

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# دانش فنی پایه

رشته الکتروتکنیک  
گروه برق و رایانه  
شاخه فنی و حرفه‌ای  
پایه دهم دوره دوم متوسطه



وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



دانش فنی پایه (رشته الکتروتکنیک) - ۲۱۰۲۶۳

نام کتاب:

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

پدیدآورنده:

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف:

علی اکبر مطیع بیرجندی، شهرام خدادادی، امیرحسین ترکمانی، محمدحسن اسلامی، علیرضا

شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف:

حجرجشت، نقی اصغری آقاباقر، مجتبی انصاری پور (اعضای شورای برنامه‌ریزی)

نقی اصغری آقا باقر، امیرحسین ترکمانی (اعضای گروه تألیف) - مجتبی انصاری پور (ویراستار)

اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

مدیریت آماده‌سازی هنری:

سمیه نظری (طراح جلد) - نسرین اصغری (صفحه‌آرا) - علیرضا سیاحی، مریم دهقان زاده (رسم)

شناسه افزوده آماده‌سازی:

تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)

نشانی سازمان:

تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وب گاه: [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir) و [www.irtextbook.ir](http://www.irtextbook.ir)

شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱

ناشر:

(دارو پخش) تلفن: ۵ - ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰

صندوق پستی: ۳۷۵۱۵ - ۱۳۹

شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

چاپخانه:

چاپ سوم ۱۳۹۷

سال انتشار و نوبت چاپ:

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.



ما باید زحمت بکشیم تا در همهٔ جناح‌ها خودکفا باشیم. امکان ندارد که استقلال به دست بیاید، قبل از اینکه استقلال اقتصادی داشته باشیم. اگر ما بنا باشد که در اقتصاد احتیاج داشته باشیم، در چیزهای دیگر هم وابسته خواهیم شد و همین‌طور اگر در فرهنگ، ما وابستگی داشته باشیم، در اساس مسائل وابستگی پیدا می‌کنیم.

امام خمینی (قدّس سرّه الشّریف)

### پودمان اول

- کلیات ..... ۲
- واحد یادگیری ۱: تولید انرژی الکتریکی ..... ۷
- واحد یادگیری ۲: الکتریسیته ..... ۲۱
- واحد یادگیری ۳: آثار جریان الکتریکی ..... ۳۷

### پودمان دوم

- واحد یادگیری ۴: مقاومت الکتریکی ..... ۴۴
- واحد یادگیری ۵: کار و توان الکتریکی ..... ۵۷

### پودمان سوم

- واحد یادگیری ۶: اتصال مقاومت های اهمی ..... ۶۴
- واحد یادگیری ۷: اتصال پیل ها ..... ۹۱

#### پودمان چهارم

- واحد یادگیری ۸: جریان متناوب ..... ۱۰۰
- واحد یادگیری ۹: الکترومغناطیس ..... ۱۱۵
- واحد یادگیری ۱۰: خازن ..... ۱۵۳

#### پودمان پنجم

- واحد یادگیری ۱۱: توان در جریان متناوب ..... ۱۷۲
- واحد یادگیری ۱۲: اندازه گیری جریان، ولتاژ و مقاومت اهمی ..... ۱۷۹

#### منابع و مأخذ

- ..... ۱۸۸

با توجه به آموزه‌های اسلامی، کار و اشتغال از ارزش تربیتی برخوردار است و انسان از طریق کار، نفس سرکش را رام کرده و شخصیت وجودی خویش را صیقل داده، هویت خویش را تثبیت کرده و زمینه ارتقاء وجودی خویش را مهیا و امکان کسب روزی حلال و پاسخگویی به نیازهای جامعه را فراهم می‌آورد. آموزش فناوری، کار و مهارت‌آموزی، باعث پیشرفت فردی، افزایش بهره‌وری، مشارکت در زندگی اجتماعی و اقتصادی، کاهش فقر، افزایش درآمد و توسعه‌یافتگی خواهد شد. برای رسیدن به این مهم، برنامه‌ریزی درسی حوزه دنیای کار و دنیای آموزش بر مبنای نیازسنجی شغلی صورت گرفته است. درس‌های رشته‌های تحصیلی شاخه فنی و حرفه‌ای شامل دروس آموزش عمومی، دروس شایستگی‌های غیرفنی و شایستگی‌های فنی مورد نیاز بازار کار است. دروس دانش فنی از دروس شایستگی‌های فنی است که برای هر رشته در دو مرحله طراحی شده است. درس دانش فنی پایه با هدف شناخت مفاهیم و کسب دانش فنی پایه در گروه و رشته تحصیلی است که هنرجویان در پایه دهم و در آغاز ورود به رشته تحصیلی خود می‌بایست آن را آموزش ببینند و شایستگی‌های لازم را در ارتباط با دروس عملی و ادامه تحصیل در رشته خود کسب نمایند. درس دانش فنی تخصصی که در پایه دوازدهم طراحی شده است، شایستگی‌هایی را شامل می‌شود که موجب ارتقاء دانش تخصصی حرفه‌ای شده و زمینه را برای ادامه تحصیل و توسعه حرفه‌ای هنرجویان در مقطع کاردانی پیوسته نیز فراهم می‌کند.

کتاب دانش فنی پایه تئوری تفکیک شده دروس عملی کارگاه‌های ۸ ساعته نیست بلکه در راستای شایستگی‌ها و مشاغل تعریف شده برای هر رشته تدوین شده است. در ضمن، آموزش این کتاب نیاز به پیش‌نیاز خاصی ندارد و براساس آموزش‌های قبلی تا پایه نهم به تحریر درآمده است. لازم به یادآوری است که محتوای آموزشی کتاب دانش فنی پایه، آموزش‌های کارگاهی را عمق می‌بخشد و نیازهای هنرجویان را در راستای محتوای دانش نظری تأمین می‌کند.

تدریس کتاب در کلاس درس به صورت تعاملی و با محوریت هنرآموز و هنرجوی فعال صورت می‌گیرد.

**دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش**

## سخنی با هنرجویان عزیز

درس دانش فنی پایه با هدف شناخت مفاهیم، کسب دانش فنی پایه در گروه صنعت و رشته تحصیلی الکتروتکنیک برای شما هنرجویان عزیز طراحی و کتاب آن تألیف شده است.

در تدوین درس دانش فنی پایه، موضوعاتی مانند تاریخچه رشته، محتوا جهت ایجاد انگیزش، مشاغل و هدف رشته تحصیلی، نقش رشته شما در توسعه کشور، مثال هایی از نوآوری، خلاقیت و الهام از طبیعت، اصول، مفاهیم، قوانین، نظریه، فناوری، علائم، تعاریف کمیت ها، واحدها و یکاها، فرمول های فنی، تعریف دستگاه ها و وسایل کار، مصادیقی از ارتباط مؤثر فنی و مستندسازی، زبان فنی، ایمنی و بهداشت فردی و جمعی، پیشگیری از حوادث احتمالی شغلی و نمونه هایی از مهارت حل مسئله در بستر گروه تحصیلی و برای رشته تحصیلی در نظر گرفته شده است.

می توانید در هنگام ارزشیابی این درس، از کتاب همراه هنرجوی خود استفاده نمایید.

توصیه می شود در یادگیری این درس به دلیل کاربرد زیاد آن در درس های دیگر رشته، کوشش لازم را داشته باشید.

دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کاردانش





## در این فصل مطالب زیر را فرا خواهید گرفت:

- ۱- نحوه تولید انرژی الکتریکی
- ۲- نیروگاه‌های جریان‌های متناوب و مستقیم
- ۳- انتقال، توزیع و مصرف کننده‌های انرژی الکتریکی
- ۴- برچسب انرژی
- ۵- الکتریسیته ساکن
- ۶- ساختمان اتم
- ۷- هادی، عایق و نیمه‌هادی
- ۸- قانون کولن
- ۹- میدان الکتریکی
- ۱۰- پتانسیل الکتریکی

**مقدمه:** هنر جویان عزیز، شغل مناسب بر اساس دانش، مهارت، تجربه، علاقه و خصوصیات و توان فردی در انجام یک وظیفه معین تعیین، می‌شود. شما می‌توانید با یادگیری مفاهیم و عمق‌بخشی بیشتر به آنها به کمک این درس در زمینه شغلی خود به‌عنوان یک برق‌کار، مفید و مؤثر واقع شوید.



امروزه زمینه شغلی برق‌کاران نسبت به گذشته دارای دامنه وسیع‌تری است. به‌طوری‌که به دلیل تغییر نیاز بازار کار هوشمند سازی برق ساختمان (BMS)<sup>۱</sup> نصب و سیم‌کشی دستگاه‌های حفاظتی شامل دوربین‌های مدار بسته، ضد سرقت، اعلام حریق، برق اضطراری و سیستم آنتن مرکزی، سیستم تلفن، دستگاه‌های صوتی-آیفون صوتی و تصویری و درب بازکن جزء وظایف برق‌کاران شده است.



اتوماسیون صنعتی (هوشمندسازی فعالیت کارخانجات و صنعت)

در سال‌های بعد به شایستگی‌های بیشتری در زمینه‌های حرفه‌ای و شغلی برق خواهید رسید ارتقاء این شایستگی‌ها، توانایی برق‌کاران را در فعالیتهای مرتبط با تجهیزات هوشمندسازی برق ساختمان افزایش خواهد داد و راه را برای ایجاد زمینه‌های شغلی و خود اشتغالی و کسب درآمد به منظور زندگی بهتر آنها هموارتر می‌کند.

در ادامه با تعدادی از حرفه‌ها و مشاغل مرتبط به رشته الکتروتکنیک آشنا می‌شوید.

مشاغلی که در کشور در سطوح شغل و حرفه برق برای شما قابلیت دستیابی دارد.

### گروه شغلی: برق کار عمومی، ساختمان و صنعتی

ردیف	۱	۲	۳
عنوان شغل	برق کار امور ساختمانی	برق کار امور صنعتی	تعمیر کار و نصاب خطوط برق
تصویر مرتبط با شغل			
شرح شغل	انجام سیم کشی برق ساختمان مسکونی و نصب قطعات الکتریکی	نصب قطعات تابلوهای برق سه فاز (صنعتی، کشاورزی و تجاری)	انجام امور مربوط به تعمیر، نصب و نگهداری خطوط توزیع برق
ردیف	۴	۵	۶
عنوان شغل	تعمیر کار لوازم الکتریکی و الکترونیکی	مربی آموزش حرفه‌ای متوسطه	اپراتور نیروگاه برق
تصویر مرتبط با شغل			
شرح شغل	تعمیر لوازم گر دنده و حرارتی برقی خانگی	آموزش مهارت‌های برق کاری به هنرجویان و علاقمندان	نگهداری، تست و گزارش عملکرد تأسیسات نیروگاهی یا اتاق کنترل
ردیف	۷	۸	۹
عنوان شغل	مسئول کنترل کیفیت	تابلوساز و نصاب تابلو برق	طراح برق و الکترونیک
تصویر مرتبط با شغل			
شرح شغل	کنترل کیفی محصولات و خدمات الکتریکی	نصاب قطعات و چیدمان داخل تابلو برق	طراح تأسیسات الکتریکی

ردیف	۱۰	۱۱	۱۲
عنوان شغل	مدیر صنعت	تحلیل گر سیستم	مؤلف و نویسنده مرتبط
تصویر مرتبط با شغل			
شرح شغل	مدیر پروژه های برقی	مهندس تحلیل سیستم	نویسندگان و مؤلفین کتب مرتبط با آموزش برق
ردیف	۱۳	۱۴	۱۵
عنوان شغل	نصاب و سرویس کار سیستم های جریان ضعیف	تعمیر کار لوازم خانگی	نصب و تعمیر کار بالابر و فنر بر
تصویر مرتبط با شغل			
شرح شغل	نصاب سیستم های حفاظتی	تعمیر و تعویض قطعات لوازم خانگی	نصب و تعمیر بالابر های تجاری

## تاریخچه برق در ایران

نخستین نیروگاه دولتی برق در سال ۱۲۶۴ یعنی ۶ سال پس از اینکه توماس الوادیسون نخستین لامپ برق را اختراع کرد، به دستور ناصرالدین شاه قاجار توسط محمد حسین امین‌الضرب به ایران وارد شد، این نیروگاه، برق کاخ گلستان را تأمین کرد.

در سال ۱۲۸۴ نخستین نیروگاه خصوصی برق شهری توسط مرحوم حاج حسین مهدوی (امین‌الضرب) به قدرت ۴۰۰ کیلووات از نوع حرارتی در شهر تهران نصب و راه اندازی شد. امین‌الضرب نخستین کسی بود که با دریافت یک امتیاز نامه معتبر اقدام به احداث نیروگاه برق شهری در ایران کرد. این نیروگاه در ۲۴ ساعت فقط ۶ ساعت برق ۲۲۰ ولت تک فاز، و ۳۸۰ ولت سه فاز متناوب مشترکین آن زمان را تأمین می‌کرد. چنانچه از امتیاز نامه حاج حسین امین‌الضرب بر می‌آید در این امتیازنامه برپایی کارخانه‌های برق، آجرسازی و نجاری یک جا به وی واگذار شده بود.



اولین نیروگاه بخاری (محل نگهداری موزه برق تهران)

همچنین از حدود سال ۱۳۰۳ بخش‌های خصوصی دیگری از جمله کارخانه‌های آرد، ریسندگی، نساجی و برخی شهرداری‌ها، در شهرهای مختلف ایران نسبت به راه اندازی نیروگاه‌های کوچک از نوع دیزل و حرارتی برای تأمین بخشی از برق روشنایی مناطق شهری اقدام کردند. در سال ۱۳۱۶ نخستین نیروگاه برق دولتی به قدرت ۶۴۰۰ کیلووات از نوع حرارتی، توسط بلدیة تهران (شهرداری) در شمال شرقی بیرون دروازه دوشان تپه (میدان شهدا) راه اندازی شد و بعدها نیروگاه‌های دیزلی و حرارتی به این نیروگاه اضافه شد. بعضی از این نیروگاه‌ها تا سال ۱۳۴۷ جهت تولید و عرضه نیروی برق مورد بهره برداری قرار می‌گرفت. با راه اندازی نیروگاه‌های آبی مربوط به سد امیرکبیر، سد دز، سد سفید رود، حرارتی آلستوم (نیروگاه طرشت) و فرح آباد (بعثت) در سال ۱۳۴۸ و در نتیجه تولید نیروی برق کافی، نیروگاه برق دوشان تپه از مدار خارج شد.

## الهام از طبیعت



فیبرهای نوری با سرعت بسیار زیاد می‌توانند داده‌ها را منتقل کرده و انسان را در زمینه ارتباطات جلو ببرند و اسفنج‌های دریایی یک الهام خوب برای ساخت فیبرهای نوری هستند. جنس یکی از اسفنج‌های دریایی از نوعی شیشه ساخته شده که فیبرهای آن بسیار باریک (در حد تار موی انسان) هستند اما اگر در کنار هم جمع شوند، ساختاری بسیار مستحکم می‌سازند.



واحد یادگیری ۱

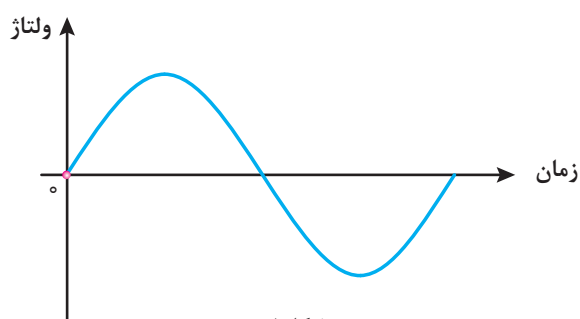
تولید انرژی الکتریکی



انرژی الکتریکی از تبدیل انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی (حرارت)، انرژی جنبشی باد، انرژی خورشیدی، انرژی پتانسیل گرانشی آب، انرژی حاصل از هوای فشرده (گاز) حاصل از جزر و مد آب دریا و سایر موارد بدست می‌آید. و برای این تبدیل انرژی از ژنراتور<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. محل نصب ژنراتور و تجهیزات مربوط به آن را نیروگاه<sup>۲</sup> می‌نامند. نیروگاه‌های برق در دو نوع «جریان متناوب»<sup>۳</sup> و «جریان مستقیم»<sup>۴</sup> می‌باشند. جریان متناوب را به اختصار با حروف AC و جریان مستقیم را به اختصار با حروف DC نشان می‌دهند.

## نیروگاه‌های جریان متناوب

نیروگاه‌های جریان متناوب شامل نیروگاه‌های حرارتی، آبی، گازی، دیزلی و سایر موارد می‌باشند. شکل موج ولتاژ و جریان خروجی ژنراتور این نیروگاه‌ها به صورت سینوسی می‌باشد که به آن متناوب گویند (شکل ۱).



شکل ۱

### الف) نیروگاه حرارتی

نیروگاه حرارتی با انرژی حرارتی حاصل از سوخت‌های فسیلی یا سوخت‌های هسته‌ای، آب را به بخار تبدیل می‌کند توربین<sup>۵</sup> انرژی جنبشی بخار را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌نماید. ژنراتور انرژی مکانیکی توربین را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. بازده نیروگاه‌های حرارتی به دلیل اتلاف انرژی حرارتی کمتر از ۳۰ درصد می‌باشد.



۱- Genarator

۲- Power plant

۳- Alternating Current (Ac)

۴- Direct Current (Dc)

۵-Turbine



شکل ۲- سد و نیروگاه آبی کارون ۳ استان خوزستان

زمان احداث نیروگاه آبی چندین سال طول می کشد و در سرزمین هایی قابل استفاده می باشد که امکان احداث سد فراهم باشد و احداث آن باعث تخریب و تغییر در شرایط محیط زیست نشود.

### ب) نیروگاه آبی

نیروگاه آبی، انرژی پتانسیل گرانشی حاصل از ذخیره سازی آب در پشت سد را توسط توربین به انرژی مکانیکی تبدیل می کند و ژنراتور انرژی مکانیکی توربین را به انرژی الکتریکی تبدیل می نماید (شکل ۲).

### پ) نیروگاه گازی

نیروگاه گازی انرژی جنبشی حاصل از هوای فشرده و گرم شده را توسط توربین به انرژی مکانیکی تبدیل می کند و ژنراتور انرژی مکانیکی توربین را به انرژی الکتریکی تبدیل می نماید.

زمان احداث نیروگاه های گازی در مقایسه با نیروگاه های آبی و حرارتی کمتر می باشد اما بازده آنها به دلیل اتلاف انرژی حرارتی کمتر از ۳۰ درصد می باشد (شکل ۳).



شکل ۳- نیروگاه گازی



شکل ۴- نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند

### ت) نیروگاه سیکل ترکیبی

نیروگاه سیکل ترکیبی از دو نیروگاه حرارتی و گازی که در مجاورت یکدیگر احداث شده‌اند، تشکیل شده است به این ترتیب که از انرژی حرارتی تلف شده در نیروگاه گازی برای گرم کردن آب نیروگاه حرارتی استفاده می‌شود. بنابراین بازده و خروجی نیروگاه سیکل ترکیبی در مقایسه با نیروگاه حرارتی و گازی بیشتر خواهد بود (شکل ۴).



شکل ۵- نیروگاه بادی

### ث) نیروگاه بادی

نیروگاه بادی انرژی جنبشی حاصل از باد را توسط توربین به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند و ژنراتور انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید. نیروگاه بادی با توجه به شرایط اقلیمی، وزش باد در مدت زمان کمتر از یک سال قابل احداث و بهره برداری می‌باشد. رایگان بودن انرژی باد و عدم نیاز به انرژی فسیلی از مزایای مهم نیروگاه بادی می‌باشد (شکل ۵).

### ج) نیروگاه دیزلی

نیروگاه دیزلی انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی نظیر گازوئیل را توسط ماشین‌های درون‌سوز به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند و ژنراتور انرژی مکانیکی ماشین درون‌سوز را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید.

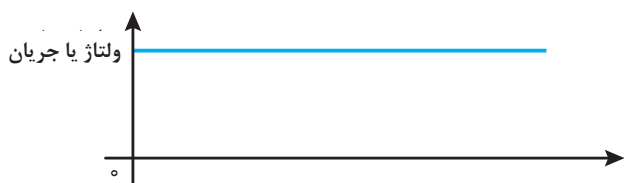
نیروگاه دیزلی به صورت نصب ثابت و سیار قابل استفاده می‌باشند (شکل ۶).



شکل ۶- دیزل ژنراتور

## نیروگاه‌های جریان مستقیم

یکی از نیروگاه‌های جریان مستقیم نیروگاه‌های خورشیدی است که شکل موج ولتاژ و جریان



شکل ۷- ولتاژ خروجی نیروگاه خورشیدی

خروجی ژنراتور این نیروگاه‌ها به صورت خط صاف است. یعنی با گذشت زمان مقدار ولتاژ یا جریان تغییر نمی‌کند و ثابت است. شکل ۷ روش‌های تولید انرژی الکتریکی با جریان مستقیم به شرح زیر است :

### الف) روش فوتوولتاییک

نور نوعی انرژی است که از ذرات حامل انرژی به نام فوتون به وجود می‌آید. هنگامی که فوتون‌های یک شعاع نوری با جسمی برخورد می‌کنند، انرژی خود را از دست می‌دهند. در بعضی اجسام، انرژی فوتون‌ها باعث آزادی الکترون‌ها می‌شود. انرژی نورانی تابیده شده به یکی از دو صفحه متصل به هم، باعث تخلیه الکترون از یکی به دیگری می‌شود. در نتیجه، مانند باتری در دو صفحه بارهای مخالف ایجاد می‌شود (شکل ۸). به این اثر فوتوولتاییک<sup>۱</sup> می‌گویند.



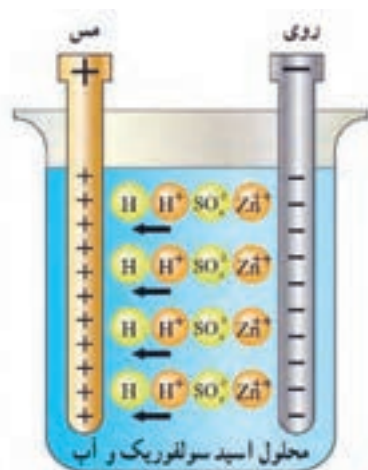
شکل ۸- فوتوولتاییک



شکل ۹- کاربرد متفاوت انرژی الکتریکی تولید شده توسط نور خورشید

<sup>۱</sup> -Photo Voltatic

## ب) روش شیمیایی



شکل ۱۰- الکترود شیمیایی

مواد شیمیایی با فلزات مخصوصی ترکیب می‌شوند و واکنش‌های شیمیایی را ایجاد می‌کنند که باعث انتقال الکترون‌ها و تولید بارهای الکتریکی می‌گردد. باتری معمولی از این راه الکتریسیته تولید می‌کند. این پدیده بر قوانین الکتروشیمی مبتنی است. برای مثال، می‌توان باتری تر را نام برد. اسید سولفوریک هنگامی که در یک ظرف شیشه‌ای با آب (به عنوان الکترولیت) مخلوط می‌شود، به دو ماده شیمیایی هیدروژن ( $H$ ) و سولفات ( $SO_4$ ) تجزیه می‌گردد. به علت طبیعت ترکیبات شیمیایی اتم‌های هیدروژن یون‌های مثبت ( $H^+$ ) و اتم‌های سولفات یون‌های منفی ( $SO_4^{2-}$ ) دارند. تعداد بارهای مثبت و منفی مساوی‌اند و در

نتیجه، کل محلول از نظر بار الکتریکی خنثی است. پس از آن، هنگامی که میله‌های مسی یا روی را به داخل محلول وارد می‌کنیم، با محلول ترکیب می‌شوند (شکل ۱۰). فلز روی با یون‌های سولفات ترکیب می‌شود. چون این اتم‌ها منفی‌اند، یون‌های مثبت ( $Zn^{++}$ ) از میله فلزی روی خارج می‌شوند. در اثر خارج شدن یون‌های مثبت از میله روی، میله دارای الکترون‌های اضافی می‌شود. پس به طور منفی باردار می‌گردد. یون‌های روی با یون‌های سولفات ترکیب می‌شوند. آنها را خنثی می‌کنند. در این حالت، محلول از نظر بارهای مثبت غنی‌تر است. یون‌های مثبت هیدروژن الکترون‌های آزاد میله مسی را جذب و محلول را دوباره خنثی می‌کنند ولی در این حالت، میله مسی کمبود الکترون خواهد داشت. در نتیجه، به طور مثبت باردار خواهد شد.

## پ) روش پیزوالکتریک

هنگامی که به بعضی اجسام فشار وارد می‌کنیم، الکترون‌های آنها در جهت نیرو از مدار خارج می‌شوند. در نتیجه، الکترون‌ها یک طرف جسم را ترک می‌کنند و در طرف دیگر آن جمع می‌شوند. بنابراین، در دو جهت مخالف جسم بارهای مثبت و منفی به وجود می‌آیند (شکل ۱۱).

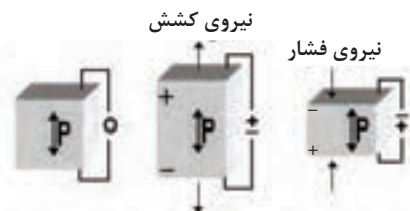
به اثر فشار برای تولید الکتریسیته، اثر پیزوالکتریک، می‌گویند. پیزو یک کلمه یونانی به معنای فشار است. این اثر بیشتر در مورد کریستال‌ها و بعضی سرامیک‌های مخصوص خود را نشان می‌دهد. کریستال‌های پیزوالکتریک در بعضی میکروفون‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۱۱ (ج) - کاربرد پیزوالکتریک در فندک



شکل ۱۱ (ب) - کاربرد کریستال در میکروفن



شکل ۱۱ (الف) - فشار و کشش روی کریستال

### ت) روش ترموالکتریک

بعضی از اجسام الکترون از دست می‌دهند و بعضی دیگر الکترون جذب می‌کنند. در نتیجه بین دو جسم غیر مشابه هنگام اتصال، انتقال الکترون صورت می‌گیرد. فلزات فعال در درجه حرارت معمولی اتاق نیز می‌توانند الکترون آزاد کنند.

بارهایی که در درجه حرارت اتاق تولید می‌شوند، کم هستند؛ ولی اگر محل اتصال دو فلز (مثلاً روی و مس) را حرارت دهیم، انرژی بیشتری آزاد می‌گردد. به روش تولید الکتریسیته به وسیله حرارت ترموالکتریک گفته می‌شود. هرچه حرارت داده شده بیشتر باشد، بار بیشتری تولید می‌شود. هنگامی که حرارت قطع شود، فلزها سرد می‌شوند و بارها از بین می‌روند. به اتصال این دو فلز ترموکوپل می‌گویند (شکل ۱۲). هنگامی که چندین ترموکوپل به یک دیگر متصل شوند، یک ترموپیل (باتری حرارتی) به وجود می‌آید. از ترموکوپل برای اندازه‌گیری درجه حرارت در کوره‌ها استفاده می‌شود (شکل ۱۳).



شکل ۱۲



شکل ۱۳ - دو نمونه ترموکوپل

## معرفی پایگاه اینترنتی:

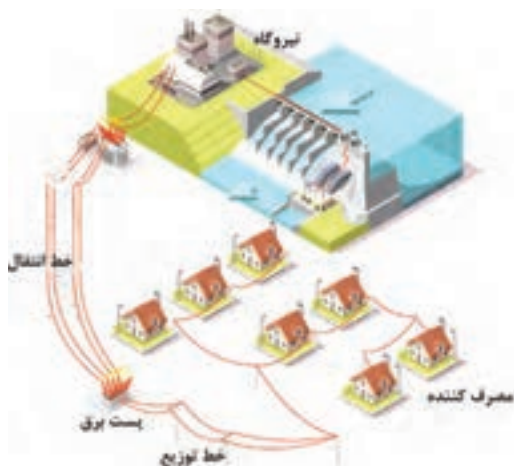
در پایگاه اینترنتی سازمان انرژی‌های نو ایران «سنا» <http://www.suna.org.ir> می‌توانید مطالعات بیشتری درمورد انرژی‌های تجدید پذیر در تولید برق و منابع این انرژی‌ها در کشورمان ایران، داشته باشید (شکل ۱۴).



شکل ۱۴ پایگاه اینترنتی سنا

## انتقال انرژی الکتریکی

انتقال انرژی الکتریکی از محل تولید در نیروگاه‌های برق توسط «شبکه‌های انتقال نیرو» به سمت مصرف کننده انجام می‌شود.



شکل ۱۵- تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی



شکل ۱۶- پست انتقال برق

بخشی از انرژی الکتریکی به هنگام انتقال به حرارت تبدیل می‌شود که آن را « تلفات انرژی در شبکه انتقال نیرو » می‌گویند. به منظور کاهش تلفات انرژی ولتاژ شبکه‌های انتقال نیرو توسط «پست افزایشده» زیاد می‌شود و در انتهای شبکه انتقال نیرو توسط «پست کاهشده» کاهش می‌یابد. برای کاهش یا افزایش ولتاژ از ترانسفورمر استفاده می‌شود در واقع ترانسفورمر یک مبدل ولتاژ است.

## توزیع انرژی الکتریکی



شکل ۱۷- پست توزیع

توزیع انرژی الکتریکی توسط «شبکه‌های توزیع» بین مصرف‌کننده‌ها انجام می‌شود. شبکه توزیع، انرژی الکتریکی را از شبکه انتقال نیرو دریافت می‌کند و پس از آن با ولتاژ مناسب بین مصرف‌کننده‌ها توزیع می‌نماید. تغییر ولتاژ توسط «پست توزیع» در شبکه‌های توزیع انجام می‌شود. شکل (۱۷).

## مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی

مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی در انتهای مسیر تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی قرار دارند. مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی عبارت‌اند از:

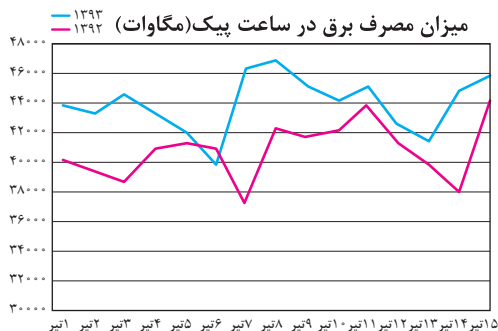
- بخش مصارف خانگی
  - بخش مصارف صنعتی و تجاری
  - بخش مصارف کشاورزی
  - بخش مصارف عمومی شامل مراکز فرهنگی هنری، تفریحی
- انرژی الکتریکی در این بخش‌ها در تجهیزات زیر مصرف می‌شود:
- موتورهای الکتریکی مثل یخچال‌ها، کولرها، پمپ‌های صنعتی و آب
  - روشنایی مثل لامپ LED، لامپ CFL و فلورسنت
  - گرمازا مثل سماور برقی، پلوپز برقی و المنت‌ها و نظایر آن

### زمان اوج مصرف انرژی الکتریکی



به ساعاتی که مصرف انرژی الکتریکی در کل کشور زیاد باشد، ساعت اوج<sup>۱</sup> مصرف انرژی الکتریکی گفته می‌شود. اوج مصرف روزانه شبکه سراسری انرژی الکتریکی به زمان غروب آفتاب، تاریک شدن هوا و وسایل مصرف‌کننده‌های روشنایی بستگی دارد. در این زمان در بخش تجاری و خانگی مصرف‌کننده دیگری نظیر یخچال و فریزر و تلویزیون هم‌زمان با مصرف‌کننده‌های روشنایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ساعات اوج مصرف روزانه انرژی الکتریکی در کشور ما در تابستان بین ساعات ۱۹ تا ۲۳ و در زمستان بین ساعات ۱۸ تا ۲۲ است. همچنین در بعضی از فصل‌های

<sup>۱</sup> - Peak



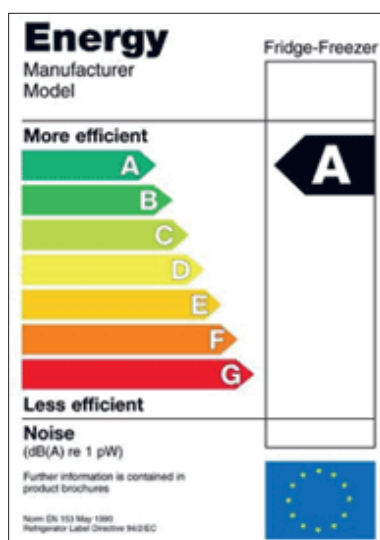
شکل ۱۸- اوج مصرف برق در تیرماه

سال (تابستان) مصرف انرژی الکتریکی نسبت به سایر فصول سال به دلیل اضافه شدن وسایل سرمایشی نظیر کولر و .. بیشتر است که به آن اوج مصرف فصلی می‌گویند. در شکل ۱۸ پیک مصرف برق کشور (برحسب مگاوات) در تیر ماه سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ نشان داده شده است.



## آشنایی با برچسب انرژی

بیشتری باشد. برچسب انرژی از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده است که هر قسمت نمایانگر اطلاعاتی است (شکل ۱۹).



شکل ۱۹- برچسب انرژی بازده انرژی A

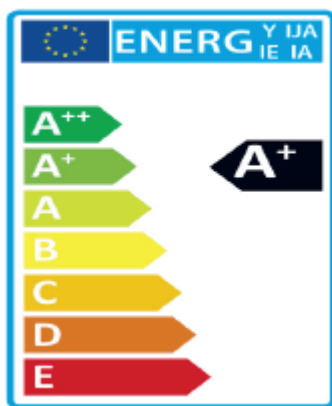
همه مردم به دنبال تهیه بهترین وسیله برقی جهت استفاده در زندگی روزمره هستند در عصر تکنولوژی تنوع بسیاری در نوع و کیفیت محصولات برقی در بازار وجود دارد. این تنوع در تعداد قابل ملاحظه‌ای روبه افزایش است. بنابراین انتخاب و خرید وسایل برقی، اطمینان از بازدهی و میزان مصرف انرژی دستگاه‌های مورد نظر برای مصرف‌کنندگان دارای اهمیت و ضرورت بسیاری است. ایجاد اطمینان از کیفیت محصول از طریق آزمایش لوازم برقی و تعیین رتبه کارایی آنها در آزمایشگاه ملی صرفه جویی انرژی انجام شده و در آنجا نیز نصب برچسب انرژی انجام می‌شود.

برچسب انرژی امروزه در اغلب کشورهای جهان وجود دارد و مصرف‌کنندگان را با میزان مصرف انرژی هریک از وسایل خانگی انرژی بر آشنا می‌کند. همچنین اطلاعات مشترک در همه وسایل اطلاعات اختصاصی مرتبط به هر وسیله انرژی بر را در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهد. مصرف‌کننده می‌تواند با توجه به این اطلاعات در هنگام خرید، دستگاهی را انتخاب کند که در مقایسه با سایر مدل‌های مشابه دارای مصرف انرژی کمتر و بازدهی

## بخش‌های مختلف برچسب انرژی

سه بخش اولیه برچسب که در تمامی وسایل انرژی بر خانگی مشترک است به ترتیب نمایانگر علامت تجاری، نام کارخانه سازنده و مدل دستگاه می‌باشد. بخش چهارم برچسب انرژی به وسیله هفت حرف لاتین از A تا G در هفت طیف رنگی درجه بندی شده است

که هریک از حروف و یا رنگ‌ها معرف درجه‌ای از مصرف انرژی و کارایی دستگاه می‌باشد. حرف A نشانگر کم‌ترین مصرف انرژی و بیشترین بازدهی دستگاه و حرف G نشانگر بیشترین مصرف انرژی و کم‌ترین بازدهی دستگاه است. بنابراین هرچه رتبه برچسب دستگاه بیشتر باشد کارایی آن نسبت به میزان انرژی که مصرف می‌کند بیشتر است. بخش پنجم، نمایانگر مصرف انرژی دستگاه و سایر بخش‌ها بیانگر اطلاعات اختصاصی در مورد هریک از وسایل است. به طور مثال این بخش در ماشین لباسشویی نشانگر میزان قدرت پاک‌کنندگی، قدرت خشک‌کن، ظرفیت و میزان مصرف آب و در یخچال نیز نشانگر حجم قسمت یخچال و فریزر دستگاه می‌باشد و آخرین بخش برچسب انرژی در تمامی وسایل علامت مؤسسه استاندارد را نشان می‌دهد. استفاده از برچسب انرژی مزایای گوناگونی برای مصرف‌کنندگان این گونه وسایل دارد.



۱- انتخاب درست و آگاهانه مردم در هنگام خرید وسایل برقی خانگی

۲- آشنا ساختن مصرف‌کنندگان یا میزان کارایی و بازدهی وسایل برقی خانگی

۳- بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی

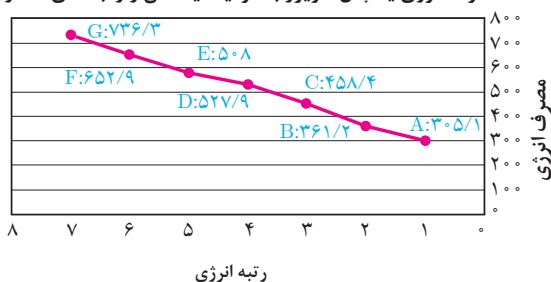
۴- کاهش هزینه انرژی مصرفی در خانواده‌ها

۵- کاهش آلودگی محیط زیست

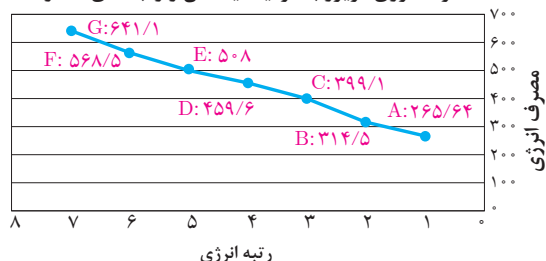
۶- ارائه اطلاعات اختصاصی ویژه هر وسیله برقی

با توجه به اهمیت و ارزش انرژی از سال ۲۰۱۰ میلادی درجه بندی برچسب انرژی از A به A+++ ارتقاء داده شده است شکل (۲۰).

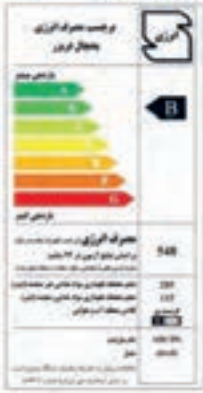

مصرف انرژی یخچال فریزر با ظرفیت یکسان و رتبه‌های متفاوت



مصرف انرژی فریزر با ظرفیت یکسان و رتبه‌های متفاوت



شکل ۲۰- مقایسه برچسب انرژی

متغیرها	برچسب انرژی قدیمی اروپا و استاندارد ملی	برچسب انرژی جدید بر اساس دستورالعمل اروپا و استاندارد ملی																												
شاخص بازده	شاخص بازده انرژی I (درصد)= $\frac{\text{مصرف سالانه دستگاه}}{\text{مصرف انرژی استاندارد سالانه}}$	$EEI=\frac{AEc}{SAEc}\times 100$ <p>AEc مصرف انرژی سالیانه وسیله برودتی</p> <p>SAEc مصرف انرژی سالیانه استاندارد وسیله برودتی</p>																												
بازه‌های رتبه مصرف انرژی	<table><tr><td>A</td><td><math>I &lt; 55</math></td></tr><tr><td>B</td><td><math>55 \leq I &lt; 75</math></td></tr><tr><td>C</td><td><math>75 \leq I &lt; 90</math></td></tr><tr><td>D</td><td><math>90 \leq I &lt; 100</math></td></tr><tr><td>E</td><td><math>100 \leq I &lt; 110</math></td></tr><tr><td>F</td><td><math>110 \leq I &lt; 125</math></td></tr><tr><td>G</td><td><math>125 \leq I &lt; 140</math></td></tr></table>	A	$I < 55$	B	$55 \leq I < 75$	C	$75 \leq I < 90$	D	$90 \leq I < 100$	E	$100 \leq I < 110$	F	$110 \leq I < 125$	G	$125 \leq I < 140$	<table><tr><td>A+++</td><td><math>EEI &lt; 22</math></td></tr><tr><td>A++</td><td><math>22 \leq EEI &lt; 33</math></td></tr><tr><td>A+</td><td><math>33 \leq EEI &lt; 44</math></td></tr><tr><td>A</td><td><math>44 \leq EEI &lt; 55</math></td></tr><tr><td>B</td><td><math>55 \leq EEI &lt; 75</math></td></tr><tr><td>C</td><td><math>75 \leq EEI &lt; 90</math></td></tr><tr><td>D</td><td><math>90 \leq EEI &lt; 100</math></td></tr></table>	A+++	$EEI < 22$	A++	$22 \leq EEI < 33$	A+	$33 \leq EEI < 44$	A	$44 \leq EEI < 55$	B	$55 \leq EEI < 75$	C	$75 \leq EEI < 90$	D	$90 \leq EEI < 100$
A	$I < 55$																													
B	$55 \leq I < 75$																													
C	$75 \leq I < 90$																													
D	$90 \leq I < 100$																													
E	$100 \leq I < 110$																													
F	$110 \leq I < 125$																													
G	$125 \leq I < 140$																													
A+++	$EEI < 22$																													
A++	$22 \leq EEI < 33$																													
A+	$33 \leq EEI < 44$																													
A	$44 \leq EEI < 55$																													
B	$55 \leq EEI < 75$																													
C	$75 \leq EEI < 90$																													
D	$90 \leq EEI < 100$																													
بازه‌های رتبه مصرف																														

بازه‌های رتبه مصرف

### معرفی پایگاه اینترنتی:

در پایگاه اینترنتی سازمان بهره‌وری انرژی ایران «سابا» <http://www.saba.org.ir> می‌توانید مطالعات بیشتری درمورد مصرف کننده‌های الکتریکی و لوازم خانگی برقی و برچسب انرژی داشته باشید. (شکل ۲۱)

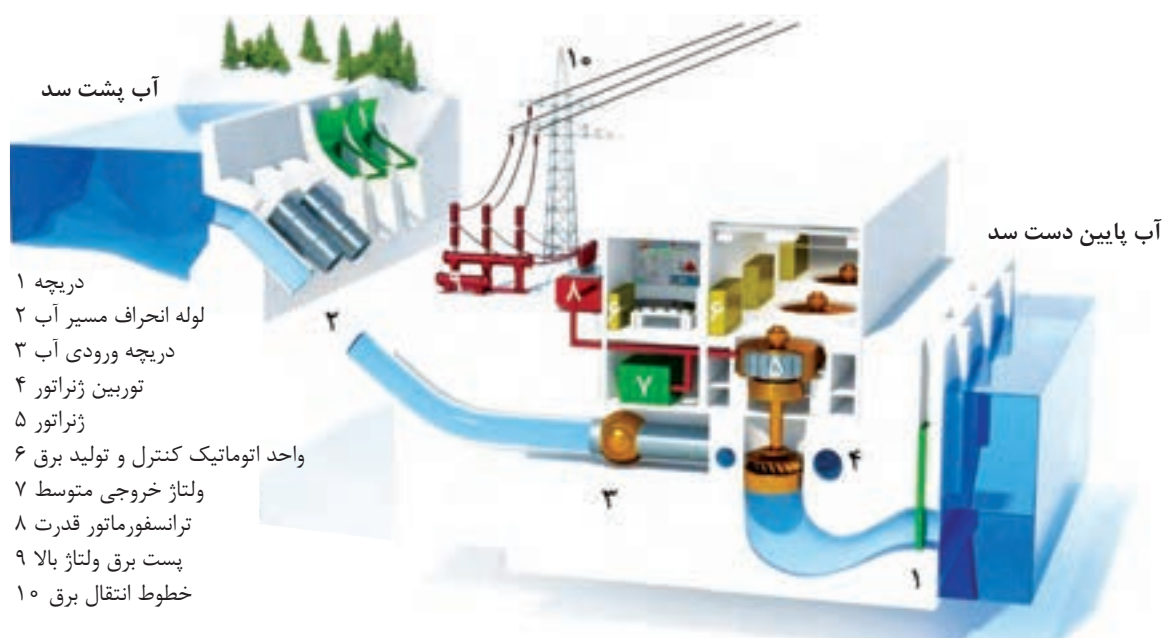
تحقیق کنید



شکل ۲۱- پایگاه اینترنتی سابا



- ۱- انواع نیروگاه‌های جریان متناوب را نام ببرید.
- ۲- نیروگاه حرارتی را تعریف کنید.
- ۳- وظیفه توربین و ژنراتور را تعریف کنید.
- ۴- انواع نیروگاه‌های جریان مستقیم را نام ببرید.
- ۵- چگونه از اتلاف انرژی الکتریکی هنگام انتقال آن جلوگیری می‌کنند؟
- ۶- برچسب انرژی چه اطلاعاتی در اختیار مصرف کنندگان می‌گذارد؟
- ۷- استفاده از برچسب انرژی روی وسایل برقی چه مزایایی برای مصرف کنندگان این وسایل دارد؟
- ۸- در شکل ۲۲ عملکرد نیروگاه آبی را تشریح کنید.



شکل ۲۲- سد و نیروگاه آبی



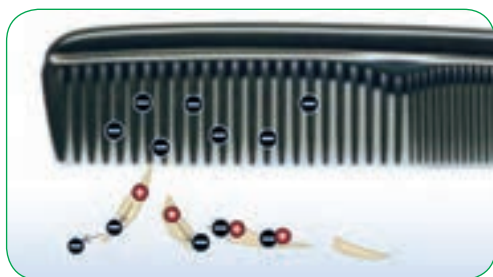
واحد یادگیری ۲

الکتریسیته



امروزه انرژی الکتریکی بیش از انواع دیگر انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدون انرژی الکتریکی کاربرد وسایل روشنایی، تلویزیون، تلفن و اغلب وسایل خانگی غیر ممکن است. به علاوه، در بیشتر وسایل نقلیه انرژی الکتریکی نقش مهمی بازی می‌کند. به این ترتیب، می‌توان گفت انرژی الکتریکی تقریباً در همه جا به کار می‌رود.

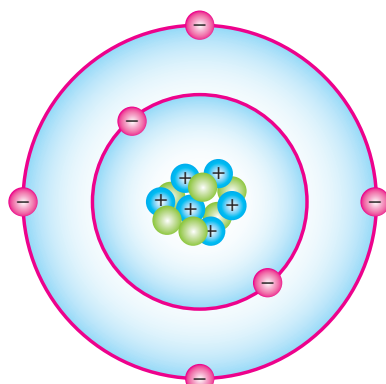
اگرچه الکتریسیته در قرون اخیر مورد استفاده قرار گرفته است ولی یونانی‌ها در حدود ۲۰۰۰ سال پیش آن را کشف کردند. آنها پی بردند که وقتی ماده‌ای به نام کهربا را به ماده دیگری مالش دهند، باردار می‌شود و می‌تواند اجسامی مانند برگ خشک و براده‌های چوب را جذب کند. یونانی‌ها این کهربا را الکترون نام نهادند که کلمه الکتریسیته نیز از آن گرفته شده است. در سال ۱۷۳۳ یک دانشجوی فرانسوی به نام شارل دوفه<sup>۱</sup> به این نکته پی برد که یک تکه شیشه باردار بعضی از اجسام باردار را جذب و اجسام باردار دیگر را دفع می‌کند. بنابراین، او چنین نتیجه گرفت که دو نوع الکتریسیته وجود دارد.



شکل ۲۳

در اواسط دهه ۱۷۰۰، بنجامین فرانکلین این دو نوع را الکتریسیته‌های مثبت و منفی نام‌گذاری کرد. امروزه دانشمندان بر این عقیده‌اند که الکتریسیته از ذرات بسیار ریزی به نام الکترون و پروتون تولید می‌شود (شکل ۲۳).

## ساختمان اتم



شکل ۲۴

اتم از دو بخش هسته و اطراف هسته تشکیل شده است. درون هسته ذرات پروتون و نوترون قرار دارند و الکترون‌ها بر روی مسیرهایی در اطراف هسته می‌گردند. پروتون‌ها دارای بار الکتریکی مثبت و الکترون‌ها دارای بار الکتریکی منفی می‌باشند و نوترون‌ها از نظر بار الکتریکی خنثی هستند. تعداد پروتون‌های داخل هسته را عدد اتمی می‌گویند. در حالت‌های عادی تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های اتم مساوی هستند لذا اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است (شکل ۲۴).

<sup>۱</sup>-Charles Dufay

بار الکتریکی هر پروتون برابر بار الکتریکی الکترون است و مقدار بار الکتریکی الکترون برابر با  $1.6 \times 10^{-19}$  کولن می باشد و به صورت زیر نوشته می شود:

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

مقدار بار الکتریکی الکترون را «بار پایه» در نظر می گیرند. مضرب صحیحی از بار پایه را «بار الکتریکی» می نامند و آن را با  $q$  نشان می دهند و از رابطه زیر به دست می آید:

$$q = n.e$$

که در این رابطه:

$q$ : بار الکتریکی بر حسب کولن (C)

$n$ : تعداد الکترون

$e$ : بار الکتریکی الکترون است.

**مثال:** عدد اتمی مس برابر ۲۹ می باشد. بار الکتریکی هسته آن چند کولن است؟ ( $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

**حل:** از رابطه  $q = n.e$  می توان نوشت:

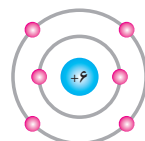
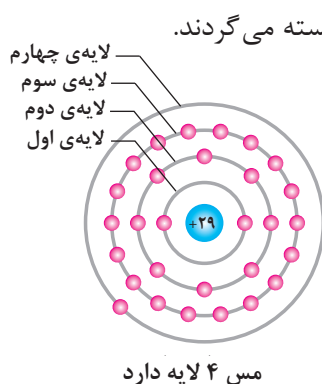
$$q = 29 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$q = 46.4 \times 10^{-19}$$

$$q = 4.64 \times 10^{-18} \text{ (C)}$$

## لایه ها

لایه مسیری است که الکترون ها تحت تأثیر نیروی جاذبه پروتون ها به دور هسته می گردند. تعداد لایه های هر اتم متناسب با تعداد الکترون های آن می باشد. اتم های تمام عناصر می توانند تا هفت لایه داشته باشند. در شکل ۲۵ لایه های عناصر مس، کربن و هیدروژن نشان داده شده است.



کربن ۲ لایه دارد



هیدروژن ۱ لایه دارد

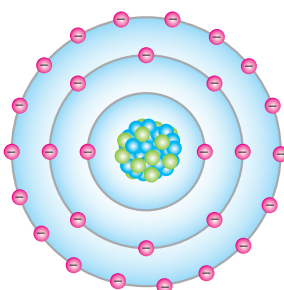
شکل ۲۵

## ظرفیت لایه

ظرفیت لایه نشان دهنده حداکثر الکترون های موجود در هر لایه می باشد. ظرفیت هر لایه از رابطه روبه روبه دست می آید:

$$2n^2 = \text{ظرفیت هر لایه}$$

در این رابطه  $n$  شماره هر لایه می باشد. برای لایه های اول و دوم و سوم داریم:



شکل ۲۶

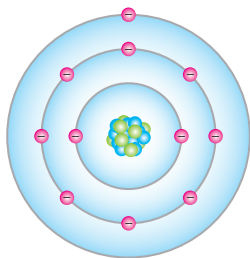
$$2(1)^2 = 2 \text{ لایه اول}$$

$$2(2)^2 = 8 \text{ لایه دوم}$$

$$2(3)^2 = 18 \text{ لایه سوم}$$

ظرفیت دیگر لایه ها نیز قابل محاسبه می باشد.

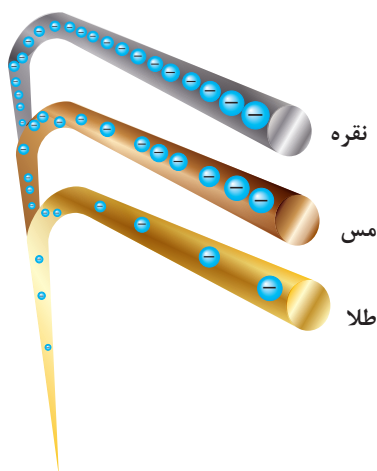
## لایه خارجی (طبقه والانس)



شکل ۲۷

لایه خارجی آخرین لایه هر اتم است و آن را لایه والانس گویند. الکترون‌های لایه والانس را «الکترون والانس» می‌نامند (شکل ۲۷).

## هدایت الکتریکی



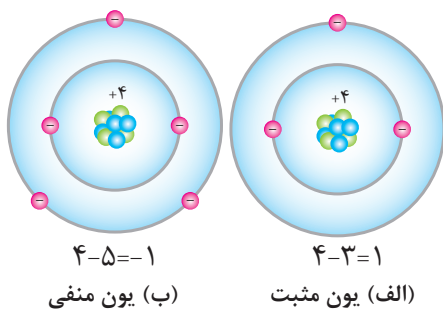
شکل ۲۸

هدایت الکتریکی عناصر به تعداد الکترون‌های لایه والانس بستگی دارد. هر چه تعداد الکترون‌های لایه والانس کمتر باشد هدایت الکتریکی بیشتر خواهد شد. هدایت الکتریکی در فلزات بیشتر از سایر عناصر می‌باشد. عناصری که اتم‌هایشان یک الکترون والانس دارند هدایت الکتریکی بهتری خواهند داشت به طور مثال اتم‌های مس، نقره، طلا دارای یک الکترون در لایه والانس هستند. بهترین هادی الکتریکی نقره و پس از آن مس و طلا می‌باشد (شکل ۲۸). نقره در حجم معینی نسبت به مس دارای اتم‌های بیشتر است و به همین دلیل هدایت الکتریکی نقره بهتر از مس می‌باشد. اما به دلیل گرانی نقره نسبت به مس، سیم‌های برق را از مس می‌سازند البته به دلیل مشابه امروزه آلومینیوم در برخی موارد جایگزین مس شده است.

## نیمه هادی

عناصری که در لایه والانس چهار الکترون دارند «نیمه هادی» نامیده می‌شوند. عناصری نظیر ژرمانیوم، سیلیسیم در لایه والانس خود چهار الکترون دارند و جزو نیمه هادی‌های معروف هستند.

## یون



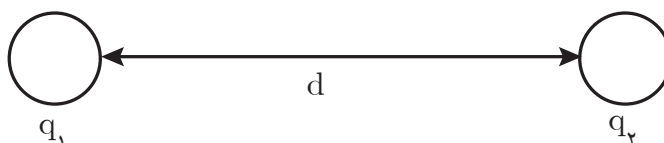
شکل ۲۹

اتم دارای بار الکتریکی را «یون» گویند. اگر تعداد الکترون‌های اتم بیش از پروتون‌های آن باشد اتم را «یون منفی» گویند. شکل (۲۹-ب) و اگر تعداد الکترون‌های اتم کمتر از پروتون‌های آن باشد، اتم را «یون مثبت» گویند (شکل ۲۹-الف).

## قانون کولن

قانون کولن نیروی میان بارهای الکتریکی را بیان می‌کند بنا به تعریف نیروی کولنی بین دو بار الکتریکی با حاصل ضرب مقدار دو بار الکتریکی رابطه مستقیم و با مجذور فاصله میان دو بار نسبت عکس دارد و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$F = K \frac{q_1 q_2}{d^2}$$



در این رابطه:

$F$ : نیروی کولنی میان دو بار الکتریکی برحسب نیوتن (N)

$q_1$ : بار الکتریکی اول بر حسب کولن (C)

$q_2$ : بار الکتریکی دوم بر حسب کولن (C)

$d$ : فاصله میان دو بار بر حسب متر (m) است.

$$K = 9 \times 10^9 \text{ (ضریب ثابت } \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}\text{)}$$

نیروی کولنی میان بارهای هم نام دافعه و میان بارهای ناهم نام جاذبه می‌باشد.

**مثال:** دو بار الکتریکی  $3 \mu\text{C}$  و  $4 \mu\text{C}$  در فاصله  $30 \text{ cm}$  از یکدیگر قرار دارند نیروی کولنی بین آنها چه نوع و چه مقدار است؟

**حل:** طبق رابطه  $F = K \frac{q_1 q_2}{d^2}$  می‌توان نوشت:

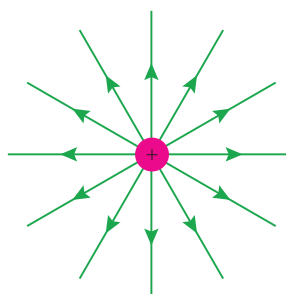
$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{(30 \times 10^{-2})^2}$$

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{12 \times 10^{-12}}{900 \times 10^{-4}} = 12 \times 10^{-1} = 1/2 \text{ (N)}$$

بارها هم نام هستند پس نیروی کولنی بین آنها دافعه است.

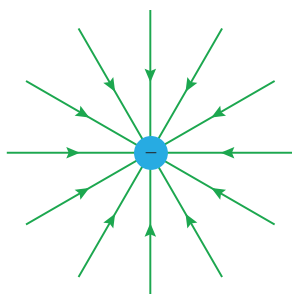
## میدان الکتریکی

در فضای اطراف هر بار الکتریکی خاصیتی وجود دارد که به بارهای الکتریکی دیگر نیرو وارد می‌کند به این خاصیت «میدان الکتریکی» گویند.



شکل ۳۰

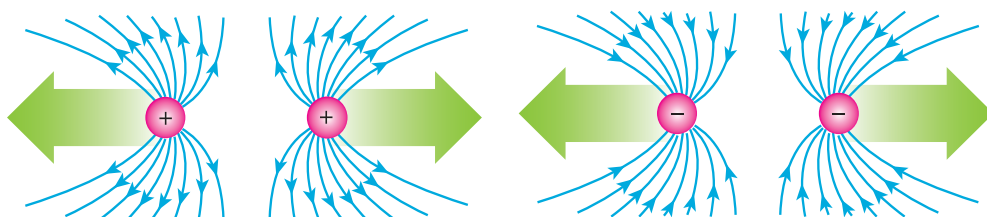
برای نمایش میدان الکتریکی هر بار الکتریکی از خطوط شعاعی استفاده می‌شود و آن را خطوط میدان الکتریکی می‌نامند. طبق قرار داد خطوط میدان الکتریکی از بارهای مثبت خارج و به بارهای منفی وارد می‌شود. خطوط میدان الکتریکی بار مثبت در شکل (۳۰) نشان داده شده است.



شکل ۳۱

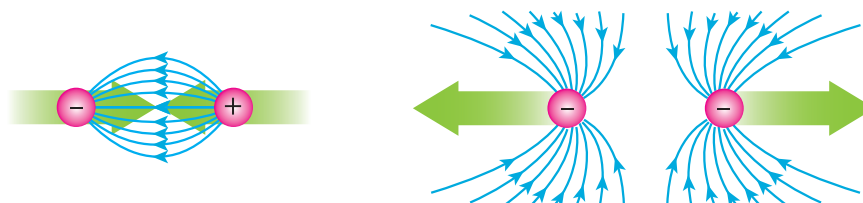
و خطوط میدان الکتریکی بار منفی در شکل (۳۱) نشان داده شده است.

خطوط میدان الکتریکی دوبار هم نام و هم اندازه با نیروی دافعه کولنی در شکل (۳۲) نشان داده شده است.



شکل ۳۲

و خطوط میدان الکتریکی دوبار ناهم نام و هم اندازه با نیروی جاذبه کولنی در شکل (۳۳) نشان داده شده است.



شکل ۳۳

## شدت میدان الکتریکی

شدت میدان الکتریکی مقدار نیروی کولنی وارد بر واحد بار الکتریکی در هر نقطه می‌باشد و آن را با  $E$  نمایش می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$E = \frac{F}{q}$$

که در این رابطه:

$E$ : شدت میدان الکتریکی بر حسب نیوتن بر کولن ( $N/C$ )

$F$ : نیروی کولنی بر حسب نیوتن ( $N$ )

$q$ : بار الکتریکی بر حسب کولن ( $C$ ) است.

مثال: بر بار الکتریکی  $4\mu C$  در نقطه‌ای نیروی کولنی  $2N$  وارد می‌شود. شدت میدان الکتریکی در آن نقطه چند  $N/C$  است؟

$$E = \frac{2}{4 \times 10^{-6}}$$

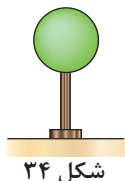
$$E = \frac{1}{2} \times 10^6$$

$$E = 5 \times 10^5 \left[ \frac{N}{C} \right]$$

حل: از رابطه  $E = \frac{F}{q}$  می‌توان نوشت:

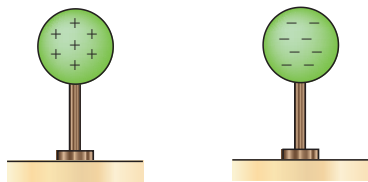
## پتانسیل الکتریکی

یک کره فلزی بر روی پایه عایق مطابق شکل (۳۴) در نظر گرفته شده است.



