فیزیک یازدهم – خازن

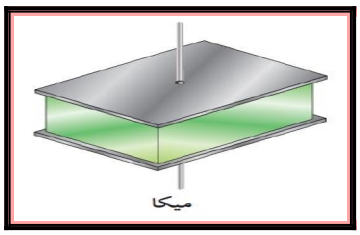
تهیه و تنظیم : ژیلا رضایی - شهرستان رودبار زیتون

۱– خازن وسیله ای است که می تواند بار و انرژی را در خود ذخیره کند.

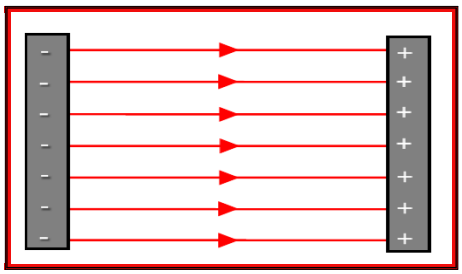
۲– خازنها نسبت به باتریها بار ذخیره شده را با آهنگ بیشتری به مدار می دهند.

۳ - اجزای اصلی یک خازن دو رسانا می باشد که به آن صفحه های خازن می گویند و بین صفحات خازن می تواند خلا ' هوا و یا هر ماده دی الکتریک باشد.

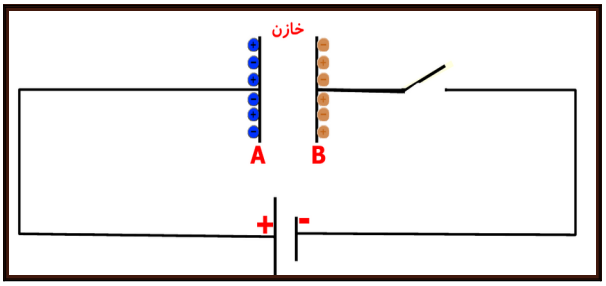
٤ - خازنهای تخت معروفترین خازنها می باشند که شامل دو صفحه رسانای موازی با مساحت A است که به فاصله d از هم قرار دارند. شکل مقابل خازن تختی را نشان می دهد که دی الکتریک بین صفحات ان میکا می باشد.



٥ - وقتی خازن بارداری در مدار قرار می گیرد بر خلاف مقاومتها بار و جریان را از خود عبور نمی دهد . بلکه خازنها بار و انرژی را در خود ذخیره می کنند.

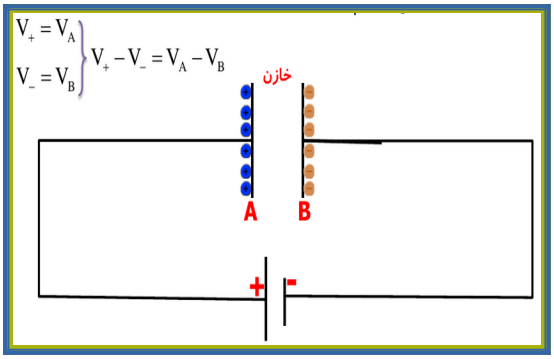


٦– وقتی خازنی باردار می شود یک صفحه آن دارای بار مثبت و یک صفحه آن دارای بار منفی می شود و به همین دلیل بین صفحات خازن میدان الکتریکی یکنواختی برقرار میشود.



۷– برای شارژ و باردار کردن خازن آن را در مدار ساده ای مطابق شکل که شامل یک کلید و باتری است قرار می دهیم.

وقتی کلید را می بندیم بارهای الکتریکی از طریق سیمها جریان می

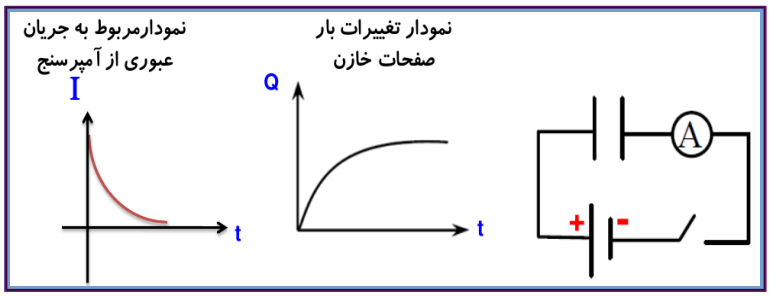


یابند تا وقتی که اختلاف پتانسیل میان دو صفحه خازن با اختلاف

پتانسیل دو پایانه باتری یکسان شود در این حالت یک صفحه دارای بار

Q+ و یکی Q- می شود و می گوییم بار خازن Q است.

۸- وقتی یک خازن را به مولد جریان مستقیم وصل



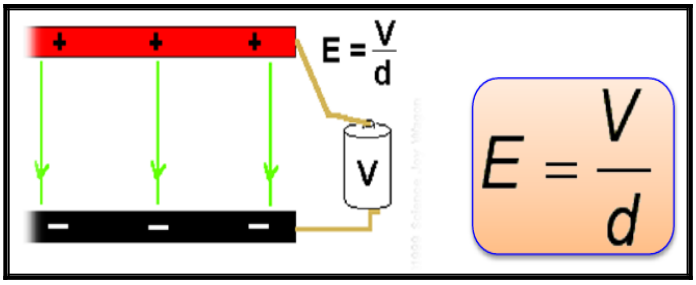
می کنیم تا زمانی که خازن در حال پر شدن است

آمپرسنج عبور جریان را نشان میدهد که مدت زمان

بسیار کوتاهی می باشد.

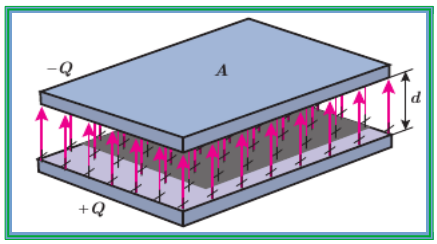
۹ - اگر دو صفحه رسانای خازن باردار را بهم وصل کنیم بار خازن خالی می شود و سبب تخلیه خازن می گردد.

۱۰ - اندازه میدان الکتریکی یکنواخت بین صفحات خازنی



که فاصله بین صفحات آن d و اختلاف پتانسیل بین

صفحات آن V می باشد از رابطه مقابل بدست می آید.

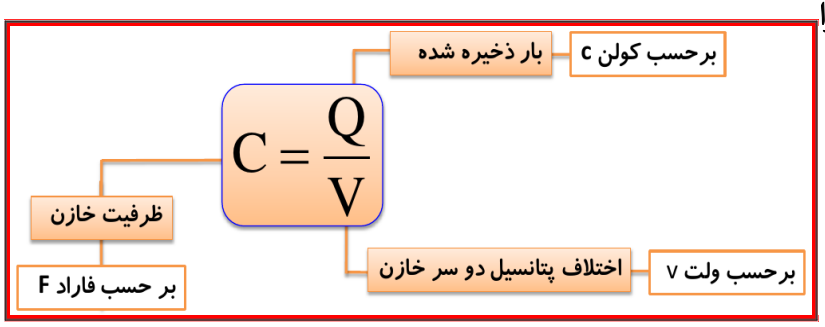


این میدان الکتریکی به دلیل یکنواخت بودن آن مقدار ثابتی است که با فاصله

بین صفحات خازن رابطه عکس دارد وجهت آن از سمت صفحه مثبت به سمت

صفحه منفی خازن می باشد.

