مبانی مهندسی برق

رشته مهندسی مواد

دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه مراغه

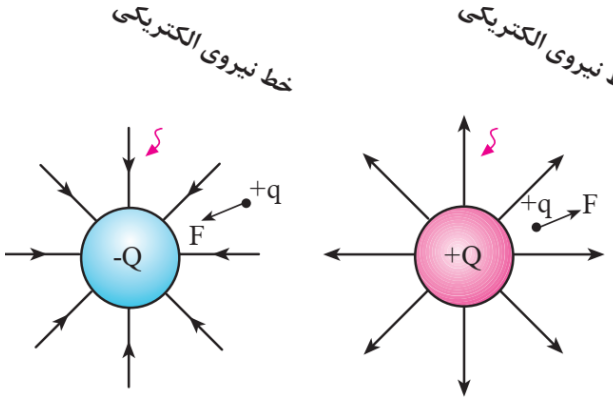
ترم اول 1401-1402

قسمت چهارم

فصل هشتم: خازن

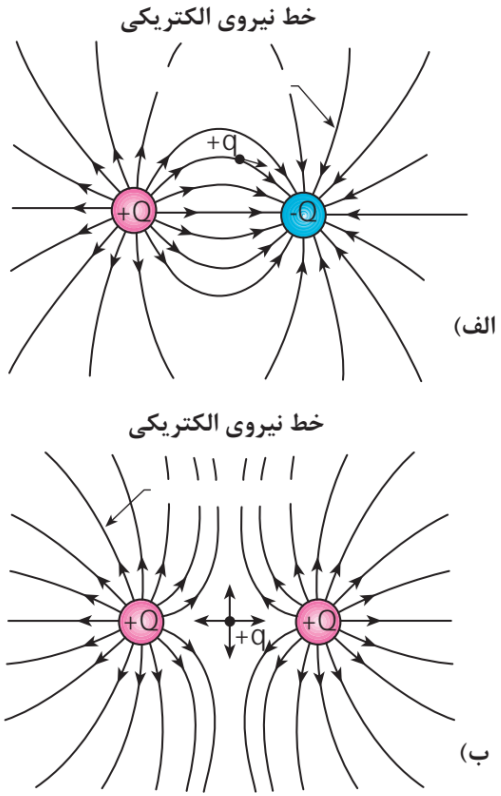
۱ـ۸ـ میدان الکتریکی

مفهوم میدان مربوط به ناحیه ای اســت در فضای اطراف یک جســم باردار (Q) که می تواند عملاً مورد استفاده قرار گیرد. مانند ذره باردار (Q-) در صورتی که یک جسم باردار دیگر مانند ذره (Q+) (شــکل ۱ـ۸ـ الف) در این ناحیه قرار گیرد طبق قانون کولن به آن نیرویی وارد می شود. بنابراین در یک ناحیه از فضا وقتــی می توان گفت میدان الکتریکی وجــود دارد که به بار الکتریکــی واقع در آن ناحیه یک نیرو وارد شود.



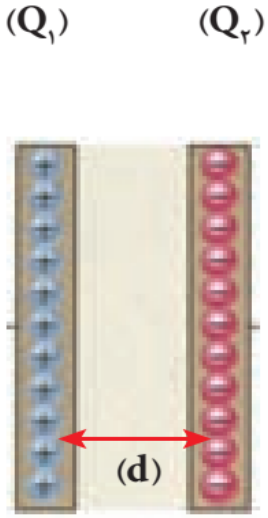
شکل ۱ـ۸ـ چهت نیروی الکتریکی در اطراف بارهای *

شــکل ۲ـ۸ وضعیت میــدان الکتریکی دو بــار همنام و غیرهمنام را در کنار یکدیگر نشــان می دهد. شدت و جهت خطــوط میدان الکتریکی به اندازه بــار هر ذره و فاصله بین آن ها بستگی دارد.



شکل ۲ـ۸ـ اثر میدان های الکتریکی بارهای همنام و غیرهمنام بر یکدیگر.

اگر دو صفحه تخت باردار را مطابق شکل ۳ـ۸ در مقابل یکدیگـر و در حد فاصل یـک مادهی دیالکتریک قرار دهیم میـدان الکتریکی که در بیـن دو صفحه به وجود می آید در تمام نقاط ثابت اسـت. این نوع میدان را «میدان الکتریکی یکنواخت» می گویند.

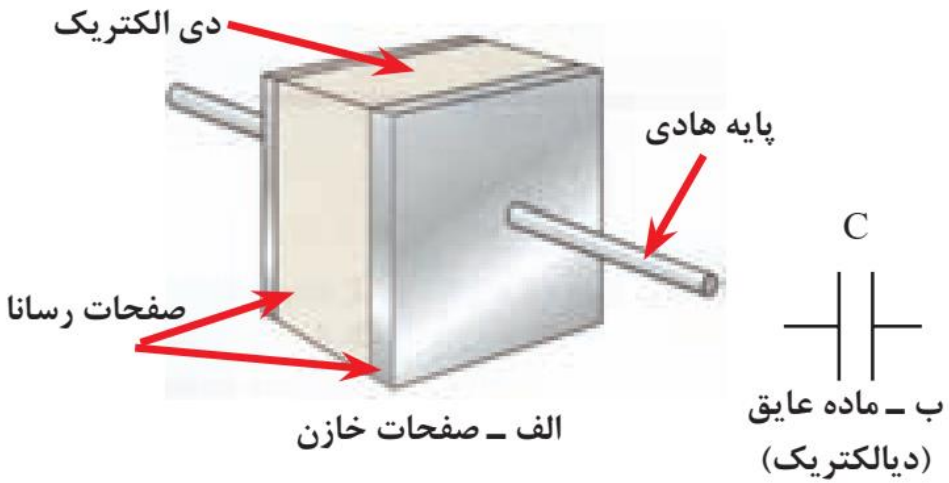


شکل ۳ـ۸ـ میدان الکتریکی موجود بین دو صفحه (میدان یکنواخت)

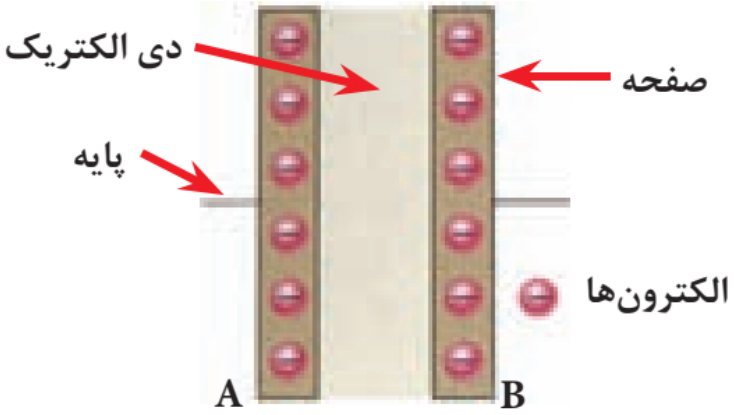
۲ـ۸ـ ساختمان خازن[1] Capacitor

اگر دو صفحه رسانا (هادی) را توسط یک نارسانا (عایق) از هـم جدا کنیم یک «خازن» شـکل می گیرد. خازن برای ذخیره بار الکتریکی به کار می رود.

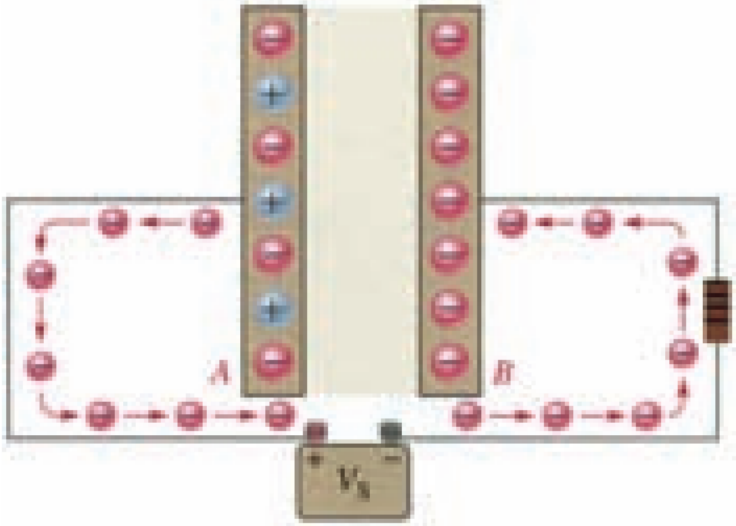
شکل ۴ـ۸ تصویر سـادهای از یک نمونه خازن را نشان می دهد. همانطوری که از شکل ۴ـ۸ مشاهده می شود خازن از دو قسمت اصلی تشکیل شده است.



شکل ۴ـ۸ـ اجزای داخلی خازن



شکل ۵-۸-صفحات باردار خازن

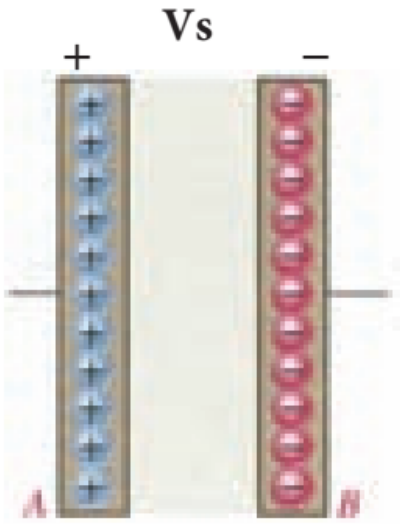


شکل ۶-۸

هــرگاه صفحات یک خازن به ولتاژی اتصال داده شــود بار الکتریکی در صفحات خازن ذخیره می شــود. این شرایط تا زمانی که خازن خالی نشود باقی می ماند. به همین دلیل از خــازن در مدارهــای الکتریکی به منظــور ذخیره انرژی الکتریکی استفاده می شود. (شکل ۶ـ۸)

ذخیــره انرژی الکتریکی به این معنی اســت که پس از قطع منبع ولتاژ بارهای الکتریکی همچنان باقی بمانند.

۳ـ۸ـ ظرفیت خازن



شکل ۷-۸

میزان توانایی یـک خازن در ذخیره کردن بار الکتریکی را «ظرفیـت خازن» می گوینـد و آن را با حرف C نمایش می دهند. (شکل ۷ـ۸)

ظرفیت خازن را می توان از رابطه زیر بدست آورد:

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

C ـ ظرفیت خازن

Q ـ بار الکتریکی ذخیره شده در صفحات

V ـ ولتاژ دو سر خازن

واحد اصلی ظرفیت خازن «فاراد» اسـت و این در صورتی صادق است که Q بر حسب کولن و V بر حسب ولت باشد.

چون فاراد واحد بسیار بزرگی است. لذا از واحدهای کوچکتر میلی فاراد، میکروفاراد و نانوفاراد استفاده می شود. جدول ۱ـ۸ واحدهای کوچکتر خازن و ضرایب آن ها را نشان می دهد.

