

תוכן העניינים:

2	מבוא ועקרונות המעגל המקובץ
2	המעגל החשמלי המקובץ : סיכום כללי :
2	סיכום כללי :
6	מוסכמת הצרכן ורכיבי המעגל החשמלי :
6	סיכום כללי :
9	חוקי קירכהוף :
9	סיכום כללי :
10	שאלות :
10	תשובות סופיות :
11	מעגלי התנגדות עקרוניים :
11	סיכום כללי :
14	שאלות :
18	תשובות סופיות :
19	מקורות אנרגיה מעשיים והמרת מקורות :
19	סיכום כללי :
20	שאלות :
21	תשובות סופיות :
22	מתג מבוקר אידיאלי ומעשי :
22	סיכום כללי :

שימו לב!

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

תורת המעגלים החשמליים

מבוא ועקרונות המעגל המקובץ

המעגל החשמלי המקובץ:

סיכום כללי:

מעגל מקובץ:

מעגל מקובץ הוא מעגל המורכב מרכיבים מקובצים. רכיב מקובץ הינו רכיב שאורכו הפיזי, L_c , קטן משמעותית מאורך הגל של האות

החשמלי המתאים לתדר חשמלי ω העובר במעגל: $\lambda = \frac{c}{f} = 2\pi \frac{c}{\omega} \gg L_c$.

הגדרה מכיוון אחר:

נסמן את פרק הזמן שלוקח לגל מישורי לעבור התקן באורך L_c ב- τ_c ונקבל: $\tau_c = \frac{L_c}{c} \ll \frac{1}{f} = T$.

יסודות המעגל החשמלי:

מעגל חשמלי כללי מורכב מ-4 מרכיבים עיקריים:

- מקור – מספק אנרגיה חשמלית למעגל (סוללה / גנרטור).
- צרכן/עומס – מנצל את האנרגיה החשמלית.
- תמסורת – רשת המכוונת את האנרגיה מהמקור לעומס/ים.
- בקרה – אפשרות לשלוט על פעולת/ות המעגל (בין באופן ידני בין באופן אוטומטי).

הזרם החשמלי:

זרם חשמלי מוגדר בתור כמות המטען Q שעובר דרך חתך A בפרק זמן t .

כלומר: $i(t) = \frac{dQ}{dt}$. יחידות: $\frac{C}{sec} = A$ → $[i] = \left[\frac{dQ}{dt} \right]$, כלומר: $[i] = A$.

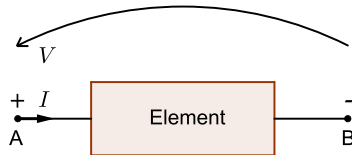
המתח החשמלי:

המתח החשמלי מוגדר בתור הפרש פוטנציאלים בין שתי נקודות במרחב: $v_{12} = v_1 - v_2$.
(מתח חיובי מקיים: $v_1 > v_2$ ומתח שלילי מקיים: $v_1 < v_2$).

$$\text{יחידות הפוטנציאל החשמלי: } [v] = \left[\frac{E_p}{q} \right] = \frac{J}{C} = V$$

כיווני ייחוס:

ניתן לאפיין כל רכיב חשמלי ע"י המתח החשמלי הנופל על הדקיו והזרם החשמלי העובר דרכו. על מנת לנתח מעגלים שונים, נפתח במוסכמות שילוו אותנו לאורך הקורס עבור כיווני הגדלים באופן הבא:



אותות פיזיקליים:

אות הוא גודל בעל ערך פיזיקלי כלשהו המשתנה בזמן, במרחב או בשניהם.

אותות קבועים בזמן:

אות זרם קבוע בזמן נקרא Direct Current או D.C. ויקיים: $\forall t: I(t) = I$.
בדומה, אות מתח קבוע בזמן יסומן ב- V ויקיים: $\forall t: V(t) = V$ וגם אליו נתייחס במינוח D.C.

אותות המשתנים בזמן:

מקובל לסמן אותות המשתנים בזמן באותיות קטנות: $v(t)$, $i(t)$.
כאמור לעיל, הפונקציות הזמניות יכולות להיות אנליטיות או אקראיות.

משוואות מקסוול:

ניסוח אינטגרלי	ניסוח דיפרנציאלי	שם	מספר
$\oiint (\varepsilon \vec{E}) \cdot d\vec{s} = \iiint_V \rho_{free} dV = Q$	$\nabla \cdot (\varepsilon \vec{E}) = \rho_{free}$	חוק גאוס	1
$\oiint (\mu \vec{H}) \cdot d\vec{s} = 0$	$\nabla \cdot (\mu \vec{H}) = 0$		2
$\oint_{loop} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \iint_{surface} (\mu \vec{H}) \cdot d\vec{n} = -\frac{\partial \Phi_B}{\partial t}$	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} (\mu \vec{H})$	חוק פאראדיי	3
$\oint_{loop} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \frac{\partial}{\partial t} \iint_{surface} (\varepsilon \vec{E}) \cdot d\vec{n} + \vec{I}$	$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon \vec{E}) + \vec{J}$	חוק אמפר	4
$\oiint (\vec{J} \cdot d\vec{s}) = -\frac{\partial Q}{\partial t}$	$\nabla \cdot \vec{J} = -\frac{\partial}{\partial t} \rho_{free}$	משוואת הרציפות	5

דרישות:

- (1) $\rho_{free} = 0$ בכל מרחב המעגל מקובץ, כלומר אין מטען חופשי ברכיבים המקובצים עצמם או בחוטים/חיבורים שבין רכיבים מקובצים.
- (2) אין מקורות (מטענים) אחרים בכל מרחב המעגל היוצרים שדה חשמלי.
- (3) אין צימוד חשמלי ומגנטי.

