

فصل سوم: جریانهای الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

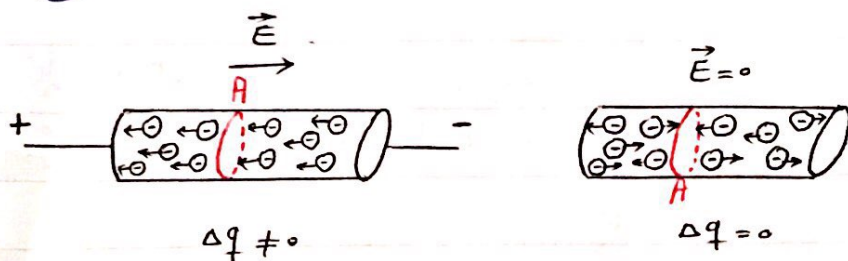
نخوی شارش بار الکتریکی در یک رسانا:

در عدم حضور میدان الکتریکی (نبود اختلاف پتانسیل) الکترونها داخل یک رسانا بصورت

کاتوره ای حرکت می کنند در نتیجه بار خالص عبوری از مقطع دلخواه رسانا صفر است.

اگر دوسر رسانا به اختلاف پتانسیل الکتریکی وصل شود، در اثر میدان الکتریکی طبق فرمول $\vec{F} = q\vec{E}$ تمام الکترونها بصورت منظم در خلاف میدان الکتریکی حرکت می کنند و بار خالص عبوری از مقطع

فرضی صفر نخواهد شد.



شدت جریان متوسط:

بار شارش شده در واحد زمان. راسته جریان توسط می نامند.

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad A \equiv \frac{C}{s}$$

اگر I خطی باشد: $\bar{I} = \frac{I + I_0}{2}$

شدت جریان لحظای:

حد شدت جریان متوسط در بازه های زمانی بسیار کوچک است.

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{I} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

شدت جریان مستقیم:

اگر در تمام بازه های زمانی شدت جریان توسط ثابت بماند (در این حالت شدت جریان لحظای

به متوسط برابر است). آنرا شدت جریان مستقیم می نامیم.

$$I = \bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{q - q_0}{t - t_0} \rightarrow I = \frac{q}{t}$$

مثال ۱-۳:

پارامتری شارش شده در یک رسانا نسبت به زمان از رابطه $q = t^2 + 5t$ محاسبه می شود.

در فاصله زمانی $t_1 = 2(s)$ و $t_2 = 10(s)$ متوسط شدت جریان عبوری از رسانا چند میکروآمپر است؟

- الف) ۱۵ (ب) ۱۷ (ج) ۲۱ (د) ۲۹

مثال ۲-۳:

در مثال فوق جریان الکتریکی عبوری از مقطع رسانا در لحظه $t = 2(s)$ برابر چند میکروآمپر است؟

- الف) ۱۶ (ب) ۱۴ (ج) ۹ (د) ۱

مثال ۳-۳:

دو کره ی رسانای فلزی کاملاً مشابه، اولی بار الکتریکی $q_1 = 8 \mu C$ و دومی دارای بار $q_2 = -1 \mu C$ روی پایه عایقی

قرار دارند و با بستن کلید توسط اسیم فلزی با مقاومت R به یکدیگر وصل می کنیم. مدت $t = 0.1(s)$ طول می کشد

تا دو کره هم پتانسیل شوند، شدت جریان متوسط که در این مدت از اسیم می گذرد، چند میکروآمپر است.

