

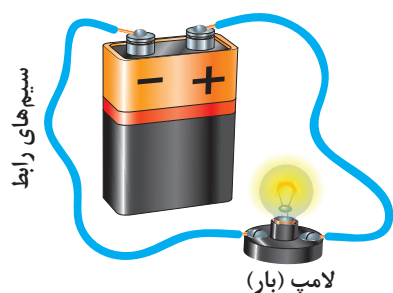


## فصل ۳

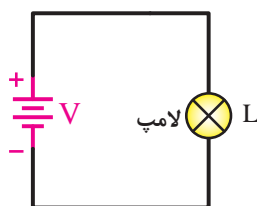
# الکترونیک



- اتصال سری و موازی مقاومت‌ها در یک مدار الکتریکی را تحلیل کنید.
- قوانین جریان و ولتاژ کیرشهف را تحلیل کنید.
- انواع جریان مستقیم و متناوب را توضیح دهید.
- بوبین را تعریف، نحوه ساخت و همچنین تغییرات میدان مغناطیسی را در بوبین توضیح دهید.
- اتصال سری و موازی سلف‌ها در یک مدار الکتریکی را تحلیل کنید.
- خازن را تعریف و نحوه شارژ و دشارژ آن را توضیح دهید.
- اتصال سری و موازی خازن‌ها در یک مدار الکتریکی را تحلیل کنید.
- اتصال نیمه هادی‌های نوع P و N و نحوه تشکیل دیود را شرح دهید.
- دیود را در بایاس مستقیم و معکوس با رسم مدار تحلیل و منحنی ولت - آمپر آن را ترسیم کنید.
- مقاومت استاتیکی و دینامیکی دیود را در مدار با رسم منحنی تحلیل کنید.
- ویژگی‌های دیود زener و عملکرد آن را تشریح کنید.
- انواع ترانزیستور را نام برده و با رسم مدار داخلی و شماتیک آن، بایاس کردن ترانزیستور را تشریح نمایید.
- کاربرد ترانزیستور به عنوان کلید و عملکرد آن را در مدار اعلام حریق تحلیل کنید.

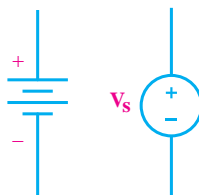


در یک باتری دو قطب مثبت و منفی وجود دارند. اگر باتری را به صورت شکل ۱-۳ در یک مدار الکتریکی قرار دهیم، نیرویی بین دو قطب باتری به وجود می‌آید که بارهای الکتریکی را به حرکت در می‌آورد و بارهای منفی از قطب منفی به سمت قطب مثبت حرکت می‌کنند.



شکل ۱-۳- باتری و لامپ در یک مدار بسته

به نیروی داخلی باتری **اختلاف پتانسیل** یا **ولتاژ** می‌گویند که واحد آن ولت است. حرکت بارهای الکتریکی در داخل مدار بسته را **جریان الکتریکی** می‌نامیم که واحد آن آمپر است. توجه شود که جهت جریان در مدار خلاف جهت حرکت بارهای منفی است. به باتری یک منبع ولتاژ می‌گوییم. منابع تغذیه در مدارهای الکتریکی تولیدکننده انرژی هستند و باعث روشن شدن و عمل کردن مدار می‌شوند. در حالت کلی ولتاژ دو سر منبع ولتاژ، ثابت یا تابع مشخصی از زمان است و جریان آن توسط بقیه اجزایی که در مدار بسته قرار گرفته‌اند تعیین می‌شود. اگر ولتاژ منبع در طول زمان ثابت باشد آن را **منبع ولتاژ مستقیم** می‌نامیم. در این منابع دامنه و جهت ولتاژ همواره ثابت است و با زمان تغییر نمی‌کند. این منابع در اکثر دستگاه‌های الکترونیکی مانند تلویزیون، رادیو، موبایل، کامپیوتر و غیره وجود دارند. **منابع ولتاژ متناوب** نوع دیگری از منابع هستند که در آنها دامنه و جهت ولتاژ با زمان تغییر می‌کند. در مدارات منابع ولتاژ به صورت زیر نمایش داده می‌شوند.

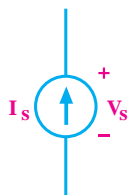


شکل سمت راست برای منابع ولتاژ در حالت کلی و شکل سمت چپ برای منابع ولتاژ مستقیم استفاده می‌شود.



اگر جهت جریان و ولتاژ منبع به گونه‌ای باشد که جریان از سر مثبت ولتاژ وارد منبع شود آنگاه حاصل ضرب جریان در ولتاژ توان مصرف شده در منبع را می‌دهد. در حالت عکس اگر جهت جریان و ولتاژ منبع به گونه‌ای باشد که جریان از سر منفی ولتاژ وارد منبع شود آنگاه حاصل ضرب جریان در ولتاژ توان تولید شده در منبع را به دست می‌دهد.

علاوه بر منبع ولتاژ در مدارات الکتریکی منبع جریان هم وجود دارد. در حالت کلی جریان دو سر منبع جریان، ثابت یا تابع مشخصی از زمان است و ولتاژ آن توسط بقیه اجزایی که در مدار بسته قرار گرفته‌اند، تعیین می‌شود. اگر جریان منبع در طول زمان ثابت باشد آن را **منبع جریان مستقیم** می‌گویند. در این منابع دامنه و جهت جریان همواره ثابت است و با زمان تغییر نمی‌کند. **منابع جریان متناوب** نوع دیگری از منابع هستند که در آنها دامنه و جهت جریان با زمان تغییر می‌کند.



در کاربردهای عملی بسیاری از حسگرها و یا برخی از مدارهای الکترونیکی به صورت منابع جریان مدل می‌شوند. در مدارها، منابع جریان مانند روبه‌رو نمایش داده می‌شوند.

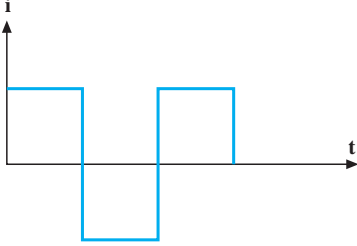
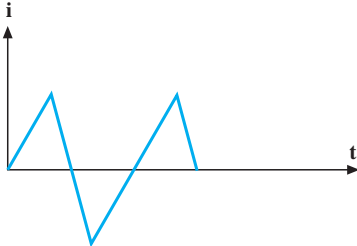
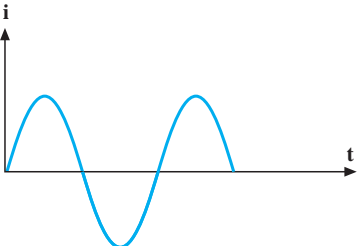
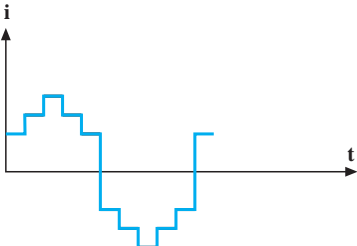
## منابع جریان متناوب

جریان متناوب جریانی است که جهت آن طی زمان تغییر می‌کند و دامنه آن نیز نسبت به زمان، از صفر تا حداکثر مثبت و از حداکثر مثبت تا صفر و سپس تا حداکثر منفی و از حداکثر منفی تا صفر تغییر می‌کند. همان‌طور که می‌دانید، ولتاژ تولید شده توسط یک باتری، ولتاژ مستقیم است که باعث عبور جریان مستقیم می‌شود. به این ترتیب، جریان همیشه در یک جهت جاری است. بنابراین، **جریان مستقیم یک جهتی است و جریان متناوب دو جهتی است**. یعنی، الکترون‌ها گاهی در یک جهت و سپس در جهت دیگر (مخالف جهت قبل) جاری می‌شوند. اگر بتوانیم قطب‌های یک باتری را در یک زمان معین به‌طور دائم تغییر دهیم، جریانی دو جهتی و در نتیجه جریانی متناوب خواهیم داشت.

### انواع جریان متناوب

برای نشان دادن چگونگی تغییر جریان در زمان از شکل موج استفاده می‌کنیم. در شکل ۳-۲ چند نمونه شکل موج را مشاهده می‌کنید. یکی از انواع شکل موج‌ها، شکل موج جریان متناوب سینوسی است. هر نیمه از شکل موج جریان متناوب سینوسی قرینه نیمه دیگر آن با قطب معکوس است.

جریان سینوسی معمول‌ترین نوع جریان متناوب است.

نام جریان	شکل جریان	نام جریان	شکل جریان
موج مربعی		موج دندانه اره‌ای	
موج سینوسی		موج پله‌ای	

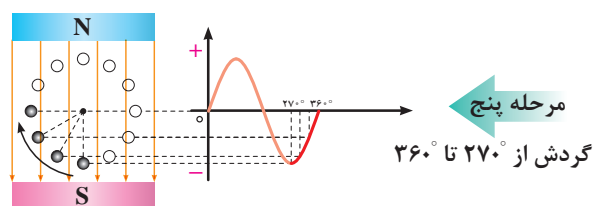
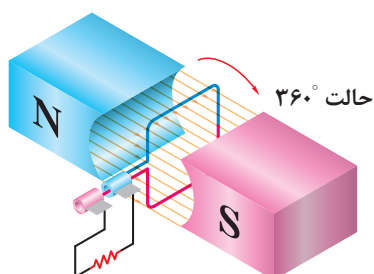
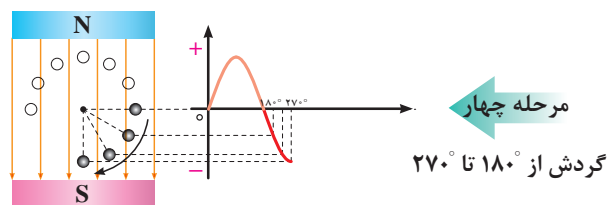
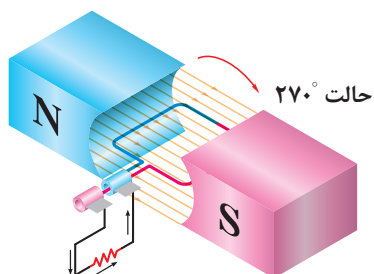
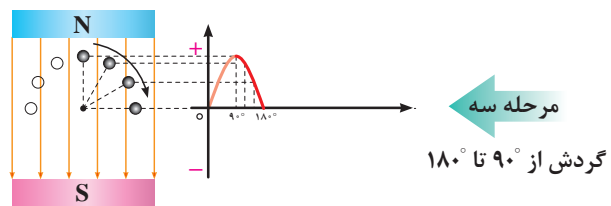
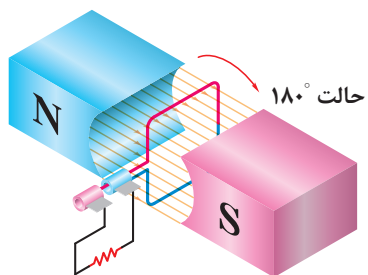
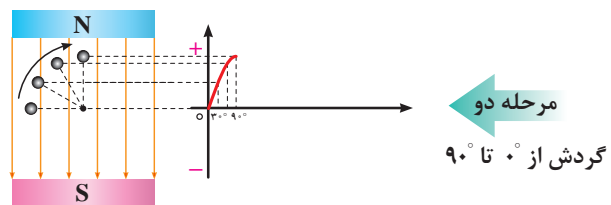
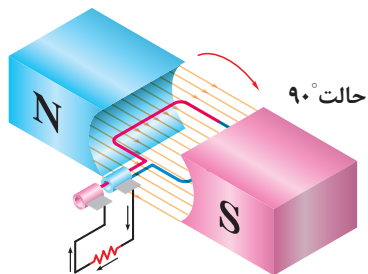
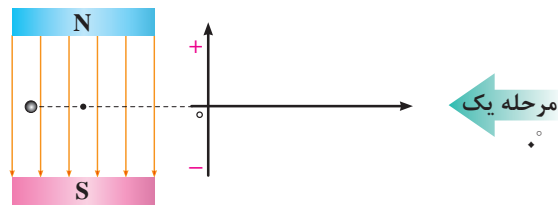
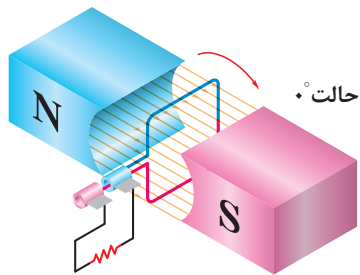
شکل ۳-۲- چند نمونه از شکل موج‌های جریان متناوب

### تولید جریان متناوب

با شناخته شدن جریان متناوب و تولید و انتقال آسان آن، روز به روز بر اهمیت آن افزوده شده است. برای تولید جریان متناوب، می‌توان از یک مولد (ژنراتور) ساده AC استفاده کرد. در مولد AC از ترکیب اصول فیزیکی و میدان‌های مغناطیسی استفاده می‌شود.

بدین ترتیب اگر دو قطب یک آهن ربا در نزدیکی یکدیگر قرار داشته باشند، همواره شار مغناطیسی (خطوط قوا) از قطب شمال آهن ربا خارج و به قطب جنوب آن وارد می‌شود. چنانچه سیم‌پیچی در مسیر خطوط قوا دوران کند، خطوط قوا توسط سیم‌پیچ قطع می‌شوند. هرگاه این عمل به طور مستمر انجام گیرد، جریان متناوب از مولد جریان متناوب به وجود می‌آید.

شکل ۳-۳ نمای یک ژنراتور ساده و چگونگی حرکت سیم‌پیچ و تولید لحظه به لحظه شکل موج جریان یا ولتاژ متناوب را نشان می‌دهد.



