بخش ۱۳

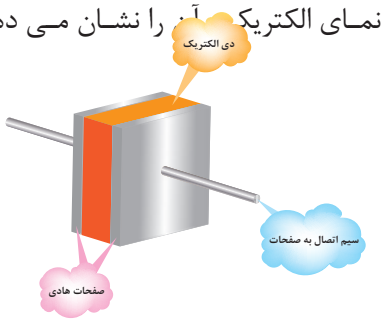
خازن

nichicon
4700μF 35V
VITAMINQ
CAPACITOR
22 - 400 D.C.
193-10 8210
189-505-5
103K
151

خازن

خازن وسیله ای الکتریکی است که در مدارهای الکتریکی اثر خازنی ایجاد می کند . اثر خازنی خاصیتی است که سبب می شود مقداری انرژی الکتریکی در یک میدان الکترواستاتیک ذخیره شود . به تعبیر دیگر ، خازن ها عناصری هستند که می توانند مقداری الکتریسیته را به صورت یک میدان الکترواستاتیک در خود ذخیره کنند . همان گونه که یک مخزن آب برای ذخیره کردن مقداری آب مورد استفاده قرار می گیرد .

خازن ها به اشکال گوناگون ساخته می شوند و متداول ترین آن ها خازن های مسطح هستند . این نوع خازن ها از دو صفحه هادی که بین آن ها عایق یا "دی الکتریک " قرار دارد، تشکیل می شوند . شکل ۱-۱۳ طرح ساده ی یک خازن مسطح و نمای الکتریکی آن را نشان می دهد .



شکل ۱-۱۳

صفحات هادی نسبتاً بزرگ اند و در فاصله ای بسیار نزدیک به هم قرار می گیرند . دی الکتریک انواع مختلفی دارد و با ضریب مخصوصی که نسبت به هوا سنجیده می شود ، معرفی می گردد . این ضریب را ضریب در الکتریک می گویند و آن را با حرف ε نمایش می دهند .

ظرفیت خازن

ظرفیت خازن نسبت بار الکتریکی ذخیره شده به اختلاف پتانسیل صفحات می باشد و آن را با C نشان می دهند و واحد آن $\frac{\text{کولن}}{\text{ولت}}$ می باشد که به احترام مایکل فاراد به آن «فاراد» گویند و با حرف F نشان می دهند .

یک فاراد ظرفیت خازنی است که هرگاه اختلاف پتانسیل یک ولت بین صفحات آن برقرار شود بار الکتریکی یک کولن در آن ذخیره شود . ظرفیت خازن از رابطه ۱-۱۳ بدست می آید :

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

در این رابطه :

C ظرفیت خازن (F)

q بار ذخیره شده (C)

V اختلاف پتانسیل (V)

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

راه حل :

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

$$C = \frac{۸۰}{۲۰} = ۴[F]$$

مثال ۲: خازنی با ظرفیت $۴۰\mu F$ را به ولتاژ ۵۰ ولت اتصال می دهیم . مقدار بار ذخیره شده چقدر است ؟

راه حل :

$$q = CV$$

$$q = ۴۰ \times ۱۰^{-۶} \times ۵۰ = ۲۰۰[\mu C]$$

مثال ۳: به دو سر خازن $۱۰\mu F$ چه ولتاژی بدهیم تا باری معادل $۱۰\mu C$ در آن ذخیره شود ؟

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

$$V = \frac{۱۰ \times ۱۰^{-۶}}{۱۰ \times ۱۰^{-۶}} = ۱[V]$$

عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن

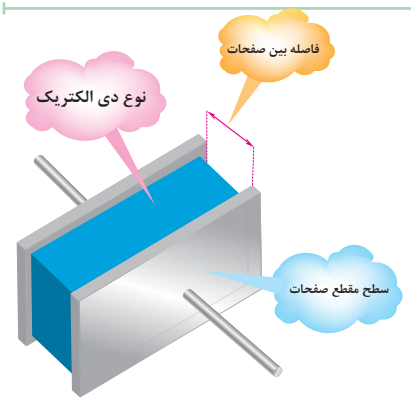
مهم ترین عوامل موثر در تعیین ظرفیت خازن عبارتند از:

۱-مساحت صفحات

۲-فاصله بین صفحات

۳-دی الکتریک به کار رفته بین صفحات

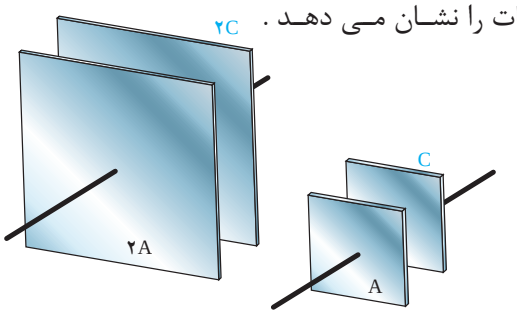
ظرفیت یک خازن فقط به ابعاد و نوع عایق بستگی دارد نه به مقدار ولتاژ و بار ذخیره شده در آن شکل (۲-۱۳) عوامل موثر در ظرفیت را نشان می دهد .



شکل ۲-۱۳- عوامل مؤثر برظرفیت خازن

۱-تأثیر مساحت صفحات :

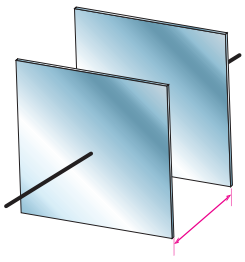
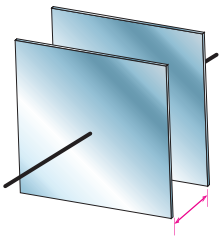
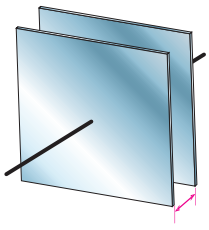
در صورت ثابت بودن فاصله ی بین صفحات دو خازن و استفاده از یک نوع دی الکتریک در آن، خازنی که دارای صفحات بزرگتر است ، ظرفیت بیشتری خواهد داشت ، زیرا هر چه صفحات بزرگتر باشند، بار بیشتری روی آن ها ذخیره می شود . بنابراین ، در صورت ثابت نگهداشتن عایق و فاصله بین صفحات ، ظرفیت خازن با مساحت صفحات نسبت مستقیم دارد؛ یعنی با با دو برابر شدن مساحت صفحات ، ظرفیت خازن نیز نصف می شود . شکل ۳-۱۳ نسبت بین ظرفیت و مساحت صفحات را نشان می دهد .



شکل ۳-۱۳- تأثیر مساحت صفحات بر ظرفیت خازن

۲-تأثیر فاصله ی بین صفحات :

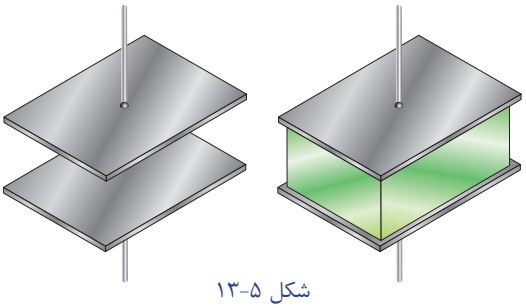
همان گونه که در شکل ۴-۱۳ مشاهده می کنید ، در صورت کم یا زیاد شدن فاصله ی بین صفحات ، ظرفیت خازن زیاد یا کم می شود ؛ یعنی ، مقدار ظرفیت خازن با فاصله ی بین صفحات آن ، نسبت عکس دارد . هرچه فاصله ی بین دو صفحه کمتر باشد ، مقدار ظرفیت خازن بیشتر است و برعکس ، هرچه فاصله ی صفحات بیشتر باشد مقدار ظرفیت خازن کم تر است . کمترین فاصله ای که می تواند بین دو صفحه وجود داشته باشد ، به ولتاژ داده شده به خازن و عایق بین صفحات آن بستگی دارد . امروزه خازن هایی با فاصله ی بسیار کوچک ساخته شده است که می توانند ولتاژ های بزرگ تا چند صد ولت را تحمل کنند .

ظرفیت کم	ظرفیت متوسطه	ظرفیت زیاد
		
فاصله صفحات زیاد	فاصله صفحات متوسط	صفحات صفحات کم

شکل ۴-۱۳- تأثیرفاصلهٔ بین صفحات بر ظرفیت خازن

۳-اثر دی الکتریک :

ماده عایق مورد استفاده بین صفحات خازن را دی الکتریک گویند . دی الکتریک به کار رفته در خازن ها می تواند هوا ، خلأ، کاغذ ، شیشه ، میکا و ... باشد . بعضی از دی الکتریک ها به علت این که ظرفیت خازنی بزرگی تولید می کنند ، دی الکتریک های خوبی هستند . در حالیکه برخی دیگر ظرفیت کوچکی تولید می‌کنند در نتیجه دی الکتریک‌های ضعیفی هستند. تفاوت بین دی‌الکتریک خوب و ضعیف، از چگونگی تاثیر نیروی الکترواستاتیکی بر مولکول‌های دی الکتریکی مشخص می‌شود شکل (۵-۱۳).



شکل ۵-۱۳

جنس دی الکتریک ها بر ظرفیت خازن اثر دارد ؛ از این رو خواص دی الکتریکی مواد باید مورد توجه قرار گیرد . برای این منظور، خواص دی الکتریکی مواد نسبت به خواص هوا سنجیده می شود . ثابت دی الکتریک هوا را $\varepsilon_{\circ}$ و ثابت دی الکتریک هر ماده ی دیگر را ε در نظر می گیرند . مقدار εبرابر است با :

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

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

ε_r ضریب نسبی نشان می دهد ضریب دی الکتریک هر ماده چند برابر ضریب دی الکتریک هواست . ظرفیت خازن با مساحت صفحات و نوع دی الکتریک ، نسبت مستقیم و با فاصله بین صفحات ، نسبت عکس دارد؛ ظرفیت خازن از رابطه زیر بدست می‌آید.

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

A مساحت صفحه و d فاصله بین دو صفحه را نشان می دهد .

مثال ۴ : ظرفیت خازنی را که مساحت صفحات آن ۰/۰۵مترمربع و فاصله بین صفحات آن ۰/۱ سانتی متر و نوع دی الکتریک به کار رفته در آن میکا باشد ، به دست آورید.

راه حل :

با استفاده از جدول ۱-۱۳ ضریب دی الکتریک (ε_r) برای میکا برابر ۵ است . همچنین می دانیم که ثابت دی الکتریک هوا برابر است با $\varepsilon_{\circ} = ۸/۸۵\times ۱۰^{-۱۲}$

بنابراین با توجه به مقادیر داده شده ، مقدار C ظرفیت خازن را به دست می آوریم.