- الف) 18×10^{-3} (ب) 9×10^{-3} (ج) 18×10^{-3} (د) 9×10^{-3}

مثال ۴-۳:

معادله ی باری که از حلقه مقطع یک سیم رسانا عبور می کند، بصورت $q = 0.2 \sin(50\pi t + \frac{\pi}{4})$ است. بیشترین

شدت جریان که از سیم عبور می کند، چند میکروآمپر است؟

- الف) ۰.۰۴ (ب) ۰.۲ (ج) ۱۰ (د) ۱۰۰

مثال ۵-۳:

از سیم شدت جریان $18 \mu A$ آخر عبور می کند. در یک دقیقه چند الکترون از مقطع سیم عبور می کند؟

$$(e = 1.6 \times 10^{-19})$$

$$(ب) 5 \times 10^{19}$$

$$(د) 3 \times 10^{19}$$

$$(الف) 3 \times 10^{20}$$

$$(ج) 5 \times 10^{18}$$

مثال ۴-۴:

کدام یک از معادله های زیر، می تواند غایش بارش را نشان دهد؟

الف) $q = 2$

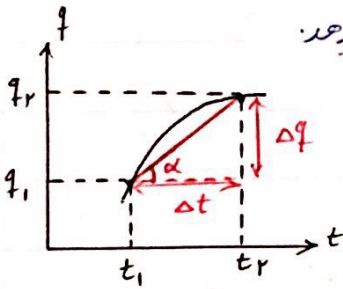
ب) $q = 2t + 2$

ج) $q = \sin \omega t$

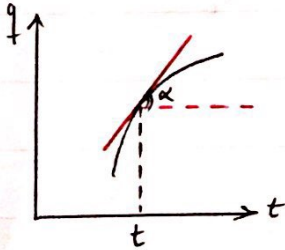
د) عرسته زنند

تعیین شدت جریان از روی نمودار (بار-زمان)

شیب نمودار (بار-زمان) شدت جریان عبوری از مدار را نشان میدهد.



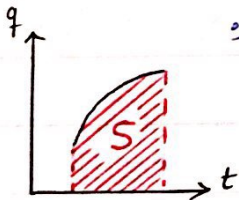
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \bar{I}$$



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dq}{dt} = I$$

نکته:

مساحت زیر نمودار $(I-t)$ بار خالص گذرنده از مقطع دلفواه سیم را نشان میدهد.

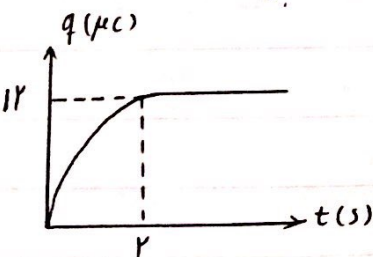


$$S = \Delta q$$

مثال ۷-۳:

نمودار بار الکتریکی عبوری از یک قطعه ای الکتریکی بر حسب زمان به شکل زیر است. شدت جریان در

لحظه ای $t = 4$ چند میکروآمپر است؟



ب) ۴

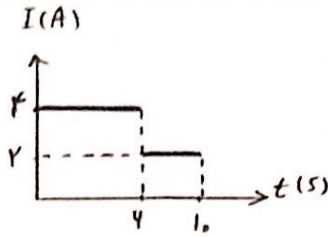
الف) ۴۸

د) صفر

ج) ۳

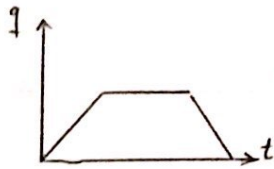
مثال ۸-۳:

نمودار شدت جریان بر حسب زمان برای بارش را نشان شده در یک رسانا داده شده است. در مدت زمان

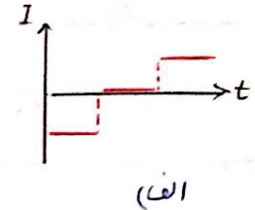
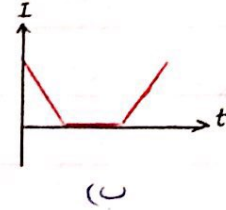
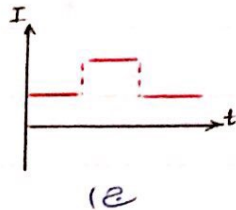
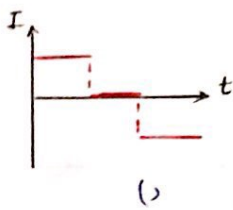


