برق تاسیسات

کارشناسی پیوسته

بخش چهارم (جریان متناوب)–۳ جلسه

نام استاد: رحیمی

فصل سیزدهم

جریان متناوب

هدف‌های رفتاری

در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ جریان متناوب را تعریف کند.

۲ــ انواع جریان متناوب را شرح دهد.

۳ــ نحوه‌ی تولید جریان متناوب سینوسی را بیان کند.

۴ــ دامنه‌ی موج را تعریف کند.

۵ــ فرکانس و دوره‌ی تناوب موج سینوسی را توضیح دهد و آن‌ها را محاسبه کند.

۶ــ ماکزیمم دامنه‌ی موج را شرح دهد.

۷ــ مقدار مؤثّر دامنه‌ی موج را توضیح دهد و آن را حساب کند.

۸ــ مقدار متوسط دامنه‌ی موج را شرح دهد و آن‌را حساب کند.

۹ــ اختلاف فاز دو موج سینوسی را بیان کند.

۱۰ــ معادلات زمانی جریان و ولتاژی را که دارای شکل موج متناوب سینوسی هستند بنویسد.

قبلاً در مورد جریانی که فقط در یک جهت جاری بود و مقدار و جهت آن در طول زمان تغییر نمی‌کرد، با عنوان جریان مستقیم یا جریان DC صحبت کردیم، در این‌جا جریانی را که مقدار و جهت آن در طول زمان تغییر می‌کند، با عنوان جریان متناوب[1] یا جریان AC مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۱ــ۱۳ــ تعریف جریان متناوب

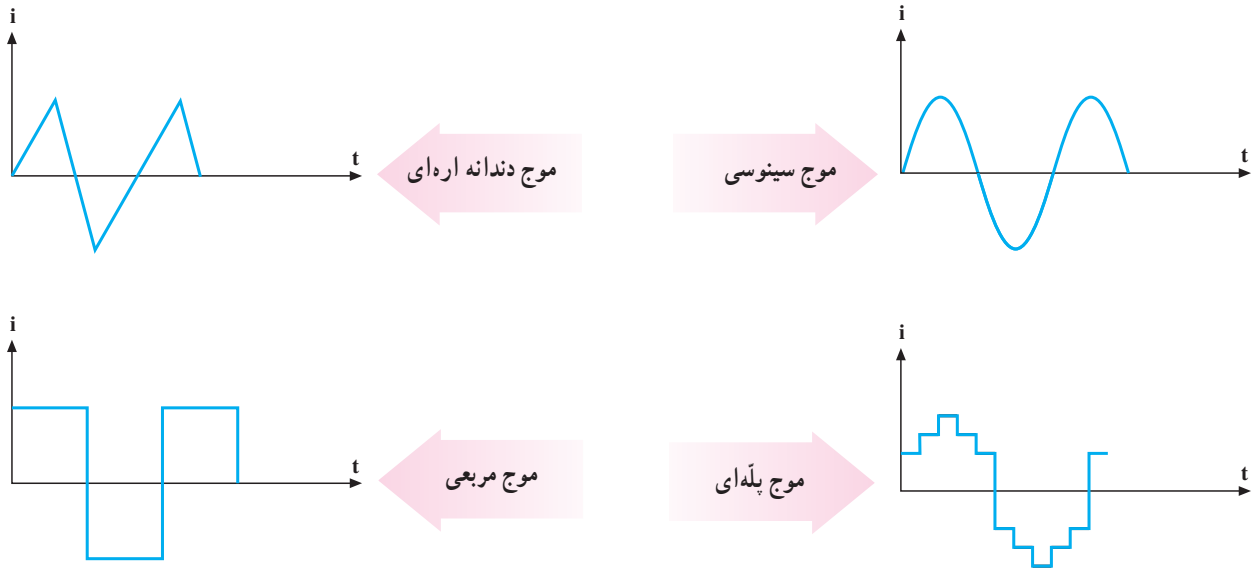
جریان متناوب جریانی است که جهت آن طی زمان تغییر می‌کند و دامنه‌ی آن نیز نسبت به زمان، از صفر تا حداکثر مثبت و از حداکثر مثبت تا صفر و از صفر تا حداکثر منفی و از حداکثر منفی تا صفر تغییر می‌کند.

همان‌طور که می‌دانید، ولتاژ تولید شده توسط یک باتری، ولتاژ مستقیم است که باعث عبور جریان مستقیم می‌شود. به این ترتیب، جریان همیشه در یک جهت جاری است ؛ بنابراین، جریان مستقیم یک جهتی است. جریان متناوب دو جهتی است ؛ یعنی، الکترون‌ها ابتدا در یک جهت و سپس در جهت دیگر ــ مخالف جهت قبل ــ جاری می‌شوند. اگر بتوانیم قطب‌های یک باتری را در یک زمان معین به طور دائم تغییر دهیم، جریانی دو جهتی و در نتیجه، جریانی متناوب خواهیم داشت.

۲ــ۱۳ــ انواع جریان متناوب

برای نشان دادن چگونگی تغییر جریان در زمان از شکل

۱ ــ Alternative currnet



شکل ۱ــ۱۳ــ چند نمونه از شکل موج‌های جریان متناوب

موج استفاده می‌کنیم. در شکل ۱ــ۱۳ چند نمونه شکل موج را مشاهده می‌کنید. یکی از انواع شکل موج‌ها، شکل موجِ جریان متناوب سینوسی است. هر نیمه از شکل موج جریان متناوب سینوسی قرینه‌ی نیمه دیگر آن با قطب معکوس است.

جریان سینوسی معمول‌ترین نوع جریان متناوب است. به این ترتیب، وقتی درباره‌ی جریان متناوب فکر می‌کنیم، اغلب همان موج سینوسی مورد نظر ماست.

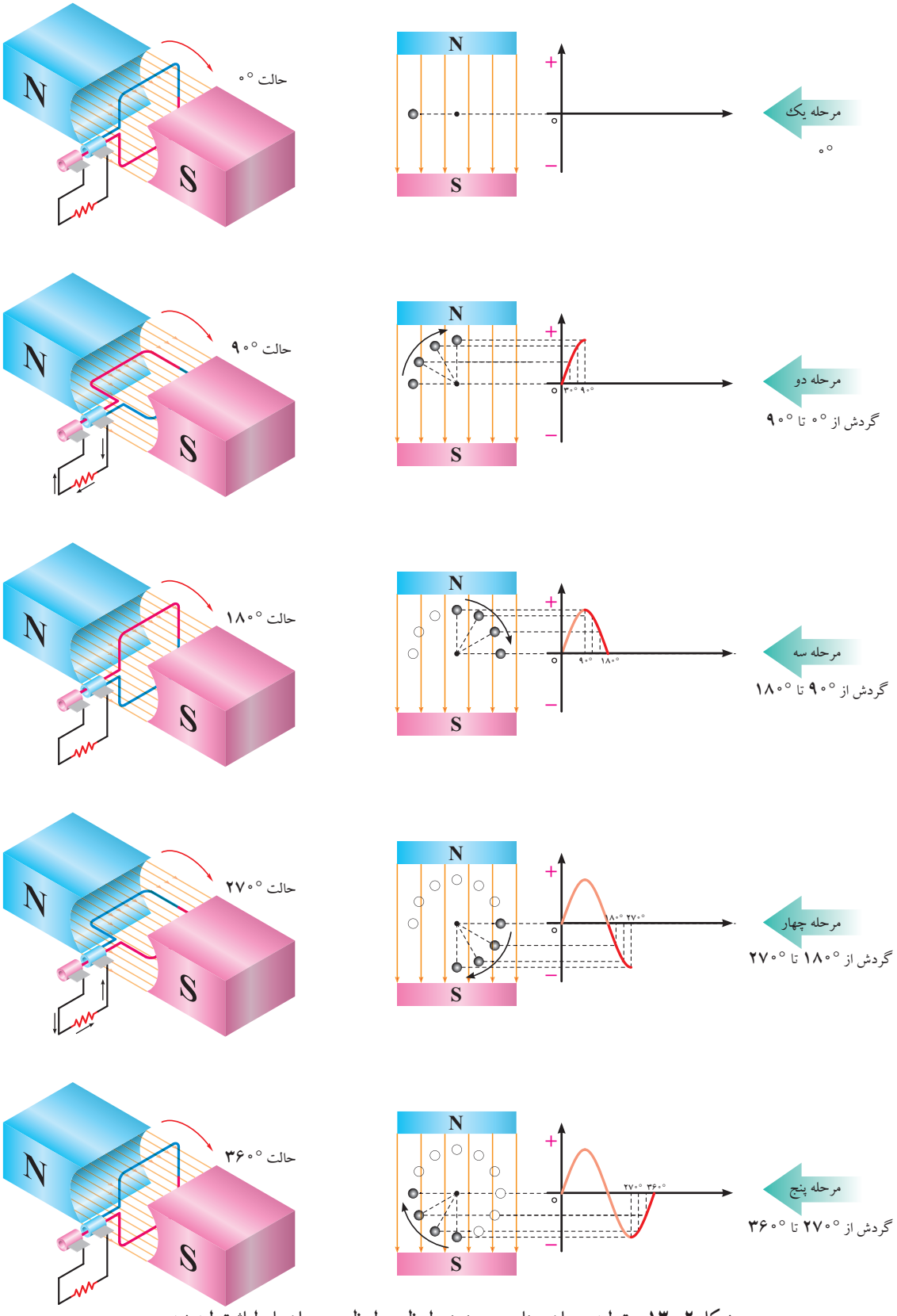
۳ــ۱۳ــ تولید جریان متناوب

با شناخته شدن جریان متناوب و تولید و انتقال آسان آن، روزبه‌روز بر اهمیّت آن نیز افزوده شده است. برای تولید جریان متناوب، می‌توان از یک ژنراتور ساده AC استفاده کرد. در ژنراتور AC از ترکیب اصول فیزیکی و مغناطیسی استفاده می‌شود. بدین‌ترتیب که اگر دو قطب یک آهن‌ربا در نزدیکی یک‌دیگر قرار داشته باشند، همواره فلوی مغناطیسی (خطوط قوا) از قطب شمال آهن‌ربا خارج و به قطب جنوب آن وارد می‌شود. چنان‌چه در مسیر خطوط قوا سیم‌پیچی دوران کند، خطوط قوا توسط سیم‌پیچ قطع می‌شود. هرگاه این عمل به‌طور مستمر انجام گیرد، جریان متناوب از مولّد جریان متناوب به‌وجود می‌آید.

شکل ۲ــ۱۳ نمای یک ژنراتور ساده و چگونگی حرکت سیم‌پیچ و تولید لحظه به لحظه‌ی شکل موج جریان یا ولتاژ متناوب را نشان می‌دهد.

در مرحله‌ی ۱ خطوط قوای مغناطیسی به وسیله‌ی سیم‌پیچ قطع نمی‌شود (سیم‌پیچ با خطوط قوا موازی است). در نتیجه، ولتاژ در این مرحله صفر است. چنان‌چه سیم‌پیچ در جهت حرکت عقربه‌های ساعت بچرخد، (مرحله‌ی ۲) قطع خطوط قوا به‌وسیله‌ی سیم‌پیچ افزایش می‌یابد. در نتیجه، ولتاژ تولید شده، رفته‌رفته زیاد می‌شود و پس از پیمودن ۹۰ درجه به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد. در مرحله‌ی ۳، با ادامه‌ی دوران سیم‌پیچ تا ۱۸۰ درجه قطع خطوط قوا کاهش می‌یابد در نتیجه ولتاژ تولید شده نیز کاهش می‌یابد و در ۱۸۰ درجه از گردش، دوباره به مقدار صفر می‌رسد.

از این لحظه به بعد، جهت ولتاژ تولیدی عوض می‌شود و در مرحله‌ی ۴ تا ۲۷۰ درجه، مقدار آن دوباره افزایش می‌یابد تا در جهت عکس، به نقطه‌ی ماکزیمم خود می‌رسد. در مرحله‌ی۵ با ادامه‌ی گردش تا ۳۶۰ درجه، مقدار ولتاژ تولید شده کاهش می‌یابد و دوباره به صفر می‌رسد. تا این‌جا سیم‌پیچ، یک دور کامل زده است. با ادامه‌ی هر گردش سیم‌پیچ، ولتاژ تولید شده تغییرات مشابهی را طی می‌کند. در همه‌ی این حالت‌ها جریان در مصرف‌ــ کننده هم تغییراتی مانند ولتاژ دارد و مقدار آن به طور مرتب صفر، ماکزیمم، صفر، ماکزیمم در جهت عکس و بالاخره صفر می‌شود.

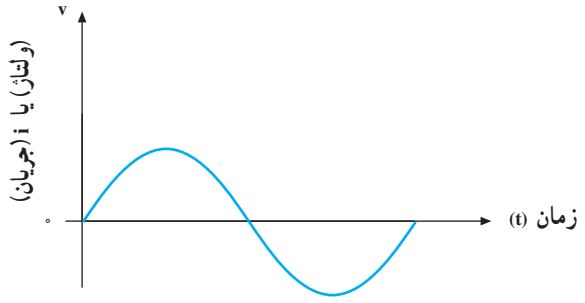


شکل ۲ــ۱۳ــ تولید جریان متناوب و منحنی لحظه به لحظه‌ی جریان یا ولتاژ تولید شده

تذکر: در شکل ۲ــ۱۳ دو سر مقاومت‌ها به دو حلقه (رینگ)ی مجزا از هم وصل است و قطبین حلقه‌ها در اثر حرکت سیم‌پیچ عوض می‌شوند.

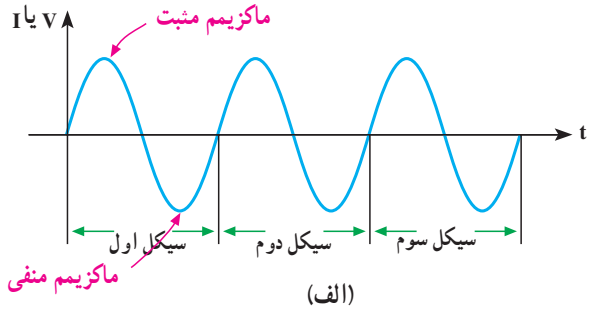
۴ــ۱۳ــ مشخصات جریان متناوب

در بررسی برخی مدارهای جریان متناوب (AC) با موج سینوسی سروکار داریم. در این مدارها ولتاژ و جریان، هر دو متناسب و به شکل موج سینوسی هستند. شکل ۳ــ۱۳ یک موج سینوسی را نشان می‌دهد که بیانگر جریان یا ولتاژ سینوسی است.



شکل ۳ــ۱۳ــ موج سینوسی

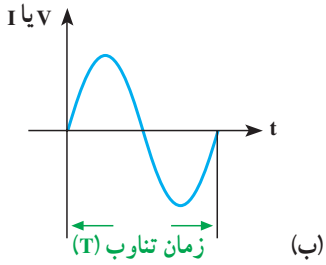
همان‌طور که می‌بینید، مقدار و جهت ولتاژ یا جریان با زمان تغییر می‌کند؛ یعنی از صفر شروع می‌شود و به مقدار پیک یا ماکزیمم مثبت می‌رسد. آن‌گاه دوباره صفر می‌شود و سپس به پیک یا ماکزیمم منفی می‌رسد و باز صفر می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، هنگامی که موج سینوسی از صفر می‌گذرد، پلاریته‌ی خود را عوض می‌کند. به عبارت ساده‌تر، موجِ سینوسی بین مقادیر مثبت و منفی تناوب می‌کند. مجموعه‌ی یک تناوب مثبت و منفی را یک **سیکل** گویند (شکل ۴ــ۱۳ــ الف).



(الف)

۵ــ۱۳ــ زمان تناوب

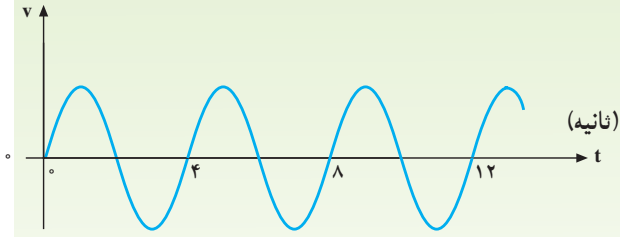
همان‌طور که دیدید، موج سینوسی با زمان (t) تغییر می‌کند. بنا به تعریف، مدت زمانی را که طول می‌کشد تا یک سیکل کامل به‌وجود آید، **زمان تناوب** یا **پریود** می‌گویند و آن را با حرف T نمایش می‌دهند (شکل ۴ــ۱۳ ــ ب).