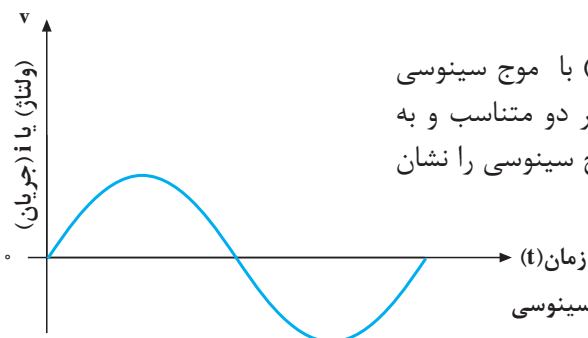
شکل ۳-۳- تولید جریان متناوب و منحنی لحظه به لحظه جریان یا ولتاژ تولیدشده

در مرحله ۱ خطوط قوای مغناطیسی به وسیله سیم پیچ قطع نمی شود (سیم پیچ با خطوط قوا موازی است). در نتیجه ولتاژ در این مرحله صفر است. چنانچه سیم پیچ در جهت حرکت عقربه های ساعت بچرخد؛ (مرحله ۲) قطع خطوط قوا به وسیله سیم پیچ افزایش می یابد. در نتیجه ولتاژ تولید شده، رفته رفته زیاد می گردد و پس از پیمودن ۹۰ درجه به مقدار ماکزیمم خود می رسد. در مرحله ۳، با ادامه دوران سیم پیچ تا ۱۸۰ درجه قطع خطوط قوا کاهش می یابد. در نتیجه ولتاژ تولید شده نیز کاهش می یابد و در ۱۸۰ درجه از گردش، دوباره به مقدار صفر می رسد.

از این لحظه به بعد، جهت ولتاژ تولیدی عوض می شود و در مرحله ۴ تا ۲۷۰ درجه، مقدار آن دوباره افزایش می یابد تا در جهت عکس، به نقطه ماکزیمم خود می رسد. در مرحله ۵ با ادامه گردش تا ۳۶۰ درجه، مقدار ولتاژ تولید شده کاهش می یابد و دوباره به صفر می رسد. تا اینجا سیم پیچ، یک دور کامل زده است. با ادامه هر گردش سیم پیچ، ولتاژ تولید شده تغییرات مشابهی را طی می کند. در همه این حالت ها جریان در مصرف کننده هم تغییراتی مانند ولتاژ دارد و مقدار آن به طور مرتب صفر، ماکزیمم، صفر، ماکزیمم در جهت عکس، و بالاخره صفر می شود.

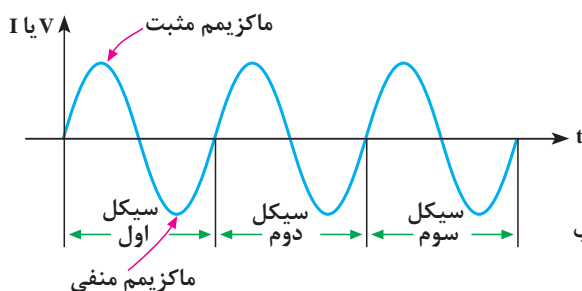
### مشخصات جریان متناوب

در بررسی مدارهای جریان متناوب (AC) با موج سینوسی سروکار داریم. در این مدارها ولتاژ و جریان، هر دو متناسب و به شکل موج سینوسی هستند. شکل ۳-۴ یک موج سینوسی را نشان می دهد که بیانگر جریان یا ولتاژ سینوسی است.



شکل ۳-۴ موج سینوسی

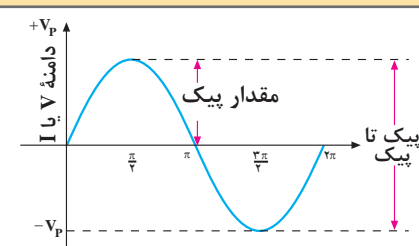
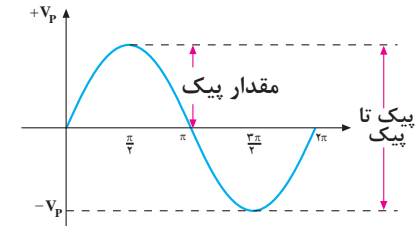
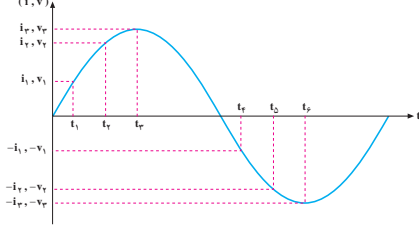
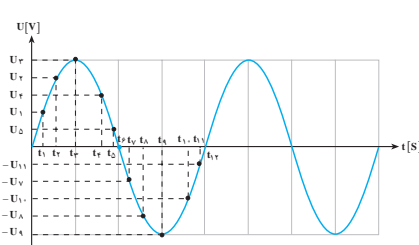
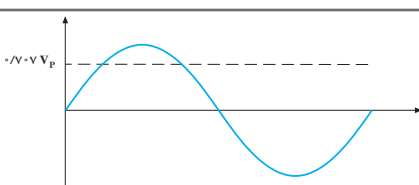
همان طور که می بینید، مقدار و جهت ولتاژ یا جریان با زمان تغییر می کند؛ یعنی از صفر شروع می شود به مقدار پیک یا ماکزیمم مثبت می رسد. آنگاه دوباره صفر می شود و سپس به پیک یا ماکزیمم منفی می رسد و باز صفر می شود. هنگامی که موج سینوسی از صفر می گذرد، جهت یا پلاریته خود را عوض می کند. به عبارت ساده تر، موج سینوسی بین مقادیر مثبت و منفی تناوب می کند. مجموعه یک تناوب مثبت و منفی را یک سیکل یا دوره تناوب<sup>۱</sup> گویند (شکل ۳-۵).



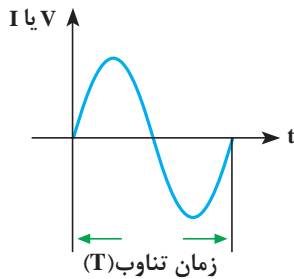
شکل ۳-۵ نمای یک شکل متناوب در سه دوره تناوب

در جدول ۳-۱ تعدادی از اصلاحات مرتبط با موج‌های تناوبی آورده شده است.

جدول ۳-۱- اصلاحات مرتبط با منبع متناوب

ردیف	نام	مقادیر مهم ولتاژ متناوب	تشریح	رابطه	تصویر
۱	ولتاژ پیک	$V_p$	فاصله بین صفر (محور افقی زمان) تا مثبت‌ترین نقطه شکل موج	$V_p = V_{max}$	
	ولتاژ ماکزیمم	$V_{max}$			
۲	ولتاژ پیک تا پیک	$V_{p-p}$	فاصله بالاترین نقطه پیک مثبت تا پایین‌ترین نقطه پیک منفی موج	$V_{p-p} = 2V_p$	
۳	ولتاژ لحظه‌ای	$V$	مقدار ولتاژ در هر لحظه از زمان	$V = V_m \sin \omega t$	
۴	ولتاژ متوسط	$V_{ave}$	میانگین مقادیر لحظه‌ای یک موج در یک دوره تناوب است.	$V_{ave} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318 V_p$	
۵	ولتاژ مؤثر	$V_{rms} = V_e$	مقدار ولتاژ مستقیم که در یک مصرف‌کننده معین همان مقدار کار یا حرارت تولید می‌کند.		





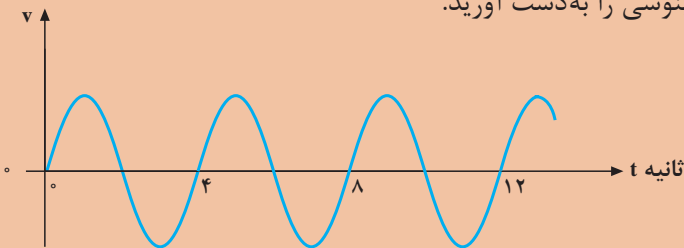
همان‌طور که دیدید، موج سینوسی با زمان ( $t$ ) تغییر می‌کند. بنا به تعریف، مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک سیکل کامل به وجود آید، را زمان تناوب یا پریود می‌گویند و آن را با حرف  $T$  نمایش می‌دهند (شکل ۳-۶).

شکل ۳-۶- دوره تناوب یک موج سینوسی

مثال ۱



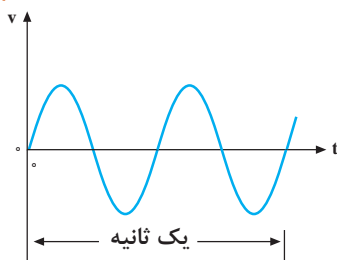
در شکل زیر زمان تناوب موج سینوسی را به دست آورید.



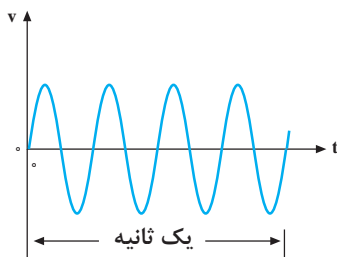
راه حل:

با توجه به تعاریف گفته شده چون هر سیکل کامل در ۴ ثانیه طی شده است، پس دوره تناوب موج سینوسی برابر ۴ ثانیه است.

## فرکانس



الف) فرکانس کمتر



ب) فرکانس بیشتر

بنا به تعریف، تعداد سیکل‌هایی را که در یک ثانیه طی می‌شود، **فرکانس** گویند و آن را به حرف  $f$  نشان می‌دهند. واحد فرکانس را **سیکل بر ثانیه** ( $\text{cps}$ ) یا اصطلاحاً **هرتز** ( $\text{Hz}$ ) می‌نامند. هرچه تعداد سیکل‌ها در ثانیه بیشتر باشد، فرکانس بیشتر است. شکل ۳-۷ دو موج سینوسی را نشان می‌دهد که موج (الف) دو سیکل و موج (ب) چهار سیکل را در یک ثانیه طی می‌کنند. یعنی، فرکانس موج (الف) دو هرتز و فرکانس موج (ب) چهار هرتز است.

شکل ۳-۷- نمایش تفاوت فرکانس در دو موج سینوسی

۱-Cycle Per Second

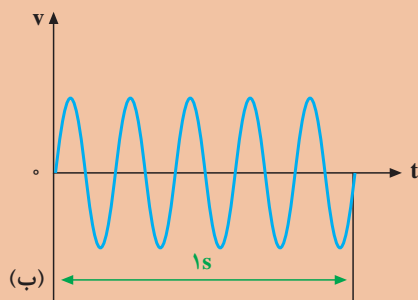
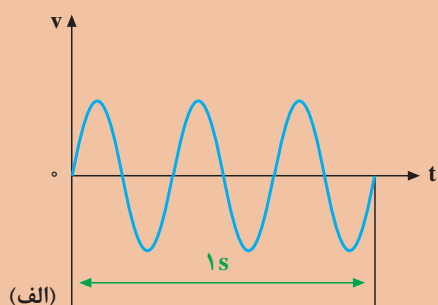
مقدار فرکانس با توجه به کاربرد موج متناوب مشخص می‌شود، مثلاً **فرکانس برق شهر در ایران ۵۰ هرتز** یا ۵۰ cps است. برق شهر در ایران ۵۰ سیکل کامل را در یک ثانیه طی می‌کند.

**فرکانس برق در بعضی از کشورها ۶۰ هرتز** (۶۰ cps) است. فرکانس جریان یا ولتاژ متناوب را می‌توان با فرکانس متر (دستگاه اندازه‌گیری فرکانس) یا اسیلوسکوپ (دستگاه نمایش شکل زمانی موج) اندازه گرفت. با توجه به مطالب گفته شده، رابطه بین فرکانس و زمان تناوب را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$f = \frac{1}{T} \quad , \quad T = \frac{1}{f}$$

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

## مثال ۲



با توجه به شکل مشخص کنید:  
الف) فرکانس کدام موج بیشتر است؟  
ب) مقادیر زمان تناوب و فرکانس را حساب کنید.

## راه‌حل:

الف) موج شکل (ب) سیکل‌های بیشتری را در طول یک ثانیه طی کرده است پس فرکانس آن بیشتر است.

ب) با توجه به شکل (الف)، سه سیکل کامل در یک ثانیه طی شده است. پس فرکانس موج ۳ هرتز و دوره تناوب آن یک‌سوم ثانیه است. در شکل (ب)، ۵ سیکل در یک ثانیه طی شده است. پس فرکانس آن ۵ هرتز و دوره تناوب آن یک‌پنجم ثانیه است.

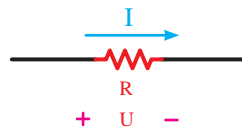
در صنعت برای زمان تناوب از واحدهای کوچک‌تر و برای فرکانس از واحدهای بزرگ‌تر استفاده می‌کنند. در مورد این واحدها تحقیق کنید.

## تحقیق کنید



## مقاومت الکتریکی

اجسام مختلف در مقابل حرکت جریان الکتریسیته از خود مقاومت‌های مختلفی نشان می‌دهند. میزان عایق بودن و یا هادی بودن اجسام را با کمیتی به نام **مقاومت الکتریکی** نشان می‌دهند. هر چه مقاومت جسم در برابر عبور جریان بیشتر باشد جسم عایق‌تر و هر چه مقاومت آن در برابر عبور جریان کمتر باشد، جسم هادی‌تر است. فلزاتی مانند مس، طلا، آهن، آلومینیوم، و نقره هادی‌های خوبی هستند. در مقابل شیشه، میکا، مواد پلاستیکی مقاومت الکتریکی زیادی دارند. مقاومت را با علامت  $R$  نشان می‌دهند و واحد آن اهم ( $\Omega$ ) است. در مدارات الکتریکی مقاومت را به صورت زیر نمایش می‌دهند:



**قانون اهم** رابطه بین ولتاژ، جریان و مقاومت الکتریکی را بیان می‌کند.  $I = \frac{U}{R}$  و  $R = \frac{U}{I}$  و  $U = R \cdot I$

در مدار شکل زیر جریان باتری چقدر است؟

**راه حل:**

$$U = 12V, R = 5\Omega \Rightarrow I = \frac{U}{R} = 2/4A$$

مثال ۳



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

مقاومت سیم فلزی با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

در رابطه بالا  $l$  طول سیم برحسب متر،  $A$  سطح مقطع سیم برحسب متر مربع و  $\rho$  مقاومت مخصوص سیم با واحد اهم در متر است.  $\rho$  ضریبی است که به جنس فلز و دما وابسته است. برای سیم مسی در دمای  $20^\circ\text{C}$  درجه سانتیگراد  $\rho$  برابر  $1/72 \times 10^{-8}$  است.

