۱- **کمیت‌های فیزیکی**

کمیت‌های نرده‌ای : کمیت‌هایی هستند که برای مشخص شدن آن‌ها بیان یک عدد که اندازه یا مقدار آن کمیت می‌باشد، با یکای معین کافی است.

کمیت‌هایی مثل طول ، مساحت ، حجم ، جرم ، زمان ، چگالی و دما و جریان الکتریکی نرده‌ای هستند.

کمیت‌های برداری : کمیت‌هایی هستند که برای مشخص شدن آن‌ها بیان یک عدد با یکای معین کافی نیست و باید راستا و سوی این کمیت‌ها مشخص شود. به عبارت دیگر این کمیت‌ها دارای اندازه و جهت می‌باشند.

کمیت‌هایی مثل جابه‌جایی ، سرعت و نیرو برداری هستند.

۲- **بردارهای برابر**

دو بردار در صورتی با هم برابرند که دارای اندازه ، راستا و سوی یکسانی باشند.

بردارهای قرینه

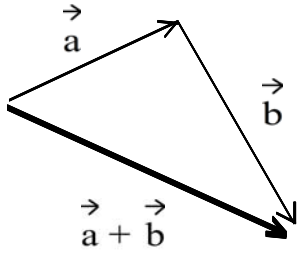
دو بردار در صورتی قرینه‌ی یک‌دیگرند که دارای اندازه و راستا یکسانی باشند و سوی آن‌ها متفاوت است.

زاویه یک بردار

زاویه‌ای است که این بردار در جهت مثلثاتی با راستای مثبت محور طول‌ها (x ها) می‌سازد.

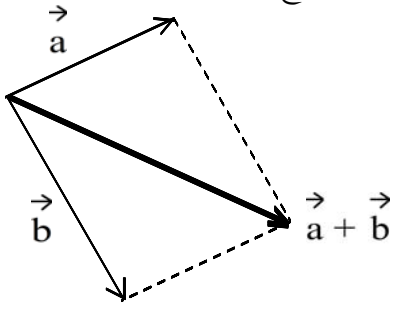
۳- **جمع دو بردار با استفاده از روش مثلث**

در این روش برای محاسبه‌ی $\vec{a}+\vec{b}$ ، مطابق شکل زیر ابتدای بردار $\vec{b}$ را روی انتهای بردار $\vec{a}$ قرار می‌دهیم. برداری که ابتدای آن روی ابتدای بردار $\vec{a}$ و انتهای آن روی انتهای بردار $\vec{b}$ قرار دارد برآیند دو بردار است.

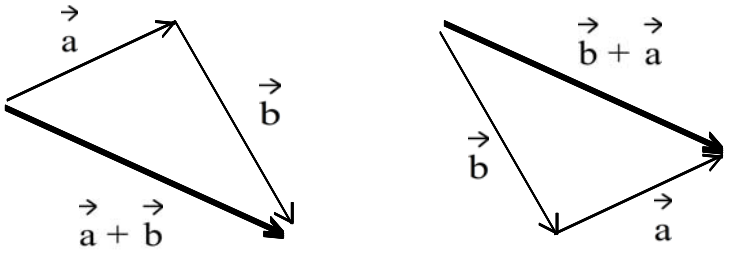


۴- **جمع دو بردار با استفاده از روش متوازی‌الاضلاع**

در این روش برای محاسبه‌ی $\vec{a}+\vec{b}$ ، مطابق شکل زیر ابتدای بردارهای $\vec{a}$ و $\vec{b}$ را روی هم قرار می‌دهیم. متوازی‌الاضلاعی رسم می‌کنیم که بردارها دو ضلع مجاور آن را تشکیل می‌دهند. برداری که ابتدای آن روی ابتدای بردارها و انتهای آن روی راس مقابل متوازی‌الاضلاع قرار دارد برآیند دو بردار است.



۵- **نمایش خاصیت جابه‌جایی جمع برداری (با استفاده از روش مثلث)**



$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{b} + \vec{a}$$

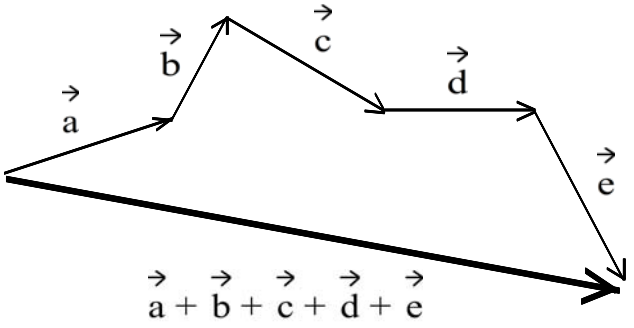
۶- **نمایش بزرگی (اندازه‌ی) بردار**

برای نمایش بزرگی (اندازه‌ی) بردار $\vec{X}$ از نماد $|\vec{X}|$ یا X استفاده می‌شود.

توجه : برای نمایش بزرگی (اندازه‌ی) بردار $\vec{X} + \vec{Y}$ باید از نماد $|\vec{X} + \vec{Y}|$ استفاده کنیم و نمی‌توانیم از نماد $X + Y$ استفاده کنیم. زیرا نماد $X + Y$ به معنای مجموع بزرگی‌های (اندازه‌های) بردارهای $\vec{X}$ و $\vec{Y}$ است و به عبارت دیگر $X + Y$ برابر $|\vec{X}| + |\vec{Y}|$ است.

۷- **جمع چند بردار**

برای جمع کردن چند بردار مانند بردارهای $\vec{a}$ ، $\vec{b}$ ، $\vec{c}$ ، $\vec{d}$ و $\vec{e}$ می‌توانیم به این ترتیب عمل کنیم که مطابق شکل زیر از انتهای بردار اول، برداری مساوی بردار دوم و از انتهای بردار دوم، برداری مساوی بردار سوم و همین‌طور تا آخر . . . رسم می‌کنیم. مطابق شکل زیر برداری که ابتدای آن روی ابتدای بردار اول و انتهای آن روی انتهای بردار آخر قرار دارد برآیند بردارها است.



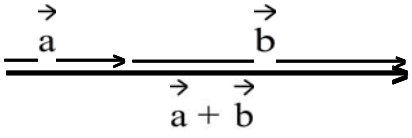
۸- **بردارهای هم‌راستا و هم‌سو :**

اگر بردارهای $\vec{a}$ و $\vec{b}$ هم‌راستا و هم‌سو باشند، برای بزرگی (اندازه‌ی) جمع دو بردار داریم :

$$|\vec{a} + \vec{b}| = |\vec{a}| + |\vec{b}| \quad \text{یا} \quad |\vec{a} + \vec{b}| = a + b$$

یعنی بزرگی (اندازه‌ی) جمع دو بردار هم‌راستا و هم‌سو برابر جمع بزرگی‌های (اندازه‌های) دو بردار است.

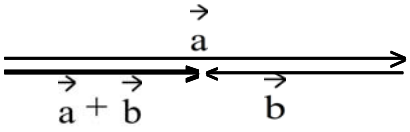
در این حالت جمع دو بردار هم‌سو است.



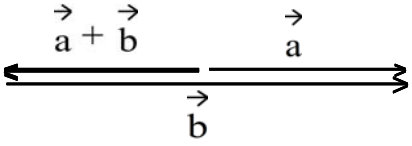
۹- بردارهای هم‌راستا و ناهم‌سو :

اگر بردارهای $\vec{a}$ و $\vec{b}$ هم‌راستا و ناهم‌سو باشند، برای بزرگی (اندازه‌ی) جمع دو بردار داریم :

یعنی بزرگی (اندازه‌ی) جمع دو بردار هم‌راستا و ناهم‌سو برابر قدرمطلق تفریق بزرگی‌های (اندازه‌های) دو بردار است.
در این حالت جمع دو بردار با برداری که بزرگی‌اش بزرگ‌تر است، هم‌سو خواهد بود.



$$|\vec{a}+\vec{b}| = a - b$$

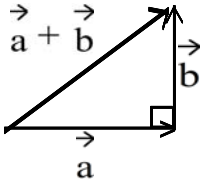


$$|\vec{a}+\vec{b}| = b - a$$

۱۰- بردارهای عمود بر هم :

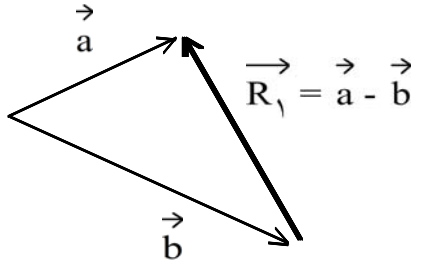
اگر بردارهای $\vec{a}$ و $\vec{b}$ بر هم عمود باشند، برای بزرگی (اندازه‌ی) جمع دو بردار داریم :

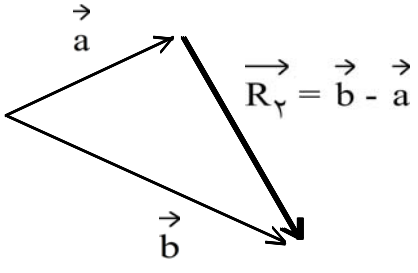
$$|\vec{a}+\vec{b}| = \sqrt{|\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2} \quad \text{یا} \quad |\vec{a}+\vec{b}| = \sqrt{a^2 + b^2}$$



۱۱- تفریق دو بردار

برای به دست آوردن تفریق دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ مطابق شکل‌های زیر ابتدای بردارها را روی هم قرار می‌دهیم.
برداری که ابتدای آن روی انتهای بردار $\vec{b}$ و انتهای آن روی انتهای بردار $\vec{a}$ است برابر بردار $\vec{a} - \vec{b}$ است.





روش مثلث برای جمع دو بردار $\Rightarrow$

$$\begin{cases} \vec{b} + \overrightarrow{R_1} = \vec{a} \Rightarrow \overrightarrow{R_1} = \vec{a} - \vec{b} \\ \vec{a} + \overrightarrow{R_2} = \vec{b} \Rightarrow \overrightarrow{R_2} = \vec{b} - \vec{a} \end{cases}$$

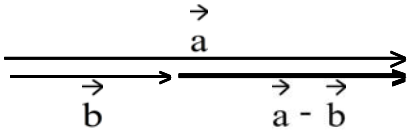
با توجه به شکل‌های بالا نتیجه گرفته می‌شود تفریق دو بردار خاصیت جابه‌جایی ندارد. یعنی : $(\vec{a} - \vec{b} \neq \vec{b} - \vec{a})$
هم‌چنین با توجه به شکل‌های بالا نتیجه گرفته می‌شود بردارهای $\vec{a} - \vec{b}$ و $\vec{b} - \vec{a}$ قرینه‌اند و $|\vec{a} - \vec{b}| = |\vec{b} - \vec{a}|$.

۱۲- **بردارهای هم‌راستا و هم‌سو :**

اگر بردارهای $\vec{a}$ و $\vec{b}$ هم‌راستا و هم‌سو باشند، برای بزرگی (اندازه‌ی) تفریق دو بردار داریم :

$$|\vec{a}-\vec{b}| = |\vec{b}-\vec{a}| = \big||\vec{a}|-|\vec{b}|\big| \quad \text{یا} \quad |\vec{a}-\vec{b}| = |\vec{b}-\vec{a}| = |a-b|$$

یعنی بزرگی (اندازه‌ی) تفریق دو بردار هم‌راستا و هم‌سو برابر قدرمطلق تفریق بزرگی‌های (اندازه‌های) دو بردار است.

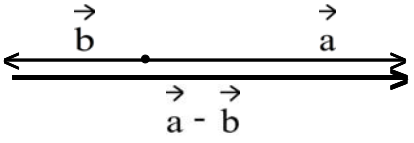


۱۳- **بردارهای هم‌راستا و ناهم‌سو :**

اگر بردارهای $\vec{a}$ و $\vec{b}$ هم‌راستا و ناهم‌سو باشند، برای بزرگی (اندازه‌ی) تفریق دو بردار داریم :

$$|\vec{a}-\vec{b}| = |\vec{b}-\vec{a}| = |\vec{a}|+|\vec{b}| \quad \text{یا} \quad |\vec{a}-\vec{b}| = |\vec{b}-\vec{a}| = a+b$$

یعنی بزرگی (اندازه‌ی) تفریق دو بردار هم‌راستا و ناهم‌سو برابر جمع بزرگی‌های (اندازه‌های) دو بردار است.

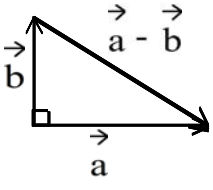


$$|\vec{a}-\vec{b}| = a+b$$

۱۴- **بردارهای عمود بر هم :**

اگر بردارهای $\vec{a}$ و $\vec{b}$ بر هم عمود باشند، برای بزرگی (اندازه‌ی) تفریق دو بردار داریم :

$$|\vec{a}-\vec{b}| = |\vec{b}-\vec{a}| = \sqrt{|\vec{a}|^2+|\vec{b}|^2} \quad \text{یا} \quad |\vec{a}-\vec{b}| = |\vec{b}-\vec{a}| = \sqrt{a^2+b^2}$$



۱۵- **بیشینه و کمینه‌ی بزرگی (اندازه‌ی) جمع دو بردار**

برآیند دو بردار وقتی بیش‌ترین بزرگی (اندازه) را دارد که بردارها هم‌راستا و هم‌سو باشند. بنابراین بیشینه‌ی بزرگی (اندازه‌ی) جمع دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ برابر $a+b$ است.

هم‌چنین برآیند دو بردار وقتی کم‌ترین بزرگی (اندازه) را دارد که بردارها هم‌راستا و ناهم‌سو باشند. بنابراین کمینه‌ی بزرگی (اندازه‌ی) جمع دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ برابر $|a-b|$ است.

یعنی برای بردارهای $\vec{a}$ و $\vec{b}$ همواره داریم :

$$|a-b| \leqslant |\vec{a}+\vec{b}| \leqslant a+b$$

۱۶- **بزرگی اندازه‌ی برآیند دو بردار در حالت کلی**

بزرگی برآیند دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ که زاویه‌ی بین آن‌ها θ است از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$\vec{R} = \vec{a} + \vec{b} \Rightarrow R = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab\cos\theta}$$

۱۷- **بزرگی اندازه‌ی تفریق دو بردار در حالت کلی**

بزرگی تفریق دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ که زاویه‌ی بین آن‌ها θ است از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$\vec{r} = \vec{a} - \vec{b} \Rightarrow r = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta}$$

۱۸- **بزرگی اندازه‌ی برآیند دو بردار هم‌اندازه**

بزرگی برآیند دو بردار $\vec{x}$ و $\vec{y}$ که زاویه‌ی بین آن‌ها θ است و اندازه‌ی یکسان a دارند، به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\vec{R} = \vec{x} + \vec{y} \Rightarrow R = \sqrt{x^2 + y^2 + 2xy\cos\theta} = \sqrt{a^2 + a^2 + 2aa\cos\theta}$$

$$\Rightarrow R = \sqrt{2a^2 + 2a^2\cos\theta} = a\sqrt{2(1 + \cos\theta)} = a\sqrt{2\left(2\cos^2\frac{\theta}{2}\right)}$$

$$\Rightarrow R = 2a\cos\frac{\theta}{2}$$

۱۹- **بزرگی اندازه‌ی تفریق دو بردار هم‌اندازه**

بزرگی تفریق دو بردار $\vec{x}$ و $\vec{y}$ که زاویه‌ی بین آن‌ها θ است و اندازه‌ی یکسان a دارند، به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\vec{r} = \vec{x} - \vec{y} \Rightarrow r = \sqrt{x^2 + y^2 - 2xy\cos\theta} = \sqrt{a^2 + a^2 - 2aa\cos\theta}$$

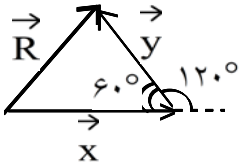
$$\Rightarrow r = \sqrt{2a^2 - 2a^2\cos\theta} = a\sqrt{2(1 - \cos\theta)} = a\sqrt{2\left(2\sin^2\frac{\theta}{2}\right)}$$

$$\Rightarrow r = 2a\sin\frac{\theta}{2}$$

۲۰- نکته: اندازه‌ی برآیند دو بردار هم‌اندازه با a که زاویه‌ی بین آن‌ها ۹۰ درجه است برابر $\sqrt{2}a$ است.

$$R = 2a\cos\frac{\theta}{2},\ \theta = 90^\circ \Rightarrow R = 2a \times \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow R = \sqrt{2}a$$

۲۱- نکته: اندازه‌ی برآیند دو بردار هم‌اندازه با a که زاویه‌ی بین آن‌ها ۱۲۰ درجه است برابر a (هم‌اندازه با بردارها) است.



