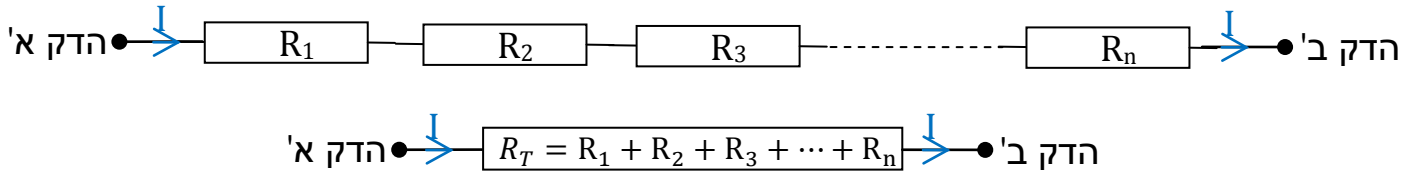


נגדים המחוברים בטור

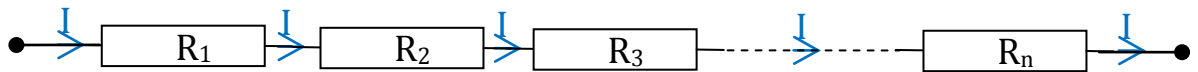
בשיעור הקודם אמרנו, שכאשר נגדים מחוברים בטור מתקבלת בין ההדקים התנגדות שקולה השווה לסכום ההתנגדויות של הנגדים. במילים אחרות, אפשר להחליף את שרשרת הנגדים בנגד אחד שהתנגדותו שווה לסכום ההתנגדויות ו"שום דבר לא ישתנה". באמירה זו הכוונה היא לכך שכל התקן (סוללה למשל) או מכשיר מדידה (מד התנגדות למשל) שנחבר בין ההדקים, "לא יוכל לדעת" שהחלפנו את שרשרת הנגדים בנגד אחד ויחיד – **הנגד השקול**. הזרם שתזרים הסוללה דרך הנגד השקול יישאר אותו הזרם שהיא הזרימה דרך שרשרת הנגדים, וההתנגדות שימדוד מד ההתנגדות בין ההדקים תישאר אותה ההתנגדות שמדד קודם.



הזרם דרך נגדים המחוברים בטור

כאשר נגדים (או רכיבים אחרים) מחוברים בטור זורם דרך כולם אותו הזרם!

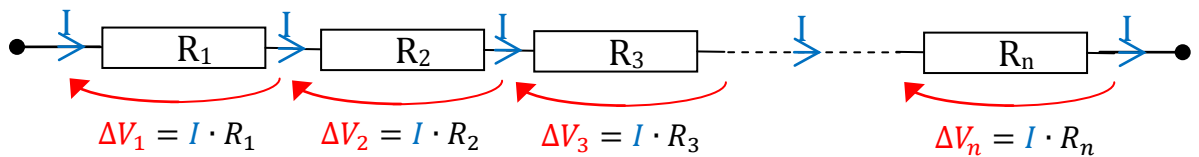
במילים אחרות, דרך כ"א מהם עוברת כמות זהה של מטען בכל שנייה (ומשמעות הדבר היא, שדרך נגד עבה יותר זרימת המטען איטית יותר, לאלה מכם שכבר מקמטים את המצח...).



המתח על נגדים המחוברים בטור

כאשר נגדים מחוברים בטור, המתח הנופל על כל נגד עומד ביחס ישר להתנגדותו.

הסיבה לכך היא שדרך כל הנגדים שבטור זורם אותו הזרם, ומחוק אוהם ($\Delta V = I \cdot R$) נובע כי על התנגדות (R) גבוהה יותר ייפול גם מתח (ΔV) גבוה יותר. למשל, אם התנגדותו של R_2 כפולה מזו של R_1 , נופל על R_2 מתח כפול מזה שנופל על R_1 , ואם התנגדותו של R_3 גבוהה פי 7 מזו של R_1 , נופל על R_3 מתח גבוה פי 7 מזה שנופל על R_1 .