(ب)

شکل ۴ــ۱۳ــ دوره‌ی تناوب یک موج سینوسی

مثال ۱: در شکل ۵ــ۱۳ زمان تناوب موج سینوسی را به دست آورید.

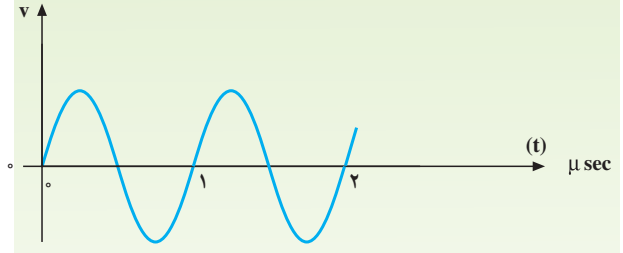


شکل ۵ــ۱۳

راه حل: یک سیکل کامل را مشخص می‌کنیم زمان انجام آن را از روی محور زمان به‌دست می‌آوریم.

$T = ۴$ ثانیه

مثال ۲: در شکل ۶ــ۱۳ سه روش برای اندازه‌گیری زمان تناوب پیدا کنید.



شکل ۶ــ۱۳

راه حل:

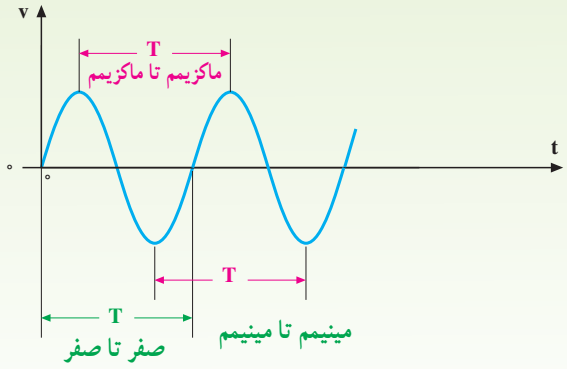
روش اوّل ــ زمان تناوب را می‌توان از یکی از صفرها در سیکل اول تا صفر مشابه در سیکل دوم اندازه گرفت.

روش دوم ــ زمان تناوب را می‌توان بین دو پیک

(ماکزیمم) مثبتِ متوالی اندازه گرفت.

روش سوم ــ زمان تناوب را می‌توان بین دو پیک (ماکزیمم) منفیِ متوالی اندازه گرفت.

شکل ۷ــ۱۳ سه روش اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

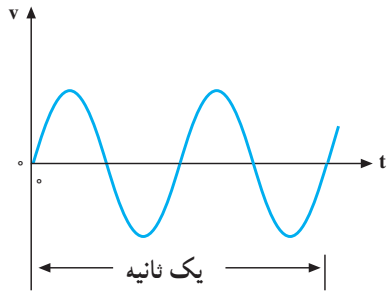


شکل ۷ــ۱۳

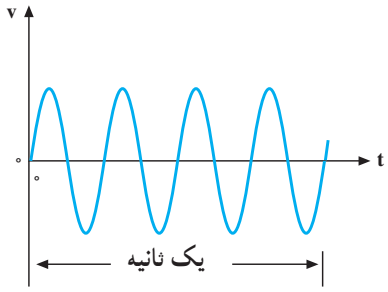
۶ــ۱۳ــ فرکانس

بنا به تعریف، تعداد سیکل‌هایی را که در یک ثانیه پیموده می‌شود، **فرکانس** گویند و آن را با حرف f نشان می‌دهند.

واحد فرکانس را **سیکل بر ثانیه** (cps)[1] یا اصطلاحاً **هرتز** (Hz) می‌نامند. هرچه تعداد سیکل‌ها در ثانیه بیش‌تر باشد، فرکانس بیش‌تر است. شکل ۸ــ۱۳ دو موج سینوسی را نشان می‌دهد که موج (الف) دو سیکل و موج (ب) چهار سیکل را در ثانیه طی می‌کنند ؛ یعنی، فرکانس موج (الف) ۲ هرتز و فرکانس موج (ب) چهار هرتز است.



(الف) فرکانس کم‌تر



(ب) فرکانس بیش‌تر

شکل ۸ــ۱۳ــ نمایش فرکانس

مقدار فرکانس با توجه به کاربرد آن مقادیر خاصی دارد ؛ مثلاً فرکانس برق شهر در ایران ۵۰ هرتز یا ۵۰cps است. یعنی برق شهر در ایران ۵۰ سیکل کامل را در یک ثانیه طی می‌کند. فرکانس برق در بعضی از کشورها ۶۰ هرتز (۶۰cps) است فرکانس جریان یا ولتاژ متناوب را می‌توان با فرکانس متر (دستگاه اندازه‌گیری فرکانس) یا اسیلوسکوپ (دستگاه نمایش شکل موج) اندازه گرفت. با توجه به مطالب گفته شده، رابطه‌ی بین فرکانس و زمان تناوب را می‌توان به صورت زیر نوشت :

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{هرتز}$$

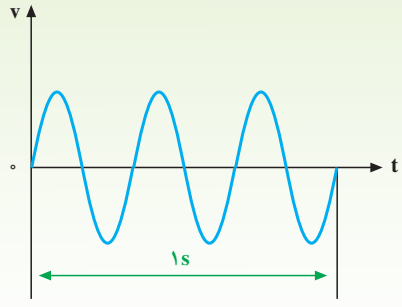
$$T = \frac{1}{f} \quad \text{ثانیه}$$

با توجه به این روابط، هرقدر فرکانس زیادتر شود، به همان اندازه زمان تناوب کاهش پیدا می‌کند ؛ مثلاً اگر زمان تناوب یک موج، یک ثانیه باشد فرکانس آن یک هرتز و اگر زمان تناوب، ۲ ثانیه شود، فرکانس آن نصف خواهد شد.

مثال ۳: با توجه به شکل ۹ــ۱۳

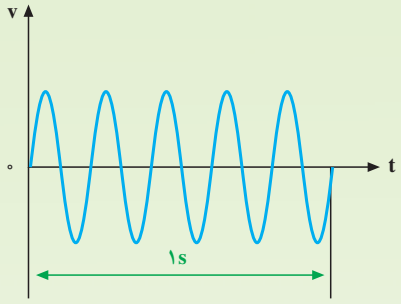
الف ــ فرکانس کدام موج بیش‌تر است؟

ب ــ مقادیر زمان تناوب و فرکانس را حساب کنید.



(الف)

۱ ــ cps مخفف کلمات cycle per second و به معنای سیکل بر ثانیه است.



(ب)

شکل ۹ــ۱۳

راه حل: موج الف ۳ سیکل و موج ب ۵ سیکل را در ۱ ثانیه طی کرده‌اند. پس فرکانس موج ب بیش‌تر است.

موج الف: $T=\frac{۱}{۳}\cong ۰/۳۳$ ثانیه و $f=۳Hz$

موج ب: $T=\frac{۱}{۵}=۰/۲$ ثانیه و $f=۵Hz$

در صنعت برای زمان تناوب از واحدهای کوچک‌تر و برای فرکانس از واحدهای بزرگ‌تر استفاده می‌کنند. این واحدها به صورت زیر نوشته می‌شوند.

$$T\begin{cases}(۱ms)=۱۰^{-۳}s & \text{یک میلی ثانیه}\\(۱\mu s)=۱۰^{-۶}s & \text{یک میکرو ثانیه}\\(۱ns)=۱۰^{-۹}s & \text{یک نانوثانیه}\end{cases}$$

$$f\begin{cases}(۱kHz)=۱۰^{۳}Hz & \text{یک کیلوهرتز}\\(۱MHz)=۱۰^{۶}Hz & \text{یک مگا هرتز}\\(۱GHz)=۱۰^{۹}Hz & \text{یک گیگاهرتز}\end{cases}$$

مثال ۴: اگر زمان تناوب یک موج سینوسی ۱۰ میلی ثانیه باشد، فرکانس آن‌چه‌قدر است؟

حل: $f=\frac{۱}{T}=\frac{۱}{۱۰\times۱۰^{-۳}(s)}=۱۰۰Hz$

مثال ۵: فرکانس یک موج سینوسی ۶۰ هرتز است. زمان تناوب آن چه‌قدر است؟

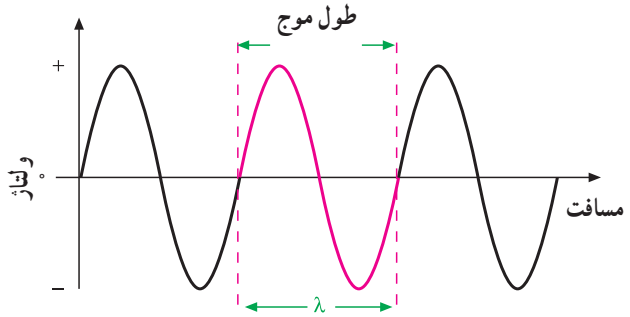
حل: $T=\frac{۱}{f}=\frac{۱}{۶۰Hz}=۱۶/۶۷(ms)$

۷ــ۱۳ــ طول موج

وقتی تغییرات ولتاژ به جای زمان برحسب مسافت بررسی می‌شود، یک سیکل شامل یک طول موج خواهد بود. به تعبیر دیگر، مسافتی را که یک موج در یک سیکل کامل طی می‌کند، **طول موج** گویند (شکل ۱۰ــ۱۳). طول موج به سرعت انتشار موج و تغییرات فرکانس بستگی دارد. بدین ترتیب که با سرعت انتشار موج، نسبت مستقیم و با تغییرات فرکانس، نسبت عکس دارد. طول موج را با حرف λ (لاندا) نمایش می‌دهند و رابطه‌ی آن به صورت زیر است.

$$\lambda=\frac{v}{f}=\frac{c}{f}$$

$C=\upsilon$ سرعت نور یا امواج الکترومغناطیسی، یعنی ۳×۱۰^{۸} متر بر ثانیه و f فرکانس بر حسب هرتز و λ برحسب متر است.



شکل ۱۰ــ۱۳ــ نمایش طول موج در یک موج سینوسی

مثال ۶: طول موج یک صدا با فرکانس ۱۰۰Hz که به وسیله‌ی بلندگویی پخش می‌شود، چه‌قدر است؟ (سرعت صوت ۳۴۰m/sec فرض شود.)

حل:

$V=۳/۴\times۱۰^{۲}$ متر/ ثانیه

$f=۱۰۰Hz$

$$\lambda=\frac{V}{f}=\frac{۳/۴\times۱۰^{۲}}{۱۰۰}=۳/۴\ (m)$$

مثال ۷: طول موج یک موج رادیویی با فرکانس ۳ گیگاهرتز چه‌قدر است؟

$$c = ۳\times۱۰^{۸} \quad m/s$$

$$f = ۳\times۱۰^{۹} \quad Hz$$

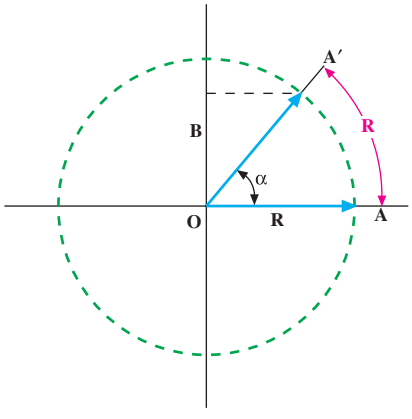
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{۳\times۱۰^{۸}}{۳\times۱۰^{۹}} = ۰/۱m = ۱۰(cm)$$

۸ــ۱۳ــ سرعت زاویه‌ای

سرعت را با مقدار مسافتی که یک متحرک در واحد زمان طی می‌کند، می‌سنجند؛ مثلاً وقتی می‌گویند سرعت یک اتومبیل ۸۰ کیلومتر برساعت است، یعنی این وسیله‌ی نقلیه در هر ساعت ۸۰ کیلومتر راه می‌رود. اگر سرعت ثابت باشد، رابطه‌ی سرعت و مسافت طی شده در واحد زمان به صورت $V = \frac{x}{t}$ است که در آن V سرعت، x مسافت طی شده و t زمان می‌باشد.

حال اگر این مسافت به صورت خط مستقیم نباشد و پیرامون یک مسیر دایره شکل باشد، برای بیان سرعت از اصطلاح سرعت زاویه‌ای استفاده می‌کنند و آن را با اُمگا (ω) نشان می‌دهند.

برای محاسبه‌ی سرعت زاویه‌ای (ω)، شکل ۱۱ــ۱۳ را ــ که دایره‌ای به شعاع R است ــ در نظر می‌گیریم. در این شکل، متحرک A′ از نقطه‌ی A روی محیط دایره حرکت می‌کند. هرگاه مسافتی از محیط دایره ــ که به اندازه‌ی شعاع (R) است ــ پیموده شود، یک رادیان پیموده شده است.



شکل ۱۱ــ۱۳ــ نمایش سرعت زاویه‌ای و مسافت طی شده نسبت به زمان

زاویه‌ای را که متحرک از A تا A′ پیموده است، با α نمایش می‌دهند. در صورتی که AA′ برابر R باشد، مقدار زاویه‌ی α برابر یک رادیان یا ۵۷/۳° خواهد بود.

زاویه‌ای را که در واحد زمان طی شود، با ω نشان می‌دهند و آن را سرعت زاویه‌ای می‌خوانند؛ بنابراین اگر سرعت زاویه‌ای ثابت باشد، رابطه‌ی زیر را برای سرعت زاویه‌ای می‌توان نوشت.

$$\omega = \frac{\alpha}{t}$$

این رابطه عیناً شبیه رابطه‌ی $V = \frac{x}{t}$ است که x و α مسافت‌های پیموده شده برحسب متر و رادیان می‌باشند.

زاویه‌ی پیموده شده در یک دور کامل ــ یعنی در زمان یک پریود ــ برابر ۳۶۰ درجه یا ۲π رادیان است. در این صورت، رابطه‌ی سرعت زاویه‌ای برابر است با

$$\omega = \frac{\alpha}{t} = \frac{۲\pi(Rad)}{T(sec)}$$

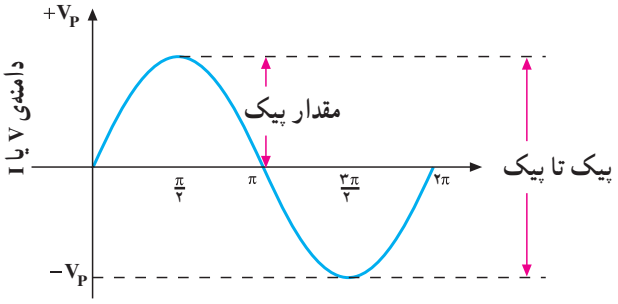
از طرفی، می‌دانیم، $T = \frac{۱}{f}$. پس

$$\omega = \frac{۲\pi}{T} = ۲\pi f$$

۹ــ۱۳ــ مقادیر ماکزیمم ولتاژ و جریان موج سینوسی

دامنه‌ی ولتاژ مستقیم (DC) همواره ثابت است. ولی در ولتاژ متناوب (AC) در هر لحظه دامنه و جهت ولتاژ در حال تغییر است.

در ولتاژ AC اوّلین موضوعی که باید مورد ملاحظه قرار گیرد، مقدار پیک ولتاژ یا دامنه‌ی ماکزیمم آن است. فاصله‌ی بین صفر (محور افقی زمان) تا مثبت‌ترین (بالاترین) نقطه‌ی شکل موج یا فاصله‌ی بین صفر تا منفی‌ترین (پایین‌ترین) نقطه‌ی شکل موج، **پیک** نامیده می‌شود. در شکل ۱۲ــ۱۳ ولتاژ متناوب (AC) نشان داده شده شامل پیک مثبت و پیک منفی است. مقدار پیک تا پیک ولتاژ AC عبارت از فاصله‌ی بالاترین نقطه‌ی پیک مثبت و پایین‌ترین نقطه‌ی پیک منفیِ شکل موج است. در موج سینوسی مقدار پیک برابر $\frac{۱}{۲}$ پیک تا پیک است. با استفاده از اسیلوسکوپ می‌توان مقادیر پیک و پیک تا پیک را اندازه گرفت.