۲۲- نکته: اندازه‌ی برآیند دو بردار هم‌اندازه با a که زاویه‌ی بین آن‌ها ۶۰ درجه است برابر $\sqrt{۳}a$ است.

$$R = ۲a\cos\frac{\theta}{۲}\ ,\ \theta = ۶۰^\circ \Rightarrow R = ۲a \times \frac{\sqrt{۳}}{۲} = \sqrt{۳}a$$

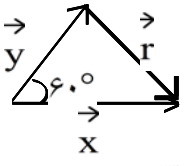
۲۳- نکته: اندازه‌ی تفریق دو بردار هم‌اندازه با a که زاویه‌ی بین آن‌ها ۹۰ درجه است برابر $\sqrt{۲}a$ است.

$$R = ۲a\sin\frac{\theta}{۲}\ ,\ \theta = ۹۰^\circ \Rightarrow R = ۲a \times \frac{\sqrt{۲}}{۲} = \sqrt{۲}a$$

۲۴- نکته: اندازه‌ی تفریق دو بردار هم‌اندازه با a که زاویه‌ی بین آن‌ها ۱۲۰ درجه است برابر $\sqrt{۳}a$ است.

$$R = ۲a\sin\frac{\theta}{۲}\ ,\ \theta = ۱۲۰^\circ \Rightarrow R = ۲a \times \frac{\sqrt{۳}}{۲} = \sqrt{۳}a$$

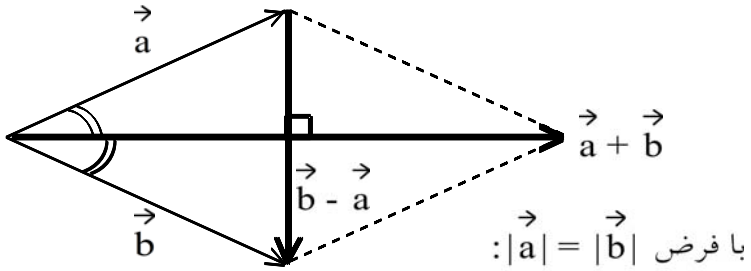
۲۵- نکته: اندازه‌ی تفریق دو بردار هم‌اندازه با a که زاویه‌ی بین آن‌ها ۶۰ درجه است برابر a (هم‌اندازه با بردارها) است.



$$R = ۲a\sin\frac{\theta}{۲}\ ,\ \theta = ۶۰^\circ \Rightarrow R = ۲a \times \frac{۱}{۲} = a$$

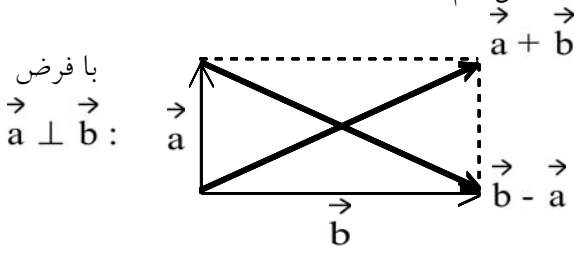
۲۶- **خواص جمع و تفریق بردارهای هم‌اندازه**

با توجه به شکل زیر جمع بردارهای هم‌اندازه در راستای نیم‌ساز بردارها قرار می‌گیرد و جمع و تفریق بردارهای هم‌اندازه بر هم عمود هستند. زیرا متوازی‌الاضلاعی که بردارها با یکدیگر می‌سازند لوزی است و قطرهای لوزی بر هم عمود و نیم‌ساز زاویه‌های لوزی هستند.



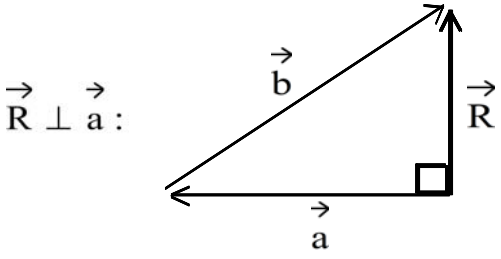
۲۷- **خواص جمع و تفریق بردارهای عمود بر هم**

با توجه به شکل زیر جمع و تفریق بردارهای عمود بر هم، هم‌اندازه هستند. زیرا متوازی‌الاضلاعی که بردارها تشکیل می‌دهند مستطیل است و قطرهای مستطیل هم‌اندازه‌اند.



۲۸- **عمود بودن برآیند بردارها بر یکی از بردارها**

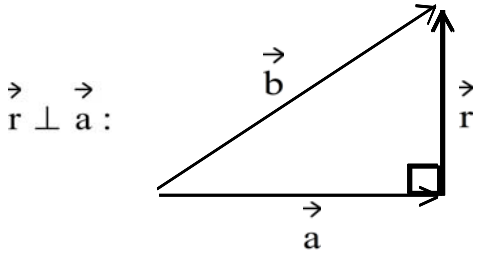
اگر برآیند دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ را $\vec{R}$ فرض کنیم و $\vec{R}$ بر بردار $\vec{a}$ عمود باشد، با توجه به شکل زیر داریم :



$$\Rightarrow R = \sqrt{b^2 - a^2}$$

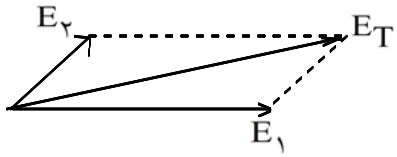
۲۹- **عمود بودن تفریق بردارها بر یکی از بردارها**

اگر تفریق دو بردار $\vec{a}$ و $\vec{b}$ را $\vec{r}$ فرض کنیم و $\vec{r}$ بر بردار $\vec{a}$ عمود باشد، با توجه به شکل زیر داریم :



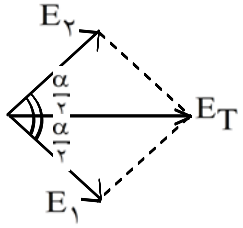
$$\Rightarrow r = \sqrt{b^2 - a^2}$$

۳۰- **برآیند نیروها و میدان‌های الکتریکی**



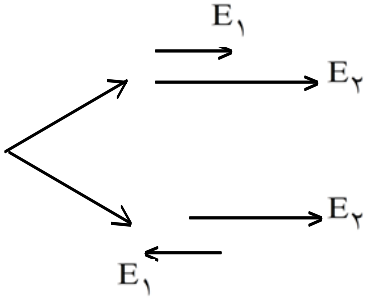
برآیند دو میدان الکتریکی $E_۱$ و $E_۱$ که با هم زاویه‌ی α می‌سازند $\leftarrow E_T = \sqrt{E_۱^۲ + E_۲^۲ + ۲E_۱E_۲\cos\alpha}$

اگر بزرگی $E_۱$ و $E_۲$ برابر باشد $\leftarrow E_T = ۲E_۱\cos\frac{\alpha}{۲}$



۳۱- اگر بزرگی $E_۱$ و $E_۲$ مساوی نباشد، میدان الکتریکی برآیند نزدیک به میدان بزرگ‌تر می‌شود و اگر بزرگی $E_۱$ و $E_۲$ مساوی باشد، میدان الکتریکی برآیند نیمساز زاویه‌ی بین آن‌ها می‌باشد.

اگر میدان‌های الکتریکی هم‌امتداد باشند. $\Rightarrow \vec{E_T} = \vec{E_۱} + \vec{E_۲}$



$E_T = |E_۱| + |E_۲|$

$E_T = |E_۲| - |E_۱|$

۱- بار الکتریکی

بار الکتریکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ماده است. همان‌طور که ماده‌ی بدون جرم بی‌معنی است، ماده‌ی بدون بار هم بی‌معنی است.

ممکن است این سؤال پیش آید که مواد خنثی چه موادی هستند؟ پاسخ این است که اتم‌های مواد از سه نوع ذره‌ی بنیادی به نام‌های الکترون، پروتون و نوترون تشکیل شده‌اند و الکترون‌ها منفی، پروتون‌ها مثبت و نوترون‌ها خنثی می‌باشند.

امروزه اثبات شده است که نوترون‌ها نیز از ذرات مثبت و منفی تشکیل شده‌اند. مهم‌ترین ویژگی بارهای الکتریکی **رانش بارهای هم‌نام** و **ربایش بارهای غیر هم نام** است.

۲- پایستگی بار الکتریکی

برای باردار کردن یک جسم باید به آن الکترون بدهیم یا از آن الکترون بگیریم. پس برای باردار شدن یک جسم باید جسم دومی هم باردار شود، البته با بار مخالف. طبق این قانون **بار الکتریکی نه از بین می‌رود نه به وجود می‌آید، بلکه از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شود.**

۳- بار الکتریکی در اجسام باردار

همه‌ی اجسام دارای بار الکتریکی هستند. این بارها به صورت منفی (در الکترون‌ها) و به صورت مثبت (در پروتون‌ها) قرار دارد. نکته‌ی مهم این است که در اکثر اجسام مقدار بارهای منفی و مثبت (تعداد الکترون‌ها و پروتون‌ها) برابر است و از این رو خنثی (بدون بار) به نظر می‌رسند.

جسم باردار جسمی است که تعداد الکترون‌ها و پروتون‌هایش برابر نباشد. اگر تعداد الکترون‌ها بیشتر باشد جسم دارای بار منفی و اگر تعداد پروتون‌ها بیشتر باشد جسم دارای بار مثبت است.

در گذشته تصور بر این بود که بارهای مثبت (پروتون‌ها) جابه‌جا می‌شوند ولی امروزه اثبات شده است که **انتقال بار فقط از طریق الکترون انجام می‌پذیرد.**

بار الکترون فوق‌العاده ناچیز و برابر $۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} C$ می‌باشد. C علامت کولن یکای بار الکتریکی است. اگر n تعداد الکترون یا پروتون اضافی باشد، مقدار بار جسم (q) بر حسب کولن از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$q = ne$$

n حتماً عددی صحیح است. برای الکترون‌های اضافی می‌توان n را منفی و برای پروتون‌های اضافی مثبت در نظر گرفت.

۴- کوانتومی بودن بار

همان‌طور که گفته شد بار الکتریکی از زیاد شدن یا کم شدن الکترون‌های ماده به وجود می‌آید. از ظاهر سخن چنین برمی‌آید که جسم نمی‌تواند به عنوان مثال ۱/۵ الکترون از دست بدهد یا بگیرد. برای همین بود که در رابطه‌ی $q = ne$ گفته شد که n باید عددی صحیح باشد. **به عبارت دیگر بار الکتریکی جسم باید مضرب صحیحی از بار الکترون باشد.** یعنی به عنوان مثال $۰C$ ، $۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} C$ و $۳/۲ \times ۱۰^{-۱۹} C$ می‌تواند باشد و مقادیر میانی این ارقام را نمی‌تواند بپذیرد. یعنی بار هیچ ماده‌ای مثلاً ۲×۱۰^{-۱۹} کولن نخواهد شد.

۵- جسم رسانا و نارسانا

الکترون‌ها در اتم توسط هسته جذب می‌شوند. مقدار این جاذبه در اتم‌های مختلف یکسان نیست. در بعضی مواد این جاذبه بسیار زیاد است و در نتیجه الکترون‌ها در مدار خود ثابت هستند و از آن دور نمی‌شوند. در این اجسام هر نقطه از جسم باردار شود بار در همان جا می‌ماند. به این اجسام **نارسانا** می‌گویند.

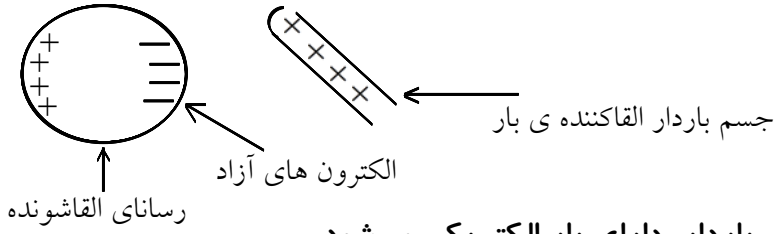
در گروه مقابل اجسامی هستند که الکترون‌های آن‌ها به راحتی در ماده جابه‌جا می‌شود و از مدار یک هسته به مدار هسته‌ی بعدی می‌روند. به این الکترون‌ها **الکترون آزاد** گفته می‌شود. الکترون‌های آزاد سبب می‌شوند بار الکتریکی بتواند در جسم شارش پیدا کند. به اجسامی که دارای الکترون آزاد هستند و الکتریسیته از آن‌ها شارش می‌یابد **رسانا** می‌گویند.

اجسام رسانا را به علت شارش بار نمی‌توان به روش مالش باردار نمود.

۶- القای بار الکتریکی

بارهای هم نام هم‌دیگر را دفع می‌کنند و بارهای ناهم‌نام جاذبه دارند. اگر جسم بارداری را به یک رسانا نزدیک کنیم (مثلا دارای بار مثبت) الکترون‌های آزاد رسانا توسط جسم باردار جذب می‌شود و به یک سو کشیده می‌شود. بدین ترتیب یک رسانا دارای بار مثبت و سر دیگر دارای بار منفی می‌شود.

در این فرآیند **رسانا یا نارسانا بودن القا کننده‌ی بار مهم نیست، ولی جسم القا شونده باید رسانا باشد.**



در روش القا جسم رسانا بدون تماس با جسم باردار، دارای بار الکتریکی می‌شود.

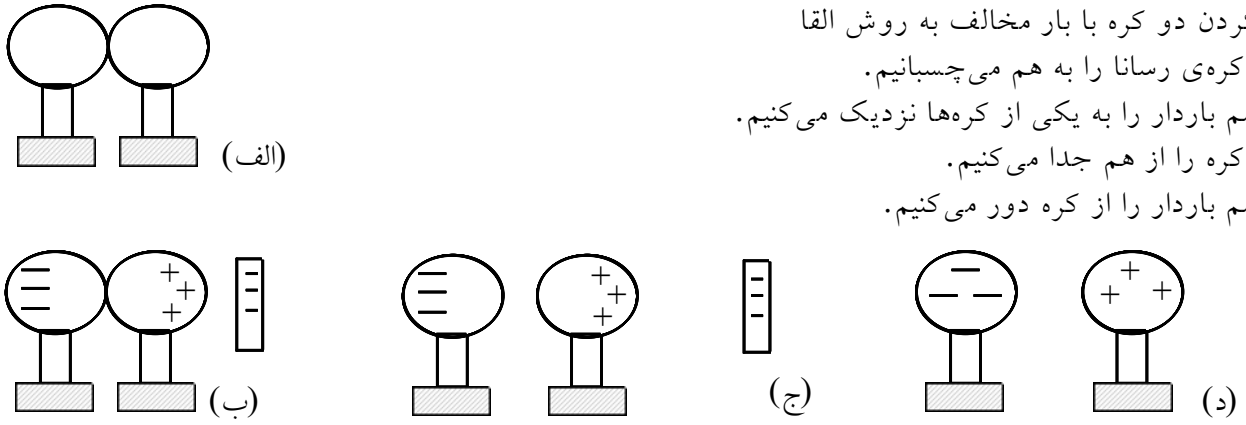
۷- باردار کردن دو کره با بار مخالف به روش القا

۱ - دو کره‌ی رسانا را به هم می‌چسبانیم.

۲ - جسم باردار را به یکی از کره‌ها نزدیک می‌کنیم.

۳ - دو کره را از هم جدا می‌کنیم.

۴ - جسم باردار را از کره دور می‌کنیم.



۸- آذرخش یا تخلیه‌ی الکتریکی

ابرها در اثر مالش با هوا دارای بار الکتریکی می‌شوند. در اکثر موارد سطح زیرین ابر بار منفی دارد. زمانی که دو سمت ابر با بارهای ناهمنام به هم نزدیک می‌شوند تخلیه‌ی الکتریکی انجام می‌شود که حاصل آن نور و صدای شدید (رعد و برق) یا همان آذرخش است.

گاهی تخلیه‌ی الکتریکی بین ابر و زمین انجام می‌شود. **برای جلوگیری از آثار مخرب آذرخش یک میله‌ی بلند را روی ساختمان‌های مرتفع نصب می‌کنند و با کابل مسی ضخیم آن را به عمق زمین می‌کشند. بدین ترتیب بار تخلیه شده به زمین منتقل شده و به ساختمان و ساکنین آن صدمه نمی‌زند.**

۹- تمرکز بار در رسانا

بار در نقاط نوک تیز بهتر جمع می‌شود، در نتیجه تخلیه از طریق این نقاط بهتر انجام می‌گیرد. از این خاصیت در رسانای آذرخش، چرخ الکتریکی، آونگ الکتریکی، تخلیه‌ی بار جمع شده در بدنه‌ی هواپیما و ... استفاده می‌شود.

۱۰- اختلاف پتانسیل الکتریکی

دو مخزن آب را که در ارتفاع‌های غیر مساوی قرار دارند با هم ارتباط می‌دهیم. آب از مخزن بالاتر به مخزن پایین منتقل می‌شود. در این مساله جرم آب مخزن‌ها اهمیت ندارد.

دو کره‌ی هم اندازه و دارای بار نامساوی را به هم اتصال می‌دهیم. بار از کره‌ی دارای بار بیشتر به کره‌ی دارای بار کمتر می‌رود. چرا که پتانسیل کره‌ی پربارتر بیشتر از دیگری است.

دو کره‌ی نامساوی و هم‌بار را با هم اتصال می‌دهیم. بار از کره‌ی کوچکتر به کره‌ی بزرگتر منتقل می‌شود. چرا که پتانسیل کره‌ی کوچک‌تر بیشتر از دیگری است.

پتانسیل الکتریکی در اصل انرژی هر ذره‌ی باردار در جسم می‌باشد. در انتقال بار از یک رسانا به رسانای دیگر مقدار بار هیچ اهمیتی ندارد، بلکه انرژی الکتریکی هر ذره است که دارای اهمیت است.

به اختلاف انرژی الکتریکی هر ذره‌ی باردار در دو وضعیت مختلف، اختلاف پتانسیل الکتریکی گفته می شود. اختلاف پتانسیل الکتریکی میان دو جسم، عامل شارش بار الکتریکی از یک جسم به جسم دیگر است.

یکای اختلاف پتانسیل الکتریکی ولت (V) است. پتانسیل الکتریکی جسم به نوع و اندازه‌ی بار و شکل هندسی جسم بستگی دارد.

۱۱- ولتاژ اسمی دستگاه

برای کار هر وسیله‌ی الکتریکی باید بین دو سر آن اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد شود. روی هر وسیله‌ی الکتریکی دو عدد، مثلاً $۶۰\,W - ۲۲۰\,V$ نوشته شده است. عبارت $۲۲۰\,V$ به این معنا است که مناسب‌ترین اختلاف پتانسیل برای کار این وسیله ۲۲۰ ولت می‌باشد. **اختلاف پتانسیل مناسب هر دستگاه به ساختمان درونی دستگاه بستگی دارد و به آن ولتاژ اسمی دستگاه می‌گویند.**

۱۲- **بار الکتریکی**

واحد بار الکتریکی «کولن» نام دارد که با نماد «C» نشان داده می‌شود. اندازه‌ی بار الکتریکی الکترون یا پروتون که با نماد «e» نشان داده می‌دهیم برابر است با: $e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} C$

۱۳- **اتم خنثی**

در حالت عادی تعداد پروتون‌های موجود در هسته‌ی هر اتم با تعداد الکترون‌های آن اتم برابر است، لذا در حالت عادی اتم از نظر الکتریکی خنثی است.

۱۴- **از دست دادن الکترون**

جسمی که n الکترون از دست می‌دهد، تعداد الکترون‌هایش کم‌تر از تعداد پروتون‌هایش می‌شود و جسم به اندازه‌ی ne بار الکتریکی مثبت پیدا می‌کند.

