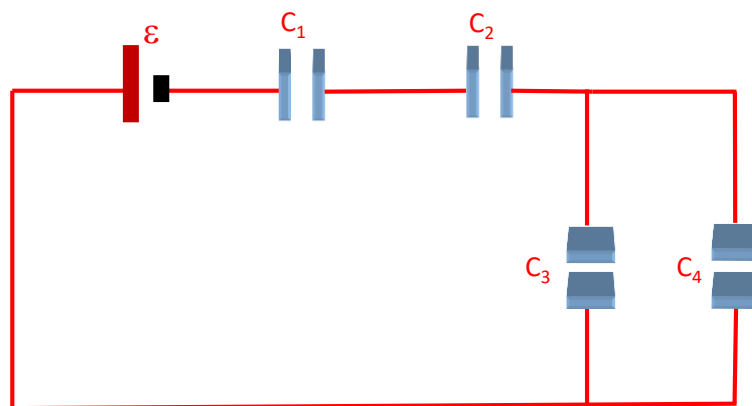
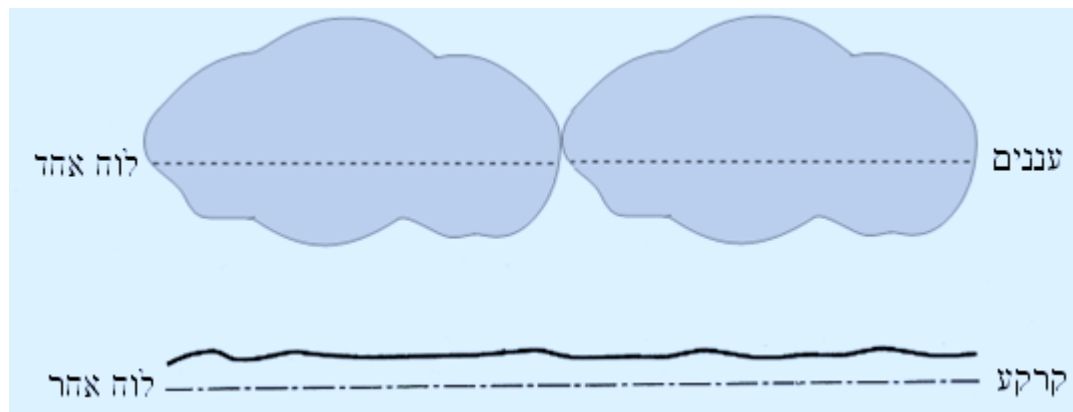


חשמל ומגנטיות

תרגול שבוע 1 – קיבול ומעגלי קבלים



בעת סופת רעמים נמצא כי בין שכבת העננים לקרקע נוצר שדה חשמלי אנכי שעוצמתו 3000N/C . אפשר לתאר את השדה על-פי מודל פשוט של קבל לוחות מקבילים, כמתואר בתרשים שלפניכם:

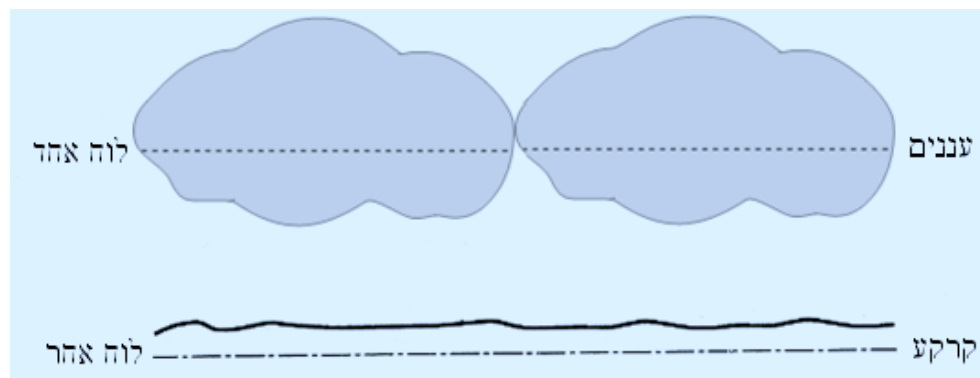


א. חשבו את המתח הנוצר בין העננים לקרקע, אם הם נמצאים בגובה של 400 m מעל פני הקרקע.

ב. כאשר נוצר הברק כמות המטען העוברת בין העננים לקרקע שווה ל- 20C .

חשבו את האנרגיה החשמלית המשתחררת על-ידי ברק זה בין העננים לקרקע. הנח כי כל

מטען "הקבל" נפרק על-ידי הברק.



$$E = \frac{V}{d} \Rightarrow V = 3000 \cdot 400 = 1200000V$$

א.

$$U_P = \frac{Q \cdot V}{2} = \frac{20 \cdot 1200000}{2} = 12000000J$$

ב.

נתון קבל לוחות בעל שטח של 5cm^2 והמרחק בין הלוחות הוא $d=0.4\text{mm}$:

א. מהו הקיבול של הקבל?

ב. איך ישתנה הקיבול אם נרחיק את הלוחות זה מזה פי 3?

ג. מחברים את הקבל למקור מתח קבוע של $V=24\text{V}$

1. כמה מטען מצטבר על הקבל?

2. מהי העבודה שיש להשקיע בכדי לקרב את הלוחות למרחק של 0.2 מילימטר אם הקבל

מחובר למקור המתח?

3. מהי העבודה שיש להשקיע בכדי לקרב את הלוחות למרחק של 0.2 מילימטר אחרי שהקבל

נותק ממקור המתח?

א. הקיבול של הקבל יהיה:

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d} = \frac{8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-4}} = 11 \cdot 10^{-12} F$$

ב. הקיבול יקטן פי 3 כי d גדל פי 3.

ג. 1. המטען שמצטבר על הקבל הוא:

$$Q = C \cdot V = 11 \cdot 10^{-12} \cdot 24 = 265.5 \cdot 10^{-12} C$$

2. כל עוד הקבל מחובר למקור המתח, המתח עליו נשאר קבוע ורק המטען משתנה. כאשר נקר

את הלוחות לחצי מהמרחק המקורי הקיבול הסופי יגדל פי 2 מערכו ההתחלתי. העבודה היא

הפרש האנרגיות הפוטנציאליות ולכן:

$$W = \Delta U_p = U_{p_T} - U_{p_0} = \frac{1}{2} \cdot C_T \cdot V^2 - \frac{1}{2} \cdot C_0 \cdot V^2$$

$$\frac{1}{2} \cdot 2C_0 \cdot V^2 - \frac{1}{2} \cdot C_0 \cdot V^2 = \frac{1}{2} \cdot C_0 \cdot V^2 = \frac{1}{2} \cdot 11 \cdot 10^{-12} \cdot 24^2 = 6336 \cdot 10^{-12} J$$

3. כאשר הקבל אינו מחובר למקור המתח, המתח עליו לא נשאר קבוע ורק המטען נשאר קבוע.