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

$$\varepsilon_{\circ} = ۸/۸۵\times ۱۰^{-۱۲}\times ۵\left[\frac{F}{m}\right]$$

$$A = ۰/۰۵ m^۲$$

$$d = ۰/۱\times ۱۰^{-۲} m^۲$$

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

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

جدول ۱-۱۳ ضریب های دی الکتریک

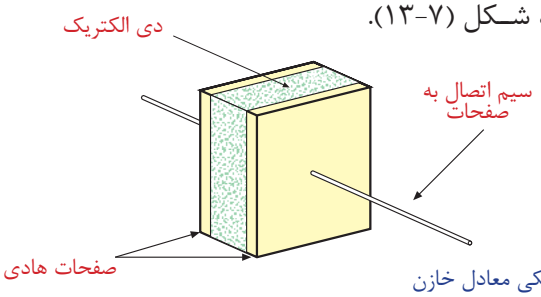
نوع عایق	ضریب دی الکتریک(ε_r)
هوا	۱
تفلون	۲
کاغذ آغشته به پارافین	۲/۵
روغن	۴
میکا	۵
اکسید آلومینیم	۷
شیشه	۷/۵
اکسید تانتالیم	۲۶
سرامیک	۱۲۰۰

از جمله مشخصه های دیگر خازن ولتاژ کار آن است که همراه با ظرفیت روی بدنه خازن نوشته می شود . در شکل ۶-۱۳ خازن ها با تحمل ولتاژ ۳۵ ولت DC وظرفیت ۱۰۰۰ میکرو فاراد در شکل (الف) و ۴۰۰ولت DC و ظرفیت ۱۰۰ میکرو فاراد در شکل (ب) است .

شکل ۶-۱۳

مدار الکتریکی معادل خازن

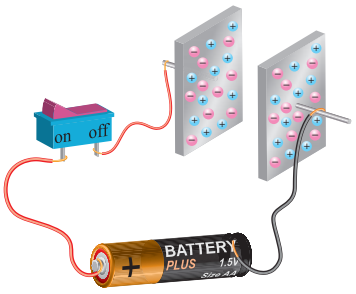
خازن علاوه بر ظرفیت C ، مقاومت الکتریکی R نیز دارد . مقاومت الکتریکی ناشی از سطح مقطع و ضخامت صفحات خازن است . برای خازن مدار الکتریکی شامل اتصال سری مقاومت الکتریکی R و ظرفیت خازن C معادل می نمایند شکل (۷-۱۳).



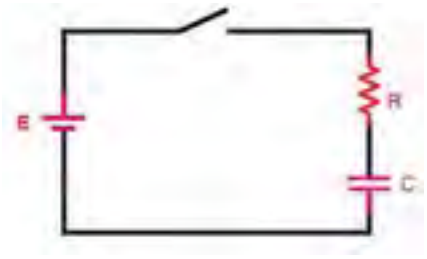
شکل ۷-۱۳- مدار الکتریکی معادل خازن

خازن در جریان مستقیم

یک خازن که توسط منبع جریان مستقیم تغذیه می شود در شکل۸-۱۳ و مدار الکتریکی معادل آن در شکل ۹-۱۳ نشان داده شده است .

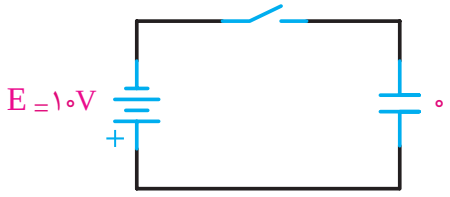
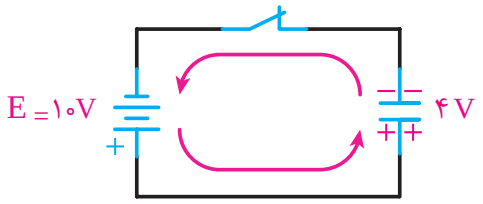


شکل (۸-۱۳)



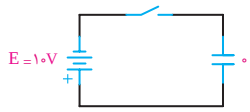
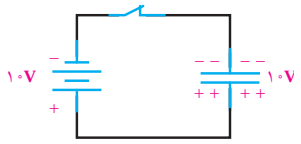
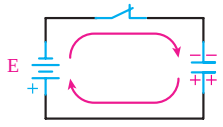
شکل (۹-۱۳)

با بستن کلید ، الکترون ها از قطب منفی باتری به طرف صفحه ای که به این قطب متصل است جاری می شوند و در آن تراکم الکترون یا بار منفی ایجاد می کنند . در همین لحظه ، قطب مثبت باتری همان تعداد الکترون را از صفحه ای که به این قطب متصل است جذب می کند و این صفحه ، کمبود الکترون پیدا می کند و دارای بار مثبت می شود . در لحظاتی که خازن شارژ می شود . الکترون ها از طریق سیم های رابط به طرف قطب مثبت باتری حرکت می کنند ، وارد باتری می شوند و از قطب منفی خارج می گردند شکل (۱۰-۱۳).

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

شکل ۱۰-۱۳

افزایش بار الکتریکی صفحات خازن، میدان الکتریکی ساکن را بالا می برد و ولتاژی در خلاف جهت ولتاژ اعمال شده به دو سر خازن ایجاد می کند . ولتاژ ایجاد شده در خازن ، با جاری شدن جریان در مدار مخالفت می‌کند . شدت جریان مدار کاهش می یابد . هرگاه ولتاژ خازن با ولتاژ باتری برابر شود ، جریان در مدار صفر می‌شود. صفر شدن جریان در مدار ، نشانه شارژ شدن کامل خازن است . خازن هیچ گاه با ولتاژی بیشتر از ولتاژ منبع شارژ نمی شود . باید به این نکته توجه کرد که جریان شارژ و ولتاژ خازن مخالف یکدیگر عمل می کنند، یعنی ، در ابتدای شارژ جریان ماکزیمم و ولتاژ خازن صفر است . هرچه به ولتاژ خازن اضافه می‌شود ، شدت جریان کاهش می یابد . وقتی ولتاژ خازن به مقدار ماکزیمم خود می رسد ، جریان صفر می شود . شکل ۱۱-۱۳ این مطلب را به روشنی نشان می‌دهد .

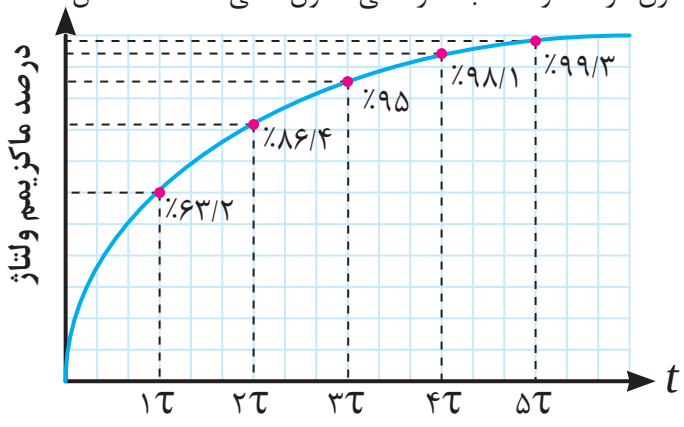
مدار باز بوده ، جریان نمی گذرد	
خازن درحال شارژ	
خازن کاملاً شارژ شده و جریان نمی گذرد	

شکل (۱۱-۱۳)

یک خازن شارژ شده باید شارژ خود را به مدت نا محدودی نگاه دارد ؛ با جدا شدن منبع از خازن ، بتدریج خازن شارژ خود را از دست می دهد و دشارژ می‌شود. برای دشارژ خازن تنها لازم است یک مسیر هادی بین دو صفحه ایجاد شود . با ایجاد مسیر ، الکترون های صفحه منفی به طرف صفحه ی مثبت جاری می شوند . تبادل الکترون بین صفحات آن قدر ادامه پیدا می کند تا خازن دشارژ شود . حرکت الکترون ها از مسیر ایجاد شده جریان دشارژ نامیده می شود .

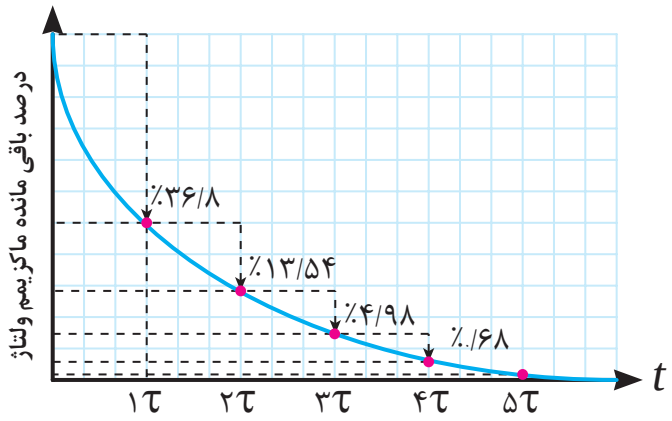
زمان شارژ به مقدار مقاومت قرار گرفته در مسیر شارژ (R) و ظرفیت خازن (C) بستگی دارد و از رابطه ی (۳-۱۳) بدست می‌آید . $t = 5\tau$

τرا 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 به اندازه ۶۳/۲ درصد از ولتاژ باقی مانده شارژ می شود . شارژ کل خازن در حدود ۵ ثابت زمانی طول می کشد . شکل ۱۲-۱۳.



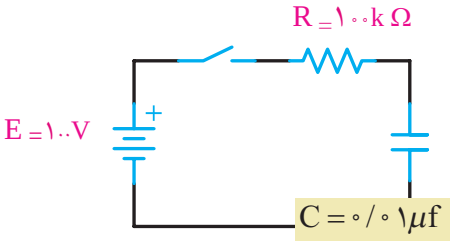
شکل ۱۲-۱۲- منحنی شارژ خازن

دشـارژ شـدن خـازن نیـز در حـدود ۵ ثابـت زمانـی انجـام مـی گیـرد . در ثابـت زمانـی اول ۶۳/۲ درصـد از شـارژ کامـل خـازن از بیـن مـی رود و در ثابـت زمانـی هـای بعـدی بـه ترتیـب ۶۳/۲ درصـد از شـارژ باقـی مانـده تخلیـه مـی شـود . در انتهـای ۵ ثابـت زمانـی ، خـازن کامـلاً تخلیـه شـده اسـت . شـکل (۱۳-۱۳)

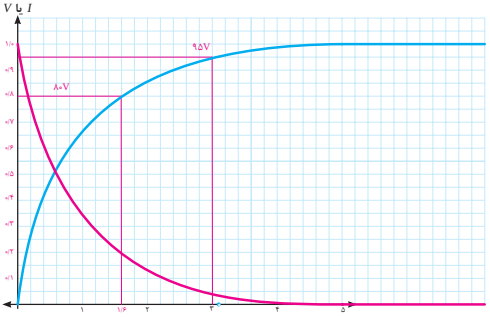


شکل ۱۳-۱۳- منحنی دشارز خازن

مثال۵: در مدار شکل ۱۴-۱۳پس از بستن کلید و با استفاده از منحنی شکل ۱۵-۱۳مطلوبست:



شکل ۱۴-۱۳



شکل ۱۵-۱۳

الف- چه مدت طول می کشد تا ولتاژ دو سر خازن به ۸۰ ولت برسد ؟

ب-بعد از ۳ میلی ثانیه ، ولتاژ دو سر خازن چه مقدار می شود ؟

راه حل :

ثابت زمانی مدار $\tau = RC$ $\quad ۱۰۰\times۱۰^{۳} \times ۰/۰۱\times۱۰^{-۶} = ۱ms$

در یـک ثابـت زمانـی یـا یـک میلی‌ثانیـه، خـازن بـه انـدازه ی ۶۳/۲ درصـد ولتـاژ کل – یعنـی ۶۳/۲ ولـت ، شـارژ مـی شـود . اگـر بخواهیـم خـازن ۸۰ ولـت شـارژ شـود ، چنیـن عمـل مـی کنیـم :

از روی محـور عمـودی کـه ولتـاژ را نشـان مـی دهـد ، مقـدار ۸۰ ولـت را پیـدا مـی کنیـم و خطـی مـوازی محـور زمـان (افقـی) مـی کشـیم تـا منحنـی شـارژ را قطـع کنـد . از آن جـا نیـز خطـی مـوازی محـور عمـودی (ولتـاژ) رسـم مـی کنیـم تـا محـور زمـان را قطـع کنـد . محـل تقاطـع محـور زمـان عـدد

$1/6\tau$ را نشان می دهد ؛ یعنی ، ۱/۶ میلی ثانیه طول می کشد تا خازن به مقدار ۸۰ ولت شارژ شود . در ۳ میلی ثانیه یا ۳ ثابت زمانی ، ولتاژ دو سر خازن به ۹۵ ولت می رسد . چرا ؟ با رسم خطوطی موازی محورهای مختصات ، همان طور که قبلاً گفته شد – مقدار ۹۵ ولت به دست می آید .