מסקנות:

(1) אי קיומו של שדה חשמלי:

השדה החשמלי $\vec{E} = 0$ מחוץ לרכיבים המקובצים.

(2) אי הצטברות מטען חשמלי:

מהדרישה $\rho_{free} = 0$ נאמר כי לא נאגר מטען חשמלי באף רכיב מקובץ במעגל.

$$\cdot \frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho_{free} dV = \frac{\partial Q}{\partial t} = 0$$

לכן בכל מרחב המעגל תמיד מתקיים:

- הזרם הנכנס לרכיב מקובץ לעולם שווה לזרם היוצא.

- מפל המתח על פני רכיב מקובץ $v_{12}(t)$ שווה למפל המתח $v_{12}(t + \Delta t)$ עבור מטען Δq

שעובר דרך רכיב מקובץ במשך זמן Δt . כלומר: $v_{12}(t) = v_{12}(t + \Delta t)$

(3) אי קיומה של השראות מגנטית:

במידה וקיים שטף מגנטי ברכיב מקובץ כלשהו אז הוא יהיה קבוע בזמן עקב מימדי הרכיב. על כן לא ייווצרו מתחים חשמליים עקב השראות מגנטית בכל מרחב המעגל המקובץ.

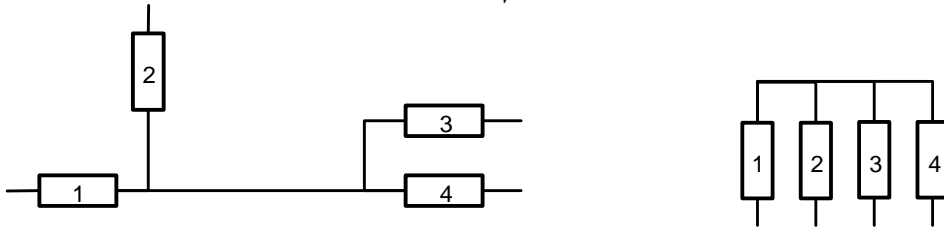
$$\oint_{loop} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial \Phi_B}{\partial t} = 0$$

(4) קירוב מימדי המעגל המקובץ וחיבורי רכיבים מקובצים:

נוכל למדל מעגל מקובץ באמצעות רכיבים נקודתיים ומוליכים אידיאליים.

$$E = \frac{J}{\sigma} \rightarrow 0 \text{ : שדה חשמלי לאורכם}$$

ממילא כי הפוטנציאל החשמלי בכל נקודה על פניהם שווה:



מוסכמת הצרכן ורכיבי המעגל החשמלי:

סיכום כללי:

מוסכמת הצרכן:

- כאשר זרם חיובי נכנס לרכיב מקובץ מההדק המוחזק בפוטנציאל הגבוה ויוצא מההדק המוחזק בפוטנציאל הנמוך נאמר כי רכיב זה צורך אנרגיה מהמעגל ועל כן הוא **צרכן במעגל**.
- כאשר זרם חיובי נכנס לרכיב מקובץ מההדק המוחזק בפוטנציאל הנמוך ויוצא מההדק המוחזק בפוטנציאל הגבוה נאמר כי רכיב זה מספק אנרגיה למעגל ועל כן הוא **ספק במעגל**.



הספקים:

- האנרגיה החשמלית הופכת למשהו אחר ולכן הרכיב צרכן עבור $i(t) > 0$: $p(t) > 0$, כלומר, השתמש באנרגיה שקיבל מהמעגל.
- האנרגיה יצאה מהרכיב כלומר הוא מספק אותה למעגל. עבור $i(t) < 0$: $p(t) < 0$

חוק אוהם (Ohm's law):

הקשר שבין אות מתח ואות הזרם הקיימים על פני רכיב מסוים ניתן לתיאור פשוט

$$I = \frac{V}{R} ; V = IR$$

הגודל R מתאר את ההתנגדות של רכיב מסוים.

$$\text{Ohm} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ampere}} \rightarrow [\Omega] = \left[\frac{\text{V}}{\text{A}} \right] : \Omega \text{ ומקיימות} : (\text{Ohm})$$

הערה:

ניתן גם להסתכל על מוליכות חשמלית במקום על התנגדות חשמלית.

מוליכות חשמלית מוגדרת בתור: $G = \frac{I}{V}$ ויחידותיה:

$$\text{Ohm}^{-1} = \text{Simens} = \text{Mho} = \frac{\text{Ampere}}{\text{Volt}} \rightarrow [S] = [\mathcal{U}] = \left[\frac{\text{A}}{\text{V}} \right]$$

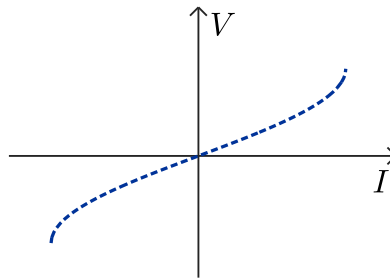
המוליכות החשמלית מוגדרת בתור הנטייה של רכיב לאפשר זרימה של מטענים.

מתקיים: $R \cdot G = 1$.

הנגד כרכיב חשמלי:

רכיב המורכב מסגסוגת של חומרים מוליכים ומבודדים באופן כזה שניתן לשלוט על מידת ההתנגדות שלו.

