

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



خزوه درس

الکتریسیت صنعتی

تدوین و گردآوری: مهدی جعفری تیده‌نویی

امام خمینی (ره):

شما خودتان جوان بانی هستید که می توانید همه کارها را انجام بدهید. محترمین مامی توانید در سطح بالا اختراع بکنند، بگترین مامی توانید در سطح بالا ابتکار بکنند به شرط این که اعتماد به نفس خودشان داشته باشند.

مقام معظم رهبری:

ما به علم احتیاج داریم، اما به پنجه کار آمد هم احتیاج داریم.
کار بدون علم، کم اثر است؛ علم بدون کار، بی اثر است.

فصل اول

الکتریسیت

کمیت: به هر چیز قابل اندازه گیری در فیزیک، کمیت می گویند.

انواع کمیت های فیزیکی از لحاظ محتوا:

- کمیت نرده ای (عددی - اسکالر): کمیتی که فقط دارای اندازه باشد (فقط با عدد بیان شود). مانند: جرم - طول - زمان.
- کمیت برداری: کمیتی که علاوه بر اندازه، دارای جهت نیز باشد. مانند: سرعت - شتاب - نیرو.

یکاهای

یکا (واحد): چیزی که نتایج حاصل از اندازه گیری ها را بتوان توسط آن مقایسه کرد.

انواع کمیت های فیزیکی از لحاظ شکل:

- کمیت اصلی: کمیتی که یکای آن به طور مستقل بیان شود. مانند: جرم - طول - زمان - دما. به یکاهای این کمیت ها نیز، یکاهای اصلی گویند.
- کمیت فرعی: کمیتی که یکای آن به طور مستقل بیان نشود. مانند: سرعت - شتاب - نیرو - فشار - توان. به یکاهای این کمیت ها نیز، یکاهای فرعی گویند.

نام کمیت	نماد کمیت	نام یکا	نماد یکا
جرم	m	کیلوگرم	kg
زمان	t	ثانیه	s
طول	l	متر	m
سرعت	v	متر بر ثانیه	$\frac{m}{s}$
شتاب	a	متر بر مجذور ثانیه	$\frac{m}{s^2}$
نیرو	F	نیوتن	N

بار الکتریکی

- بارهای هم نام همدیگر را دفع می کنند و نیروی بین آن ها از نوع دافعه است.
- بارهای غیر هم نام همدیگر را جذب می کنند و نیروی بین آن ها از نوع جاذبه است.

روش های باردار کردن اجسام

- **مالش:** در اثر مالش دو جسم با یکدیگر، الکترون از یکی به دیگری منتقل می شود. جسمی که الکترون می گیرد دارای بار منفی و جسمی که الکترون از دست می دهد دارای بار مثبت می شود.
- **تماس:** در اثر تماس میله باردار با یک کره رسانای بدون بار، کره دارای بار هم نام میله می شود.
- **القاء:** ایجاد بار در اجسام رسانا بدو تماس. در اثر نزدیک کردن میله باردار با یک کره رسانای بدون بار، پس از طی مراحل، کره دارای بار غیر هم نام میله می شود.

تقسیم بندی اجسام از لحاظ میزان رسانش الکتریکی

- **رسانا:** حامل های بار آزادانه در جسم حرکت می کنند مانند فلزات.
- **نارسانا:** حامل های بار عملاً در جسم حرکت نمی کنند مانند شیشه و پلاستیک.
- **نیم رسانا:** حالتی بین رسانا و نارسانا است مانند سلیسیم و ژرمانیوم.

یکی از کاربردهای نیم رسانا در ساخت ترانزیستورها می باشد.

برخلاف رساناها، در نیم رساناها با افزایش دما، مقاومت ویژه الکتریکی کاهش می یابد.

