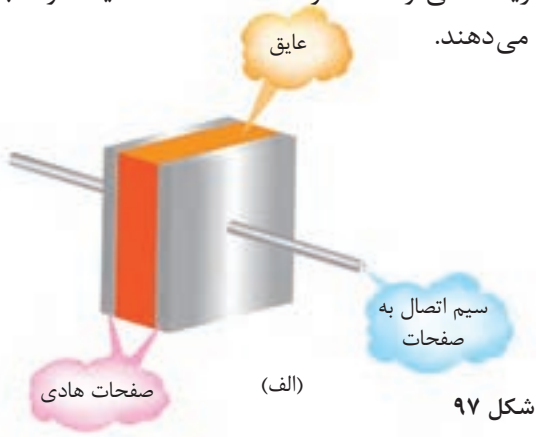
واحد یادگیری ۱۰

خازن

خازن

خـازن تشـکیل شـده اسـت از دو صفحـه هـادی کـه بیـن آنهـا عایـق[1] قـرار دارد. عایـق خازن‌هـا را «دی‌الکتریـک» نیـز می‌گوینـد. جنـس دی‌الکتریـک می‌توانـد هـوا، خـلاء، کاغـذ، میـکا و ... باشـد. خازن را با علامت اختصاری شکل (۹۷ـ ب) نشان می‌دهند.



(الف)

نمای الکترون خازن

(ب)

شکل ۹۷

خـازن در لغـت بـه معنـای ذخیره‌سـاز اسـت زیـرا انـرژی الکتریکـی را به‌صـورت میـدان الکترواسـتاتیکی در خـود ذخیـره می‌کنـد.

ظرفیت خازن

ظرفیـت خـازن نسـبت بـار الکتریکـی ذخیـره شـده بـه اختـلاف پتانسـیل صفحـات می‌باشـد و آن را بـا C نشـان می‌دهنـد و واحـد آن $\frac{\text{کولن}}{\text{ولت}}$ می‌باشـد کـه بـه احتـرام مایـکل فـاراد بـه آن «فـاراد» گوینـد و بـا حـرف F نشـان می‌دهنـد.

یـک فـاراد ظرفیـت خازنـی اسـت کـه هـرگاه اختـلاف پتانسـیل یـک ولـت بیـن صفحـات آن ایجـاد شـود بـار الکتریکـی یـک کولـن در آن ذخیـره شـده اسـت. ظرفیـت خـازن از رابطـه زیـر بـه دسـت می‌آیـد:

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

در این رابطه:

C ظرفیت خازن برحسب فاراد [F]

q بار ذخیره شده برحسب کولن [C]

V اختلاف پتانسیل برحسب ولت [V] است.

۱ـ Dielectric

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

حل :

$$C=\frac{q}{V} \qquad C=\frac{۸۰}{۲۰}=۴[F]$$

مثال ۲: خازنی با ظرفیت ۴۰μF را به ولتاژ ۵۰ ولت اتصال می‌دهیم . مقدار بار الکتریکی ذخیره شده چقدر است ؟

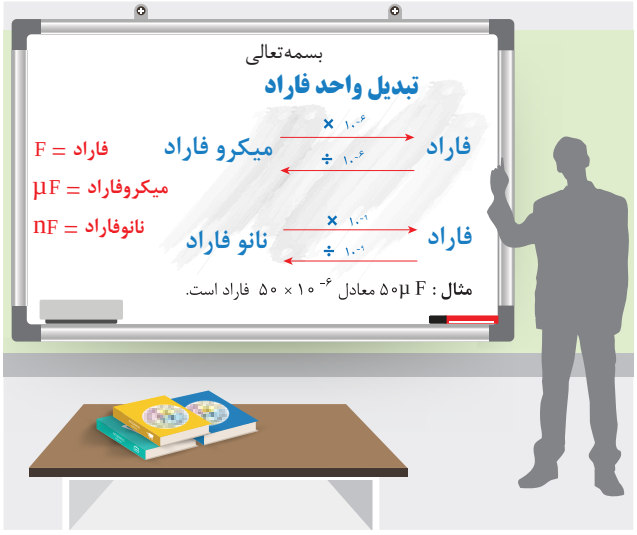
حل :

$$q=CV$$
$$q=۴۰\times۱۰^{-۶}\times۵۰=۲۰۰۰[\mu C]$$

مثال ۳: یک خازن ۱۰μF با بار ۱۰μC چقدر اختلاف پتانسیل دارد؟

حل :

$$V=\frac{q}{C} \qquad V=\frac{۱۰\times۱۰^{-۶}}{۱۰\times۱۰^{-۶}}=۱[V]$$



عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن

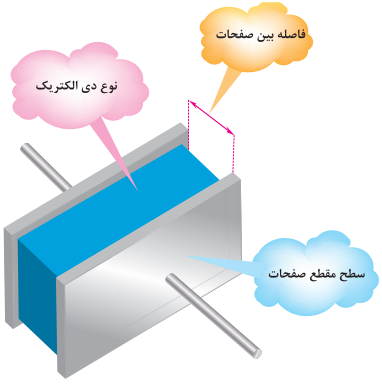
مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعیین ظرفیت خازن عبارت‌اند از:

۱ـ مساحت صفحات هادی

۲ـ فاصله بین صفحات هادی

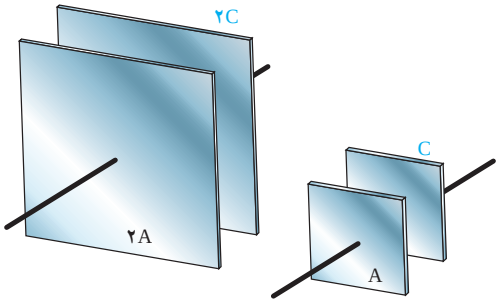
۳ـ جنس عایق یا دی‌الکتریک

ظرفیت خازن متناسب با مساحت صفحات و فاصله صفحات از یکدیگر می‌باشد به طوری که ظرفیت خازن با مساحت صفحات نسبت مستقیم و با فاصله صفحات از یکدیگر نسبت عکس دارد (شکل ۹۸).



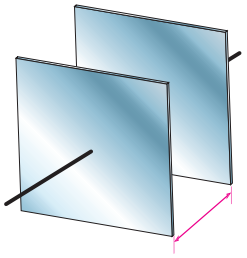
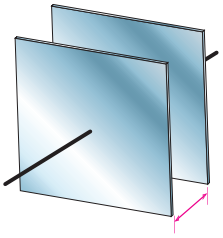
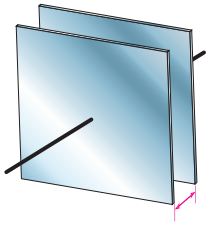
شکل ۹۸ـ عوامل مؤثر برظرفیت خازن

هـر چـه مسـاحت صفحـات هـادی بزرگ‌تـر باشـد بـار الکتریکـی بیشـتری را در خـود ذخیـره می‌کنـد. بنابرایـن خـازن بـا صفحـات بزرگ‌تـر ظرفیـت بیشـتری خواهـد داشـت. (شـکل ۹۹)



شکل ۹۹ـ تأثیر مساحت صفحات بر ظرفیت خازن

هـر چـه فاصلـه صفحـات از یکدیگـر بیشـتر باشـد ظرفیـت خـازن کمتـر خواهـد شـد لـذا خـازن بـا فاصلـه صفحـات کمتـری دارای ظرفیـت بیشـتری خواهـد شـد. (شـکل ۱۰۰)

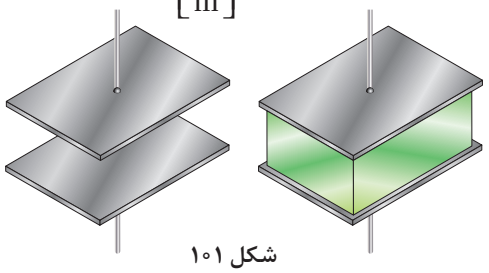
ظرفیت کم	ظرفیت متوسط	ظرفیت زیاد
		
فاصله صفحات زیاد	فاصله صفحات متوسط	فاصله صفحات کم

شکل ۱۰۰ـ تأثیر فاصلهٔ بین صفحات بر ظرفیت خازن

جنـس و کیفیـت عایـق یـا دی‌الکتریـک بیـن صفحـات بـاردار خـازن اثـر مسـتقیم بـر ظرفیت خـازن دارد. دی‌الکتریـک خـوب و بـا کیفیـت دی‌الکتریکـی اسـت کـه بتوانـد نیـروی کولنـی بیـن بارهـای الکتریکـی ذخیره‌شـده بـر روی صفحـات بـاردار خـازن را تحمـل کنـد و خاصیـت عایقـی خـود را از دسـت ندهـد (شکل ۱۰۱).

کیفیت عایق یا دی‌الکتریک در واقع استقامت الکتریکی عایق در مقابل میدان الکتریکی بین صفحات باردار خازن است. استقامت الکتریکی عایق‌ها در مقابل میدان الکتریکی بین صفحات باردار خازن را «ضریب نفوذ الکتریکی» می‌نامند و با ε نشان می‌دهند. ضریب نفوذ الکتریکی هوا را با $\varepsilon_\circ$ نشان می‌دهند و برابر است با:

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



شکل ۱۰۱

نسبت ضریب نفوذ عایق‌های الکتریکی به ضریب نفوذ الکتریکی هوا را «ضریب نفوذ نسبی» گویند و با ε_r نشان می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

ضریب نفوذ نسبی تعدادی از عایق‌های الکتریکی در جدول نشان داده شده است.

جدول ضریب نفوذ نسبی عایق‌ها

نوع عایق	ضریب نفوذ نسبی عایق‌ها (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

ظرفیت خازن با توجه به ابعاد صفحات هادی و فاصله آنها از یکدیگر و جنس عایق از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

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

که در آن:

C ظرفیت خازن برحسب [F]

$\varepsilon = \varepsilon_\circ \varepsilon_r$ ضریب نفوذ الکتریکی عایق برحسب $\left[\frac{F}{m}\right]$

A مساحت صفحات برحسب [$m^۲$]

d فاصله بین صفحات برحسب [m] است.