با افزایش دما در فلزات مختلف  $\rho$  چگونه تغییر می‌کند؟

تحقیق کنید



وقتی از یک مقاومت جریانی عبور می‌کند، طبق قانون اهم اختلاف پتانسیلی در آن به وجود می‌آید. علاوه بر این، مقداری از انرژی الکتریکی به صورت گرما در مقاومت تلف می‌شود. انرژی تلف شده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E = RI^2t$$

که در آن  $t$  زمان روشن بودن مقاومت برحسب ثانیه است.  $E$  انرژی تلف شده و با واحد ژول است. مقدار انرژی که در یک ثانیه در مقاومت تلف می‌شود را توان مقاومت یا توان تلف شده می‌نامند و با  $P$  نشان می‌دهند:

$$P=RI^2=VI$$

واحد توان وات است.

## اتصال سری مقاومت‌های اهمی

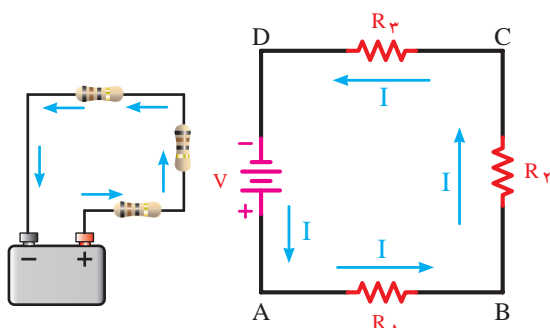
اگر با قطار مسافرت کرده باشید، دیده‌اید که قطار از تعدادی واگن و یک لکوموتیو تشکیل می‌شود. واگن‌ها می‌توانند مشابه یا بزرگ و کوچک باشند. در صورت نامساوی بودن، هر واگن گنجایش حمل بار یا مسافر خاص خود را دارد. اتصال واگن‌ها به یکدیگر به صورت پشت سر هم (اتصال سری) است؛ یعنی ابتدای یک واگن به انتهای واگن دیگر وصل است. هنگام حرکت، سرعت در همه واگن‌ها یکسان است.



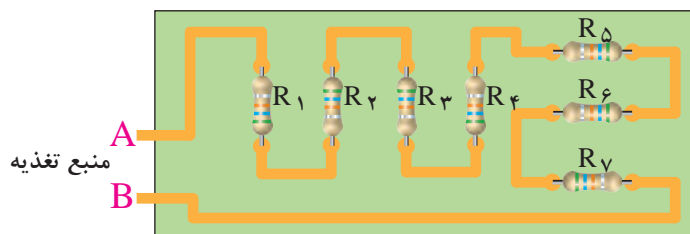
شکل ۸-۳- در قطار واگن‌ها به صورت سری بسته می‌شوند.

زنجیر نیز نمونه دیگری از حالت سری است و از حلقه‌های زیادی تشکیل می‌شود. حلقه‌های زنجیر مانند واگن‌های قطار به صورت سری به یکدیگر اتصال دارند. چنانچه نیرویی در جهت طولی به زنجیر وارد شود، به طور یکسان به همه حلقه‌های آن منتقل می‌شود.

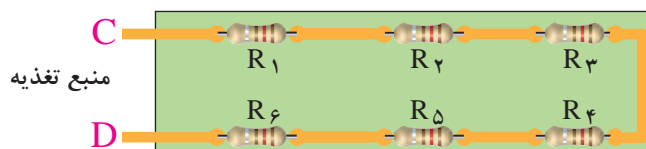
برای سری بستن مقاومت‌ها نیز همین روش دنبال می‌شود. بدین ترتیب که اگر چند مقاومت پشت سر هم طوری به یکدیگر متصل شوند که راهی را برای عبور جریان تشکیل دهند، یک مدار مقاومتی سری درست می‌شود. اتصال مقاومت‌ها با یکدیگر همانند اتصال دانه‌های زنجیر یا واگن‌های قطار است. شکل ۹-۳ نمای مداری و تصویر ظاهری چند مقاومت سری شده را نشان می‌دهد.



شکل ۹-۳- نمای مداری و ظاهری چند مقاومت سری



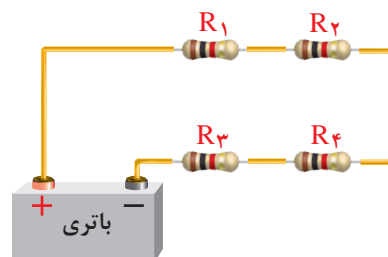
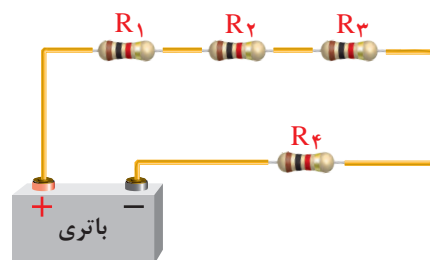
الف) بین نقاط A و B مقاومت‌های  $R_1$  تا  $R_7$  سری شده‌اند.



ب) بین نقاط C و D مقاومت‌های  $R_1$  تا  $R_6$  سری شده‌اند.

شکل ۱۰-۳ دو نمونه مقاومت‌های سری

ترتیب قرار گرفتن مقاومت‌ها در مدار سری، در جریان کل مدار و مقاومت کل مدار تأثیری ندارد. به علاوه، چون دو سر هر مقاومت از لحاظ قرار گرفتن در مدار با یکدیگر تفاوتی ندارد، برای آنها ابتدا یا انتهای در نظر نمی‌گیرند (شکل ۱۱-۳).



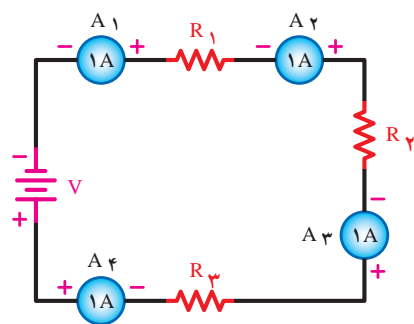
شکل ۱۱-۳ جابه‌جایی مقاومت‌ها در اتصال سری اثری در جریان مدار و مقاومت کل ندارد

### جریان در مدار سری

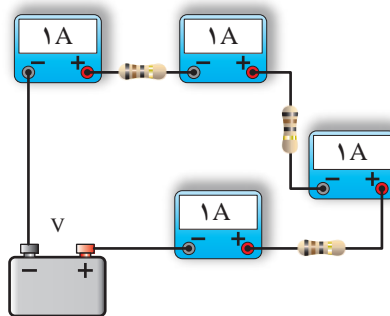
در یک مدار سری شدت جریان در همه نقاط مدار یکسان است. یعنی، جریان وارد شده در هر نقطه از مدار با جریان خارج شده از همان نقطه برابر است. بنابراین، اگر مطابق شکل ۱۲-۳ در نقاط مختلف یک مدار سری آمپرمتری قرار دهیم، همه یک جریان را نشان می‌دهند.

### ولتاژ در مدار سری

اگر به دو سر یک مقاومت، ولتاژ مشخصی داده شود تمام آن ولتاژ در دو سر مقاومت افت می‌کند. مطابق شکل ۱۳-۳ مقدار ولتاژ دو سر مقاومت را به کمک ولت‌متر می‌توان اندازه گرفت. در واقع ولتاژ منبع با ولتاژ دو سر مقاومت برابر است.

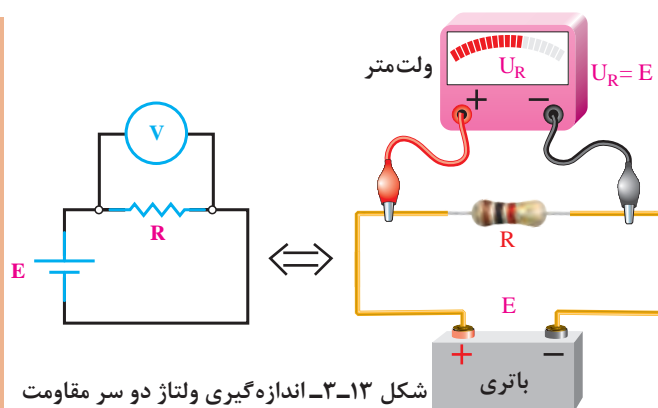


ب) شکل مداری



الف) مدار واقعی

شکل ۳-۱۲- یکسان بودن شدت جریان در همه نقاط مدار سری

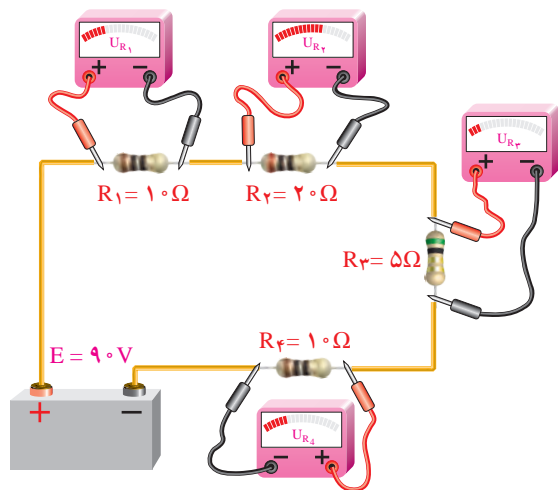


شکل ۳-۱۳- اندازه‌گیری ولتاژ دو سر مقاومت

چنانچه تعداد مقاومت‌ها زیاد باشد، ولتاژ منبع روی همه آنها تقسیم می‌شود. به‌طوری‌که اگر با ولت‌متر افت (یا اختلاف) ولتاژهای دو سر مقاومت‌ها را اندازه بگیریم و با هم جمع کنیم، ولتاژ منبع به‌دست می‌آید. در شکل ۳-۱۴ این واقعیت را مشاهده می‌کنید.

از ولتاژهای اندازه‌گیری شده توسط ولت‌متر در یک مدار سری می‌توان فهمید که اگر مقاومت‌ها مساوی نباشند، هر مقاومتی که مقدار آن بیشتر باشد، افت ولتاژ دو سر آن نیز بزرگتر است. برعکس، مقاومتی که مقدار مقاومت کمتری دارد، افت ولتاژ دو سر آن نیز کمتر است و افت ولتاژ دو سر مقاومت‌های با مقدار مساوی برابر است (طبق قانون اهم  $U=RI$ ).

$$E = U_{R_1} + U_{R_2} + U_{R_3} + U_{R_4} \Rightarrow 90 = 20 + 40 + 10 + 20$$



شکل ۳-۱۴- اندازه‌گیری ولتاژ در مدار با اتصال سری مقاومت‌ها



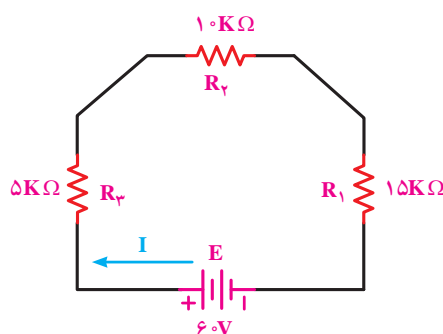
ولتاژ منبع در مدار سری به نسبت مستقیم با توجه به مقدار مقاومت‌های آن مدار تقسیم می‌شود؛ یعنی، مقاومت بیشتر دارای ولتاژ بیشتر و مقاومت کمتر دارای ولتاژ کمتری است.

### مقاومت کل در مدار سری

به جای چند مقاومت سری می‌توان یک مقاومتی را انتخاب کرد که مقدار مقاومت آن با مجموع مقاومت چند مقاومت سری برابر باشد. مقاومتی که به جای چند مقاومت سری قرار می‌گیرد، **مقاومت کل یا مقاومت معادل** آن چند مقاومت نامیده می‌شود و آن را با  $R_T$  نمایش می‌دهند. چنانچه مقاومت  $R_T$  جایگزین مقاومت‌های مدار شود، جریان مدار تغییری نخواهد کرد.

در مدار سری اگر یک یا چند مقاومت به مدار افزوده گردد، شدت جریان مدار کم می‌شود، لذا برای ثابت نگه داشتن شدت جریان - در حد قبلی - باید به نیروی محرکه مدار افزود. بنابراین، در مدار سری با اضافه کردن تعداد مقاومت‌ها و ثابت بودن ولتاژ منبع، شدت جریان کم می‌شود و این نشان می‌دهد که مقاومت معادل یا مقاومت کل مدار افزایش یافته است. برای محاسبه مقاومت معادل - یعنی مقاومتی که می‌توان آن را جایگزین مجموعه‌ای از مقاومت‌ها کرد، به شرطی که در شدت جریان مدار تغییری ندهد - به صورت زیر عمل می‌کنیم.

مدار شکل ۱۵-۳ را با سه مقاومت  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  در نظر می‌گیریم. در مدار سری شدت جریان در تمام نقاط مدار یکسان است.



شکل ۱۵-۳- مدار سری با مقاومت

در مدار فوق، ولتاژ منبع با جمع افت ولتاژها برابر بوده و رابطه آن به این صورت است:

$$E = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1)$$

با توجه به قانون اهم، داریم:

$$E = I.R_T, U_1 = I.R_1, U_2 = I.R_2, U_3 = I.R_3 \quad (2)$$

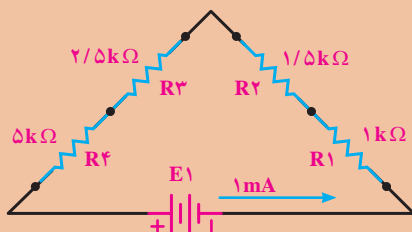
مقادیر رابطه ۲ را در رابطه ۱ قرار می‌دهیم:

با حذف جریان‌ها از طرفین تساوی به رابطه مقاومت معادل می‌رسیم.

$$I(R_T) = I(R_1 + R_2 + R_3) \Rightarrow R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

مثال ۴

در مدار زیر مقاومت معادل ( $R_T$ ) را حساب کنید.



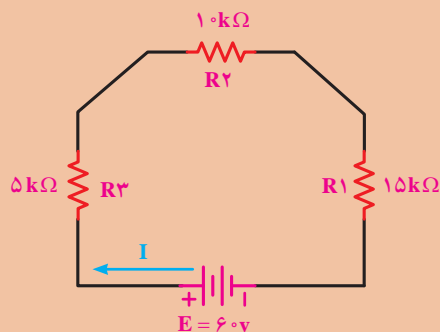
راه حل

با توجه به اینکه چهار مقاومت سری شده‌اند، مقاومت معادل از جمع مقاومت‌ها به دست می‌آید:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 1\text{ K}\Omega + 1/5\text{ K}\Omega + 2/5\text{ K}\Omega + 5\text{ K}\Omega = 10\text{ K}\Omega$$

تمرین

در مدار شکل زیر مقدار  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  و  $E$  را حساب کنید.



