

מגמה הנדסה יישומית

מודולה 1 כיתה י'

חוברת למורה בנושא: תורת חשמל

מחברים:

אירנה אוצ'יטל

רפי אמסלם

עורכת:

ד"ר אמונה אבו-יונס עלי

ייעוץ מדעי ופדגוגי:

ד"ר משה גרינהולץ

מפמ"ר המגמה:

שלומי אח נין

סמל מגמה: 1150

עדכון: אוגוסט 2025

כל הזכויות שמורות למשרד החינוך

מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים, מור-טק

הפרויקט מבוצע על ידי מוסד הטכניון עפ"י מכרז 11.2020/22

הפרויקט מבוצע עבור המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך

החוברת יצאה לאור במימון האגף למדעים במזכירות הפדגוגית ומינהלת מל"מ המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי.

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם, לאחסן במאגר מידע, לשדר או לקלוט בכל דרך או אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני או אחר כל חלק שהוא מהחומר שבחוברת זו. שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בחוברת זו אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמוציא לאור.

תוכן עניינים

1.....	הנחיות למורה
3.....	פרק 1: מבוא לחשמל (2 שעות)
4.....	פרק 2: מטענים חשמליים ושדה חשמלי (5 שעות)
8.....	פרק 3: מתחים וזרמים חשמליים (7 שעות)
13.....	פרק 4: התנגדות חשמלית (4 שעות לימוד)
18.....	פרק 5: מעגל טורי, מקבילי ומעורב (11 שעות)
25.....	פרק 6: הספק במעגל חשמלי (3 שעות)
33.....	פרק 7: מעגל דו-חוגי (5 שעות)
37.....	פרק 8: מכשירי מדידה חשמליים (3 שעות)

הנחיות למורה

החוברת נבנתה כדי לשמש כלי עבודה למורה בתורת החשמל, ולשלב בין הסבר תיאורטי ברור, דוגמאות חישוביות ותרגול מעשי. החוברת כוללת פרקים מסודרים לפי סדר לוגי – מהיסודות הפיזיקליים של החשמל ועד יישומים במדידה ובניתוח מעגלים.

המורה יכול להשתמש בה בשלושה אופנים עיקריים:

1. כתכנית שיעור מלא - ללכת לפי סדר הפרקים, זמן ההוראה המוצע, והדוגמאות.
2. כמאגר תרגילים - לבחור דוגמאות ומשימות לפי הצורך והקצב של הכיתה.
3. כמקור העשרה - להעמיק או להרחיב נושא בעזרת שאלות מתקדמות והסברים נוספים.

טיפים למורה לפי ניסיון בשטח

1. ניהול קצב ההוראה
 - בפרקים הראשונים (מבוא, מטענים, מתח וזרם) רצוי להאט את הקצב ולוודא שכל התלמידים מבינים את המושגים הבסיסיים, כי הם הבסיס לכל הפרקים הבאים.
 - בשיעורים על מעגלים חשמליים – לעבור מהדמיות ותיאוריה לתרגול מעשי עם לוחות ניסוי (Breadboard) או תוכנות סימולציה כמו Multisim, Tinkercad, Circuit Wizard.
2. הדגשת מושגים קריטיים
 - חוק אוהם: לוודא שהתלמידים יודעים ליישם אותו בכל שלושת הצורות:

$$V = I * R, I = \frac{V}{R}, R = \frac{V}{I}$$
 - חוקי קירכהוף – להציג עם תרשימי זרמים וחצים ברורים.
 - הבדל בין חיבור טורי ומקבילי – להמחיש בעזרת דוגמאות מוחשיות (למשל, שרשרת נורות לעומת מפצל חשמל ביתי).
3. שילוב דוגמאות מהחיים
 - לקשר כל נושא לשימוש יומיומי – לדוגמה, בפרק על התנגדות: למה כבלי חשמל עבים יותר מעבירים יותר זרם, או מדוע כבל מאריך ארוך מידי יכול להתחמם.

- בפרק על הספק – לקשר לחשבון החשמל הביתי, כולל המרת W ל- kWh וחישוב עלויות.
- 4. התמודדות עם נושאים קשים לתלמידים
- שדה חשמלי וחוק קולון: למידים מתקשים להבין את הכוחות הווקטוריים. מומלץ להשתמש באיורים עם חצים ברורים, ולפתור דוגמאות צעד-אחר-צעד.
- מעגלים מעורבים: ללמד אסטרטגיה לפתרון: קודם כל צמצום מקבילים, ואז חיבור טורי, ורק בסוף חישוב זרמים ומתח.
- מעגלים דו-חוגיים: להציג בצורה הדרגתית: קודם דוגמאות פשוטות, ורק אחר כך מעבר לפתרון מערכות משוואות.
- 5. ניהול שיעור אינטראקטיבי
- לשלב שאלות קצרות בכיתה לאחר כל הסבר, כדי לוודא הבנה מיידי.
- לתת תרגיל פתור חלקית ולבקש מהתלמידים להשלים את הצעדים החסרים.
- לעודד תלמידים להסביר זה לזה מושגים – "למידת עמיתים" מחזקת את ההבנה.
- 6. שימוש באיורים ובמידות
- בכל פרק שמדבר על מכשירי מדידה – לבצע הדגמה בכיתה עם מולטימטר.
- להיעזר בתרשימי מעגל צבעוניים כדי להבדיל בין רכיבים, זרמים ומקורות מתח.
- מומלץ לצלם את הלוח בסוף ההסבר ולשלוח לתלמידים – כך יישאר להם תיעוד של הפתרון.
- 7. הערכה ובדיקת הבנה
- בסוף כל פרק – לתת תרגילי חזרה ברמות קושי שונות.
- לכלול שאלות הבנה מילוליות לצד חישובים מספריים.
- להוסיף מבחני סימולציה מעשיים – לדוגמה, "חברו מעגל שיפעיל נורה בעוצמה מקסימלית עם התנגדויות הנתונות."

פרק 1: מבוא לחשמל (2 שעות)

מטרות

- הכרת מושגי היסוד של חשמל (מתח, זרם, הספק) בהקשר לחיי היום-יום.
- זיהוי שימושי חשמל בסביבה הקרובה.

היסטוריה של החשמל

ההבנה האנושית בחשמל התחילה מתצפיות בברקים וחשמל סטטי. בהמשך התפתחו ניסויים של פרנקלין, גלואני, וולטה ואחרים שהובילו להמצאת הסוללה והמעגלים החשמליים. שאלה – רמת בסיס: איזה אירוע נחשב לפריצת דרך בהפקת חשמל לצרכים מעשיים? פתרון: המצאת הסוללה ע"י וולטה – איפשרה יצירת זרם חשמלי קבוע.

מקורות חשמל טבעיים ואלקטרוניים

מקורות טבעיים: ברק, חשמל סטטי, תאים ביולוגיים.
מקורות מלאכותיים: תחנות כוח, סוללות, אנרגיה סולרית.
שאלה – רמת ביניים: מה ההבדל בין הפקת חשמל בתחנת כוח לבין סוללה?
פתרון: תחנת כוח מייצרת חשמל ע"י השראה מגנטית; סוללה - תגובה כימית פנימית.

שימושי חשמל בסביבה הטכנולוגית

חשמל נמצא בכל תחום: בבית – תאורה, חימום, טעינה; בתעשייה – מנועים, חיישנים, רובוטים.
שאלה – רמת בסיס: אילו שני תחומים עושים שימוש יומיומי בחשמל?
פתרון: בית ותעשייה.

פרק 2: מטענים חשמליים ושדה חשמלי (5 שעות)

מטרות

-הבנת מושג המטען החשמלי.

-הבנת חוק קולון והשפעתו על מטענים חשמליים.

