

תוכן העניינים:

2	שיטות יסודיות בניתוח מעגלים
2	חיבור נגדים בטור ובמקביל:
2	סיכום כללי:
4	שאלות:
12	תשובות סופיות:
13	מחלק מתח ומחלק זרם:
13	סיכום כללי:
14	שאלות:
16	תשובות סופיות:
17	המרת כוכב משולש:
17	סיכום כללי:
18	שאלות:
19	תשובות סופיות:
20	גשר ויטסטון:
20	סיכום כללי:
20	שאלות:
21	תשובות סופיות:
22	מכשירי מדידה:
22	סיכום כללי:
24	שאלות:
24	תשובות סופיות:
25	רכיבים לא ליניאריים וניתוח לפי מודל אות קטן
25	סיכום כללי:

שימו לב!

החוברת מחולקת לנושאים כפי שמוצגים באתר GOOL. כל נושא פותח בסיכום תיאורטי קצר ולאחריו דוגמאות – אלו נידונים בהרחבה בסרטוני התניאוריה שבאתר GOOL. לאחר מכן ישנו מגוון תרגילים ברמה עולה בכל אחד מהנושאים – כולם נפתרים באריכות ובפירוט בסרטוני השאלות שבאתר.

מבוא להנדסת חשמל

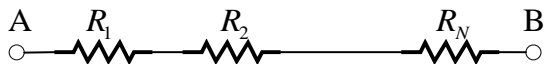
שיטות יסודיות בניתוח מעגלים

חיבור נגדים בטור ובמקביל:

סיכום כללי:

חיבור נגדים בטור:

עבור N נגדים המחוברים בטור זה לזה, ההתנגדות והמוליכות השקולה הן:

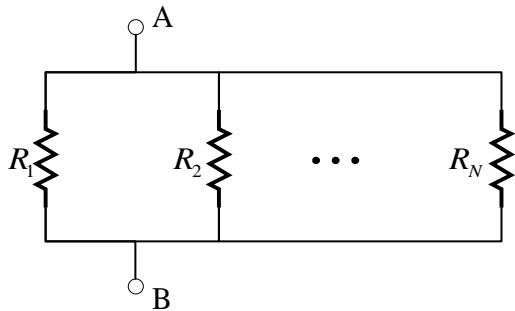


$$R_T = \sum_{k=1}^N R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_N$$

$$\frac{1}{G_T} = \sum_{k=1}^N \frac{1}{G_k} = \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} + \dots + \frac{1}{G_N}$$

חיבור נגדים במקביל:

עבור N נגדים המחוברים במקביל זה לזה, ההתנגדות והמוליכות השקולה הן:



$$\frac{1}{R_T} = \sum_{k=1}^N \frac{1}{R_k} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

$$G_T = \sum_{k=1}^N G_k = G_1 + G_2 + \dots + G_N$$

הערות:

- (1) בחיבור טורי ההתנגדות השקולה תמיד תהיה גדולה יותר מהנגד בעל הערך הגדול ביותר.
- (2) בחיבור מקבילי ההתנגדות השקולה תמיד תהיה קטנה יותר מערך הנגד הקטן ביותר.

מקרים פרטיים שכיחים:

התנגדות שקולה של שני נגדים המחוברים במקביל תחושב ע"י: $R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

התנגדות שקולה של חיבור N נגדים זהים R במקביל היא: $R_T = \frac{R}{N}$

חוקי קירכהוף:

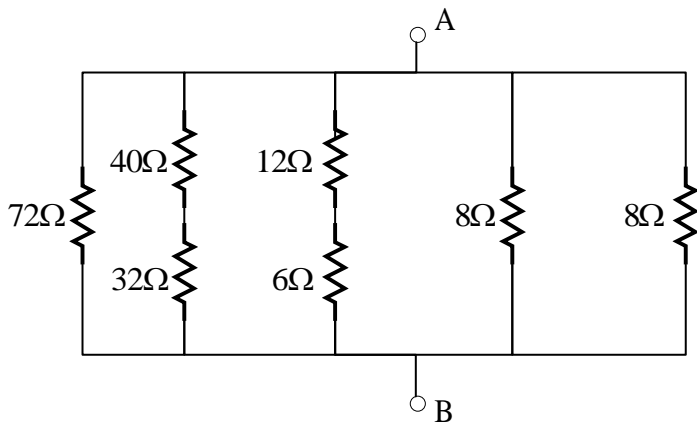
(1) חוק הזרמים של קירכהוף (KCL - Kirchhoff Current Law):

סכום הזרמים הנכנסים וצומת ויוצאים ממנה שווה לאפס: $\sum_{n=1}^N i_n = 0 \Rightarrow \sum i_{in} = \sum i_{out}$

(2) חוק המתחים של קירכהוף (KVL - Kirchhoff Voltage Law):

סכום המתחים על פני לולאה סגורה שווה לאפס: $\sum_{n=1}^N v_n = 0$

❖ דוגמה לחיבור נגדים:



מצא את ההתנגדות והמוליכות השקולה המשתקפת בין הנקודות A ו-B:

❖ דוגמה מסכמת לחיבור נגדים במעגל:

לפניך המעגל הבא ובו נתון:

$$U = 24V, R_1 = 1k\Omega, R_2 = 2.5k\Omega$$

$$R_3 = 3.5k\Omega, R_4 = 12k\Omega, R_5 = 3k\Omega$$

סוגרים את המפסק S1.

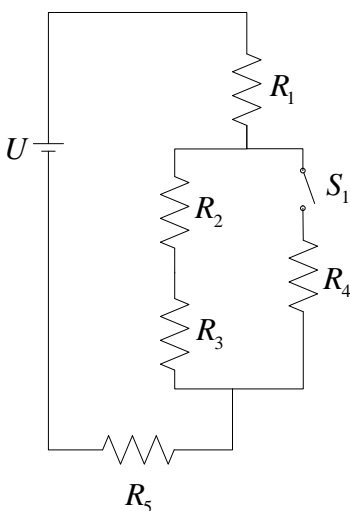
א. חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל.

ב. חשב את הזרם הכללי במעגל.

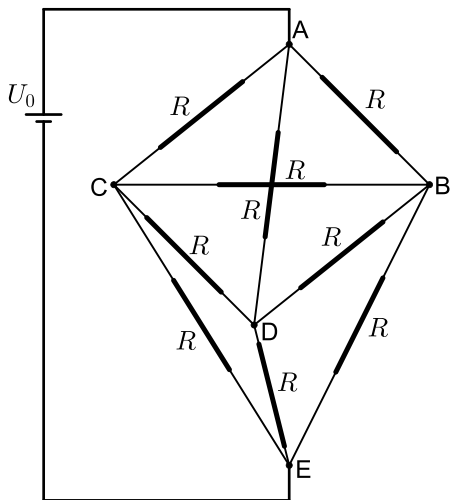
כעת פותחים את המפסק S1.

ג. מצא פי כמה גדלה ההתנגדות השקולה

ביחס למעגל עם מפסק סגור.



❖ דוגמה למציאת התנגדות שקולה משיקולי סימטריה:



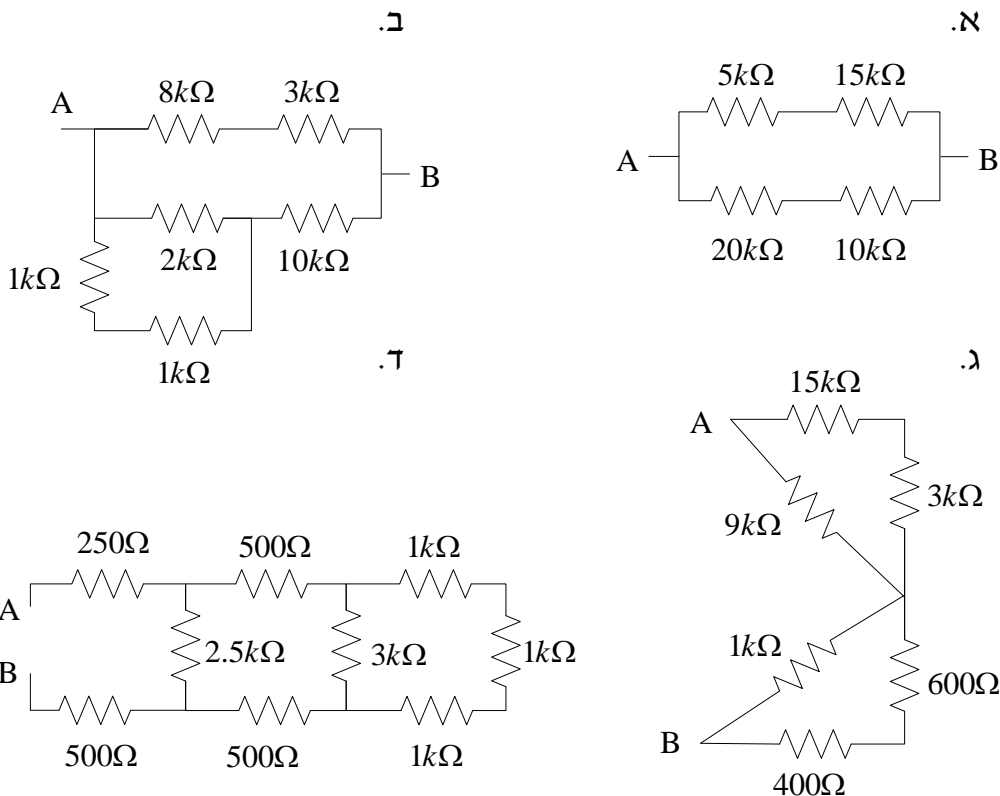
באיור שלפניך ישנו מעגל המורכב מנגדים זהים בגודל R כל אחד, על פני מקצועותיו של אוקטהדרון ABCDE בעל בסיס משולש BCD. מזינים את רשת הנגדים באמצעות מקור מתח U_0 .