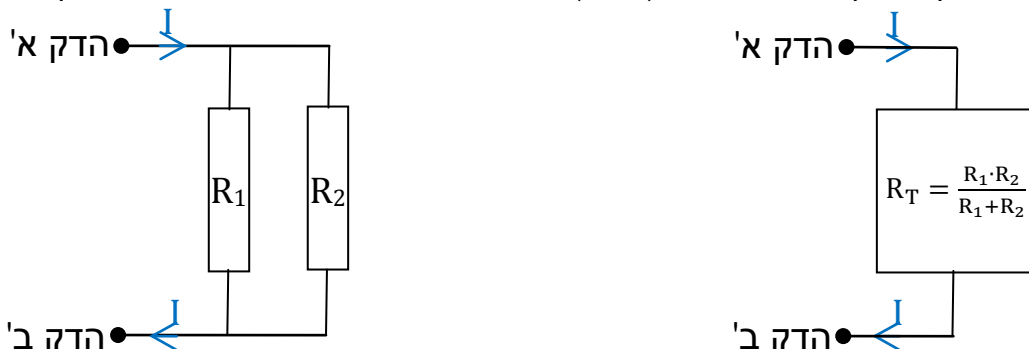


נגדים המחוברים במקביל

עוד אמרנו בשיעור הקודם, שכאשר נגדים מחוברים במקביל, מתקבלת בין ההדקים התנגדות שקולה על פי הנוסחה

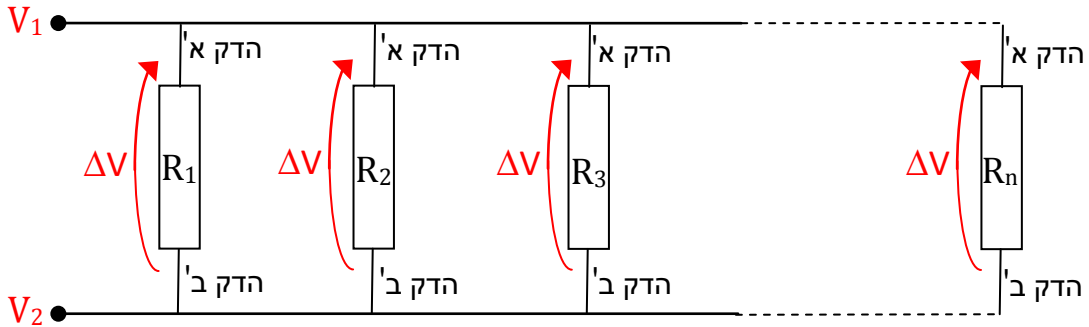
$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \text{ ושם מדובר בשני נגדים בלבד ניתן לכתוב את הנוסחה כך: } \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

גם כאן משמעות הדבר היא שניתן להחליף את שני הנגדים (למשל) בנגד אחד ויחיד, ודבר לא ישתנה במדידות בין ההדקים.



כאשר נגדים (או רכיבים אחרים) מחוברים במקביל, נופל עליהם אותו המתח!

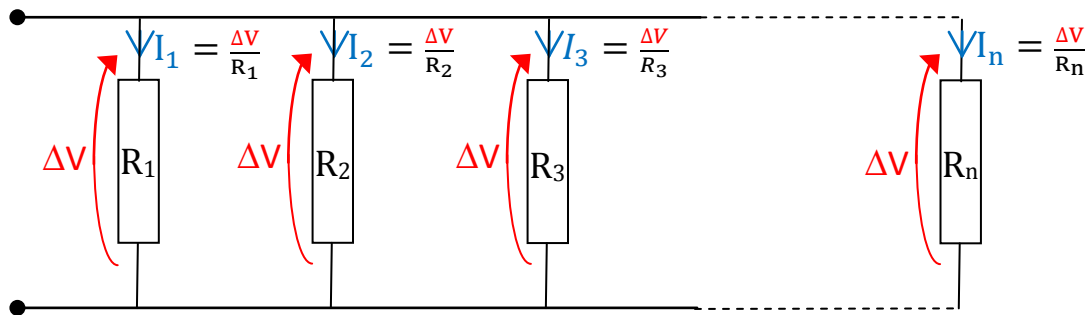
הסיבה לכך טריוויאלית: הדקי א' של כל הרכיבים מחוברים יחדיו ולכן נמצאים באותו הפוטנציאל, V_1 . נניח. כך הוא גם להדקי ב' של כל הרכיבים, כולם מחוברים יחדיו ולכן נמצאים באותו הפוטנציאל, V_2 . נניח. הפרש הפוטנציאל (המתח) שבין הדק א' להדק ב' של כל רכיב ורכיב הינו $\Delta V = V_1 - V_2$, זהה בכל הרכיבים.



