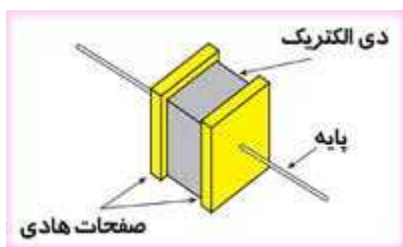


خازن چیست؟ خازن (Capacitor) المانی است که انرژی الکتریکی را توسط یک میدان الکترواستاتیک در خود ذخیره می کند و تحت شرایطی این انرژی الکتریکی را آزاد می کند . خازن ها به اشکال گوناگون ساخته می شوند که پر استفاده ترین آنها در صنایع برق و الکترونیک خازن های مسطح هستند . این نوع خازن ها از دو صفحه هادی که بین آنها ماده عایقی قرار گرفته است تشکیل می شوند . در شکل (1) ساختمان یک خازن مسطح و در شکل (2) علامت اختصاری آن نمایش داده شده است.



شکل 1



شکل 2

به صفحات خازن ، جوشن های خازن نیز می گویند که معمولا از آلومینیوم ، نقره ، قلع و روی ساخته می شوند . صفحات خازن در فاصله ای بسیار نزدیک به هم قرار می گیرند. عایق بین صفحات خازن معمولا از جنس هوا ، کاغذ ، میکا ، پلاستیک ، سرامیک ، اکسید آلومینیوم و اکسید تانتالیوم می باشد . به عایق بین صفحات خازن دی الکتریک می گویند . دی الکتریک ها انواع مختلفی دارند و با ضریب مخصوصی که نسبت به هوا سنجیده می شود ، معرفی می گردند . این ضریب را ضریب دی الکتریک می نامند و آن را با ϵ_r (اِپسیلن آر) نمایش می دهند . ضریب دی الکتریک هوا را 1 در نظر می گیرند . در جدول (1) مقدار ضریب دی الکتریک چند ماده عایق نمایش داده شده است.

نوع عایق	ضریب دی الکتریک
هوا	1
میکا	3 - 8
سرامیک	800 - 1200
پلی استر	2.5
اکسید آلومینیوم	7
اکسید تانتالیوم	26
کاغذ	2 - 6
شیشه	5.5 - 10

2 - 5	روغن
3 - 5	فیبر
3.4 - 4.2	کوارتز
2 - 2.2	پارافین

جدول 1

ضریب دی الکتریک هر ماده نشان دهنده این است که خاصیت دی الکتریکی آن ماده چند برابر خاصیت دی الکتریکی هوا است . به عنوان مثال وقتی گفته می شود ضریب دی الکتریک سرامیک 800 1200 - است منظور این است که خاصیت دی الکتریکی سرامیک 800 تا 1200 برابر بیشتر از خاصیت دی الکتریکی هوا می باشد .

حال که با ساختمان خازن آشنا شدید یک بار دیگر به تعریف خازن بر می گردیم . گفتیم که خازن المانی است که انرژی الکتریکی را توسط یک میدان الکترواستاتیک در خود ذخیره می کند و تحت شرایطی این انرژی را آزاد می کند . اما خازن چگونه می تواند چنین عملی را انجام می دهد ؟ برای پاسخ به این سوال ابتدا باید با مفاهیم شارژ و دشارژ خازن آشنا شوید .

