

واحد یادگیری ۱۰

خازن



خازن

خازن تشکیل شده است از دو صفحه هادی که بین آنها عایق^۱ قرار دارد. عایق خازن‌ها را «دی‌الکتریک» نیز می‌گویند. جنس دی‌الکتریک می‌تواند هوا، خلاء، کاغذ، میکا و ... باشد. خازن را با علامت اختصاری شکل (۹۷- ب) نشان می‌دهند.



نمای الکترون خازن

(ب)

خازن در لغت به معنای ذخیره‌ساز است زیرا انرژی الکتریکی را به صورت میدان الکترواستاتیکی در خود ذخیره می‌کند.

ظرفیت خازن

ظرفیت خازن نسبت بار الکتریکی ذخیره شده به اختلاف پتانسیل صفحات می‌باشد و آن را با C نشان می‌دهند و واحد آن $\frac{\text{کولن}}{\text{ولت}}$ می‌باشد که به احترام مایکل فاراد به آن «فاراد» گویند و با حرف F نشان می‌دهند. یک فاراد ظرفیت خازنی است که هرگاه اختلاف پتانسیل یک ولت بین صفحات آن ایجاد شود بار الکتریکی یک کولن در آن ذخیره شده است. ظرفیت خازن از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

در این رابطه:

C ظرفیت خازن برحسب فاراد [F]

q بار ذخیره شده برحسب کولن [C]

V اختلاف پتانسیل برحسب ولت [V] است.

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؟

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

حل :

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

$$q = CV$$

$$q = ۴۰ \times ۱۰^{-۶} \times ۵۰ = ۲۰۰۰ [\mu C]$$

حل :

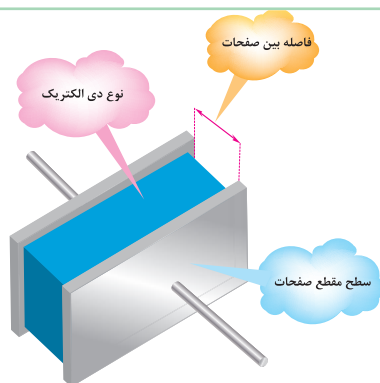
مثال ۳: یک خازن $۱۰ \mu F$ با بار $۱۰ \mu C$ چقدر اختلاف پتانسیل دارد؟

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

حل :



عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن

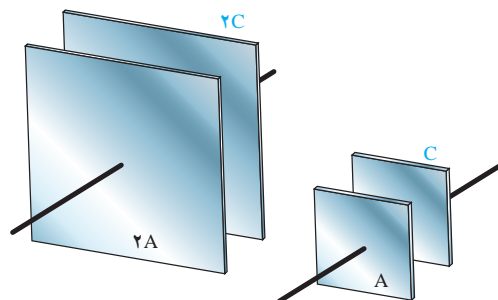


شکل ۹۸- عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن

مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعیین ظرفیت خازن عبارت‌اند از:

- ۱- مساحت صفحات هادی
 - ۲- فاصله بین صفحات هادی
 - ۳- 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).

هر چه مساحت صفحات هادی بزرگ‌تر باشد بار الکتریکی بیشتری را در خود ذخیره می‌کند. بنابراین خازن با صفحات بزرگ‌تر ظرفیت بیشتری خواهد داشت. (شکل ۹۹)



شکل ۹۹- تأثیر مساحت صفحات بر ظرفیت خازن

هر چه فاصله صفحات از یکدیگر بیشتر باشد ظرفیت خازن کمتر خواهد شد لذا خازن با فاصله صفحات کمتری دارای ظرفیت بیشتری خواهد شد. (شکل ۱۰۰)

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

شکل ۱۰۰- تأثیر فاصله بین صفحات بر ظرفیت خازن

جنس و کیفیت عایق یا دی‌الکتریک بین صفحات باردار خازن اثر مستقیم بر ظرفیت خازن دارد. دی‌الکتریک خوب و با کیفیت دی‌الکتریک است که بتواند نیروی کولنی بین بارهای الکتریکی ذخیره‌شده بر روی صفحات باردار خازن را تحمل کند و خاصیت عایقی خود را از دست ندهد. (شکل ۱۰۱).

و فاصله آنها از یکدیگر و جنس عایق از رابطه زیر به دست می آید.

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

که در آن:

C ظرفیت خازن بر حسب [F]

$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ ضریب نفوذ الکتریکی عایق بر حسب $\left[\frac{F}{m}\right]$

A مساحت صفحات بر حسب $[m^2]$

d فاصله بین صفحات بر حسب [m] است.

مثال ۴: ظرفیت خازنی که مساحت صفحات آن $0/05$ مترمربع و فاصله بین صفحات آن $0/1$ سانتی متر و نوع دی الکتریک 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 می دانیم که ضریب نفوذ نسبی هوا برابر است با

$$\epsilon_0 = 8/85 \times 10^{-12}$$

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

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

$$\epsilon = 8/85 \times 10^{-12} \left[\frac{F}{m}\right]$$

$$A = 0/05 m^2$$

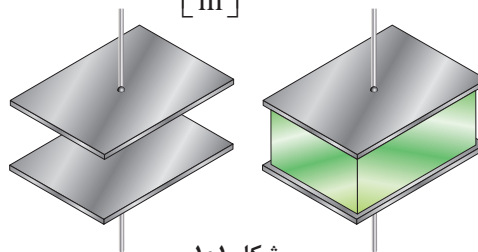
$$d = 0/1 \times 10^{-2} m^2$$

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

$$C = \frac{8/85 \times 10^{-12} \times 5 \times 0/05}{0/1 \times 10^{-2}} = 0/00221 \mu f$$

کیفیت عایق یا دی الکتریک در واقع استقامت الکتریکی عایق در مقابل میدان الکتریکی بین صفحات باردار خازن است. استقامت الکتریکی عایق ها در مقابل میدان الکتریکی بین صفحات باردار خازن را «ضریب نفوذ الکتریکی» می نامند و با ϵ نشان می دهند. ضریب نفوذ الکتریکی هوا را با ϵ_0 نشان می دهند و برابر است با:

$$\epsilon_0 = 8/85 \times 10^{-12} \left[\frac{F}{m}\right]$$



شکل ۱۰۱

نسبت ضریب نفوذ عایق های الکتریکی به ضریب نفوذ الکتریکی هوا را «ضریب نفوذ نسبی» گویند و با ϵ_r نشان می دهند و از رابطه زیر به دست می آید:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

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

جدول ضریب نفوذ نسبی عایق ها

نوع عایق	ضریب نفوذ نسبی عایق ها (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