הזרם דרך נגדים מחוברים במקביל

כאשר נגדים מחוברים במקביל, הזרם דרך כל נגד עומד ביחס הפוך להתנגדותו.

הסיבה לכך היא שעל כל הנגדים שבמקביל נופל אותו המתח, ומחוק אוהם ($\Delta V = I \cdot R$) נובע כי דרך התנגדות גבוהה יותר יזרום זרם חלש יותר. למשל, אם התנגדותו של R_2 כפולה מזו של R_1 , זרם דרך R_2 חלש במחצית מזה שזרם דרך R_1 , ואם התנגדותו של R_3 גבוהה פי 7 מזו של R_1 , זרם דרך R_3 זרם שעוצמתו שביעית מזה שזרם דרך R_1 .

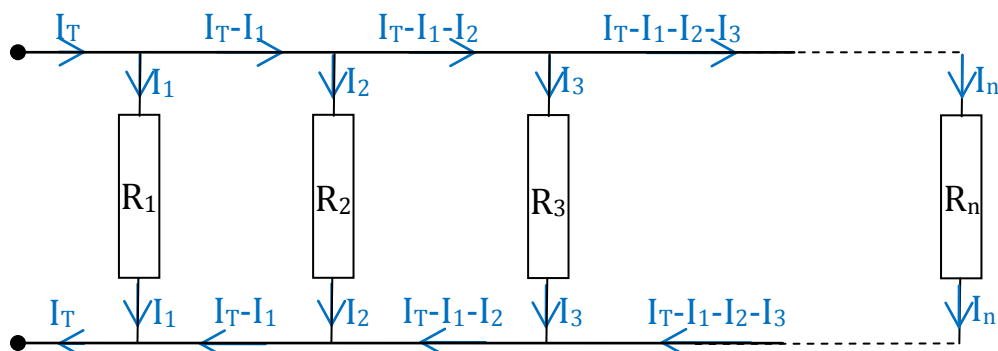


מקור מתח וכוח אלקטרו-מניע (כא"מ)

מקור מתח הוא התקן המייצר מתח (הפרש פוטנציאל) בין הדקיו, ללא קשר לזרימתו או אי-זרימתו של זרם חשמלי דרכו. מתח זה מהווה **כא"מ** (ϵ). דוגמה למקור מתח שכזה היא הסוללה, אשר המתח החשמלי שבין הדקיה קיים גם כאשר לא זורם דרכה זרם. שתי דוגמאות נוספות למקורות מתח הם האלטרנאטור שטוען את מצבר המכונית והגנראטור של חברת החשמל. מקור מתח מיוצג בתרשימים כשני קווים מקבילים — הארוך מייצג את ההדק החיובי והקצר מייצג את ההדק השלילי.

חוק קירכהוף לזרמים

סכום הזרמים הנכנסים לצומת שווה לאפס (סך הזרם הנכנס לצומת שווה לסך הזרם היוצא מהצומת).