خازن در جریان متناوب

خازن در جریان متناوب علاوه بر مقاومت الکتریکی R مربوط به صفحات هادی به دلیل تغییرات ولتاژ ناشی از فرکانس «مقاومت خازنی» دارد. مقاومت خازنی[1] با جاری شدن جریان در خازن مخالفت می کند . «مقاومت خازنی» را با X_c نشان می دهند و واحد آن اهم است و از رابطه زیر بدست می آید .

در این رابطه :

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

X_c: مقاومت خازنی (Ω)

f: فرکانس (Hz)

C: ظرفیت خازن (F)

مثال ۶- یک خازن با ظرفیت ۱۰۰ در فرکانس ۵۰ هرتز مفروض است مقاومت خازنی آن چند اهم است

حل : از رابطه (۴-۱۳) داریم:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fc}$$

$$X_C = \frac{1}{2\times 3/14\times 50\times 100\times 10^{-6}}$$

اتصال خازن ها

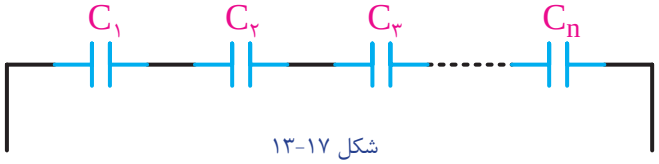
برای سادگی محاسبات از مقاومت الکتریکی R مربوط به صفحات هادی در مقایسه با مقاومت خازنی صرف نظرمی‌شود و مدار الکتریکی معادل خازن مطابق شکل ۱۶-۱۳ در نظر گرفته می‌شود .

شکل ۶-۱۳

C

الف)اتصال سری خازن ها

ظرفیت خازن معادل C_t چند خازن با اتصال سری شکل ۱۷-۱۳ از رابطه بدست می‌آید .



شکل ۱۷-۱۳

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n}$$

۱. Capacitor Reactance

مثال۶: ظرفیت خازن معادل خازن‌های شکل ۱۸-۱۳ را بدست آورید .

حل : رابطه مقابل داریم .

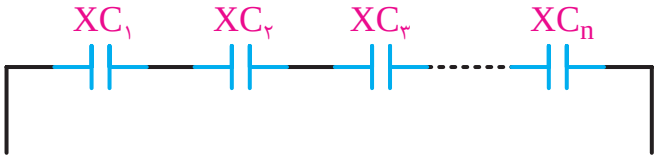
$$\frac{۱}{C_t}=\frac{۱}{C_۱}+\frac{۱}{C_۲}$$

$$\frac{۱}{C_t}=\frac{۱}{۳۰}+\frac{۱}{۶۰}$$

$$\frac{۱}{C_t}=\frac{۱}{۶۰}$$

$$C_t=\frac{۱\times۶۰}{۳}=۲۰\mu f$$

مقاومت خازنی معادل X_c خازن‌های اتصال سری شکل ۱۸-۱۳ از رابطه زیر بدست می آید .

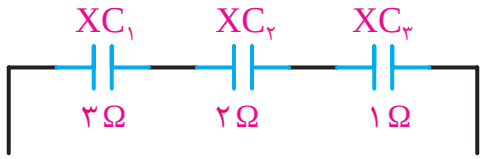


شکل ۱۸-۱۳

$$X_{C_t}=X_{C_۱}+X_{C_۲}+\cdots+X_{C_n}$$

مثال ۷: مقاومت خازنی معادل شکل ۱۹-۱۳ را بدست آورید .

از رابطه زیر داریم :



شکل ۱۹-۱۳

$$X_{C_t}=X_{C_۱}+X_{C_۲}+X_{C_۳}$$

$$X_{C_t}=۳+۲+۱=۶\Omega$$

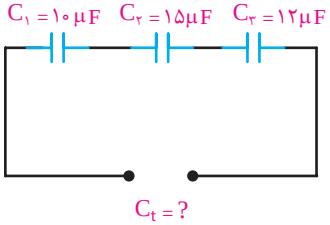
مثال ۸: ظرفیت معادل مدار شکل ۲۴-۱۳را به دست آورید .

راه حل:

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

$$\frac{۱}{C_t}=\frac{۱}{۱۰}+\frac{۱}{۱۵}+\frac{۱}{۱۲}=\frac{۶+۴+۵}{۶۰}=\frac{۱۵}{۶۰}$$

$$C_t=\frac{C}{n}=۴\mu F$$

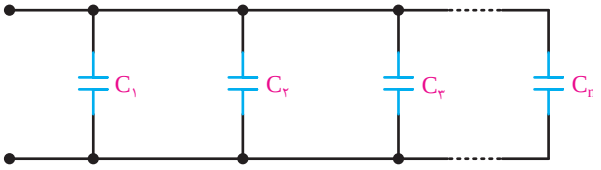


شکل۲۴-۱۳

ب) اتصال موازی خازن ها

ظرفیت خازن معادل C_t چند خازن با اتصال موازی شکل ۲۰-۱۳ از رابطه زیر بدست می آید .

$$C_t = C_۱ + C_۲ + \cdots + C_n$$



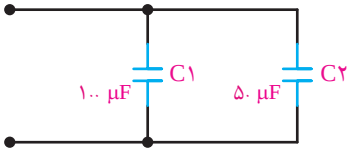
شکل ۲۰-۱۳

مثال ۹: ظرفیت خازن معادل خازنهای شکل ۲۱-۱۳ رابدست آورید .

از رابطه ۷-۱۳ داریم :

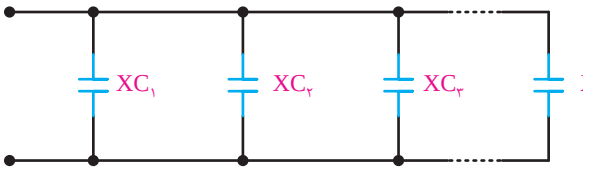
$$C_t = C_۱ + C_۲$$

$$C_t = ۱۰۰ + ۵۰ = ۱۵۰\mu f$$



شکل ۲۱-۱۳

مقاومت خازنی معادل X_{C_t} خازنها با اتصال موازی شکل ۲۲-۱۳ از رابطه زیر بدست می آید .



شکل ۲۲-۱۳

$$\frac{۱}{X_{C_t}} = \frac{۱}{X_{C_۱}} + \frac{۱}{X_{C_۲}} + \frac{۱}{X_{C_۳}} \cdots + \frac{۱}{X_{C_n}}$$

مثال ۱۰: مقاومت خازنی معادل خازن های شکل ۲۳-۱۳ را به دست آورید .

حل :

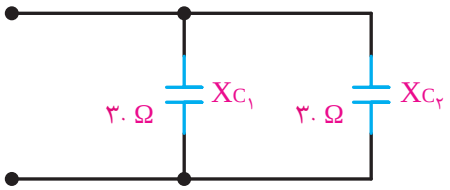
از رابطه ۸-۱۳ داریم :

$$\frac{۱}{X_{C_t}}=\frac{۱}{X_{C_۱}}+\frac{۱}{X_{C_۲}}$$

$$\frac{۱}{X_{C_t}}=\frac{۱}{۳۰}+\frac{۱}{۳۰}$$

$$\frac{۱}{X_{C_t}}=\frac{۲}{۳۰}$$

$$X_{C_t}=\frac{۳۰}{۲}=۱۵\Omega$$



شکل ۲۳-۱۳

اتصال مختلط خازن ها

در اتصال مختلط خازن ها از قوانین مربوط به اتصال سری و موازی متناسب با روش انجام شده استفاده می‌کنیم ؛ یعنی ، ابتدا کل مجموعه را به مجموعه های جزء سری و موازی تقسیم می کنیم ؛ آن گاه معادل مجموعه‌های جزء را به دست می آوریم و سپس قوانین سری و موازی را درباره آن ها اجرا می کنیم .

مثال ۱۱ : ظرفیت خازن معادل مدار شکل ۲۵-۱۳ چند میکروفاراد است ؟

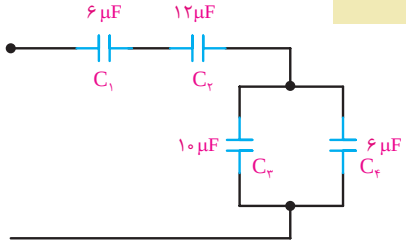
راه حل :

در این مدار $C_۱$ و $C_۲$ سری است که روابط سری را درباره این دو عمل می کنیم. $C_۳$ و $C_۴$ نیز با هم موازی اند و روابط موازی را درباره ی آنها عمل می کنیم . در نهایت ، مجموعه $C_۱$ و $C_۲$ با مجموعه $C_۳$ و $C_۴$ سری هستند و از قوانین سری پیروی می کنند . بنابراین ، می‌توان نوشت :

$$C_{۱,۲}=\frac{C_۱C_۲}{C_۱+C_۲}=\frac{۶\times۱۲}{۶+۱۲}=۴\mu F$$

$$C_{۳,۴}=C_۳+C_۴=۱۰+۶=۱۶\mu F$$

$$C_۵=\frac{۴\times۱۶}{۴+۱۶}=\frac{۱۶}{۵}=۳/۲\mu F$$



شکل ۲۵-۱۳

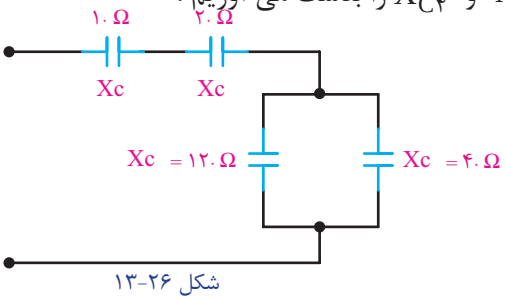
البته می توانستیم ابتدا ظرفیت $C_{۳,۴}$ را حساب کنیم و سپس ظرفیت معادل را به صورت مجموعه سه خازن سری به دست آوریم .

مثال ۱۲:

مقاومت خازنی معادل شکل ۲۶-۱۳ را بدست آورید .

حل :

از رابطه ۸-۱۳ مقاومت خازنی معادل بین X_{C_3} و X_{C4} را بدست می آوریم .



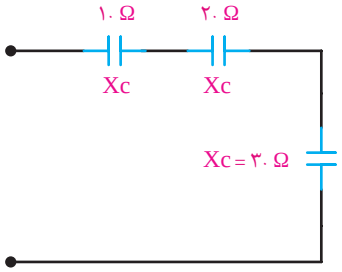
شکل ۲۶-۱۳

$$\frac{۱}{X_{C۳۴}}=\frac{۱}{X_{C۳}}+\frac{۱}{X_{C۴}}$$

$$\frac{۱}{X_{C۳۴}}=\frac{۴}{۱۲۰}$$

$$X_{C۳۴}=\frac{۱۲۰}{۴}=۳۰\Omega$$

مدار به شکل ۲۷-۱۳ در می آید .