بار الکتریکی جسمی که n الکترون از دست داده است. : $q = +ne$

۱۵- **گرفتن الکترون**

جسمی که n الکترون گرفته است، تعداد الکترون‌هایش بیش‌تر از تعداد پروتون‌هایش می‌شود و جسم به اندازه‌ی ne بار الکتریکی منفی پیدا می‌کند.

بار الکتریکی جسمی که n الکترون گرفته است. : $q = -ne$

۱۶- **باردار شدن اجسام بر اثر مالش**

در اثر مالش دو جسم خنثی به یک‌دیگر، اجسام دارای بار الکتریکی هم‌اندازه با علامت مخالف می‌شوند.

۱۷- **جسم رسانا**

در موادی که تعداد الکترون‌های آزاد آن بسیار زیاد است بار الکتریکی به آسانی شارش پیدا می‌کند، که آن‌ها را **رسانای الکتریکی** می‌نامند.

در کلیه‌ی فلزها، کربن، بدن انسان، سطح زمین و ... بار الکتریکی شارش پیدا می‌کند (جریان می‌یابد) و آن‌ها رسانای الکتریکی هستند.

۱۸- **نارسانا**

در اجسامی که الکترون‌ها به سختی به هسته‌ی اتم وابسته‌اند، تعداد الکترون‌های آزاد بسیار ناچیز است و در این اجسام الکترون‌ها نمی‌توانند آزادانه حرکت کنند. این اجسام، که بار الکتریکی را از خود عبور نمی‌دهند، **نارسانای الکتریکی یا عایق** نامیده می‌شوند.

در جسم‌هایی مانند شیشه، پلاستیک، چینی، ابریشم، چوب، همه‌ی گازها از جمله هوای خشک و ... بار الکتریکی شارش پیدا نمی‌کند (جریان نمی‌یابد) و این مواد نارسانا هستند.

۱۹- **پایستگی بار الکتریکی**

بار الکتریکی به وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود و فقط از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود، این بیان را پایستگی بار الکتریکی می‌نامیم.

۲۰- **باردار کردن الکتروسکوپ**

اگر جسم بارداری را به یک الکتروسکوپ تماس دهیم، الکتروسکوپ دارای باری با همان علامت می‌شود.

۲۱- **نزدیک کردن جسم باردار با بار هم‌نام به الکتروسکوپ باردار**

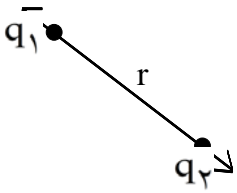
در این حالت وقتی جسم به الکتروسکوپ باردار نزدیک می‌شود، مشاهده می‌کنیم که انحراف ورقه بیش‌تر می‌گردد.

۲۲- **نزدیک کردن جسم باردار با بار ناهم‌نام به الکتروسکوپ باردار**

در این حالت وقتی جسم به الکتروسکوپ باردار نزدیک می‌شود، مشاهده می‌کنیم که انحراف ورقه ابتدا کاهش یافته به تیغه می‌چسبد و سپس دوباره انحراف افزایش می‌یابد.

۲۳- **قانون کولن**

اگر دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 به فاصله‌ی r از یکدیگر قرار گیرند نیرویی مثل F به هم وارد می‌کنند که:



$$F = k\frac{|q_1 q_2|}{r^2} \Rightarrow \begin{cases} F \propto |q_1 q_2| \\ F \propto \frac{1}{r^2} \end{cases} \xrightarrow[\text{معین در فاصله های مختلف}]{\text{مقایسه نیروی دو بار}} \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9 \ Nm^2/C^2 \quad \text{(ثابت کولن)}$$

$$\varepsilon_0 = 8/85 \times 10^{-12} \ C^2/Nm^2 \quad \text{(ضریب گذردهی الکتریکی خلا)}$$

۲۴- **اتصال دو کره‌ی رسانای مشابه به یکدیگر**

اگر دو کره‌ی رسانا و مشابه باردار که بار الکتریکی هر یک برابر q_1 و q_2 است به یکدیگر متصل شوند، بار الکتریکی به طور مساوی بین آن ها تقسیم می‌شود و در نتیجه بار الکتریکی هر کره پس از تماس از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

q_1 و q_2 بار الکتریکی هر کره قبل از تماس که علامت آن‌ها باید رعایت شود. $\rightarrow$ $q' = \frac{q_1 + q_2}{2}$

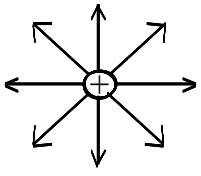
۲۵- **نیروی وارد بر بار الکتریکی از طرف میدان الکتریکی**

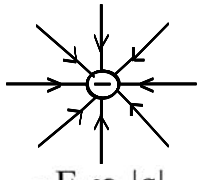
اگر یک بار الکتریکی نقطه‌ای که اندازه‌ی آن برابر q است در یک میدان الکتریکی قرار گیرد، از طرف میدان نیرویی به آن وارد می‌شود که برای بار مثبت در جهت میدان و برای بار منفی در خلاف جهت میدان الکتریکی است.

$$F = Eq$$

۲۶- **میدان الکتریکی اطراف بار نقطه‌ای**

میدان الکتریکی در فضای اطراف یک بار را می‌توان با خط هایی جهت‌دار نشان داد که در اطراف بار مثبت این خط ها از بار دور می‌شوند و در اطراف بار منفی به بار نزدیک می‌گردند و بزرگی این میدان در فاصله‌ی r از بار نقطه‌ای q از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:



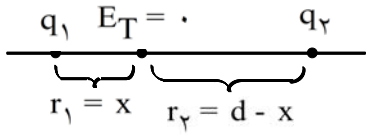


بزرگی میدان الکتریکی در فاصله‌ی r از بار الکتریکی q $|E| = k\frac{|q|}{r^2} \Rightarrow \begin{cases} E \propto |q| \\ E \propto \frac{1}{r^2} \end{cases}$

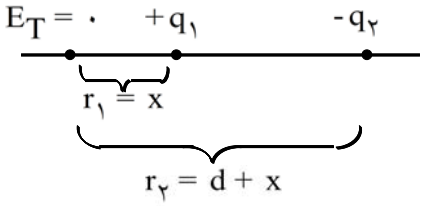
۲۷- **میدان الکتریکی صفر روی خط واصل دو بار نقطه‌ای**

فرض کنید دو بار الکتریکی q_1 و q_2 به فاصله‌ی d واقع‌اند، اگر هم‌نام باشند، میدان الکتریکی برآیند روی خط واصل بارها در فاصله‌ی بین آن‌ها و اگر ناهم‌نام باشند، میدان خارج فاصله‌ی آن‌ها و در امتداد خط واصل بارها صفر خواهد شد. این نقطه همیشه در نزدیکی باری است که قدرمطلق آن کوچک‌تر است.

(بین دو بار هم نام و نزدیک به بار کوچک $q_1 < q_2$)



$q_1 < |q_2|$ (خارج از فاصله‌ی دو بار ناهم‌نام و در سمت بار کوچکتر)



۲۸- **تجسم میدان الکتریکی اطراف بارها**

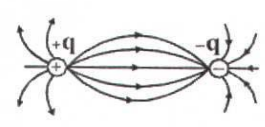
میدان الکتریکی اطارف جسم باردار را با خطوط میدان نشان می‌دهیم. این خطوط دارای ویژگی‌های زیر هستند:

۱- جهت خطوط هم‌جهت با نیروی وارد بر بار مثبت است.

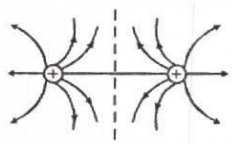
۲- جهت میدان خطی مماس بر خط میدان و هم‌جهت با خط میدان است.

۳- در هر ناحیه که میدان قوی‌تر است، خطوط میدان به هم نزدیکترند.

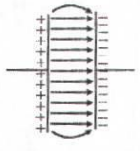
۴- خطوط میدان هم‌دیگر را قطع نمی‌کنند. از هر نقطه از فضا یک خط میدان می‌گذرد.



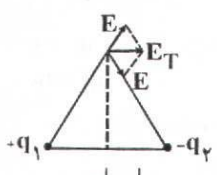
میدان الکتریکی اطراف دو بار ناهم‌نام با بزرگی یکسان



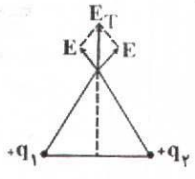
میدان الکتریکی اطراف دو بار هم‌نام با بزرگی یکسان



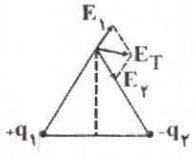
میدان الکتریکی یکنواخت بین دو صفحه‌ی خازن



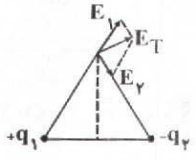
$q_1 = |q_2|$



$q_1 = q_2$



$q_1 < |q_2|$



$q_1 > |q_2|$

۲۹- ۱- بار الکتریکی فقط روی سطح خارجی جسم رسانا توزیع می‌شود، به طوری که تراکم آن در نقاط تیز جسم رسانا بیش‌تر می‌باشد.
۲- روی سطح یک کره رسانا، بار الکتریکی به‌طور یکنواخت توزیع می‌شود.
۳- بار الکتریکی موجود در واحد سطح خارجی جسم رسانا را **چگالی سطحی** بار می‌نامیم و طبق رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است.

$$\sigma = \frac{q}{A}$$

q: بار توزیع شده روی سطح رسانا(کولن)
A: مساحت سطح رسانا(مترمربع)
σ: چگالی سطحی بار(کولن بر مترمربع)

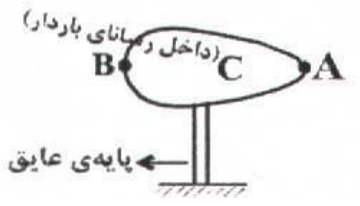
۳۰- **چگالی سطحی بار الکتریکی در کره‌ی رسانا**

اگر بار الکتریکی روی سطح یک کره‌ی رسانا به شعاع R توزیع شده باشد، با توجه به رابطه‌ی $A = ۴\pi R^۲$ برای مساحت کره می‌توان نوشت:

$$\sigma = \frac{q}{۴\pi R^۲} \Rightarrow \sigma \propto \frac{q}{R^۲}$$

۳۱- **پتانسیل الکتریکی جسم رسانای باردار**

کلیه‌ی نقاط یک جسم رسانای باردار (چه روی سطح رسانا و چه داخل رسانا) پتانسیل الکتریکی یکسانی دارند.



$$V_A = V_B = V_C \text{ (پتانسیل الکتریکی)}$$

۳۲- **تعریف پتانسیل الکتریکی**

برای هر نقطه از یک میدان الکتریکی می‌توان کمیتی به نام پتانسیل الکتریکی تعریف نمود که برابر مقدار انرژی واحد بار الکتریکی در آن نقطه می‌باشد.

$$V = \frac{U \rightarrow \text{انرژی پتانسیل الکتریکی (ژول)}}{q \rightarrow \text{بار الکتریکی (کولن)}} \leftarrow \text{پتانسیل الکتریکی (ولت)}$$

۳۳- **تغییر انرژی پتانسیل و کار میدان الکتریکی**

برای آن که یک بار الکتریکی با سرعت ثابت حرکت داده شود باید نیروی هم اندازه‌ی نیروی الکتریکی و در خلاف آن به بار الکتریکی وارد آوریم و با توجه به قانون‌های کار و انرژی، کاری که ما انجام می‌دهیم برابر تغییر انرژی بار الکتریکی است.

$W = FdCos\alpha$ کاری که ما انجام می دهیم
$W' = F'dCos\alpha'$ کاری که نیروی الکتریکی انجام می دهید

$$\Rightarrow \Delta U = W_{(\text{کار ما})} \quad \text{یا} \quad \Delta U = -W'_{(\text{کار میدان})}$$

۳۴- **تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی**

هر گاه در یک جابه‌جایی انرژی پتانسیل الکتریکی بار آزاد شود، یعنی $\Delta U < ۰$ و هرگاه انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شود، یعنی $\Delta U > ۰$ است.

۳۵- تغییر پتانسیل الکتریکی در میدان الکتریکی

هرگاه جابه‌جایی بار الکتریکی در جهت میدان الکتریکی باشد، پتانسیل الکتریکی کاهش و هرگاه در خلاف جهت میدان الکتریکی باشد، پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد.

۳۶- تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی در میدان الکتریکی

هرگاه بار الکتریکی در یک میدان الکتریکی در جهتی که خودش می‌تواند برود (یعنی در جهت نیروی الکتریکی) جابه‌جا گردد، انرژی پتانسیل الکتریکی آن کاهش می‌یابد (آزاد می‌شود) و اگر ما آن را در خلاف جهتی که خودش می‌خواهد برود (یعنی در خلاف جهت نیروی الکتریکی) جابه‌جا کنیم، انرژی پتانسیل الکتریکی آن افزایش می‌یابد (ذخیره می‌شود).

۳۷- تعریف ظرفیت خازن

نسبت بار ذخیره شده در خازن به اختلاف پتانسیل دو سر خازن (ولتاژ) مقداری ثابت است که به آن ظرفیت خازن می‌گویند و واحد آن در SI برابر کولن بر ولت است که فاراد نامیده می‌شود.

$$C = \frac{q \rightarrow \text{کولن}}{V \rightarrow \text{ولت}} \leftarrow \text{فاراد}$$

۳۸- ظرفیت خازن مسطح

ظرفیت خازن به تغییرات بار الکتریکی اختلاف پتانسیل دو سر آن بستگی ندارد و ظرفیت خازن مسطح از رابطه‌ی $C = k\varepsilon_0 \frac{A}{d}$ به دست می‌آید. A سطح مشترک صفحه‌ها، d فاصله‌ی دو صفحه از یکدیگر و k ضریب دی‌الکتریک (عایق) بین دو صفحه می‌باشد.

برای مقایسه‌ی ظرفیت الکتریکی دو خازن می‌توان نوشت:

$$C = K\varepsilon_0 \frac{A}{d} \Rightarrow \frac{C'}{C} = \frac{k'}{k} \times \frac{A'}{A} \times \frac{d}{d'}$$

۳۹- قرار دادن صفحه‌ی رسانا بین صفحه‌های خازن

وقتی بین دو صفحه‌ی خازنی که فاصله آن‌ها برابر d است. یک صفحه‌ی فلزی به ضخامت d' قرار می‌دهیم، در واقع مانند این است که از ضخامت عایق بین دو صفحه کاسته شده است و در نتیجه ظرفیت الکتریکی خازن افزایش می‌یابد:

$$\begin{cases} d_1 = d \\ d_2 = d - d' \end{cases} \Rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{d}{d - d'}$$

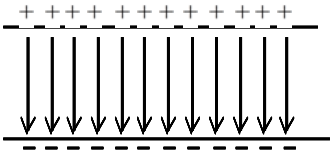
۴۰- خازن متصل به مولد

وقتی یک خازن به دو سر یک مولد متصل است، اختلاف پتانسیل دو صفحه‌ی خازن همواره برابر اختلاف پتانسیل دو سر مولد می‌باشد و ثابت است و در این حالت با تغییر مشخصات ساختمانی خازن، ولتاژ آن ثابت می‌ماند.

۴۱- خازن پرشده‌ی جدا از مولد

اگر یک خازن پرشده از مولد جدا شود، یا تغییر مشخصات ساختمانی آن بار الکتریکی خازن تغییر نمی‌کند.

۴۲- **میدان الکتریکی یکنواخت خازن**



هرگاه دو صفحه‌ی مسطح، موازی هم قرار داشته باشند و دو صفحه دارای بارهای هم‌اندازه و ناهم‌نام باشند، بین دو صفحه میدان الکتریکی یکنواخت بوجود می‌آید که سوی آن از صفحه‌ی مثبت به طرف صفحه‌ی منفی است.

۴۳- **محاسبه‌ی میدان یکنواخت خازن**

برای خازن مسطحی که فاصله‌ی دو صفحه‌ی آن برابر d و اختلاف پتانسیل دو صفحه برابر V است، اندازه‌ی میدان الکتریکی از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$E = \frac{V \rightarrow \text{(ولت) اختلاف پتانسیل دو صفحه}}{d \rightarrow \text{(متر) فاصله ی دو صفحه}} \leftarrow \text{میدان الکتریکی یکنواخت (ولت بر متر یا نیوتن بر کولن)}$$

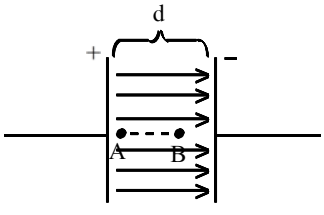
۴۴- **نیروی وارد بر بار الکتریکی در بین صفحه‌ی خازن**

از طرف میدان الکتریکی خازن به بار الکتریکی مثبت نیرویی در جهت میدان (از صفحه دارای بار مثبت به طرف صفحه دارای بار منفی) و به بار منفی نیرویی در خلاف جهت میدان وارد می‌شود.

$$F = qE \Rightarrow F = q\frac{V}{d} \leftarrow \text{نیروی وارد بر بار آزمون } q \text{ از طرف خازن باردار}$$

۴۵- **رابطه‌ی میدان الکتریکی یکنواخت و اختلاف پتانسیل الکتریکی**

در یک میدان الکتریکی یکنواخت، اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه با فاصله‌ی آن در امتداد میدان الکتریکی متناسب است.

