فصل ۷

خازن

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ خازن را تعریف کند.

۲ــ ساختمان خازن را شرح دهد.

۳ــ ظرفیت خازن را تعریف کند.

۴ــ عوامل فیزیکی مؤثر در ظرفیت خازن را شرح دهد.

۵ــ ظرفیت خازن را محاسبه کند.

۶ــ مفهوم شارژ و دشارژ خازن را توضیح دهد.

۷ــ ثابت زمانی خازن را شرح دهد.

۸ــ مشخصات مهم در انتخاب خازن را بیان کند.

۹ــ ظرفیت خازن معادل مدارهای سری و موازی خازنی را محاسبه کند.

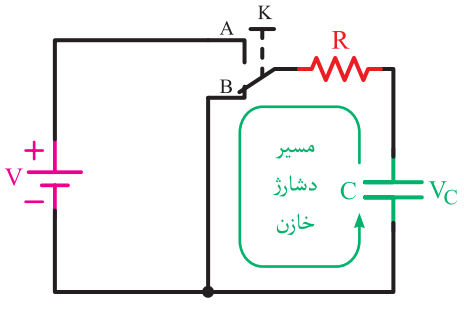
۱۰ــ عملکرد خازن را در جریان مستقیم و متناوب شرح دهد.

۱۱ــ راکتانس خازنی را در مدارات محاسبه کند.

۱۲ــ اختلاف فاز ولتاژ و جریان در مدار خازنی را با رسم شکل موج‌های ولتاژ و جریان و دیاگرام برداری تشریح کند.

۱۳ــ انواع خازن را نام ببرد.

۱۴ــ کاربرد خازن‌ها را در موتورهای الکتریکی شرح دهد.



سیمای فصل ۷

- ـ خازن
- ـ ساختمان خازن
- ـظرفیت خازن
- ـ عوامل فیزیکی مؤثر در ظرفیت خازن
- ـ شارژ و دشارژ خازن
- ـ ثابت زمانی خازن
- ـ انتخاب خازن
- ـاتصال خازن‌ها
  - ـاتصال سری خازن‌ها
  - ـاتصال موازی خازن‌ها
- ـ عملکرد خازن
  - ـ خازن در جریان مستقیم
  - ـ خازن در جریان متناوب
  - ـ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در مدار خازنی
- ـانواع خازن
- ـکاربرد خازن‌ها

آشنایی با دانشمندان

فارادی

(Faraday, Michael/ ۱۸۶۷ـ۱۷۹۱)

فارادی، فیزیک‌دان و شیمی‌دان انگلیسی، شاگرد یک صحاف بود و به علوم علاقهٔ زیادی داشت. او در کلاس‌های درس همفری دیوی، شیمی‌دان معروف آن زمان، حضور می‌یافت و با یادداشت‌هایی که آماده می‌کرد، چنان بر دیوی تأثیر گذاشت که از سوی استاد به عنوان دست‌یار در آزمایشگاه سلطنتی منصوب شد. سرانجام فارادی جانشین دیوی در مدیریت آزمایشگاه سلطنتی شد. اولین پژوهش‌های فارادی در شیمی بود. اما کمی بعد به الکتریسیته و مغناطیس روی آورد و کمک زیادی به پیش‌برد آن علوم کرد. او با انجام آزمایش‌های منظم توانست پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی را کشف کند. با این‌که فارادی در اصل یک آزمایشگر بود ولی با معرفی مفهوم میدان و تشخیص این‌که میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را می‌توان توسط این خطوط نشان داد، کمک‌های زیادی به درک بهتر مفهوم میدان کرد. به پاس خدمات او یکای ظرفیت خازن را در سیستم بین‌المللی SI با فاراد(F) نشان می‌دهند.

۷ــ خازن

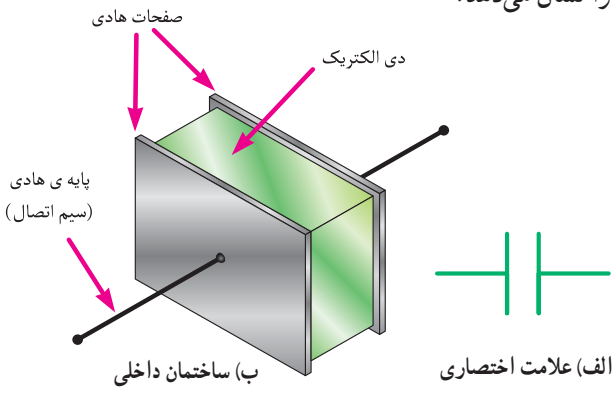
۱ــ۷ــ خازن[۱]

خازن وسیله‌ای است که می‌تواند مقداری الکتریسیته را به‌صورت بارهای الکتریکی در خود ذخیره کند، همان‌گونه که یک مخزن آب برای ذخیره‌کردن آب مورداستفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۱ــ۷ تصویر ظاهری تعدادی از انواع خازن‌ها، که در تأسیسات برقی کاربرد زیادی دارند، نشان داده شده است.

شکل ۱ــ۷ــ نمونه‌های مختلف خازن

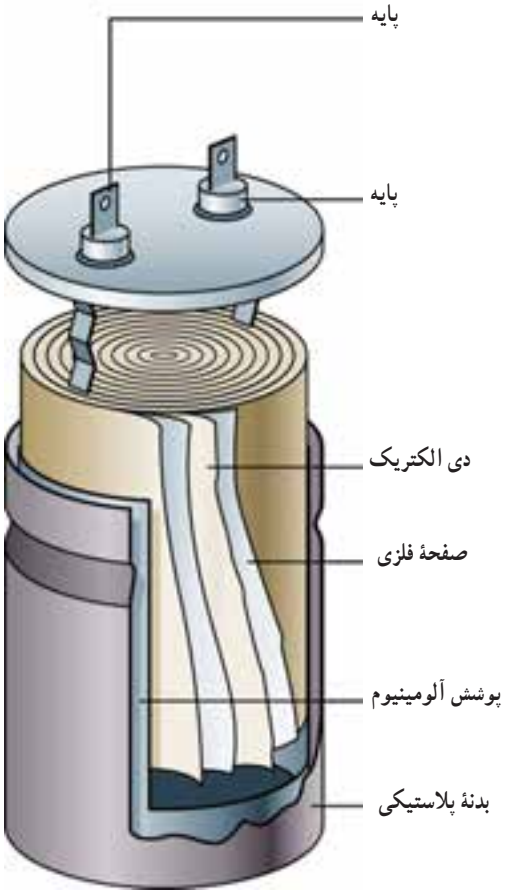
۲ــ۷ــ ساختمان خازن

خازن‌ها به اَشکال مختلف ساخته می‌شوند. متداول‌ترین آن‌ها خازن‌های مسطحی هستندکه از دو صفحهٔ هادی، که بین آن‌ها عایقی قرار دارد، تشکیل می‌شوند. صفحات هادی نسبتاً بزرگ هستند و در فاصلهٔ خیلی نزدیک از یکدیگر قرار دارند. شکل ۲ــ۷ طرح سادهٔ یک خازن مسطح و علامت اختصاری آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲ــ۷ــ ساختمان داخلی و علامت اختصاری خازن

صفحات خازن معمولاً از ورقه‌های نازک از جنس آلومینیوم، روی یا نقره ساخته می‌شوند، عایق به کار رفته بین صفحات خازن را دی‌الکتریک گویند. این مادهٔ عایق می‌تواند هوا، خلأ، کاغذ، شیشه، میکا، روغن و ... باشد. معمولاً خازن‌ها را براساس مادهٔ دی‌الکتریک آن نام‌گذاری می‌کنند، مانند خازن کاغذی، خازن روغنی، خازن الکترولیتی شکل ۳ــ۷ ساختمان ظاهری یک خازن الکترولیتی را نشان می‌دهد.



