فصل هشتم

قانون اهم

هدف‌های رفتاری

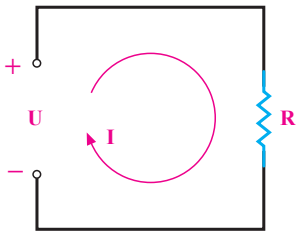
در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ قانون اهم را تعریف کند و شکل‌های مختلف فرمول آن را بنویسد.

۲ــ با حل‌کردن مسائل مختلف، مفهوم هر سه شکل قانون اهم را توجیه کند.

۳ــ هر یک از مقادیر شدت جریان، ولتاژ و مقاومت را به شرط معلوم‌بودن دو کمیت دیگر محاسبه کند.

همان‌طورکه در فصل‌های پیش گفتیم، ولتاژ باعث جاری‌شدن جریان الکتریکی در مدار بسته می‌شود و مقاومت، با عبور جریان مخالفت می‌کند. بین ولتاژ، جریان و مقاومت رابطه وجود دارد. این رابطه را نخستین بار **گئورگ سیمون اهم** کشف کرد. به همین دلیل، این رابطه را قانون اهم و واحد مقاومت را نیز اهم نام نهادند. اهم به این نتیجه رسید که اگر مقاومت مداری ثابت نگه داشته شود و مقدار ولتاژ منبع افزایش یابد، شدت جریان زیاد می‌شود. هم‌چنین کاهش ولتاژ، شدت جریان را کم می‌کند. به عبارت دیگر، اهم دریافت که در یک مدار DC، شدت جریان با ولتاژ نسبت مستقیم دارد. کشف دیگر او این بود که اگر ولتاژ منبع ثابت نگاه داشته شود و مقدار مقاومت مدار افزایش یابد، شدت جریان کم می‌شود. به همین ترتیب با کم کردن مقاومت، شدت جریان افزایش می‌یابد. بنابراین، بین سه کمیت ولتاژ، مقاومت و شدت جریان رابطه‌ای وجود دارد که آن را **قانون اهم** می‌نامیم. به‌طور خلاصه، در یک مدار DC، شدت‌جریان با ولتاژ نسبت مستقیم و با مقاومت نسبت معکوس دارد. رابطه‌ی ریاضی قانون اهم به شکل $I = \frac{U}{R}$ است که در آن U (ولتاژ) برحسب ولت و R (مقاومت) برحسب اهم و I (شدت جریان) برحسب آمپر است.



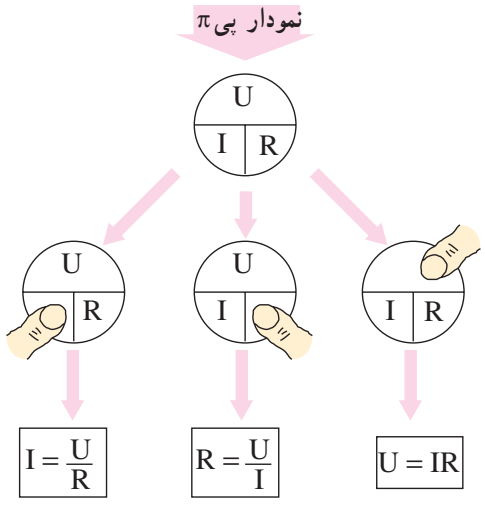
شکل ۱ــ۸ ــ مدار الکتریکی

۱ــ۸ــ شکل‌های مختلف قانون اهم

قانون اهم را به دو صورت دیگر نیز می‌توان نوشت :

$R = \frac{U}{I}$ در این رابطه مقاومت مساوی است با U (ولتاژ) تقسیم بر I (جریان) یا $U = I.R$ که U (ولتاژ) مساوی است با I (شدت‌جریان) ضرب در R (مقاومت). بدین ترتیب، هرگاه دو کمیت از سه کمیت جریان، ولتاژ و مقاومت را بدانید می‌توانید کمیت سوم را به‌آسانی به‌دست آورید.

شکل۲ــ۸ برای یادآوری سه شکل قانون اهم قابل استفاده است. در این شکل هرکدام از علامت‌ها را با انگشت بپوشانید، علایم دیگر رابطه‌ی کمیت اشاره شده را نشان می‌دهد و مقدار مجهول به‌راحتی به‌دست می‌آید.