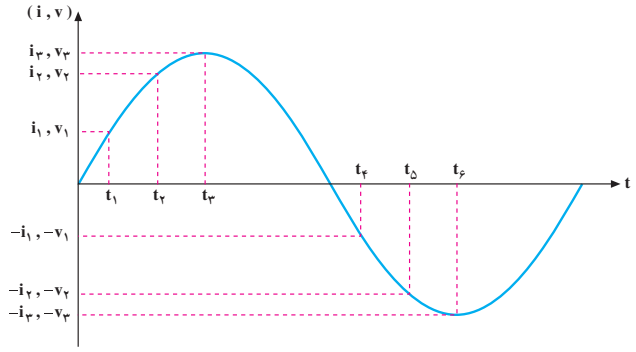


شکل ۱۲ــ۱۳

۱۰ــ۱۳ــ مقادیر لحظه‌ای

طبق شکل موج نشان داده شده در شکل ۱۳ــ۱۳ ولتاژ یا جریان، در هر زمان مقادیر خاص خود را دارند که به آن‌ها **مقادیر لحظه‌ای** یا **دامنه** می‌گویند. بدیهی است که در تناوب مثبت، مقادیر لحظه‌ای مثبت و در تناوب منفی، مقادیر لحظه‌ای منفی خواهد بود.

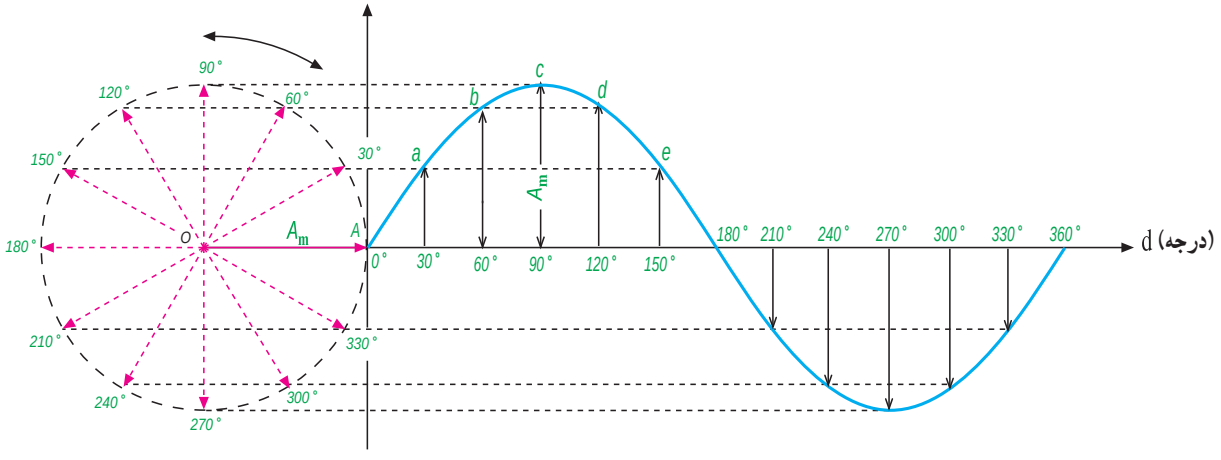
مقادیر لحظه‌ای را با حروف کوچک v و i نشان می‌دهند. گاهی ممکن است که به دانستن مقدار لحظه‌ای یک ولتاژ یا جریان نیاز داشته باشیم. در اغلب موارد هیچ کدام از مقادیر پیک تا پیک یا لحظه‌ای قادر نیستند اندازه‌ی واقعی ولتاژ یا جریان را بیان کنند و به جای آن‌ها اغلب از دو مقدار دیگر به نام‌های مقدار متوسّط (Average) و مقدار مؤثر (Effective) استفاده می‌کنند.



شکل ۱۳ــ۱۳ــ نمایش مقادیر لحظه‌ای

۱۱ــ۱۳ــ معادله‌ی زمانی جریان یا ولتاژ سینوسی

همان‌گونه که آموختید در اثر گردش یک سیم‌پیچ با قاب مستطیل شکل در میدان مغناطیسی آهن‌ربای دائم، ولتاژی روی سیم‌پیچ القا یا تولید می‌شود. شکل موج این ولتاژ در لحظات مختلف در شکل ۱۴ــ۱۳ ترسیم شده است.



شکل ۱۴ــ۱۳ــ نمایش موج سینوسی ولتاژ

شعاع دایره یعنی OA با ماکزیمم دامنه‌ی موج ایجاد شده برابر است. با گردش سیم‌پیچی OA و طی ۳۰ درجه، ولتاژ القا شده دامنه‌ای برابر a تا محور افقی دارد و در ۶۰ درجه، دامنه‌ی ولتاژ برابر b تا محور افقی خواهد بود. پس با توجه به زاویه‌ی چرخش $\alpha = 30^\circ$ و دامنه‌ی ولتاژ القا شده (a) می‌توان نوشت :

$$\sin\alpha = \frac{a}{A_m}$$

a دامنه‌ی ولتاژ لحظه‌ای (U) و A_m دامنه‌ی ولتاژ ماکزیمم (U_{max}) است ؛ بنابراین، ولتاژ القا شده در هر لحظه برابر است با حداکثر دامنه‌ی موج در سینوس زاویه‌ی آن، یعنی :

$$a = A_m \sin\alpha$$

$$U = U_{max} \sin\alpha \quad \text{یا}$$

$$\alpha = \omega t \quad \text{قبلاً دانستیم که}$$

$$U = U_{max} \sin\omega t \quad \text{پس}$$

معادله‌ی جریان نیز به همین صورت اثبات می‌شود ؛ یعنی :

$$i = I_{max} \sin\omega t$$

$$i = I_{max} \sin\alpha \quad \text{یا}$$

مثال ۸ : معادله‌ی ولتاژ متناوبی را بنویسید که فرکانس آن ۶۰ هرتز و ماکزیمم ولتاژ آن ۱۵۶ ولت باشد.

حل: سرعت زاویه‌ای ω برابر با $2\pi f$ است. پس :

$$\omega = 2\pi f = 2 \times 3/14 \times 60$$

$$\omega = 376/8 \text{Rad/sec} \cong 377 \text{Rad/sec}$$

$$U_{max} = 156V$$

$$U = U_{max} \sin\omega t$$

$$U = 156 \sin 377t$$

مثال ۹ : مقدار لحظه‌ای ولتاژ مثال شماره‌ی ۸ را در پایان $t = 0/002$ ثانیه به دست آورید.

حل:

$$U = 156 \sin 377t$$

$$t = 0/002 \text{sec}$$

$$U = 156 \sin 377 \times 0/002$$

$$U = 156 \sin 0/754$$

چون ωt بر حسب رادیان و هر رادیان برابر ۵۷/۳ درجه است، پس

$$U = 156 \sin(0/754 \times 57/3^\circ)$$

$$U = 156 \sin 43/2^\circ$$

با استفاده از جدول مثلثاتی

$$\sin 43/2^\circ \cong 0/685$$

$$U = 156 \times 0/685 \cong 107 \quad \text{ولت}$$

۱۲ــ۱۳ــ مقدار متوسط (Average) موج سینوسی

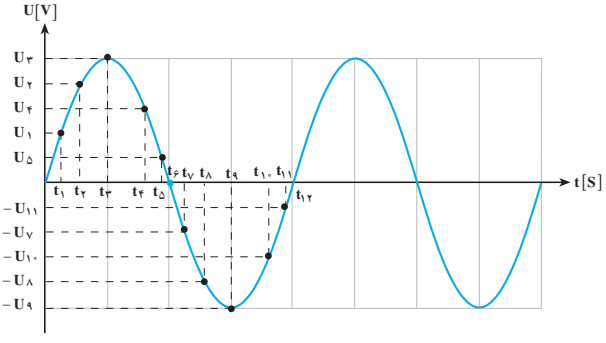
مقدار متوسط یک ولتاژ یا جریان متناوب ؛ میانگین مقادیر لحظه‌ای آن موج در یک دوره تناوب است.

به‌طور کلی برای محاسبه میانگین هر کمیتی باید حاصل جمع مقادیر آن نقاط مختلف را بر تعداد نقاط تقسیم کرد.

مثلاً برای محاسبه میانگین حداقل و حداکثر دمای یک اتاق باید حاصل جمع حداقل دما با حداکثر دمای محیط را جمع و بر۲ تقسیم کرد و یا برای محاسبه میانگین بین سه عدد ۱۰، ۱۸ و ۱۷ به صورت زیر عمل کرد.

$$\text{میانگین سه عدد (معدل)} = \frac{10+18+17}{3} = \frac{45}{3} = 15$$

بر همین اساس برای محاسبه دقیق مقدار متوسط یک موج باید مقادیر موج در هر لحظه را با هم جمع و بر تعداد نمونه‌های برداشته شده تقسیم کرد. شکل ۱۵ــ۱۳ یک موج سینوسی ولتاژ متناوب را نشان می‌دهد که در هر نیم سیکل به ۶ قسمت تقسیم شده است و مقدار متوسط آن در هر نیم سیکل حساب شده است.



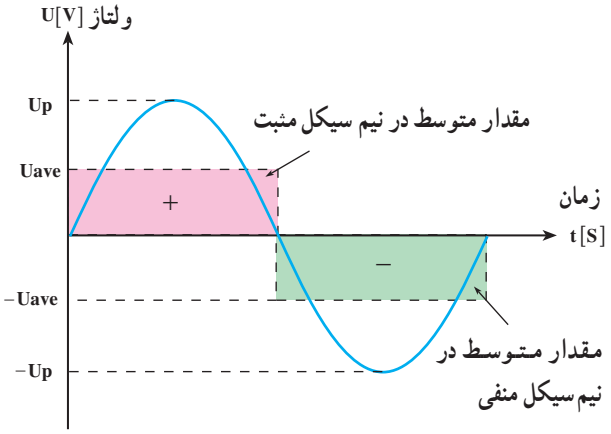
شکل ۱۵ــ۱۳

نکته: هر قدر تعداد نقاط بیش‌تر باشد، مقدار میانگین محاسبه شده دقیق‌تر است.

$$U_{av}^{+} = \frac{U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 + U_6}{6}$$ (میانگین مقادیر لحظه‌ای نیم سیکل مثبت)

$$U_{av}^{-} = \frac{(-U_7) + (-U_8) + (-U_9) + (-U_{10}) + (-U_{11}) + (-U_{12})}{6}$$ (میانگین مقادیر لحظه‌ای نیم سیکل منفی)

مقدار متوسط هر یک از نیم سیکل‌های یک موج سینوسی در شکل ۱۶ــ۱۳ نشان داده شده است مساحت زیر هر نیم‌سیکل با مساحت مقدار متوسط در همان نیم سیکل برابر است.

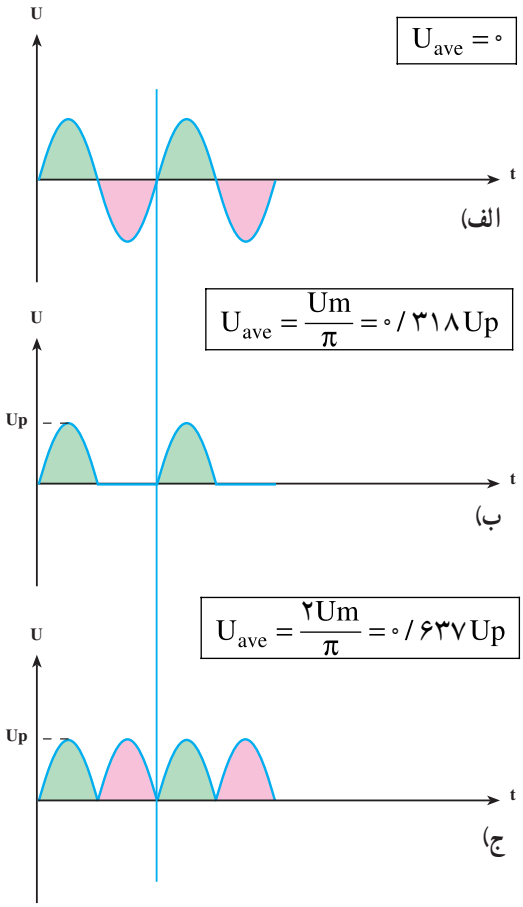


شکل ۱۶ــ۱۳

همان‌طوری که از شکل ۱۶ــ۳ مشخص است مقدار متوسط در یک سیکل کامل که از جمع دو نیم‌سیکل به‌دست می‌آید که مقدار آن مساوی صفر می‌شود.

$$U_{ave} = U_{ave}^{+} + U_{ave}^{-} = 0$$

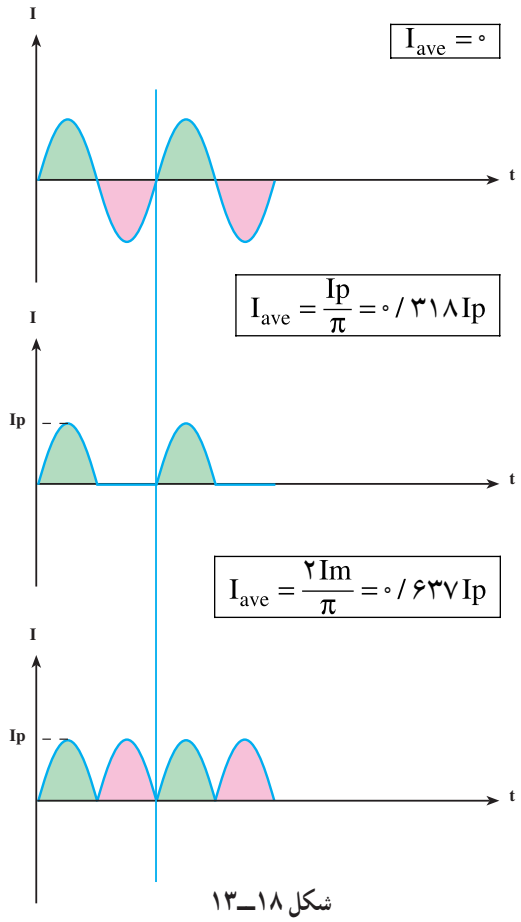
هرگاه شکل موج‌هایی به صورت امواج نشان داده شده در شکل ۱۷ــ۱۳ داشته باشیم و بخواهیم مقدار متوسط هر یک از آن‌ها را حساب کنیم می‌توانیم از روابط نوشته شده در مقابل آن‌ها استفاده کنیم[1].



شکل ۱۷ــ۱۳

لازم به ذکر است برای محاسبه مقدار متوسط شکل موج جریان نیز به همین ترتیب و بر پایه این روابط می‌توان عمل کرد یعنی :

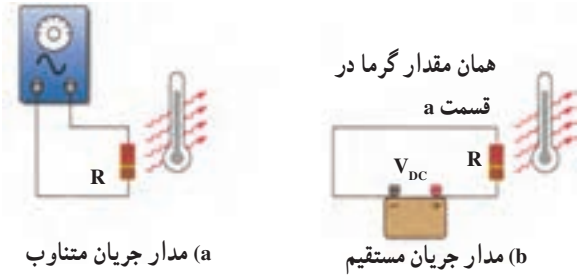
۱ــ با چگونگی محاسبه و زمینه کاربرد مقدار متوسط در مباحث الکتریکی و الکترونیکی سال‌های بعد آشنا خواهید شد.



شکل ۱۸ــ۱۳

۱۳ــ۱۳ــ مقدار مؤثّر (Rms[1]) موج سینوسی

مقدار مؤثّر هر ولتاژ متناوب، برابر است با مقدار ولتاژ مستقیم یا DC که در یک مصرف کننده‌ی معین ؛ همان مقدار کار یا حرارت تولید می‌کند. به عبارت دیگر، مقدار جریان مستقیمی را که اثر حرارتی آن در یک مدت معین در یک مصرف‌کننده برابر اثر حرارتی جریان AC مورد نظر باشد، مقدار مؤثر (Effective) آن جریان AC می‌گویند.