- (۱) چه مقدار الکترود از هر مقطع رسانا عبور می کند؟
 الف) 2×10^{19}
 ب) 4×10^{20}
 ج) 2×10^{18}
 د) 4×10^{18}

مثال ۳-۹:



مقدار بار عبوری بر حسب زمان در یک مدار الکتریکی مطابق شکل مقابل کدام است.
 مقدار جریان گذرنده از مدار بر حسب زمان کدام است؟



نکته:
 معمولاً در باتری های اتومبیل بار ذخیره شده در آنرا بر حسب آمپر ساعت مشخص می کنند.
 $(q = \frac{I t}{A h})$
 منظور از این اصطلاح بیشترین باری است که در باتری ذخیره می شود.

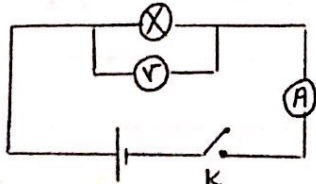
مدار الکتریکی:

برای ایجاد جریان الکتریکی بار باید در یک مسیر بسته شارش کند که ساده ترین مدار شامل باتری - کلید - سیم های رابط - آمپر سنج - ولت سنج و مقاومت می باشد.

ولت سنج و آمپر سنج ایده ال:

ولت سنج ایده ال دارای مقاومت بسیار زیاد بوده و بصورت موازی در مدار قرار می گیرد. (جریان از آن عبور نمی کند).

آمپر سنج ایده ال دارای مقاومت بسیار ناچیز بوده و بصورت سری در مدار قرار می گیرد.

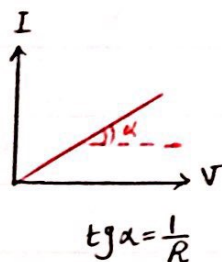
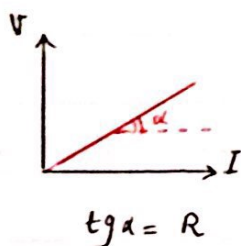


قانون اهم:

نسبت اختلاف پتانسیل دوسر رسانای نلری به شدت جریان که از آن می گذرد در دمای ثابت مقداری

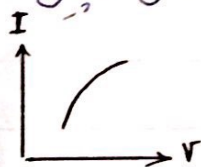
است ثابت، که به آن مقاومت الکتریکی رسانا می گویند.

$$R = \frac{V}{I} \quad (R \equiv \frac{V}{A})$$



نکته:

در صورتی که نمودار (I-V) خطی نباشد مقاومت غیر اهمی خواهد بود. (به عنوان مثال در پیش از استی)

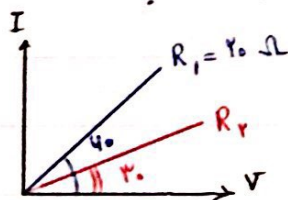


R در حال افزایش

خواهیم دید که مقاومت دیود غیر اهمی است.

مثال ۱۰-۳:

نمودار تغییرات شدت جریان بر حسب اختلاف پتانسیل دوسر رسانای $R_1 = 20 \Omega$ و R_p به شکل مقابل است. R_p چند اهم است؟ طول معیاری روی دوجور (۱۳) و (۱۸) هم اندازه انتخاب شده است.