۱۱- در صورتیکه اختلاف پتانسیل دو سر خازن را



افزایش می دهیم ' بار خازن هم افزایش می

یابد و نسبت اختلاف پتانسیل به بار خازن مقدار

ثابتی است که به آن ظرفیت خازن گویند.

۱۲- ظرفیت خازن به اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن و اندازه بار بستگی ندارد.

۱۳- عملا ظرفیت اکثر خازنها از پیکوفاراد تا میلی فاراد می باشد.

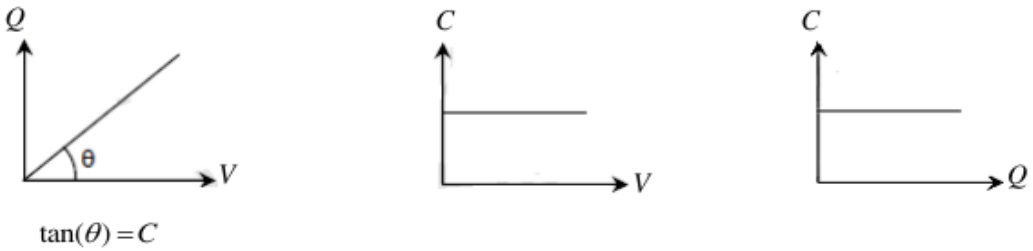
$1\mu F = 1 \cdot^{-6} F$ ⟵ یک میکرو فاراد = $1 \cdot^{-6}$ فاراد

$1nF = 1 \cdot^{-9} F$ ⟵ یک نانو فاراد = $1 \cdot^{-9}$ فاراد

$1pF = 1 \cdot^{-12} F$ ⟵ یک پیکو فاراد = $1 \cdot^{-12}$ فاراد

جمعبندی:

بار و اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سر خازن هم تغییر اند بنابراین ظرفیت خازن مستقل از بار و اختلاف پتانسیل بین صفحات خازن می باشد و ظرفیت خازن به مشخصات فیزیکی ساختمان خازن بستگی دارد.



مطابق نمودار بالا شیب نمودار بار الکتریکی ذخیره شده در خازن بر حسب اختلاف پتانسیل الکتریکی صفحات خازن

با ظرفیت خازن برابر است.

مثال:

فلاش یک دوربین عکاسی با تخلیهٔ خازنی به ظرفیت $10\mu F$ روشن می شود. اگراین خازن توسط یک باتری ۹ ولتی شارژ شده باشد، بارآن چقدر است؟

پاسخ :

$Q = 90\mu c$

$$\begin{cases} C = 10\ \mu F = 10\times10^{-6} F \\ V = 9V \\ Q = ? \end{cases}$$

$$C = \frac{Q}{V}$$

$$Q = CV$$

$$Q = 10\times10^{-6}\times9 = 90\mu c$$

مثال:

اختلاف پتانسیل بین دو صفحهٔیک خازن را از ۱۰ به ۳۰ افزایش می دهیم.اگربا این کار $40\mu c$ بربارذخیره شده در خازن افزوده شود،ظرفیت خازن را حساب کنید.

پاسخ:

$C = 2\mu F$

$$\begin{cases} V_1 = 10V \\ V_2 = 30V \\ \Delta Q = 40\mu c \\ C = ? \end{cases}$$

$$C = \frac{Q}{V} \rightarrow Q = CV \xrightarrow{\text{ازطرفین دلتا می گیریم}} \Delta Q = C\Delta V$$

$$40 = C(30-10) \rightarrow 40 = 20C \rightarrow C = \frac{40}{20} = 2\mu F$$

تست:

هنگامی که بار خازنی را $100nC$ زیاد می‌کنیم، اختلاف پتانسیل دو صفحهٔ خازن ۵ برابر می‌شود. بار اولیهٔ خازن چند نانوکولن (nC) است؟

۱) ۲۰

۲) ۲۵

۳) ۳۵

۴) ۴۰

پاسخ:

گزینه ۲

$$\frac{V_۲}{V_۱}=۵\Rightarrow\frac{\frac{Q_۲}{C}}{\frac{Q_۱}{C}}=۵\Rightarrow\frac{\frac{Q_۱+۱۰۰}{C}}{\frac{Q_۱}{C}}=۵\Rightarrow\frac{Q_۱+۱۰۰}{Q_۱}=۵\Rightarrow ۴Q_۱=۱۰۰\Rightarrow Q_۱=۲۵nC$$

۱۴- دی الکتریکها باعث افزایش ظرفیت خازن خواهد شد.

۱۵- اگر فضای بین صفحات خازنی را با یک ماده دی الکتریک با ثابت k که به جنس ماده دی الکتریک مربوط می شود پر کنیم. ظرفیت خازن نسبت به قبل k برابر خواهد شد. مثلا اگر دی الکتریکی با ثابت ۲ را بین صفحات خازن سه میکروفاراد قرار دهیم ظرفیت جدید خازن شش میکرو فاراد خواهد شد.

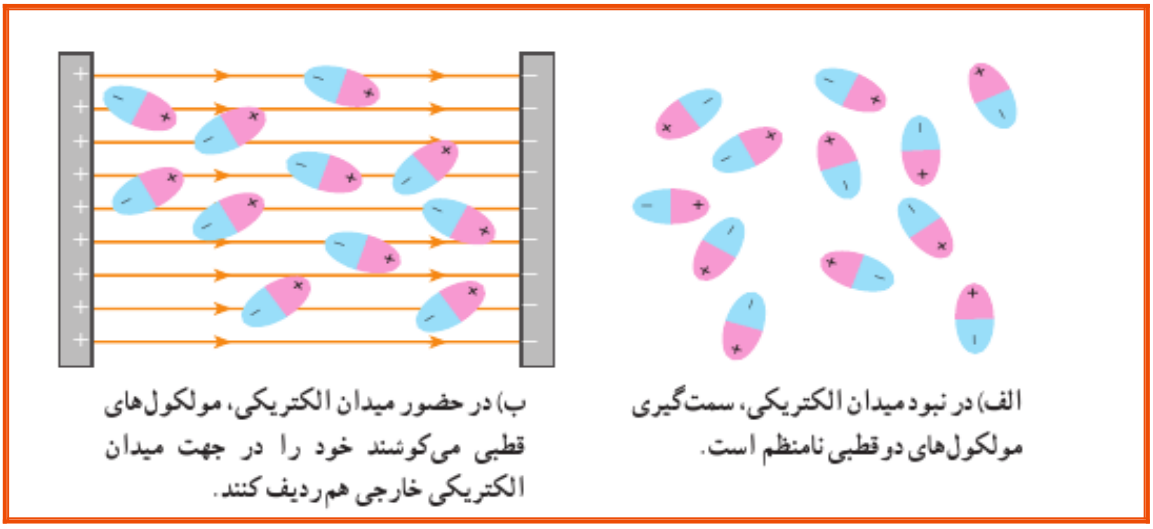
$$C = \kappa C_0$$

۱۶- دی الکتریکها دو نوع هستند.