- א. בטא בעזרת R את ההתנגדות השקולה של רשת הנגדים.
- ב. כתוב ביטוי לזרם הכללי במעגל.

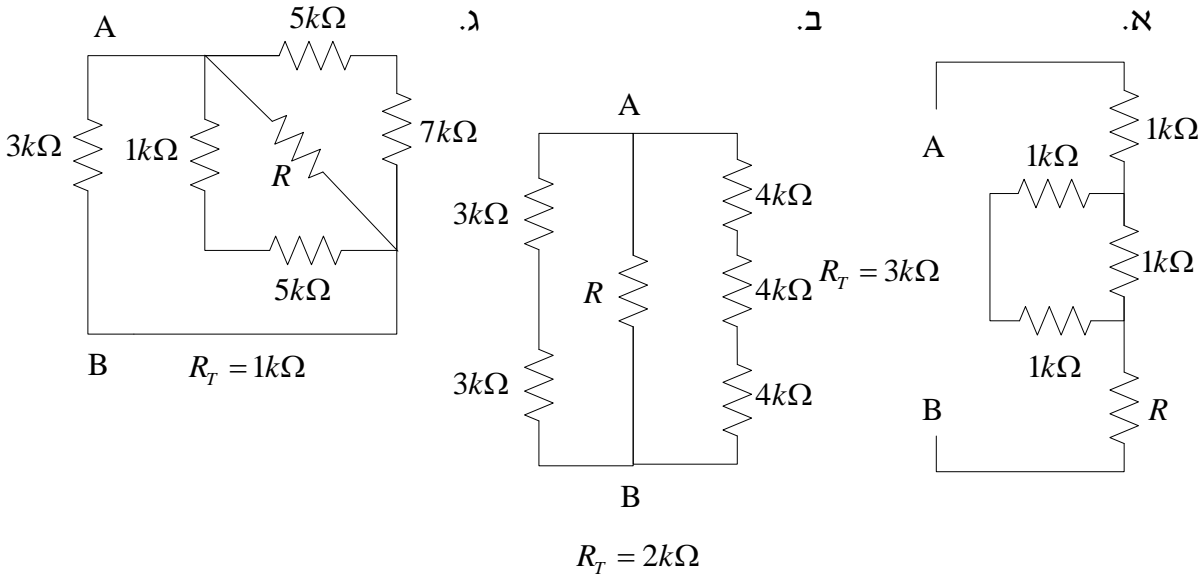
שאלות:

שאלות יסודיות עם מציאת התנגדות שקולה:

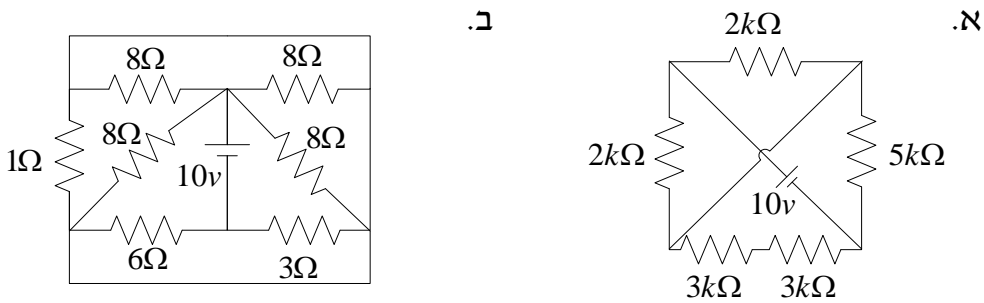
1) חשב את ערכי ההתנגדויות השקולות בין ההדקים A ו-B במקרים הבאים:



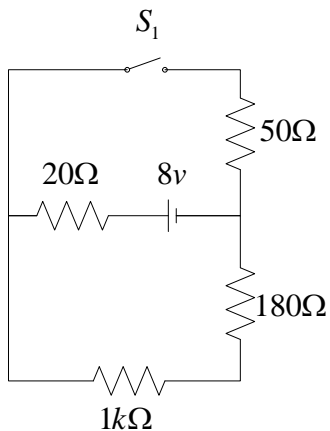
2) ההתנגדות השקולה בין הנקודות A ו-B במעגלים הבאים נתונה. מצא את R .



3) סרטט מעגל תמורה לכל אחד מהמעגלים הבאים:



שאלות עם ניתוח מעגלים:



4) לפניך המעגל הבא:

המפסק S_1 פתוח (כלומר: '0').

נתוני הרכיבים רשומים בסרטוט.

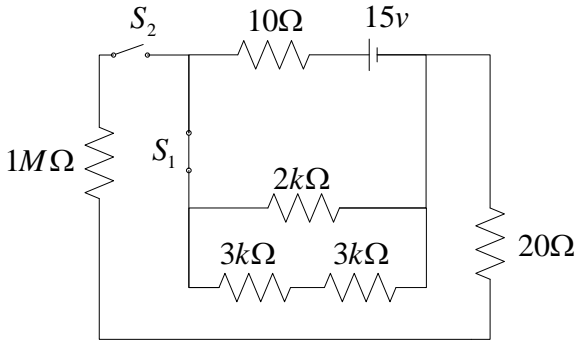
א. מהי ההתנגדות השקולה של המעגל במצב זה?

ב. מה תהיה ההתנגדות השקולה של המעגל

כאשר המפסק יהיה סגור ($S_1 = 1$)?

ג. מה יהיה הזרם הכללי בכל אחד מהמצבים?

5) לפניך המעגל הבא :



המפסקים S_1 ו- S_2 מקיימים : $S_1 = 1, S_2 = 0$.

א. סרטט מעגל תמורה למצב הנוכחי של המפסקים.

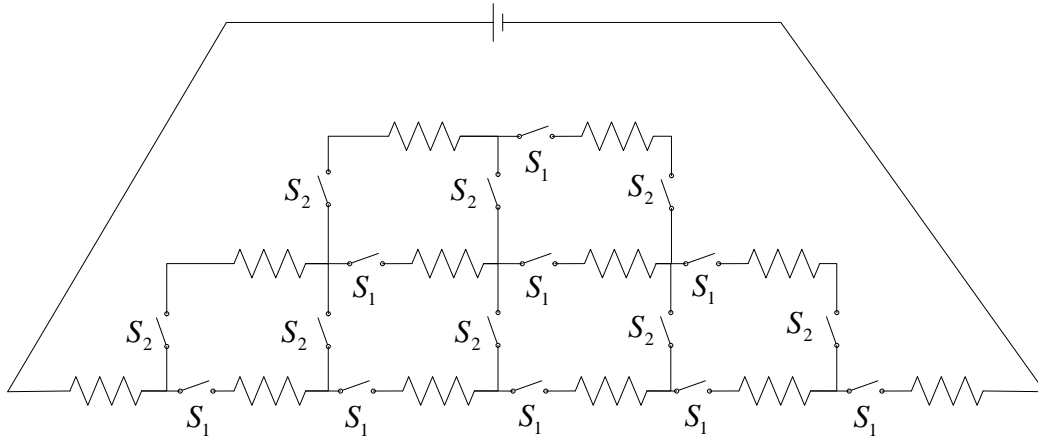
ב. מה הזרם הכללי במעגל במצב זה?

ג. כיצד ישתנה הזרם במעגל

אם כעת : $S_1 = 0, S_2 = 1$?

6) לפניך המעגל הבא :

כל הנגדים זהים וערכם הוא $9k\Omega$, מקור המתח הוא $6V$.
במצב A כל המפסקים המסומנים ב- S_1 פתוחים וכל המפסקים המסומנים ב- S_2 סגורים.