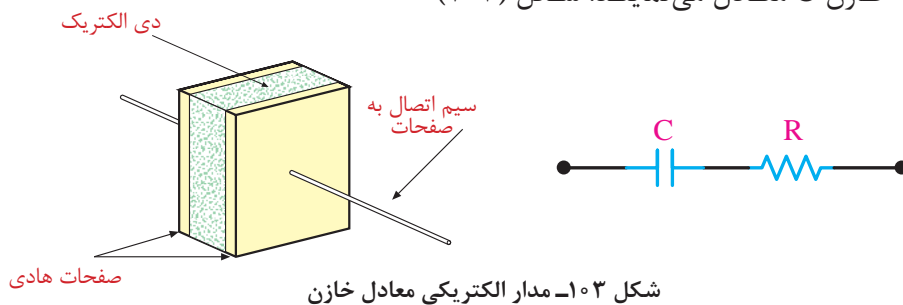
از جمله مشخصه‌های دیگر خازن ولتاژ کار آن است که همراه با ظرفیت روی بدنه خازن نوشته می‌شود. در شکل ۱۰۲ خازن با تحمل ولتاژ ۴۰۰ ولت DC و ظرفیت ۱۰۰ میکرو فاراد نشان داده شده است.



شکل ۱۰۲

مدار الکتریکی معادل خازن

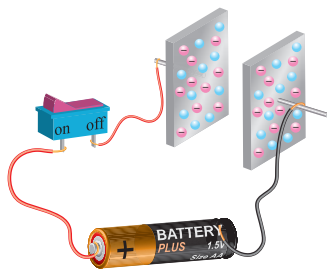
خازن علاوه بر ظرفیت C ، مقاومت الکتریکی R نیز دارد. مقاومت الکتریکی ناشی از سطح مقطع و ضخامت صفحات خازن است. برای خازن مدار الکتریکی شامل اتصال سری مقاومت الکتریکی R و ظرفیت خازن C معادل می‌نمایند. شکل (۱۰۳)



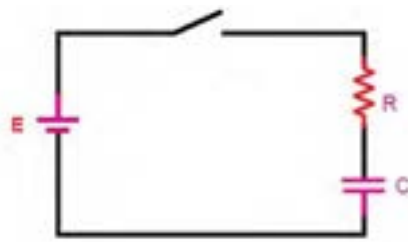
شکل ۱۰۳- مدار الکتریکی معادل خازن

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.


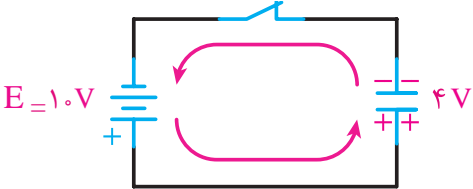


شکل ۱۰۴



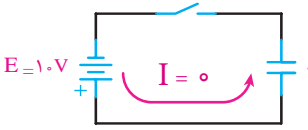
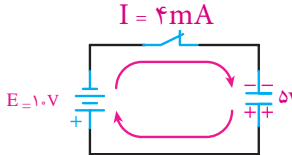

شکل ۱۰۵

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)

<p>وقتی کلید باز است هیچ جریانی از مدار نمی‌گذارد و خازن شارژ نمی‌شود.</p>	
<p>وقتی کلید بسته می‌شود جریان در مدار برقرار می‌شود و صفحات خازن باردار خواهد شد و خازن شارژ می‌شود.</p>	

شکل ۱۰۶

مادامی که 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.

<p>مدار باز بوده، جریان نمی‌گذرد</p>	
<p>خازن در حال شارژ</p>	
<p>خازن کاملاً شارژ شده و جریان نمی‌گذرد</p>	

شکل ۱۰۷

در شکل ۱۰۷ با وصل کلید شارژ خازن شروع می‌شود. مدت زمانی که طول می‌کشد تا ولتاژ خازن به $\frac{63}{2}\%$ ولتاژ نهایی برسد را ثابت زمانی خازن می‌گویند و آن را با حرف τ نشان می‌دهند. مقدار τ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\tau = RC$$

که در آن τ ثابت زمانی خازن بر حسب [S]

R مقاومت الکتریکی بر حسب [Ω]

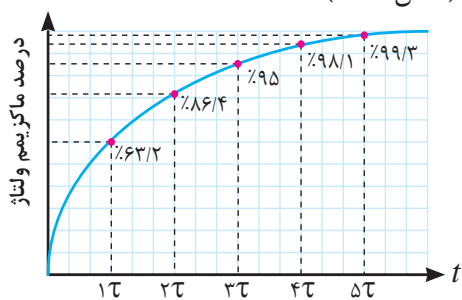
C ظرفیت خازن بر حسب [F] است.

در هر ثابت زمانی بعدی، خازن به اندازه $\frac{63}{2}$ درصد از ولتاژ باقی مانده شارژ می‌شود. مدت زمانی که طول می‌کشد تا خازن شارژ کامل شود، از رابطه زیر

$$t = 5\tau$$

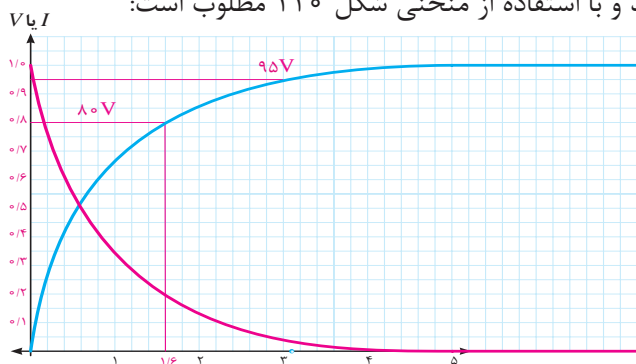
τ ثابت زمانی خازن [s]

و t مدت زمان شارژ کامل است (شکل ۱۰۸).

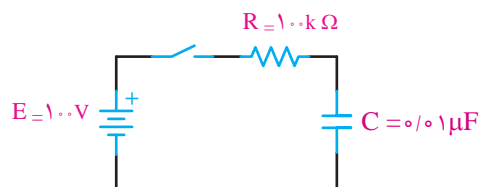


شکل ۱۰۸- منحنی شارژ خازن

مثال ۵: در مدار شکل ۱۰۹ پس از بستن کلید و با استفاده از منحنی شکل ۱۱۰ مطلوب است:



شکل ۱۱۰



شکل ۱۰۹

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

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

حل:

$$\tau = RC$$

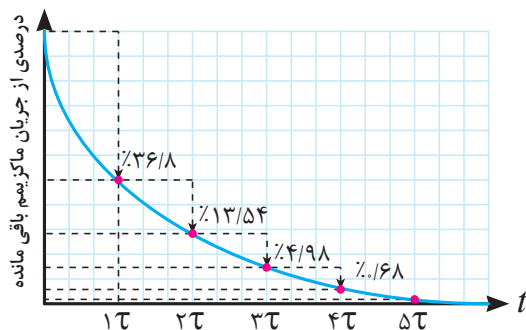
$$100 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6} = 1\text{ms}$$