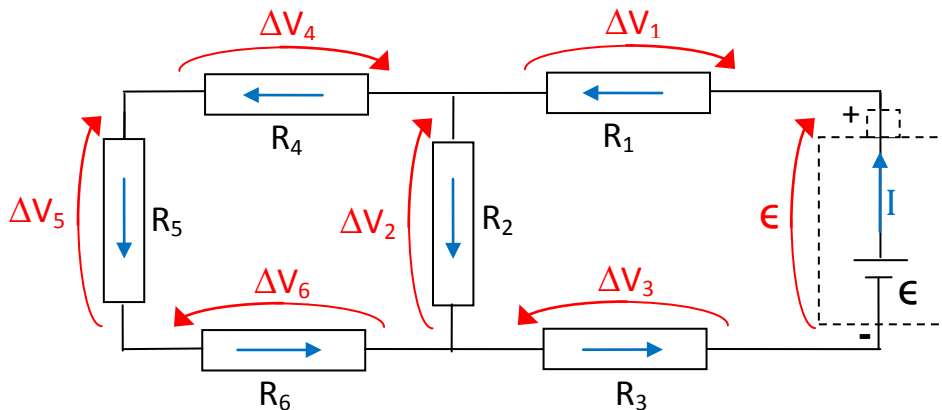
סכום מפלי המתח סביב עניבה סגורה שווה לאפס (המקרה השכיח: סכום המתחים על הנגדים בעניבה שווה לכא"מ).

באיור הבא בעניבה הימנית: $\epsilon = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3$, בעניבה השמאלית: $\Delta V_2 = \Delta V_4 + \Delta V_5 + \Delta V_6$

בעניבה הכוללת (הגדולה): $\epsilon = \Delta V_1 + \Delta V_4 + \Delta V_5 + \Delta V_6 + \Delta V_3$

שימו לב לכך שקוטביות המתח שבאגף השמאלי של המשוואה הפוכה לקוטביות המתחים שבאגף הימני.

כמו כן שימו לב לכיווני הזרמים דרך הנגדים – תמיד במורד הפוט', ז"א מההדק החיובי של הנגד אל ההדק השלילי שלו.



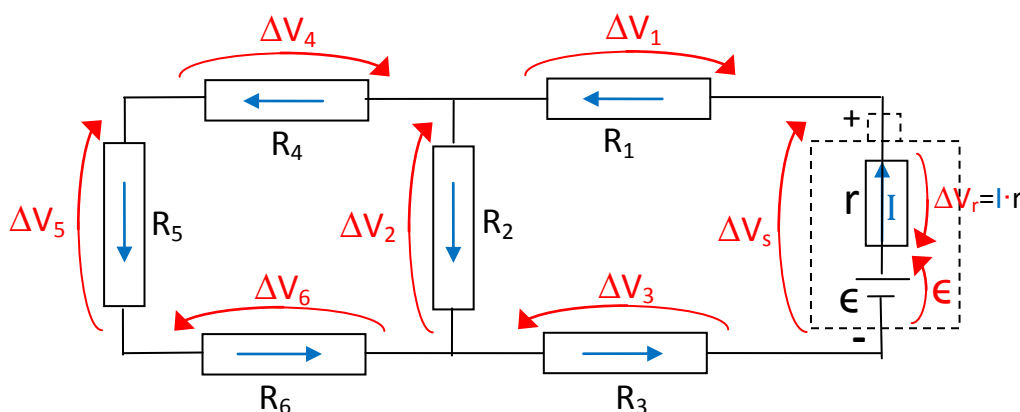
מקור מתח מעשי (לא אידיאלי)

מקור מתח אידיאלי מהווה כא"מ ותו לא, ומשמעות הדבר היא שהמתח בין הדקיו אינו תלוי כלל בעוצמת הזרם דרכו. במציאות אין מקורות מתח אידיאליים. הסוללה למשל, מספקת לצרכן המחובר אליה מתח נמוך יותר ככל שהזרם דרכה חזק יותר. מדוע?

מפני שלסוללה יש **התנגדות פנימית (r)**, וככל שהזרם דרכה חזק יותר נופל על התנגדותה הפנימית מתח גבוה יותר, כך שפחות נותר בשביל הצרכן. חשוב לציין כי התנגדות פנימית זו אינה נגד אמיתי, אלא תוצאה בלתי רצויה של תהליכים כימיים בסוללה אשר רק מיוצגת באמצעות נגד. ככל שהסוללה איכותית יותר, נמוכה יותר התנגדותה הפנימית. באיור הבא הוחלפה הסוללה האידיאלית מהאיור שלעיל באחרת מעשית, בעלת התנגדות פנימית r.