א. מהי ההתנגדות השקולה של המעגל? ומהו הזרם הכללי של המעגל?

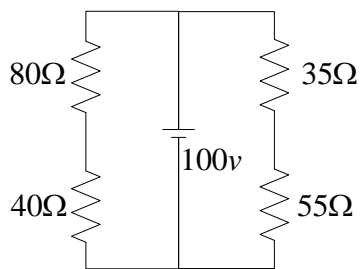
ב. במצב B הופכים את המפסקים, כלומר, כל המפסקים S_1 סגורים וכל

המפסקים S_2 פתוחים. מה כעת ההתנגדות השקולה והזרם הכללי במעגל?

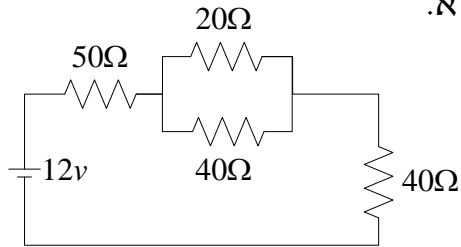
ג. מה היא ההתנגדות השקולה והזרם הכללי במעגל כאשר כל המפסקים

סגורים (כלומר : $S_1 = S_2 = 1$) ?

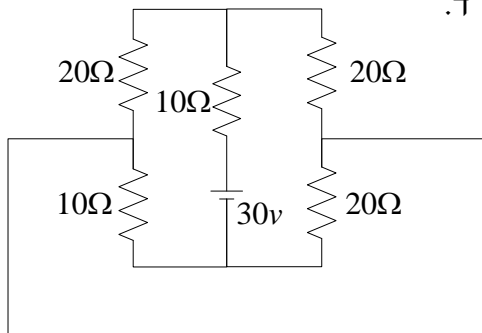
7) חשב את הזרם הכללי והזרמים בכל אחד מהנגדים במעגלים הבאים:
היעזר בחוקי קירכהוף.



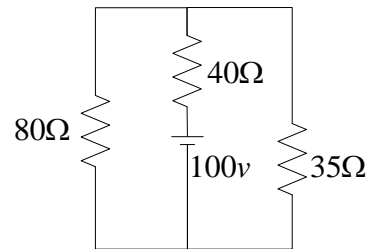
ב.



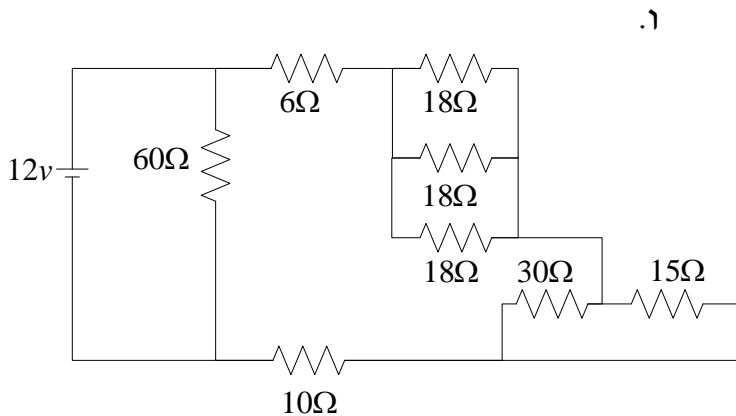
ב.



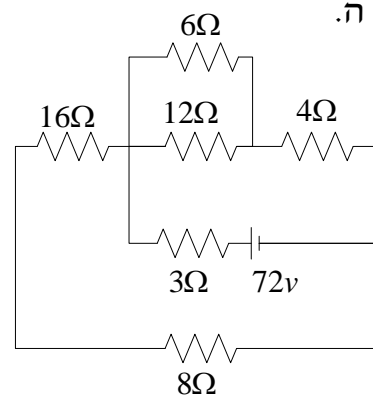
ד.



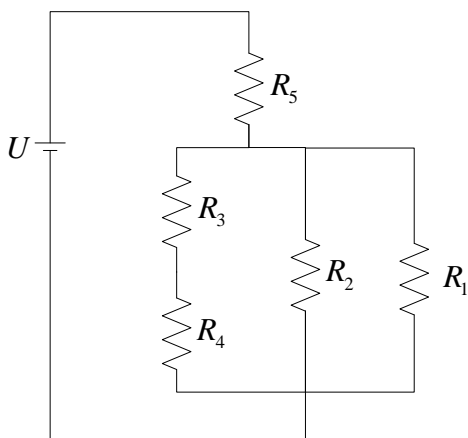
ה.



ז.

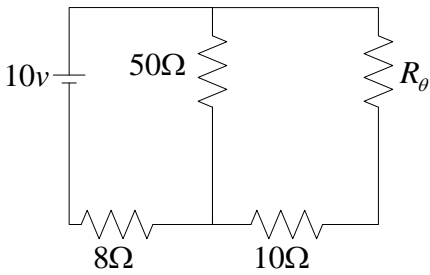


ח.



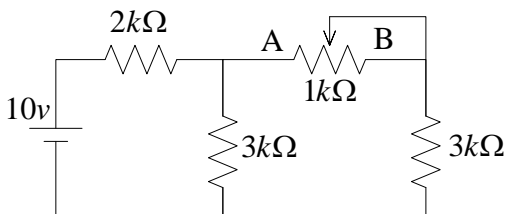
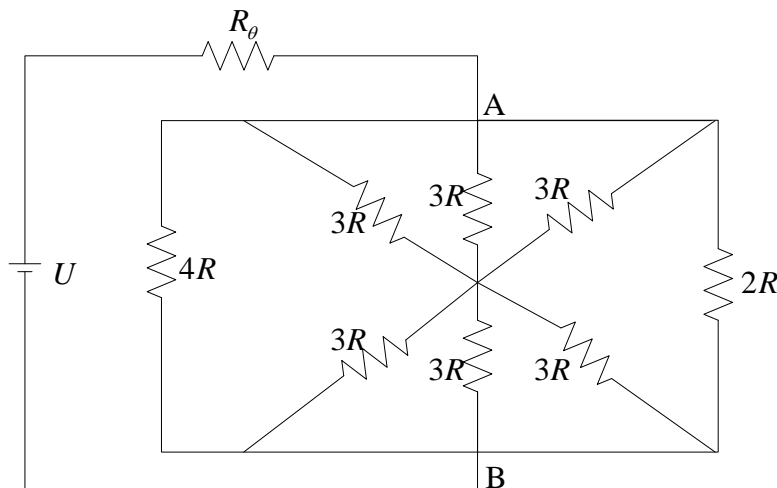
נתון: $U = 12V$, $R_1 = 30k\Omega$, $R_2 = 30k\Omega$, $R_3 = 20k\Omega$,
 $R_4 = 10k\Omega$, $R_5 = 5k\Omega$

- חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל.
- חשב את הזרם הכללי של המעגל.
- חשב את הזרם על פני הנגד R_1 .
- חשב את ההספק של הנגד R_1 .
- מהי נצילות המעגל עבור עומס שהוא R_1 ?

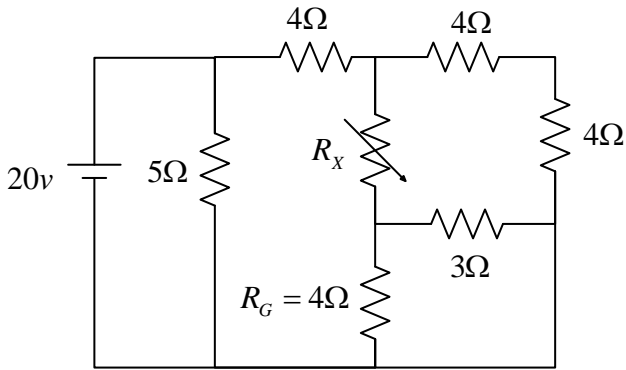


- 9) במעגל הבא הנגד R_{θ} תלוי בטמפרטורה. ידוע כי בטמפרטורת החדר ערכו הוא 20Ω וכי מקדם הטמפרטורה שלו הוא $0.005^{\circ}\text{C}^{-1}$. הנח כי ערכי שאר הנגדים קבועים בטמפרטורה.
- א. מהי ההתנגדות השקולה בטמפרטורה של 220°C ?
 ב. מצא את הטמפרטורה עבורה ההתנגדות השקולה של המעגל תהיה 34.19Ω .