قطبی: یک سرمولکول منفی و سردیگر مولکول مثبت است مانند: (آب، HCl، NH_3)

غیرقطبی: مرکز موثربارمثبت ومنفی برهم منطبق اند مانند: (متان، بنزن ،کاغذ و...)

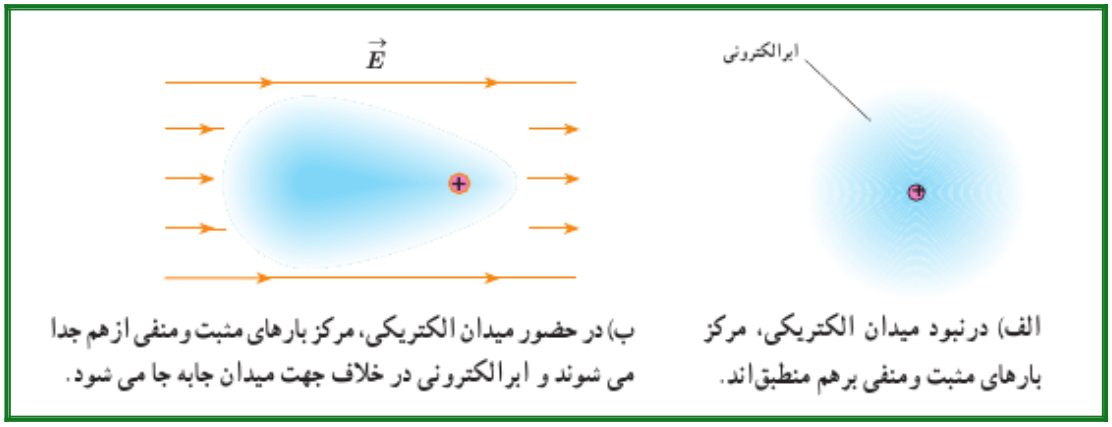
۱۷- وقتی یک دی الکتریک قطبی در میدان الکتریکی بین صفحات خازن قرار می گیرد، سر منفی مولکول دوقطبی به سمت صفحه مثبت و سر مثبت به طرف صفحه منفی کشیده می شود. و در نتیجه مولکول دوقطبی در جهت میدان الکتریکی بین صفحات خازن هم ردیف می شوند.



الف) در نبود میدان الکتریکی، سمت‌گیری مولکول‌های دوقطبی نامنظم است.

ب) در حضور میدان الکتریکی، مولکول‌های قطبی می‌کوشند خود را در جهت میدان الکتریکی خارجی هم‌ردیف کنند.

۱۸- وقتی دی الکتریک غیر قطبی در میدان الکتریکی بین صفحات خازن قرار گیرد براثر القا قطبیده می شود یعنی میدان الکتریکی اعمال شده باعث می شود که ابر الکترونی مولکول های دی الکتریک در خلاف جهت میدان جابجا شود و در نتیجه مرکز بارهای مثبت و منفی از هم جدا شده و اصطلاحا می گوییم مولکول قطبی شده است.



الف) درنبود میدان الکتریکی، مرکز بارهای مثبت ومنفی برهم منطبق‌اند.

ب) در حضور میدان الکتریکی، مرکز بارهای مثبت ومنفی ازهم جدا می شوند و ابرالکترونی در خلاف جهت میدان جابه جا می شود.

۱۹- دی الکتریک ها باعث افزایش ظرفیت خازن و افزایش حداکثر ولتاژ قابل تحمل توسط خازن خواهد شد.

۲۰ - ثابت دی الکتریک برای هوا یک است.

۲۱- ثابت دی الکتریک واحد ندارد.

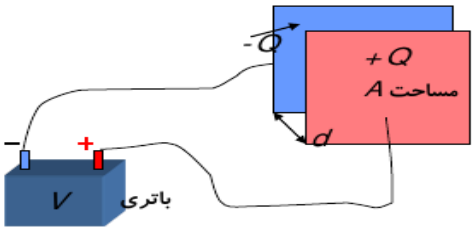
۲۲- ظرفیت یک خازن تخت به مشخصات ساختمانی زیر بستگی دارد:

۱-با مساحت سطح مشترک صفحه های خازن که روبروی یکدیگرقراردارند، نسبت مستقیم دارد. $C \propto A$

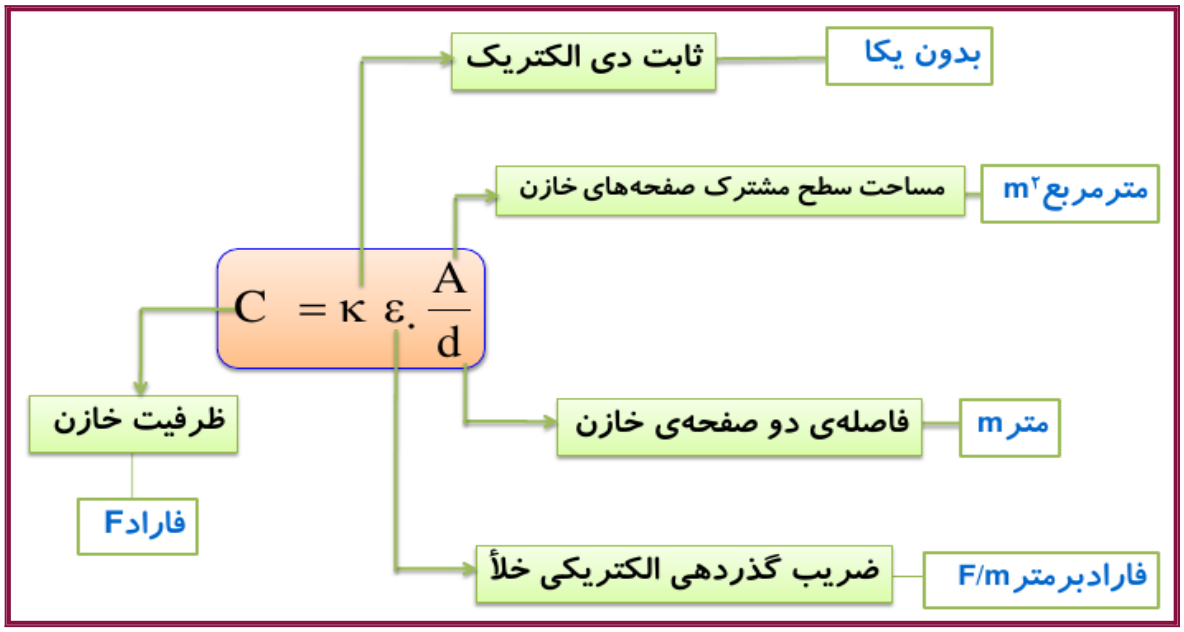
۲-با فاصله ی دو صفحه از یکدیگر نسبت وارون دارد. $C \propto \frac{1}{d}$

۳-بانوع دی الکتریک(جنس عایق) نسبت مستقیم دارد. .

