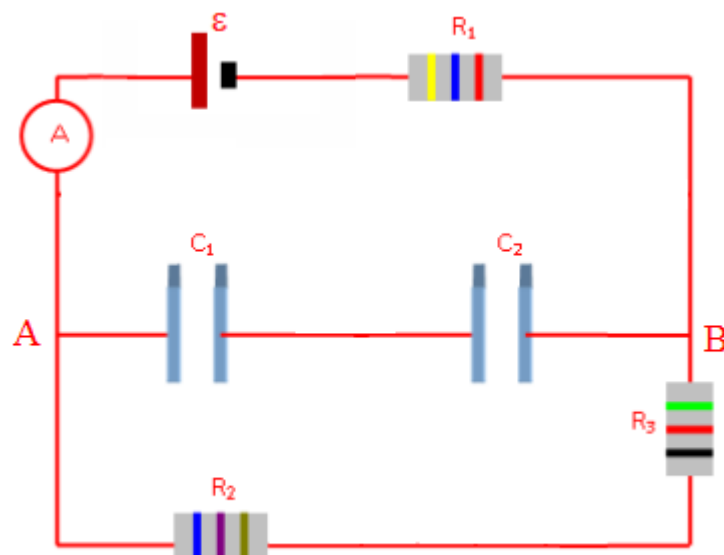
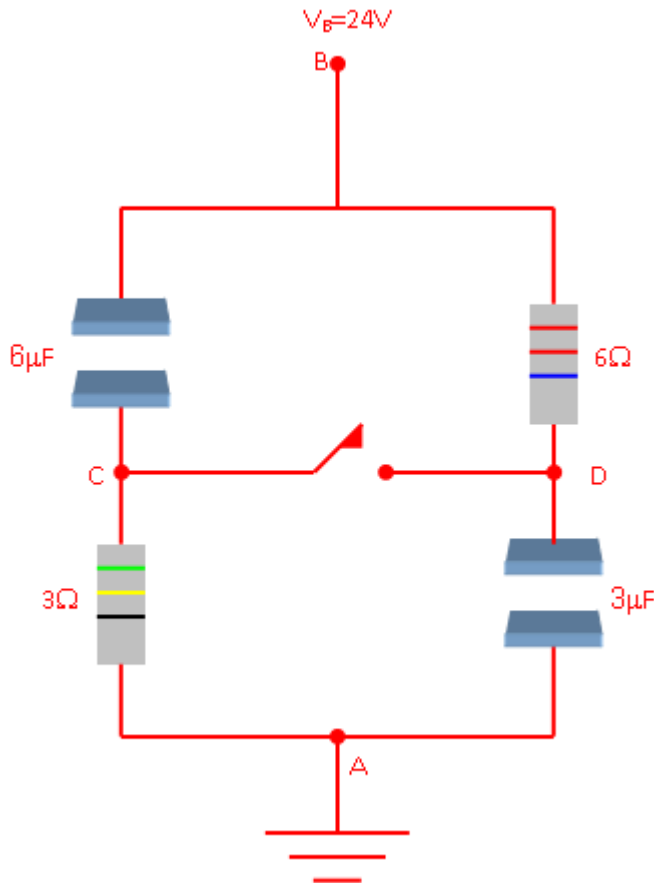


חשמל ומגנטיות

תרגול שבוע 3 – מעגלי RC



נתון המעגל החשמלי המופיע בתרשים. הנקודה A מוארקת, והנקודה B מוחזקת בפוטנציאל של 24V.



- א. מהו הפוטנציאל בנקודה C ובנקודה D כשהמפסק פתוח?
- ב. מהו הפוטנציאל בנקודה C ובנקודה D כשהמפסק סגור?
- ג. מהו המטען על כל אחד מהקבלים: 1. כשהמפסק פתוח 2. כשהמפסק סגור

א. הפוטנציאל בנקודה C כשהמפסק פתוח שווה לאפס לא זורם זרם דרך הנגד של 3Ω ($V_A = V_C$)
 הפוטנציאל בנקודה D כשהמפסק פתוח שווה ל-24V לא זורם זרם דרך הנגד של 6Ω ($V_B = V_D$)

ב. כאשר המפסק סגור הפוטנציאל בנקודה C שווה לזה שבנקודה D:

$$V = V_6 + V_3 = I \cdot R_6 + I \cdot R_3$$

$$24 = I \cdot 6 + I \cdot 3 \Rightarrow I = \frac{24}{9} = 2.66A$$

$$V_D = V_C = V_3 = I \cdot R_3 = 2.66 \cdot 3 = 8V$$

או בדרך אחרת:

מפל המתח על פני הנגד של 6Ω הוא: $V_6 = I \cdot R_6 = 2.66 \cdot 6 = 16V$

כלומר, הפוטנציאל בנק' D נמוך מזה שבנק A ב- $16V$:

$$V_A - V_D = 16V$$

$$24 - V_D = 16V \Rightarrow V_D = 8V$$

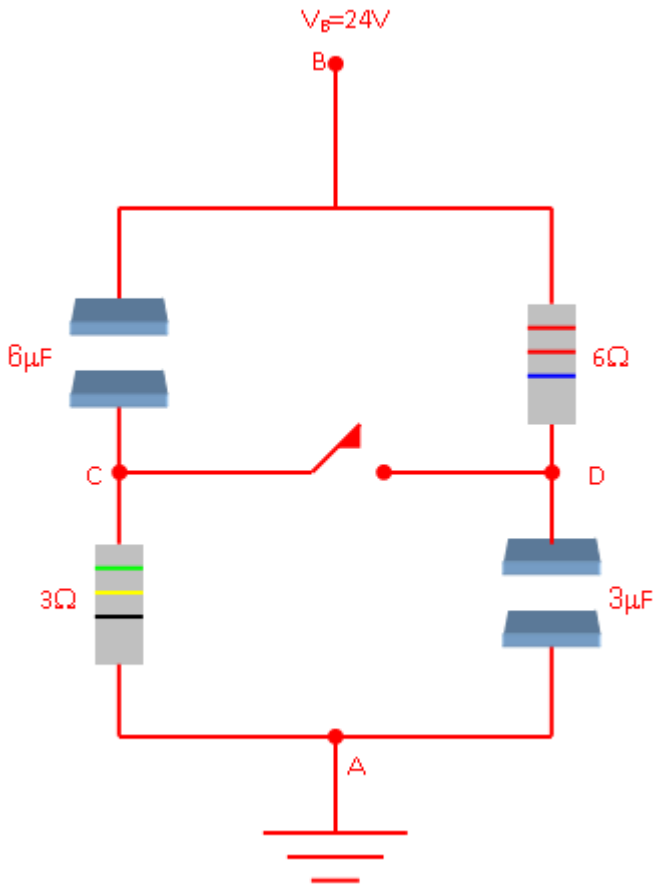
ג. 1. כשהמפסק פתוח המתח על פני כל אחד מהקבלים שווה ל- $24V$.

$$Q_3 = V_3 \cdot C_3 = 24 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 72 \cdot 10^{-6}C$$

$$Q_6 = V_6 \cdot C_6 = 24 \cdot 6 \cdot 10^{-6} = 144 \cdot 10^{-6}C$$

2. כשהמפסק סגור מפל המתח על פני הנגד של 6Ω הוא $16V$:

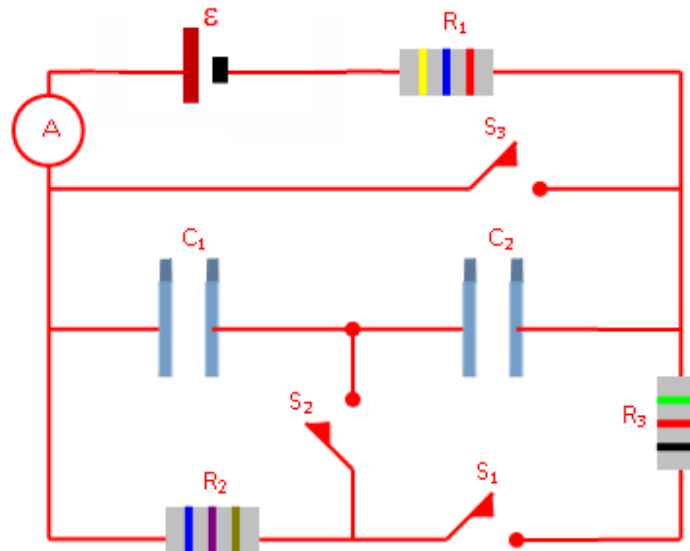
כשהמפסק סגור מפל המתח על פני הנגד של 3Ω הוא $8V$:



$$Q_6 = V_6 \cdot C_6 = 16 \cdot 6 \cdot 10^{-6} = 96 \cdot 10^{-6}C$$

$$Q_3 = V_3 \cdot C_3 = 8 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 24 \cdot 10^{-6}C$$

המעגל החשמלי המתואר בתרשים מורכב מ: מקור מתח ε , שני קבלים C_1, C_2 , שלושה נגדים R_1, R_2, R_3 , שלושה מפסקים S_1, S_2, S_3 , אמפרמטר A.
נתון: $\varepsilon = 50V$, $R_3 = 150\Omega$, $R_2 = 100\Omega$, $R_1 = 50\Omega$, $C_2 = 8\mu F$, $C_1 = 6\mu F$.
ההתנגדות הפנימית של מקור המתח ושל האמפרמטר זניחה.



חשבו את המטען ואת המתח על כל אחד מהקבלים C_1 ו- C_2 ואת הזרם שמורה האמפרמטר A (לאחר זמן אינסופי) בכל אחד מהמקרים הבאים:
א. מפסק S_1 בלבד סגור.
ב. מפסקים S_1 ו- S_2 סגורים.
ג. S_1, S_2, S_3 סגורים.

נתון: $\varepsilon = 50V$, $R_3 = 150\Omega$, $R_2 = 100\Omega$, $R_1 = 50\Omega$, $C_2 = 8\mu F$, $C_1 = 6\mu F$

חשבו את המטען ואת המתח על כל אחד מהקבלים C_1 ו- C_2 ואת הזרם שמורה האמפרמטר A (לאחר זמן אינסופי) בכל אחד מהמקרים הבאים:

א. מפסק S_1 בלבד סגור.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 50 + 100 + 150 = 300\Omega$$

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{50}{300} = 0.166A$$

$$V_{AB} = I \cdot R_{AB} = 0.166 \cdot (100 + 150) = 41.65V$$

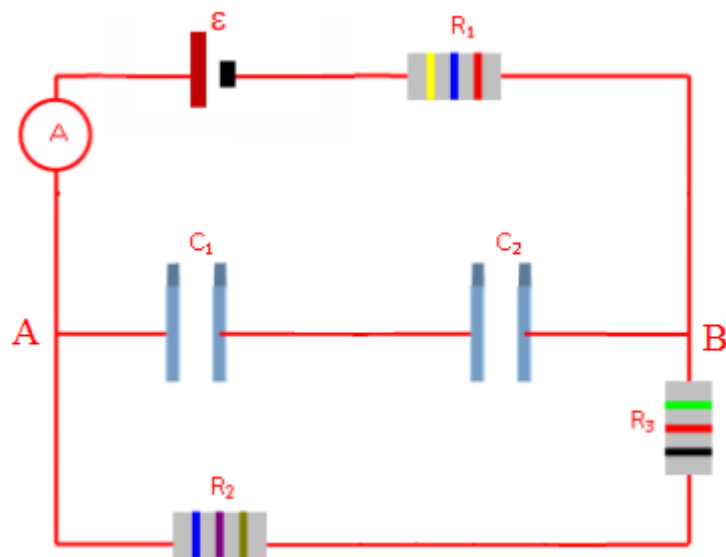
$$C_{A,B} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-6} + 8 \cdot 10^{-6}} = 3.42 \cdot 10^{-6} F$$

$$Q_{A,B} = C_{A,B} \cdot V_{A,B} = 3.42 \cdot 10^{-6} \cdot 41.65 = 142.4 \cdot 10^{-6} C$$

$$Q_2 = Q_1 = 142.4 \cdot 10^{-6} C$$

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{142.4 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-6}} = 23.73V$$

$$V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{142.4 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 10^{-6}} = 17.8V$$



נתון: $\varepsilon = 50V$, $R_3 = 150\Omega$, $R_2 = 100\Omega$, $R_1 = 50\Omega$, $C_2 = 8\mu F$, $C_1 = 6\mu F$.

חשבו את המטען ואת המתח על כל אחד מהקבלים C_1 ו- C_2 ואת הזרם שמורה האמפרמטר A (לאחר זמן אינסופי) בכל אחד מהמקרים הבאים:

ב. מפסקים S_1 ו- S_2 סגורים.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 50 + 100 + 150 = 300\Omega$$

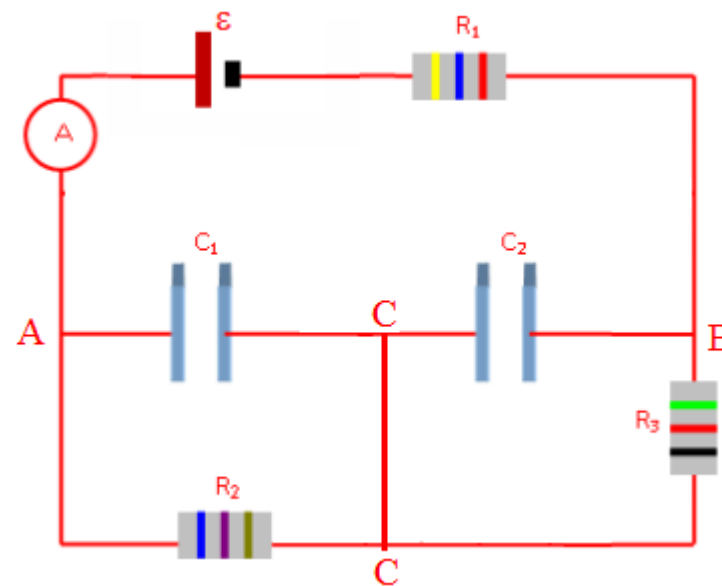
$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{50}{300} = 0.166A$$

$$V_{R_2} = V_{C_1} = V_{AC} = I \cdot R_2 = 0.166 \cdot 100 = 16.6V$$

$$Q_{C_1} = C_1 \cdot V_{C_1} = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 16.6 = 99.6C$$

$$V_{R_3} = V_{C_2} = V_{CB} = I \cdot R_3 = 0.166 \cdot 150 = 24.9V$$

$$Q_{C_2} = C_2 \cdot V_{C_2} = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 24.9 = 199.2C$$



נתון: $\varepsilon = 50V$, $R_3 = 150\Omega$, $R_2 = 100\Omega$, $R_1 = 50\Omega$, $C_2 = 8\mu F$, $C_1 = 6\mu F$.