ثابت زمانی مدار

در یک ثابت زمانی یا یک میلی ثانیه، خازن به اندازه $63/2\%$ درصد ولتاژ کل - یعنی $63/2\%$ ولت، شارژ می شود. اگر بخواهیم خازن 80% ولت شارژ شود، چنین عمل می کنیم:

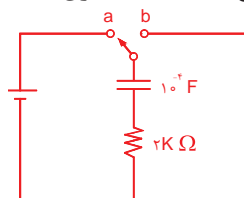
از روی محور عمودی که ولتاژ را نشان می دهد، مقدار 80% ولت را پیدا می کنیم و خطی موازی محور زمان (افقی) می کشیم تا منحنی شارژ را قطع کند. از آنجا نیز خطی موازی محور عمودی (ولتاژ) رسم می کنیم تا محور زمان را قطع کند. محل تقاطع محور زمان عدد $1/6\tau$ را نشان می دهد؛ یعنی، $1/6$ میلی ثانیه طول می کشد تا خازن به مقدار 80% ولت شارژ شود. در 3 میلی ثانیه یا 3 ثابت زمانی، ولتاژ دو سر خازن به 95% ولت می رسد. چرا؟ با رسم خطوطی موازی محورهای مختصات، همان طور که قبلاً گفته شد - مقدار 95% ولت به دست می آید.

با اتصال خازن شارژ شده به یک مقاومت، خازن انرژی ذخیره شده خود را در مقاومت به حرارت تبدیل می کند تا دشارژ شود پس از دشارژ کامل خازن ولتاژ صفر می شود. مدت زمانی که طول می کشد تا خازن دشارژ کامل شود نیز برابر 5τ است. در ثابت زمانی اول $63/2\%$ درصد از شارژ کامل خازن از بین می رود و در ثابت زمانی های بعدی به ترتیب $63/2\%$ درصد از شارژ باقی مانده تخلیه می شود. در انتهای 5 ثابت زمانی، خازن کاملاً تخلیه شده است شکل (۱۱۱).



شکل ۱۱۱- 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 می کشد تا خازن دشارژ کامل شود؟



شکل ۱۱۲

حل:

مدت زمانی که طول می کشد تا خازن به طور کامل دشارژ شود از رابطه $t=5\tau$ به دست می آید.

$$\tau = RC = 2 \times 10^3 \times 10^{-4} = 0.2\text{S}$$

$$t = 5\tau = 5 \times 0.2 = 1\text{S}$$

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^۱ 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 [Ω]

f فرکانس [Hz]

C ظرفیت خازن [F] است.

مثال ۶: یک خازن با ظرفیت $100 \mu\text{F}$ در فرکانس 50° 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 خازن‌ها

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

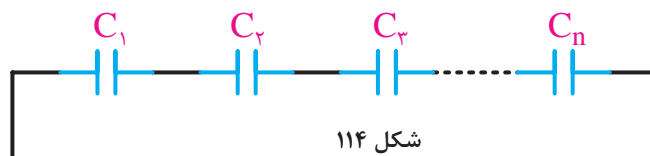


شکل ۱۱۳

الف) اتصال سری خازن‌ها

ظرفیت خازن معادل C_T چند خازن با اتصال سری شکل ۱۱۴ از رابطه زیر به دست می‌آید.

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



شکل ۱۱۴

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

$$C_1 = 30 \mu\text{F}$$

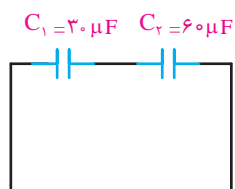
$$C_2 = 60 \mu\text{F}$$

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

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{30} + \frac{1}{60}$$

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{2+1}{60} = \frac{3}{60}$$

$$C_{\text{eq}} = \frac{60}{3} = 20 \mu\text{F}$$

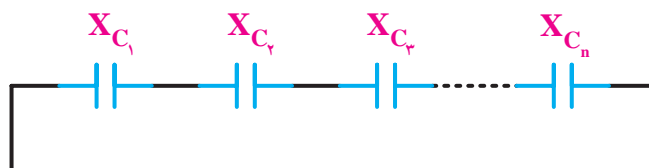


شکل ۱۱۵

حل:

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

$$X_{C_{\text{eq}}} = X_{C_1} + X_{C_2} + \dots + X_{C_n}$$

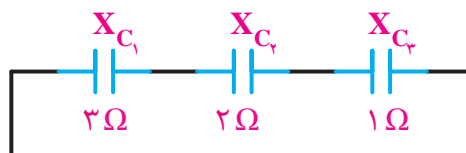


شکل ۱۱۶

مثال ۸: مقاومت خازنی معادل شکل ۱۱۷ را به دست آورید.

$$X_{C_{\text{eq}}} = X_{C_1} + X_{C_2} + X_{C_3}$$

$$X_{C_{\text{eq}}} = 3 + 2 + 1 = 6 \Omega$$



شکل ۱۱۷

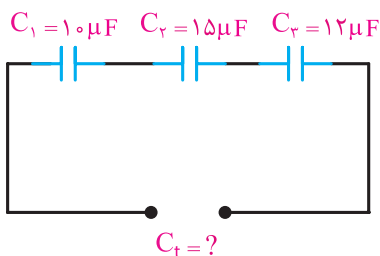
حل:

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

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{15} + \frac{1}{12} = \frac{6+4+5}{60} = \frac{15}{60}$$

$$C_t = \frac{60}{15} = 4 [\mu\text{F}]$$



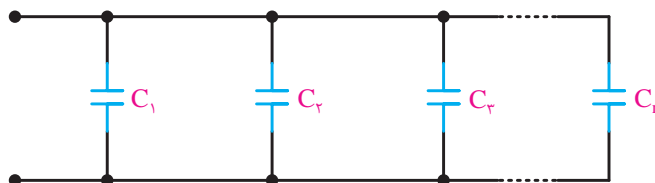
شکل ۱۱۸

حل:

ب) اتصال موازی خازن‌ها

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

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$



شکل ۱۱۹

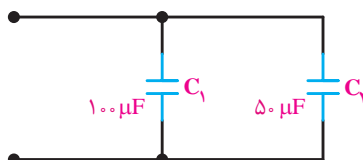


مثال ۱۰: ظرفیت خازن معادل خازن‌های شکل ۱۲۰ را به دست آورید.