روش های افزایش رسانش الکتریکی در نیم رساناها:

- افزایش دمای نیم رسانا
- آلایش نیم رسانا (اضافه کردن ناخالصی)

انواع نیم رسانا

- ذاتی: نیم رسانای بدون ناخالصی
- غیرذاتی: نیم رسانای ناخالص

انواع آلایش نیم رساناها

- نوع n: اتم ناخالصی، یک الکترون ظرفیت بیش تر از اتم های نیم رسانای ذاتی داشته باشد. در نوع n: اضافه کردن اتم ناخالصی پنج ظرفیتی As به چهار ظرفیتی Si را می توان مثال زد. (به As ناخالصی دهنده می گویند).

- نوع p: اتم ناخالصی، یک الکترون ظرفیت کم تر از اتم های نیم رسانای ذاتی داشته باشد. در نوع p: اضافه کردن اتم ناخالصی سه ظرفیتی Al به چهار ظرفیتی Si را می توان مثال زد. (به Al ناخالصی پذیرنده می گویند).

میدان الکتریکی

اگر بار مثبت آزمون در ناحیه ای از فضا که نیروی $\vec{F}$ بر آن وارد می شود، قرار داده شود، میدان الکتریکی $\vec{E}$ در این نقطه عبارتست از:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_o}$$

- به عبارتی دیگر، به فضای اطراف یک ذره باردار q که در آن بر بار آزمون نیروی $\vec{F}$ وارد شود، میدان الکتریکی گویند.
- نیروی وارد بر بار مثبت، در جهت میدان الکتریکی و نیروی وارد بر بار منفی، در خلاف جهت میدان الکتریکی است.

ویژگی های خطوط میدان در اطراف یک جسم باردار

- خطوط میدان در هر نقطه، جهت میدان را در آن نقطه نشان می دهد.
- میدان در هر نقطه، برداری مماس بر خط میدان گذرنده از آن نقطه است.
- هر چه میدان قوی تر باشد، خطوط میدان به هم نزدیک تر هستند.
- از هر نقطه فقط یک خط میدان می گذرد (خطوط میدان همدیگر را قطع نمی کنند).
- خطوط میدان از بار مثبت خارج و به بار منفی وارد می شوند.

تمرین - با توجه به موارد فوق، خطوط میدان الکتریکی را در موارد زیر رسم کنید.

الف- مجموعه دو بار $+q$ و $-q$

ب- مجموعه دو بار $+q$ و $+q$

دوقطبی الکتریکی: دو ذره باردار مساوی غیر همنام که در فاصله ای نزدیک هم قرار گیرند، تشکیل یک دو قطبی الکتریکی می دهند.

تعادل الکترواستاتیکی

- در حالت تعادل الکترواستاتیکی، میدان $\vec{E}$ در داخل رسانا صفر است. این بدان معنا است که بار الکتریکی در خارج سطح رسانا قرار دارد.
- توزیع بار با تقارن کروی: یعنی چگالی بار (ρ)، در هر نقطه فقط به فاصله آن نقطه تا مرکز کره بستگی دارد نه به راستا.
- کره باردار یکنواخت حالت خاصی از توزیع بار با تقارن کروی است.

پتانسیل الکتریکی

میدان الکتریکی اطراف یک میله باردار را با استفاده از یک کمیت نرده‌ای مانند پتانسیل الکتریکی (V) نیز می‌توان توصیف کرد. برای یافتن اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه A و B در میدان الکتریکی، بار آزمون q_0 را از A تا B به گونه‌ای حرکت می‌دهیم که همیشه در حال تعادل باشد. با محاسبه کار (W_{AB}) داریم:

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0}$$

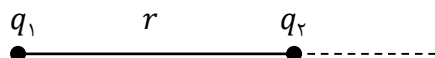
- معمولاً نقطه A در فاصله زیادی از تمام بارها انتخاب می‌شود و V_A در این فاصله به‌طور اختیاری صفر فرض می‌شود.

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} \Rightarrow V_B - 0 = \frac{W_{AB}}{q_0} \Rightarrow V = \frac{W}{q_0}$$

انرژی پتانسیل الکتریکی

انرژی پتانسیل الکتریکی مجموعه‌ای از بارهای نقطه‌ای را به‌صورت کار لازم برای گردآوری این بارها از فاصله بی‌نهایت تعریف می‌کنیم.