شکل ۳ــ۷ــ ساختمان ظاهری خازن

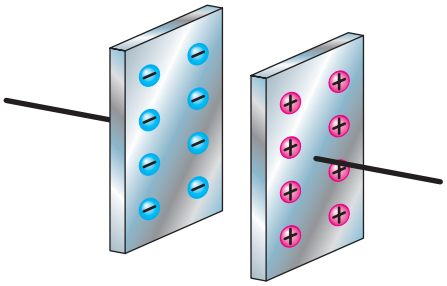
۳ــ۷ــ ظرفیت خازن

ظرفیت یک خازن که آن را با C نمایش می‌دهند، نشان‌دهندهٔ میزان توانایی یک خازن در ذخیره‌کردن بار الکتریکی است. بنا به تعریف، ظرفیت خازن برابر است با مقدار باری که باید روی یکی از صفحات خازن ذخیره شود تا پتانسیل آن نسبت به صفحهٔ

۱ــ Capacitor

دیگر به اندازهٔ یک ولت افزایش یابد. به عبارت دیگر خارج قسمت بار الکتریکی (Q) ذخیره شده روی هر یک از صفحات خازن بر اختلاف پتانسیل (V) بین دو صفحه را «ظرفیت خازن» گویند. بنابراین :

$$C = \frac{Q}{V} \quad (1)$$



شکل ۴ــ۷

که در آن :

C ــ ظرفیت خازن (برحسب فاراد)؛

Q ــ مقدار بار الکتریکی ذخیره شده بر روی هر یک از صفحات خازن (برحسب کولن[1])؛

V ــ اختلاف پتانسیل بین دو صفحهٔ خازن (برحسب ولت) است.

واحد ظرفیت «فاراد» است. فاراد ظرفیت خازنی است که اگر به ولتاژ یک ولت متصل شود یک کولن بار الکتریکی روی صفحات آن ذخیره می‌شود. چون فاراد واحد بسیار بزرگی است، در عمل از واحدهای کوچک‌تر مانند میکروفاراد استفاده می‌شود، که آن را با μF نشان می‌دهند.

$$1\,\mu F = 1 \times 10^{-6}\,F$$

مثال : اگر به دو سر یک خازن ولتاژ ۲۲۰ ولت وصل کنیم باری معادل ۲۲۰ کولن را ذخیره می‌کند. ظرفیت این خازن چند میکرو فاراد است؟

حل :

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{220\,(C)}{220\,(V)} = 1F \qquad 1F = 10^{+6}\,\mu F$$

مثال : خازنی با ظرفیت ۴۰ میکرو فاراد را به ولتاژ ۵۰ ولت اتصال می‌دهیم. مقدار بار ذخیره شده چند کولن است؟

حل :

$$Q = C \times V = 40\,(\mu F) \times 50\,^{(V)} = 2000\,\mu C$$

$$2 \times 10^{3}\,\mu C \quad 2 \times 10^{3} \times 10^{-6}\,C \quad 2 \times 10^{-3}\,C$$

مثال : به دو سر یک خازن ۱۰ میکروفاراد چه ولتاژی بدهیم تا باری معادل ۱۰ میکرو کولن در آن ذخیره شود؟

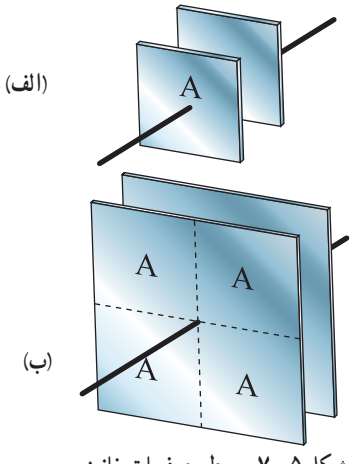
حل :

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{10\,(\mu C)}{10\,(\mu F)} \quad V = 1 \text{ ولت}$$

۴ــ۷ــ عوامل فیزیکی مؤثر در ظرفیت خازن

در ظرفیت یک خازن عوامل زیر مؤثرند :

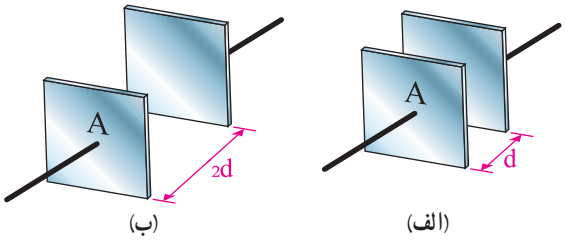
الف) مساحت صفحات خازن (A) : هر چه سطح صفحات بیش‌تر باشد، بار الکتریکی بیش‌تری در خود ذخیره می‌کند. در نتیجه ظرفیت آن نیز بیش‌تر خواهد بود. شکل ۵ــ۷ ظرفیت دو خازن الف و ب را با هم مقایسه می‌کند. چون سطح صفحات خازن ب، چهار برابر سطح صفحات خازن الف است، ظرفیت خازن ب چهار برابر ظرفیت خازن الف خواهد بود.



شکل ۵ــ۷ــ سطح صفحات خازن

۱ــ کولن واحد بار الکتریکی است و مقدار آن برای ۱ کولن برابر با $6/28 \times 10^{18}$ الکترون است.

ب) فاصله بین صفحات خازن (d) : ظرفیت خازن با فاصلهٔ صفحات آن رابطهٔ عکس دارد. یعنی هر چه فاصلهٔ بین صفحات خازن بیش‌تر باشد، ظرفیت خازن کم‌تر است. شکل ۶ــ۷ ظرفیت دو خازن الف و ب را با هم مقایسه می‌کند. چون فاصلهٔ صفحات خازن ب دو برابر صفحات خازن الف است، بنابراین ظرفیت خازن الف دو برابر ظرفیت خازن ب است.



(ب) (الف)

شکل ۶ــ۷ــ فاصلهٔ بین صفحات خازن

امروزه خازن‌هایی با فاصلهٔ بسیار کوچک ساخته می‌شود که می‌توانند ولتاژهای بزرگی تا چند صد ولت را نیز تحمل کنند.

ج) ضریب دی‌الکتریک (K) : جنس دی‌الکتریک بر ظرفیت خازن اثر دارد. هر چه مادهٔ به کار رفته عایق‌تر باشد ظرفیت خازن بیش‌تر خواهد شد. در جدول ۱ــ۷ ضریب دی‌الکتریک عایق مورد استفاده در ساخت خازن آمده است.