אופיין I-V של נגד ליניארי:



מקורות אנרגיה:

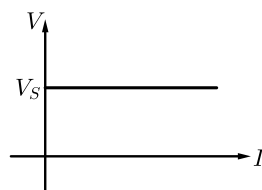
מקורות אנרגיה הם רכיבים אשר מספקים אנרגיה חשמלית/מגנטית למעגל.

ניתן לחלק את מקורות האנרגיה לשני סוגים:

- מקורות בלתי תלויים.
- מקורות תלויים/מבוקרים.

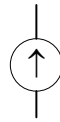
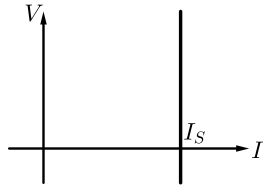
(1) מקור מתח בלתי תלוי אידיאלי:

רכיב חשמלי המספק מתח חשמלי נתון וקבוע למעגל ללא תלות בזרם העובר דרכו. להלן הסמל החשמלי והאופיין החשמלי:



2) מקור זרם בלתי תלוי אידיאלי:

רכיב חשמלי המספק זרם חשמלי נתון וקבוע למעגל ללא תלות במתח הנופל עליו.
להלן הסמל החשמלי והאופיין החשמלי:



חוקי קירכהוף:

סיכום כללי:

הגדרות במעגלים חשמליים - טופולוגיות של מעגל:

מונח	שם באנגלית	הגדרה
צומת	Node	נקודת מפגש בין שלושה אלמנטים חשמליים שונים או יותר
ענף	Branch	קטע המחבר בין שני צמתים ומכיל אלמנט חשמלי אחד לפחות
לולאה	Mesh	מסלול סגור היוצא ומסתיים באותה הנקודה

הערה:

צומת הכולל מפגש של שני אלמנטים חשמליים נקרא 'צומת מנוון' או 'צומת פשוט'. ברוב המקרים, לא נייחס חשיבות לצומת שכזה ולא נספור אותו במניין הצמתים שבמעגל מסוים.

חוקי קירכהוף:

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

$$\sum_{n=1}^N i_n = 0 \Rightarrow \sum i_{in} = \sum i_{out}$$

סכום הזרמים הנכנסים וצומת ויוצאים ממנה שווה לאפס:

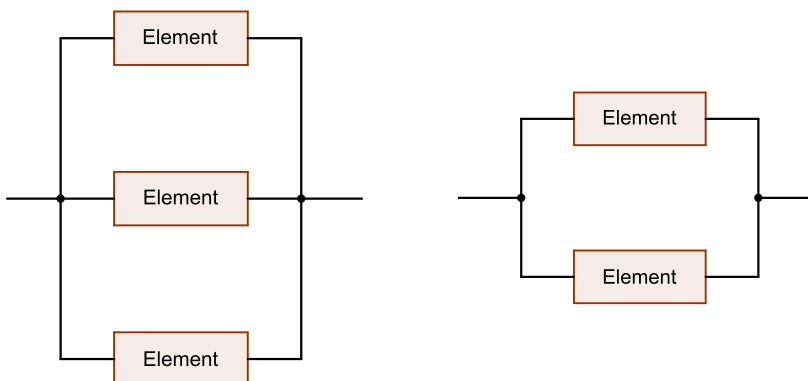
(2) חוק המתחים של קירכהוף (KVL - Kirchhoff Voltage Law):

$$\sum_{n=1}^N v_n = 0$$

סכום המתחים על פני לולאה סגורה שווה לאפס:

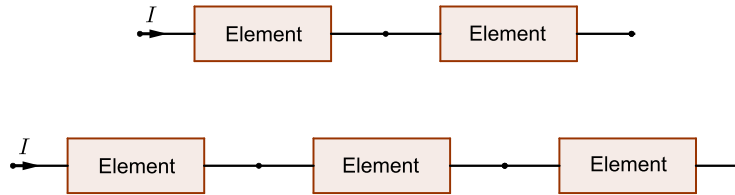
חיבור רכיבים במקביל:

חיבור מקבילי מתואר ע"י מספר רכיבים מקובצים בעלי שני הדקים, המחוברים בין אותם הצמתים. בתצורה זו נסיק מ-KVL כי מפל המתח על כל הרכיבים זהה.



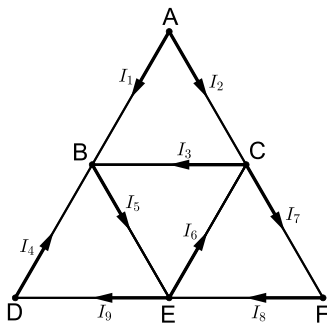
חיבור רכיבים בטור:

חיבור בטור מתואר ע"י זוג רכיבים בעלי שני הדקים המחוברים באחד מן ההדקים שלהם. לפי KCL הזרם העובר דרכם חייב להיות זהה. ניתן להרחיב את עקרון זה ליותר משני רכיבים, בתנאי שכולם נמצאים על ענף אחד (כלומר הצומת בין כל זוג רכיבים הוא צומת פשוט/מנוון). במקרה זה נאמר כי הרכיבים 'משורשרים' זה לזה.



שאלות:

שאלות חימום יסודיות:



1 נתון המעגל הבא בו בכל ענף יש אלמנט חשמלי כלשהו.

כיווני הזרמים בכל ענף מסומנים ב- I_1 עד I_9 .

א. נתון: $I_1 = 3A$, $I_3 = 8A$, $I_5 = 6A$.

מצא את שאר הזרמים.

במידה וחסרים נתונים ציין מה הם.

ב. ללא קשר לסעיף הקודם, כעת נתון:

$U_1 = 7V$, $U_3 = 4V$, $U_5 = 5V$, $U_9 = -2V$

מצא את שאר המתחים.