חשבו את המטען ואת המתח על כל אחד מהקבלים C_1 ו- C_2 ואת הזרם שמורה האמפרמטר A (לאחר זמן אינסופי) בכל אחד מהמקרים הבאים:

ג. S_1 , S_2 , S_3 סגורים.

$$R_T = R_1 = 50\Omega$$

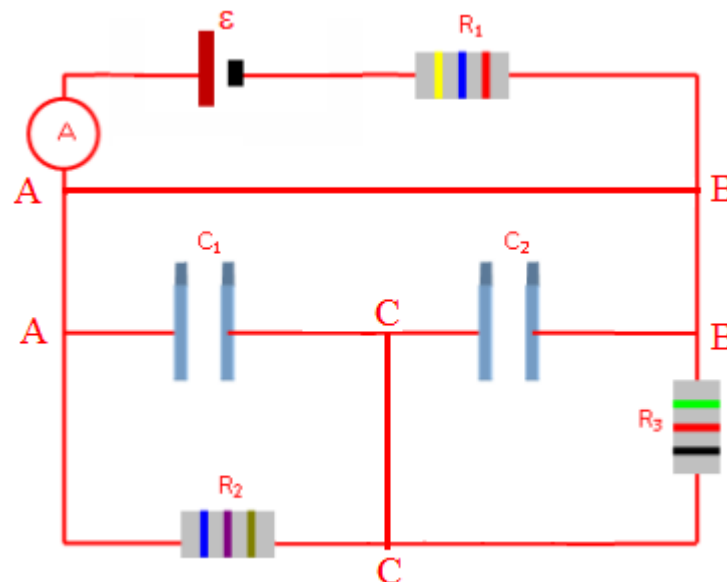
$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{50}{50} = 1A$$

$$V_{R_2} = V_{C_1} = V_{AC} = I \cdot R_2 = 0$$

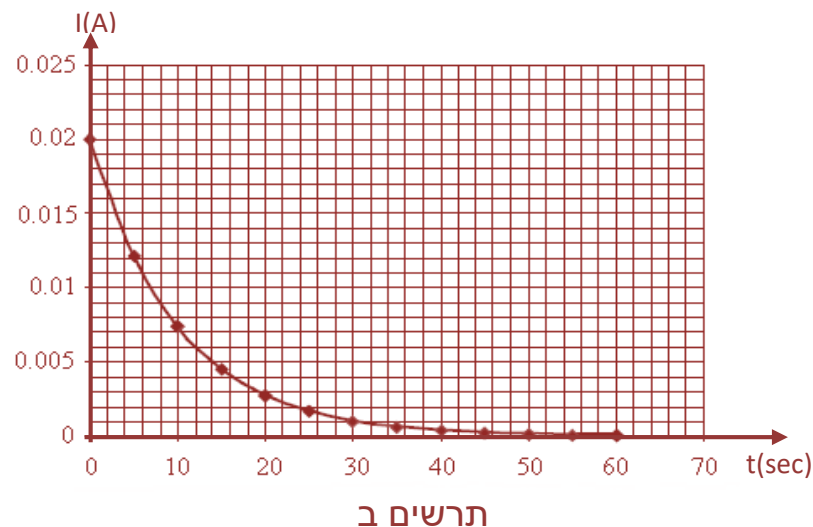
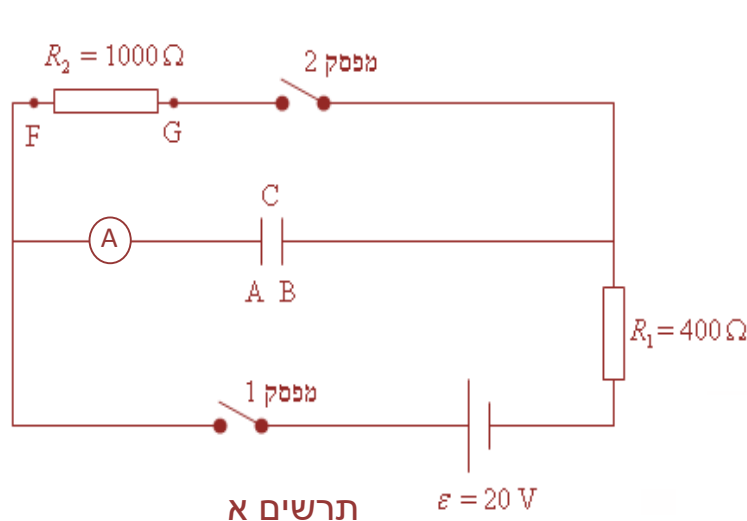
$$Q_{C_1} = C_1 \cdot V_{C_1} = 0$$

$$V_{R_3} = V_{C_2} = V_{CB} = I \cdot R_3 = 0$$

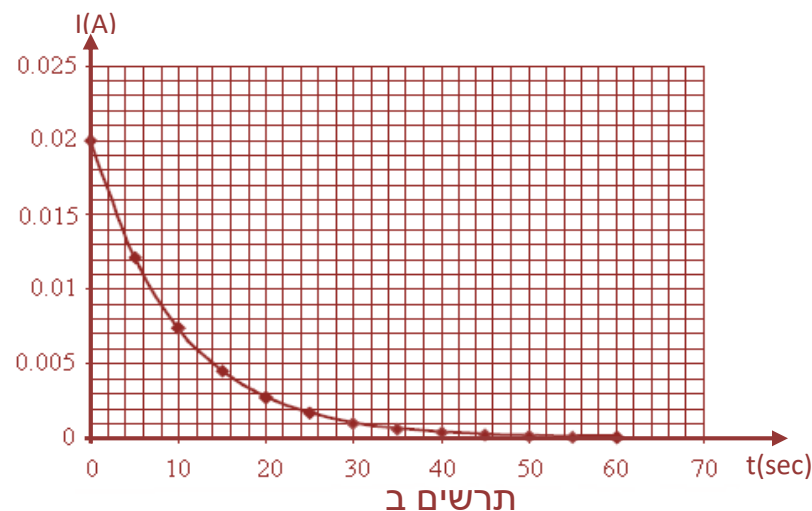
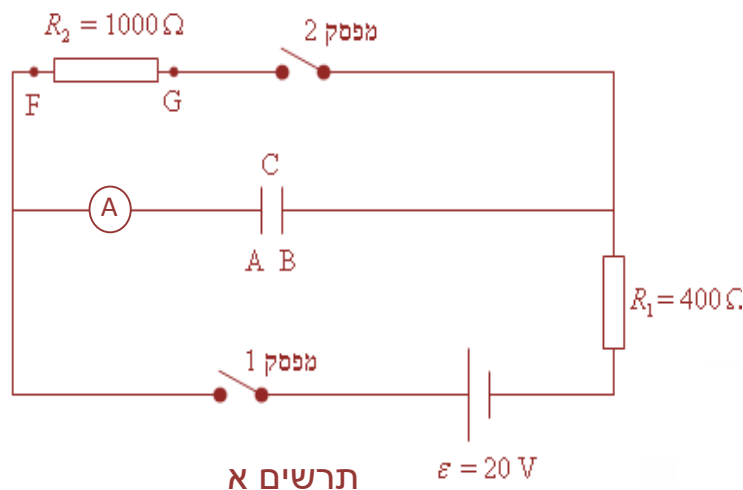
$$Q_{C_2} = C_2 \cdot V_{C_2} = 0$$



בתרשים א מוצג מעגל חשמלי הכולל מקור מתח שהכא"מ שלו $\varepsilon = 20V$ והתנגדותו הפנימית ניתנת להזנחה, שני נגדים שהתנגדויותיהם $R_1 = 400\Omega$ ו- $R_2 = 1000\Omega$, קבל שקיבולו C, אמפרמטר A, ושני מפסקים פתוחים, 1 ו- 2.