طبق شکل دو ذره باردار q_1 و q_2 به فاصله r از یکدیگر واقعند.



خازن

خازن‌ها وسایلی بسیار سودمند هستند که ایجاد میدان الکتریکی، ذخیره انرژی، شتاب دادن به الکترون‌ها از طریق تخلیه در سنکروترون‌ها، کاهش افت و خیزهای ولتاژ در منابع تغذیه الکترونیکی، تولید یا آشکارسازی نوسان‌های الکترومغناطیسی در بسامدهای رادیویی و بسیاری از موارد دیگر، از جمله کاربردهای خازن می‌باشند.

ظرفیت خازن

در خازن‌ها رابطه زیر برقرار است:

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

- C : ظرفیت خازن می‌باشد که یکای آن کولن بر ولت است. برای معرفی ظرفیت خازن از یکای خاص به نام فاراد (F) استفاده می‌شود.
- q : بزرگی بار روی هر یک از صفحات خازن است.
- V : اختلاف پتانسیل میان صفحات است.

اتصال خازن‌ها

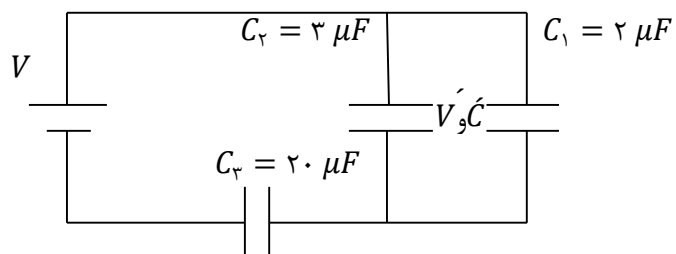
اتصال سری: در این اتصال، رابطه‌های زیر برقرار است:

$$\begin{aligned} q &= q_1 = q_2 \\ V &= V_1 + V_2 \Rightarrow \frac{q}{C} = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} \Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \\ C &= \frac{q}{V} \Rightarrow V = \frac{q}{C} \end{aligned}$$

اتصال موازی: در این اتصال، رابطه‌های زیر برقرار است:

$$\begin{aligned} V &= V_1 = V_2 \\ q &= q_1 + q_2 \Rightarrow CV = C_1 V_1 + C_2 V_2 = C_1 V + C_2 V \Rightarrow C = C_1 + C_2 \\ C &= \frac{q}{V} \Rightarrow q = CV \end{aligned}$$

مثال- اگر بار الکتریکی خازن C_1 برابر $800 \mu C$ باشد، ولتاژ دو سر مدار را به دست آورید.

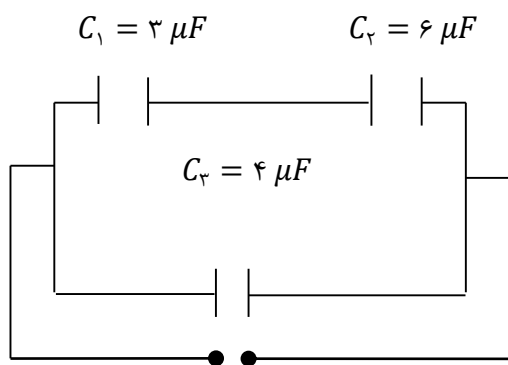


تمرین- با توجه به شکل تعیین کنید:

الف- ظرفیت معادل مجموعه خازن‌ها

ب- بار ذخیره شده در خازن C_3

ج- ولتاژ دو سر خازن C_1 و C_2



فصل دوم

جریان و چگالی جریان

الکترون‌های آزاد یک رسانای فلزی منزوی (قسمتی از طول یک سیم) در حالت‌های زیر رفتارهای متفاوتی دارند:

- در عدم حضور میدان الکتریکی: حرکت کاتوره‌ای دارند و آهنگ بار خالص عبوری صفر است.
- در حضور میدان الکتریکی: به الکترون‌ها در خلاف جهت میدان، نیرو وارد می‌شود و شارش بارها، جریان i را به همراه دارد.

$$i = \frac{q}{t}$$

اگر آهنگ شارش بار، ثابت نباشد:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