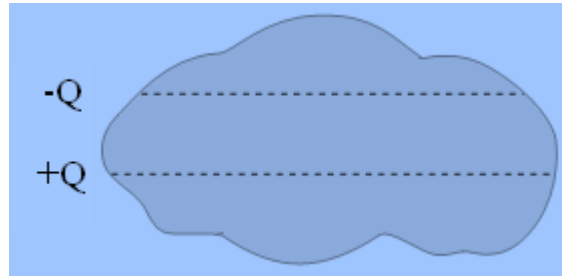
כאשר נקר את הלוחות לחצי מהמרחק המקורי הקיבול יגדל פי 2. העבודה היא הפרש

האנרגיות הפוטנציאליות ולכן:

$$W = \Delta E_p = E_{p-final} - E_{p-initial} = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C_{final}} - \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C_{initial}} = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{2 \cdot C_{initial}} - \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C_{initial}} =$$

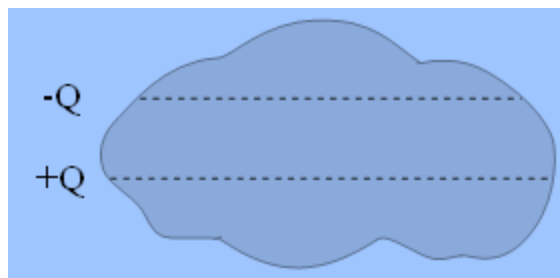
$$-\frac{1}{4} \frac{Q^2}{C_{initial}} = -\frac{1}{4} \frac{(14.16 \cdot 10^{-11})^2}{7.08 \cdot 10^{-12}} = -\frac{1}{2} 14.16 \cdot 10^{-10} = -7.08 \cdot 10^{-10} [J]$$

על-פי מודל פשוט, אפשר להסתכל על ענן סערה כעל זוג לוחות מקבילים של קבל (ראו תרשים), וביניהם חומר מבודד. נתון שקיבולו של הקבל הוא: $C=0.0425 \cdot 10^{-6} \text{ F}$, ובין הלוחות שורר מתח של $2 \cdot 10^7 \text{ V}$.



- א. הגדירו מהו קבל.
- ב. חשבו את האנרגיה האגורה בקבל.
- ג. חשבו את הכוח החשמלי הפועל על אלקטרון הנמצא בין לוחות הקבל.
- ד. חשבו את גודל המטען על לוח אחד של הקבל.

א. מערכת של שני מוליכים שביניהם חומר מבודד (או ריק), למשל שני לוחות וביניהם אוויר.



ב.
$$U_p = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.0425 \cdot 10^{-6} \cdot (2 \cdot 10^7)^2 = 8.5 \cdot 10^6 \text{ J}$$

ג.
$$E = \frac{V}{d} = \frac{2 \cdot 10^7}{500} = 4 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$F = E \cdot q = 4 \cdot 10^4 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} = 6.4 \cdot 10^{-15} \text{ N}$$

ד. המטען על לוח אחד:
$$Q = V \cdot C = 2 \cdot 10^7 \cdot 0.0425 \cdot 10^{-6} = 0.85 \text{ C}$$

טוענים אלקטרומטר שקיבולו C_1 לפוטנציאל של $V_1=1500V$ ומחברים אותו, לאחר מכן, בתיל מוליך דק לכדור מוליך שרדיוסו $R=5cm$ וקיבולו C_2 . כתוצאה מכך, יורד הפוטנציאל של האלקטרומטר ל- $V_2=600V$.

- א. חשבו את קיבול האלקטרומטר C_1 .
- ב. חשבו מהו המטען החשמלי על הכדור ומהו המטען על האלקטרומטר.
- ג. מחברים כדור מוליך שני אל הכדור הראשון וכתוצאה מכך, יורד הפוטנציאל של האלקטרומטר ל- $V_3=300V$.
- חשבו מהו הקיבול של הכדור השני C_3 ומהו רדיוסו r .

א. בחיבור האלקטרומטר שקיבולו C_1 לכדור שקיבולו C_2 עברו מטענים מן האלקטרומטר לכדור אבל המטען הכללי נשאר קבוע.
נחשב תחילה את קיבול הכדור:

$$V = \frac{KQ}{R}$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{KQ}{R}} = \frac{R}{K} = \frac{0.05}{9 \cdot 10^9} = 5.55 \cdot 10^{-12} F$$

משימור מטען נקבל:

$$Q_1 = Q'_1 + Q_2$$

$$V_1 \cdot C_1 = V'_1 \cdot C_1 + V_2 \cdot C_2$$

$$1500 \cdot C_1 = 600 \cdot C_1 + 600 \cdot 5.55 \cdot 10^{-12}$$

$$C_1 = 3.7 \cdot 10^{-12} F$$

ב. מטען הכדור:

$$Q_2 = V_2 \cdot C_2 = 600 \cdot 5.55 \cdot 10^{-12} = 3.33 \cdot 10^{-9} C$$

המטען על האלקטרומטר לאחר החיבור:

$$Q'_1 = V_2 \cdot C_1 = 600 \cdot 3.7 \cdot 10^{-12} = 2.22 \cdot 10^{-9} C$$

המטען על האלקטרומטר לפני החיבור:

$$Q_1 = V_1 \cdot C_1 = 1500 \cdot 3.7 \cdot 10^{-12} = 5.55 \cdot 10^{-9} C$$

ג. משימור מטען נקבל:

$$Q_1 = Q'_1 + Q'_2 + Q_3$$

$$V_1 \cdot C_1 = V''_1 \cdot C_1 + V'_2 \cdot C_2 + V_1 \cdot C_1$$

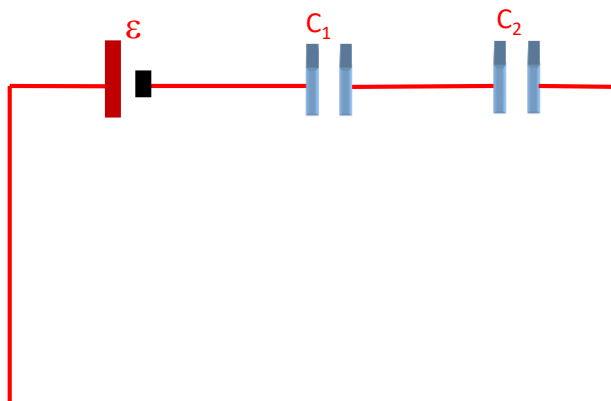
$$1500 \cdot 3.7 \cdot 10^{-12} = 300 \cdot 3.7 \cdot 10^{-12} + 300 \cdot 5.55 \cdot 10^{-12} + 300 \cdot C_3$$

$$C_3 = 9.24 \cdot 10^{-12} F$$

$$V_3 = \frac{KQ_3}{r}$$

$$C_3 = \frac{Q_3}{V_3} = \frac{Q_3}{\frac{KQ_3}{r}} = \frac{r}{K} \Rightarrow r = C_3 \cdot K = 9.24 \cdot 10^{-12} \cdot 9 \cdot 10^9 = 0.083m = 8.3cm$$

במעגל המתואר בתרשים נתון ש: $C_1 = 3\mu\text{F}$, $C_2 = 6\mu\text{F}$. הכא"מ של מקור המתח $\varepsilon = 12\text{V}$.