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

حل :

با استفاده از جدول ضریب نفوذ نسبی (ε_r) برای میکا برابر ۵ است. همچنین می‌دانیم که ضریب نفوذ نسبی 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 می‌آوریم.

$$\varepsilon = \varepsilon_\circ \varepsilon_r$$

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

$$A = ۰/۰۵ m^۲$$

$$d = ۰/۱ \times ۱۰^{-۲} m^۲$$

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

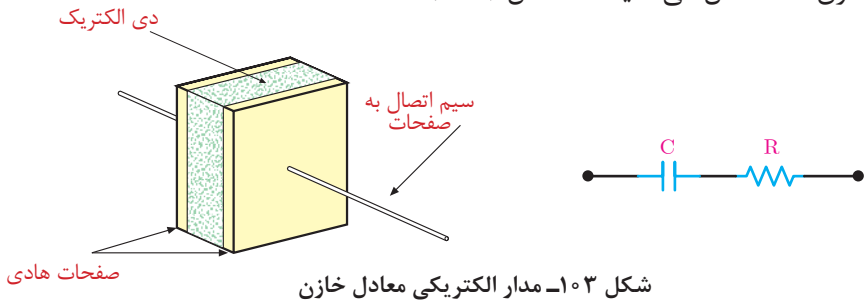
$$C = \frac{۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲} \times ۵ \times ۰/۰۵}{۰/۱ \times ۱۰^{-۲}} = ۰/۰۰۲۲۱ \mu f$$

از جمله مشخصه‌های دیگر خازن ولتاژ کار آن است که همراه با ظرفیت روی بدنه خازن نوشته می‌شود. در شکل ۱۰۲ خازن با تحمل ولتاژ ۴۰۰ ولت DC و ظرفیت ۱۰۰ میکرو فاراد نشان داده شده است.

شکل ۱۰۲

مدار الکتریکی معادل خازن

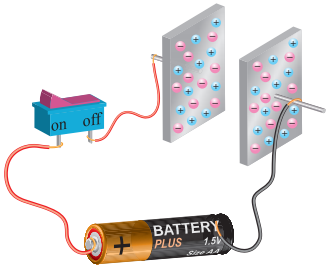
خازن علاوه بر ظرفیت C، مقاومت الکتریکی R نیز دارد. مقاومت الکتریکی ناشی از سطح مقطع و ضخامت صفحات خازن است. برای خازن مدار الکتریکی شامل اتصال سری مقاومت الکتریکی R و ظرفیت خازن C معادل می‌نمایند. شکل (۱۰۳)



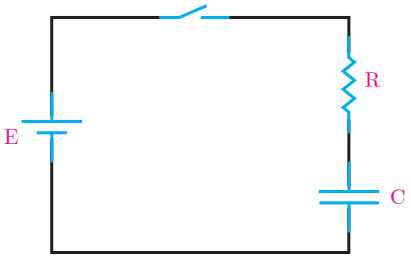
شکل ۱۰۳ـ مدار الکتریکی معادل خازن

خازن در جریان مستقیم

یک خازن که توسط منبع جریان مستقیم تغذیه می‌شود در شکل ۱۰۴ و مدار الکتریکی معادل آن در شکل ۱۰۵ نشان داده شده است.

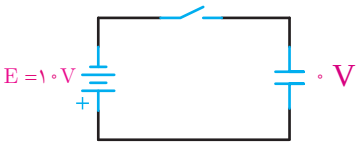
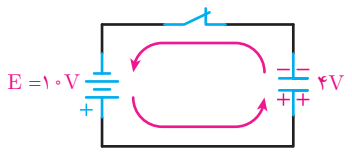


شکل ۱۰۴



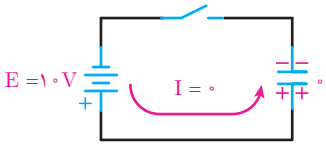
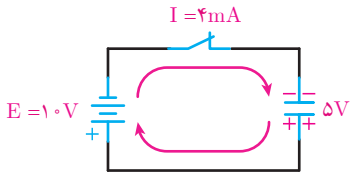
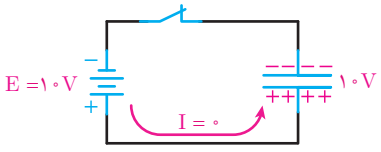
شکل ۱۰۵

با بستن کلید، الکترون‌ها از قطب منفی باتری به طرف صفحه‌ای که به این قطب متصل است جاری می‌شوند و در آن تراکم الکترون یا بار منفی ایجاد می‌کنند. در همین لحظه، قطب مثبت باتری همان تعداد الکترون را از صفحه‌ای که به این قطب متصل است جذب می‌کند و این صفحه، کمبود الکترون پیدا می‌کند و دارای بار مثبت می‌شود. (شکل ۱۰۶)

وقتی کلید باز است هیچ جریانی از مدار نمی‌گذرد و خازن شارژ نمی‌شود.	
وقتی کلید بسته می‌شود جریان در مدار برقرار می‌شود و صفحات خازن باردار خواهد شد و خازن شارژ می‌شود.	

شکل ۱۰۶

مادامی‌که خازن شارژ می‌شود ولتاژ خازن افزایش می‌یابد و جریان شارژ خازن کاهش می‌یابد تا ولتاژ خازن به ولتاژ باتری می‌رسد در این شرایط خازن شارژ کامل شده است و جریان شارژ آن صفر می‌شود. شکل ۱۰۷ این مطلب را به روشنی نشان می‌دهد.

مدار باز بوده، جریان نمی‌گذرد	
خازن درحال شارژ	
خازن کاملاً شارژ شده و جریان نمی‌گذرد	

شکل ۱۰۷

در شکل ۱۰۷ با وصل کلید شارژ خازن شروع می‌شود. مدت زمانی که طول می‌کشد تا ولتاژ خازن به ٪۶۳/۲ ولتاژ نهایی برسد را ثابت زمانی خازن می‌گویند و آن را با حرف τ نشان می‌دهند. مقدار τ از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\tau = R\,C$$

که در آن τ ثابت زمانی خازن برحسب [S]

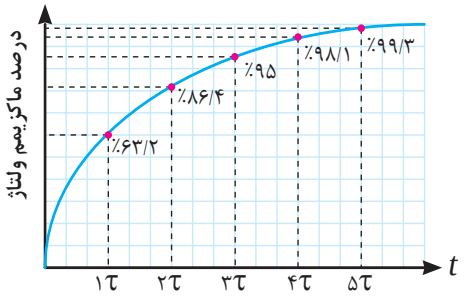
R مقاومت الکتریکی برحسب [Ω]

C ظرفیت خازن برحسب [F] است.

در هر ثابت زمانی بعدی، خازن به اندازه ۶۳/۲ درصد از ولتاژ باقی‌مانده شارژ می‌شود. مدت زمانی که طول می‌کشد تا خازن شارژ کامل شود، از رابطه زیر $t = 5\tau$ قابل محاسبه است در این رابطه:

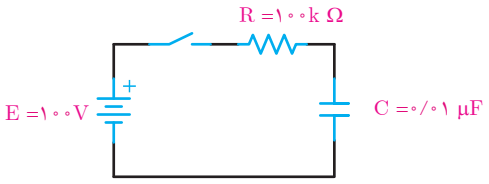
τ ثابت زمانی خازن [s]

و t مدت زمان شارژ کامل است (شکل ۱۰۸).

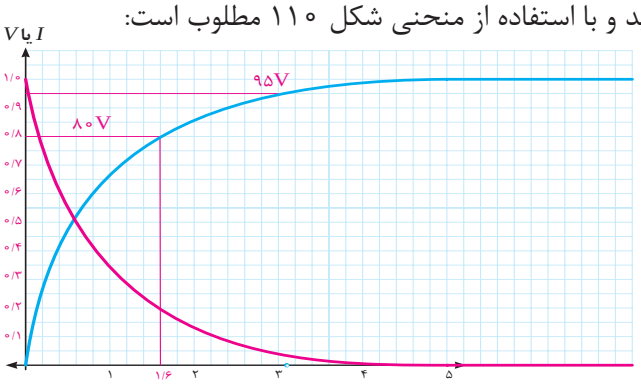


شکل ۱۰۸ـ منحنی شارژ خازن

مثال۵: در مدار شکل ۱۰۹ پس از بستن کلید و با استفاده از منحنی شکل ۱۱۰ مطلوب است:



شکل ۱۰۹



شکل ۱۱۰

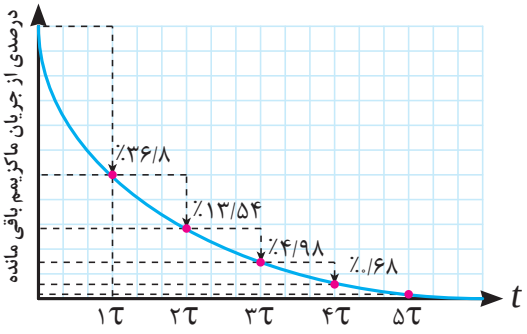
الف) چه مدت طول می‌کشد تا ولتاژ دو سر خازن به ۸۰ ولت برسد؟

ب) بعد از ۳ میلی‌ثانیه، ولتاژ دو سر خازن چه مقدار می‌شود؟

حل :

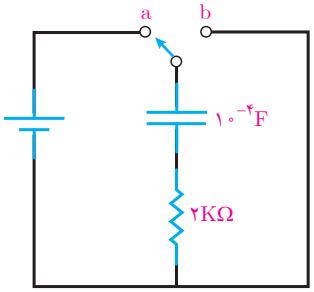
ثابت زمانی مدار $\tau = RC$ $\quad 100\times10^{3}\times0/01\times10^{-6} = 1\text{ms}$