حل:

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

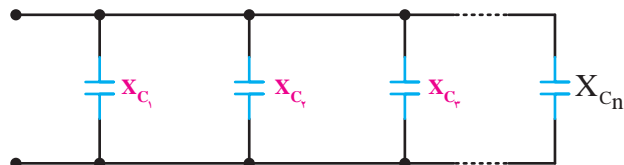
$$C_t = 100 + 50 = 150 \mu\text{f}$$



شکل ۱۲۰

مقاومت خازنی معادل X_{C_i} خازن‌ها با اتصال موازی شکل ۱۲۱ از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\frac{1}{X_{C_{eq}}} = \frac{1}{X_{C_1}} + \frac{1}{X_{C_2}} + \frac{1}{X_{C_3}} + \dots + \frac{1}{X_{C_n}}$$



شکل ۱۲۱

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

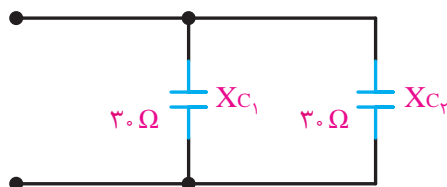
حل:

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

$$\frac{1}{X_{C_{eq}}} = \frac{1}{30} + \frac{1}{30}$$

$$\frac{1}{X_{C_{eq}}} = \frac{2}{30}$$

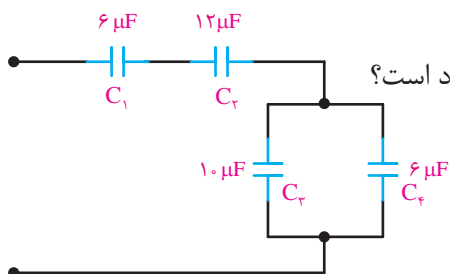
$$X_{C_{eq}} = \frac{30}{2} = 15 \Omega$$



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

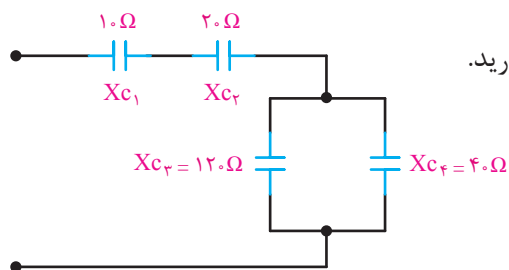
حل:

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 درباره 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:

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

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

$$C_5 = \frac{4 \times 16}{4 + 16} = \frac{16}{5} = 3 \frac{1}{5} \mu F$$



شکل ۱۲۴

مثال ۱۳: مقاومت خازنی معادل شکل ۱۲۴ را به دست آورید.

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.

اکنون معادل سری X_{C1} ، X_{C2} و X_{C34} را به دست می‌آوریم.

$$X_{C_{eq}} = X_{C1} + X_{C2} + X_{C34}$$

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

شکل ۱۲۵

انرژی خازن

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

$$W_C = \frac{1}{2} CV_m^2$$

که در این رابطه:

W_C ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن (ج)

C ظرفیت خازن (F)

V_m ماکزیمم ولتاژ خازن (V) است.

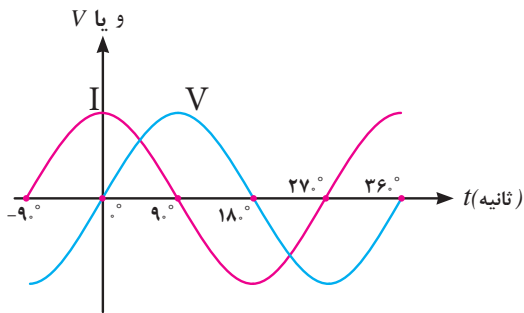
مثال ۱۴: به یک خازن با ظرفیت $50 \mu\text{F}$ میکروفاراد ولتاژ متناوب سینوسی به معادله زمانی $v(t) = 100 \sin(1000t)$ وصل شده است. ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن چند ژول است؟

حل:

$$W_C = \frac{1}{2} CV_m^2$$

$$W_C = \frac{1}{2} \times 50 \times 10^{-6} \times (100)^2 = 0.25 \text{ (j)}$$

منحنی جریان و ولتاژ خازن در جریان متناوب



شکل ۱۲۶

جریان خازن از ولتاژ دو سر آن 90° 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 $\theta_V = 0^\circ$ و $\theta_I = 90^\circ$ می‌باشد.

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

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + 0^\circ)$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

و زاویه اختلاف فاز ϕ برابر خواهد شد.

$$\phi = \theta_V - \theta_I$$

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

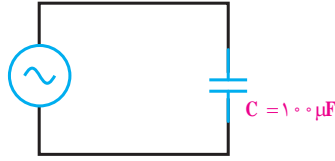
مثال ۱۵: در مدار شکل ۱۲۷ مطلوب است:

الف) مقاومت خازنی

ب) جریان خازن

ج) معادله زمانی جریان خازن

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



شکل ۱۲۷

حل:

الف) از رابطه زیر داریم:

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

ب) از قانون اهم داریم:

ولتاژ =
مقاومت × جریان

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

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3.54(A)$$

$$i(t) = 5 \sin(1000t + 90)$$

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

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 به دست می‌آید و آن را با علامت منفی نشانه‌گذاری می‌کنند.

$$Q_C = -X_C I_C^2$$

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

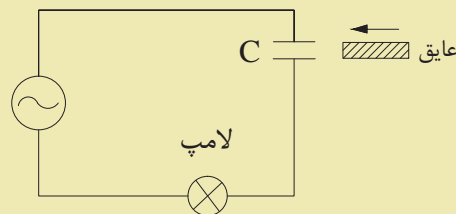
چقدر است؟

$$Q_C = -X_C I_C^2$$

$$Q_C = -2 \times 4^2 = -32(\text{VAR})$$

حل:

- ۱- خازن را تعریف کنید و عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن را نام ببرید.
- ۲- ثابت زمانی خازن را تعریف کنید؟ چه مدت طول می کشد تا خازن در مدار پایدار شود؟
- ۳- مقاومت خازنی را تعریف کنید؟ به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۴- توان الکتریکی خازن را تعریف کنید؟ چرا آن را توان راکتیو می نامند؟
- ۵- چرا خازن را یک عنصر پیش فاز تعریف می کنند؟ منحنی سینوسی جریان و ولتاژ خازن را رسم کنید.
- ۶- در شکل زیر با قرار دادن عایق بین صفحات خازن نور لامپ چه تغییری می کند؟ چرا؟



- ۱- مساحت صفحات یک خازن 10 cm^2 و فاصله صفحات آن 4 mm می باشد. در هر حالت زیر ظرفیت خازن را حساب کنید.

الف) عایق بین صفحات هوا باشد.

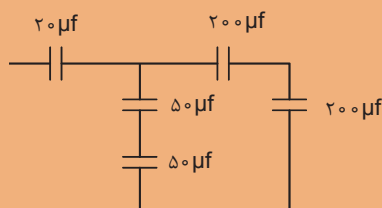
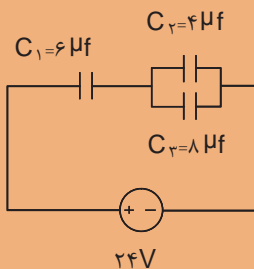
ب) عایق بین صفحات از نوع میکا باشد.