מבנה האטום ותכונות של מטען חשמלי

החומר מורכב מאטומים שבתוכם פרוטונים (חיוביים), נויטרונים (נטרלים) ואלקטרונים (שליליים).
 אלקטרונים יכולים לעבור בין גופים ולהוביל לטעינה.

שאלה – רמת בסיס: גוף ניטרלי איבד שני אלקטרונים. מה סוג המטען שלו כעת?

פתרון: איבד שליליים $\leftarrow$ נשאר עודף חיובי $\leftarrow$ טעון חיובית.

חוק קולון והשפעתו

הכוח בין שני מטענים:

$$F = \frac{k \times (q_1 \times q_2)}{r^2} \quad \text{כאשר } k \approx 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

שאלה – רמת ביניים: מה הכוח בין שני מטענים של $3\mu\text{C}$ כל אחד, במרחק 0.3 מטר?

פתרון:

$$F = \frac{9 \times 10^9 \times (3 \times 10^{-6}) \times (3 \times 10^{-6})}{0.09} = 0.9 \text{ N}$$

שדה חשמלי והשפעתו על תנועת מטענים

$$E = k \frac{q}{r^2} \quad \text{או} \quad E = \frac{F}{q}$$

מטען בשדה יחוש כוח בכיוון השדה.

שאלה – רמת בסיס: מהו השדה החשמלי במרחק 0.2m ממטען של $1\mu\text{C}$?

פתרון:

$$E = 9 \times 10^9 \frac{1 \times 10^{-6}}{0.04} = 2.25 \times 10^5 \text{ V/m}$$

חישוב שדה חשמלי על ציר בין שני מטענים

שדה מכל מטען מחושב בנפרד ומחברים ווקטורית.

שאלה – רמת ביניים:

$$q_1 = 2\mu\text{C}, q_2 = 1\mu\text{C}, x_1 = 0\text{cm}, x_2 = 4\text{cm}$$

פתרון:

$$E_1 = k \frac{q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6} / 0.0004 = 4.5 \times 10^6 \text{ V/m}$$

$$E_2 = k \frac{q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 1 \times 10^{-6} / 0.0004 = 2.25 \times 10^6 \text{ V/m}$$

$$E_{\text{total}} = E_1 - E_2 = 2.25 \times 10^6 \text{ V/m}$$

השפעת שדה חשמלי על מטען שלישי

כוח כולל:

$$F_{\text{total}} = F_1 - F_2, \text{ לפי חוק קולון.}$$

שאלה – רמת מתקדמים:

שני מטענים חיוביים ($3\mu\text{C}, 2\mu\text{C}$) במרחק 10 ס"מ. מטען $1\mu\text{C}$ – באמצע. מה הכוח עליו?

פתרון:

$$F_1 = k \frac{q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 3 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6} / 0.0025 = 1.08 \text{ N}$$

$$F_2 = k \frac{q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6} / 0.0025 = 0.72 \text{ N}$$

$$F_{\text{total}} = 1.08 - 0.72 = 0.36 \text{ N}$$

חישוב שדה חשמלי מנקודת שוויון

בין מטענים שווי ערך וניגודי סימן קיימת נקודה בה השדות מבטלים זה את זה.

שאלה – רמת ביניים:

$$q_1 = 3\mu\text{C}, q_2 = -3\mu\text{C}, x_1 = 0\text{cm}, x_2 = 6\text{cm}$$

היכן נקודת השוויון?

פתרון:

ניסוח הבעיה

שני מטענים נקודתיים על ציר x במרחק 6 cm זה מזה:

נדרש: למצוא נקודה על ציר x שבה סכום השדות החשמליים מתאפסים.

- כיוון השדה: יוצא ממטען חיובי, נכנס למטען שלילי.
- כדי שסכום השדות יתאפס, יש צורך ששני השדות יהיו שווים בגודל ומנוגדים בכיוון באותה נקודה.

בדיקת תחומי x על הציר.

בין המטענים ($0 < x < 0.06$)

□ השדה של q_1 מצביע ימינה.

□ השדה של q_2 גם מצביע ימינה (אל המטען השלילי שבימין).

□ המסקנה: שני השדות באותו כיוון ← הם מתווספים, ולא יתכן ביטול.

משמאל ל q_1 ($x < 0$) או מימין ל q_2 ($x > 0.06$).

כאן הכיוונים מנוגדים ולכן ייתכן ביטול. כדי לבדוק, נשווה גדלים:

נסמן x כמיקום הנקודה לאורך הציר. אז

- המרחק ממטען q_1 : $r_1 = |0 - x| = |x|$

- המרחק ממטען q_2 : $r_2 = |0.06 - x|$

$$r_1 = r_2 ; \quad \frac{1}{r_1^2} = \frac{1}{r_2^2} ; \quad \frac{kq_1}{r_1^2} = \frac{kq_2}{r_2^2}$$

הנקודה יוצאת באמצע הקטע והשדות באותו כיוון כלומר מסתכמים לכן, לא תתכן נקודת אפס

אם $r_1 = r_2$.

$E_1 = E_2 \rightarrow x^2 = (x + 0.06)^2$ אין פתרון למשוואה הזו.

פרק 3: מתחים וזרמים חשמליים (7 שעות)

רקע תיאורטי קצר

הרקע התיאורטי לפרק 3 מתמקד בהכרת המושגים: זרם חשמלי, פוטנציאל חשמלי, מתח חשמלי, מוליך ומבודד חשמלי, וכן קצר ונתק.

הערה חשובה: ההסברים המפורטים למושגים הבאים והדוגמאות עם הפתרונות אינם מופיעים במפורש במקורות שסופקו, אלא נכתבו על בסיס הנושאים המפורטים בתוכנית הלימודים בפרק זה.

פוטנציאל חשמלי ומתח חשמלי (Potential and Voltage)

פוטנציאל חשמלי הוא גודל המבטא את האנרגיה הפוטנציאלית החשמלית ליחידת מטען בנקודה מסוימת במרחב. ניתן לחשוב עליו כ"גובה" חשמלי. מטענים חשמליים נוטים לנוע מנקודה בעלת פוטנציאל גבוה לנקודה בעלת פוטנציאל נמוך.

מתח חשמלי או (הפרש פוטנציאלים) הוא ההבדל בפוטנציאל החשמלי בין שתי נקודות במעגל או בשדה חשמלי. מתח מוגדר כעבודה הנדרשת כדי להזיז יחידת מטען מנקודה אחת לאחרת. יחידת המידה של המתח היא וולט (V). מתח הוא הכוח המניע (הכוח האלקטרו-מניע, כ.א.מ.) הגורם לזרם חשמלי לזרום במעגל.

תא חשמלי (Electric Cell)

תא חשמלי, או סוללה, הוא רכיב המספק הפרש פוטנציאלים קבוע במעגל חשמלי. הוא ממיר אנרגיה כימית לאנרגיה חשמלית, ובכך יוצר "שיפוע פוטנציאלים" המאפשר לזרם לזרום.

זרם חשמלי (Electric Current)

זרם חשמלי הוא תנועה מכוונת של מטענים חשמליים, לרוב אלקטרונים, דרך חומר מוליך. יחידת המידה של הזרם היא אמפר (A) והיא מבטאת את כמות המטען העוברת בנקודה נתונה בזמן נתון (קולון לשנייה) מידע חיצוני. כיוון הזרם המוסכם (זרם קונבנציונלי) הוא מכיוון הפוטנציאל הגבוה לנמוך, כלומר מן הפלוס למינוס מחוץ למקור.

מוליכים ומבודדים (Conductors and Insulators)

מוליך חשמלי הוא חומר שדרכו מטענים חשמליים (כמו אלקטרונים חופשיים) יכולים לנוע בקלות יחסית. מתכות רבות, כגון נחושת ואלומיניום, הן מוליכים טובים מידע חיצוני.