شارژ و دشارژ خازن : قبل از اینکه به صفحات خازن ولتاژی اعمال شود ، هر یک از صفحات خازن از نظر بار الکتریکی خنثی هستند یعنی در هر یک از صفحات خازن تعداد الکترونها و پروتونها با هم برابر است . اما زمانی که یک منبع تغذیه DC به دو سر خازن متصل می شود الکترونها از قطب منفی منبع تغذیه به طرف صفحه ای از خازن که به آن قطب متصل است شروع به حرکت می کنند و در نتیجه تعداد الکترونهای آن صفحه افزایش می یابد و همزمان همان تعداد الکترون از صفحه دیگر خازن به طرف قطب مثبت منبع تغذیه شروع به حرکت می کنند و در نتیجه تعداد الکترونهای آن صفحه کاهش می یابد و به این ترتیب در اثر حرکت الکترونها ، جریانی در مدار جاری می شود و گفته می شود خازن در حال شارژ شدن است . مقدار جریان مدار با ولتاژ دو سر خازن نسبت عکس دارد یعنی هر چه خازن بیشتر شارژ می شود ، جریان مدار کاهش بیشتری می یابد . این روند تا آنجا ادامه می یابد که ولتاژ دو سر خازن با ولتاژ دو سر منبع تغذیه برابر شود و پس از آن حرکت الکترونها متوقف شده و شارژ شدن خازن پایان می پذیرد . یعنی خازن به اندازه ولتاژ منبع تغذیه DC شارژ می شود . همانطور که ملاحظه فرمودید در یک خازن شارژ شده یکی از صفحات خازن دارای بار منفی (تراکم الکترون) و صفحه دیگر دارای بار مثبت (تراکم پروتون) می شود و همانطور که می دانید بین بارهای ناهمنام نیروی جاذبه ای وجود دارد که این نیروی جاذبه سبب ایجاد یک میدان الکتریکی بین این بارها می شود و در نتیجه بین صفحات شارژ شده یک میدان الکتریکی ایجاد می گردد که به دلیل اینکه بارهای ساکن سبب ایجاد این میدان الکتریکی شده اند به آن میدان الکترواستاتیک گفته می شود . تحت تاثیر این میدان الکترونها تمایل دارند خود را از صفحه دارای بار منفی به صفحه دارای بار مثبت رسانده و با پروتونها ترکیب شوند ، اما دی الکتریک بین صفحات خازن مانع این امر می شود و به این ترتیب یک انرژی الکتریکی توسط میدان الکترواستاتیک در خازن ذخیره می شود . البته همواره تعداد کمی از الکترونها می توانند از دی الکتریک عبور کرده و خود را به بارهای مثبت صفحه مقابل برسانند و جریان خیلی ضعیفی را در دی الکتریک برقرار کنند که این جریان ، جریان نشستی خازن نامیده می شود و مقدار آن بستگی به نوع دی الکتریک دارد و اگر خازن شارژ شده ای از مدار جدا گردد ، در اثر همین جریان نشستی به مرور زمان دشارژ می شود و این همان اتفاقی است که برای باتری هایی که بدون استفاده شدن ، پس از مدت زمانی غیر قابل استفاده می شوند می افتد . حال اگر دو پایه خازن شارژ شده و جدا شده از منبع تغذیه ، به یکدیگر متصل شوند ، الکترونها از صفحه دارای بار منفی به سمت صفحه دارای بار مثبت حرکت کرده و سبب دشارژ شدن خازن می شوند . بنابراین هنگامی که خازن شارژ می شود ولتاژ دو سر آن افزایش می یابد و زمانی که خازن دشارژ می شود ولتاژ دو سر آن کاهش می یابد . در ادامه به بررسی مهمترین مشخه خازن یعنی ظرفیت آن می پردازیم .

ظرفیت خازن : ظرفیت هر خازن نشان دهنده توانایی خازن در ذخیره کردن بار الکتریکی است و بنا به تعریف ، ظرفیت خازن برابر است با مقدار بار الکتریکی که باید روی یکی از صفحات خازن جمع شود تا پتانسیل آن نسبت به صفحه دیگر به اندازه یک ولت افزایش یابد و به عبارت دیگر ، حاصل تقسیم بار الکتریکی (Q) ذخیره شده روی هر یک از صفحات خازن بر اختلاف پتانسیل (V) میان دو صفحه را ظرفیت خازن گویند . ظرفیت خازن را با حرف C نمایش می دهند که از کلمه Capacitance به معنی ظرفیت گرفته شده است . بنابراین میزان ذخیره شدن بار الکتریکی بر روی صفحات خازن ، به ظرفیت خازن بستگی دارد . یعنی در یک ولتاژ برابر ، خازنی که ظرفیت کمتری دارد ، بار کمتر و خازنی که ظرفیت بیشتری دارد ، بار بیشتری را در خود ذخیره می کند . واحد اندازه گیری ظرفیت خازن فاراد است که از

نام مایکل فاراده گرفته شده است و آن عبارت است از نسبت یک کولن بار ذخیره شده در هر یک از صفحات خازن به اختلاف پتانسیل یک ولت اتصال داده شده است به دو سر خازن . بنابراین ظرفیت خازن را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود.

