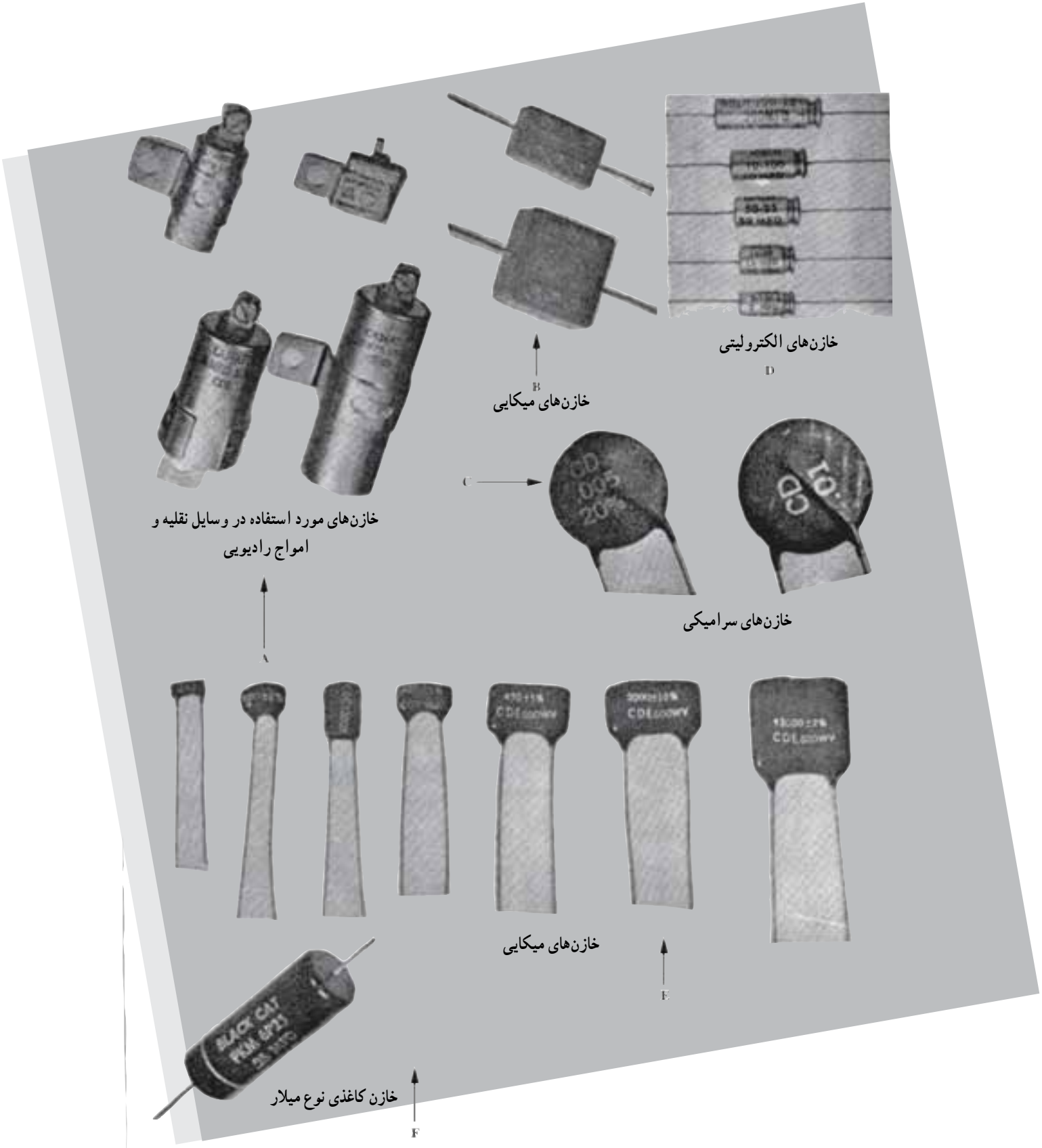

خازن‌های الکترولیتی
D
خازن‌های میکایی
B
خازن‌های مورد استفاده در وسایل نقلیه و امواج رادیویی
C
خازن‌های سرامیکی
A
خازن‌های میکایی
E
BLACK CAT
خازن کاغذی نوع میلار
F

فصل پانزدهم

خازن در جریان مستقیم

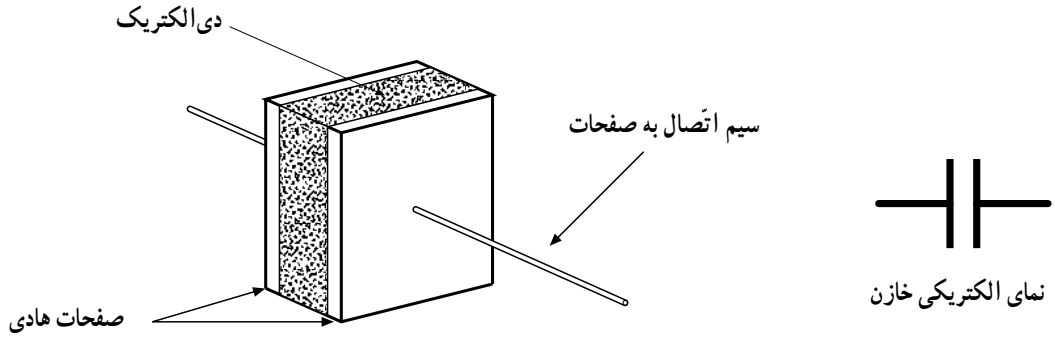
هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش‌آموز انتظار می‌رود :
۱ــ خازن را تعریف کند و ساختمان آن را شرح دهد.
۲ــ ظرفیّت را تعریف کند.
۳ــ ضریب دی‌الکتریک را توضیح دهد.
۴ــ واحد ظرفیّت و عوامل مؤثر در آن را شرح دهد و ظرفیت خازن را محاسبه کند.
۵ــ انواع خازن‌ها را نام ببرد.
۶ــ رفتار خازن را در مدارهای DC بیان کند.
۷ــ چگونگی شارژ و دشارژ خازن را بیان کند.
۸ــ ثابت زمانی را بیان و منحنی شارژ و دشارژ را رسم کند.
۹ــ انرژی ذخیره‌شده و ثابت زمانی را محاسبه کند.
۱۰ــ ظرفیت معادل خازن‌های سری را محاسبه کند.
۱۱ــ ظرفیت معادل خازن‌های موازی را محاسبه کند.

۱ــ۱۵ــ خازن

خازن وسیله‌ای الکتریکی است که در مدارهای الکتریکی اثر خازنی ایجاد می‌کند. اثر خازنی خاصیّتی است که سبب می‌شود مقداری انرژی الکتریکی در یک میدان الکترواستاتیک ذخیره شود و بعد از مدتی آزاد گردد. به تعبیر دیگر، خازن‌ها المان‌هایی هستند که می‌توانند مقداری الکتریسیته را به صورت یک میدان الکترواستاتیک در خود ذخیره کنند. همان گونه که یک مخزن آب برای ذخیره‌کردن مقداری آب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

خازن‌ها به اشکال گوناگون ساخته می شوند و متداول‌ترین آن ها خازن‌های مسطّح هستند. این نوع خازن‌ها از دو صفحه‌ی هادی که بین آن‌ها عایق یا «دی‌الکتریک» قرار دارد، تشکیل می‌شوند. شکل ۱ــ۱۵ طرح ساده‌ی یک خازن مسطح و نمای الکتریکی آن را نشان می‌دهد.

صفحات هادی نسبتاً بزرگ‌اند و در فاصله‌ای بسیار نزدیک به هم قرار می‌گیرند. دی‌الکتریک انواع مختلفی دارد و با ضریب مخصوصی که نسبت به هوا سنجیده می‌شود، معرفی می‌گردد. این ضریب را **ضریب دی‌الکتریک** می‌گویند و آن‌را با حرف ε نمایش می‌دهند.

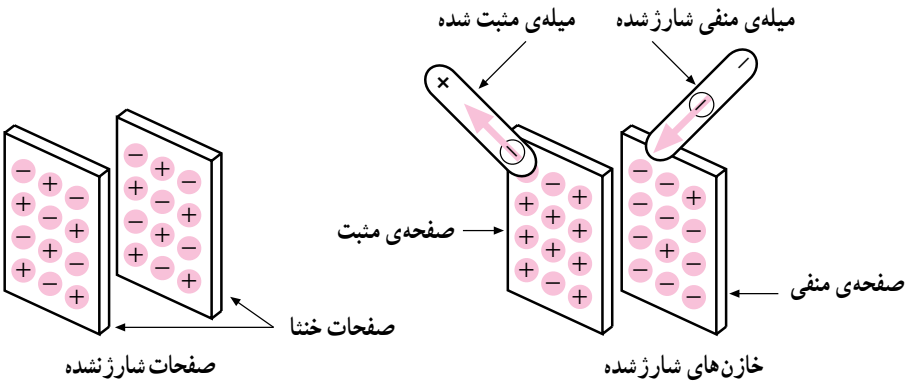


شکل ۱ــ۱۵ــ نمای یک خازن ساده

۲ــ۱۵ــ شارژ یک خازن با میله‌ی لاستیکی و شیشه‌ای

می‌دانیم که صفحات خازن قبل از این که به اختلاف پتانسیلی اتّصال داده شوند، ازلحاظ الکتریکی خنثا هستند ؛ یعنی تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های صفحات با یک‌دیگر مساوی‌اند.

برای شارژکردن خازن باید الکترون‌های آزاد را در یک صفحه ذخیره کنیم و در همان هنگام، الکترون‌های صفحه‌ی دیگر را از آن دور سازیم. در این صورت، یک صفحه تراکم الکترون و صفحه‌ی دیگر کمبود الکترون دارد و چون الکترون‌ها منفی هستند، صفحه‌ای که تراکم الکترون دارد، شارژ منفی و صفحه‌ی دیگر که کمبود الکترون دارد، شارژ مثبت خواهد داشت. بنابراین، بین دو صفحه اختلاف پتانسیل به‌وجود می‌آید. شکل ۲ــ۱۵ صفحات شارژشده و شارژنشده‌ی یک خازن را نشان می‌دهد.



وقتی یک خازن شارژ شود یکی از صفحات الکترون اضافی خواهد داشت و بنابراین، دارای بار منفی است. در همان حال، صفحه‌ی دیگر کمبود الکترون دارد و دارای بار مثبت است.

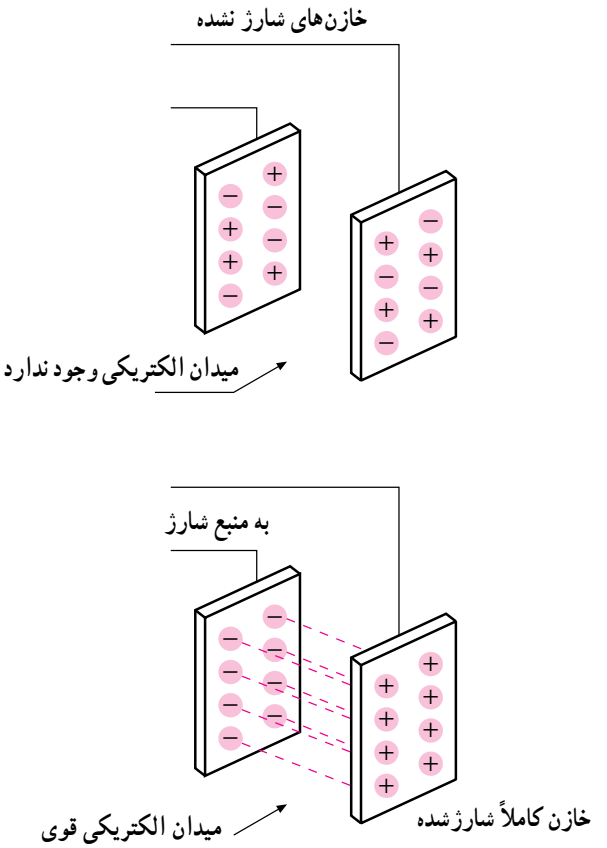
در یک خازن شارژنشده، هر دو صفحه به تعداد مساوی الکترون و پروتون دارند؛ بنابراین، ازنظر الکتریکی خنثا هستند.