مقاومت می‌تواند مبنای تعریف مفاهیم اتصال کوتاه و مدار باز قرار گیرد.

**اتصال کوتاه** مقاومتی با مقدار صفر اهم تعریف می‌شود. پس، براساس رابطه  $V=RI$ ، ولتاژ اتصال کوتاه صفر است. دقت کنید در اتصال کوتاه مقدار ولتاژ صفر است و دلیلی ندارد جریان آن صفر باشد. جریان اتصال کوتاه می‌تواند هر مقداری باشد و توسط بقیه مدار تعیین می‌شود.

**مدار باز** مقاومت با مقدار بی‌نهایت تعریف می‌شود. پس طبق رابطه  $I=V/R$  جریان عبوری از مدار باز صفر است. همچنین، برای مدار باز جریان عبوری صفر است و دلیلی ندارد ولتاژ آن صفر باشد.

بیشتر بدانیم



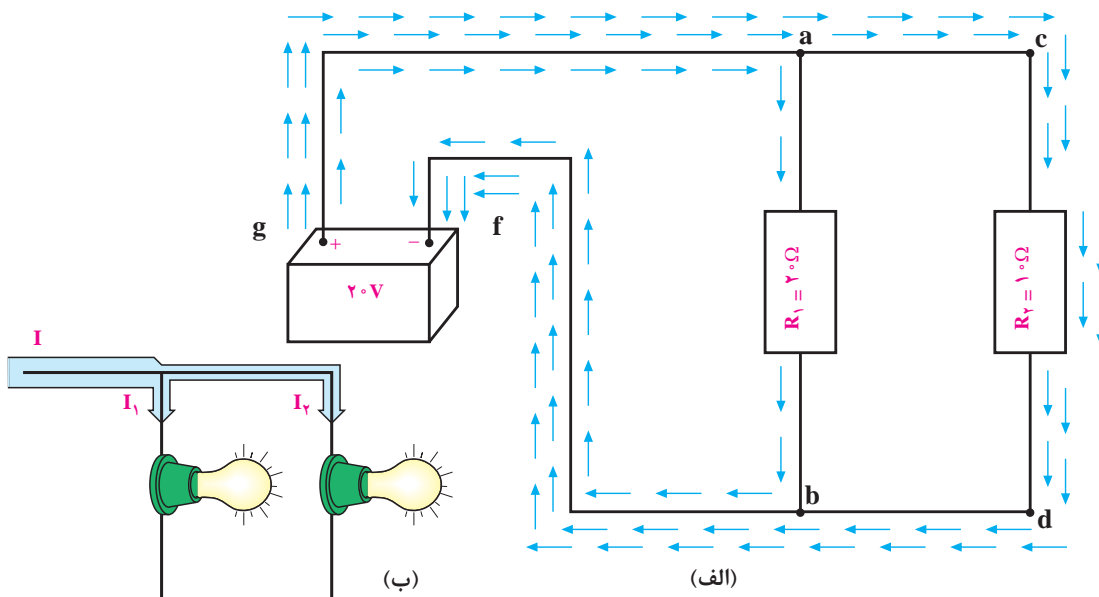


## اتصال مقاوت‌ها به صورت موازی

اگر بخواهیم یک لوستر را سیم‌کشی کنیم، باید لامپ‌ها را به صورت موازی با یکدیگر قرار دهیم. یعنی، یک طرف همه لامپ‌ها به یک قطب منبع و طرف دیگر همه آنها به قطب دیگر منبع وصل می‌شود.

### ولتاژ در مدار موازی

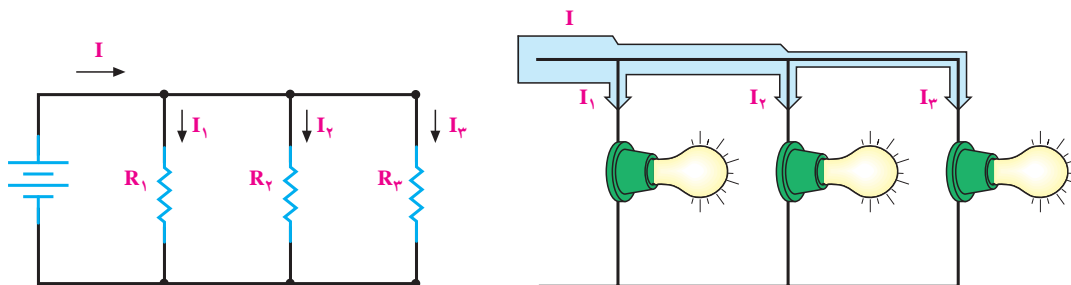
ولتاژ دوسر مصرف‌کننده‌ها در اتصال موازی، یکسان و برابر ولتاژ منبع تغذیه است؛ ولی در صورت متفاوت بودن مقاومت آنها جریان مصرف‌کننده‌ها نیز متفاوت خواهد بود.



شکل ۳-۱۶- مسیرهای موازی جریان و اندازه‌های آنها

### جریان در مدار موازی

در مدار موازی، بیش از یک مسیر برای عبور جریان وجود دارد. هریک از مسیرهای موازی را شاخه گویند. در شکل ۳-۱۷ سه مسیر موازی را مشاهده می‌کنید که تصویر فنی (مداری) آنها در شکل ۳-۱۸ رسم شده است.



شکل ۳-۱۸- شمای مداری اتصال موازی سه لامپ

شکل ۳-۱۷- اتصال موازی سه لامپ

در مدارهای شکل ۳-۱۸، شدت جریان کل، با مجموع شدت جریان‌های شاخه‌های موازی برابر است. در صورتی که ولتاژ دو سر هر شاخه با شاخه‌های دیگر و با دو سر منبع برابر خواهد بود. از این رو با استفاده از روابط قانون اهم، شدت جریان هر شاخه و شدت جریان کل را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$I_n = \frac{E}{R_n} \quad \text{شدت جریان شاخه } n\text{ام}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad \text{شدت جریان کل مدار}$$

در صورت مساوی بودن مقاومت‌های شاخه‌های مدار، از هر شاخه شدت جریان مساوی با دیگر شاخه‌ها می‌گذرد، اما اگر مقدار مقاومت‌های هر شاخه متفاوت باشد، هر شاخه‌ای که مقاومت کمتری دارد، شدت جریان بیشتری را عبور می‌دهد.

مقدار جریان عبوری از هر شاخه در مدار موازی نسبت عکس با مقدار مقاومت آن شاخه دارد. این حالت در روابط زیر نشان داده شده است:

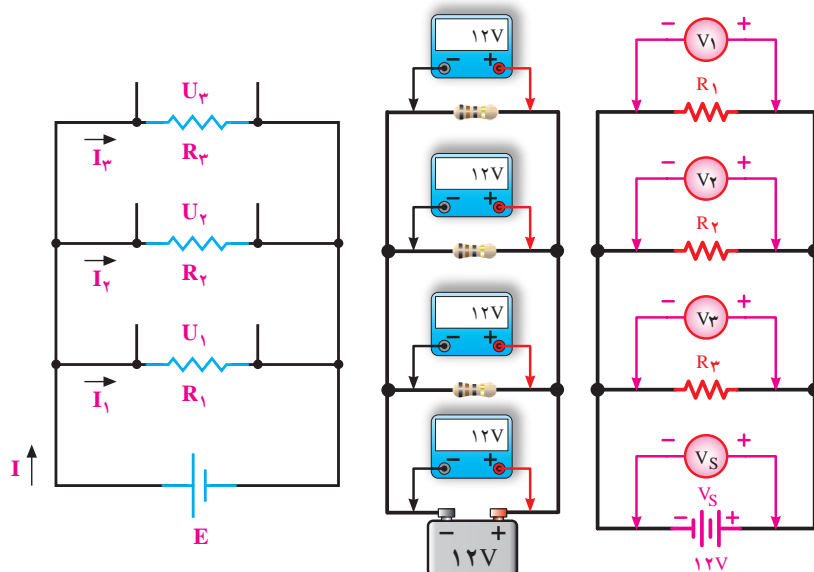
$$I \downarrow = \frac{E}{R \uparrow} \quad \text{یا} \quad I \uparrow = \frac{E}{R \downarrow}$$

نکته



### مقاومت در مدار موازی

**مقاومت کل (معادل)** در مدار موازی، مقاومتی است که اگر به جای مقاومت‌های موازی قرار گیرد، شدت جریان کل مدار را تغییر ندهد. در مدار موازی، با افزایش شاخه‌های مدار تعداد مسیرهای جریان زیادتر می‌شود و شدت جریان کل افزایش می‌یابد. افزایش شدت جریان بدین معناست که مقاومت معادل، کاهش یافته است. در شکل ۳-۱۹ جریان کل و جریان شاخه‌ها مشخص شده است. مدار شکل ۳-۱۹ را با سه مقاومت  $R_1$ ،  $R_2$ ، و  $R_3$ ، در نظر می‌گیریم.



شکل ۳-۱۹- به دست آوردن مقاومت معادل در مدار با سه مقاومت موازی

در مدار موازی ولتاژ منبع با ولتاژ دو سر شاخه‌ها برابر است و جریان کل از مجموع جریان‌های شاخه‌ها به دست می‌آید. روابط ۳ و ۴ این مفهوم را نشان می‌دهند.

$$E = U_1 = U_2 = U_3 \quad (3)$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (4)$$

$$I = \frac{E}{R_t}, I_1 = \frac{E}{R_1}, I_2 = \frac{E}{R_2}, I_3 = \frac{E}{R_3}$$

طبق قانون اهم می‌توان نوشت:

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

مقادیر معادل جریان‌ها را در رابطه ۴ قرار می‌دهیم:

$$\frac{E}{R_T} = E \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

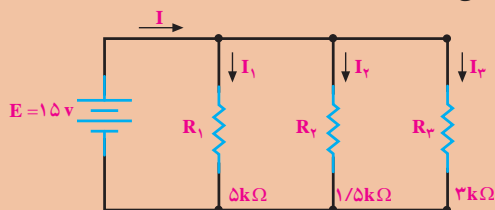
با فاکتورگیری و حذف E از طرفین تساوی،  
به رابطه ۵ می‌رسیم:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (5)$$

مثال ۵



در مدار زیر جریان هر شاخه را تعیین کنید.  
راه حل



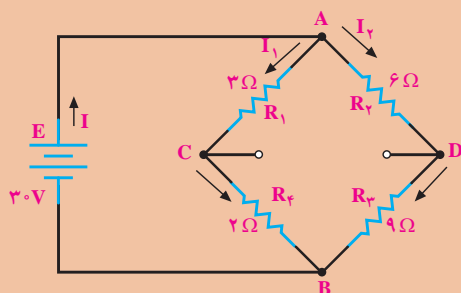
$$I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{15V}{5 \times 10^3} = 3mA$$

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{15V}{1/5 \times 10^3} = 10mA$$

$$I_3 = \frac{E}{R_3} = \frac{15V}{3 \times 10^3} = 5mA$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \Rightarrow$$

$$I = 3 + 10 + 5 \Rightarrow I = 18mA$$



مدار روبه‌رو را پل وتستون می‌نامند که در سیستم‌های اندازه‌گیری استفاده می‌شود. برای این مدار مقاومت کل، جریان‌های  $I_1$  و  $I_2$  و همچنین  $V_{cd}$  را محاسبه کنید.

راه حل:

$R_1$  و  $R_2$  با هم،  $R_3$  و  $R_4$  با هم سری هستند و دو مقاومت معادل این دو دسته با هم موازی می‌شوند.

$$R_{ACB} = R_1 + R_2 = 3 + 2 = 5\Omega \quad , \quad R_{ADB} = R_3 + R_4 = 6 + 9 = 15\Omega$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{ACB}} + \frac{1}{R_{ADB}} = \frac{1}{5} + \frac{1}{15} = \frac{3+1}{15} \Rightarrow R_T = \frac{15}{4}\Omega$$

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{30}{3+2} = 6A \quad , \quad I_2 = \frac{E}{R_3 + R_4} = \frac{30}{9+6} = 2A$$

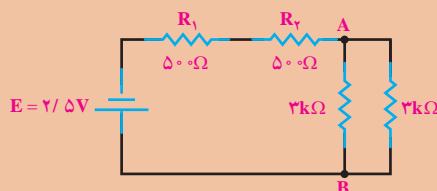
$$I = I_1 + I_2 = 6 + 2 = 8A$$

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{30}{\frac{15}{4}} = 8A$$

روش دوم به دست آوردن  $I$ :

$$V_{cd} = V_{CB} + V_{BD} = R_2 \cdot I_1 + R_4 \cdot I_2 = (2 \times 6) - (9 \times 2) = 0$$

به دست آوردن  $V_{cd}$ :



در مدار روبه‌رو مقاومت معادل، ولتاژ و جریان هر مقاومت را به دست آورید.

## قوانین مدارهای الکتریکی

همانطور که در بخش‌های قبل گفته شد برای حل مدارهای الکتریکی سعی می‌شود مقاومت‌ها به صورت سری و موازی دسته‌بندی شوند. سپس، مقاومت کل محاسبه و ولتاژ و جریان قسمت‌های مختلف مدار به دست آورده می‌شود. در بسیاری از موارد مقاومت‌ها قابل دسته‌بندی به صورت سری و موازی نیستند. در این حالت

از قوانین مدارهای الکتریکی (قوانین کیرشهف) استفاده می‌کنیم. لازم به ذکر است که این قوانین علاوه بر مدارهای مقاومتی، برای هر مدار الکتریکی دیگر نیز برقرار است.

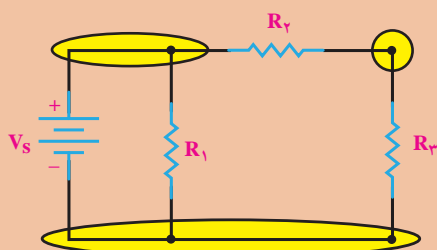
قبل از بیان قوانین کیرشهف بهتر است مفاهیم **گره**، **شاخه** و **حلقه** را تعریف کنیم. **گره** محل اتصال دو یا چند عنصر مداری است. **شاخه** شامل یک عنصر مدار و دو گره مربوط به دو سر آن است. یک منبع ولتاژ و یا یک مقاومت هر کدام یک شاخه به حساب می‌آیند. یک **مسیر** شامل تعدادی شاخه و گره‌های مربوط به آنها است که دنبال هم قرار دارند. **حلقه**، هر مسیر بسته در یک مدار که گره شروع و گره خاتمه آن یکسان باشد.