(ب) ۴۰

(الف) ۳۰

(د) ۵۰

(ج) ۴۰

مثال ۱۱-۳:

اگر اختلاف پتانسیل دوسر یک رسانا در دمای ثابت ۲ برابر شود، مقاومت الکتریکی آن چند برابر می شود؟

(د) ۴

(ج) ۲

(ب) ۱

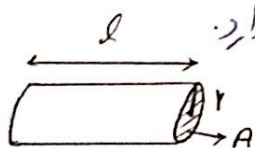
(الف) ۱/۲

دستگاه اکود متر:

دستگاهی است شامل ولت سنسج، آمپر سنسج و اهم سنسج (AVO melle)

عوامل مؤثر در مقاومت رساناهای فلزی در دما ثابت:

مقاومت یک رسانای فلزی مستقل از اختلاف پتانسیل و دمای آن و جریان عبوری از آن می باشد و در دمای ثابت به طول (L)، سطح مقطع (A) و جنس (ρ) آن بستگی دارد.



$$R = \rho \frac{L}{A}$$

ρ مقاومت ویژه رسانا است. که مقاومت قطعه ای از فلز است به طول یک متر و سطح مقطع یک متر مربع

$$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{L_2}{L_1} \times \frac{A_1}{A_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{L_2}{L_1} \times \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{L_2}{L_1} \times \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \frac{L_2}{L_1} \times \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \quad \text{برای یک فلز}$$

نکته:

اگر یک سیم را از یک حدیث عبور داده آنرا بکشیم یا سیم را بچند لا کنیم حجم و در نتیجه حجم آن تغییر نمی کند پس:

$$V_1 = V_2 \quad L_1 A_1 = L_2 A_2 \Rightarrow \frac{L_2}{L_1} = \frac{A_1}{A_2}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^2 = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^4$$

مثال ۳-۱۲ =

ابعاد یک کلب مستطیل فلزی ۴، ۲ و ۱ سانتی متر است. این کلب مستطیل را می توان از هر حدی از دو وجه موازی آن در مدار قرار داد. نسبت بزرگترین مقاومت به کوچکترین مقاومت آن چند است؟

الف) ۴

ب) ۸

ج) ۱۶

د) ۲۴

مثال ۳-۱۳:

دو سرنکه از یک ماده ساخته شده اند، دارای طول مساوی اند. رسانای A سیمی با قطر ۱mm و رسانای B لوله ای توخالی با قطر خارجی ۲mm و قطر داخلی ۱mm است. $\frac{R_A}{R_B}$ کدام است؟

- الف) ۳ ب) ۱ ج) ۴ د) ۲

مثال ۳-۱۴:

یک کابل انتقال الکتریسیته به طول ۲۰۰ km و مقاومت (۱۰ m)، حامل جریان (A) ۳۰۰ است. اختلاف پتانسیل میان دو نقطه از این کابل به فاصله ۲۰۰ (m) چقدر است؟

- الف) ۳ ب) ۲ ج) ۲۰ د) ۱۰

مثال ۳-۱۵:

یک قطعه سیم رسانا را به دو قطعه مساوی تقسیم کرده و بر روی هم می‌تابانیم. مقاومت الکتریکی سیم چند برابر می‌شود؟

- الف) ۱ ب) ۲۵ ج) $\frac{1}{25}$ د) ۲۵

مثال ۳-۱۶:

جرم یک سیم مسی چهار برابر جرم سیم سی‌گبری است. اگر قطعه سیم اول نصف قطعه سیم دوم باشد، مقاومت الکتریکی آن چند برابر مقاومت الکتریکی سیم دوم است؟

- الف) ۶۴ ب) ۱۶ ج) ۸ د) ۴

اثر دما بر مقاومت رساناهای فلزی:

تجربه نشان می‌دهد با افزایش دما مقاومت ویژه و در نتیجه مقاومت رسانا افزایش می‌یابد. درصدی

که تغییر آن دما زیاد نباشد می‌توان نوشت:

$$\rho_2 = \rho_1 (1 + \alpha \Delta \theta) \Rightarrow \Delta \rho = \rho_1 \alpha \Delta \theta$$

$$R_2 = R_1 (1 + \alpha \Delta \theta) \Rightarrow \Delta R = R_1 \alpha \Delta \theta$$

که ضریب دمایی نامیده می شود که واحد آن در $^{\circ}\text{C}$ است $\frac{1}{k}$ است ولی مقدار آن بر حسب واحد های $\frac{1}{k}$ و $\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$ بیان است.