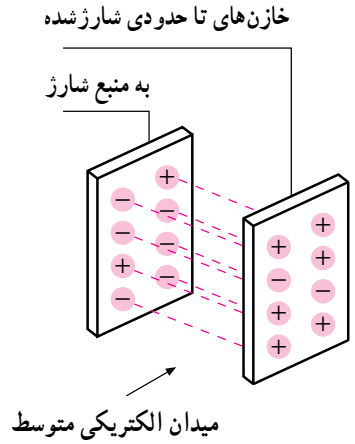
شکل ۲ــ۱۵ــ شارژ شدن خازن به‌وسیله‌ی میله‌های لاستیکی با شارژ منفی و شیشه‌ای با شارژ مثبت

۳ــ۱۵ــ میدان الکتریکی

هنگامی که یک خازن شارژ می‌گردد، یک صفحه‌ی آن دارای بار منفی و صفحه‌ی دیگر دارای بار مثبت می‌شود. چون بار منفی به‌وسیله‌ی یک بار مثبت جذب می‌شود، الکترون‌های صفحه‌ی منفی مایل‌اند به‌طرف صفحه‌ی مثبت بروند امّا عایق بین صفحات، امکان این حرکت را نمی‌دهد. الکترون‌ها نمی‌توانند از طریق عایق به طرف صفحه‌ی مثبت بروند امّا یک نیروی الکتریکی

که سبب جذب آن‌ها می‌شود، بین دو صفحه وجود دارد. این نیرو **میدان الکتریکی** نامیده می‌شود. میدان الکتریکی را نمی‌توان دید امّا می‌توان آن را به صورت خطوط نیروی الکتریکی بین دو صفحه‌ی خازن نشان داد. هرچه شارژ روی صفحات خازن بیش‌تر باشد، میدان الکتریکی ایجاد شده قوی‌تر خواهد بود و درنتیجه، نیروی جاذبه‌ی بین صفحات بزرگ‌تر می‌شود. شکل ۳ــ۱۵ میدان الکتریکی بین صفحات خازن را نشان می‌دهد.





وقتی خازن شارژ می‌گردد، بین صفحات آن یک میدان الکتریکی برقرار می‌شود. هرچه شارژ بیش‌تر باشد میدان مربوطه قوی‌تر است. انرژی الکتریکی ذخیره شده در خازن، در میدان الکتریکی وجود دارد و به‌وسیله‌ی اختلاف‌پتانسیل در صفحه‌ی‌خازن نشان داده می‌شود.

شکل ۳ــ۱۵ــ نمایش میدان الکتریکی بین صفحات خازن در حالت‌های مختلف

۴ــ۱۵ــ شارژ خازن با ولتاژ DC

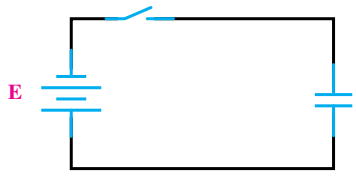
برای این که یک خازن شارژ شود ــ یعنی انرژی الکتریکی را ذخیره کند ــ باید آن را به یک اختلاف پتانسیل (ولتاژ) وصل کرد. این ولتاژ به‌وسیله‌ی یک باتری تأمین می‌شود. قطب مثبت باتری، به یک طرف و قطب منفی آن به طرف دیگر خازن ــ مانند شکل ۴ــ۱۵ــ وصل می‌شود. قبل از بستن کلید، صفحات خازن خنثاست و هیچ انرژی‌ای ذخیره نخواهد شد.

با بستن کلید، الکترون‌ها از قطب منفی باتری به طرف صفحه‌ای که به این قطب متّصل است جاری می‌شوند و در آن تراکم الکترون یا بار منفی ایجاد می‌کنند. در همین لحظه، قطب مثبت باتری همان تعداد الکترون را از صفحه‌ای که به این قطب متّصل است جذب می‌کند و این صفحه، کمبود الکترون یا بار مثبت پیدا می‌کند. در لحظاتی که خازن شارژ می‌شود، الکترون‌ها از طریق سیم‌های رابط به طرف قطب مثبت باتری حرکت می‌کنند، وارد باتری می‌شوند و از قطب منفی خارج می‌گردند. حرکت الکترون ها را در مدار، **عبور جریان در مدار** می‌گویند.[1]

وارد و خارج‌شدن الکترون‌ها از صفحات خازن، میدان الکتریکی ساکن را بالا می‌برد و ولتاژی در خلاف جهت ولتاژ اعمال شده به دو سر خازن ایجاد می‌کند. ولتاژ ایجادشده در

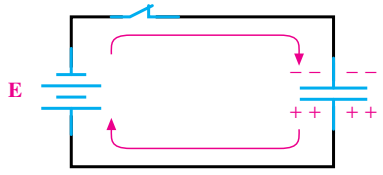
۱ــ طبق قرارداد، جهت جریان را در مدار برخلاف جهت حرکت الکترون‌ها در نظر می‌گیریم.

خازن، با جاری‌شدن جریان در مدار مخالفت می‌کند. به تعبیر دیگر، ولتاژ خازن با ولتاژ باتری مخالفت می‌کند. هرچه ولتاژ دو سر خازن بیش‌تر می‌شود، ولتاژ مؤثر مدار ــ که تفاوت بین ولتاژ باتری و ولتاژ خازن است ــ کمتر می‌شود و درنتیجه، شدت جریان مدارکاهش می‌یابد. هرگاه ولتاژ خازن با ولتاژ باتری برابر شود، جریان در مدار متوقف می‌گردد. صفرشدن جریان در مدار، نشانه‌ی شارژشدن کامل خازن است.



جریان وجود ندارد.

وقتی کلید باز است، هیچ جریانی از مدار نمی‌گذرد و خازن شارژ نمی‌شود.



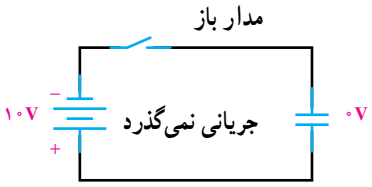
الکترون‌ها از قطب منفی باتری جریان می یابند

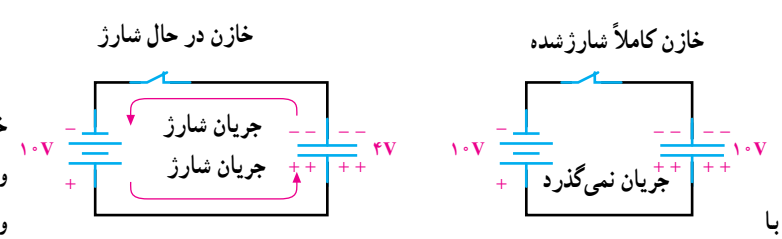
وقتی کلید بسته است، جریان از مدار می‌گذرد و خازن را شارژ می‌کند.

الکترون‌ها به قطب مثبت باتری می روند.

شکل ۴ــ۱۵ــ اتصال باتری و شارژ خازن

باید به این نکته توجه کرد که جریان شارژ و ولتاژ خازن مخالف یک‌دیگر عمل می‌کنند ؛ یعنی، در ابتدای شارژ جریان ماکزیمم و ولتاژ خازن صفر است. هرچه به ولتاژ خازن اضافه می‌شود، شدّت جریان کاهش می‌یابد. وقتی ولتاژ خازن به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد، جریان صفر می‌شود. شکل ۵ــ۱۵این مطلب را به‌روشنی نشان می‌دهد.





به این دلیل خازن هیچ‌گاه با ولتاژی بیش‌تر از ولتاژ منبع شارژ نمی‌شود.

شکل ۵ــ۱۵ــ شارژشدن خازن به‌اندازه‌ی ولتاژ باتری

خازن تا جایی که ولتاژ دو سر آن برابر ولتاژ داده شده باشد، شارژ می‌شود. وقتی دو ولتاژ با هم برابر شوندخازن کاملاً شارژ شده و جریان قطع می‌شود.

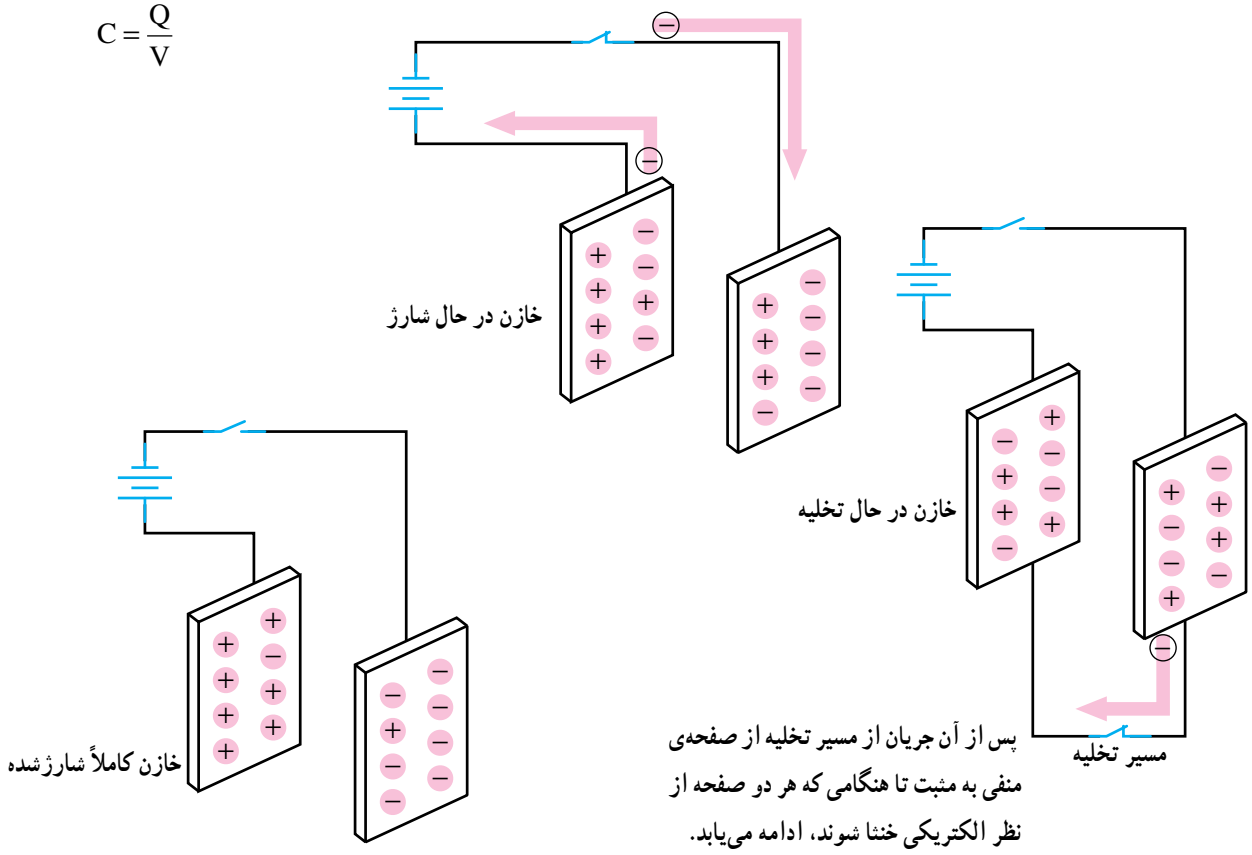
۵ــ۱۵ــ دشارژ خازن

یک خازن شارژشده باید شارژ خود را به‌مدّت نامحدودی نگاه دارد ؛ درحالی که این امر عملی نیست. با جداشدن منبع شارژ از خازن، دیر یا زود خازن شارژ (بار) خود را از دست می‌دهد. عمل از دست‌دادن شارژ را **دشارژشدن** می‌نامند. برای دشارژ خازن تنها لازم است یک مسیر هادی بین دو صفحه ایجاد شود. با ایجاد مسیر، الکترون‌های صفحه‌ی منفی به طرف پتانسیل مثبت در صفحه‌ی مثبت جاری می‌شوند. تبادل الکترون بین صفحات آن‌قدر ادامه پیدا می‌کند تا صفحات خنثا شوند. در این موقع، خازن هیچ‌گونه ولتاژی ندارد و می‌گویند خازن دشارژشده است. حرکت الکترون‌ها از مسیر ایجادشده **جریان دشارژ** نامیده می‌شود. در شکل ۶ــ۱۵ شارژ و دشارژ خازن را مشاهده می‌کنید.