جدول ۱ــ۷ــ ضریب دی‌الکتریک چند نوع عایق

نوع عایق	ضریب دی‌الکتریک K
هوا	۱
تفلون	۲
کاغذ آغشته به پارافین	۲/۵
روغن	۴
میکا	۵
اکسید آلومینیم	۷
شیشه	۷/۵
اکسید تانتالیُم	۲۶
سرامیک	۱۲۰۰

همان‌گونه که گفته شد ظرفیت خازن با سطح صفحات خازن با ظرفیت رابطهٔ مستقیم و با فاصلهٔ بین صفحات رابطهٔ عکس دارد، در نتیجه برای ظرفیت خازن می‌توان رابطهٔ زیر را نوشت :

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

که در آن :

C : ظرفیت خازن بر حسب فاراد

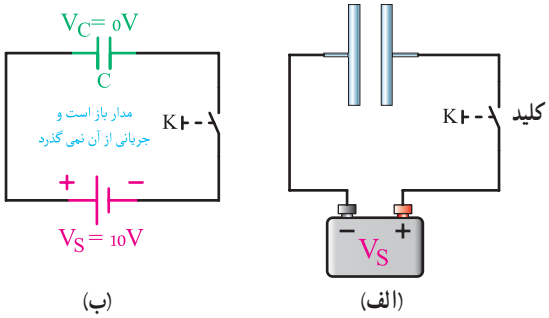
A : مساحت سطح صفحات بر حسب متر مربع m^2

d : فاصله دو صفحه خازن بر حسب متر m

K : ضریب دی‌الکتریک بر حسب $\frac{F.m}{m^2}$

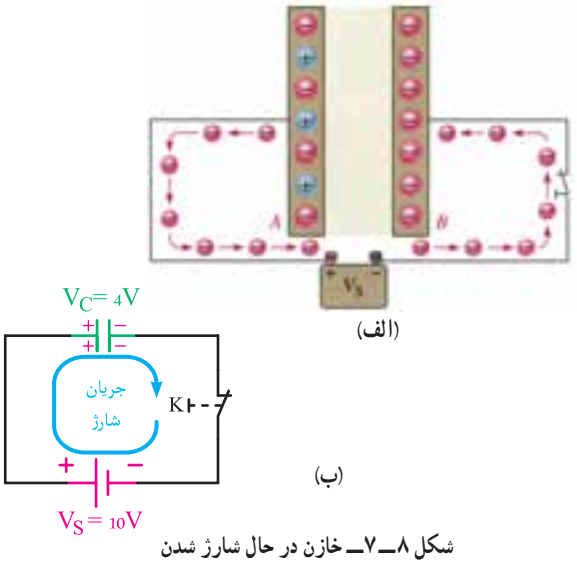
۵ــ۷ــ شارژ و دشارژ خازن

الف) شارژ : برای این که خازن شارژ شود، یعنی انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کند باید آن را به یک اختلاف پتانسیل (ولتاژ) وصل کرد. این ولتاژ به وسیلهٔ یک باتری تأمین می‌شود. قطب مثبت باتری به یک صفحه و قطب منفی باتری به صفحهٔ دیگر خازن وصل می‌شود. قبل از اتصال صفحات خازن به باتری (وصل کلید)، این صفحات خنثا هستند و هیچ انرژی‌ای در خازن ذخیره نخواهد شد (شکل ۷ــ۷).



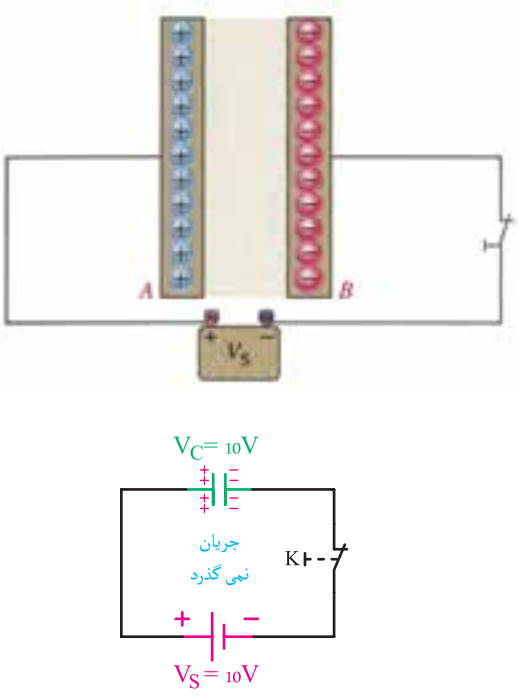
شکل ۷ــ۷ــ خازن قبل از اتصال به منبع ولتاژ خنثاست.

با بستن کلید، الکترون‌ها از قطب منفی باتری به طرف صفحه‌ای جاری می‌شوند که به این قطب متصل است و در آن تراکم الکترون یا بار منفی ایجاد می‌کنند. در همین لحظه، قطب مثبت باتری همان تعداد الکترون را از صفحه‌ای جذب می‌کنند که به این قطب متصل است. این صفحه کم‌بود الکترون یا بار مثبت پیدا می‌کند (شکل ۸ــ۷).



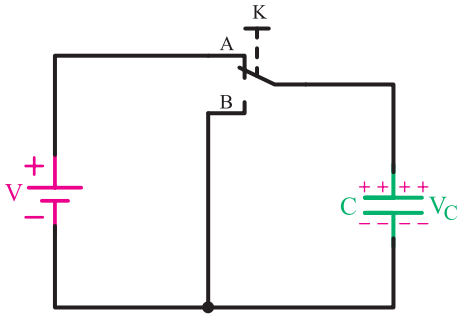
شکل ۸ــ۷ــ خازن در حال شارژ شدن

وقتی خازن در حال شارژشدن است، الکترون‌ها از طریق سیم رابط به طرف قطب مثبت باتری حرکت می‌کنند و وارد باتری می‌شوند و از قطب منفی خارج می‌گردند. وارد و خارج شدن الکترون‌ها از صفحات خازن، میدان الکتریکی ساکن را بالا می‌برد و سبب ایجاد ولتاژی در خلاف جهت ولتاژ اِعمال شده به دو سر خازن می‌شود. ولتاژ ایجاد شده در خازن با ولتاژ باتری مخالفت می‌کند. هرچه ولتاژ دو سر خازن بیش‌تر می‌شود ولتاژ مؤثر مدار کم‌تر می‌شود و در نتیجه باعث کم‌شدن شدت جریان مدار می‌گردد. هرگاه ولتاژ خازن با ولتاژ باتری برابر شود، جریان در مدار متوقف می‌شود. صفر شدن جریان در مدار نشانهٔ شارژ کامل خازن است (شکل ۹ــ۷).



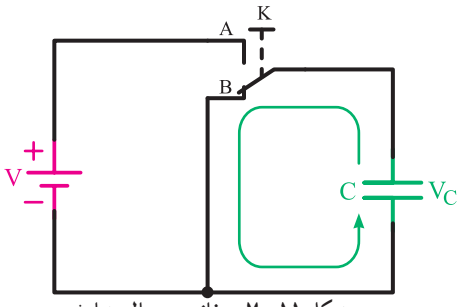
شکل ۹ــ۷ــ خازن در وضعیت شارژ کامل

ب) دشارژ : یک خازن شارژ شده باید شارژ خود را به مدت نامحدودی نگه دارد. در حالی‌که این‌گونه نیست و با جداشدن خازن از منبع تغذیه دیر یا زود خازن شارژ خود را از دست می‌دهد. عمل از دست‌دادن شارژ را دشارژ شدن می‌نامند. شکل ۱۰ــ۷ خازن را در وضعیت شارژ کامل نشان می‌دهد.



شکل ۱۰ــ۷ــ خازن در وضعیت شارژ کامل جریان نمی‌گذرد

برای دشارژ سریع خازن لازم است که پس از جداکردن منبع ولتاژ از خازن، یک مسیر هادی بین دو صفحهٔ خازن ایجاد شود. با ایجاد این مسیر الکترون‌های صفحهٔ منفی به طرف پتانسیل مثبت در صفحهٔ مثبت جاری می‌شوند و تبادل الکترون آن قدر ادامه می‌یابد تا صفحات خنثا شوند. در شکل ۱۱ــ۷ با تغییر وضعیت کلید و قرارگیری آن در حالت B دو صفحهٔ خازن با یک سیم به یکدیگر اتصال پیدا می کنند و عمل دشارژ انجام می گیرد.