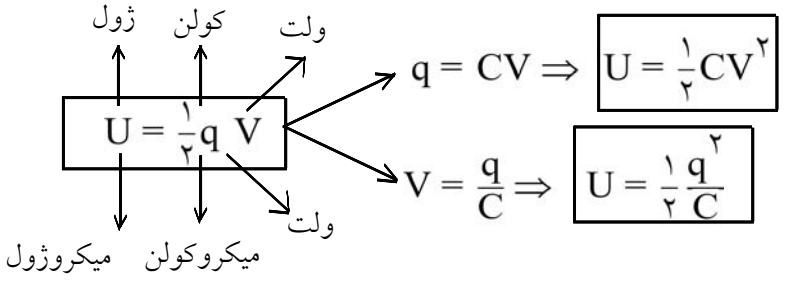


$$E = \frac{V}{d} \Rightarrow V = Ed$$

$$\left(d_{AB} = \frac{۱}{۳}d : \text{مثلا اگر داشته باشیم}\right) \Rightarrow V_{AB} = Ed_{AB} = E\left(\frac{۱}{۳}d\right) \Rightarrow V_{AB} = \frac{۱}{۳}V$$

۴۶- **انرژی ذخیره شده در خازن**

وقتی خازنی را با ولتاژ معین پر می‌کنیم انرژی الکتریکی توسط خازن ذخیره می‌شود. انرژی ذخیره شده بین دو صفحه‌ی یک خازن طبق رابطه‌های زیر قابل محاسبه است:



$$q = CV \Rightarrow \boxed{U = \frac{۱}{۲}CV^{۲}}$$

$$V = \frac{q}{C} \Rightarrow \boxed{U = \frac{۱}{۲}\frac{q^{۲}}{C}}$$

-۴۷ **تغییر مشخصات یک خازن پر شده**

هر گاه مشخات ساختمانی یک خازن پر شده را تغییر می‌دهیم، طبق رابطه‌ی $C = k\varepsilon_0 \frac{A}{d}$ می‌توان نحوه‌ی تغییر ظرفیت الکتریکی آن را معین نمود. اما بررسی تغییرات q ،V ،E و U باید توجه داشته باشید که:

۱- اگر خازن به مولد وصل باشد، همواره V را ثابت فرض کنید و سپس تغییرات q و E و U را به ترتیب طبق رابطه‌های $q = C\,V$ و $E = \frac{V}{d}$ و $U = \frac{1}{2}CV^2$ تعیین کنید.

۲- اگر خازن به مولد وصل نباشد، همواره q را ثابت فرض کنید و سپس تغییرات V و E و U را به ترتیب طبق رابطه‌های $V = \frac{q}{C}$ و $E = \frac{V}{d}$ و $U = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$ تعیین کنید.

-۴۸ **به هم بستن خازن‌ها**

- $C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ (ظرفیت معادل دو خازن متوالی)
- $C_T = C_n$ (ظرفیت معادل n خازن مشابه و متوالی)
- $C_T = mC$ (ظرفیت معادل m خازن مشابه و موازی)
- $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$ (ظرفیت معادل خازن های متوالی) ← $C_T < C_1$، $C_T < C_2$، $C_T < C_3$
- $C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$ (ظرفیت معادل خازن های موازی) ← $C_T > C_1$، $C_T > C_2$، $C_T > C_3$

-۴۹ **تغییر در ظرفیت معادل مدارهای خازنی**

وقتی یک خازن به طور متوالی به مجموعه خازن‌های مدار اضافه شود، ظرفیت خازن معادل مدار کاهش می‌یابد.
وقتی یک خازن به طور موازی به مجموعه خازن‌های مدار اضافه شود، ظرفیت خازن معادل افزایش می‌یابد.
وقتی بدون تغییر در تعداد خازن‌های مدار، ظرفیت یکی از خازن‌های مدار افزایش یابد، صرف‌نظر از نوع قرار گرفتن این خازن در مدار ، ظرفیت معادل افزایش می‌یابد.

-۵۰ **اثر کلید در مدارهای خازنی (۱)**

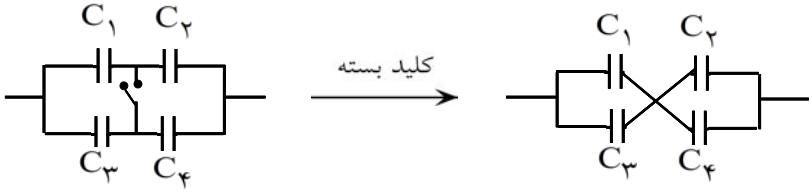
گاهی بسته شدن یک کلید، خازنی را از مدار خارج می‌کند. در این حالت باید با بسته شدن کلید، دو سر خازن مورد نظر با یک سیم به هم وصل گردد.

۵۱- **اثر کلید در مدارهای خازنی (۲)**

گاهی بسته شدن یک کلید، خازنی را به‌طور موازی اضافه می‌کند. در این حالت با بسته شدن کلید، دو سر خازن مورد نظر به دو سر خازنی که در مدار است وصل می‌گردد.

۵۲- **اثر کلید در مدارهای خازنی (۳)**

گاهی بسته شدن یک کلید، نحوه‌ی اتصال خازن‌های موجود در مدار را تغییر می‌دهد.



۵۳- **تعریف کمی میدان**

نیروی وارد بر یکای بار الکتریکی مثبت را در هر نقطه، میدان الکتریکی در آن نقطه می‌نامیم. مقدار آن طبق رابطه‌ی روبه‌رو محاسبه می‌شود:

$$\vec{E} = \frac{۱}{q}\vec{F}$$

۵۴- **اختلاف پتانسیل الکتریکی**

اختلاف پتانسیل الکتریکی دو نقطه، برابر با تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یکای بار الکتریکی مثبت است، وقتی یکای بار از نقطه‌ی اول تا نقطه‌ی دوم جابه‌جا می‌شود.

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q}$$

در این رابطه ΔU برحسب ژول (J)، q برحسب کولن (C) و ΔV برحسب ولت (V) است.

۵۵- **فروشکست**

اگر بار الکتریکی خازن از مقدار معینی بیش‌تر شود، یک میدان الکتریکی بسیار قوی بین دو صفحه ایجاد می‌شود. این میدان الکتریکی باعث می‌شود که دی الکتریک بین دو صفحه به‌طور موقت رسانا شود. در اثر این پدیده خازن تخلیه می‌شود. این پدیده را فروشکست دی الکتریک می‌نامند. پدیده‌ی فروشکست باعث تغییر ماهیت یا سوراخ شدن دی الکتریک و سوختن خازن می‌شود.

۱- مولد

وقتی دو مخزن غیر هم ارتفاع را به هم ربط می‌دهیم، آب از مخزن بالایی به مخزن پایینی می‌رود. این جریان تا زمانی ادامه دارد که ارتفاع آب دو مخزن یکی نیست. اگر بخواهیم جریان آب دائمی باشد باید آب را به کمک یک پمپ از مخزن پایینی به مخزن بالایی منتقل کنیم و آب زمان پایین آمدن انرژی‌اش را آزاد می‌کند و می‌توان از آن استفاده کرد. زمان بالا رفتن نیز آب از پمپ انرژی می‌گیرد.

وقتی دو جسم غیر هم پتانسیل را به هم وصل می‌کنیم بار از جسم با پتانسیل بالاتر به پتانسیل کمتر می‌رود. برای ایجاد جریان دائمی از مولد استفاده می‌کنیم. **مولد با دادن انرژی به بار آن را از محلی با پتانسیل کمتر به موقعیتی با پتانسیل بیشتر می‌برد.**

۲- نیروی محرکه‌ی مولد

مولدها با روش‌های مختلفی مانند یک واکنش شیمیایی بین دو پایانه (اتصال) خود اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد می‌کنند (به بار انرژی می‌دهند).

مقدار اختلاف پتاسیل دو سر مولد بر حسب توان خروجی آن (مصرف کننده) می‌تواند متغیر باشد.

بیش‌ترین اختلاف پتانسیلی که مولد می‌تواند ایجاد کند نیروی محرکه مولد نام دارد و با یکای ولت اندازه‌گیری می‌شود.

۳- جریان الکتریکی

به آهنگ شارش بار الکتریکی از هر مقطع رسانا شدت جریان الکتریکی گفته می شود.

اگر بار q در مدت زمان t از یک مقطع مدار عبور کند، شدت جریان I از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

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

در این رابطه q بر حسب کولن و t بر حسب ثانیه می‌باشد. در این صورت I بر حسب آمپر به دست می‌آید.

$1A$ شدت جریان بسیار بالایی است و در اکثر وسایل برقی شدت جریان در حدود چند میلی آمپر (mA) می‌باشد.

۴- مقاومت الکتریکی

وقتی در دو سر یک رسانا اختلاف پتانسیل ایجاد می‌شود، بارها در آن شارش می‌کنند. بارها در مسیر خود با برخورد به ذرات در حال نوسان برخورد کرده، انرژی خود را از دست می‌دهند. این انرژی به انرژی درونی تبدیل می‌شود. در این حالت اصطلاحاً می‌گویند رسانا دارای مقاومت الکتریکی است. یکای مقاومت الکتریکی اهم است. 1Ω مقاومت بسیار کمی است و بیشتر ابزارها دارای مقاومت چند کیلو اهم هستند.

وقتی رسانا گرم می‌شود نوسان‌های ذرات آن افزایش می‌یابد. این مسئله سبب افزایش مقاومت الکتریکی آن می‌شود.

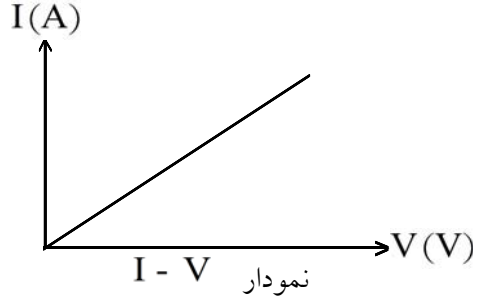
۵- قانون اهم

جریان الکتریکی در اثر اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد می‌شود. **نسبت V (اختلاف پتانسیل الکتریکی) به I (شدت جریان الکتریکی) همواره برای یک رسانا مقدار ثابتی است که به آن مقاومت الکتریکی گفته می‌شود.**

مقاومت الکتریکی با R نشان داده می‌شود:

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

اگر به ازای اختلاف پتانسیل‌های مختلف شدت جریان را اندازه بگیریم و نمودار $I - V$ (I بر حسب V) را رسم کنیم شیب خط حاصل با $\frac{۱}{R}$ برابر است.



نمودار $I - V$

پس هر چه شیب خط بیش‌تر باشد مقاومت رسانا کم‌تر است و شیب خط کم‌تر، نشانه‌ی مقاومت بیش‌تر است.

۶- مصرف انرژی الکتریکی

وقتی از یک رسانا در اثر اختلاف پتانسیل V جریان I عبور می‌کند، مقداری انرژی الکتریکی مصرف شده عموماً تبدیل به انرژی درونی می‌شود.

انرژی مصرف شده در یک رسانا به عوامل زیر بستگی دارد:

۱ - **مقاومت الکتریکی رسانا** (R)

۲ - **زمان عبور جریان الکتریکی** (t)

۳ - **مجذور شدت جریان الکتریکی** $(I^۲)$

انرژی مصرفی را با W نشان می‌دهیم. رابطه‌ی بین W و سه عامل یاد شده به شکل زیر است:

$$W = RI^۲t$$

اگر R بر حسب اهم (Ω)، I بر حسب آمپر (A) و t بر حسب ثانیه (S) باشند، W بر حسب ژول (J) به دست می‌آید.

انرژی مصرفی در یک رسانا با رابطه‌های دیگر نیز به دست می‌آید:

$$W = RI^۲t = RI.I.t = VIt$$

$$W = RI^۲t = \frac{R^۲I^۲}{R}t = \frac{(RI)^۲}{R}t = \frac{V^۲}{R}t$$

$$W = RI^۲t = RI.It = V.q$$

۷- توان الکتریکی مصرفی در رسانا

به آهنگ مصرف انرژی الکتریکی در رسانا توان الکتریکی گفته می‌شود.

توان عبارت است از **انرژی مصرف شده در واحد زمان (مثلاً ۱ ثانیه)**

$$P = \frac{W}{t}$$

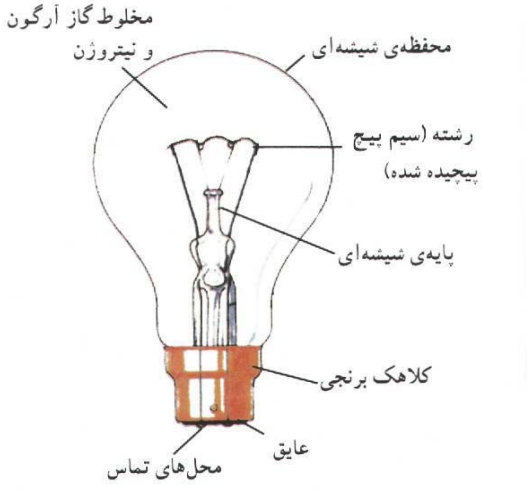
ما برای انرژی چهار رابطه داشتیم. بنابراین برای توان نیز چهار رابطه وجود دارد:

$$P = RI^{۲}$$
$$P = \frac{V^{۲}}{R}$$
$$P = VI$$
$$P = \frac{Vq}{t}$$

اگر یکای دیگر کمیت‌ها استاندارد انتخاب شده باشد، یکای توان ژول بر ثانیه $\left(\frac{J}{S}\right)$ یا وات (W) خواهد بود.

۸- ساختمان لامپ رشته‌ای

در لامپ‌های رشته‌ای، انرژی الکتریکی به انرژی درونی رشته‌ی لامپ تبدیل می‌شود و دمای آن را تا حدود $۳۰۰۰^{\circ}C$ بالا می‌برد. در این دما رشته‌ی درون لامپ بخشی از انرژی خود را به صورت انرژی نورانی تابش می‌کند.



۹- توان اسمی

روی هر وسیله‌ی برقی ۲ عدد نوشته می‌شود که یکی از آن‌ها اختلاف پتانسیل مناسب کار دستگاه است که به آن ولتاژ اسمی می‌گویند.

عدد دوم توان کار دستگاه در صورت اتصال به ولتاژ اسمی است. به این توان، توان اسمی گفته می‌شود.

توان اسمی دستگاه، توان مصرفی آن در صورت اتصال به ولتاژ اسمی است.

توان بیش‌تر یا کم‌تر برای دستگاه ممکن است زیان‌بار باشد.

۱۰- بهای انرژی الکتریکی مصرفی

شمارگر(کنتور) ساختمان وسیله‌ای است که مقدار انرژی مصرفی را اندازه می‌گیرد. اگر توان مصرفی را با P و زمان مصرف را با t نشان دهیم انرژی مصرفی طبق رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$W = Pt$$

معمولا P را بر حسب وات و t را بر حسب ثانیه جاگذاری می‌کنیم و یکای انرژی بر حسب ژول به دست می‌آید.

اگر P را بر حسب کیلووات و t را بر حسب ساعت جاگذاری کنیم، انرژی مصرفی بر حسب یکای جدیدی به نام کیلووات‌ساعت (kWh) به دست می‌آید.

کیلووات‌ساعت یکای تجاری انرژی است. معمولاً هزینه‌ی انرژی مصرفی را بر اساس کیلووات‌ساعت مصرفی انرژی بیان می‌کنند. مثلاً ۲۰۰ ریال برای هر کیلووات‌ساعت.

انرژی مصرفی بر حسب کیلووات‌ساعت × هزینه‌ی هر کیلووات‌ساعت = هزینه‌ی مصرفی کل

۱۱- **تعریف ظرفیت خازن**

نسبت بار ذخیره شده در خازن به اختلاف پتانسیل دو سر خازن (ولتاژ) مقداری ثابت است که به آن ظرفیت خازن می‌گویند و واحد آن در SI برابر کولن بر ولت است که فاراد نامیده می‌شود.

$$C = \frac{q \to \text{کولن}}{V \to \text{ولت}} \leftarrow \text{فاراد}$$

۱۲- **ظرفیت خازن مسطح**

ظرفیت خازن به تغییرات بار الکتریکی اختلاف پتانسیل دو سر آن بستگی ندارد و ظرفیت خازن مسطح از رابطه‌ی $C = k\varepsilon_{\circ}\frac{A}{d}$ به دست می‌آید. A سطح مشترک صفحه‌ها، d فاصله‌ی دو صفحه از یکدیگر و k ضریب دی‌الکتریک (عایق) بین دو صفحه می‌باشد.

برای مقایسه‌ی ظرفیت الکتریکی دو خازن می‌توان نوشت:

$$C = K\varepsilon_{\circ}\frac{A}{d} \Rightarrow \frac{C'}{C} = \frac{k'}{k} \times \frac{A'}{A} \times \frac{d}{d'}$$

۱۳- **قرار دادن صفحه‌ی رسانا بین صفحه‌های خازن**

وقتی بین دو صفحه‌ی خازنی که فاصله آن‌ها برابر d است. یک صفحه‌ی فلزی به ضخامت d' قرار می‌دهیم، در واقع مانند این است که از ضخامت عایق بین دو صفحه کاسته شده است و در نتیجه ظرفیت الکتریکی خازن افزایش می‌یابد:

$$\begin{cases} d_1 = d \\ d_2 = d - d' \end{cases} \Rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{d}{d - d'}$$

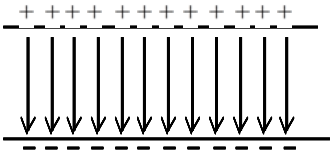
۱۴- **خازن متصل به مولد**

وقتی یک خازن به دو سر یک مولد متصل است، اختلاف پتانسیل دو صفحه‌ی خازن همواره برابر اختلاف پتانسیل دو سر مولد می‌باشد و ثابت است و در این حالت با تغییر مشخصات ساختمانی خازن، ولتاژ آن ثابت می‌ماند.

۱۵- **خازن پرشده‌ی جدا از مولد**

اگر یک خازن پرشده از مولد جدا شود، یا تغییر مشخصات ساختمانی آن بار الکتریکی خازن تغییر نمی‌کند.

۱۶- **میدان الکتریکی یکنواخت خازن**



هرگاه دو صفحه‌ی مسطح، موازی هم قرار داشته باشند و دو صفحه دارای بارهای هم‌اندازه و ناهم‌نام باشند، بین دو صفحه میدان الکتریکی یکنواخت بوجود می‌آید که سوی آن از صفحه‌ی مثبت به طرف صفحه‌ی منفی است.