شکل ۲۷-۱۳

از رابطه زیر مقاومت خازنی معادل بین X_{C_1} ، X_{C_2} و $X_{C_{34}}$ را بدست می‌آوریم .

$$X_{C_t}=X_{C_1}+X_{C_2}+X_{C_{34}}$$

$$X_{C_t}=۱۰+۲۰+۳۰=۶۰\Omega$$

انرژی خازن

خازن انرژی الکتریکی را بصورت میدان الکتریکی در خود ذخیره می سازد و ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن از رابطه زیر بدست می آید :

که در این رابطه :

$$W_C=\frac{۱}{۲}CV_m^۲$$

W_C ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن (j)

C ظرفیت خازن (F)

V_m ماکزیمم ولتاژ خازن (V)

مثال ۱۳: به یک خازن با ظرفیت ۵۰ میکروفاراد ولتاژ متناوب سینوسی به معادله زمانی $v(t)=۵۰\sin(۱۰۰۰t)$ وصل شده است. ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن چند ژول است؟

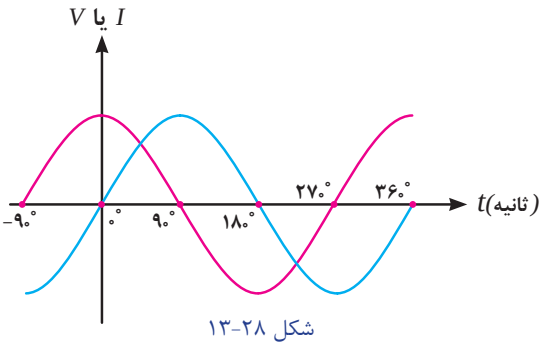
حل : از رابطه گفته شده انرژی خازن برابر است با :

$$W_C = \frac{1}{2} C V_m^2$$

$$W_C = \frac{1}{2} \times 50 \times 10^{-6} \times (100)^2 = 0/25(j)$$

منحنی جریان و ولتاژ خازن در جریان متناوب

جریان خازن از ولتاژ دو سر آن ۹۰ جلوتر است لذا خازن را یک عنصر«پیش فاز» می شناسند . منحنی ولتاژ و جریان خازن در اتصال به منبع متناوب سینوسی در شکل ۱۳-۲۸ نشان داده شده است که درآن $\theta_v = 0$ و $\theta_t = 90$ می‌باشد .



شکل ۱۳-۲۸

با توجه به شکل ۱۳-۲۸ معادلات زمانی ولتاژ و جریان بصورت زیر خواهد شد.

$$v_{(t)} = V_m \sin(\omega t + 0)$$

$$i_{(t)} = I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

و زاویه اختلاف فاز ϕ برابر خواهد شد.

$$\phi = \theta_V - \theta_i$$

$$\phi = 0 - (90) = -90^\circ$$

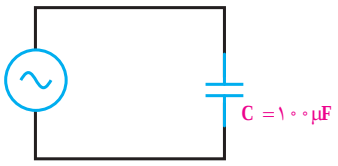
مثال ۱۴ : در مدار شکل ۱۳-۲۹ مطلوب است :

الف) مقاومت خازنی

ب)جریان خازن

ج)معادله زمانی جریان خازن

$v(t) = 50\sin(1000t)$



شکل ۱۳-۲۹

حل :

الف) از رابطه زیرداریم :

$$X_C = \frac{1}{100 \times 10^{-6} \times 1000} = 10\Omega$$

ب) از قانون اهم داریم :

$$I_m = \frac{V_m}{X_C} = \frac{50}{10} = 5(A)$$

$$\text{جریان} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{مقاومت}}$$

از رابطه جریان مؤثر بدست می‌آید:

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3/54(A)$$

جریان خازن از ولتاژ دو سر آن جلوتر است داریم .

$$i_{(t)} = 5\sin(1000t + 90^\circ)$$

توان الکتریکی خازن

توان الکتریکی خازن صرف ذخیره سازی انرژی الکتریکی می شود . مقدار انرژی ذخیره شده در واحد زمان در خازن را «توان الکتریکی خازن» گویند . توان الکتریکی خازن قادر به تبدیل کردن انرژی الکتریکی نیست لذا آن را توان« غیر موثر » یا «توان راکتیو» نیز می گویند و با حرف c نشان می دهند و واحد آن «ولت آمپر راکتیو VAR» است . توان الکتریکی خازن از رابطه زیر بدست می آید .

که در این رابطه :

$$Q_c = -X_c I_c^2$$

Q_c توان الکتریکی خازن (VAR)

X_c مقاومت خازنی (Ω)

I_C جریان خازنی (A)

مثال ۱۵: یک مقاومت خازنی ۲ اهم با جریان موثر ۴ آمپر مفروض است . توان الکتریکی خازن چقدر است؟

حل : از رابطه مقابل داریم :

$$Q_c = -X_c I_c^2$$

$$Q_c = -2 \times 4^2 = -32(VAR)$$

پرسش

۱- شارژ و دشارژ را تعریف کنید.

۲- میدان الکتروستاتیکی چگونه پدید می‌آید؟

۳- ظرفیت خازن به چه عواملی بستگی دارد؟

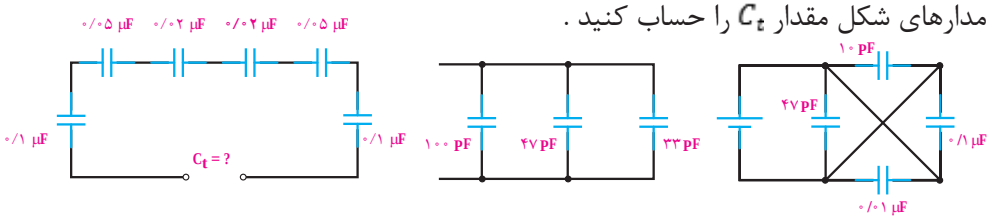
۴- چرا دی الکتریک را در خازن به کار می‌بریم؟

۵- ثابت زمانی یک مدار RC را توضیح دهید و رابطه آن را بنویسید.

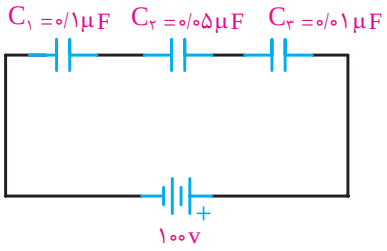
۶- خصوصیات مدار سری و موازی خازنی را با یکدیگر مقایسه کنید.

تمرین

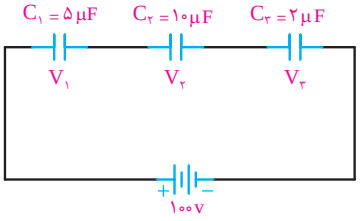
۱-در مدارهای شکل مقدار C_t را حساب کنید .



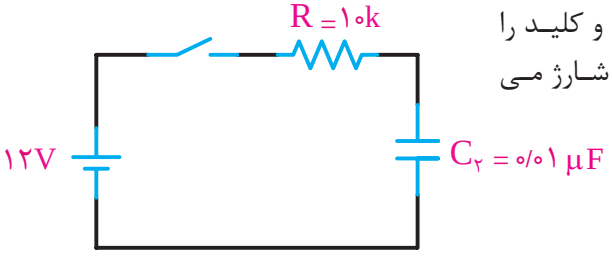
۲-ولتاژ دو سر خازن مدار شکل زیر در صورت شارژ بودن همه آن ها چقدر است ؟



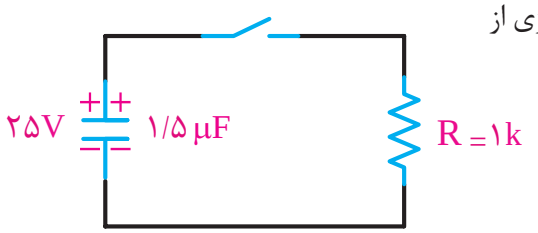
۳-در مدار شکل مقابل اگر مقدار بار ذخیره شده در مجموعه خازن ها ۱۰۰ میکروکولن باشد، ولتاژ دو سر خازن چقدر است ؟



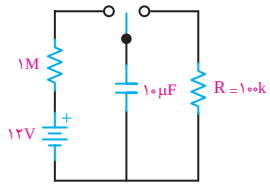
۴-در مدار شکل مقابل اگر خازن خالی باشد و کلید را به مدت ۲۰ میلی ثانیه بیندیم ، خازن چقدر شارژ می شود ؟



۵-در مدار شکل مقابل خازن دارای شارژ کامل است . کلید را به مدت ۳ میلی ثانیه می بندیم . چه ولتاژی از خازن خالی می‌شود؟



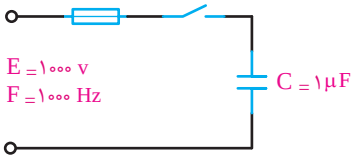
۶-بـا توجـه بـه مـدار شـکل مقابـل جـدول زیـر را بـرای یـک تـا ۵ ثانیـه زمانی کامل کنید



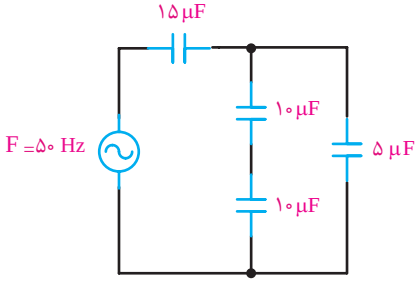
دشارژ		شارژ	
مقدار ولتاژ ولت	زمان ثانیه	مقدار ولتاژ ولت	زمان ثانیه
۴/۴۱۶	۱	۷/۵۸۴	۱۰
۱/۶۲۶	۲	۱۰/۳۷۴	۲۰
۰/۵۱۷	۳	۱۱/۴۰۱	۳۰
۰/۲۲۱	۴	۱۱/۷۷۶	۴۰
۰/۰۸۲	۵	۱۱/۹۱۸	۵۰

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

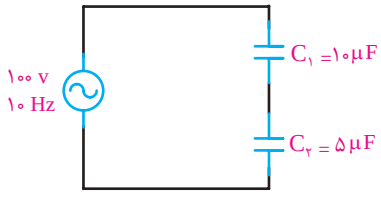
۷-در مدار شکل مقابل با بستن کلید چه اتفاقی می افتد؟



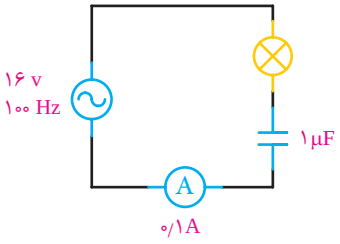
۸-در مدار شکل مقابل مقدار X_C کل چه قدر است ؟



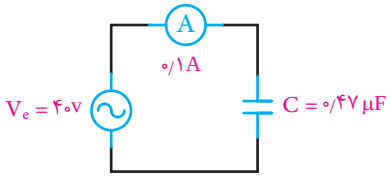
۹-در مـدار شـکل مقابـل صفحـات کـدام خـازن بالاتریـن مقـدار بـار را دارد؟ ولتـاژ دو سـر خـازن چقـدر اسـت ؟



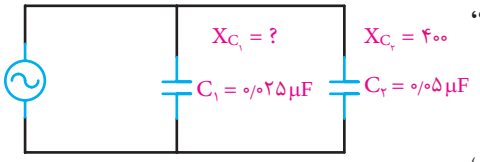
۱۰ - افـت ولتـاژ دو سـر یـک خـازن $20\pi F$ در فرکانـس ۱KHz برابـر ۵ ولـت اسـت . شـدت جریـان عبـوری از خـازن چقـدر اسـت ؟



۱۱- در مدار شکل مقابل اگر ظرفیت خازن دو برابر شود ، نور لامپ چگونه تغییر می کند (کم میشود – ثابت می‌ماند ، زیاد می شود)؟



۱۲- در مدار شکل زیر آمپرمتر ۱۰۰ میلی آمپر موثر را نشان می دهد . فرکانس منبع چه قدر است ؟



۱۳- در مدار شکل مقابل معادل چند اهم است ؟ اگر ظرفیت C_2 دو برابر شود ، X_{C_2} چقدر می شود ؟ چنانچه فرکانس مدار کم شود، X_{C_1} (افزایش – کاهش) می یابد .