در یک ثابت زمانی یا یک میلی‌ثانیه، خازن به اندازهٔ ۶۳/۲ درصد ولتاژ کل ـ یعنی ۶۳/۲ ولت، شارژ می‌شود. اگر بخواهیم خازن ۸۰ ولت شارژ شود، چنین عمل می‌کنیم:
از روی محور عمودی که ولتاژ را نشان می‌دهد، مقدار ۸۰ ولت را پیدا می‌کنیم و خطی موازی محور زمان (افقی) می‌کشیم تا منحنی شارژ را قطع کند. از آنجا نیز خطی موازی محور عمودی (ولتاژ) رسم می‌کنیم تا محور زمان را قطع کند. محل تقاطع محور زمان عدد $1/6\tau$ را نشان می‌دهد؛ یعنی، ۱/۶ میلی‌ثانیه طول می‌کشد تا خازن به مقدار ۸۰ ولت شارژ شود.
در ۳ میلی‌ثانیه یا ۳ ثابت زمانی، ولتاژ دو سر خازن به ۹۵ ولت می‌رسد. چرا ؟ با رسم خطوطی موازی محورهای مختصات، همان‌طور که قبلاً گفته شد ـ مقدار ۹۵ ولت به دست می‌آید.
با اتصال خازن شارژ شده به یک مقاومت، خازن انرژی ذخیره شده خود را در مقاومت به حرارت تبدیل می‌کند تا دشارژ شود پس از دشارژ کامل خازن ولتاژ صفر می‌شود. مدت زمانی که طول می‌کشد تا خازن دشارژ کامل شود نیز برابر 5τ است. در ثابت زمانی اول ۶۳/۲ درصد از شارژ کامل خازن از بین می‌رود و در ثابت زمانی‌های بعدی به ترتیب ۶۳/۲ درصد از شارژ باقی‌مانده تخلیه می‌شود. در انتهای ۵ ثابت زمانی، خازن کاملاً تخلیه شده است شکل (۱۱۱).



شکل ۱۱۱ـ منحنی دشارژ خازن

مثال ۶: مدار شکل زیر کلید مدت زیادی در وضعیت a قرار داشته است پس از تغییر حالت کلید به وضعیت b چه مدت طول می‌کشد تا خازن دشارژ کامل شود؟



شکل ۱۱۲

حل:
مدت زمانی که طول می‌کشد تا خازن به‌طور کامل دشارژ شود از رابطه $t=5\tau$ به دست می‌آید.

$\tau = R\,C = ۲ \times ۱۰^{۳} \times ۱۰^{-۴} = ۰/۲s$

$t=5\tau = ۵ \times ۰/۲ = ۱s$

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 می‌کند. «مقاومت خازنی» را با X_C نشان می‌دهند و واحد آن اهم است و از رابطه زیر به دست می‌آید.

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

در این رابطه :

X_c مقاومت خازنی $[\Omega]$

f فرکانس $[Hz]$

C ظرفیت خازن $[F]$ است.

مثال ۶: یک خازن با ظرفیت $100\mu F$ در فرکانس ۵۰ هرتز مفروض است مقاومت خازنی آن چند اهم است؟

حل : از رابطه (۴-۱۳) داریم:

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

$$X_C = \frac{1}{2\times 3/14\times 50\times 100\times 10^{-6}} = 31/85[\Omega]$$

اتصال خازن ها

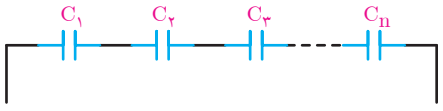
برای سادگی محاسبات از مقاومت الکتریکی R مربوط به صفحات هادی در مقایسه با مقاومت خازنی صرف‌نظر می‌شود و مدار الکتریکی معادل خازن مطابق شکل ۱۱۳ در نظر گرفته می‌شود.

شکل ۱۱۳

الف) اتصال سری خازن‌ها

ظرفیت خازن معادل C_t چند خازن با اتصال سری شکل ۱۱۴ از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

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

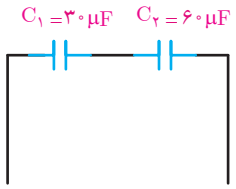


شکل ۱۱۴

۱- Capacitor Reactance

مثال ۷: ظرفیت خازن معادل خازن‌های شکل ۱۱۵ را به دست آورید.

حل:



شکل ۱۱۵

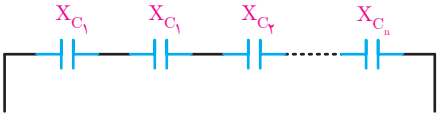
$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۱}{C_۱}+\frac{۱}{C_۲}$$

$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۱}{۳۰}+\frac{۱}{۶۰}$$

$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۲+۱}{۶۰}=\frac{۳}{۶۰}$$

$$C_{eq}=\frac{۶۰}{۳}=۲۰\mu F$$

مقاومت خازنی معادل X_C خازن‌های اتصال سری شکل ۱۱۶ از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

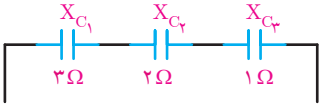


شکل ۱۱۶

$$X_{Ceq}=X_{C_۱}+X_{C_۲}+\cdots+X_{Cn}$$

مثال ۸: مقاومت خازنی معادل شکل ۱۱۷ را به‌دست آورید.

حل:



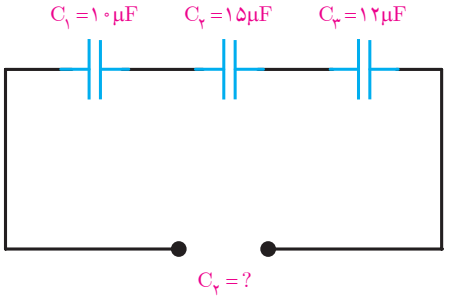
شکل ۱۱۷

$$X_{Ceq}=X_{C_۱}+X_{C_۲}+X_{C_۳}$$

$$X_{C_{eq}}=۳+۲+۱=۶\Omega$$

مثال ۹: ظرفیت معادل مدار شکل ۱۱۸ را به دست آورید.

حل:



شکل ۱۱۸

$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۱}{C_۱}+\frac{۱}{C_۲}+\frac{۱}{C_۳}$$

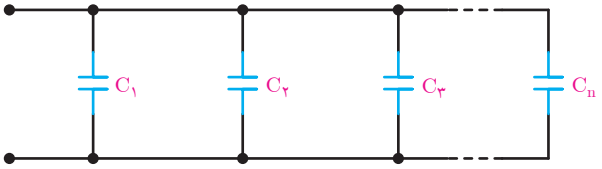
$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۱}{۱۰}+\frac{۱}{۱۵}+\frac{۱}{۱۲}=\frac{۶+۴+۵}{۶۰}=\frac{۱۵}{۶۰}$$

$$C_t=\frac{۱۶۰}{۱۵}=۴[\mu F]$$

ب) اتصال موازی خازن‌ها

ظرفیت خازن معادل C_{eq} چند خازن با اتصال موازی شکل ۱۱۹ از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$C_{eq} = C_۱ + C_۲ + \cdots + C_n$$

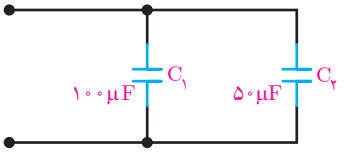


شکل ۱۱۹

مثال ۱۰: ظرفیت خازن معادل خازن‌های شکل ۱۲۰ را به‌دست آورید.

حل:

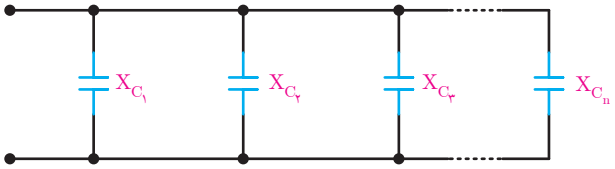
$$C_{eq} = C_۱ + C_۲$$
$$C_t = ۱۰۰ + ۵۰ = ۱۵۰\mu f$$



شکل ۱۲۰

مقاومت خازنی معادل X_{C_t} خازن‌ها با اتصال موازی شکل ۱۲۱ از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

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

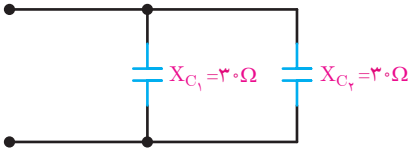


شکل ۱۲۱

مثال ۱۱: مقاومت خازنی معادل خازن‌های شکل ۱۲۲ را به دست آورید.

حل:

$$\frac{۱}{X_{C_{eq}}} = \frac{۱}{X_{C_۱}} + \frac{۱}{X_{C_۲}}$$
$$\frac{۱}{X_{C_{eq}}} = \frac{۱}{۳۰} + \frac{۱}{۳۰}$$
$$\frac{۱}{X_{C_{eq}}} = \frac{۲}{۳۰}$$
$$X_{C_{eq}} = \frac{۳۰}{۲} = ۱۵\Omega$$

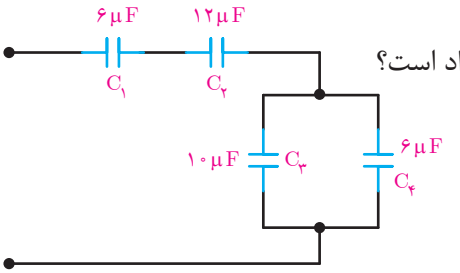


شکل ۱۲۲

اتصال مختلط خازن‌ها

در اتصال مختلط خازن‌ها از روابط اتصال سری و موازی متناسب استفاده می‌کنیم.