مثال ۳-۱۷:

مقاومت الکتریکی سیمی در دمای 25°C برابر $18\ \Omega$ و در دمای 55°C برابر $20\ \Omega$ است. درجه دمایی مقاومت الکتریکی سیم 21 اهم خواهد شد؟

- الف) 13.5 (ب) 28.5 (ج) 38.5 (د) 42.5

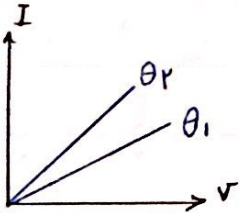
مثال ۳-۱۸:

سیمی به طول 12 m با مقاومت R داریم، چند درجه سلسیوس آنرا گرم کنیم تا 25% به مقاومت آن افزوده شود؟ (از تغییر طول سیم صرف نظر کنید). $\alpha = 4 \times 10^{-3} / ^{\circ}\text{C}$

الف) 62.5 (ب) 12.19 (ج) 12.14 (د) معلوم نیست

مثال ۳-۱۹:

غودار شدت جریان عبوری از یک فلز بر حسب اختلاف پتانسیل دو سر آن در دو دمای متفاوت به شکل زیر است. کدام یک از مقادیر های زیر درست است؟



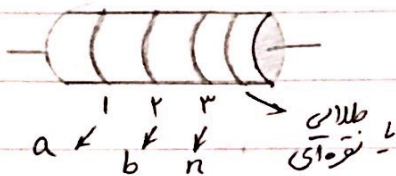
الف) $\theta_1 = \theta_2$ (ب) $\theta_1 > \theta_2$ (ج) $\theta_2 > \theta_1$ (د) هر یک از اینها ممکن است.

نکته:

ضریب دمایی مقاومت ویژه ی مواد مختلف متفاوت است. این ضریب برای رسانا فلزی مثبت و برای رساناهای غیر فلزی و نیمه رسانا ها منفی است. بجهت دلیل بالا تراش دما مقاومت رسانا ها بیشتر و نیمه رسانا ها کمتر می شود. (توجه کنید اگر تغییر آن دما زیاد نباشد مقاومت الکتریکی و مقاومت ویژه رسانا تابعی خطی از تغییر دما است).

کد گذاری مقاومتها:

معمولاً مقاومتها از کربن ساخته می شوند، به همین دلیل آنها را مقاومتهای کربنی می نامند. کارخانه های سازنده برای سهولت در تولید اندازه های خاصی را به عنوان استاندارد انتخاب کرده و می سازند و با حلقه های رنگی در روی آنها اندازه های مقاومتها را مشخص می کنند. به هر رنگ عدد خاصی نسبت می دهند. از بین چهار حلقه ای که روی مقاومتهاست حلقه ی چهارم بصورت تیره ای یا طلایی است و خطای اندازه گیری را نشان میدهد. در این حالت اندازه مقاومت بصورت زیر خواهد بود:

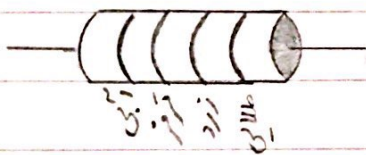


$$R = \overline{ab} \times 10^n$$

اولین رنگ ده گان عدد (a) - دومین رنگ یکان عدد (b)
سومین رنگ توان عدد 10

مثال ۳-۲۰:

اگر رنگ قرمز عدد ۲، رنگ زرد عدد ۴ و رنگ آبی عدد ۶ را نشان دهد، مقاومت زیر ترزیع به چند اهم را نشان میدهد؟



$$(ب) 2245$$

$$(الف) 224$$

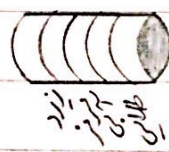
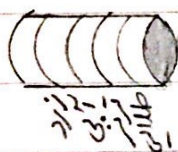
$$(د) 42 \times 10^4$$

$$(ب) 22 \times 10^4$$

مثال ۳-۲۱:

شخص چهار بیاری قرمز بنفش بنفش است و رنگ قرمز را بنفش درک می کند. این شخص در تخمین اندازه های کداسی از مقاومتها زیر بیشتر دچار خطای می شود؟ (بنفش عدد ۷ را نشان میدهد)

در هر سه مورد رنگ است.