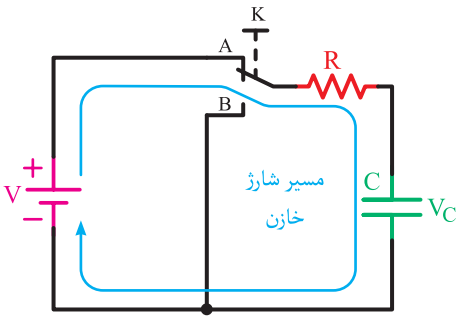


شکل ۱۱ــ۷ــ خازن در حال دشارژ

کاربرد : کاربردهای شارژ و دشارژ خازن می‌توان به ایجاد شوک الکتریکی در اتاق عمل یا فلاش دوربین‌های عکاسی اشاره کرد.

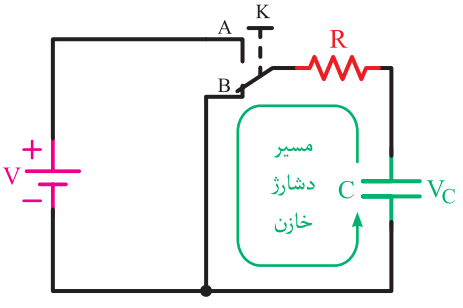
۶ــ ۷ ــ ثابت زمانی خازن

اگر مداری شامل یک مقاومت اهمی و یک خازن را مطابق شکل ۱۲ــ۷، که به صورت سری بسته شده‌اند، به یک منبع ولتاژ DC وصل کنیم، خازن فوراً (شارژ) نمی‌شود و مدت زمانی طول می کشد. زمان شارژ به مقدار مقاومت (R) سری شده با خازن و ظرفیت خازن (C) بستگی دارد.



شکل ۱۲ــ۷ــ مسیر شارژ خازن دشارژ

هم‌چنین اگر پایه‌های یک خازن شارژ شده را به وسیلهٔ یک مقاومت اهمی به یکدیگر وصل کنیم شکل ۱۳ــ۷. خازن به یک‌باره دشارژ (خالی) نمی‌شود و مدت زمانی طول می کشد. این زمان به مقدار مقاومت سری شده با خازن (R) و ظرفیت خازن (C) بستگی دارد.



شکل ۱۳ــ۷ــ مسیر دشارژ خازن

به مدت زمانی که طول می‌کشد تا خازن شارژ کامل یا دشارژ کامل شود «ثابت زمانی خازن» می‌گویند. که از حاصل ضرب R در C به‌دست می‌آید.

۷ــ۷ــ انتخاب خازن

در انتخاب یک خازن توجه به مشخصه‌های زیر لازم است :

الف) ظرفیت : اولین موردی که در انتخاب یک خازن باید به آن توجه کرد ظرفیت آن است. مقدار ظرفیت بر روی بدنهٔ خازن نوشته می‌شود. در شکل ۱۴ــ۷ مقدار ظرفیت خازن (۲۵μF) توسط کارخانهٔ سازنده بر روی بدنهٔ آن حک شده است. بسیار اتفاق می‌افتد که مقدار ظرفیت خازن مورد نیاز ما در حوزهٔ خازن‌های استاندارد موجود در بازار نیست. به همین دلیل باید به کمک چند خازن، مقدار ظرفیت خازن معادل را بسازیم. توجه به ظرفیت خازن در انتخاب و ساختن خازن معادل بسیار مهم است.

شکل ۱۴ــ۷

ب) ولتاژ کار : به حداکثر ولتاژی که می‌توان به خازن اِعمال کرد، به‌طوری که عایق دی‌الکتریک آن آسیب نبیند، «ولتاژ کار خازن» می‌گویند. توجه به مقدار این ولتاژ بسیار مهم است. مقدار ولتاژ اِعمال شده به خازن باید مساوی یا کم‌تر از مقدار ولتاژ کار خازن باشد. زیرا اعمال ولتاژ بیش‌تر از این مقدار باعث شکستن مولکول‌های عایق دی‌الکتریک می‌شود و به ایجاد قوس الکتریکی بین صفحات خازن و دی‌الکتریک منجر خواهد شد و خازن دیگر قابل استفاده نخواهد بود، مقدار ولتاژ کار را روی خازن می‌نویسند (۴۵۰ VAs) یا توسط کارخانهٔ سازنده در برگهٔ مشخصات (کاتالوگ) آن درج می‌کنند.

شکل ۱۵ــ۷

ج) تُلرانس : به حداکثر انحراف مجاز مقدار ظرفیت خازن نسبت به ظرفیت اسمی آن تُلرانس گویند. همان‌طور که در شکل ۱۶ــ۷ مشاهده می‌کنید ظرفیت این خازن ۲۵ میکرو فاراد است اما براثر عواملی چون دما ممکن است مقدار ظرفیت تغییر کند. برای مثال در این خازن تلرانس ۵ درصد است؛ یعنی ممکن است ظرفیت به مقدار ۵ درصد افزایش یابد (۲۶/۲۵ ۱/۲۵ ۲۵) یا ۵ درصد کاهش یابد (۲۳/۷۵ ۱/۲۵ ۲۵).

شکل ۱۶ــ۷

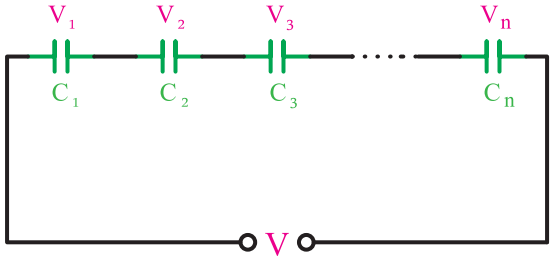
۸ــ۷ــ اتصال خازن‌ها

اگر خازنی مورد نیاز باشد که در محدودهٔ ظرفیت‌های

استاندارد نباشد، می‌توان با متصل کردن چند خازن به صورت سری، موازی یا ترکیبی، خازن موردنظر را به‌دست آورد. اصطلاحاً به خازنی که می‌تواند جای‌گزین تمام خازن‌های مدار شود «خازن معادل» گویند، که با استفاده از رابطهٔ (۳) می‌توان آن را به دست آورد.

$$C_T = \frac{Q_T}{V_T} \quad (۳)$$

۱ــ۸ــ۷ــ اتصال سری خازن‌ها : هرگاه دو یا n خازن مانند شکل ۱۷ــ۷ به صورت متوالی اتصال یابند این نوع اتصال را «سری» گویند (مانند اتصال سری مقاومت‌ها).



شکل ۱۷ــ۷

روابط حاکم بر خازن‌های سری به صورت زیر است :

الف) در خازن‌های سری بار همهٔ خازن‌ها یک‌سان است.

$$Q_T = Q_۱ = Q_۲ = Q_۳ = ... = Q_n \quad (۴)$$

ب) در مدار سری ولتاژ منبع تغذیه برابر ولتاژ مجموع تک تک عناصر آن است.