۱۴- ظرفیت خازنی با حداکثر ولتاژ ۱۰۰ ولت و ماکزیمم انرژی ذخیره شده ۰/۲ ژول چند میکروفاراد است؟

۱۵- معادلات زمانی ولتاژ و جریان یک خازن به ترتیب $i_{(t)} = ۱۰۰\sin(۱۰۰۰t + ۰)$ و $i_{(t)} = ۵\sin(۱۰۰۰t + ۹۰^\circ)$ است مطلوبست:

الف) مقاومت خازنی

ب) ظرفیت خازن

۱۶- خازنی با توان الکتریکی ۱۰۰- وات آمپر راکتیو و ظرفیت ۵۰ میکروفاراد مفروض است:

الف) مقاومت خازنی در سرعت زاویه‌ای ۵۰۰ رادیان بر ثانیه چند اهم است؟

ب) جریان موثر خازن چند آمپر است؟

فصل پنجم

دراین فصل مطالب زیر را فراخواهید گرفت:

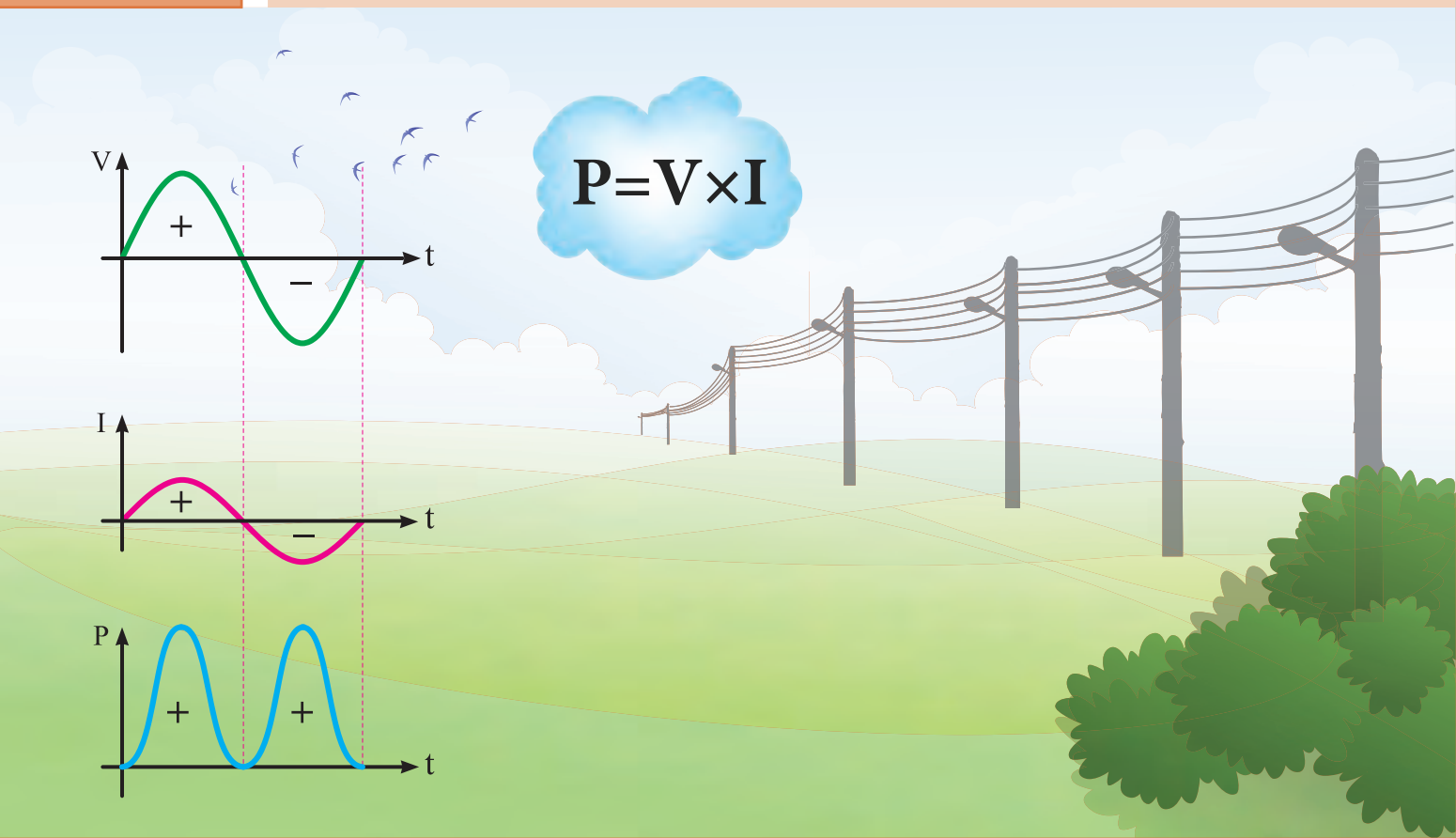
۱-آمپرمتر

۲- ولت متر

۳- اهم متر

بخش ۱۴

توان در جریان متناوب



توان مؤثر و غیر مؤثر در جریان متناوب

تـوان موثـر توانـی اسـت کـه انـرژی الکتریکـی را تبدیـل مـی کنـد و واحـد آن وات اسـت و در مدارهـای جریـان متنـاوب از رابطـه زیـر بدسـت مـی آیـد .

$$P = V_e I_e \cos\varphi$$

تـوان غیـر موثـر توانـی اسـت کـه انـرژی الکتریکـی را ذخیـره مـی کنـد و واحـد آن ولـت آمپـر راکتیـو اسـت و در مدارهـای جریـان متنـاوب از رابطـه زیـر بدسـت مـی آیـد .

$$Q = V_e I_e \sin\varphi$$

در مدارهـای پـس فـاز زاویـه اختـلاف فـاز φ مقـداری مثبـت اسـت لـذا علامـت Q مثبـت خواهـد شـد امـا در مدارهـای پیـش فـاز زاویـه اختـلاف فـاز φ مقـداری منفـی اسـت لـذا علامـت Q منفـی خواهـد شـد .

در این روابط:

P توان موثر (w)

Q توان غیر موثر (VAR)

Ve ولتاژ موثر (V)

Ie جریان موثر (A)

φ زاویه اختلاف فاز جریان با ولتاژ (درجه) یا (رادیان)

مثال ۱: معادلات زمانی ولتاژ و جریان یک مدار الکتریکی بصورت زیر است :

$$v(t) = ۲۲۰\sqrt{۲}\sin(۵۰۰t + ۰)$$
$$i(t) = ۱۰\sqrt{۲}\sin(۵۰۰t + ۶۰^\circ)$$

مطلوب است :

الف) مقدار ولتاژ و جریان موثر

ب)زاویه اختلاف فاز و نوع مدار

ج)توان موثر

د)توان غیر موثر

حل:

الف) از رابطه ولتاژ مؤثر داریم :

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۲۲۰\sqrt{۲}}{\sqrt{۲}} = ۲۲۰[V]$$

از رابطه جریان مؤثر داریم:

$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۱۰\sqrt{۲}}{\sqrt{۲}} = ۱۰[A]$$

ب) از رابطه اختلاف فاز داریم:

$$\varphi = \theta_V - \theta_i$$
$$\varphi = ۰ - ۶۰ = -۶۰$$

ج) از رابطه P داریم .

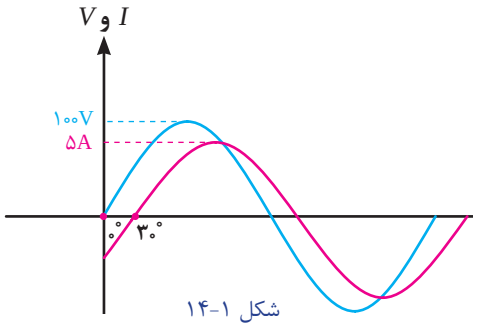
$$P = V_e I_e \cos\varphi$$
$$P = ۲۲۰ \times ۱۰ \times \cos ۶۰^\circ = ۱۱۰۰[w]$$

د) زاویه φ مقداری منفی دارد یعنی مدار پیش فاز است . پیش فاز یعنی جریان مدار از ولتاژ مدار به اندازه ۶۰ درجه جلوتر است.

از رابطه Q داریم .

$$Q = V_e I_e \sin\varphi$$
$$Q = ۲۲۰ \times ۱۰ \sin(-۶۰) = -۱۱۰۰\sqrt{۳}[VAR]$$

مثال ۲ : منحنی ولتاژ جریان یک مدار الکتریکی در شکل داده شده است:



شکل ۱-۱۴

مطلوب است :

الف)مقدار ولتاژ و جریان موثر

ب) زاویه اختلاف فاز و نوع مدار

ج)توان موثر

د)توان غیر موثر

حل :

الف)با توجه به شکل ۱-۱۴

$$V_m = ۱۰۰[V]$$
$$I_m = ۵[A]$$

$$\theta_V = ۰$$
$$\theta_i = -۳۰$$

از رابطه ولتاژ مؤثر داریم :

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۱۰۰}{\sqrt{۲}} = ۵۰\sqrt{۲}$$

از رابطه جریان مؤثر داریم :

$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۵}{\sqrt{۲}} = ۲/۵\sqrt{۲}[V]$$

از رابطه اختلاف فاز داریم .

$$\varphi = \theta_V - \theta_i$$
$$\varphi = ۰ - (-۳۰) = +۳۰$$

زاویـه φ مقـداری مثبـت دارد یعنـی مـدار پـس فـاز اسـت . پـس فـاز یعنـی جریـان مـدار از ولتـاژ مـدار بـه انـدازه ۳۰ درجـه عقـب تـر اسـت .