مثال ۷



در مدار زیر تعداد گره‌ها و حلقه‌ها را مشخص کنید.

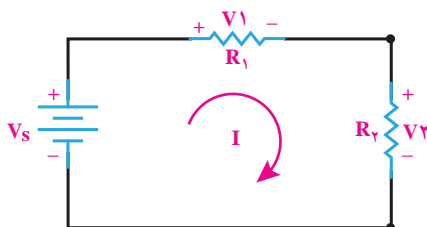
راه حل



در این مدار چهار شاخه وجود دارد که یکی از آنها منبع ولتاژ و بقیه شاخه‌های مقاومتی هستند. این مدار دارای سه گره است. دو حلقه هم در مدار وجود دارد. حلقه اول شامل منبع ولتاژ و  $R_1$  است. حلقه دوم شامل  $R_2$ ،  $R_3$  و  $R_1$  است.

### قانون ولتاژ کیرشهف

طبق **قانون ولتاژ کیرشهف (KVL)** جمع جبری ولتاژهای یک حلقه در هر لحظه از زمان صفر است. شکل زیر را در نظر بگیرید.



در این مدار جریان  $I$  از مقاومت‌ها و باتری عبور می‌کند. همیشه جهت جریان هر قطعه مدار را می‌توان به صورت دلخواه انتخاب کرد. سپس، طبق قرارداد جهت ولتاژ قطعه را به گونه‌ای در نظر می‌گیریم که جریان از سر مثبت قطعه وارد شود. برای نوشتن KVL یک جهت حرکت دلخواه در حلقه در نظر می‌گیریم و در آن جهت حرکت می‌کنیم و اختلاف پتانسیل قطعات را جمع می‌کنیم. اگر به قطعه‌ای از سر مثبت وارد شویم آن را با علامت مثبت و در غیر این صورت آن را با علامت منفی در نظر می‌گیریم.

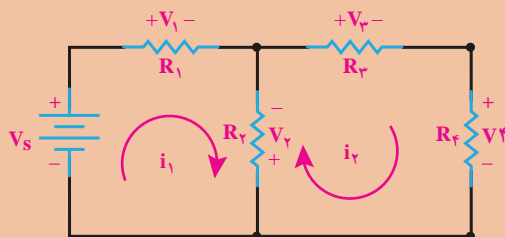
با توجه به اینکه در شکل جهت حرکت ساعتگرد در نظر گرفته شده است و جهت جریان هم ساعتگرد است؛ بنابراین اختلاف پتانسیل مقاومت‌ها مثبت و اختلاف پتانسیل منبع منفی در نظر گرفته می‌شود و داریم:

$$-V_S + V_1 + V_r = 0 \Rightarrow V_S = V_1 + V_r$$

مثال ۸



در مدار زیر قوانین KVL را بنویسید.



راه حل:

$$V_r + V_r + V_f = 0$$

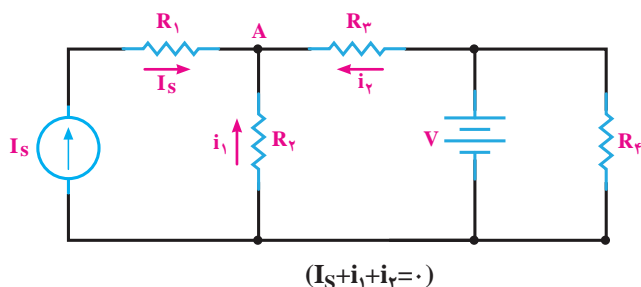
$$-V_S + V_1 - V_r = 0 \Rightarrow V_S = V_r - V_1$$

در حلقه سمت راست داریم:

در حلقه سمت چپ داریم:

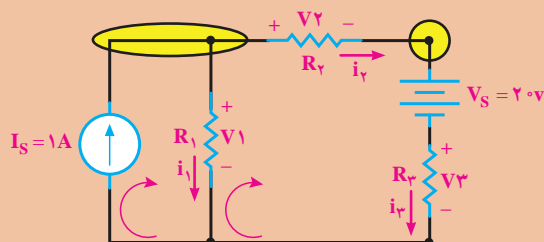
### قانون جریان کیرشهف

طبق قانون جریان کیرشهف (KCL) مجموع جبری جریان‌های هر گره از مدار صفر است. جریان‌هایی که وارد یک گره می‌شوند با علامت مثبت و جریان‌هایی که از گره خارج می‌شوند با علامت منفی در نظر گرفته می‌شوند. از نظر شهودی KCL به این معناست که بارهای الکتریکی که وارد گره مدار می‌شوند برابر بارهایی است که از آن گره خارج می‌شوند. به عنوان مثال، در گره A در مدار زیر داریم:





در مدار زیر  $R_1 = 10\Omega$ ،  $R_2 = 20\Omega$  و  $R_3 = 30\Omega$  است. با استفاده از قوانین جریان مقاومت‌ها را به دست آورید.



راه حل:

با استفاده از قوانین KVL در حلقه سمت راست داریم:

$$-V_1 + V_2 + V_S + V_3 = 0 \quad (6)$$

KCL در گره سمت چپ نتیجه می‌دهد:

$$I_S - i_1 - i_2 = 0 \Rightarrow i_1 + i_2 = I_S = 1A \quad (7)$$

با توجه به اینکه  $R_2$  و  $R_3$  سری هستند، جریان آنها یکسان است ( $i_2 = i_3$ ). حال با جای گذاری رابطه ولتاژ و جریان مقاومت‌ها در (۶) داریم:

$$V_2 = R_2 i_2, V_3 = R_3 i_3, V_1 = R_1 i_1 \quad (8)$$

$$20 = 10 i_1 - 50 i_2$$

$$i_1 = \frac{V}{6} A, i_2 = i_3 = -\frac{1}{6} A$$

از حل هم‌زمان (۷) و (۸) داریم:

نکته



اگر پس از حل مدار مقدار جریان یا ولتاژ شاخه‌ای از مدار منفی به دست آمد به این معناست که جهت جریان یا ولتاژ برعکس در نظر گرفته شده است. در این حالت تنها کافی است جهت جریان یا ولتاژ را عکس کنیم؛ ولی مقدار آن صحیح است.

## سلف



شکل ۲۰-۳. انواع بوبین‌ها با هسته‌های مختلف

اگر مقداری سیم به دور محور یا هسته‌ای پیچانده شود، بوبین یا سیم‌پیچ یا سلف به وجود می‌آید. از هسته علاوه بر اثرات القایی، به عنوان تکیه‌گاه جهت پیچاندن و نگهداری سیم استفاده می‌شود. در شکل ۲۰-۳ تعدادی بوبین با هسته‌های فلزی و فلزی را مشاهده می‌کنید.

بوبین‌هایی را که هسته فلزی دارند و اغلب دارای تعداد دور استاندارد هستند، در اصطلاح **چوک<sup>۱</sup>** می‌گویند. چوک‌ها مانند چوک مهتابی و چوک بلندگو معمولاً حفاظ خارجی دارند. از چوک مهتابی در مصارف برقی و از چوک بلندگو در مصارف الکترونیکی استفاده می‌شود.

### شار مغناطیسی

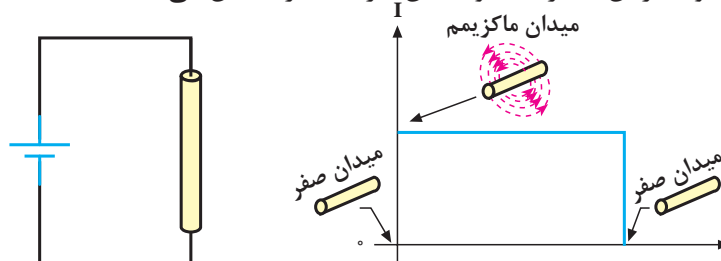
برای بررسی و توجیه پدیده‌هایی که در این فصل با آنها مواجه می‌شویم، نیازمند آشنایی با مفهوم **شار مغناطیسی** هستیم که معمولاً آن را با نماد  $\Phi$  (بخوانید فی) نشان می‌دهند. به این منظور حلقه‌ای به مساحت  $A$  را در نظر بگیرید که درون میدان مغناطیسی یکنواخت  $\vec{B}$  قرار دارد. بنا به تعریف، شار مغناطیسی عبوری از حلقه هنگامی بیشینه است که امتداد خط‌های میدان مغناطیسی بر سطح حلقه عمود باشند (شکل ۳-۲۱ الف). همچنین شار مغناطیسی عبوری از حلقه هنگامی صفر یا مقدار کمینه خود را دارد که امتداد خط‌های میدان مغناطیسی موازی سطح حلقه باشد (شکل ۳-۲۱ ب) و یا به عبارت دیگر هیچ خط میدانی از سطح  $A$  عبور نکند. سرانجام اگر امتداد خط‌های میدان مغناطیسی با خط فرضی عمود بر سطح حلقه زاویه‌ای بین صفر تا  $90^\circ$  بسازد، شار مغناطیسی عبوری از حلقه بین مقدار کمینه تا مقدار بیشینه تغییر می‌کند. در (شکل ۳-۲۱ ج) شار عبوری از حالت (الف) کمتر و از حالت (ب) بیشتر است.



شکل ۳-۲۱- نمایش نحوه عبور شار مغناطیسی از سطح

### میدان مغناطیسی حاصل از یک جریان مستقیم و متناوب

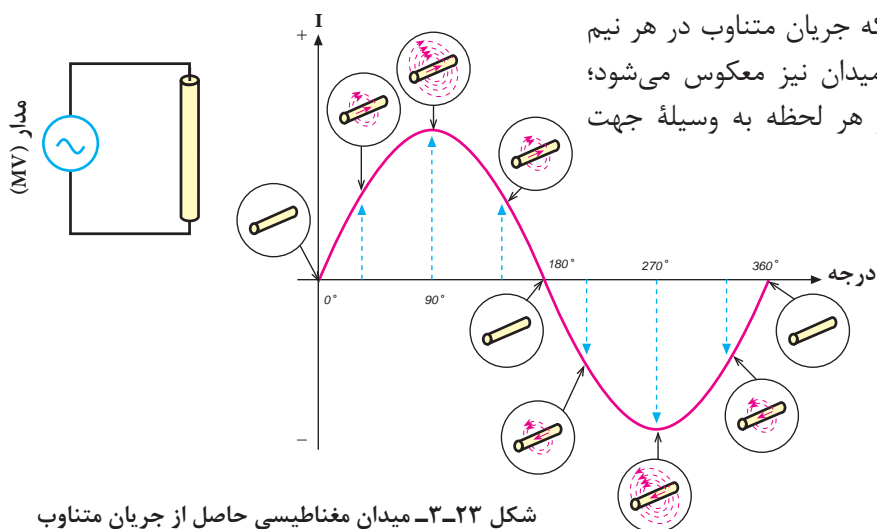
اگر دو سر یک هادی را مطابق شکل ۳-۲۲ به جریان مستقیم وصل کنیم، شدت جریان به طور ناگهانی از صفر به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد و میدان مغناطیسی در اطراف هادی نیز به ناگاه از صفر به مقدار ماکزیمم خود افزایش می‌یابد. تا موقعی که جریان در هادی جاری است، میدان در ماکزیمم مقدار خود باقی می‌ماند. چنانچه مدار باز شود جریان، صفر شده و میدان نیز به صفر کاهش می‌یابد.



شکل ۳-۲۲- میدان مغناطیسی ایجاد شده به وسیله جریان مستقیم



اگر دو سر یک هادی را مطابق شکل ۲۳-۳ به یک جریان متناوب وصل کنیم، مقدار جریان و در نتیجه، شدت میدان مغناطیسی در اطراف هادی پیوسته تغییر می‌کند. با اضافه شدن تدریجی جریان، میدان حاصل نیز قوی‌تر می‌شود و برعکس با کم شدن جریان، میدان نیز کمتر خواهد شد. از آنجا که جریان متناوب در هر نیم سیکل تغییر جهت می‌دهد، جهت میدان نیز معکوس می‌شود؛ بنابراین جهت میدان مغناطیسی در هر لحظه به وسیله جهت جریان مشخص می‌شود.

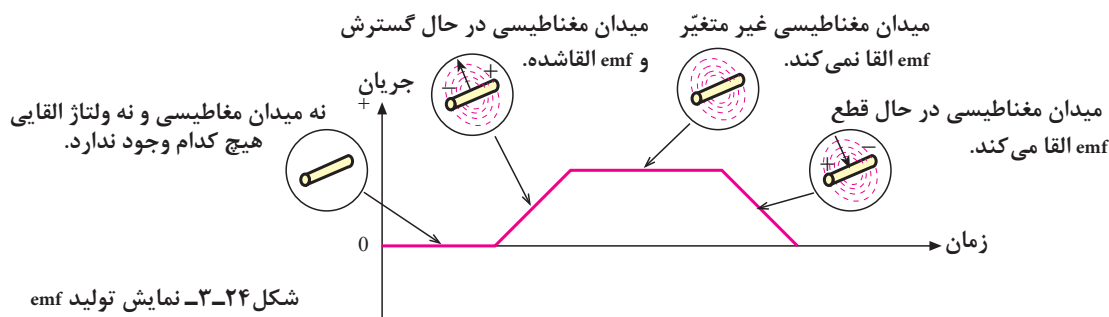


شکل ۲۳-۳: میدان مغناطیسی حاصل از جریان متناوب

### خود القایی<sup>۱</sup>

با طی نیم سیکل از جریان متناوب عبوری از یک هادی، میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود و سپس به تدریج از بین می‌رود. در نیم سیکل بعدی میدان در جهت مخالف ایجاد می‌شود و به تدریج از بین می‌رود. زمانی که میدان مغناطیسی در حال ایجاد شدن است، خطوط قوای مغناطیسی از مرکز هادی به طرف خارج گسترش می‌یابند. میدان در حال گسترش به وسیله هادی قطع می‌شود و یک **نیروی محرکه الکتریکی** (emf)<sup>۲</sup> در هادی تولید می‌گردد.