- דרך איזה נגד, א, עובר הזרם המוצג בתרשים ב? הסבירו את תשובתכם.
- חשבו את הקיבול, C, של הקבל.
- חשבו את המטען שעל כל אחד מלוחות הקבל לפני שסוגרים את מפסק 2.
- לאיזה כיוון זורם הזרם בנגד לאחר פתיחת מספק 1 וסגירת מפסק 2, מ- F ל- G ו מ- G ל- F? נמקו.
- תלמיד מסרטט גרף של המתח בין קצות הנגד כפונקציה של הזמן. איזה מבין התרשימים ג- ו שלפניך נכון? נמקו.



א. הזרם המוצג בתרשים ב' עובר דרך הנגד R_2 . בשני המצבים מתוך הגרף $I_0 = 0.02A$, לכן:

$$R = \frac{\varepsilon}{I_0} = \frac{20}{0.02} = 1000\Omega$$

ב. תרשים ב' מתאר גרף של $I(t)$ בפריקה.

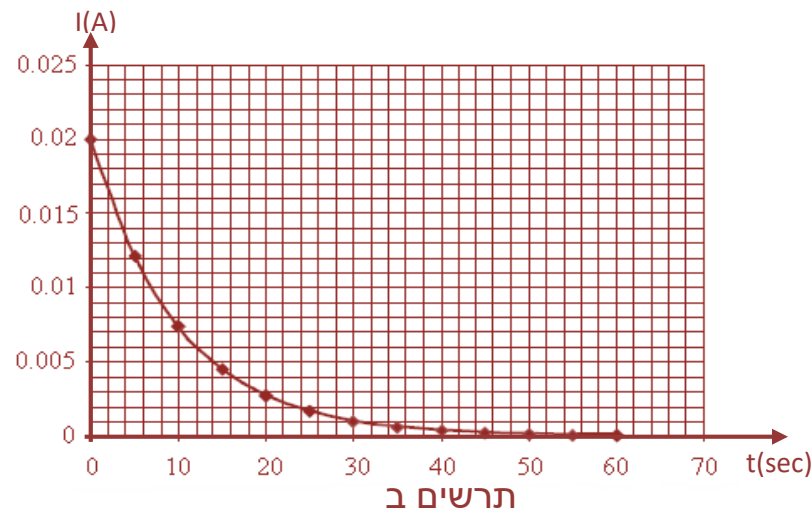
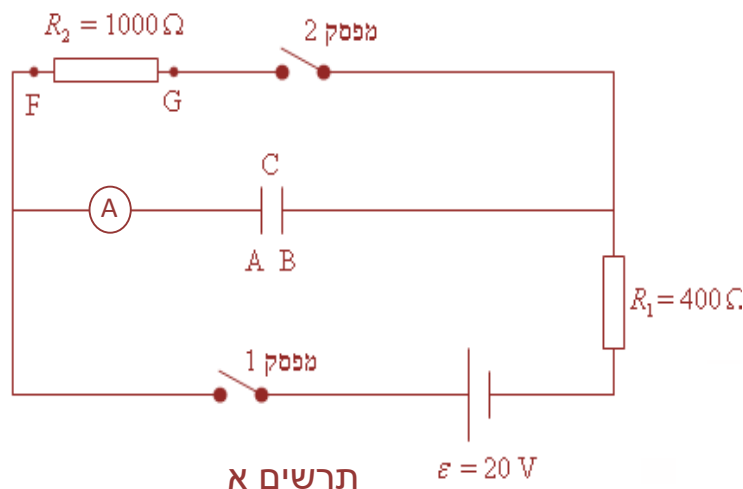
$$I(t) = 0.037I_0 = 0.037 \cdot 0.02 = 0.0074A \quad \text{עבור זמן } \tau = R \cdot C \quad \text{מתקיים -}$$

מתוך הגרף נקבל שזה ערך הזרם ב- $t=10\text{sec}$. מהצבה נקבל:

$$\tau = R \cdot C \Rightarrow 10 = 1000 \cdot C \Rightarrow C = 0.01F$$

$$I(t) = I_0 \cdot e^{\frac{-t}{R \cdot C}} \quad \text{נבחר נקודה בגרף : } (0.009, 8) \quad \text{דרך נוספת :}$$

$$0.009 = 0.02 \cdot e^{\frac{-8}{1000 \cdot C}} \Rightarrow \ln \frac{0.02}{0.009} = \frac{8}{1000 \cdot C} \Rightarrow C = 0.01F$$



ג. המתח בין לוחות הקבל בסיום תהליך הטעינה שווה לכא"מ, לכן הערך המוחלט של המטען העודף

על כל לוח שווה $Q = C \cdot \varepsilon \Rightarrow Q = 0.01 \cdot 20 = 0.2C$

מאחר ולוח A מחובר להדק החיובי של הסוללה, המטען עליו שווה ל- $+0.2C$, ולוח B המחובר להדק השלילי של הסוללה, המטען עליו שווה ל- $-0.2C$.

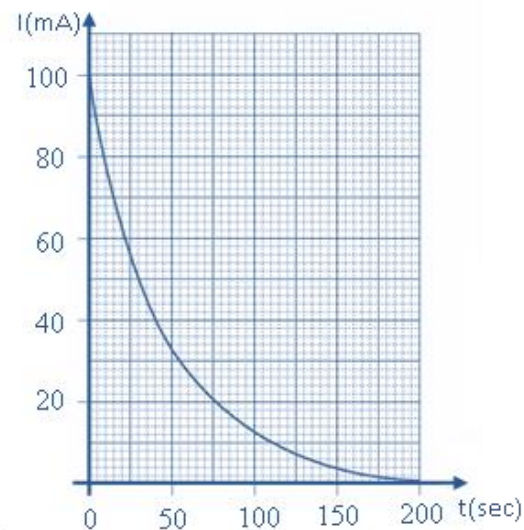
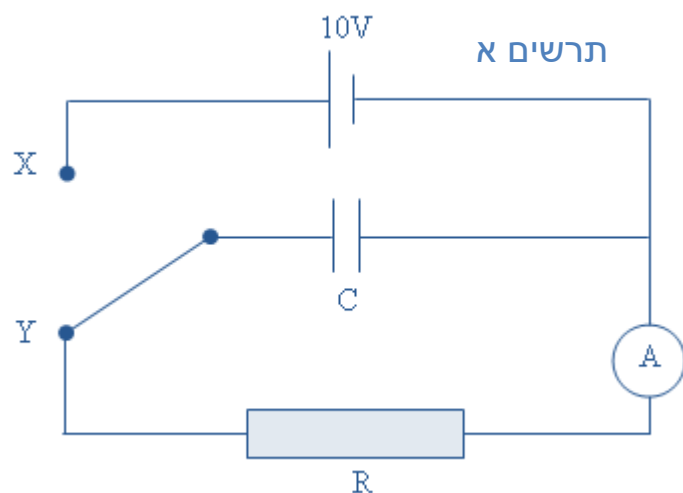
ד. כיוון הזרם בנגד מ-F ל-G.

לוח A טעון במטען חיובי לאחר הטעינה ולוח B במטען שלילי.