(د)

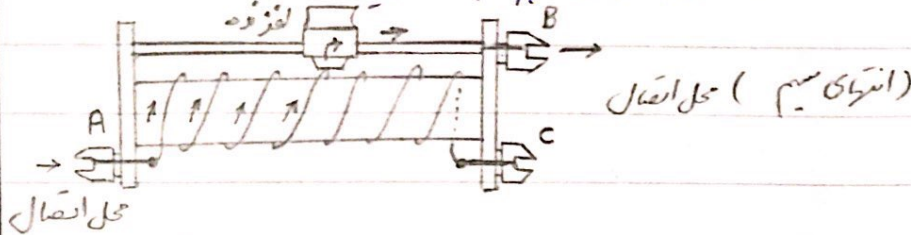
(ج)

(ب)

(الف)

روشها:

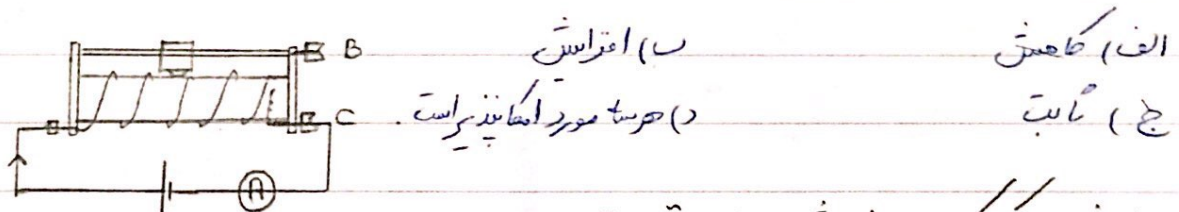
مقاومت متغیری است که برای کنترل جریان در مدار بکاری رود و هنگام بستن به مدار ابتدا آن را در بیشترین مقاومت ممکن قرار میدهند تا جریان بتدریج افزایش یابد تا باعث سوختن اجزای مدار نشود. در روشها با تغییر طول سیم، مقاومت آن طبق رابطه $R = \rho \frac{L}{A}$ تغییر می کند.



درجه مقاومت که به عنوان مقاومت متغیر استفاده می شود با برداشتن فنیش روی آن می توان مقاومت آن را تغییر داد.

مثال ۳-۲۲:

در شکل زیر اگر لغزنده بدست B حرکت کند عددی که آمپر سنسج نشان میدهد چه تغییری می کند؟



انرژی الکتریکی مصرف شده در یک مقاومت:

اگر در یک مقاومت درجهت جریان حرکت کنیم، پتانسیل کاهش خواهد یافت. بنابراین بارها هنگام عبور از یک مقاومت درجهت جریان انرژی پتانسیلی به اندازه $\Delta U = q\Delta V$ از دست میدهد.

این انرژی صرف افزایش انرژی جنبشی بارها شده و در اثر برخورد آنها با اتمها این انرژی به انرژی رسانا منتقل می شود و انرژی درونی رسانا افزایش می یابد. در نتیجه رسانا گرم می شود.

$$U = qV \quad \xrightarrow[\frac{q = It}{V = RI}]{} \quad U = RI^2t$$

$$P = \frac{U}{t} \Rightarrow P = RI^2 \xrightarrow{R = \frac{V}{I}} P = VI, \quad P = \frac{V^2}{R}$$

P : توان مصرف شده در مقاومت.

$$P = \frac{U}{t} \Rightarrow U = Pt$$

اگر P بر حسب وات و t بر حسب ثانیه باشد، واحد انرژی وات ثانیه یا ژول خواهد بود.