مثال: خازنی با ظرفیت ۱۰۰ نانو فاراد برابر با چند فاراد است؟

حل:

$$C = ۱۰۰\,nf$$

$$C = ۱۰^{۲} \div ۱۰^{۹} = ۱۰^{-۷}\,[f]$$

جدول ۱ـ۸

واحد	حرف اختصاری	ضریب	چگونگی تبدیل
فاراد	f	واحد اصلی	برای تبدیل از واحد بالا به واحد پایین در ضرایب ضرب می‌شود
میلی فاراد	mf	10^{3}	
میکروفاراد	μf	10^{6}	
نانو فاراد	nf	10^{9}	
پیکوفاراد	pf	10^{12}	

$1\,mf = 10^{-3}\,F$

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

$1\,nf = 10^{-9}\,F$

$1\,pf = 10^{-12}\,F$

$100 \times 10^{-9}\,F = 10^{-7}\,F$

خازن ۱۰۰nf چند μF است؟

$100 \times 10^{-9}\,F \times 10^{6} = 100 \times 10^{-3}\,\mu F = 0.1\,\mu F$

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

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

سوال: یک خازن $50\mu F$ چند nf است

$50\times10^{-6}\ F \times 10^{9} = 50\times10^{3}\ nf = 50000\ nf$

$1\ nf = 10^{-9}\ F$

$10^{9}\ nf = 1\ F$

سوال: یک خازن $20\ nf$ چند pf است؟

$20\ nf = 20\times10^{-9}\ F$

$1\ pf = 10^{-12}\ F \Rightarrow 1\ F = 10^{12}\ PF$

$20\ nf = 20\times10^{-9}\times10^{12}\ pf$

$= 20\times10^{3}\ pf$

$= 20\,000\ pf$

$20\times10^{3}\ pf = 20\times10^{3}\times10^{-12}\ F$

$1\ F = 10^{9}\ nf$

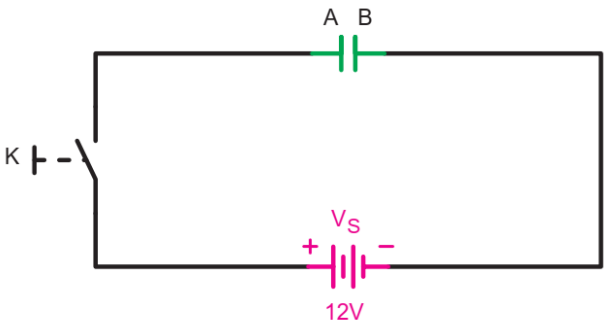
(203)

$20\times10^{3}\ pf = 20\times10^{3}\times10^{-12}\times10^{9}\ nf$

$= 20\ nf$

۴ـ۸ـ شارژ و دشارژ خازن در جریان مستقیم

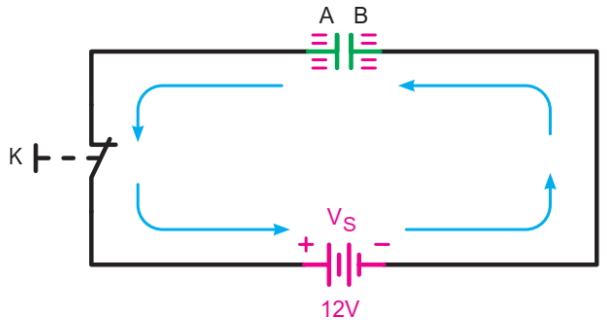
وقتی یک خازن را به ولتاژ DC وصل کنیم خازن شارژ می‌شود. شکل ۹ـ۸ یک خازن خالی را نشان می‌دهد. در این حالت تعداد الکترون‌های آزاد صفحات A و B با هم برابر هستند.



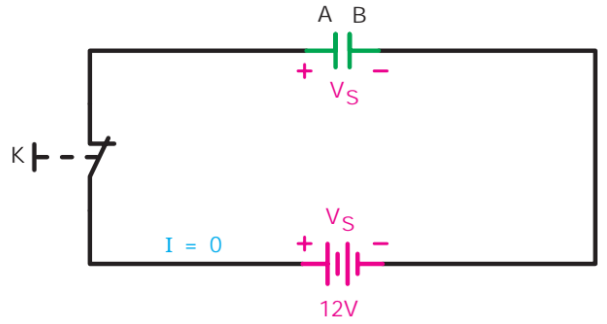
شکل ۹ـ۸ـ خازن خالی

زمانی که کلید بسته شود (شکل ۱۰ـ۸) با برقراری جریان، الکترون‌های آزاد در صفحه B جمع می‌شوند و صفحه A که به قطب مثبت منبع (V_S) متصل است الکترون‌های آزاد خود را از دست می‌دهد. (جهت جریان، جهت حرکت الکترون‌ها فرض شده است.)

فرآیند فوق آنقدر ادامه پیدا می‌کند تا وقتی که پتانسیل بین دو صفحه A و B خازن برابر ولتاژ منبع تغذیه (V_S) شود. با افزایش ولتاژ بین صفحات خازن، جریان دار رفته رفته کاهش یافته تا اینکه به صفر برسد، در این حالت گفته می‌شود که خازن شارژ کامل شده است. (شکل ۱۱ـ۸)



شکل ۱۰ـ۸ـ خازن در حال شارژ

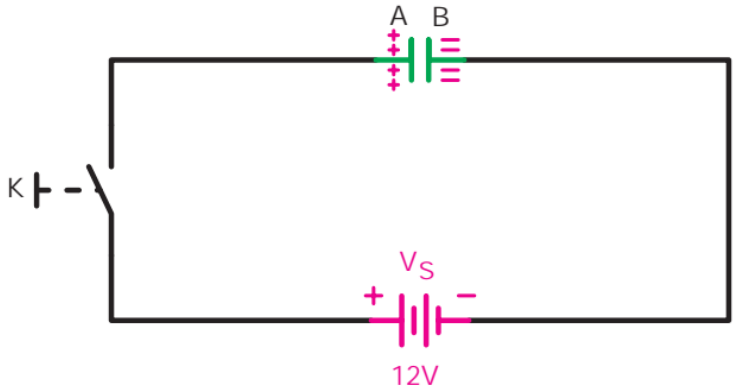


شکل ۱۱ـ۸ـ خازن شارژ کامل

توجه داشته باشید که نقش دیالکتریک در برقراری جریان و رد و بدل شدن بارهای الکتریکی بسیار مهم است. چرا که با انتخاب یک دیالکتریک خوب می‌توان مقدار بار الکتریکی جابه‌جا شده را کاهش و یا به عبارتی ظرفیت خازن را افزایش داد.

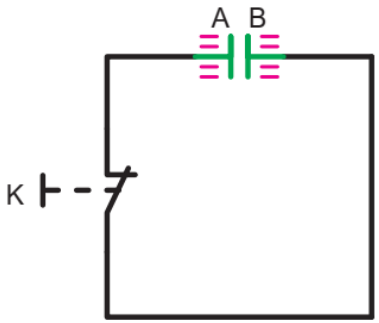
حال اگر کلید را باز کنیم ولتاژ ذخیره شـده در صفحات خازن باقی می ماند و ما می توانیم از این ولتاژ استفاده کنیم. (شکل ۱۲ـ۸)

از جملـه این مـوارد می توان ایجاد شـوک الکتریکی یا شارژ خازن فلاش دوربین های عکاسی را نام برد.

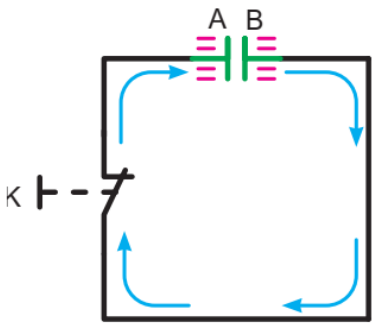


شکل ۱۲ـ۸ـ در صفحات خازن بار ذخیره شده.

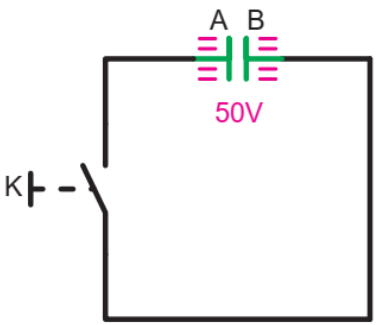
بـرای تخلیه بـار الکتریکی صفحات خازن می بایسـت خـازن را از منبـع تغذیه باز کنیـم و دو صفحه خازن A و B را بـه یکدیگر اتصال دهیم. شـکل ۱۳ـ۸ مسـیر تخلیه الکتریکی (دشـارژ) خازنی را که تا ۵۰ ولت پر شـده است، نشان می دهد.



الف ـ خازن شارژ کامل است.



ج ـ خازن دشارژ کامل

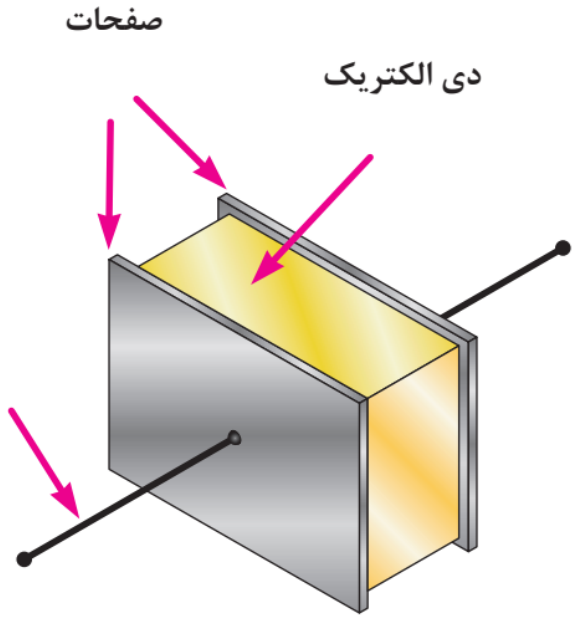


ب ـ خازن در حال دشارژ

شکل ۱۳ـ۸ـ خازن شارژ در حال تخلیه

۵ـ۸ـ عوامل مؤثر در ظرفیت خازن

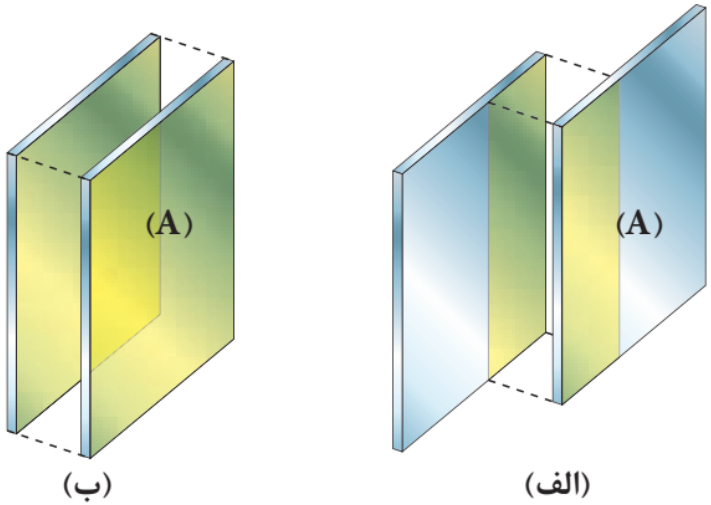
عوامـل الکتریکی و فیزیکی گوناگونـی در ظرفیت یک خـازن مؤثر هسـتند کـه در اینجا فقط به بررسـی عوامل فیزیکی می پردازیم. شـکل ۱۴ـ۸ تصویر سادهای از خازن را نشان می دهد.