- 10) במעגל שלפניך ערכי הנגדים מבוטאים באמצעות R . הנגד R_{θ} תלוי בטמפרטורה. ידוע כי בטמפרטורת החדר ערכו שווה לערך ההתנגדות השקולה בין הנקודות A ו-B וכי בטמפרטורה של 82.5°C התנגדותו היא R .
- א. מצא את מקדם הטמפרטורה של הנגד R_{θ} .
 ב. מצא באיזו טמפרטורה ההתנגדות השקולה של המעגל היא $2R$.

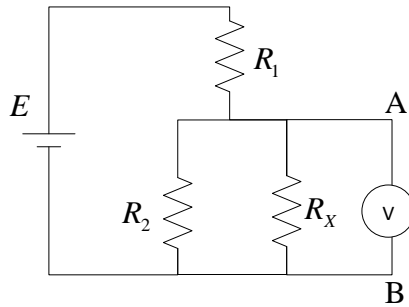


- 11) במעגל הנתון הפוטנציומטר הינו בעל התנגדות של $1\text{k}\Omega$. חשב את ההספק של מקור המתח כאשר הזחלן נמצא בנקודות הבאות:
- א. במרכז הפוטנציומטר.
 ב. בנקודה A.
 ג. בנקודה B.

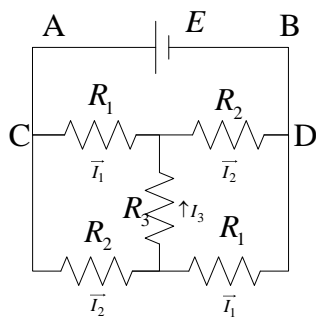


12) לפינך המעגל הבא. חשב לאיזה ערך יש לכוון את הנגד R_x על מנת שיתפתח הספק של $1.125W$ על הנגד R_G .

13) במעגל המתואר באיור הסמוך נתון: כא"מ המקור $30V$ (התנגדות פנימית של המקור זניחה). $R_1 = 60\Omega$, $R_2 = 48\Omega$. המתח שמראה הוולטמטר המחובר בין שתי הנקודות A ו-B הוא $5V$ ($U_{AB} = 5V$).



א. חשב את ערך ההתנגדות R_x .
 ב. את הוולטמטר המחובר בין הנקודות A ו-B החליפו באמפרמטר שהתנגדותו הפנימית זניחה. מה תהיה קריאתו?

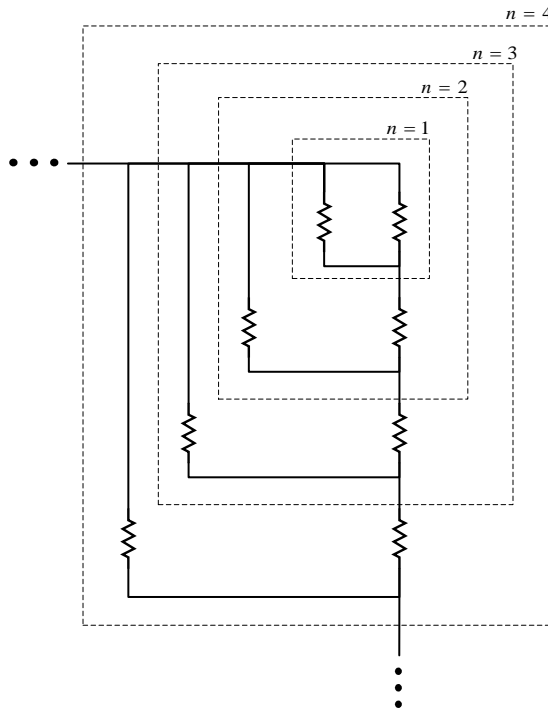


14) במעגל הבא נתון כי הזרם בנגדים R_1 הוא I_1 , הזרם בנגדים R_2 הוא I_2 וכי הזרם בנגד R_3 הוא $I_3 = 2A$. נתון: $R_1 = 8\Omega$, $R_2 = 4\Omega$, $R_3 = 2\Omega$. התנגדות המקור זניחה.
 א. חשב את שני הזרמים I_1 ו- I_2 .
 ב. חשב את הכא"מ של המקור E .
 ג. חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל בין הנקודות A ו-B.
 ד. מחברים בין הנקודות C ו-D שבאיור נגד נוסף. האם ההספק שמספק המקור יגדל, יקטן או לא ישתנה כתוצאה מכך? נמק.

שאלות עם מציאת התנגדות שקולה משיקולי סימטריה:

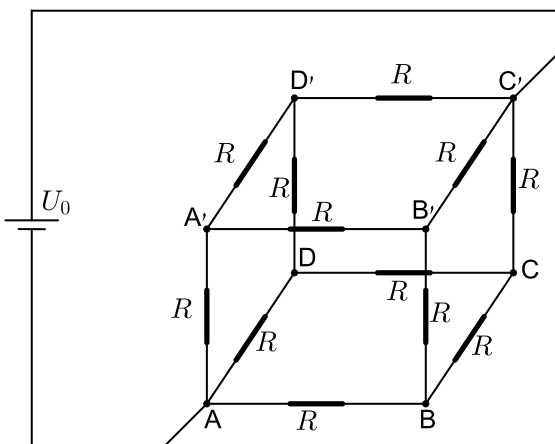
15 נתונה רשת נגדים אינסופית המתוארת באיור הבא. ערכי כל הנגדים זהים ושווים ל- R . הוכח כי עבור $n \rightarrow \infty$ ההתנגדות השקולה (המשוקפת מבעד שני ההדקים האינסופיים

שבאיור) שווה ל- $(\Phi - 1)R$ כאשר: $\Phi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$ (חיתוך הזהב).



הערה:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+1}}{a_n} = \Phi \quad \text{מקיימת} \quad \begin{cases} a_{n+2} = a_{n+1} + a_n \\ a_1 = a_2 = 1 \end{cases} \quad \text{סדרת פיבונוצי}$$



16 מחברים סוללה בעלת מתח של $U_0 = 18V$

והתנגדות פנימית זניחה לרשת נגדים הבנויה

בצורת קובייה ABCD'A'B'C'D'

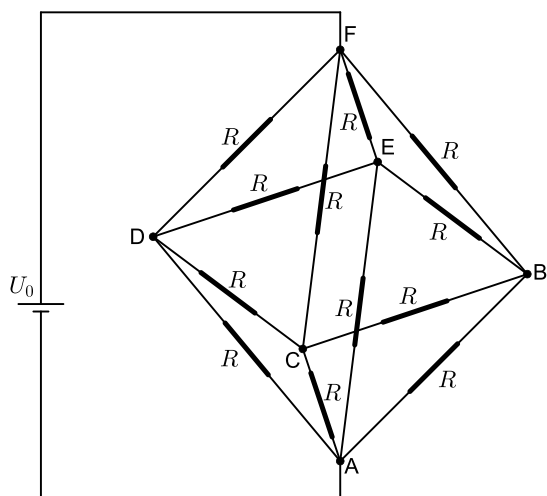
שמכילה 12 נגדים זהים בעלי $R = 3\Omega$

(כל אחד) כמופיע באיור הבא.

א. מצא את ההתנגדות השקולה

של רשת הנגדים.

ב. חשב את הזרם הכללי של המעגל.



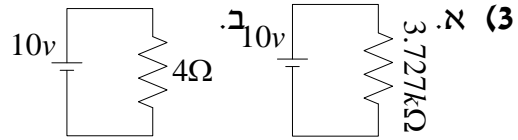
17 באיור שלפניך נתון מעגל המורכב מנגדים זהים בגודל R כל אחד, על פני מקצועותיו של אוקטהדרון $ABCDEF$ בעל בסיס מרובע $BCDE$. מזינים את רשת הנגדים באמצעות מקור מתח U_0 .

- א. מה הזרם העובר דרך הנגדים שבמקצועות BC , CD , DE ו- BE ?
- ב. בטא בעזרת R את ההתנגדות השקולה של רשת הנגדים.
- ג. כתוב ביטוי לזרם הכללי במעגל.