مثال ۱۲ : ظرفیت خازن معادل مدار شکل ۱۲۳ چند میکروفاراد است؟



شکل ۱۲۳

حل :

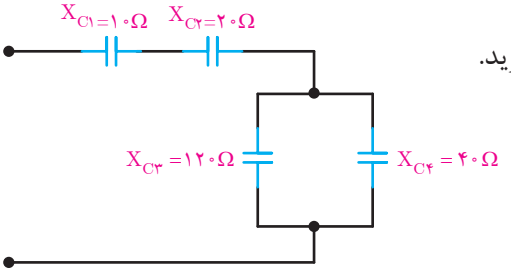
در این مدار C_1 و C_2 سری است که روابط سری را درباره این دو عمل می‌کنیم. C_3 و C_4 نیز با هم موازی‌اند و روابط موازی را دربارهٔ آنها عمل می‌کنیم. در نهایت، مجموعه C_1 و C_2 با مجموعه C_3 و C_4 سری هستند و از قوانین سری پیروی می‌کنند. بنابراین، می‌توان نوشت:

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

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

$$C_5=\frac{4\times16}{4+16}=\frac{16}{5}=3/2\mu F$$

مثال ۱۳: مقاومت خازنی معادل شکل ۱۲۴ را به‌دست آورید.



شکل ۱۲۴

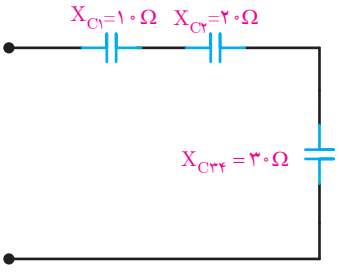
حل :

$$\frac{1}{X_{C34}}=\frac{1}{X_{C3}}+\frac{1}{X_{C4}}$$

$$\frac{1}{X_{C34}}=\frac{4}{120}$$

$$X_{C34}=\frac{120}{4}=30\Omega$$

مدار به شکل ۱۲۵ در می‌آید.



شکل ۱۲۵

اکنون معادل سری X_{C_1} ، X_{C_2} و $X_{C_{34}}$ را به دست می‌آوریم.

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

$$X_{C_{eq}}=10+20+30=60\Omega$$

انرژی خازن

خازن انرژی الکتریکی را به صورت میدان الکتریکی در خود ذخیره می‌سازد و ماکزیمم انرژی ذخیره‌شده در خازن از رابطه زیر به‌دست می‌آید :

که در این رابطه :

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

W_C ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن (j)

C ظرفیت خازن (F)

V_m ماکزیمم ولتاژ خازن (V) است.

مثال ۱۴: به یک خازن با ظرفیت ۵۰ میکروفاراد ولتاژ متناوب سینوسی به معادله زمانی $v(t) = 100 \sin(1000t)$ وصل شده است. ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن چند ژول است؟

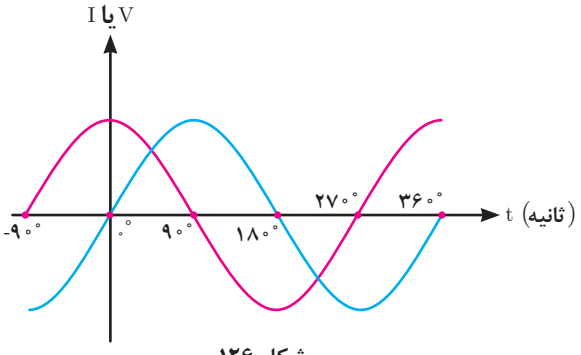
حل :

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

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

منحنی جریان و ولتاژ خازن در جریان متناوب

جریان خازن از ولتاژ دو سر آن ۹۰ جلوتر است لذا خازن را یک عنصر«پیش‌فاز» می‌شناسند. منحنی ولتاژ و جریان خازن در اتصال به منبع متناوب سینوسی در شکل ۱۲۶ نشان داده شده است که در آن $\theta_v = 0$ و $\theta_i = 90$ می‌باشد.



شکل ۱۲۶

با توجه به شکل ۱۲۶ معادلات زمانی ولتاژ و جریان به صورت 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.

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

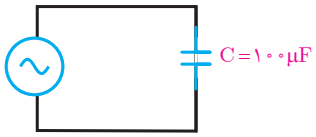
مثال ۱۵ : در مدار شکل ۱۲۷ مطلوب است :

الف) مقاومت خازنی

ب) جریان خازن

ج) معادله زمانی جریان خازن

$v(t) = ۵۰\sin(۱۰۰۰t)$



شکل ۱۲۷

حل:

الف) از رابطه زیر داریم :

$$X_C = \frac{۱}{۱۰۰ \times ۱۰^{-۶} \times ۱۰۰۰} = ۱۰\Omega$$

ب) از قانون اهم داریم :

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

$$I_m = \frac{V_m}{X_C} = \frac{۵۰}{۱۰} = ۵(A)$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۵}{\sqrt{۲}} = ۳/۵۴(A)$$

جریان خازن از ولتاژ دو سر آن ۹۰ درجه جلوتر است لذا داریم:

$i(t) = ۵\sin(۱۰۰۰t + ۹۰)$

توان الکتریکی خازن

توان الکتریکی خازن صرف ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی می‌شود. مقدار انرژی ذخیره‌شده در واحد زمان در خازن را «توان الکتریکی خازن» گویند. توان الکتریکی خازن قادر به تبدیل کردن انرژی الکتریکی نیست لذا آن را توان «غیرمؤثر» یا «توان راکتیو» نیز می‌گویند و با حرف c نشان می‌دهند و واحد آن «ولت آمپر راکتیو VAR» است. توان الکتریکی خازن از رابطه زیر به‌دست می‌آید و آن را با علامت منفی نشانه‌گذاری می‌کنند.

$$Q_c = -X_c I_c^۲$$

که در این رابطه :

Q_c توان الکتریکی خازن [VAR]

X_c مقاومت خازنی [Ω]

I_C جریان خازنی [A] است.

مثال ۱۶: یک مقاومت خازنی ۲ اهم با جریان مؤثر ۴ آمپر مفروض است. توان الکتریکی خازن چقدر است؟

حل :

$$Q_c = -X_c I_c$$

$$Q = -۲ \times ۴ = -۳۲(VAR)$$

پرسش

۱ـ خازن را تعریف کنید و عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن را نام ببرید.

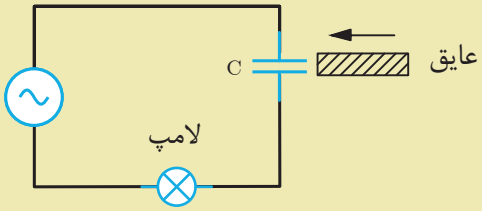
۲ـ ثابت زمانی خازن را تعریف کنید؟ چه مدت طول می‌کشد تا خازن در مدار پایدار شود؟

۳ـ مقاومت خازنی را تعریف کنید؟ به چه عواملی بستگی دارد؟

۴ـ توان الکتریکی خازن را تعریف کنید؟ چرا آن را توان راکتیو می‌نامند؟

۵ـ چرا خازن را یک عنصر پیش‌فاز تعریف می‌کنند؟ منحنی سینوسی جریان و ولتاژ خازن را رسم کنید.

۶ـ در شکل زیر با قرار دادن عایق بین صفحات خازن نور لامپ چه تغییری می‌کند؟ چرا؟



تمرین

۱ـ مساحت صفحات یک خازن $۱۰cm^۲$ و فاصله صفحات آن ۴mm می‌باشد. در هر حالت زیر ظرفیت خازن را حساب کنید.

الف) عایق بین صفحات هوا باشد.

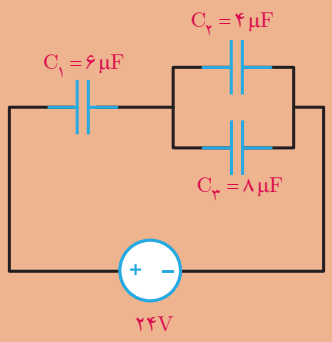
ب) عایق بین صفحات از نوع میکا باشد.

۲ـ خازنی به ظرفیت $۵۰\mu F$ را به یک باتری ۱۲V متصل می‌کنیم بار الکتریکی ذخیره شده در آن چند کولن است؟

۳ـ در شکل زیر مطلوب است:

الف) ظرفیت معادل (C_{eq}) چند میکروفاراد است؟

ب) بار الکتریکی و ولتاژ هر خازن

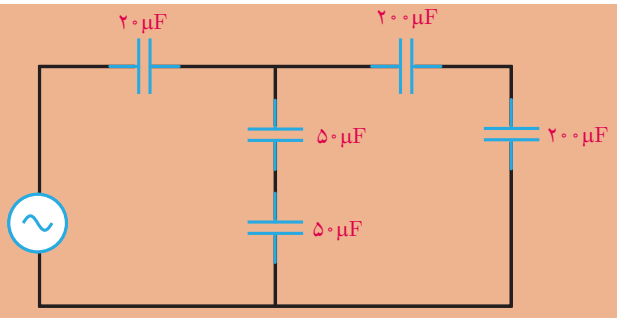


۴ـ در شکل صفحه بعد مطلوب است:

الف) محاسبه C_{eq}

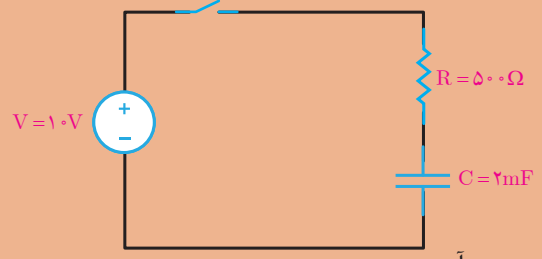
ب) محاسبه X_{ceq}

ج) اگر $\omega = ۵۰۰\frac{Rad}{s}$ باشد در این حالت C_{eq} و X_{ceq} را حساب کنید.

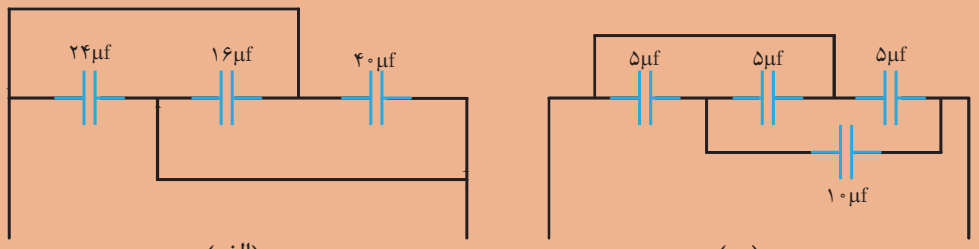


اُمگا $\omega = ۱۰۰۰ \frac{Rad}{S}$

۵ـ در شکل زیر پس از بستن کلید چه مدت طول می‌کشد تا خازن به حالت پایدار برسد؟ در این حالت ولتاژ خازن چقدر است؟



۶ـ ظرفیت معادل در شکل‌های زیر را به دست آورید.