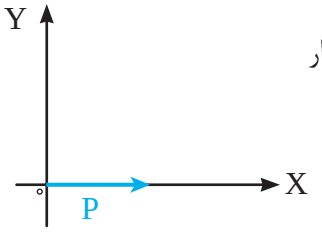
ج) از رابطه ۱-۱۴ داریم :

$$P = V_e I_e \cos\varphi$$
$$P = ۵۰\sqrt{۲} \times ۲/۵\sqrt{۲} \times \cos(+۳۰) = ۱۲۵\sqrt{۳}[w]$$

د)از رابطه ۲-۱۴ داریم:

$$Q = V_e I_e \sin\varphi$$
$$Q = ۵۰\sqrt{۲} \times ۲/۵\sqrt{۲} \times \sin(+۳۰) = ۱۲۵\sqrt{۳}[VAR]$$

بردار توان‌های مؤثر و غیرمؤثر

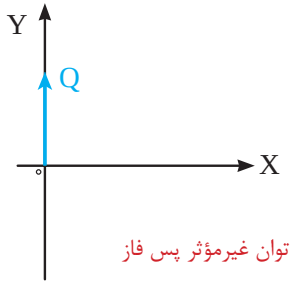


شکل ۲-۱۴

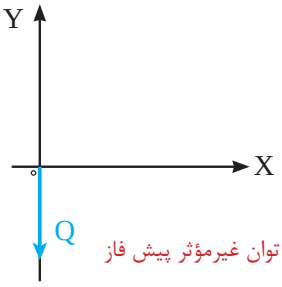
بـردار تـوان موثـر ، یـک بـردار افقـی و مثبـت اسـت . طـول آن برابـر مقـدار تـوان موثـر مـی باشـد (شـکل ۲-۱۴).

شکل ۲-۱۴- بردار توان مؤثر

بـردار تـوان غیـر موثـر یـک بـردار عمـودی اسـت کـه علامـت آن بـه مثبـت یـا منفـی بـودن تـوان غیـر موثـر بسـتگی دارد .



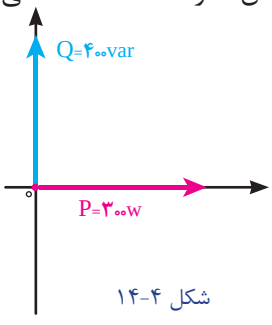
الف) بردار توان غیرمؤثر پس فاز



ب) بردار توان غیرمؤثر پیش فاز

شکل۳-۱۴

مثـال ۳ : یـک مـدار الکتریکـی دارای تـوان موثـر ۳۰۰ W و تـوان غیـر موثـر پـس فـاز +۴۰۰VAR مـی باشـد بردارهـای P و Q آن را رسـم کنیـد .



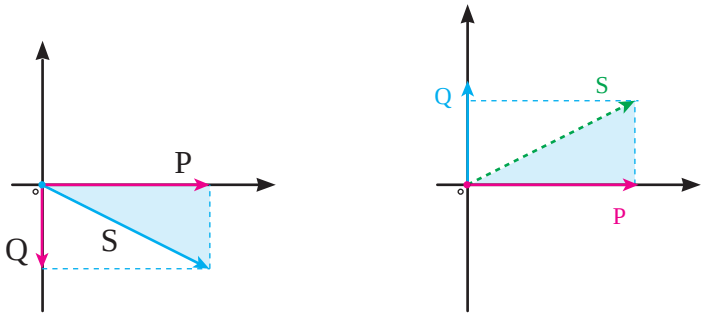
شکل ۴-۱۴

حل :

بـردار تـوان موثـر P بصـورت افقـی و بـردار تـوان غیـر موثـر بصورت عمـودی رسـم می شـود . (شـکل۴-۱۴)

توان ظاهری

تـوان ظاهـری از برآینـد تـوان موثـر و تـوان غیـر موثـر بدسـت مـی آیـد . تـوان ظاهـری را بـا S نشـان مـی دهنـد و واحـد آن ولـت آمپـر [VA] اسـت (شـکل ۵-۱۴).



الف) توان ظاهری مدار پس‌فاز ب) توان ظاهری مدار پیش فاز

شکل۵-۱۴

و مقدار آن از رابطه زیر بدست می آید .

$$S=\sqrt{P^{۲}+Q^{۲}}$$

که در این رابطه :

S توان ظاهری [VA]

P توان موثر [W]

Q توان غیر موثر [VAR] است .

مثـال ۴ : یـک مـدار الکتریکـی دارای زاویـه اختـلاف فـاز $\varphi=-۳۷$ و تـوان موثـر و تـوان غیـر موثـر ۶۰ VAR می‌باشـد . بردارهـای تـوان را رسـم کنیـد و مقـدار تـوان ظاهـری را محاسـبه نماییـد (شـکل ۶-۱۴).

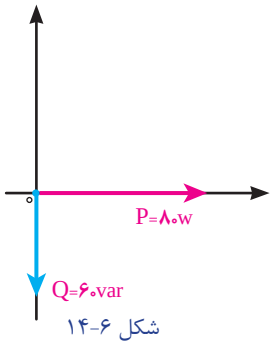
حل : زاویه اختلاف فاز منفی است پس توان غیر موثر منفی می‌باشد .

از رابطه مقابل داریم:

مثلـث تـوان ، مثلـث قائـم الزاویـه ای اسـت کـه تـوان موثـر و غیـر موثـر اضـلاع قائـم و تـوان ظاهـری وتـر آن مـی باشـد . بردارهـای P و Q و S می‌توانند تشکیل یک مثلث دهند .

$$S=\sqrt{P^{۲}+Q^{۲}}$$

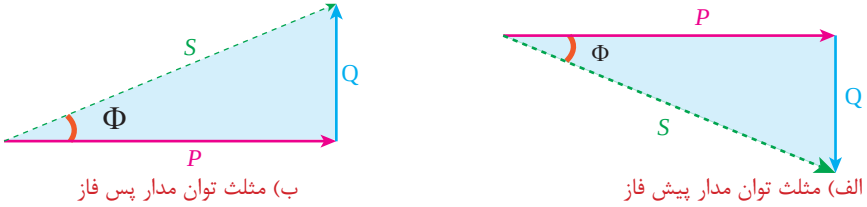
$$S=\sqrt{۸۰^{۲}+۶۰^{۲}}=۱۰۰[VA]$$



شکل ۶-۱۴

مثلث توان

زاویه بین P و S همان زاویه φ است . (شکل ۶-۱۴)



الف) مثلث توان مدار پیش فاز

ب) مثلث توان مدار پس فاز

شکل۶-۱۴

مثلث توان دارای نسبت های مثلثاتی زیر است :

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

$$\sin\varphi = \frac{Q}{S}$$

$$tg\varphi = \frac{Q}{P}$$

که در این رابطه

$\cos\varphi$ ضریب توان موثر

$\sin\varphi$ ضریب توان غیر موثر

$tg\varphi$ ضریب کیفیت می باشد .

مثال ۵: یک مدار الکتریکی دارای توان موثر ۱۲۰ w و توان غیر موثر ۱۶۰ VAR + می‌باشد مطلوب است :

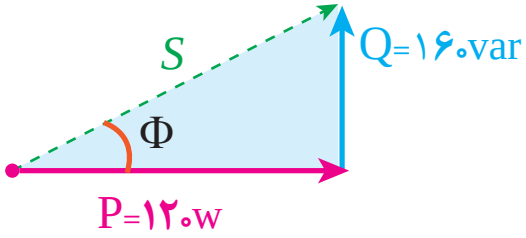
الف) رسم مثلث توان

ب) توان ظاهری

ج)ضریب توان موثر

حل :

الف)توان غیر موثر مثبت است یعنی مدار پس فاز می باشد .



شکل۸-۱۴

ب)توان ظاهری از رابطه زیر بدست می آید .

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{۱۲۰^2 + ۱۶۰^2} = ۲۰۰[VA]$$

ج)ضریب توان موثر از رابطه زیر بدست می آید .

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{۱۲۰}{۲۰۰} = ۰/۶$$

توان ظاهری را می‌توان از حاصل ضرب ولتاژ موثر در جریان موثر نیز محاسبه کرد .

$$S = V_e I_e$$

که در این رابطه:

S توان ظاهری [VA]

Veولتاژ موثر [V]

Ieجریان موثر [A] می باشد .

مثال ۵: ولتاژ و جریان یک مدار الکتریکی به ترتیب ۲۰۰V و ۱۰A است توان ظاهری آن چند ولت آمپر می باشد ؟

حل :

از رابطه مقابل داریم :

$$S = V_e I_e$$
$$S = ۲۰۰ \times ۱۰ = ۲۰۰۰[VA]$$

پرسش

۱- انواع توان در جریان متناوب را نام ببرید.

۲- توان مؤثر را تعریف کنید.

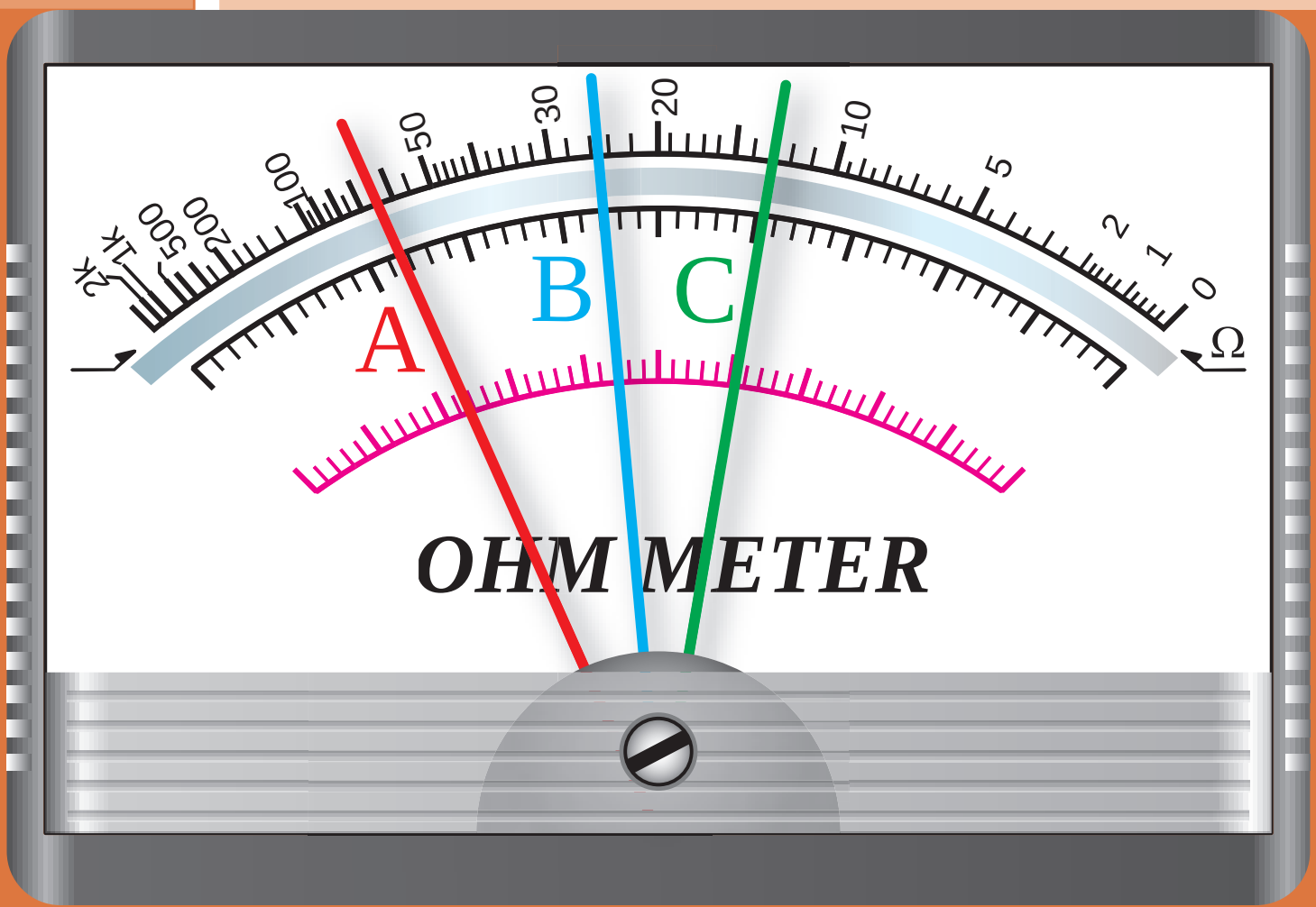
۳- توان غیر مؤثر را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.