ضریب گذردهی الکتریکی خلأ $\varepsilon_0 \approx 8/85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$

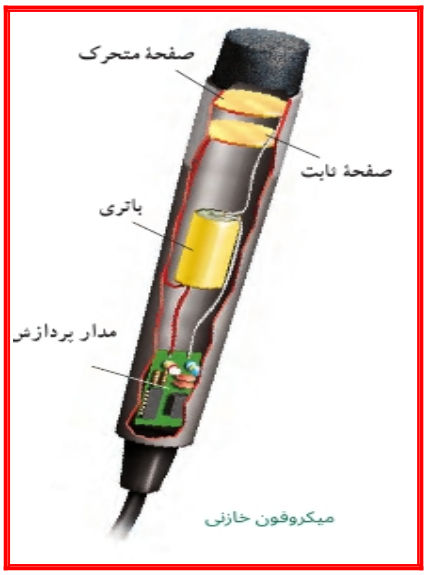


۲۳- فرمول ظرفیت خازن بر اساس مشخصات ساختمانی خازن برابر است با:



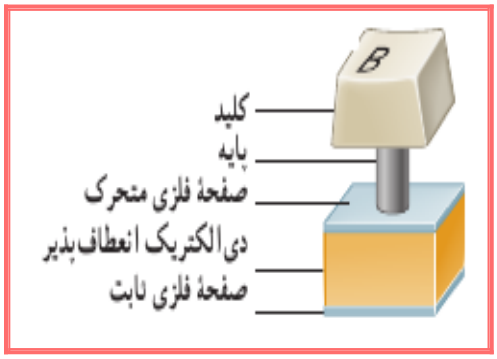
۲۴- برای مقایسه ظرفیت دو خازن بر اساس مشخصات ساختمانی آنها خواهیم داشت:

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{k_2}{k_1} \times \frac{A_2}{A_1} \times \frac{d_1}{d_2}$$



۲۵-در میکروفون های خازنی با ارتعاش صفحه متحرک خازن بر اثر صدا فاصله صفحان خازن تغییر می کند و بنابر این ظرفیت خازن تغییر می کند که به ایجاد سیگنال الکتریکی می انجامد.

۲۶- صفحه کلید برخی از رایانه ها بر مبنای تغییر ظرفیت خازن عمل میکنند . هر کلید صفحه به یک سر پایه ای متصل است و این صفحه فلزی خود توسط یک دی الکتریک انعطاف پذیر از صفحه فلزی ثابتی جدا شده و در واقع یک خازن



تخت را تشکیل می دهد که با فشار دادن کلید صفحه متحرک به صفحه ثابت نزدیک شده و ظرفیت خازن افزایش می یابد و این تغییر به صورت سیگنالی الکتریکی توسط مدارهای الکترونیکی رایانه آشکار شده و بدین ترتیب مشخص می شود که کدام کلید فشار داده شده است.

۲۷- در صورتی که بعد پر شدن خازن آن را از باتری جدا کنیم، بار خازن ثابت خواهد ماند.

۲۸- اگر بعد پر شدن خازن آن را از باتری جدا نکنیم اختلاف پتانسیل دو سر خازن ثابت خواهد ماند.

۲۹- اعداد نوشته شده بر روی هر خازن یکی ظرفیت خازن است و دیگری بیشترین اختلاف پتانسیلی است که خازن میتواند آن را تحمل کند.

مثال :

دو صفحه ی تخت مسی رابه دوطرف لایه ای از یکی از دی الکتریکی های جدول زیر، می چسبانیم تا یک خازن تخت ساخته شود باذکر دلیل مشخص کنید برای به دست آوردن بیشترین ظرفیت ازکدام دی الکتریک استفاده کنیم.

نام دی الکتریک	ثابت دی الکتریک	ضخامت دی الکتریک
A	۲	۰/۴ میلی متر
B	۳	۰/۸ میلی متر
C	۴	۱ میلی متر
D	۵	۱۲ میلی متر

پاسخ :

با توجه به رابطه $C = \kappa\varepsilon_0 \frac{A}{d}$ باید حالتی را انتخاب کرد که نسبت $\frac{\kappa}{d}$ بیشترین مقدار باشد.

دی الکتریک A بیشترین مقدار را دارد $\frac{\kappa}{d} = \frac{۲}{./۴} = ۵$

مثال:

مساحت هر کدام از صفحه‌های خازن تختی $۲۰\,cm^۲$ است.بین دو صفحه را با نارسانایی با ثابت دی‌الکتریک ۲۰ و ضخامت ۲mm/. پرکرده‌ایم .ظرفیت خازن را به‌دست آورید . $(\varepsilon_0 \approx ۹ \times ۱۰^{-۱۲}\ F/m)$

پاسخ :

$C = ۱/۸nF$

$A = ۲۰cm^۲ = ۲۰ \times ۱۰^{-۴} m^۲$

$\kappa = ۲۰$

$d = ./۲mm = ./۲ \times ۱۰^{-۳} m$

$C = ?$

$\varepsilon_0 \approx ۹ \times ۱۰^{-۱۲} \frac{F}{m}$

$C = \kappa\ \varepsilon_0 \frac{A}{d}$

$C = ۲۰ \times ۹ \times ۱۰^{-۱۲} \times \frac{۲۰ \times ۱۰^{-۴}}{./۲ \times ۱۰^{-۳}}$

$C = ۱/۸ \times ۱۰^{-۹} F$

$C = ۱/۸nF$

تست:

فاصلهٔ بین صفحات خازنی را ۴ برابر و ولتاژ دو سر آن را نصف می‌کنیم. بار الکتریکی روی صفحات خازن چند برابر می‌شود؟

۱) $\frac{۱}{۴}$ ۲) $\frac{۱}{۸}$ ۳) ۴ ۴) ۸

پاسخ:

گزینهٔ ۲

$$\frac{C_2}{C_1}=\frac{\frac{\kappa\varepsilon_0 A}{d_2}}{\frac{\kappa\varepsilon_0 A}{d_1}} \Rightarrow \frac{C_2}{C_1}=\frac{d_1}{d_2}=\frac{d_1}{4d_1}=\frac{1}{4}$$

$$Q=CV \Rightarrow \frac{Q_2}{Q_1}=\frac{C_2V_2}{C_1V_1}=\frac{1}{4}\times\frac{1}{2}=\frac{1}{8}$$

مثال:

دریک خازن تخت باصفحه های مربع شکل ،اگرفاصلهٔبین دوصفحه خازن را چهاربرابروطول ضلع مربع را $\frac{1}{4}$ برابرکنیم ،ظرفیت خازن چندبرابرمی شود؟

پاسخ :

$$\begin{cases} d' = 4d \\ a' = \frac{1}{4}a \rightarrow A' = a'^2 = (\frac{1}{4}a)^2 \rightarrow A' = \frac{1}{16}A \\ C' = ?C \end{cases}$$

$$C = \kappa\varepsilon_. \frac{A}{d} \rightarrow \frac{C'}{C} = \frac{A'}{d'} \times \frac{d}{A}$$

$$\frac{C'}{C} = \frac{\frac{1}{16}A}{4d} \times \frac{d}{A} \rightarrow \frac{C'}{C} = \frac{1}{64}$$

$C' = \frac{1}{64}C$

تست:

دو صفحه‌ی مربع شکل فلزی به ضلع $60\ cm$ موازی یکدیگر و در فاصله‌ی $5\ mm$ از هم قرار دارند. اگر به یکی از آن‌ها بار -20 نانوکولن و به دیگری بار $+20$ نانوکولن بدهیم و فاصله‌ی بین آن‌ها خالی باشد، اندازه‌ی میدان الکتریکی بین دو صفحه چند نیوتن بر کولن می‌شود؟ ($\pi = 3$ ، $k = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ و میدان بین صفحات را یکنواخت در نظر بگیرید.)