א. חשבו את:

1. המטען על כל קבל.
2. המתח על כל אחד מהקבלים.
3. האנרגיה החשמלית האגורה בכל אחד מהקבלים.

במעגל המתואר בתרשים נתון ש: $C_2=6\mu F, C_1=3\mu F$. הכא"מ של מקור המתח $\varepsilon=12V$.

א. נמצא תחילה את הקיבול השקול:

$$C_{1,2} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-6} + 6 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^{-6} F$$

נחשב את המטען הכולל:

$$Q_{1,2} = C_{1,2} \cdot \varepsilon = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 12 = 24 \cdot 10^{-6} C$$

$$Q_T = Q_{1,2} = 24 \cdot 10^{-6} C$$

המתח על פני כל אחד מהקבלים:

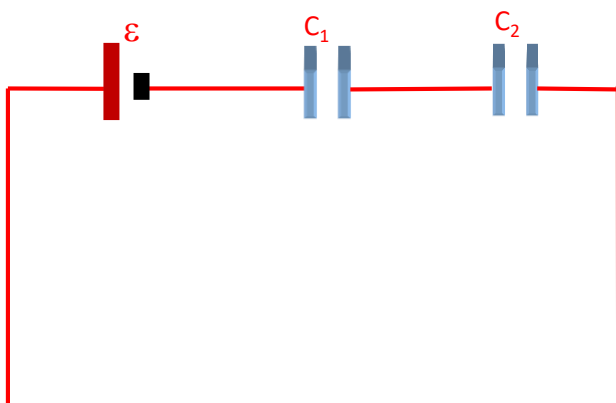
$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{24 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-6}} = 8V$$

$$V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{24 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-6}} = 4V$$

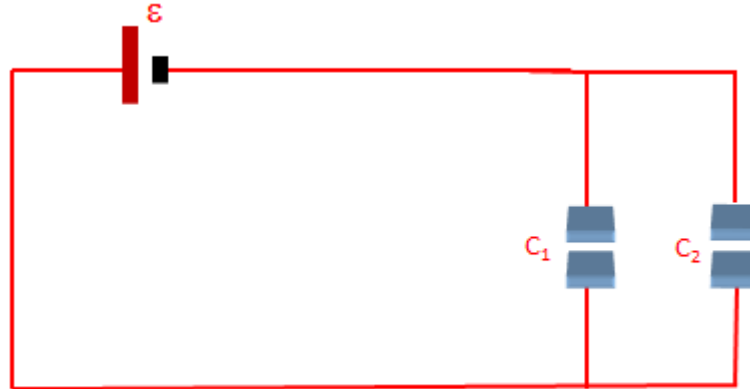
3. האנרגיה החשמלית האגורה בכל אחד מהקבלים:

$$U_{P1} = \frac{C_1 \cdot V_1^2}{2} = \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 8^2}{2} = 96 \cdot 10^{-6} J$$

$$U_{P2} = \frac{C_2 \cdot V_2^2}{2} = \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot 4^2}{2} = 48 \cdot 10^{-6} J$$



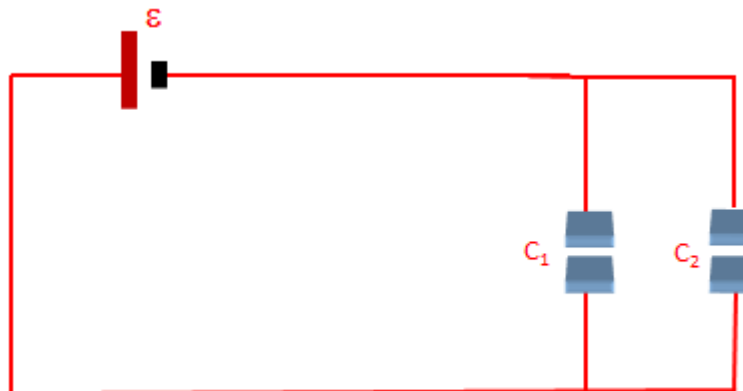
במעגל המתואר בתרשים נתון ש: $C_2=6\mu F, C_1=3\mu F$. הכא"מ של מקור המתח $\varepsilon=12V$.



א. חשבו את:

1. המטען על כל קבל.
2. המתח על כל אחד מהקבלים.
3. האנרגיה החשמלית האגורה בכל אחד מהקבלים.

במעגל המתואר בתרשים נתון ש: $C_2=6\mu F, C_1=3\mu F$. הכא"מ של מקור המתח $\varepsilon=12V$.



$$V_1 = V_2 = \varepsilon = 12V$$

א. 1. המתח על כל אחד מהקבלים:

$$Q_1 = C_1 \cdot V_1 = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 12 = 36 \cdot 10^{-6} C$$

2. המטען על כל קבל:

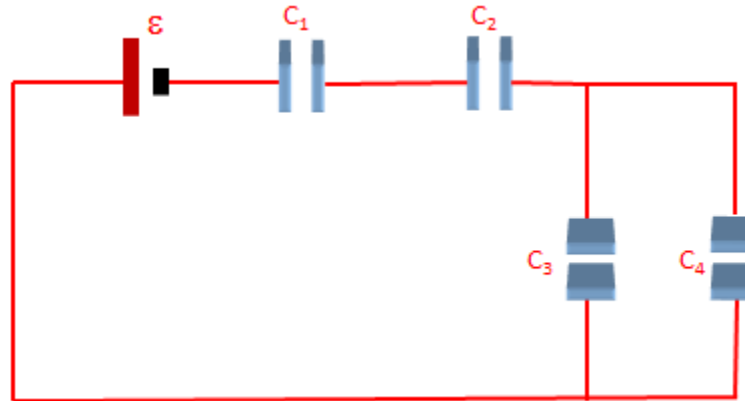
$$Q_2 = C_2 \cdot V_2 = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 12 = 72 \cdot 10^{-6} C$$

$$U_{P1} = \frac{C_1 \cdot V_1^2}{2} = \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 12^2}{2} = 216 \cdot 10^{-6} J$$

3. האנרגיה החשמלית האגורה בכל אחד מהקבלים:

$$U_{P2} = \frac{C_2 \cdot V_2^2}{2} = \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot 12^2}{2} = 432 \cdot 10^{-6} J$$

במעגל המתואר בתרשים נתון ש: $C_4=8\mu\text{F}$, $C_3=2\mu\text{F}$, $C_2=6\mu\text{F}$, $C_1=3\mu\text{F}$.
הכא"מ של מקור המתח $\varepsilon=12\text{V}$.