$$1 \text{ kWh} = 10^3 \times 3600 \text{ ws} = 3.6 \times 10^6 \text{ (ws)} \equiv J$$

مثال ۳-۲۳:

سیم نیوزی به مقاومت $2 \text{ }\Omega$ در اثر گرمای بیش از 215 J در ثانیه ذوب نمی شود. حداکثر جریانی

که می تواند تحمل کند چقدر است؟

الف) ۵ (ب) ۱۰ (ج) ۱۵ (د) ۲۵

مثال ۳-۲۴:

ولتاژ ثابتی در سربلک مقاومت $2 \text{ }\Omega$ اهمی برقرار است و در اثر عبور 20 کولن الکتریسیته 800 J گرما

در مقاومت تولید می شود. زمان عبور الکتریسیته چند ثانیه بوده است؟

الف) ۵ (ب) ۱۰ (ج) ۲۰ (د) ۲۵

مثال ۳-۲۵:

سیم مقاومت داری به طول 12 (m) به اختلاف پتانسیل 220 (V) وصل شده و در مدت 25 (s) در آن

2000 (J) گرما ایجاد شده است. چه طولی از همان سیم را انتخاب کنیم تا وقتی به اختلاف پتانسیل

220 (V) وصل می شود، همان شدت گرما را در مدت 15 (s) بدهد؟

الف) 20 (m) (ب) 7.2 (m) (ج) 18 (m) (د) 8 (m)

مثال ۴-۲۶:

بلک آب گرمکن الکتریکی در مدت 10 دقیقه دمای مقدار معینی آب را از 20°C تا 50°C افزایش

می دهد. اگر طول سیم گرمکن یاد شده نصف شود، در مدت 10 دقیقه دمای همان مقدار آب

را از آن ۳ به چند درجه سلسیوس می رساند؟

- الف) ۴۰ (ب) ۵۰ (ج) ۶۰ (د) ۷۰

مثال ۳-۲۷:

دو سر یک مقاومت الکتریکی به برق مستقیم (۷) ۴۰ وصل است. اگر در هر دقیقه ۵۰ کولن الکتریسیته از این مقاومت عبور کند، توان مصرفی مقاومت چند وات است؟

- الف) ۵۰ (ب) ۱۰۰ (ج) ۱۵۰۰ (د) ۳۰۰۰

مثال ۳-۲۸:

لامپ با مشخصات (۱۲۰) و (۳۲) را به منبع برق (۱۲) ۸ وصل می کنیم. اگر مقاومت الکتریکی لامپ ثابت بماند، توانش در این حالت چند وات می شود.

- الف) ۱۴ (ب) ۱۸ (ج) ۲۰ (د) ۲۴۰

مثال ۳-۲۹:

دو سر یک لامپ رشته ای به قطبهای یک باتری وصل است. مقاومت لامپ (۱۰) ۲ و توان مصرفی آن (۱۲۸) است. در هر ثانیه چه تعداد الکترون از قطب منفی باتری خارج می شوند؟ (ارتقاء انرژی در باتری و سیمهای اتصال صرفه نمی شود.)

- الف) 2×10^{18} (ب) 2×10^9 (ج) 5×10^{19} (د) 4×10^2

مثال ۳-۳۰:

اگر یک لامپ (۲۲۰) و (۲۰) به مدت ۹۰ دقیقه به اختلاف پتانسیل الکتریکی (۲۲۰) وصل باشد، چند kWh انرژی الکتریکی مصرف می کند؟

- الف) ۶/۲ (ب) ۳ (ج) ۳۰ (د) ۳۰۰

مثال ۳-۳۱:

لامپ با مشخصات اسمی «(۵۰)» و «(۲۲۰)» به برق شهر (۲۲۰) وصل و با جریان روشن

است. برای این منظور این را به صورت یک مدار مرکز هر یک از مدارهای وار و عیدری
است. (مدار ۲ در زیر می آید)