מבודד חשמלי הוא חומר המונע או מגביל מאוד את תנועת המטענים החשמליים דרכו. פלסטיק, גומי וזכוכית הם דוגמאות למבודדים טובים.

קצר ונתק (Short Circuit and Open Circuit)

קצר (Short Circuit) מתרחש כאשר נוצר נתיב בעל התנגדות נמוכה מאוד, כמעט אפסית, בין שתי נקודות במעגל שאמורות להיות במתח גבוה זו ביחס לזו.

במצב זה, זרם עצום עלול לזרום דרך הנתיב הקצר, מה שעלול לגרום להתחממות יתר, נזק למעגל ואף שריפה.

נתק (Open Circuit) מתרחש כאשר ישנה הפסקה בנתיב המוליך של המעגל, ומונעת בכך זרימת זרם חשמלי.

במצב נתק, הזרם במעגל הוא אפס, אך עדיין יכול להיות הפרש מתח בין קצוות הנתק.

דוגמאות ברמות קושי שונות ופתרונות מפורטים

להלן מספר דוגמאות שיעזרו בהבנת החומר, ברמות קושי שונות.

הערה חשובה: דוגמאות אלו ופתרונותיהן אינם מופיעים במקורות שסופקו, אלא נוצרו לצורך המחשה והתרגול של הנושאים הנלמדים בפרק זה. ייתכן שתמצאו לאמת מידע זה באופן עצמאי.

דוגמא 1: זיהוי סוג חומר (רמת קושי: קל)

שאלה: לרשותך החומרים הבאים: חוט נחושת, פיסת עץ יבשה, מים מזוקקים, גרפיט (עופרת של עיפרון) וחוט גומי. סווג את החומרים למוליכים חשמליים ולמבודדים חשמליים.

פתרון מפורט:

1. הבנת המושגים: עלינו לזכור כי מוליך חשמלי מאפשר למטענים לנוע בחופשיות דרכו, ואילו

מבודד חשמלי מונע או מגביל מאוד תנועת מטענים.

2. ניתוח החומרים:

- חוט נחושת: נחושת היא מתכת. מתכות ידועות בכך שיש להן אלקטרונים חופשיים רבים המאפשרים זרימת זרם. לכן, חוט נחושת הוא מוליך חשמלי.
- פיסת עץ יבשה: עץ יבש הוא חומר שאינו מכיל אלקטרונים חופשיים רבים ואינו מאפשר זרימת זרם בקלות. לכן, פיסת עץ יבשה היא מבודד חשמלי.

- מים מזוקקים: מים מזוקקים הם מים טהורים ללא יונים או מלחים. ללא יונים, תנועת המטענים מוגבלת מאוד. לכן, מים מזוקקים הם מבודד חשמלי (חשוב לציין שמי ברז, המכילים מלחים ויונים, הם מוליכים טובים יחסית).
- גרפיט (עופרת של עיפרון): גרפיט הוא צורה אלטרופית של פחמן, והוא חומר ייחודי המוליך חשמל היטב עקב המבנה השכבתי שלו המאפשר תנועת אלקטרונים. לכן, גרפיט הוא מוליך חשמלי.
- חוט גומי: גומי הוא פולימר בעל מבנה מולקולרי שאינו מאפשר תנועה קלה של אלקטרונים. הוא משמש רבות לבידוד כבלי חשמל. לכן, חוט גומי הוא מבודד חשמלי.

3. סיכום:

- מוליכים חשמליים: חוט נחושת, גרפיט.
- מבודדים חשמליים: פיסת עץ יבשה, מים מזוקקים, חוט גומי.

דוגמא 2: חישוב זרם ומטען (רמת קושי: בינוני)

שאלה: נתון כי 60 קולון של מטען חשמלי עוברים דרך נקודה מסוימת בחוט מוליך במשך 5 שניות

א. מהו הזרם החשמלי העובר בחוט?

ב. כמה זמן ייקח ל-180 קולון של מטען לעבור באותה נקודה אם הזרם נשאר קבוע?

פתרון מפורט:

1. הבנת המושגים והנוסחאות:

זרם חשמלי (I) מוגדר ככמות המטען (Q) העוברת בנקודה מסוימת ליחידת זמן (t)

$$I = Q / t$$

הנוסחה היא:

יחידות: I – אמפר (A), Q – קולון (C), t – שניות (s)

2. סעיף א' - חישוב הזרם:

$$Q = 60 \text{ C}, t = 5 \text{ s}$$

$$I = Q / t$$

נשתמש בנוסחה

$$I = 60 \text{ C} / 5 \text{ s} = 12 \text{ (A)}$$

3. סעיף ב' - חישוב הזמן:

נתונים, $Q = 180 \text{ C}$:והזרם (I) שחישבנו בסעיף א' הוא $A 12$ (הזרם נשאר קבוע).

נשתמש שוב בנוסחה $I = Q / t$ ונחליף ממנה $t = Q / I$

$$t = 180 \text{ C} / 12 \text{ A} = 15 \text{ s}$$

4. סיכום:

א. הזרם החשמלי העובר בחוט הוא 12 A אמפר.

ב. ייקח 15 s שניות ל- 180 C קולון של מטען לעבור באותה נקודה.

דוגמא 3: ניתוח מעגל פתוח וקצר (רמת קושי: קשה / קונספטואלי)

שאלה: נתון מעגל חשמלי פשוט המורכב ממקור מתח (סוללה), נורה ומפסק המחוברים בטור

א. תאר מה קורה לזרם ולמתח על הנורה כאשר המפסק פתוח (נתק). הסבר מדוע הנורה אינה דולקת.

ב. תאר מה קורה לזרם ולמתח על הנורה אם בטעות נוצר קצר בין הדקי הנורה (כלומר, חוט מוליך בעל התנגדות אפסית מחובר במקביל לנורה). הסבר מה עלולות להיות ההשלכות.

פתרון מפורט:

1. הבנת המושגים:

נתק (Open Circuit) הפסקה בנתיב המוליך, מונעת זרימת זרם.

קצר (Short Circuit) נתיב בעל התנגדות נמוכה מאוד, מאפשר זרימת זרם גבוה

נורה: צרכן במעגל, זקוק לזרם שיעבור דרכה כדי לדלוך.

2. סעיף א' - מפסק פתוח (נתק):

תיאור: כאשר המפסק פתוח, נוצר נתק במעגל החשמלי. הדרך שבה האלקטרונים יכולים לזרום מהסוללה דרך הנורה ובחזרה לסוללה נחסמת.

זרם: בגלל הנתק, הזרם החשמלי במעגל הוא אפס ($I=0$). אין תנועה מכוונת של מטענים.

מתח על הנורה: למרות שאין זרם, עדיין קיים מתח על הנורה. המתח על הנורה יהיה שווה

למתח על המקור (הסוללה) מכיוון שהנורה והמפסק הפתוח יוצרים סדרה שעל פניה מופיע כל

מתח הסוללה. בנקודה אחת במעגל, לפני הנתק, קיים פוטנציאל גבוה, ואחרי הנתק, פוטנציאל

נמוך (אך המתח "נופל" על הנתק עצמו).

הסבר מדוע הנורה אינה דולקת: הנורה זקוקה לזרם חשמלי שיעבור דרכה כדי שהחוט הלהט שבתוכה יתחמם ויפיק אור. מכיוון שבמצב נתק אין זרם כלל, הנורה אינה דולקת.

3. סעיף ב' - קצר בין הדקי הנורה:

תיאור: חיבור חוט בעל התנגדות אפסית במקביל לנורה יוצר "שביל עוקף" לזרם החשמלי. הזרם תמיד יעדיף את הנתיב בעל ההתנגדות הנמוכה ביותר.