۶ــ۱۵ــ ظرفیت خازن

ظرفیّت یک خازن ــ که آن‌را با حرف C نمایش می‌دهند ــ نمودار میزان توانایی ذخیره‌کردن شارژ (بار) الکتریکی است. بنابه تعریف، ظرفیّت خازن برابر است با مقدار بار الکتریکی که باید روی یکی از صفحات خازن جمع شود تا پتانسیل آن نسبت به صفحه‌ی دیگر به‌اندازه‌ی یک ولت افزایش یابد. به عبارت دیگر، خارج‌قسمت بار الکتریکی (Q) ذخیره شده روی هر یک از صفحات خازن بر اختلاف‌پتانسیل (V) میان دو صفحه را **ظرفیّت** آن خازن گویند. به‌عبارت دیگر، می‌توان گفت که میزان ذخیره‌شدن شارژ الکتریکی به ظرفیّت خازن‌ها بستگی دارد. در یک ولتاژ برابر خازنی که ظرفیّت کم‌تری دارد، بار کم‌تر و آن که ظرفیّت بیش‌تری دارد، بار بیش‌تری را در خود ذخیره می‌کند. واحد ظرفیت **فاراد** است که از نام مایکل فاراده گرفته شده و آن عبارت است از نسبت یک کولن[1] بار ذخیره شده در هریک از صفحات خازنی که به اختلاف پتانسیل یک ولت اتّصال داده شده باشد. با توجه به تعریف ارائه‌شده، رابطه‌ی ظرفیت خازن به صورت زیر است.

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



وقتی یک خازن شارژ شد، شارژ خود را تا زمانی که مسیری برای تخلیه پیدا کند نگاه می‌دارد.

پس از آن جریان از مسیر تخلیه از صفحه‌ی منفی به مثبت تا هنگامی که هر دو صفحه از نظر الکتریکی خنثا شوند، ادامه می‌یابد.

شکل ۶ــ۱۵ــ نمایش شارژ و دشارژ خازن

۱ــ کولن (Coulomb) واحد بار الکتریکی است و مقدار آن بار $۶/۲۸\times۱۰^{۱۸}$ الکترون می‌باشد.

C ظرفیت خازن به فاراد (F)، Q بار یک صفحه برحسب کولن (C) و V ولتاژ دو سر خازن است. فاراد واحد بزرگی است و در کارهای عملی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. در عمل از واحدهای کوچک‌تری به‌صورت زیر استفاده می‌شود.

میکروفاراد (μF) برابر 10^{-6} فاراد

نانوفاراد (nF) برابر 10^{-9} فاراد

پیکوفاراد (pF) برابر 10^{-12} فاراد

مثال ۱: یک خازن در اثر اعمال ۲۰ ولت به دو سر آن باری معادل ۸۰ کولن را ذخیره می‌کند. ظرفیت خازن چه‌قدر است؟

راه حل:

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

$$C = \frac{80(C)}{20(V)} = 4(F)$$

مثال ۲: خازنی با ظرفیت 40μF را به ولتاژ ۵۰ ولت اتّصال می‌دهیم. مقدار بار ذخیره‌شده چه‌قدر است؟

راه حل:

$$Q = CV$$

$$Q = 40\times10^{-6}\times50 = 2000\mu C$$

مثال ۳: به دو سر خازن 10μF چه ولتاژی بدهیم تا باری معادل 10μC در آن ذخیره شود؟

راه حل:

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

$$V = \frac{10\times10^{-6}(C)}{10\times10^{-6}(F)} = 1V$$

۷ــ۱۵ــ عوامل مؤثر بر ظرفیّت خازن

مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعیین ظرفیت خازن عبارت‌اند از:

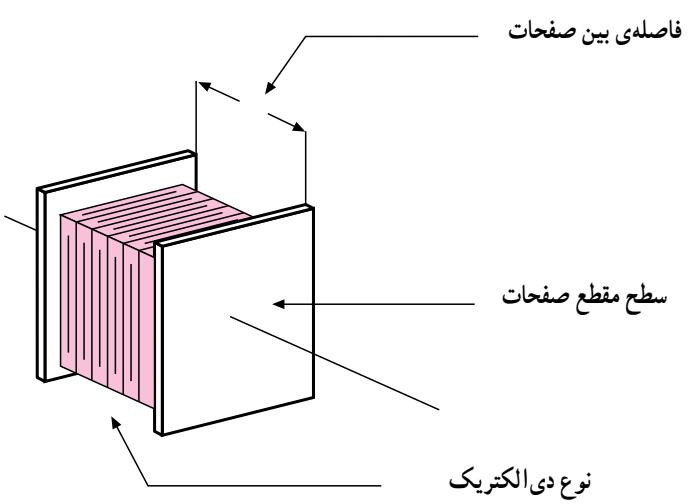
۱ــ مساحت صفحات

۲ــ فاصله‌ی بین صفحات

۳ــ دی‌الکتریک به‌کار رفته بین صفحات

ظرفیّت یک خازن فقط[1] به ابعاد و نوع عایق بستگی دارد نه به مقدار ولتاژ و بار ذخیره‌شده در آن. شکل ۷ــ۱۵ عوامل مؤثّر در ظرفیّت را نشان می‌دهد.

سه خصوصیت فیزیکی خازن بر ظرفیت آن اثر می‌گذارد.

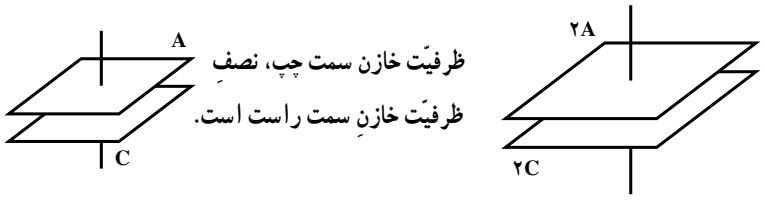


شکل ۷ــ۱۵ــ عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن

۱ــ تأثیر مساحت صفحات: در صورت ثابت‌بودن فاصله‌ی بین صفحات دو خازن و استفاده از یک نوع دی‌الکتریک در آن‌ها، خازنی که دارای صفحات بزرگ‌تر است، ظرفیّت بیش‌تری خواهد داشت، زیرا هر چه صفحات بزرگ‌تر باشند، بار بیش‌تری روی آن‌ها ذخیره می‌شود. بنابراین، در صورت ثابت نگه‌داشتن عایق و فاصله‌ی بین صفحات، ظرفیّت خازن با مساحت صفحات نسبت مستقیم دارد؛ یعنی، با دوبرابرشدن مساحت صفحات، ظرفیت خازن دو برابر می‌شود و برعکس، در صورت نصف‌شدن مساحت صفحات ظرفیّت خازن نیز نصف می‌شود. شکل ۸ــ۱۵ نسبت بین ظرفیّت و مساحت صفحات را نشان می‌دهد.

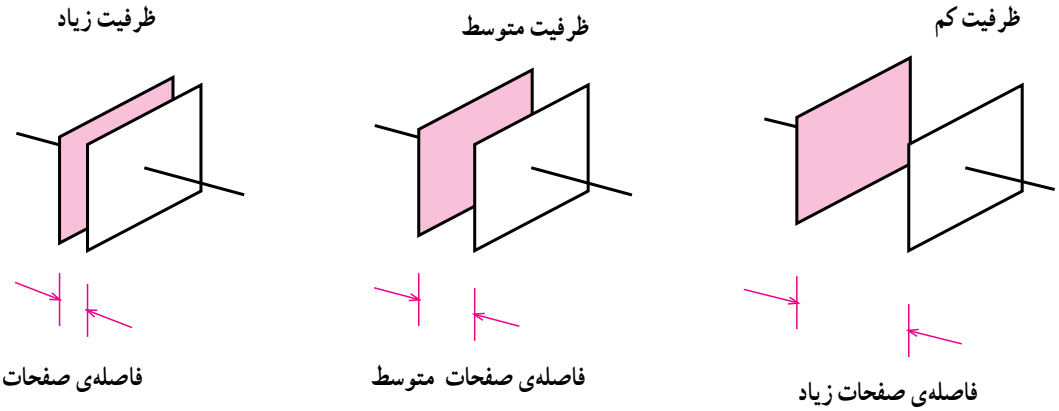
۲ــ تأثیر فاصله‌ی بین صفحات: همان‌گونه که در شکل ۹ــ۱۵ مشاهده می‌کنید، در صورت کم یا زیادشدن فاصله‌ی بین

۱ــ فرکانس ولتاژ دو سر خازن، درجه حرارت و مدت زمانی که خازن مورد استفاده قرار می‌گیرد از عوامل دیگری است که بر ظرفیت خازن تأثیر ناچیزی می‌گذارند؛ به‌طوری که می‌توان در بعضی مواقع از آن‌ها صرف نظر کرد.



ظرفیّت خازن سمت چپ، نصفِ ظرفیّت خازنِ سمت راست است.

شکل ۸ــ۱۵ــ تأثیر مساحت صفحات بر ظرفیّت خازن



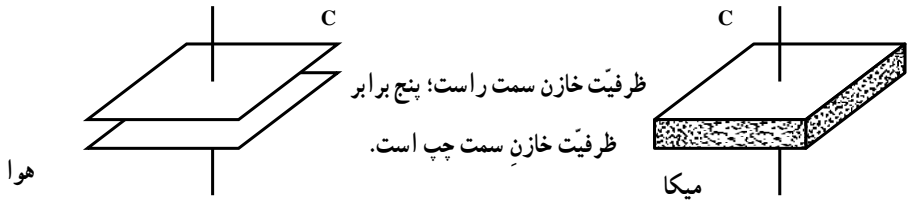
شکل ۹ــ۱۵ــ تأثیر فاصله‌ی بین صفحات بر ظرفیّت خازن

صفحات، ظرفیت خازنی متقابلاً زیاد یا کم می‌شود ؛ یعنی، مقدار ظرفیّت خازن با فاصله‌ی بین صفحات آن، نسبت عکس دارد. هرچه فاصله‌ی بین دو صفحه کم‌تر باشد، مقدار ظرفیّت خازن بیش‌تر است و برعکس، هرچه فاصله‌ی صفحات بیش‌تر باشد، مقدار ظرفیّت خازن کم‌تر است.

کم‌ترین فاصله‌ای که می‌تواند بین دو صفحه وجود داشته باشد، به ولتاژ داده شده به خازن و عایق بین صفحات آن بستگی دارد. امروزه خازن‌هایی با فاصله‌ی بسیار کوچک ساخته شده است که می‌توانند ولتاژهای بزرگ تا چند صد ولت را تحمل کنند.

۳ــ اثر دی‌الکتریک: مادّه‌ی عایق مورد استفاده بین صفحات خازن را **دی‌الکتریک** گویند. دی‌الکتریک به‌کار رفته در خازن‌ها می‌تواند هوا، خلأ، کاغذ، شیشه، میکا و ... باشد. بعضی از دی‌الکتریک‌ها به‌علت این که ظرفیّت خازنی بزرگی تولید می‌کنند، دی‌الکتریک‌های خوبی هستند.