۴- توان ظاهری را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید.

۵- مثلث توان را تعریف کنید و انواع آن را رسم نمایید.

فصل ۱۵

اندازه گیری جریان، ولتاژ و مقاومت اهمی



آمپرمتر

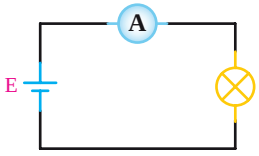
آمپرمتر دستگاهی است که جریان الکتریکی را اندازه می گیرد . برای اندازه گیری جریان الکتریکی مستقیم از آمپرمتر DC و برای اندازه گیری جریان الکتریکی متناوب از آمپرمتر AC استفاده می شود .

آمپرمتر در مدارهای الکتریکی با علامت اختصاری شکل ۱-۱۵ نشان داده می شود .

شکل ۱-۱۵

آمپرمتر در مدار الکتریکی بصورت سری قرار می گیرد تا جریان مصرف کننده با جریان عبوری از آمپرمتر یکی باشد . نحوه قرار گرفتن آمپرمتر در یک مدار الکتریکی ساده در شکل ۲-۱۵ و مدار الکتریکی معادل آن در شکل ۳-۱۵ نشان داده شده است .

شکل ۲-۱۵



شکل ۳-۱۵

اندازه‌گیری جریان DC

برای خواندن مقدار جریانی که آمپرمتر نشان می دهد باید به طریق زیر عمل کرد :

الف) حدود اندازه گیری یا ضریب کلید رنج (مثلاً در شکل ۳-۱۵، ۱۰۰ mA می باشد) را به ماکزیمم عدد روی صفحه مدرج (مثلاً در شکل ۲-۱۵یکی از تقسیمات ۱۰ می باشد) تقسیم می کنیم . عدد به دست آمده را ضریب ثابت صفحه نامیده و آن را با حرف C نشان می دهیم ؛ با توجه به شکل ۲-۱۵ داریم :

$$C = \frac{\text{ضریب کلید رنج}}{\text{آخرین عدد روی صفحه}} = \frac{۱۰۰}{۱۰} = ۱۰\,mA$$

ب) مقدار انحراف عقربه را در ضریب ثابت صفحه ضرب می کنیم . در شکل ۳-۱۵ عقربه به اندازه ۱/۶ قسمت از تقسیمات منحرف شده است ، لذا مقدار جریانی که عقربه نشان می دهد برابر است با :

مقدار جریانی که آمپرمتر نشان می دهد = عدد خوانده شده × C

$$= ۱۰ \times ۱/۶ = ۱۶\,mA$$

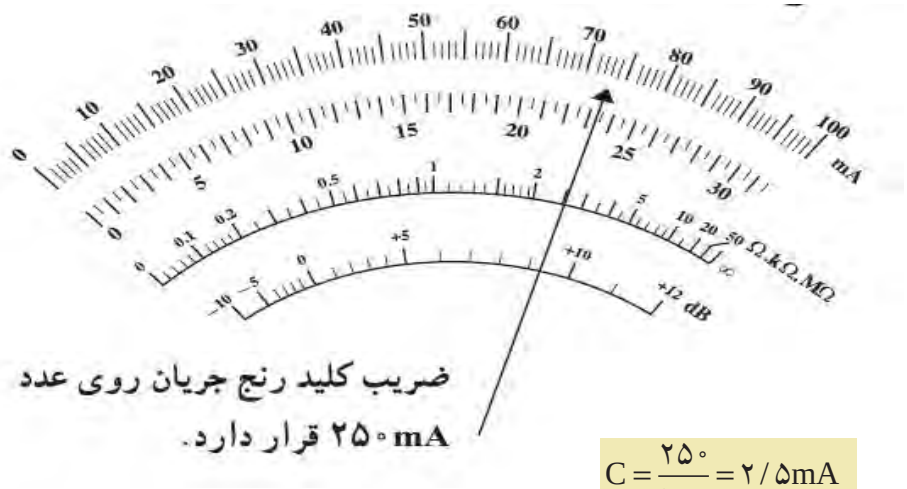
مثال ۱: بیش ترین عدد درج شده روی یک میلی آمپر متر می باشد (صفحه مدرج به ۶۰ قسمت تقسیم شده است) اگر حدود اندازه گیری (ضریب کلید رنج) روی عدد ۳۰۰mA بوده و عقربه آمپرمتر به اندازه ۴۲/۵ قسمت منحرف شده باشد ، آمپرمتر مقدار جریان را mA ۲۱۲/۵ نشان می دهد زیرا :

$$C=\frac{۳۰۰mA}{۶۰}=۵mA$$

مقدار جریانی که میلی آمپرمتر اندازه می‌گیرد برابر است با :

$$I=۴۲/۵\times C=۴۲/۵\times ۵mA=۲۱۲/۵mA$$

مثال ۲ : در شکل ۴-۱۵- میلی آمپر متر ۱۸۲/۵ میلی آمپر را نشان می دهد .



$$C=\frac{۲۵۰}{۱۰۰}=۲/۵mA$$

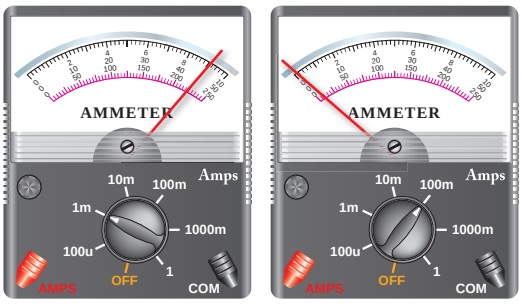
شکل (۴-۱۵)

مقدار جریانی که آمپر متر نشان می دهد.

برای دقیق تر خواندن جریانی که آمپرمتر نشان می دهد باید حدود اندازه‌گیری (ضریب کلید رنج) را طوری انتخاب کنیم که انحراف عقربه بیشترین مقدار را داشته باشد .

شکل ۵-۱۵ جریان ۰/۹۲ میلی آمپر را در محدوده اندازه گیری ۱ mA و ۱۰۰ mA نشان می‌دهد. همان طور که از شکل نیز پیداست اندازه گیری جریان ۰/۹۲mA در رنج ۱mA دقیق‌تر است .

$$۲/۵\times ۷۳=۱۸۲/۵mA$$



(ب) (الف)

شکل ۵-۱۵

آمپرمتر ها و میلی آمپرمترهای DC به صورت های آزمایشگاهی ، تابلویی و یا به صورت قسمتی از مولتی متر (اهم متر- ولت متر – آمپرمتر) ساخته می شوند . شکل ۶-۱۵ چند نمونه از آمپرمتر ها و میلی آمپرمترهای آزمایشگاهی را نشان می دهد .

شکل (۶-۱۵)

مولتی متر یک دستگاه پرکاربرد در برق و الکترونیک است .
نوعی از مولتی متر وجود دارد که به آوومتر دیجیتالی موسوم است . این نوع مولتی متر نیز دارای رنج جریان DC است و مقدار اندازه گیری شده را به صورت رقمی روی صفحه نمایش نشان می دهد . در شکل ۷-۱۵ یک نمونه از این مولتی مترها را مشاهده می کنید .

شکل ۷-۱۵

اندازه گیری جریان AC : برای اندازه گیری جریان AC حتماً باید از آمپرمترهای AC استفاده کرد . پس با آمپرمترهایی که فقط دارای رنج DC می‌باشند نمی توان جریان AC را اندازه گرفت . بعضی دیگر از آمپرمترها توانایی اندازه گیری جریان های AC و DC را توأماً دارا هستند که با کلید انتخاب (AC و DC) می توان در هر لحظه جریان مورد نظر را اندازه گرفت . آمپرمترهای AC بیشتر به صورت تابلویی ساخته می شوند . شکل ۸-۱۵ دو نمونه از آمپرمترهای AC تابلویی نشان می دهد .

شکل ۸-۱۵

شکل ۹-۱۵ یک مولتی متر دیجیتالی آزمایشگاهی را نشان می‌دهد که دارای رنج جریان متناوب (AC) و مستقیم (DC) می باشد .
مولتی مترهای عقربه ای معمولاً فاقد رنج اندازه گیری جریان AC هستند . اما کلیه مولتی مترهای دیجیتالی رنج اندازه‌گیری جریان AC را دارا می باشند . برای اندازه‌گیری جریان AC توسط آوومتر دیجیتالی ، کافی است که

شکل ۹-۱۵

ترمینال‌های مخصوص جریان را با مدار سری نموده و کلید AC آن را فعال کنیم تا روی صفحه نمایش مولتی متر علامت AC ظاهر گردد. در این صورت مقدار جریان AC به صورت رقمی روی صفحه نمایش نوشته می شود .

علاوه بر آمپرمترهای آزمایشگاهی و تابلویی و مولتی متر ها ، نوع دیگری از آمپرمترهای AC وجود دارند که به آمپرمتر «انبری» معروفند . برای اندازه گیری جریان کافی است سیم حامل جریان AC را وسط هسته این مولتی متر که با اهرمی باز می شود قرار دهیم تا مقدار جریان را نشان دهد . توجه داشته باشید که در این حالت فقط یک رشته سیم باید از هسته عبور داده شود . امروزه آمپرمترهای انبری را به صورت مولتی متر(ترکیبی) می سازند . شکل ۱۰-۱۵ دو نمونه آوومتر انبری عقربه ای و دیجیتالی را نشان می دهد .

شکل ۱۰-۱۵- مولتی متر انبری

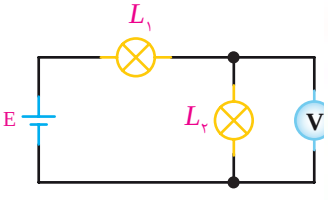
ولتمتر

ولتمتر دستگاهی است که اختلاف پتانسیل الکتریکی را اندازه می‌گیرد. برای اندازه گیری ولتاژ الکتریکی مستقیم از ولتمتر DC و برای اندازه‌گیری ولتاژ الکتریکی متناوب از ولتمتر AC استفاده می‌شود .

ولتمتر در مدار الکتریکی با علامت اختصاری شکل ۱۱-۱۵ نشان داده می شود .

ولتمتر در مدار الکتریکی بصورت موازی قرار می‌گیرد تا ولتاژ مصرف کننده با ولتاژ ولتمتر یکی باشد . نحوه قرار گرفتن ولتمتر در یک مدارالکتریکی ساده در شکل (۱۴-۱۵) و مدار الکتریکی معادل آن در شکل(۱۳-۱۵) نشان داده شده است .

شکل ۱۱-۱۵



شکل ۱۳-۱۵

شکل ۱۲-۱۵

اندازه‌گیری ولتاژ DC

برای خواندن مقدار ولتاژی که ولت متر نشان می دهد ، همانند خواندن آمپرمتر ، ابتدا ضریب ثابت سنجش را به دست آورده و آنگاه این عدد را در مقدار انحراف عقربه برحسب تقسیمات ضرب می کنیم .