מתח על הנורה: מכיוון שחוט הקצר בעל התנגדות אפסית, על פי חוק אוהם (שאותו נלמד לעומק בפרק 5, הפרש הפוטנציאלים) (המתח) על חוט הקצר יהיה אפס, $V = I * R$, ואם $R=0$, אז $V=0$ מכיוון שהחוט הקצר מחובר במקביל לנורה, המתח על הנורה יהיה גם הוא אפס ($V=0$).

זרם: רוב הזרם (או כולו, בהתנגדות אפסית מוחלטת) יעדיף לזרום דרך נתיב הקצר במקום דרך הנורה. הזרם הכולל מהסוללה יכול לעלות באופן דרמטי (להיות זרם קצר) מכיוון שההתנגדות הכוללת של המעגל ירדה משמעותית (נתיב הקצר עוקף את התנגדות הנורה. השלכות:

הנורה אינה דולקת: כיוון שאין עליה מתח (או מתח זניח), ואין זרם משמעותי העובר דרכה, הנורה אינה דולקת.

חימום יתר ונזק: זרם הקצר הגבוה העובר דרך הסוללה והחוטנים הנותרים במעגל עלול לגרום להתחממות יתר של הרכיבים, מה שעלול להוביל לנזק לסוללה, להתכת החוטנים, ואף לשריפה ריקון מהיר של הסוללה: הסוללה תתרוקן במהירות רבה עקב הדרישה לזרם גבוה.

פרק 4: התנגדות חשמלית (4 שעות לימוד)

יעדים עיקריים

- הכרת מושג ההתנגדות הסגולית.
- הכרת הגורמים הגאומטריים המשפיעים על התנגדות חשמלית.

רקע תיאורטי קצר

התנגדות חשמלית (Resisitance) היא תכונה של חומר להתנגד למעבר זרם חשמלי דרכו. לכל חומר יש יכולת שונה להוליך חשמל, והתנגדותו נמדדת ביחידות אוהם (Ω). התנגדות זו תלויה במספר גורמים:

1. סוג החומר התנגדות סגולית (Resistivity): לכל חומר יש התנגדות סגולית אופיינית משלו, המסומלת באות יוונית ρ (חומרים מוליכים (כמו נחושת) בעלי התנגדות סגולית נמוכה, בעוד חומרים מבודדים (כמו גומי) בעלי התנגדות סגולית גבוהה).
2. אורך המוליך (L): ככל שהמוליך ארוך יותר, כך עולה התנגדותו. הזרם צריך לעבור דרך יותר "מכשולים" אטומיים.
3. שטח החתך של המוליך (A): ככל ששטח החתך של המוליך גדול יותר (כלומר, הוא עבה יותר), כך יורדת התנגדותו. שטח חתך גדול יותר מאפשר ליותר אלקטרונים לעבור בו זמנית, בדומה למספר נתיבים בכביש.
4. טמפרטורה (T): במרבית המתכות, עלייה בטמפרטורה גורמת לעלייה בהתנגדות, מכיוון שתנועת החלקיקים עולה, וזה מגביר את הסיכוי להתנגשויות המפריעות לזרימת האלקטרונים.

נוסחה המרכזית לחישוב התנגדות מוליך, המקשרת בין גורמים אלו, היא:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

כאשר:

- R - היא ההתנגדות באוהם (Ω)
- ρ - היא ההתנגדות הסגולית באוהם-מטר ($\Omega \cdot m$)
- L - הוא אורך המוליך במטרים (m)
- A - הוא שטח החתך של המוליך במטרים רבועים (m^2)

דוגמאות ותרגילים

נציג כעת מספר דוגמאות ברמות קושי שונות, יחד עם פתרונות מפורטים.

דוגמה 1: חישוב התנגדות ישרה (רמת קושי: קלה).

שאלה: חשב את ההתנגדות של חוט נחושת באורך 10 מטר, בעל שטח חתך של 1 מ"מ².

התנגדותה הסגולית של נחושת היא $1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

פתרון מפורט:

שלב 1: איסוף הנתונים והמרת יחידות (במידת הצורך), נתונים לנו:

• אורך המוליך $L=10 \text{ m}$

• שטח חתך המוליך $A = 1 \text{ מ"מ}^2$, עלינו להמיר מ"מ² למטרים רבועים (מ²)

$1 \text{ מ"מ}^2 = 10^{-3} \text{ מטר}^2$, ולכן $1 \text{ מ"מ}^2 = (10^{-3} \text{ מ}')^2 = 10^{-6} \text{ מ"מ}^2$.

לכן $A = 1 \times 10^{-6} \text{ מ"מ}^2$.

• התנגדות סגולית $\rho = 1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

שלב 2: שימוש בנוסחת ההתנגדות. הנוסחה לחישוב התנגדות היא:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

שלב 3: הצבת הערכים וחישוב. נציב את הנתונים בנוסחה:

$$R = (1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m) * (10 \text{ m} / 1 \times 10^{-6} \text{ מ"מ}^2)$$

$$R = (1.68 \times 10^{-8}) * (10 / 10^{-6}) \Omega$$

$$R = (1.68 \times 10^{-8}) * (10^7) \Omega$$

$$R = 1.68 \times 10^{-1} \Omega$$

$$R = 0.168 \Omega$$

תשובה: התנגדות חוט הנחושת היא 0.168 אוהם (Ω)

דוגמה 2: מציאת שטח חתך נדרש (רמת קושי: בינונית)

שאלה: רוצים לייצר נגד מחוט ניקל-כרום (ניכרום) באורך 50 ס"מ, כך שהתנגדותו תהיה 20 אוהם. התנגדותה הסגולית של ניכרום היא $\rho = 1.1 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$ מה צריך להיות שטח החתך של החוט ב- m^2 ?

פתרון מפורט:

שלב 1: איסוף הנתונים והמרת יחידות. נתונים לנו:

• התנגדות רצויה. $R = 20 \Omega$,

• אורך המוליך $L = 50$ ס"מ, $L = 0.5$ מטר.

• התנגדות סגולית $\rho = 1.1 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$

• הלא ידוע הוא שטח החתך A

שלב 2: ארגון הנוסחה לחישוב A נתחיל מהנוסחה המוכרת:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

נבודד את A מהנוסחה:

$$A * R = \rho * L$$

$$A = (\rho * L) / R$$

שלב 3: הצבת הערכים וחישוב. נציב את הנתונים בנוסחה המאורגנת:

$$A = (1.1 \times 10^{-6} \Omega \cdot m * 0.5 m) / 20 \Omega$$

$$A = (0.55 \times 10^{-6} m^2) / 20$$

$$A = 0.0275 \times 10^{-6} m^2$$

$$A = 2.75 \times 10^{-8} m^2$$

שלב 4: המרת שטח החתך חזרה ל- מ^2 (במידת הצורך). (התוצאה היא במטרים רבועים, והשאלה מבקשת ב- מ^2 . נזכור ש- $1 \text{ מ}^2 = 10^6 \text{ מ}^2$).

$$A = 2.75 \times 10^{-8} \text{ m}^2 * (10^6 \text{ mm}^2 / 1 \text{ m}^2)$$

$$A = 2.75 \times 10^{-2} \text{ mm}^2$$

$$A = 0.0275 \text{ mm}^2$$

תשובה: שטח החתך הנדרש של החוט הוא 0.0275 מ^2 .

דוגמה 3: השפעת שינוי ממדים (רמת קושי: גבוהה)

שאלה: נתון חוט מוליך בעל התנגדות R מה תהיה ההתנגדות של חוט מאותו חומר, שאורכו כפול וקוטרו קטן פי חצי?