شکل ۱۴ـ۸ـ قسمت های مختلف یک خازن

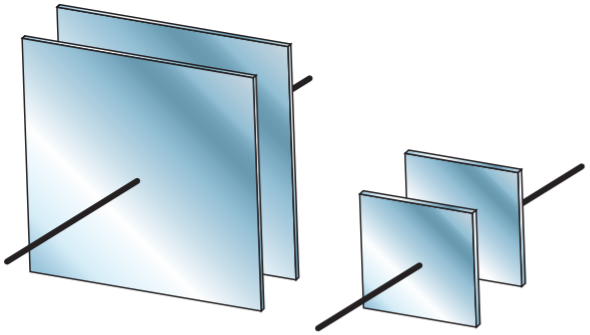
۱ـ۵ـ۸ـ سطح صفحات خازن (A):

منظور از سطح صفحات خازن سطح مؤثر بین دو صفحه اسـت. زیرا اثر میدان الکتریکی بین دو صفحه زمانی وجود خواهد داشـت که این دو صفحه با بارهای الکتریکی مخالف در مقابل هم قرار گیرند. (شکل ۱۵ـ۸)



شکل ۱۵ـ۸ـ سطوح مؤثر صفحات خازن

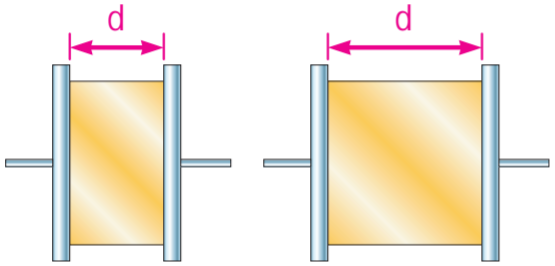
هرچه سطح مؤثر بین صفحات بیشتر باشد ظرفیت خازن نیز افزایش می یابد. ظرفیت خازن نشان داده شده در شکل ۸ـ۱۶ ب دو برابر ظرفیت خازن شکل ۸ـ۱۶ الف است.



شکل ۸ـ۱۶ـ خازن با سطح صفحات متفاوت

۲ـ۵ـ۸ـ فاصله بین صفحات خازن (d):

ظرفیت خازن با فاصلـه صفحات آن رابطه عکس دارد. چـون هر چه فاصله بین صفحـات افزایش می یابد ظرفیت خازن کم می شـود. (شـکل ۸ـ۱۷) دو خـازن A و B را با هم مقایسـه می کند. چون فاصله صفحات خازن b دو برابر صفحات خازن a اسـت، بنابراین ظرفـی خازن الف دو برابر ظرفیت خازن ب می شود.



الف ـ خازن با ظرفیت زیاد ب ـ خازن با ظرفیت کم

شکل ۸ـ۱۷ـ اثر تغییر فاصله بین صفحات بر روی ظرفیت

۳ـ۵ـ۸ـ ماده عایق (دیالکتریک ـ K):

یکی دیگر از عواملی که در ظرفیت خازن تأثیر مستقیم دارد، ماده عایق (دی الکتریک) به کار رفته در بین دو صفحه خازن اسـت. هر چه خاصیت عایقی ماده بـکار رفته زیادتر باشـد ظرفیت خازن بیشتر خواهد شد. جدول ۸ـ۲ خاصیت عایقی چند ماده را نشـان می دهد. ضریب دی الکتیک همه مواد نسبت به هوا سنجیده می شوند.

جدول ۸ـ۲

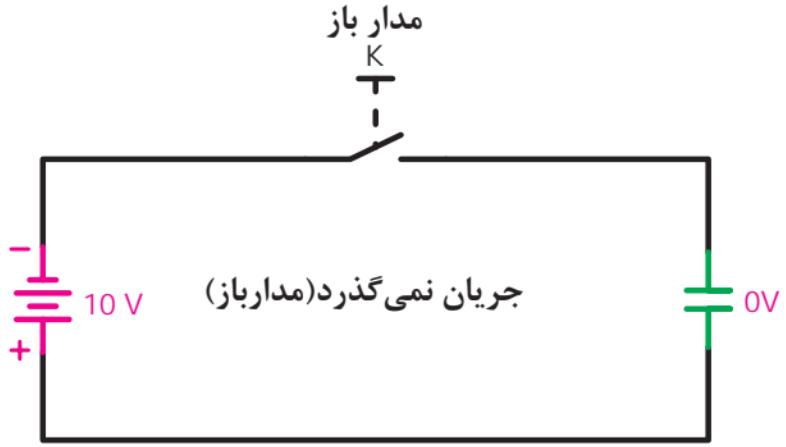
ماده دی الکتریک	ضریب دی الکتریک
هوا	۱
شیشه	۴/۲
میکا	۵-۹
باکلیت	۴/۵-۷/۵
لاستیک	۲/۸
کاغذ	۳/۵
پارافین	۲/۲

۶ـ۸ـ عملکرد خازن در جریان الکتریکی

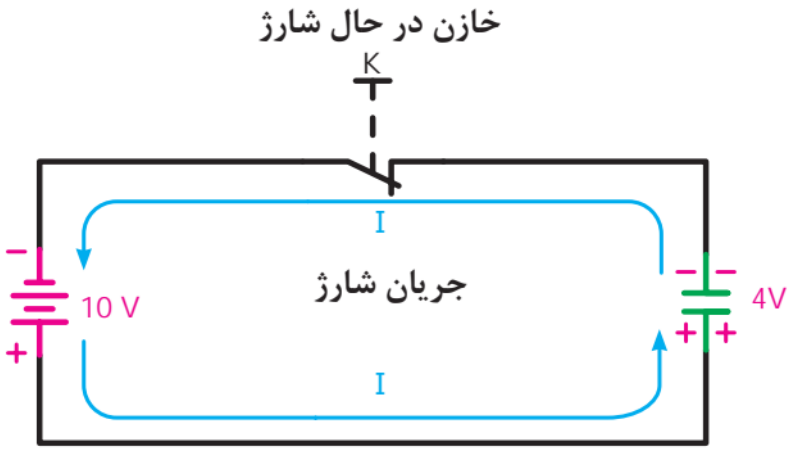
۱ـ۶ـ۸ـ رفتار خازن در جریان مستقیم (DC)

هرگاه خازنی در مدار جریان مستقیم قرار گیرد مقدار جریان الکتریکی مدار آن در تمام لحظات پس از وصل کلید یکسان نیست.

در لحظه اول که صفحات خازن خالی است به محض وصل کلید، الکترون های زیادی با سرعت به طرف سطح صفحات حرکت می کنند. (شکل ۱۸ـ۸) عایق بین صفحات خازن باعث می شود تا الکترون های جمع شده در یک صفحه ارتباطی با صفحه مقابل نداشته باشد و صفحات خازن باردار شوند. (شکل ۱۹ـ۸)



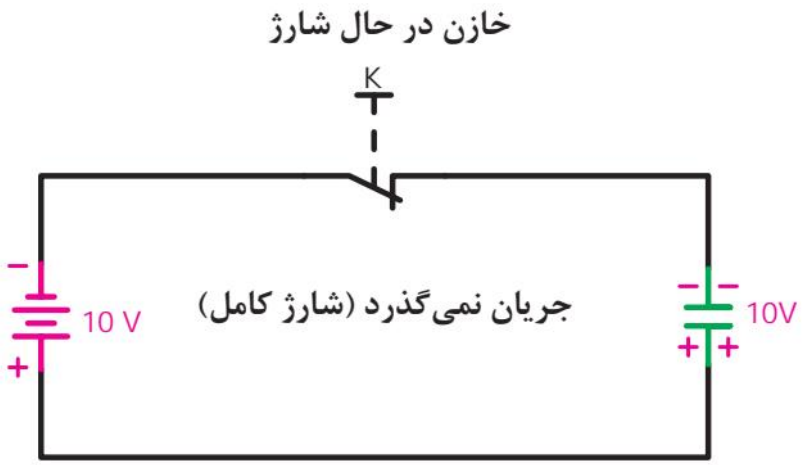
شکل ۱۸ـ۸ـ کلید قطع و مدار خازن باز می شود.



شکل ۱۹ـ۸ـ کلید وصل و خازن در حال شارژ می باشد.

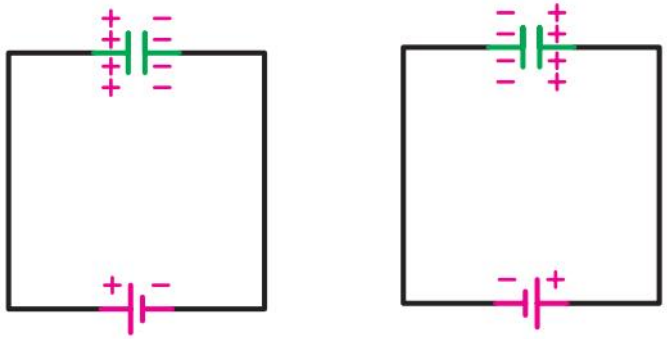
حرکــت الکترون ها تا زمانی که عمل شــارژ در صفحات وجود دارد، ادامه می یابد و رفته رفته مقدار جریان عبوری از مدار کم می شود. زیرا سطح صفحات خازن شارژ کامل شده و از عبور جریان جلوگیری می کنند. (شکل ۲۰ـ۸)

در واقع در لحظه اول ولتاژ دو ســر خازن صفر بوده ولی جریــان عبوری از آن زیاد اســت. در صورتی که چند لحظه پس از وصل کلید جریان به صفر رسیده و ولتاژ بین صفحات خازن، به مقدار حداکثر خود می رسد.



شکل ۲۰ـ۸ـ کلید وصل و خازن شارژ کامل شده است.

وضعیت صفحات خــازن از نظر نوع بار الکتریکی ذخیره شــده به نحوه اتصال پلاریته منبع تغذیه بستگی دارد. یعنی اگــر جهت قطب های خازن را عــوض کنیم نوع بارهایی که در صفحات خازن ذخیره می شــوند، نیز تغییر خواهد کرد. (شکل ۲۱ـ۸)

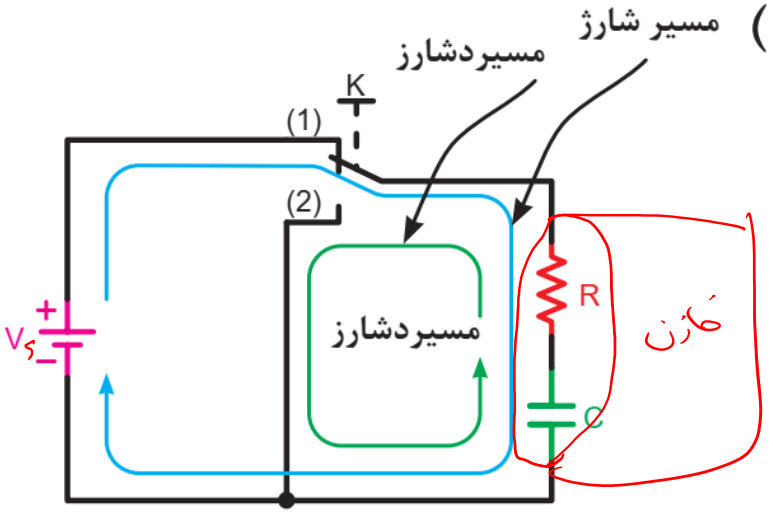


شکل ۲۱ـ۸ـ وضعیت صفحات خازن از نظر نحوه اتصال به پلاریته منبع تغذیه

۲ـ۶ـ۸ـ شارژ و دشارژ (ثابت زمانی خازنی)

تمام مراحل و اتفاقات اشـاره شـده در یک لحظه کوتاه اتفاق می افتـد. در مدار خازن ها برای افزایش زمان شـارژ و دشـارژ از یک مقاومت سری در مسـیر خازن ها استفاده می کنیم.