شکل ۳۴

مقدار کاری که انجام می‌شود تا بار الکتریکی  $q$  بر روی کره فلزی انباشته شود به صورت انرژی پتانسیل الکتریکی  $U$  بر روی کره ذخیره شده است. (شکل ۳۵)



ب

الف

بار ذخیره شده منفی      بار ذخیره شده مثبت

شکل ۳۵

نسبت انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شده به مقدار بار الکتریکی را «پتانسیل الکتریکی» می‌گویند. و از رابطه زیر به دست می‌آید.

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

که در این رابطه:

$U$ : انرژی پتانسیل الکتریکی بر حسب ژول ( $J$ )

$V$ : پتانسیل الکتریکی بر حسب ولت ( $V$ )

$q$ : بار الکتریکی بر حسب کولن ( $C$ )

اگر بار الکتریکی انباشته شده در کره مثبت باشد «پتانسیل الکتریکی مثبت» و اگر منفی باشد «پتانسیل الکتریکی منفی» است.

**مثال:** بار الکتریکی  $5\mu\text{C}$  روی یک کره رسانا با پایه عایق انباشته شده است. اگر انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شده  $2\text{ mJ}$  باشد، پتانسیل الکتریکی آن را بیابید:

**حل:** از رابطه  $V = \frac{U}{q}$  می توان نوشت:

$$V = \frac{20 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-6}}$$

$$V = 4 \times 10^3$$

$$V = 4000 [\text{V}] \text{ یا } 4 [\text{KV}]$$

## پتانسیل الکتریکی زمین

پتانسیل الکتریکی زمین صفر است زیرا مقدار بارهای الکتریکی مثبت و منفی آن برابر است. زمین به عنوان منبعی سرشار از بار الکتریکی مثبت و منفی می باشد که می توان به آن بار الکتریکی داد یا از آن دریافت کرد.

## ولتاژ

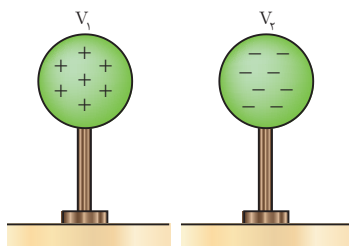
اختلاف پتانسیل الکتریکی میان دو نقطه را «ولتاژ» می نامند و از رابطه زیر به دست می آید (شکل ۳۶).

$$V = V_1 - V_2 \quad \text{که در این رابطه:}$$

$V_1$ : پتانسیل الکتریکی نقطه اول بر حسب ولت ( $V$ )

$V_2$ : پتانسیل الکتریکی نقطه دوم بر حسب ولت ( $V$ )

$V$ : ولتاژ بین نقاط اول و دوم بر حسب ولت ( $V$ ) است.

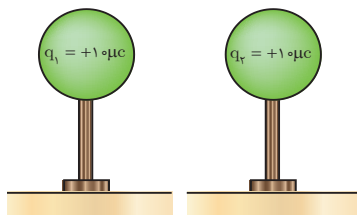


شکل ۳۶

**مثال:** دو کره مشابه رسانا مطابق شکل روی پایه عایق قرار دارند مطلوب است.

(الف) پتانسیل الکتریکی کره ها

(ب) اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو کره ( $V_1 - V_2$ )



شکل ۳۷

**حل:**

$$(الف) V_1 = \frac{U_1}{q_1} = \frac{5 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-6}} = 500 [\text{V}]$$

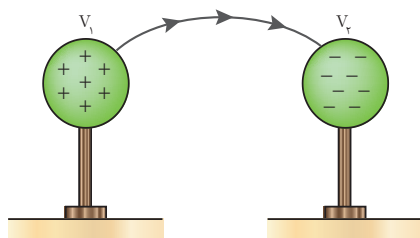
$$V_2 = \frac{U_2}{q_2} = \frac{5 \times 10^{-3}}{-4 \times 10^{-6}} = -\frac{1}{25} \times 10^3 = -1250 [\text{V}]$$

$$(ب) V_1 - V_2 = 500 - (-1250) = 1750 [\text{V}]$$

## جریان الکتریکی

شارش بارهای الکتریکی بین دو نقطه را «جریان الکتریکی» گویند. عامل جاری شدن جریان الکتریکی اختلاف پتانسیل الکتریکی میان دو نقطه است.

جریان الکتریکی ناشی از حرکت الکترون‌های آزاد می‌باشد. الکترون آزاد الکترونی است که از لایه والانس جدا شده است و به هیچ اتمی وابسته نیست.



شکل ۳۸

صاعقه یک نمونه از شارش بارهای الکتریکی در اثر اختلاف پتانسیل الکتریکی میان ابر باردار و زمین است، همچنین صاعقه میان دو ابر باردار که دارای اختلاف پتانسیل الکتریکی هستند نیز نمونه‌ای از شارش بارهای الکتریکی است شکل (۳۹) صاعقه را تخلیه الکتریکی نیز می‌گویند. تخلیه الکتریکی (صاعقه) ممکن است به ساختمان‌های بلند برخورد نماید و خسارت به بار آورد.



شکل ۳۹

در بیمارستان‌ها برای بیهوش کردن بیماران از ماده‌ای به نام اتر استفاده می‌شود. اتر ماده‌ای فرار است و بخار آن در فضای اتاق پخش می‌شود. اگر چرخ‌های تخت حامل بیمار لاستیکی باشد، بر اثر مالش این چرخ‌ها با پتو و روکش بیمار ممکن است در آنها الکتریسیته ساکن تولید شود و جرقه بزند. همین جرقه باعث انفجار خواهد شد. امروزه برای جلوگیری از این خطر احتمالی زنجیر فلزی کوتاهی به بدنه فلزی تخت حامل بیمار آویزان می‌کنند که با سطح زمین تماس دارد. بارهای الکتریکی تولید شده از راه این زنجیر به زمین منتقل می‌شود و در نتیجه، از تولید جرقه و بروز پیشامد ناگوار جلوگیری می‌شود.

## شدت جریان الکتریکی

مقدار بار الکتریکی شارش یافته در واحد زمان را «شدت جریان الکتریکی» می‌گویند. و از رابطه زیر به دست می‌آید.

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

که در این رابطه:

$q$ : بار الکتریکی شارش یافته بر حسب کولن [C]

$t$ : زمان شارش بار الکتریکی بر حسب ثانیه [S]

$I$ : شدت جریان الکتریکی بر حسب آمپر [A] است.

واحد اندازه گیری شدت جریان الکتریکی آمپر است و با [A] نشان می دهند. شارش یک کولن بار الکتریکی در مدت یک ثانیه را «یک آمپر» گویند.



شکل ۴۰

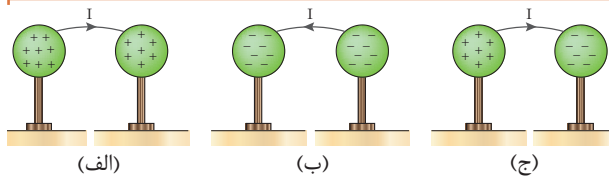
آندره آمپر در سال ۱۷۷۵ میلادی در لیون فرانسه به دنیا آمد (شکل ۴۰).  
به پاس تلاشهای وی در فیزیک یکای اندازه گیری شدت  
جریان آمپر [A] نام گذاری شده است

**مثال:** بار الکتریکی  $4\mu\text{C}$  در مدت  $0.02\text{ s}$  میان دو نقطه شارش می کند. شدت جریان الکتریکی چند آمپر است؟

$$I = \frac{4 \times 10^{-6}}{0.02} = 2 \times 10^{-4} [\text{A}] = 0.2 \text{ mA}$$

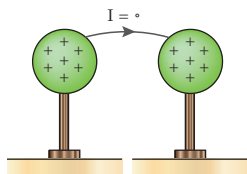
حل: از رابطه  $I = \frac{q}{t}$  داریم:

### جهت جریان الکتریکی



در شکل (الف) بارهای + در کره سمت چپ بیشتر باشد.  
در شکل (ب) بارهای - در کره سمت چپ بیشتر باشد.

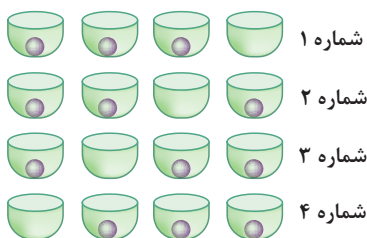
شکل ۴۱



شکل ۴۲

جهت جریان الکتریکی از پتانسیل بیشتر به پتانسیل کمتر می باشد و مادامی که اختلاف پتانسیل وجود داشته باشد جریان الکتریکی برقرار است (شکل ۴۱).

در شکل (الف) جریان از کره پتانسیل بیشتر به کره با پتانسیل کمتر جاری می شود تا پتانسیل الکتریکی دو کره برابر شود (شکل ۴۲).



شکل ۴۳

فعالیت ۱: شکل های (ب و ج) را پس از اینکه پتانسیل دو کره برابر شد رسم نمایید.  
فکر کنید: به شکل (۴۳) به ترتیب از شماره های ۱ الی ۴ نگاه کنید به نظر شما گلوله به سمت راست حرکت کرده است یا ظرف خالی به سمت چپ حرکت کرده است؟

جهت جریان الکتریکی را می‌توان جهت حرکت بارهای مثبت از پتانسیل الکتریکی بیشتر به پتانسیل الکتریکی کمتر و یا جهت حرکت بارهای منفی از پتانسیل الکتریکی کمتر به پتانسیل الکتریکی بیشتر در نظر گرفت. توجه داشته باشید مقدار جریان الکتریکی اهمیت دارد نه جهت جریان الکتریکی.



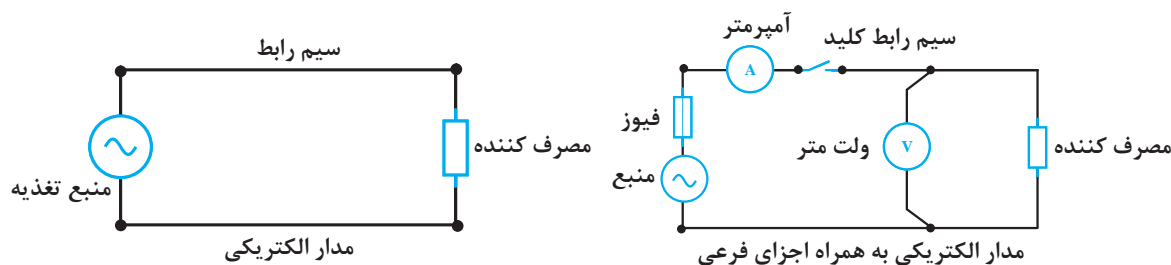
شکل ۴۴

## مدار الکتریکی

مسیری که در آن جریان الکتریکی برقرار می‌شود را «مدار الکتریکی» گویند. اجزای اصلی هر مدار الکتریکی<sup>۱</sup> عبارت است از:

- ۱- منبع تغذیه
- ۲- مصرف کننده
- ۳- سیم رابط

همچنین هر مدار الکتریکی می‌تواند شامل وسایل کنترلی نظیر کلید و یا تجهیزات حفاظتی نظیر فیوز و یا وسایل اندازه‌گیری الکتریکی نظیر آمپر متر نیز باشد که آنها را به عنوان اجزای فرعی مدار الکتریکی می‌شناسند (شکل ۴۵).



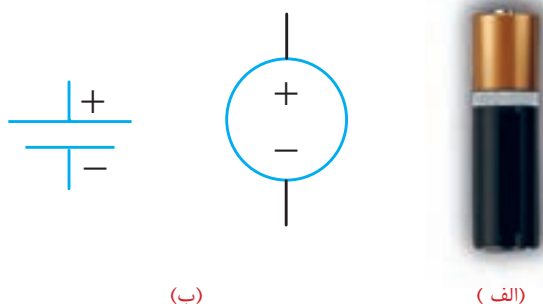
شکل ۴۵

## منبع تغذیه

منبع تغذیه<sup>۱</sup> وظیفه تولید انرژی الکتریکی را برعهده دارد. نیروگاه‌های تولید برق و باتری‌ها منابع تغذیه‌ای هستند که در آنها سایر انرژی‌ها به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود، منابع تغذیه به دو دسته تقسیم می‌شوند :

### الف- منبع تغذیه جریان مستقیم

منبع تغذیه جریان مستقیم، منبعی است که جهت جریان آن تغییر نمی‌کند و آن را با حرف اختصاری DC نشان می‌دهند. ژنراتورهای جریان مستقیم، باتری‌ها و نیروگاه‌های خورشیدی از منابع تغذیه جریان مستقیم هستند. علامت اختصاری منبع تغذیه جریان مستقیم مطابق شکل ۴۶ است.



شکل ۴۶

### ب- منبع تغذیه جریان متناوب

منبع تغذیه جریان متناوب منبعی است که جهت جریان آن تغییر می‌کند و دارای فرکانس است و آن را با حرف اختصاری AC نشان می‌دهند. انرژی الکتریکی غالباً، توسط ژنراتورها در نیروگاه‌های برق به صورت جریان متناوب تولید می‌شود. علامت اختصاری منبع تغذیه جریان متناوب مطابق شکل ۴۷ است.



شکل ۴۷

<sup>۱</sup> -Power Source

## مصرف کننده الکتریکی

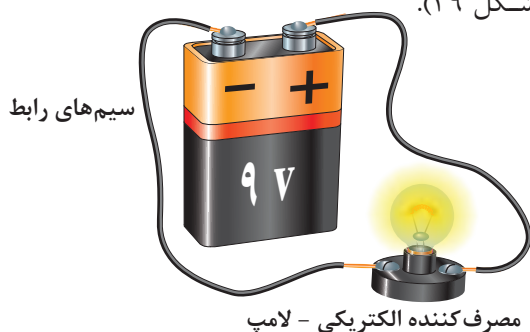


شکل ۴۸

مصرف کننده الکتریکی<sup>۱</sup>، انرژی الکتریکی را تبدیل یا ذخیره می سازد. موتورهای الکتریکی، لامپ ها، بخاری برقی و ... جزء بارهایی هستند که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی، نور یا حرارتی تبدیل می کنند اما بارهای خازنی و یا سلفی که فصل های بعد با آنها آشنا خواهید شد انرژی الکتریکی را در خود ذخیره می سازند (شکل ۴۸).

## سیم رابط

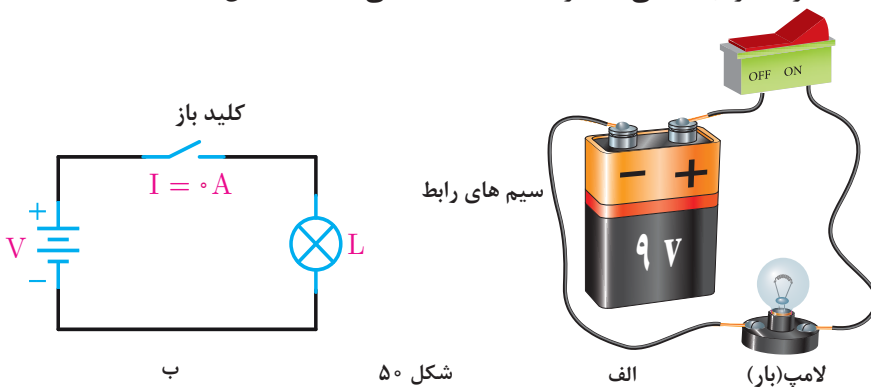
سیم رابط، ارتباط بین منبع تغذیه و مصرف کننده الکتریکی را به منظور انتقال انرژی الکتریکی از منبع تغذیه به مصرف کننده فراهم می سازد (شکل ۴۹).



شکل ۴۹

## کلید

در صورتی که قصد قطع و وصل مدار (کنترل مصرف کننده) الکتریکی را داشته باشیم، لازم است تا مسیر عبور جریان الکتریکی را قطع یا وصل کنیم که معمولاً این کار توسط کلید انجام می گیرد. کلید از اجزای اصلی مدار به حساب نمی آید (شکل ۵۰).



<sup>۱</sup> -Electrical Load



۱- کمیت‌های زیر را تعریف کنید:

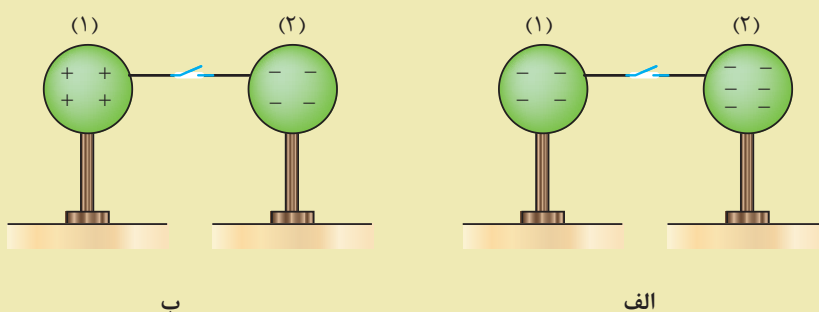
الف) عدد اتمی ب) بار الکتریکی ج) لایه والانس د) نیمه هادی

۲- مس و نقره هر کدام یک الکترون در لایه والانس خود دارند. چرا نقره هادی بهتری است؟

۳- قانون کولن را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید.

۴- میدان الکتریکی را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید.

۵- در هر شکل زیر پس از وصل کلید، جهت حرکت بارهای مثبت را مشخص کنید.



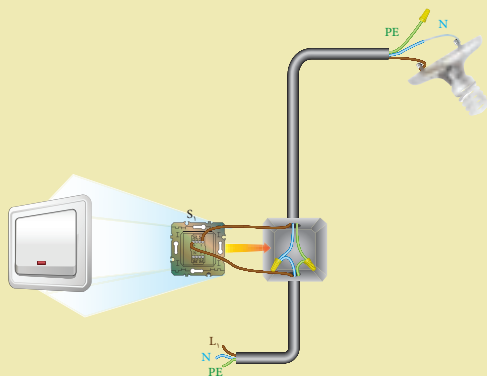
شکل ۵۱

۶- پتانسیل الکتریکی را تعریف کنید.

۷- شدت جریان الکتریکی را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید.

۸- مدار الکتریکی را تعریف کنید و اجزای اصلی آن را نام ببرید.

۹- در مدار شکل زیر کدام اجزای مدار آورده شده است؟ نوع تغذیه این مدار از نظر جریان متناوب یا مستقیم، کدام است؟



شکل ۵۲



۱- عدد اتمی مس برابر ۲۹ می باشد. بار الکتریکی اطراف هسته چند کولن و چه نوعی می باشد؟

$$e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

۲- اگر بار الکتریکی اتم مس  $3/2 \times 10^{-19} \text{ C}$  باشد تعداد الکترون های اطراف هسته را مشخص کنید.

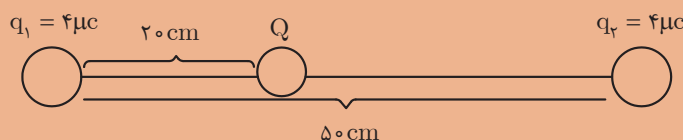
$$e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

۳- بیشترین الکترون که می تواند در لایه چهارم یک اتم در اطراف هسته وجود داشته باشد چه تعدادی است؟

۴- دو بار الکتریکی مشابه  $q = 5 \mu\text{C}$  در فاصله  $10 \text{ cm}$  از هم قرار دارند. نیروی کولنی بین آنها چه نوع و چه مقدار است؟

$$K = 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

۵- در شکل زیر از طرف بار  $q_1 = 4 \mu\text{C}$  و  $q_2 = 9 \mu\text{C}$  چه نیرویی بر بار  $Q = 2 \mu\text{C}$  وارد می شود؟ آیا می توان نیروی کولنی کل را به دست آورد؟



شکل ۵۳

۶- دو بار نقطه ای مثبت و مساوی، هر یک برابر  $10^{-4}$  کولن به فاصله دو متر از یکدیگر قرار دارند. نیروی بین آنها چند نیوتن است؟

۷- اندازه و نوع نیروی بین یک بار منفی ۵ میکروکولنی و یک بار مثبت ۲ میکروکولنی را که به فاصله ۹ سانتی متر از یکدیگر قرار دارند، تعیین کنید.

۸- دو بار هم نام وقتی به فاصله  $d$  از یکدیگر واقع شوند، نیروی معین  $F$  را به هم وارد می کنند.

الف) اگر فاصله دو بار را نصف، دو برابر یا سه برابر کنیم،  $F$  به چه نسبتی تغییر خواهد کرد؟

ب) اگر در فاصله ثابت  $d$  اندازه یکی از بارهای الکتریکی را نصف یا دو برابر یا سه برابر کنیم،  $F$  به چه نسبتی تغییر می کند؟

۹- بار مثبت  $5 \times 10^{-7}$  کولنی وقتی در نقطه ای از یک میدان الکتریکی قرار گیرد، نیرویی برابر  $0.04 \text{ N}$  بر آن وارد می شود. شدت میدان الکتریکی را در این نقطه حساب کنید.

۱۰- شدت میدان الکتریکی در یک میدان یکنواخت (یعنی میدانی که شدت آن ثابت و خطوط نیروی آن

موازی و هم جهت است) برابر  $1000 \frac{\text{N}}{\text{C}}$  است. اندازه نیروی وارد بر یک الکترون را وقتی که در این میدان قرار می گیرد، حساب کنید. بار الکتریکی الکترون را  $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$  بگیرید.

۱۱- بار الکتریکی  $q$  در میدان الکتریکی یکنواخت به شدت  $20 \frac{\text{N}}{\text{C}}$  قرار گرفته و نیرویی برابر  $3 \times 10^{-4}$  بر آن وارد شده است، مقدار بار  $q$  چند کولن است؟

۱۲- در نقطه‌ای بر بار  $q = 4\mu\text{C}$  نیروی کولنی  $5\text{N}$  وارد می‌شود. شدت میدان الکتریکی در آن نقطه را به دست آورید.

۱۳- انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شده در یک کره رسانا  $50\text{mJ}$  و پتانسیل الکتریکی آن  $250\text{V}$  می‌باشد. بار انباشته شده روی آن چند کولن است؟

۱۴- بار الکتریکی عبوری از مداری با جریان الکتریکی  $3\text{A}$  در مدت  $10\text{ms}$  میلی ثانیه چند کولن است؟  
۱۵- در اثر رعد و برق در مدت  $2\text{ms}$  تعداد  $5 \times 10^{21}$  الکترون از تنه یک درخت عبور می‌کند حساب کنید شدت جریان عبوری از آن چند آمپر است؟ جریان حاصل از این رعد و برق چند برابر جریان مصرفی یک خانه مسکونی است در صورتی که جریان مصرفی یک خانه مسکونی  $32\text{A}$  آمپر فرض شود؟

واحد یادگیری ۳

آثار جریان الکتریکی



## تولید گرما به وسیله جریان الکتریکی

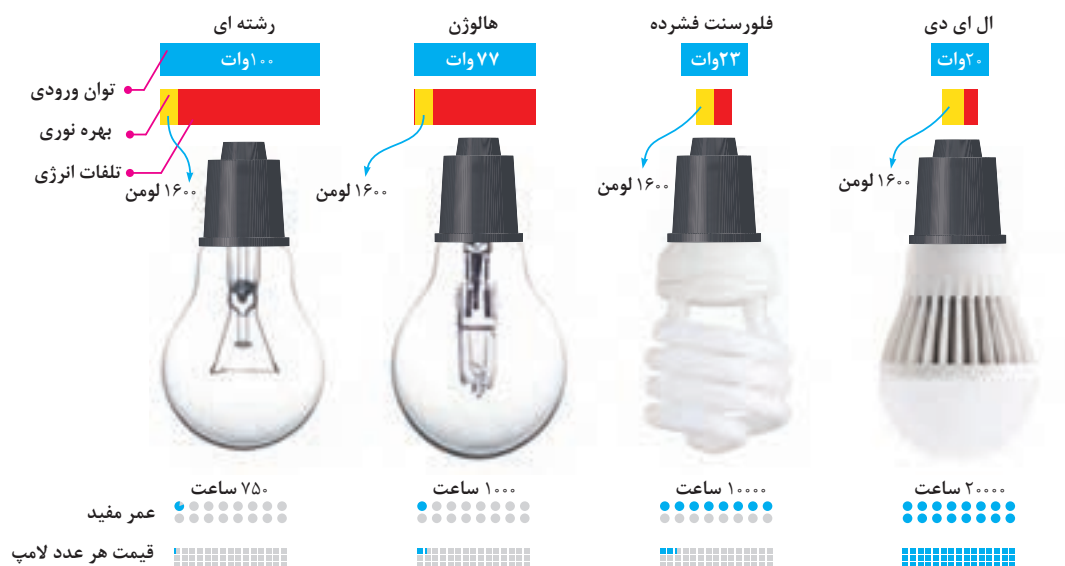


شکل ۵۴

جریان الکتریکی هنگام عبور از سیم، در آن مقداری گرما تولید می کند. این بدان علت است که مقداری انرژی مصرف می شود تا جریان از سیم عبور کند و این انرژی به صورت گرما ظاهر می شود. چون عبور جریان از یک هادی خوب آسان تر است، نتیجه می گیریم که در آن حرارت کمتری تولید می شود. شکل ۵۴ موارد استفاده اثر حرارتی الکتریسیته را نمایش می دهد.

## تولید نور به وسیله جریان الکتریکی

وقتی که از هادی های ضعیف جریانی عبور می کند، داغ می شوند و این گرما را به صورت نور قرمز یا سفید ظاهر می کند. در نتیجه، به علت گرما و التهاب، درخشش و روشنایی تولید می شود که اساس کار لامپ رشته ای است (شکل ۵۵).



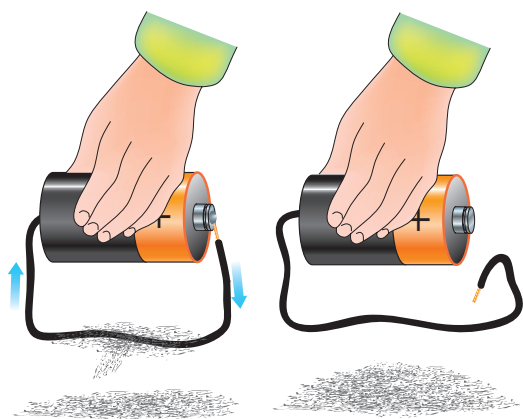
شکل ۵۵

نور را می‌توان بدون حرارت زیاد نیز توسط جریان الکتریکی تولید کرد. بسیاری از گازها به هنگام هدایت جریان یونیزه می‌شوند و تابش‌های نوری تولید می‌کنند. نئون، آرگون و بخار جیوه را می‌توان به عنوان مثال نام برد. موارد استفاده آن را نیز در چراغ‌های معابر و لامپ‌های نئون تبلیغاتی فروشگاه‌ها دیده‌اید. گازی مانند بخار جیوه هنگام حمل جریان الکتریکی یونیزه می‌شود و اشعه‌ماورای بنفش از خود متصاعد می‌کند. این اشعه با لایه فسفرسانس (پودر سفید رنگ چسبیده به جداره داخلی لامپ فلورسنت یا مهتابی) برخورد می‌کند و نور سفید می‌دهند (شکل ۵۶).



شکل ۵۶

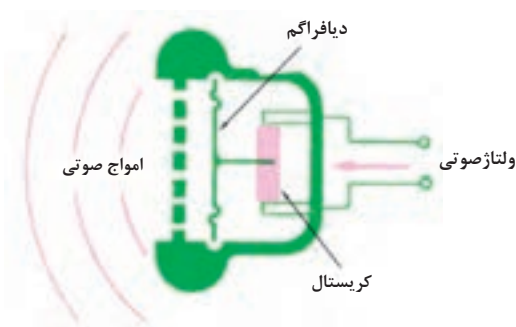
## تولید مغناطیس به وسیله جریان الکتریکی



شکل ۵۷

هرهادی که جریان الکتریکی از آن بگذرد، مانند یک مغناطیس عمل می‌کند. به این خاصیت، خاصیت مغناطیسی می‌گویند. در شکل ۵۷ هنگامی که جریان الکتریکی از سیم عبور کند، سیم مانند مغناطیس عمل می‌کند و براده‌های آهن را جذب می‌نماید، در صورت قطع شدن سیم، خاصیت مغناطیسی سیم از بین می‌رود و براده‌ها می‌افتند.

## تولید فشار به وسیله جریان الکتریکی



شکل ۵۸

همان طور که نیرو یا فشار در بعضی از کریستال‌ها خمش یا چرخش ایجاد می‌کند، اختلاف پتانسیل الکتریکی نیز باعث خمش یا چرخش در کریستال می‌شود و نیرو تولید می‌گردد. در شکل ۵۸ وقتی ولتاژ صوتی به کریستال‌های گوشه‌ای داده می‌شود، کریستال‌ها ارتعاش می‌کنند و دیافراگم را می‌لرزانند. در نتیجه این امر، صدا از طریق گوشه شنیده می‌شود.

## تولید واکنش‌های شیمیایی از طریق جریان الکتریکی

بار الکتریکی نیروی اصلی است که باعث پیوند شیمیایی ترکیبات می‌شود؛ به همین دلیل، برای ایجاد اثرات شیمیایی می‌توان از جریان الکتریکی یا اختلاف پتانسیل الکتریکی استفاده کرد. در الکتروشیمی به این پدیده الکترولیز می‌گویند. یک نمونه از کاربرد الکترولیز، آبکاری برقی است. اگر آب با سولفات مس ( $\text{So}_4\text{Cu}$ ) همراه باشد، سولفات مس به یون‌های مثبت مس ( $\text{Cu}^{++}$ ) و یون‌های منفی سولفات ( $\text{So}_4^{2-}$ ) تجزیه می‌شود.



شکل ۵۹

یون‌های مس به سمت الکترود منفی می‌روند و الکترون جذب می‌کنند ولی چون مس فلز است، به الکترود خواهد چسبید (شکل ۵۹). پس از مدتی، الکترود به طور کامل در لایه‌ای از مس پوشیده خواهد شد. از این طریق می‌توان با نقره و طلا نیز آبکاری کرد.