درحالی‌که برخی دیگر ظرفیّت کوچکی تولید می‌کنند و درنتیجه، دی‌الکتریک‌های ضعیفی هستند. تفاوت بین دی‌الکتریک‌های خوب و ضعیف، از چگونگی تأثیر نیروی الکترواستاتیکی بر مولکول‌های دی‌الکتریک مشخص می‌شود. شکل ۱۰ــ۱۵ تأثیر دی الکتریک را بر ظرفیّت خازن نشان می‌دهد.



ظرفیّت خازن سمت راست؛ پنج برابر ظرفیّت خازنِ سمت چپ است.

شکل ۱۰ــ۱۵ــ تأثیر دی‌الکتریک بر ظرفیّت خازن

۸ــ۱۵ــ ثابت دی‌الکتریک و قابلیت تحمل دی‌الکتریک

جنس دی‌الکتریک‌ها بر ظرفیّت خازن اثر دارد ؛ از این‌رو خواصّ دی‌الکتریکی مواد باید مورد توجّه قرار گیرد. برای این منظور، خواصّ دی‌الکتریکی مواد نسبت به خواص هوا سنجیده می‌شود. ثابت دی‌الکتریک هوا را $\varepsilon_{\circ}$[1] و ثابت دی‌الکتریک هر ماده‌ی دیگر را ε در نظر می‌گیرند. مقدار ε برابر است با

$$\varepsilon = \varepsilon_{\circ}\varepsilon_r$$

$$\varepsilon_{\circ} = ۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲}\left[\frac{F}{m}\right]$$

ε_r ضریب یا عدد ثابتی است که نشان می‌دهد خاصیّت دی‌الکتریک هر مادّه چند برابر خاصیت دی‌الکتریک هواست. همان‌طورکه قبلاً دیدیم، ظرفیّت خازن با مساحت صفحات و نوع دی‌الکتریک، نسبت مستقیم و با فاصله‌ی بین صفحات، نسبت عکس دارد ؛ بنابراین، می‌توان ظرفیّت را به این صورت نوشت :

$$C = \frac{\varepsilon A}{d}$$

A مساحت صفحه و d فاصله‌ی بین دو صفحه را نشان می‌دهد.

حداکثر ولتاژی را که دی‌الکتریک بدون خطر می تواند تحمّل کند، **قابلیّت تحمّل دی‌الکتریک** می‌نامند و آن‌را برحسب V/mil[2] (ولت بر میل) می‌سنجند. هر میل (mil) برابر $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ اینچ است. در جدول ۱ــ۱۵ ضریب‌دی‌الکتریک (ε_r) و قابلیّت تحمل دی‌الکتریک بعضی عایق‌ها نشان داده شده است ؛ مثلاً اگر عایق خازنی از جنس میکا و فاصله‌ی بین صفحات آن یک میل باشد، حداکثر ولتاژی که این خازن می‌تواند تحمل کند و صدمه نبیند، ۱۵۰۰ ولت خواهد بود. اگر ولتاژ اعمال‌شده به خازن بیش از ۱۵۰۰ ولت شود، مولکول‌های دی‌الکتریک (میکا) می‌شکنند. در نتیجه،بین دی‌الکتریک و صفحات خازن، قوس الکتریکی ایجاد می‌شود و این خازن دیگر قابل استفاده نخواهد بود. اگر فاصله‌ی بین صفحات همین خازن را دو برابر کنیم (دو میل)، حداکثر ولتاژی که می‌تواند تحمّل کند و خراب نشود، ۳۰۰۰ ولت است.

جدول ۱ــ۱۵ــ ضریب‌های دی‌الکتریک و قابلیّت تحمل دی‌الکتریکی چند نوع عایق

نوع عایق	ضریب دی‌الکتریک (ε_r)	قابلیت تحمل دی‌الکتریک (V/mil)	قابلیت تحمل دی‌الکتریک V/cm
هوا	۱	۸۰	۳۹۴×۸۰
تفلون	۲	۱۵۰۰	۳۹۴×۱۵۰۰
کاغذ آغشته به پارافین	۲/۵	۱۲۰۰	۳۹۴×۱۲۰۰
روغن	۴	۳۷۵	۳۹۴×۳۷۵
میکا	۵	۱۵۰۰	۳۹۴×۱۵۰۰
اکسید آلومینیم	۷	۱۶۰۰	۳۹۴×۱۶۰۰
شیشه	۷/۵	۲۰۰۰	۳۹۴×۲۰۰۰
اکسید تانتالیُم	۲۶	۱۴۰۰	۳۹۴×۱۴۰۰
سرامیک	۱۲۰۰	۱۰۰۰	۳۹۴×۱۰۰۰

مثال ۴: ظرفیّت خازنی را که مساحت صفحات آن ۰/۰۵ مترمربع و فاصله‌ی بین صفحات آن ۰/۱ سانتیمتر و نوع دی‌الکتریک به‌کار رفته در آن میکا باشد، به دست آورید.

راه‌حل: با استفاده از جدول ۱ــ۱۵ ضریب‌دی‌الکتریک

۱ــ خوانده می‌شود اپسیلون صفر.

۲ــ ۳۹۴V/cm = V/۰/۰۰۱×۲/۵۴cm = V/mil است.

(ε_r) برای میکا برابر ۵ است. هم‌چنین می‌دانیم که ثابت دی‌الکتریک هوا برابر است با $\varepsilon_0 = ۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲}$. بنابراین با توجه به مقادیر داده‌شده، مقدار C ظرفیت خازن را به‌دست می‌آوریم.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 . \varepsilon_r = ۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲} \times ۵ \left[\frac{F}{m}\right]$$

$$A = ۰/۰۵ m^۲$$

$$d = ۰/۱ \times ۱۰^{-۲} m$$

$$C = \frac{\varepsilon A}{d}$$

$$C = \frac{۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲} \times ۵ \times ۰/۰۵}{۰/۱ \times ۱۰^{-۲}} = ۰/۰۰۲۲۱ \mu f$$

از جمله مشخصه‌های دیگر خازن ولتاژ کار این است که همراه با ظرفیّت روی بدنه‌ی خازن نوشته می‌شود و حتماً باید به آن توجه داشت. ولتاژ کار خازن حداکثر ولتاژ DCای است که خازن می‌تواند در آن ولتاژ، کار عادی خود را انجام دهد؛ مثلاً خازنی که روی آن ۱۰۰μF/۱۶V نوشته شده است، می‌تواند تا ۱۶ ولت DC را تحمّل کند و به کار خود ادامه دهد.

۹ــ۱۵ــ ضریب حرارتی

همان‌طور که تحت تأثیر حرارت مقدار مقاومت‌ها تغییر می‌یابد، در این‌جا نیز ضریب حرارتی، مقدار ظرفیّت را نسبت به درجه‌حرارت تغییر می‌دهد. اگر ضریب حرارتی مثبت باشد، افزایش درجه حرارت، مقدار ظرفیت را بالا می‌برد و کاهش درجه حرارت، مقدار آن را کم می کند. در صورتی که ضریب حرارتی منفی باشد، افزایش و کاهش درجه حرارت سبب کاهش و افزایش مقدار ظرفیّت می‌شود.

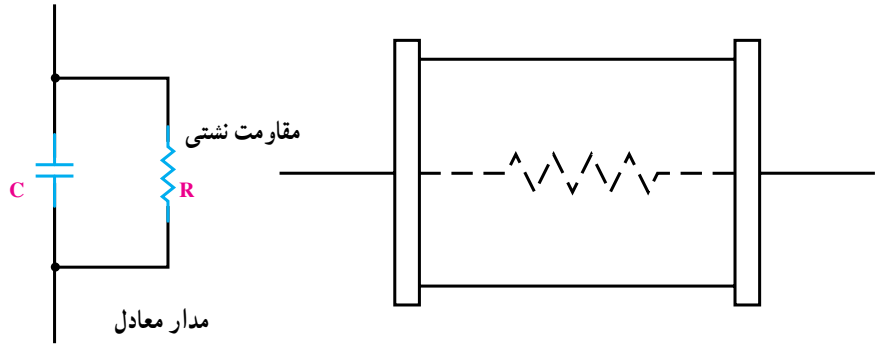
۱۰ــ۱۵ــ نشت در خازن‌ها

دی الکتریک مورد استفاده در خازن‌ها باید از عبور هرگونه جریانی بین صفحات خازن جلوگیری کند. مگر در مواقعی که به دلیل ولتاژ بسیار زیاد، مولکول‌های دی‌الکتریک شکسته شوند. در هر صورت، عملاً عایقی به‌معنای صد درصد وجود ندارد. لذا دی‌الکتریک‌ها هم مقدار بسیار کمی جریان را از خود عبور می‌دهند. مقاومتی که هر دی‌الکتریک در مقابل عبور جریان از خود نشان می‌دهد، **مقاومت نشتی خازن** نامیده می‌شود. شکل ۱۱ــ۱۵ مقاومت نشتی و مدار معادل آن را نشان می‌دهد. مقاومت نشتی معمولاً حدود مگا اهم است. در اثر کارکرد زیاد خازن، مقاومت نشتی آن به‌تدریج کاهش می‌یابد.

۱۱ــ۱۵ــ ثابت زمانی خازن

چنان‌چه خازنی به تنهایی در یک مدار DC قرار گیرد، به‌سرعت شارژ می‌شود. شارژ سریع خازن به این دلیل اتفاق می‌افتد که در مسیر شارژ هیچ‌گونه مقاومتی وجود ندارد. حال اگر مقاومتی را به مدار اضافه کنیم، وجود آن در مسیر شارژ، زمان شارژ را طولانی‌تر می‌کند. مقدار دقیق زمان شارژ به مقدار مقاومت قرار گرفته در مسیر شارژ (R) و ظرفیّت خازن (C) بستگی دارد و به‌کمک رابطه‌ی زیر مشخص می‌شود.