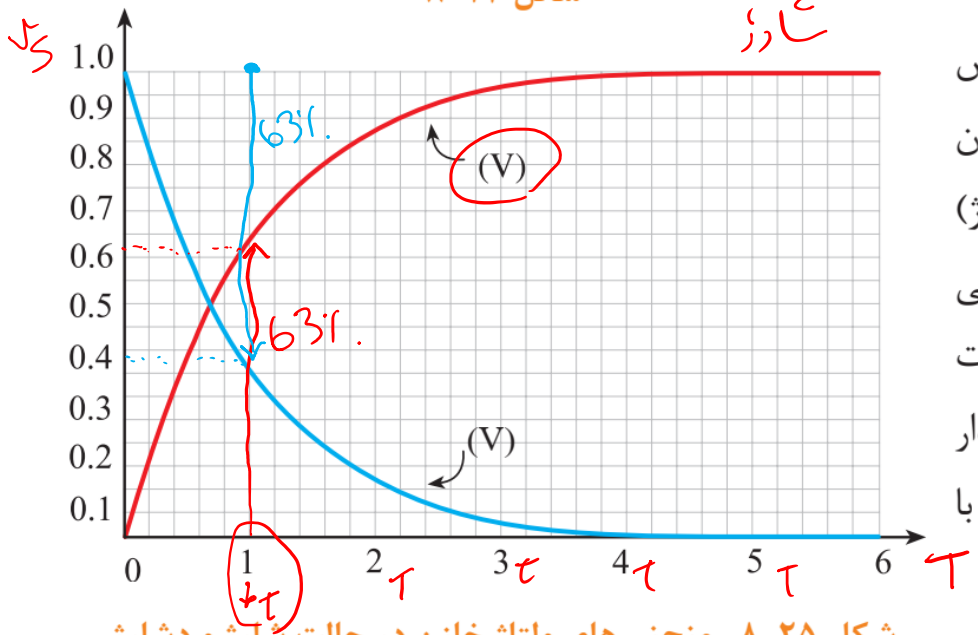
در شـکل ۲۲ـ۸ـ مسیر شـارژ (کلید حالت ۱) و دشارژ (کلید حالت ۲) خازن C نشان داده شده است.



شکل ۲۲ـ۸ـ مسیر شارژ و دشارژ خازن

شـکل ۲۵ـ۸ منحنی تغییرات ولتاژ خـازن را در حالت شارژ و دشارژ نشان می دهد.

همانگونه که از منحنی های شارژ و دشارژ خازن مشخص است در صورت استفاده از مقاومت در مسیر آن ولتاژ خازن چه در مسیر افزایش (شارژ) و چه در مسیر کاهش (دشارژ) با یکسـری پرش های زمانی و در طی یک بازهای مشخصی به مقدار حداکثر و حداقل خود می رسـد. اصطلاحاً به مدت زمانی که طول می کشد تا ولتاژ خازن به اندازه ٪۶۳/۲ مقدار ماکزیمم خود افزایش یا کاهش یابد «ثابت زمانی» گفته و با

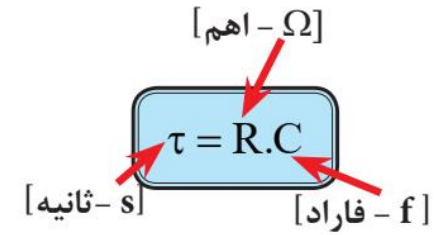


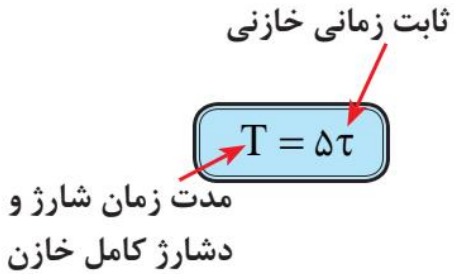
شکل ۲۵ـ۸ـ منحنی های ولتاژ خازن در حالت شارژ و دشارژ

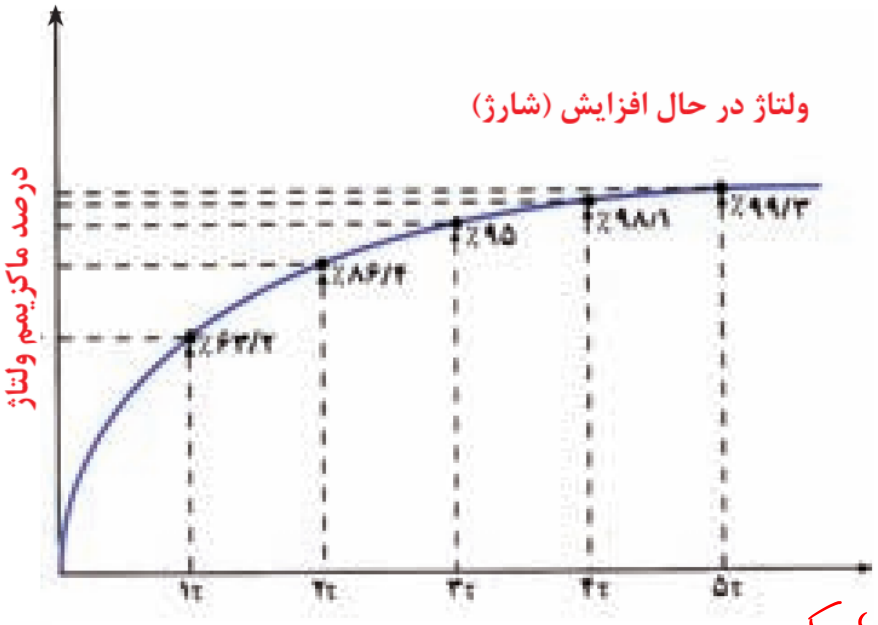
حرف (τ ـ تاو) و برحسب ثانیه مطابق رابطه مقابل محاسبه می کنند.

بر پایه آزمایش های انجام شده روی یک خازن مشخص گردیـــده پس از گذشـــت ۵ ثابت زمانی ولتاژ دو ســـر آن به مقدار حداکثر (در شـــرایط شـــارژ) و به مقـــدار حداقل (در شرایط دشارژ) می رسد.

مدت زمان شـــارژ یا دشـــارژ کامل یک خـــازن را مطابق رابطه مقابل می توان چنین محاسبه کرد.

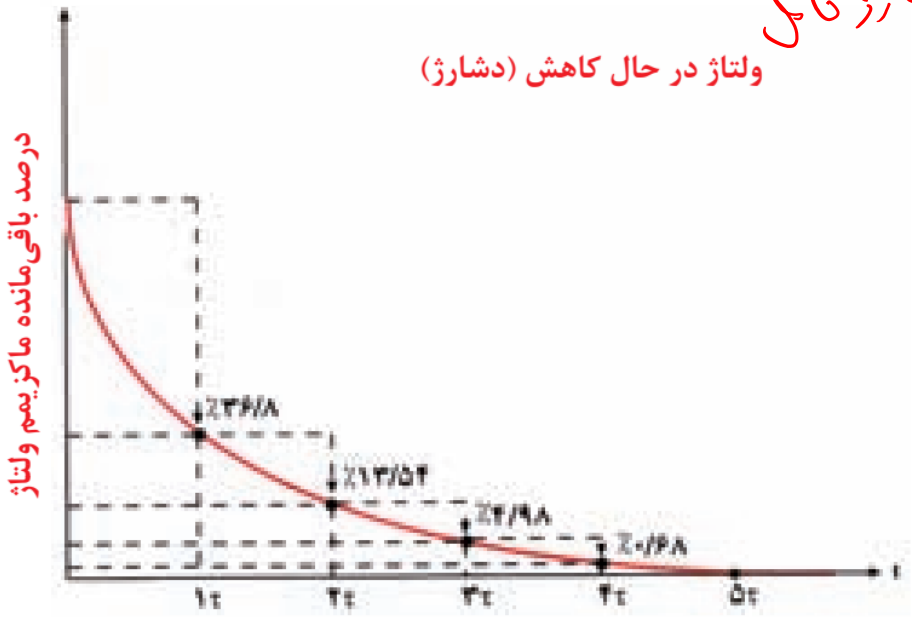






درصد ماکزیمم ولتاژ شارژ	تعداد ثابت زمانی
٪۶۳	۱τ
٪۸۶	۲τ
٪۹۵	۳τ
٪۹۸	۴τ
٪۹۹	۵τ
تقریباً٪۱۰۰	

شارژ یا شارژ کامل



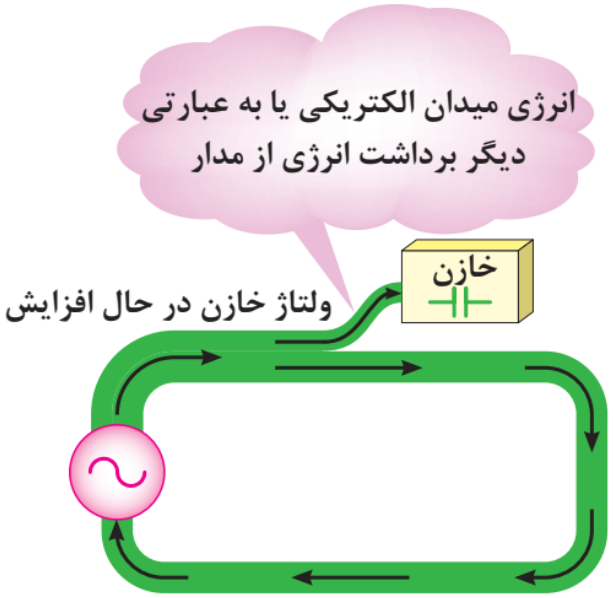
درصد ماکزیمم ولتاژ شارژ	تعداد ثابت زمانی
۳۷	۱
۱۴	۲
۵	۳
۲	۴
۱	۵
تقریباً صفر	

شکل (۲۶ـ۸)

۸ـ۷ خازن از نقطه نظر انرژی

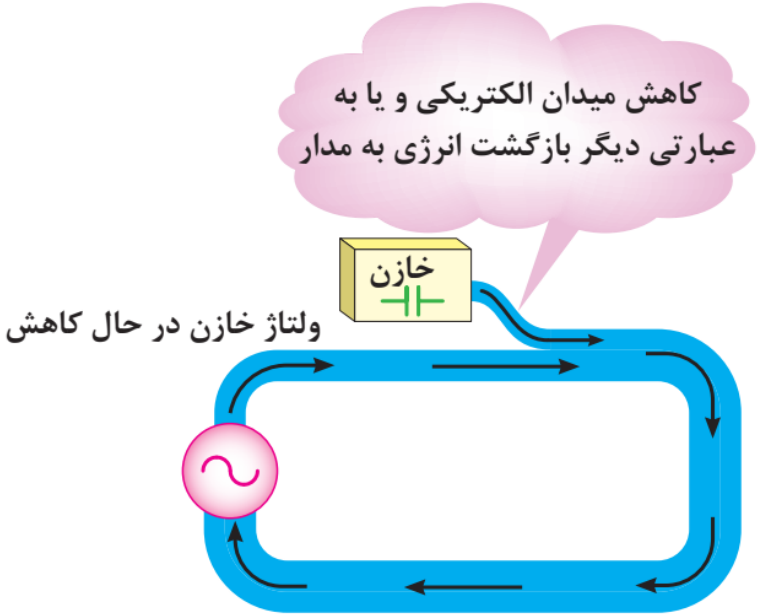
خازن ها نیز مشابه سلف ها هرگاه به جریان متغیری متصل شوند بطوری که ولتاژ دو سر آنها تغییر کند دائماً در حال تبادل انرژی خواهد بود.