پرسش



- ۱- پنج اثر جریان الکتریکی را نام ببرید.
- ۲- آبکاری برقی چیست؟
- ۳- لامپ معمولی چگونه نور تولید می‌کند؟
- ۴- در لامپ‌های نئون از یک ..... به عنوان هادی استفاده شده است.
- ۵- گوشی کریستالی بر اساس چه قانونی کار می‌کند؟ کدام وسایل دیگر نیز بر مبنای این قانون کار می‌کنند؟
- ۶- خاصیت مغناطیس تولید شده توسط الکتریسیته چیست؟

## پروفسور لطفی زاده (لطفعلی عسگرزاده)، مبدع منطق نوین فازی



پروفسور لطفی زاده در سال ۱۲۹۹ شمسی متولد شد. دوران متوسطه را در مدرسه البرز تهران از دانش آموزان ممتاز بود، پس از آن در دانشگاه تهران پذیرفته شد و در امتحانات سراسری ورود به دانشگاه، مقام دوم را کسب نمود. او جزء اولین گروه دانشجویانی بود که در رشته فنی دانشگاه تهران فارغ التحصیل شد و برای ادامه تحصیل به آمریکا و به دانشگاه MIT رفت. او درجه فوق لیسانس را در مهندسی برق دریافت کرد. و در سال ۱۳۳۵ درجه دکتری خود را در رشته مهندسی برق از دانشگاه برکلی کلمبیا دریافت نمود و به استادان دانشگاه کلمبیا ملحق شد. در سال ۱۳۴۲ ریاست دپارتمان مهندسی برق دانشگاه برکلی را که بالاترین عنوان

در رشته مهندسی است به عهده گرفت. به اعتقاد بسیاری لطفی زاده یکی از باهوش ترین و برجسته ترین مردانی است که رشته مهندسی برق به خود دیده است. پروفسور "لطفی زاده" در جهان علم به "زاده" مشهور است، او مخترع منطق علمی نوین "فازی" است، که جهان صنعت را دگرگون کرد.

### منطق فازی در یک نگاه :

بر خلاف آموزش سنتی در ریاضی، او منطق انسانی و زبان طبیعت را وارد ریاضی کرد. اگر در ریاضی، دو رنگ سفید و سیاه را صفر و یک تصور کنیم، منطق ریاضی، طیفی به جز این دو رنگ سیاه و سفید نمی شناسد. ولی در مجموعه های نامعین منطق فازی، بین سیاه و سفید مجموعه ای از طیف های خاکستری را هم لحاظ می شود و به این طریق فصل مشترک ساده ای بین انسان و رایانه به وجود می آید.

این منطق حدود چهل سال پیش در آمریکا توسط لطفی زاده پایه ریزی شد. و برای اولین بار در سال ۱۳۵۳ در اروپا برای تنظیم دستگاه تولید بخار، در یک نیروگاه کاربرد علمی پیدا کرد. تحول واقعی در کاربرد منطق فازی در سال ۱۳۵۹ در ژاپن اتفاق افتاد و در سال ۱۳۶۹ در ژاپن کلمه فازی، به عنوان کلمه سال انتخاب شد.

### کاربرد منطق فازی در طبیعت:

دستگاه ها و لوازم خانگی کنترل فازی که کنترل پذیری بهتری دارند عبارتند از ماشین لباسشویی و دوربین های دیجیتال و ویدئو، یخچال، سیستم های تهویه مطبوع، جارو برقی، کنترل خودکار ترافیک، سیستم ترمز اتومبیل ها، ماشین های صنعتی هوشمند، سیستم های تشخیص هویت از روی اثر انگشت یا تصویر مردمک چشم و حتی غلط یاب تایپی در نرم افزارهای نگارشی مانند word و... امروزه هیچ دستگاه الکترونیکی، مخصوصاً لوازم خانگی بدون این منطق در ساختار خود تولید نمی شوند.



در این فصل مطالب زیر را فراخواهید گرفت:

۱- مقاومت الکتریکی

۲- قانون اهم

۳- کار الکتریکی

۴- توان الکتریکی

۵- بازده

# واحد یادگیری ۴

## مقاومت الکتریکی



## مقاومت الکتریکی



شکل ۱- سیمون اهم

مقاومت الکتریکی عبارت است از مخالفتی که اجسام در مقابل عبور جریان الکتریکی از خود نشان می‌دهند. هادی‌ها نسبت به عایق‌ها جریان الکتریکی را به راحتی از خود عبور می‌دهند و مقاومت زیادی از خود نشان نمی‌دهند.

در حدود سال‌های ۱۸۰۰ یک دانشمند آلمانی به نام گئورگ سیمون اهم آزمایش‌هایی در مورد مدارها و هادی‌ها انجام داد و نکات مهمی را در مورد ماهیت مقاومت الکتریکی کشف کرد. برای قدردانی از این شخص، واحد مقاومت به نام اهم نامیده شده است (شکل ۱).

## مقاومت الکتریکی مخصوص



مقاومت الکتریکی مخصوص، مقاومت الکتریکی جسمی به طول یک متر با سطح مقطع یک میلی‌متر مربع است. آن را با حرف  $\rho$  نشان می‌دهند. مقاومت الکتریکی مخصوص چند فلز در مقایسه با مس در نمودار (۲-الف) نشان داده شده است.

عکس مقاومت الکتریکی مخصوص را هدایت الکتریکی مخصوص گویند و با  $\kappa$  نشان می‌دهند، هدایت الکتریکی مخصوص چند فلز در مقایسه با مس در نمودار (۲-ب) نشان داده شده است.

بین مقاومت الکتریکی مخصوص با هدایت الکتریکی مخصوص رابطه زیر برقرار است.

$$\rho = \frac{1}{\kappa}$$

که در این رابطه :  
 $\rho$ : مقاومت الکتریکی مخصوص  
 $\kappa$ : هدایت الکتریکی مخصوص

$$\left[ \frac{m}{\Omega mm^2} \right]$$

شکل ۲

## عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی

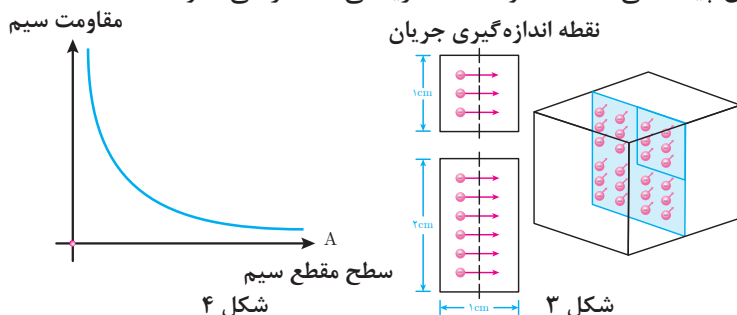
عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی هادی‌ها عبارت‌اند از :

- سطح مقطع هادی
- طول هادی
- جنس هادی

### تأثیر سطح مقطع هادی بر مقاومت الکتریکی :

مقدار جریان الکتریکی به تعداد الکترون‌های آزاد موجود در سیم بستگی دارد؛ بنابراین با افزایش سطح مقطع هادی تعداد الکترون‌های آزاد بیشتر می‌شود. تا مقدار بیشتری جریان الکتریکی بتواند از آن عبور کند.

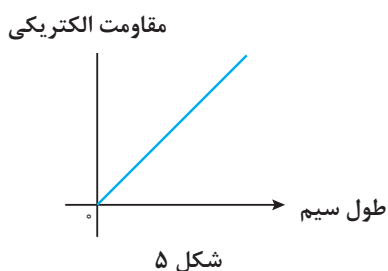
یک قطعه مس به ارتفاع ۲ و عرض ۱ سانتی متر در محل اندازه‌گیری جریان الکتریکی دو برابر قطعه مسی به ارتفاع ۱ و عرض ۱ سانتی متر الکترون آزاد قابل دسترسی دارد. پس مس به ارتفاع دو برابر، دو بار بیشتر جریان را هدایت می‌کند. چنانچه پهنای قطعه مسی که به کار می‌برید دو برابر باشد، قابلیت هدایت آن دو برابر و مقاومت آن نصف می‌شود (شکل ۳). شکل ۴ تغییرات مقاومت نسبت به سطح مقطع هادی را نمایش می‌دهد. طبق این نمودار هر قدر سطح مقطع افزایش پیدا می‌کند، مقاومت الکتریکی کمتر می‌شود.



### تأثیر طول هادی بر مقاومت الکتریکی :

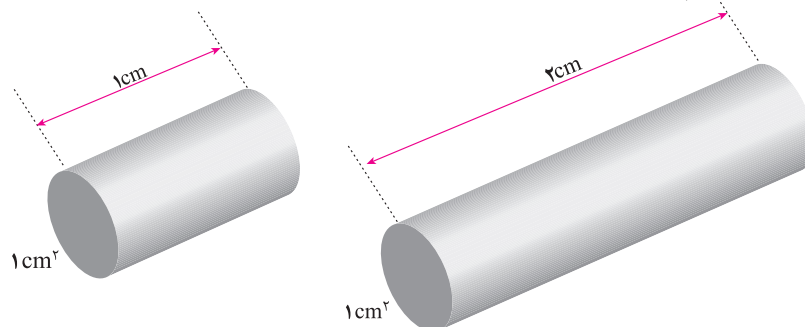
در یک قطعه هادی بلند، تعداد بیشتری الکترون آزاد وجود دارد ولی الکترون‌های آزاد اضافی در طول سیم، در اندازه‌گیری جریان الکتریکی داخل نمی‌شوند. در واقع هر طول معین از هادی، مقدار معینی مقاومت الکتریکی دارد و هرچه سیم طولی‌تر باشد، مقاومت الکتریکی آن نیز بیشتر است.

شکل ۵ تغییرات مقاومت برحسب طول هادی را نشان می‌دهد. طبق این نمودار هر قدر طول هادی زیاد شود، مقاومت الکتریکی افزایش می‌یابد.



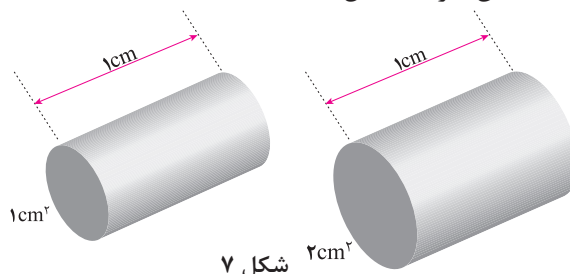
### رابطه مقاومت الکتریکی هادی :

اگر طول یک سیم ( $L$ ) را زیاد کنیم، مقاومت آن زیاد می‌شود و برعکس، اگر طول سیم را کم کنیم، مقاومت آن کم می‌شود.  
اگر طول سیم را مثلاً دو برابر کنیم، مقاومت آن را دو برابر کرده‌ایم، پس مقاومت یک سیم با طول آن نسبت مستقیم دارد (شکل ۶).



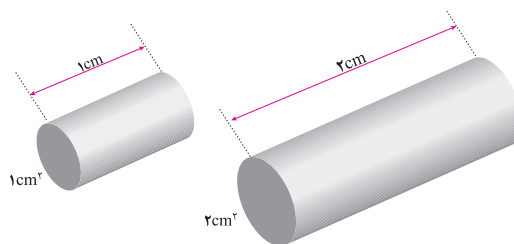
شکل ۶

همچنین می‌توان با اضافه کردن سطح مقطع ( $A$ ) مقاومت را کم کرد و با کم کردن سطح مقطع بر مقاومت افزود.  
اگر سطح مقطع سیم را دو برابر کنیم، مقاومت آن نصف می‌شود. در نتیجه می‌گوییم مقاومت با سطح مقطع عکس دارد (شکل ۷).



شکل ۷

اگر طول سیم دو برابر و سطح مقطع آن دو برابر شود، مقاومت الکتریکی نسبت به وضعیت قبلی تغییر نخواهد کرد (شکل ۸).



شکل ۸

پیش از این در تعریف مقاومت مخصوص و هدایت مخصوص گفته شد که این پارامترها به جنس‌های بستگی دارد؛ بنابراین، رابطه کلی مقاومت با سطح مقطع، طول و جنس سیم را با فرمول‌های زیر نشان می‌دهند.

$$R = \frac{L}{\kappa.A}$$

یا

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

در این رابطه:

$R$ : مقاومت سیم بر حسب اهم  $[\Omega]$

$L$ : طول سیم بر حسب متر  $[m]$

$A$ : سطح مقطع سیم بر حسب میلی متر مربع  $[mm^2]$

$\rho$ : مقاومت مخصوص بر حسب  $\frac{\Omega mm^2}{m}$

$\kappa$ : هدایت مخصوص بر حسب  $\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$  است.

**مثال ۱:** سیم مسی به طول ۱۱۲ متر با سطح مقطع  $4 mm^2$  و هدایت مخصوص  $\kappa = 56 \left( \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \right)$  مفروض است. مقاومت الکتریکی سیم چند اهم است؟

$$R = \frac{L}{\kappa.A} = \frac{112}{56 \times 4} = 0.5 \Omega \rightarrow R = 0.5 \Omega$$

**مثال ۲:** برای ساختن یک مقاومت الکتریکی  $10$  اهمی، چند متر سیم آلومینیومی با سطح

مقطع  $1/5 mm^2$  مورد نیاز است؟  $\kappa_{AL} = 35 \left( \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \right)$

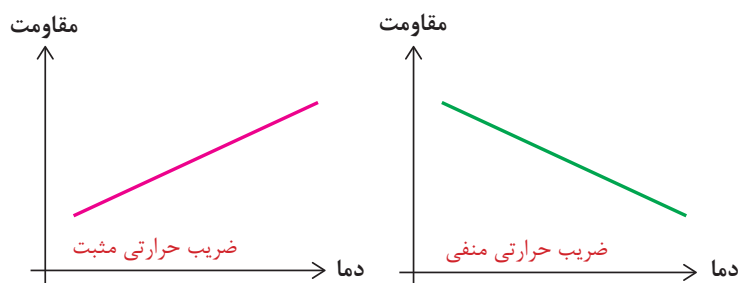
$$R = \frac{L}{\kappa.A} \Rightarrow 10 = \frac{L}{35 \times 1/5} \rightarrow L = 10 \times 35 \times 1/5 = 525 m$$

### - اثر حرارت بر مقاومت الکتریکی :

آنچه در مورد مقاومت گفته شد، همه در دمای اتاق صادق است. در دماهای کمتر یا بیشتر، مقدار مقاومت کلیه فلزات تغییر می‌کند. تغییر مقاومت بر اثر حرارت در فلزات مختلف متفاوت است، تغییرات واحد مقاومت الکتریکی به ازای یک درجه سانتی‌گراد را ضریب حرارتی می‌گویند و آن را با  $(\alpha)$  نمایش می‌دهند؛ برای مثال اگر  $\alpha = 0.004$  باشد یعنی اینکه واحد مقاومت آن جسم به ازای یک درجه سانتی‌گراد  $0.004$  اهم افزایش یا کاهش می‌یابد. اگر مقاومت الکتریکی جسمی بر اثر حرارت افزایش یابد، ضریب حرارتی  $(\alpha)$  مثبت و در صورت کاهش مقاومت، ضریب حرارتی  $(\alpha)$  منفی خواهد بود. در مورد اول، فلز را PTC<sup>۱</sup> و در مورد دوم NTC<sup>۲</sup> می‌نامند.

<sup>۱</sup>-Positive Temperature Coefficient

<sup>۲</sup>-Negative Temperature Coefficient



شکل ۹

مقاومت الکتریکی رسانا در اثر تغییر دما از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R = R_0(1 + a\Delta\theta)$$

که در این رابطه:

$R_0$ : مقاومت اولیه رسانا بر حسب اهم  $[\Omega]$

$R$ : مقاومت الکتریکی رسانا پس از تغییر دما بر حسب اهم  $[\Omega]$

$\alpha$ : ضریب حرارتی بر حسب  $\left[\frac{1}{^\circ C}\right]$

$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ : تغییرات دمای رسانا بر حسب درجه سانتی‌گراد  $[^\circ C]$  است.

**مثال ۳:** مقاومت الکتریکی سیمی در صفر درجه سانتی‌گراد  $2\Omega$  اهم است. اگر دمای سیم به  $100^\circ$  درجه سانتی‌گراد برسد، مقاومت الکتریکی آن چند اهم می‌شود؟

$$(a = 0.004 \frac{1}{^\circ C})$$

$$R_0 = 2\Omega$$

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = 100 - 0 = 100^\circ C$$

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta\theta) \quad \text{حل:}$$

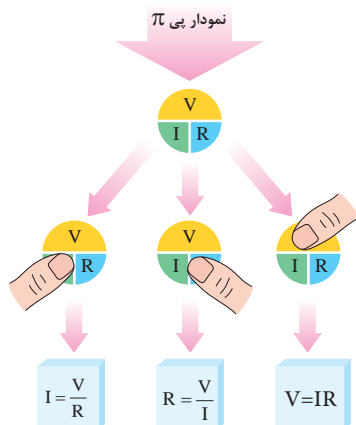
$$R = 2(1 + 0.004 \times 100)$$

$$R = 2.8[\Omega]$$

## قانون اهم

قانون اهم بیان می‌کند نسبت اختلاف پتانسیل دو سرهادی به شدت جریان آن در دمای معین مقداری ثابت است که این مقدار ثابت را "مقاومت الکتریکی" هادی گویند و با  $R$  نشان

می‌دهند و از رابطه  $R = \frac{V}{I}$  به دست می‌آید.



شکل ۱۰

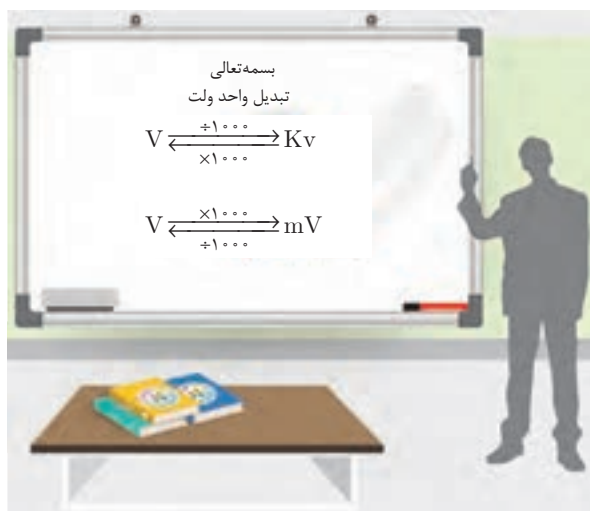
که در این رابطه :

$V$  اختلاف پتانسیل دو سر هادی ( $V$ )

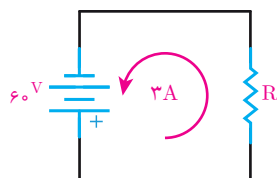
$I$  شدت جریان هادی ( $A$ )

$R$  مقاومت الکتریکی ( $\Omega$ )

است و آن را با علامت اختصاری شکل ۱۰ نشان می‌دهند.



شکل ۱۰ برای یادآوری سه شکل قانون اهم قابل استفاده است. در این شکل هر کدام از علامت‌ها را با انگشت بیوشانید، علائم دیگر رابطه کمیت اشاره شده را نشان می‌دهد و مقدار مجهول به راحتی به دست می‌آید.

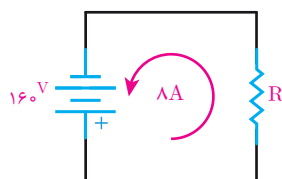


شکل ۱۱

**مثال ۱:** اگر در مدار شکل ۱۱ شدت جریان ۳ آمپر از مقاومت عبور کند، مقاومت مدار چقدر است؟

$$R = \frac{V}{I} = \frac{60}{3}$$

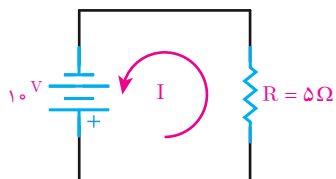
$$R = 20 \Omega$$



شکل ۱۲

**مثال ۲:** اگر در مدار شکل ۱۲ بخواهیم شدت جریان مدار ۸ آمپر شود، چه مقاومتی باید در مدار قرار گیرد؟

$$R = \frac{V}{I} = \frac{160}{8} \quad R = 20 \Omega$$

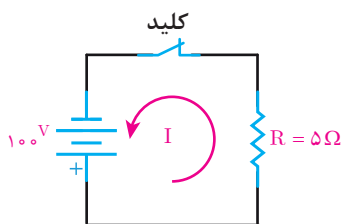


شکل ۱۳

**مثال ۳:** اگر در مدار شکل ۱۳ ولتاژی برابر با ۱۰ ولت به دو سر مقاومتی برابر ۵ اهم اعمال شود، شدت جریان مدار چقدر است؟  
وقتی که شدت جریان (I) مجهول است، باید از معادله استفاده کرد.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{10}{5}$$

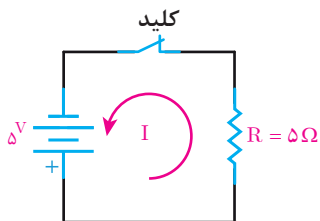
$$I = 2A$$



شکل ۱۴

**مثال ۴:** شدت جریان الکتریکی در مدار شکل ۱۴ چند آمپر است؟  
شدت جریان مدار را با استفاده از قانون اهم محاسبه می‌کنیم.

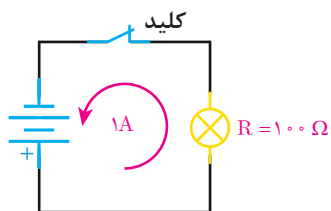
$$I = \frac{V}{R} = \frac{100}{5} = 20A$$



شکل ۱۵

**مثال ۵:** شدت جریان الکتریکی مدار شکل ۱۵ را به دست آورید.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{5}{5} = 1A$$



شکل ۱۶

با مقایسه نتایج مثال ۴ و مثال ۵ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟  
**مثال ۶:** اگر از لامپی به مقاومت ۱۰۰ اهم جریانی به شدت ۱ آمپر عبور کند، با توجه به شکل ۱۶ ولتاژ منبع چند ولت است؟

$$V = I.R = 1 \times 100$$

$$V = 100V$$

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

$$V = I.R = 0.5 \times 100$$

$$V = 50V$$

$$100 - 50 = 50V$$

فعالیت کلاسی



## ابرسانا

اگر دمای فلزات مختلف را تا دمای معینی (دمای بحرانی) پایین آوریم، پدیده شگرفی در آنها اتفاق می‌افتد که طی آن مقدار مقاومت فلزات در برابر عبور جریان برق به طور ناگهانی تا حد صفر کاهش می‌یابد. در این شرایط است که فلزها تبدیل به ابر رسانا خواهد شد. تبدیل به حالت ابررسانایی، فقط مربوط به فلزات نمی‌شود بلکه این حالت در جیوه ناخالص نیز اتفاق می‌افتد. تاکنون مشخص شده است که تقریباً نیمی از عناصر فلزی و همچنین برخی آلیاژها و سرامیک‌ها در درجه حرارت‌های پایین ابر رسانا می‌شوند.

## کاربرد ابررسانا

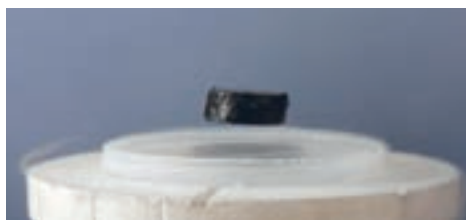
هر ماده اگر قبل از ابر رسانا شدن در میدان مغناطیسی قرار گیرد از آن خطوط میدان مغناطیسی عبور می‌کند؛ چنانچه در حضور میدان مغناطیسی به دمای بحرانی برسد و ابررسانا شود دیگر هیچ‌گونه خطوط میدان مغناطیسی از آن عبور نمی‌کند.

در شکل ۱۷- الف یک قطعه آهنربا روی یک قطعه ابررسانا شناور است طبق خاصیتی که در بالا گفتیم ابر رساناها می‌توانند خطوط میدان مغناطیس را به خارج پرتاب کنند و همان‌طور که می‌بینیم قرص مغناطیسی را شناور نگه داشته است.

کاربرد جالب این مطلب در ساخت قطارهای سریع السیر یا قطارهای شناور است. نمونه‌هایی از این‌گونه قطارها که در سال ۲۰۰۰ میلادی در ژاپن ساخته شد، با سرعت  $581 \text{ km/h}$  حرکت می‌کند. در این قطارها به جای استفاده از چرخ از میدان مغناطیسی استفاده شده است. در این حالت قطارهای سریع السیر در حال حرکت معمولاً چند سانتی متر با ریل فاصله دارد و تماسی با ریل پیدا نمی‌کنند. به این نوع قطارها ماگلو (Maglev) گفته می‌شود (شکل ۱۷- ب).



ب



الف

شکل ۱۷



- ۱- مقاومت الکتریکی مخصوص و هدایت الکتریکی مخصوص را تعریف کنید.
- ۲- مقاومت الکتریکی مخصوص فلز روی چند برابر مقاومت الکتریکی مخصوص نقره است؟
- ۳- عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی هادی‌ها را نام ببرید.
- ۴- از مقایسه نمودار تغییرات مقاومت الکتریکی رسانا برحسب سطح مقطع سیم و طول سیم چه نتیجه‌ای می‌گیریم؟
- ۵- قانون اهم را تعریف کنید.
- ۶- ضریب حرارتی را تعریف کنید و واحد آن را بنویسید.
- ۷- ابررسانا را تعریف کنید و کاربرد آن را بنویسید.
- ۸- اگر دانش‌آموزی هنگام خاموش بودن لامپ رشته‌ای مقاومت آن را اندازه‌گیری کند و بار دیگر وقتی لامپ روشن است مقاومت الکتریکی آن را محاسبه کند آیا مقادیر به‌دست آمده یکسان است؟ چرا؟



- ۱- مقاومت الکتریکی مخصوص آلومینیوم نسبت به مس برابر  $1/59$  می‌باشد، هدایت الکتریکی آن نسبت به مس را حساب کنید.
- ۲- برای ساختن یک مقاومت  $5\Omega$  چند متر سیم مسی با سطح مقطع  $1/5\text{mm}^2$  مورد نیاز است؟ ( $K_{Cu}=56$ )
- ۳- روی یک هسته  $500$  دور سیم مسی با سطح مقطع  $5/5\text{mm}^2$  پیچیده‌ایم اگر شعاع هسته  $2/5\text{cm}$  باشد مقاومت الکتریکی سیم پیچ را حساب کنید.
- ۴- درون یک وسیله برقی  $80\text{m}$  سیم آلومینیومی با قطر  $1/5\text{mm}$  استفاده شده است:
  - الف) مقاومت الکتریکی آن را بیابید.
  - ب) در صورتی که بخواهیم سیم مسی با قطر  $1/5\text{mm}$  جایگزین آن کنیم در صورتی که مقاومت الکتریکی تغییر نکند طول سیم مسی را بیابید.
- ۵- دمای سیم پیچ یک وسیله برقی بر اثر کار کردن از  $25^\circ\text{C}$  به  $75^\circ\text{C}$  افزایش می‌یابد. اگر مقاومت الکتریکی آن در  $25^\circ\text{C}$  برابر  $1/8\Omega$  باشد مقاومت آن چند اهم افزایش می‌یابد؟
 
$$\alpha = 0.004 \left[ \frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$$
- ۶- جریان الکتریکی عبوری از لامپی که مقاومت الکتریکی آن  $50\Omega$  و ولتاژ تغذیه آن  $200\text{V}$  است را حساب کنید. در صورتی که در اثر روشن بودن دمای لامپ  $40^\circ\text{C}$  افزایش یابد جریان الکتریکی چقدر تغییر می‌کند؟
- ۷- به یک مقاومت  $60$  اهمی ولتاژی برابر  $36$  ولت داده شده است. چه جریانی از این مقاومت عبور می‌کند؟

۸- ولتاژ لازم برای عبور جریانی برابر  $1/2$  آمپر از یک مقاومت  $5$  اهمی چقدر است؟

۹- مقاومت الکتریکی یک لامپ  $150\Omega$  است. ولتاژی برابر  $120$  ولت به آن داده می‌شود. مقدار جریان عبوری را حساب کنید.

۱۰- با یک لامپ و یک منبع ولتاژ و یک آمپر متر مداری تشکیل داده ایم. اگر منبع ولتاژ را  $24$  ولت اختیار کنیم، آمپر متر مقدار  $1/5$  آمپر را نشان خواهد داد. مقاومت الکتریکی مدار را تعیین کنید. اگر به جای منبع  $24$  ولتی، منبع ولتاژ  $36$  ولتی قرار دهیم، آمپر متر چه مقداری را نشان خواهد داد؟

۱۱- چه ولتاژی در مقاومت  $40$  اهمی، جریانی برابر با  $100$  میلی آمپر ایجاد می‌کند؟

۱۲- حداکثر ولتاژی که یک مقاومت  $22/5$  اهمی می‌تواند تحمل کند  $120$  ولت است. اگر جریانی به شدت  $10$  آمپر از آن بگذرد آیا این مقاومت تحمل این جریان را خواهد داشت؟ چرا؟

## پروفسور کارو لوکاس (لوکس) پدر علم روباتیک



در شهریور ماه ۱۳۲۸ در شهر اصفهان متولد شد. تحصیلات متوسطه خود را در دبیرستان آرامنه تهران (کوشش) گذراند و در سال ۱۳۵۲ با شایستگی، موفق به اخذ کارشناسی ارشد در رشته مهندسی کنترل از دانشگاه تهران شد.

نبوغ ذاتی او چنان عیان شده بود که در توصیه نامه علمی ایشان، استاد وی خطاب به دانشگاه‌های پرآوازه آمریکا نوشت: اگر کارو را در دانشگاه خود نپذیرید دیوانه‌اید.

دکترای خود را در رشته کنترل سیستم‌ها با گرایش اقتصاد

مالی در سال ۱۳۵۵ از دانشگاه برکلی آمریکا به دست آورد. پس از آن، وی برای خدمت میهن، فعالیت در دانشگاه تهران را برگزید.

در تدریسش تنها انتقال معلومات مدّ نظر نبود بلکه انجام پژوهش علمی و فنی اشتراکی را هدف خود قرار داده بود. وی جهت حرکت علم را به خوبی تشخیص و خود را در پیشاپیش این حرکت قرار می‌داد تا دانشگاه تهران را در زمره دانشگاه‌های پیشرفته جهان معرفی نماید. تدریس حسابداری زیستی را می‌توان به عنوان مصداق ذکر کرد.

ادامه پژوهش‌های وی به سیستم‌های هوشمند و روباتیک متمایل گردید و به حق و شایستگی پدر علم روباتیک ایران لقب گرفت. اگرچه عشق و علاقه پروفسور کارلوکس به ایران و دانشگاه تهران مثال زدنی بود اما نگاه نافذش از لزوم همکاری‌های علمی و پژوهشی بین‌المللی هرگز غافل نماند. ایشان به عنوان استاد مدعو ایرانی در دانشگاه‌های آمریکا، کانادا، ایتالیا، چین، آرمستان و آلمان تدریس نمود و در پژوهش‌های مشترک تأثیرگذار بود، پروفسور کارلوکس استاد نمونه، چهره ماندگار مهندسی برق، برنده جشنواره‌های خوارزمی، ابن سینا و استاد برگزیده ایرانی توسط Elsevier-Scopus معرفی گردید. اما هیچ‌یک از این القاب و عناوین در برابر صفات و فضایل انسانی استاد ارزش چندانی ندارد. چهره مردانه او همیشه بشاش، متبسم، نگاهش جذاب اما مصمم و مهربان به خصوص با دانشجویانش بود.