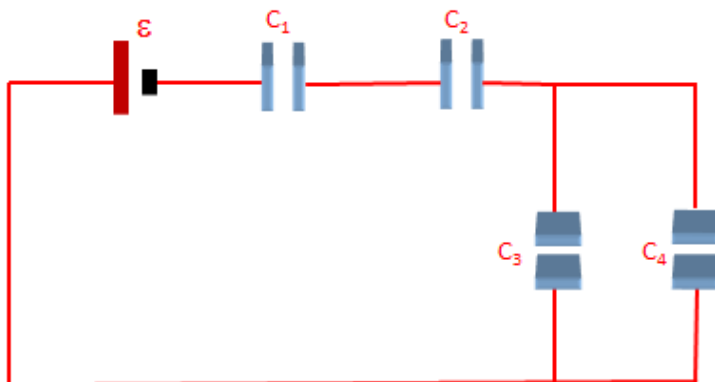


א. חשבו את:

1. המטען על כל קבל.
 2. המתח על כל אחד מהקבלים.
 3. האנרגיה החשמלית האגורה בכל אחד מהקבלים.
- ב. מנתקים את מקור המתח מהמעגל החשמלי. מה יהיה עתה:

1. המתח על כל אחד מהקבלים.
2. המטען על כל קבל.

א. נחשב תחילה את הקיבול השקול של המעגל:



$$C_{1,2} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-6} + 6 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^{-6} F$$

$$C_{3,4} = C_3 + C_4 = 2 \cdot 10^{-6} + 8 \cdot 10^{-6} = 10 \cdot 10^{-6} F$$

$$C_{1,2,3,4} = \frac{C_{1,2} \cdot C_{3,4}}{C_{1,2} + C_{3,4}} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-6} + 10 \cdot 10^{-6}} = 1.66 \cdot 10^{-6} F$$

$$Q_T = C_T \cdot \varepsilon = 1.66 \cdot 10^{-6} \cdot 12 = 20 \cdot 10^{-6} C$$

המטען הכולל:

$$Q_T = Q_{1,2} = Q_1 = Q_2 = 20 \cdot 10^{-6} C$$

קבלים 1 ו-2 מחוברים בטור לכן:

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{20 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-6}} = 6.67 V$$

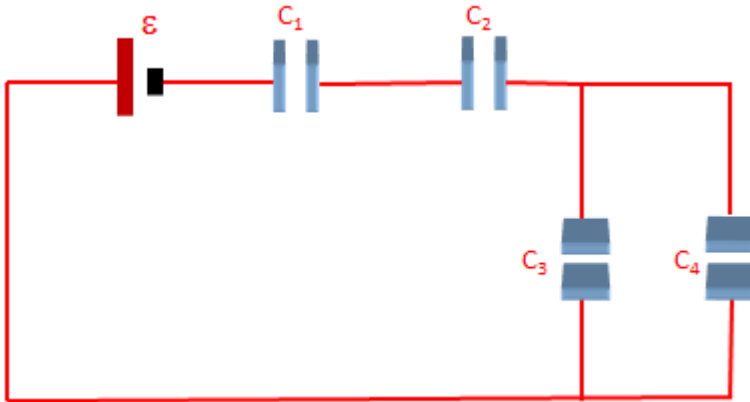
$$V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{20 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-6}} = 3.33 V$$

המתח על פני קבל 1 וקבל 2:

$$U_{P1} = \frac{C_1 \cdot V_1^2}{2} = \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 6.67^2}{2} = 66.66 \cdot 10^{-6} J$$

$$U_{P2} = \frac{C_2 \cdot V_2^2}{2} = \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot 3.33^2}{2} = 33.33 \cdot 10^{-6} J$$

האנרגיה האגורה בקבל 1 ובקבל 2:



$$Q_{3,4} = Q_T = 20 \cdot 10^{-6} C \quad .א$$

$$V_{3,4} = \frac{Q_{3,4}}{C_{3,4}} = \frac{20 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6}} = 2V$$

$$V_3 = V_4 = 2V$$

$$Q_3 = C_3 \cdot V_3 = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 = 4 \cdot 10^{-6} C$$

$$Q_4 = C_4 \cdot V_4 = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 2 = 16 \cdot 10^{-6} C$$

או בדרך אחרת:

$$V_{3,4} = \varepsilon - V_1 - V_2 = 12 - 6.67 - 3.33 = 2V$$

$$Q_3 = C_3 \cdot V_3 = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 = 4 \cdot 10^{-6} C$$

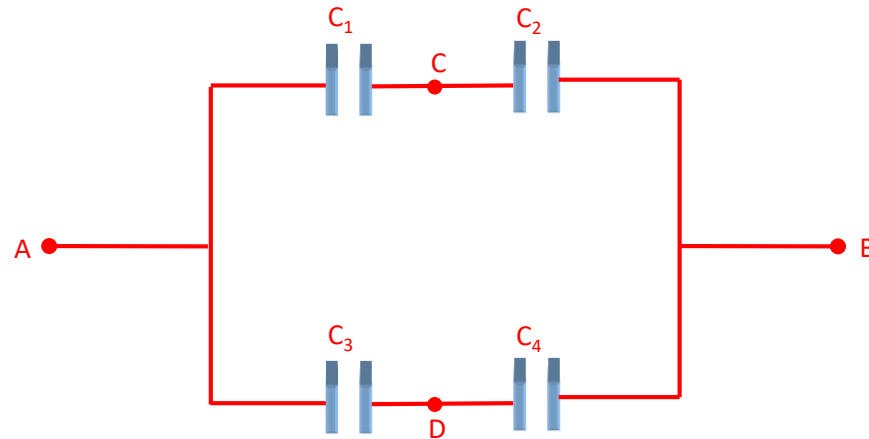
$$Q_4 = C_4 \cdot V_4 = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 2 = 16 \cdot 10^{-6} C$$

$$U_{P3} = \frac{C_3 \cdot V_3^2}{2} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 2^2}{2} = 4 \cdot 10^{-6} J$$

$$U_{P4} = \frac{C_4 \cdot V_4^2}{2} = \frac{8 \cdot 10^{-6} \cdot 2^2}{2} = 16 \cdot 10^{-6} J$$

האנרגיה האגורה בקבל 3 ובקבל 4:

במעגל המתואר בתרשים נתון ש: $C_1=6\mu F$, $C_2=3\mu F$, $C_3=20\mu F$, $C_4=5\mu F$.
המתח על פני הקבל שקיבולו C_1 הוא: $V_1=5V$.