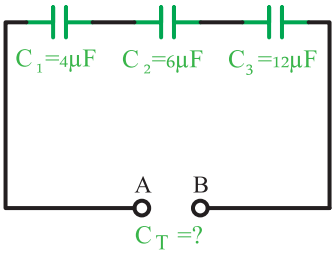
$$V_T = V_۱ + V_۲ + V_۳ + ... + V_n \quad (۵)$$

ج) ظرفیت خازنِ معادل در مدار سری را از رابطهٔ (۶) می‌توان به دست آورد.

$$\frac{۱}{C_T} = \frac{۱}{C_۱} + \frac{۱}{C_۲} + \frac{۱}{C_۳} + ... + \frac{۱}{C_n} \quad (۶)$$

ظرفیت خازن معادل در مدارهای سری، مانند رابطهٔ مربوط به مقاومت‌های موازی است. پس لازم است در پایان محاسبه، مقدار $\frac{۱}{C_T}$ را معکوس نمود تا ظرفیت C_T را به‌دست آورد.

مثال : ظرفیت خازنِ معادل از دو نقطهٔ A و B در شکل (۱۸ــ۷) چند میکروفاراد است؟



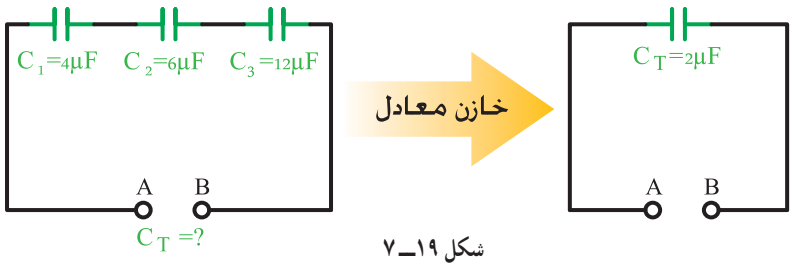
شکل ۱۸ــ۷

حل :

$$\frac{۱}{C_T} = \frac{۱}{C_۱} + \frac{۱}{C_۲} + \frac{۱}{C_۳}$$

$$\frac{۱}{C_T} = \frac{۱}{۴} + \frac{۱}{۶} + \frac{۱}{۱۲} = \frac{۳+۲+۱}{۱۲} = \frac{۶}{۱۲}$$

$$C_T = \frac{۱۲}{۶} = ۲\mu F$$



شکل ۱۹ــ۷

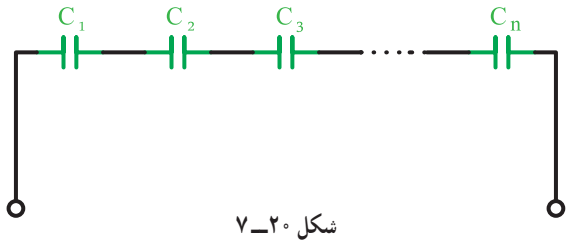
نتایج

۱ــ با اتصال سری سه خازن ۴، ۶ و ۱۲ میکروفارادی می‌توان خازن ۲ میکروفارادی به‌دست آورد.

۲ــ در اتصال سری خازن‌ها ظرفیت معادل از ظرفیت کوچک‌ترین خازن کم‌تر است.

❊ حالات خاص خازن‌های سری

۱ــ اگر n خازن با ظرفیت‌ها مساوی به طور سری قرار گیرند ظرفیت معادل آن به صورت زیر محاسبه می‌شود.



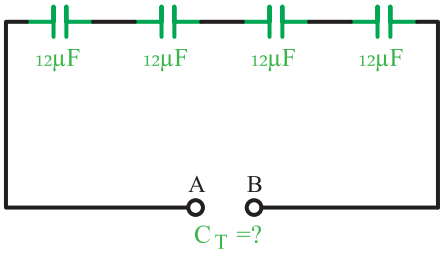
شکل ۲۰ــ۷

$$C_T = \frac{C}{n} \qquad (۷)$$

C ــ ظرفیت یک خازن n ــ تعداد خازن‌ها

C_T ــ ظرفیت خازن معادل

مثال : ظرفیت خازن معادل از دو نقطهٔ A، B مدار شکل ۲۱ــ۷ چند میکرو فاراد است؟



شکل ۲۱ــ۷

حل : به دلیل این که ظرفیت خازن‌ها مساوی است ظرفیت یکی از آن‌ها را به تعداد خازن‌ها تقسیم می‌کنیم.

$$C_T = \frac{C}{n} = \frac{۱۲}{۴} = ۳\mu F$$

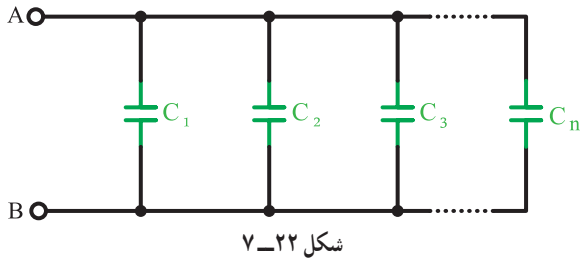
۲ ــ اگر دو خازن به طور سری بسته شوند می‌توانیم از رابطهٔ ساده شدهٔ نهایی به صورت زیر استفاده کنیم.

$$\frac{۱}{C_T} = \frac{۱}{C_۱} + \frac{۱}{C_۲} \Rightarrow \frac{۱}{C_T} = \frac{C_۱ + C_۲}{C_۱ \times C_۲}$$

$$C_T = \frac{C_۱ \times C_۲}{C_۱ + C_۲} \qquad (۸)$$

توجه : درصورت به کارگیری خازن‌های الکترولیتی، در موقع اتصال آن‌ها به قطب‌های خازن توجه کنید. ضمناً این خازن‌ها را پیش از اتصال در مدار، ابتدا تخلیه (دشارژ) کنید.

۲ــ۸ــ۷ــ اتصال موازی خازن‌ها : هرگاه دو یا n خازن مطابق شکل ۲۲ــ۷ به یکدیگر وصل شوند این اتصال را «موازی» گویند.



شکل ۲۲ــ۷

روابط حاکم بر این مدارها به صورت زیر است.

الف) در خازن‌های موازی بار کل برابر مجموع بار تک‌تک خازن‌هاست.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + ... + Q_n \quad (۹)$$

ب) در مدار موازی ولتاژ همهٔ عناصرِ برابر ولتاژ منبع تغذیه است.

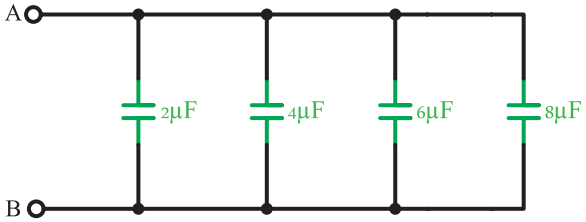
$$V_T = V_1 = V_2 = V_3 = ... = V_n \quad (۱۰)$$

ج) ظرفیت خازنِ معادل در مدار موازی را از رابطهٔ (۱۱) می‌توان به‌دست آورد.

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + ... + C_n \quad (۱۱)$$

همان‌گونه که از رابطهٔ نهایی مشخص است ظرفیت خازنِ معادل در مدارهای موازی مانند رابطهٔ مربوط به مقاومت‌های سری است.