שים לב – כיווני המתחים הם בהתאם לכיווני הזרמים

(ראש חץ המתח יימצא בתחילת חץ הזרם).

במידה וחסרים נתונים ציין מה הם.

תשובות סופיות:

1 א. $I_2 = -3A$, $I_4 = -5A$, $I_6 = I_7 + 11$, $I_8 = I_7$, $I_9 = -5A$

יש לקבל את אחד מהזרמים I_6, I_7 או I_8 מאחר והם תלויים.

ב. $U_2 = U_4 = -3V$, $U_6 = -9V$, $U_7 + U_8 = 9V$

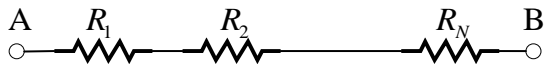
יש לקבל את אחד מהמתחים U_7, U_8 כדי שיהיה פתרון יחיד.

מעגלי התנגדות עקרוניים:

סיכום כללי:

חיבור נגדים בטור:

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

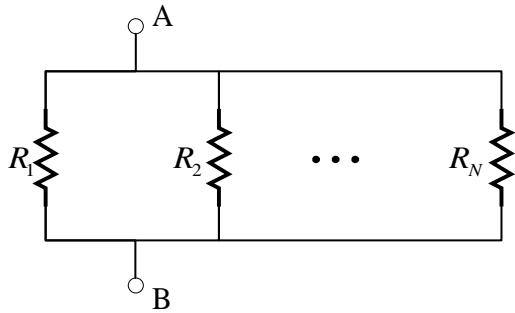


$$R_T = \sum_{k=1}^N R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_N$$

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

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: $R_T = \frac{R}{N}$

המרת כוכב-משולש :

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

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

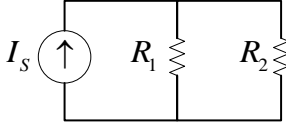
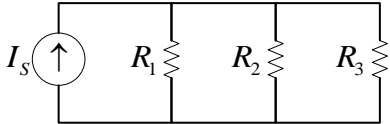
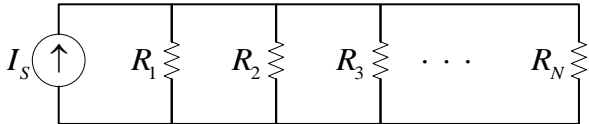
הערה :

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

עיקרון מחלק מתח :

מקרה כללי	מקרה יסודי – 3 נגדים בטור
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $1 \leq k \leq N: U_{R_k} = \frac{R_k}{\sum_{m=1}^N R_m} E_S$ </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $U_{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} E_S$ $U_{R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} E_S$ $U_{R_3} = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} E_S$ </div>

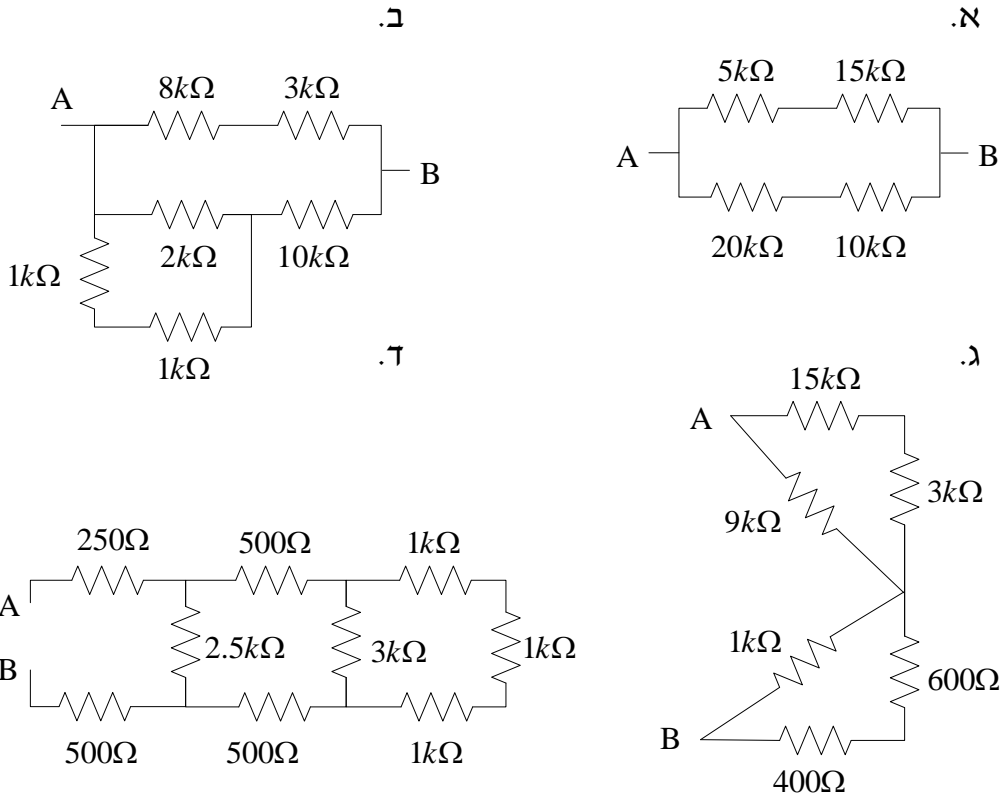
עיקרון מחלק זרם:

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

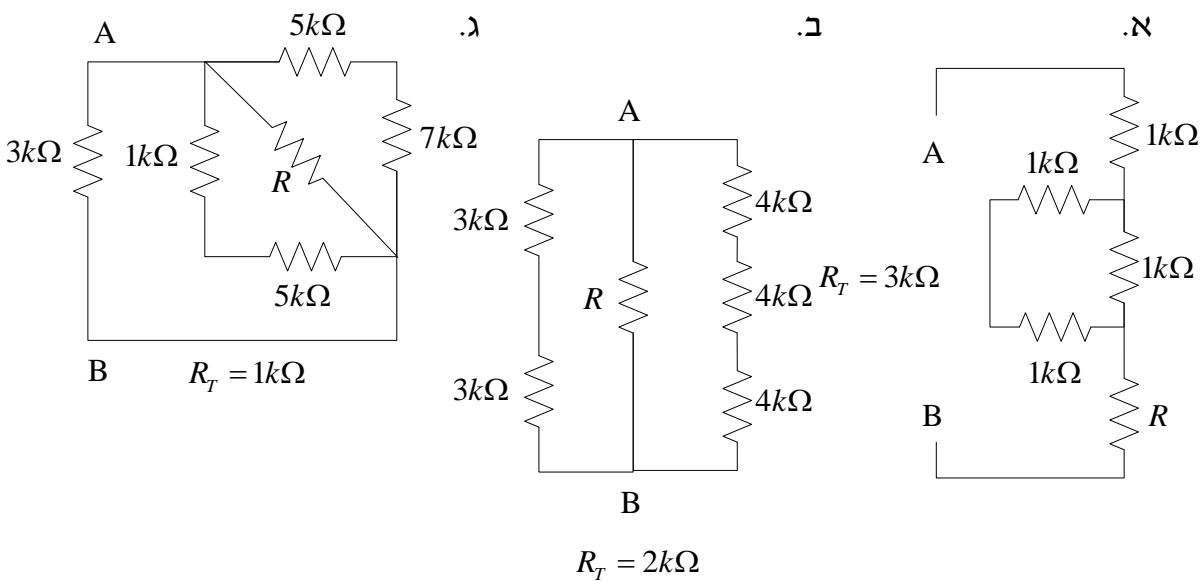
שאלות:

שאלות חימום יסודיות:

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

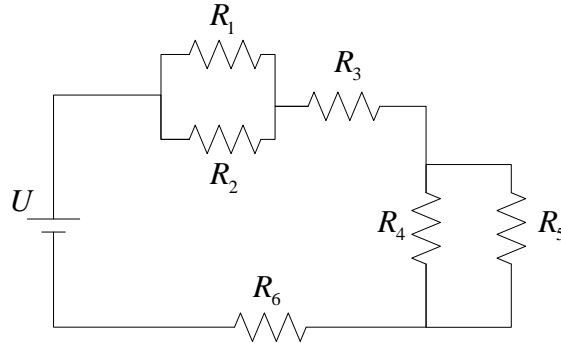


2) ההתנגדות השקולה בין הנקודות A ו-B במעגלים הבאים נתונה. מצא את R.

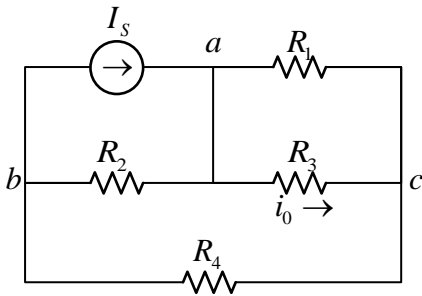


3) חשב את הזרמים והמתחים העוברים במעגל הבא. העזר בחוק מחלק המתח ומחלק הזרם. נתון:

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



שאלה ברמת תרגיל בית:



4) במעגל שלפניכם נתון:

$I_s = 1.6A$, $R_1 = 12\Omega$, $R_2 = 4\Omega$

$R_3 = 6\Omega$, $R_4 = 8\Omega$

א. מהו ערכו של המתח V_{ab} ?

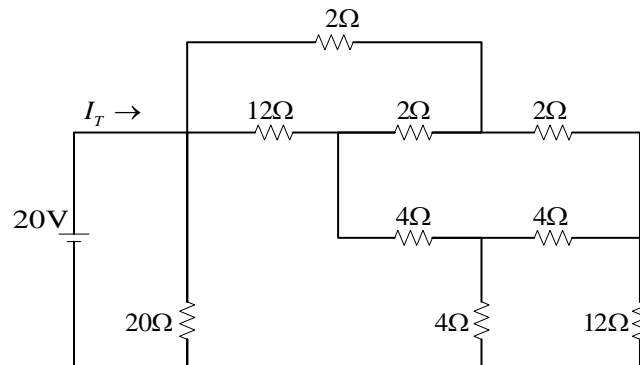
ב. מהו ערכו של הזרם i_0 ?

ג. מהו ערכו של המתח V_{cb} ?

ד. מהו ההספק שמספק מקור הזרם למעגל?