חשבו המתח בין הנקודות:

1. A ו-B.

2. C ו-D.

במעגל המתואר בתרשים נתון ש: $C_4=5\mu F$, $C_3=20\mu F$, $C_2=3\mu F$, $C_1=6\mu F$.

המתח על פני הקבל שקיבולו C_1 הוא: $V_1=5V$.

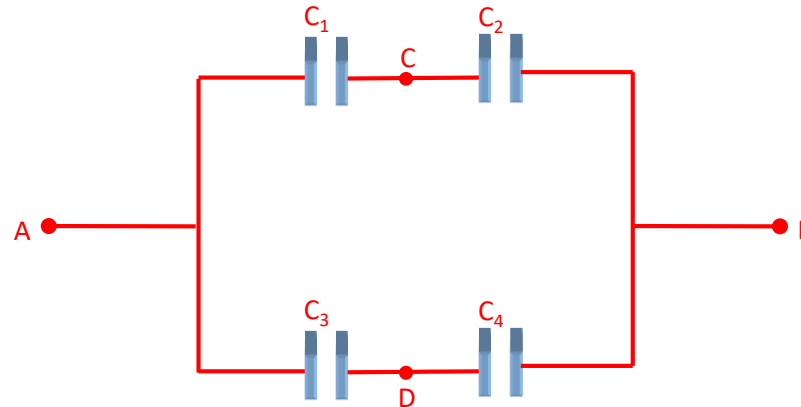
$$Q_1 = C_1 \cdot V_1 = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 5 = 30 \cdot 10^{-6} C$$

(1) המתח בין הנקודות A ו- B:

$$Q_2 = Q_1 = 30 \cdot 10^{-6} C$$

$$V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{30 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-6}} = 10V$$

$$V_{AB} = V_1 + V_2 = 5 + 10 = 15V$$



(2) המתח בין הנקודות C ו- D:

$$C_{3,4} = \frac{C_3 \cdot C_4}{C_3 + C_4} = \frac{20 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{20 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-6}} = 4 \cdot 10^{-6} F$$

$$V_{3,4} = V_{AB} = 15V$$

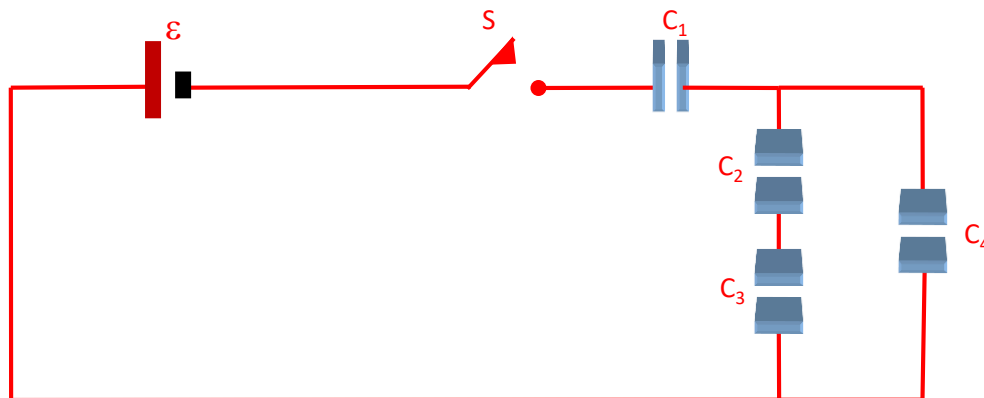
$$Q_{3,4} = C_{3,4} \cdot V_{3,4} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 15 = 60 \cdot 10^{-6} C$$

$$V_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{60 \cdot 10^{-6}}{20 \cdot 10^{-6}} = 3V$$

$$V_{CD} = V_{AC} - V_{AD} = V_1 - V_3 = 5 - 3 = 2V$$

במעגל שמתואר בתרשים נתון ש: $C_1=C$, $C_2=2C$, $C_3=2C$, $C_4=C$. הכא"מ של מקור המתח הוא ε .

נתונים: C ו- ε .



א. לאחר שסוגרים את המפסק S ממתנים עד שהמערכת מתייצבת. חשבו את:

1. המתח על כל אחד מהקבלים.

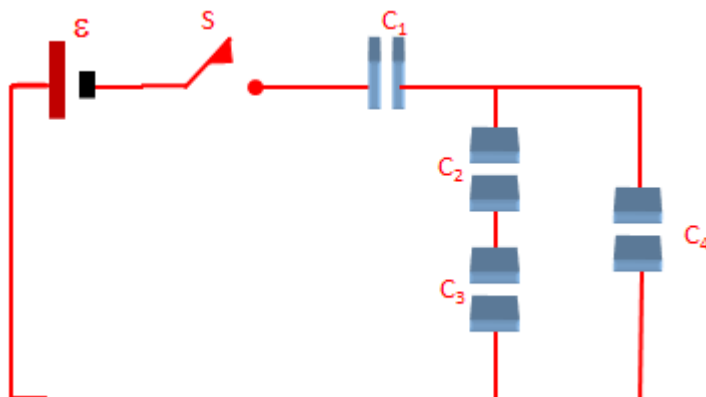
2. המטען על כל קבל.

3. האנרגיה החשמלית הכוללת, האגורה בארבעת הקבלים.

ב. פותחים את המתג S – האם האנרגיה החשמלית, האגורה בקבלים, תגדל, תקטן או לא תשתנה?

ג. במצב בו המתג S פתוח, מקרבים את הלוחות של קבל C_1 . האם האנרגיה החשמלית

הכוללת, האגורה בקבלים, תגדל, תקטן או לא תשתנה? נמקו.

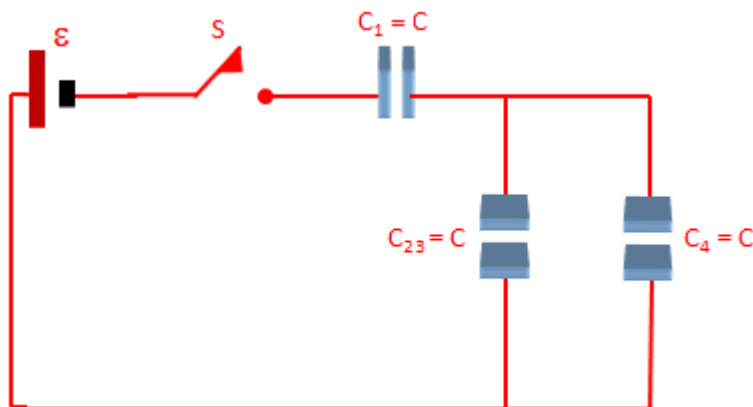


א.1.

$$C_{2,3} = \frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3} = \frac{2C \cdot 2C}{2C + 2C} = C$$

$$C_{2,3,4} = C_{2,3} + C_4 = C + C = 2C$$

$$C_{1,2,3,4} = \frac{C_{2,3,4} \cdot C_1}{C_{2,3,4} + C_1} = \frac{2C \cdot C}{2C + C} = \frac{2C^2}{3C} = \frac{2}{3}C$$