۱) 6×10^3

۲) $2/4 \times 10^2$

۳) $1/5 \times 10^3$

۴) 3×10^2

پاسخ:

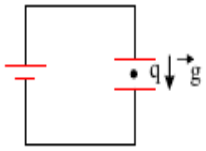
گزینه ۱

می‌توانیم با ترکیب سه رابطهٔ $C=\frac{k\varepsilon_{\circ}A}{d}$ ، $V=\frac{q}{C}$ ، $E=\frac{V}{d}$ به رابطهٔ $E=\frac{q}{\varepsilon\cdot A}$ برسیم. آنگاه داریم:

$$\Rightarrow E=\frac{q}{\varepsilon_{\circ}A}\xrightarrow{\varepsilon_{\circ}=\frac{1}{4\pi k}}E=\frac{4k\pi q}{A}=\frac{4\times 9\times 10^{9}\times 3\times 20\times 10^{-9}}{(0/6)^{2}}=\frac{4\times 9\times 3\times 20}{36\times 10^{-2}}=6\times 10^{3}\,\frac{N}{C}$$

تست:

در شکل زیر بار الکتریکی نقطه‌ای q بین دو صفحه‌ی خازن تخت در حال تعادل است. اگر فاصله‌ی دو صفحه‌ی خازن را افزایش دهیم، در این صورت کدام یک از گزینه‌های زیر در مورد بار q صحیح است؟



۱) با شتاب کوچک‌تر از g به سمت پایین شروع به حرکت می‌کند.

۲) با شتاب کوچک‌تر از g به سمت بالا شروع به حرکت می‌کند.

۳) با شتاب بزرگ‌تر از g به سمت بالا شروع به حرکت می‌کند.

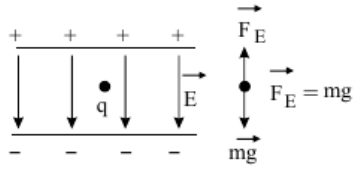
۴) در جای خود ثابت می‌ماند.

پاسخ:

گزینه ۱ باتوجه به اتصال پایانه های باتری صفحه ی بالا ی خازن مثبت و پایینی منفی است، بنابراین خطوط میدان از بالا به پایین رسم می شود از آ ن جایی که q در حالت تعادل قرار گرفته است، نیروی الکتریکی باید به سمت بالا باشد تا بتواند نیروی وزن را خنثی کند از طرفی رابطه‌ی $E=\frac{V}{d}$، با افزایش فاصله‌ی دو صفحه‌ی خازن و ثابت ماندن اختلاف پتانسیل بین دو صفحه، بزرگی میدان الکتریکی بین دو صفحه‌ی خازن کاهش می‌یابد. سؤال به دنبال شتاب ذره است که طبق رابطه ی نیوتن شتاب به نیرو وابسته است یعنی:

$$\sum F=mg\rightarrow F_E-mg=ma\rightarrow E|q|-mg=ma$$

$$a=\frac{E|q|-mg}{m}=\frac{E|q|}{m}-g$$



درابتدا چون بار ساکن بوده $a=\circ$ یعنی $\frac{E|q|}{m}=g$ ، حال با افزایش فاصله ی صفحات، میدان E کاهش پیدا کرده در نتیجه $\frac{E|q|}{m}<g$ شده و شتاب برابر می شود با یک عدد منفی $a=\frac{E|q|}{m}-g$ که باعث می شود بار به سمت پایین شروع به حرکت کند. البته می توانستیم ساده تر به قضیه نگاه کنیم. در حالت عادی ذره به سمت پایین سقوط می کند که الان میدان خازن بار را معلق نگه داشته حال واضح است که میدان ضعیف بشود ذره به سمت پایین حرکت می کند.

تست:

میدان الکتریکی بین صفحات خازن تختی با ظرفیت $6nF$ برابر $4/8\times10^{3}\ \frac{N}{C}$ است. اگر فاصلهٔ بین صفحات خازن $2/5mm$ باشد، بار ذخیره‌شده در خازن چند نانوکولن خواهد بود؟

۱) ۵۴ ۲) ۶۰ ۳) ۶۶ ۴) ۷۲

پاسخ:

گزینهٔ ۴

میدان بین صفحات خازن یکنواخت است، لذا:

$$|\Delta V| = Ed = 4/8\times10^{3}\times2/5\times10^{-3} = 12V$$

$$Q = CV = (6nF)\times(12V) = 72nC$$

تست:

خازنی را به یک باتری با اختلاف پتانسیل ثابت وصل کرده‌ایم. سپس در حالی که خازن همچنان به این باتری متصل است، فاصلهٔ میان صفحات خازن را نصف می‌کنیم. میدان الکتریکی و بار روی صفحات این خازن چگونه تغییر می‌کند؟ (خازن تخت فرض شود.)

۱) تغییر نمی‌کند- دو برابر می‌شود. ۲) نصف می‌شود- نصف می‌شود.

۳) دو برابر می‌شود- دو برابر می‌شود. ۴) دو برابر می‌شود- تغییر نمی‌کند.

پاسخ:

گزینهٔ ۳

میدان الکتریکی بین صفحات یک خازن تخت از رابطهٔ $E = \frac{V}{d}$ محاسبه می‌شود. در نتیجه داریم:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{V_2}{V_1}\cdot\frac{d_1}{d_2} = 1\times2 = 2$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{C_2}{C_1}\times\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{A_2}{A_1}\times\frac{d_1}{d_2}\right)\times1 = (1\times2)\times1 = 2$$

تست:

در یک میکروفونِ خازنی که از طریق تغییر ظرفیت خازن، سیگنال الکتریکی ایجاد می‌کند، کمترین ظرفیت خازن $0/6\,pF$ و بیشترین ظرفیت خازن $0/72\,pF$ است. اگر مساحت هر یک از صفحات این خازن تخت $0/8\,cm^2$ و دی‌الکتریک بین آن‌ها هوا باشد، اختلاف فاصلهٔ بین صفحات خازن در این دو وضعیت کدام است؟ $(\varepsilon_0 = 9\times10^{-12}\,\frac{F}{m})$

۱) $0/2\,mm$ ۲) $1\,mm$ ۳) $1/2\,mm$ ۴) $1/4\,mm$

پاسخ:

گزینهٔ ۱

$$C = \kappa\varepsilon_0\frac{A}{d} \Rightarrow \begin{cases} 6\times10^{-13} = \dfrac{1\times9\times10^{-12}\times8\times10^{-5}}{d_1} \Rightarrow d_1 = 1/2\,mm \\ 7/2\times10^{-13} = \dfrac{1\times9\times10^{-12}\times8\times10^{-5}}{d_2} \Rightarrow d_2 = 1\,mm \end{cases} \Rightarrow \Delta d = d_1 - d_2 = 1/2 - 1 = 0/2\,mm$$

تست:

خازن تختی را که فاصلهٔ بین صفحات آن $2/5\,mm$ است، با ولتاژ $20\,V$ شارژ کرده‌ایم. سپس آن را از باتری جدا می‌کنیم و فاصلهٔ بین صفحات آن را به $3\,mm$ می‌رسانیم. اگر در این حالت آن را به ولت‌سنج وصل کنیم، ولت‌سنج چه عددی را نشان می‌دهد؟