واحد یادگیری ۵

کار و توان الکتریکی



## کار الکتریکی

کار الکتریکی عبارت است از مقدار انرژی که در مصرف کننده الکتریکی به سایر انرژی‌ها تبدیل می‌شود. کار الکتریکی را با  $W$  نشان می‌دهند و واحد آن ژول ( $J$ ) است. یک ژول مقدار کاری است که اختلاف پتانسیل یک ولت برای جابه جایی یک کولن الکتریسیته انجام می‌دهد. انرژی در مقاومت الکتریکی به حرارت تبدیل می‌شود و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$W = RI^2t$$

که در این رابطه :

$W$ : کار الکتریکی ( $J$ )

$R$ : مقاومت الکتریکی ( $\Omega$ )

$I$ : شدت جریان الکتریکی ( $A$ )

$t$ : زمان ( $s$ ) است.

مثال ۱- از یک اتوی برقی که مقاومت الکتریکی قسمت گرماده آن ۵۵ اهم است جریان ۴ آمپر می‌گذرد. در مدت ۲ دقیقه چه مقدار انرژی الکتریکی به حرارت تبدیل می‌شود؟ با استفاده از رابطه مقابل داریم:

$$W = RI^2t$$

$$W = 55(4)^2 \times (2 \times 60) = 10560 [J]$$

انرژی الکتریکی مصرفی علاوه بر یکای اندازه گیری ژول بر حسب کیلو وات ساعت و مگا وات ساعت نیز بیان می‌شود.

هر کیلو وات ساعت ( $kwh$ ) برابر چند ژول ( $J$ ) می باشد؟

فعالیت



## محاسبه هزینه انرژی الکتریکی مصرفی

هزینه انرژی الکتریکی مصرفی به ازای هر کیلو وات ساعت محاسبه می‌شود. برای محاسبه هزینه الکتریکی مصرفی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

بهای هر  $kwh$  انرژی الکتریکی  $\times$  مقدار انرژی الکتریکی مصرفی ( $kwh$ ) = بهای برق مصرفی

مثال: یک مصرف کننده برقی ۸۰۰ وات روزی ۵ ساعت روشن است. در صورتی که بهای هر کیلو وات ساعت ۸۰۰ ریال باشد هزینه انرژی الکتریکی مصرفی آن چقدر است؟  
حل:

بهای هر  $kwh \times$  انرژی الکتریکی مصرفی [ $kwh$ ] = قیمت انرژی الکتریکی مصرفی

ریال  $3200 = 800 \times 4$  = قیمت انرژی الکتریکی مصرفی

## توان الکتریکی

توان الکتریکی، مقدار کار الکتریکی انجام شده در واحد زمان می باشد. توان الکتریکی را با  $P$  نشان می دهند و واحد آن وات ( $W$ ) است. یک وات تبدیل یک ژول انرژی در مدت یک ثانیه می باشد. توان در مقاومت الکتریکی از رابطه زیر به دست می آید.

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

که در این رابطه :

$P$  : توان الکتریکی ( $W$ )

$W$  : کار الکتریکی ( $J$ )

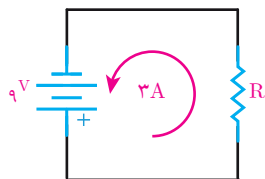
$t$  : زمان ( $s$ ) است.

رابطه توان به شکل های زیر نیز اثبات می شود.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{RI^2 t}{t} = RI^2$$

$$P = RI^2 = R.I.I = VI$$

مثال ۱: در مدار شکل ۱۸ مقدار مقاومت الکتریکی و توان مصرفی آن را محاسبه کنید.

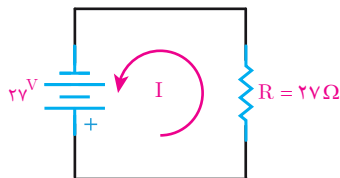


شکل ۱۸

$$R = \frac{V}{I} = \frac{9}{3} = 3\Omega$$

$$P = V.I = 9 \times 3 = 27W$$

مثال ۲: در مدار شکل ۱۹ مقدار شدت جریان و توان مصرفی مقاومت را محاسبه کنید.

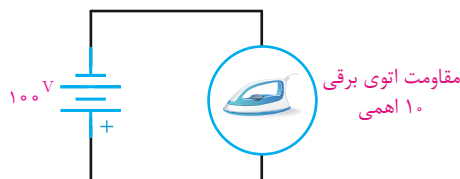


شکل ۱۹

$$I = \frac{V}{R} = \frac{27}{27} = 1A$$

$$P = RI^2 = 27 \times 1^2 = 27W$$

مثال ۳: شدت جریان و توان مصرفی اتوی شکل ۲۰ را محاسبه کنید.



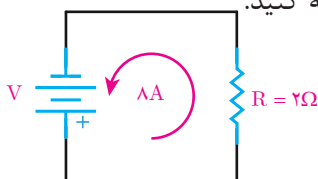
شکل ۲۰

$$I = \frac{V}{R} = \frac{100}{10} = 10A$$

$$P = RI^2$$

$$P = 10 \times 10^2 = 1000W$$

مثال ۴: ولتاژ منبع و توان مصرفی مقاومت ۲ اهمی مدار شکل ۲۱ را محاسبه کنید.



شکل ۲۱

$$V = R.I = 2 \times 8 = 16V$$

$$P = RI^2$$

$$P = 2 \times 8^2 = 128W$$

**مثال ۵:** سماور برقی  $V=220$  و  $P=2000$  W مفروض است. شدت جریان و مقاومت الکتریکی قسمت گرماده آن را محاسبه کنید.

$$P = V.I \Rightarrow 2000 = 220 \times I \Rightarrow I = \frac{2000}{220} = 9A$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{220}{9} = 24.4 \Omega$$

در صورت کاهش ولتاژ به میزان  $180$  ولت، شدت جریان و توان سماور چقدر می شود ؟

$$I = \frac{V}{R} = \frac{180}{24.4} = 7.3A$$

$$P = R.I^2 = 24.4 \times 7.3^2 = 1300W$$

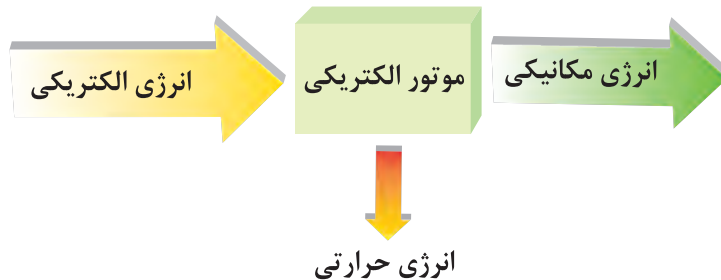
## بازده

بازده یا راندمان نسبت توان خروجی به توان ورودی وسایل الکتریکی می باشد. بازده یا راندمان را با حرف یونانی  $\eta$  نشان می دهند. و چون از نسبت دو توان ورودی و خروجی بدست می آید بدون واحد می باشد. و معمولاً آن را برحسب درصد نشان می دهند و از رابطه زیر بدست می آید.

$$\eta \% = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{توان ورودی}} \times 100$$

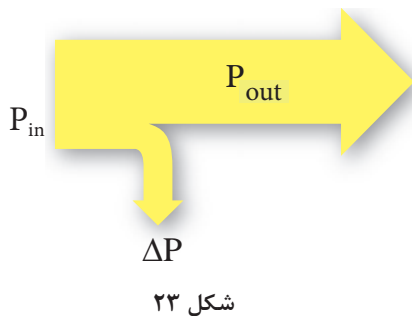


موتورهای الکتریکی از وسایل الکتریکی هستند که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند اما در این فرایند بخشی از انرژی الکتریکی به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود. (شکل ۲۲)



شکل ۲۲

در موتور مقدار انرژی الکتریکی را که در واحد زمان به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود، توان خروجی گویند و با  $P_{out}$  نشان می‌دهند و واحد آن وات  $[W]$  است و مقدار انرژی الکتریکی را که در واحد زمان به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود، تلفات توان گویند و با  $\Delta P$  نشان می‌دهند و واحد آن نیز وات  $[W]$  است. همچنین مقدار انرژی الکتریکی که در واحد زمان از شبکه الکتریکی دریافت می‌شود توان ورودی است و با  $P_{in}$  نشان داده می‌شود و واحد آن وات  $[W]$  است. ارتباط بین توان ورودی، خروجی و تلفات توان در دیاگرام توازن توان شکل (۲۳) نشان داده شده است.



شکل ۲۳

$$P_{in} = P_{out} + \Delta P$$

با توجه به دیاگرام توازن توان رابطه به صورت مقابل است:

**مثال:** یک موتور الکتریکی ۷۵۰ واتی از شبکه الکتریکی ۱۰۰۰ وات توان الکتریکی دریافت می‌کند راندمان آن چند درصد است؟ تلفات توان موتور چند وات است؟  
**حل:**

$$\eta \% = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

$$\eta \% = \frac{750}{1000} \times 100 = 75 \%$$

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$

$$\Delta P = 1000 - 750 = 250 [W]$$

با توجه به دیاگرام توازن توان می‌توان نوشت:

معمولاً توان موتورهای الکتریکی بر روی پلاک مشخصات برحسب اسب بخار (HP) نیز یادداشت می‌شود. یک اسب بخار برابر ۷۴۶ وات است یعنی:  $1 [Hp] = 746 [W]$

روی پلاک یک موتور الکتریکی HP ۵/۵ نوشته شده است، مقدار آن برحسب وات  $[W]$  چقدر است؟

فعالیت



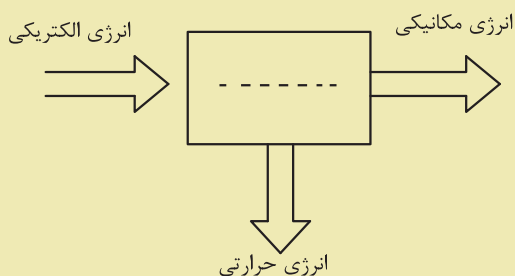


۱- کمیت‌های زیر را تعریف کنید:

الف) کار الکتریکی      ب) توان الکتریکی      ج) راندمان یا بازده

۲- توان خروجی و تلفات توان را در موتور الکتریکی تعریف کنید.

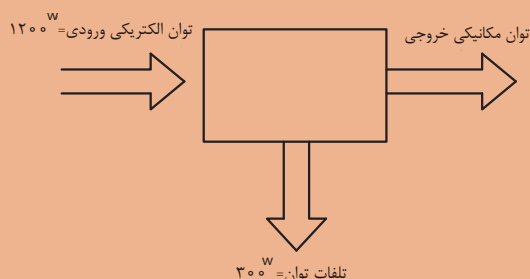
۳- بلوک دیاگرام زیر مربوط به چه وسیله برقی است؟



۴- روی پلاک موتوری  $\frac{3}{4}$  HP نوشته شده است. توان الکتریکی آن چند وات می‌باشد؟



۱- راندمان وسیله الکتریکی را که بلوک دیاگرام آن به صورت زیر می‌باشد را حساب کنید



۲- راندمان یک موتور الکتریکی ۸۵٪ می‌باشد اگر تلفات توان  $150\text{ W}$  باشد، توان ورودی و خروجی چند وات است؟

۳- راندمان یک موتور الکتریکی  $\frac{1}{2}$  HP برابر ۷۰٪ می‌باشد توان ورودی و تلفات آن چند وات است؟

۴- در ویتترین مغازه‌ای ۴ لامپ رشته‌ای ۵۰۰ وات و ۲ لامپ رشته‌ای ۱۰۰۰ وات روزی ۸ ساعت روشن است. حساب کنید انرژی الکتریکی مصرفی در ۳۰ روز چقدر است؟

۵- مقاومت الکتریکی قسمت گرماده یک وسیله حرارتی  $80\ \Omega$  می‌باشد، حساب کنید اگر جریان الکتریکی عبوری از آن ۴ A باشد، در مدت زمان ۵ دقیقه انرژی الکتریکی مصرفی آن چند ژول و چند کیلو ژول می‌باشد؟

۶- یک وسیله برقی ۲۲۰ V و ۵۰۰ W در نظر بگیرید:

الف) شدت جریان این وسیله در اتصال به شبکه ۲۲۰ V چند آمپر است؟

ب) در صورت کاهش ولتاژ به ۲۰۰ ولت جریان چقدر تغییر می‌کند؟

۷- اگر لامپ‌های تمرین ۴ را با لامپ‌های کم مصرف LED با توان ۱۸ و ۲۵ وات را به ترتیب جایگزین لامپ‌های ۵۰۰ وات و ۱۰۰۰ وات کنیم، در هزینه برق چقدر صرفه جویی می‌شود؟ در صورتی که بدانیم میزان نوردهی لامپ‌های جایگزین به همان مقدار لامپ‌های رشته‌ای باشد.



در این فصل مطالب زیر را فرا خواهید گرفت:

- ۱- اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی
- ۲- اتصال موازی مقاومت‌های الکتریکی
- ۳- اتصال سری - موازی مقاومت‌های الکتریکی
- ۴- اتصال پیل‌ها

# واحد یادگیری ۶

## اتصال مقاومت‌های اهمی



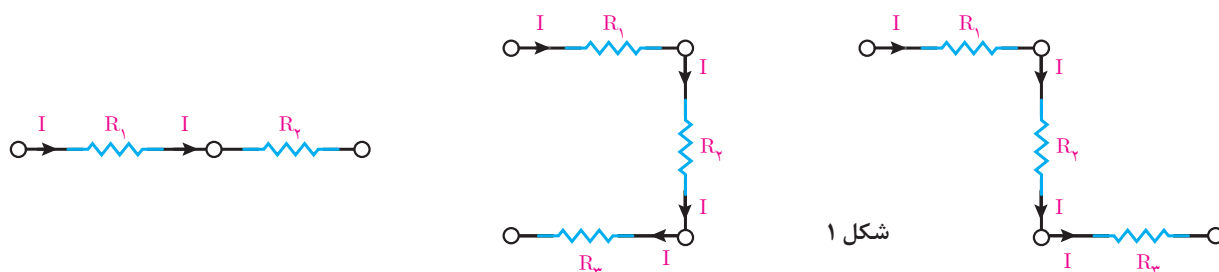
## اتصال مقاومت‌های الکتریکی

اتصال مقاومت‌های الکتریکی بین مقاومت‌هایی که در مدار الکتریکی قرار می‌گیرند، برقرار می‌شود. اتصال بین مقاومت‌های الکتریکی مدار به سه شکل امکان‌پذیر است:

- اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی
  - اتصال موازی مقاومت‌های الکتریکی
  - اتصال سری و موازی مقاومت‌های الکتریکی
- که در ادامه به هریک از آنها پرداخته می‌شود.

## اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی

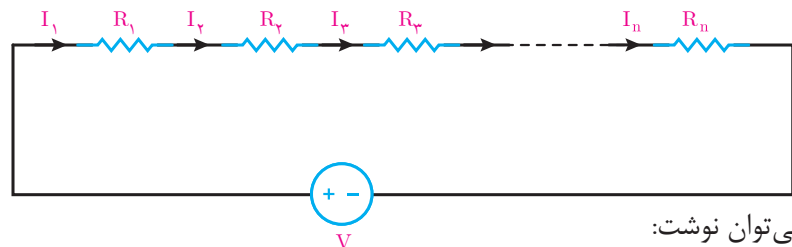
اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی بین دو یا چند مقاومت به شرطی ایجاد می‌شود که جریان عبوری هریک از مقاومت‌ها با هم برابر باشد. در اتصال سری یک سر مقاومت‌های الکتریکی به یکدیگر اتصال می‌یابد. (شکل ۱)



شکل ۱

هنگامی که دو یا چند مقاومت با یکدیگر اتصال سری پیدا می‌کنند تشکیل یک مدار الکتریکی می‌دهند که اصطلاحاً آن را «مدار سری» گویند.

جریان عبوری از مقاومت‌هایی که با یکدیگر اتصال سری دارند برابر است و این یک شرط اساسی در مدارهای سری می‌باشد. در شکل ۲ تا  $n$  مقاومت که با یکدیگر اتصال سری دارند و تشکیل یک مدار سری داده‌اند نشان داده شده است.

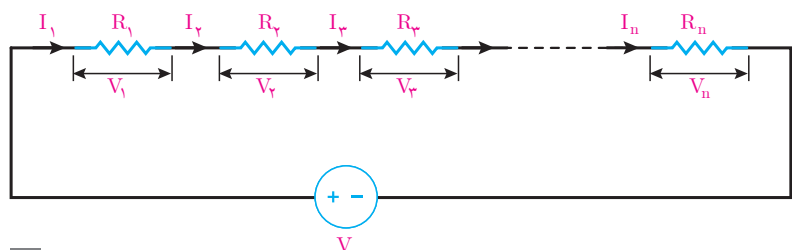


شکل ۲

همانطور که از شکل برمی‌آید می‌توان نوشت:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

با عبور جریان از مقاومت‌های شکل ۳، در دو سر هر یک از مقاومت‌ها ولتاژ ایجاد می‌شود.



شکل ۳

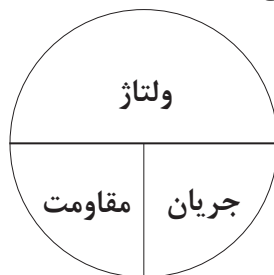
به ولتاژی که در دو سر هر مقاومت قرار می‌گیرد اصطلاحاً «افت ولتاژ» گویند و با استفاده از قانون اهم بدست می‌آیند.

ولتاژ = جریان  $\times$  مقاومت

$$V_1 = R_1 I_1$$

$$V_r = R_r I_r$$

$$V_n = R_n I_n$$



با توجه به شرط اساسی مدارهای سری جریان مقاومت‌های با اتصال سری با هم برابرند لذا می‌توان نوشت:

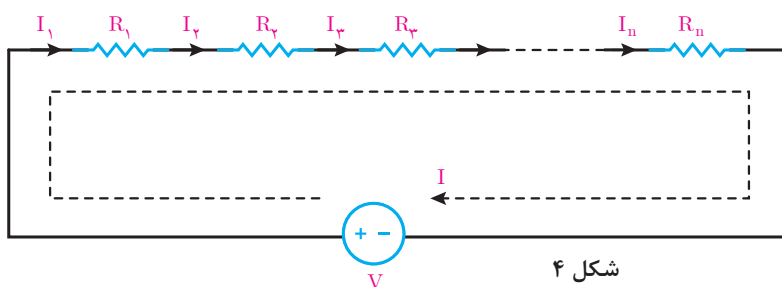
$$I = I_1 = I_r = I_3 = \dots = I_n$$

و روابط افت ولتاژ دو سر هر مقاومت را با جایگزینی  $I$  بصورت زیر می‌توان نوشت:

$$V_1 = R_1 I$$

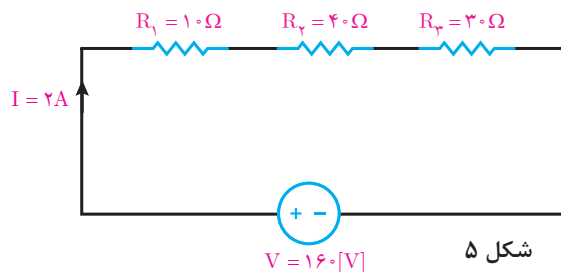
$$V_r = R_r I$$

$$V_n = R_n I$$



مسیر عبور جریان از مقاومت‌های سری و منبع شکل (۴) با حلقه جریان  $I$  نشان داده شده است. در مدارهای الکتریکی با حرکت در حلقه به جای اول خواهیم رسید لذا این حلقه را «مسیر بسته» گویند.

**مثال:** افت ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌های مدار شکل زیر را بدست آورید:



**حل:** مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_r$  و  $R_3$  با یکدیگر اتصال سری دارند لذا جریان آنها با هم برابر است یعنی:

$$I = I_1 = I_r = I_3 = 2[A]$$

با استفاده از قانون اهم افت ولتاژها محاسبه می‌شود.

ولتاژ = جریان  $\times$  مقاومت

$$V_1 = R_1 I = 10 \times 2 = 20[V]$$

$$V_r = R_r I = 40 \times 2 = 80[V]$$

$$V_3 = R_3 I = 30 \times 2 = 60[V]$$

## قانون ولتاژ کیرشهف KVL

قانون ولتاژ کیرشهف KVL بیان می‌کند «حاصل جمع جبری ولتاژها در هر مسیر بسته صفر است» و با رابطه ریاضی زیر بیان می‌شود:

$$\sum V + \sum RI = 0$$

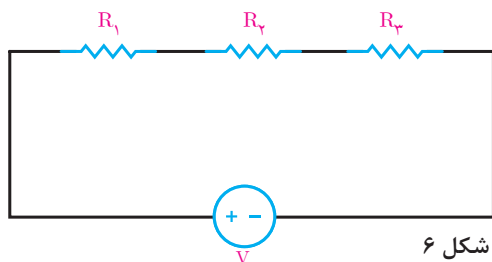
برای نوشتن رابطه ریاضی قانون ولتاژ کیرشهف یا KVL به صورت زیر عمل می‌شود:

- ۱- برای مسیر بسته یک حلقه جریان  $I$  در جهت حرکت عقربه ساعت‌ها انتخاب می‌شود.
- ۲- افت ولتاژهای دو سر هر مقاومت با علامت  $(+)$  لحاظ می‌شود و مجموع آنها را با  $\sum RI$  نشان می‌دهند.
- ۳- اگر جریان حلقه  $I$  به پلاریته  $(+)$  منبع وارد شود ولتاژ منبع  $V$  با علامت مثبت نوشته می‌شود و اگر جریان حلقه  $I$  به پلاریته  $(-)$  منبع وارد شود ولتاژ منبع  $V$  را با علامت منفی می‌نویسند و حاصل را با  $\sum V$  نشان می‌دهند.

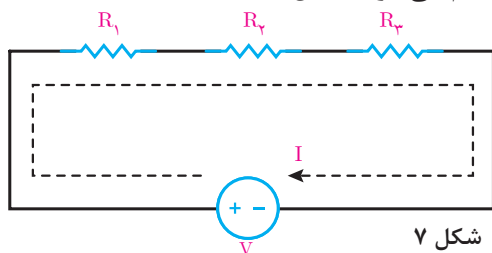
۴-  $\sum V$  و  $\sum RI$  در رابطه ریاضی قانون ولتاژ کیرشهف قرار داده می‌شود.

$$\sum V + \sum RI = 0$$

اکنون در مدار شکل ۶ قانون ولتاژ کیرشهف اعمال می‌شود.



۱- جریان حلقه  $I$  در جهت حرکت عقربه ساعت‌ها برای آن ترسیم می‌شود (شکل ۷).



۲-  $\sum RI$  به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\sum RI = +R_1 I + R_2 I + R_3 I$$

۳-  $\sum V$  به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\sum V = -V$$

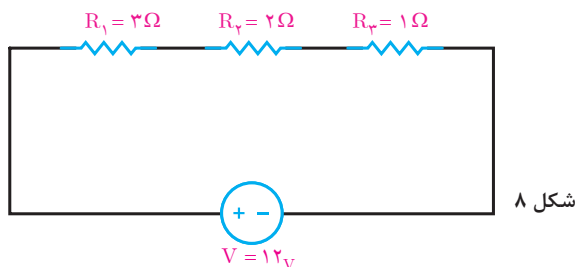
جریان حلقه  $I$  به پلاریته منفی منبع ولتاژ وارد می‌شود لذا علامت  $(-)$  برای  $V$  لحاظ شده است.

۴- رابطه ریاضی قانون ولتاژ کیرشهف نوشته می‌شود.

$$KVL) \sum V + \sum RI = 0$$

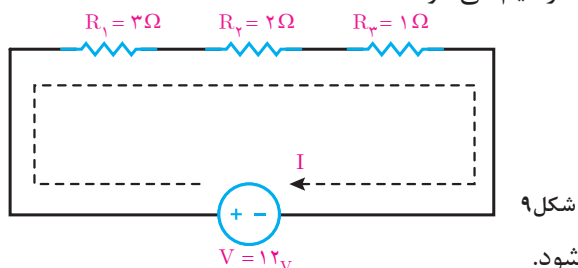
$$KVL) -V + R_1 I + R_2 I + R_3 I = 0$$

مثال: قانون ولتاژ کیرشهف را برای مدار شکل مقابل بنویسید و به کمک آن جریان مدار را به دست آورید.



شکل ۸

حل: جریان حلقه I را در جهت حرکت عقربه ساعت ترسیم می‌شود.



شکل ۹

اکنون رابطه ریاضی قانون ولتاژ کیرشهف نوشته می‌شود.

$$\text{KVL)} \sum V + \sum RI = 0$$

$$\text{KVL)} -V + R_1 I + R_2 I + R_3 I = 0$$

$$-12 + 3I + 2I + 1I = 0$$

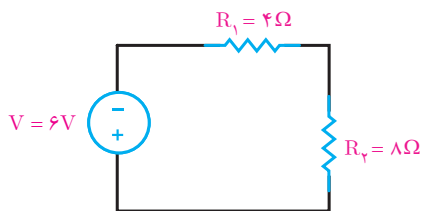
$$-12 + 6I = 0$$

$$6I = 12$$

$$I = \frac{12}{6} = +2A$$

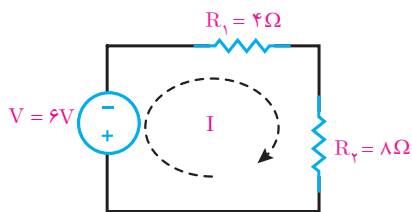
جریان حلقه I برابر ۲ آمپر می‌باشد. علامت (+) بیانگر این است که جهت جریان حلقه I موافق جهت جریان مسیر بسته می‌باشد.

مثال: قانون ولتاژ کیرشهف را برای مدار شکل زیر بنویسید و به کمک آن جریان مدار را به دست آورید.



شکل ۱۰

حل: جریان حلقه I در جهت حرکت عقربه ساعت ترسیم می‌شود.



شکل ۱۱

اکنون رابطه ریاضی قانون کیرشهف نوشته می‌شود.

$$KVL) \Sigma V + \Sigma RI = 0$$

$$KVL) +V + R_1 I + R_2 I + R_3 I = 0$$

$$+6 + 4I + 8I = 0$$

$$+6 + 12I = 0$$

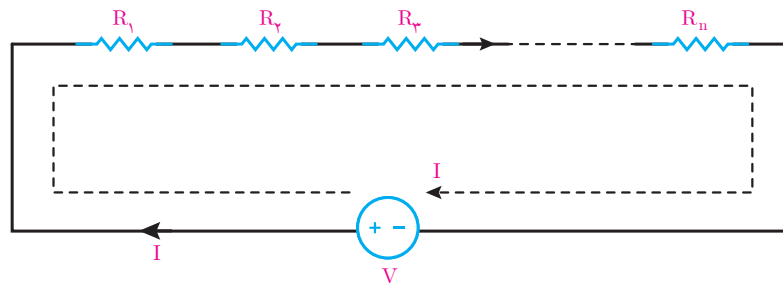
$$12I = -6$$

$$I = \frac{-6}{12} = -0.5A$$

جریان حلقه I برابر ۰/۵ آمپر می باشد. علامت (-) بیانگر این است که جهت جریان حلقه I خلاف جهت جریان مسیر بسته می باشد.

## مقاومت معادل

مقاومت معادل عبارت است از مقاومتی که جای چند مقاومت در مدار قرار می گیرد به طوری که در جریان و ولتاژ مدار تغییر ایجاد نمی شود، مقاومت معادل را با  $R_{eq}$  نشان می دهند. برای بدست آوردن مقاومت معادل در مدارهای سری از KVL استفاده می شود. برای این منظور n تا مقاومت سری مدار شکل زیر در نظر گرفته می شود (شکل ۱۲).



شکل ۱۲

برای مدار KVL نوشته می شود

$$KVL) -V + R_1 I + R_2 I + R_3 I + \dots + R_n I = 0$$

$$V = R_1 I + R_2 I + R_3 I + \dots + R_n I$$

از I فاکتور گرفته می شود:

$$V = I (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)$$

طرفین رابطه بر I تقسیم می شود.

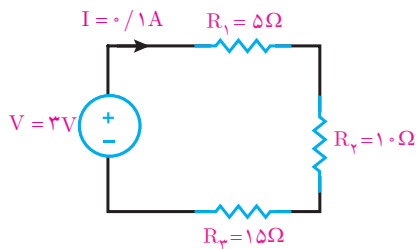
$$\frac{V}{I} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

نسبت  $\frac{V}{I}$  همان  $R_{eq}$  است:

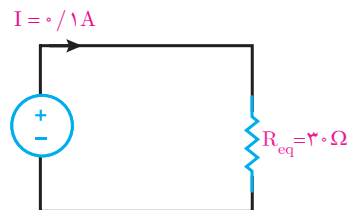
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

از این رابطه برای محاسبه مقاومت معادل بین n تا مقاومت با اتصال سری استفاده می شود.

مثال: مقاومت معادل مدار شکل زیر را بدست آورید (شکل ۱۳ و ۱۴).



شکل ۱۴

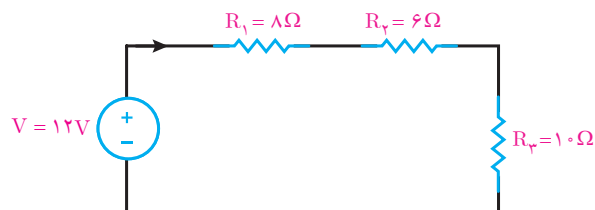


شکل ۱۳

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{eq} = 5 + 10 + 15 = 30\Omega$$

مثال: در مدار شکل زیر مطلوب است:



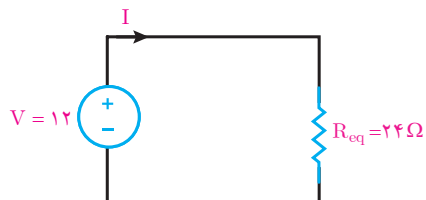
شکل ۱۵

الف) مقاومت معادل

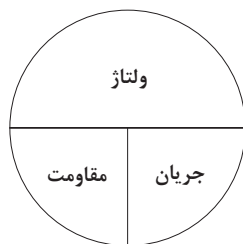
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{eq} = 8 + 6 + 10 = 24\Omega$$

ب) شدت جریان مدار (شکل ۱۶).