الف) ۲ ب) ۳ ج) ۴ د) ۵

فرمولهای مدار

از برای مدار به واسطه بار الکتریکی به دست آورده شده است. برای آنکه

اگر برای اتصال بار ۱ و ۲ لازم است که به پایداری مدار الکتریکی ۲ صورت گیرد. مدارها را به صورت

$$E = \frac{U}{I} \quad (1) \quad I = \frac{U}{E}$$

شکل ۲-۲

مدار الکتریکی ۱ و ۲ را به مدار الکتریکی ۳ به دست آورده است. مدارها را به صورت

مدار به واسطه مدار است.

الف) ۲ ب) ۳ ج) ۴ د) ۵

باری :

احتمالاً به واسطه بار الکتریکی به واسطه مدار الکتریکی ۳ به دست آورده است.

وقت باری را به مدار الکتریکی وصل می کنیم و در این صورت مدار الکتریکی ۳ در مدار الکتریکی ۳

به واسطه مدار الکتریکی ۳ در مدار الکتریکی ۳ در مدار الکتریکی ۳

فرمولهای مدار :

فرمولهای مدار	تلف شده در مدار الکتریکی	فرمولهای مدار	فرمولهای مدار
۱	E	I	$V = E - I R = R I$
از برای	$E I$	$I I$	$E I - I I = V I = R I$
تلف	$E I$	$I I$	$E I - I I = V I = R I$

$$V = \mathcal{E} - rI = RI \Rightarrow I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$$

تعریف دیر نیروی محرکه :

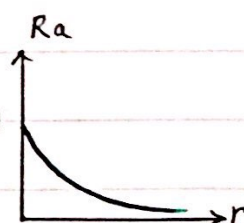
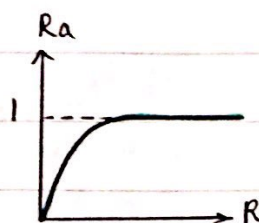
طبق رابطی $V = \mathcal{E} - rI$ می توان گفت نیروی محرکه بیشترین اختلاف پتانسیل در سیم ولدی باشد

بازده مولد:

نسبت توان مفید به توان تولیدی است.

$$Ra = \frac{P_{\text{مفید}}}{P_{\text{کل}}} = \frac{VI}{\mathcal{E}I} = \frac{V}{\mathcal{E}}$$

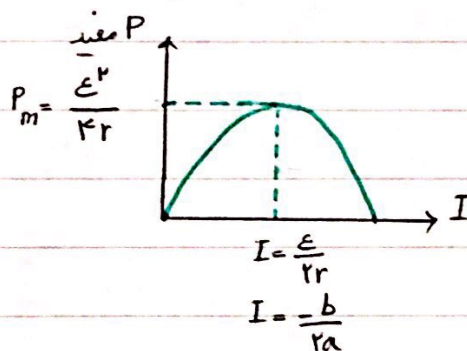
$$Ra = \frac{RI}{I(R+r)} = \frac{R}{R+r}$$



عنودار توان مفید بر حسب شدت جریان:

$$P = -rI^2 + \mathcal{E}I$$

$$y = ax^2 + bx + c$$



$$I = \frac{\mathcal{E}}{2r} \Rightarrow P = P_{\text{max}}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}, \quad \frac{V}{\mathcal{E}} = \frac{R}{R+r}$$

$$\Rightarrow r = R \Rightarrow P = P_{\text{max}}, \quad V = \frac{\mathcal{E}}{2}$$

عنودار توان مفید بر حسب مقاومت خارجی:

$$P = \mathcal{E}I - rI^2 = RI^2 = R \left(\frac{\mathcal{E}}{R+r} \right)^2$$

$$R=r \Rightarrow P = P_{\text{max}}$$

$$R \rightarrow \infty \Rightarrow P \rightarrow 0$$

$$R \rightarrow 0 \Rightarrow P \rightarrow 0$$