(الف) (ب)

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

۸- معادلات زمانی ولتاژ و جریان یک خازن به ترتیب $v(t) = ۱۰۰\sin(۱۰۰۰t + ۰)$ و $i(t) = ۵\sin(۱۰۰۰t + ۹۰^\circ)$ است مطلوب است:

الف) مقاومت خازنی

ب) ظرفیت خازن

۹- خازنی با توان الکتریکی ۱۰۰- ولت 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

در این فصل مطالب زیر را فرا خواهید گرفت:

۱ـ توان در جریان متناوب

۲ـ اندازه‌گیری جریان

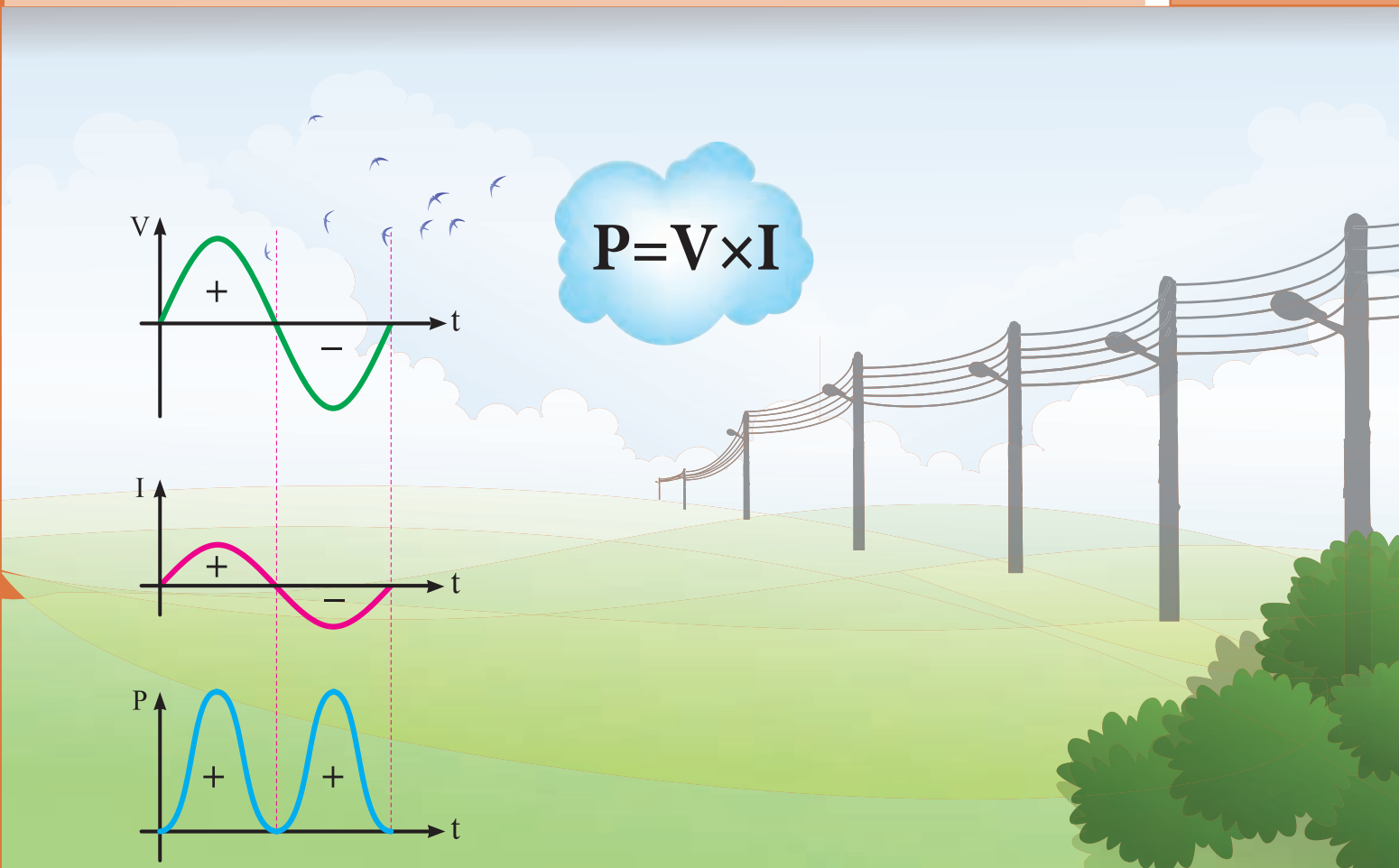
۳ـ اندازه‌گیری ولتاژ

۴ـ اندازه‌گیری مقاومت

۵ـ اندازه‌گیری انرژی الکتریکی

واحد یادگیری ۱۱

توان در جریان متناوب



توان مؤثر و غیرمؤثر در جریان متناوب

توان مؤثر توانی است که انرژی الکتریکی را تبدیل می‌کند و واحد آن وات است و در مدارهای جریان متناوب از رابطه روبه‌رو به‌دست می‌آید.

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

توان غیرمؤثر توانی است که انرژی الکتریکی را ذخیره می‌کند و واحد آن ولت آمپر راکتیو است و در مدارهای جریان متناوب از رابطه روبه‌رو به‌دست می‌آید.

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

در مدارهای پس فاز، زاویه اختلاف فاز φ مقداری مثبت است لذا علامت Q مثبت خواهد شد اما در مدارهای پیش فاز، زاویه اختلاف فاز φ مقداری منفی است لذا علامت Q منفی خواهد شد.

در این روابط:

P توان مؤثر [w]

Q توان غیر مؤثر [VAR]

Ve ولتاژ مؤثر [V]

Ie جریان مؤثر [A]

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

مثال ۱: معادلات زمانی ولتاژ و جریان یک مدار الکتریکی به‌صورت 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 مؤثر

ب) زاویه اختلاف فاز و نوع مدار

ج) توان مؤثر

د) توان غیرمؤثر

حل:

الف)

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۲۲۰\sqrt{۲}}{\sqrt{۲}} = ۲۲۰[V]$$
$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۱۰\sqrt{۲}}{\sqrt{۲}} = ۱۰[A]$$

ب)

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

ج)

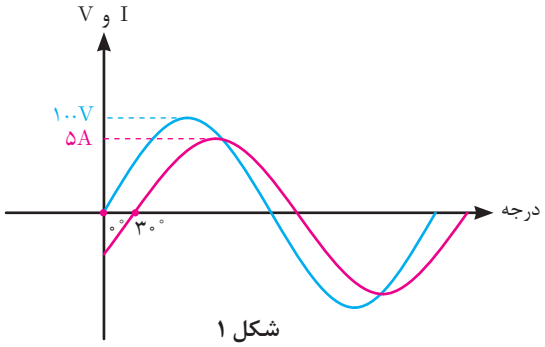
$$P = V_e I_e \cos\varphi$$
$$P = ۲۲۰ \times ۱۰ \times \cos ۶۰^\circ = ۱۱۰۰[w]$$

د) زاویه φ مقداری منفی دارد یعنی مدار پیش‌فاز است. پیش‌فاز 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 زیر داده شده است:



شکل ۱

مطلوب است :

الف) مقدار ولتاژ و جریان مؤثر

ب) زاویه اختلاف فاز و نوع مدار

ج) توان مؤثر

د) توان غیرمؤثر

حل :

الف) با توجه به شکل ۱

$$V_m = ۱۰۰[V]$$
$$I_m = ۵[A]$$
$$\theta_V = ۰$$
$$\theta_i = -۳۰$$
$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۱۰۰}{\sqrt{۲}} = ۵۰\sqrt{۲}$$
$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۵}{\sqrt{۲}} = ۲/۵\sqrt{۲}[V]$$

ب)

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

زاویه φ مقداری مثبت دارد یعنی مدار پس‌فاز است. پس‌فاز یعنی جریان مدار از ولتاژ مدار به اندازه ۳۰ درجه عقب‌تر است.

ج)

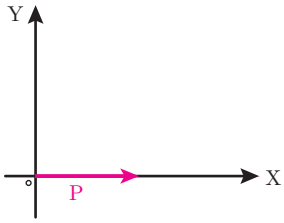
$$P = V_e I_e \cos\varphi$$
$$P = ۵۰\sqrt{۲} \times ۲/۵\sqrt{۲} \times \cos(+۳۰) = ۱۲۵\sqrt{۳}[w]$$

د)

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

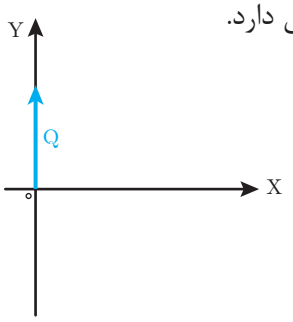
بردار توان‌های مؤثر و غیرمؤثر

بردار توان مؤثر، یک بردار افقی و مثبت است. طول آن برابر مقدار توان مؤثر می‌باشد. (شکل ۲)

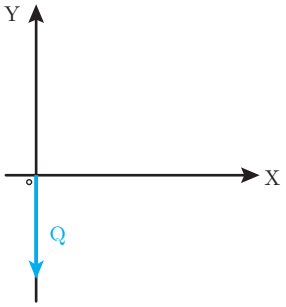


شکل ۲ـ بردار توان مؤثر

بردار توان غیرمؤثر یک بردار عمودی است که علامت آن به مثبت یا منفی بودن توان غیرمؤثر بستگی دارد.