با کم شدن میدان و قطع خطوط قوا به وسیله هادی، باز هم یک نیروی محرکه الکتریکی در هادی القا می‌شود؛ بنابراین، افزایش یا کاهش جریان در هادی سبب گسترش یا فروکش کردن میدان مغناطیسی در اطراف آن می‌شود و نیروی محرکه‌ای متناسب با تغییرات میدان در هادی القا می‌گردد. این خاصیت را **خود القایی** می‌گویند. توجه داشته باشید که اگر جریان عبوری از هادی ثابت باشد، میدان مغناطیسی ایجاد شده نیز ثابت خواهد بود؛ لذا نیروی محرکه‌ای در هادی القا نمی‌شود. شکل ۲۴-۳ القا نیروی محرکه را در زمان تغییر جریان نشان می‌دهد.



شکل ۲۴-۳: نمایش تولید emf

<sup>۱</sup> -Self - induction

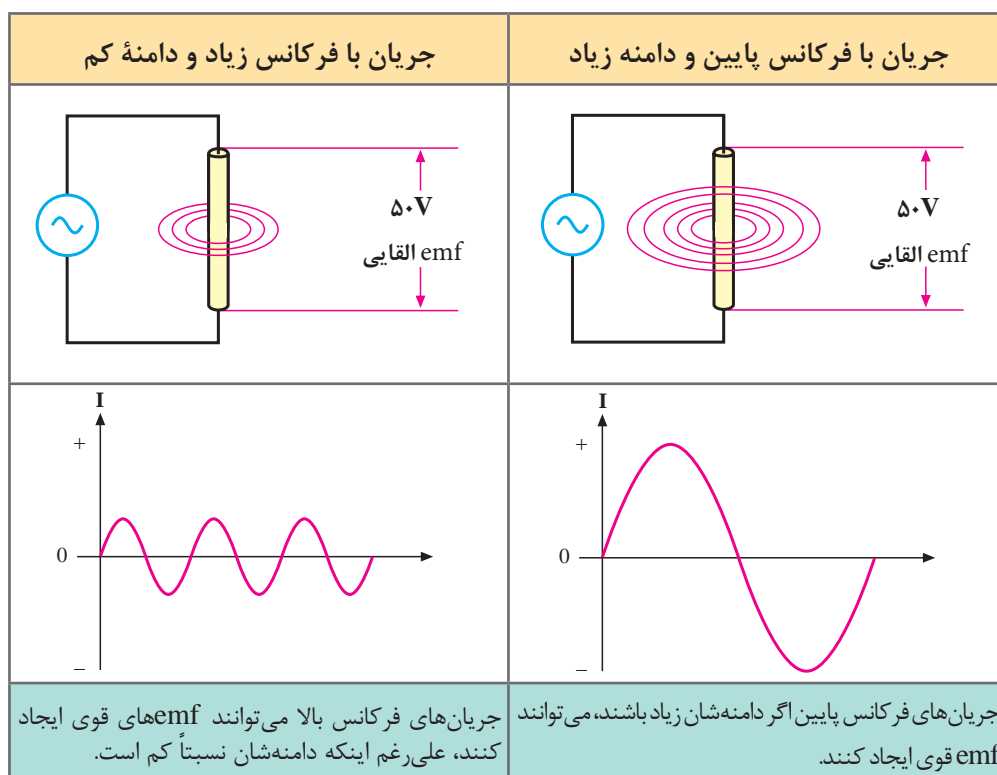
<sup>۲</sup> -Electro motive force (نیروی الکترو موتوری)

## مقدار نیروی محرکه الکتریکی خود القا

نیروی محرکه الکتریکی القا شده در یک هادی به وسیله تغییر در شدت جریان عبوری از آن، همانند هر نیروی محرکه‌ای دارای مقدار و جهت است. از جمله عواملی که مقدار نیروی محرکه القا شده را معین می‌کنند، میزان تغییرات شدت میدان مغناطیسی است. به طوری که می‌توان نوشت:

$$\text{مقدار emf} = \frac{\Delta\phi}{\Delta T}$$

در این رابطه،  $\Delta\phi$  تغییرات شار مغناطیسی و  $\Delta T$  تغییرات زمان را نشان می‌دهد. شدت میدان مغناطیسی به سرعت تغییرات جریان یا تغییرات فرکانس بستگی دارد؛ بنابراین، مقدار نیروی محرکه القا شده، با فرکانس جریان متناسب است. با افزایش فرکانس، نیروی محرکه القا شده افزایش و با کاهش فرکانس نیروی محرکه القا شده، کاهش می‌یابد. مقدار جریان نیز از عوامل دیگری است که مقدار نیروی محرکه القا شده را معین می‌کند؛ یعنی هرچه شدت جریان عبوری از هادی بیشتر باشد، میدان ایجاد شده قوی‌تر و هر چه جریان کمتر باشد، میدان ایجاد شده ضعیف‌تر می‌شود. پس به طور کلی می‌توان گفت که مقدار نیروی محرکه القا شده (خود القا) به دامنه و فرکانس جریان عبوری از هادی بستگی دارد. شکل ۴-۲۵ عوامل ذکر شده را به خوبی نشان می‌دهد.



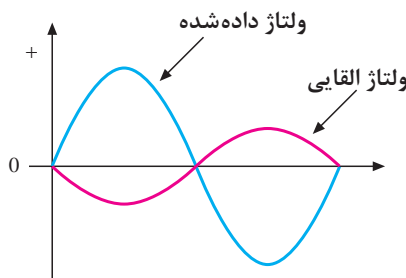
شکل ۴-۲۵- تأثیر دامنه و فرکانس جریان بر مقدار emf القایی

## جهت نیروی محرکه خود القا

شاید تصور شود که پلاریته یا جهت نیروی محرکه القایی همیشه باید در جهت جریان به وجود آورنده آن باشد؛ اما این تصور درست نیست. می‌دانیم که افزایش جریان هادی از صفر تا مقدار ماکزیمم، سبب افزایش میدان مغناطیسی و نیروی محرکه القایی می‌شود. اگر نیروی محرکه القاشده در همان جهت جریان باشد، شدت جریان را افزایش می‌دهد. افزایش جریان، نیروی محرکه بیشتری را سبب می‌شود و افزایش نیروی محرکه نیز به نوبه خود افزایش جریان را به دنبال دارد. این دوره تناوب تکرار می‌شود تا جایی که عنصری را در مدار می‌سوزاند، اما می‌دانیم که چنین اتفاقی نمی‌افتد، یعنی جهت نیروی محرکه القایی همیشه طوری است که اثر آن مخالف با تغییر جهت جریان به وجود آورنده آن است.

## قانون لنز

در سال ۱۸۳۴ یک فیزیکدان آلمانی به نام **لنز** قانونی را به جهانیان ارائه داد که بیانگر جهت نیروی محرکه القایی در یک هادی بود و ما اکنون آن را به نام **قانون لنز** می‌شناسیم. براساس **قانون لنز**، هر تغییر در جریان عبوری از یک هادی باعث ایجاد نیروی محرکه خودالقایی می‌شود که اثر آن با جهت تغییرات جریان مخالفت می‌کند. به عبارت دیگر هنگامی که جریان کاهش می‌یابد، نیروی محرکه القایی در جهتی است که با کاهش جریان مخالفت می‌کند و هنگامی که جریان افزایش می‌یابد، باز جهت نیروی محرکه خودالقایی طوری است که با افزایش جریان مخالفت می‌کند. شکل ۲۶-۳ رابطه بین ولتاژ یا نیروی محرکه القاشده را با ولتاژی که باعث ایجاد جریان می‌شود (ولتاژ داده شده)، با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه نشان می‌دهد.



شکل ۲۶-۳- نیروی محرکه القایی همیشه با ولتاژ داده شده مخالفت می‌کند.

با زیاد یا کم شدن ولتاژ داده شده در یک جهت، نیروی محرکه القاشده در جهت مخالف آن زیاد یا کم می‌شود از آنجا که عمل نیروی محرکه القایی مخالف با ولتاژ داده شده است، آن را نیروی ضد محرکه القایی مخالف می‌نامند و با  $\text{cemf}$  نمایش می‌دهند. مقدار آن را از رابطه  $\text{cemf} = -\frac{\Delta\phi}{\Delta T}$  محاسبه می‌کنند.

## اندوکتانس سلف‌ها

همان‌طور که گفته شد اگر جریان  $i$  از یک سلف عبور کند در اطراف آن میدان مغناطیسی به وجود می‌آید. در این میدان مغناطیسی انرژی مغناطیسی ( $E_M$ ) ذخیره می‌شود که مقدار آن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E_M = \frac{1}{2} Li^2$$

<sup>۱</sup>- Counter electro motive force

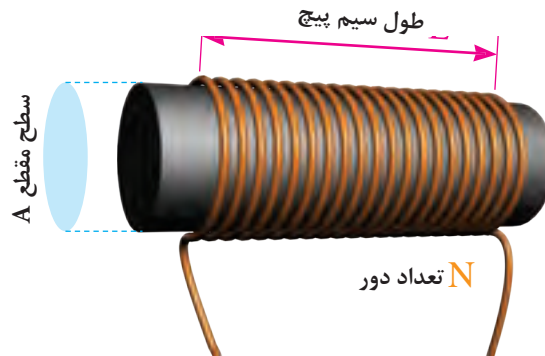
واحد  $E_M$  ژول است. اگر جریان با زمان تغییر کند انرژی مغناطیسی ذخیره شده هم با زمان تغییر می کند. در رابطه بالا ( $L$ ) **اندوکتانس** و واحد آن هانری ( $H$ ) است. هرچه اندوکتانس بوبین بیشتر باشد انرژی بیشتری را در خود ذخیره می کند. عوامل مؤثر در **ضریب خود القا** یا اندوکتانس جنس هسته و شکل ظاهری بوبین یا سلف است. برای مشخص کردن میزان خاصیت مغناطیسی هسته از ضریب به نام **ضریب نفوذپذیری**

هسته استفاده می کنند که با  $\mu$  (مو) نشان داده می شود واحد آن  $\frac{H}{m}$  است. همچنین،

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

که در آن  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  ضریب نفوذپذیری خلأ و  $\mu_r$  ضریب نفوذپذیری نسبی هسته است. برای بوبین به

شکل زیر داریم:



$$L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{l}$$

درسیم پیچی به طول ۲۰ سانتی متر، سطح مقطع دایره ای به شعاع یک سانتی متر و تعداد ۱۰۰۰ دور، اندوکتانس را محاسبه کنید. جنس هسته هواست:  $\mu_r = 1$

$$L = 4\pi \times 10^{-7} \frac{(\pi \times 10^{-4})^2 (1000)^2}{20 \times 10^{-2}} = 1.972 \text{ mH}$$

راه حل:

مثال ۱۰



### اتصال سلف ها

برای دستیابی به اندوکتانس مناسب، اغلب مجبوریم سلف ها را به طور سری یا موازی وصل کنیم. در چنین مواردی، بدون در نظر گرفتن اثر متقابل میدان ها بر یکدیگر، اندوکتانس کل، عیناً شبیه مقاومت معادل در مدارهای سری و موازی به دست می آید.

**الف) اتصال سری سلف ها:** با اتصال سری (متوالی) بوبین ها، اندوکتانس کل برابر مجموع تک تک اندوکتانس های موجود در مدار است که از رابطه زیر به دست می آید:

$$L_t = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

در صورت مساوی بودن اندوکتانس ها، اندوکتانس کل برای  $n$  بوبین برابر است با:

$$L_t = nL$$

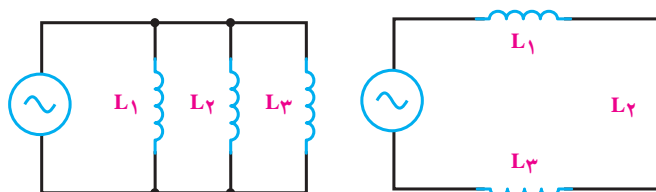
**ب) اتصال موازی سلف ها:** در اتصال موازی بوبین ها اندوکتانس کل از رابطه زیر به دست می آید:

$$\frac{1}{L_t} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

در صورت مساوی بودن بوبین‌ها اندوکتانس کل برای  $n$  بوبین، برابر است با:

$$L_t = \frac{L}{n}$$

در شکل ۳-۲۷ اتصال سری و موازی را برای سه بوبین که با فاصله زیاد از یکدیگر قرار دارند (بدون داشتن ارتباط مغناطیسی) نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۷- اتصال سری (سمت راست) و موازی (سمت چپ)

سلف در برابر جریان متناوب مقاومت می‌کند. مقدار این مقاومت به اندوکتانس و فرکانس جریان متناوب بستگی دارد که به آن **مقاومت القایی** یا **امپدانس سلفی** می‌گویند و با  $X_L$  نشان می‌دهند. واحد مقاومت القایی اهم بوده و با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$X_L = 2\pi fL$$

برای محاسبه مقاومت القایی معادل در مدارهای سری و موازی سلف‌ها می‌توان مشابه محاسبه اندوکتانس معادل بوبین‌ها عمل کرد. روابط محاسبه مقاومت القایی معادل، در مدار سری و موازی به صورت زیر است:

$$X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2} + \dots + X_{L_n} \quad \text{مدار سری}$$

$$\frac{1}{X_{L_T}} = \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + \dots + \frac{1}{X_{L_n}} \quad \text{مدار موازی}$$

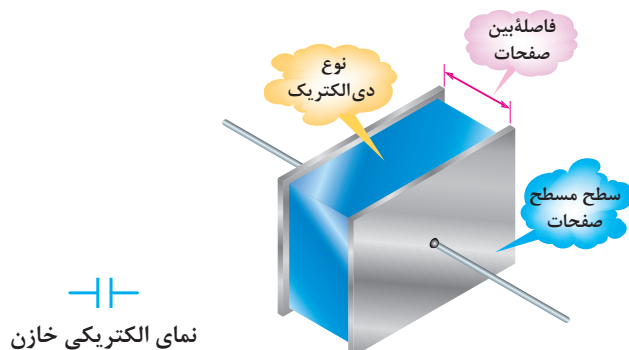
## خازن

خازن عنصری است که می‌تواند مقداری الکتریسیته را به صورت یک میدان الکترواستاتیک در خود ذخیره کند. همان‌گونه که یک مخزن آب، برای ذخیره کردن مقداری آب مورد استفاده قرار می‌گیرد از خازن برای ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی استفاده می‌شود.