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

که در این رابطه C ظرفیت خازن بر حسب فاراد (F) و Q بار یک صفحه بر حسب کولن (C) و V ولتاژ دو سر خازن بر حسب ولت (V) است . به عنوان مثال اگر به دو سر یک خازن ، یک ولتاژ DC با دامنه 30 ولت اعمال شود و در اثر این ولتاژ ، 60 کولن بار در خازن ذخیره شود ، ظرفیت خازن چقدر است ؟

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{60(C)}{30(V)} = 2(F)$$

بنابراین ظرفیت این خازن 2 فاراد است .

فاراد واحد بزرگی است و معمولاً در کارهای عملی مورد استفاده قرار نمی گیرد . در عمل از واحدهای کوچکتری استفاده می شود که در جدول (2) این واحدها نمایش داده شده اند .

مقدار واحد بر حسب فاراد	علامت واحد	نام واحد
0.001	mF	میلی فاراد
0.000001	μF	میکرو فاراد
0.000000001	nF	نانو فاراد
0.000000000001	pF	پیکو فاراد

جدول 2

اما سوالی در اینجا مطرح می شود و آن این است که ظرفیت یک خازن به چه عواملی بستگی دارد ؟ در پاسخ باید گفت که ظرفیت یک خازن به عوامل مختلفی بستگی دارد که مهمترین این عوامل عبارتند از :

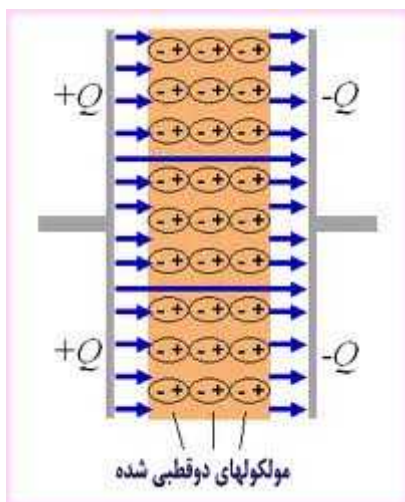
1 -مساحت صفحات خازن 2 -ثابت دی الکتریک خازن 3 -فاصله بین صفحات خازن

مساحت صفحات خازن : هر چه یک خازن دارای صفحات بزرگتری باشد ، ظرفیت بیشتری خواهد داشت . زیرا هر چه صفحات خازن بزرگتر باشند ، بار بیشتری روی آنها ذخیره می شود . بنابراین ظرفیت خازن با مساحت صفحات خازن نسبت مستقیم دارد ، یعنی با دو برابر شدن مساحت صفحات خازن ، ظرفیت خازن نیز دو برابر می شود و بر عکس ، در صورت نصف شدن مساحت صفحات خازن ، ظرفیت خازن نیز نصف می شود .

ثابت دی الکتریک خازن : هر چه ثابت دی الکتریک یک خازن بیشتر باشد ، آن خازن ظرفیت بیشتری خواهد داشت . علت این امر آن است که زمانی که یک دی

الکتریک در یک میدان الکتریکی قرار می گیرد مولکولهای دی الکتریک تحت تاثیر میدان الکتریکی به صورت مولکولهای دو قطبی در می آیند . یعنی در هر مولکول دی الکتریک ، بارهای مثبت و منفی از یکدیگر فاصله گرفته و در دو محدوده مجزا قرار می گیرند و بین این بارهای مثبت و منفی یک میدان الکتریکی ایجاد می شود . دو قطبی های حاصل در راستای میدان الکتریکی ایجاد شده بین صفحات خازن قرار می گیرند و همواره قطبهای منفی دو قطبی ها به سمت جوشن دارای بار مثبت و قطبهای مثبت دو قطبی ها

به سمت جوشن دارای بار منفی قرار می گیرند . این وضعیت در شکل (3) نمایش داده شده است .