۱۷- **محاسبه‌ی میدان یکنواخت خازن**

برای خازن مسطحی که فاصله‌ی دو صفحه‌ی آن برابر d و اختلاف پتانسیل دو صفحه برابر V است، اندازه‌ی میدان الکتریکی از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$E = \frac{V \rightarrow \text{(ولت) اختلاف پتانسیل دو صفحه}}{d \rightarrow \text{(متر) فاصله ی دو صفحه}} \leftarrow \text{میدان الکتریکی یکنواخت (ولت بر متر یا نیوتن بر کولن)}$$

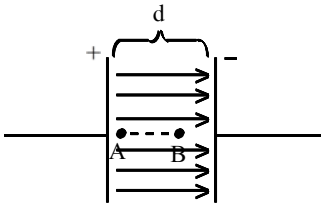
۱۸- **نیروی وارد بر بار الکتریکی در بین صفحه‌ی خازن**

از طرف میدان الکتریکی خازن به بار الکتریکی مثبت نیرویی در جهت میدان (از صفحه دارای بار مثبت به طرف صفحه دارای بار منفی) و به بار منفی نیرویی در خلاف جهت میدان وارد می‌شود.

$$F = qE \Rightarrow F = q\frac{V}{d} \leftarrow \text{نیروی وارد بر بار آزمون } q \text{ از طرف خازن باردار}$$

۱۹- **رابطه‌ی میدان الکتریکی یکنواخت و اختلاف پتانسیل الکتریکی**

در یک میدان الکتریکی یکنواخت، اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه با فاصله‌ی آن در امتداد میدان الکتریکی متناسب است.

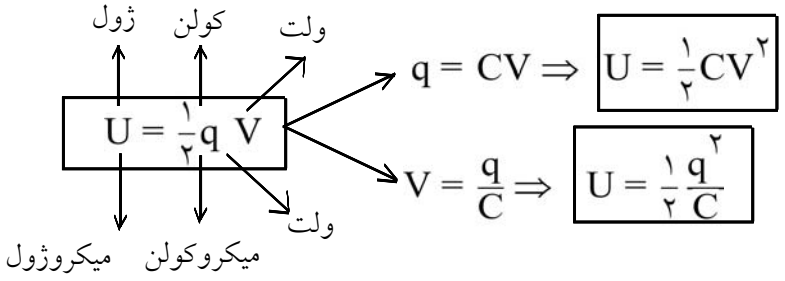


$$E = \frac{V}{d} \Rightarrow V = Ed$$

$$\left(d_{AB} = \frac{۱}{۳}d : \text{مثلا اگر داشته باشیم}\right) \Rightarrow V_{AB} = Ed_{AB} = E\left(\frac{۱}{۳}d\right) \Rightarrow V_{AB} = \frac{۱}{۳}V$$

۲۰- **انرژی ذخیره شده در خازن**

وقتی خازنی را با ولتاژ معین پر می‌کنیم انرژی الکتریکی توسط خازن ذخیره می‌شود. انرژی ذخیره شده بین دو صفحه‌ی یک خازن طبق رابطه‌های زیر قابل محاسبه است:



$$q = CV \Rightarrow \boxed{U = \frac{۱}{۲}CV^{۲}}$$

$$V = \frac{q}{C} \Rightarrow \boxed{U = \frac{۱}{۲}\frac{q^{۲}}{C}}$$

۲۱- **تغییر مشخصات یک خازن پر شده**

هر گاه مشخات ساختمانی یک خازن پر شده را تغییر می‌دهیم، طبق رابطه‌ی $C = k\varepsilon_0 \frac{A}{d}$ می‌توان نحوه‌ی تغییر ظرفیت الکتریکی آن را معین نمود. اما بررسی تغییرات q ، V ، E و U باید توجه داشته باشید که:

۱- اگر خازن به مولد وصل باشد، همواره V را ثابت فرض کنید و سپس تغییرات q و E و U را به ترتیب طبق رابطه‌های $q = C\,V$ و $E = \frac{V}{d}$ و $U = \frac{1}{2}CV^2$ تعیین کنید.

۲- اگر خازن به مولد وصل نباشد، همواره q را ثابت فرض کنید و سپس تغییرات V و E و U را به ترتیب طبق رابطه‌های $V = \frac{q}{C}$ و $E = \frac{V}{d}$ و $U = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$ تعیین کنید.

۲۲- **به هم بستن خازن‌ها**

- $C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ (ظرفیت معادل دو خازن متوالی)
- $C_T = C_n$ (ظرفیت معادل n خازن مشابه و متوالی)
- $C_T = mC$ (ظرفیت معادل m خازن مشابه و موازی)

$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$ ← (ظرفیت معادل خازن های متوالی)

$C_T < C_1$، $C_T < C_2$، $C_T < C_3$

$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$ ← (ظرفیت معادل خازن های موازی)

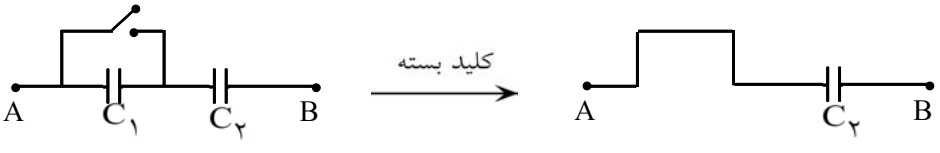
$C_T > C_1$، $C_T > C_2$، $C_T > C_3$

۲۳- **تغییر در ظرفیت معادل مدارهای خازنی**

وقتی یک خازن به طور متوالی به مجموعه خازن‌های مدار اضافه شود، ظرفیت خازن معادل مدار کاهش می‌یابد.
وقتی یک خازن به طور موازی به مجموعه خازن‌های مدار اضافه شود، ظرفیت خازن معادل افزایش می‌یابد.
وقتی بدون تغییر در تعداد خازن‌های مدار، ظرفیت یکی از خازن‌های مدار افزایش یابد، صرف‌نظر از نوع قرار گرفتن این خازن در مدار ، ظرفیت معادل افزایش می‌یابد.

۲۴- **اثر کلید در مدارهای خازنی (۱)**

گاهی بسته شدن یک کلید، خازنی را از مدار خارج می‌کند. در این حالت باید با بسته شدن کلید، دو سر خازن مورد نظر با یک سیم به هم وصل گردد.

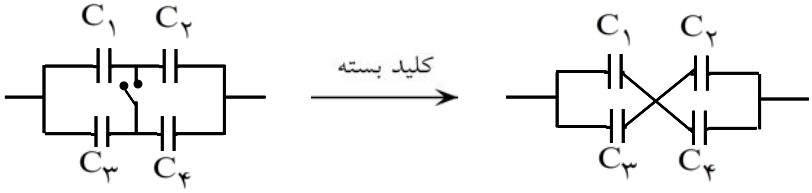


۲۵- **اثر کلید در مدارهای خازنی (۲)**

گاهی بسته شدن یک کلید، خازنی را به‌طور موازی اضافه می‌کند. در این حالت با بسته شدن کلید، دو سر خازن مورد نظر به دو سر خازنی که در مدار است وصل می‌گردد.

۲۶- **اثر کلید در مدارهای خازنی (۳)**

گاهی بسته شدن یک کلید، نحوه‌ی اتصال خازن‌های موجود در مدار را تغییر می‌دهد.



۲۷- **نیروی محرکه‌ی مولد**

$\varepsilon = \frac{U}{q}$ ← نیروی محرکه ی مولد(ولت)

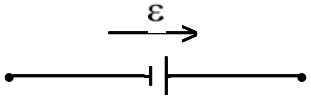
انرژی الکتریکی منتقل شده(ژول) →

بار الکتریکی جابه جا شده(کولن) →

$U = \varepsilon q \Rightarrow U = \varepsilon It$ ← انرژی الکتریکی منتقل شده به بار از طرف مولد(کار انجام شده توسط مولد)

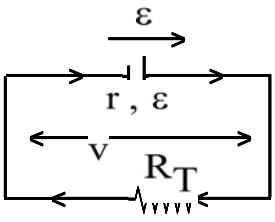
۲۸- **جهت نیروی محرکه‌ی الکتریکی**

می‌توان برای نیروی محرکه‌ی مولد، جهتی را از قطب منفی به طرف قطب مثبت تعریف نمود که در واقع همان جهتی است که مولد می‌خواهد جریان الکتریکی را در مدار برقرار کند.

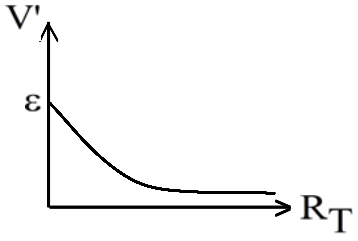


۲۹- **مدار تک حلقه**

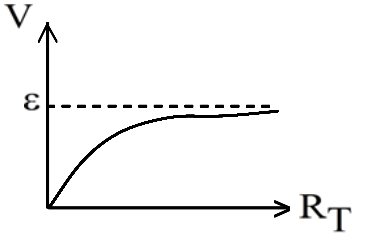
در یک مدار تک حلقه با یک مولد همواره جریان الکتریکی در جهت نیروی محرکه‌ی مولد در مدار برقرار می‌شود.



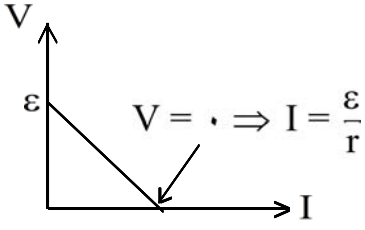
شدت جریان $\leftarrow I = \frac{\varepsilon}{R_T + r} \rightarrow \varepsilon = I(R_T + r)$



افت پتانسیل در داخل مولد $\leftarrow V' = rI \rightarrow V' = r\left(\frac{\varepsilon}{R_T + r}\right)$



اختلاف پتانسیل دو سر مولد $\leftarrow V = R_T I \rightarrow V = R_T\left(\frac{\varepsilon}{R_T + r}\right)$



اختلاف پتانسیل دو سر مولد $\leftarrow V = \varepsilon - rI$

۳۰- **اختلاف پتانسیل دو سر مولد در مدار تک حلقه و تک مولد**

در یک مدار تک حلقه با یک مولد (مدار ساده الکتریکی) اختلاف پتانسیل دو سر مولد که با رابطه‌ی $V = \varepsilon - rI$ محاسبه می‌شود با اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت خارجی مدار $(V = R_T I)$ برابر است.

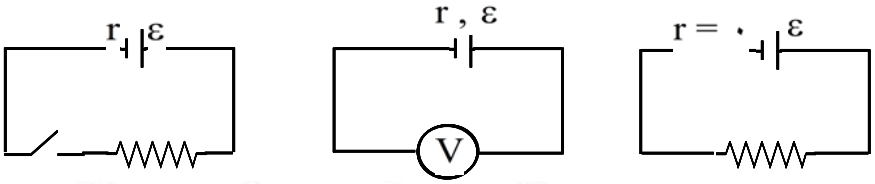
۳۱- **بیشینه‌ی جریان تولیدی توسط مولد**

اگر مقاومت خارجی مدار برابر صفر باشد یا دو سر مولد را با یک سیم بدون مقاومت به‌هم وصل کنیم، اختلاف پتانسیل دو سر مولد برابر صفر می شود و شدت جریان بیشینه‌ای که از آن عبور می‌کند برابر خواهد بود با:

$$R_T = ۰ \Rightarrow V_{\text{مولد}} = ۰ \Rightarrow I_{max} = \frac{\varepsilon}{r}$$

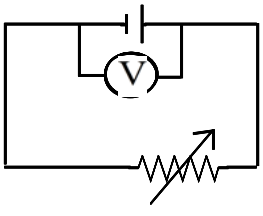
۳۲- **بیشینه‌ی اختلاف پتانسیل دو سر مولد**

اگر مقاومت خارجی مدار خیلی بزرگ باشد و یا توسط یک کلید مدار باز شود و یا در دو سر مدار مولد فقط یک ولت‌سنج ایده‌آل وصل شود و یا مقاومت درونی مولد ناچیز باشد اختلاف پتانسیل دو سر مولد بیشینه و برابر نیروی محرکه مولد خواهد بود.



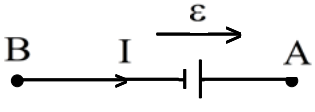
$$\Rightarrow \begin{cases} R = \infty \Rightarrow I = ۰ \Rightarrow rI = ۰ \Rightarrow V = \varepsilon \\ r = ۰ \Rightarrow rI = ۰ \Rightarrow V = \varepsilon \end{cases}$$

۳۳- **نکته :** وقتی مقاومت الکتریکی مدار تغییر می‌کند و نحوه‌ی تغییر اختلاف پتانسیل دو سر مولد را بخواهیم، مناسب‌تر است که از رابطه‌ی $V = \varepsilon - Ir$ استفاده می‌کنیم.

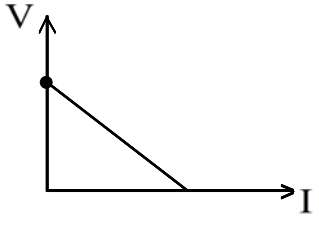


$$R\uparrow \Rightarrow \begin{cases} I = \dfrac{\varepsilon}{R + r} \quad ، \quad R\uparrow \Rightarrow I\downarrow \\ V = \varepsilon - rI \quad ، \quad I\downarrow \Rightarrow rI\downarrow \Rightarrow V\uparrow \end{cases}$$

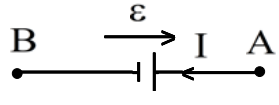
۳۴- **نکته :** اگر از یک مولد، جریان الکتریکی در جهت نیروی محرکه‌ی مولد عبور کند (یعنی خودش جریان الکتریکی را ایجاد کرده است) اختلاف پتانسیل دو سر این مولد برابر $\varepsilon - rI$ است.



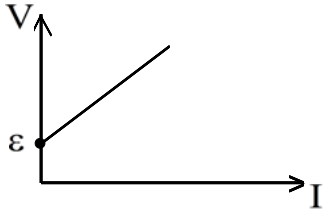
$$\Rightarrow V_{AB} = \varepsilon - rI$$



۳۵- **نکته :** اگر از یک مولد جریان الکتریکی در خلاف جهت نیروی محرکه‌ی مولد عبور کند (یعنی جریان الکتریکی توسط مولد دیگری از آن عبور داده شده است) اختلاف پتانسیل دو سر این مولد برابر $\varepsilon + rI$ است.

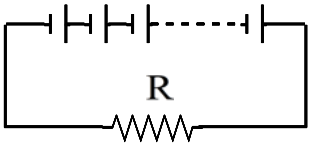


$$\Rightarrow V_{AB} = \varepsilon + rI$$



۳۶- **مدار تک حلقه با چند مولد مشابه**

اگر در یک مدار تک حلقه چند مولد مشابه که نیروی محرکه‌ی تمام آن ها هم‌جهت است قرار داشته باشد، می‌توان فرض کرد که نیروی محرکه کل این مدار برابر $n\varepsilon$ و مقامت درونی آن‌ها برابر nr می‌باشد.

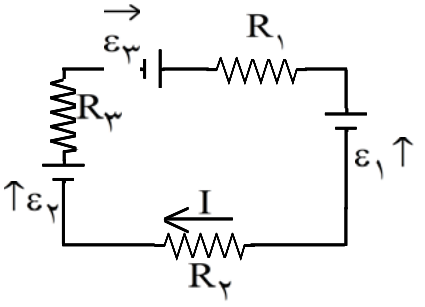


$$\begin{matrix}\varepsilon_T = n\varepsilon \\ r_T = nr\end{matrix} \Rightarrow I = \frac{\varepsilon_T}{R + r_T} \Rightarrow I = \frac{n\varepsilon}{R + nr}$$

۳۷- **مدار تک حلقه با چند مولد متفاوت**

در مداری تک حلقه با چند مولد متفاوت که نیروی محرکه‌هایی در جهت‌های مخالف دارند، برای مدار جریان الکتریکی در یک جهت دل‌خواه در نظر بگیرید و سپس نیروی محرکه‌ی مولدهایی که در جهت جریان الکتریکی هستند با علامت مثبت و آن‌هایی که در خلاف جهت جریان الکتریکی می‌باشند را با علامت منفی در رابطه‌ی زیر بکار ببرند.

شدت جریان الکتریکی در مدار تک حلقه $\leftarrow I = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R + \sum r}$



$$\Rightarrow I = \frac{-\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{(R_1 + R_2 + R_3) + (r_1 + r_2 + r_3)}$$

اگر در ابطه‌ی بالا I مثبت محاسبه شود یعنی جهت جریان الکتریکی انتخاب شده درست است و اگر منفی محاسبه گردد یعنی اندازه آن درست است اما جهت آن مخالف جهت انتخاب شده می‌باشد.

۳۸- **تغییر پتانسیل در عبور از یک مقاومت**

اگر از یک مقاومت الکتریکی در جهت جریان الکتریکی عبور کنیم، پتانسیل الکتریکی به‌اندازه RI کاهش می‌یابد و اگر در خلاف جهت جریان الکتریکی عبور کنیم، پتانسیل الکتریکی به اندازه RI افزایش خواهد یافت.

۳۹- **توان یک مولد**

انرژی الکتریکی تولید شده توسط یک مولد (انرژی ذخیره شده توسط آن) طبق رابطه‌ی $U = \varepsilon q$ یا $U = \varepsilon It$ قابل محاسبه است که قسمتی از این انرژی در مقاومت درونی خود مولد به گرما تبدیل می‌شود.

توان تولیدی $\Rightarrow U = \varepsilon It$ انرژی الکتریکی

توان تلف شده $\Rightarrow P_r = rI^2$ انرژی الکتریکی تلف شده در مقاومت درونی $U_2 = rI^2 t$

توان مفید $\Rightarrow P' = \varepsilon I - rI^2$ انرژی الکتریکی مفید یا خارج شده از مولد $U' = \varepsilon It - rI^2 t$

۴۰- **بیشینه‌ی توان مفید یک مولد**

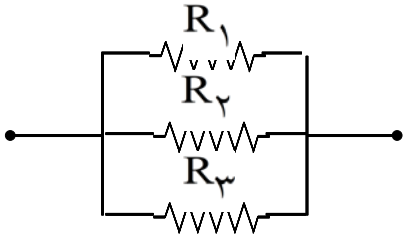
با تغییر مقاومت خارجی متصل به یک مولد و در نتیجه تغییر جریان الکتریکی گرفته شده از مولد، توان خروجی مولد تغییر می‌کند که به ازای I و R معینی، توان خروجی مولد به بیش‌ترین مقدار می‌رسد.

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \xrightarrow{I = \frac{\varepsilon}{2r}} R = r$$ مقاومت خارجی مدار وقتی توان مفید بیشینه است.

$$I = \frac{\varepsilon}{2r} \xrightarrow{V = \varepsilon - Ir \text{ ولتاژ دو سر مولد}} V = \frac{\varepsilon}{2}$$ ولتاژ دو سر مولد وقتی توان مفید بیشینه است.