$$\tau = RC$$



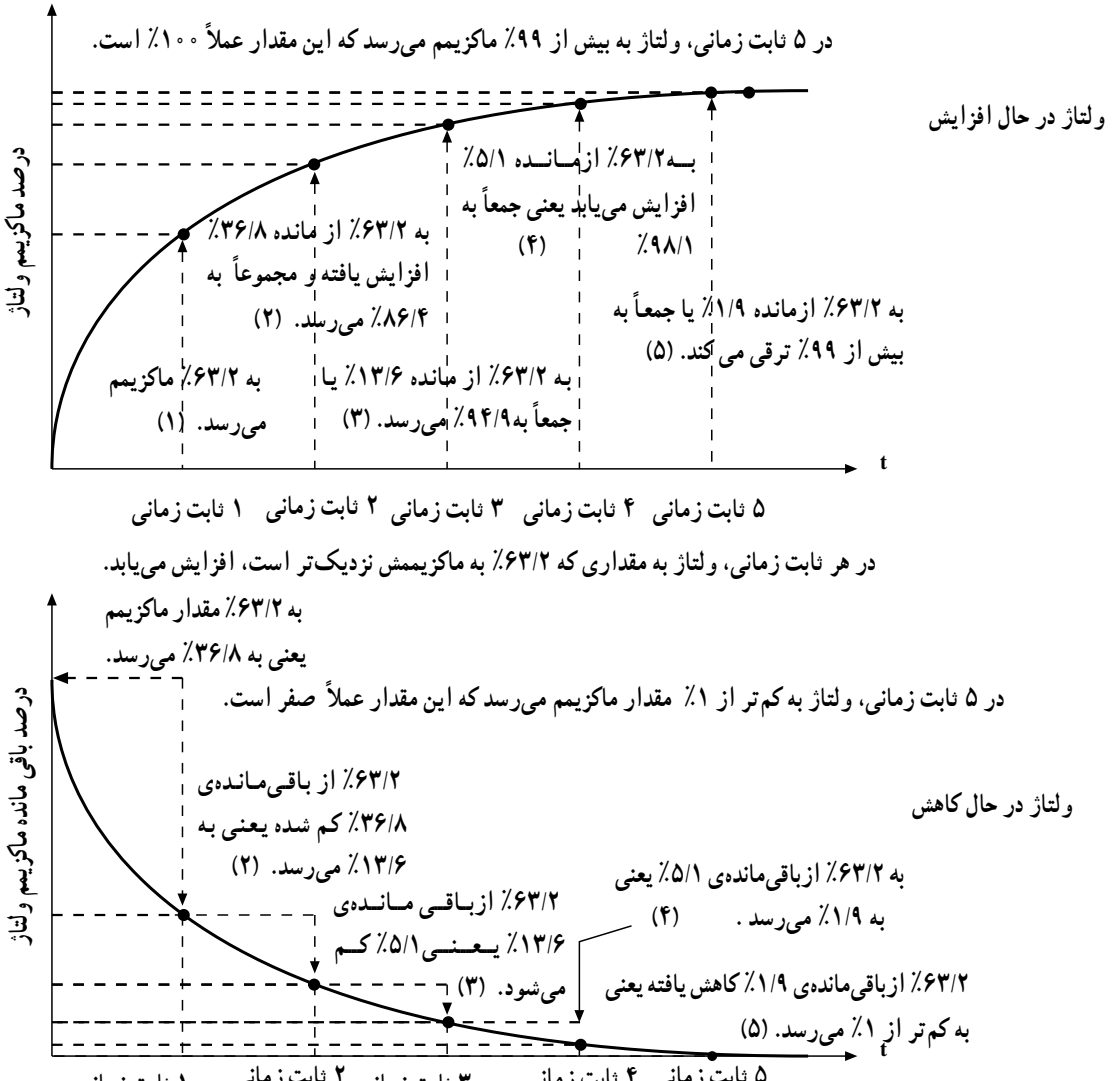
شکل ۱۱ــ۱۵ــ مقاومت نشتی و مدار معادل آن

τ را **ثابت زمانی خازن** گویند و آن، مدت زمانی است که ولتاژ خازن به ۶۳/۲ درصد ولتاژ کل آن برسد. در هر ثابت زمانی بعدی، خازن به‌اندازه‌ی ۶۳/۲ درصد از ولتاژ باقی‌مانده شارژ می‌شود. شارژ کل خازن در حدود ۵ ثابت زمانی طول می‌کشد و خالی‌شدن خازن نیز در حدود همین مدت زمان انجام می گیرد. در ثابت زمانی اول ۶۳/۲ درصد از شارژ کامل خازن از بین می‌رود و در ثابت زمانی‌های بعدی به ترتیب ۶۳/۲ درصد از شارژ باقی‌مانده تخلیه می‌شود . در انتهای ۵ ثابت زمانی، خازن کاملاً تخلیه شده است. در جدول ۲ــ۱۵ رابطه‌ی شارژ و دشارژ با ثابت زمانی و در شکل ۱۲ــ۱۵ منحنی‌های شارژ و دشارژ خازن را مشاهده می‌کنید.

جدول ۲ــ۱۵ــ درصد شارژ و دشارژ خازن از ولتاژ ماکزیمم

تعداد ثابت زمانی	درصد باقی‌مانده‌ی ولتاژ دشارژ
۱	۳۷
۲	۱۴
۳	۵
۴	۲
۵	۱
	تقریباً صفر

تعداد ثابت زمانی	درصد ماکزیمم ولتاژ دشارژ
۱	۶۳
۲	۸۶
۳	۹۵
۴	۹۸
۵	۹۹
	تقریباً ۱۰۰٪

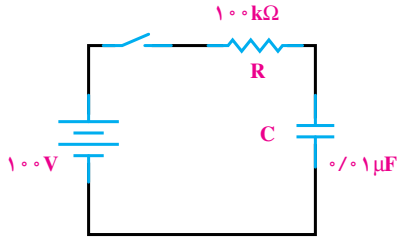


شکل ۱۲ــ۱۵ــ منحنی‌های شارژ و دشارژ خازن

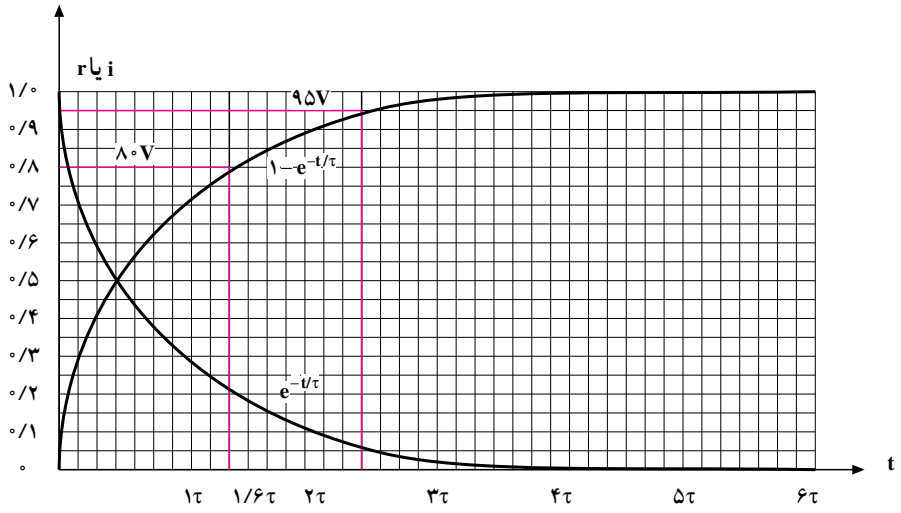
مثال ۵: مدار شکل ۱۳ــ۱۵ را در نظر می‌گیریم. پس از بستن کلید و با استفاده ازمنحنی شکل ۱۴ــ۱۵ الف : چه مدّت طول می‌کشد تا ولتاژ دو سر خازن به ۸۰ ولت برسد؟ ب : بعد از ۳ میلی‌ثانیه، ولتاژ دو سر خازن چه‌قدر می‌شود؟

راه‌حل:

ثابت زمانی مدار $\tau = RC = ۱۰۰\times۱۰^{۳}\times۰/۰۱\times۱۰^{-۶} = ۱\text{m sec}$



شکل ۱۳ــ۱۵



شکل ۱۴ــ۱۵

در یک ثابت زمانی یا یک میلی ثانیه، خازن به اندازه‌ی ۶۳/۲ درصد ولتاژ کل ــ یعنی ۶۳/۲ ولت ــ شارژ می‌شود. اگر بخواهیم خازن ۸۰ ولت شارژ شود، چنین عمل می‌کنیم :

از روی محور عمودی که ولتاژ را نشان می‌دهد، مقدار ۸۰ ولت را پیدا می‌کنیم و خطی موازی محور زمان (افقی) می‌کشیم تا منحنی شارژ را قطع کند. از آن‌جا نیز خطی موازی محور عمودی (ولتاژ) رسم می‌کنیم تا محور زمان را قطع کند. محل تقاطع محور زمان عدد ۱/۶τ را نشان می‌دهد ؛ یعنی، ۱/۶ میلی ثانیه طول می‌کشد تا خازن به مقدار ۸۰ ولت شارژ شود.

در ۳ میلی‌ثانیه یا ۳ ثابت زمانی، ولتاژ دو سر خازن به ۹۵ ولت می‌رسد. چرا؟ با رسم خطوطی موازی محورهای مختصّات ــ همان‌طورکه قبلاً گفته شد ــ مقدار ۹۵ ولت به‌دست می‌آید.

۱۲ــ۱۵ــ انرژی ذخیره‌شده در خازن

میدان الکترواستاتیکی ذخیره‌شده در خازن، دارای انرژی خواهد بود. این انرژی به‌وسیله‌ی ولتاژ منبع که خازن را شارژ کرده است، تأمین می‌شود. چنان چه منبع ولتاژ را از خازن قطع کنیم، خازن در مرحله‌ی دشارژ قادر به بازپس‌دادن این انرژی است. مقدار انرژی الکتریکی ذخیره‌شده در یک خازن از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$W = \frac{۱}{۲}CV^{۲}$$

C ظرفیّت خازنی برحسب فاراد، V ولتاژ دو سر خازن برحسب ولت و W مقدار انرژی ذخیره‌شده برحسب ژول است.

مثال ۶: مقدار انرژی یک خازن ۱μF که با ولتاژ ۴۰۰ ولت شارژ شده، چه‌قدر است؟

راه حل:

$$W = \frac{1}{2}CV^2$$

$$W = \frac{1}{2} \times 1 \times 10^{-6} \times (400)^2$$

$$W = 0/08 \quad \text{ژول}$$

انرژی ذخیره‌شده در خازن شارژشده، می‌تواند شوک الکتریکی تولید کند ؛ حتی اگر به مداری بسته نشده باشد. اگر دو سر یک خازن شارژشده را لمس کنید، ولتاژ دو سر آن در بدن یک جریان تخلیه ایجاد می‌نماید. انرژی ذخیره‌شده‌ی بیش‌تر از یک ژول در خازن شارژشده با ولتاژهای زیاد می‌تواند شوک الکتریکی خطرناکی را سبب شود.

۱۳ــ۱۵ــ انواع خازن‌ها

خازن‌ها انواعی دارند و از لحاظ شکل و اندازه با یک‌دیگر متفاوت‌اند. بعضی از خازن‌ها از روغن پر شده و بسیار حجیم‌اند. برخی دیگر بسیار کوچک و به اندازه‌ی یک دانه عدس می‌باشند.

خازن‌ها برحسب ثابت یا متغیربودن ظرفیّت به دو گروه تقسیم می‌شوند.

خازن‌های ثابت

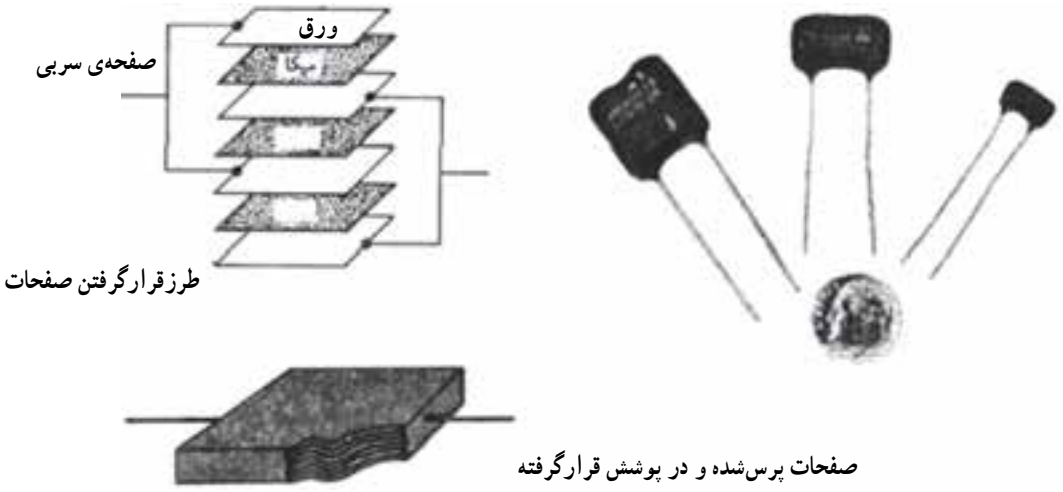
خازن‌های متغیر

۱ــ خازن‌های ثابت: در خازن‌های ثابت، ظرفیت از پیش تعیین‌شده و ثابت است و مقدار آن را بعد از ساخت نمی‌توان تغییر داد. خازن‌های ثابت را معمولاً با جنس دی‌الکتریک به‌کار رفته در آن‌ها می‌شناسند. نمونه‌هایی از خازن‌های ثابت رایج را در این جا به‌طور خلاصه شرح می‌دهیم.