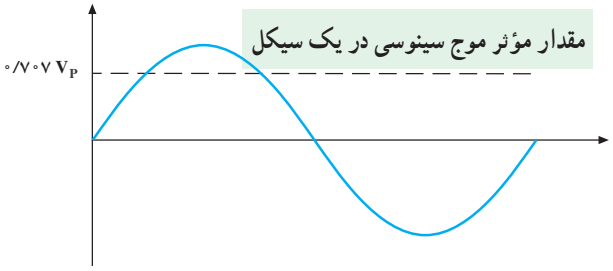


a) مدار جریان متناوب

b) مدار جریان مستقیم

شکل ۱۹ــ۱۳

ولتاژ مؤثّر در یک موج سینوسی برابر ۰/۷۰۷ یا $\frac{۱}{\sqrt{۲}}$ مقدار ماکزیمم است (شکل ۲۰ــ۱۳).



شکل ۲۰ــ۱۳ــ مقدار مؤثّر (Rms) یک موج سینوسی کامل ۰/۷۰۷ مقدار پیک موج است.

$$U_{مؤثر} = U_{rms} = U_{eff} = U_e = \frac{۱}{\sqrt{۲}} U_p \cong ۰/۷۰۷ U_P$$

$$I_{مؤثر} = I_{rms} = I_{eff} = I_e = \frac{۱}{\sqrt{۲}} I_p \cong ۰/۷۰۷ I_P$$

مثال ۱۰: مقدار مؤثّر ۲۰ ولت پیک تا پیک را به دست آورید.

راه حل: ابتدا آن را بر ۲ تقسیم کرده و سپس در ۰/۷۰۷ ضرب می‌کنیم. بنابراین :

$$U_p = \frac{۱}{۲} U_{p-p} = \frac{۱}{۲} \times ۲۰ = ۱۰V$$

$$U_e = ۱۰ U_P \times ۰/۷۰۷ = ۷/۰۷ \quad \text{ولت}$$

در محاسبه‌ها، فرمول کلی را به صورت :

$$U_p = \sqrt{۲} U_e \quad \text{یا} \quad U_e = \frac{U_P}{\sqrt{۲}} = \frac{U_P}{۱/۴۱}$$

می‌نویسند. چنان‌چه فرمول U_e برحسب ولتاژ پیک تا پیک نوشته شود، مقدار آن برابر با $U_{P-P} = ۲/۸۲۸ V_{rms}$ خواهد بود.

مثال ۱۱: مقدار پیک تا پیک ولتاژ ۲۲۰ ولت (برق شهر) چند ولت است؟

راه حل:

$$U_e = \frac{U_P}{\sqrt{۲}}$$

۱ــ Rms مخفف کلمات Root mean Square به معنای جذر میانگین مربّعات است.

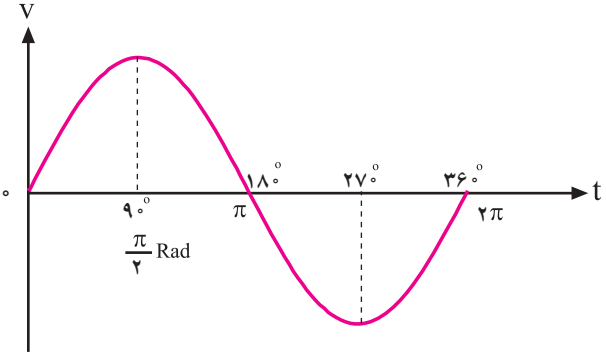
$U_P = U_e . \sqrt{2} = ۲۲۰ \times ۱/۴۱ = ۳۱۱$ ولت

$U_{P-P} = ۲U_P = ۲ \times ۳۱۱ = ۶۲۲$ ولت

۱۴ــ۱۳ــ اختلاف فاز و زاویه فاز در امواج سینوسی[۱]

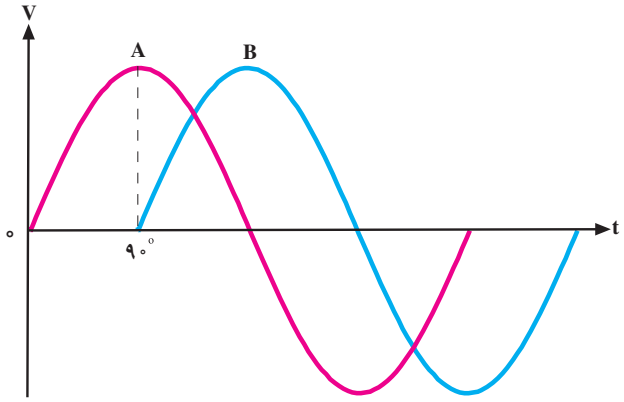
در الکتریسیته موقعیت زمانی یک کمیت الکتریکی را نسبت به یک مبدأ فاز (phase) می‌گویند.

فاز یک موج سینوسی، مقدار زاویه‌ای است که موقعیت یک موج سینوسی را نسبت به مبدأ مشخص می‌کند. در شکل ۲۱ ــ۱۳، یک سیکل کامل از یک موج سینوسی نشان داده شده است. در شکل موج نشان داده شده، نقطه O مبدأ حرکت و نقطه ۹۰ درجه نقطه ماکزیمم دامنه‌ی شکل موج در جهت مثبت است. در نقطه ۱۸۰ درجه مقدار دامنه به صفر می‌رسد در نقطه ۲۷۰ درجه مقدار ولتاژ در جهت منفی ماکزیمم می‌شود و در زاویه ۳۶۰ درجه یا ۲π رادیان مقدار دامنه به صفر می‌رسد. وقتی شکل موج سینوسی نسبت به شکل موج مبدأ به سمت چپ یا راست جابه جا شود، فاز به وجود می‌آید.



شکل ۲۱ــ۱۳ ــ یک سیکل کامل از موج سینوسی

در شکل ۲۲ــ۱۳ شکل موج سینوسی B به اندازه ۹۰ درجه یا $\frac{\pi}{۲}$ رادیان نسبت به شکل ولتاژ مبدأ به سمت راست جابه‌جا شده است. بنابراین بین شکل موج A و شکل موج B یک زاویه فاز یا اختلاف فاز ۹۰ درجه به وجود آمده است.

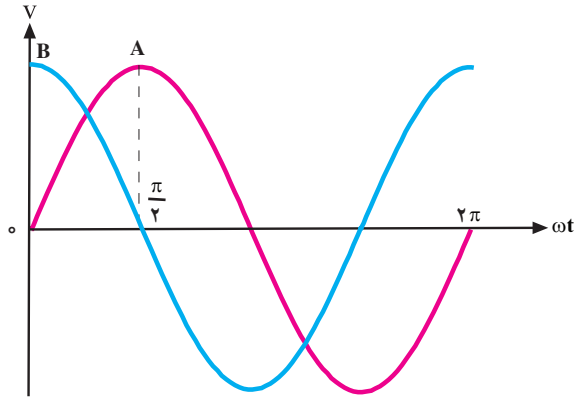


شکل ۲۲ــ۱۳ ــ بین شکل موج A و شکل موج B، $\frac{\pi}{۲}$ رادیان یا ۹۰° اختلاف فاز وجود دارد.

در این شکل موج چون پیک ولتاژ (حداکثر دامنه ولتاژ) موج سینوسی B، بعد از پیک ولتاژ شکل موج سینوسی A به‌وجود آمده است لذا می‌توان گفت که شکل موج سینوسی B، نسبت به شکل موج سینوسی A ۹۰ درجه تأخیر فاز (پس فاز) دارد یا شکل موج A نسبت به B، ۹۰ درجه تقدم فاز (پیش فاز) دارد.

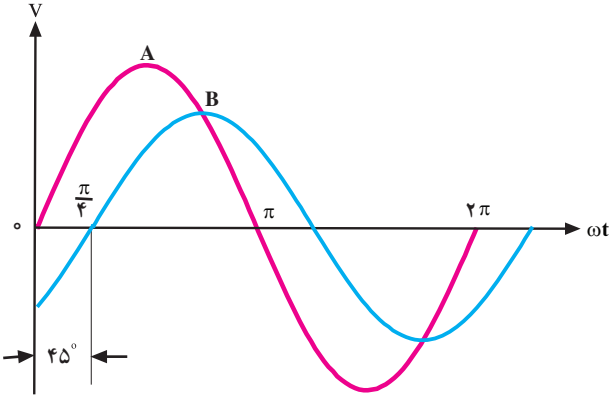
در شکل۲۳ــ۱۳ شکل موج سینوسی B، به اندازه ۹۰ درجه ($\frac{\pi}{۲}$ رادیان) به سمت چپ شیفت پیدا کرده و دامنه‌ی شکل موج سینوسی B، زودتر از دامنه‌ی شکل موج سینوسی A به ماکزیمم رسیده است، لذا شکل موج سینوسی B نسبت به شکل موج سینوسی A به اندازه ۹۰ درجه یا $\frac{\pi}{۲}$ رادیان تقدم فاز دارد یا شکل موج سینوسی A نسبت به شکل موج سینوسی B، ۹۰ درجه تأخیر فاز دارد به مقدار فاز بین دو شکل موج سینوسی **اختلاف فاز** نیز می‌گویند.

۱ ــ Phase sine wave



شکل ۲۳ــ۱۳ ــ شکل موج سینوسی B نسبت به شکل موج سینوسی A تقدم فاز دارد (جلوتر است).

در شکل ۲۴ــ۱۳ اختلاف فاز بین دو شکل موج سینوسی، ۴۵ درجه است.

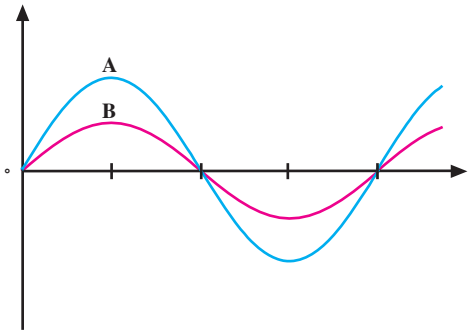


شکل ۲۴ــ۱۳ ــ اختلاف فاز بین دو شکل موج A و B برابر ۴۵ درجه است.

از دو شکل موج A و B، هر دو می‌توانند ولتاژ، هر دو جریان و یا یک شکل موج مربوط به ولتاژ و دیگری مربوط به جریان باشد.

چنان‌چه دو شکل موج از نظر فاز کاملاً مشابه باشند از کلمه هم‌زمان (هم‌فاز) برای بیان وضعیت دو موج نسبت به هم استفاده می‌شود.

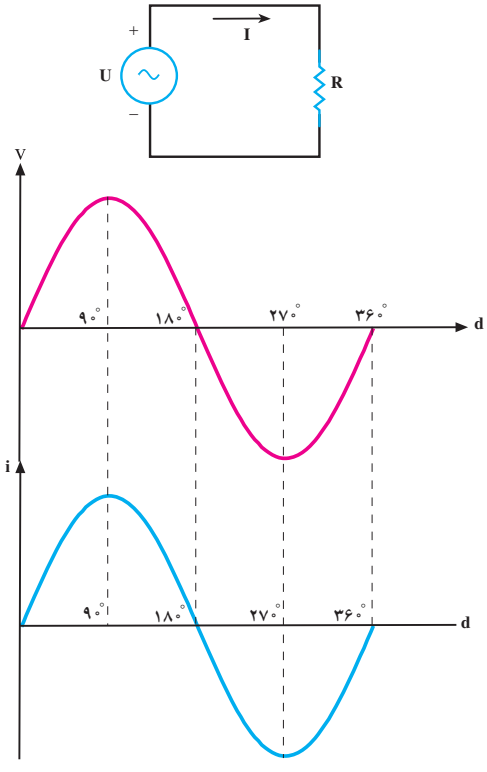
شکل ۲۵ــ۱۳ دو موج A و B را نشان می‌دهد که نسبت به هم اختلاف فاز ندارند و یا به عبارتی دیگر دو موج A و B هم‌فاز هستند.



شکل ۲۵ــ۱۳ ــ شکل موج A و B با هم هم فاز هستند.

۱۵ــ۱۳ــ منحنی ولتاژ و جریان در یک مقاومت اهمی

همان‌طوری که اشاره شد مقاومت اهمی عنصری است که فقط از خود مخالفت (مقاومت) در برابر عبور جریان الکتریکی نشان می‌دهد. به همین دلیل اثری روی ایجاد فاصله زمانی یا مکانی بین دو موج ولتاژ اعمال شده و جریان عبوری از آن ندارد. در یک مدار اهمی خالص مانند شکل ۲۶ــ۱۳ بین شکل موج ولتاژ و شکل موج جریان هیچ‌گونه اختلاف فازی وجود ندارد یا به عبارتی دیگر هم‌فاز هستند.



شکل ۲۶ــ۱۳

پرسش

۱ــ هر یک از مفاهیم زیر را تعریف کنید.

ولتاژ ثابت، ولتاژ متناوب، فرکانس، زمان تناوب، مقدار مؤثر و متوسط یک موج سینوسی

۲ــ دو سیکل کامل یک موج دندانه ارّه‌ای و مربّعی را که دارای مقدار پیک تا پیک ۴۰ ولت است، رسم کنید.

۳ــ مقدار ولتاژ پیکِ یک موج سینوسی برابر با یک ولت است مقدار مؤثر، متوسط، پیک تا پیک ولتاژ را به دست آورید.

۴ــ با رسم سه موج سینوسی، اختلاف زاویه‌ی آن‌ها را که اوّلی نسبت به دومی ۳۰ درجه جلوتر و دومی نسبت به سومی ۴۵ درجه جلوتر است، نشان دهید.

۵ــ مقدار ولتاژ لحظه‌ای برق شهر را که دارای فرکانس ۵۰ هرتز و مقدار مؤثر ۲۲۰ ولت است، در زاویه‌های صفر، ۳۰، ۴۵، ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰، ۳۶۰ درجه پیدا کنید.

۶ــ زاویه‌ی فاز 90° برابر با چند رادیان است؟

۷ــ منبع ولتاژ ۲۲۰ ولت AC را به یک مقاومت ۲۰ اهمی اتّصال داده‌ایم ؛

الف) مقدار جریان rms در مقاومت را محاسبه کنید.

ب) فرکانس جریان برق چه‌قدر است؟ اگر $\omega = 100$ رادیان بر ثانیه باشد.

پ) مقدار اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان را تعیین کنید.

ت) چه مقدار ولتاژ (dc) مورد نیاز است تا معادل ولتاژ مؤثّر در این مقاومت حرارت تولید شود؟

۸ــ فرکانس امواج (AC) زیر چه‌قدر است؟

الف ــ ده سیکل در یک ثانیه

ب ــ یک سیکل در $\frac{1}{10}$ ثانیه

پ ــ ۵۰ سیکل در یک ثانیه

ت ــ ۵۰ سیکل در ۵ ثانیه

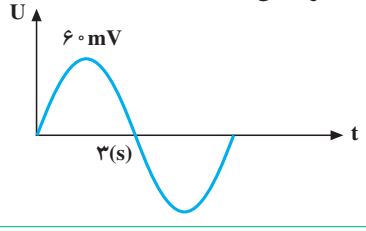
۹ــ پریود T را برای فرکانس‌های زیر محاسبه کنید.

الف ــ ۵۰۰ هرتز (Hz)

ب ــ ۵ مگا هرتز (MHz)

پ ــ ۵ گیگاهرتز (GHz)

۱۰ــ در شکل ۲۷ــ۱۳ مقادیر U_{rms} ، پریود (T) و فرکانس را محاسبه کنید.



شکل ۲۷ــ۱۳

تمرین

۱ــ جریان متناوبی دارای ماکزیمم مقدار ۲۰A است، معادله‌ی زمانی آن‌را بنویسید و مقدار لحظه‌ای آن را در موقعی که زاویه‌ی α برابر با 18°، 67°، 136°، 242° و 326° درجه باشد، مشخص کنید.

۲ــ مقدار لحظه‌ای نیروی محرّکه‌ی جریان متناوبی در 17° برابر با ۳۴/۲ ولت است. مقدار ماکزیمم آن چه‌قدر است؟

(جواب : ۱۱۶/۹۷ ولت)

۳ــ مقدار لحظه‌ای نیروی محرکه‌ی متناوبی در ۳۳۴/۴ درجه برابر با ۱۹۰− ولت است. مقدار ماکزیمم آن را به دست آورید.