על פי חוק אוהם, נופל על ההתנגדות הפנימית מתח השווה למכפלת זרם הסוללה בהתנגדות הפנימית: $\Delta V_r = I \cdot r$.

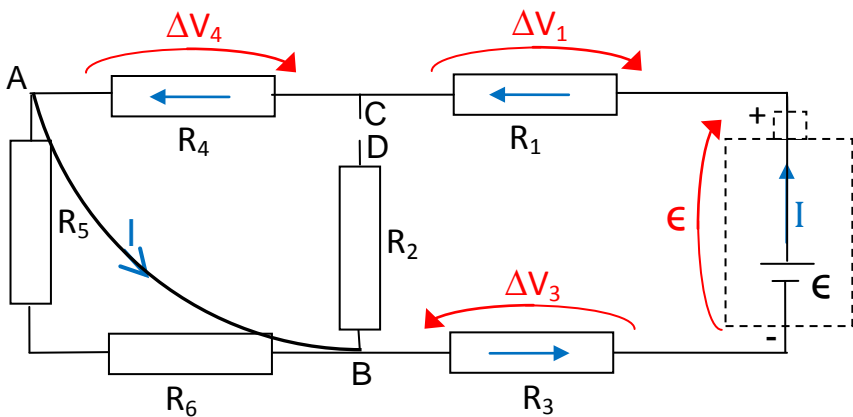
מתח זה נמצא בקוטביות הפוכה למתח הכא"מ ולכן גורע ממנו. מתח ההדקים של הסוללה יהיה אם כן: $\Delta V_s = \epsilon - I \cdot r$



קצר ונתק

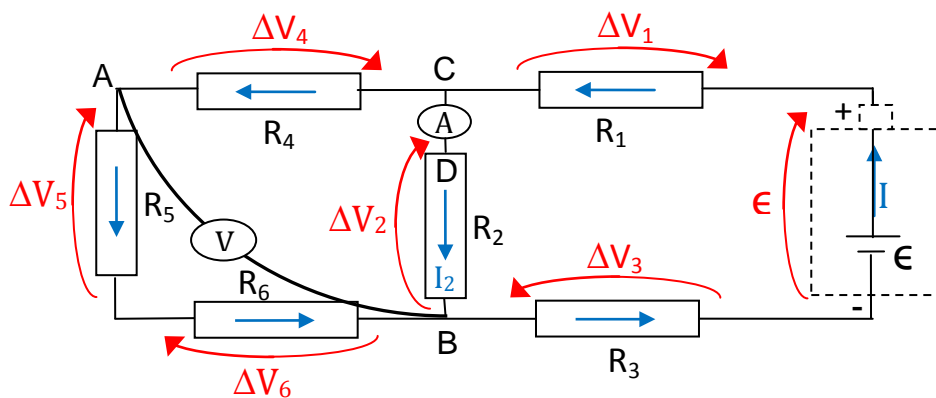
"קצר" מתייחס למצב שבו מוליך מושלם, ז"א בעל התנגדות אפס, מחבר בין נקודות במעגל חשמלי אשר אינן אמורות להיות מחוברות, ובכך מביא לאותו הפוט' (גורם למתח שביניהן להתאפס). במציאות המוליך אינו מושלם, ולכן המתח שבין הנקודות "המקוצרות" אומנם נמוך מאוד, אך אינו מתאפס לחלוטין. השימוש במילה "קצר" נובע מנטיית הזרם לעבור בין הנקודות בדרך ה"קצרה", ז"א דרך המוליך במקום דרך הרכיבים שבהם הוא אמור לעבור. "נתק" הוא המצב ההפוך, שבו בין נקודות במעגל חשמלי אין כל קשר חשמלי, ז"א ההתנגדות שביניהן היא אינסופית.