פתרון מפורט:

שלב 1: הגדרת המצב ההתחלתי. נניח שהאורך ההתחלתי הוא L_0 הקוטר ההתחלתי הוא d_0 ושטח החתך ההתחלתי הוא A_0 שטח החתך של חוט הוא שטח מעגל

$$A_0 = \pi * (d_0/2)^2 = \pi * d_0^2/4$$

ההתנגדות ההתחלתית היא:

$$R_0 = \rho * \left(\frac{L_0}{A_0}\right)$$

$$R_0 = \rho * (L_0 / (\pi * d_0^2/4))$$

$$R_0 = (4 * \rho * L_0) / (\pi * d_0^2)$$

שלב 2: הגדרת המצב החדש.

• אורך חדש: $L_1 = 2 * L_0$: אורך כפול.

• קוטר חדש: $d_1 = d_0 / 2$: קוטר קטן פי חצי.

• שטח חתך חדש: $A_1 = \pi * (d_1/2)^2 = \pi * ((d_0/2)/2)^2 = \pi * (d_0/4)^2 = \pi * d_0^2/16$

שלב 3: חישוב ההתנגדות החדשה (R_1)

נציב את L_1 ו- A_1 בנוסחת ההתנגדות:

$$R_1 = \rho * \left(\frac{L_1}{A_1}\right)$$

$$R_1 = \rho * (2 * L_0 / (\pi * d_0^2/16))$$

נארגן מחדש את הביטוי:

$$R_1 = \rho * 2 * L_0 * (16 / (\pi * d_0^2))$$

$$R_1 = (32 * \rho * L_0) / (\pi * d_0^2)$$

שלב 4: השוואה בין ההתנגדות החדשה לישנה

נשווה את R_1 ל R_0 נזכור ש $R_0 = (4 * \rho * L_0) / (\pi * d_0^2)$ נחלק את R_1 ב R_0

$$R_1 / R_0 = [(32 * \rho * L_0) / (\pi * d_0^2)] / [(4 * \rho * L_0) / (\pi * d_0^2)]$$

ניתן לבטל את הביטוי $(\rho * L_0) / (\pi * d_0^2)$ משני האגפים:

$$R_1 / R_0 = 32 / 4$$

$$R_1 / R_0 = 8$$

$$R_1 = 8 * R_0$$

תשובה: ההתנגדות של החוט החדש תהיה גדולה פי 8 מההתנגדות ההתחלתית.

פרק 5: מעגל טורי, מקבילי ומעורב (11 שעות)

רקע תיאורטי: מושגים וחוקים בסיסיים בחשמל

תוכנית הלימודים בנושא חשמל נועדה להקנות לתלמידים ידע בסיסי בתורת החשמל, תוך שילוב בין הוראה עיונית לעבודה מעשית. התוכנית כוללת נושאים מרכזיים כגון מטענים חשמליים, זרם חשמלי, חוק אוהם, ומעגלים חשמליים. המעגלים החשמליים הנלמדים כוללים מעגלים טוריים, מקביליים ומעורבים.

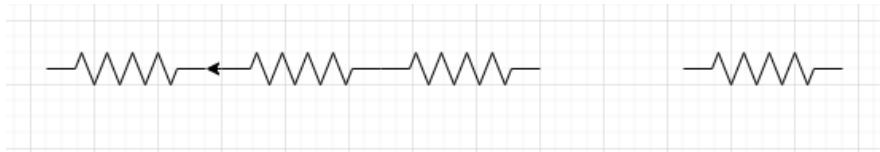
להלן מושגי היסוד והחוקים המרכזיים:

- חוק אוהם (Ohm's Law): הנוסחה המרכזית המתארת את הקשר בין מתח (V) , זרם (I) והתנגדות (R) היא $V = I * R$

חוק אוהם מתאר גם הפרש פוטנציאלים בין שתי נקודות במעגל. $V_A - V_B = I * R$:

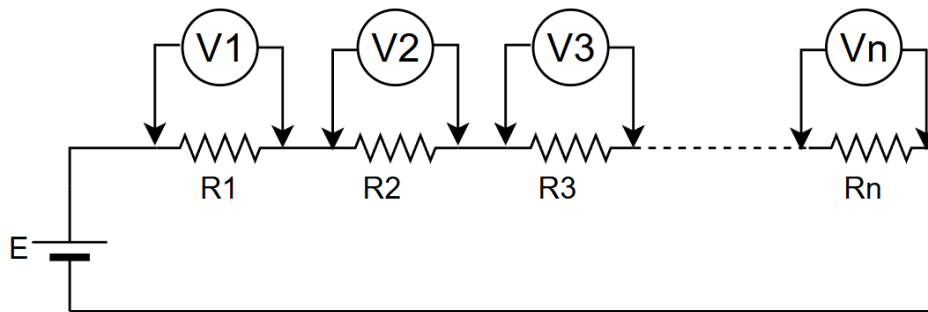
- מעגל טורי (Series Circuit)
- במעגל טורי, ההתנגדות הכוללת (השקולה) היא סכום ההתנגדויות של כל הנגדים:

$$R_{total} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$



- המתח הכולל הוא סכום מפלי המתח על פני כל נגד (חוק קירכהוף למתחים):

$$V_{total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

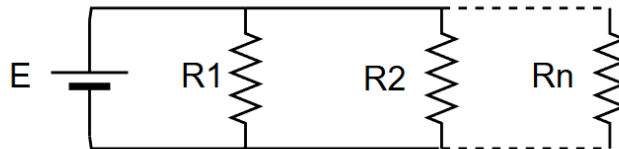


- מעגל מקבילי (Parallel Circuit)
- במעגל מקבילי, הזרם הכולל הוא סכום הזרמים העוברים בכל ענף מקבילי

$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (\text{חוק קירכהוף לזרמים})$$

- ההתנגדות הכוללת (השקולה) מחושבת לפי הנוסחה

$$1/R_{\text{total}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$$

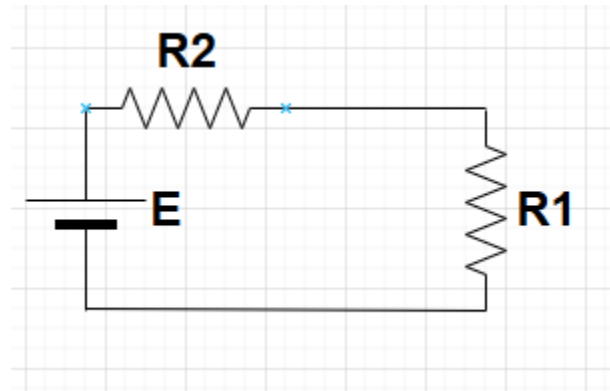


- עבור שני נגדים במקביל, קיימת נוסחה מקוצרת [לא מצוין במפורש בנוסחאות המקור, אך נגזר מהנוסחה הכללית] $R_{\text{total}} = (R_1 * R_2) / (R_1 + R_2)$
- מעגל מעורב (Mixed Circuit): מעגל המשלב נגדים בחיבור טורי ובחיבור מקבילי. פתרון מעגלים אלו כולל חישוב התנגדויות במעגלים שונים ופתרון מעגלים חשמליים בסיסיים, תוך שימוש בחוקי קירכהוף לזרמים ולמתחים.