תשובות סופיות:

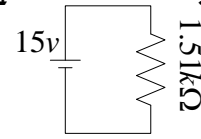
(1) א. $12k\Omega$ ב. $5.5k\Omega$ ג. $6.5k\Omega$ ד. $2k\Omega$

(2) א. $1.33k\Omega$ ב. $4k\Omega$ ג. $2.4k\Omega$



(4) א. $1.2k\Omega$ ב. 67.96Ω ג. $I(S_1 = 1) = 0.11A$, $I(S_1 = 0) = 6.66mA$

(5) א. $9.93mA$ ב. $14.99\mu A \sim 15\mu A$



(6) א. $R_T = \infty$, $I = 0A$ ב. $R_T = 54k\Omega$, $I = 0.11mA$ ג. $R_T = 33k\Omega$, $I = 0.182mA$

(7) א. $I_1 = I_4 = 116mA$, $I_2 = 76mA$, $I_3 = 38mA$

ב. $I_1 = I_2 = 0.83A$, $I_3 = I_4 = 1.11A$ ג. $I_1 = 0.472A$, $I_2 = 1.553A$, $I_3 = 1.081A$

ד. $I_1 = 0.562A$, $I_2 = 1.125A$, $I_3 = 0.562A$, $I_4 = 0.749A$, $I_5 = 0.375A$

ה. $I_1 = I_5 = 2A$, $I_2 = 2A$, $I_3 = 4A$, $I_4 = 8A$, $I_6 = 6A$

ו. $I_1 = 200mA$, $I_2 = I_8 = 375mA$, $I_3 = I_4 = I_5 = 125mA$, $I_6 = 250mA$, $I_7 = 125mA$

(8) א. $15k\Omega$ ב. $0.8mA$ ג. $0.266mA$ ד. $2.13mW$ ה. $\frac{2}{9} \rightarrow 22.22\%$

(9) א. 33Ω ב. $270^\circ C$

(10) א. $0.004^\circ C^{-1}$ ב. $145^\circ C$

(11) א. $27.662mW$ ב. $28.571mW$ ג. $26.925mW$

(12) 6.45Ω

(13) א. $R_x = 16\Omega$ ב. $0.5A$

(14) א. $I_1 = 3A$, $I_2 = 5A$ ב. $44V$ ג. $R_T = 5.5\Omega$

ד. חיבור נגד במקביל מגדיל את צריכת הזרם הכללית ולכן הספק המקור יגדל.

(15) שאלת הוכחה.

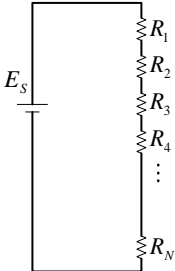
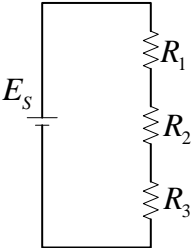
(16) א. 2.5Ω ב. $7.2A$

(17) א. $I = 0A$ ב. $\frac{1}{2}R$ ג. $I_T = \frac{2U_0}{R}$

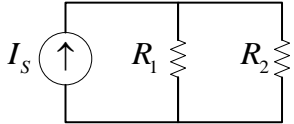
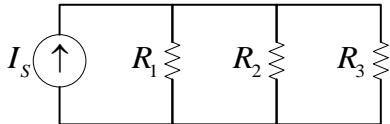
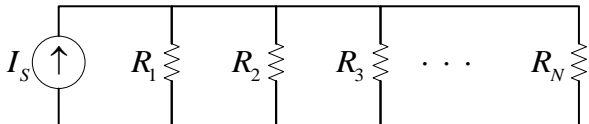
מחלק מתח ומחלק זרם:

סיכום כללי:

עיקרון מחלק מתח:

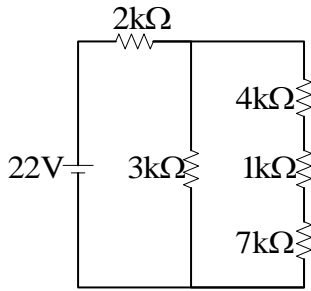
מקרה כללי	מקרה יסודי – 3 נגדים בטור
 $1 \leq k \leq N: U_{R_k} = \frac{R_k}{\sum_{m=1}^N R_m} E_S$	 $U_{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} E_S$ $U_{R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} E_S$ $U_{R_3} = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} E_S$

עיקרון מחלק זרם:

מעגל	נוסחאות
	$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I_S, \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I_S$
	$I_1 = \frac{R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} I_S$ $I_2 = \frac{R_1 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} I_S$ $I_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} I_S$
	$1 \leq k \leq N: I_k = \frac{R_T}{R_k} I_S = \frac{G_k}{G_T} I_S$

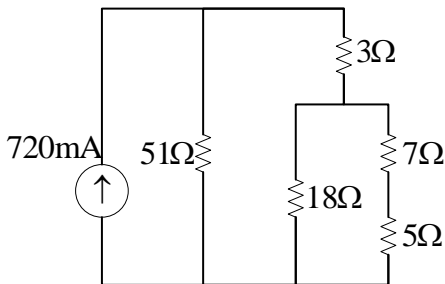
❖ דוגמה לשימוש במחלק מתח במעגל:

מצא את מפלי המתחים על כל הנגדים שבמעגל הבא.



❖ דוגמה לשימוש במחלק זרם במעגל:

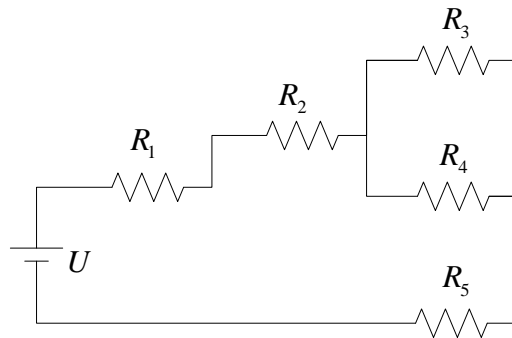
חשב את הזרמים בכל הנגדים שבמעגל הבא.



שאלות:

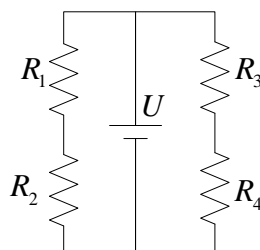
1) חשב את הזרמים והמתחים העוברים במעגל הבא. העזר בחוק מחלק המתח ומחלק הזרם.

נתון: $R_1 = 50\Omega$, $R_2 = 30\Omega$, $R_3 = 20\Omega$, $R_4 = 40\Omega$, $R_5 = 30\Omega$, $U = 30V$.



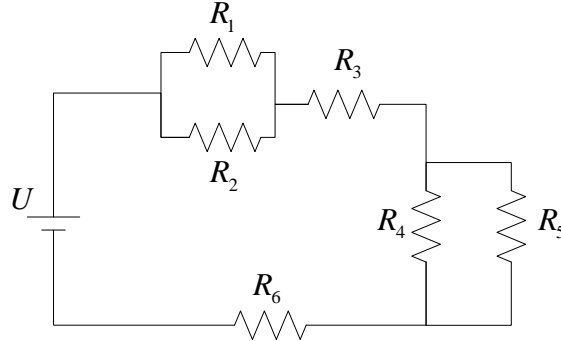
2) חשב את הזרמים והמתחים העוברים במעגל הבא. העזר בחוק מחלק המתח ומחלק הזרם.

נתון: $R_1 = 80\Omega$, $R_2 = 40\Omega$, $R_3 = 35\Omega$, $R_4 = 55\Omega$, $U = 100V$.



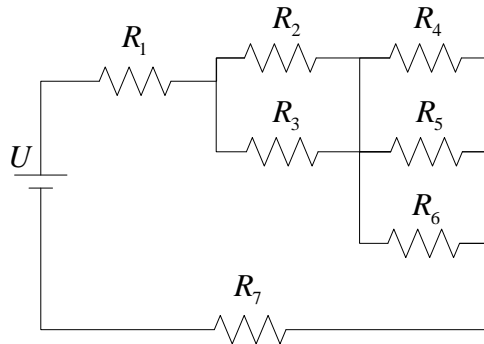
3) חשב את הזרמים והמתחים העוברים במעגל הבא.
העזר בחוק מחלק המתח ומחלק הזרם. נתון:

$$R_1 = 4k\Omega, R_2 = 2k\Omega, R_3 = 3k\Omega, R_4 = 5k\Omega, R_5 = 5k\Omega, R_6 = 2.66k\Omega, U = 12V$$

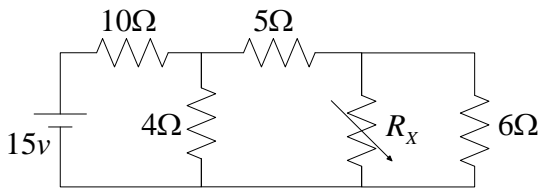


4) חשב את הזרמים והמתחים העוברים במעגל הבא.
העזר בחוק מחלק המתח ומחלק הזרם. נתון:

$$R_1 = R_2 = R_3 = 4\Omega, R_4 = 6\Omega, R_5 = R_7 = 3\Omega, R_6 = 2\Omega, U = 20V$$

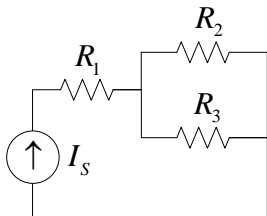


5) נתון המעגל הבא.



חשב את ערכו של R_x כך
שעוצמת הזרם דרך הנגד 4Ω
תהיה: $0.76A$.