مثال : ظرفیت خازنِ معادل از دو نقطهٔ A و B در شکل ۷ــ۲۳ چند میکروفاراد است؟



شکل ۷ــ۲۳

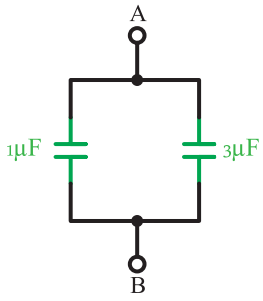
حل :

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 = 2 + 4 + 6 + 8 = 20\mu F$$

مثال : خازن‌های ۱ و ۱۲ و ۶ و ۳ میکرو فارادی موجود است اما خازن موردنظر ما با ظرفیت ۴ میکروفاراد در دسترس نیست. چگونه از میان این خازن‌ها، خازنِ معادل را می‌سازید؟

حل :

روش اول : می‌توانیم طبق شکل مقابل دو خازن ۱ و ۳ میکروفارادی را با هم موازی کنیم. در نتیجه داریم :



شکل ۷ــ۲۴

$$C_T = C_1 + C_2 = 1 + 3 = 4\mu F$$

روش دوم : می‌توانیم طبق شکل زیر دو خازن ۱۲ و ۶ میکروفارادی را با هم سری کنیم. در نتیجه داریم :

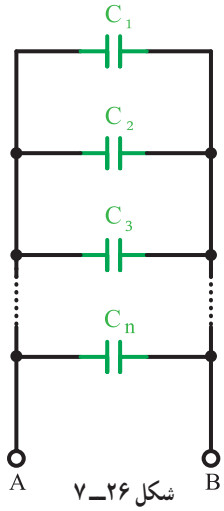
شکل ۷ــ۲۵

$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{6 \times 12}{6 + 12} = 4\mu F$$

همان‌گونه که از حل دو روش ملاحظه می‌کنید، نتیجه دو روش یک‌سان است.

❊ حالت خاص خازن‌های موازی

ــ اگر n خازن با ظرفیت‌های مساوی به‌طور موازی قرار گیرد ظرفیت معادل آن به صورت زیر محاسبه می‌شود.



شکل ۷ــ۲۶

$$C_T = n.C \quad (۱۲)$$

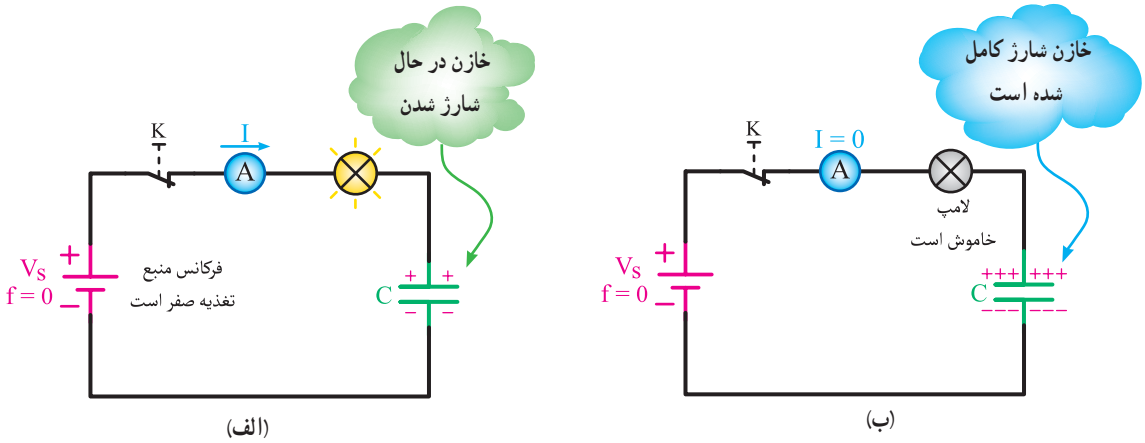
C ــ ظرفیت یک خازن

n ــ تعداد خازن‌ها

C_T ــ ظرفیت خازنِ معادل

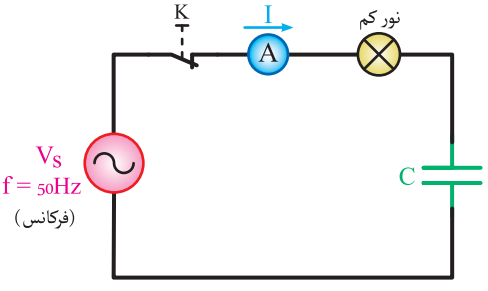
۹ــ۷ــ عملکرد خازن

۱ــ۹ــ۷ــ خازن در جریان مستقیم : همان‌گونه که گفته شد، اگر یک خازن را مطابق شکل ۲۷ــ۷ــ الف به ولتاژ مستقیم وصل کنیم مشاهده می‌کنیم پس از بسته‌شدن کلید K، خازن بلافاصله شارژ می‌شود، یعنی ولتاژ دو سر آن برابر ولتاژ منبع تغذیه می‌گردد. در نتیجه جریان گذرنده از آن به صفر می‌رسد. برای مشاهده عینی این پدیده می‌توانید یک لامپ کوچک را با خازن به صورت سری قرار دهید و وضعیت لامپ را پس از وصل کلید بررسی کنید (شکل ۲۷ــ۷ــ ب). عملکرد مدار به این صورت است که پس از وصل کلید جریان زیادی از مدار عبور می‌کند و لامپ برای یک لحظهٔ کوتاه روشن و سپس خاموش می‌شود. علت خاموش‌شدن لامپ این است که پس از وصل کلید خازن در زمان کوتاهی شارژ کامل می‌شود و ولتاژ دو سر آن برابر ولتاژ باتری (V_S) می‌شود. در آن حالت چون اختلاف پتانسیل بین خازن و منبع تغذیه وجود ندارد جریان عبوری از مدار صفر خواهد شد.



شکل ۲۷ــ۷

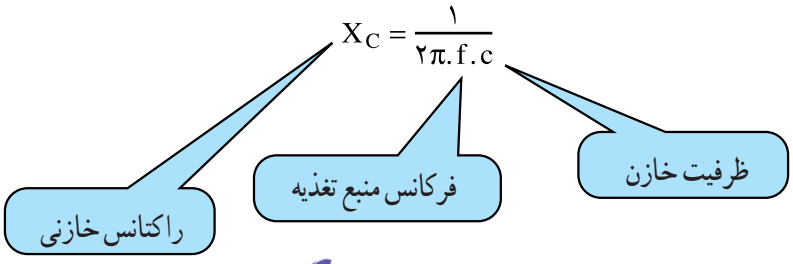
۲ــ۹ــ۷ــ خازن در جریان متناوب : اما اگر همین کار را توسط منبع ولتاژ متناوب سینوسی در دو سر خازن انجام دهیم، مشاهده می‌کنیم پس از وصل کلید آمپرمتر مقدار صفر را نشان نمی‌دهد و لامپ نیز خاموش نیست اما با نور کم‌تری، نسبت به نور اصلی خود، روشن می‌شود. از این مطلب می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد خازن در جریان متناوب نسبت به جریان مستقیم متفاوت است و در واقع خازن در جریان متناوب می‌تواند جریان عبوری از مدار را محدود کند (شکل ۲۸ــ۷).



شکل ۲۸ــ۷

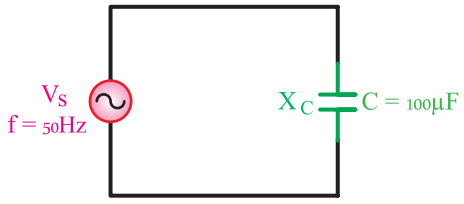
به مقدار مقاومتی که خازن در مقابل عبور جریان متناوب از خود نشان می‌دهد، «راکتانس (عکس‌العمل)خازنی» می‌گویند. این مقاومت باعث محدود شدن جریان مدارهای خازنی در جریان متناوب می‌شود. راکتانس خازنی را با X_C نشان می‌دهند و مقدار آن از رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

$$X_C = \frac{1}{2\pi . f . c}$$



در رابطهٔ فوق X_C راکتانس خازن برحسب اهم، f فرکانس ولتاژ یا جریان متناوب برحسب هرتز، C ظرفیت خازن برحسب فاراد است.