شکل 3

همانطور که در این شکل مشاهده می کنید در لبه سمت چپ دی الکتریک ، بارهای منفی دو قطبی ها جمع شده اند . بین این بارهای منفی و الکترونهای موجود در جوشن دارای بار مثبت ، نیروی دافعه ایجاد شده و الکترونهای موجود در جوشن دارای بار مثبت ، این جوشن را ترک می کنند و در نتیجه بار الکتریکی مثبت این جوشن افزایش می یابد . در لبه سمت راست دی الکتریک نیز بارهای مثبت دو قطبی ها جمع شده اند . این بارهای مثبت الکترونهای بیشتری را به طرف جوشن دارای بار منفی جذب می کنند و سبب افزایش بار منفی این جوشن می شوند . بنابراین استفاده از دی الکتریک باعث می شود بار الکتریکی بیشتری بر روی صفحات خازن ذخیره شود و یا به عبارتی استفاده از دی الکتریک باعث افزایش ظرفیت خازن می گردد . همانطور که می دانید زمانی که الکترونها در یک میدان الکتریکی قرار می گیرند ، در خلاف جهت میدان الکتریکی حرکت کرده و خود را به پلاریته مثبت می رسانند . در یک خازن نیز الکترونهای جوشن دارای بار منفی تمایل دارند که به وسیله میدان الکتریکی بین جوشن های خازن ، خود را به جوشن دارای بار مثبت برسانند اما استفاده از دی الکتریک تعداد زیادی از الکترونها را در رسیدن به این هدفشان ناکام می گذارد زیرا جهت میدان الکتریکی مولکولهای دو قطبی دی الکتریک در خلاف جهت میدان الکتریکی ایجاد شده بین جوشن های خازن است و مجموع میدان های الکتریکی مولکولهای دو قطبی سبب تضعیف میدان الکتریکی ایجاد شده بین جوشن های خازن می شود و در نتیجه فقط تعداد خیلی کمی از این الکترونها می توانند از دی الکتریک عبور کرده و و خود را به جوشن مقابل برسانند و سبب ایجاد جریان نشستی در خازن شوند . بنابراین هر چه در یک خازن از دی الکتریک بهتری استفاده شود ، الکترونهای کمتری می توانند از دی الکتریک عبور کنند و در نتیجه جریان نشستی خازن کمتر می شود . فلش هایی که در شکل (3) رسم شده اند نشان دهنده میدان الکتریکی هستند . همانطور که در این شکل مشاهده می کنید میدان الکتریکی بین لبه های دی الکتریک و جوشن های خازن قوی و میدان الکتریکی بین دو جوشن خازن به سبب وجود دی الکتریک ضعیف است .

فاصله بین صفحات خازن : هر چه فاصله بین صفحات یک خازن کمتر باشد ، مقدار ظرفیت خازن بیشتر خواهد بود و بر عکس ، هر چه فاصله بین صفحات خازن بیشتر باشد ، خازن ظرفیت کمتری خواهد داشت و این یعنی اینکه مقدار ظرفیت خازن با فاصله بین صفحات آن نسبت عکس دارد . علت این امر این است که هر چه فاصله بین صفحات خازن کمتر باشد ، میدان الکترواستاتیک ایجاد شده بین دو صفحه خازن قوی تر می شود و در نتیجه تعداد بیشتری از مولکولهای دو قطبی شده دی الکتریک در راستای میدان الکترواستاتیک بین صفحات خازن قرار می گیرند و این امر همانطور که قبلا گفته شد سبب افزایش ظرفیت خازن می شود . البته علاوه بر موارد بالا ، عوامل دیگری نیز همچون درجه حرارت محیط ، فرکانس ولتاژ دو سر خازن و مدت زمان استفاده از خازن در میزان ظرفیت خازن مؤثرند ، اما میزان تاثیر آنها در مقایسه با موارد شرح داده شده ناچیز و نیز بستگی به شرایط و نحوه استفاده از خازن دارد.

با توجه به موارد ذکر شده ، میزان ظرفیت خازن را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود .

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

که در این رابطه ϵ ثابت دی الکتریک خازن ، A مساحت صفحات خازن و d فاصله بین صفحات خازن می باشد.

ثابت دی الکتریک هر خازن از رابطه زیر بدست می آید .

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$$

که در این رابطه ϵ ثابت دی الکتریک خازن ، ϵ_r ضریب دی الکتریک خازن و ϵ_0 ثابت دی الکتریک هوا است که مقدار آن برابر است با :

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \left[\frac{F}{m} \right]$$

به عنوان مثال ظرفیت خازنی که مساحت صفحات آن 0.04 متر مربع و فاصله صفحات آن 0.002 متر و نوع دی الکتریک به کار رفته در آن اکسید آلومینیوم است را

محاسبه کنید .

$$C = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 7 \times 0.04}{0.002} = 1.239 \text{ nF}$$

بنابراین ظرفیت این خازن 1.239 نانو فاراد است .