במעגל הבא, לדוגמה, ישנו קצר בין הנקודות A ו-B ונתק בין הנקודות C ו-D. שימו לב לכך שדרך הנגדים R_5 ו- R_6 לא עובר זרם מכיוון שהוא "מקצר" את דרכו דרך המעקף (הקצר) שבין A ל-B. כתוצאה מכך גם לא נופל מתח על נגדים אלה, ע"פ חוק אוהם. הדבר מתיישב גם עם העובדה שהם מחוברים (טורית) במקביל לקצר, ולכן נופל עליהם (ביחד) אותו המתח שנופל על הקצר – 0V (על מוליך מושלם לא נופל מתח גם אם זורם דרכו זרם, שוב, ע"פ חוק אוהם).
 וכעת לנתק שבין הנקודות C ו-D - ה"אוויר" שבין נקודות אלה מציג התנגדות אינסופית ולכן לא עובר זרם בנגד R_2 . כתוצאה מכך גם לא נופל עליו מתח, שוב, ע"פ חוק אוהם.



מכשירי מדידה

נדון כאן בקצרה בשני מכשירי מדידה חשמליים: מד הזרם (אמפרמטר A) ומד המתח (וולטמטר V). מד הזרם מודד בעצם את הזרם העובר דרכו, ולכן יש לחברו בטור לרכיב הנמדד. בשל חיבורו בטור עליו להיות בעל התנגדות אפס, כך שיישאר "שקוף" ולא ישפיע על הזרם הנמדד. מד זרם אידיאלי הינו בעל התנגדות אפס. מד המתח מודד את המתח שבין שתי נקודות כלשהן A ו-B במעגל, ז"א הוא מחובר במקביל לרכיבים שבין הנקודות. בשל חיבורו במקביל, עליו להיות בעל התנגדות אינסופית כך שיישאר "שקוף" ולא יקטין את ההתנגדות שבין הנקודות, דבר אשר ישפיע על המתח הנמדד ביניהן. מד מתח אידיאלי הינו בעל התנגדות אינסופית.

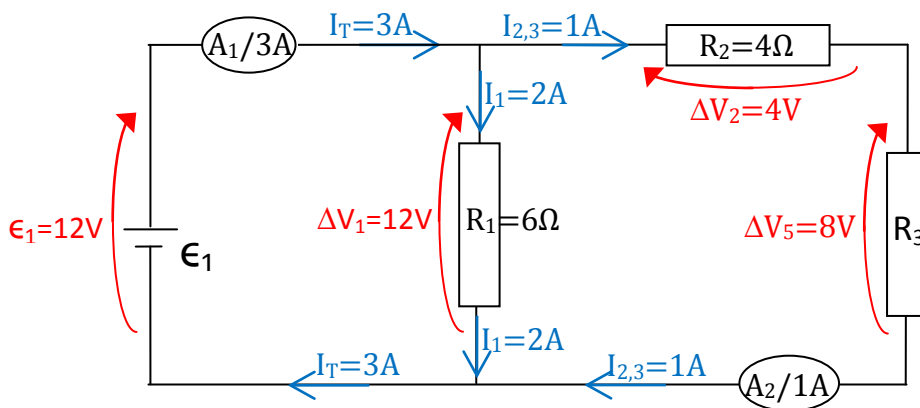


באיור שלעיל חובר אמפרמטר בטור לנגד R_2 , המודד את הזרם (I_2) דרכו. כמו כן חובר וולטמטר בין הנקודות A ו-B, המודד את המתח שביניהן (V_{AB}). מקובל הוא, שאם לא צוין אחרת מכשירי המדידה הם אידיאליים.

נפתור קעת שאלה ממבחן סמסטר תוך שימוש בכללים שלמדנו:
 מעגל חשמלי מורכב מסוללה אידיאלית ϵ_1 , שלושה נגדים $R_1=6\Omega$, $R_2=4\Omega$ ו- R_3 ושני אמפרמטרים A_1 ו- A_2 .
 האמפרמטר A_1 מורה על זרם 3A והאמפרמטר A_2 מורה על זרם 1A.
 בשלבי הפיתרון יסומנו על גבי הסרטוט הזרמים בכחול והמתחים באדום, כדי להבדילם מהנתונים המסומנים בשחור.