(جواب : ۴۳۹/۸ ولت)

۴ــ مقدار لحظه‌ای ولتاژ متناوب سینوسی را در 2π رادیان به دست آورید ؛ در صورتی که مقدار ماکزیمم ولتاژ آن ۱۶۵ ولت باشد.

(جواب : صفر)

۵ــ سیم‌پیچی در داخل میدان مغناطیسی دارای حرکت دورانی است. در چه زاویه‌ای مقدار ولتاژ لحظه‌ای ۰/۷ برابر مقدار ماکزیمم خواهد بود؟

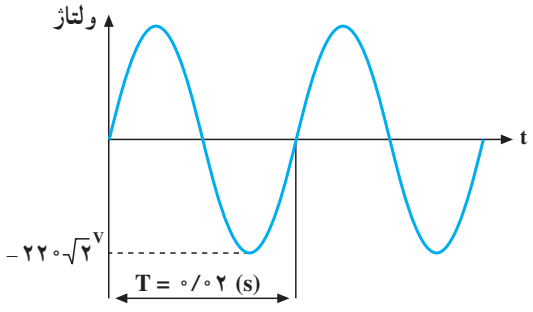
(جواب : تقریباً 45°)

۶ــ جریانی به معادله‌ی $i = 10\sin\omega t$ از یک مقاومت ۱۰ اهمی عبور می‌کند. معادله‌ی ولتاژ آن را بنویسید.

(جواب : $v = 100\sin\omega t$)

۷ــ مقدار ولتاژ منحنی شکل ۲۸ــ۱۳ را در $\frac{T}{2}$ حساب کنید. فرکانس و مقدار مؤثر آن چه‌قدر است؟

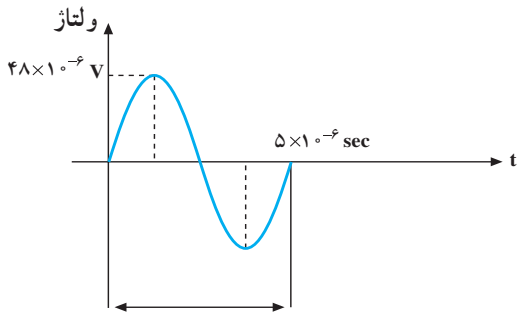
(جواب: ۰V ، ۵۰ هرتز ، ۲۲۰ ولت)



شکل ۲۸ــ۱۳

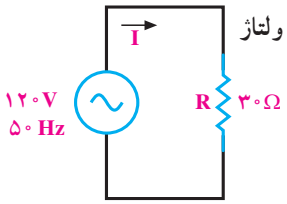
۸ــ مطلوب است محاسبه‌ی مقادیر مؤثر، زمان تناوب، فرکانس و دامنه P-P شکل ۲۹ــ۱۳.

(جواب : $33/9\mu V$ − 5×10^{-6} se − ۲۰۰KHz − $96\mu V$)



شکل ۲۹ــ۱۳

۹ــ در مدار شکل ۳۰ــ۱۳ شکل موج منبع سینوسی است. مقادیر I_t ، V_{max} ، V_{P-P} ، V_{ave} ، I_{max} ، I_{P-P} ، I_{ave} و توان (P) را در مقاومت R به‌دست آورید.



شکل ۳۰ــ۱۳

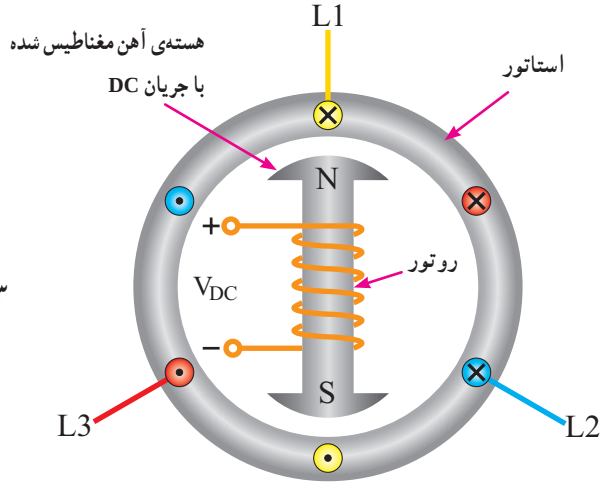
۱ــ تولید انرژی الکتریکی سه‌فاز (ژنراتور)

انرژی الکتریکی در نیروگاه‌ها به‌وسیله‌ی مولدهای (ژنراتور) سه‌فاز تولید می‌شود. این مولدها مطابق شکل ۱ــ۱ از دو قسمت اصلی زیر تشکیل شده‌اند.

الف ــ استاتور

از یک هسته‌ی آهنی شیاردار به‌صورت ثابت ساخته می‌شود. داخل شیارها سه‌گروه کلاف به‌صورتی قرار می‌گیرند که با هم ۱۲۰ درجه‌ی الکتریکی اختلاف فاز داشته باشند.

انرژی الکتریکی تولیدی به‌صورت سه‌فاز از طریق استاتور به مدارهای خارج منتقل می‌گردد (شکل ۱ــ۱).

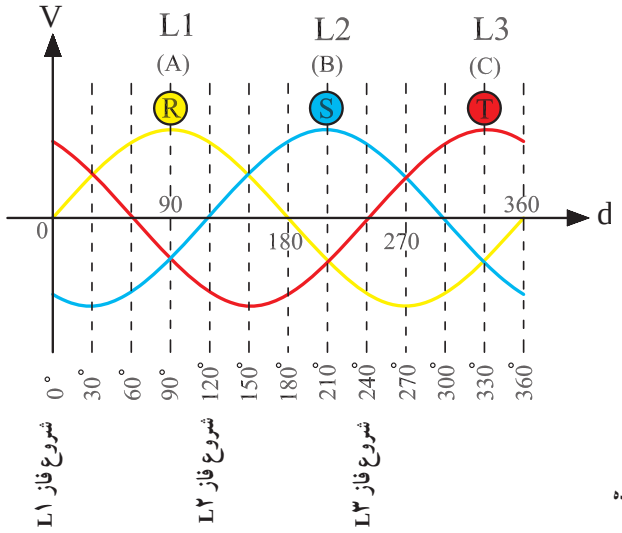


شکل ۱ــ۱ــ مولد انرژی الکتریکی

ب ــ روتور

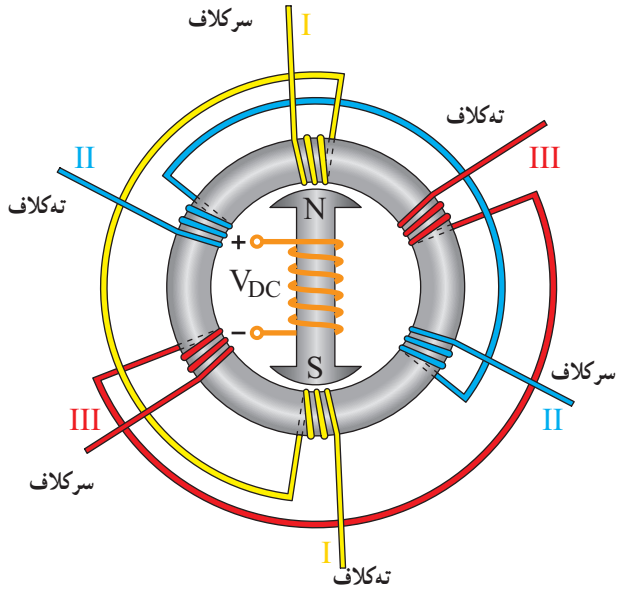
قسمت گردنده‌ی مولد از هسته‌ی آهنی شیاردار ساخته می‌شود و داخل این شیارها سیم‌های مسی برای تولید فوران مغناطیسی قرار می‌گیرد. این فوران با اعمال ولتاژ (DC) تولید می‌شود.

نیروی محرکه‌ی الکتریکی (ولتاژ) تولید شده در مولدهای سه‌فاز (مطابق شکل ۲ــ۱) با شکل سینوسی و با اختلاف فاز ۱۲۰ درجه‌ی الکتریکی است.



شکل ۲ــ۱

به‌طور ساده طرز قرارگیری سیم‌پیچ‌های استاتور در شکل ۳ــ۱ نشان داده شده است.



شکل۳ــ۱

در مولدهای بزرگ انرژی الکتریکی در قسمت ثابت (استاتور) ماشین تولید می‌شود. ولی در مولدهای کوچک معمولاً انرژی الکتریکی در قسمت گردنده (روتور) ایجاد می‌شود. به قسمتی که در آن انرژی الکتریکی تولید می‌شود آرمیچر می‌گویند. شکل ۴ــ۱، دو نمونه مولد انرژی الکتریکی را نشان می‌دهد.

الف

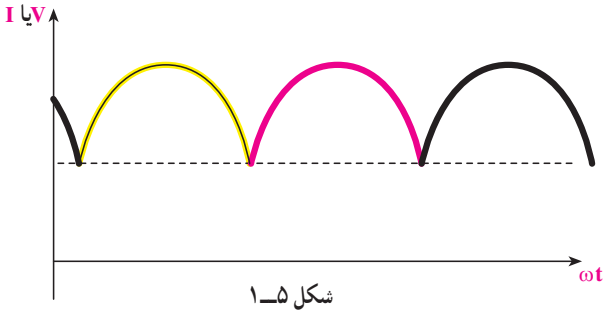
ب

شکل ۴ــ۱

در نیروگاه‌ها انرژی الکتریکی همواره به‌صورت سه‌فاز تولید می‌شود؛ زیرا :

الف ــ اقتصادی‌تر است، به‌دلیل این که آلترناتورهای سه‌فاز، با توان مشابه حجم کم‌تری نسبت به آلترناتورهای تک‌فاز دارد.

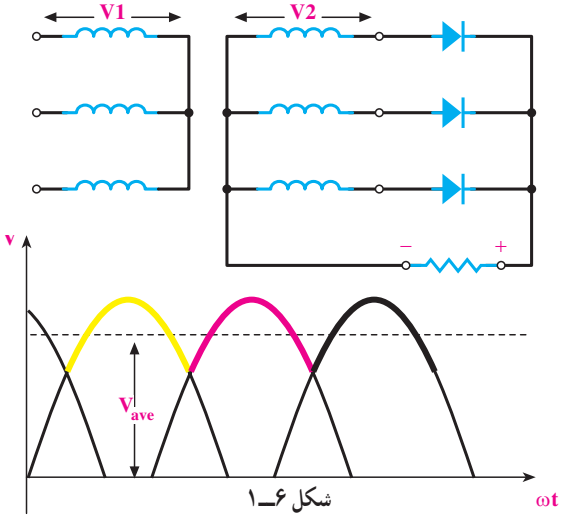
ب ــ توان لحظه‌ای سه فاز در مصرف‌کننده هیچ‌گاه به صفر نمی‌رسد، بنابراین، توان شبکه سه‌فاز تغییرات کم‌تری نسبت به توان در شبکه تک‌فاز دارد (شکل ۵ــ۱).



شکل ۵ــ۱

ج ــ در راه‌اندازی موتورهای سه فازه نیاز به سیم‌پیچ راه‌انداز نداریم و به‌همین دلیل حجم موتورها کاهش می‌یابد.

د ــ در رکتیفایرهای[1] سه‌فاز، ولتاژ دی‌سی (DC) شده ریپل (ضربان) کم‌تری دارد یعنی ولتاژ خروجی جریان مستقیم در رکتیفایرهای سه‌فاز، نسبت به‌ولتاژ یک‌سو شده در رکتیفایرهای تک‌فاز، صاف‌تر است (شکل ۶ــ۱).



شکل ۶ــ۱

از آن‌جا که مقدار ولتاژ تولید شده در مولدها نمی‌تواند بیش از حد مجاز باشد و انتقال این ولتاژ با جریان‌های بالا موجب افزایش اتلاف انرژی در سیم‌ها و افت ولتاژ انتهای خط می‌شود بنابراین، در ابتدای خط مقدار ولتاژ تولید شده (توسط ترانسفورماتورها) افزایش و در انتهای خط در چند مرحله (جهت استفاده‌ی مصرف کنندگان صنعتی و خانگی) در حد ولتاژ مجاز (۳۸۰/۲۲۰) کاهش می‌یابد. برای این منظور به خطوط انتقال انرژی و هم‌چنین مراکز توزیع انرژی الکتریکی نیاز است. در ادامه به شبکه‌های انتقال و توزیع اشاره می‌کنیم.

۱ــ رکتیفایر : مبدل موج (AC) به (DC) به معنی یکسوکننده

۲ــ انتقال نیرو

شکل ۷ــ۱

انرژی تولید شده در نیروگاه‌های مختلف (آبی، دیزلی، گازی، چرخه‌ی ترکیبی، بخاری، اتمی و بادی) پس از افزایش به‌مقدار ولتاژهای (۴۰۰، ۲۳۰، ۱۳۲ و ۶۳) کیلو ولت به مناطق مصرف انتقال می‌یابد.

جابه‌جایی انرژی الکتریکی با ولتاژهای ۴۰۰ یا ۲۳۰ کیلوولتی را در اصطلاح انتقال نیرو می‌خوانند و هدف آن تبادل انرژی و توان بین مناطق و نواحی اصلی است که معمولاً در فاصله‌های دور از هم قرار گرفته‌اند. شکل ۷ــ۱، یک نمونه دکل فشار قوی را نشان می‌دهد.

۳ــ شبکه‌های فوق توزیع

شکل ۸ــ۱

رساندن انرژی و توان به مراکز مصرف بیش‌تر با خط‌های ۶۳ (یا ۶۶) یا ۱۳۲ کیلو ولتی صورت می‌گیرد. این بخش از فعالیت نیرو رسانی را در اصطلاح شبکه‌های فوق توزیع می‌نامند. شکل ۸ــ۱، یک خط فوق توزیع ۶۳ کیلو ولتی را نشان می‌دهد.

۴ــ توزیع نیرو

در صنعت برق، توزیع انرژی برق اساساً در دو سطح فشار متوسط و فشار ضعیف صورت می‌گیرد.

۱ــ۴ــ خط‌های فشار متوسط

بیش‌تر شبکه‌های فشار متوسط در ایران از نوع ۲۰ کیلو ولتی‌اند؛ اما ولتاژهای ۳۳ و ۱۱ کیلوولتی نیز پهنه‌های محدودی از کاربرد را دارند. در شکل ۹ــ۱، تصویری از یک شبکه‌ی توزیع فشار متوسط نمایش داده شده است.

شکل ۹ــ۱

۲ــ۴ــ خط‌های فشار ضعیف

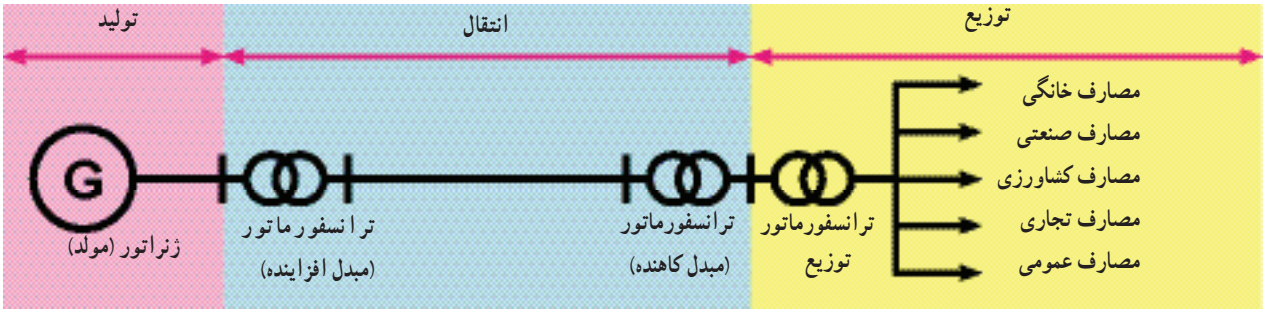
برق مصرف کنندگان عادی با خط‌های فشار ضعیف تأمین می‌شود. این خط‌ها آخرین قسمت از شبکه‌ی عظیم و گسترده‌ی برق‌رسانی را پیش از تحویل انرژی به مصرف کننده تشکیل می‌دهند. خط‌های فشار ضعیف رایج در سراسر کشور از نوع ۳۸۰/۲۲۰ ولتی و معمولاً به‌صورت ۵ سیمه‌اند. درشکل ۱۰ــ۱، خط توزیع فشار متوسط و ضعیف نمایش داده شده است.