۴۱- **به هم بستن مقاومت‌ها**

مقاومت معادل موازی



$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

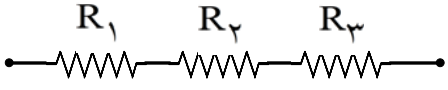
حالت خاص: دو مقاومت R_1 و R_2 موازی شوند.

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

حالت خاص: n مقاومت مشابه موازی شوند.

$$R_T = \frac{R}{n}$$

مقاومت معادل سری

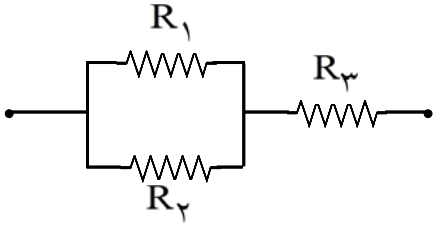


$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

حالت خاص: n مقاومت مشابه متوالی شوند.

$$R_T = nR$$

مثال :



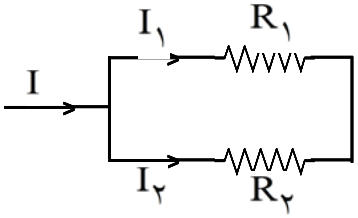
$$R_T = R_3 + \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right)$$

۴۲- جریان و اختلاف پتانسیل در مقاومت‌های موازی و متوالی

موازی

۱- اختلاف پتانسیل مقاومت‌های موازی با یکدیگر برابر است.

۲- شدت جریان الکتریکی بین مقاومت های موازی متناسب با عکس مقاومت تقسیم می‌شود در نتیجه از شاخه‌ی با مقاومت کوچک‌تر شدت جریان بیشتری عبور می‌کند.



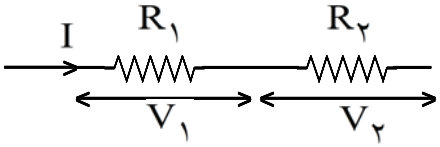
$$I = I_1 + I_2$$
$$V_1 = V_2 \Rightarrow R_1 I_1 = R_2 I_2$$
$$V_1 = V_T \Rightarrow R_1 I_1 = R_T I$$

در شکل بالا، اگر $R_1 = 3R_2$ باشد در این‌صورت $I_1 = \frac{1}{3} I_2$ خواهد بود (تقسیم شدت جریان متناسب با معکوس اندازه مقاومت ها)

متوالی

۱- شدت جریان در مقاومت های متوالی با یک‌دیگر برابر است.

۲- اختلاف پتانسیل بین مقاومت های متوالی متناسب با اندازه مقاومت تقسیم می‌شود در نتیجه در دو سر مقاومت کوچک‌تر، اختلاف‌پتانسیل کم‌تری ایجاد می‌شود.

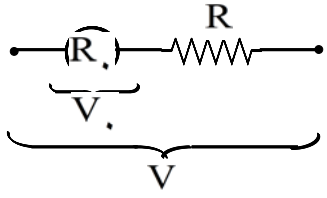


$$V = V_1 + V_2$$
$$V_1 = R_1 I$$
$$V_2 = R_2 I$$

در شکل بالا، اگر $R_1 = 3R_2$ باشد در این‌صورت $V_1 = 3V_2$ خواهد بود(تقسیم ولتاژ متناسب با اندازه مقاومت‌ها)

۴۳- افزایش حدود اندازه‌گیری ولت‌سنج

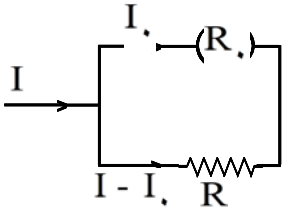
برای تبدیل یک ولت‌سنج به مقاومت درونی R_v که حداکثر ولتاژ V_v را اندازه‌گیری می‌کنند. به ولت‌سنجی که ولتاژ بالاتری را اندازه‌گیری کند باید یک مقاومت بزرگ را با آن به‌طور متوالی ببندیم.



$$V_v = R_v I \Rightarrow I = \frac{V_v}{R_v}$$
$$V = (R_v + R) I$$

۴۴- افزایش حدود اندازه‌گیری آمپرسنج

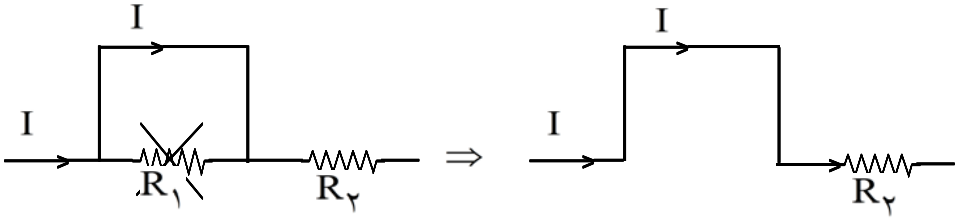
برای تبدیل یک آمپرسنج به مقاومت درونی R_A که حداکثر شدت جریان I_A را اندازه‌گیری می‌کند. به آمپرسنجی که شدت جریان بالاتری را اندازه‌گیری کند باید یک مقاومت کوچک را به‌طور موازی ببندیم.



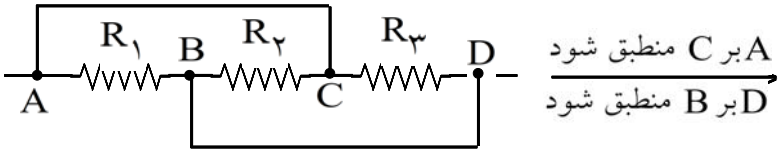
$$V_A = V_T \Rightarrow R_A I_A = R_T I$$
$$\Rightarrow R_A I_A = \frac{R_A R}{R_A + R} I \Rightarrow I_A = \frac{R}{R_A + R} I$$

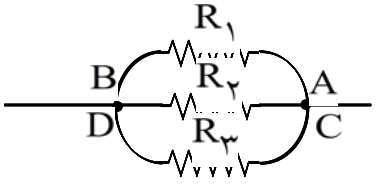
۴۵- **کاربرد سیم اتصال کوتاه در مدارهای الکتریکی**

اگر یک سیم بدون مقاومت به دو سر یک مقاومت الکتریکی متصل شود، آن مقاومت را از مدار حذف می‌کند.



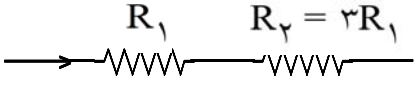
۴۶- **نکته :** یک سیم بدون مقاومت الکتریکی که دو نقطه از مداری را به یک‌دیگر وصل می‌کند باعث می‌شود که پتانسیل الکتریکی آن دو نقطه با یک‌دیگر برابر شود. لذا با قرار دادن دو نقطه بر یک دیگر می‌توان شکل ساده‌تری از مدار را به‌دست آورد.



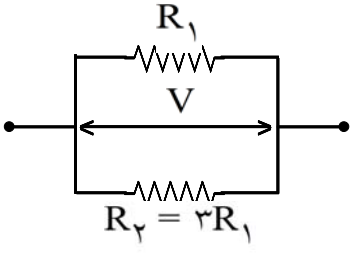


۴۷- **انرژی الکتریکی مصرفی در مجوعه‌ی مقاومت‌ها**

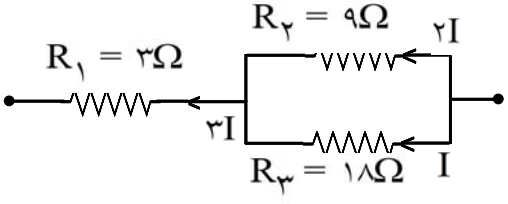
مناسب‌ترین رابطه برای مقایسه‌ی توان الکتریکی مصرفی (توان گرمایی) در مقاومت‌ها رابطه‌ی $P = RI^2$ است، اما اگر دو مقاومت الکتریکی موازی باشند، رابطه‌ی $P = \frac{V^2}{R}$ نیز برای مقایسه‌ی توان الکتریکی مصرفی آن ها مناسب خواهد بود.



$$\Rightarrow \begin{cases} P_1 = R_1 I^2 \\ P_2 = R_2 I^2 \end{cases} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{R_2}{R_1} = 3$$



$$\Rightarrow \begin{cases} P_1 = \frac{V^2}{R_1} \\ P_2 = \frac{V^2}{R_2} \end{cases} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{3}$$



$$\Rightarrow \begin{cases} P_1 = R_1 I_1^2 = 3(3I)^2 = 27I^2 \\ P_2 = R_2 I_2^2 = 9(2I)^2 = 36I^2 \\ P_3 = R_3 I_3^2 = 18I^2 \end{cases} \Rightarrow P_3 < P_1 < P_2$$

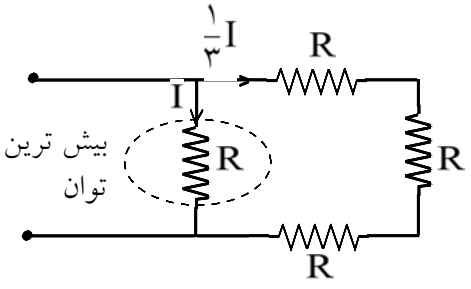
$$V_2 = V_3 \Rightarrow I_2 R_2 = I_3 R_3 \Rightarrow I_2 \times 9 = I_3 \times 18 \Rightarrow I_2 = 2I_3$$

۴۸- **حداکثر توان مصرفی مقاومت‌ها**

اگر چند مقاومت الکتریکی مشابه در مدار قرار داشته باشند همواره مقاومتی که بیش‌ترین شدت جریان الکتریکی از آن می‌گذرد، بیش‌ترین توان الکتریکی را به مصرف می‌رساند. در مسئله‌هایی که بیش‌ترین توان الکتریکی مقاومت‌های مشابه معلوم است ابتدا معین کنید که کدام مقاومت الکتریکی بیش‌ترین توان را خواهد داشت (همان مقدار مشخص شده در مسئله) و سپس با محاسبه‌ی مقاومت معادل بقیه‌ی مقاومت‌های باقیمانده، توان الکتریکی آن‌ها را نیز معلوم کنید.

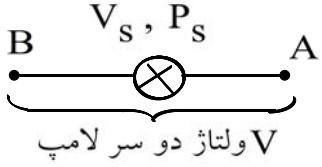
$$\text{توان مصرفی در شاخه ی دیگر} \Rightarrow P' = R'I'^{۲} = ۳R\left(\frac{۱}{۳}I\right)^{۲} = \frac{۱}{۳}RI^{۲}$$

$$\text{توان مصرفی در کل مدار } P_T = P + P'$$



۴۹- **مصرف‌کننده‌های الکتریکی(لامپ‌ها)**

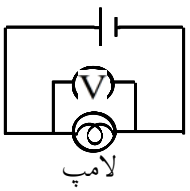
روی هر مصرف کننده‌ی الکتریکی توسط کارخانه‌ی سازنده مقدار بیش‌ترین ولتاژ (ولتاژ اسمی V_S) و بیش‌ترین توان مصرفی (توان اسمی P_S) نوشته می‌شود که با داشتن ولتاژ اسمی و توان اسمی، مقاومت الکتریکی یک مصرف کننده قابل محاسبه است.



$$P = \frac{V^{۲}}{R} \Rightarrow P_S = \frac{V_S^{۲}}{R} \Rightarrow R = \frac{V_S^{۲}}{P_S}$$

۵۰- **نکته :** وقتی چند لامپ برای کار با برق شهر ساخته شده‌اند (V_S یکسان)، لامپی که روی آن توان اسمی بیشتری نوشته شده است مقاومت الکتریکی کوچک‌تری دارد.

۵۱- **نکته:** اگر یک لامپ به ولتاژ اسمی‌اش V_S وصل شود توان P_S را مصرف می‌کند و اگر به ولتاژ بالاتر از V_S وصل شود می‌سوزد و چنانچه به ولتاژی کم‌تر از V_S وصل گردد، توان مصرفی آن نیز متناسب با $V^{۲}$ کم‌تر از P_S خواهد بود.



$$P = \frac{V^{۲}}{R}$$

$$P_S = \frac{V_S^{۲}}{R} \quad \Rightarrow \frac{P}{P_S} = \left(\frac{V}{V_S}\right)^{۲}$$

-۵۲ **توان مصرفی کل لامپ‌های موازی متصل به برق شهر**

چنانچه چند لامپ به‌طور موازی به یک دیگر بسته شده و مجموعه را به برق شهر (به ولتاژ V_S) وصل کنیم، ولتاژ دو سر هر لامپ برابر V_S بوده و هر لامپ توان اسمی P_S را مصرف می‌کند. در نتیجه:

توان مصرفی کل لامپ های موازی متصل به برق شهر $P_T = P_{۱S} + P_{۲S} + P_{۳S} + \ldots$

-۵۳ **توان مصرفی کل لامپ‌های متوالی به برق شهر**

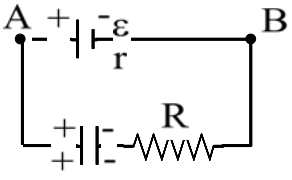
اگر لامپ‌ها به‌طور متوالی به یک‌دیگر بسته شده و مجموعه را به ولتاژ V_T وصل کنیم با محاسبه‌ی مقامت کل مدار، توان الکتریکی کل لامپ‌ها قابل محاسبه است.

توان مصرفی لامپ های متوالی $P_T = \frac{V_T^{۲}}{R_T} = \frac{V_T^{۲}}{R_۱ + R_۲ + R_۳} = \frac{V_T^{۲}}{\frac{V_S^{۲}}{P_۱} + \frac{V_S^{۲}}{P_۲} + \frac{V_S^{۲}}{P_۳}}$

-۵۴ **اتصال مقاومت و خازن در مدار**

الف) خازن در شاخه‌ی اصلی باشد

اگر خازن در شاخه‌ی اصلی مدار قرار گرفته باشد، پس از پر شدن خازن، جریان مدار قطع می‌شود. در این حالت اختلاف پتانسیل دو سر خازن با نیروی محرکه‌ی مولد برابر می‌شود.



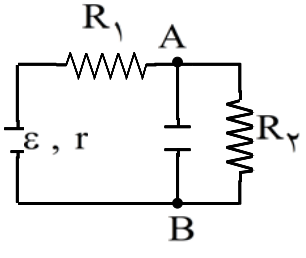
$q = CV$ خازن ، $(V$ خازن $= \varepsilon)$

در این شکل پس از پر شدن خازن، جریان مدار صفر می‌شود. چون جریانی از مقاومت عبور نمی‌کند، عملاً مقاومت در مدار بی‌تأثیر است. در نتیجه ولتاژ خازن با ولتاژ دو سر مولد برابر است.

-۵۵ **اتصال مقاومت و خازن در مدار**

ب) خازن با یکی از اجزای مدار موازی است

در این حالت با پر شدن جریان اصلی مدار قطع نمی‌شود، ولی جریان شاخه‌ای که خازن در آن قرار دارد، قطع خواهد شد. بنابراین ولتاژ دو سر خازن با ولتاژ آن قسمت از مدار که با خازن موازی است، برابر می‌گردد. مثلاً در شکل زیر ولتاژ دو سر خازن با ولتاژ دو سر مقاومت $R_۲$ برابر است.

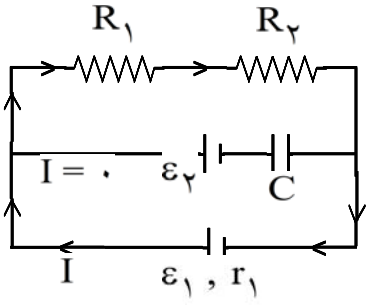


$q = CV$ خازن ، $(V$ خازن $= IR_۲)$

-۵۶ **اتصال مقاومت و خازن در مدار**

پ) خازن در شاخه‌ی اصلی نباشد و با هیچ جزیی نیز موازی نباشد

در این حالت ولتاژ دو سر خازن را V_C فرض می‌کنیم و با حرکت روی حلقه‌ای از مدار که شامل خازن نیز می‌شود، تغییر اختلاف پتانسیل‌های حلقه را می‌نویسیم. در شکل زیر در شاخه‌ای که خازن است، شدت جریان برابر صفر می‌باشد.



$$I = \frac{\varepsilon_1}{(R_1 + R_2) + r_1}$$

$$\text{(حلقه ی بالا)} \quad -IR_1 - IR_2 - V_C + E_2 = 0 \Rightarrow V_C = ?$$

-۵۷ **قانون‌های کیرشهف**

قانون شدت جریان‌ها: مجموع جریان‌های که به هر گره (یعنی نقطه‌ای که اجزای مدار در آن نقطه به هم متصل شده‌اند) می‌رسند برابر مجموع جریان‌هایی است که از آن نقطه خارج می‌شوند.

$$\text{ورودی } I = \text{خروجی } I$$

قانون اختلاف پتانسیل‌ها: در هر حلقه یا هر مدار بسته، مجموع جبری اختلاف پتانسیل‌ها صفر است.

$$\text{حلقه } \sum V = 0$$

-۵۸ **تحلیل مدار**

اگر n شاخه در مدار وجود داشته باشد، برای حل مدار به n معادله نیاز داریم.

الف) ابتدا برای هر شاخه، جریانی در جهت دل‌خواه انتخاب می‌کنیم و قانون شدت جریان‌ها را برای هر گره می‌نویسیم.

ب) قانون اختلاف پتانسیل را برای هر حلقه (مسیر بسته) می‌نویسیم و با داشتن n معادله، جریان‌های هر شاخه را به‌دست می‌آوریم.

اگر جریان الکتریکی عددی منفی به دست آید جهت آن برعکس جهت انتخاب شده است.

-۵۹ **فروشکست**

اگر بار الکتریکی خازن از مقدار معینی بیش‌تر شود، یک میدان الکتریکی بسیار قوی بین دو صفحه ایجاد می‌شود. این میدان الکتریکی باعث می‌شود که دی الکتریک بین دو صفحه به‌طور موقت رسانا شود. در اثر این پدیده خازن تخلیه می‌شود. این پدیده را فروشکست دی الکتریک می‌نامند. پدیده‌ی فروشکست باعث تغییر ماهیت یا سوراخ شدن دی الکتریک و سوختن خازن می‌شود.