(1) חשב את ϵ_1

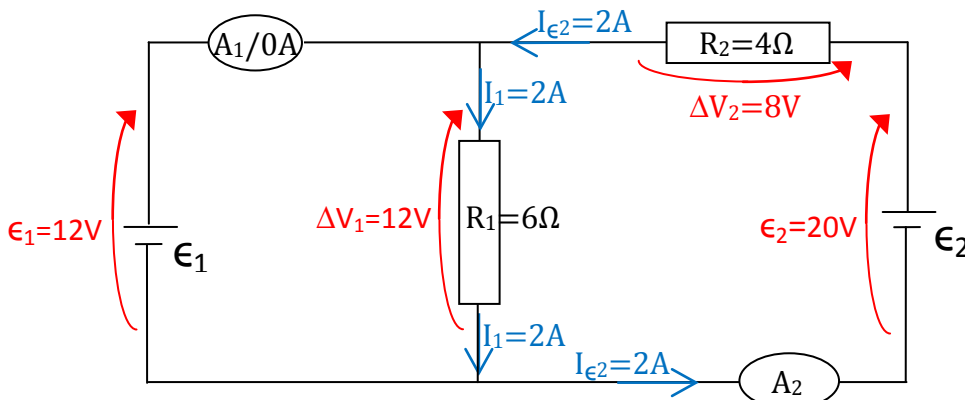
שלב א': זרם ימינה בשל קוטביות הכא"מ זהו גם הזרם דרך האמפרמטר A_1 אשר גודלו נתון (3A), ז"א $I_T = 3A$.
 שלב ב': I_T מתפצל לשניים, למטה דרך R_1 (I_1) וימינה דרך $R_{2,3}$ ($I_{2,3}$).
 הזרם $I_{2,3}$ הוא גם הזרם דרך האמפרמטר A_2 אשר גודלו נתון (1A), כך ש- $I_{2,3} = 1A$.
 אם נחסר את $I_{2,3}$ מ- I_T נקבל את I_1 : $I_1 = I_T - I_{2,3} \Rightarrow I_1 = 2A$
 שלב ג': R_1 והסוללה מחוברים במקביל ולכן נוכל עליהם אותו המתח. באמצעות חוק אוהם נחשב את המתח על R_1 :
 $\epsilon_1 = 12V$ וזהו גם מתח הסוללה: $\Delta V_1 = I_1 \cdot R_1 \Rightarrow \Delta V_1 = 2 \cdot 6 = 12V$



(2) חשב את R_3

שלב א': הנגדים R_2 ו- R_3 מחוברים בטור זה לזה ויוצרים את הנגד $R_{2,3}$ המחובר במקביל לסוללה ($R_{2,3} \parallel \epsilon_1$).
 נובע מכך שהמתח על הנגד $R_{2,3}$ שווה למתח הסוללה: $\Delta V_{2,3} = \epsilon_1 = 12V$.
 שלב ב': הזרם דרך הנגד $R_{2,3}$ הוא כאמור $I_{2,3} = 1A$ ואם נכפול אותו ב- $R_{2,3}$ נקבל את המתח על $R_{2,3}$ שהוא כאמור $\Delta V_{2,3} = 12V$
 $\Delta V_{2,3} = I_{2,3} \cdot R_{2,3} \Rightarrow 12 = 1 \cdot R_{2,3} \Rightarrow R_{2,3} = 12\Omega$
 שלב ג': נחסר מהתנגדות $R_{2,3}$ את התנגדות R_2 ונקבל את התנגדות R_3 : $R_3 = R_{2,3} - R_2 = 12 - 4 = 8\Omega$

(3) מחליפים את R_3 בסוללה אידיאלית נוספת ϵ_2 . מד הזרם A_1 מורה זרם אפס. מה מורה כעת מד הזרם A_2 ?



R_1 והסוללה ϵ_1 מחוברים עדיין במקביל ולכן נוכל על R_1 אותו המתח כמקודם – מתח הסוללה שהינו $\epsilon_1 = 12V$. נובע מכך שהזרם דרך R_1 נותר 2A כמקודם, אלא שכעת הוא מסופק דרך הסוללה ϵ_2 , וזהו גם הזרם דרך האמפרמטר A_2 .