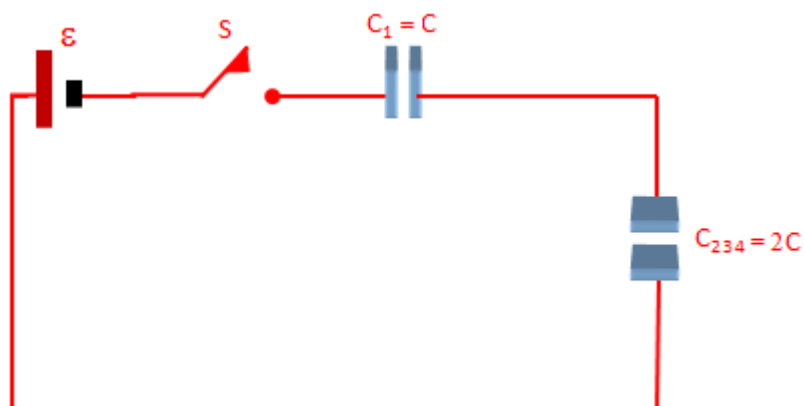


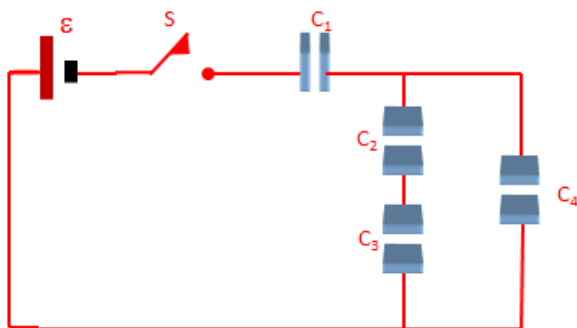
יחס המתחים הוא כיחס הקיבולים, לכן:

$$V_1 = \frac{2}{3}\varepsilon$$

$$V_{2,3} = V_{2,3} = \frac{1}{3}\varepsilon \Rightarrow V_2 = \frac{1}{6}\varepsilon, V_3 = \frac{1}{6}\varepsilon$$

$$V_4 = V_{2,3} = \frac{1}{3}\varepsilon$$





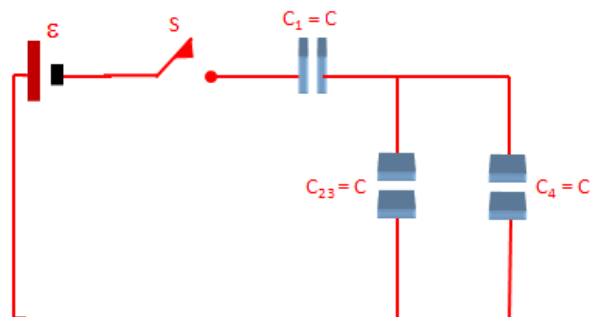
2. א.

$$Q_1 = C_1 \cdot V_1 = \frac{2}{3} C \cdot \varepsilon$$

$$Q_2 = C_2 \cdot V_2 = 2C \cdot \frac{1}{6} \varepsilon = \frac{C \cdot \varepsilon}{3}$$

$$Q_3 = C_3 \cdot V_3 = 2C \cdot \frac{1}{6} \varepsilon = \frac{C \cdot \varepsilon}{3}$$

$$Q_4 = C_4 \cdot V_4 = \frac{C \cdot \varepsilon}{3}$$



3. א.

$$U_P = \frac{C_T \cdot V^2}{2} = \frac{\frac{2}{3} C \cdot \varepsilon^2}{2} = \frac{C \cdot \varepsilon^2}{3}$$

ב. המטען הכולל אינו משתנה, והקיבול השקול אינו משתנה, לכן האנרגיה החשמלית האגורה

בקבלים לא תשתנה.

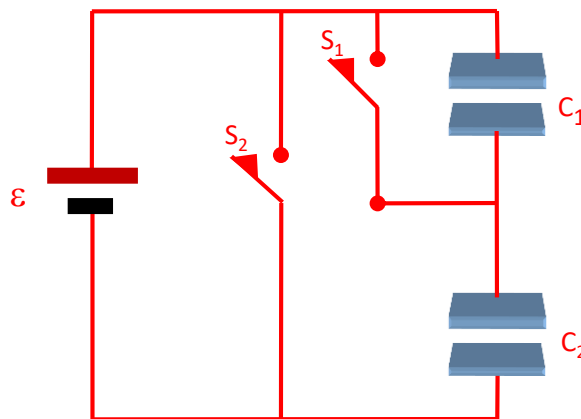
$$U_P = \frac{Q_T^2}{2 \cdot C_T}$$

ג. במצב בו המתג S פתוח ומקרבים את הלוחות של קבל C_1 , המטען הכולל אינו משתנה והקיבול

של קבל C_1 גדל, לכן האנרגיה החשמלית הכוללת קטנה.

$$U_P = \frac{Q_T^2}{2 \cdot C_T}$$

במעגל המתואר בתרשים נתון ש: $C_1=10\mu\text{F}$, $C_2=10\mu\text{F}$. הכא"מ של מקור המתח $\varepsilon=20\text{V}$.



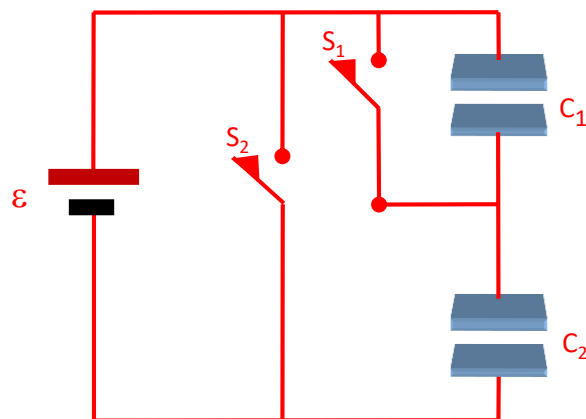
חשבו את המתח על כל אחד מהקבלים כאשר :

- בהתחלה שני המפסקים פתוחים.
- סוגרים את המפסק S_1 (המפסק S_2 נשאר פתוח).
- סוגרים את המפסק S_2 ופותחים את המפסק S_1 .

במעגל המתואר בתרשים נתון ש: $C_1=10\mu F$, $C_2=10\mu F$. הכא"מ של מקור המתח $\varepsilon=20V$.

חשבו את המתח על כל אחד מהקבלים כאשר :

א. בהתחלה שני המפסקים פתוחים.