الف) بردار توان غیرمؤثر پس فاز



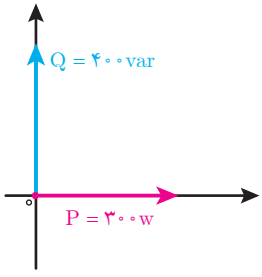
ب) بردار توان غیرمؤثر پیش فاز

شکل ۳

مثال ۳ : یک مدار الکتریکی دارای توان مؤثر ۳۰۰ W و توان غیرمؤثر پس فاز +۴۰۰VAR می‌باشد بردارهای P و Q آن را رسم کنید.

حل:

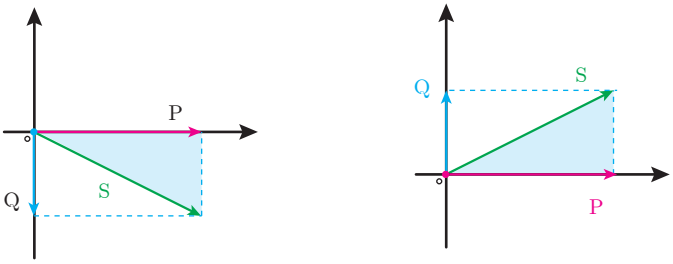
بردار توان مؤثر P به‌صورت افقی و بردار توان غیرمؤثر به‌صورت عمودی رسم می‌شود. (شکل ۴)



شکل ۴

توان ظاهری

توان ظاهری از برایند توان مؤثر و توان غیرمؤثر به‌دست می‌آید. توان ظاهری را با S نشان می‌دهند و واحد آن ولت آمپر [VA] است (شکل ۵).



ب) توان ظاهری مدار پیش‌فاز

الف) توان ظاهری مدار پس‌فاز

شکل۵

و مقدار آن از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

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

که در این رابطه :

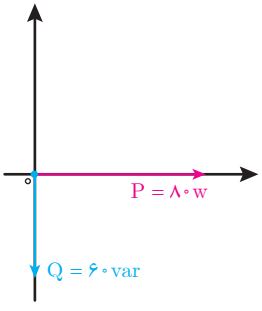
S توان ظاهری [VA]

P توان مؤثر [W]

Q توان غیرمؤثر [VAR] است.

مثال ۴ : یک مدار الکتریکی دارای زاویه اختلاف فاز $\varphi = -۳۷$ و توان مؤثر ۸۰ W و توان غیرمؤثر ۶۰ VAR می‌باشد. بردارهای توان را رسم کنید و مقدار توان ظاهری را محاسبه نمایید.

حل: زاویه اختلاف فاز منفی است پس توان غیرمؤثر منفی می‌باشد. (شکل ۶)



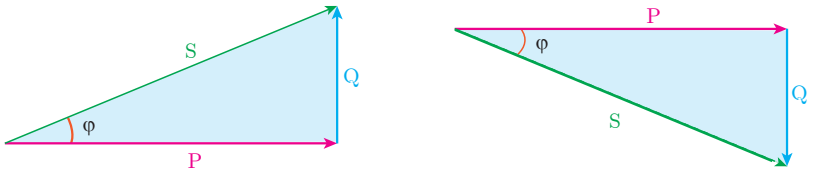
شکل۶

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

$$S = \sqrt{۸۰^2 + ۶۰^2} = ۱۰۰[VA]$$

مثلث توان

مثلث توان، مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که توان مؤثر و غیرمؤثر اضلاع قائم و توان ظاهری وتر آن می‌باشد. بردارهای P و Q و S می‌توانند تشکیل یک مثلث دهند. زاویه بین P و S همان زاویه φ است. (شکل ۷)



ب) مثلث توان مدار پس فاز

الف) مثلث توان مدار پیش فاز

شکل ۷

مثلث توان دارای نسبت‌های 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 مؤثر

$\sin\varphi$ ضریب توان غیرمؤثر

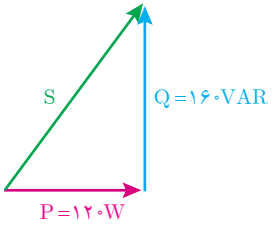
$tg\varphi$ ضریب کیفیت می‌باشد.

مثـــال ۵: یـک مـدار الکتریکـی دارای تـوان مؤثـر ۱۲۰ w و تـوان غیرمؤثـر ۱۶۰+ VAR می‌باشـد مطلـوب اسـت :

الف) رسم مثلث توان ب) توان ظاهری ج) ضریب توان مؤثر

حل:

الف) توان غیرمؤثر مثبت است یعنی مدار پس‌فاز می‌باشد.



شکل۸

ب) توان ظاهری از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

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

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

ج) ضریب توان مؤثر از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

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

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

$$S = V_e I_e$$

که در این رابطه:
S توان ظاهری [VA]
Veولتاژ مؤثر [V]
Ie جریان مؤثر [A] می‌باشد.

مثـال ۶: ولتـاژ و جریـان یـک مـدار الکتریکـی بـه ترتیـب ۲۰۰V و ۱۰A اسـت تـوان ظاهـری آن چنـد ولـت آمپـر می‌باشـد؟

حل:

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

پرسش

۱ـ انواع توان در جریان متناوب را نام ببرید.
۲ـ توان مؤثر را تعریف کنید.
۳ـ توان غیرمؤثر را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.
۴ـ توان ظاهری را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید.
۵ـ مثلث توان را تعریف کنید و انواع آن را رسم نمایید.

تمرین

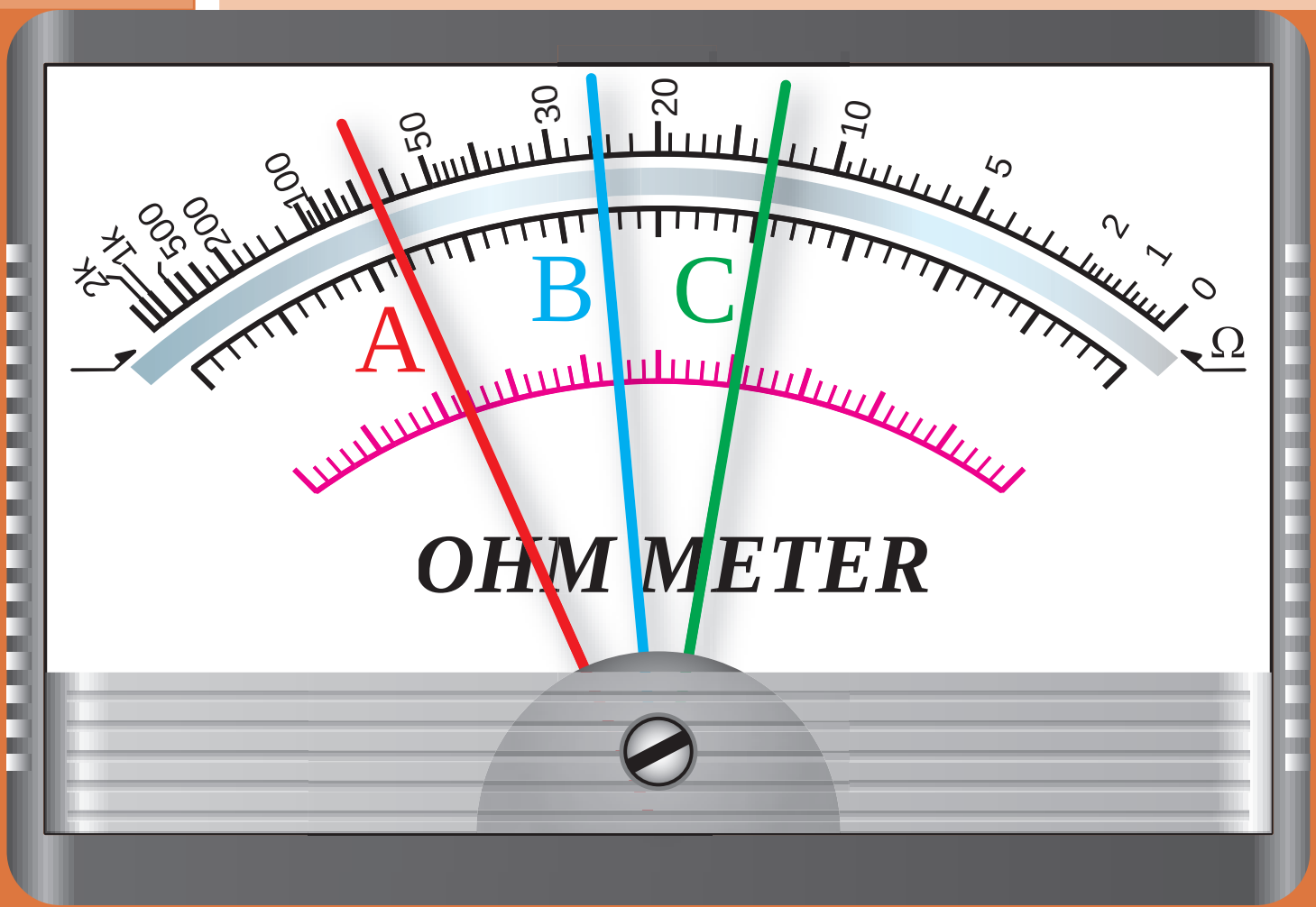
۱ـ معادلات زمانی ولتاژ و جریان یک مدار الکتریکی به ترتیب :

$$V(t) = ۲۰\sqrt{۲}\sin(۳۱۴t + ۰)$$
$$i(t) = ۱۰\sqrt{۲}\sin(۳۱۴t + ۳۷^\circ)$$

می‌باشد. مطلوب است:
الف) توان مؤثر
ب) توان غیرمؤثر
ج) توان ظاهری
۲ـ یک مصرف‌کننده الکتریکی با توان ۸۰ w و ۱۰۰ VA پس‌فاز مفروض است. مطلوب است:
الف) رسم مثلث توان
ب) ضریب توان
ج) توان غیرمؤثر

واحد یادگیری ۱۲

اندازه‌گیری جریان، ولتاژ و مقاومت اهمی



آمپرمتر

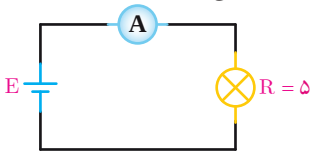
آمپرمتر دستگاهی است که جریان الکتریکی را اندازه می‌گیرد. برای اندازه‌گیری جریان الکتریکی مستقیم از آمپرمتر DC و برای اندازه‌گیری جریان الکتریکی متناوب از آمپرمتر AC استفاده می‌شود.