شکل ۱۴-۱۵

مثال ۳: اگر ضریب کلید رنج شکل ۱۴- ۱۵ روی عدد ۵۰۰ ولت باشد مقدار ولتاژ اندازه‌گیری شده چقدر است؟

$$C = \frac{۵۰۰}{۲۵۰} = ۲$$

مقداری که ولت متر نشان می دهد برابر است با :عدد خوانده شده × C تعداد تقسیماتی که عقربه منحرف شده است.

بنابراین داریم : $۲۲۰ \times ۲ = ۴۴۰ [v]$

شکل ۱۵-۱۵

مثال ۴: در شکل ۱۵-۱۵ ولت متر ولتاژی به اندازه ۳۸۰ ولت را نشان می دهد، زیرا :

$$C = \frac{۵۰۰}{۵۰} = ۱۰$$

مقدار ولتاژ برابر است با :

تعداد خانه های منحرف شده × C =

$$۱۰ \times ۳۸ = ۳۸۰$$

برای دقیق تر خواندن مقدار ولتاژی که ولت متر نشان می دهد باید حدود اندازه گیری (ضریب کلید رنج) را طوری انتخاب نماییم که انحراف عقربه بیشترین مقدار را داشته باشد . ولت مترهای DC به صورت های آزمایشگاهی ، تابلویی و یا به صورت قسمتی از مولتی متر ساخته می شوند . شکل ۱۶-۱۵ یک نمونه از میلی ولت متر آزمایشگاهی را نشان می دهد .

شکل ۱۶-۱۵

شکل ۱۷-۱۵

شکل ۱۸-۱۵ یک نمونه ولت متر تابلویی AC را نشان می‌دهد .

شکل ۱۷-۱۵ یک نمونه ولت متر DC تابلویی را نشان می دهد .

مولتی مترهای دیجیتالی نیز قادر به اندازه گیری ولتاژ DC هستند . یک نمونه دیگر از این مولتی مترها در شکل ۱۸-۱۵ نشان داده شده است.

اندازه‌گیری ولتاژ AC

برای اندازه گیری ولتاژ AC از ولت متر AC استفاده می‌شود. اکثر ولت مترهای آزمایشگاهی هر دو ولتاژ AC و DC را اندازه می گیرند. (شکل۱۹-۱۵)

به همین منظور بر روی ولت مترها کلید انتخاب AC و DC وجود داشته و یا سلکتور حدود اندازه گیری AC با DC تفاوت دارد .

همه مولتی مترها ، اعم از عقربه ای و دیجیتالی ، قادر به اندازه گیری ولتاژ AC می باشند . نحوه قرائت ولتاژ AC روی ولت مترهای AC همانند ولت مترهای DC است ، و در مورد ولت مترهای دیجیتالی ، مقدار ولتاژ به صورت رقم روی صفحه نمایش (Display) نوشته می شود . لازم به یادآوری است که ولت مترهای عقربه ای و یا مولتی مترهای معمولی به هیچ عنوان قادر به اندازه گیری ولتاژهای AC کم (کمتر ازیک ولت) به صورت دقیق نیستند ولی مولتی مترها و با

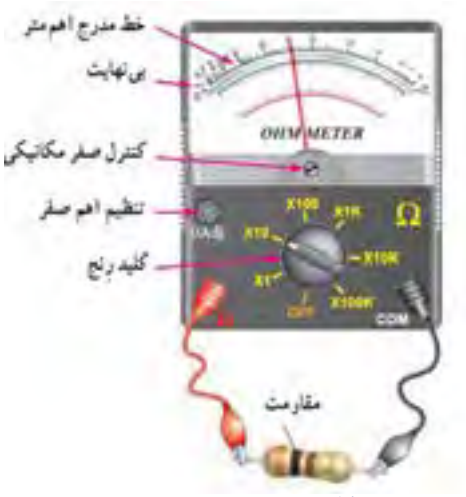
شکل ۱۹-۱۵

ولـت مترهـای دیجیتالـی ، ولتاژهـای AC خیلـی کـم (حـدود یـک میلـی ولـت) را بـا دقـت کافـی انـدازه گیـری مـی کننـد . بـرای انـدازه گیـری ولتاژهـای زیـاد ACو یـا DC (۱۰۰۰ ولتبـه بـالا) از پـراب هـای مخصـوص ولتـاژ زیـاد اسـتفاده مـی شـود . ایـن پـراب هـا دارای مقاومـت بسـیار بـزرگ بـوده و بـا ولـت متـر سـری مـی شـوند تـا قسـمت اعظـم ولتـاژ مـورد اندازه‌گیـری در آن‌هـا افـت کنـد . شـکل ۲۰-۱۵ نمونـه ای از ایـن نـوع پـراب را کـه در آن مقاومـت ۱۰ مـگا اهـم جهـت اندازه‌گیـری ولتـاژ زیـاد ، بـا ولـت متـر سـری شـده اسـت نشـان مـی دهـد .

شکل ۲۰-۱۵

اهم متر

اهـم متـر دسـتگاهی اسـت کـه مقاومـت الکتریکـی را انـدازه مـی گیـرد اهـم متـر در مـدار الکتریکـی بصـورت مـوازی قـرار مـی گیـرد . نحـوه انـدازه گیـری یـک مقاومـت الکتریکـی توسـط اهـم متر آزمایشـگاهی در شـکل ۲۱-۱۵ نشـان داده شـده اسـت. تمامـی آوومترهـای دیجیتالـی و عقربـه ای مجهـز بـه اهـم متـر هسـتند . امـروزه اهـم مترهـا دیگـر بـه صـورت یـک دسـتگاه مسـتقل سـاخته نمـی شـوند . درجـه بنـدی اهـم متـر عکـس درجـه بنـدی ولـت متـر و آمپرمتـر اسـت ؛ یعنـی صفـر آن در سـمت راسـت صفحـه مـدرج قـرار دارد ، ضمنـاً درجـه بنـدی آن خطـی نیسـت .



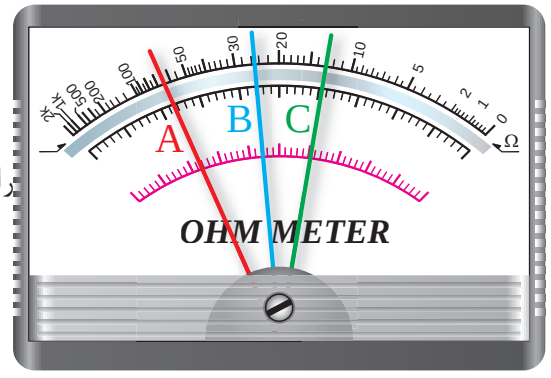
شکل ۲۱-۱۵

بـرای خوانـدن مقـدار مقاومـت اهمـی از روی اهـم متـر کافـی اسـت کـه مقـدار خوانـده شـده روی صفحـه مـدرج را در ضریـب کلیـد رنـج اهم متـر ضـرب کنیـم . بـه عنـوان مثـال در شـکل ۲۲-۱۵ عقربـه هـای C و B و A مقادیـر زیـر نشان می دهند .

$(A)۶۷/۵\times۱۰=۶۷۵\Omega$

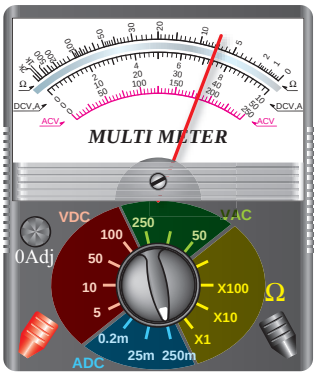
$(B)۲۴/۷۵\times۱۰=۲۴۷/۵\Omega$

$(C)۱۳\times۱۰=۱۳۰\Omega$



شکل ۲۲-۱۵

همـان طـور کـه در شـکل ۲۳-۱۵ نیـز مـی بینیـد درجـه بنـدی اهـم متـر از سـمت راسـت بـه تدریـج فشـرده می‌شـود . بـه عنـوان مثـال مقاومت‌هـای Ω ۲ و Ω ۳ و Ω ۱۰ و Ω ۱۵ تـا حـدود Ω ۵۰، تقریبـاً بـه راحتـی قابـل خوانـدن هسـتند ، امـا از حـدود Ω ۵۰ تـا آخریـن حـد تقسـیمات ، درجـه بنـدی بسـیار فشـرده مـی شـود کـه در ایـن حالـت مقاومت‌هـای زیـاد (مثـلاً ۱۰ اهـم بـه بـالا) بـه طـور دقیـق قابـل خوانـدن نیسـت . بنابرایـن بـرای دقیـق خوانـدن مقـدار مقاومـت هـا بایـد کلیـد رنـج را طـوری تنظیـم کنیـم کـه عقربـه روی اعـدادی کـه مقـدار مقاومـت را بسـیار دقیـق و واضـح نشـان مـی دهنـد قـرار گیـرد اگـر انحـراف عقربـه از سـمت چـپ بیشـتر از ۴۰٪ باشـد مقـدار مقاومـت واضـح خوانـده مـی شـود .



شکل ۲۳-۱۵

کنتور

کنتـور دسـتگاهی اسـت کـه انـرژی الکتریکـی را انـدازه گیـری می‌کنـد . بـرای انـدازه گیـری انـرژی الکتریکـی در مصـرف کننـده تکفـاز از کنتـور تکفـاز و در مصـرف کننـده سـه فـاز از کنتـور سـه فـاز اسـتفاده مـی شـود .
واحـد انـدازه گیـری انـرژی الکتریکـی ژول مـی باشـد کـه برابـر وات ثانیـه اسـت ولـی در عمـل از واحدهـای بزرگتـر ماننـد کیلـو وات سـاعت ، مـگا ، وات ، سـاعت اسـتفاده مـی شـود . واحدانـدازه گیـری انـرژی ناشـی از تـوان موثـر در کنتورهـا کیلـو وات سـاعت و ناشـی از تـوان غیـر موثـر کیلـووار سـاعت اسـت . در شـکل ۲۵-۱۵ دو نمونـه کنتـور دیجیتالـی و آنالـوگ نشـان داده شـده اسـت . در کنتورهـای آنالـوگ فقـط امـکان انـدازه گیـری انـرژی الکتریکـی امـکان داشـت ولـی د رکنتورهـای دیجیتـال عـلاوه بـر انـدازه گیـری انـرژی الکتریکـی امـکان انـدازه گیـری کمیتهـای الکتریکـی نظیـر ولتـاژ ، جریـان و فرکانـس و ... وجـود دارد .

الف) کنتور آنالوگ

ب) کنتور دیجتیالی

شکل ۲۴-۱۵

پرسش

۱- آمپرمتر چگونه در مدار قرار می‌گیرد و چرا؟
۲- نحوه خواندن مقادیر از روی صفحه مدرج مولتی متر چگونه است؟
۳- فرق آمپرمتر تابلویی با آمپرمتر انبری را شرح دهید.
۴- ولت متر چگونه در مدار قرار می‌گیرد و چرا ؟
۵- ولتاژهای خیلی زیاد را چگونه با ولت مترهای معمولی می‌گیرند؟
۶- مقاومت‌های اهمی را چگونه اندازه می‌گیرند؟
۷- هنگام استفاده از یک دستگاه اندازه‌گیری کدام نکات را باید به دقت مد نظر داشت.