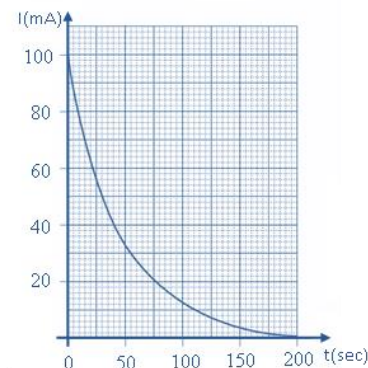
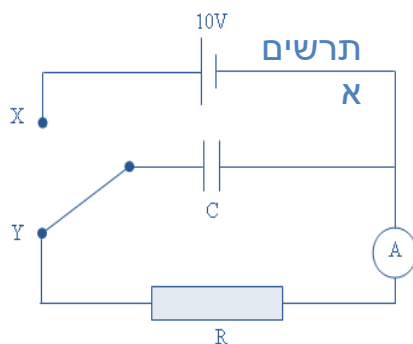
בפריקה הזרם הוא בכיוון מהלוח הטעון במטען חיובי אל הלוח הטעון במטען שלילי, לכן בנגד

הזרם בכיוון מ-F ל-G.

בתרשים א מתואר מעגל חשמלי שבנתה תלמידה. המעגל כולל מקור מתח שהכא"מ שלו 10 V , קבל שקיבולו C , נגד שהתנגדותו R , ואמפרמטר שהתנגדותו ניתנת להזנחה. התלמידה טענה את הקבל (קצה המפסק נגע ב- X), ולאחר מכן פרקה את הקבל (קצה המפסק נגע ב- Y). בתרשים ב מתוארת עקומה של זרם (במילי אמפר) שמדדה התלמידה (באמצעות האמפרמטר), כפונקציה של הזמן במהלך פריקת הקבל. הפריקה מתחילה ברגע $t = 0$. התלמידה מצאה שבין העקומה לבין הצירים יש 465 משבצות קטנות.



- הסבירו מדוע במהלך הפריקה, הזרם I הולך וקטן כפונקציה של הזמן.
- חשבו את: 1. המטען הכולל שעבר דרך הנגד במהלך הפריקה, 2. את הקיבול C , 3. את ההתנגדות R .



א. בתהליך הפריקה הזרם הולך וקטן כי עובר מטען חשמלי דרך המעגל מלוח אחד של הקבל

ללוח האחר, לכן המתח בין לוחות הקבל קטן וכתוצאה מכך גם הזרם I הולך קטן.

ב.1. השטח שמתחת לגרף מייצג את המטען הכולל שעבר דרך הנגד. מאחר ומתחת לגרף יש

465 משבצות וכל אחת מייצגת $10 \text{ mA} \cdot 10 \text{ sec} = 0.1 \text{ C}$ לכן המטען שעבר דרך הנגד:

$$Q = 465 \cdot 10 = 4650 \text{ mC} = 4.65 \text{ C}$$

$$Q = 4.65 \text{ C}$$

2. לפני הפריקה:

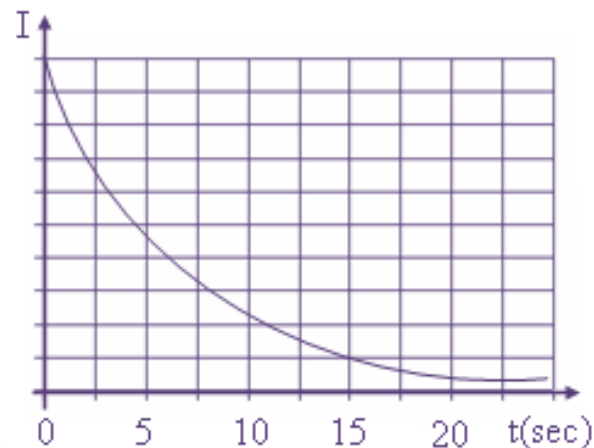
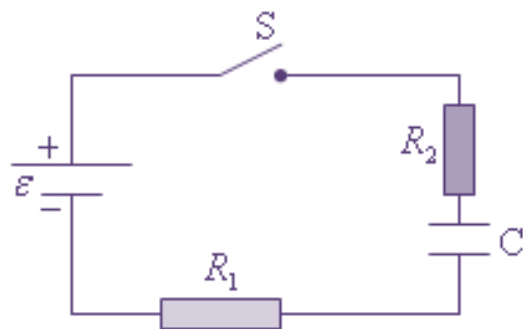
$$V = 10 \text{ V}$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{4.65}{10} = 0.465 \text{ F}$$

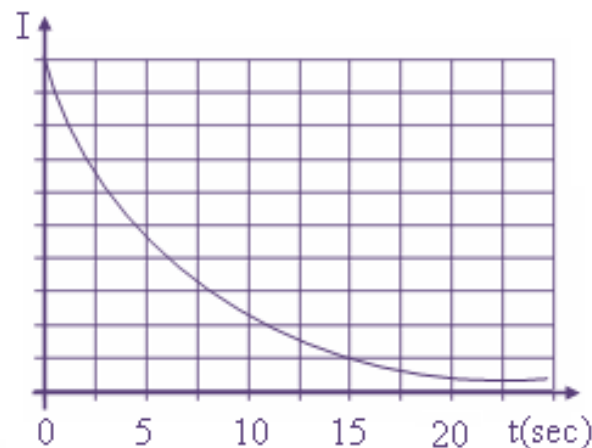
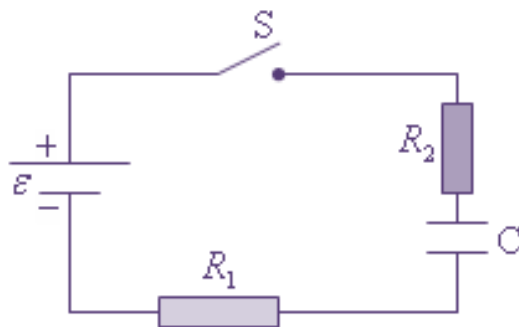
3. ברגע $t=0$ כל המתח היה על הנגד והזרם היה 100 mA (מהגרף) לכן:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{10}{0.1} = 100 \Omega$$

בתרשים מתואר מעגל חשמלי של טעינת קבל. המעגל החשמלי כולל: מפסק S; מקור כא"מ $\varepsilon = 4V$, שהתנגדותו הפנימית ניתנת להזנחה; נגדים $R_1 = 500\Omega$, $R_2 = 500\Omega$, וקבל C. ברגע $t = 0$ סגרו את המספק S.



- א. מהו הזרם במעגל החשמלי ברגע $t = 0$.
- ב. בגרף שלפניך מתואר הזרם כפונקציה של הזמן. מצא את קבוע הזמן τ .
- ג. מצא את קיבול הקבל C. (5 נקודות)
- ד. חשב את המטען הקבל לאחר שהוא נטען לחלוטין.
- ה. המטען שחישבת בסעיף ד שווה למטען שעבר במקור הכא"מ. הסבר מדוע.
- ו. כמה אנרגיה סיפק המקור בתהליך הטעינה?