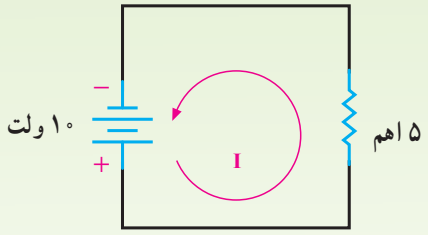


شکل ۲ــ۸ــ سه شکل قانون اهم (نمودار π)

۲ــ۸ــ محاسبه‌ی جریان

در مواردی لازم است مقدار شدت جریانی که از مدار عبور می‌کند، محاسبه شود. با داشتن کمیت‌های ولتاژ و مقاومت و با استفاده از قانون اهم شدت جریان را به‌راحتی می‌توان محاسبه کرد. روش خوبی که در این مورد می‌توان به‌کار بست، این است که معلوم‌ها و مجهول‌ها را تشخیص دهیم. مجهول کمیتی است که می‌خواهیم آن را پیدا کنیم و معمولاً در طرف چپ معادله قرار می‌گیرد. معلوم‌ها کمیت‌هایی هستند که مقدار آن‌ها را داریم و معمولاً در طرف راست معادله قرار می‌گیرند.

مثال ۱: اگر در مدار شکل ۳ــ۸ ولتاژی برابر با ۱۰ ولت به دو سر مقاومتی برابر ۵ اهم اعمال شود، شدت جریان مدار چه‌قدر است؟



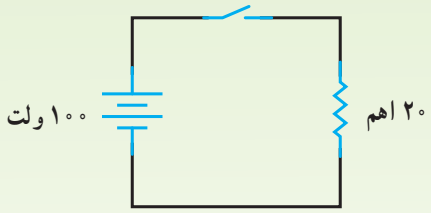
شکل ۳ــ۸

وقتی که شدت جریان (I) مجهول است، باید از معادله‌ی $I=\frac{U}{R}$ استفاده کرد.

$$I=\frac{U}{R}\Rightarrow I=\frac{۱۰}{۵}$$

$$\boxed{I=۲A}$$

مثال ۲: اگر در مدار شکل ۴ــ۸ جریان مجاز مقاومت ۸ آمپر باشد، آیا در صورت بسته‌شدن کلید، مقاومت خواهد سوخت؟



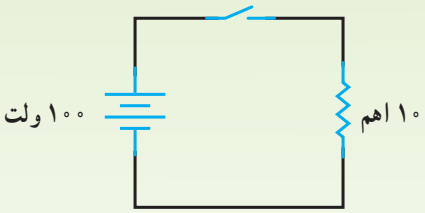
شکل ۴ــ۸

ابتدا شدت جریان مدار را با استفاده از قانون اهم محاسبه می‌کنیم.

$$I=\frac{U}{R}=\frac{۱۰۰}{۲۰}\qquad \boxed{I=۵A}$$

چون شدت جریان مدار ۵ آمپر بوده و از جریان مجاز مقاومت (۸ آمپر) کوچک‌تر است، بنابراین برای مقاومت مشکلی به‌وجود نمی‌آید و مقاومت نمی‌سوزد.

مثال ۳: اگر در مدار شکل ۵ــ۸ جریان مجاز مقاومت ۱۰اهمی ۸ آمپر باشد، آیا در صورت بسته‌شدن کلید، مقاومت خواهد سوخت؟



شکل ۵ــ۸

ابتدا شدت جریان مدار را با استفاده از قانون اهم به‌دست می‌آوریم.

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

چون شدت جریان عبوری از مقاومت ۱۰ آمپر شده و از جریان مجاز آن (۸ آمپر) بیش‌تر است، بنابراین مقاومت خواهد سوخت.

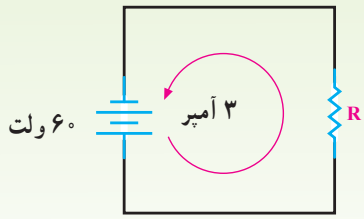
۳ــ۸ــ محاسبه‌ی مقاومت

مقاومت را به‌وسیله‌ی قانون اهم و با استفاده از رابطه‌ی $R = \frac{U}{I}$ می‌توان محاسبه کرد.

برای انتخاب مقاومت مناسب در مدار یا محاسبه‌ی مقاومت بار به‌راحتی می‌توان از قانون اهم استفاده کرد.

مثال ۴: اگر در مدار شکل ۶ــ۸ شدت جریان ۳ آمپر از مقاومت عبور کند، مقاومت مدار چه‌قدر است؟

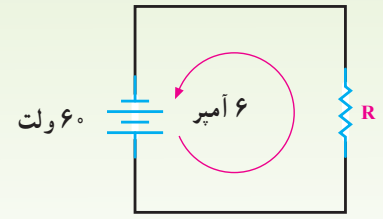
$R = \frac{U}{I} = \frac{۶۰}{۳}$ $R = ۲۰$ مقاومت مدار



شکل ۶ــ۸

مثال ۵: اگر در مثال ۴ بخواهیم شدت جریان مدار ۶ آمپر شود، چه مقاومتی باید در مدار قرار گیرد؟ (شکل ۷ــ۸)