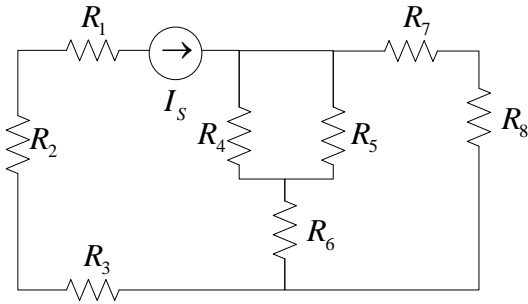
6) לפניך המעגל הבא:



מקור הזרם הינו אידיאלי (התנגדותו אינסופית).

$$I_s = 1.75A, R_1 = 18\Omega, R_2 = 25\Omega, R_3 = 35\Omega$$

חשב את הזרמים שעל פני כל נגד במעגל.
היעזר בחוק מחלק הזרם.



7) לפניך המעגל הבא :

נתון כי מקור הזרם הוא אידיאלי.

נתון : $I_s = 10\text{mA}$, $R_1 = 2\text{k}\Omega$, $R_2 = 2.5\text{k}\Omega$

$R_3 = 4.5\text{k}\Omega$, $R_4 = 10\text{k}\Omega$, $R_5 = 10\text{k}\Omega$

$R_6 = 5\text{k}\Omega$, $R_7 = 5.75\text{k}\Omega$, $R_8 = 4.25\text{k}\Omega$

א. חשב את כל מפלי המתח במעגל

ואת המתח על פני מקור הזרם.

ב. מהו ההספק שמספק מקור הזרם?

תשובות סופיות :

1) $I_1 = I_2 = I_5 = 0.243\text{A}$, $I_3 = 182\text{mA}$, $I_4 = 81\text{mA}$

$v_1 = 12.16\text{V}$, $v_2 = v_5 = 7.29\text{V}$, $v_3 = v_4 = 3.24\text{V}$

2) $I_1 = I_2 = 0.883\text{A}$, $I_3 = I_4 = 1.11\text{A}$

$v_1 = 66.66\text{V}$, $v_2 = 33.33\text{V}$, $v_3 = 38.88\text{V}$, $v_4 = 61.11\text{V}$

3) $I_1 = 421\mu\text{A}$, $I_2 = 842\mu\text{A}$, $I_3 = I_6 = 1.263\text{mA}$, $I_4 = I_5 = 631\mu\text{A}$

$v_1 = v_2 = 1.684\text{V}$, $v_3 = 3.789\text{V}$, $v_4 = v_5 = 3.155\text{V}$, $v_6 = 3.368\text{V}$

4) $I_1 = I_7 = 2\text{A}$, $I_2 = I_3 = I_6 = 1\text{A}$, $I_4 = 0.333\text{A}$, $I_5 = 0.6667\text{A}$

$v_1 = 8\text{V}$, $v_2 = v_3 = 4\text{V}$, $v_4 = v_5 = v_6 = 2\text{V}$, $v_7 = 6\text{V}$

5) 2.93Ω

6) $I_1 = 1.75\text{A}$, $I_2 = 1.02\text{A}$, $I_3 = 0.73\text{A}$

7) א. $U_1 = 20\text{V}$, $U_2 = U_4 = U_5 = U_6 = 25\text{V}$, $U_3 = 45\text{V}$

ב. 1.4W $U_7 = 28.75\text{V}$, $U_8 = 21.25\text{V}$, $U_I = 140\text{V}$

המרת כוכב משולש:

סיכום כללי:

המרת כוכב-משולש:

שתי תצורות החיבור הבאות בין הצמתים 1, 2 ו-3 הן שקולות:

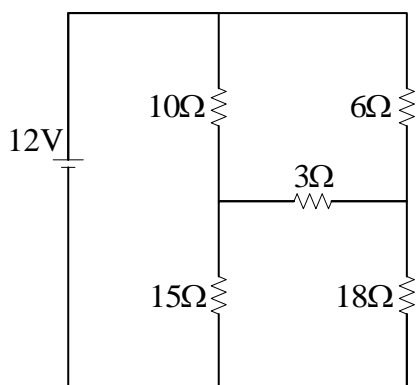
נוסחאות המרה	תצורת כוכב	תצורת משולש	נוסחאות המרה
$R_1 = \frac{R_{12}R_{13}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}}$ $R_2 = \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}}$ $R_3 = \frac{R_{13}R_{23}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}}$			$R_{12} = \frac{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}{R_3}$ $R_{13} = \frac{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}{R_2}$ $R_{23} = \frac{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}{R_1}$

הערה:

יש הקוראים להמרה זו בשם "התמרת פאי-טי" על סמך צורת T של הכוכב ו-Π של המשולש.

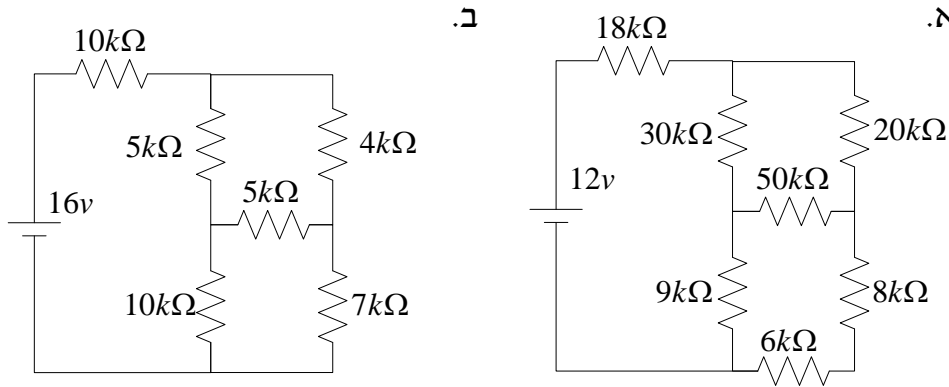
❖ דוגמה לשימוש בהמרת כוכב-משולש במעגל:

חשב את ההתנגדות השקולה במעגל הבא:

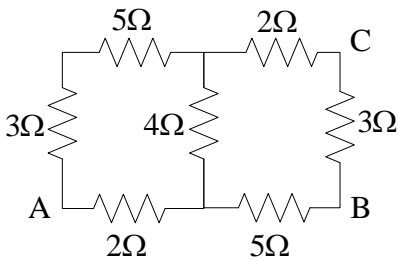


שאלות:

1) חשב את ההתנגדות הכללית והזרם הכללי במעגלים הבאים:

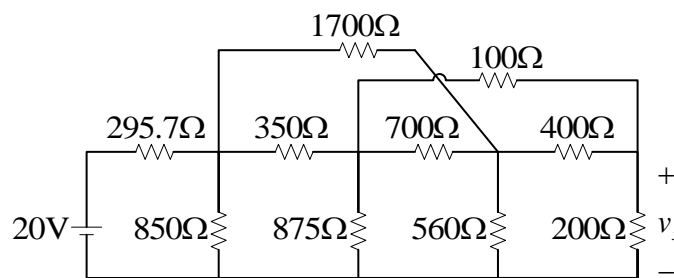


2) לפניך קונפיגורציה הנגדים הבאה:



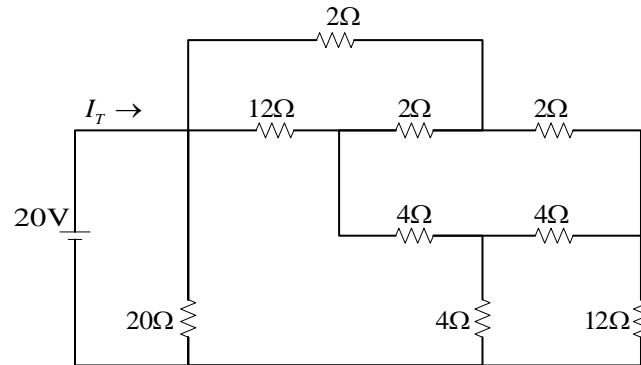
- א. חשב את ההתנגדות השקולה בין הנקודות A ו-B.
- ב. חשב את ההתנגדות השקולה בין הנקודות B ו-C.
- ג. חיברו מקור מתח של 48V והתנגדות פנימית של 2Ω. חשב את ההספק המסופק ע"י מקור המתח למעגל בכל אחד מהמצבים הבאים:
 - i. מחברים את מקור המתח בין הנקודות A ו-B.
 - ii. מחברים את מקור המתח בין הנקודות B ו-C.

3) נתון המעגל שלפניך ובו ערכי כל הרכיבים הרשומים בתרשים.



- א. מצא את מפל המתח על הנגד 200Ω (המסומן ב- v_x).
- ב. חשב את ההספק הכולל שבמעגל.