۱) ۲۴ ۲) ۲۶ ۳) ۲۸ ۴) ۳۰

پاسخ:

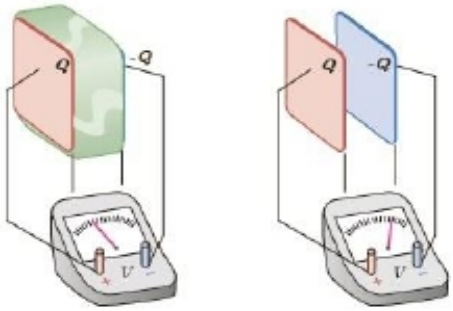
گزینهٔ ۱

وقتی خازنی از باتری جدا می‌شود بار الکتریکی آن ثابت می‌ماند.

$$Q_2 = Q_1 \Rightarrow C_2V_2 = C_1V_1 \Rightarrow V_2 = \frac{C_1}{C_2}\times V_1 \Rightarrow V_2 = \frac{\kappa\varepsilon_0\frac{A_1}{d_1}}{\kappa\varepsilon_0\frac{A_2}{d_2}}\times V_1 = \frac{d_2}{d_1}\times V_1 = \frac{3}{2/5}\times20 = 24\,V$$

پرسش ۱ـ۶

در شکل زیر صفحه‌های باردار یک خازن تخت را که بین آنها هواست، به ولت‌سنج وصل می‌کنیم. با وارد کردن دی‌الکتریک در بین صفحه‌ها، اختلاف پتانسیل دو صفحه کاهش می‌یابد. علت آن را توضیح دهید. (توجه کنید که این آزمایش با بیشتر ولت‌سنج‌های معمولی و رایج ممکن نیست.)



پاسخ:

چون ظرفیت خازن با حضور دی‌الکتریک افزایش می‌یابد، بنابراین طبق رابطهٔ $V = Q/C$ ، با توجه به اینکه بار تغییر نکرده است، اختلاف پتانسیل باید کاهش یابد.

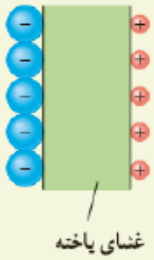
فرو ریزش الکتریکی:

۱- اگر اختلاف پتانسیل بین صفحات خازنی افزایش یابد، میدان الکتریکی بین صفحات نیز افزایش می یابد و اگر این افزایش اختلاف پتانسیل به اندازه کافی زیاد باشد تعدادی از الکترونهای اتمهای ماده دی الکتریک ،توسط میدان الکتریکی ایجاد شده بین دو صفحه کنده می شوند و مسیرهایی رسانا درون دی الکتریک ایجاد می شود که سبب تخلیه خازن می شود. این پدیده فروریزش الکتریکی ماده دی الکتریک نامیده می شود.

۲- فروریزش الکتریکی در عایق بین صفحات خازن معمولا با ایجاد جرقه همراه است و در بیشتر مواقع خازن را می سوزاند.

۳- خازنها معمولا با مقدار ظرفیت و اختلاف پتانسیل بیشینه ای که می توانند تحمل کنند مشخص می شوند.

تمرین ۱ـ۱۱



یک یاختهٔ عصبی(نورون) را می‌توان با یک خازن تخت مدل‌سازی کرد، به‌طوری‌که غشای سلول به عنوان دی الکتریک و یون های باردار با علامت مخالف که در دو طرف غشا هستند به عنوان بارهای روی صفحه‌های خازن عمل کنند (شکل روبه‌رو). ظرفیت یک سلول عصبی و تعداد یون های لازم (بافرض آنکه هر یون یک بار یونیده باشد)، برای آنکه یک اختلاف پتانسیل ۸۵mV ایجاد شود چقدر است؟ فرض کنید غشا دارای ثابت دی الکتریک $\kappa = ۳/۰$، ضخامت $۱۰/۰\ nm$ و مساحت سطح $۱/۰ \times ۱۰^{-۱۰}\ m^۲$ است.

$$C = k\varepsilon_. \frac{A}{d} = ۳/۰(۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲}) \frac{۱/۰ \times ۱۰^{-۱۰}}{۱۰/۰ \times ۱۰^{-۹}} = ۲/۶۶ \times ۱۰^{-۱۳} F \approx ۰/۲۷ pF$$

$$Q = C\,\Delta V = (۲/۶۶ \times ۱۰^{-۱۳})(۰/۰۸۵) = ۲/۲۶ \times ۱۰^{-۱۴} C \approx ۲/۳ \times ۱۰^{-۱۴} C$$

$$\text{تعداد یون‌ها } n = \frac{q}{e} = \frac{۲/۳ \times ۱۰^{-۱۴}}{۱/۶ \times ۱۰^{-۹}} = ۱/۴ \times ۱۰^{۵} \text{ یون}$$

انرژی ذخیره شده در خازن

۱- وقتی صفحات خازنی دارای بار الکتریکی می شوند در آنها انرژی ذخیره می شود.

۲- هنگامی که دو سر یک خازن پر شده را به دو سر یک لامپ وصل می کنیم (به شرط اینکه ظرفیت و اختلاف پتانسیل خازن کافی باشد ،لامپ برای مدتی روشن و سپس خاموش می شود که نشان می دهد انرژی در خازن ذخیره می شود.

۳- انرژی ذخیره شده در خازن همان کاری است که مولد روی بارهای الکتریکی انجام می دهد تا روی صفحات خازن ذخیره شوند.

٤- اندازه بار الکتریکی ذخیره شده در صفحات خازن از رابطه $u = \frac{۱}{۲} Q \times v$ بدست می آید که Q اندازه بار ذخیره شده در صفحات خازن است و v اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سر خازن می باشد.

فرمولهای دیگرانرژی ذخیره شده در خازن :

$$\left.\begin{array}{l} U = \frac{1}{2}QV \\ q = CV \end{array}\right\} \Rightarrow U = \frac{1}{2}CV^2$$

Q بار ذخیره شده در خازن برحسب کولن،

C ظرفیت خازن برحسب فاراد

V ولتاژ دو سر خازن برحسب ولت.

U انرژی ذخیره شده در خازن برحسب ژول،

$$\left.\begin{array}{l} U = \frac{1}{2}QV \\ V = \frac{Q}{C} \end{array}\right\} \Rightarrow U = \frac{Q^2}{2C}$$

۵- در ولتاژ ثابت انرژی ذخیره شده در خازن با اختلاف پتانسیل الکتریکی بین صفحات خازن رابطه مستقیم دارد.

۶ - در بار الکتریکی ثابت : انرژی ذخیره شده در خازن با ظرفیت خازن رابطه عکس دارد.

۷ - اساس کار دستگاه رفع لرزش نامنظم قلب (دفیبریلاتور) توانایی خازن برای ذخیره انرژی پتانسیل الکتریکی است.

نکته

اگردرحالی که خازن به مولدوصل است تغییری در ساختمان آن ایجاد نماییم،

۱-چون مولد تغییر نکرده لذا اختلاف پتانسیل دو سر خازن ثابت می ماند.