۶۰- عوامل موثر در مقاومت رسانای فلزی

مقاومت یک رسانای فلزی در دمای ثابت به‌طول، سطح مقطع و جنس آن بستگی دارد.

رابطه‌ی زیر بستگی مقاومت را به سه عامل مذکور بیان می‌کند.

$$R = P\frac{l}{A}$$

در این رابطه ρ مقاومت ویژه برحسب اهم‌متر (Ωm)، l طول رسانا برحسب متر (m) و A مساحت سطح مقطع سیم برحسب متر مربع (m^2) می‌باشد.

۶۱- اثر دما بر مقاومت رساناهای فلزی

در رساناهای فلزی افزایش دما سبب افزایش مقاومت ویژه و در نتیجه افزایش مقاومت رسانا می‌شود. اگر افزایش دما زیاد نباشد مقاومت ویژه‌ی جسم با رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

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

$\Delta\theta$ میزان افزایش دما برحسب کلوین (یا درجه سیلسیوس) است و α ضریب دمایی مقاومت ویژه برحسب K^{-1} (برکلوین) می باشد. پس مقدار R_2 نیز با رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

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

۶۲- شدت جریان متوسط

بار شارش شده شده در واحد زمان را شدت جریان متوسط گویند.

شدت جریان متوسط از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

یکای شدت جریان آمپر نام دارد. در این رابطه Δt برحسب ثانیه و Δq برحسب کولن است.

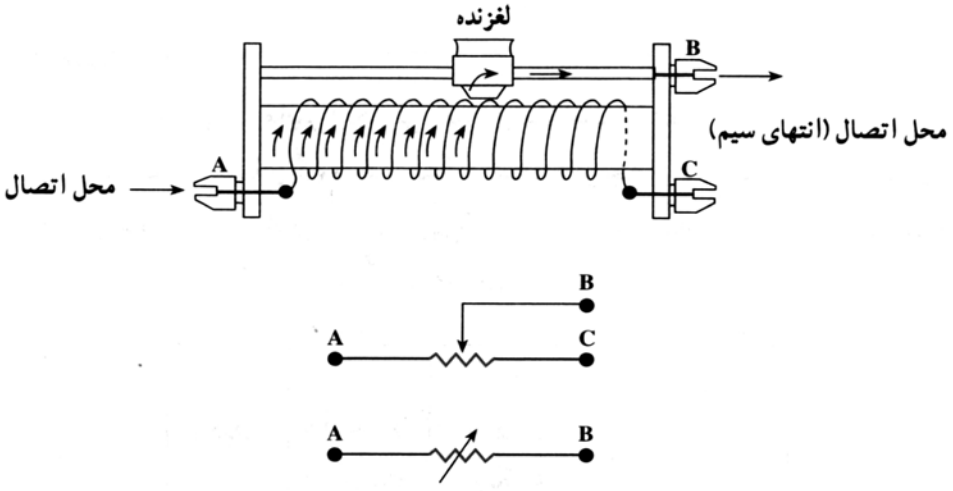
۶۳- جریان مستقیم

اگر در تمام بازه‌های زمانی شدن جریان متوسط ثابت بماند، جریان را مستقیم می‌نامیم. در شدت جریان مستقیم شدت جریان لحظه‌ای و شدت جریان متوسط برابر است. در این صورت رابطه‌ی شدت جریان به شکل زیر تبدیل می‌شود.

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

۶۴- مقاومت متغیر

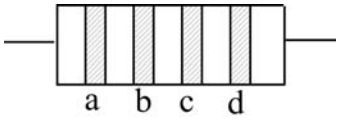
مقاومت متغیر وسیله‌ای برای تنظیم و کنترل شدت جریان در یک مدار می‌باشد. نوعی از آن موسوم به رئوستا از یک سیم بالا مانند تنگستن ساخته می‌شود که دور یک استوانه‌ای نارسانا پیچیده می‌شود. لغزنده‌ای روی سیم قرار دارد که با حرکت آن می‌توان هر قسمت از مدار را که نیاز است در مدار قرار داد.



بعضی مواقع برای تولید مقاومت متغیر از جعبه مقاومت استفاده می‌شود.

۶۵- کد رنگی مقاومت‌ها

برای تعیین مقدار مقاومت ساخته به جای نوشتن مقدار مقاومت از ۴ نوار رنگی روی آن استفاده می‌شود. هررنگ نماینده‌ی یک عدد است.



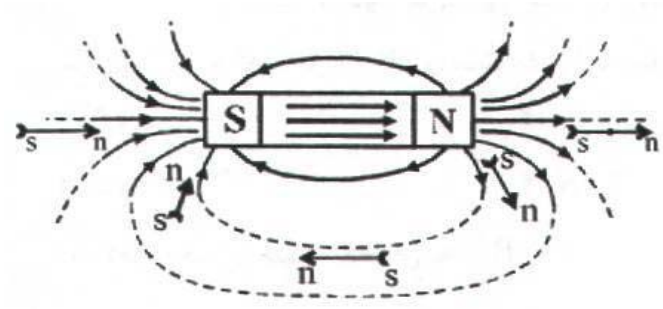
دو نوار اول و دوم از سمت چپ رقم‌های اول و دوم مقاومت را مشخص می‌کنند. نوار سوم تعیین کننده‌ی تعداد صفرهای مقابل این دو رقم است و نوار چهارم نیز درصد خطای مقاومت را مشخص می‌کند.
جدول زیر عددهای مربوط به هر رنگ را مشخص می‌کند.

رنگ	عدد
سیاه	۰
قهوه ای	۱
قرمز	۲
نارنجی	۳
زرد	۴
سبز	۵
آبی	۶
بنفش	۷
سفید	۹

تذکر: رنگ‌های خاکستری و سفید در نوار سوم ظاهر نمی‌شوند.

۱- **میدان مغناطیسی اطراف آهن‌ربا**

خاصیت مغناطیسی اطراف یک آهنربا را با خط هایی نشان می‌دهیم که از قطب N آهن‌ربا خارج و به قطب S وارد می‌شوند.



۲- **نکته:** در اطراف قطب های آهن‌ربا که خاصیت مغناطیسی شدید است، خط های میدان متراکم‌تر رسم می‌شوند.

۳- **نکته:** جهت خط های میدان در داخل آهنربا از سمت قطب S به سمت قطب N می‌باشد.

۴- **عقربه‌ی مغناطیسی**

وقتی یک آهنربا یا عقربه‌ی مغناطیسی در میدان مغناطیسی اطراف یک آهنربا قرار گیرد، طوری منحرف می‌شود که در هنگام تعادل قطب N آن در سوی میدان مغناطیسی باشد، در این حالت خط های میدان مغناطیسی از قطب S آن وارد و از قطب N آن خارج می‌شوند.

۵- **اندازه‌ی نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی**

هرگاه سیمی راست حامل جریان الکتریکی در میدان مغناطیسی به گونه‌ای واقع شود که راستای جریان با میدان موازی نباشد، بر سیم حامل جریان نیروی F وارد خواهد شد.

زاویه ی بین راستای سیم و میدان مغناطیسی

$$F = ILB\sin\alpha \Rightarrow \begin{cases} \alpha = 0 \Rightarrow F = 0 \\ \alpha = 90 \Rightarrow F_{max} = ILB \end{cases}$$

نیروی وارد بر سیم از طرف میدان مغناطیسی(نیوتن)

میدان مغناطیسی(تسلا) — شدت جریان(آمپر) — طول سیم(متر)

۶- **جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی**

نیروی F همواره بر امتداد میدان مغناطیسی و بر امتداد سیم عمود است و سوی آن طبق قاعده‌ی دست راست تعیین می‌شود.

انگشت شست دست راست ⇒ (سوی نیرو) — قاعده ی دست راست (باز) { سوی چهار انگشت ⇒ (جهت جریان) ; (از کف دست خارج می شود) جهت بسته شدن چهار انگشت ⇒ (جهت میدان مغناطیسی) }

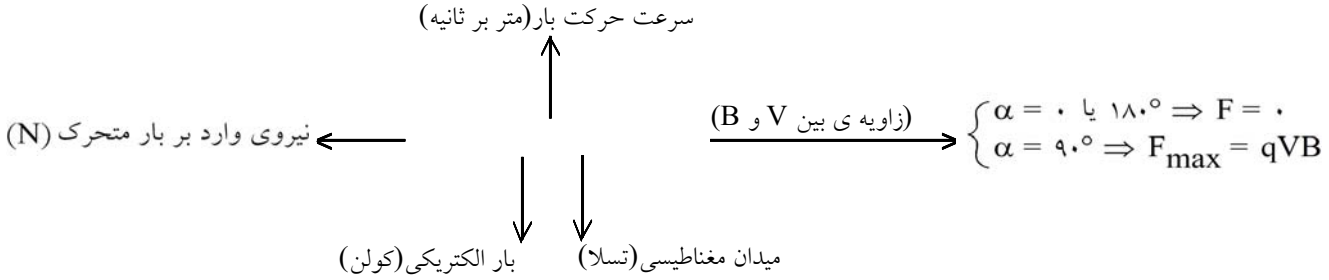
۷- **یکای میدان مغناطیسی**

با استفاده از رابطه‌ی $F = ILB\sin\alpha$ ، یکای میدان مغناطیسی را می‌توان به‌دست آورد که تسلا نامیده می‌شود.

$$F = ILB\sin\alpha \Rightarrow B = \frac{F}{IL\sin\alpha} \Rightarrow \text{تسلا} = \frac{\text{نیوتن}}{\text{مترآمپر}}$$

۸- **اندازه‌ی نیروی وارد بر بار الکتریکی متحرک در میدان مغناطیسی**

بار الکتریکی چه ساکن و چه متحرک در اطراف خود میدان الکتریکی (E) می‌سازد اما همین‌که بار الکتریکی به حرکت درآید، در اطرافش میدان مغناطیسی نیز خواهد ساخت. به همین‌دلیل بر بار الکتریکی متحرک واقع در یک میدان مغناطیسی نیرو وارد می‌شود.



۹- **جهت نیروی وارد بر بار الکتریکی متحرک در میدان مغناطیسی**

نیروی F همواره بر امتداد میدان مغناطیسی و بر امتداد سرعت حرکت بار عمود است و سوی آن طبق قاعده‌ی دست راست برای بار مثبت تعیین می‌شود.

قاعده دست راست:
- سوی چهار انگشت $\Rightarrow$ (سوی حرکت بار)
- در سوی بسته شدن چهار انگشت B از کف دست خارج می شود $\Rightarrow$ (سوی میدان)
- انگشت شست دست راست $\Rightarrow$ (سوی نیرو برای بار مثبت)

۱۰- **اندازه‌ی میدان مغناطیسی اطراف سیم راست و بلند**

در اطراف سیم حامل جریان میدان مغناطیسی به وجود می‌آید که اندازه‌ی آن در هر نقطه از طرف سیم با شدت جریان گذرنده از سیم (I) نسبت مستقیم و با فاصله‌ی نقطه از سیم (d) نسبت عکس دارد. پس داریم:

$$B \propto \frac{I}{d}$$

$$\mu_۰ = ۴\pi \times ۱۰^{-۷} \frac{T.m}{A}$$ قابلیت گذردهی میدان مغناطیسی در خلاء

$$B = \frac{\mu_۰}{۲\pi} \times \frac{I}{d}$$

I: شدت جریان(آمپر)، d: فاصله از سیم(متر)، B: میدان مغناطیسی(تسلا)

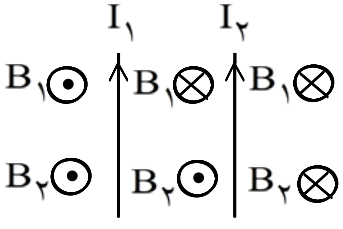
۱۱- **خطوط میدان مغناطیسی اطراف سیم راست و بلند**

خط های میدان مغناطیسی در اطراف سیم راست به‌صورت دایره‌هایی هم‌مرکز می‌باشند که سیم محور آن‌هاست. (سیم از مرکز دایره‌ها گذشته و بر صفحه صفحه آن‌ها عمود است.) و سوی آن با قانون دست راست تعیین می‌شود.

۱۲- **میدان مغناطیسی حاصل از دو سیم موازی**

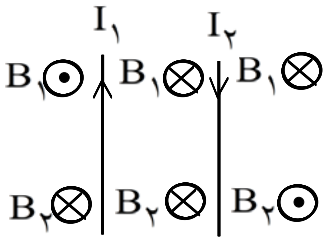
جریان‌ها هم‌سو باشند

در این حالت میدان‌ها در خارج دو سیم هم‌سو و بین دو سیم ناهم‌سو هستند. بنابراین اندازه‌ی میدان بین دو سیم برابر قدر مطلق تفاضل اندازه‌های هر یک و در خارج دو سیم برابر مجموع اندازه‌ی میدان حاصل از هر سیم خواهد بود.



۱۳- **میدان مغناطیسی حاصل از دو سیم موازی**

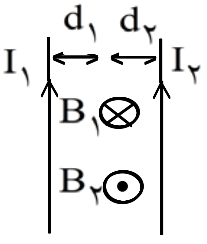
جریان‌ها ناهم‌سو باشند



در این حالت میدان‌ها بین دو سیم هم‌سو و خارج دو سیم ناهم‌سو بوده و اندازه‌ی میدان برآیند بین دو سیم برابر مجموع اندازه‌های میدان حاصل از هر سیم و در خارج آن‌ها برابر قدر مطلق تفاضل آن‌هاست.

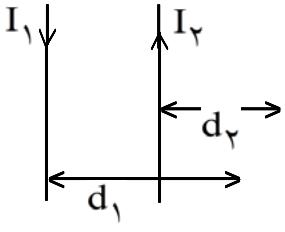
۱۴- **یافتن نقطه‌ای در صفحه دو سیم موازی که برآیند میدان‌ها در آن نقطه صفر باشد:**

الف) در حالت جریان‌های هم‌سو نقطه‌ای که میدان مغناطیسی برآیند در آن صفر است، بین دو سیم و نزدیک به سیم با جریان کمتر قرار دارد. به‌طوری که داریم:



$$\frac{I_1}{I_2}=\frac{d_1}{d_2}$$

ب) در حالت جریان‌های ناهم‌سو نقطه‌ای که میدان مغناطیسی برآیند در آن صفر است خارج دو سیم و در طرف سیم با جریان کوچک‌تر قرار دارد به گونه‌ای که داریم:



$$\frac{I_1}{I_2}=\frac{d_1}{d_2} \qquad (I_1 > I_2 \text{ اگر})$$

اثبات رابطه‌ی $\frac{I_1}{I_2}=\frac{d_1}{d_2}$:

می‌دانیم برآیند دو بردار وقتی صفر است که دو بردار هم‌اندازه ولی ناهم‌سو باشند.

$$B_T = 0 \Rightarrow B_1 - B_2 = 0 \Rightarrow B_1 = B_2 \Rightarrow \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d_1}=\frac{\mu_0 I_2}{2\pi d_2} \Rightarrow \frac{I_1}{I_2}=\frac{d_1}{d_2}$$

۱۵- **نیروی بین دو سیم موازی**

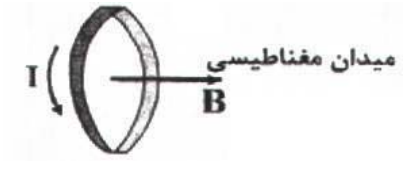
دو سیم موازی که به فاصله‌ی d از یک‌دیگر قرار گرفته و از آن‌ها جریان‌های الکتریکی I_1 و I_2 عبور می‌کند، نیرویی به یک‌دیگر وارد می‌کنند که مقدار این نیرو که بر طول L از هر سیم وارد می‌شود طبق رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

$$F=\frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi d}$$

نیرو ربایشی(جاذبه) است $\Rightarrow$ I_1 و I_2 هم جهت

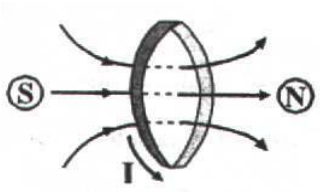
نیرو رانشی(دافعه)است $\Rightarrow$ I_1 و I_2 خلاف جهت

۱۶- **تعیین سوی میدان در مرکز حلقه**



راستای میدان در مرکز حلقه عمود بر سطح حلقه است و برای تعیین سوی آن می‌توان از دستور دست راست بهره گرفت. به‌طوری که اگر چرخش چهار انگشت دست راست در سوی جریان باشد. انگشت شست سوی میدان در مرکز حلقه را نشان می‌دهد.

۱۷- **تعیین قطب‌های مغناطیسی حلقه‌های حامل جریان**



وضع خطوط میدان حلقه درست مانند یک آهنربای تیغه‌ای است. یعنی حلقه مانند آهن‌ربایی است که خطوط میدان از درون آن به طرف خارج حلقه می‌آیند. بنابراین یک رخ حلقه N و رخ دیگر آن S خواهد بود. رخی که میدان $\vec{B}$ از آن خارج می‌شود قطب N است و رخی که میدان $\vec{B}$ به آن داخل می‌شود قطب S است.

۱۸- **اندازه‌ی میدان در مرکز حلقه**

اندازه‌ی میدان در مرکز حلقه ۱- با جریان I نسبت مستقیم، ۲- با تعداد دورهای حلقه نسبت مستقیم و ۲- با شعاع حلقه (r) نسبت عکس دارد و داریم:

$$B = N\frac{\mu_{\circ}}{2}\frac{I}{r} \leftarrow \text{میدان مغناطیسی در مرکز یک حلقه}$$

۱۹- **جهت میدان مغناطیسی در مرکز حلقه**

میدان در مرکز حلقه، عمود بر سطح حلقه و در امتداد محور آن است و اندازه‌ی میدان در این نقطه (مرکز حلقه) بیشتر از نقاط دیگر روی محور است.