خازن‌ها به شکل‌های گوناگون ساخته می‌شوند و متداول‌ترین آنها خازن‌های مسطح هستند. این نوع خازن‌ها از دو صفحه هادی که بین آنها عایق یا **دی‌الکتریک** قرار دارد، تشکیل می‌شود. شکل ۳-۲۸ طرح ساده یک خازن مسطح و نمای الکتریکی آن را نشان می‌دهد.

صفحات هادی نسبتاً پهن هستند و در فاصله‌ای بسیار نزدیک به یکدیگر قرار دارند. دی‌الکتریک انواع مختلفی دارد و با ضریب مخصوصی که نسبت به هوا سنجیده می‌شود، معرفی می‌گردد. این ضریب را **ضریب دی‌الکتریکی** گویند و آن را با حرف  $\epsilon$  نشان می‌دهند:

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$$



که در آن  $\epsilon_r = 8/854 \times 10^{-12}$  ضریب گذردهی الکتریکی هوا و  $\epsilon_r$  ضریب گذردهی الکتریکی نسبی است.

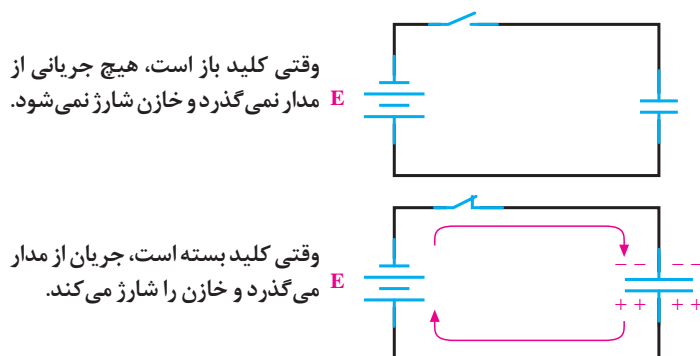
شکل ۲۸-۳. نمای یک خازن مسطح ساده

### شارژ خازن با ولتاژ DC

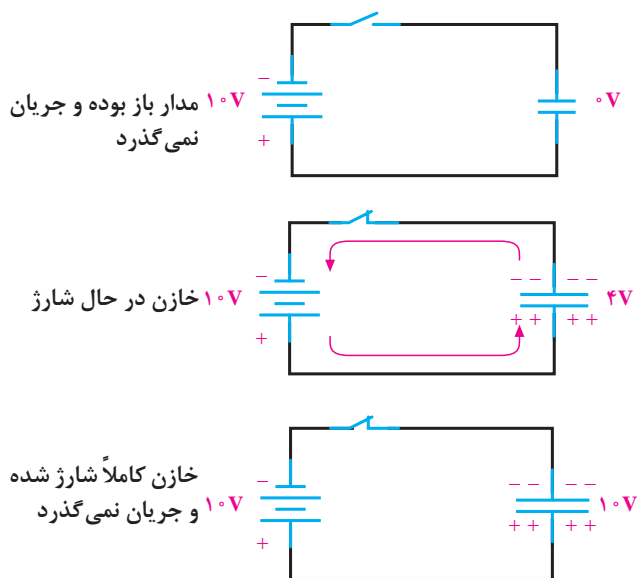
برای اینکه یک خازن شارژ شود؛ یعنی انرژی الکتریکی را ذخیره کند، باید آن را به یک اختلاف پتانسیل (ولتاژ) وصل کرد. این ولتاژ به وسیله یک باتری تأمین می‌شود. قطب مثبت باتری، به یک طرف و قطب منفی آن به طرف دیگر خازن، مانند شکل ۲۹-۳ وصل می‌شود.

قبل از بستن کلید، صفحات خازن خنثی هستند و هیچ انرژی‌ای در آنها ذخیره نخواهد شد. با بستن کلید، الکترون‌ها از قطب منفی باتری به طرف صفحه‌ای که به این قطب متصل است جاری می‌شوند و در آن تراکم الکترون یا بار منفی ایجاد می‌کنند. در همین لحظه، قطب مثبت باتری همان تعداد الکترون را از صفحه‌ای که به این قطب متصل است جذب می‌کند و این صفحه دچار کمبود الکترون می‌شود و دارای بار مثبت می‌شود. در لحظاتی که خازن شارژ می‌شود، الکترون‌ها از طریق سیم‌های رابط به طرف قطب مثبت باتری حرکت می‌کنند و وارد باتری می‌شوند و از قطب منفی خارج می‌گردند. حرکت الکترون‌ها در مدار را عبور جریان در مدار گویند.

وارد و خارج شدن الکترون‌ها از صفحات خازن، میدان الکتریکی ساکن را بالا می‌برد و ولتاژی خلاف جهت ولتاژ اعمال‌شده به دو سر خازن ایجاد می‌کند. ولتاژ ایجادشده در خازن، با جاری شدن جریان در مدار مخالفت می‌کند. به تعبیر دیگر، ولتاژ خازن با ولتاژ باتری مخالفت می‌کند. هرچه ولتاژ دو سر خازن بیشتر می‌شود، ولتاژ مؤثر مدار که تفاوت بین ولتاژ باتری و ولتاژ خازن است، کمتر شده در نتیجه، شدت جریان مدار کاهش می‌یابد. هرگاه ولتاژ خازن با ولتاژ باتری برابر شود، **جریان در مدار متوقف می‌گردد. صفر شدن جریان در مدار، نشانه شارژ کامل خازن است.** خازن هیچ‌گاه با ولتاژی بیشتر از ولتاژ منبع شارژ نمی‌شود.



شکل ۲۹-۳. اتصال باتری و شارژ خازن

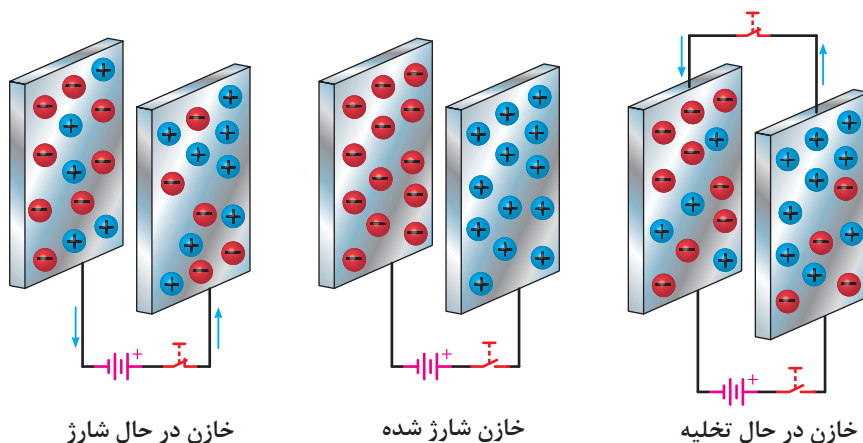


شکل ۳۰- شارژ شدن خازن به اندازه ولتاژ باتری

باید به این نکته توجه کرد که جریان شارژ و ولتاژ خازن مخالف یکدیگر عمل می‌کنند؛ یعنی، در ابتدای شارژ، جریان ماکزیمم و ولتاژ خازن صفر است. هرچه به ولتاژ خازن اضافه و خازن شارژ می‌شود، شدت جریان کاهش می‌یابد. وقتی ولتاژ خازن به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد، جریان صفر می‌شود. شکل ۳۰-۳ این مطلب را به روشنی نشان می‌دهد.

### دشارژ (تخلیه) خازن

در تئوری یک خازن شارژ شده باید شارژ خود را به مدت زمان نامحدودی نگاه دارد. در حالی که این امر عملی نیست. با جدا شدن منبع شارژ از خازن، دیر یا زود خازن شارژ (بار) خود را از دست می‌دهد. عمل از دست دادن شارژ را دشارژ شدن می‌نامند. برای دشارژ خازن تنها لازم است یک مسیر هادی بین دو صفحه ایجاد شود. با ایجاد مسیر، الکترون‌های صفحه منفی به طرف پتانسیل مثبت در صفحه مثبت جاری می‌شوند. تبادل الکترون بین صفحات آنقدر ادامه پیدا می‌کند تا صفحات خنثی شوند. در این موقع، خازن هیچ‌گونه ولتاژی ندارد و اصطلاحاً می‌گویند خازن دشارژ شده است. حرکت الکترون‌ها در مسیر ایجاد شده را جریان دشارژ نامیده می‌شود. در شکل ۳۱-۳ و دشارژ خازن را مشاهده می‌کنید.



شکل ۳۱-۳ نمایش شارژ و دشارژ خازن ساده

## ظرفیت خازن

ظرفیت یک خازن که آن را با حرف C نمایش می‌دهند-نمودار میزان توانایی ذخیره کردن شارژ (بار) الکتریکی (Q) است.

بنابه تعریف، **ظرفیت خازن برابر است با مقدار بار الکتریکی که باید روی یکی از صفحات خازن جمع شود تا پتانسیل آن نسبت به صفحه دیگر به اندازه یک ولت افزایش یابد.** به عبارت دیگر خارج قسمت بار الکتریکی (Q) ذخیره شده روی هریک از صفحات خازن بر اختلاف پتانسیل (V) میان دو صفحه را ظرفیت آن خازن گویند. می‌توان گفت که **میزان ذخیره شدن شارژ الکتریکی به ظرفیت خازن‌ها بستگی دارد.** در یک ولتاژ برابر خازنی که ظرفیت کمتری دارد، بار کمتر و آنکه ظرفیت بیشتری دارد، بار بیشتری را در خود ذخیره می‌کند. واحد ظرفیت **فاراد (F)** است که از نام مایکل فاراده گرفته شده و آن عبارت است از نسبت یک کولن بار ذخیره شده در هریک از صفحات خازنی که به اختلاف پتانسیل یک ولت اتصال داده شده باشد. با توجه به تعریف ارائه شده، رابطه ظرفیت خازن به صورت زیر است:

$$Q = CV$$

C ظرفیت خازن به فاراد، Q بار یک صفحه بر حسب کولن، و V ولتاژ دو سر خازن است. فاراد واحد بسیار بزرگی است و در کارهای عملی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. در عمل از واحدهای کوچک‌تری استفاده می‌شود. مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعیین ظرفیت خازن عبارت‌اند از:

■ مساحت صفحات

■ فاصله بین صفحات

■ دی‌الکتریک به کار رفته بین صفحات

ظرفیت یک خازن فقط به ابعاد و نوع عایق بستگی داشته و از مقدار ولتاژ و بار ذخیره شده در آن مستقل است. شکل ۲۸-۳ عوامل مؤثر در ظرفیت را نشان می‌دهد. فرمول ظرفیت خازن مسطح به صورت زیر است:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

A سطح مقطه صفحات بر حسب مترمربع و d فاصله صفحات بر حسب متر است. انرژی الکتریکی ذخیره شده ( $E_C$ ) در خازن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E_C = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV$$

واحد  $E_C$  ژول است.

در یک خازن صفحات دایره‌ای شکل با شعاع ۵ سانتی‌متر و فاصله یک میلی‌متر هستند. دی‌الکتریک از جنس لاستیک با  $\epsilon_r = 2/5$  است. ظرفیت خازن چقدر است؟ اگر این خازن به ولتاژ ۱۰ ولت وصل گردد چقدر بار در آن ذخیره می‌شود؟

مثال ۱۱



$$C = \epsilon \frac{A}{d} = 2/5 \times \pi \times 10^{-4} \times 10^{-12} \times \frac{\pi \times 25 \times 10^{-4}}{10^{-3}} = 173/76 \text{ pF}$$

راه حل:

$$Q = CV = 173/76 \text{ pF} \times 10 = 1/7376 \text{ n}$$

$$173/76 \times 10^{-2} = 1/7376 \text{ nf}$$





یک خازن در اثر اعمال ۲۰ ولت به دو سر آن باری معادل صفر کولن را ذخیره می‌کند. ظرفیت خازن چقدر است؟



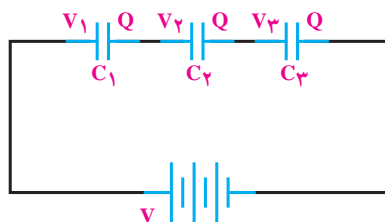
به دو سر خازن ۱ میکرو فارادی چه ولتاژی بدهیم تا باری معادل ۲۰ میکرو کولن در آن ذخیره شود؟

### اتصال خازن‌ها

خازن‌ها را بسته به نوع استفاده از آنها می‌توان به سه طریق سری و موازی متصل کرد:  
**الف) اتصال سری خازن‌ها:** در شکل ۳۲-۳ طرز به هم بستن سری خازن‌ها را مشاهده می‌کنید. در اتصال سری، فاصله مؤثر بین صفحات بیشتر می‌شود و ظرفیت معادل مجموعه خازنی کاهش می‌یابد. همان‌گونه که در شکل می‌بینید، تنها دو صفحه ابتدا و انتهای مجموعه خازنی که به منبع بسته شده‌اند از منبع بار الکتریکی دریافت می‌کنند و صفحه‌های دیگر از طریق القا دارای بار الکتریکی می‌شوند؛ بنابراین اندازه بار الکتریکی همه خازن‌ها یکسان است؛ ولی اختلاف پتانسیل دو سر مجموعه برابر حاصل جمع اختلاف پتانسیل‌های دو سر خازن است؛ یعنی:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (9)$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (10)$$



شکل ۳۲-۳ اتصال سری خازن‌ها

می‌دانیم که  $V = \frac{Q}{C_t}$  است:

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} \text{ و } V_2 = \frac{Q}{C_2} \text{ و } V_3 = \frac{Q}{C_3} \quad (11)$$

با قرار دادن روابط (۹) و (۱۱) در رابطه (۱۰)، رابطه (۱۲) حاصل می‌شود.

$$\frac{Q}{C_t} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} \quad (12)$$

با حذف  $Q$  از طرفین رابطه چنین می‌شود:

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (13)$$

با رابطه (۱۳) ظرفیت خازن معادل را می‌توان محاسبه کرد. در صورتی که خازن‌ها با هم مساوی باشند، رابطه ظرفیت خازن معادل برای  $n$  خازن چنین است:

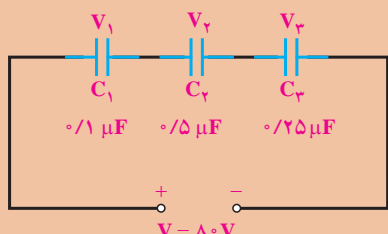
$$C_t = \frac{C}{n}$$

افت ولتاژ دو سر خازن‌ها در مدار سری با ظرفیت هر خازن نسبت معکوس دارد؛ یعنی هرچه ظرفیت خازن کمتر باشد، مقدار ولتاژ شارژ روی آن بیشتر خواهد بود. به تعبیر دیگر در مدار دو سر خازن‌های با ظرفیت کمتر، ولتاژ بیشتری نسبت به خازن‌های با ظرفیت بیشتر افت می‌کند.