شکل ۱۰ــ۱

همان‌طورکه درشکل ۱۰ــ۱ مشاهده می‌کنید، این شبکه از پنج سیم تشکیل شده و ترتیب قرار گرفتن سیم‌ها و حروف اختصاری هریک از آن‌ها مطابق شکل ۱۱ــ۱ است.

شکل ۱۱ــ۱

شکل ۱۲ــ۱، تصویر شماتیک یا ساده یک سیستم قدرت را از تولید تا مصرف نشان می‌دهد.



شکل ۱۲ــ۱

۵ــ معرفی ولتاژها و جریان‌های شبکه‌ی سه‌فاز

درشکل کلی، ولتاژها و جریان‌های شبکه‌ی سه‌فاز با عناوینی به‌شرح زیر معرفی شده و به‌کار می‌روند.

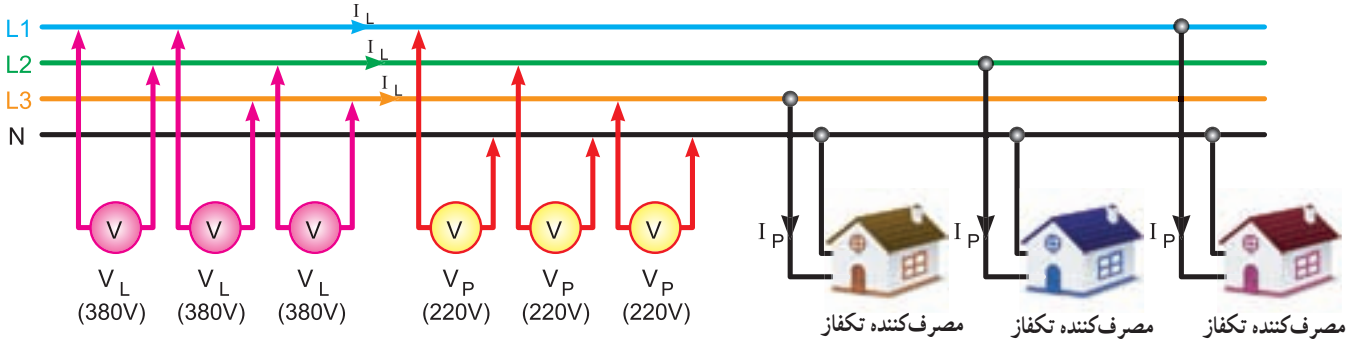
ــ ولتاژ خطی (V_L) : به مقدار ولتاژ (اختلاف پتانسیل) بین دو فاز یک شبکه‌ی سه‌فاز ولتاژ خطی می‌گویند، که در شبکه‌ی فشار ضعیف ایران مقدار آن برابر ۳۸۰ ولت است.

ــ ولتاژ فازی (V_P)[1] : مقدار ولتاژ (اختلاف پتانسیل) دو سر هر مصرف‌کننده‌ی سه فاز را ولتاژ فازی می‌گویند. مقدار آن در شبکه‌ی فشار ضعیف ایران ۲۲۰ ولت است.

جریان خطی (I_L) : به جریانی که از هر خط سیم فاز شبکه عبور می‌کند جریان خطی می‌گویند.

جریان فازی (I_P) : به جریانی که از هر مسیر فازی داخل یک مصرف‌کننده عبور می‌کند جریان فازی می‌گویند.

درشکل ۱۳ــ۱، ولتاژها و جریان‌های خط و فاز نشان داده شده است.



شکل ۱۳ــ۱

۱ــ در برخی موارد به اختلاف پتانسیل بین هر فاز و نول نیز ولتاژ فازی می‌گویند.

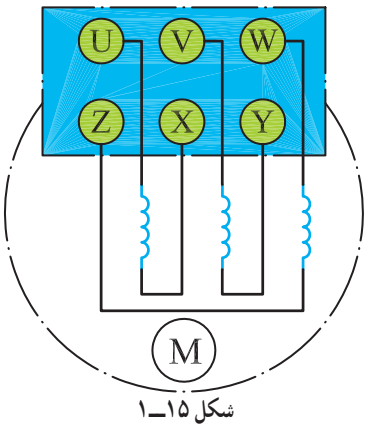
۶ــ پلاک اتصالات موتور (تخته‌کلم)

برای اتصال سیم‌پیچ‌های موتور سه‌فاز، سر سیم‌ها از داخل پوسته به یک محفظه یا ترمینال موتور هدایت می‌شوند که اصطلاحاً به آن «تخته‌کلم» می‌گویند (شکل ۱۴ــ۱).

به‌طور کلی سر و ته کلاف‌های یک موتور سه‌فاز، با دو حرف مشخص می‌شوند.

شکل ۱۴ــ۱

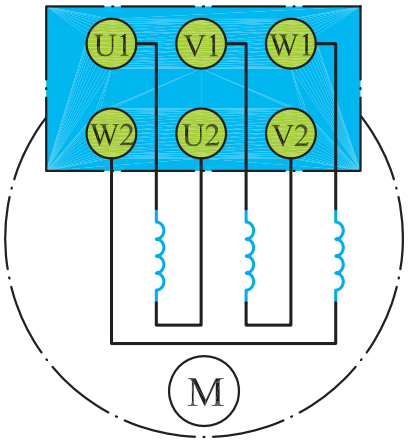
در استاندارد VDE قدیم نشان دادن سر کلاف‌ها به‌ترتیب برای کلاف اول تا سوم از حروف U، V و W و برای نمایش ته کلاف‌ها به‌ترتیب از حروف X، Y و Z استفاده می‌شود. نحوه‌ی قرار گرفتن سرسیم‌ها در زیر پیچ‌های تخته‌کلم مطابق شکل ۱۵ــ ۱ است. دلیل این‌که ته کلاف‌ها، مشابه سر کلاف‌ها، به‌ترتیب از کلاف اول تا سوم نوشته نمی‌شود این است که در صورت نیاز به ایجاد اتصالات ستاره یا مثلث بتوان بدون استفاده از کلید مربوطه و با قرار دادن چند تسمه‌ی مسی در زیر پیچ‌ها، موتور را به‌صورت ستاره یا مثلث اتصال داد.



شکل ۱۵ــ۱

در استاندارد [1] (IEC) برای نشان دادن سر کلاف‌ها به‌ترتیب از کلاف اول تا سوم از حروف (U۱، V۱ و W۱) و برای مشخص کردن ته کلاف‌ها به‌ترتیب از حروف (U۲، V۲ و W۲) استفاده می‌شود. شکل ۱۶ــ۱، وضعیت قرار گرفتن سیم‌پیچ‌ها و پیچ‌های تخته‌کلم را نشان می‌دهد.

از این پس در این کتاب سرهای موتور، براساس استاندارد (IEC) (در نقشه‌ها) نام‌گذاری می‌شوند.



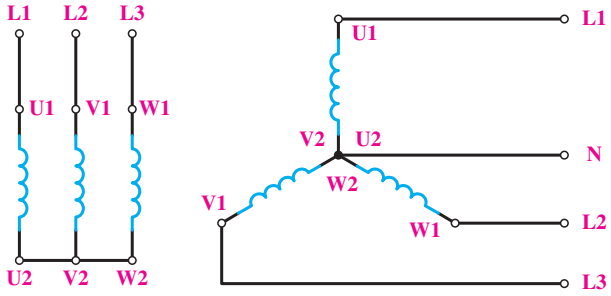
شکل ۱۶ــ۱

اتصال ستاره

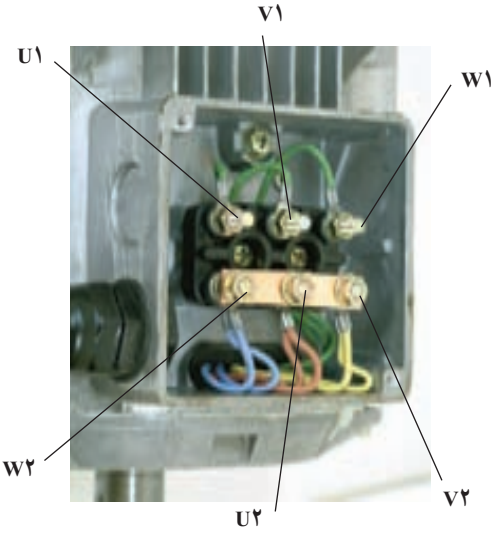
هرگاه به ابتدای سیم‌پیچ‌های (سرکلاف‌های U۱ و V۱ و W۱) موتور به‌ترتیب شبکه سه‌فاز L۱، L۲ و L۳ را وصل کرده و انتهای سیم‌پیچ‌ها (ته کلاف‌ها W۲، V۲ و U۲) را به یکدیگر وصل کنیم این اتصال را «اتصال ستاره» گویند. شکل‌های ۱۷ــ۱ و ۱۸ــ۱، نحوه‌ی اتصال ستاره را به‌صورت مداری و روی تخته‌کلم موتور نشان می‌دهند. گفتنی است به جهت خلاصه‌نویسی، برای بیان حالت ستاره در متون فنی از علامت $\curlyvee$ استفاده می‌شود.

1 ــ IEC - International Electrotechnical Commission

کمیته‌ی بین المللی الکتروتکنیک



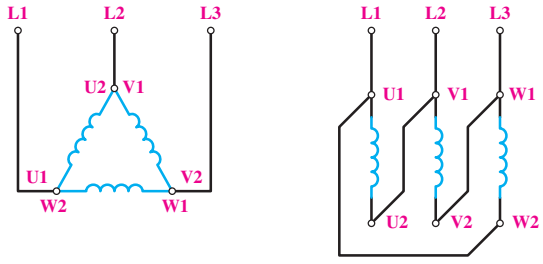
شکل ۱۷ــ۱ــ شکل مداری اتصال ستاره



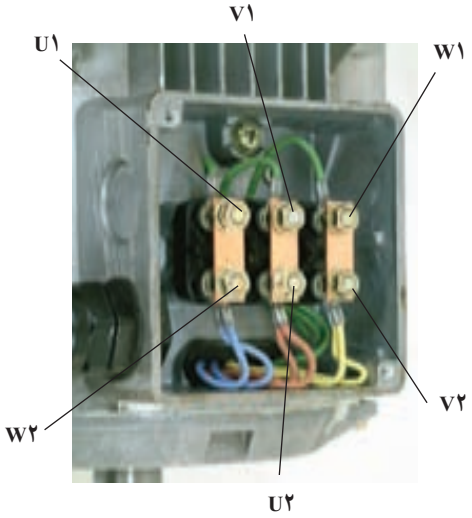
شکل ۱۸ــ۱ــ اتصال ستاره روی تخته کلم موتور

اتصال مثلث

هرگاه انتهای کلاف اول (U۲) به ابتدای کلاف دوم (V۱) و انتهای کلاف دوم (V۲) به ابتدای کلاف سوم (W۱) و به همین ترتیب انتهای کلاف سوم (W۲) به ابتدای کلاف اول (U۱) وصل شود، به این اتصال «اتصال مثلث» گویند. شکل‌های ۱۹ــ۱ و ۲۰ــ۱، نحوه‌ی اتصال مثلث را به‌صورت مداری و روی تخته کلم موتور نشان می‌دهد. جهت خلاصه‌نویسی، برای بیان حالت مثلث در متون فنی از علامت Δ استفاده می‌شود.

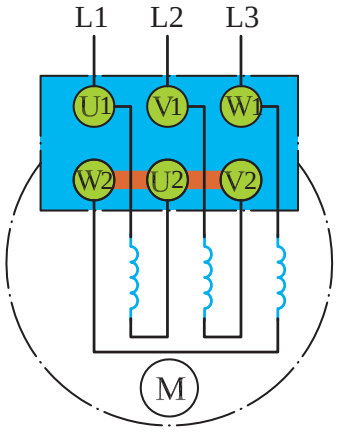


شکل ۱۹ــ۱ــ شکل مداری اتصال ستاره

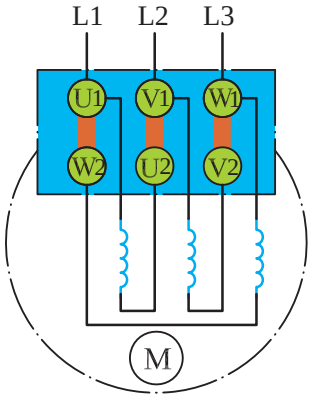


شکل ۲۰ــ۱ــ اتصال مثلث روی تخته کلم موتور

تصاویر شکل ۲۱ــ۱ چگونگی ایجاد اتصال ستاره و مثلث را به روش ترسیمی بر روی تخته کلم موتور سه‌فاز نشان می‌دهد.



شکل ۲۱ــ۱

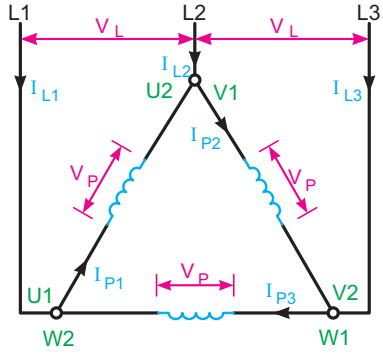


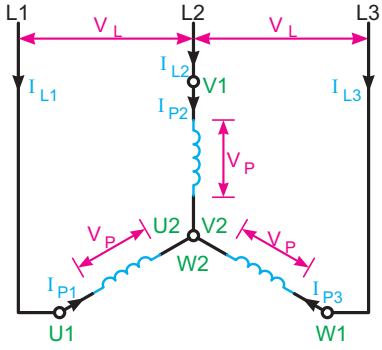
ادامه شکل ۱ــ۲۱

ــ اگر از وسایل و تجهیزات کارگاه به‌خوبی مراقبت کنید این وسایل می‌توانند سال‌های متوالی در اختیار هنرجویان قرار گیرند.

جریان و ولتاژ فازی و خطی

تصاویر شکل ۱ــ۲۲ پارامترهای ولتاژ و جریان خطی و فازی را روی شکل اتصالات ستاره و مثلث موتور سه‌فاز نشان می‌دهد.





شکل ۱ــ۲۲

کار عملی ۱

هدف : تشخیص سالم بودن کلاف‌های موتور

مراحل اجرای کار

۱ــ۱ ــ تخته‌کلم موتور سه‌فازی را مطابق شکل ۲۳ــ۱ باز کنید و محل اتصال سر و ته کلاف‌ها را به همراه حروف مشخصه یادداشت کنید.

شکل ۲۳ــ۱

۲ــ۱ــ آوومتر موجود در کارگاه را درحالت اهم‌متری قرار دهید.

۳ــ۱ــ دو سر سیم اهم‌متر را، مطابق شکل ۲۴ــ۱، به پیچ‌های مربوط به کلاف اول در تخته‌کلم وصل کنید. در این‌صورت لازم است عقربه‌ی اهم‌متر تا انتهای صفحه منحرف شود.

شکل ۲۴ــ۱

۴ــ۱ــ محل سر سیم‌های اهم‌متر را، مطابق شکل ۲۵ــ۱، تغییر دهید (دو سر کلاف دوم). در این حالت نیز لازم است عقربه‌ی اهم‌متر تا انتهای صفحه منحرف شود.

شکل ۲۵ــ۱

۵ــ۱ــ در مرحله‌ی سوم نیز، مانند شکل ۲۶ــ۱، محل قرار گرفتن سر سیم‌های اهم‌متر را دو سر کلاف سوم قرار دهید.

در این شرایط نیز لازم است عقربه تا انتهای صفحه منحرف شود.

شکل ۲۶ــ۱

تذکر : درصورتی که سیم پیچ‌های نشان داده شده در تصاویر با یکدیگر یا بدنه‌ی موتور ارتباط داشته باشند موتور سالم نیست و نباید آن را در مدار قرار داد.

۶ــ۱ــ شکل ۲۷ــ۱، تسمه‌های مسی مربوط به اتصالات تخته‌کلم، را به همراه مهره و واشر نشان می‌دهد. برای ایجاد اتصالات، آن‌ها را از انبار تحویل بگیرید.