شکل ۱۶

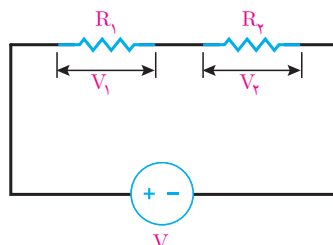


$$\text{ولتاژ} = \frac{\text{مقاومت}}{\text{جریان}}$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12}{24} = 0.5 \text{ [A]}$$

## تقسیم ولتاژ بین دو مقاومت سری

افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها بخشی از ولتاژ منبع مدار است. افت ولتاژ دو سر مقاومت را می‌شود بدون استفاده از جریان با رابطه تقسیم ولتاژ محاسبه کرد. رابطه تقسیم ولتاژ بین دو مقاومت سری به صورت زیر است (شکل ۱۷).



شکل ۱۷

$$V_1 = V \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_2 = V \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

رابطه تقسیم ولتاژ بین دو مقاومت سری را اثبات کنید.

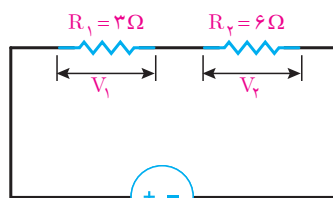
فعالیت کلاسی



مثال: در مدار شکل زیر با استفاده از رابطه تقسیم ولتاژ مقدار  $V_1$  و  $V_2$  را به دست آورید (شکل ۱۸)

$$V_1 = V \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 12 \times \frac{3}{3 + 6} = \frac{36}{9} = 4 \text{ [V]}$$

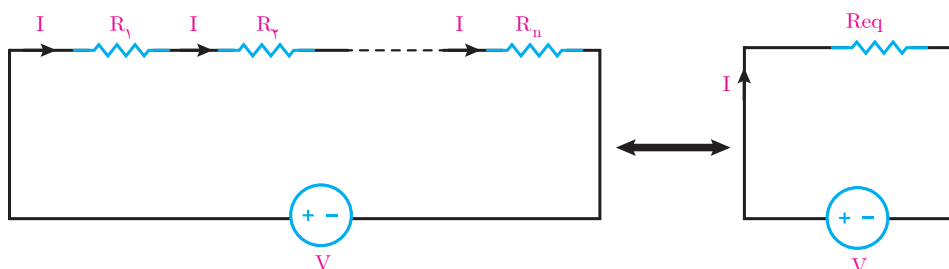
$$V_2 = V \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12 \times \frac{6}{3 + 6} = \frac{72}{9} = 8 \text{ [V]}$$



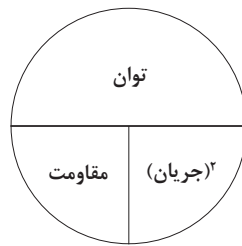
شکل ۱۸

## توان مدار سری

توان مدار سری از حاصل جمع توان همه مقاومت‌های مدار به دست می‌آید. در مدار الکتریکی شکل ۱۹ که شامل  $n$  مقاومت سری است داریم:



شکل ۱۹



$P = I^2 R$  (جریان)  $\times$  مقاومت = توان

$$P = RI^2$$

توان مدار الکتریکی شکل ۱۹ از مجموع توان هر مقاومت به دست می آید و آن را با  $P_{eq}$  نشان می دهند.

$$P_{eq} = R_1 I^2 + R_2 I^2 + \dots + R_n I^2$$

از  $I^2$  فاکتور گرفته می شود.

$$P_{eq} = (R_1 + R_2 + \dots + R_n) I^2$$

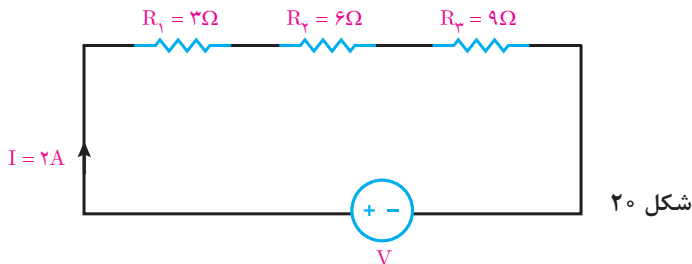
حاصل پرانتز همان مقاومت معادل مدار سری است لذا:

$$P_{eq} = R_{eq} I^2$$

این رابطه نشان می دهد توان مدار سری با توان مقاومت معادل سری نیز برابر است یعنی:

$$P_{eq} = (R_1 + R_2 + \dots + R_n) I^2 = R_{eq} I^2$$

مثال: توان مدار الکتریکی شکل ۲۰ را به دست آورید (شکل ۲۰).

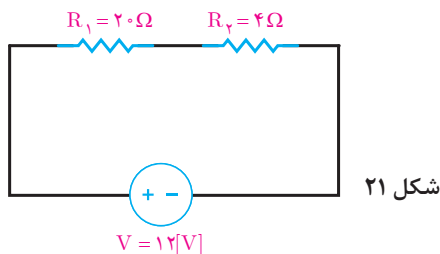


حل: توان مدار از مجموع توان مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  به دست می آید.

$$P_{eq} = R_1 I^2 + R_2 I^2 + R_3 I^2$$

$$P_{eq} = 3(2)^2 + 6(2)^2 + 9(2)^2$$

$$P_{eq} = 12 + 24 + 36 = 72 [W]$$



مثال: توان مدار الکتریکی شکل ۲۱ را به دست آورید.

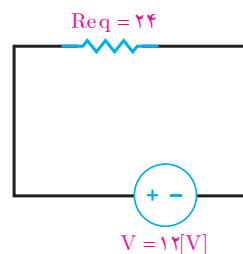
حل: مقاومت معادل مدار به دست می آید.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 = 20 + 4 = 24\Omega$$

از قانون اهم جریان مدار به دست می آید (شکل ۲۲).

$$\text{ولتاژ} = \text{مقاومت} \times \text{جریان}$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12}{24} = 0.5 [A]$$



شکل ۲۲

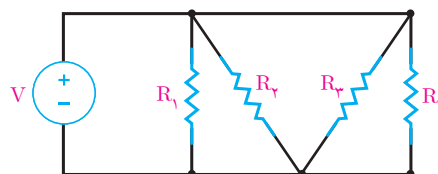
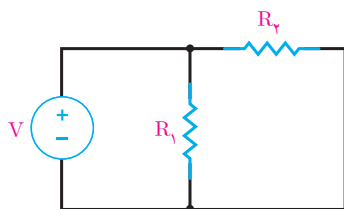
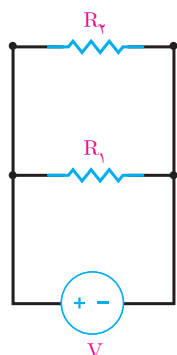
توان مقاومت معادل  $R_{eq}$  برابر مجموع توان  $R_1$  و  $R_2$  است لذا:

$$P_{eq} = R_{eq} I^2$$

$$P_{eq} = 24 \times 0.5^2 = 6 [W]$$

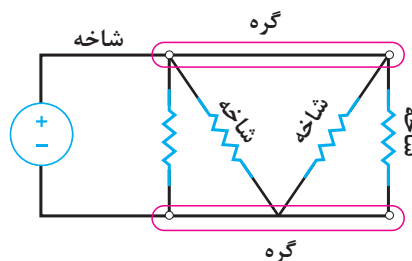
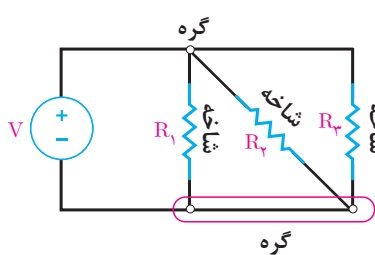
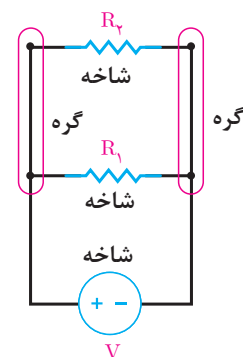
## اتصال موازی مقاومت های الکتریکی

اتصال موازی مقاومت های الکتریکی بین دو یا چند مقاومت به شرطی ایجاد می شود که ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت ها با هم برابر باشند. در اتصال موازی دو سر مقاومت های الکتریکی به یکدیگر اتصال می یابد (شکل ۲۳).



شکل ۲۳

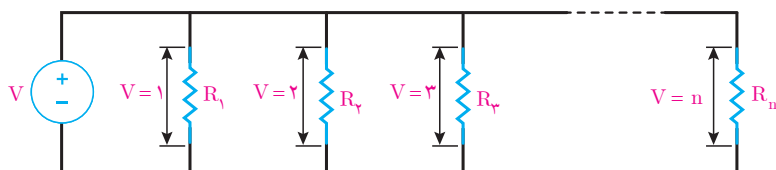
مسیر عبور جریان از هر مقاومت موازی و منبع را (شاخه) گویند و نقطه ای از مدار را که بیش از دو شاخه به آن متصل باشد، «گره» گویند (شکل ۲۴).



شکل ۲۴

هنگامی که دو یا چند مقاومت با یکدیگر اتصال موازی پیدا می کنند تشکیل یک مدار الکتریکی می دهند که اصطلاحاً آن را «مدار موازی» گویند.

ولتاژ دو سر مقاومت هایی که با یکدیگر اتصال موازی دارند برابر است و این یک شرط اساسی در مدارهای موازی می باشد. در شکل ۲۵،  $n$  تا مقاومت که با یکدیگر اتصال موازی دارند و تشکیل یک مدار موازی داده اند نشان داده شده است.

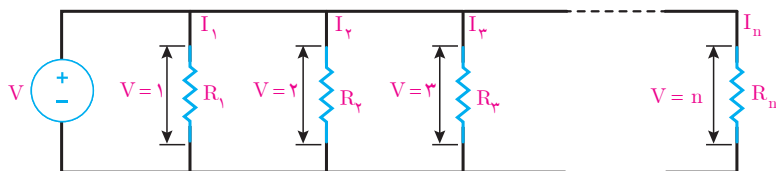


شکل ۲۵

همانطور که از شکل برمی آید می توان نوشت:

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت های شکل ۲۶ در هریک از مقاومت ها جریان جاری می کند (شکل ۲۶).



شکل ۲۶

جریان هر یک از مقاومت ها با استفاده از قانون اهم به دست می آیند.

$$\text{ولتاژ} \\ \text{مقاومت} = \text{جریان}$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3}$$

$$\vdots$$

$$I_n = \frac{V_n}{R_n}$$

با توجه به شرط اساسی مدارهای موازی ولتاژ مقاومت های با اتصال موازی با هم برابرند لذا می توان نوشت:

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

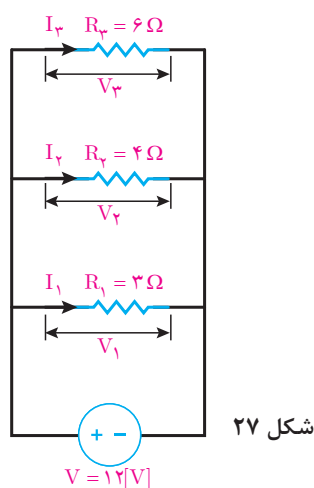
و روابط جریان هر مقاومت را با جایگزینی  $V$  به صورت زیر می توان نوشت:

$$I_1 = \frac{V}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2}$$

$$I_n = \frac{V}{R_n}$$

**مثال:** جریان شاخه های هریک از مقاومت های مدار شکل زیر را به دست آورید (شکل ۲۷).



شکل ۲۷

**حل:** مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  با یکدیگر اتصال موازی دارند لذا ولتاژ آنها با هم برابر است، یعنی:

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = 12[V]$$

با استفاده از قانون اهم جریان هر یک از شاخه های مقاومت ها محاسبه می شود.

$$\text{ولتاژ} \\ \text{جریان} = \frac{\text{مقاومت}}$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{12}{3} = 4[A]$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{12}{4} = 3[A]$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{12}{6} = 2[A]$$

## قانون جریان کیرشهف KCL

قانون جریان کیرشهف KCL بیان می کند «حاصل جمع جبری جریان هایی که به یک گره می رسد صفر است» و با رابطه ریاضی زیر بیان می شود:

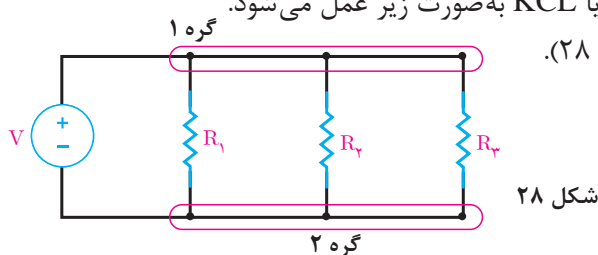
$$KCL) I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0$$

که می توان آن را به صورت زیر نیز نوشت:

$$KCL) \sum_{i=1}^n I_i = 0$$

برای نوشتن رابطه ریاضی قانون جریان کیرشهف یا KCL به صورت زیر عمل می‌شود.

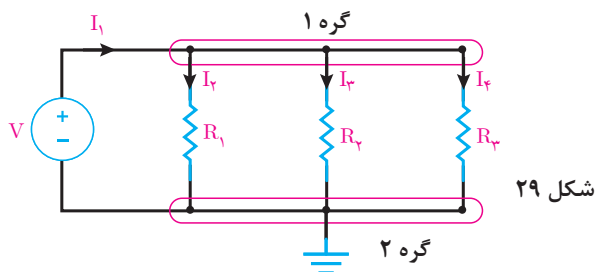
۱- گره‌های مدار مشخص و نام‌گذاری شود (شکل ۲۸).



شکل ۲۸

۲- یکی از گره‌ها زمین شود و برای شاخه‌های متصل به گره‌های دیگر جهت جریان مشخص می‌شود. شکل

۲۹ در اینجا گره ۲ زمین شده است (شکل ۲۹).



شکل ۲۹

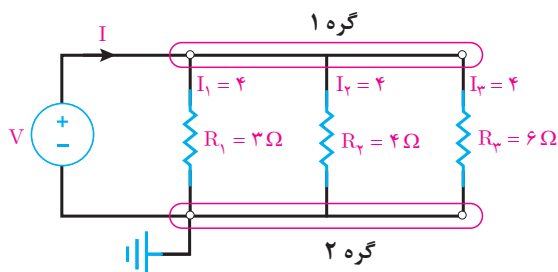
۳- برای نوشتن KCL برای گره ۱ جریان‌هایی که به گره وارد می‌شوند با علامت (+) و جریان‌هایی که از گره خارج می‌شوند با علامت (-) اختیار می‌شود و سپس رابطه ریاضی قانون جریان کیرشهف نوشته می‌شود.

$$\text{KCL}) \sum_{i=1}^n I_i = 0$$

$$\text{KCL}) + I_1 - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

مثال: قانون جریان کیرشهف را برای مدار شکل زیر بنویسید و به کمک آن جریان منبع را به دست آورید

(شکل ۳۰).



حل: جهت جریان شاخه‌ها در شکل مشخص شده است لذا رابطه ریاضی قانون جریان کیرشهف نوشته می‌شود.

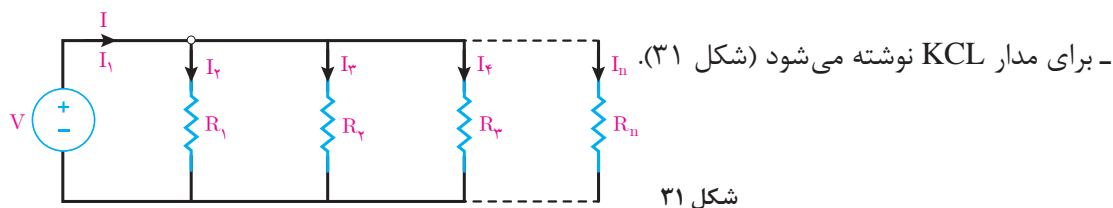
$$\text{KCL}) + I - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$\text{KCL}) + I - 4 - 3 - 2 = 0$$

$$I = 9 \text{ [A]}$$

## مقاومت معادل

مقاومت معادل عبارت است از مقاومتی که جای چند مقاومت در مدار قرار می‌گیرد بطوریکه در جریان و ولتاژ مدار تغییر ایجاد نمی‌شود. مقاومت معادل را با  $R_{eq}$  نشان می‌دهند. برای بدست آوردن مقاومت معادل در مدارهای موازی از KCL استفاده می‌شود. برای این منظور  $n$  تا مقاومت موازی مدار شکل زیر در نظر گرفته می‌شود.



$$KCL) + I - I_1 - I_2 - I_3 - \dots - I_n = 0$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1}, I_2 = \frac{V}{R_2}, I_n = \frac{V}{R_n},$$

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} + \dots + \frac{V}{R_n}$$

- از قانون اهم مقادیر  $I_1$  تا  $I_n$  محاسبه می شود.

$$I = V \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)$$

- از  $V$  فاکتور گرفته می شود.

$$\frac{I}{V} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

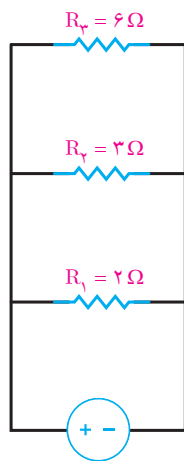
- نسبت  $\frac{I}{V}$  همان  $\frac{1}{R_{eq}}$  است.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

تعیین رابطه برای محاسبه مقاومت معادل بین  $n$  تا مقاومت با اتصال موازی استفاده می شود.

مثال: مقاومت معادل مدار شکل زیر را به دست آورید (شکل ۳۲)

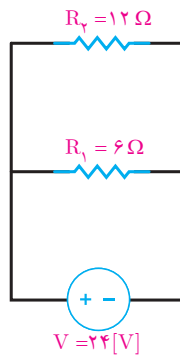


$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{6} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2}} = 1 \Omega$$

شکل ۳۲

مثال: در مدار شکل ۳۳ مقابل مطلوب است:



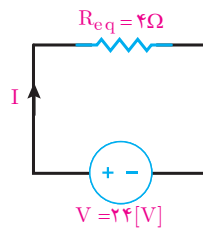
شکل ۳۳

الف) مقاومت معادل

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{6} + \frac{1}{12}} = 4 \Omega$$

ب) شدت جریان مدار

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{24}{4} = 6 [A]$$



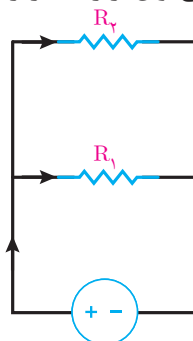
شکل ۳۴

نشان دهید برای دو مقاومت موازی  $R_1$  و  $R_2$  می‌توان از رابطه زیر مقاومت معادل را به دست آورد (شکل ۳۵).

فعالیت کلاسی



$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

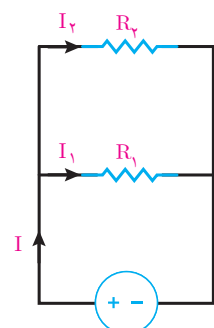


شکل ۳۵

## تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی

جریان مقاومت‌های هر شاخه بخشی از جریان منبع مدار است. جریان مقاومت هر شاخه را می‌شود بدون استفاده از ولتاژ با رابطه تقسیم جریان محاسبه کرد.

رابطه تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی به صورت زیر است (شکل ۳۶).



شکل ۳۶

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

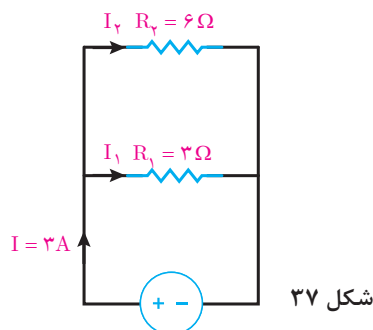


رابطه تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی را اثبات کنید.

مثال: در مدار شکل مقابل با استفاده از رابطه تقسیم جریان، جریانهای  $I_1$  و  $I_2$  را به دست آورید (شکل ۳۷).

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 3 \times \frac{6}{3 + 6} = \frac{18}{9} = 2 \text{ [A]}$$

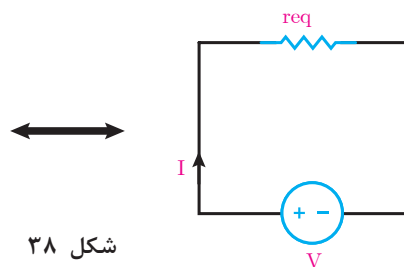
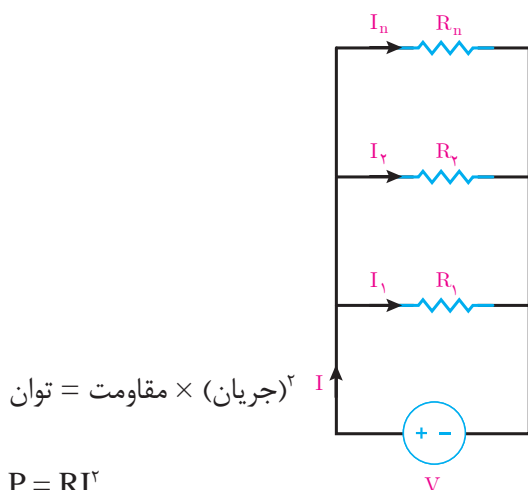
$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 3 \times \frac{3}{3 + 6} = \frac{9}{9} = 1 \text{ [A]}$$



شکل ۳۷

## توان مدار موازی

توان مدار موازی از حاصل جمع توان همه مقاومت‌های مدار به دست می‌آید. در مدار الکتریکی شکل ۳۸ که شامل  $n$  مقاومت موازی است داریم (شکل ۳۸).



شکل ۳۸

توان هر مقاومت برابر خواهد بود:

$$P = RI^2$$

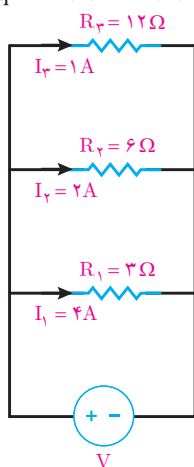
توان مدار الکتریکی شکل (۳۸) از مجموع توان هر مقاومت به دست می‌آید و آن را با  $P_{eq}$  نشان می‌دهند.

$$P_{eq} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + \dots + R_n I_n^2$$

توان مدار موازی نیز با توان مقاومت معادل مدار موازی برابر است یعنی:

$$P_{eq} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + \dots + R_n I_n^2 = R_{eq} I^2$$

مثال: توان مدار الکتریکی شکل ۳۹ را به دست آورید.

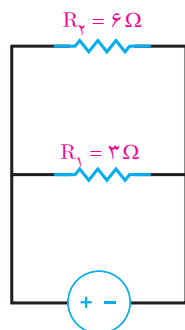


شکل ۳۹

حل: توان مدار از مجموع توان مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  به دست می‌آید.

$$P_{eq} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2$$

$$P_{eq} = 3(4)^2 + 6(2)^2 + 12(1)^2 = 84 [W]$$

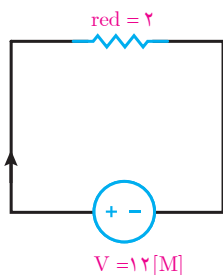


مثال: توان مدار الکتریکی شکل ۴۰ را به دست آورید.

شکل ۴۰

حل: مقاومت معادل مدار به دست می آید.

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{12}} = 2 \Omega$$



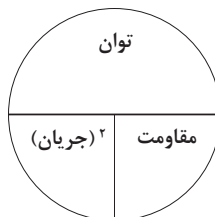
جریان مدار از قانون اهم به دست می آید (شکل ۴۱)

شکل ۴۱

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12}{2} = 6 [A]$$

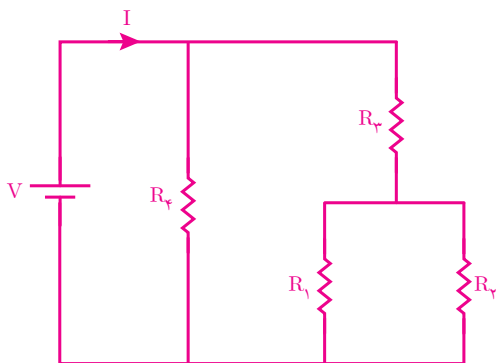
- توان مقاومت معادل  $R_{eq}$  با مجموع توان مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  برابر است.

$P_{eq} = R_{eq} I^2 = 2 \times 6^2 = 72 [W]$



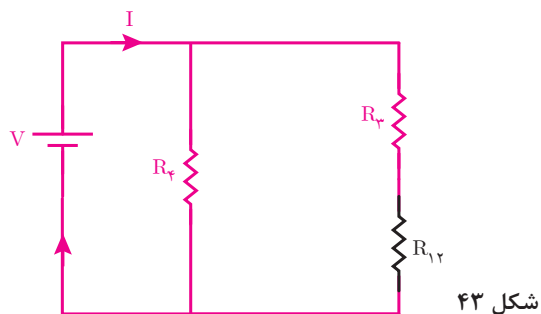
## مدارهای سری - موازی

مدارهای سری - موازی مدارهایی هستند که در آنها ترکیبی از مقاومت های سری و موازی شده وجود دارد (شکل ۴۲).

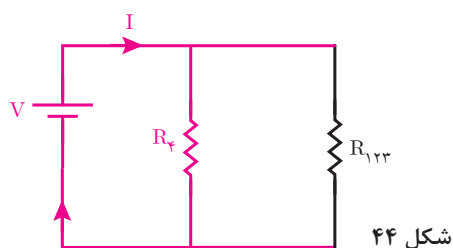


شکل ۴۲

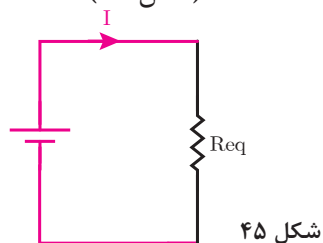
در مدار شکل ۴۳ مقاومت  $R_1$  و  $R_2$  با هم موازی هستند و معادل آنها با  $R_{12}$  نشان داده شده است (شکل ۴۳).



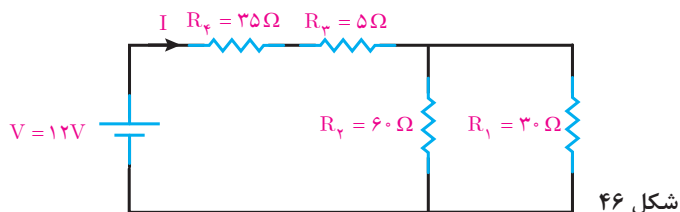
مقاومت  $R_{12}$  با  $R_2$  سری شده است و مقاومت معادل آنها فقط با  $R_{123}$  نشان داده شده است (شکل ۴۴).



مقاومت  $R_{123}$  با  $R_3$  موازی شده است و مقاومت معادل آنها با  $R_{eq}$  نشان داده شده است (شکل ۴۵).



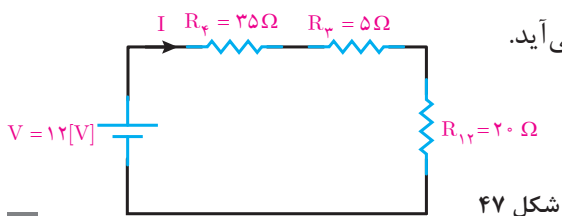
مثال: مقاومت معادل مدار شکل ۴۶ مقابل را به دست آورید و سپس جریان مدار را محاسبه کنید.



حل: مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  با هم موازی هستند و معادل آنها  $R_{12}$  به دست می‌آید.

$$R_{12} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{30 \times 60}{30 + 60} = 20 \Omega$$

با جایگزینی  $R_{12}$  بجای  $R_1$  و  $R_2$  شکل ۴۷ به دست می‌آید.

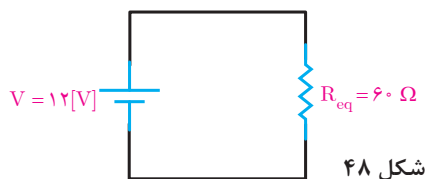


مقاومت  $R_{12}$ ،  $R_3$  و  $R_4$  با هم سری هستند و معادل آنها  $R_{eq}$  به دست می آید.

$$R_{eq} = R_4 + R_3 + R_{12}$$

$$R_{eq} = 35 + 5 + 20 = 60 \Omega$$

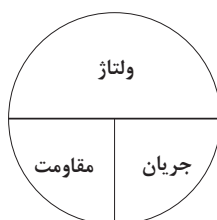
با جایگزینی  $R_{eq}$  به جای  $R_3$ ،  $R_4$  و  $R_{12}$  شکل ۴۸ به دست می آید.



شکل ۴۸

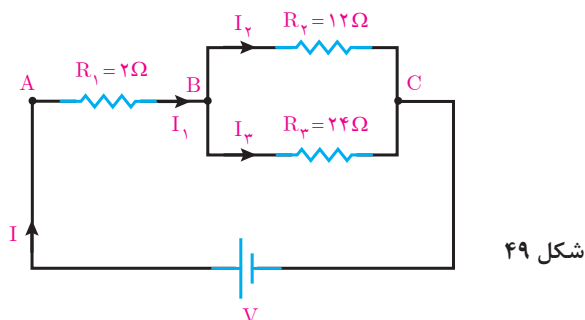
$$\text{ولتاژ} = \frac{\text{مقاومت}}{\text{جریان}}$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12}{60} = 0.2 \text{ [A]}$$



با قانون اهم جریان مدار به دست می آید.

مثال: در مدار شکل مقابل اگر  $V_{BC} = 48V$  باشد جریان منبع را به دست آورید (شکل ۴۹).