דוגמאות ופתרונות מפורטים

דוגמא 1: מעגל טורי

מעגל הכולל מקור מתח ושני נגדים המחוברים בטור $R_2 = 8\Omega$ $R_1 = 4\Omega$
 מתח $E = 12V$



פתרון מפורט – מעגל טורי עם שני נגדים

נתונים:

מקור מתח כולל $V_{total} = 12V$

נגד ראשון $R_1 = 4\Omega$

נגד שני $R_2 = 8\Omega$

שלב 1: חישוב ההתנגדות השקולה

במעגל טורי, סכום ההתנגדויות הוא:

$$R_{total} = R_1 + R_2 = 4\Omega + 8\Omega = 12\Omega$$

שלב 2: חישוב הזרם הכולל במעגל

נשתמש בחוק אוהם:

$$I = V_{total} / R_{total} = 12V / 12\Omega = 1A$$

שלב 3: ישוב המתח על כל נגד

הזרם במעגל טורי זהה בכל הרכיבים. לכן:

$$V_1 = I \times R_1 = 1A \times 4\Omega = 4V$$

$$V_2 = I \times R_2 = 1A \times 8\Omega = 8V$$

שלב 4: בדיקת חוק המתחים

$$V_1 + V_2 = 4V + 8V = 12V = V_{total}$$

✓ החוק מתקיים – הפתרון תקין.

תוצאה סופית:

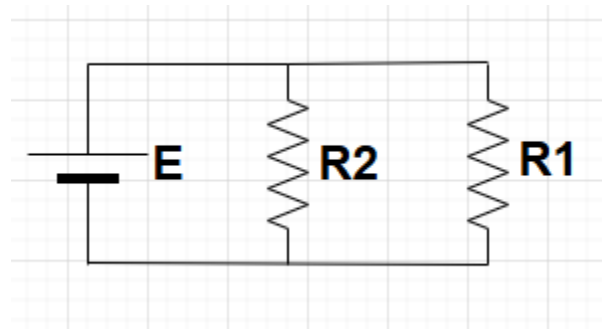
זרם כולל במעגל 1A :

-מתח על $R_1 = 4V$

-מתח על $R_2 = 8V$

דוגמא 2: מעגל מקבילי

פתרון מפורט – מעגל מקבילי עם שני נגדים



נתונים:

$$V_{total} = 24V : \text{מקור מתח כולל } V$$

$$R_1 = 6\Omega \text{ -נגד ראשון}$$

$$R_2 = 12\Omega \text{ -נגד שני}$$

-חיבור מקבילי

שלב 1: חישוב התנגדות שקולה במקביל

נשתמש בנוסחה לחיבור מקבילי:

$$1 / R_{\text{total}} = 1 / R_1 + 1 / R_2$$

$$1 / R_{\text{total}} = 1/6 + 1/12 = 3/12 = 1/4$$

$$R_{\text{total}} = 4\Omega$$

שלב 2: חישוב הזרם הכולל במעגל

$$I_{\text{total}} = V_{\text{total}} / R_{\text{total}} = 24V / 4\Omega = 6A$$

שלב 3: חישוב הזרם בכל ענף

במעגל מקבילי המתח על כל נגד שווה ל-24V

$$I_1 = V / R_1 = 24 / 6 = 4A$$

$$I_2 = V / R_2 = 24 / 12 = 2A$$

שלב 4: בדיקת סגירת מעגל

$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 = 4A + 2A = 6A$$

✓ החוק מתקיים – הפתרון תקין.

תוצאה סופית:

-התנגדות שקולה 4Ω

-זרם כולל 6A

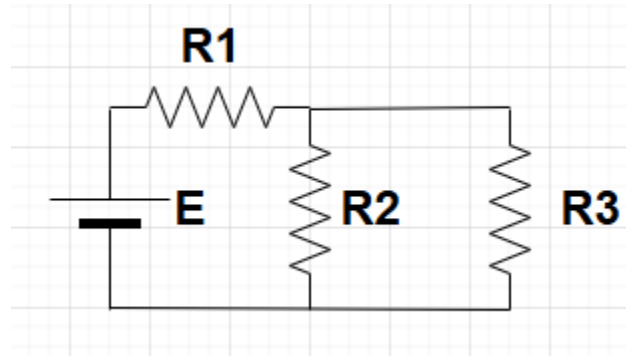
-זרם דרך R_1 4A

-זרם דרך R_2 2A

-מתח על כל אחד מהנגדים 24V

דוגמא 3: מעגל מעורב

פתרון מפורט – מעגל מעורב: נגד בטור עם שני נגדים מקבילים



מעגל הכולל מקור מתח ונגדים בחיבור מעורב.

R_1 בטור לשני נגדים R_2 ו- R_3 המחוברים במקביל.

נתונים:

$$R_1 = 5\Omega$$

$$R_2 = 10\Omega$$

$$R_3 = 15\Omega$$

$$V_{\text{total}} = 30V$$

שלב 1: חישוב התנגדות שקולה של R_2 ו- R_3

נשתמש בנוסחה לחיבור מקבילי:

$$\begin{aligned} 1 / R_{\text{parallel}} &= 1 / R_2 + 1 / R_3 = 1/10 + 1/15 \\ &= (3 + 2) / 30 = 5 / 30 \rightarrow R_{\text{parallel}} = 30 / 5 = 6\Omega \end{aligned}$$

שלב 2 חישוב ההתנגדות השקולה הכוללת

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_{\text{parallel}} = 5\Omega + 6\Omega = 11\Omega$$

שלב 3 חישוב הזרם הכולל במעגל

$$I_{\text{total}} = V_{\text{total}} / R_{\text{total}} = 30V / 11\Omega \approx 2.73A$$

שלב 4 חישוב המתח על R_1 ועל החלק המקבילי

$$V_1 = I \times R_1 = 2.73A \times 5\Omega \approx 13.65V$$

$$V_{\text{parallel}} = V_{\text{total}} - V_1 = 30V - 13.65V \approx 16.35V$$

שלב 5 חישוב הזרם בכל ענף מקבילי

$$I_2 = V_{\text{parallel}} / R_2 = 16.35 / 10 \approx 1.64A$$

$$I_3 = V_{\text{parallel}} / R_3 = 16.35 / 15 \approx 1.09A$$

שלב 6 בדיקת סגירת מעגל

$$I_{\text{total}} \approx I_2 + I_3 = 1.64 + 1.09 \approx 2.73A \quad \checkmark$$

תוצאה סופית:

-התנגדות שקולה 11Ω

-זרם כולל במעגל $2.73A$

-מתח על $R_1 \approx 13.65V$

-מתח על R_2 ו- $R_3 \approx 16.35V$

-זרם דרך $R_2 \approx 1.64A$

-זרם דרך $R_3 \approx 1.09A$

פרק 6: הספק במעגל חשמלי (3 שעות)

יעדים

הכרת מושג ההספק.

הבנת חוק שימור אנרגיה או מאזן ההספקים.

רקע תיאורטי

אנרגיה והספק

עבודה פיזיקלית

עבודה פיזיקלית היא כמות האנרגיה המועברת לגוף או ממנו כאשר מופעל עליו כוח שגורם לו לעבור מרחק בכיוון מסוים. היא מודדת את ההשקעה האנרגטית של הכוח בהזזת גוף.

הנוסחה לחישוב עבודה היא:

$$W = F \cdot d \cdot \cos(\theta)$$

כאשר

W (J, בג'אול) העבודה –

F (N, ניוטון) גודל הכוח המופעל –

d (מטר) המרחק שהגוף נע –

θ הזווית בין כיוון הכוח לכיוון התנועה –

ג'אול = עבודה של כוח בגודל 1 ניוטון שמזיז גוף 1 מטר בכיוון הכוח 1

הקשר להספק חשמלי

הספק הוא קצב ביצוע העבודה – כלומר כמה עבודה מתבצעת בכל שנייה

$$P = W / t$$

בעולם החשמל, העבודה החשמלית מוגדרת כ

$$W = Q \cdot V$$

המתח בוולט V – הוא המטען בקולון Q

נקבל, $I = Q / t$ אם נחלק בזמן ונשתמש בהגדרה של זרם חשמלי

$$P = V \cdot I$$

זוהי נוסחת ההספק החשמלי – קצב המרת אנרגיה חשמלית לצורה אחרת אור, חום תנועה

מתי העבודה מקסימלית ומתי היא מינימלית

כלומר כל הכוח תורם ($\theta = 0^\circ$) העבודה מקסימלית כאשר הכוח מופעל בדיוק בכיוון התנועה להזזה.