شکل ۲۷ــ۱

۷ــ۱ــ با به‌کارگیری آچار مخصوص، تسمه‌های مسی و مهره‌ی مربوط به اتصالات تخته‌کلم، انتهای کلاف‌ها را به یکدیگر وصل کنید (شکل ۲۸ــ۱).

شکل ۲۸ــ۱

۸ــ۱ــ در شکل ۲۹ــ۱ تخته‌کلم یک موتور را، که به‌حالت ستاره وصل شده است، مشاهده می‌کنید. با استفاده از اهم‌متر، مقدار مقاومت سر و ته کلاف‌های هر فاز موتور را اندازه‌گیری کنید.

شکل ۲۹ــ۱

$R_۱ = R_{(U۱ - U۲)} = \ldots\ldots\Omega$

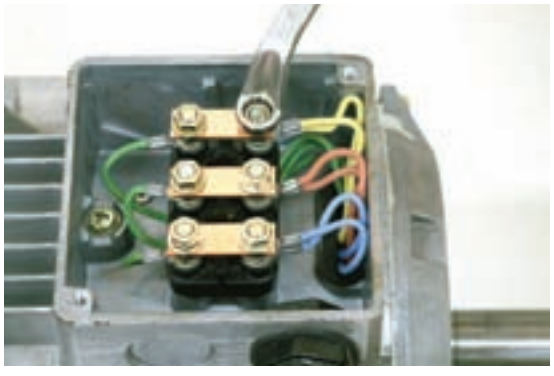
$R_۲ = R_{(V۱ - V۲)} = \ldots\ldots\Omega$

$R_۳ = R_{(W۱ - W۲)} = \ldots\ldots\Omega$

۹ــ۱ــ در این شرایط و در صورت سالم بودن موتور هرگاه یک سیم اهم‌متر به بدنه و سر سیم دیگر به هریک از سیم‌پیچ‌های تخته‌کلم وصل شود، عقربه نباید منحرف شود. به‌عبارت دیگر نباید هیچ ارتباط الکتریکی بین کلاف‌های موتور با بدنه وجود داشته باشد. برای اطمینان می‌توان از میگر، لامپ تست یا اهم‌متر در رنج‌های بالا، نداشتن اتصال بدنه را آزمایش کرد.

۱۰ــ۱ــ با کمک آچار اتصال ستاره را باز کنید.

۱۱ــ۱ــ با به‌کارگیری آچار مخصوص، تسمه‌های مسی و مهره‌ی مربوط به اتصالات تخته‌کلم کلاف‌ها را به یکدیگر وصل کنید (شکل ۳۰ــ۱).



شکل ۳۰ــ۱

۱۲ــ۱ــ در شکل ۳۱ــ۱ تخته‌کلم یک موتور را، که به‌حالت مثلث وصل شده است، مشاهده می‌کنید. با استفاده از اهم‌متر، مقدار مقاومت بین ترمینال‌های موتور را اندازه‌گیری کنید.

$R_۱ = R_{(U۱ - V۱)} = \ldots\ldots\Omega$

$R_۲ = R_{(V۱ - W۱)} = \ldots\ldots\Omega$

$R_۳ = R_{(W۱ - U۱)} = \ldots\ldots\Omega$

شکل ۳۱ــ۱

۱۳ــ۱ــ در این شرایط و در صورت سالم بودن موتور نباید هیچ ارتباط الکتریکی بین کلاف‌های موتور با بدنه وجود داشته باشد. برای اطمینان می‌توان از میگر یا اهم‌متر در رنج‌های [kΩ]، اتصال نداشتن سیم‌ها به بدنه را آزمایش کرد.

۱۴ــ۱ــ با کمک آچار اتصال مثلث را باز کنید.

سؤال : آیا نتایج به‌دست آمده با مطالب نظری مطابقت دارد؟

۷ــ اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی در مصرف‌کننده‌ها

برای اندازه‌گیری مقدار جریان، ولتاژ، توان، فرکانس و اختلاف فاز، دستگاه‌های اندازه‌گیری مناسب موردنیاز است. با اصول کار، ساختمان و طرز کار دستگاه‌های اندازه‌گیری الکتریکی در سال دوم آشنا شده‌اید. در کتاب حاضر به‌صورت عملی با طرز کار برخی از آن‌ها در مدار آشنا خواهید شد. در ابتدا به یادآوری مفاهیم قبلی می‌پردازیم.

۱ــ۷ــ اندازه‌گیری مقدار جریان و ولتاژ متناوب

آمپرمتر و ولت‌متر دو دستگاه اندازه‌گیری هستند که به‌وسیله‌ی آن‌ها مقدار جریان مصرفی و ولتاژ مصرف‌کننده‌ها را می‌توان اندازه گرفت. این دستگاه‌ها براساس اهداف مورد نیاز به‌صورت‌های مختلف ساخته می‌شوند.

۱ــ۱ــ۷ــ دستگاه‌های اندازه‌گیری تابلویی : این دستگاه‌ها معمولاً یک رِنج دارند و کاربرد آن‌ها (در روی تابلوها) به منظور نشان دادن مقدار کمیت موردنظر است (نه آزمایش و اندازه‌گیری دقیق کمیت الکتریکی). در شکل ۳۲ــ۱، چند نمونه از آن‌ها نشان داده شده است.

شکل ۳۲ــ۱

۲ــ۱ــ۷ــ دستگاه‌های اندازه‌گیری پرتابل (قابل حمل) : دستگاه‌های اندازه‌گیری پرتابل در صنعت برق کاربردی وسیع دارند. این دستگاه‌ها به دو صورت آنالوگ و دیجیتال درکارخانجات ساخته می‌شوند. از آن‌جا که این دستگاه‌ها کمیت‌های مختلف (جریان، ولتاژ، مقاومت و...) را اندازه‌گیری می‌کنند، اصطلاحاً آوومتر (A V Ω) و یا مالتی‌متر نامیده می‌شوند.

کمیت‌های الکتریکی مورد سنجش در این دستگاه‌ها در محدوده‌ی بسیار وسیع و با دقت قابل قبولی اندازه‌گیری می‌شوند. مالتی‌مترهای دیجیتال، نسبت به مالتی‌مترهای آنالوگ دارای تنوع، انعطاف و قیمت ارزان‌تری هستند. در شکل ۳۳ــ۱، نمونه‌ای از این دستگاه‌های اندازه‌گیری نشان داده شده‌اند.

شکل ۳۳ــ۱

فصل نهم

کار و توان الکتریکی

هدف‌های رفتاری

در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ مفهوم کار و توان را توضیح دهد.

۲ــ واحدهای کار و توان الکتریکی را تعریف کند.

۳ــ واحدهای رایج انرژی و توان الکتریکی را نام ببرد.

۴ــ مفهوم تلفات توان را توضیح دهد.

۵ــ راندمان (بازده) را تعریف کند.

۶ــ مقدار حرارت تولید شده در مقاومت‌ها را محاسبه کند.

۷ــ مسائل مربوط به توان و انرژی و حرارت و راندمان را محاسبه کند.

۱ــ۹ــ تعاریف کار و توان

همان‌طورکه در فصل‌های پیش گفته شد، منبع تغذیه در یک مدار الکتریکی انرژی الکتریکی را برای مصرف کننده تأمین می‌کند و مصرف‌کننده (بار) از انرژی منبع برای انجام کار استفاده می‌کند. در هنگام انجام کار، مصرف‌کننده انرژی را مصرف می‌کند. به همین علت است که باتری‌ها خالی می‌شوند و به شارژ مجدد نیاز دارند و یا باید آن‌ها را عوض کرد. مقدار کار انجام‌شده به‌وسیله‌ی مصرف‌کننده به انرژی‌ای که در اختیار دارد و سرعت استفاده از این انرژی بستگی دارد. به‌عبارت دیگر، بارهای مختلف با در اختیارداشتن مقدار معین انرژی برای انجام یک کار مساوی، انرژی را در زمان‌های متفاوتی مصرف می‌کنند ؛ بنابراین، بعضی از بارها تندتر از سایرین کار می‌کنند. برای این که بدانیم بار با چه سرعتی کار انجام می‌دهد، باید کمیت توان الکتریکی را تعریف کنیم. توان عبارت است از مقدار کار انجام شده در واحد زمان.

نکته‌ی مهمی که باید همواره در نظر داشت، این است که کار انجام شده در یک مدار ممکن است مفید یا غیرمفید باشد. در هر دو حالت، سرعت انجام کار را بر مبنای توان اندازه می‌گیرند. گردش موتور الکتریکی و هم‌چنین گرمای حاصل از اجاق برقی کار مفید است. از طرف دیگر، گرمای ایجاد شده در سیم‌های رابط و مقاومت‌ها نمونه‌هایی از کار غیرمفیدند ؛ زیرا به‌وسیله‌ی این گرما هیچ عمل مفیدی انجام نمی‌شود. هنگامی که توان برای کار غیرمفید مصرف می‌شود، آن را **توان تلف شده** می‌گویند.

شکل ۱ــ۹ نشان می‌دهد که برای چرخاندن موتور یک ساعت الکتریکی، توان بسیار کمی لازم است ؛ درصورتی که برای تولید گرما به‌وسیله‌ی بخاری برقی باید توان زیادی مصرف شود.

شکل ۱ــ۹ــ میزان توان لازم برای ساعت الکتریکی و بخاری برقی

۲ــ۹ــ واحد کار الکتریکی

واحد کار الکتریکی ژول است و آن مقدار کاری است که اختلاف پتانسیل یک ولت برای جابه‌جایی یک کولن الکتریسیته انجام می‌دهد. اگر اختلاف پتانسیل ۱ ولت باعث عبور ۵ کولن الکتریسیته شود، می‌گوییم ۵ ژول کار انجام شده است. این مطالب را می‌توان از طریق رابطه‌ی $W = q.U$ نشان داد. در این رابطه، W انرژی برحسب ژول، q بار عبوری برحسب کولن و U اختلاف‌پتانسیل برحسب ولت است. به‌خاطر دارید که یک آمپر برابر است با عبور یک کولن الکتریسیته از یک نقطه‌ی مدار در یک ثانیه $I = \frac{q}{t}$. پس، از ترکیب دو رابطه‌ی ذکر شده می‌توان نوشت :

$$\boxed{W = I.t.U}$$

۳ــ۹ــ واحد توان الکتریکی

توان الکتریکی را قبلاً تعریف کردیم و آن عبارت بود از میزان کار انجام شده در واحد زمان. پس، با توجه به روابط گفته‌شده خواهیم داشت :

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow P = \frac{I.t.U}{t} \Rightarrow \boxed{P = U.I}$$

بنابراین، واحد توان الکتریکی را بدین صورت نیز می‌توان تعریف کرد : اگر با اختلاف‌پتانسیل ۱ولت، شدت جریانی معادل ۱ آمپر از مداری عبور کند، توان مصرف‌شده‌ی مدار یک وات است (واحد توان را با W نمایش می‌دهند).

توان مکانیکی معمولاً برحسب اسب بخار hp نیز سنجیده می‌شود. هر اسب بخار معادل ۷۳۶ وات است.

۴ــ۹ــ معادلات توان

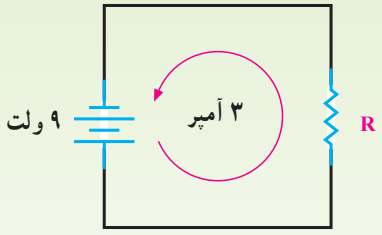
رابطه‌ی توان الکتریکی ($P = U.I$) را پس از ترکیب با روابط قانون اهم به شکل‌های دیگر نیز می‌توان نوشت :

$$P = U.I$$

$$U = RI \Rightarrow P = RI.I \Rightarrow \boxed{P = RI^2}$$

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow P = U.\frac{U}{R} \Rightarrow \boxed{P = \frac{U^2}{R}}$$

مثال ۱: در مدار شکل ۲ــ۹ مقدار مقاومت الکتریکی و توان مصرفی آن را محاسبه کنید.

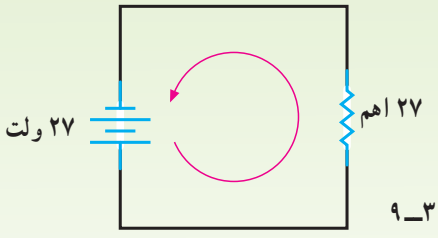


شکل ۲ــ۹

$$R = \frac{U}{I} = \frac{۹}{۳} \qquad \boxed{R = ۳\Omega}$$

$$P = U.I = ۹ \times ۳ \qquad \boxed{P = ۲۷W}$$

مثال ۲: در مدار شکل ۳ــ۹ مقدار شدت جریان و توان مصرفی مقاومت را محاسبه کنید.



شکل ۳ــ۹

$$I = \frac{U}{R} = \frac{۲۷}{۲۷} \qquad \boxed{I = ۱A}$$

$$P = RI^2 = ۲۷ \times ۱^2 \qquad \boxed{P = ۲۷W}$$

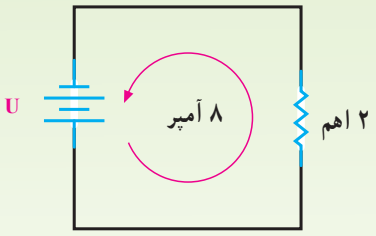
مثال ۳: شدت جریان و توان مصرفی اتوی برقی شکل ۴ــ۹ را محاسبه کنید.

شکل ۴ــ۹

$$I = \frac{U}{R} = \frac{۱۰۰}{۱۰} \qquad \boxed{I = ۱۰A}$$

$$P = RI^۲ = ۱۰ \times ۱۰^۲ \qquad \boxed{P = ۱۰۰۰W}$$

مثال ۴: ولتاژ منبع و توان مصرفی مقاومت ۲ اهمی مدار شکل ۵ــ۹ را محاسبه کنید.



شکل ۵ــ۹

$$U = R.I = ۲ \times ۸ \qquad U = ۱۶V$$

$$P = RI^۲ = ۲ \times ۸^۲ \qquad \boxed{P = ۱۲۸W}$$

۵ــ۹ــ تلفات توان

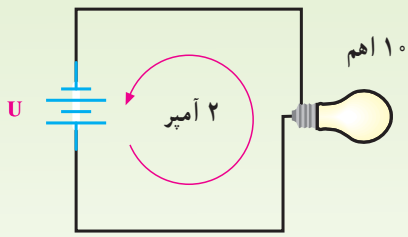
توان مصرف‌شده در یک مدار، نشان‌دهنده‌ی کار انجام‌شده در واحد زمان در آن مدار است ولی باید در نظر داشت که همه‌ی توان مصرفی صرف انجام کار مفید نمی‌شود بلکه به‌علت وجود مقاومت الکتریکی در سیم‌های رابط، منبع ولتاژ و بار، توان اتلاف خواهد شد. باید تلاش کرد که در هر مدار الکتریکی مقدار توان تلف‌شده به حداقل برسد.

تلفات توان را می‌توان از رابطه‌ی $\Delta P = RI^۲$ محاسبه کرد. در این رابطه، ΔP تلفات توان برحسب وات و R مقاومت الکتریکی سیم‌های رابط و مقاومت داخلی منابع (و در مورد الکتروموتورها مقاومت سیم‌پیچ‌ها برحسب اُهم) و I شدت جریان عبوری برحسب آمپر است. کاهش توان تلف‌شده از دو طریق امکان‌پذیر است : ۱ــ کم کردن شدت جریان، ۲ــ کاهش مقاومت سیم‌های رابط.

۱ــ۵ــ۹ــ کم‌کردن شدت جریان: چون شدت‌جریان عبوری به توان مصرف‌کننده بستگی دارد، پس با اعمال ولتاژ کم‌تر می‌توان اتلاف توان را کاهش داد ولی مصرف‌کننده دارای توان نامی نیست و کار مورد نظر را انجام نخواهد داد ؛ بنابراین، کاهش ولتاژ روش مناسبی نیست.