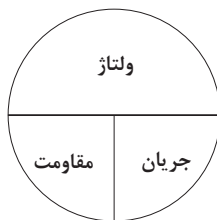
شکل ۴۹

حل:  $V_{BC}$  ولتاژ دو سر مقاومت های  $R_2$  و  $R_3$  می باشد.  $R_2$  و  $R_3$  با هم موازی هستند و با قانون اهم جریان شاخه های آنها به دست می آید.

$$\text{ولتاژ} = \frac{\text{مقاومت}}{\text{جریان}}$$

$$I_2 = \frac{V_{BC}}{R_2} = \frac{48}{12} = 4 \text{ [A]}$$

$$I_3 = \frac{V_{BC}}{R_3} = \frac{48}{24} = 2 \text{ [A]}$$



با نوشتن KCL برای گره B جریان  $I_1$  به دست می آید.

$$\text{KCL}) + I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$+ I_1 - 4 - 2 = 0$$

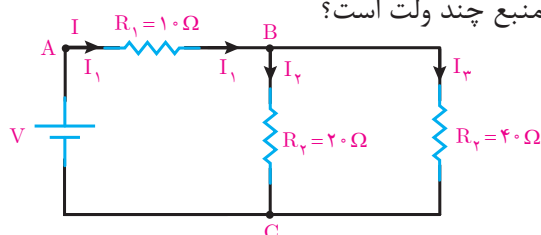
$$I_1 = 6 \text{ [A]}$$

با توجه به شکل جریان منبع  $I$  با جریان عبوری از مقاومت سری  $R_1$  برابر است لذا:

$$I = I_1$$

$$I = 6 \text{ [A]}$$

مثال: در مدار شکل ۵۰،  $V_{AB} = 30 \text{ V}$  می‌باشد. ولتاژ منبع چند ولت است؟

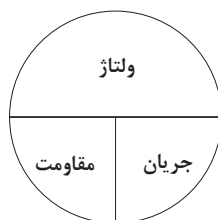


شکل ۵۰

حل: از قانون اهم جریان مقاومت  $R_1$  به دست می‌آید.

$$\text{ولتاژ} = \text{جریان} \times \text{مقاومت}$$

$$I_1 = \frac{V_{AB}}{R_1} = \frac{30}{10} = 3 \text{ [A]}$$



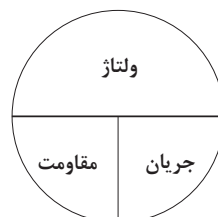
از رابطه تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی  $I_2$  و  $I_3$  به دست می‌آید.

$$I_2 = I_1 \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 3 \times \frac{40}{20 + 40} = \frac{120}{60} = 2 \text{ [A]}$$

$$I_3 = I_1 \frac{R_2}{R_2 + R_3} = 3 \times \frac{20}{20 + 40} = \frac{60}{60} = 1 \text{ [A]}$$

از قانون اهم ولتاژ دو سر مقاومت  $R_2$  که  $V_{BC}$  نشان داده می‌شود به دست می‌آید.

$$\text{ولتاژ} = \text{جریان} \times \text{مقاومت}$$



$$V_{BC} = R_2 I_2 = 20 \times 2 = 40 \text{ [V]}$$

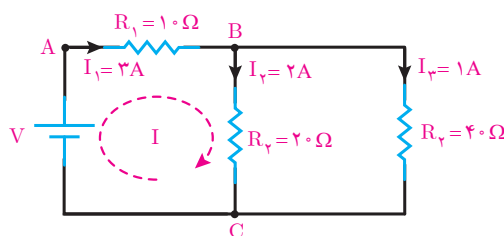
از قانون ولتاژهای کیرشهف KVL ولتاژ منبع به دست می‌آید (شکل ۵۱).

$$\text{KVL) } -V + R_1 I_1 + R_2 I_2 = 0$$

$$\text{KVL) } -V + 10(3) + 20(2) = 0$$

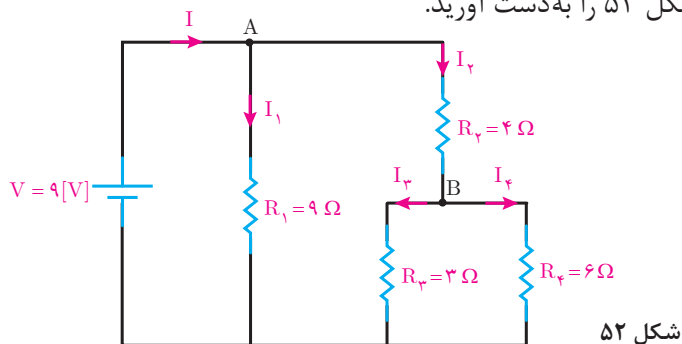
$$\text{KVL) } -V + 30 + 40 = 0$$

$$V = 70 \text{ [V]}$$



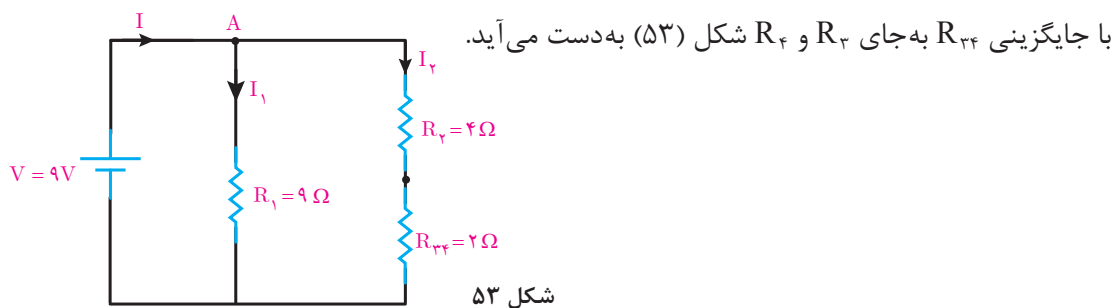
شکل ۵۱

مثال: جریان هر یک از شاخه‌های مدار شکل ۵۲ را به دست آورید.



حل: مقاومت‌های  $R_3$  و  $R_4$  با هم موازی هستند. مقاومت معادل آنها  $R_{34}$  به دست می‌آید.

$$R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = \frac{18}{9} = 2 [\Omega]$$

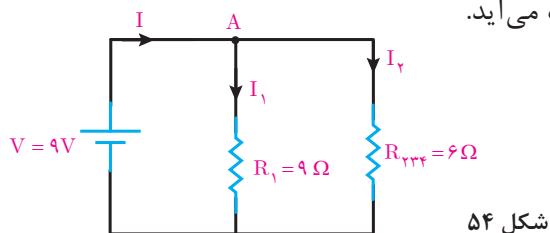


با جایگزینی  $R_{34}$  به جای  $R_3$  و  $R_4$  شکل (۵۳) به دست می‌آید.

مقاومت‌های  $R_2$  و  $R_{34}$  با هم سری هستند مقاومت معادل آنها  $R_{234}$  به دست می‌آید.

$$R_{234} = R_2 + R_{34} = 4 + 2 = 6 [\Omega]$$

با جایگزینی  $R_{234}$  به جای  $R_2$  و  $R_{34}$  شکل ۵۴ به دست می‌آید.

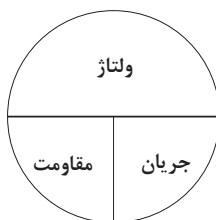


از قانون اهم جریان‌های  $I_1$  و  $I_2$  بدست می‌آید.

$$\text{ولتاژ} = \text{جریان} \times \text{مقاومت}$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{9}{9} = 1 [A]$$

$$I_2 = \frac{V}{R_{234}} = \frac{9}{6} = 1.5 [A]$$



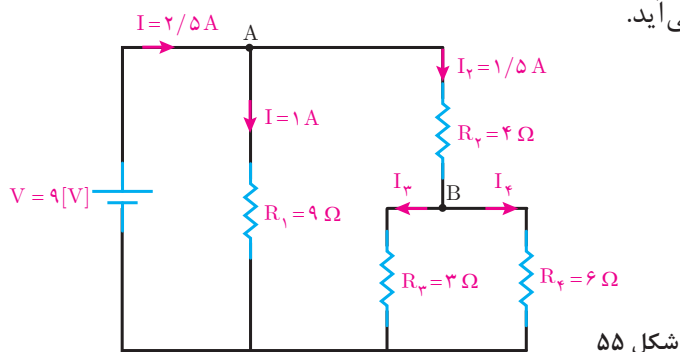
بانوشتن KCL برای گره A جریان منبع I به دست می آید.

$$KCLA) + I - I_1 - I_r = 0$$

$$+ I - 1 - 1/5 = 0$$

$$I = 2/5 [A]$$

اکنون با به دست آمدن I و  $I_1$  و  $I_r$  و توجه به شکل ۵۵ و استفاده از روابط تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی  $R_r$  و  $R_f$  جریان  $I_r$  و  $I_f$  به دست می آید.



$$I_r = I_r \frac{R_f}{R_r + R_f} = 1/5 \times \frac{6}{3+6} = \frac{9}{9} = 1 [A]$$

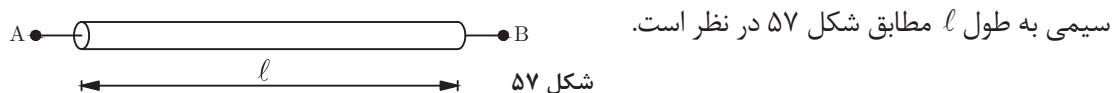
$$I_f = I_r \frac{R_r}{R_r + R_f} = 1/5 \times \frac{3}{3+6} = \frac{4}{9} = 0.5 [A]$$

## مقاومت الکتریکی متغیر

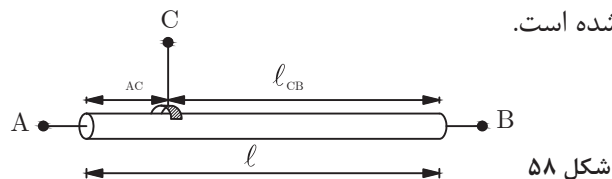
مقاومت الکتریکی متغیر مقاومتی است که مقدار آن قابل تنظیم می باشد (شکل ۵۶).



مقاومت الکتریکی متغیر تشکیل شده است از سیم با جنس کروم نیکل که یک لغزنده به روی آن حرکت می کند. مقاومت سیم با طول سیم متناسب است لذا می توان با تغییر طول سیم به یک مقاومت متغیر رسید.

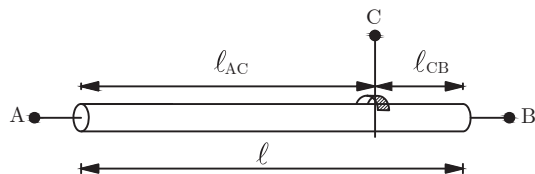


مقاومت الکتریکی بین سری های A و B متناسب با طول، سطح مقطع و جنس سیم مقدار مشخصی دارد. یک لغزنده مطابق شکل ۵۸ با سیم تماس داده شده است.



مقاومت الکتریکی بین سری های A و C متناسب با طول  $l_{AC}$  و مقاومت بین سری های C و B متناسب با طول  $l_{CB}$  می باشد.

با جابه‌جایی لغزنده طول‌های  $\ell_{AC}$  و  $\ell_{CB}$  تغییر کرده و متناسب با آن مقاومت الکتریکی سری‌های A و C و مقاومت الکتریکی و مقاومت الکتریکی سری‌های C و B تغییر می‌نماید (شکل ۵۹).



شکل ۵۹

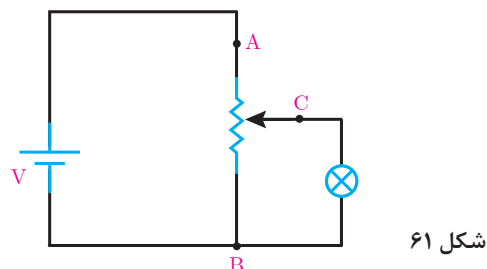
بنابراین مقاومت الکتریکی  $R_{AB}$  ثابت و مقاومت‌های الکتریکی  $R_{AC}$  و  $R_{CB}$  متغیر می‌باشد که با جابه‌جایی لغزنده مقدار آنها تغییر می‌کند. مقاومت الکتریکی متغیر در مدارهای الکتریکی مطابق شکل ۶۰ نشان داده می‌شود.



شکل ۶۰

## پتانسیومتر

پتانسیومتر، مقاومت الکتریکی متغیری است که سری‌های A، B و C آن در مدار الکتریکی قرار می‌گیرند (شکل ۶۱).

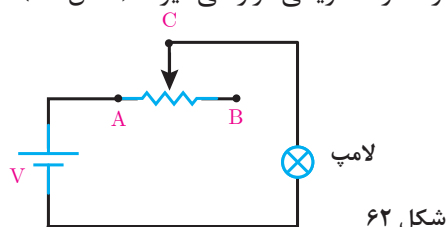


شکل ۶۱

از پتانسیومتر برای تغییر ولتاژ بین سرهای C و B براساس تقسیم ولتاژ بین سری‌های AC و CB استفاده می‌کنند. در شکل ۶۱ با جابه‌جایی لغزنده ولتاژ لامپ تغییر و متناسب آن نور تغییر می‌کند.

## رئوستا

رئوستا، مقاومت الکتریکی متغیری است که سری‌های A و C آن در مدار الکتریکی قرار می‌گیرند (شکل ۶۲).



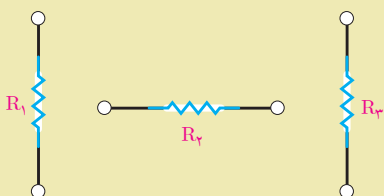
شکل ۶۲

از رئوستا برای تغییر جریان استفاده می‌شود. در شکل ۶۲ با جابه‌جایی لغزنده جریان لامپ تغییر می‌نماید و متناسب آن افت ولتاژ دو سر لامپ و نور لامپ تغییر می‌کند.

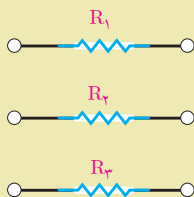


- ۱- مدار سری را تعریف کنید و ویژگی‌های آن را با رسم شکل شامل سه مقاومت بنویسید.
- ۲- مدار موازی را تعریف کنید و ویژگی‌های آن را با رسم شکل شامل سه مقاومت بنویسید.
- ۳- قانون ولتاژهای کیرشهف (KVL) را تعریف کنید و رابطه ریاضی آن را بنویسید.
- ۴- قانون جریان‌های کیرشهف (KCL) را تعریف کنید و رابطه ریاضی آن را بنویسید.
- ۵- مفاهیم زیر را تعریف کنید.  
(الف) گره (ب) شاخه (ج) مسیر بسته (د) مدار سری - موازی
- ۶- مقاومت متغیر را تعریف کنید و ساختمان آن را تشریح کنید.
- ۷- پتانسیومتر را تعریف کنید و نحوه اتصال آن را در یک مدار الکتریکی نشان دهید.
- ۸- رئوس را تعریف کنید و نحوه اتصال آن را در یک مدار الکتریکی نشان دهید.
- ۹- مقاومت‌های الکتریکی شکل‌های زیر را به صورت سری به یکدیگر اتصال دهید.

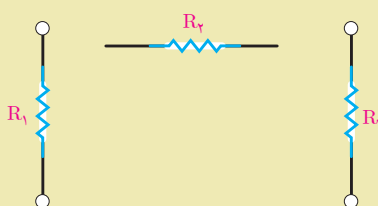
شکل الف



شکل ب



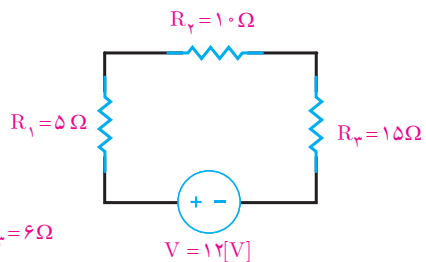
شکل ج



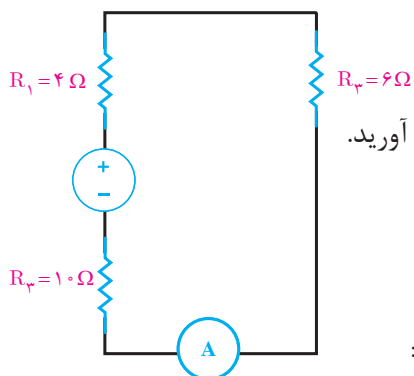
- ۱۰- مقاومت‌های الکتریکی پرسش ۹ را مجدداً رسم کنید و آنها را به صورت موازی به یکدیگر متصل کنید.
- ۱۱- مدار الکتریکی رسم کنید که در آن مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  به صورت موازی اتصال دارند و با مقاومت  $R_3$  سری شده‌اند.
- ۱۲- مدار الکتریکی رسم کنید که در آن مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  به صورت سری اتصال دارند و با مقاومت  $R_3$  موازی شده‌اند.
- ۱۳- لوازم الکتریکی منزل مسکونی با کدام اتصال الکتریکی به شبکه وصل شده‌اند؟

## مسائل

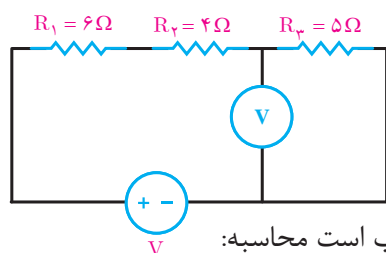
۱- جریان مدار زیر را به دست آورید.



۲- آمپر مدار شکل مقابل ۵/۰ آمپر را نشان می دهد. ولتاژ منبع را به دست آورید.



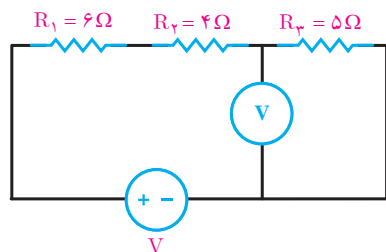
۳- ولت متر شکل زیر عدد ۱۵ ولت را نشان می دهد. مطلوب است محاسبه:



(الف) ولتاژ منبع

(ب) افت ولتاژ مقاومت  $R_2$

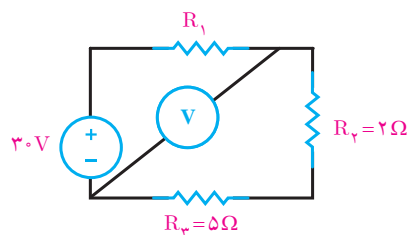
۴- توان مصرفی مقاومت  $R_2$  در شکل زیر برابر ۲۴ وات می باشد. مطلوب است محاسبه:



(الف) ولتاژ منبع

(ب) توان تولیدی منبع

۵- ولتاژ اندازه گیری شده توسط ولت متر در شکل زیر ۲۱V می باشد. مطلوب است محاسبه:



(الف) مقاومت  $R_1$

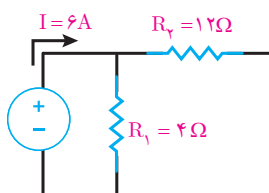
(ب) توان مصرفی مقاومت  $R_2$

۶- در شکل زیر مطلوب است محاسبه:

(الف) مقاومت  $R_{eq}$

(ب) ولتاژ منبع

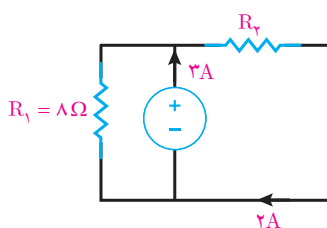
(ج) جریان هر شاخه

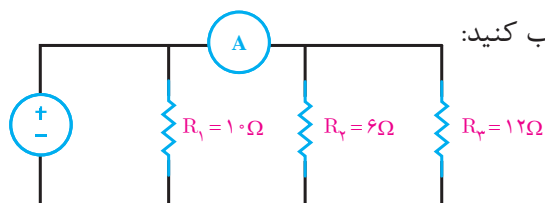


۷- در شکل زیر مطلوب است محاسبه:

(الف) ولتاژ منبع

(ب) مقاومت  $R_2$



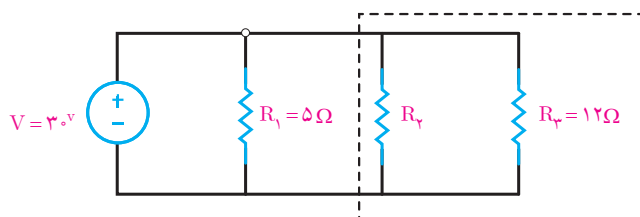


۸- آمپر متر در شکل زیر ۲ آمپر را نشان می دهد. حساب کنید:

الف) ولتاژ منبع چقدر است؟

ب) جریان کل مدار را بیابید.

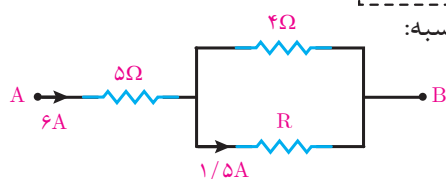
۹- در شکل زیر توان مصرفی قسمت مشخص شده  $100 \text{ W}$  می باشد. حساب کنید:



الف) جریان کل مدار

ب) مقاومت  $R_2$

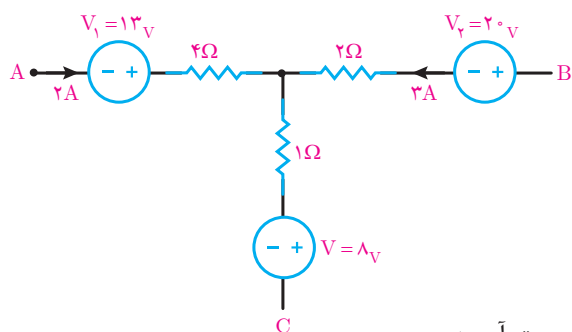
۱۰- شکل زیر بخشی از مدار الکتریکی است ، مطلوب است محاسبه:



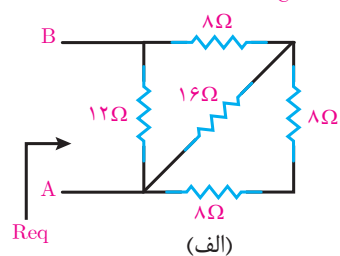
الف)  $V_{AB}$

ب) مقدار  $R$

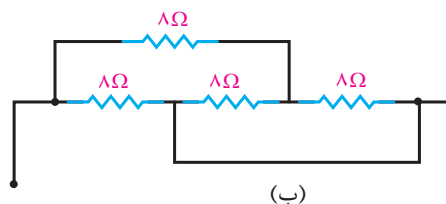
۱۱- شکل زیر بخشی از یک مدار الکتریکی است. توان هر یک از مقاومت های مدار را به دست آورید.



۱۲- مقاومت معادل را در هر یک از شکل های زیر به دست آورید:

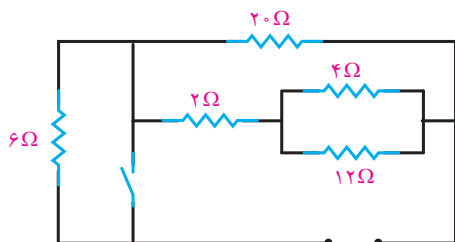


(الف)

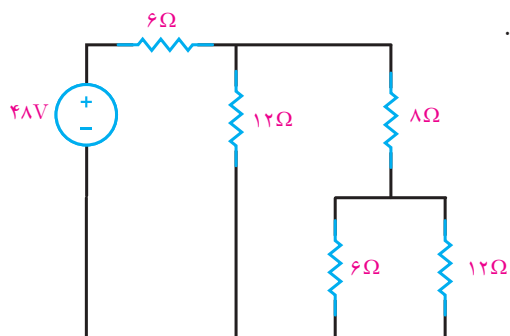


(ب)

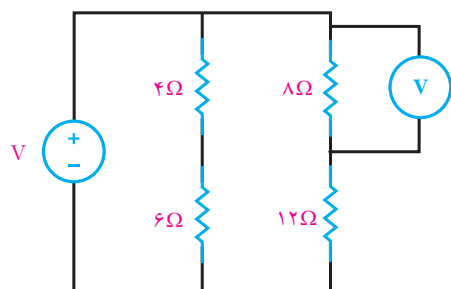
۱۳- در شکل زیر مقاومت معادل را در دو حالت کلید باز و بسته محاسبه کنید.



۱۴- در شکل زیر جریان، ولتاژ و توان هر مقاومت را بیابید.



۱۵- در شکل زیر ولت متر ۳۲ ولت را نشان می دهد مطلوب است:



الف) جریان هر مقاومت

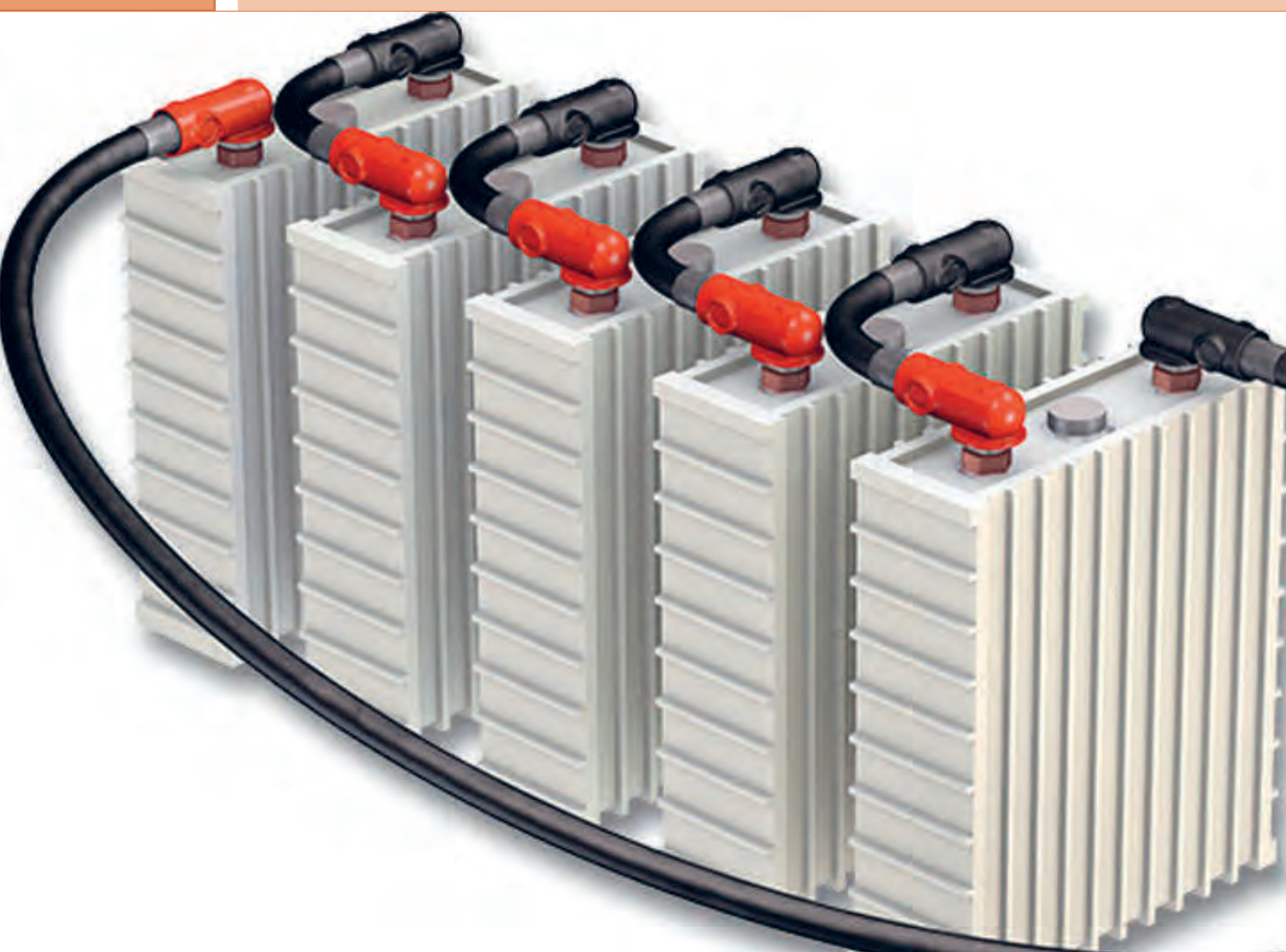
ب) ولتاژ دو سر هر مقاومت

ج) توان کل مدار

۱۶- در یک مدار با فیوز ۱۶ آمپری چند لامپ رشته ای ۱۰۰ وات، ۲۳۰ ولت می تواند روشن باشد؟ اگر در این مدار از یک اتوی ۱۲۰۰ وات استفاده شود چند لامپ می توان روشن کرد؟

واحد یادگیری ۷

اتصال پیل ها



## اتصال باتری‌ها

یکی از منابع تأمین انرژی الکتریکی، باتری‌ها هستند. باتری‌ها انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. نمونه‌ای از باتری‌ها، پیل‌های خشک و تر هستند که در چراغ قوه و اتومبیل به کار می‌روند.

واژه باتری و پیل را معمولاً به جای یکدیگر به کار می‌برند اما این دو از نظر فنی با هم تفاوت دارند. باتری از دو یا چند پیل تشکیل می‌شود که به طور سری یا موازی به هم وصل شده‌اند. به عبارت دیگر، پیل‌ها واحد تشکیل دهنده باتری‌ها هستند. شکل مداری یک پیل به صورت دو خط موازی است که یکی بزرگ‌تر و دیگری کوچک‌تر می‌باشد (شکل ۶۳).



شکل ۶۳

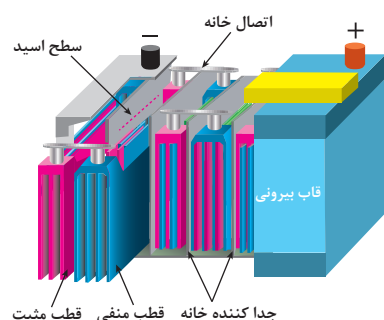
خط بزرگ‌تر را قطب مثبت و خط کوچک‌تر را قطب منفی در نظر می‌گیرند. در شکل ۶۳ اتصال سری و موازی پیل‌ها را مشاهده می‌کنید.



(ب) اتصال موازی

(الف) اتصال سری

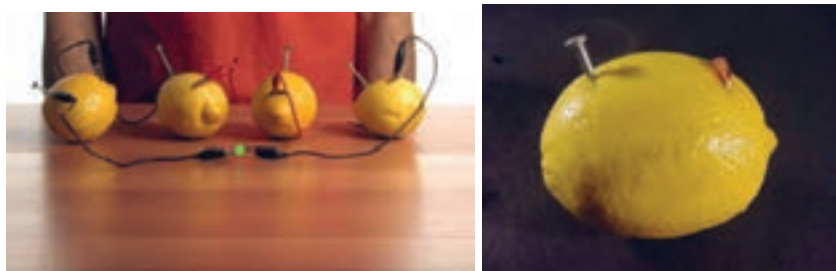
شکل ۶۴



شکل ۶۵

پیل‌های خشک در دو نوع قابل شارژ و غیر قابل شارژ تولید می‌شود. در صورتی که پیل‌های تر معمولاً قابل شارژ هستند. در شکل ۶۵ یک نمونه پیل تر را مشاهده می‌کنید.

از اتصال بعضی از میوه‌ها نیز می‌توان ولتاژ و جریان الکتریکی تولید کرد (شکل ۶۶).