א. ברגע $t=0$ הזרם עובר דרך שני הנגדים המחוברים בטור:

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2} = \frac{4}{500 + 500} = 0.004A$$

ב. קבוע זמן הטעינה הוא הזמן שעבורו הזרם הוא 37% מערכו ההתחלתי:

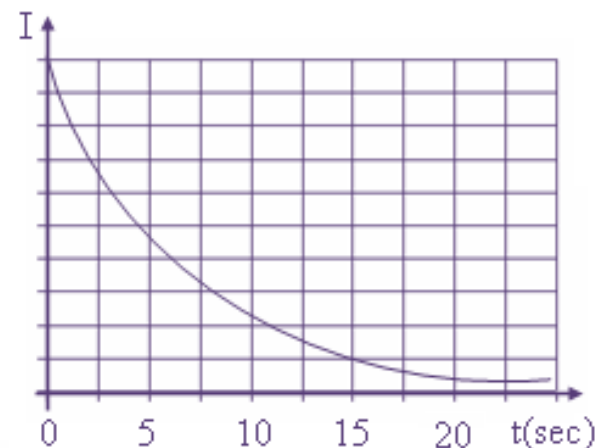
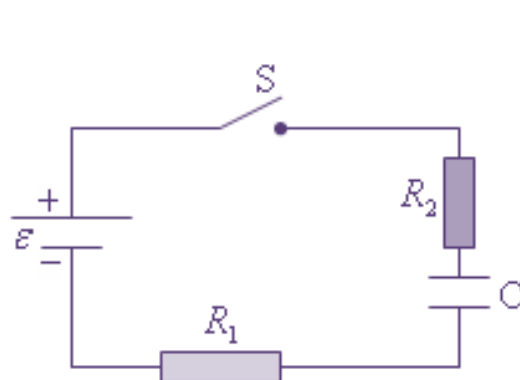
$$\left(I = \frac{I_0}{e} \right)$$

$$0.37I_0 = 0.37 \cdot 0.004 = 1.47mA$$

לפי הגרף הזמן המתאים ל- $1.47mA$ הוא $\tau = 5sec$.

ג.

$$\tau = R_T \cdot C \Rightarrow C = \frac{\tau}{R_T} = \frac{5}{5000 + 500} = 0.005F = 5mF$$



ד. מטען הקבל בטעינה מלאה (המתח עליו שווה למתח המקור) :

$$Q = V \cdot C = 4 \cdot 0.005 = 0.02C$$

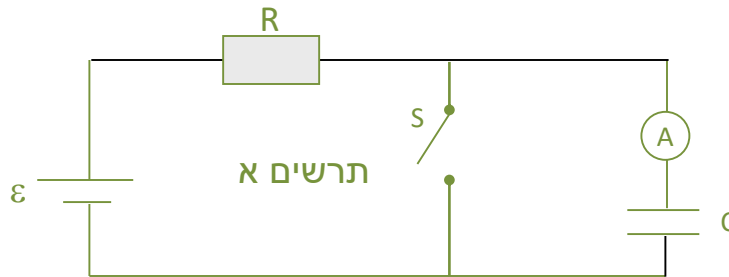
ה. המטען שחושב הוא המטען על לוח אחד של הקבל. מטען זה עבר מלוח אחד של הקבל אל

משנהו דרך מקור המתח.

ו. דרך מקור המתח ε עבר מטען Q , לכן האנרגיה שהמקור סיפק:

$$E = Q \cdot \varepsilon = 0.02 \cdot 4 = 0.08J$$

תרשים א שלפניך מתאר ניסוי למדידת קיבולו של קבל. התנגדותו של הנגד $R = 1000$. מקור המתח, ε , והאמפרמטר, A, אידיאליים.



א. בתחילת המדידה המספק S סגור. מהי עוצמת הזרם שיראה האמפרמטר? נמק.

לאחר פתיחת המפסק S, מדד התלמיד את הזרם I כפונקציה של הזמן t. הזרם נמדד **ביחידות mA**.



מהנתונים שקיבל סרטט גרף $\ln I$ כתלות בזמן בשניות (תרשים ב).

ב. מהו הכא"מ של מקור המתח?

ג. מהי עוצמת הזרם ברגע $t=5\text{sec}$?

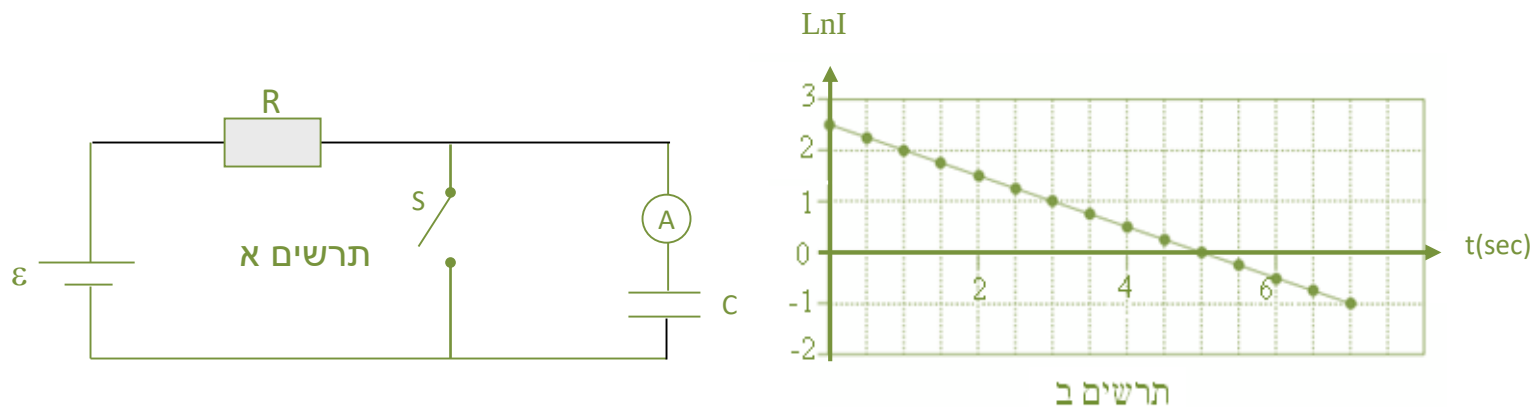
ד. מהו קיבולו של הקבל?

התלמיד החליף את האמפרמטר שבמעגל באמפרמטר שאינו אידיאלי, וביצע את המדידה מחדש.

ה. העתק למחברתך את הגרף מתרשים ב, וסרטט באותה מערכת צירים גרף משוער של כתלות

בזמן במצב החדש. הסבר את שיקולך בסרטוט הגרף (התייחס לזרם ברגע $t=0$ ולשיפוע).

ו. האם המטען הסופי של הקבל יגדל, יקטן או לא ישתנה? נמק.



א. כאשר המפסק S סגור מד הזרם יראה זרם של $I=0A$.
הפרש הפוטנציאלים על הקבל במקרה זה הוא אפס, ולכן זרם אינו זורם.