چگالی جریان

چگالی جریان که با نماد $\vec{j}$ نمایش داده می‌شود یک کمیت میکروسکوپی برداری است که سمت‌گیری آن در جهت حامل بار مثبت است.

$$\vec{j} = \frac{i}{A} \Rightarrow i = j A$$

رابطه کلی میان $\vec{j}$ و کمیت نرده‌ای i برای سطح خاصی از رسانا، رابطه‌ای است که در آن i معرف شار بردار $\vec{j}$ روی همان سطح است.

$$i = \int \vec{j} \cdot d\vec{S}$$

سرعت سوق (v_d)

مثال - سرعت سوق حامل‌های بار در رسانا را با استفاده از چگالی جریان به دست آورید.

تعداد الکترون‌های رسانی که با سرعت ثابت در یک سیم فرضی به طول ℓ حرکت می‌کنند عبارت است از:

$$N = n A \ell$$

- n : تعداد الکترون‌های رسانی در واحد حجم

- $A\ell$: حجم سیم

$$q = N e = (n A \ell) e$$

$$v_d = \frac{\ell}{t} \Rightarrow t = \frac{\ell}{v_d}$$

$$i = \frac{q}{t} = \frac{n A \ell e}{\frac{\ell}{v_d}} = n A e v_d$$

$$i = j A \Rightarrow n A e v_d = j A \Rightarrow v_d = \frac{j}{n e}$$

مقاومت و مقاومت ویژه

- V ، i و R کمیت‌های ماکروسکوپی هستند که برای یک جسم خاص یا یک ناحیه گسترده به کار می‌روند. رابطه بین این کمیت‌ها عبارت است از:

$$R = \frac{V}{i}$$

- $\vec{E}$ ، $\vec{j}$ و ρ کمیت‌های میکروسکوپی هستند که در هر نقطه از جسم مقادیری دارند. رابطه بین این کمیت‌ها عبارت است از:

$$\rho = \frac{\vec{E}}{\vec{j}}$$

به R ، مقاومت الکتریکی و به ρ ، مقاومت ویژه الکتریکی گویند.

$$\rho = \frac{E}{j} = \frac{\frac{V}{\ell}}{\frac{i}{A}} = \frac{V A}{i \ell} = R \frac{A}{\ell} \Rightarrow R = \rho \frac{\ell}{A}$$

انتقال انرژی در مدار الکتریکی

حرکت الکترون‌ها در داخل مقاومت، شباهت زیادی به حرکت سنگ در داخل آب دارد. الکترون‌ها با سرعت سوق ثابت (v_d) حرکت می‌کنند و از این‌رو انرژی جنبشی آن‌ها افزایش نمی‌یابد. انرژی پتانسیل الکتریکی تلف‌شده به انرژی گرمایی در مقاومت تبدیل می‌شود. در مقیاس میکروسکوپی، این موضوع را می‌توان چنین توجیه کرد که برخوردهای میان الکترون‌ها و شبکه، دامنه ارتعاشات گرمایی شبکه را افزایش می‌دهد.

$$dU = V dq = V(i dt)$$

$$P = \frac{dU}{dt} = \frac{V(i dt)}{dt} = Vi$$

با استفاده از رابطه $R = \frac{V}{i}$ ، رابطه‌های دیگر توان به‌دست می‌آید:

$$P = Vi = (Ri)i = Ri^2$$

$$P = Vi = V \left(\frac{V}{R} \right) = \frac{V^2}{R}$$

مدار تک حلقه

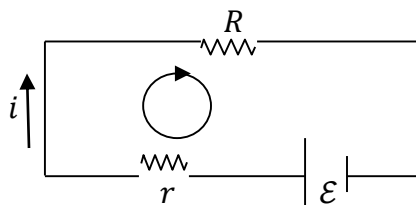
نیروی محرکه الکتریکی ($\mathcal{E}$)

به وسایل تولید ولتاژ بین دو سر مدار، منبع نیروی محرکه الکتریکی گویند.