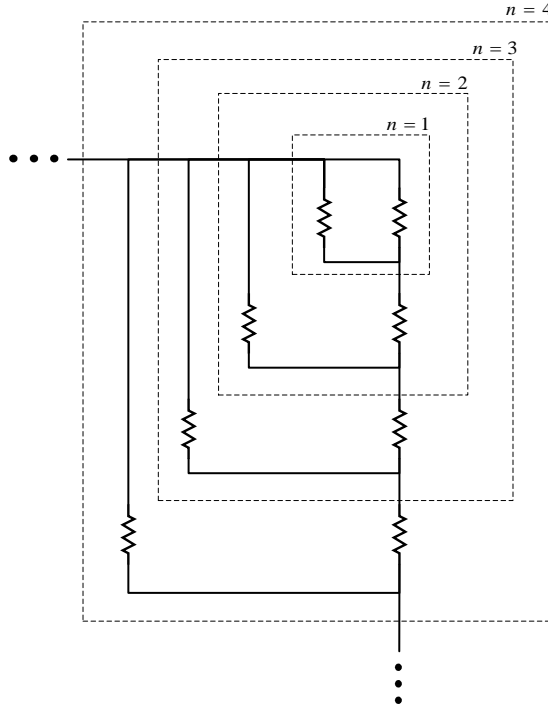
שאלות חימום והעשרה (מציאת התנגדות שקולה משיקולי סימטריה):

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



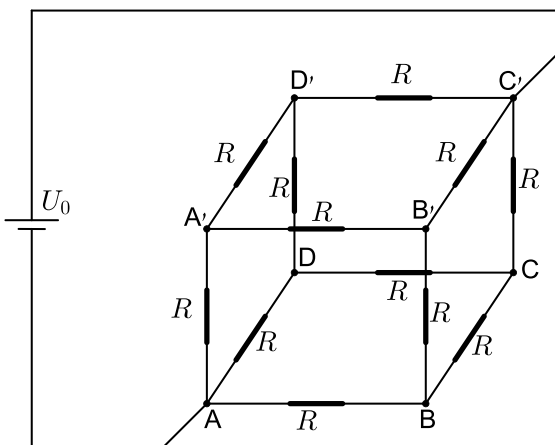
6) נתונה רשת נגדים אינסופית המתוארת באיור הבא. ערכי כל הנגדים זהים ושווים ל- R . הוכח כי עבור $n \rightarrow \infty$ ההתנגדות השקולה (המשוקפת מבעד שני ההדקים האינסופיים

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



הערה:

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



7) מחברים סוללה בעלת מתח של $U_0 = 18V$

והתנגדות פנימית זניחה לרשת נגדים הבנויה

בצורת קובייה ABCDA'B'C'D'

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

(כל אחד) כמופיע באיור הבא.

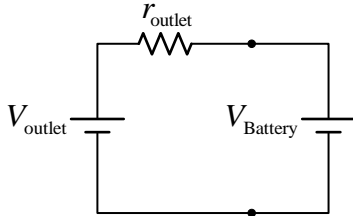
א. מצא את ההתנגדות השקולה

של רשת הנגדים.

ב. חשב את הזרם הכללי של המעגל.

שאלות ברמת תרגיל כיתה:

- 8) רוצים להטעין סוללה של מכשיר מסוים ומחברים אותה לספק כוח המסוגל לספק מתח של $14V$ והוא בעל התנגדות פנימית של 80Ω . מתח הסוללה הוא $5.8V$. להלן סכמה חשמלית המתארת את אופן החיבור



כאשר:

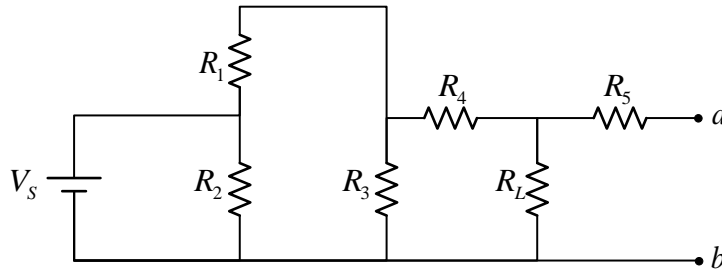
V_{outlet} - מתח ספק הכוח.

$V_{Battery}$ - מתח הסוללה.

r_{outlet} - התנגדות ספק הכוח.

קבעו האם מי ממקורות המתח הוא צרכן ומי הוא ספק וחשבו את ההספק של כל אחד מהם.

- 9) לפניכם המעגל הבא:



נתוני הרכיבים הם:

$$V_S = 24V, R_1 = 4\Omega, R_2 = 16\Omega, R_3 = 15\Omega, R_4 = 10\Omega, R_5 = 13\Omega, R_L = 50\Omega$$

א. מהו הזרם הזורם דרך הנגד R_5 ?

ב. מצאו את ההתנגדות השקולה בכניסה למעגל, כלומר כלפי מקור המתח.

שימו לב!

התנגדות כניסה מוגדרת בתור ההתנגדות שרואה מקור המתח ולכן היא יכולה להחליף את כל רשת הנגדים שמהווה את התנגדות המעגל הכללית.

ג. מצאו את התנגדות המוצא של המעגל כלפי העומס R_L .

זכרו כי כדי למצוא התנגדות שרכיב במעגל רואה, יש לשתק מקורות אנרגיה תחילה ולאחר מכן לנתק את הרכיב שביחס אליו יש לשקף את ההתנגדות המבוקשת.

ד. (1) מהו ההספק הנצרך ע"י הנגד R_1 ?

(2) מהו ההספק המסופק למעגל?

ה. מהו המתח בין הנקודות a ו- b ?