4) מצא את הזרם הכללי I_T במעגל שלפניך. כל ערכי הרכיבים נתונים.



תשובות סופיות:

- 1) א. $I_T = 0.33\text{mA}$, $R_T = 36\text{k}\Omega$ ב. $I_T = 0.97\text{mA}$, $R_T = 16.34\text{k}\Omega$
- 2) א. $R_{AB} = 4.3\Omega$ ב. $R_{BC} = 2.3\Omega$ ג. i. 365.71W ii. 535.8W
- 3) א. $v_x = 933.33\text{mV}$ ב. $P = 676.36\text{mW}$
- 4) $I_T = 4.04\text{A}$

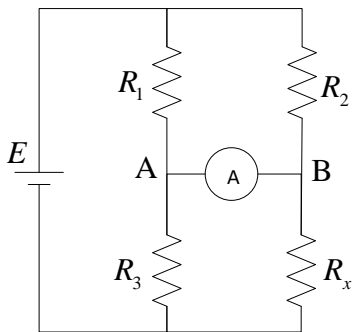
גשר ויטסטון:

סיכום כללי:

תצורת גשר ויטסטון (Wheatstone Bridge Circuit):

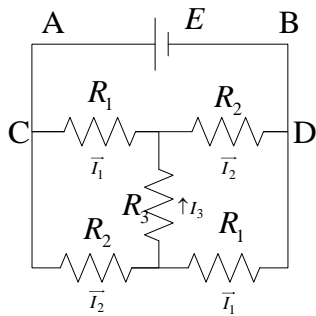
מעגל הנועד למדוד התנגדות לא ידועה (הנובעת למשל משינוי טמפרטורה) ע"י איזון שני ענפים התנגדותיים כאשר האחד ידוע ובשני נמצא הרכיב שהתנגדותו לא ידועה.

להלן תצורת המעגל:



אם: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x}$ אז: $V_{AB} = 0V$ (או: $I_{AB} = 0A$) ולהיפך.

שאלות:



1) במעגל הבא נתון כי הזרם בנגדים R_1 הוא I_1 ,

הזרם בנגדים R_2 הוא I_2 וכי הזרם בנגד R_3

הוא $I_3 = 2A$. נתון: $R_1 = 8\Omega$, $R_2 = 4\Omega$, $R_3 = 2\Omega$.

התנגדות המקור זניחה.

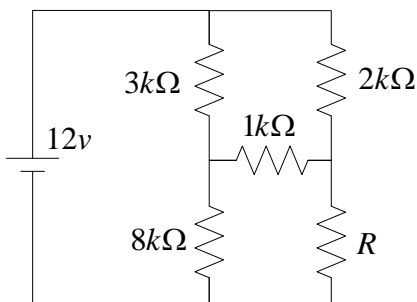
א. חשב את שני הזרמים I_1 ו- I_2 .

ב. חשב את הכא"מ של המקור E .

ג. חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל בין הנקודות A ו-B.

ד. מחברים בין הנקודות C ו-D שבאיור נגד נוסף.

האם ההספק שמספק המקור יגדל, יקטן או לא ישתנה כתוצאה מכך? נמק.



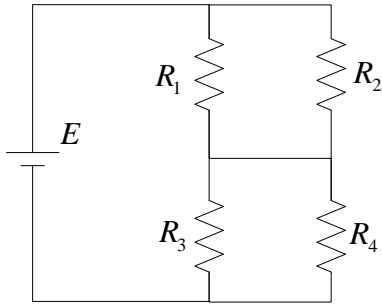
2) נתון המעגל הבא:

א. חשב את ערכו של R לאיזון הגשר.

ב. חשב את נצילות המעגל כאשר הגשר

מאוזן עבור עומס R_L השווה לסכום

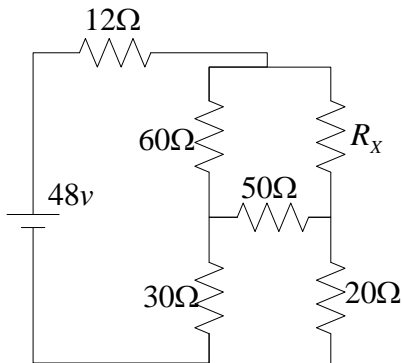
הנגדים R והנגד שערכו $2k\Omega$.



3) לפניך המעגל הבא :

נתון : $E = 25V$, $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 8\Omega$, $R_3 = 12\Omega$.

- מה צריך להיות ערכו של R_4 לאיזון הגשר?
- חשב את הספקו של R_4 כאשר הגשר מאוזן.
- מהי צריכת ההספק הכללית של המעגל?



4) באיור שלפניך מופיע המעגל הבא.

ערך מקור המתח הוא 48V והתנגדותו הפנימית זניחה. חשב :

- מה צריך להיות R_x כדי שלא יזרום זרם בנגד של 50Ω ?
- מה ההתנגדות השקולה שרואה המקור בתנאי של סעיף א'?
- חשב את ההספק שמתבזבז על הנגד של 30Ω .

תשובות סופיות :

- א. $I_1 = 3A$, $I_2 = 5A$. ב. $44v$. ג. $R_T = 5.5\Omega$. ד. חיבור נגד במקביל מגדיל את צריכת הזרם הכללית ולכן הספק המקור יגדל.
- א. $R = 5.333k\Omega$. ב. $\eta = 60\%$.
- א. 9.6Ω . ב. $19.368W$. ג. $63.75W$.
- א. 40Ω . ב. $R_T = 48\Omega$. ג. $P_{30\Omega} = 4.8W$.

מכשירי מדידה:

סיכום כללי:

מכשיר מדידה:

מכשיר חיצוני המאפשר, תחת תנאים מסוימים, למדוד פרמטרים שונים במעגל שהם: זרם, מתח, התנגדות והספק.

כל מכשיר מדידה צריך לשמור על העקרון הבא: רואה ואינו נראה.

רואה - כדי שיוכל לתת לנו את ערך הפרמטר הנמדד.

אינו נראה - על מנת שלא ישפיע על פעולת המעגל ובכך ייתן תוצאה שגויה.

סמל חשמלי	הגדרה	שם
	מודד מתח ביו שתי נקודות	וולטמטר (מד מתח)
	מודד זרם בענף במעגל	אמפרמטר (מד זרם)
	מודד התנגדות בין שתי נקודות	אוהמטר (מד התנגדות)
	מודד הספק בין שתי נקודות	וואטמטר (מד הספק)

מכשירים אידיאליים ומעשיים:

וולטמטר אידיאלי: $R_V = \infty \Omega$, ומעשי: R_V סופי (בד"כ מאות $k\Omega$ או $M\Omega$).

אמפרמטר אידיאלי: $R_A = 0\Omega$, ומעשי: $R_A > 0$ (בד"כ אוהמים בודדים או עשרות אוהמים).

סיכום חיבור וולטמטר למעגל חשמלי:

- (1) מחברים במקביל לרכיב שברצוננו למדוד את המתח עליו.
- (2) מחשבים ע"י לקיחת ההתנגדות הפנימית של הוולטמטר והתייחסות אליו כאל נגד המחובר במקביל לרכיב שלנו.
- (3) מוצאים אחוז סטייה ע"י חלוקת המתח המתקבל במתח התיאורטי.

סיכום חיבור אמפרמטר למעגל חשמלי:

- (1) מחברים בטור לרכיב שברצוננו למדוד את הזרם עליו.
- (2) מחשבים ע"י לקיחת ההתנגדות הפנימית של האמפרמטר והתייחסות אליו כאל נגד המחובר בטור לרכיב שלנו.
- (3) מוצאים אחוז סטייה ע"י חלוקת הזרם המתקבל בזרם התיאורטי.

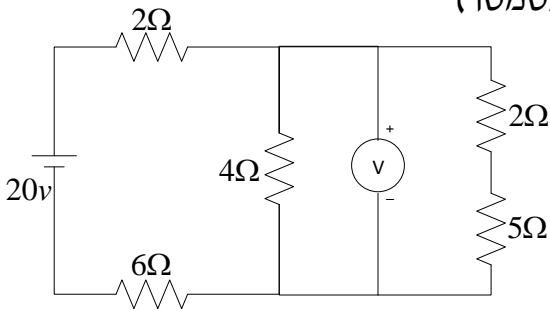
סיכום חיבור אוהמטר למעגל חשמלי:

- (1) מחברים בין שתי נקודות שברצוננו למדוד את ההתנגדות המשתקפת מבעדן.
- (2) מחשבים ע"י לקיחת ההתנגדות הפנימית והתייחסות אליו כאל נגד המחובר במקביל להתנגדות השקולה במעגל.
- (3) מוצאים אחוז סטייה ע"י חלוקת ההתנגדות המתקבלת בהתנגדות התיאורטית.