انرژی ذخیره شده در یک خازن به صورت ذخیره سای بارهای الکتروستاتیکی در سطح صفحات آن صورت می گیرد.



شکل ۸-۲۷

یک خازن در لحظاتی که ولتاژ دو سر آن در حال افزایش است یعنی در شرایط دریافت و ذخیره سازی انرژی مطابق شکل (۸ـ۲۷) است. هنگامی که ولتاژ خازن شروع به کاهش کند بارهای الکترواستاتیکی شروع به کم شدن کرده و انرژی ذخیره شده را مطابق شکل (۸ـ۲۸) به مدار باز می گرداند.



شکل ۸-۲۸

۸ـ۸ انرژی ذخیره شده در خازن

مقـدار انرژی ذخیره شـده در یک خـازن را از رابطه ی مقابل می توان بدست آورد.

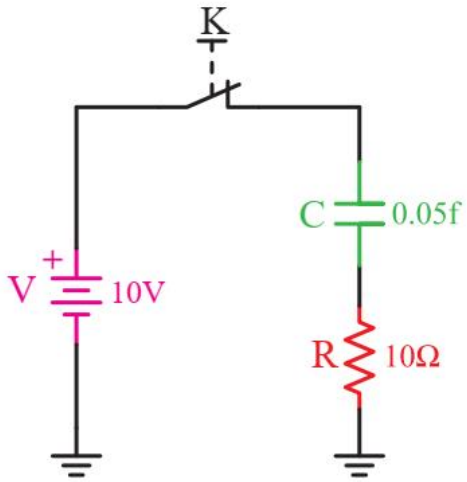
$$W_c = \frac{۱}{۲} C.V_c^{۲}$$

C ـ ظرفیت خازن بر حسب فاراد [f]

Vc ـ ولتاژ دو سر خازن بر حسب ولت [v]

Wc ـ انرژی ذخیره شده در خازن بر حسب ژول [j]

مثال ـ مقدار انرژی ذخیره شـده در خازنی با مشخصات نشـان داده شده در شکل (۲۹ـ۸) را در صورتی که کلید K برای مدت زمان طولانی بسته شده باشد چند ژول است؟



شکل ۲۹ـ۸

حل: در شـرایط دائم کار خاصیـت خازنی وجود ندارد و همه ولتاژ منبع در دو سر خازن قرار می گیرد.

$$Vc = V = ۱۰v$$

$$Wc = \frac{۱}{۲} C.Vc^{۲}$$

$$Wc = \frac{۱}{۲} \times ۰/۵ \times (۱۰)^{۲} = ۲/۵[J]$$

۱۰ـ۸ـ انواع خازن ها

به طور کلی خازن ها به دو دسته زیر تقسیم می شوند:

۱ـ خازن های ثابت

۲ـ خازن های متغیر

۱ـ۱۰ـ۸ـ خازن های ثابت

ظرفیت این خازن ها ثابت است و نمی توان مقدار آن ها را تغییر داد. این نوع خازن ها براساس جنس ماده دیالکتریک نام گذاری می شوند. از انواع خازن های ثابت می توان خازن های کاغذی، سرامیکی و میکایی را نام برد. (شکل ۳۲ـ۸) این خازن ها در ظرفیت های کم ساخته می شوند. نوع دیگری از خازن های ثابت وجود دارد که در ظرفیت های زیاد ساخته می شود. این خازن ها را «خازن های الکترولیتی» می نامند.

الف- شکل ظاهری خازن الکترولیتی

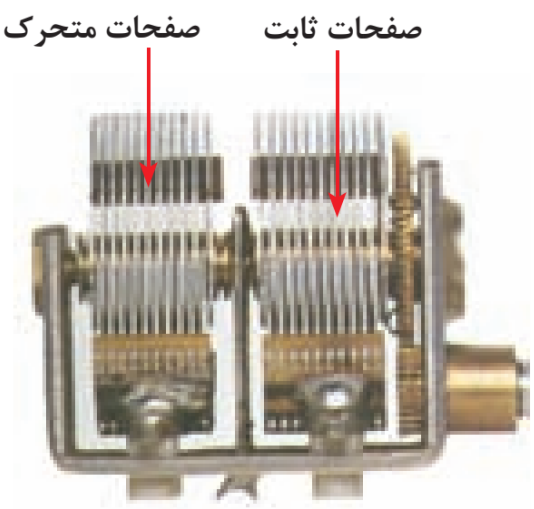
ب- شکل ظاهری خازن سرامیکی

ج- شکل ظاهری خازن

شکل ۳۲ـ۸ـ شکل ظاهری چند خازن به همراه مشخصات اسمی

۳ـ۱۰ـ۸ـ خازن های متغیر:

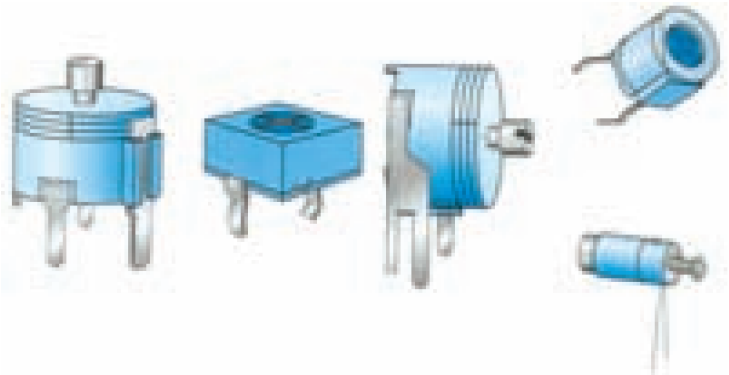
به خازن هایی گفته می شـود کـه دارای ظرفیت ثابت نیسـتند. ظرفیت آن ها بـا تغییر در یکی از عوامل سـطح صفحات یا فاصله بین آن ها تغییر می کند. ماده دی الکتریک این خازن ها هوا یا پلاسـتیک است. از خازن های متغیر در گیرنده های رادیویی اسـتفاده می شود. این خازن ها در دو شـکل «خازن واریابل» و یـا «تریمر» مورد اسـتفاده قرار می گیرند. (شکل ۴۵ـ۸)



شکل ۴۵ـ۸ـ خازن واریابل

شکل ۴۶ـ۸ خازن های تریمر را نشان می دهد.

ظرفیت خازن واریابل با کمک دست و با چرخاندن محور ولی ظرفیت خازن تریمر با چرخاندن محور به وسـیله پیچ گوشتی تغییر می کند.

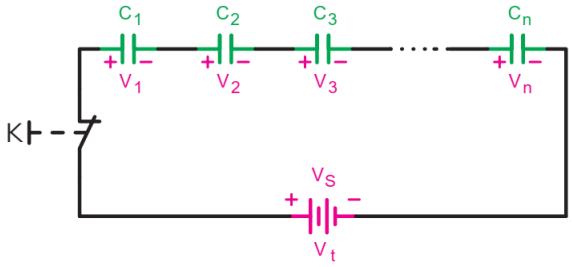


شکل ۴۶-۸

۱۱ـ۸ـ به هم بستن خازن ها

۱ـ۱۱ـ۸ـ اتصال سری خازن ها:

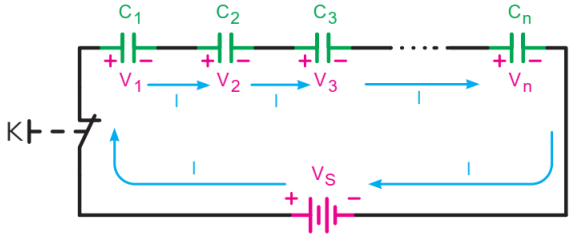
هـرگاه دو یـا n خازن به صـورت متوالی اتصـال یابند یعنی انتهای اولی به ابتدای دومی و انتهای دومی به ابتدای سومی و این کار تا آخرین خازن ادامه داشته باشد. این نوع اتصال را «سـری» گویند. (شکل ۵۷ـ۸) (مانند اتصال سری مقاومت ها) روابط حاکم بر این مدارها به صورت زیر است:



شکل ۵۷-۸

ـ عامل مشترک مدار:

چـون یک مسـیر عبور جریـان وجود دارد لـذا جریان عبوری یا به عبارت دیگر بار الکتریکی ذخیره شـده Q در همه خازن ها یکسان است. (شکل ۵۸ـ۸)



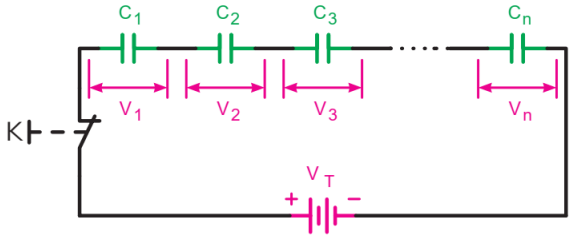
شکل ۵۸-۸

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \ldots\ldots\ldots = Q_n = Q_T$$

ـ عامل غیرمشترک مدار:

در یک مدار سـری خازنی مشـابه مدار سری مقاومتی ولتاژ بین اجزای مدار تقسیم می شود.

ولتاژ کل مدار بین عناصر مدار به نسـبت عکس ظرفیت $\left(V = \frac{Q}{C}\right)$ بین خازن های تقسیم می شود. (شکل ۵۹ـ۸)



شکل ۵۹-۸

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots + V_n$$

ـ ظرفیت خازن معادل مدار:

با استفاده از رابطه $V = \frac{Q}{C}$ و در نظر گرفتن رابطه تقسیم ولتاژ بین خازن های سری می توانیم بنویسیم (شکل ۸ـ۶۰)

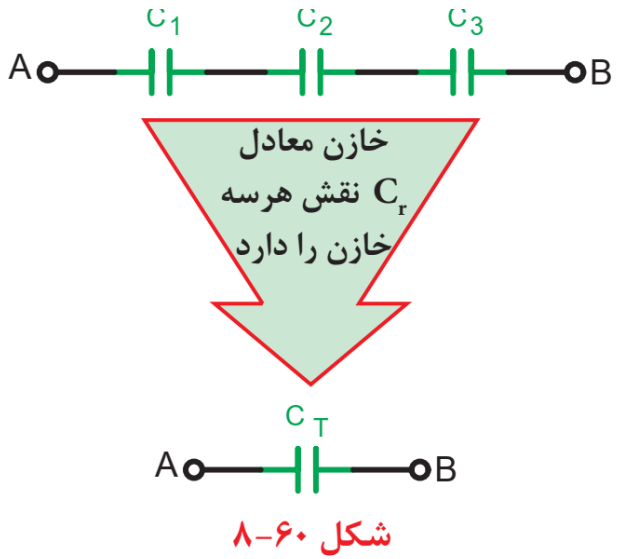
$$V_T = V_۱ + V_۲ + V_۳ + ... + V_n$$

$$\frac{Q_T}{C_T} = \frac{Q_۱}{C_۱} + \frac{Q_۲}{C_۲} + \frac{Q_۳}{C_۳} + ... + \frac{Q_n}{C_n}$$

چون در مدار سری $Q_۱ = Q_۲ = ...Q_n$ است میتوان از Q فاکتور گرفت و آن را از طرفین تساوی حذف کرد. بنابراین رابطه ظرفیت خازن معادل براساس رابطه مقابل برابر است با:

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

همانگونه از رابطه نهایی مشخص است ظرفیت خازن معادل در مدارهای سری عکس رابطه مربوط به مقاومت های سری است.