$R = \frac{U}{I} = \frac{۶۰}{۶}$ $R = ۱۰$

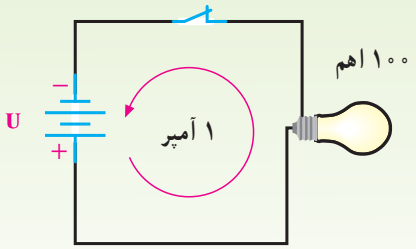


شکل ۷ــ۸

۴ــ۸ــ محاسبه‌ی ولتاژ

ولتاژ را براساس قانون اهم با استفاده از رابطه‌ی $U = I.R$ می‌توان محاسبه کرد.

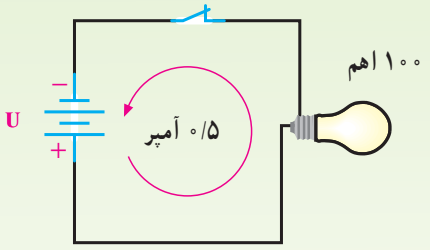
مثال ۶: اگر از لامپی به مقاومت ۱۰۰ اهم جریانی به‌شدت ۱ آمپر عبور کند، با توجه به شکل ۸ــ۸ ولتاژ منبع چند ولت است؟



شکل ۸ــ۸

$U = I.R = ۱ \times ۱۰۰$ $U = ۱۰۰V$

مثال ۷: چنان‌چه باتری مثال ۶ در مدار شکل ۹ــ۸ بر اثر فرسودگی، جریان ۰/۵ آمپر را در مدار جاری کند، ولتاژ منبع به چه میزان کاهش یافته است؟



شکل ۹ــ۸

$U = I.R = ۰/۵ \times ۱۰۰$

ولتاژ منبع درحالت فرسودگی $U = ۵۰V$

افت ولتاژ* $۱۰۰ - ۵۰ = ۵۰V$

* کاهش ولتاژ منبع به‌علت فرسودگی، بر اثر افزایش مقاومت داخلی باتری است.

پرسش

۱ــ قانون اهم و سه تساوی آن را بیان کنید.

۲ــ مداری رسم کنید که در آن یک باتری ۱۵ ولت، باری به مقاومت ۱۵ اهم را تغذیه کند. شدت جریان را در مدار به‌دست آورید.

۳ــ دو صورتی را که در آن‌ها جریان الکتریکی گفته شده در سؤال ۲، دوبرابر می‌شود، بیان کنید.

۴ــ اگر مقاومت مدار ۴ برابر شود، ولتاژ مدار چه‌قدر باید باشد که جریان الکتریکی ثابت بماند؟

۵ــ شدت جریان در یک مقاومت ۱۰۰ اهم ۲ آمپر است. حداکثر ولتاژ به‌کار رفته در مدار چه‌قدر است؟

ج) $U = ۲۰۰V$

۶ــ چنان‌چه ولتاژ ثابت باشد و مقاومت مدار $\frac{۱}{۴}$ شود، جریان چه تغییری خواهد کرد؟

۷ــ اگر مقاومت مدار $\frac{۱}{۴}$ شود، چه تغییری باید در مدار داد تا جریان به‌صورت اول باقی بماند؟

۸ــ دو برابرکردن مقاومت یک مدار ــ چنان‌چه ولتاژ را ثابت نگه داریم ــ چه اثری در جریان الکتریکی خواهد داشت؟ اگر ولتاژ را نصف کنیم و مقاومت را ثابت نگه‌داریم، چه تغییری در جریان ایجاد خواهد شد؟ حال اگر ولتاژ و مقاومت را دو برابر کنیم، چه تغییری در جریان حاصل خواهد شد؟

تمرین

۱ــ به دو سر یک مقاومت ۶۰ اهمی ولتاژی برابر ۳۶ ولت داده شده است. چه جریانی از این مقاومت عبور می‌کند؟

ج) $I = ۰/۶A$

۲ــ ولتاژ لازم برای عبور جریانی برابر ۱/۲ آمپر از یک مقاومت ۵ اهمی چه‌قدر است؟

ج) $U = ۶V$

۳ــ یک لامپ برابر ۱۵۰ اهم مقاومت دارد و ولتاژی برابر ۱۲۰ ولت به آن داده می‌شود. مقدار جریان عبوری را حساب کنید.