סיכום חיבור וואטמטר למעגל חשמלי:

- (1) מחברים בין שני הדקים של רכיב שברצוננו למדוד את ההספק דרכו וגם בענף בו הוא מחובר.
- (2) מחשבים ע"י לקיחת שתי התנגדויות, אחת בטור (קטנה יחסית – אוהמים בודדים) ואחת במקביל (גדולה יחסית – מאות ואלפי קילו-אוהמים).
- (3) מוצאים אחוז סטייה ע"י חלוקת ההספק המתקבל בהספק התיאורטי.

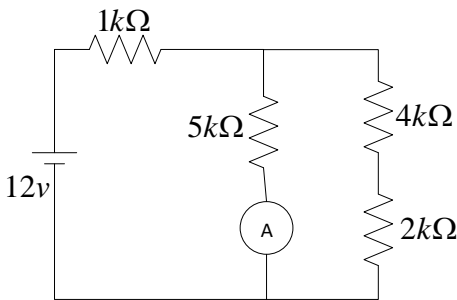
שאלות:



1 במעגל הנתון נמדד מתח באמצעות מד-מתח (וולטמטר)

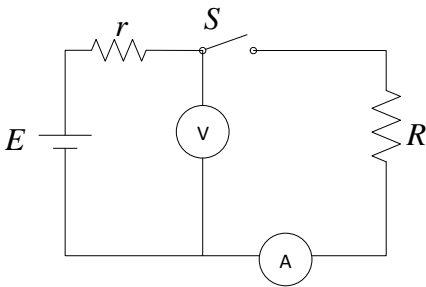
מעשי בעל התנגדות פנימית של $R_V = 500\Omega$.

- חשב את קריאת המתח של מכשיר המדידה.
- חשב את קריאת המתח אם המכשיר היה אידיאלי.
- מהו אחוז השגיאה בקריאה של המכשיר?



2 במעגל שלפניך נמדד זרם ע"י מכשיר מדידה אידיאלי.

- מהי עוצמת הזרם שנמדדה במעגל?
 - מחליפים כעת את מכשיר המדידה במכשיר בעל התנגדות פנימית של $R_A = 200\Omega$.
- (1) חשב בכמה השתנה הזרם הנמדד.
(2) מהו אחוז הסטייה?



3 לפניך המעגל המתואר באיור.

- נתון מקור מתח מעשי E עם התנגדות פנימית r . מחברים את מכשירי המדידה המתוארים. כאשר המפסק S פתוח, הוולטמטר מודד מתח של 12V והאמפרמטר מודד זרם אפס. כאשר המפסק סגור הוולטמטר מודד מתח של 11.5V ואילו האמפרמטר מודד זרם של 1A.

הנח כי האמפרמטר הוא בעל התנגדות זניחה והוולטמטר הוא בעל התנגדות אינסופית.

- חשב את הערך של המתח E , ההתנגדות הפנימית r , והעומס R .
- את הוולטמטר בעל ההתנגדות האינסופית שנתון בשאלה החליפו בוולטמטר בעל התנגדות פנימית של 500Ω . מה תהיה קריאת הוולטמטר והאמפרמטר במקרה הזה כאשר המפסק במצב סגור? שאר הנתונים שמצאת בסעיף א' נשארים קבועים.

תשובות סופיות:

- 1 א. 4.808V ב. 4.827V ג. error = 0.414%
 2 א. 1.755mA ב. $\Delta I = -57\mu A$ (1) ג. error = 2.9% (2)
 3 א. $E = 12V, r = 0.5\Omega, R = 11.5\Omega$ ב. $U = 11.488V, I = 0.999A$

רכיבים לא ליניאריים וניתוח לפי מודל אות קטן:

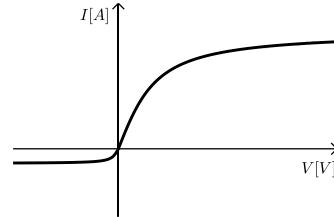
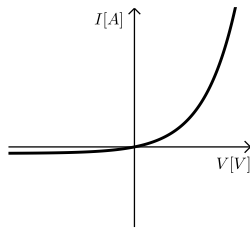
סיכום כללי:

הגדרה:

רכיב לא ליניארי הוא כזה שתחת אילוצי מתח וזרם מסוימים מתנהג באופן אחד ותחת אילוצים אחרים יתנהג באופן אחר. במילים אחרות, מצב פעולת הרכיב תלוי בערכי המתח והזרם עליו. כדי לאפיין רכיבים לא ליניאריים נעזרים באופיין I-V שלהם.

אופיין I-V:

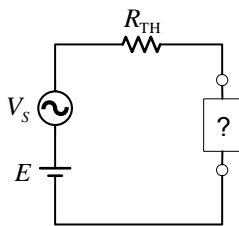
גרף המתאר את הקשר שבין הזרם העובר ברכיב לבין מפל המתח עליו: $I = g(V)$. מהאופיין של הרכיב נוכל לתאר את פעולתו, למצוא את התנגדותו, ועוד. דוגמאות לצורות גרפים של אופיינים נפוצים:



נקודת עבודה:

נקודת עבודה של רכיב לא ליניארי היא נקודה (V_0, I_0) על גרף האופיין שלו. באמצעות נקודת העבודה ניתן לאפיין את התנהגות הרכיב בסביבות הנקודה עצמה. ההתנגדות של רכיב לא ליניארי היא שונה בנקודות עבודה שונות.

פישוט מעגל חשמלי עם רכיב לא ליניארי:



נפשט מעגל חשמלי לרכיבים הבאים:

- מקור מתח קבוע כלשהו E .
- מקור מתח משתנה כלשהו $V_s = V_{AC} \cos(\omega t)$.
- התנגדות שקולה R_{TH} .
- הרכיב הלא-ליניארי.

כאשר את המתח השקול במעגל נכתוב: $V_{TH}(t) = E + V_s(t)$.

קירוב טיילור לביטוי הזרם דרך רכיב לא ליניארי:

נסמן את הזרם והמתח שעוברים ברכיב הלא-ליניארי באופן הבא:

$$I(t) = I_0 + \Delta I(t)$$

$$V(t) = V_0 + \Delta V(t)$$

- מתארים את נקודת העבודה ומחושבים ע"י מודל אות גדול (מתחי ה-DC במעגל).
- $\Delta I(t)$, $\Delta V(t)$ מתארים את השינויים הזמניים ומחושבים ע"י מודל אות קטן (מתחי AC).

נקרב את הביטוי של הזרם לפי טור טיילר מסדר ראשון: $I(V, t) = g(V_0) + g'(V_0) \cdot \Delta V$

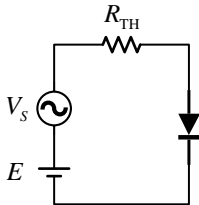
$$\Delta V \ll \left| \frac{2g'(V_0)}{g''(V_0)} \right| : \text{כאשר התנאי לקיום הקירוב הוא:}$$

❖ דוגמה לחישוב משרעת תנודות עבור קירוב טיילור לזרם:

מהי משרעת התנודות המקסימלית שעד אליה ניתן להיעזר בקירוב טיילור לביטוי

הזרם עבור רכיב שאופיין ה-I-V שלו מתואר ע"י: $I(V) = I_C \left(1 - \exp \left\{ -\frac{V}{V_A} \right\} \right)$?

❖ דוגמה מסכמת - מציאת ביטוי זרם ומתח עבור רכיב לא ליניארי:



במעגל מסוים מחוברת דיודת PN אשר מתנהגת בצורה לא ליניארית ואלה מחוברים שני מקורות המתח הבאים:

מתח קבוע $E = 3.3V$ ומתח חילופין (AC) $V_s = V_{AC} \sin(\omega_0 t)$.
ההתנגדות השקולה שמרגישה הדיודה היא $R_{TH} = 4\Omega$.

הביטוי המקורב של אופיין I-V של דיודת PN הוא: $I_D = I_S \left(\exp \left\{ \frac{V_D}{V_T} \right\} - 1 \right)$

כאשר V_T הוא מתח תרמי השווה לערך $V_T = 26mV$ ו- I_S הוא זרם הרוויה של ההתקן ושווה ל- $I_S = 2\mu A$. הם בהתאמה הזרם שעובר דרך הדיודה ומפל המתח עליה).

א. יש למצוא ביטוי לזרם הכללי במעגל ולמפל המתח על פני הדיודה (השאר את פרמטרי אות ה-AC).

ב. עבור: $V_{AC} = 50mV$, $\omega_0 = 2\pi \cdot 50 \frac{rad}{sec}$, סרטט גרף זמני של הזרם במעגל.