آمپرمتر در مدارهای الکتریکی با علامت اختصاری شکل ۹ نشان داده می‌شود.

شکل ۹

آمپرمتر در مدار الکتریکی به صورت سری قرار می‌گیرد تا جریان مصرف‌کننده با جریان عبوری از آمپرمتر برابر باشد. نحوه قرار گرفتن آمپرمتر در یک مدار الکتریکی ساده در شکل ۱۰ و مدار الکتریکی معادل آن در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

شکل ۱۰



شکل ۱۱

اندازه‌گیری جریان DC

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

الف) حدود اندازه‌گیری یا ضریب کلید رنج (مثلاً در شکل ۱۰، ۱۰۰ mA می‌باشد) را به ماکزیمم عدد روی صفحه مدرج (مثلاً در شکل ۱۰ یکی از تقسیمات ۱۰ می‌باشد) تقسیم می‌کنیم. عدد به دست آمده را ضریب ثابت صفحه نامیده و آن را با حرف C نشان می‌دهیم؛ با توجه به شکل ۱۰ 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 می‌کنیم. در شکل ۱۰ عقربه به اندازه ۱/۶ قسمت از تقسیمات منحرف شده است، لذا مقدار جریانی که عقربه نشان می‌دهد برابر است با:

عدد عقربه × C = مقدار جریانی که آمپرمتر نشان می‌دهد.

$$C = ۱۰ \times ۱/۶ = ۱۶\,mA$$

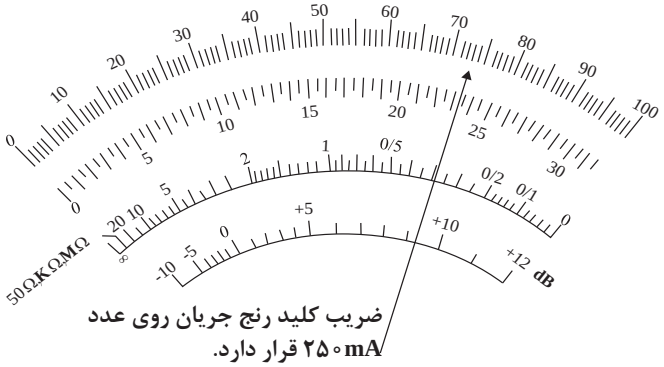
مثـــال ۱: بیشـــترین عـــدد درج شـــده روی یـــک میلـــی آمپرمتـــر ۶۰ می‌باشـــد (صفحـــه مـــدرج بـــه ۶۰ قســـمت تقســـیم شـــده اســـت) اگـــر حـــدود اندازه‌گیـــری (ضریـــب کلیـــد رنـــج) روی عـــدد ۳۰۰mA بـــوده و عقربـــه آمپرمتـــر بـــه انـــدازه ۴۲/۵ قســـمت منحـــرف شـــده باشـــد، آمپرمتـــر مقـــدار جریـــان را ۲۱۲/۵mA نشـــان می‌دهـــد زیـــرا :

$$C=\frac{۳۰۰\text{mA}}{۶۰}=۵\text{mA}$$

مقدار جریانی که میلی آمپرمتر اندازه می‌گیرد برابر است با :

$$I=۴۲/۵\times C=۴۲/۵\times ۵\text{mA}=۲۱۲/۵\text{mA}$$

مثال ۲ : در شکل ۱۲ میلی‌آمپر متر ۱۸۲/۵ میلی آمپر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲

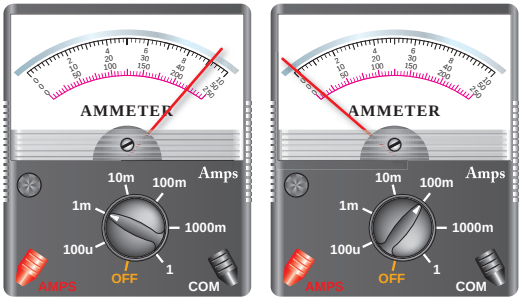
مقدار جریانی که آمپر متر نشان می‌دهد.

$$C=\frac{۲۵۰}{۱۰۰}=۲/۵\text{mA}$$

$$۲/۵\times ۷۳=۱۸۲/۵\text{mA}$$

بـــرای دقیق‌تـــر خوانـــدن جریانـــی کـــه آمپرمتـــر نشـــان می‌دهـــد بایـــد حـــدود اندازه‌گیـــری (ضریـــب کلیـــد رنـــج) را طـــوری انتخـــاب کنیـــم کـــه انحـــراف عقربـــه بیشـــترین مقـــدار را داشـــته باشـــد.

شـــکل ۱۳ جریـــان ۰/۹۲ میلـــی آمپـــر را در محـــدوده اندازه‌گیـــری ۱ mA و ۱۰۰ mA نشـــان می‌دهـــد. همـــان طـــور کـــه از شـــکل نیـــز پیداســـت اندازه‌گیـــری جریـــان ۰/۹۲mA در رنـــج ۱mA دقیـــق‌تر اســـت.



(ب) (الف)

شکل ۱۳

آمپرمترهـا و میلی‌آمپرمترهـای DC بـه صورت‌هـای آزمایشـگاهی، تابلویـی و یـا بـه صـورت قسـمتی از مولتی‌متـر (اهـم متـر- ولـت متـر - آمپرمتـر) سـاخته می‌شـوند. شـکل ۱۴ چنـد نمونـه از آمپرمترهـا و میلـی آمپرمترهـای آزمایشـگاهی را نشـان می‌دهـد.

شکل ۱۴

مولتی‌متر یک دستگاه پرکاربرد در برق و الکترونیک است.
نوعـی از مولتی‌متـر وجـود دارد کـه بـه آوومتـر دیجیتالـی موسـوم اسـت. ایـن نـوع مولتی‌متـر نیـز دارای رنـج جریـان DC اسـت و مقـدار اندازه‌گیری‌شـده را بـه صـورت رقمـی روی صفحـه نمایـش نشـان می‌دهـد. در شـکل ۱۵ یـک نمونـه از ایـن مولتی‌مترهـا را مشـاهده می‌کنیـد.

شکل ۱۵

اندازه‌گیری جریان AC : بـرای اندازه‌گیـری جریـان AC حتمـاً بایـد از آمپرمترهـای AC اسـتفاده کـرد. پـس بـا آمپرمترهایـی کـه فقـط دارای رنـج DC می‌باشـند نمی‌تـوان جریـان AC را انـدازه گرفـت. بعضـی دیگـر از آمپرمترهـا توانایـی اندازه‌گیـری جریان‌هـای AC و DC را توأمـاً دارا هسـتند کـه بـا کلیـد انتخـاب (AC و DC) می‌تـوان در هـر لحظـه جریـان مـورد نظـر را انـدازه گرفـت. آمپرمترهـای AC بیشـتر بـه صـورت تابلویـی سـاخته می‌شـوند. شـکل ۱۶ دو نمونـه از آمپرمترهـای AC تابلویـی را نشـان می‌دهـد.

شکل ۱۶

شـکل ۱۷ یـک مولتی‌متـر دیجیتالـی آزمایشـگاهی را نشـان می‌دهـد کـه دارای رنـج جریـان متنـاوب (AC) و مسـتقیم (DC) می‌باشـد.
مولتی‌مترهـای عقربـه‌ای معمـولاً فاقـد رنـج اندازه‌گیـری جریـان AC هسـتند. امـا کلیـه مولتی‌مترهـای دیجیتالـی رنـج اندازه‌گیـری جریـان AC را دارا می‌باشـند. بـرای اندازه‌گیـری جریـان AC توسـط آوومتـر دیجیتالـی، کافـی اسـت کـه ترمینال‌هـای مخصـوص

شکل ۱۷

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 می‌شود.

علاوه بر آمپرمترهای آزمایشگاهی و تابلویی و مولتی‌مترها، نوع دیگری از آمپرمترهای AC وجود دارند که به آمپرمتر «انبری» معروف‌اند. برای اندازه‌گیری جریان کافی است سیم حامل جریان AC را وسط هسته این مولتی‌متر که با اهرمی باز می‌شود 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 مولتی‌متر (ترکیبی) می‌سازند. شکل ۱۸ دو نمونه آمپرمتر انبری عقربه‌ای و دیجیتالی را نشان می‌دهد.

شکل ۱۸- آمپرمتر انبری

ولت‌متر

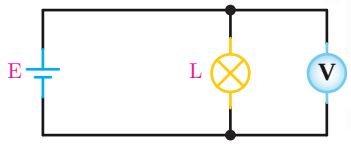
ولت‌متر دستگاهی است که اختلاف پتانسیل یا ولتاژ الکتریکی را اندازه می‌گیرد. برای اندازه‌گیری ولتاژ الکتریکی مستقیم از ولت‌متر DC و برای اندازه‌گیری ولتاژ الکتریکی متناوب از ولت‌متر AC استفاده می‌شود.

ولت‌متر در مدار الکتریکی با علامت اختصاری شکل ۱۹ نشان داده می‌شود.

ولت‌متر در مدار الکتریکی به‌صورت موازی قرار می‌گیرد تا ولتاژ مصرف‌کننده با ولتاژ ولت‌متر یکی باشد. نحوه قرار گرفتن ولت‌متر در یک مدار الکتریکی ساده در شکل ۲۰ و مدار الکتریکی معادل آن در شکل ۲۱ نشان داده شده است.