شکل ۸-۶۰

شکل ۶۱-۸

مثال: ظرفیت خازن معادل از دو نقطه A و B در شـکل ۶۱ـ۸ چند میکروفاراد است؟

حل: برای محاسبه خازن معادل به صورت مقابل می توان عمل نمود:

– حالات خاص در مدارهای سری خازنی:

اگر n خازن مسـاوی به طور سـری قـرار گیرند ظرفیت خازن از رابطه زیر قابل محاسبه است.

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

c ـ ظرفیت یک خازن

n ـ تعداد خازن ها

اگر دو خازن به طور سـری بسته شوند می توانیم از رابطه ساده شده نهایی به صورت زیر استفاده کنیم:

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

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

بـا معکوس کـردن رابطه و جایگزینـی اعداد، مقدار ظرفیت معادل به دست می آید.

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{5} + \frac{1}{8}}$$

$$C_T = \frac{1}{0/425} = 2/35\mu F$$

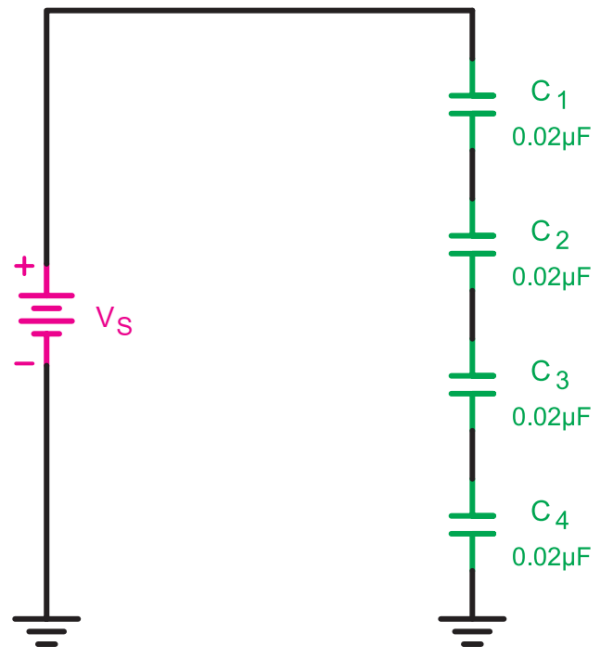
مثال: ظرفیت خازن معادل شکل ۸ـ۶۳ چند میکروفاراد است؟

حل: ظرفیت خازن ها مساوی است.

$$C_۱ = C_۲ = C_۳ = C_۴ = C = ./۰۲$$

پس می توانیم بنویسیم.

$$C_T = \frac{C}{n} = \frac{./۰۲\mu f}{۴} = ./۰۰۵\mu f$$



شکل ۸-۶۳

مثـال: ظرفیت خازن معادل شکل ۸ـ۶۴ چند پیکوفاراد است؟

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

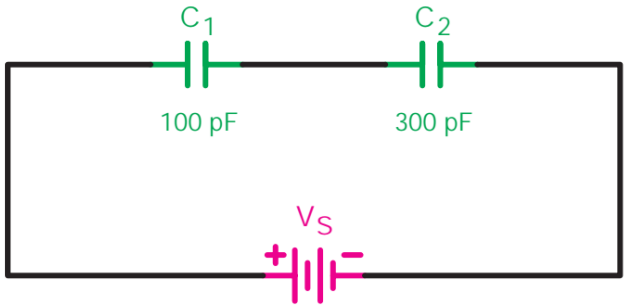
$$\frac{۱}{C_T} = \frac{۱}{۱۰۰} + \frac{۱}{۳۰۰} = \frac{۳+۱}{۳۰۰} = \frac{۴}{۳۰۰}$$

$$C_T = \frac{۳۰۰}{۴} = ۷۵pf$$

یا با استفاده از رابطه ساده زیر می توانیم بنویسیم:

$$C_T = \frac{C_۱ C_۲}{C_۱ + C_۲} = \frac{۱۰۰ \times ۳۰۰}{۱۰۰ + ۳۰۰}$$

$$C_T = \frac{۳۰۰۰۰}{۴۰۰} = ۷۵pF$$

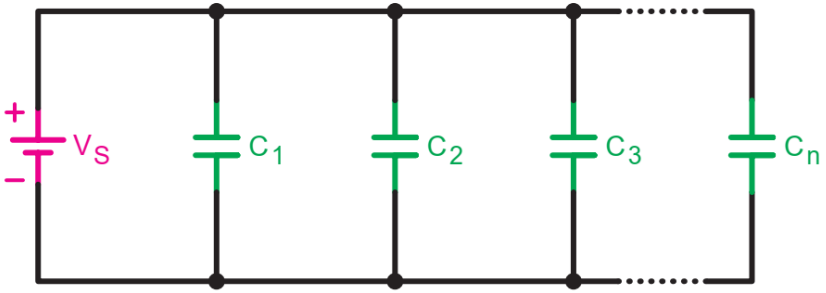


شکل ۸-۶۴

۲ـ۱۱ـ۸ـ اتصال موازی خازن ها

هرگاه دو یا n خازن مطابق شکل ۸ـ۷۰ به یکدیگر وصل شوند. این اتصال را «موازی» می گویند.

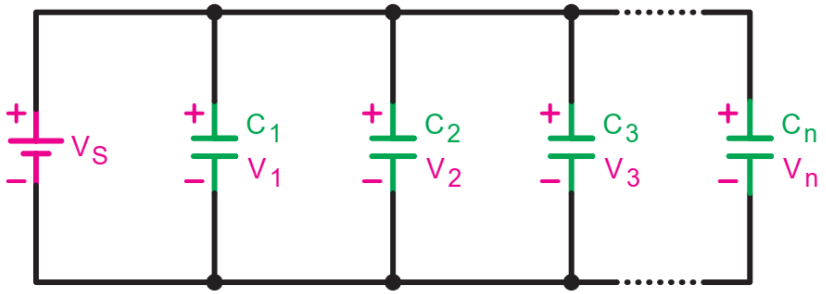
اتصال موازی خازن ها مشابه مقاومت ها است.



شکل ۸ـ۷۰

ـ عامل مشترک مدار

همان گونه که در مدارهای مقاومتی موازی بیان شد و در شکل ۸ـ۷۱ نیز مشاهده می شود، ولتاژ برای تمام عناصر در مدارهای موازی یکسان است پس برای مدارهای خازنی موازی نیز می توانیم بنویسیم:

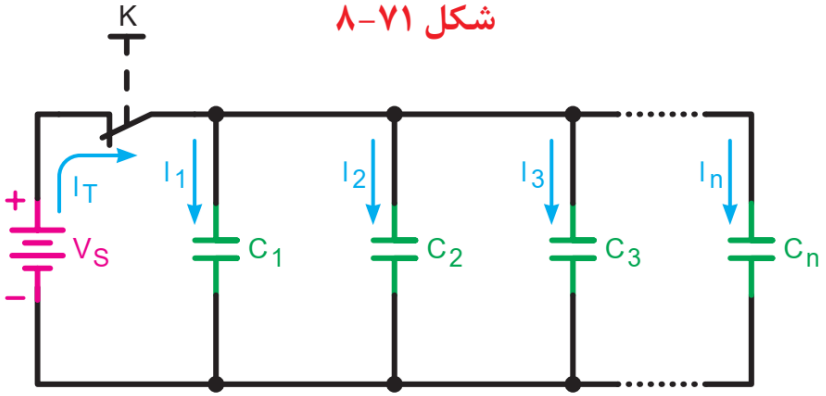


شکل ۸ـ۷۱

$$V_S = V_1 = V_2 = V_3 = ... = V_n$$

ـ عامل غیرمشترک مدار

در مدار موازی شکل ۸ـ۷۲ جریان یا به عبارت دیگر بار الکتریکی Q به نسبت ظرفیت خازن ها در بین شاخه ها تقسیم می شود. بنابراین می توانیم بنویسیم:

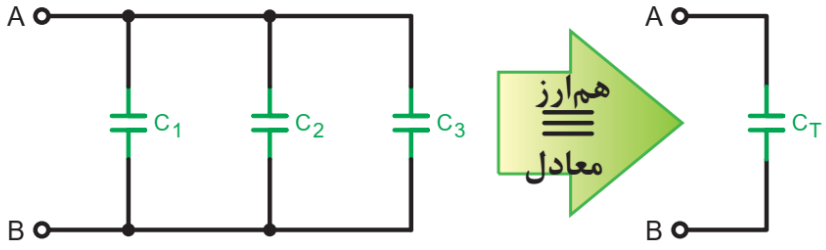


شکل ۸ـ۷۲

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + ... + Q_n$$

ـ ظرفیت خازن معادل مدار

خازنی را که میتواند جایگزیـــن تمام خازن های موجود در مدار باشد، خازن معادل می گویند. شکل ۷۳ـ۸ و مقدار ظرفیت خازن معادل از روابط زیر قابل محاسبه است:



شکل ۷۳-۸

$$Q_T = Q_۱ + Q_۲ + Q_۳ + ... + Q_n$$

مقدار بار هرخازن $Q = C.V$ دررابطه‌فوق قرارمی دهیم.

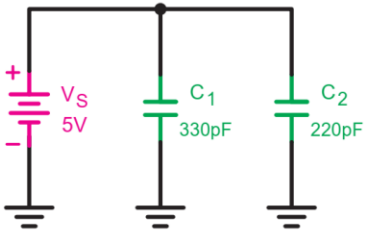
$$C_T V_T = C_۱ V_۱ + C_۲ V_۲ + C_۳ V_۳ + ... + C_n V_n$$

چون: $V_۱ = V_۲ = V_۳ = ... = V_n$

از ولتاژهـــا می توانیـــم فاکتور بگیریم و رابطه را ســـاده کنیم.

$$C_T = C_۱ + C_۲ + C_۳ + ...C_n$$

رابطـــه نهایی ظرفیت خازن معـــادل در مدارهای موازی عکس مقاومت های موازی است.