ج) $I = ۰/۸A$

۴ــ از یک لامپ و یک منبع ولتاژ و یک آمپرمتر مداری تشکیل داده‌ایم. اگر منبع ولتاژ را ۲۴ ولت اختیار کنیم، آمپرمتر مقدار ۱/۵ آمپر را نشان خواهد داد. مقدار مقاومت مدار را تعیین کنید. اگر به جای منبع ۲۴ ولتی، منبع ولتاژ ۳۶ ولتی قرار دهیم، آمپرمتر چه مقداری را نشان خواهد داد؟

ج) $R = ۱۶$ و $I = ۲/۲۵A$

۵ــ چه ولتاژی در مقاومت ۴۰ اهمی، جریانی برابر با ۱۰۰ میلی‌آمپر ایجاد می‌کند؟ ج) $U = ۴V$

۶ــ حداکثر ولتاژی که یک مقاومت ۲۲/۵ اهمی می‌تواند تحمل کند ۱۲۰ ولت است. اگر جریانی به شدت ۱۰ آمپر از آن بگذرد آیا این مقاومت تحمل این جریان را خواهد داشت؟ چرا؟

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

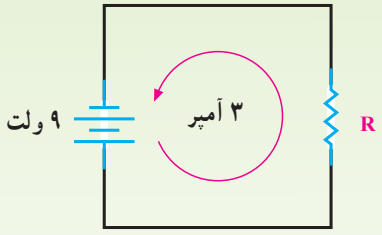
رابطه‌ی توان الکتریکی ($P = U.I$) را پس از ترکیب با روابط قانون اهم به شکل‌های دیگر نیز می‌توان نوشت :

$$P = U.I$$

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

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

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

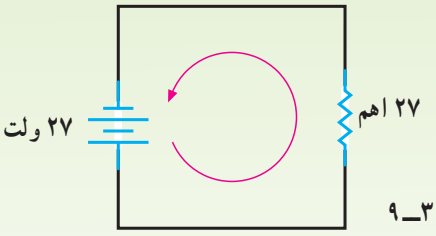


شکل ۲ــ۹

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

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

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

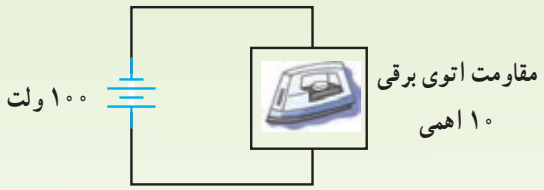


شکل ۳ــ۹

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

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

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

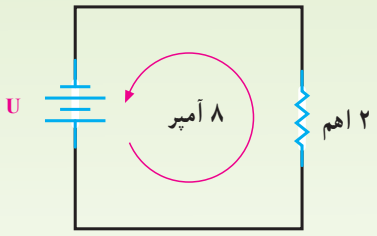


شکل ۴ــ۹

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

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

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

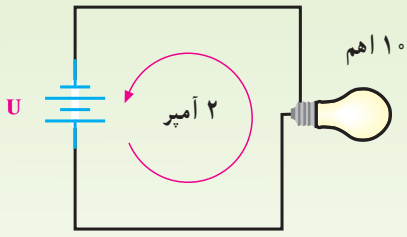
توان مصرف‌شده در یک مدار، نشان‌دهنده‌ی کار انجام‌شده در واحد زمان در آن مدار است ولی باید در نظر داشت که همه‌ی توان مصرفی صرف انجام کار مفید نمی‌شود بلکه به‌علت وجود مقاومت الکتریکی در سیم‌های رابط، منبع ولتاژ و بار، توان اتلاف خواهد شد. باید تلاش کرد که در هر مدار الکتریکی مقدار توان تلف‌شده به حداقل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

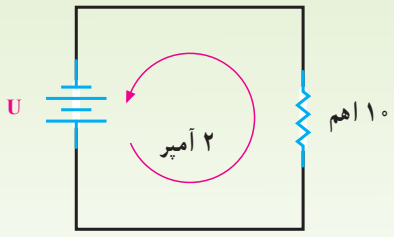
مثال ۵: در شکل ۶ــ۹ توان مفید لامپ را محاسبه کنید.



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

$I = ۰/۴۵A$

$R = \frac{U}{I} = \frac{۲۲۰}{۰/۴۵}$

$R = ۴۸۸/۸$

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

$I = ۰/۲۷A$

$R = \frac{U}{I} = \frac{۲۲۰}{۰/۲۷}$

$R = ۸۱۴/۸$

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

$I = ۰/۱۸A$

$R = \frac{U}{I} = \frac{۲۲۰}{۰/۱۸}$

$R = ۱۲۲۲/۲$

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، براثر 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؟

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

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

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

$P = RI^۲ = ۲۴۴ \times ۰/۷۳^۲$ $P = ۱۳۰W$

پس، دراثر 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 $\boxed{\Delta P = 130W}$

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

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، $4/18Q$ 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) $1/492kW$ و $2/02hp$

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) ۳۲۲/۶

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) ۸۸ 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