ב. בזמן $t=0$ מתקבל מהגרף:

$$\ln I_0 = 2.5$$

$$I_0 = e^{2.5} = 12.2mA$$

על פי חוק אוהם:

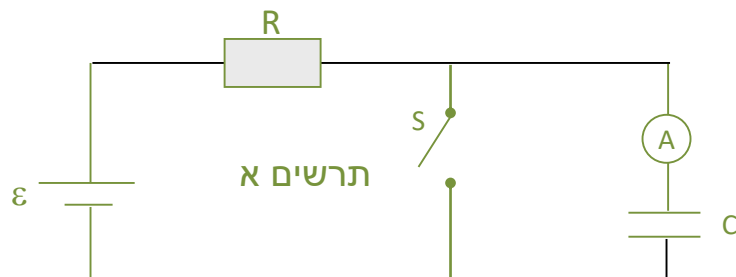
$$\varepsilon = I \cdot R$$

$$\varepsilon = 12.2 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 12.2V$$

ג. מהגרף לאחר 5 שניות:

$$\ln I = 0$$

$$I = e^0 = 1mA$$



ד. בעזרת הנוסחה: $I = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$ נבחר נקודה מהגרף $t=1 \text{ sec}$:

$$\ln I_{(t=1)} = 2$$

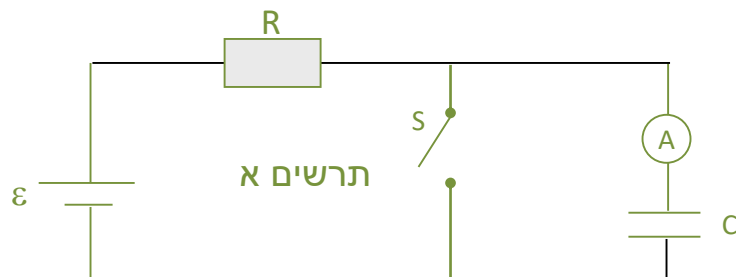
$$I = e^2 = 7.39 \text{ mA}$$

$$7.39 \cdot 10^{-3} = 12.2 \cdot 10^{-3} \cdot e^{\frac{-1}{1000 \cdot C}} \Rightarrow 0.6 = e^{\frac{-1}{1000 \cdot C}} \Rightarrow -0.5 = -\frac{1}{1000 \cdot C} \Rightarrow C = 2 \cdot 10^{-3} \text{ F}$$

דרך אחרת: שיפוע הגרף שווה ל: $-\frac{1}{R \cdot C}$, חישוב השיפוע משתי נקודות מהגרף:

$$\frac{0 - 2.5}{5 - 0} = -0.5$$

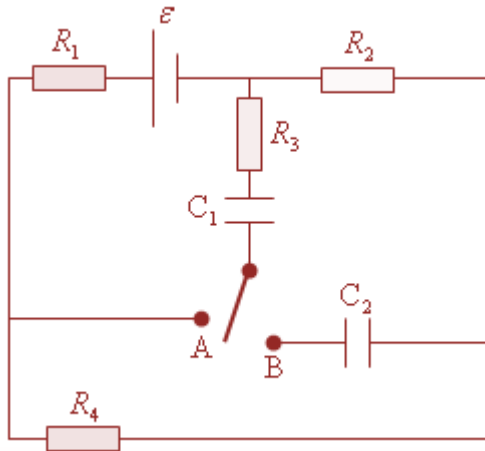
$$-0.5 = -\frac{1}{R \cdot C} = \frac{-1}{1000 \cdot C} \Rightarrow C = 2 \cdot 10^{-3} \text{ F}$$



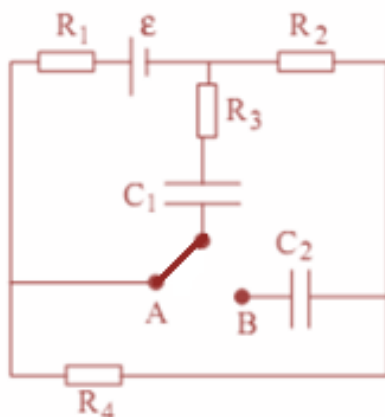
ה. אם למד הזרם יש התנגדות, ההתנגדות הכוללת תגדל, לכן הזרם בתחילת המדידה יקטן. כמו כן, שיפוע הגרף נתון בביטוי $\frac{1}{R \cdot C}$; ככל ש- R גדל השיפוע תלול פחות.

ו. המטען הסופי של הקבל תלוי בקיבול ובמתח המקור, ולכן הוא לא ישתנה.

המעגל החשמלי במתואר בתרשים שלפניך כולל מקור מתח של $\varepsilon = 6 \text{ V}$ שהתנגדותו הפנימית זניחה, ארבעה נגדים, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 2\Omega$, שני קבלים שאינם טעונים: $C_1 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ F}$, $C_2 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ F}$ ומתג. אפשר להעביר את המתג למצב A או למצב B, כמתואר בתרשים.



- מעבירים את המתג למצב A, ומחכים זמן רב.
- א. חשב את עוצמת הזרם העובר בנגד .
- ב. חשב את המטען על כל אחד משני הקבלים.
- פורקים את הקבלים, מעבירים את המתג למצב B, ומחכים זמן רב.
- ג. מצא את עוצמת הזרם העובר בנגד .
- ד. חשב את המטען על כל אחד משני הקבלים.
- ה. איזה מהנגדים אינו משפיע על עוצמת הזרם העובר בנגד ? נמק.



א. כאשר המתג במצב A :

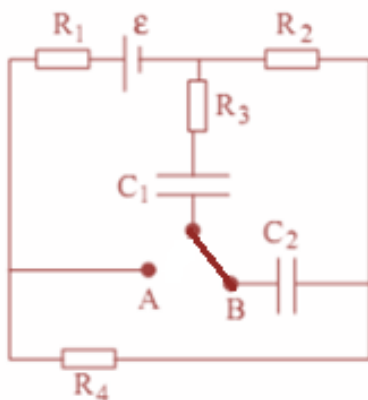
$$R_T = R_1 + R_2 + R_4 = 6\Omega$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R_T} = \frac{6}{6} = 1A$$

ב. $V_1 = \varepsilon - I \cdot R_1 = 6 - 1 \cdot 2 = 4V$

$$Q_1 = C_1 \cdot V_1 = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 4 = 8\mu C$$

הקבל C_2 אינו נטען לכן: $Q_2 = 0$



ג. כאשר המתג במצב B :

$$R_T = R_1 + R_2 + R_4 = 6\Omega$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R_T} = \frac{6}{6} = 1A$$

ד. $C_T = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-6} + 6 \cdot 10^{-6}} = 1.5\mu F$

המתח של שני הקבלים יחד:

$$V = I \cdot R_2 = 1 \cdot 2 = 2V$$

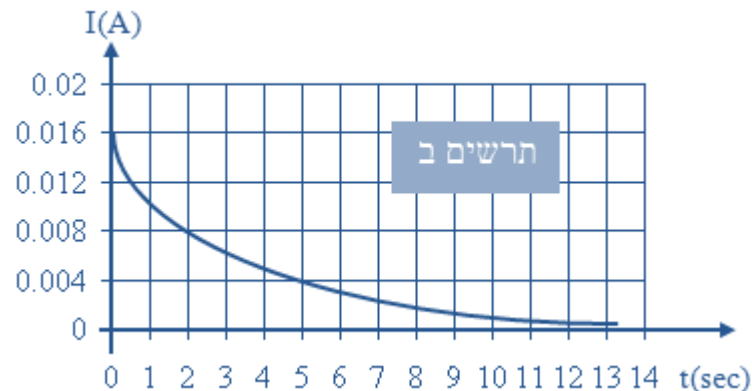
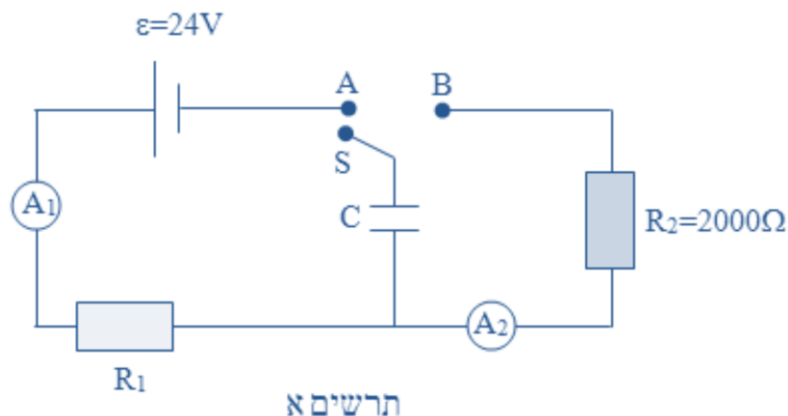
$$Q = C_T \cdot V = 1.5 \cdot 2 = 3\mu C$$

הקבלים מחוברים בטור, ולכן המטענים על כל אחד מהקבלים שווים זה לזה. כלומר: $Q_1 = 3\mu C, Q_2 = 3\mu C$.