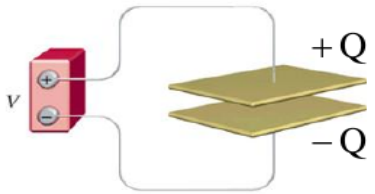
۲-ظرفیت خازن مطابق با رابطه $C = \kappa \varepsilon_0 \frac{A}{d}$ تغییر می‌کند

۳-مطابق با رابطه **Q=CV** مقدار بار خازن به نسبت تغییرات ظرفیت تغییر می کند.

۴-مطابق با رابطه $U = \frac{1}{2}CV^2$ انرژی خازن نیز به نسبت تغییرات ظرفیت تغییر می‌کند.

بنابراین می‌توان در این حالت نوشت :

$$\frac{U'}{U} = \frac{Q'}{Q} = \frac{C'}{C}$$



۵-مطابق بارابطه $E = \frac{V}{d}$ میدان الکتریکی با معکوس فاصله بین دوصفحه تغییرمی کند.

نکته

اگرخازنی را با مولدی شارژ و ازمولدجدا کنیم، سپس تغییری درساختمان خازن دهیم

۱- در این حالت بار ذخیره شده در خازن ثابت می ماند،

۲-ظرفیت خازن طبق رابطه $C = \kappa \varepsilon_{\circ} \frac{A}{d}$ تغییر می‌کند

۳-اختلاف پتانسیل دوسرآن طبق رابطه $V = \frac{Q}{C}$ به نسبت عکس ظرفیت خازن تغییر می‌کند

۴-انرژی خازن طبق رابطه $U = \frac{Q^{۲}}{۲C}$ نیزبه نسبت عکس ظرفیت خازن تغییرخواهدکرد

خلاصه در این حالت می‌توان نوشت: $\frac{U'}{U} = \frac{V'}{V} = \frac{C}{C'}$

۵-میدان الکتریکی طبق رابطه $E = \frac{Q}{Cd} = \frac{Q}{\kappa \varepsilon_{\circ} A}$ تغییر می کند.

تمرینهای پایان فصل مربوط به خازنها

اگر ساختمان یک خازن را تغییر ندهیم،درهریک ازشرایط زیر ظرفیت خازن چگونه تغییر می کند؟

ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه های آن سه برابر شود.

پاسخ:

ب)مانندقسمت قبل با سه برابر کردن اختلاف پتانسیل میان صفحه ها،بارالکتریکی خازن نیز سه برابر شده وچون ظرفیت خازن برابرتقسیم مقدار بار به اختلاف پتانسیل است واین نسبت ثابت است، درنتیجه ظرفیت خازن ثابت می ماند

$$C = \frac{q}{V} \xrightarrow[V' = ۳V]{q' = ۳q} C' = \frac{q'}{V'} = \frac{۳q}{۳V} = C$$

اختلاف پتانسیل بین دوصفحهٔ یک خازن را از ۲۸ ولت به ۴۰ ولت افزایش می دهیم. اگر با این کار ۱۵ میکروکولن بربار ذخیره شده در خازن افزوده شود، ظرفیت خازن را حساب کنید.

پاسخ:

$$\begin{cases} V_1 = ۲۸V \\ V_2 = ۴۰V \\ \Delta q = ۱۵\mu C \\ C = ? \end{cases} \qquad C = \frac{\Delta q}{\Delta V} \Rightarrow C = \frac{۱۵}{(۴۰-۲۸)} = \frac{۱۵}{۱۲} \Rightarrow C = ۱/۲۵\mu F$$

ظرفیت یک خازن تخت با فاصله صفحات ۱/۰mm که بین صفحه های آن هوا قرار دارد، برابر ۱/۰F است. مساحت صفحه های این خازن چقدر است؟ از این مسئله چه نتیجه ای می گیرید؟ $\varepsilon_0 = ۸/۸۵\times ۱۰^{-۱۲}\ \frac{F}{m}$

پاسخ:

$$\begin{cases} d = ۱\times ۱۰^{-۳}\ m \\ C = ۱F \\ \kappa = ۱ \\ A = ? \\ \varepsilon_0 = ۸/۸۵\times ۱۰^{-۱۲}\ \frac{F}{m} \end{cases} \qquad C = \kappa\ \varepsilon_0 \frac{A}{d} \Rightarrow A = \frac{Cd}{\kappa\varepsilon_0} = \frac{۱\times ۱۰^{-۳}}{۱\times ۸/۸۵\times ۱۰^{-۱۲}} \Rightarrow A = ۱/۱\times ۱۰^{۸}\ m^2$$

$$A = a^2 \Rightarrow a = \sqrt{۱۰^{۸}} = ۱۰^{۴}\ m = ۱۰km$$

نتیجه می گیریم ظرفیت ۱ فاراد برای خازن بسیار زیاد است و ساخت چنین خازنی نیاز به مساحت بسیار بزرگی داریم که عملاً امکان پذیر نمی باشد.

یک خازن تخت به یک باتری بسته شده است تاباردارشود.پس از مدتی، درحالی که باتری همچنان به خازن متصل است، فاصلهٔبین صفحه های خازن را دو برابر می کنیم.کدام یک از موارد زیر درست است؟

الف)میدان الکتریکی میان صفحه ها نصف می شود.

ب)اختلاف پتانسیل میان صفحه ها نصف می شود.

پ) ظرفیت خازن دو برابر می شود.

ت)بار روی صفحه ها تغییر نمی کند.

پاسخ:

الف) درست؛طبق رابطهٔ $E = \frac{V}{d}$ با توجه به ثابت بودن V ودو برابرشدن d ،میدان الکتریکی نصف می شود.

ب) نادرست؛چون ولتاژمولد تغییر نکرده لذا اختلاف پتانسیل دو سرخازن ثابت می ماند.

پ)نادرست؛طبق رابطه $C = \kappa\varepsilon_0 \frac{A}{d}$ با دوبرابر شدن فاصله خازن،ظرفیت خازن نصف می شود.

ت)نادرست؛طبق رابطهٔ $C = \frac{q}{V}$با توجه به ثابت بودنVونصف شدن ظرفیت،باربروی صفحات نیزنصف می شود

تست:

ابتدا خازنی را به‌وسیلهٔ یک باتری شارژ و سپس باتری را از آن جدا می‌نماییم. اگر فضای بین صفحات خازن را با نوعی دی‌الکتریک غیرقطبی پر کنیم، در این حالت کدام‌یک از موارد زیر، نادرست است؟

۱) ابر الکترونیِ مولکول‌های دی‌الکتریک، در خلاف جهت میدان جابه‌جا می‌شوند.

۲) اختلاف پتانسیل بین صفحات خازن کاهش می‌یابد.

۳) میدان الکتریکی بین صفحات خازن افزایش می‌یابد.

۴) انرژی ذخیره‌شده در خازن کاهش می‌یابد.

پاسخ:

گزینهٔ ۳

وقتی فضای بین صفحات خازن را با یک دی‌الکتریک غیرقطبی پر می‌کنیم، ابر الکترونی مولکول‌های مادهٔ دی‌الکتریک در خلاف جهت میدان جابه‌جا می‌شود و چون بین صفحات خازن، دی‌الکتریک وارد کرده‌ایم، ظرفیت خازن افزایش می‌یابد ($C = \kappa C_0$). در نتیجه طبق رابطهٔ $C = \frac{Q}{V}$ نتیجه می‌شود در اثر این عمل، میدان الکتریکی کاهش یافته است.