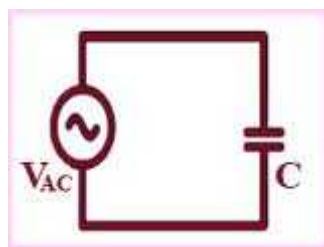
در ادامه به بررسی ضریب حرارتی خازن می پردازیم .

ضریب حرارتی خازن : بر روی بعضی از خازنها ضریبی به نام ضریب حرارتی خازن درج شده است . می خواهیم بررسی کنیم که منظور از این ضریب چیست ؟ ظرفیتی که بر روی هر خازن می نویسند ، ظرفیت آن خازن در دمای اتاق یعنی 25 درجه سانتی گراد می باشد و اگر درجه حرارتی که خازن در آن کار می کند از 25 درجه سانتی گراد بیشتر و یا کمتر شود ، ظرفیت خازن تغییر خواهد کرد . بر همین اساس معمولاً بر روی خازنها ضریب حرارتی خازن را درج می کنند که این ضریب نشان دهنده این است که با تغییر درجه حرارت ، ظرفیت خازن چه تغییری می کند . اگر ضریب حرارتی خازن مثبت باشد ، افزایش درجه حرارت ، سبب افزایش ظرفیت خازن می شود و کاهش درجه حرارت ، سبب کاهش ظرفیت خازن می گردد . در صورتی که ضریب حرارتی خازن منفی باشد ، افزایش و کاهش درجه حرارت به ترتیب سبب کاهش و افزایش ظرفیت خازن می شود . البته به دلیل اینکه معمولاً تغییرات درجه حرارت تاثیر ناچیزی بر روی ظرفیت خازن می گذارد ، در بسیاری از موارد ضریب حرارتی خازن مورد توجه قرار نمی گیرد و حتی بر روی بعضی از خازنها اصلاً درج نمی شود . ضریب حرارتی خازن بر حسب PPM بیان می شود . در مواردی که ضریب حرارتی خازن بر روی آن نوشته می شود معمولاً مثبت و منفی بودن ضریب حرارتی خازن را با حروف P و N مشخص می کنند . به عنوان مثال عبارت N500 به معنای ضریب حرارتی -500PPM و عبارت P300 به معنای ضریب حرارتی $+300\text{PPM}$ و عبارت NP0 به معنای ضریب حرارتی صفر است .

قبلاً گفتیم که اگر به دو سر یک خازن یک ولتاژ DC اعمال کنیم خازن شروع به شارژ شدن می کند و جریانی در مدار برقرار می شود و هر چه خازن بیشتر شارژ می شود جریان بیشتر کاهش می یابد و سرانجام با شارژ شدن کامل خازن ، جریان مدار صفر می شود . اما اگر به دو سر خازن یک ولتاژ AC متصل کنیم چه اتفاقی روی می دهد ؟ در این حالت خازن مرتب شارژ و دشارژ می شود و سرعت شارژ و دشارژ شدن خازن به فرکانس ولتاژ AC بستگی دارد . در این حالت با اینکه جریانی از داخل خازن عبور نمی کند ولی اگر آمپرمتری در مدار داشته باشیم ، آمپرمتر عبور جریانی را از مدار نشان می دهد ، درست مانند اینکه مقاومتی در مدار قرار دارد و جریان را محدود می کند . مخالفت خازن در مقابل جاری شدن جریان را عکس العمل خازنی یا راکتانس خازنی و یا مقاومت خازنی می گویند و آن را با X_c نمایش می دهند . راکتانس خازنی به ظرفیت خازن و فرکانس ولتاژ دو سر خازن بستگی دارد . یعنی هر چه ظرفیت خازن و یا ولتاژ دو سر خازن بیشتر باشد راکتانس خازنی کمتر است و برعکس . راکتانس خازنی را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود .

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

که در این رابطه X_c راکتانس خازنی بر حسب اهم ، f فرکانس ولتاژ دو سر خازن بر حسب هرتز و C ظرفیت خازن بر حسب فاراد است . به عنوان مثال در مدار شکل (4) فرکانس مولد موج سینوسی 1000 هرتز و ظرفیت خازن 1 میکروفاراد است . مقدار راکتانس خازنی را بدست آورید.



شکل 4

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \times 10^3 \times 10^{-6}} = 159\Omega$$

بنابراین در این مدار راکتانس خازنی 159Ω است.