- ۲- خازنی به ظرفیت $50 \mu\text{F}$ را به یک باتری 12V متصل می کنیم بار الکتریکی ذخیره شده در آن چند کولن است؟

۳- در شکل زیر مطلوب است:

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

ب) بار الکتریکی و ولتاژ هر خازن



۴- در شکل زیر مطلوب است:

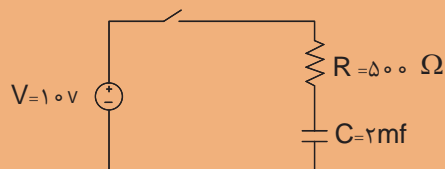
الف) محاسبه C_{eq}

ب) محاسبه X_{ceq}

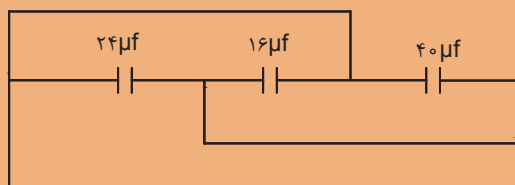
ج) اگر $\omega = 500 \frac{\text{Rad}}{\text{s}}$ باشد در این حالت C_{eq} و X_{ceq} را حساب کنید.

$W=1000 \text{ Reds}$

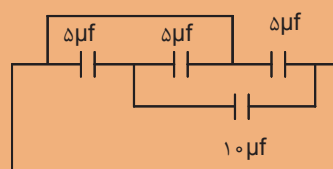
۵- در شکل زیر پس از بستن کلید چه مدت طول می کشد تا خازن به حالت پایدار برسد؟ در این حالت ولتاژ خازن چقدر است؟



۶- ظرفیت معادل در شکل های 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 $v(t) = 100 \sin(1000t + 0)$ و $i(t) = 5 \sin(1000t + 90^\circ)$ 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 زاویه ای ۵۰۰ رادیان بر ثانیه چند اهم است؟

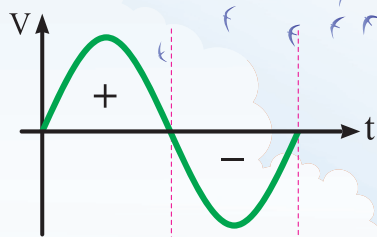
(ب) جریان موثر خازن چند آمپر است؟

در این فصل مطالب زیر را فرا خواهید گرفت:

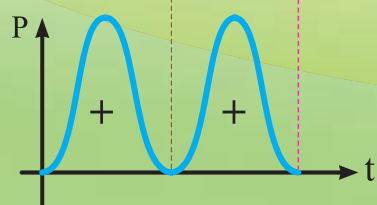
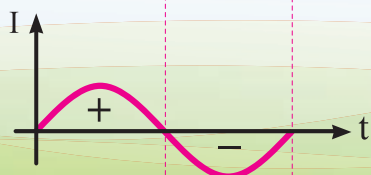
- ۱- توان در جریان متناوب
- ۲- اندازه گیری جریان
- ۳- اندازه گیری ولتاژ
- ۴- اندازه گیری مقاومت
- ۵- اندازه گیری انرژی الکتریکی

واحد یادگیری ۱۱

توان در جریان متناوب



$$P = V \times I$$



توان مؤثر و غیر مؤثر 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 غیر مؤثر 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]

V_e ولتاژ مؤثر [V]

I_e 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:

$$v(t) = 220\sqrt{2} \sin(50 \cdot t + 0)$$

$$i(t) = 10\sqrt{2} \sin(50 \cdot t + 60^\circ)$$

مطلوب است:

الف) مقدار ولتاژ و جریان مؤثر

ب) زاویه اختلاف فاز و نوع مدار

ج) توان مؤثر

د) توان غیر مؤثر

حل:

الف)

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 220 \text{ [V]}$$

$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{10\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 10 \text{ [A]}$$

$$\varphi = \theta_v - \theta_i$$

$$\varphi = 0 - 60 = -60$$

ب)

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

$$P = 220 \times 10 \times \cos 6^\circ = 1100 \text{ [W]}$$

(ج)

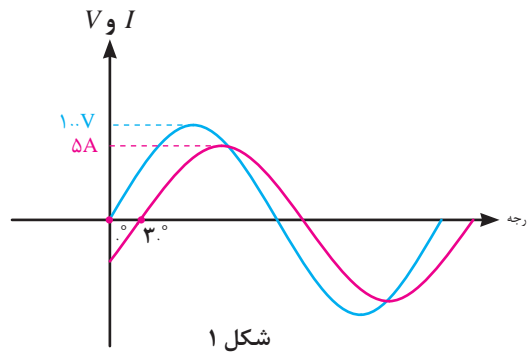
(د) زاویه φ مقداری منفی دارد یعنی مدار پیش‌فاز است. پیش‌فاز یعنی جریان مدار از ولتاژ مدار به اندازه 60° درجه جلوتر است.

از رابطه Q داریم:

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

$$Q = 220 \times 10 \times \sin(-60^\circ) = -1100\sqrt{3} \text{ [VAR]}$$

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



مطلوب است :

الف) مقدار ولتاژ و جریان مؤثر

ب) زاویه اختلاف فاز و نوع مدار

ج) توان مؤثر

د) توان غیر مؤثر

حل :

الف) با توجه به شکل ۱

$$V_m = 10 \text{ [V]}$$

$$I_m = 5 \text{ [A]}$$

$$\theta_v = 0^\circ$$

$$\theta_i = -30^\circ$$

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = 5\sqrt{2}$$

$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 2.5\sqrt{2} \text{ [A]}$$

$$\varphi = \theta_v - \theta_i$$

$$\varphi = 0 - (-30) = +30^\circ$$

(ب)

زاویه φ مقداری مثبت دارد یعنی مدار پس فاز است. پس فاز یعنی جریان مدار از ولتاژ مدار به اندازه 30° درجه عقب تر است.