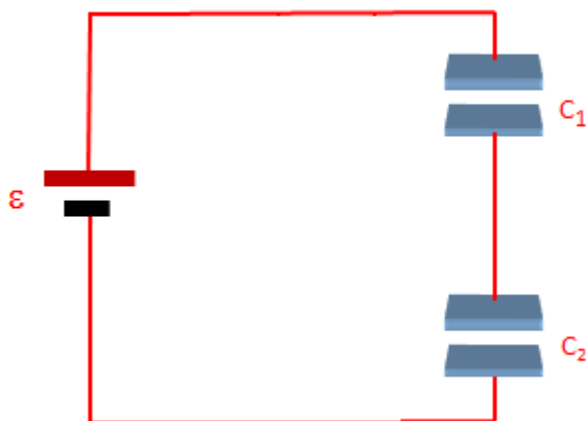


$$Q_T = C_T \cdot \varepsilon = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 20 = 100 \cdot 10^{-6} C$$

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6}} = 10V$$

$$C_{1,2} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6} + 10 \cdot 10^{-6}} = 5 \cdot 10^{-6} F$$

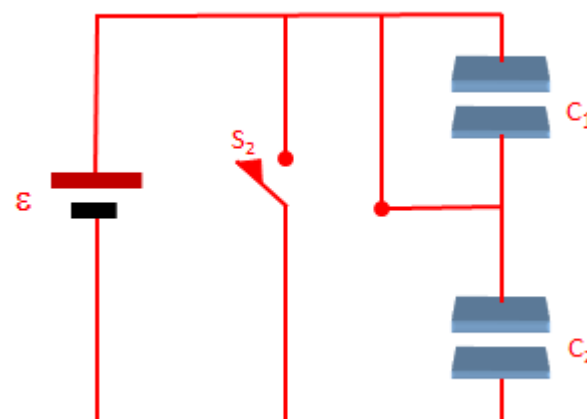
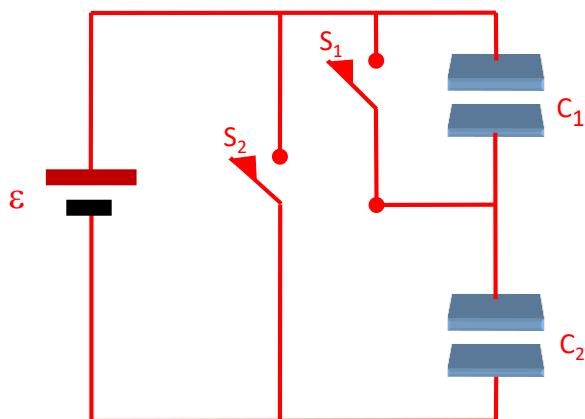
$$V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6}} = 10V$$



במעגל המתואר בתרשים נתון ש: $C_1=10\mu F$, $C_2=10\mu F$. הכא"מ של מקור המתח $\varepsilon=20V$.

חשבו את המתח על כל אחד מהקבלים כאשר :

ב. סוגרים את המפסק S_1 (המפסק S_2 נשאר פתוח).



$$C_T = C_1 = 10 \cdot 10^{-6} F$$

$$V_1 = 20V \quad V_2 = 0V$$

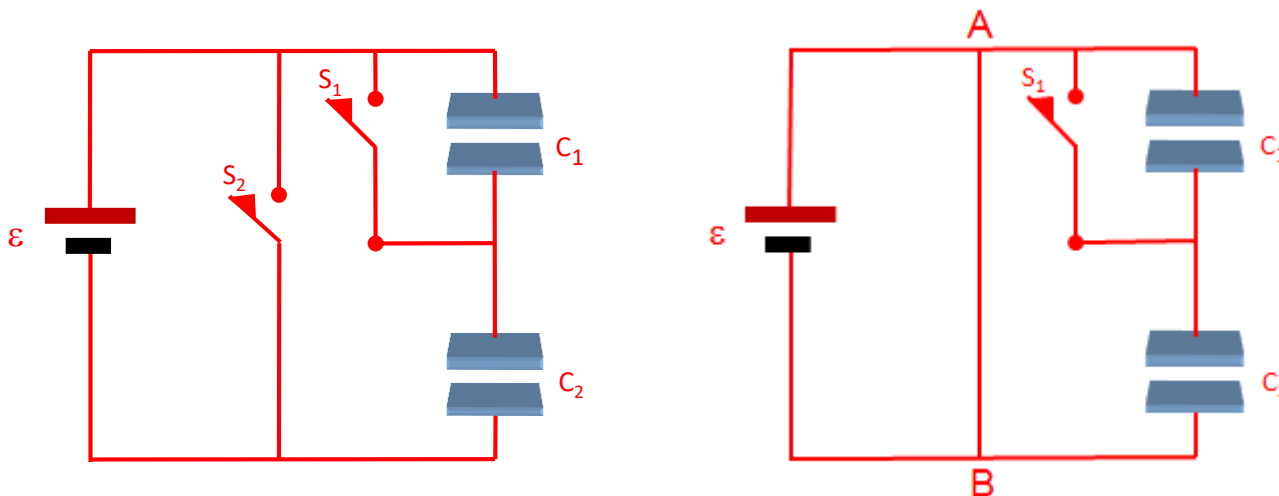
$$Q_1 = C_1 \cdot V_1 = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 20 = 200 \cdot 10^{-6} C$$

$$Q_2 = 0$$

במעגל המתואר בתרשים נתון ש: $C_1=10\mu F$, $C_2=10\mu F$. הכא"מ של מקור המתח $\varepsilon=20V$.

חשבו את המתח על כל אחד מהקבלים כאשר :

ג. סוגרים את המפסק S_2 ופותחים את המפסק S_1 .



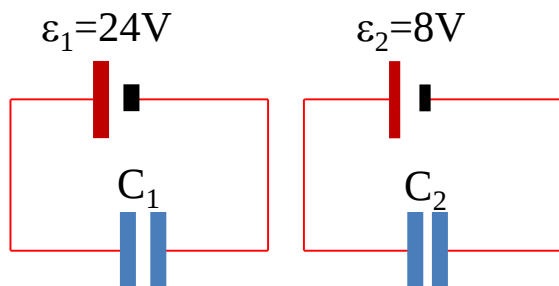
$$C_T = C_1 = 10 \cdot 10^{-6} F$$

$$V_{AB} = V_1 + V_2 = 0$$

$$Q_{AB} = Q_1 = Q_2 = C_{AB} \cdot V_{AB} = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 0 = 0$$

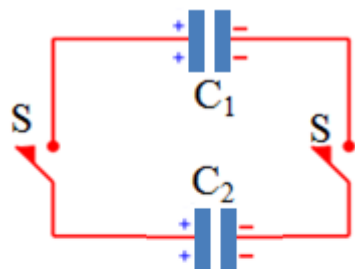
$$V_2 = 0V \quad V_1 = 0V$$

טוענים קבל אחד שקיבולו $C_1 = 6 \cdot 10^{-6} \mu_F$ על ידי מקור מתח שמתחו $V_1 = 24V$, וקבל שני שקיבולו $C_2 = 2 \cdot 10^{-6} \mu_F$ על ידי מקור מתח שמתחו $V_2 = 8V$. לאחר טעינת הקבלים וניתוקם מהמקורות, מחברים אותם במקביל כך, שהלוחות שווי-הסימן מחוברים ביניהם על ידי סגירת המפסקים.