כלומר אין תרומה להזזה ($\theta = 90^\circ$) העבודה אפסית כאשר הכוח ניצב לכיוון התנועה. כלומר הכוח מתנגד לתנועה ($\theta > 90^\circ$) העבודה שלילית כאשר הכוח פועל בכיוון הפוך לתנועה

טבלה מסכמת

דוגמה חשמלית	דוגמה פיזיקלית	מצב העבודה	ערך $\cos(\theta)$	θ מצב הזווית
מתח וזרם – באותו מופע הספק מקסימלי	דחיפת עגלה קדימה	מקסימלית	1	0°
כבל עם איבודי חום	משיכת מזחלת בזווית	חיובית אך קטנה מהמרבית	$0 < \cos(\theta) < 1$	$0^\circ < \theta < 90^\circ$
מעגל קיבולי טהור – הספק ממוצע אפס	כוח צנטריפוגלי בסיבוב	אפסית	0	90°
בלימה רגנרטיבית	בלימת רכב	שלילית	שלילי	$90^\circ < \theta < 180^\circ$
מנוע שפועל כגנרטור ומחזיר אנרגיה	גרירת עגלה נגד הכיוון	שלילית מקסימלית	-1	180°

דוגמא 1:

שאלה: מכשיר צורך הספק של 1000W במשך שעתיים. כמה אנרגיה הוא צורך?

פתרון:

$$E = p \cdot t = 1000 \cdot 2$$

$$E = 2000Wh = 2kWh$$

דוגמא 2:

שאלה: מנוע צורך הספק של 200W במשך 10 דקות. כמה אנרגיה הוא צורך?

פתרון:

$$T = 10 / 60 = 1/6$$

$$E = p \cdot t = 200 \cdot (1/6)$$

$$E = 33.33Wh$$

דוגמא 3:

שאלה: מחשב צורך 300W במשך 5 שעות. כמה אנרגיה נצרכה?

פתרון:

$$E = 300 \cdot 5$$

$$E = 1500Wh = 1.5kWh$$

הספק חשמלי – יחידת ההספק

רקע תיאורטי:

הספק מייצג את קצב צריכת האנרגיה החשמלית.

נוסחאות נפוצות:

$$P = V \cdot I$$

$$P = I^2 \cdot R$$

$$P = V^2 / R$$

דוגמא 1:

שאלה: נורה מחוברת ל- $6V$ וזורם בה זרם של $0.5A$ מה ההספק?

פתרון:

$$P = 6 * 0.5$$

$$P = 3W$$

דוגמא 2:

שאלה: נגד של 60Ω מחובר ל- $120V$ מה הוא ההספק שמתפתח על הנגד וכיצד הוא בא לידי

ביטוי?

פתרון:

$$P = V^2 / R = 120^2 / 60 = 240W$$

דוגמא 3:

שאלה: בנגד של 10Ω זורם בו זרם של $3A$ מה הוא ההספק?

פתרון:

$$P = I^2 * R = 3^2 * 10 = 90W$$

הספקים, מקורות מתח וצרכנים

רקע תיאורטי:

במערכת חשמלית:

-מקורות מספקים הספק זרם יוצא מהפלוס.

-צרכנים צורכים הספק זרם נכנס לפלוס.

דוגמה 1:

שאלה: מקור של 12V מחובר בטור ל- $R_1 = 2\Omega$ ולנגד $R_2 = 4\Omega$ מהו ההספק שכל אחד מהנגדים צורך?

פתרון:

$$R = R_1 + R_2 = 2 + 4 = 6\Omega$$

$$I = V/R = 12 / 6 = 2A$$

$$P_{R1} = I^2 * R = 2^2 * 2 = 8W$$

$$P_{R2} = I^2 * R = 2^2 * 4 = 16W$$

$$P_{R1} = 8W, P_{R2} = 16W$$

דוגמה 2:

שאלה מקור מתח של 12V מחובר במקביל לשני נגדים $R_1 = 6\Omega, R_2 = 3\Omega$ חשבו את ההספק שמתפתח על כל נגד.

פתרון:

$$I_1 = V / R_1 = 12 / 6 = 2A$$

$$I_2 = V / R_2 = 12 / 3 = 4A$$

$$P_1 = V * I_1 = 12 * 2 = 24W$$

$$P_2 = V * I_2 = 12 * 4 = 48W$$

$$P_1 = 24W, P_2 = 48W \text{ סה"כ } 72W$$

דוגמה 3:

שאלה: מקור מתח של 9V מחובר בטור לנגד $R = 3\Omega$ מהו ההספק שהמקור מספק?

פתרון:

$$I = V/R = 9 / 3 = 3A$$

$$P = V \cdot I = 9 \cdot 3W$$

$$P = 27W$$

חוק שימור האנרגיה: הספק המקורות = הספק הצרכנים

רקע תיאורטי

במערכת סגורה מתקיים: סכום ה-הספקים מהמקורות שווה לסכום ה-הספקים של הצרכנים.

דוגמה 1:

שאלה: מקור 18V עם שני נגדיים בטור 3Ω ו- 6Ω

פתרון:

$$R = 3 + 6 = 9\Omega$$

$$I = V/R = 18 / 9 = 2A$$

$$P_1 = I^2 \cdot R = 2^2 \cdot 3 = 12W$$

$$P_2 = I^2 \cdot R = 2^2 \cdot 6 = 24W$$

$$P_1 = 12W, P_2 = 24W \text{ ס"ה } 36W$$

אכן הספק המקור שווה להספק הצרכנים.

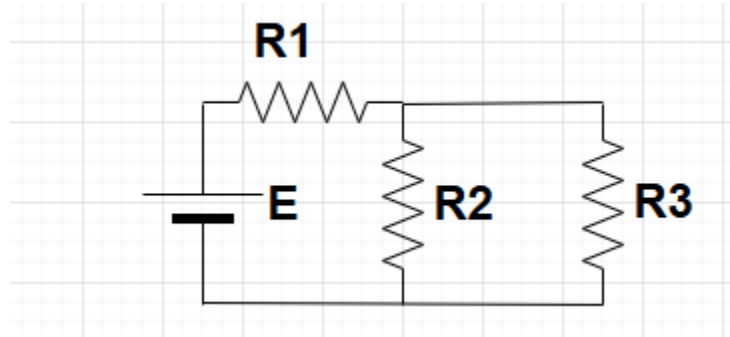
במציאות ההספק על גבי הנגדים מתבטא בחום שמתפזר לסביבה.

חישוב האנרגיה של המקור לעומת אנרגיית החום שמתפתחת על הצרכנים יתקבל הבדל עקב

פיזור החום לסביבה.

דוגמה 2:

שאלה: מקור מתח של $24V$ ונגד $R_1 = 4\Omega$ בטור עם שני נגדיים במקביל $R_2 = R_3 = 8\Omega$
 פתרון:



$$R_{\text{parallel}} = 1/R_2 + 1/R_3 \quad 1 / (1/8 + 1/8) = 4$$

$$R_{\text{total}} = R_{\text{parallel}} + R_1 \quad 4 + 4 = 8\Omega$$

$$I = V / \text{total} = 24 / 8 = 3A$$

$$P_1 = I^2 * \text{parallel} = 3^2 * 4 = 36W$$

$$P_2 = I^2 * R_1 = 3^2 * 4 = 36W$$

$$P_2 = \left(\frac{3}{2}\right)^2 * 8 = 18W$$

$$P_2 = P_3$$

$$72W \text{ סה"כ: } P_1 = 36W, P_2 = 18W, P_3 = 18W$$

או

$$p = I^2 * R = 3^2 * 8 = 72W$$

31

דוגמה 3:

שאלה: במעגל יש מקור מתח של 10V ושני נגדיים בטור 2,3 ohm האם מתקיים חוק שימור האנרגיה? במילים אחרות האם האנרגיה של המקור זהה לאנרגיה של הצרכנים.