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. $2.4k\Omega$
- (3) $I_1 = 421\mu A$, $I_2 = 842\mu A$, $I_3 = I_6 = 1.263mA$, $I_4 = I_5 = 631\mu A$
- $V_1 = V_2 = 1.684V$, $V_3 = 3.789V$, $V_4 = V_5 = 3.155V$, $V_6 = 3.368V$
- (4) א. $V_S = 4.8V$ ב. $i_0 = 0.2667A$ ג. $V_{cb} = 3.2V$ ד. $P(I_S) = -7.68W$
- (5) $I_T = 4.04A$
- (6) שאלת הוכחה.
- (7) א. 2.5Ω ב. $7.2A$
- (8) צרכן – Battery עם : $P = 0.5945W$, ספק – Outlet עם : $P = -1.435W$
- (9) א. $I_5 = 0A$ ב. $R_T = 8\Omega$ ג. $R_T = 13.15\Omega$
- ד. $P(R_1) = 9W$ (1) ד. $P_S = -72W$ (2) ה. $V_{ab} = 15V$

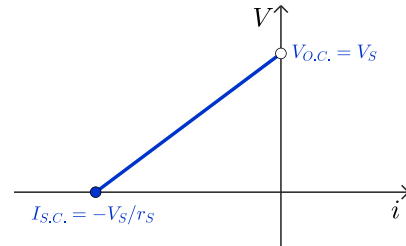
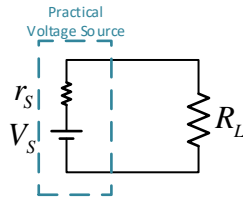
מקורות אנרגיה מעשיים והמרת מקורות:

סיכום כללי:

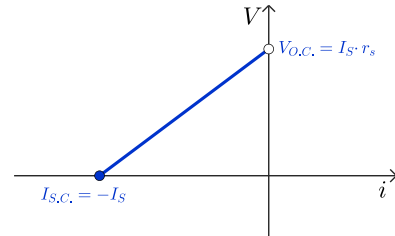
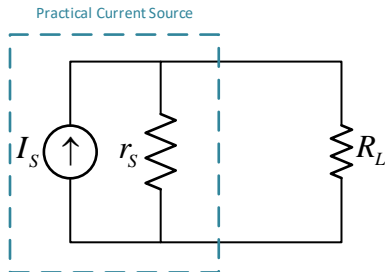
חיבור מקורות אנרגיה אידיאליים:

- ניתן לחבר מקורות מתח בטור.
- לא ניתן לחבר מקורות מתח במקביל.
- ניתן לחבר מקורות זרם במקביל.
- לא ניתן לחבר מקורות זרם בטור.

מודל ליניארי של מקור מתח מעשי:

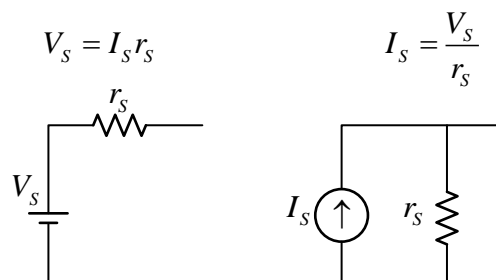


מודל ליניארי של מקור זרם מעשי:



המרת מקורות מעשיים:

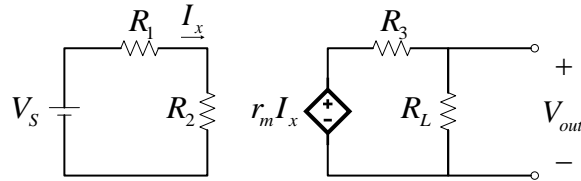
בהינתן מקור אנרגיה מעשי וליניארי, ניתן לייצג אותו כמקור מתח מעשי או מקור זרם מעשי. ההמרה בין הייצוגים תתבצע באופן הבא:



שאלות:

שאלות חימום יסודיות:

(1) לפניך המעגל הבא:

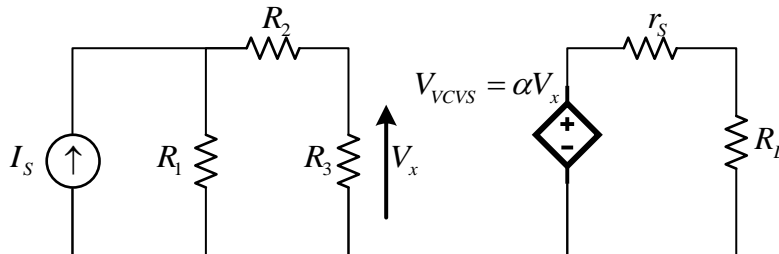


- א. הבע את מתח המוצא V_{out} באמצעות הגדלים שבסכמה החשמלית.
- ב. המעגל משמש כחוצץ מתח, כלומר, מתח המוצא צריך להיות שווה למתח הכניסה אך ללא אפשרות של מעבר זרם בין שני חלקי המעגל. מצא תנאי על r_m אשר יבטיח זאת.

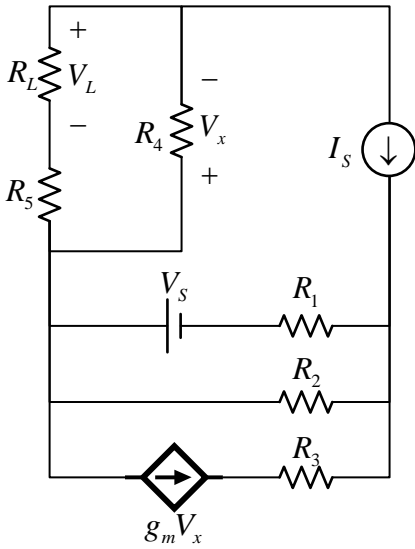
שאלות ברמת תרגיל כיתה ושאלות מסכמות:

(2) במעגל שלפניכם, נתון מקור זרם אידיאלי ומקור מתח מבוקר מתח. ערכי הרכיבים הם:

$$I_s = 3.2A, R_1 = 10\Omega, R_2 = 2\Omega, R_3 = 4\Omega, r_s = 5\Omega, R_L = 100\Omega, \alpha = 2.5$$



- א. מה הוא המתח על נגד העומס?
- ב. מהו הזרם העובר דרך המקור התלוי?
- ג. האם התוצאות של סעיפים א-ב היו משתנות בהנחה ולשני חלקי המעגל לא היה צומת משותף? מהו תפקיד הצומת המשותף? נמקו.
- ד. הערה: בשאלה זו התייחסו ל- $\alpha = 10$ על מנת לקבל שוני בתוצאות. ראו התייחסות בסרטון הוידאו. מהו הספק מקור הזרם ומהו ההספק המתפזר על פני נגד העומס? כיצד ניתן להסביר את מהות התוצאה? אם נשנה את α כך ש: $\alpha < 1$ התוצאה תתאים לנתוני המעגל?