الف ــ خازن کاغذی: خازن‌های کاغذی به دلیل ارزان‌بودن و اندازه‌ی کوچکشان مورد استفاده‌ی فراوان دارند. جنس دی‌الکتریک آن‌ها کاغذ آغشته به پارافین است و در ولتاژ بیش از ۶۰۰ ولت مورد استفاده قرار می‌گیرند. صفحات این خازن‌ها به‌صورت نوارهای صاف و طویل از جنس ورقه‌های قلع است. کاغذ آغشته به پارافین بین دو صفحه، حکم دی‌الکتریک را دارد و این هر سه به‌صورت لوله، پیچیده شده‌اند و داخل یک استوانه قرار می‌گیرند. شکل ۱۵ــ۱۵ ساختمان خازن کاغذی و چند نمونه‌ی دیگر را نشان می‌دهد.

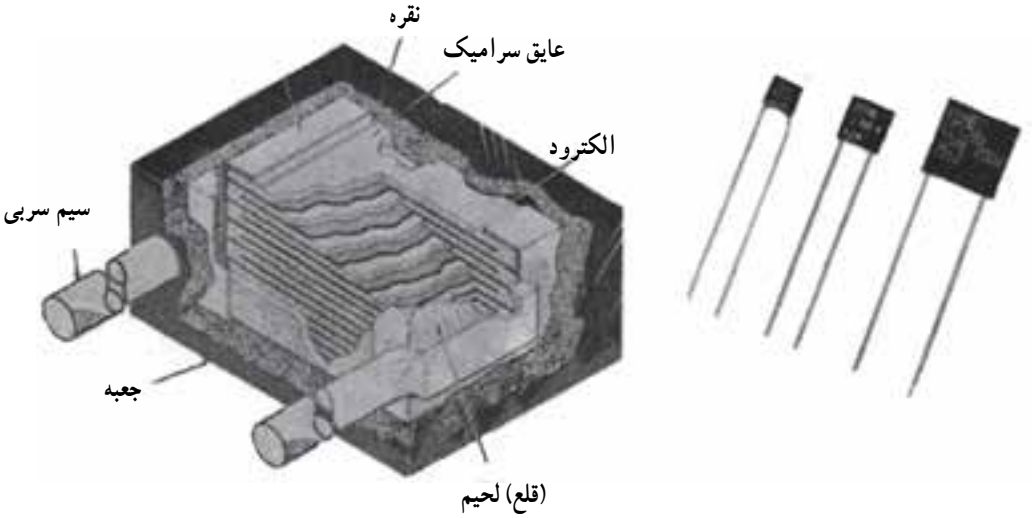
شکل ۱۵ــ۱۵ــ ساختمان و نمونه‌هایی از خازن‌های کاغذی

ب ــ خازن‌های میکا: خازن‌های میکا ازتعدادی ورقه‌ی نازک میکا به‌عنوان دی‌الکتریک و ورقه‌های نازک فلزی تشکیل می‌شوند. این ورقه‌ها به‌صورت یک در میان روی هم قرار می‌گیرند. ورقه‌های فلزی در دو دسته به یک‌دیگر وصل شده‌اند تا سطح مؤثر هر صفحه‌ی خازن را بزرگ‌تر کنند و ظرفیّت خازن بالا رود. هرچه تعداد صفحات فلزی بیش‌تر و اندازه‌ی آن‌ها بزرگ‌تر باشد، ظرفیت خازن افزایش می‌یابد. مجموعه ورق‌های میکا و فلز در یک کپسول قرار می گیرند. در شکل ۱۶ــ۱۵ ساختمان خازن میکا و چند نمونه‌ی دیگر آن را می‌بینید. ظرفیت خازن‌های میکا کم و از حدود چند پیکو تا چند صد پیکو فاراد است.



شکل ۱۶ــ۱۵ــ ساختمان خازن میکا

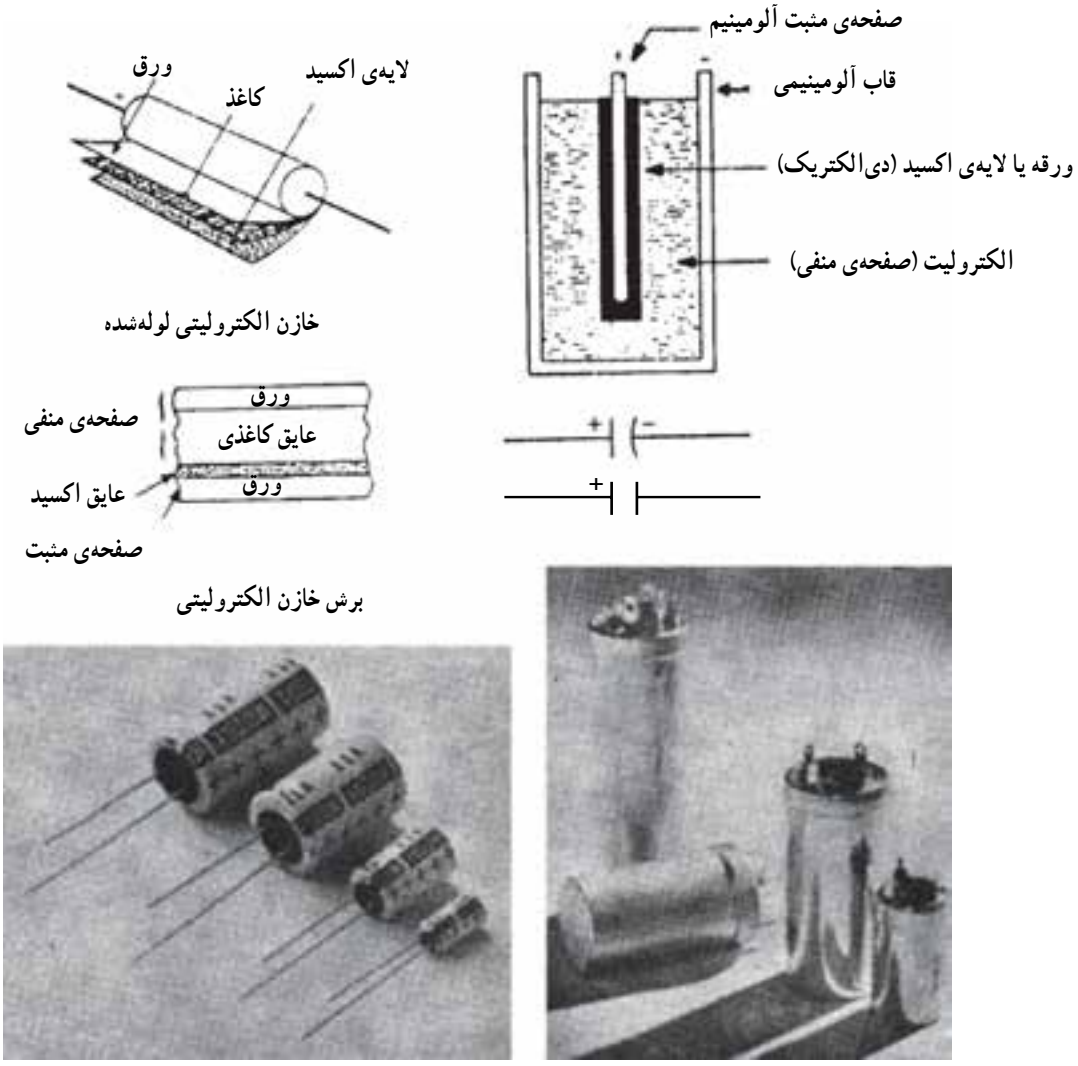
پ ــ خازن سرامیک: خازن‌های سرامیک دارای دی‌الکتریک با توان بالا و اندازه‌ی کوچک هستند. از این خازن‌ها در فرکانس‌های بالا استفاده می‌شود. صفحات خازن سرامیکی از جنس نقره و به‌صورت صفحات بسیار نازکی هستند که ماده‌ی دی‌الکتریک بین آن‌ها را سرامیک تشکیل می‌دهد. این خازن‌ها از لحاظ فیزیکی بسیار کوچک‌اند. ظرفیّت خازن‌های سرامیکی از چند پیکوفاراد تا چند میکروفاراد متغیّر است. ولتاژ شکست این خازن‌ها زیاد است و می‌توانند در ولتاژهای بالا (چندین هزار ولت) کار کنند. در شکل ۱۷ــ۵ ساختمان خازن سرامیکی و چند نمونه‌ی دیگر را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۷ــ۱۵ــ ساختمان خازن سرامیک و نمونه‌های دیگری از این نوع

د ــ خازن الکترولیتی: خازن الکترولیتی دارای قطبیّت معیّنی است و از آن در مدارهای DC استفاده می‌شود. یک صفحه از خازن الکترولیتی مثبت است که به سر مثبت منبع وصل می‌شود. صفحه‌ی دیگر آن منفی است و به سر منفی منبع متصل می‌گردد. ظرفیّت این خازن ها بالا و از چند میکروفاراد تا چند هزار میکروفاراد است. ولتاژ شکست این خازن‌ها معمولاً کم و جریان نشتی آن‌ها نسبت به سایر خازن‌ها زیاد است.

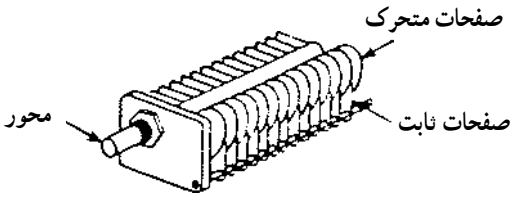
خازن‌های الکترولیتی را هم با الکترولیت مایع و هم با الکترولیت خشک می‌سازند. شکل ۱۸ــ۱۵ ساختمان خازن الکترولیتی را با الکترولیت مایع و خشک نشان می‌دهد.



شکل ۱۸ــ۱۵ــ چند نمونه خازن الکترولیتی

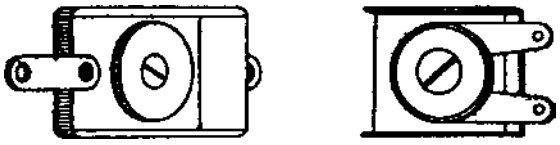
۲ــ خازن‌های متغیّر: خازن متغیّر خازنی است که ظرفیّت آن را در هر لحظه می‌توان از حداقل تا حداکثر تغییر داد. با خازن‌های متغیّر می‌توان ظرفیّت مورد نیاز را تنظیم کرد. از این‌گونه خازن‌ها در فرکانس‌های پایین، متوسط و بالا استفاده می‌شود. محدوده‌ی فرکانس‌های پایین از ۲۵۰ پیکو تا ۵۰۰ پیکو و برای فرکانس‌های بالا حدود چند پیکوفاراد است. از انواع خازن‌های متغیر، خازن هوا و خازن تریمر را می‌توان نام برد.

الف ــ خازن هوا: خازنی است که دی‌الکتریک آن هواست و اکثراً برای انتخاب فرکانس مناسب در گیرنده‌ها با یک سلف به‌طور موازی بسته می‌شود. این گونه خازن‌ها از چندین صفحه‌ی فلزی تشکیل شده که تعدادی از آن‌ها ثابت و تعدادی متحرک‌اند. صفحات به‌صورت یک درمیان به فاصله‌ی منظم از یک‌دیگر قرار دارند. با چرخش محور که به صفحات متحرک متّصل است، صفحات متحرک بین صفحات ثابت حرکت می‌کنند، سطح مؤثر صفحات تغییر می‌کند و درنتیجه، ظرفیت خازن نیز متناسب با گردش محور تغییر می‌کند. در شکل ۱۹ــ۱۵ یک خازن متغیر هوا نشان داده شده است.