مثال : در مدار شکل زیر مقدار مقاومت خازنی را به‌دست آورید.

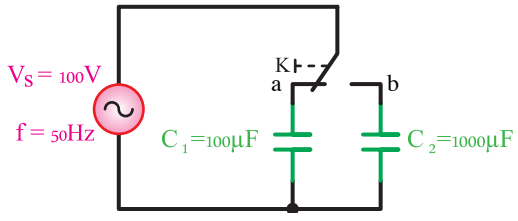


شکل ۲۹ــ۷

حل :

$$X_c = \frac{1}{2\pi.f.C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 100 \times 10^{-6}} = 31/8\Omega$$

مثال : جریان عبوری از مدار زیر در کدام حالت کلید (a یا b) بیش‌تر است؟



شکل ۳۰ــ۷

حل :

کلید در وضعیت a : در این حالت خازن ۱۰۰ میکروفاراد به منبع تغذیه ۱۰۰ ولتی متصل است. برای به‌دست‌آوردن جریان، ابتدا باید مقدار راکتانس خازنی را محاسبه نمود :

$$X_c = \frac{1}{2\pi.f.C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 100 \times 10^{-6}} = 31/8\Omega$$

با استفاده از قانون اهم، مقدار جریان به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$I = \frac{V}{X_c} = \frac{100}{31/8} = 3/14A$$

کلید در وضعیت b : مشابه وضعیت قبل، راکتانس خازنی و مقدار جریان را در این حالت نیز محاسبه می‌کنیم. در این حالت خازن ۱۰۰۰ میکرو فارادی دو سر منبع تغذیه قرار می‌گیرد، لذا داریم.

$$X_c = \frac{1}{2\pi.f.C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 1000 \times 10^{-6}} = 3/18\Omega$$

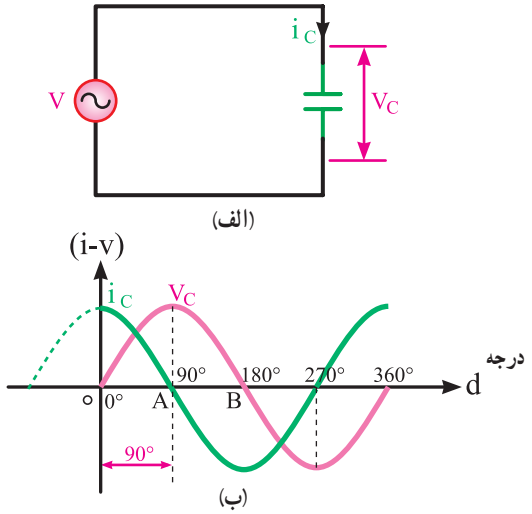
با استفاده از قانون اهم، مقدار جریان به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$I = \frac{V}{X_c} = \frac{100}{3/18} = 31/4A$$

۳ــ۹ــ۷ــاختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در مدار خازنی

: اگر در یک مدار الکتریکی با منبع جریان متناوب، فقط یک خازن وجود داشته باشد جریان عبوری از مدار به اندازهٔ ۹۰ درجه از ولتاژ دو سر آن جلوتر (پیش‌فاز) خواهد افتاد. در شکل ۳۱ــ۷ منحنی جریان گذرنده از خازن و ولتاژ دو سر خازن رسم

شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای تعیین میزان اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان خازن باید دو نقطهٔ مشابه از روی دو موج انتخاب کنیم (مانند دو نقطهٔ A و B) و سپس اختلاف بین این دو نقطهٔ شروع (صفر) را در نظر گرفت.



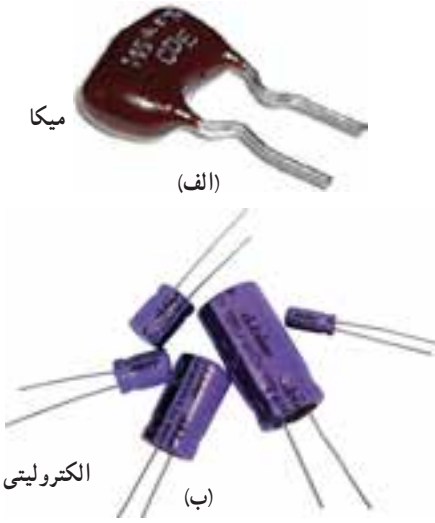
شکل ۳۱ــ ۷ــ منحنی ولتاژ و جریان خازن

۱۰ــ۷ــ انواع خازن

خازن‌ها انواع گوناگونی دارند و از لحاظ شکل و اندازه با یکدیگر متفاوت‌اند بعضی از خازن‌ها از روغن پرشده و حجیم‌اند. برخی دیگر بسیار کوچک و به اندازهٔ دانهٔ عدس‌اند. خازن‌ها برحسب ثابت‌بودن یا نبودن ظرفیت به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند :

- انواع خازن
  - ثابت
    - میکا
    - سرامیک
    - کاغذی
    - الکترولیتی
    - روغنی
  - متغیر
    - خازن هوا
    - خازن تریمر

الف) خازن ثابت : در خازن‌های ثابت، ظرفیت ثابت است و مقدار آن را پس از ساخت نمی‌توان تغییر داد. خازن‌های ثابت را معمولاً با جنس دی‌الکتریک آن نام‌گذاری می‌کنند. شکل ۳۲ــ۷ چند نمونه خازن ثابت را نشان می‌دهد.



شکل ۳۲ــ۷ــ چند نمونه خازن ثابت

ب) خازن متغیر : خازن متغیر خازنی است که ظرفیت آن را در هر لحظه می‌توان تغییر داد و ظرفیت موردنظر را تنظیم نمود. اساس کار خازن متغیر بر مبنای تغییر سطح مشترک صفحات یا تغییر ضخامت دی‌الکتریکی است. شکل ۳۳ــ ۷ چند نمونه خازن متغیر را نشان می‌دهد.

(الف)

(ب)

(ج)

شکل ۳۳ــ۷ــ چند نمونه خازن متغیر

۱۱ــ۷ــ کاربرد خازن‌ها

از خازن‌ها در زمینه‌های مختلفی هم‌چون راه‌اندازی الکتروموتورها، کاهش زاویه اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان (اصلاح ضریب قدرت)، مدارهای الکترونیکی مانند صافی‌ها استفاده می‌شود. در زیر به دو نمونه کاربرد خازن در الکتروموتورها اشاره شده است.

الف) الکتروموتور تک‌فاز با خازن راه‌انداز : خازن‌های به کار رفته در این‌گونه موتورها برای کار به مدت فقط چند ثانیه در هر دفعه راه اندازی طراحی شده‌اند. پس از این زمان، کلیدی (تابع دور) که با آن سری شده است، باز می‌شود و خازن را از مدار خارج می‌کند. به این خازن‌ها که فقط در طول مدت راه‌اندازی در مدار هستند خازن راه‌انداز می‌گویند. خازن راه‌انداز الکترولیتی است. این خازن روی بدنهٔ موتور نصب می‌شود و استوانه‌ای شکل است. شکل ۳۴ــ۷ یک الکتروموتور با خازن راه‌انداز را نشان می‌دهد.

شکل ۳۴ــ۷ــ الکتروموتور با خازن راه انداز

این‌گونه الکتروموتورها در کمپرسورها، سیستم‌های تهویهٔ مطبوع، پمپ‌ها و سردخانه‌ها کاربرد دارند.