פתרון:

$$R = 2 + 3 = 5$$

$$I = 10 / 5 = 2$$

$$P_1 = 2^2 * 2 = 8W$$

$$P_2 = 2^2 * 3 = 12W$$

$$P_1 = 8W, P_2 = 12W \text{ סכ"ה } 20W$$

פרק 7: מעגל דו-חוגי (5 שעות)

פרק זה עוסק בפתרון מעגלים חשמליים מורכבים בעלי שני חוגים או יותר. המעגלים כוללים זרמים נפרדים וחפיפה דרך רכיבים משותפים. בפרק יתואר ניתוח הזרמים בעזרת שיטת זרמי חוגים. חוג חשמל הוא מסלול סגור במעגל שבו זורם זרם. במעגלים עם מספר חוגים, כל חוג עשוי לכלול מקור מתח, נגד ורכיבים משותפים עם חוגים אחרים.

דוגמה 1 – רמת בסיס

שאלה: במעגל יש שני חוגים נפרדים, כל אחד עם סוללה ונגד. האם כל זרם ניתן לחישוב בנפרד פתרון מפורט – חישוב זרמים בשני חוגים נפרדים

שלב 1 הבנת מבנה המעגל

המעגל כולל שני חוגים שאין ביניהם רכיבים משותפים – כלומר אין נגדים או מקורות משותפים בין החוגים.

שלב 2 עקרון אי-השפעה בין חוגים מנותקים

כאשר אין קשר חשמלי בין החוגים, אין השפעה של חוג אחד על השני – כל חוג ניתן לנתח כאילו היה מעגל עצמאי.

שלב 3 שימוש בחוק אוהם בכל חוג בנפרד

לפי חוק אוהם ניתן לחשב את הזרם בכל חוג בעזרת הנוסחה:

$$I = V / R$$

נסמן:

$$I_1 = V_1 / R_1 \text{ חוג 1}$$

$$I_2 = V_2 / R_2 \text{ חוג 2}$$

שלב 4 דוגמה מספרית

נניח:

$$V_1 = 12V, R_1 = 6\Omega \rightarrow I_1 = 12 / 6 = 2A$$

$$V_2 = 9V, R_2 = 3\Omega \rightarrow I_2 = 9 / 3 = 3A$$

מסקנה:

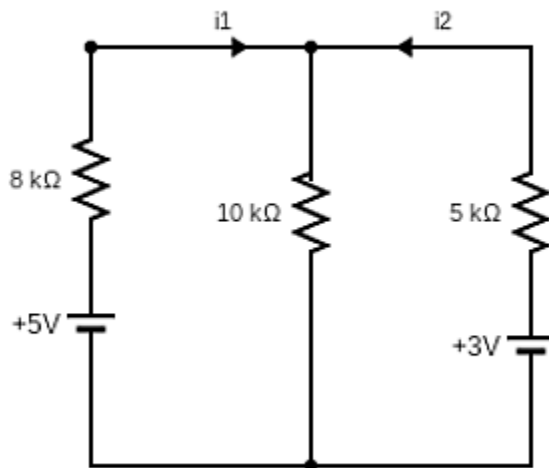
כן, ניתן לחשב כל זרם בנפרד כאשר החוגים מנותקים. אין תלות בין הזרמים.

שיטת זרמי חוגים

בשיטה זו נגדיר זרם עצמאי לכל חוג ונניישים את חוק המתחים של קירכהוף על כל חוג כאשר יש נגדים משותפים, מחשבים את הזרם דרכם כהפרש בין הזרמים של החוגים.

דוגמה 2 – רמת ביניים

שאלה נתון המעגל הבא:



$$(1) \quad -5 + 8K \cdot I_1 + 10K \cdot (I_1 + I_2) = 0$$

$$\Rightarrow 18K \cdot I_1 + 10K \cdot I_2 = 5$$

$$(2) \quad -3 + 5K \cdot I_2 + 10K \cdot (I_1 + I_2) = 0$$

$$\Rightarrow 10K \cdot I_1 + 15K \cdot I_2 = 3$$

$$18I_1 + 10I_2 = 5$$

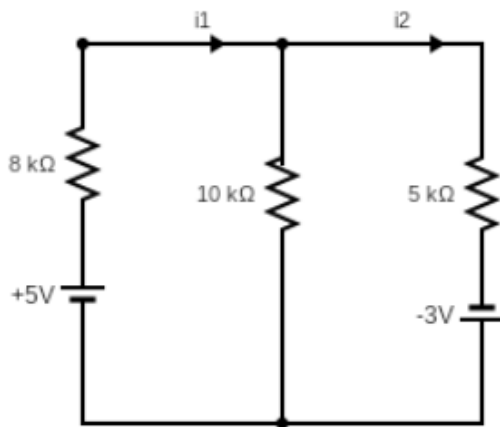
$$10I_1 + 15I_2 = 3$$

$$I_2 = \frac{2}{85} \text{ mA} \approx 0.02353 \text{ mA},$$

$$I_1 = \frac{9}{34} \text{ mA} \approx 0.2647 \text{ mA}.$$

דוגמא 3

מצאו את הזרמים במעגל הבא: שימו לב לקוטביות המתחים.



$$(1) -5 + 8K \cdot I_1 + 10K \cdot (I_1 + I_2) = 0$$

$$\Rightarrow 18K \cdot I_1 + 10K \cdot I_2 = 5$$

$$(2) -3 + 5K \cdot I_2 + 10K \cdot (I_1 + I_2) = 0$$

$$\Rightarrow 10K \cdot I_1 + 15K \cdot I_2 = 3$$

$$18I_1 + 10I_2 = 5$$

$$10I_1 + 15I_2 = 3$$

$$I_1 = \frac{21}{34} \text{ mA} \approx 0.6176 \text{ mA},$$

$$I_2 = -\frac{52}{85} \text{ mA} \approx -0.6118 \text{ mA}.$$

פרק 8: מכשירי מדידה חשמליים (3 שעות)

יעדים

- הבנת שימושים בסיסיים במכשירי מדידה.
- קריאה נכונה של נתונים ממכשירי מדידה.

רב-מודד ושימושיו

רב-מודד הוא מכשיר מדידה משולב למדידת מתח, זרם והתנגדות. קיימים מודלים דיגיטליים ואנלוגיים.

דוגמה 1 - רמת בסיס

שאלה: חיברת סוללה 1.5V לרב-מודד (DCV) והתקבלה קריאה של 1.38V, האם הסוללה תקינה?
פתרון: הקריאה מצביעה על סוללה חלשה אך תקינה לשימוש בסיסי.

דוגמה 2 - (רמת בסיס) נוספת:

שאלה: הרב-מודד מוגדר לטווח של 200V AC לא התקבלה קריאה, מה הבעיה?
פתרון: הטווח נמוך מדי, יש לעבור לטווח גדול יותר.

דוגמה 3 רמת ביניים

שאלה: הרב-מודד במצב מדידת התנגדות מראה '1' מה הסיבה?
פתרון: משמעו ערך מחוץ לטווח או שאין חיבור.

דוגמה 4 רמת מתקדמים

שאלה: במדידת זרם נמדד ערך 0.002 אמפר. כמה זה במיליאמפר?
 $0.002 \text{ A} = 2 \text{ mA}$