3 במעגל שלפניכם נתון :

$$R_1 = 2R ; R_k = R : 2 \leq k \leq 5 ; R_L = R$$

מקורות האנרגיה הבלתי תלויים, I_s ו- V_s נתונים.

$$g_m = \frac{2}{R} \cdot \text{מוליכות המקור התלוי היא}$$

א. מהו המתח V_L ?

ב. האם ייתכן שמקור המתח V_s

יהיה צרכן במעגל?

אם כן, נמק. אם לא – הסבירו מדוע.

ג. (1) מהו ההספק שמספק המקור I_s למעגל?

(2) מהו ההספק שמספק המקור התלוי למעגל?

(3) מהו תחום הערכים של V_s עבורם כל המקורות יהיו ספקים במעגל?

תשובות סופיות:

$$V_{out} = \frac{R_L}{R_3 + R_L} \frac{r_m}{R_1 + R_2} V_s \quad \text{א. (1)} \quad r_m = \frac{(R_3 + R_L)(R_1 + R_2)}{R_L} \quad \text{ב. (1)}$$

$$V_L = 19.04V \quad \text{א. (2)} \quad I_L = 0.19A \quad \text{ב. (2)} \quad \text{ג. תפקידו לייחס אדמה משותפת לשני}$$

חלקי המעגל, כך במציאת מתח בין שתי נקודות משני חלקי המעגל יהיה

ייחוס משותף. ד. בסעיף זה יש להתייחס ל- $\alpha = 10$ ובכך מתקבל: $P_L = 58W$

אשר גדול יותר מהספק הכניסה של המעגל - $P(I_s) = -38.4W$. במקרה זה

נסביר כי מקורות תלויים מקבלים אנרגיה מחוץ למעגל עצמו ולכן בהחלט

ייתכן מקרה בו סך האנרגיה במערכת לא מתאפס.

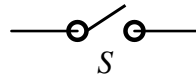
$$V_L = -\frac{1}{3} R I_s \quad \text{א. (3)} \quad \text{ב. כן, כאשר: } -\frac{7}{3} R I_s < V_s < 0$$

$$P(I_s) = \frac{1}{3} I_s V_s - \frac{20}{9} I_s^2 R \quad \text{ג. (1)} \quad P(I_s) = \frac{4}{9} I_s V_s - \frac{104}{27} I_s^2 R \quad \text{ג. (2)}$$

$$V_s < -\frac{7}{3} R I_s, \quad 0 < V_s < \frac{20}{3} R I_s \quad \text{ג. (3)}$$

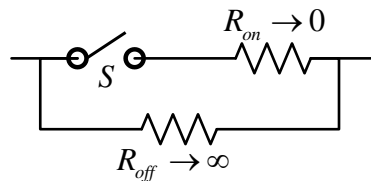
מתג מבוקר אידיאלי ומעשי:

סיכום כללי:

סימון של מפסק פשוט במעגל חשמלי: 

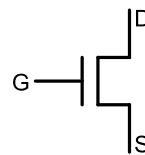
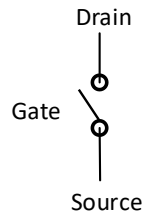
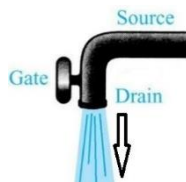
נוכל להתייחס לרכיב בעל התנגדות R כאל מפסק כאשר:

- אם $R \rightarrow \infty$ אז לא עובר זרם דרכו והוא מתפקד כנתק במעגל = מפסק פתוח.
- אם $R = 0$ אז הרכיב מתנהג כמוליך מושלם והוא מתפקד כקצר = מפסק סגור.



מפסק מבוקר חשמלית - הטרנזיסטור:

הטרנזיסטור הוא רכיב אלקטרוני, שבצורתו הבסיסית מכיל 3 הדקים. ישנם סוגים שונים של טרנזיסטורים, כל אחד כולל את המבנה והפיזיקה הפנימית שלו. יחד עם זאת, התפקוד שלהם כמפסקים במעגלים ספרתיים הוא זהה. נתמקד ספציפית בטרנזיסטור מסוג MOSFET, ההדקים שלו הם:



- שפך (Drain)
- מקור (Source)
- שער (Gate)

ניתן לשלוט על המעבר של זרם חשמלי באמצעות המתח שבין השער (Gate) לבין המקור (Source). כאשר מתח זה גדול ממתח סף מסוים (Threshold), הטרנזיסטור יאפשר זרימה של זרם מהשפך למקור. במקרה זה ההתנגדות תהיה קטנה מאוד: $R \rightarrow 0$.

מאידך, אם המתח V_{GS} קטן ממתח הסף, הטרנזיסטור יחסום תנועה של מטענים

מהשפך למקור ובכך יתפקד כנתק, כלומר: $R \rightarrow \infty$. השליטה על המתח V_{GS} מתבצעת ע"י מעגל בקרה חיצוני.