شکل ۱۹ــ۱۵ــ خازن هوایی متغیر

ب ــ *خازن تریمر*: این خازن‌ها بسیار کوچک‌اند و در مدارها به کمک پیچ‌گوشتی می‌توان آن‌ها را تنظیم کرد. با تغییردادن فاصله بین صفحات، ظرفیت خازن تغییر می‌کند. ماده‌ی عایق این خازن‌ها معمولاً میکا یا سرامیک است. از خازن تریمر در فرکانسهای بالا فراوان استفاده می‌شود. در شکل ۲۰ــ۱۵ دو نوع خازن تریمر نشان داده شده است.



شکل ۲۰ــ۱۵ــ خازن تریمر

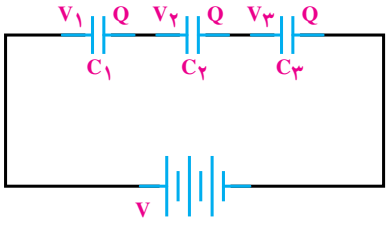
۱۴ــ۱۵ــ به‌هم‌بستن خازن‌ها

خازن‌ها را بسته به نوع استفاده از آن‌ها می‌توان به سه طریق سری، موازی و مختلط به هم متّصل کرد.

۱ــ اتّصال سری و محاسبه‌ی ظرفیت معادل: در شکل ۲۱ــ۱۵طرز به‌هم‌بستن سری خازن‌ها را مشاهده می‌کنید. در اتّصال سری، فاصله‌ی مؤثر بین صفحات بیش‌تر می‌شود و ظرفیت معادل مجموعه‌ی خازنی کاهش می یابد. همان‌گونه که در شکل می‌بینید، تنها دو صفحه‌ی ابتدا و انتهای مجموعه‌ی خازنی که به مولّد بسته شده است، از مولد بار الکتریکی دریافت می‌کنند و صفحه‌های دیگر از طریق القا دارای بار الکتریکی می‌شوند ؛ بنابراین، اندازه‌ی بار الکتریکی همه‌ی خازن‌ها یکی است ولی اختلاف‌پتانسیل دو سر مجموعه برابر حاصل‌جمع اختلاف‌پتانسیل‌های دو سر خازن‌هاست ؛ یعنی :

$$Q = Q_۱ = Q_۲ = Q_۳ \qquad (۱)$$

$$V = V_۱ + V_۲ + V_۳ \qquad (۲)$$



شکل ۲۱ــ۱۵ــ اتّصال سری خازن‌ها

می‌دانیم که

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

$$V_۱ = \frac{Q}{C_۱}$$

$$V_۲ = \frac{Q}{C_۲} \qquad (۳)$$

$$V_۳ = \frac{Q}{C_۳}$$

با قراردادن روابط (۳) در رابطه‌ی ۲، رابطه‌ی ۴ حاصل می‌شود.

$$\frac{Q}{C_t} = \frac{Q}{C_۱} + \frac{Q}{C_۲} + \frac{Q}{C_۳} \qquad (۴)$$

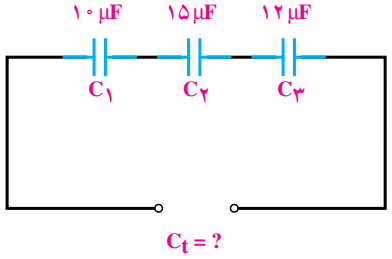
با حذف Q از طرفین رابطه چنین می‌شود :

$$\frac{۱}{C_t} = \frac{۱}{C_۱} + \frac{۱}{C_۲} + \frac{۱}{C_۳} \qquad (۵)$$

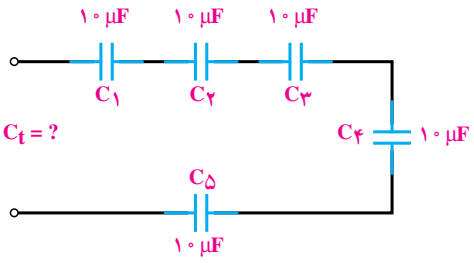
با رابطه‌ی ۵ ظرفیت خازن معادل را می‌توان محاسبه کرد. درصورتی که خازن‌ها با هم مساوی باشند، رابطه‌ی ظرفیت خازن معادل برای n خازن چنین است :

$$C_t = \frac{C}{n}$$

مثال ۷: ظرفیت معادل مدار شکل ۲۲ــ۱۵ و ۲۳ــ۱۵ را به‌دست آورید.



شکل ۲۲ــ۱۵



شکل ۲۳ــ۱۵

راه‌حل: مدار ۲۲ـ۱۵ :

$$\frac{1}{C_t}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_t}=\frac{1}{10}+\frac{1}{15}+\frac{1}{12}=\frac{6+4+5}{60}=\frac{15}{60}$$

$$C_t=\frac{60}{15}=4\mu F$$

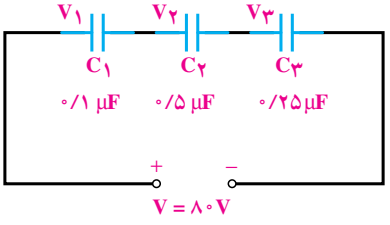
راه‌حل: مدار ۲۳ـ۱۵

$$C_t=\frac{C}{n}=\frac{10\mu F}{5}$$

$$C_t=2\mu F$$

افت ولتاژ دو سر خازن‌ها در مدار سری با ظرفیت هر خازن نسبت معکوس دارد ؛ یعنی، هرچه ظرفیت خازن کم‌تر باشد، مقدار ولتاژ شارژ روی آن بیش‌تر خواهد بود. به تعبیر دیگر، در مدار سری دو سر خازن‌های با ظرفیت کم‌تر، ولتاژ بیش‌تری نسبت به خازن‌های با ظرفیت بیش‌تر افت می‌کند.

مثال ۸: در مدار شکل ۲۴ـ۱۵ درصورتی که همه‌ی خازن‌ها شارژ کامل باشند، ولتاژ دو سر هر خازن را به‌دست آورید.



شکل ۲۴ـ۱۵

راه‌حل:

$$\frac{1}{C_t}=\frac{1}{0/1}+\frac{1}{0/5}+\frac{1}{0/25}=\frac{5+1+2}{0/5}=\frac{8}{0/5}$$

$$C_t=\frac{0/5}{8}\mu F$$

در مدار سری مقدار بار خازن‌ها یکسان و برابر است با

$$Q_t=Q_1=Q_2=Q_3=C_tV=\frac{0/5\times 80}{8}=5\mu C$$

در این جا ولتاژ دو سر خازن‌ها برابر می‌شود با

$$V_1=\frac{Q_1}{C_1}=\frac{5}{0/1}=50V$$

$$V_2=\frac{Q_2}{C_2}=\frac{5}{0/5}=10V$$

$$V_3=\frac{Q_3}{C_3}=\frac{5}{0/25}=20V$$

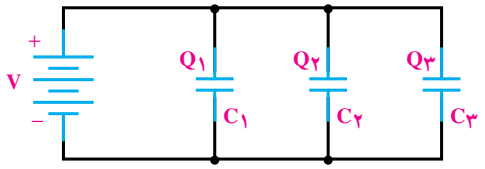
نتیجه‌گیری:

$$V=V_1+V_2+V_3$$

$$V=50+10+20=80V$$

با توجه به مقادیر محاسبه‌شده، کاملاً مشهود است که خازن C_1 که ظرفیت کم‌تری دارد، شارژ بیش‌تری را به خود گرفته است (۵۰ ولت).

۲ــ به‌هم‌بستن موازی خازن‌ها و محاسبه‌ی مقاومت معادل: شکل ۲۵ـ۱۵ اتّصال چند خازن را به‌طور موازی نشان می‌دهد. در اتّصال موازی خازن‌ها سطح مؤثر صفحات زیادتر می‌شود و ظرفیت معادل افزایش می‌یابد.



شکل ۲۵ـ۱۵

در اتّصال موازی خازن‌ها اختلاف‌پتانسیل بین دو صفحه‌ی همه‌ی آن‌ها برابر ولتاژ منبع است ولی بار الکتریکی هر خازن با ظرفیت آن متناسب است ؛ یعنی :

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3 \qquad (1)$$

با دانستن روابط ۲ و قراردادن در رابطه ی ۱ چنین به‌دست می‌آید :

$$Q=C_tV \qquad (2)$$

$$Q_1=C_1V$$

$$Q_2=C_2V$$

$$Q_3=C_3V$$

$$C_tV=C_1V+C_2V+C_3V$$

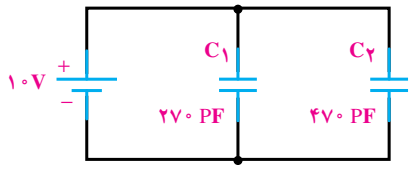
ولتاژ V را از طرفین حذف می‌کنیم تا C_t به‌دست آید.

$$\boxed{C_t=C_1+C_2+C_3}$$

درصورتی که خازن‌های موازی یکسان باشند، ظرفیت کل برای n خازن برابر است با :

$$C_t = nC$$

مثال ۹: در مدار شکل ۲۶ــ۱۵ ظرفیت کل، ولتاژ و بار دو سر هر خازن چه‌قدر است؟



شکل ۲۶ــ۱۵

راه‌حل: ظرفیت معادل برابر است با

$$C_t = C_1 + C_2 = 270 + 470 = 740\,PF$$

$$V = V_1 = V_2 = 10V$$

مقدار بار هر خازن نیز به‌راحتی محاسبه می‌شود.

$$Q_1 = C_1V = 270\times10^{-12}\times10 = 2/7\times10^{-9}$$ کولن

$$Q_2 = C_2V = 470\times10^{-12}\times10 = 4/7\times10^{-9}$$ کولن

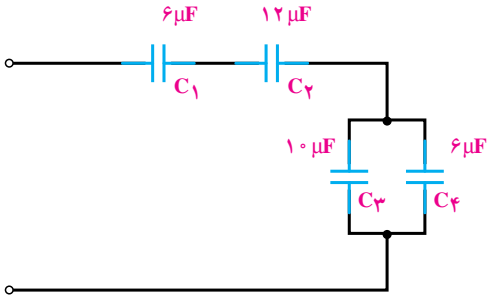
مثال ۱۰: ظرفیت معادل ۱۵ خازن ۱۰۰۰ میکروفارادی را که به‌طور موازی بسته شده‌اند، حساب کنید.

$$C_t = nC_1$$

$$C_t = 15\times1000\mu F = 15000\mu F$$

۳ــ اتّصال مختلط خازن‌ها: در اتّصال مختلط خازن‌ها از قوانین مربوط به اتّصال سری و موازی متناسب با روش انجام‌شده استفاده می‌کنیم ؛ یعنی، ابتدا کل مجموعه را به مجموعه‌های جزء سری و موازی تقسیم می‌کنیم ؛ آن‌گاه معادل مجموعه‌های جزء را به‌دست می‌آوریم و سپس قوانین سری و موازی را درباره‌ی آن‌ها اجرا می‌کنیم.

مثال ۱۱: ظرفیت کل مدار شکل ۲۷ــ۱۵ چه‌قدر است؟



شکل ۲۷ــ۱۵

در این مدار C_1 و C_2 سری است که روابط سری را درباره‌ی این دو عمل می‌کنیم. C_3 و C_4 نیز با هم موازی‌اند و روابط موازی را درباره‌ی آن‌ها عمل می‌کنیم. در نهایت، مجموعه‌ی C_1 و C_2 با مجموعه‌ی C_3 و C_4 سری هستند و از قوانین سری پیروی می‌کنند. بنابراین، می‌توان نوشت :

$$C_{1,2} = \frac{C_1C_2}{C_1+C_2} = \frac{6\times12}{6+12} = 4\mu F$$

$$C_{3,4} = C_3 + C_4 = 10+6 = 16\,\mu F$$

$$C_t = \frac{4\times16}{4+16} = \frac{16}{5} = 3/2\mu F$$

البته می‌توانستیم ابتدا ظرفیت $C_{3,4}$ را حساب کنیم و سپس ظرفیت معادل را به‌صورت مجموعه‌ی سه خازن سری به‌دست آوریم.