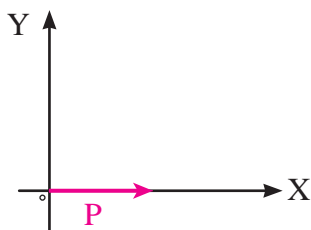
$$P = V_e I_e \cos \varphi \quad (ج)$$

$$P = 50\sqrt{2} \times 2 / 5\sqrt{2} \times \cos(+30^\circ) = 125\sqrt{3} [W]$$

$$Q = V_e I_e \sin \varphi \quad (د)$$

$$Q = 50\sqrt{2} \times 2 / 5\sqrt{2} \times \sin(+30^\circ) = 125 [VAR]$$

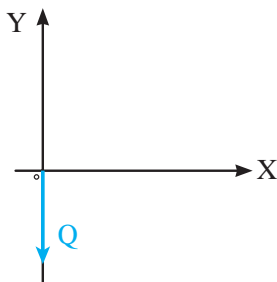
بردار توان های مؤثر و غیر مؤثر



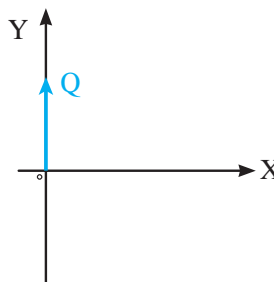
شکل ۲- بردار توان مؤثر

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

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



(ب) بردار توان غیرمؤثر پیش فاز



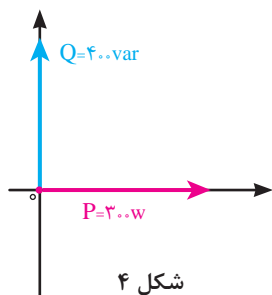
(الف) بردار توان غیرمؤثر پس فاز

شکل ۳

مثال ۳: یک مدار الکتریکی دارای توان مؤثر 300 W و توان غیرمؤثر پس فاز 400 VAR می باشد بردارهای P و Q آن را رسم کنید.

حل:

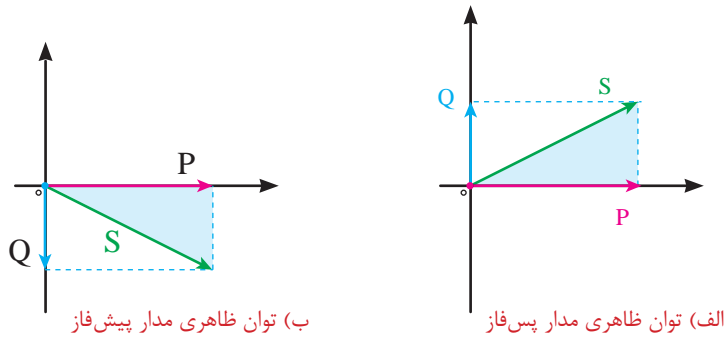
بردار توان مؤثر P به صورت افقی و بردار توان غیرمؤثر به صورت عمودی رسم می شود. (شکل ۴)



شکل ۴

توان ظاهری

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



شکل ۵

و مقدار آن از رابطه زیر به دست می‌آید.

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

که در این رابطه :

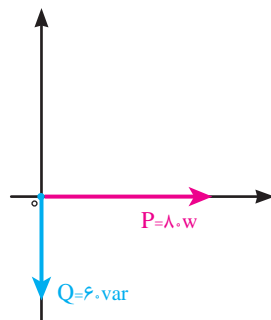
S توان ظاهری $[VA]$

P توان مؤثر $[W]$

Q توان غیرمؤثر $[VAR]$ است.

مثال ۴: یک مدار الکتریکی دارای زاویه اختلاف فاز $\varphi = -37^\circ$ و توان مؤثر $W = 80$ و توان غیرمؤثر VAR 60 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)



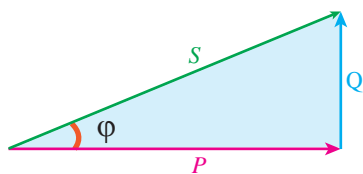
شکل ۶

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

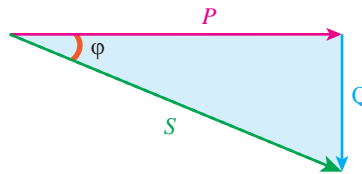
$$S = \sqrt{80^2 + 60^2} = 100 [VA]$$

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:

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

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

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

که در این رابطه:

$\cos \varphi$ ضریب توان مؤثر

$\sin \varphi$ ضریب توان غیرمؤثر

$\operatorname{tg} \varphi$ ضریب کیفیت می‌باشد.

مثال ۵: یک مدار الکتریکی دارای توان مؤثر 120 W و توان غیرمؤثر 160 VAR می‌باشد
مطلوب است:

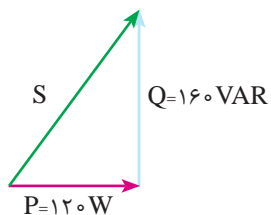
(الف) رسم مثلث توان

(ب) توان ظاهری

(ج) ضریب توان مؤثر

حل:

(الف) توان غیرمؤثر مثبت است یعنی مدار پس‌فاز می‌باشد.



شکل ۸

(ب) توان ظاهری از رابطه زیر به دست می‌آید.

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

$$S = \sqrt{120^2 + 160^2} = 200 [\text{VA}]$$

ج) ضریب توان مؤثر از رابطه زیر به دست می آید.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{120}{200} = 0.6$$

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

$$S = V_e I_e$$

که در این رابطه:

S توان ظاهری [VA]

V_e ولتاژ مؤثر [V]

I_e جریان مؤثر [A] می باشد.

مثال ۶: ولتاژ و جریان یک مدار الکتریکی به ترتیب 200 V و 10 A است توان ظاهری آن چند

ولت آمپر می باشد؟

حل:

$$S = V_e I_e$$

$$S = 200 \times 10 = 2000 [\text{VA}]$$

پرسش

۱- انواع توان در جریان متناوب را نام ببرید.

۲- توان مؤثر را تعریف کنید.

۳- توان غیرمؤثر 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.

تمرین

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

$$V(t) = 20\sqrt{2} \sin(314t + 0)$$

$$i(t) = 10\sqrt{2} \sin(314t + 37^\circ)$$

می باشد. مطلوب است:

الف) توان مؤثر

ب) توان غیرمؤثر

ج) توان ظاهری

۲- یک مصرف کننده الکتریکی با توان 80 W و 100 VA پس فاز مفروض است. مطلوب است:

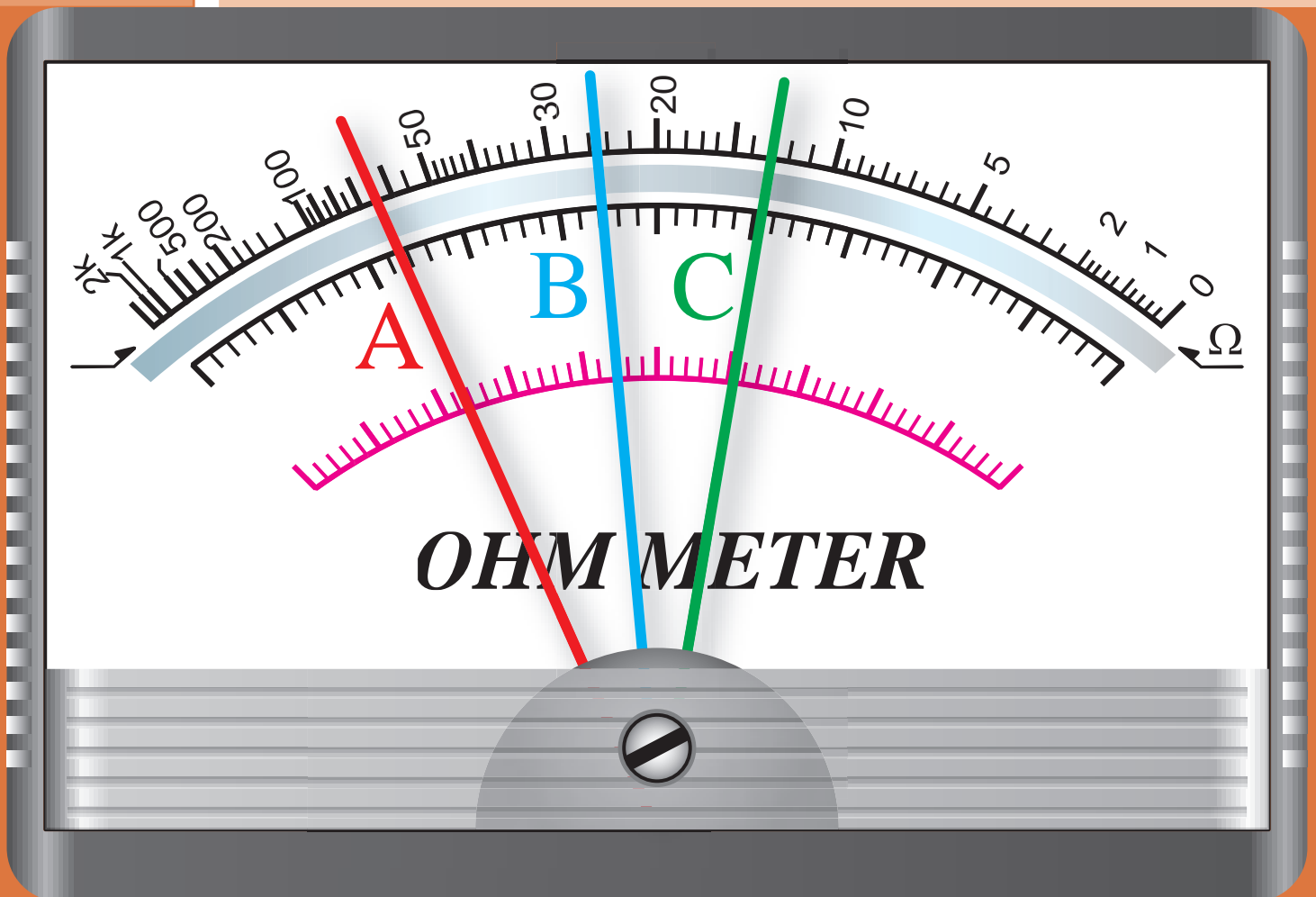
الف) رسم مثلث توان

ب) ضریب توان

ج) توان غیرمؤثر

واحد یادگیری ۱۲

اندازه‌گیری جریان، ولتاژ و مقاومت اهمی



آمپر متر

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



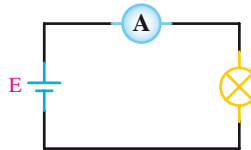
شکل ۹

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



شکل ۱۰

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



شکل ۱۱

اندازه‌گیری جریان DC

برای خواندن مقدار جریانی که آمپر متر 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:

$$C = \frac{\text{ضریب کلید رنج}}{\text{آخرین عدد روی صفحه}} = \frac{100}{10} = 10 \text{ mA}$$

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 $\times C =$ مقدار جریانی که آمپر متر نشان می‌دهد.

$$C = 10 \times 1/6 = 1.6 \text{ mA}$$

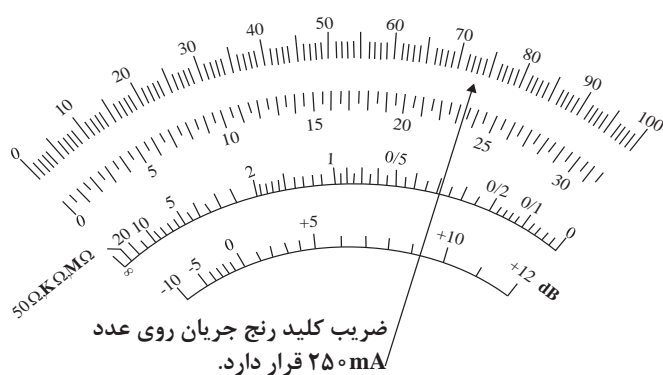
مثال ۱: بیشترین عدد درج شده روی یک میلی آمپر متر ۶۰ می باشد (صفحه مدرج به ۶۰ قسمت تقسیم شده است) اگر حدود اندازه گیری (ضریب کلید رنج) روی عدد ۳۰ mA بوده و عقربه آمپر متر به اندازه ۴۲/۵ قسمت منحرف شده باشد، آمپر متر مقدار جریان را ۲۱۲/۵ mA نشان می دهد زیرا:

$$C = \frac{30 \cdot \text{mA}}{60} = 5 \text{mA}$$

مقدار جریانی که میلی آمپر متر اندازه می گیرد برابر است با:

$$I = 42/5 \times C = 42/5 \times 5 \text{mA} = 212/5 \text{mA}$$

مثال ۲: در شکل ۱۲ میلی آمپر متر ۱۸۲/۵ میلی آمپر را نشان می دهد.

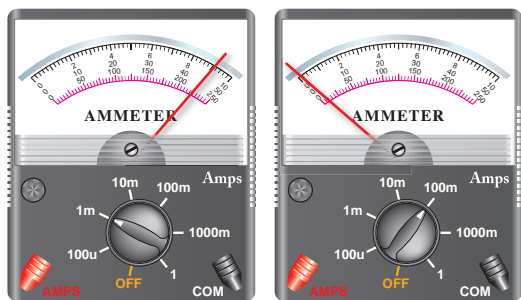


شکل ۱۲

مقدار جریانی که آمپر متر نشان می دهد.

$$C = \frac{250}{100} = 2/5 \text{mA}$$

$$2/5 \times 73 = 182/5 \text{mA}$$



(ب)

(الف)

شکل ۱۳

برای دقیق تر خواندن جریانی که آمپر متر نشان می دهد باید حدود اندازه گیری (ضریب کلید رنج) را طوری انتخاب کنیم که انحراف عقربه بیشترین مقدار را داشته باشد. شکل ۱۳ جریان ۰/۹۲ میلی آمپر را در محدوده اندازه گیری ۱ mA و ۱۰۰ mA نشان می دهد. همان طور که از شکل نیز پیداست اندازه گیری جریان ۰/۹۲ mA در رنج ۱ mA دقیق تر است.