از سوی دیگر طبق رابطهٔ $U = \frac{1}{2}QV$ ، انرژی ذخیره شده در خازن نیز کمتر شده است.

تست:

انرژی خازنی که به ولتاژ $۳۳۰\,V$ متصل شده $۸/۲۵\,mJ$ است. بار ذخیره شده در خازن چند میکروکولن است؟

۱) ۳۵ ۲) ۵۰ ۳) ۵۵ ۴) ۶۰

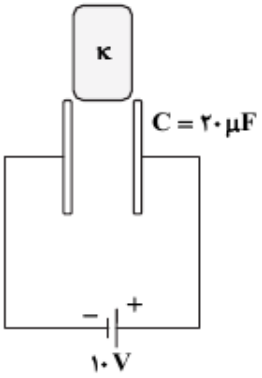
پاسخ:

گزینهٔ ۲

$$U=\frac{۱}{۲}QV \Rightarrow ۸/۲۵\times۱۰^{-۳}=\frac{۱}{۲}\times Q\times ۳۳۰ \Rightarrow Q=۵\times۱۰^{-۵}C=۵۰\mu C$$

تست:

در مدار شکل مقابل، حداقل کار لازم برای وارد کردن دی‌الکتریکی با ثابت $\kappa=۴$ به فضای بین صفحات خازن، چند میلی‌ژول است؟



۱) ۱

۲) ۲

۳) ۳

۴) ۴

پاسخ:

گزینهٔ ۳

می‌دانیم در چنین حالتی، کار عامل خارجی برابر تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی است. بنابراین برای تعیین کار لازم برای وارد کردن دی‌الکتریک، تغییر انرژی خازن را در دو حالت مختلف محاسبه می‌کنیم:

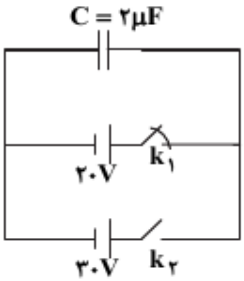
انرژی اولیهٔ خازن: $U_۱=\frac{۱}{۲}CV^۲=\frac{۱}{۲}\times۲۰\times۱۰^۲=۱۰۰۰\mu J=۱mJ$

انرژی خازن پس از وارد کردن دی‌الکتریک: $U_f=\frac{۱}{۲}(\kappa C)V^۲=\frac{۱}{۲}\times(۴\times۲۰)\times۱۰^۲=۴۰۰۰\mu J=۴mJ$

$$W=\Delta U=۴-۱=۳mJ$$

تست:

در شکل مقابل، ابتدا کلید k_1 وصل و کلید k_2 قطع است. اگر k_1 را قطع و k_2 را وصل کنیم، چند میکروژول به انرژی خازن افزوده می‌شود؟



۱) ۱۰۰

۲) ۴۰۰

۳) ۵۰۰

۴) ۹۰۰

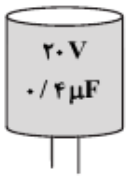
پاسخ:

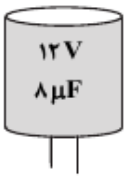
گزینهٔ ۳

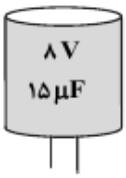
$$\left.\begin{aligned} U_1 &= \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\times 2\times 20^2 = 400\,\mu J \\ U_2 &= \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\times 2\times 30^2 = 900\,\mu J \end{aligned}\right\} \Rightarrow U_2 - U_1 = 900 - 400 = 500\,\mu J$$

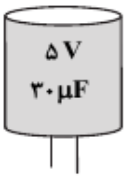
تست:

یک منبع تغذیه با ولتاژ صفر تا $10\,V$ قابل تنظیم است. آن را جداگانه به هر یک از خازن‌های زیر وصل می‌کنیم. در کدام خازن انرژی بیشتری می‌توان ذخیره نمود؟ (ولتاژ قابل تحمل و ظرفیت هر خازن روی آن نوشته شده است.)

۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

پاسخ:

می‌دانیم در چنین حالتی، کار عامل خارجی برابر تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی است. بنابراین برای تعیین کار لازم برای وارد کردن دی‌الکتریک، تغییر انرژی خازن را در دو حالت مختلف محاسبه می‌کنیم:

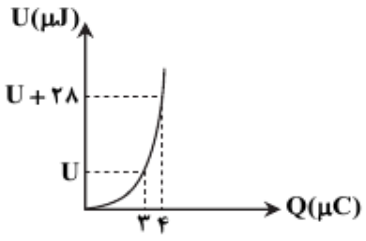
انرژی اولیهٔ خازن: $U_1 = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\times 20\times 10^2 = 1000\,\mu J = 1\,mJ$

انرژی خازن پس از وارد کردن دی‌الکتریک: $U_f = \frac{1}{2}(\kappa C)V^2 = \frac{1}{2}\times(4\times 20)\times 10^2 = 4000\,\mu J = 4\,mJ$

$$W = \Delta U = 4 - 1 = 3\,mJ$$

تست:

نمودار انرژی ذخیره شده در یک خازن، برحسب بار آن مطابق شکل روبه‌رو است. U چند میکروژول است؟



۱) ۲۴

۲) ۳۶

۳) ۵۸

۴) ۶۴

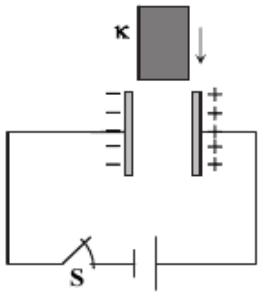
پاسخ:

گزینهٔ ۲

$$U=\frac{۱}{۲}\frac{Q^۲}{C}\Rightarrow\frac{U_۲}{U_۱}=(\frac{Q_۲}{Q_۱})^۲\Rightarrow\frac{U+۲۸}{U}=(\frac{۴}{۳})^۲\Rightarrow\frac{U+۲۸}{U}=\frac{۱۶}{۹}\Rightarrow ۹U+۹\times ۲۸=۱۶U\Rightarrow ۹\times ۲۸=۷U\Rightarrow U=۳۶\,\mu J$$

تست:

در مدار شکل مقابل، پس از شارژ شدن خازن، کلید S را قطع می‌کنیم و سپس دی‌الکتریک را بین صفحات آن قرار می‌دهیم. کدام گزینه درست است؟



۱) ظرفیت خازن کم می‌شود.

۲) ولتاژ خازن ثابت است.

۳) انرژی خازن ثابت است.

۴) بار خازن ثابت است.

پاسخ:

گزینهٔ ۴

با توجه به رابطهٔ $C=\kappa\varepsilon_۰\frac{A}{d}$ و اینکه $\kappa>۱$ است، ظرفیت خازن زیاد می‌شود.

بار خازن نمی‌تواند جابه‌جا شود، چون خازن از مولد جدا شده است.

ولتاژ خازن با زیاد شدن ظرفیت آن کاهش می‌یابد. ($V=\frac{Q}{C}$)

انرژی خازن با افزایش ظرفیت آن کاهش می‌یابد. ($U=\frac{۱}{۲}\frac{Q^۲}{C}$)