مثال ۱۲



در مدار شکل زیر در صورتی که همه خازن‌ها شارژ کامل باشند ولتاژ دو سر هر خازن را به دست آورید.



راه حل:

در مدار سری مقدار بار خازن‌ها یکسان و برابر است با:

$$Q_t = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_f = \frac{0.5 \times 80}{8} = 5 \mu f$$

در اینجا ولتاژ دو سر خازن‌ها برابر می‌شود با:

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{5}{0.1} = 50 \text{ V}$$

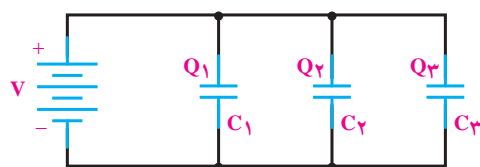
$$V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{5}{0.5} = 10 \text{ V}$$

$$V_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{5}{0.25} = 20 \text{ V}$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V = 50 + 10 + 20 = 80 \text{ V}$$

ب) اتصال موازی خازن‌ها: در شکل ۳-۳۳ اتصال چند خازن را به طور موازی نشان می‌دهد. در اتصال موازی خازن‌ها سطح مؤثر صفحات زیادتر می‌شود و ظرفیت معادل افزایش می‌یابد.



شکل ۳-۳۳ اتصال موازی سه خازن

در اتصال موازی خازن‌ها اختلاف پتانسیل بین دو صفحه همه آنها برابر ولتاژ منبع است؛ ولی بار الکتریکی هر خازن با ظرفیت آن متناسب است؛ یعنی:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (14)$$

$$V = V_1 = V_2 = V_3 \quad (15)$$

با دانستن روابط (14) و (15) و قرار دادن در رابطه بار و ولتاژ خازن ( $Q = C_T V$ ) چنین به دست می‌آید:

$$Q_1 = C_1 V$$

$$Q_2 = C_2 V$$

$$Q_3 = C_3 V$$

$$C_T V = C_1 V + C_2 V + C_3 V$$

ولتاژ  $V$  را از طرفین حذف می‌کنیم تا  $C_T$  به دست آید.

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

در صورتی که خازن‌های موازی یکسان باشند، ظرفیت برای  $n$  خازن برابر است با:

$$C_T = nC$$

در جدول زیر خلاصه ویژگی‌های خازن‌ها آورده شده است.

### جدول ۲-۳- جمع‌بندی خصوصیات و قوانین خازن‌های سری و موازی در مدارهای DC

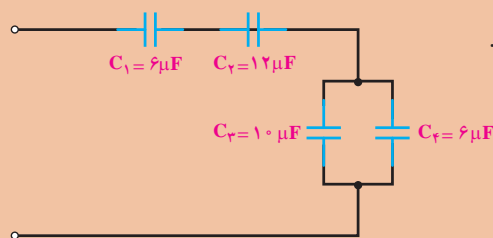
<ul style="list-style-type: none"> <li>بار ذخیره شده در هر خازن با بار کل برابر است.</li> <li>ولتاژ کل با مجموع ولتاژهای جزء برابر است.</li> <li>ظرفیت کل کاهش می‌یابد.</li> </ul>	مدار سری
<ul style="list-style-type: none"> <li>ولتاژ کل با ولتاژ دو سر هر خازن برابر است.</li> <li>بار کل با مجموع بارهای جزء برابر است.</li> <li>ظرفیت کل افزایش می‌یابد.</li> </ul>	مدار موازی

خازن در برابر جریان متناوب از خود مقاومت نشان می‌دهد. مقدار این مقاومت به ظرفیت و فرکانس جریان متناوب بستگی دارد که به آن **مقاومت خازنی** یا **امپدانس خازنی** می‌گویند و با  $X_C$  نشان می‌دهند. واحد مقاومت خازنی اهم بوده و با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

برای محاسبه مقاومت خازنی معادل در مدارهای سری و موازی می‌توان مشابه محاسبه ظرفیت معادل خازن‌ها عمل کرد. روابط محاسبه مقاومت خازنی معادل، در مدار سری و موازی به صورت زیر است:

$X_{C_T} = X_{C_1} + X_{C_2} + \dots + X_{C_n}$	مدار سری
$\frac{1}{X_{C_T}} = \frac{1}{X_{C_1}} + \frac{1}{X_{C_2}} + \dots + \frac{1}{X_{C_n}}$	مدار موازی



ظرفیت کل در مدار زیر را به دست آورید.

راه حل:

در این مدار  $C_1$  و  $C_2$  سری هستند که روابط سری را درباره این دو خازن اعمال می کنیم.  $C_3$  و  $C_4$  نیز با هم موازی اند و روابط موازی را درباره آنها اعمال می کنیم. در نهایت، مجموعه  $C_1$  و  $C_2$  با مجموعه  $C_3$  و  $C_4$  سری هستند و از قوانین سری پیروی می کنند. بنابراین، می توان نوشت:

$$C_{1,2} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{6 \times 12}{6 + 12} = 4 \mu F$$

$$C_{3,4} = C_3 + C_4 = 10 + 6 = 16 \mu F$$

$$C_t = \frac{4 \times 16}{4 + 16} = \frac{16}{5} = 3.2 \mu F$$

البته می توانستیم ابتدا ظرفیت  $C_{3,4}$  را حساب کنیم و سپس ظرفیت معادل را به صورت مجموعه سه خازن سری به دست آوریم.

## دیودها

یکی از قطعات پُر کاربرد در مدارهای الکترونیکی دیود است. قبل از شروع مباحث دیودها باید اندکی در مورد نیمه هادی ها بدانیم.

### نیمه هادی ها

اجسام بر حسب میزان هدایت الکتریکی به سه دسته کلی تقسیم می شوند:

■ هادی ها

■ نیمه هادی ها

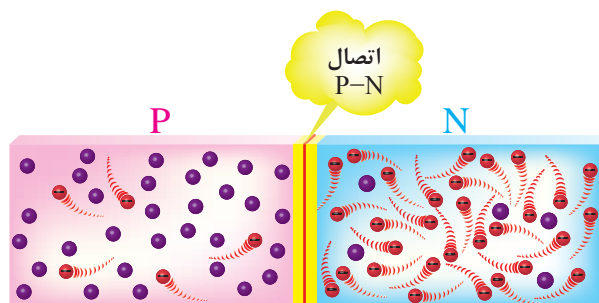
■ عایق ها

هادی ها مانند مس، آهن، و طلا کاملاً رسانای الکتریکی هستند. عایق ها مانند مواد پلاستیکی، چوب و سنگ نارسانا یا عایق هستند و جریان الکتریکی را از خود عبور نمی دهند. نیمه هادی ها یا نیمه رساناها مانند سیلیسیوم و ژرمانیوم رفتاری بین رساناها و عایق ها دارند و جریان الکتریکی بسیار کمی را از خود عبور می دهند. برای اینکه بتوانیم از نیمه هادی ها در مدارات الکتریکی استفاده کنیم باید اندکی رسانایی آنها را افزایش دهیم. برای افزایش رسانایی به نیمه هادی ها مقداری از اتم بقیه مواد (که اصطلاحاً به آنها ناخالصی می گوئیم) را اضافه می نمایند و نیمه هادی با رسانایی بالاتر را تولید می کنند. با توجه به نوع ناخالصی

اضافه شده دو نوع نیمه‌هادی P (+) و N (-) وجود دارد. در نیمه‌هادی P چگالی بارهای الکتریکی + یا حفره‌ها افزایش یافته است و در نیمه‌هادی N چگالی بارهای الکتریکی - یا الکترون‌ها افزایش یافته است.

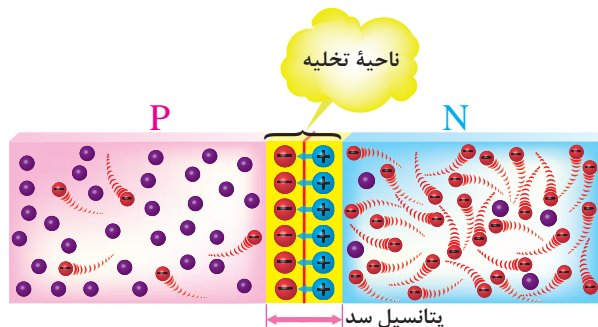
### اتصال P-N<sup>۱</sup>

دیدود از اتصال پیوند دو قطعه نیمه‌هادی نوع P و N به وجود می‌آید و در انواع مختلف ساخته می‌شود. در این بخش به نحوه تشکیل پیوند P-N به عنوان دیدود و موارد کاربرد آن می‌پردازیم. به شکل ۳-۳۴ توجه کنید.



شکل ۳-۳۴- پیوند P-N

لحظه‌ای که دو قطعه نیمه‌هادی نوع P و N را به یکدیگر پیوند می‌دهیم، از آن جایی که الکترون‌ها و حفره‌ها قابل انتقال هستند، الکترون‌های موجود در نیمه‌هادی نوع N به سبب بار الکتریکی مثبت حفره‌ها، جذب حفره‌ها می‌شوند. لذا، در محل اتصال نیمه‌هادی نوع P و N، الکترون آزاد و حفره وجود ندارد. به این محل که خالی از الکترون‌ها و حفره‌ها است ناحیه تهی یا لایه سد (Depletion Region) می‌گویند. لذا، می‌توان این محل را به عنوان یک عایق به حساب آورد (شکل ۳-۳۵). عرض ناحیه تهی بسیار کم، گاهی حدود چند دهم میکرون است.

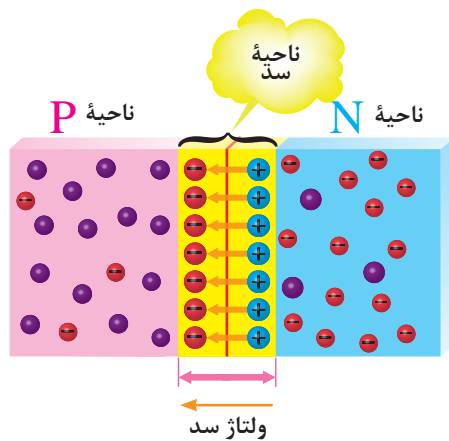


(شکل ۳-۳۵- نمای نیمه‌هادی‌های نوع N و P و ناحیه تهی)

همان‌طور که در شکل ۳-۳۵ مشاهده می‌شود، ناحیه تهی، فاقد الکترون آزاد و حفره است؛ اما در این ناحیه، اتم‌هایی که الکترون از دست داده‌اند یا دریافت کرده‌اند، به صورت بارهای مثبت و منفی در نیمه‌هادی نوع

N و P باقی می‌مانند. بقیه قسمت‌های دو نیمه‌هادی نوع N و P (به جز ناحیه تهی) وضع عادی خود را حفظ می‌کنند.

در ناحیه تهی، بارهای مثبت در نیمه‌هادی نوع N و بارهای منفی در نیمه‌هادی نوع P، در دو طرف لایه سد یا لایه عایق قرار گرفته‌اند. مجموعه ناحیه تهی، مانند یک خازن شارژ شده عمل می‌کند. در این شرایط سطوح دو نیمه‌هادی به منزله دو جوشن و لایه سد به منزله عایق (دی‌الکتریک) خازن است؛ بنابراین بارهای مثبت و منفی بین دو جوشن یک پتانسیل تشکیل می‌دهند. این پتانسیل، پتانسیل سد نام دارد؛ زیرا قادر است که از عبور الکترون‌ها و حفره‌ها از لایه سد جلوگیری کند، به عبارت دیگر میدان الکتریکی به‌وجود آمده در ناحیه سد، پس از مدتی مانع عبور حامل‌های اقلیت و اکثریت موجود در کریستال‌های نوع N و نوع P به سمت یکدیگر می‌شود. این نوع پیوند P-N را اصطلاحاً دیود یا دو قطب (Diode) می‌نامند. مقدار پتانسیل سد برای دیودهای سیلیسیمی حدود  $0.7$  ولت و برای دیودهای ژرمانیمی حدود  $0.2$  ولت است.



(شکل ۳-۳۶- نمای میدان الکتریکی داخل دیود)

بدیهی است که ما نمی‌توانیم به طور مستقیم (مثلاً با ولت‌متر) این پتانسیل را اندازه بگیریم، زیرا این پتانسیل، فقط در ناحیه تهی به وجود می‌آید و نه در دو انتهای نیمه‌هادی P و N که بتوانیم با ولت‌متر آن را اندازه بگیریم. اندازه‌گیری این ولتاژ را فقط می‌توان با اتصال منبع ولتاژ خارجی که در بخش بعد توضیح داده خواهد شد، به دست آورد. پتانسیل سد، یک میدان الکتریکی از نیمه‌هادی نوع N به طرف نوع P به‌وجود می‌آورد، که در شکل ۳-۳۶ با حرف E نشان داده شده است. پیکان نیز جهت میدان را مشخص می‌کند.

اتصال فلزی برای پایه دیود



(شکل ۳-۳۷- بایاس مستقیم دیود)

### دیود در بایاس مستقیم<sup>۱</sup> و بایاس معکوس<sup>۲</sup>

وصل کردن ولتاژ به دیود را بایاس کردن دیود می‌نامند. اتصال ولتاژ به دیود به دو صورت امکان‌پذیر است:  
الف) **بایاس مستقیم:** اگر نیمه‌هادی نوع P را به قطب مثبت باتری و نیمه‌هادی نوع N را به قطب منفی آن متصل کنیم، این حالت را بایاس مستقیم می‌گویند (شکل ۳-۳۷).

<sup>۱</sup>- Forward Bias

<sup>۲</sup>- Reverse Bias