آمپر مترها و میلی آمپر مترهای DC به صورت های آزمایشگاهی، تابلویی و یا به صورت قسمتی از مولتی متر (اهم متر- ولت متر - آمپر متر) ساخته می شوند. شکل ۱۴ چند نمونه از آمپر مترها و میلی آمپر مترهای آزمایشگاهی را نشان می دهد.



شکل ۱۴



شکل ۱۵

مولتی متر یک دستگاه پر کاربرد 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 ۱۵ یک نمونه از این مولتی مترها را مشاهده می کنید.



شکل ۱۶

اندازه گیری جریان AC: برای اندازه گیری جریان AC حتماً باید از آمپر مترهای AC استفاده کرد. پس با آمپر مترهایی که فقط دارای رنج DC می باشند نمی توان جریان AC را اندازه گرفت. بعضی دیگر از آمپر مترها توانایی اندازه گیری جریان های AC و DC را توأمأ دارا هستند که با کلید انتخاب (AC و DC) می توان در هر لحظه جریان مورد نظر را اندازه گرفت. آمپر مترهای AC بیشتر به صورت تابلویی ساخته می شوند. شکل ۱۶ دو نمونه از آمپر مترهای AC تابلویی را نشان می دهد.



شکل ۱۷

شکل ۱۷ یک مولتی متر دیجیتالی آزمایشگاهی را نشان می دهد 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 اندازه گیری جریان AC را دارا می باشند. برای اندازه گیری جریان AC توسط آوومتر دیجیتالی، کافی است که ترمینال های 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.

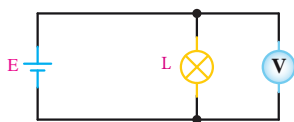
علاوه بر آمپرمترهای آزمایشگاهی و تابلویی و مولتی مترها، نوع دیگری از آمپرمترهای AC وجود دارند که به آمپرمتر «انبری» معروف اند. برای اندازه گیری جریان کافی است سیم حامل جریان AC را وسط هسته این مولتی متر که با اهرمی باز می شود قرار دهیم تا مقدار جریان را نشان دهد. توجه داشته باشید که در این حالت فقط یک رشته سیم باید از هسته عبور داده شود. امروزه آمپرمترهای انبری را به صورت مولتی متر (ترکیبی) می سازند. شکل ۱۸ دو نمونه آمپرمتر انبری عقربه ای و دیجیتالی را نشان می دهد.



شکل ۱۸- آمپرمتر انبری

ولت متر

ولت متر دستگاهی است که اختلاف پتانسیل یا ولتاژ الکتریکی را اندازه می گیرد. برای اندازه گیری ولتاژ الکتریکی مستقیم از ولت متر DC و برای اندازه گیری ولتاژ الکتریکی متناوب از ولت متر AC استفاده می شود.



ولت متر در مدار الکتریکی با علامت اختصاری شکل ۱۹ نشان داده می شود. ولت متر در مدار الکتریکی به صورت موازی قرار می گیرد تا ولتاژ مصرف کننده با ولتاژ ولت متر یکی باشد. نحوه قرار گرفتن ولت متر در یک مدار الکتریکی ساده در شکل ۲۰ و مدار الکتریکی معادل آن در شکل ۲۱ نشان داده شده است.

اندازه‌گیری ولتاژ DC

برای خواندن مقدار ولتاژی که ولت‌متر نشان می‌دهد، همانند خواندن آمپرتر، 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؟

$$C = \frac{500}{250} = 2$$

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

$$220 \times 2 = 440 [V]$$

بنابراین داریم :

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

$$C = \frac{500}{50} = 10$$



شکل ۲۳

مقدار ولتاژ برابر است با :

تعداد خانه‌های منحرف شده $\times C$

$$10 \times 38 = 380$$

برای دقیق تر 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. ولت‌مترهای 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 ۲۶- یک نمونه ولت‌متر تابلویی AC را نشان می‌دهد.



شکل ۲۵



شکل ۲۴

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 (شکل ۲۷). به همین منظور بر روی ولت‌مترها کلید انتخاب AC و DC وجود داشته و یا سلکتور حدود اندازه‌گیری AC با DC تفاوت دارد.



شکل ۲۷

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 از یک ولت) به صورت دقیق نیستند ولی مولتی‌مترها و با ولت‌مترهای دیجیتالی، ولتاژهای AC خیلی کم



شکل ۲۸

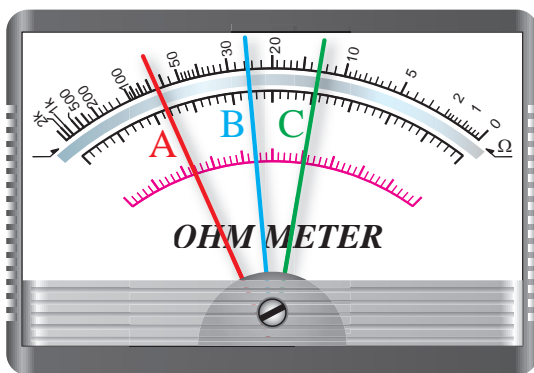
(حدود یک میلی‌ولت) را با دقت کافی اندازه‌گیری می‌کنند. برای اندازه‌گیری ولتاژهای زیاد AC و یا DC (۱۰۰۰ ولت به بالا) از پراب‌های مخصوص ولتاژ زیاد استفاده می‌شود. این پراب‌ها دارای مقاومت بسیار بزرگ بوده و با ولت‌متر سری می‌شوند تا قسمت اعظم ولتاژ مورد اندازه‌گیری در آنها افت کند. شکل ۲۸ نمونه‌ای از این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

اهم متر



شکل ۲۹

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



شکل ۳۰

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.

$$(A) 67/5 \times 10 = 675 \Omega$$

$$(B) 24/75 \times 10 = 247/5 \Omega$$

$$(C) 13 \times 10 = 130 \Omega$$



شکل ۳۱

همان طور که در شکل ۳۱ نیز می‌بینید درجه‌بندی اهم متر از سمت راست به تدریج فشرده می‌شود. به عنوان مثال مقاومت‌های 2Ω و 3Ω و 10Ω و 15Ω تا حدود 50Ω ، تقریباً به راحتی قابل خواندن هستند، اما از حدود 50Ω تا آخرین حد تقسیمات، درجه‌بندی بسیار فشرده می‌شود که در این حالت مقاومت‌های زیاد (مثلاً 10 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 4% باشد مقدار مقاومت واضح خوانده می‌شود.

کنتور

کنتور دستگاهی است که انرژی الکتریکی را اندازه‌گیری می‌کند. برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی در مصرف کننده تکفاز از کنتور تکفاز و در مصرف کننده 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.



ب) کنتور دیجیتالی



الف) کنتور آنالوگ

شکل ۳۲

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

منابع و مآخذ

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