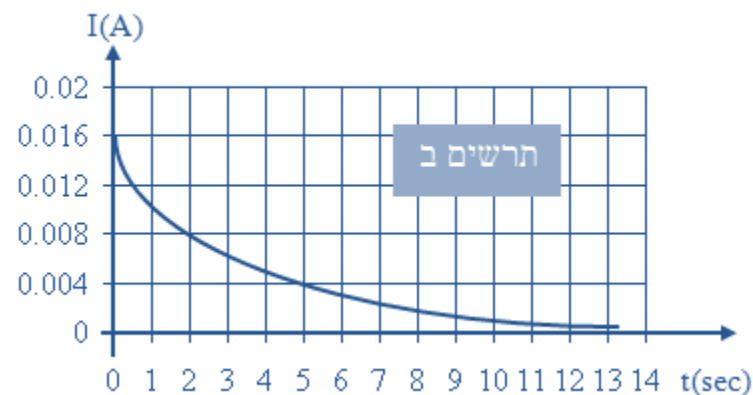
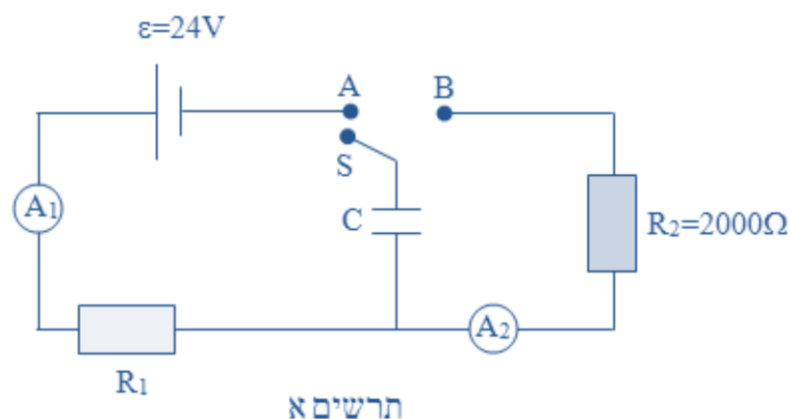
ה. הנגד R_3 אינו משפיע על עוצמת הזרם העובר בנגד R_1 .

כאשר הקבלים טעונים בענף שבו נמצא הנגד R_3 לא זורם זרם, כי הקבלים מהווים נתק.

בתרשים א מתואר מעגל חשמלי המאפשר טעינה ופריקה של קבל. התנגדות המקור ומד הזרם זניחים.



- מחברים את המתג S ל-A. מהו המתח על הקבל C לאחר זמן רב?
- לאחר זמן רב מעבירים את המתג S מ-A ל-B. מהו הזרם המרבי שיראה האמפרמטר A_2 ?
- תרשים ב שלפניכם מתאר את הזרם שנמדד על-ידי אחד האמפרמטרים כפונקציה של הזמן. האם הגרף שבתרשים ב עשוי להתאים לזרם שנמדד על-ידי האמפרמטר A_1 או לזרם שנמדד על-ידי האמפרמטר A_2 ? נמקו.
- חשבו את קיבול הקבל C.
- מחליפים את הקבל C בקבל אחר שקיבולו גדול יותר וחוזרים על הניסוי. האם השטח, המוגבל על-ידי הגרף שבתרשים ב ועל-ידי הצירים, גדל, קטן או אינו משתנה? נמקו.

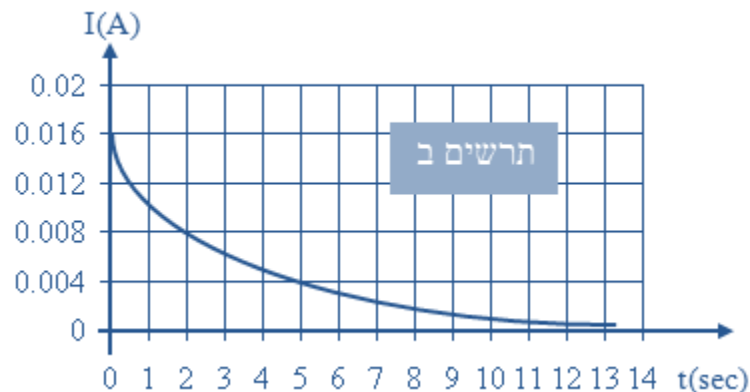
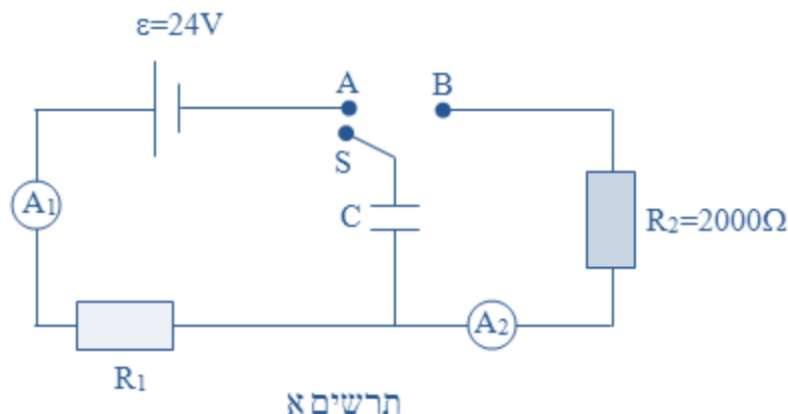


א. לאחר זמן רב המתח על הקבל שווה למתח של המקור והוא 24V.

ב. הזרם המרבי הוא בתחילת תהליך פריקת הקבל:

$$I_{\max} = \frac{V}{R} = \frac{24}{2000} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 12 \text{ mA}$$

ג. הגרף מתאים לזרם שנמדד ע"י A_1 כי הזרם המרבי שמראה A_2 הוא 12mA.



ד. נמצא תחילה את התנגדות הנגד R_1 :

$$R_1 = \frac{\varepsilon}{I_{\max}} = \frac{24}{0.016} = 1500\Omega$$

נוסחת הזרם בטעינה:

$$I = I_0 \cdot e^{\frac{-t}{R_1 \cdot C}}$$

על פי הגרף, ברגע $t=4\text{sec}$ היה הזרם $I=0.004\text{A}$.

$$0.004 = 0.016 \cdot e^{\frac{-4}{1500 \cdot C}} \Rightarrow C = 1.9 \cdot 10^{-3} \text{F} = 1.9\text{mF}$$

ה. השטח מייצג את כל המטען Q שעובר דרך מד הזרם. לכן כאשר הקיבול C גדל והמתח V

קבוע המטען Q גדל ולכן השטח גדל.

דרך אחרת: לפי $I = I_0 \cdot e^{\frac{-t}{R_1 \cdot C}}$ כאשר C גדל הביטוי $e^{\frac{-t}{R_1 \cdot C}}$ גדל.

מאחר ו- I_0 אינו משתנה הדעיכה תהיה איטית יותר,

כלומר הגרף יופיע מעל לגרף הקודם.