۲ــ۵ــ۹ــ کاهش مقاومت سیم‌های رابط: با انتخاب سطح مقطع و جنس مناسب سیم می‌توان مقاومت الکتریکی سیم‌های رابط را کاهش داد. در این صورت، تلفات توان $I^۲.R$ به کم‌ترین مقدار کاهش می‌یابد. در بعضی از دستگاه‌های الکتریکی مانند اتو و بخاری برقی، گرمای ایجاد شده به‌وسیله‌ی مقاومت توان مفید است و نمی‌توان آن را توان تلف‌شده در نظر گرفت.

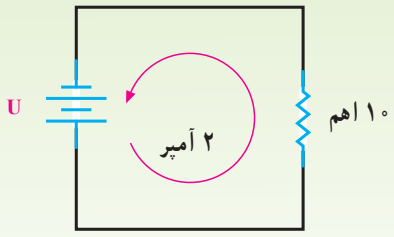
مثال ۵: در شکل ۶ــ۹ توان مفید لامپ را محاسبه کنید.



شکل ۶ــ۹

$$P = RI^۲ \qquad P = ۱۰ \times ۲^۲ \qquad \boxed{P = ۴۰W}$$

مثال ۶: در شکل ۷ــ۹ تلفات توان در مقاومت ۱۰ اهمی را محاسبه کنید.



شکل ۷ــ۹

$$\Delta P = RI^2 \quad \Delta P = 10 \times 2^2 \quad \boxed{\Delta P = 40W}$$

با توجه به مثال‌های ۵ و ۶ درمی‌یابیم که $I^2.R$ گاهی توان مفید است (در لامپ) و در بیش‌تر مواقع به صورت حرارت و غیرمفید (در سیم‌های رابط) به هدر می‌رود.

۶ــ۹ــ توان مجاز مقاومت‌ها

می‌دانیم که در یک مقاومت اگر شدت جریان از حد معینی بالاتر رود، با خرابی یا از بین‌رفتن مقاومت و به اصطلاح سوختن آن مواجه خواهیم شد. این حرارت را توان $I^2.R$ ایجاد می‌کند که آن را توان تلف‌شده برحسب وات می‌دانیم. بنابراین، هر مقاومت دارای یک حداکثر توان یا توان مجاز است که نشان دهنده حرارت ایجاد شده به‌وسیله‌ی $I^2.R$ قبل از سوختن و از بین‌رفتن است. این به آن معناست که یک مقاومت با توان مجاز برابر ۱ وات اگر در مداری قرار گیرد که توان مصرفی در آن ($P = I^2.R$) بیش‌تر از ۱ وات باشد، خواهد سوخت. اگر توان مجاز یک مقاومت را بدانیم و بخواهیم حداکثر شدت جریانی را که به وسیله‌ی مقاومت قابل تحمل است پیدا کنیم، می‌توانیم از رابطه‌ی زیر استفاده کنیم.

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

معمولاً اندازه‌ی قدرت روی مقاومت‌ها نوشته نمی‌شود امّا از روی اندازه‌ی فیزیکی آن‌ها قابل تشخیص است. اندازه‌های فیزیکی استفاده شده برای مقاومت ۱ وات نه فقط بسته به نوع آن متفاوت است بلکه تولیدات کارخانه‌های مختلف نیز فرق می‌کند. پس ممکن است تشخیص آن دشوار باشد ؛ بنابراین، باید فهرست مشخصات مقاومت‌های تولیدی کارخانه‌های مختلف را کنترل کرد.

شکل ۸ــ۹ــ چند مقاومت تولیدی کارخانه‌های مختلف

مثال ۷: شدت جریان مجاز (قابل تحمل) برای مقاومت ۱ اهم با توان مجاز ۴ وات چه‌قدر است؟

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{4}{1}} = 2A \quad \boxed{I = 2A}$$

درصورتی که جریان عبوری از مقاومت از ۲ آمپر تجاوز کند، مقاومت صدمه می‌بیند و به اصطلاح می‌سوزد.

۷ــ۹ــ میزان توان لامپ رشته‌ای (معمولی)

لامپ معمولی از یک فیلامان از جنس تنگستن ــ که در حباب شیشه‌ای قرار دارد ــ تشکیل شده است. وقتی به لامپ ولتاژی اعمال شود، جریانی از رشته‌ی داخل عبور می‌کند و سبب مصرف توان $I^2.R$ در آن می‌شود. گرمای حاصل از مصرف این توان به حدّی است که فیلامان لامپ داغ می‌شود، به رنگ سفید درمی‌آید و از خود نور می‌تاباند. هرچه رشته بیش‌تر گرم شود، نوری که از آن می‌تابد بیش‌تر است. به این ترتیب، برای تقسیم‌بندی لامپ‌های الکتریکی از توان مصرفی آن‌ها ــ که باعث گرما و نهایتاً نور می‌شود ــ استفاده می‌کنند. کارخانه‌های تولیدکننده‌ی لامپ نیز مقدار توان گرمایی $I^2.R$ را برحسب وات و ولتاژ نامی روی لامپ ثبت می‌کنند. هر چه میزان توان مصرفی لامپ‌ها بیش‌تر باشد، مقدار نوری که از خود می‌تابانند زیادتر خواهد بود.

در شکل ۹ــ۹ میزان توان مصرفی چند لامپ رشته‌ای را که همگی با ولتاژ ۲۲۰ ولت تغذیه می‌شوند، مشاهده می‌کنید.

مثال ۸ : شدت جریان و مقاومت فیلامان هر یک از لامپ‌های شکل ۹ــ۹ را در صورتی که ولتاژ نامی همه‌ی آن‌ها ۲۲۰ ولت باشد، محاسبه کنید.

۴۰ وات ۶۰ وات ۱۰۰ وات

شکل ۹ــ۹ــ توان مصرفی چند لامپ

لامپ ۱۰۰W $P = U.I \Rightarrow ۱۰۰ = ۲۲۰ \times I$

$\boxed{I = ۰/۴۵A}$

$R = \frac{U}{I} = \frac{۲۲۰}{۰/۴۵}$

$\boxed{R = ۴۸۸/۸\Omega}$

لامپ ۶۰W $P = U.I \Rightarrow ۶۰ = ۲۲۰ \times I$

$\boxed{I = ۰/۲۷A}$

$R = \frac{U}{I} = \frac{۲۲۰}{۰/۲۷}$

$\boxed{R = ۸۱۴/۸\Omega}$

لامپ ۴۰W $P = U.I \Rightarrow ۴۰ = ۲۲۰ \times I$

$\boxed{I = ۰/۱۸A}$

$R = \frac{U}{I} = \frac{۲۲۰}{۰/۱۸}$

$\boxed{R = ۱۲۲۲/۲\Omega}$

نتیجه: با ولتاژ ثابت، لامپ با توان بیش‌تر دارای شدت جریان بیش‌تر و مقاومت کم‌تر است و برعکس.

پس در صورت افزایش ولتاژ هر لامپی، شدت جریان آن بیش‌تر می‌شود و لامپ می‌سوزد. هم‌چنین، بر اثر کاهش ولتاژ، شدت جریان عبوری کم می‌شود و روشنایی آن نیز کاهش می‌یابد. با استفاده از این خاصیت (تنظیم ولتاژ)، می‌توان نور لامپ‌ها را تغییر داد.

مثال ۹: روی لامپی مقادیر ۲۲۰V و ۲۰۰W به چشم می‌خورد. شدت جریان و مقاومت آن را محاسبه کنید.

در صورت کاهش ولتاژ به میزان ۱۸۰ ولت، شدت جریان و توان جذب‌شده توسط لامپ چه‌قدر می‌شود؟

$P = U.I \Rightarrow ۲۰۰ = ۲۲۰ \times I \rightarrow I = \frac{۲۰۰}{۲۲۰} \Rightarrow \boxed{I = ۰/۹A}$

$R = \frac{U}{I} = \frac{۲۲۰}{۰/۹} \Rightarrow \boxed{R = ۲۴۴\Omega}$

$I = \frac{U}{R} = \frac{۱۸۰}{۲۴۴} \Rightarrow \boxed{I = ۰/۷۳A}$

$P = RI^۲ = ۲۴۴ \times ۰/۷۳^۲ \quad \boxed{P = ۱۳۰W}$

پس، در اثر کاهش ولتاژ از ۲۲۰ ولت به ۱۸۰ ولت جریان و توان به ترتیب به میزان ۰/۷۳ آمپر و ۱۳۰ وات تقلیل می‌یابد و روشنایی لامپ از روشنایی عادی کم‌تر می‌شود.

۸ــ۹ــ توان مفید و راندمان (بازده) الکتروموتور

در الکتروموتورها میزان توان مفید ــ که به‌صورت مکانیکی ارائه می‌شود ــ به مقدار توان تلف‌شده در سیم‌پیچ‌ها ($I^۲.R$) بستگی دارد (R مقاومت سیم‌پیچ‌ها و I شدت جریان عبوری است). بدین معنا که هر قدر $I^۲.R$ بیش‌تر باشد، توان مفید کاهش می‌یابد؛ بنابراین، در الکتروموتورها سعی بر این است که مقدار توان تلف‌شده کم باشد. البته به غیر از $I^۲.R$ تلفات دیگری در الکتروموتورها وجود دارد. معمولاً در روی پلاک مشخصات الکتروموتورها، توان مفید برحسب اسب بخار و راندمان به درصد نوشته می‌شود. از این طریق، توان الکتریکی الکتروموتور و تلفات داخلی آن‌را به‌راحتی محاسبه می‌کنند. با ذکر تمرین مطلب روشن‌تر می‌شود (راندمان، نسبت توان مفید ($P_۲$) به توان ورودی الکتروموتور ($P_۱$) است که آن را با حرف یونانی η (اتا) نمایش می‌دهند).

مثال ۱۰: توان مفید الکتروموتوری ۱ اسب بخار و راندمان آن ۸۵ درصد است. توان ورودی و تلفات داخلی آن را محاسبه کنید. درصورتی که ولتاژ این الکتروموتور ۲۲۰ ولت باشد، شدت جریان چه‌قدر است؟

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{1 \times 736}{0/85}$$

قدرت ورودی $P_1 = 866W$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 866 - 736$$

تلفات داخلی $\boxed{\Delta P = 130W}$

$$P_1 = U.I \rightarrow I = \frac{P_1}{U} = \frac{866}{220} \quad \boxed{I = 3/9A}$$

۹ــ۹ــ اندازه‌گیری انرژی الکتریکی

اندازه‌گیری انرژی مصرفی منازل، فروشگاه‌ها و کارخانه‌ها به‌وسیله‌ی دستگاهی به‌نام کنتور برق انجام می‌شود. هر مشترک براساس مقدار کاری که به‌وسیله‌ی انرژی الکتریکی انجام داده است، باید مبلغی پول پرداخت کند. می‌دانیم که سرعت کار انجام شده را برحسب وات اندازه می‌گیرند. بنابراین، برای محاسبه‌ی کل کار انجام شده باید زمان مورد مصرف را در توان ضرب کرد؛ مثلاً اگر یک لامپ ۱۰۰ واتی مدت یک ساعت روشن باشد، انرژی مصرفی لامپ $100 \times 1 = 100$ وات ــ ساعت می‌شود. وات ــ ساعت واحد کوچکی است؛ به همین دلیل، به جای آن از کیلووات ــ ساعت استفاده می‌کنیم بر این اساس، انرژی مصرفی لامپ مورد مثال، برابر $0/1kW \times 1 = 0/1kWh$ است.

۱۰ــ۹ــ محاسبه‌ی قیمت برق مصرفی

برای محاسبه‌ی قیمت انرژی مصرفی کل، کافی است ابتدا مقدار انرژی مصرفی هر وسیله‌ی الکتریکی را محاسبه و سپس با هم جمع کنیم. به این ترتیب، انرژی مصرفی کل به‌دست می‌آید. آن‌گاه انرژی مصرفی کل را در قیمت هر kWh ضرب می‌کنیم تا بهای انرژی مصرفی محاسبه شود.

با نحوه‌ی محاسبه‌ی قیمت برق مصرفی در درس فیزیک ۱ آشنا شده‌اید.

۱۱ــ۹ــ محاسبه‌ی انرژی حرارتی

همان‌گونه که در درس فیزیک ۱ خواندید، انرژی حرارتی در وسایل گرمازا مانند آب گرم‌کن و کتری برقی را برحسب کالری محاسبه می‌کنند. برای تولید یک کالری گرما ۴/۱۸ ژول انرژی الکتریکی نیاز است. پس برای تولید Q کالری حرارت، ۴/۱۸ Q ژول مورد نیاز خواهد بود؛ بنابراین، خواهیم داشت: $W = 4/18Q$. این رابطه را به شکل $Q = 0/24W$ نیز می‌توان نوشت.

$$W = P.t = RI^2t$$

$$\boxed{Q = 0/24RI^2t}$$

پرسش

۱ــ واحدهای ژول و وات را تعریف کنید.

۲ــ یک کیلووات ــ ساعت چند ژول است؟

۳ــ یک موتور ۱۴۹۲ وات توان مصرف می‌کند. توان آن را بر حسب hp و kW بیان کنید.

ج) ۲/۰۲hp و ۱/۴۹۲kW

۴ــ اگر بخواهیم برای روشن کردن اتاق نور بیش‌تری تولید کنیم، توان لامپ به‌کار رفته باید کم‌تر باشد یا بیش‌تر؟ چرا؟

۵ــ I^2R تلف شده چه مفهومی دارد؟

تمرین

۱ــ لامپی با ولتاژ ۲۲۰ ولت کار می‌کند و توان مصرفی آن ۱۵۰ وات است. مقاومت فیلامان آن را حساب کنید.

ج) ۳۲۲/۶Ω

۲ــ ماکزیمم ولتاژی را که می‌توان به دو سر یک مقاومت ۱۰۰۰ اهمی با توان ۱۰ وات وصل کرد، چه‌قدر است؟

ج) ۱۰۰V

۳ــ توان مجاز مقاومت ۱ کیلواهمی ۱۰ وات است. جریان قابل تحمل آن چه‌قدر است؟

ج) ۰/۱A

۴ــ یک لامپ ۱۰۰ واتی و ۲۲۰ ولتی را به ولتاژ ۱۰۰ ولت وصل می‌کنیم. شدت جریان و توان لامپ را در این حالت حساب کنید.

ج) ۲۰W و ۰/۲A

۵ــ یک اتوی برقی ۲۲۰ ولتی، ۵۵۰ وات توان مصرف می‌کند. مقاومت سیم‌های داخل آن چند اهم است؟ اگر ولتاژ ۱۵ درصد کاهش یابد، توان اتو چند درصد کاهش می‌یابد؟

ج) ۸۸Ω و ۲۷/۸٪

۶ــ یک موتور الکتریکی، در مدت یک دقیقه و ۱۰ ثانیه ؛ ۳۵۰۰۰ ژول انرژی مصرف کرده است. توان دریافتی آن چه‌قدر است؟ درصورتی که راندمان این موتور ۸۰٪ باشد، قدرت مفید آن چند اسب بخار است؟

ج) $P_1 = ۵۰۰W$ و $P_2 = ۰/۵۴hp$

۷ــ یک جرثقیل الکتریکی در مدت ۳ دقیقه ۱۰ تن بار را جابه‌جا کرده است. اگر توان این جرثقیل ۸۰۰۰ وات باشد، برای جابه‌جایی یک تن بار چه مقدار انرژی الکتریکی را به مصرف می‌رساند؟

ج) ۱۴۴۰۰۰ ژول

۸ــ از یک اتوی برقی به مقاومت ۶۵ اهم، جریانی به شدت ۳ آمپر به مدت ۵ دقیقه عبور می‌کند. مقدار گرمای ایجاد شده در اتو را برحسب کیلوکالری محاسبه کنید.

ج) ۴۲/۱۲kcal

۹ــ یک آب‌گرم‌کن الکتریکی در مدت ۲ ساعت ۴۰ لیتر آب ۱۰ درجه را به ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌رساند. درصورتی که توان این آب‌گرم‌کن ۱۵۰۰ وات باشد برای گرم کردن این مقدار آب، چه مقدار انرژی الکتریکی مصرف کرده است؟ برای گرم‌کردن هر لیتر آب چه مقدار انرژی صرف شده است؟ مقدار انرژی مصرفی ۴۰ لیتر آب به‌ازای یک درجه‌ی سانتی‌گراد چه‌قدر بوده است؟

ج) ۳kWh و ۰/۰۷۵kWh و ۰/۰۶kWh