۱۵ــ۱۵ــ خصوصیات و قوانین خازن‌های سری و موازی در مدارهای DC

مدار سری

۱ــ بار ذخیره‌شده در هر خازن با بار کل برابر است.

۲ــ ولتاژ کل با مجموع ولتاژهای جزء برابر است.

۳ــ ظرفیت کل کاهش می یابد.

مدار موازی

۱ــ ولتاژ کل با ولتاژ دو سر هر خازن برابر است.

۲ــ بار کل با مجموع بارهای جزء برابر است.

۳ــ ظرفیت کل افزایش می‌یابد.

خلاصه‌ی مطالب

* خازن متشکل از دو صفحه هادی است که بین آن‌ها ماده‌ی عایقی وجود دارد.
* واحد اصلی ظرفیت خازن **فاراد** است. واحدهای کوچک‌تر میکروفاراد و پیکوفاراد و نانوفاراد هستند.
* اگر به دو سر خازن اختلاف‌پتانسیل وصل شود، خازن دارای بار الکتریکی می‌شود.
* خازن‌ها بار الکتریکی را در خود ذخیره می‌کنند (شارژ).
* میزان باری که خازن در خود ذخیره می‌کند به مقدار ولتاژ و ظرفیت آن وابسته است.
* در یک خازن شارژ شده، یک میدان و یک نیروی الکترواستاتیکی بین دو صفحه وجود دارد.
* در یک مدار DC هیچ وقت جریان از دی‌الکتریک عبور نمی‌کند.
* مسیر دشارژ سبب تخلیه‌ی خازن می‌شود.
* ظرفیت خازن از رابطه‌ی $C = \frac{Q}{V}$ به‌دست می‌آید.
* ظرفیت یک خازن به‌وسیله‌ی سه عامل تعیین می‌شود: سطح دو صفحه، فاصله‌ی بین دو صفحه و جنس ماده‌ی عایق.
* رابطه‌ی ظرفیت خازن $C = \frac{\varepsilon A}{d}$ است. این رابطه نشان می‌دهد که ظرفیت خازن با سطح صفحات نسبت مستقیم و با فاصله‌ی بین آن‌ها نسبت معکوس دارد.
* دیگر عوامل مؤثر در ظرفیت فرکانس ولتاژ، درجه حرارت و عمر خازن است.
* عایق بین دو صفحه را **دی‌الکتریک** می‌گویند ـ که اغلب می‌توان از آن‌ها صرف‌نظر کرد.ـ
* ثابت دی‌الکتریک (ε) برابر است با $\varepsilon_r . \varepsilon_0$.
* ثابت دی‌الکتریک مواد عایق را با ثابت هوا (ε_0) می‌سنجند.
* ماکزیمم ولتاژی که یک دی‌الکتریک می‌تواند تحمل کند، قابلیت تحمل دی‌الکتریک نامیده می‌شود.
* رابطه‌ی انرژی ذخیره‌شده در خازن $W = \frac{1}{2} CV^2$ است.
* ثابت زمانی در یک مدار RC با رابطه‌ی $\tau = RC$ مشخص می‌شود.
* ۵ ثابت زمانی طول می‌کشد تا خازن شارژ کامل شود و برعکس.
* خازن‌های ثابت شامل انواع میکایی، سرامیکی، کاغذی و ... است.
* خازن‌های متغیر شامل خازن هوا و تریمر است.

پرسش

۱ـ ساختمان خازن را شرح دهید.
۲ـ شارژ و دشارژ را تعریف کنید.
۳ـ میدان الکترواستاتیکی چگونه پدید می‌آید؟
۴ـ ظرفیت خازن به چه عواملی بستگی دارد؟

۵ــ چرا دی‌الکتریک را در خازن به‌کار می‌بریم؟

۶ــ منظور از قابلیت تحمّل دی‌الکتریک یک ماده چیست؟

۷ــ ثابت دی‌الکتریک را تعریف کنید.

۸ــ ولتاژ شکست، ولتاژ کار، ضریب حرارتی و نشت در خازن را توضیح دهید.

۹ــ انواع خازن‌های ثابت و متغیر را نام ببرید.

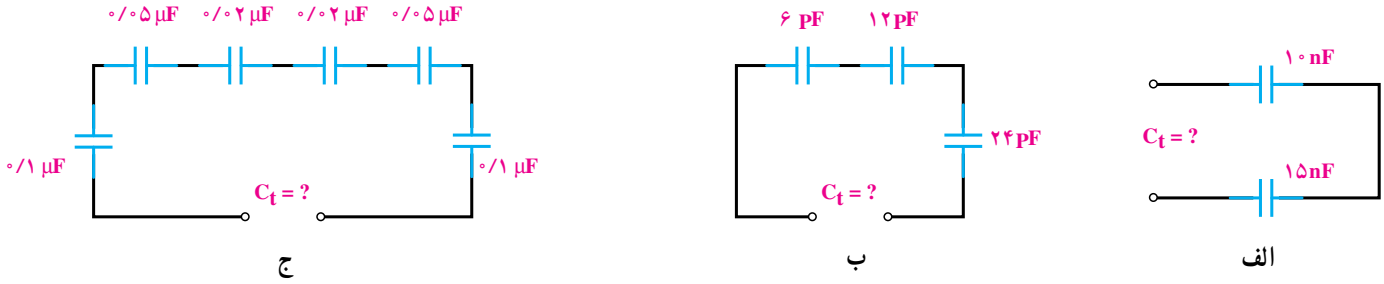
۱۰ــ ثابت زمانی یک مدار RC را توضیح دهید و رابطه‌ی آن را بنویسید.

۱۱ــ رابطه‌ی انرژی ذخیره شده در خازن را بنویسید و تجزیه و تحلیل کنید.

۱۲ــ خصوصیات مدار سری و موازی خازنی را با یک‌دیگر مقایسه کنید.

مسائل

۱ــ در مدارهای شکل ۲۸ــ۱۵ مقدار C_t را حساب کنید.



ج ب الف

شکل ۲۸ــ۱۵

(جواب : الف ــ 6nF ب ــ $\frac{۲۴}{۷}$pF ج ــ ۶/۲۵nF)

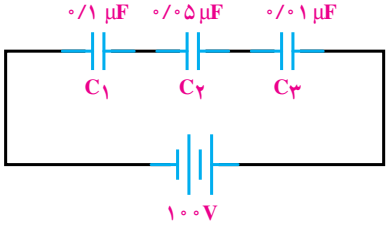
۲ــ مقدار ۴ فاراد برحسب پیکوفاراد ومیکروفاراد را به‌دست آورید.

(جواب : $۴\times۱۰^{۶}\mu F, ۴\times۱۰^{۱۲}pF$)

۳ــ مقدار ۲ پیکوفاراد چند میکروفاراد است؟

(جواب : $۲\times۱۰^{-۶}\mu F$)

۴ــ ولتاژ دو سر هر خازن مدار شکل ۲۹ــ۱۵ درصورت شارژبودن همه‌ی آن‌ها چه‌قدر است؟



شکل ۲۹ــ۱۵

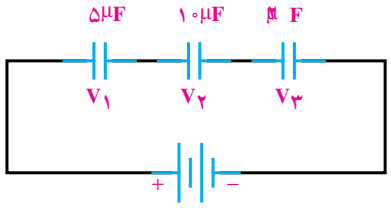
(جواب : $V_۱=\frac{۱۰۰}{۱۳}V, V_۲=\frac{۱۰۰۰}{۶۵}V, V_۳=\frac{۱۰۰۰}{۱۳}$)

۵ــ در مدارهای شکل ۳۰ــ۱۵ مقدار C_t چه‌قدر است؟ $C_۱ = C_۲ = C_۳ = C_۴ = ۱۰\mu F$

شکل ۳۰ــ۱۵

(جواب : الف ــ ۱۸۰pF و ب ــ ۴۰μF)

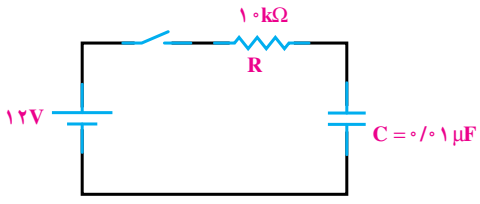
۶ــ در مدار شکل ۳۱ــ۵ الف C_t چه‌قدر است؟ ب ــ اگر مقدار بار ذخیره‌شده در مجموعه‌ی خازن‌ها ۱۰۰ میکروکولن باشد، ولتاژ دو سر هر خازن چه‌قدر است؟



شکل ۳۱ــ۱۵

(جواب : $C_t = ۱/۲۵\mu F$ ، $V_۱ = ۲۰V, V_۲ = ۱۰V, V_۳ = ۵۰V$)

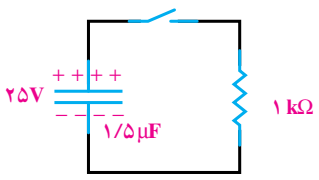
۷ــ در مدار شکل ۳۲ــ۱۵ اگر خازن خالی باشد و کلید را به مدت ۲۰ میلی‌ثانیه ببندیم، خازن چه‌قدر شارژ می‌شود؟



شکل ۳۲ــ۱۵

(جواب : شارژ کامل)

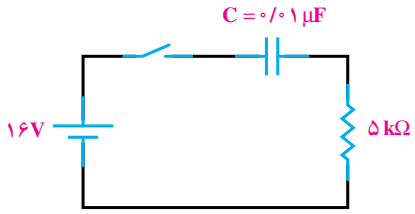
۸ــ در مدار شکل ۳۳ــ۱۵ خازن دارای شارژ کامل است. کلید را به‌مدّت ۳ میلی‌ثانیه می‌بندیم. چه ولتاژی از خازن خالی می‌شود؟



شکل ۳۳ــ۱۵

(جواب : ۲۱/۶ ولت)

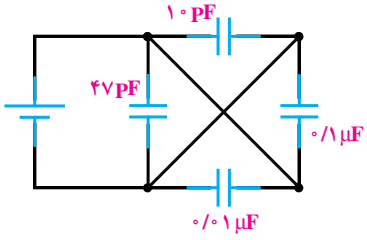
۹ــ در مدار شکل ۳۴ــ۱۵ پس از بستن کلید چه مدّت طول می کشد که ولتاژ دو سر خازن به ۱۰ ولت برسد؟



شکل ۳۴ــ۱۵

(جواب : تقریباً یک ثابت زمانی)

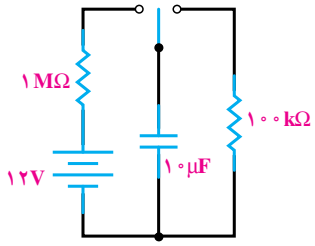
۱۰ــ در مدار شکل ۳۵ــ۱۵ مقدار C_t چه‌قدر است؟



شکل ۳۵ــ۱۵

(جواب : ۱۱۰۰۵۷pF)

۱۱ــ با توجه به مدار شکل ۳۶ــ۱۵ جدول زیر را برای یک تا ۵ ثابت زمانی کامل کنید.



شکل ۳۶ــ۱۵

دشارژ		شارژ	
مقدار ولتاژ ولت	زمان ثانیه	مقدار ولتاژ ولت	زمان ثانیه
۴/۴۱۶	۱	۷/۵۸۴	۱۰
۱/۶۲۶	۲	۱۰/۳۷۴	۲۰
۰/۵۱۷	۳	۱۱/۴۰۱	۳۰
۰/۲۲۱	۴	۱۱/۷۷۶	۴۰
۰/۰۸۲	۵	۱۱/۹۱۸	۵۰

دشارژ		شارژ	
مقدار ولتاژ ولت	زمان ثانیه	مقدار ولتاژ ولت	زمان ثانیه