محاسبه جریان

با استفاده از شکل مدار تک حلقه داریم:

- ۱- از یک نقطه شروع کرده، پتانسیل آن نقطه و اختلاف پتانسیل یا افت ولتاژ مربوط به هر عنصر را نوشته و به همان نقطه می‌رسیم.
- ۲- یک جهت فرضی برای جریان و یک جهت نیز برای حرکت در مدار در نظر می‌گیریم.
- ۳- هر گاه مسیر انتخابی، در جهت جریان از مقاومت بگذرد، افت ولتاژ در مقاومت عبارت است از: $-Ri$ یا $-ri$
- ۴- هر گاه مسیر انتخابی، در خلاف جهت جریان از مقاومت بگذرد، افت ولتاژ در مقاومت عبارت است از: $+Ri$ یا $+ri$
- ۵- در مولد، اگر جهت مسیر انتخابی از پایانه منفی به پایانه مثبت باشد، داریم: $+\mathcal{E}$ (تعیین علامت $\mathcal{E}$ مستقل از جهت جریان است).
- ۶- در مولد، اگر جهت مسیر انتخابی از پایانه مثبت به پایانه منفی باشد، داریم: $-\mathcal{E}$



شکل ۷-۱- یک مدار تک حلقه

$$V_a - Ri + \mathcal{E} - ri = V_a \Rightarrow -i(R + r) = -\mathcal{E} \Rightarrow i = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$$

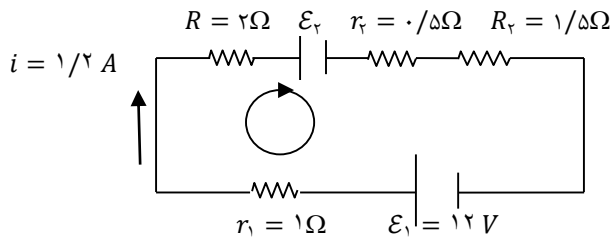
• اگر علامت جریان، منفی به‌دست آید، فقط جهت جریان را در مدار معکوس می‌نماییم.

• در حالت کلی رابطه زیر برقرار است:

$$i = \frac{\sum \mathcal{E}}{\sum R + \sum r}$$

$\sum \mathcal{E}$ به معنی جمع جبری نیروهای محرکه مدار می‌باشد.

مثال - در مدار تک حلقه مقابل، $\mathcal{E}_r$ را محاسبه کنید.



اتصال مقاومتها

اتصال سری: در این اتصال، رابطه‌های زیر برقرار است:

$$i = i_1 = i_r$$

$$V = V_1 + V_r \quad \Rightarrow \quad Ri = R_1 i_1 + R_r i_r = R_1 i + R_r i \Rightarrow R = R_1 + R_r$$

$$R = \frac{V}{i} \Rightarrow V = Ri$$

اتصال موازی: در این اتصال، رابطه‌های زیر برقرار است:

$$V = V_1 = V_r$$

$$i = i_1 + i_r$$

$$\Rightarrow \frac{V}{R} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_r}{R_r} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_r} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_r} \Rightarrow R = \frac{R_1 R_r}{R_1 + R_r}$$

$$R = \frac{V}{i} \Rightarrow i = \frac{V}{R}$$

قوانین کیرشهف

- **قانون جریان‌ها (KCL):** این قانون که به قضیه گره نیز مشهور است بیان می‌دارد که جمع جبری جریان‌ها در هر گره باید برابر صفر باشد. به عبارتی دیگر، مجموع جریان‌های ورودی به هر گره برابر است با مجموع جریان‌های خروجی از آن.

- **قانون ولتاژها (KVL):** در هر حلقه یا مدار بسته، مجموع جبری اختلاف پتانسیل‌ها برابر صفر است.

مدارهای RC

مدارهایی که شامل مقاومت R و ظرفیت خازنی C باشند.

افزایش انرژی ذخیره شده در خازن + انرژی گرمایی ظاهر شده در مقاومت = کار انجام شده توسط منبع نیروی محرکه

مثال - در مدار RC مقابل، بار ذخیره شده در خازن را محاسبه کنید.