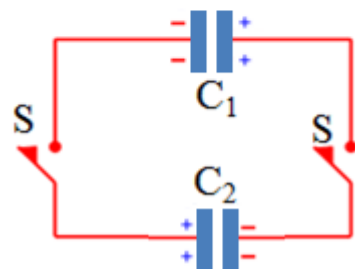
א. מהו המתח על כל אחד מהקבלים:

1. לפני ניתוקם ממקור המתח ?
2. לאחר ניתוקם ממקור המתח וסגירת המפסקים ?



ב. מהי האנרגיה שהייתה לקבלים:

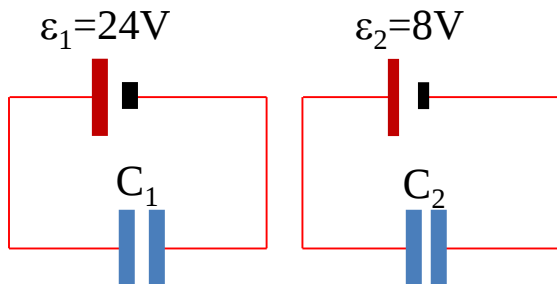
1. לפני ניתוקם ממקור המתח ?
2. לאחר ניתוקם ממקור המתח וסגירת המפסקים ?



ג. מהו השינוי באנרגיה האצורה בקבלים בין המצב בו הם

היו מחוברים למקור, לבין המצב בו מנתקים אותם ממקורות המתח, ומחברים אותם כך שהלוחות שוני-הסימן מחוברים ביניהם ?

- א. 1. המתח על כל אחד מהקבלים לפני ניתוקם ממקור המתח שווה למתח המקור: $V_1=24V$, $V_2=8V$.
2. נמצא תחילה את המטען הכולל:



$$Q_1 = C_1 \cdot V_1 = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 24 = 144 \cdot 10^{-6} C$$

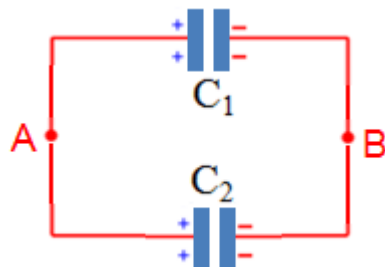
$$Q_2 = C_2 \cdot V_2 = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 8 = 16 \cdot 10^{-6} C$$

$$Q_{AB} = Q_1 + Q_2 = 144 \cdot 10^{-6} + 16 \cdot 10^{-6} = 160 \cdot 10^{-6} C$$

הקיבול השקול:

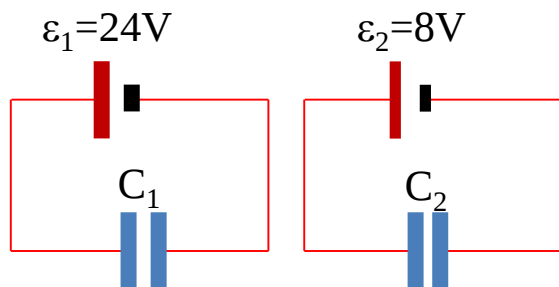
$$C_{A,B} = C_1 + C_2 = 6 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 10^{-6} = 8 \cdot 10^{-6} F$$

המתח על כל אחד מהקבלים:



$$V_1 = V_2 = V_{A,B} = \frac{Q_{A,B}}{C_{A,B}} = \frac{160 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 10^{-6}} = 20V$$

ב. 1. האנרגיה שהייתה לקבלים לפני ניתוקם ממקור המתח:

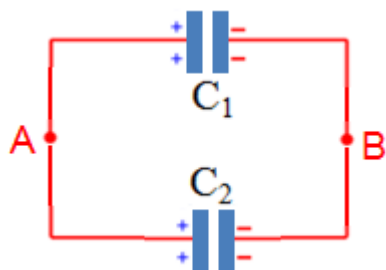


$$U_{P1} = \frac{C_1 \cdot V_1^2}{2} = \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot 24^2}{2} = 1728 \cdot 10^{-6} J$$

$$U_{P2} = \frac{C_2 \cdot V_2^2}{2} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 8^2}{2} = 64 \cdot 10^{-6} J$$

$$U_P = U_{P1} + U_{P2} = 1728 \cdot 10^{-6} + 64 \cdot 10^{-6} = 1792 J$$

2. האנרגיה לאחר ניתוקם ממקור המתח וסגירת המפסקים:



$$U_{P1} = \frac{C_1 \cdot V_1^2}{2} = \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot 20^2}{2} = 1200 \cdot 10^{-6} J$$

$$U_{P2} = \frac{C_2 \cdot V_2^2}{2} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 20^2}{2} = 400 \cdot 10^{-6} J$$

$$U_P = U_{P1} + U_{P2} = 1200 \cdot 10^{-6} + 400 \cdot 10^{-6} = 1600 J$$

ג. לאחר סגירת המפסקים כשהדקים שוני סימן מחברים ביניהם המטען הכולל הוא:

$$Q_{AB} = Q_1 - Q_2 = 144 \cdot 10^{-6} - 16 \cdot 10^{-6} = 128 \cdot 10^{-6} C$$

$$C_{A,B} = C_1 + C_2 = 6 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 10^{-6} = 8 \cdot 10^{-6} F$$

$$V_1 = V_2 = V_{A,B} = \frac{Q_{A,B}}{C_{A,B}} = \frac{128 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 10^{-6}} = 16V$$

האנרגיה שהייתה לקבלים לפני ניתוקם ממקור המתח:

$$U_{P1} = \frac{C_1 \cdot V_1^2}{2} = \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot 24^2}{2} = 1728 \cdot 10^{-6} J$$

$$U_{P2} = \frac{C_2 \cdot V_2^2}{2} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 8^2}{2} = 64 \cdot 10^{-6} J$$

$$U_P = U_{P1} + U_{P2} = 1728 \cdot 10^{-6} + 64 \cdot 10^{-6} = 1792 J$$

האנרגיה לאחר ניתוקם ממקור המתח וסגירת המפסקים:

$$U_{P1} = \frac{C_1 \cdot V_1^2}{2} = \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot 16^2}{2} = 768 \cdot 10^{-6} J$$

$$U_{P2} = \frac{C_2 \cdot V_2^2}{2} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 16^2}{2} = 256 \cdot 10^{-6} J$$

$$U_P = U_{P1} + U_{P2} = 768 \cdot 10^{-6} + 256 \cdot 10^{-6} = 1024 J$$