۲۰- **میدان سیم‌لوله**

میدان مغناطیسی که در اثر جریان I در داخل یک سیملوله به‌طول L با N حلقه ایجاد می‌شود در نقاط نسبتاً دور از لبه‌های سیملوله یکنواخت است و مقدار آن در تمام نقاط فضای داخل سیملوله از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد.

$$B = \mu_{\circ}\frac{N}{L}I \leftarrow \text{میدان مغناطیسی یکنواخت در داخل سیملوله}$$

۲۱- **تعداد دورهای پیچه یا سیم‌لوله**

اگر یک پیچه یا سیملوله به شعاع r با سیمی به‌طول x ساخته شده شود، تعداد حلقه‌های پیچه یا سیملوله برابر است با:

$$N = \frac{x}{2\pi r} \leftarrow \text{تعداد حلقه های سیم پیچ} \quad \begin{matrix}\text{طول سیم}\\ \text{محیط هر حلقه}\end{matrix}$$

با قرار دادن یک هسته‌ی آهنی (ماده‌ی فرومغناطیس) در داخل یک پیچه یا سیملوله، میدان مغناطیسی افزایش می‌یابد.

۲۲- وقتی سیمی به دور یک یک تیغه از جنس مواد فرومغناطیس پیچیده شود و از آن جریان الکتریکی مستقیم عبور دهیم، دو قطبی‌های تیغه در سوی میدان حاصل از سیم‌پیچ منظم شده و تبدیل به آهن‌ربا می‌شود.

۲۳- **سوی میدان در داخل پیچه**

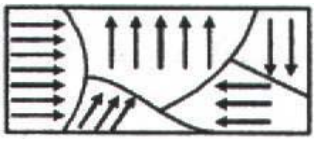
چهار انگشت دست راست را به‌صورت بسته نگاه دارید، سپس چهار انگشت دست راست را در سوی جریان و به دور محیط حلقه قرار دهید، انگشت شست، سوی میدان را در مرکز حلقه نشان خواهد داد.

نکته: اگر سوی میدان حاصل از حلقه به طرف بیرون تیغه باشد، آن سر تیغه قطب N خواهد بود (با اتکاء به اینکه خط میدان از قطب N خارج می‌شود) در غیر این‌صورت قطب S خواهد بود.

-۲۴ **خاصیت مغناطیسی مواد**

اتم‌ها و مولکول‌های ماده به‌تنهایی یک آهن‌ربا می‌باشند که به دو قطبی مغناطیسی معروفند. به عبارتی خاصیت مغناطیسی یکی از ویژگی‌های مواد بوده و بسته به نوع آرایش آن‌ها مواد از لحاظ مغناطیسی به سه دسته کلی فرومغناطیس، پارا مغناطیس و دیا مغناطیس طبقه‌بندی می‌شوند.

-۲۵ **مواد فرو مغناطیس**

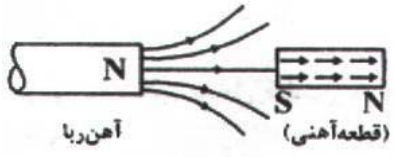


در این مواد دو قطبی‌های مغناطیسی در قسمت‌های مجزایی به نام حوزه مغناطیسی هم جهت می‌باشند. اما سمت‌گیری هر حوزه با حوزه‌های دیگر متفاوت است به گونه‌ای که در کل ممکن است اثر یک‌دیگر را خنثی کرده و ماده خاصیت آهن‌ربایی نداشته باشد. مثل آهن، نیکل، کبالت، مواد فرومغناطیس در دو نوع فرومغناطیس نرم و فرو مغناطیس سخت می‌باشند.

-۲۶ **القای مغناطیسی**

هرگاه یک ماده‌ی فرومغناطیس را به یک قطب آهن‌ربا نزدیک کرده و یا به آن تماس دهیم، این ماده خود به خود آهن‌ربا می‌شود و همواره سر نزدیک به قطب آهن‌ربا ناهم نام با آن می‌شود. بنابراین القا همواره به گونه‌ای است که ربایش به سوی آهن‌ربای اصلی را سبب می‌شود.

-۲۷ **اشباع در القای مغناطیسی**



بیشترین خاصیت مغناطیسی است که می‌توان در یک ماده‌ی فرو مغاطیس ایجاد نمود و هنگامی رخ می‌دهد که تمام دو قطبی‌های ماده هم‌سو شوند. این لحظه به بعد اگر میدان مغناطیسی وارد بر آهن را افزایش دهیم. خاصیت القای مغناطیسی در آن تغییر نمی‌کند.

-۲۸ **فرو مغناطیس نرم**

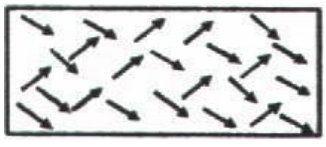
موادی مثل آهن خالص و کبالت خالص و نیکل خالص به آسانی آهن‌ربا می‌شوند و به آسانی نیز این خاصیت را از دست می‌دهند. این مواد در ساخت آهن‌رباهای الکتریکی (موقتی) مثلاً در زنگ اخبار ... کاربرد دارند.

-۲۹ **فرومغناطیس سخت**

موادی مانند فولاد و برخی از آلیاژهای نیکل و کبالت که به سختی آهن‌ربا می‌شوند و به سختی نیز خاصیت‌شان را از دست می‌دهند. این مواد در ساخت آهن‌ربای دائمی کاربرد دارند.

-۳۰ **مواد پارامغناطیس**

در این مواد دو قطبی‌های مغناطیسی به‌طور کاتوره‌ای و نامنظم توزیع شده‌اند و فقط تحت اثر میدان‌های بسیار قوی مقداری خاصیت آهن‌ربای به‌دست می‌آورند و به محض حذف میدان اعمالی، مجدداً دوقطبی‌ها نامنظم می‌شوند. مثل: آلومینیوم، پلاتین، فلزات قلیایی و قلیایی خاکی، اکسیژن و اکسید ازت، به شکل توجه کنید:



۳۱- ویژگی‌های خطوط میدان

۱- راستای میدان مغناطیسی در هر نقطه مماس بر خط میدان در آن نقطه است.

۲- خط میدان در هر نقطه هم سو با میدان در آن نقطه است.

۳- تراکم این خطوط در فضا نشان‌گر بزرگی میدان آن نقطه است.

۴- از هر نقطه از فضا فقط یک خط میدان می‌گذرد. به بیان دیگر خطوط میدان مغناطیسی هم دیگر را قطع نمی‌کنند.

۱- **شار مغناطیسی**

وقتی سیم‌پیچ یا مداری که مساحت آن برابر A می‌باشد در یک میدان مغناطیسی قرار گیرد، شار مغناطیسی که از سیم‌پیچ یا مدار عبور می‌کند طبق رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

$\varphi = AB\cos\theta$

A: مساحت یک حلقه (m^2) — B: میدان مغناطیسی (T) — θ: زاویه ی بین نیم خط عمود بر سطح سیم پیچ و میدان مغناطیسی — φ: شار مغناطیسی سیم پیچ (وبر Wb)

۲- **شار مغناطیسی بیشینه**

وقتی سیم‌پیچ عمود بر میدان مغناطیسی است، شار مغناطیسی ماکزیمم می‌باشد.

$\theta = ۰^\circ$ یا $۱۸۰^\circ \Rightarrow |\cos\theta| = ۱ \Rightarrow \varphi_{max} = \pm AB$ (سطح سیم پیچ عمود بر میدان)

۳- **شار مغناطیسی صفر**

وقتی سیم‌پیچ موازی میدان مغناطیسی باشد، شار مغناطیسی عبوری برابر صفر است.

$\theta = ۹۰^\circ$ یا $۲۷۰^\circ \Rightarrow \cos\theta = ۰ \Rightarrow \varphi = ۰$ (سیم پیچ موازی میدان)

۴- **قانون فارادی**

هرگاه شار مغناطیسی که از یک مدار بسته می‌گذرد تغییر نماید، در آن نیروی محرکه‌ای القاء خواهد شد و جریانی در آن برقرار می‌شود به‌طوری که بزرگی نیروی محرکه‌ی القا شده متناسب با آهنگ تغییر شار است.

$$\varepsilon = -\frac{d\varphi}{dt}$$

در این رابطه ε بر حسب ولت، $\frac{d\varphi}{dt}$ برحسب وبر بر ثانیه است.

۵- **قانون لنز**

سوی جریان حاصل از نیروی محرکه‌ی القایی به گونه‌ای است که به‌وسیله‌ی آثار مغناطیسی‌ای که به‌وجود می‌آورد با عامل به‌وجود آورنده خود (تغییر شار) مخالفت می‌کند.

۶- **محاسبه‌ی نیروی محرکه‌ی القایی متوسط و لحظه‌ای**

از ترکیب دو قانون فارادی و لنز، فرمول‌ها از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt}$ (نیروی محرکه ی خودالقایی لحظه ای) $\Rightarrow$ $\bar{\varepsilon} = -N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ (نیروی محرکه ی خودالقایی متوسط)

N = تعداد حلقه های پیچه ، $\Delta\varphi$ = تغییر شار برحسب وبر (Wb) ، Δt = زمان تغییر شار برحسب ثانیه (S)

$\bar{\varepsilon}$ = نیروی محرکه ی القایی متوسط در پیچه بر حسب ولت (V) ، $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ = آهنگ تغییر شار در پیچه بر حسب $\left(\frac{wb}{s}\right)$

۷- **نکته:** در مواردی که حرکت باعث تغییر شار می‌شود، قانون لنز مانند نیروی اصطکاک عمل کرده و در مقابل حرکت مقاومت نشان می‌دهد.

۸- روش‌های ایجاد تغییر شار در یک مدار

طبق رابطه‌ی $\varphi = BA\,Cos\theta$ با تغییر هریک از عوامل میدان مغناطیسی، شدت میدان مساحت حلقه (A)، و زاویه‌ی بین سوی میدان مغناطیسی و نیم‌خط عمود بر صفحه (θ)، شار تغییر نموده و باعث ایجاد نیروی محرکه‌ی القایی در یک مدار بسته‌ی رسانا خواهد شد.

تغییر شار $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \Rightarrow$
- تغییر شار به روش تغییر میدان $\Delta\varphi = A(\Delta B)Cos\alpha$
- تغییر شار به روش تغییر مساحت $\Delta\varphi = (\Delta A)BCos\alpha$
- تغییر شار به روش تغییر زاویه $\Delta\varphi = AB(Cos\alpha_2 - Cos\alpha_1)$

۹- تشریح قانون لنز

وقتی شار مغناطیسی به هر دلیلی تغییر کند، نیروی محرکه‌ی القایی و به دنبال آن جریان الکتریکی القایی تولید می‌شود. جریان الکتریکی القا شده، در اطراف مدار، میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آورد که آن را میدان مغناطیسی القایی نامیده و با B_L نشان می‌دهیم.

طبق قانون لنز، نیروی محرکه‌ی القایی با آثاری که از خود به‌وجود می‌آورد، با تغییرات شار مخالفت می‌کند. به این ترتیب که اگر شار افزایش یابد با ایجاد میدان القایی در خلاف جهت میدان اصلی، با افزایش شار مخالفت می‌کند و اگر شار کاهش یابد با ایجاد میدان القایی در جهت میدان اصلی، با کاهش شار مخالفت خواهد کرد.

- قطب آهن ربا به سیم پیچ نزدیک شود
- مساحت حلقه افزایش یابد
- شدت جریان در مدار دارای مولد افزایش یابد

$\Rightarrow$ شار افزایش می یابد $\Rightarrow$ میدان القایی در خلاف جهت میدان اصلی

- قطب آهن ربا از سیم پیچ دور می شود
- مساحت حلقه کاهش می یابد
- شدت جریان در مدار دارای مولد کاهش می یابد

$\Rightarrow$ شار کاهش می یابد $\Rightarrow$ میدان القایی در جهت میدان اصلی

۱۰- حرکت سیم رسانا در میدان

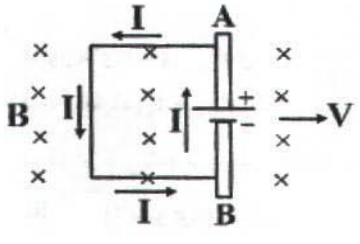
وقتی میله‌ای رسانا به‌طول l در امتداد عمود بر میدان مغناطیسی یکنواخت B با سرعت V و در امتداد عمود بر میدان مغناطیسی به حرکت درآید، نیروی محرکه‌ای در دو سر آن القا خواهد شد.

$$\varepsilon = LVB$$

۱۱- سوی جریان القایی در میله

اگر چهار انگشت دست راست، سوی حرکت میله (V) و جمع شدن انگشتان به سمت میدان باشد، انگشت شست سوی جریان القایی را نشان خواهد داد.

نکته: در این پدیده، میله به‌عنوان مولد عمل می‌کند که همانند درون یک مولد، جریان از انتهای منفی (پتانسیل کم‌تر) به انتهای مثبت (پتانسیل بیشتر) جریان خواهد یافت.



۱۲- نیروی محرکه‌ی خود القایی

هرگاه جریان الکتریکی از یک سیم‌پیچ عبور می‌کند در حال تغییر باشد در سیم‌پیچ تغییر شار مغناطیسی رخ می‌دهد که باعث ایجاد نیروی محرکه‌ای در سیم‌پیچ می‌شود که به آن نیروی محرکه‌ی خودالقایی می‌گوییم و از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

تغییرات شدت جریان(آمپر)

نیروی محرکه ی خودالقایی متوسط(ولت) ← $\bar{\varepsilon}_L = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$

ضریب خودالقایی

مدت تغییر جریان(ثانیه)

۱۳- جهت نیروی محرکه‌ی خودالقایی

اگر جریان الکتریکی مدار در حال افزایش باشد، نیروی محرکه‌ی خودالقایی در خلاف جهت نیروی محرکه‌ی اصلی مدار (نیروی محرکه‌ی مولدها) ایجاد می‌شود و اگر جریان الکتریکی مدار، در حال کاهش باشد، نیروی محرکه‌ی خودالقایی هم‌جهت نیروی محرکه‌ی اصلی مدار (نیروی محرکه‌ی مولدها) ایجاد می‌شود.

۱۴- ضریب خودالقایی سیم‌لوله

ضریب خودالقایی سیم‌پیچ (L) کمیتی است که فقط به مشخصات ساختمانی سیم‌لوله بستگی دارد و با تغییرات شدت جریان یا شار مغناطیسی مقدار آن ثابت می‌ماند و بر اساس مشخصات ساختمانی سیم‌لوله (تعداد حلقه، مساحت هر حلقه، طول سیم‌پیچ و جنس هسته) از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است.

تعداد حلقه ها

ضریب خودالقایی(هانری) ← $L = k\mu_\circ \frac{N^2 A}{l}$ → مساحت هر حلقه

→ طول سیملوله

ضریب مغناطیسی مربوط به هسته ی سیم پیچ (بدون واحد)

$k = 1$ هوا و خلا

$k >> 1$ آهن، نیکل و کبالت

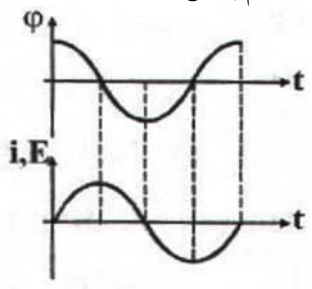
۱۵- انرژی مغناطیسی ذخیره شده در یک سیم‌پیچ

هنگامی که جریان الکتریکی در یک سیم‌پیچ از صفر تا I افزایش می‌یابد، انرژی الکتریکی در سیم‌پیچ به‌صورت انرژی مغناطیسی ذخیره می‌شود که طبق رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است.

$$U = \frac{1}{2}LI^2 \Rightarrow \Delta U = \frac{1}{2}L\left(I_2^2 - I_1^2\right) \leftarrow \text{انرژی مغناطیسی (ژول)}$$

۱۶- **مولد جریان متناوب**

هرگاه سیم‌پیچی را با N حلقه در یک میدان مغناطیسی یکنواخت با سرعت زاویه‌ای ثابت ω بچرخانیم، شار مغناطیسی که از آن عبور می‌کند به‌طور متناوب تغییر خواهد کرد و در نتیجه نیروی محرکه‌ی القایی و جریان الکتریکی القایی متناوبی در سیم‌پیچ ایجاد می‌گردد که نمودار تغییرات شار و نیروی محرکه و هم‌چنین معادله‌ی آن‌ها به‌صورت زیر می‌باشد.



$$\varphi = BA\,Cos(\omega t) \Rightarrow \varphi = \varphi_m Cos\omega t \qquad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

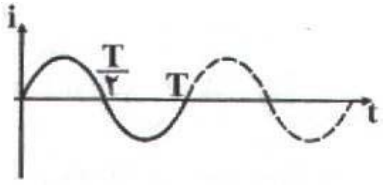
$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt} \Rightarrow \varepsilon = NBA(\omega)Sin(\omega t) \Rightarrow \varepsilon = \varepsilon_m Sin\omega t$$

$$\varepsilon_m = NBA\omega$$

جریان القایی متناوب

طبق رابطه‌ی $I = \frac{\varepsilon}{R}$ در سیم‌پیچ، جریان الکتریکی القا می‌شود که تغییرات آن همانند تغییرات نیروی محرکه‌ی القایی می‌باشد. یعنی وقتی $\varepsilon = 0$ است باید $I = 0$ باشد و وقتی ε ماکزیمم است باید I نیز ماکزیمم باشد.

با دقت به شکل زیر می‌بینید که وقتی شار مغناطیسی عبوری از سیم‌پیچ ماکزیمم است (سطح سیم‌پیچ عمود بر میدان مغناطیسی) نیروی محرکه‌ی القایی و جریان الکتریکی القایی برابر صفر می‌باشد و هنگامی که شار مغناطیسی عبوری برابر صفر است (سطح سیم‌پیچ موازی میدان مغناطیسی) نیروی محرکه‌ی القایی و جریان الکتریکی القایی ماکزیمم می‌شود.



۱۷- **نیروی محرکه القایی در یک پیچه (یا سیم‌لوله)**

اگر در یک پیچه شار مغناطیسی تغییر کند به هر حلقه‌ی آن نیروی محرکه‌ای القا می‌شود. با فرض یکسان بودن حلقه‌ها نیروهای محرکه‌ی القایی نیز یکسان است.

پس نیروی محرکه‌ی القایی کل برابر است با تعداد حقله‌ها ضرب در نیروی محرکه‌ی القایی هر حلقه.

$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt}$$

۱۸- **یکای خودالقایی (هانری)**

یک هانری ضریب خودالقایی سیم‌لوله‌ای است که اگر جریان آن با آهنگ یک آمپر بر ثانیه تغییر کند، نیروی محرکه‌ی یک ولت در آن القا شود.