شکل ۸-۷۴

مثال: ظرفیت خازن معادل شـــکل ۸ـ۷٤ چند پیکو فاراد است؟

حل:

$$V_s = V_1 = V_2 = ۵۷$$

$$C_T = C_1 + C_2 = ۳۳۰pf + ۲۲۰pf = ۵۵۰pf$$

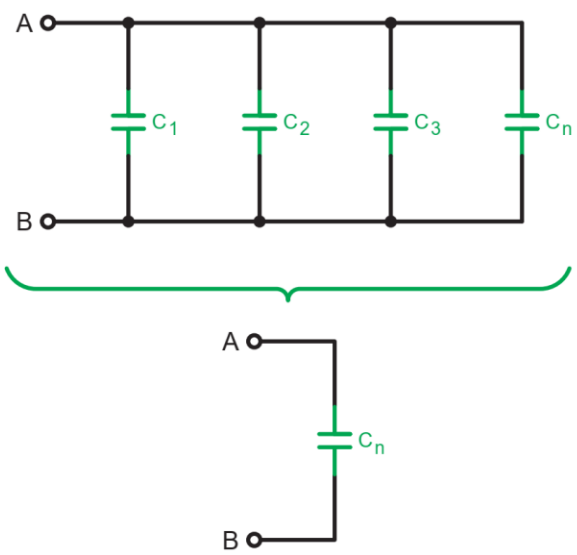
ـ حالت خاص:

هرگاه (n) خازن مســاوی به صورت موازی اتصال یابند شــکل ۸ـ۷۵ ظرفیت خــازن معادل از رابطه زیر به دســت می آید.

c ـ ظرفیت هر خازن

n ـ تعداد خازن ها

$$C_T = n.C$$



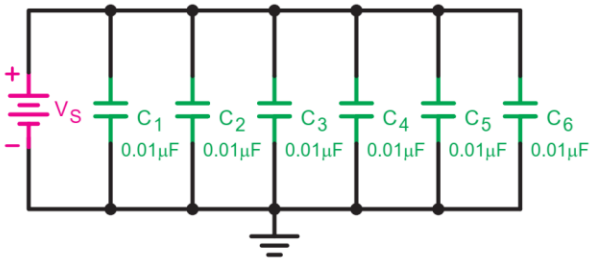
$(C_1 = C_2 = C_3 = ... = C_n)$

شکل ۸-۷۵

مثال: ظرفیت خازن معادل شکل ۸ـ۷۶ چند میکرو فاراد استز؟

حل: چون خازن ها مساوی هستند. پس:

$$C_T = n.C = (۶)(۰/۰۱\mu f) = ۰/۰۶\mu f$$

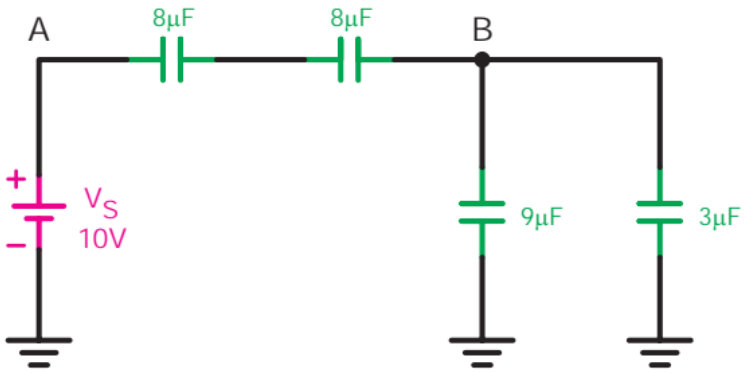


شکل ۸-۷۶

۳ـ۱۱ـ۸ـ اتصال ترکیبی خازن ها:

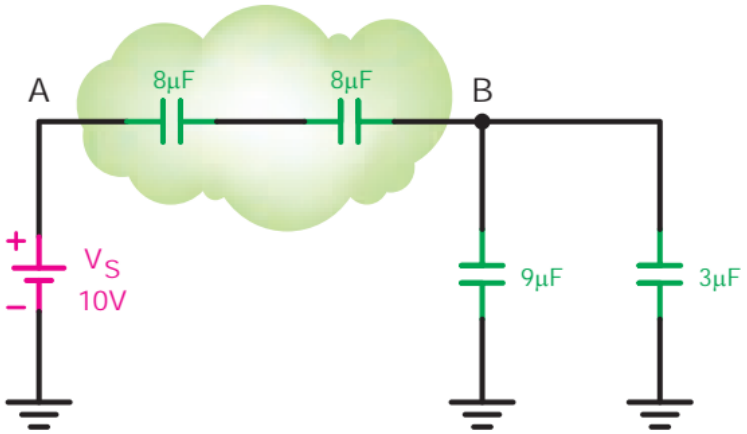
بـه مدارهایـی که نحـوه اتصـال خازن هـا ترکیبی از اتصالات سـری و موازی است مدار «ترکیبی» یا «مختلط» گفته می شـود. برای حل این مدارها با توجه به نوع مدارها باید برای هر قسـمت به طور جداگانه روابط سری یا موازی را بکار برد.

مثال: ظرفیت خازن معادل مدار شـکل ۸ـ۸۳ را حساب کنید.



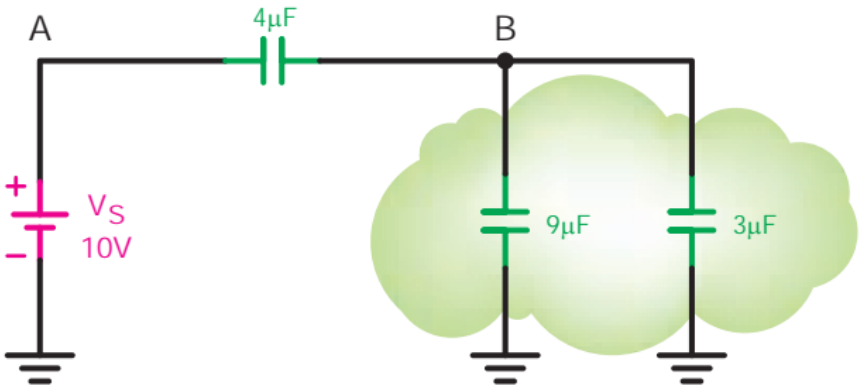
شکل ۸-۸۳

حال: خازن های موجود بین گروه های A و B به صورت سری و خازن های بین گره های B و C به شکل موازی قرار دارند که در نهایت مجموعه خازن های بین گره های A و B با خازن های بین گره های B و C به صورت سری با یکدیگر قرار می گیرند.



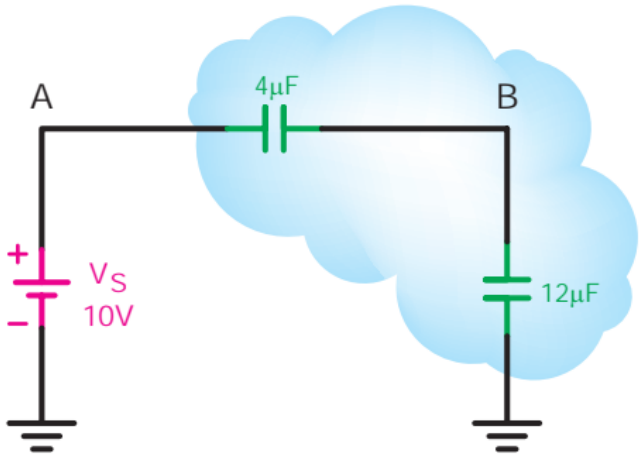
شکل ۸-۸۴

$$C_{T_{AB}} = \frac{C}{n} = \frac{۸}{۲} = ۴\mu f$$



شکل ۸-۸۵

$$C_{T_{BG}} = ۹ + ۳ = ۱۲\mu f$$



شکل ۸-۸۶

$$C_T = \frac{C_{T_{AB}} \times C_{T_{BG}}}{C_{T_{AB}} + C_{T_{BG}}}$$

$$C_T = \frac{۴ \times ۱۲}{۴ + ۱۲} = \frac{۴۸}{۱۶} = ۳\mu f$$

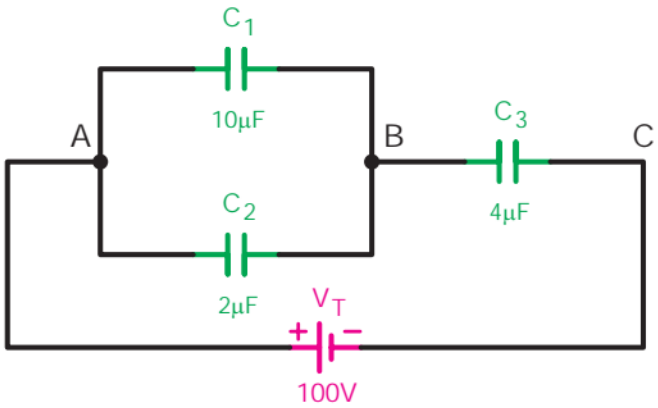
مثال:

در مدار شکل ۸ـ۸۷ مطلوب است:

الف ـ ظرفیت خازن معادل

ب ـ بار الکتریکی ذخیره شده در هر خازن

ج ـ ولتاژ دو سر هر خازن



شکل ۸-۸۷

حل:

$$C_{T_{AB}} = ۱۰ + ۲ = ۱۲\mu f$$

$$C_T = \frac{C_{T_{AB}} \times C_۳}{C_{T_{AB}} + C_۳} = \frac{۱۲ \times ۴}{۱۲ + ۴} = \frac{۴۸}{۱۶} = ۳\mu f$$

$$Q_T = V_T . C_T = ۱۰۰ \times ۳ = ۳۰۰\mu C$$

$$Q_T = Q_۳ = ۳۰۰\mu C$$

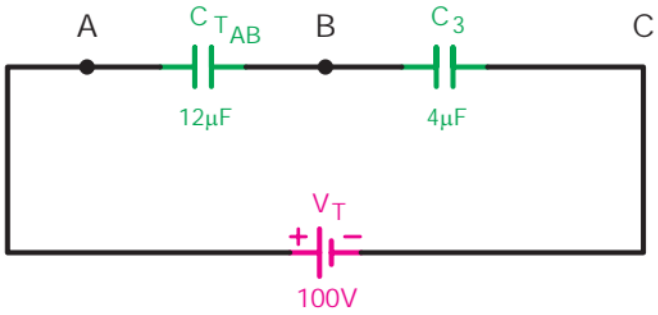
$$V_{BC} = V_۳ = \frac{Q_۳}{C_۳} = \frac{۳۰۰}{۴} = ۷۵v$$

$$V_T = V_{AB} + V_{BC} \Rightarrow V_{AB} = V_T - V_{BC}$$

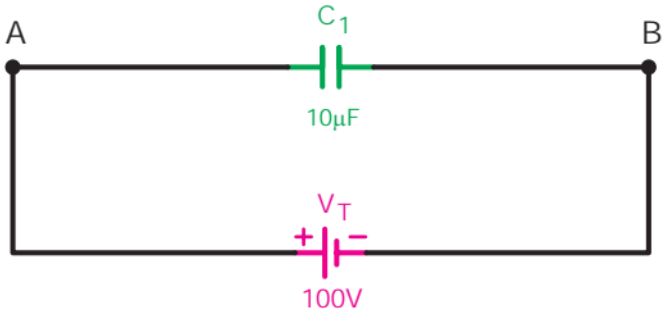
$$V_{AB} = V_۱ = V_۲ = ۱۰۰ - ۷۵ = ۲۵v$$

$$Q_۱ = V_۱ C_۱ = ۲۵ \times ۱۰ = ۲۵۰\mu C$$

$$Q_۲ = V_۲ C_۲ = ۲۵ \times ۲ = ۵۰\mu C$$



شکل ۸-۸۹

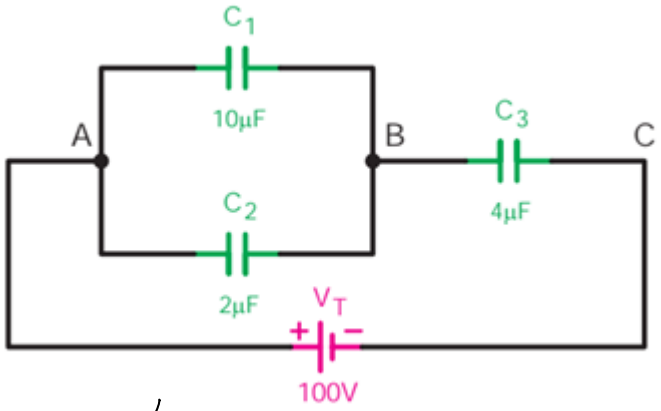


شکل ۸-۹۰

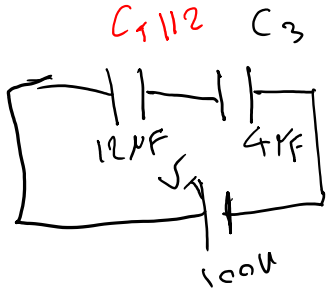
مراحل حل مثال:

C_1 موازی C_2 :

$$C_{1\parallel 2} = C_1 + C_2 = 12\mu F$$



خازن موازی معادل

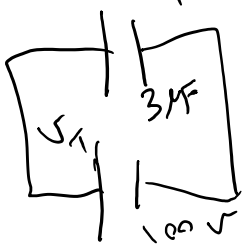


$C_{1\parallel 2}$ سری است با C_3 :

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_{1\parallel 2}} + \frac{1}{C_3}$$

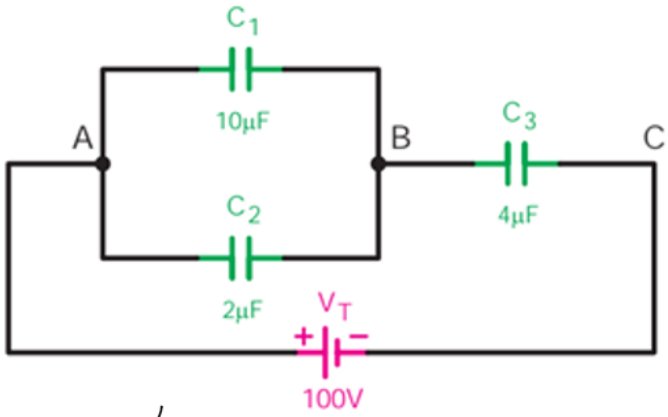
$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{12} + \frac{1}{4}} = 3\,\mu F$$

خازن سری معادل



ادامه مثال

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



$V_{C_T} = V_T = 100\ V$

$V_{C_T} = \frac{Q_T}{C_T} \Rightarrow Q_T = V_{C_T} \times C_T$

$= 100 \times 3\mu F = 300\mu C$

خازن معادل موازی

$C_{1\parallel 2}$ C_3

$12\mu F$ $4\mu F$ V_1 $100V$

جریان گذرنده از C_3 با $C_{1\parallel 2}$ برابر است

بنابراین Q ذخیره شده در C_3 با $C_{1\parallel 2}$ برابر است

$\Rightarrow Q_{C_3} = Q_{C_{1\parallel 2}} = Q_T = 300\mu C$

خازن سری معادل

C_T

$3\mu F$ V_1 $100\ V$

$V_{C_3} = \frac{Q_{C_3}}{C_3} \rightarrow V_{C_3} = \frac{300\mu C}{4\mu F} = 75\ V$

از خازن $4\mu F$ دارم

$V_T = V_{C_{1\parallel 2}} + V_{C_3}$

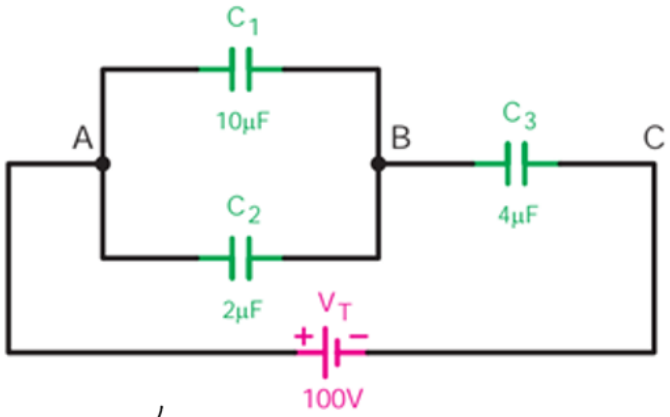
$100 = V_{C_{1\parallel 2}} + 75 \Rightarrow V_{C_{1\parallel 2}} = 25V$

چون C_1 با C_2 موازی است

$V_{C_1} = V_{C_2} = V_{C_{1\parallel 2}} = 25\ V$

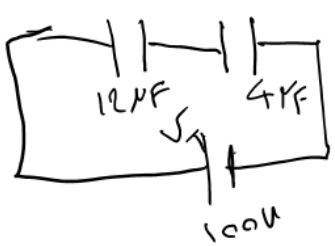
ادامه مثال:

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



خازن معادل موازی

$C_{T1,2} \quad C_3$



خازن معادل سری

C_T

بیدا کردن V_{C_1} و V_{C_2}

$V_{C_1} = V_{C_2} = 25V$

بنابراین

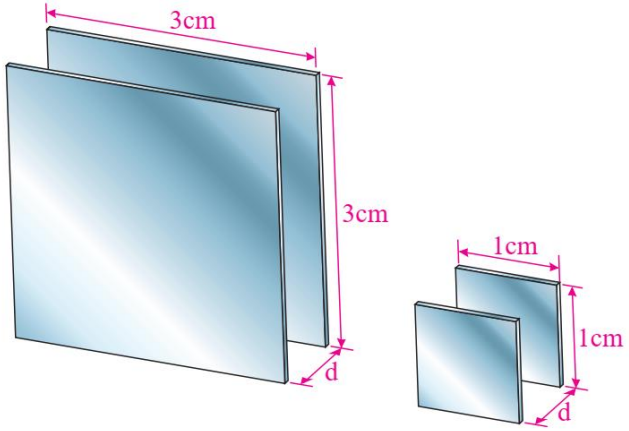
$Q_{C_1} = V_{C_1} \times C_1$

$= 25 \times 10\mu F = 250\mu C$

$Q_{C_2} = V_{C_2} \times C_2$

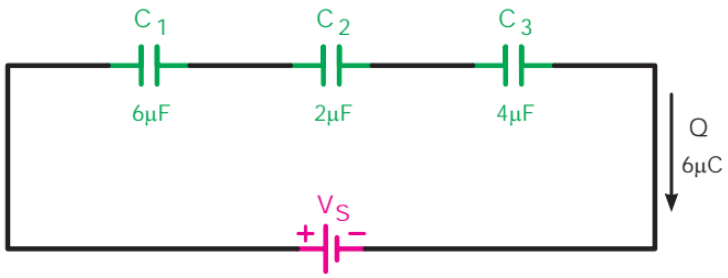
$= 25 \times 2\mu F = 50\mu C$

1 خازن ۱۰۰pf معادل چند میکروفارو است؟

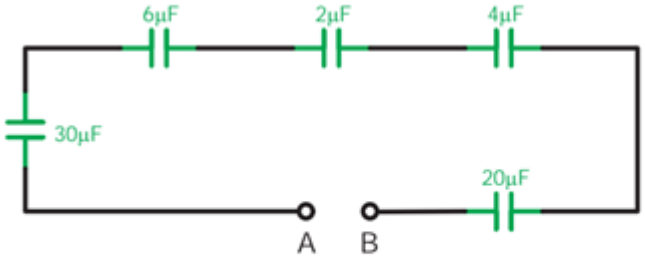


2 در شکل ۸ـ۹۷ ظرفیت خازن (الف) چند برابر خازن (ب) است؟

3 ولتاژ دو سر خازن C_3 در مدار شکل ۸ـ۱۰۳ چند ولت است؟



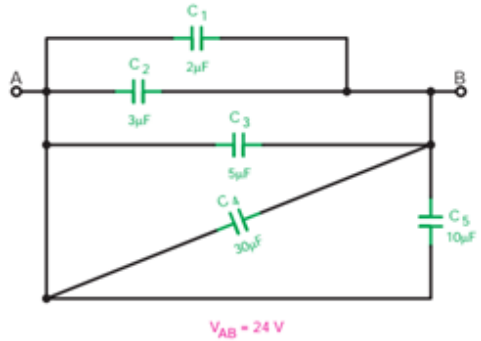
شکل ۸ـ۱۰۳



شکل ۸ـ۱۰۴

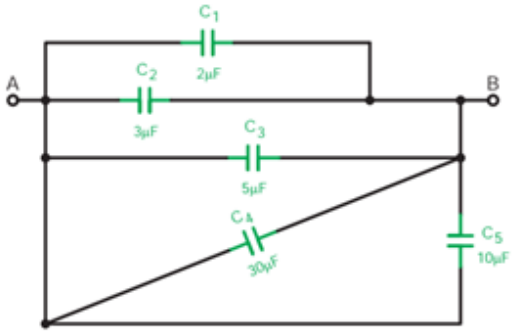
4 ظرفیت خازن معادل C_T شکل ۸ـ۱۰۴ چند میکروفاراد است؟

5 مقدار بار الکتریکی خازن C_2 در شکل ۸ـ۱۰۵ چند میکروکولن است؟



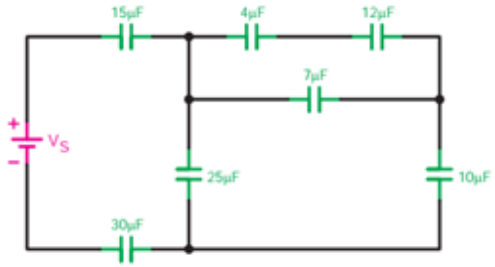
شکل ۸-۱۰۵

6 ظرفیت خازن معادل دو نقطه A و B شکل ۸ـ۱۰۶ چند میکروفاراد است؟



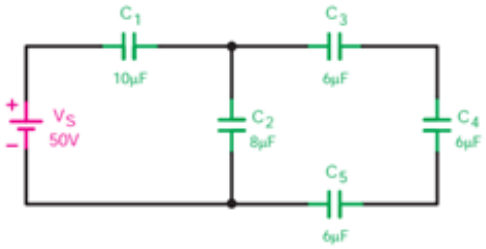
شکل ۸-۱۰۶

7 ظرفیت خازن معادل شکل ۸ـ۱۰۷ چند میکروفاراد است؟



شکل ۸-۱۰۷

8 ولتاژ دو سر خازن C_2 شکل ۱۰۸ـ۸ چند ولت است؟



شکل ۱۰۸–۸