ب) الکتروموتور تک‌فاز با خازن دائم : در این الکتروموتورها کلیدی برای خارج‌کردن خازن وجود ندارد و خازن به‌صورت دائم در مدار باقی می‌ماند. دی‌الکتریک این خازن روغن است. ظرفیت خازن‌های روغنی به کار رفته در این‌گونه الکتروموتورها ۲ تا ۴۰ میکروفاراد بوده که نسبت به خازن الکترولیتی چند صد میکروفاراد کم‌تر است. قرار داشتن خازن به‌صورت دائم در مدار، باعث کاهش اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان موتور می‌شود و در نتیجه ضریب قدرت موتور را افزایش می‌دهد. هم‌چنین باعث افزایش راندمان موتور خواهد شد. شکل ۳۵ــ۷ یک الکتروموتور با خازن دائم کار را نشان می‌دهد.

از این الکتروموتور در پنکه‌ها، ماشین لباسشویی و آب‌میوه گیری استفاده می‌شود.

شکل ۳۵ــ۷ــ الکتروموتور با خازن دائم کار

پرسش‌های فصل هفتم

◄پرسش‌های چهار گزینه‌ای

۱ــ وضعیت جریان عبوری از مدار یک خازن در شرایط شارژ کامل چگونه است؟

الف) حداکثر　　ب) صفر　　ج) دو برابر　　د) حداقل

۲ــ اگر ده خازن ۱۰ میکرو فارادی را به صورت سری ببندیم ظرفیت معادل چند میکروفاراد است؟

الف) ۱　　ب) ۱۰۰　　ج) ۱۰　　د) ۰/۱

۳ــ دشارژ کردن سریع خازن یعنی :

الف) قطع و وصل کلید موجود در مدار خازن

ب) اتصال کوتاه کردن دوپایهٔ خازن

ج) اعمال ولتاژ به دوسر خازن

د) تخلیهٔ میدان مغناطیسی صفحات خازن

۴ــذخیرهٔ بار الکتریکی در خازن به این معنی است که بار :

الف) در آن حرکت می‌کند.　　ب) پس از قطع برق از بین می‌رود.

ج) در صفحات آن تخلیه می‌شود.　　د) پس از قطع برق باقی می‌ماند.

۵ــ ظرفیت یک خازن عبارت است از :

الف) توانایی مقدار باری که خازن می‌تواند ذخیره کند؛

ب) میزان سطح مشترک صفحات خازن،

ج) توانایی عمل مقدار ولتاژی که به خازن وصل می‌شود،

د) میزان جریانی که از خازن عبور می‌کند.

۶ــ اگر ولتاژ دو سر خازن با ولتاژ منبع تغذیه برابر شود یعنی خازن ..... و جریان مدار ..... است.

الف) شارژ شده ــ حداکثر　　ب) دشارژ شده ــ حداکثر

ج) شارژ شده ــ صفر　　د) دشارژ شده ــ صفر

◄پرسش‌های پرکردنی

۷ــظرفیت خازنِ معادل در مدار سری از ظرفیت خازن‌های موجود در مدار ..... است.

۸ــمقدار بار الکتریکی ذخیره شده در خازن از رابطه ..... به دست می‌آید.

◄پرسش‌های درست و نادرست

۹ــ هر چه ضریب دی‌الکتریک مادهٔ عایق به کار رفته در خازن زیادتر باشد ظرفیت خازن بیش‌تر است.

درست ☐　نادرست ☐

۱۰ــ ظرفیت یک خازن با فاصلهٔ بین صفحات آن رابطهٔ مستقیم دارد.

درست ☐　نادرست ☐

◀پرسش‌های تشریحی

۱۱ــ ساختمان خازن را شرح دهید.

۱۲ــ شارژ و دشارژ خازن را توضیح دهید.

۱۳ــ ظرفیت خازن به چه عوامل فیزیکی بستگی دارد؟

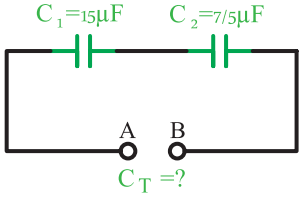
۱۴ــ ثابت زمانی خازن را تعریف و رابطه آن را بنویسید.

۱۵ــ مشخصات مهم در انتخاب خازن را بیان کنید.

۱۶ــ عملکرد خازن را در جریان متناوب شرح دهید.

۱۷ــ راکتانس خازنی چیست؟ رابطهٔ آن را بنویسید.

۱۸ــ در مدار شکل ۳۶ــ۷ مقدار ظرفیت کل را محاسبه کنید.



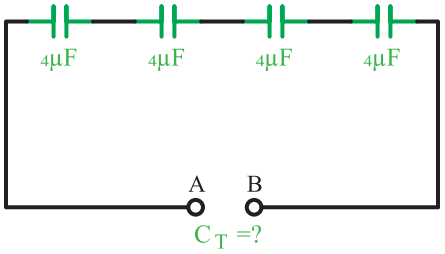
شکل ۳۶ــ۷

پاسخ‌ها :

الف) $5\mu F$

۱۹ــ در مدار شکل ۳۷ــ۷ مقدار ظرفیت کل چند میکرو فاراد است؟

پاسخ : $1\mu F$



شکل ۳۷ــ۷

۲۰ــ در یک خازن، ۳۴ میکرو کولن بار الکتریکی ذخیره شده است. اگر ولتاژ دو سر خازن ۱۰ ولت باشد، ظرفیت آن چند میکرو فاراد بوده است؟

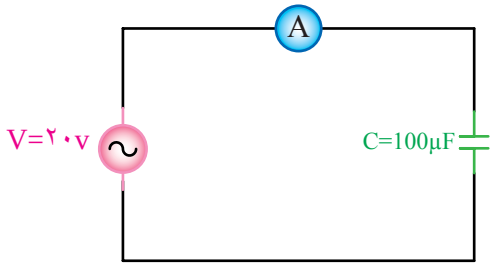
پاسخ : $3/4\,\mu F$

۲۱ــ اگر یکی از صفحات خازن را به اندازه $\frac{d}{2}$ به صفحهٔ دیگر نزدیک کنیم، ظرفیت آن چه تغییری می‌کند؟

پاسخ : دو برابر می‌شود C_2 $2C_1$

۲۲ــ در شکل ۳۸ــ۷ آمپرمتر ۱/۲۵۶ آمپر را نشان می‌دهد. فرکانس منبع چند هرتز است؟ $(\pi = ۳/۱۴)$

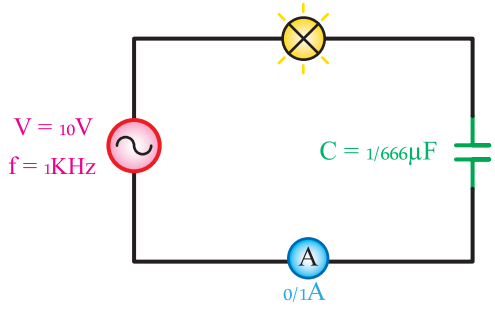
پاسخ : ۱۰۰Hz



شکل ۳۸ــ۷

۲۳ــ در شکل ۳۹ــ۷ اگر ظرفیت خازن دو برابر شود، جریان مدار و نور لامپ چه تغییری می‌کند؟ $(\pi = ۳)$

پاسخ : نور لامپ افزایش می‌یابد، I_A ۰/۲



شکل ۳۹ــ۷