شکل ۱۹

شکل ۲۰



شکل ۲۱

اندازه‌گیری ولتاژ DC

برای خواندن مقدار ولتاژی که ولت‌متر نشان می‌دهد، همانند خواندن آمپرمتر، ابتدا ضریب ثابت سنجش را به دست آورده و آنگاه این عدد را در مقدار انحراف عقربه برحسب تقسیمات ضرب می‌کنیم.

شکل ۲۲

مثال ۳: اگر ضریب کلید رنج شکل ۲۲ روی عدد ۵۰۰ ولت باشد مقدار ولتاژ اندازه‌گیری شده چقدر است؟

$$C = \frac{۵۰۰}{۲۵۰} = ۲$$

مقداری که ولت‌متر نشان می‌دهد برابر است با: عدد خوانده شده × C تعداد تقسیماتی که عقربه منحرف شده است.

بنابراین داریم :

$$۲۲۰ \times ۲ = ۴۴۰ [v]$$

شکل ۲۳

مثال ۴: در شکل ۲۳ ولت متر ولتاژی به اندازه ۳۸۰ ولت را نشان می‌دهد، زیرا :

$$C = \frac{۵۰۰}{۵۰} = ۱۰$$

مقدار ولتاژ برابر است با :

تعداد خانه‌های منحرف شده × C

$$۱۰ \times ۳۸ = ۳۸۰$$

برای دقیق‌تر خواندن مقدار ولتاژی که ولت‌متر نشان می‌دهد باید حدود اندازه‌گیری (ضریب کلید رنج) را طوری انتخاب نماییم که انحراف عقربه بیشترین مقدار را داشته باشد.
ولت مترهای DC به صورت‌های آزمایشگاهی، تابلویی و یا به صورت قسمتی از مولتی‌متر ساخته می‌شوند. شکل ۲۴ یک نمونه از میلی ولت‌متر آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

شکل ۲۴

شکل ۲۵

شکل ۲۶ـ یک نمونه ولت‌متر تابلویی AC را نشان می‌دهد.

شکل ۲۵ یک نمونه ولت‌متر DC تابلویی را نشان می‌دهد.
مولتی‌مترهای دیجیتالی نیز قادر به اندازه‌گیری ولتاژ DC هستند. یک نمونه دیگر از این مولتی‌مترها در شکل ۲۶ نشان داده شده است.

اندازه‌گیری ولتاژ AC

برای اندازه‌گیری ولتاژ AC از ولت‌متر AC استفاده می‌شود. اکثر ولت‌مترهای آزمایشگاهی هر دو ولتاژ AC و DC را اندازه می‌گیرند (شکل۲۷).
به همین منظور بر روی ولت‌مترها کلید انتخاب AC و DC وجود داشته و یا سلکتور حدود اندازه‌گیری AC با DC تفاوت دارد.
همه مولتی‌مترها، اعم از عقربه‌ای و دیجیتالی، قادر به اندازه‌گیری ولتاژ AC می‌باشند. نحوه قرائت ولتاژ AC روی ولت‌مترهای AC همانند ولت‌مترهای DC است، و در مورد ولت‌مترهای دیجیتالی، مقدار ولتاژ به صورت رقم روی صفحه نمایش (Display) نوشته می‌شود. لازم به یادآوری است که ولت‌مترهای عقربه‌ای و یا مولتی‌مترهای معمولی به هیچ عنوان قادر به اندازه‌گیری ولتاژهای AC کم (کمتر ازیک ولت) به صورت دقیق نیستند ولی مولتی‌مترها و با ولت‌مترهای

شکل ۲۷

دیجیتالی، ولتاژهای AC خیلی کم (حدود یک میلی‌ولت) را با دقت کافی اندازه‌گیری می‌کنند. برای اندازه‌گیری ولتاژهای زیاد AC و یا DC (۱۰۰۰ ولت به بالا) از پراب‌های مخصوص ولتاژ زیاد استفاده می‌شود. این پراب‌ها دارای مقاومت بسیار بزرگ بوده و با ولت‌متر سری می‌شوند تا قسمت اعظم ولتاژ مورد اندازه‌گیری در آنها افت کند. شکل ۲۸ نمونه‌ای از این نوع پراب را که در آن مقاومت ۱۰ مگا اهم جهت اندازه‌گیری ولتاژ زیاد، با ولت‌متر سری شده است نشان می‌دهد.

شکل ۲۸

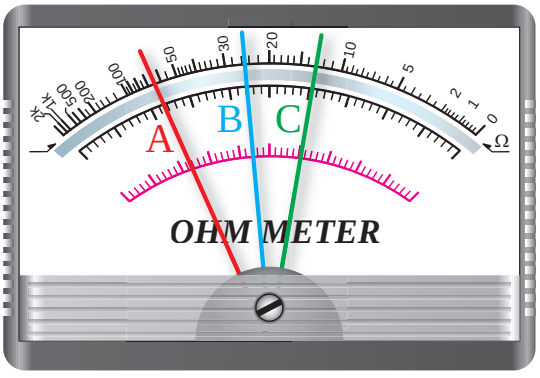
اهم متر

اهم‌متر دستگاهی است که مقاومت الکتریکی را اندازه می‌گیرد. اهم متر در مدار الکتریکی به صورت موازی قرار می‌گیرد. نحوه اندازه‌گیری یک مقاومت الکتریکی توسط اهم‌متر آزمایشگاهی در شکل ۲۹ نشان داده شده است.
تمامی‌آوومترهای دیجیتالی و عقربه‌ای مجهز به اهم متر هستند. امروزه اهم مترها دیگر به صورت یک دستگاه مستقل ساخته نمی‌شوند. درجه‌بندی اهم متر عکس درجه‌بندی ولت متر و آمپرمتر است؛ یعنی صفر آن در سمت راست صفحه مدرج قرار دارد، ضمناً درجه‌بندی آن خطی نیست.

شکل ۲۹

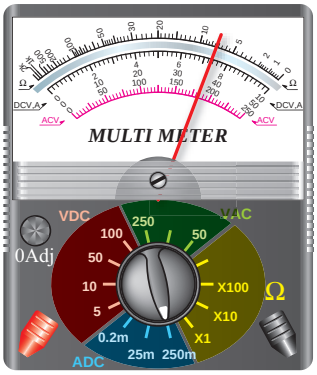
برای خواندن مقدار مقاومت اهمی از روی اهم‌متر کافی است که مقدار خوانده شده روی صفحه مدرج را در ضریب کلید رنج اهم‌متر ضرب کنیم. به عنوان مثال در شکل ۳۰ عقربه‌های C و B و A مقادیر زیر را نشان می‌دهند.

$(A)۶۷/۵\times۱۰=۶۷۵\Omega$
$(B)۲۴/۷۵\times۱۰=۲۴۷/۵\Omega$
$(C)۱۳\times۱۰=۱۳۰\Omega$



شکل ۳۰

همان طور که در شکل ۳۱ نیز می‌بینید درجه‌بندی اهم متر از سمت راست به تدریج فشرده می‌شود. به عنوان مثال مقاومت‌های ۲Ω و ۳Ω و ۱۰Ω و ۱۵Ωتا حدود ۵۰Ω، تقریباً به راحتی قابل خواندن هستند، اما از حدود ۵۰Ω تا آخرین حد تقسیمات، درجه‌بندی بسیار فشرده می‌شود که در این حالت مقاومت‌های زیاد (مثلاً ۱۰ اهم به بالا) به طور دقیق قابل خواندن نیست. بنابراین برای دقیق خواندن مقدار مقاومت‌ها باید کلید رنج را طوری تنظیم کنیم که عقربه روی اعدادی که مقدار مقاومت را بسیار دقیق و واضح نشان می‌دهند قرار گیرد اگر انحراف عقربه از سمت چپ بیشتر از ۴۰٪باشد مقدار مقاومت واضح خوانده می‌شود.



شکل ۳۱

کنتور

کنتور دستگاهی است که انرژی الکتریکی را اندازه‌گیری می‌کند. برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی در مصرف کننده تکفاز از کنتور تکفاز و در مصرف‌کننده سه فاز از کنتور سه فاز استفاده می‌شود.
واحد اندازه‌گیری انرژی الکتریکی ژول می‌باشد که برابر وات ثانیه است ولی در عمل از واحدهای بزرگ‌تر مانند کیلو وات ساعت، مگا، وات، ساعت استفاده می‌شود. واحد اندازه‌گیری انرژی ناشی از توان مؤثر در کنتورها کیلو وات ساعت و ناشی از توان غیرمؤثر کیلووار ساعت است. در شکل ۳۲ دو نمونه کنتور دیجیتالی و آنالوگ نشان داده شده است. در کنتورهای آنالوگ فقط امکان اندازه‌گیری انرژی الکتریکی امکان داشت ولی در کنتورهای دیجیتال علاوه بر اندازه‌گیری انرژی الکتریکی امکان اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی نظیر ولتاژ، جریان و فرکانس و ... وجود دارد.

الف) کنتور آنالوگ

ب) کنتور دیجیتالی

شکل ۳۲

پرسش

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

منابع و مآخذ

۱ـ برنامه درسی رشته الکتروتکنیک ـ دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش ـ سال ۱۳۹۴
۲ـ قیطرانی، فریدون. احمدی، عین‌ا... . مظفری، حسین. همتایی، محمود. تجلی‌پور، مسعود. ۱۳۹۳. مبانی برق. کد ۳۵۵/۱۸ چاپ چهاردهم. شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران
۳ـ ترکمانی، امیرحسین. ۱۳۹۴. ماشین‌های الکتریکی DC کد ۴۹۰/۱ چاپ سوم. شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران
۴ـ نظریان. فتحا... . ۱۳۹۴. اصول اندازه‌گیری الکتریکی کد ۳۵۹/۹۳، چاپ چهاردهم. شرکت چاپ‌ونشر کتاب‌های درسی ایران
۵ـ استاندارد شایستگی حرفه، ۱۳۹۴. رشته الکتروتکنیک. دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش
۶ـ سایت موزه برق شهدا
۷ـ سایت انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی ایران (ساتبا)