממים, כלומר צורכים אנרגיה.

❖ הכא"מ - ε : כמות האנרגיה המוענקת לכל יחידת מטען העובר דרך המקור.

❖ מתח הדקים - V_{ab} : כמות האנרגיה המשוחררת על ידי כל יחידת מטען במעגל החיצוני.

❖ מתח פנימי - V_r : כמות האנרגיה המשוחררת על ידי כל יחידת מטען בתוך המקור.

❖ הקשר בין מתח ההדקים של סוללה לזרם דרכה:

$$V_{ab} = \varepsilon - r \cdot I$$

❖ בחיבור סוללות בטור הכא"מ השקול של הסוללה הוא סכום הכא"מים של התאים,

וההתנגדות הפנימית השקולה שווה לסכום ההתנגדויות הפנימיות של התאים.

$$\varepsilon_T = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

$$r_T = r_1 + r_2 + r_3$$

❖ בחיבור סוללות זהות במקביל הכא"מ השקול שווה לכא"מ של כל אחד מהתאים, וההתנגדות הפנימית

השקולה שווה ל:

$$\varepsilon_T = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3$$

$$r_T = \frac{r}{n}$$

❖ הספק מכשיר חשמלי מוגדר כקצב המרת אנרגיה חשמלית לסוגי אנרגיה אחרים.

$$P = \frac{E}{t} = \frac{q \cdot V}{t}$$

$$P = V \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$

❖ **נצילות המעגל החשמלי** η מוגדרת כיחס בין ההספק המועיל P_R להספק המושקע P , כלומר:

$$\eta = \frac{P_R}{P}$$

❖ כאשר ההתנגדות הפנימית שווה להתנגדות החיצונית ההספק הוא מרבי, והנצילות היא 50%.