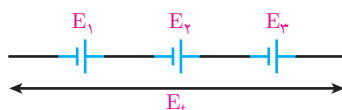


(ب)

(الف)

شکل ۶۶

برای به دست آوردن ولتاژهای بیشتر، چند پیل را با هم سری می‌کنند. برای سری کردن پیل‌ها باید قطب مثبت هر پیل به قطب منفی پیل دیگر اتصال یابد (شکل ۶۷). ولتاژ کل یک باتری در صورت اتصال صحیح با مجموع ولتاژ تک تک پیل‌های سری شده برابر است؛ یعنی:



شکل ۶۷

رابطه ولتاژ کل  $n$  پیل سری شده به صورت زیر است:

$$E_t = E_1 + E_2 + \dots + E_n$$

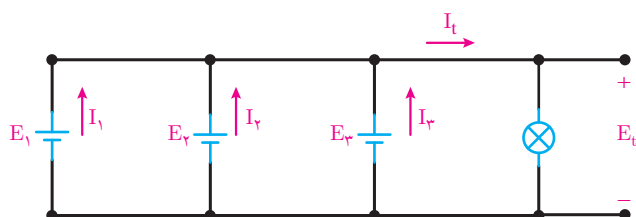
لازم به ذکر است در اتصال سری پیل‌های سری جریان عبوری از مدار یکسان است. در شکل ۶۸ اتصال سری چند پیل را می‌بینید.



شکل ۶۸

برای بالا بردن جریان دهی باتری، پیل‌ها به طور موازی بسته می‌شوند. برای موازی کردن پیل‌ها باید قطب مثبت پیل‌ها را به یکدیگر و قطب منفی آنها را به یکدیگر اتصال داد. در شکل ۶۹ چند پیل موازی به صورت نمای الکتریکی و ظاهری نشان داده شده است.

لازم به توضیح است که در مدار شکل ۶۹ ولتاژ دو سر پیل‌ها باید با هم برابر باشد، اما ظرفیت جریان دهی، متناسب با تعداد پیل‌ها افزایش می‌یابد؛ یعنی:

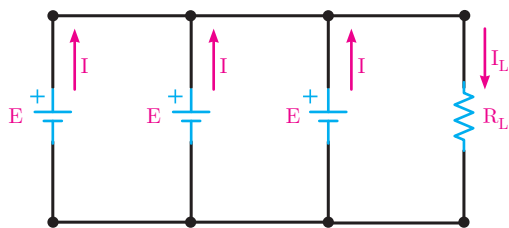


شکل ۶۹

مثال ۴: در مدار شکل ۷۳ ولتاژ و جریان دو سر بار چقدر است؟

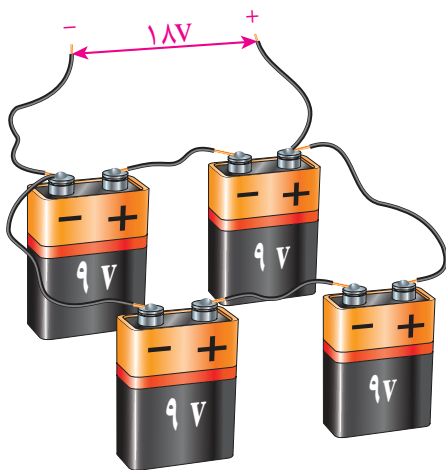
$$V_t = E$$

$$I_L = I + I + I = 3I$$



شکل ۷۳

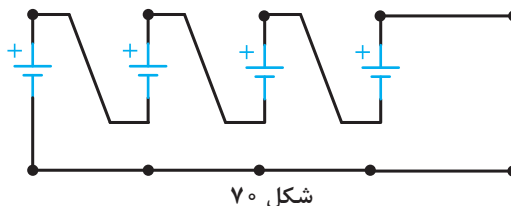
اگر بخواهند ولتاژ باتری و جریان دهی را افزایش دهند، پیل‌های تشکیل دهنده باتری را به طور سری - موازی به هم وصل می‌کنند (شکل ۷۴).



شکل ۷۴

مثال ۱: پیل‌های شکل ۷۰ را طوری وصل کنید که حداکثر ولتاژ از آنها بدست آید.

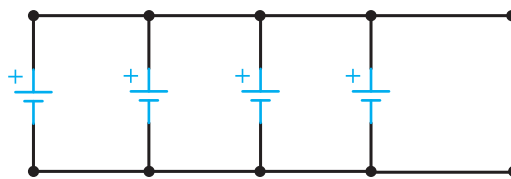
حل:



شکل ۷۰

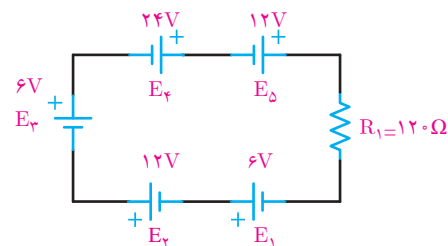
مثال ۲: پیل‌های شکل ۷۱ را برای به دست آوردن حداکثر ظرفیت جریان به یکدیگر اتصال دهید.

حل:



شکل ۷۱

مثال ۳: در مدار شکل ۷۲ ولتاژ و جریان دو سر مصرف کننده چقدر است؟



حل: شکل ۷۲

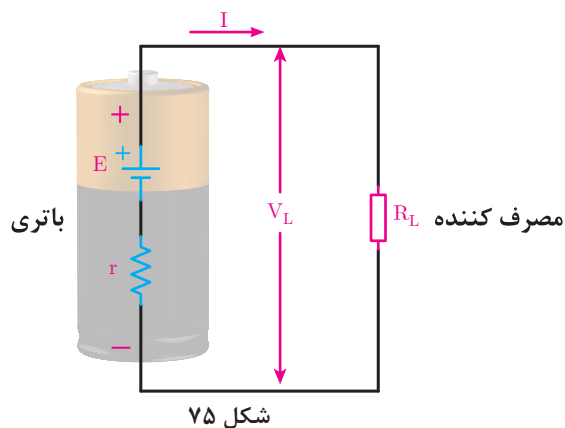
$$E_t = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5$$

$$E_t = 6 + 12 + 6 + 24 + 12 = 60V$$

$$I = \frac{E_t}{R_t} = \frac{60}{120} = 0.5A$$

## مقاومت داخلی پیل‌ها (باتری)

یک مولد (باتری) را در نظر می‌گیریم؛ ابتدا به کمک ولت متر، ولتاژ باتری را اندازه‌گیری کرده و مقدار آن را یادداشت می‌کنیم. سپس باتری را به دو سر یک مقاومت می‌بندیم. بار دیگر ولتاژ دو سر باتری را اندازه‌گیری می‌گیریم و یادداشت می‌کنیم. از مقایسه ولتاژها، متوجه می‌شویم که ولتاژ اندازه‌گیری شده در مرحله دوم از ولتاژ اندازه‌گیری شده در مرحله اول کمتر است؛ در صورتی که انتظار می‌رفت، ولتاژ اندازه‌گیری شده در هر دو مرحله برابر باشد. از این‌رو اختلاف ولتاژ اندازه‌گیری شده را این‌گونه تعبیر می‌کنیم که در داخل مولد (باتری)، مقاومتی وجود دارد که با عبور جریان از آن و افت مقداری



از ولتاژ باتری در دو سر مقاومت، ولتاژ باتری کاهش یافته است. این مقاومت را مقاومت داخلی مولد (باتری) می‌گویند. مقاومت داخل هر باتری از نظر مصرف مانند مقاومتی است که با باتری سری شده است. شکل ۷۵ یک باتری را با مقاومت داخلی نشان می‌دهد. مقاومت داخلی باتری را با حرف  $r$  نمایش می‌دهند که همیشه با مصرف کننده سری می‌شود.

هر چه مقاومت داخلی باتری کوچک‌تر باشد، افت ولتاژ دو سر آن کوچک‌تر است و می‌توان آن را نادیده گرفت. با ضعیف شدن باتری، مقاومت داخلی آن زیاد می‌شود و در نتیجه، ولتاژ و شدت جریان تولیدی باتری را کاهش می‌دهد.

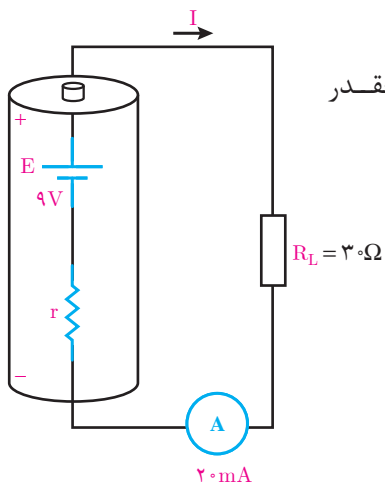
علت کاهش ولتاژ دو سر باتری، همان‌گونه که در مقدمه ذکر شد، این است که مقداری از ولتاژ باتری در دو سر مقاومت داخلی افت می‌کند و بقیه ولتاژ آن به مصرف کننده می‌رسد. در مورد کاهش جریان باتری، چون مقاومت داخلی باتری به مقاومت کل مدار اضافه می‌شود، شدت جریان کاهش می‌یابد، مثلاً برای مدار شکل ۷۵ ولتاژ و جریانی که به مصرف کننده می‌رسد برابر است با:

$$R_t = r + R_L$$

$$I = \frac{E_t}{R_t} = \frac{E_t}{r + R_t}$$

$$V_L = E + V_r = E - IR$$

$E$  ولتاژ باتری،  $V_r$  افت ولتاژ دو سر مقاومت داخلی و  $V_L$  افت ولتاژ دو سر بار یا مصرف کننده است. از روابط گفته شده چنین برمی‌آید که ولتاژی که به مصرف کننده می‌رسد، همیشه به اندازه افت ولتاژ دو سر مقاومت داخلی از ولتاژ باتری کمتر است.



شکل ۷۶

مثال ۵: در مدار شکل ۷۶ مطلوب است محاسبه:

الف) مقدار  $I$  و ولتاژی که به بار می‌رسد  $R_L = 30\Omega$  چقدر است؟

ب) اگر مقدار مقاومت را به  $345\Omega$  اهم افزایش دهیم، ولتاژ دو سر بار و شدت جریان مدار چقدر می‌شود؟

حل : الف  $R_L = 30\Omega$

مقاومت معادل با استفاده از قانون اهم

$$R_t = \frac{E}{I} = \frac{9}{2 \times 10^{-3}} = 450\Omega$$

$$R_t = r + R_L \Rightarrow r = R_t - R_L = 450 - 300 = 150\Omega$$

$$V_L = I.R_L = 20\text{mA} \times 300 = 6\text{V}$$

اگر بار  $R_L = 300\Omega$  باشد از ولتاژ باتری فقط ۶ ولت به بار می‌رسد و ۳ ولت دو سر مقاومت داخلی افت می‌کند.

ب  $R_L = 345\Omega$

با معلوم شدن مقاومت داخلی، مقاومت کل برابر است با :

$$R_t = r + R_L \Rightarrow 150 + 345 = 495\Omega$$

$$I = \frac{E}{R_t} \Rightarrow I = \frac{9}{495} = 18 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$V_L = I.R_L = 18 \times 10^{-3} \times 345 = 6.21\text{V}$$

در این حالت، با اضافه شدن  $R_L$  ولتاژ بیشتری به بار می‌رسد (۶.۲۱۵۷) و ولتاژ کمتری در دو سر مقاومت داخلی افت می‌کند (۰.۳۷۵۷).

نتیجه : اگر مقاومت مصرف کننده نسبت به مقاومت داخلی مولد خیلی بزرگ باشد، از مقاومت داخلی می‌توان صرف نظر کرد.

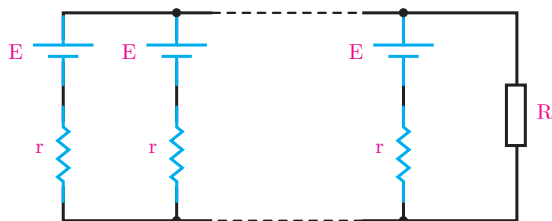
در صورتی که چند باتری کاملاً مشابه بامقاومت داخلی برابر را با مصرف کننده شکل ۷۷ سری یا موازی ببندیم، شدت جریان کل مدار به ترتیب از روابط زیر به دست می آید.



(الف)

$$I = \frac{nE}{nr + R_L}$$

(ب) اتصال موازی باتری ها



(ب)

شکل ۷۷

$$I = \frac{E}{\frac{r}{n} + R_L}$$

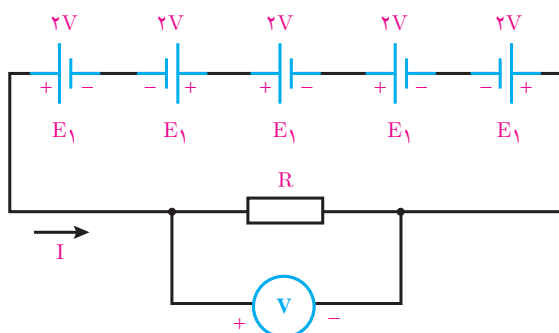
## اتصال متقابل پیل ها

در صورتی که دو یا چند پیل، مطابق شکل ۷۸ به هم اتصال داده شوند، به آن اتصال متقابل می گویند. در این حالت، ولتاژ کل کاهش می یابد؛ زیرا پیل هایی که قطب هایشان به صورت مخالف با بقیه بسته شده است، مانند مصرف کننده عمل می کنند. رابطه ولتاژ کل در این مدار برابر است با تفاوت بین ولتاژهای مخالف و موافق، یعنی:

$$E_t = E_1 - E_2 + E_3 + E_4 - E_5$$

$$E_t = 2 - 2 + 2 + 2 - 2 = 2V$$

رابطه فوق برای پیل های با ولتاژ نابرابر در مدار سری نیز صادق است.



شکل ۷۸

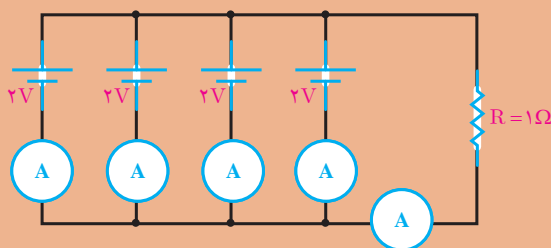
معمولاً پیل هایی را که ولتاژ متفاوت دارند، به صورت موازی و متقابل به یکدیگر اتصال نمی دهند؛ زیرا انرژی الکتریکی پیل های با ولتاژ بالاتر در پیل های با ولتاژ کمتر تخلیه می شوند. اگر باتری ها قابل شارژ باشند باتری ضعیف تر شارژ می شود و اگر باتری ها غیرقابل شارژ باشند انرژی الکتریکی در باتری ضعیف تر به حرارت تبدیل می شوند.



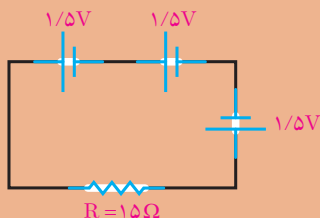
- ۱- پیل را تعریف کنید.
- ۲- باتری را تعریف کنید.
- ۳- چند پیل تر و خشک را نام ببرید.
- ۴- اتصال چند پیل سری را از لحاظ پلاریته (قطب‌های مثبت و منفی) بررسی کنید.
- ۵- در اتصال موازی پیل‌ها شدت جریان کل چگونه تغییر می‌کند؟
- ۶- برای افزایش ولتاژ، پیل‌ها را چگونه اتصال می‌دهند؟
- ۷- مقاومت داخلی پیل چیست و چه تأثیری در مدار دارد؟
- ۸- اتصال متقابل پیل‌ها را با رسم یک شکل شرح دهید.



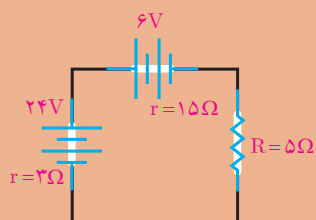
- ۱- برای تأمین ولتاژ ۹ ولت حداقل از چند باتری  $1/5$  ولتی و به چه صورت استفاده می‌کنیم؟
- ۲- برای افزایش میزان جریان دهی یک باتری به ۵ برابر، چند پیل مشابه را به چه صورت باید به یکدیگر اتصال دهید؟
- ۳- در مدار شکل زیر شدت جریان هر پیل و شدت جریان کل را به دست آورید؟



- ۴- در مدار شکل مقابل ولتاژ و جریان کل چقدر است؟



- ۵- در مدار شکل مقابل شدت جریان مدار چقدر است؟





در این پودمان مطالب زیر را فراخواهید گرفت:

۱- جریان متناوب

۲- الکترومغناطیس

۳- قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

۴- قانون لنز

۵- خودالقایی

۶- سلف

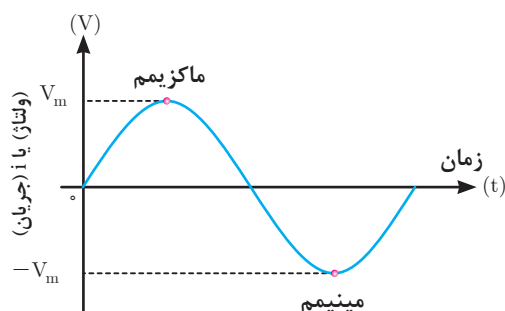
۷- خازن

# واحد یادگیری ۸

## جریان متناوب



## جریان متناوب



شکل ۱

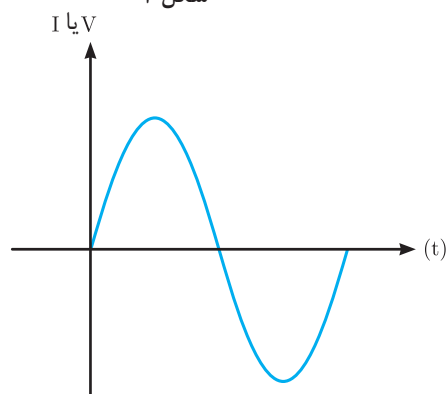
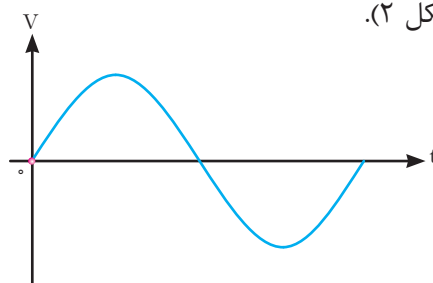
جریان متناوب جریانی است که جهت و مقدار آن در هر لحظه از زمان تغییر می‌کند و دامنه آن نیز نسبت به زمان از صفر تا حداکثر مثبت و از حداکثر مثبت تا صفر و از صفر تا حداکثر منفی و از حداکثر منفی تا صفر تغییر می‌کند. شکل موج متداول جریان متناوب، سینوسی است. در موج سینوسی حداکثر مثبت را ماکزیمم و حداکثر منفی را مینیمم گویند شکل (۱).

## تولید جریان متناوب

تولید جریان متناوب توسط ژنراتورهای جریان متناوب انجام می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲



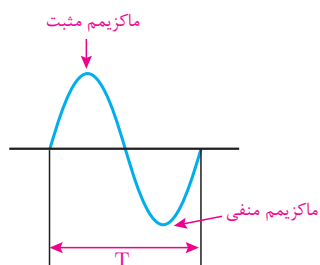
شکل ۳

ژنراتور جریان متناوب از دو قسمت ساکن و متحرک تشکیل شده است. قسمت ساکن را استاتور<sup>۱</sup> و قسمت متحرک را رتور<sup>۲</sup> می‌گویند. انرژی مکانیکی توربین، رتور ژنراتور را می‌گرداند تا ژنراتور انرژی الکتریکی تولید کند. انرژی الکتریکی دارای سه مشخصه (ولتاژ)، (جریان)، (زمان) است (شکل ۳).

مقدار و جهت ولتاژ یا جریان متناوب سینوسی با زمان تغییر می‌کند؛ یعنی از صفر شروع می‌شود و به مقدار پیک یا ماکزیمم مثبت می‌رسد. آنگاه دوباره صفر می‌شود و سپس به

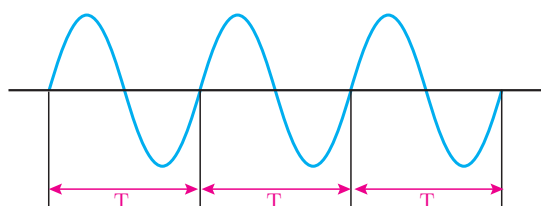
۱ - Stator

۲ - Rotor



شکل ۴

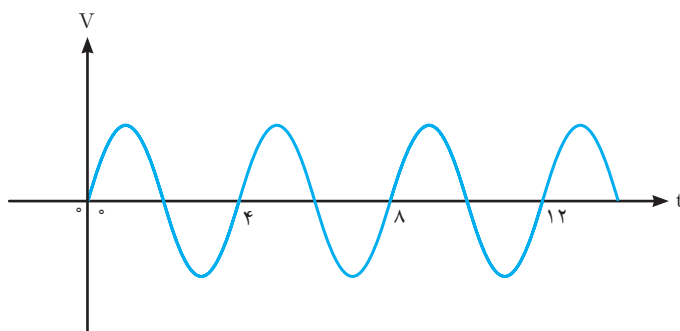
پیک یا ماکزیمم منفی می‌رسد و باز صفر می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، هنگامی که موج سینوسی از صفر می‌گذرد، پلاریته خود را عوض می‌کند. به عبارت ساده‌تر، موج سینوسی بین مقادیر مثبت و منفی تناوب می‌کند. مجموعه‌ای یک تناوب مثبت و منفی را یک سیکل کامل گویند. (شکل ۴).



شکل ۵

زمان تناوب مدت زمان انجام یک سیکل کامل می‌باشد و آن را با حرف  $T$  نشان می‌دهند. واحد زمان تناوب ثانیه است (شکل ۵).

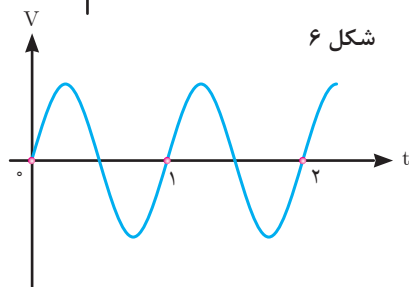
**مثال ۱:** در شکل ۶ زمان تناوب موج سینوسی را به دست آورید.



**حل :** یک سیکل کامل را مشخص می‌کنیم زمان انجام آن را از روی محور زمان به دست می‌آوریم.

$$T = 4 \text{ s}$$

**مثال ۲:** در شکل ۷ سه روش برای اندازه‌گیری زمان تناوب پیدا کنید.



شکل ۶

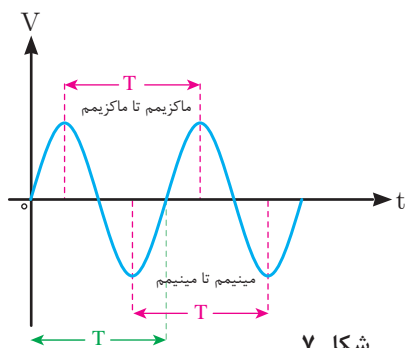
**حل :**

روش اول : زمان تناوب را می‌توان از یکی از صفرها در سیکل اول تا صفر مشابه در سیکل دوم اندازه گرفت. روش دوم: زمان تناوب را می‌توان بین دو پیک (ماکزیمم) مثبت متوالی اندازه گرفت.

روش سوم : زمان تناوب را می‌توان بین دو پیک (ماکزیمم) منفی متوالی اندازه گرفت.

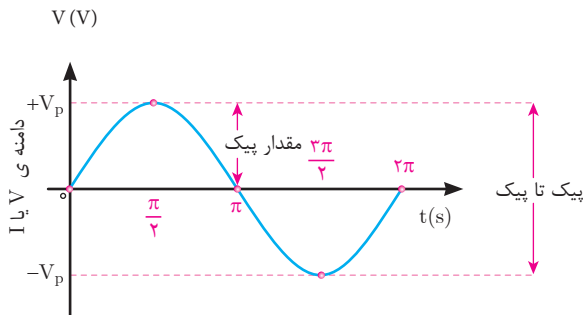
شکل ۷ سه روش اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

زاویه بین ابتدا تا انتهای یک سیکل کامل برابر  $360^\circ$  درجه است. (شکل ۸)



شکل ۷

واحد اندازه‌گیری زاویه علاوه بر درجه رادیان نیز می‌باشد بطوری که هر  $360^\circ$  درجه معادل  $2\pi$  رادیان است یعنی :



شکل ۸

$$360^\circ = 2\pi$$

زاویه بین ابتدا تا انتهای یک سیکل کامل برابر  $2\pi$  رادیان است (شکل ۸). برای تبدیل رادیان و درجه به یکدیگر از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$\frac{D}{360^\circ} = \frac{R}{2\pi}$$

**مثال ۳:** زاویه  $18^\circ$  معادل چند رادیان است؟  
**حل :**

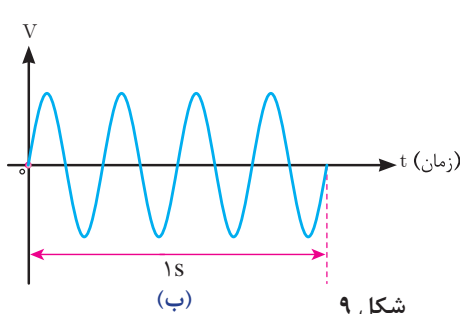
در رابطه روبه‌رو داریم.

$$\begin{aligned} \frac{D}{360^\circ} &= \frac{R}{2\pi} \\ \frac{18^\circ}{360^\circ} &= \frac{R}{2\pi} \\ R &= \frac{2\pi \times 18^\circ}{360^\circ} = \pi [\text{Rad}] \end{aligned}$$

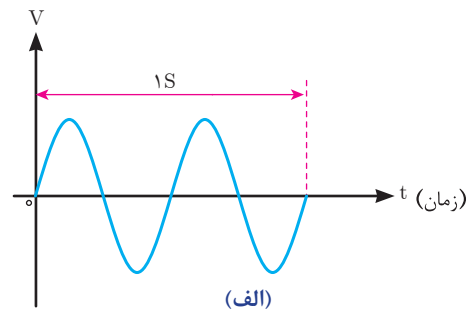
## فرکانس

فرکانس به تعداد سیکل‌هایی که در یک ثانیه انجام می‌گیرد گفته می‌شود و آن را با حرف  $f$  نشان می‌دهند.

واحد فرکانس سیکل بر ثانیه است و با (CPS) نشان می‌دهند و به احترام آقای هرتز آن را با هرتز (HZ) نشان می‌دهند. هرچه تعداد سیکل‌ها در ثانیه بیشتر باشد، فرکانس بیشتر است. شکل ۹ دو موج سینوسی را نشان می‌دهد که موج (الف) دو سیکل و موج (ب) چهار سیکل را در ثانیه طی می‌کنند؛ یعنی، فرکانس موج (الف) ۲ هرتز و فرکانس موج (ب) چهار هرتز است.



شکل ۹



فرکانس برق در ایران ۵۰ هرتز یا ۵۰ CPS است. یعنی ۵۰ سیکل کامل در یک ثانیه انجام می‌شود. فرکانس برق بعضی از کشورها ۶۰ هرتز (۶۰ CPS) است. فرکانس جریان یا ولتاژ را می‌توان، با فرکانس متر (دستگاه اندازه‌گیری فرکانس) اندازه گرفت و با اسیلوسکوپ شکل ۱۰ (دستگاه نمایش شکل موج) پس از نمایش محاسبه کرد. با توجه به مطالب گفته شده، رابطه بین فرکانس و زمان تناوب را می‌توان به صورت زیر نوشت :



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

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

شکل ۱۰

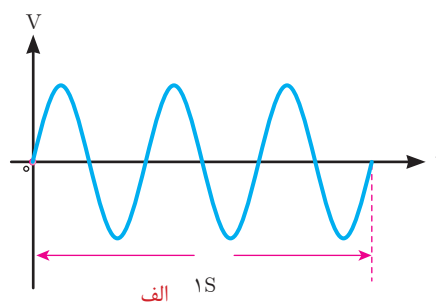
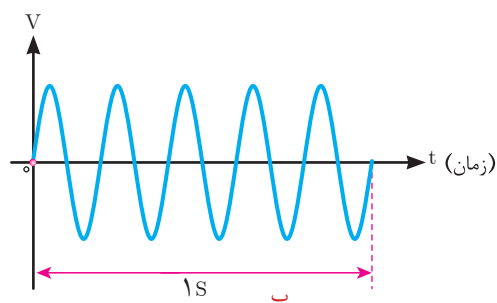
با توجه به این روابط، هر قدر فرکانس زیادتر شود، به همان اندازه زمان تناوب کاهش پیدا می‌کند؛ مثلاً اگر زمان تناوب یک موج، یک ثانیه باشد فرکانس آن یک هرتز و اگر زمان تناوب، ۲ ثانیه شود، فرکانس آن نصف خواهد شد.

**مثال ۴:** با توجه به شکل ۱۱

الف- فرکانس کدام موج بیشتر است ؟

ب- مقادیر زمان تناوب و فرکانس را حساب کنید.

ج- مقدار زاویه در مدت ۱ ثانیه در هر موج چند رادیان است.



شکل ۱۱

**حل:** موج (الف) ۳ سیکل و موج (ب) ۵ سیکل را در ثانیه طی کرده‌اند. پس فرکانس موج (ب) بیشتر است.

موج ب:  $f = 5\text{Hz}$

$$T = \frac{1}{5} = 0.2$$

$$\text{زاویه} = 10\pi [\text{Rad}]$$

موج الف:  $f = 3\text{Hz}$

$$T = \frac{1}{3} = 0.33$$

$$\text{زاویه} = 6\pi [\text{Rad}]$$



شکل ۱۲

در صنعت برای زمان تناوب از واحدهای کوچک تر و برای فرکانس از واحدهای بزرگ تر استفاده می کنند. این واحدها به صورت زیر نوشته می شوند.

$$1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz} \quad \text{یک کیلوهرتز}$$

$$1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz} \quad \text{یک مگاهرتز}$$

$$1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz} \quad \text{یک گیگاهرتز}$$

با دستگاه اسیلوسکوپ می توانید شکل موج فرکانس برق شهر را مشاهده کنید (شکل ۱۲).



**مثال ۵:** اگر زمان تناوب یک موج سینوسی ۱۰ میلی ثانیه باشد، فرکانس آن چقدر است ؟  
حل:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10 \times 10^{-3} \text{ (s)}} = 100 \text{ Hz}$$

**مثال ۶:** فرکانس یک موج سینوسی ۶۰ هرتز است. زمان تناوب آن چقدر است ؟  
حل:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60 \text{ Hz}} = 16.67 \text{ (ms)}$$

## سرعت زاویه‌ای

موج متناوب در هر سیکل  $2\pi$  رادیان را طی می‌کند، لذا مقدار زاویه طی شده در مدت یک ثانیه برابر  $2\pi f$  می‌باشد که آن را سرعت زاویه‌ای گویند و با رابطه زیر نشان می‌دهند:

$$\omega = 2\pi f$$

که در این رابطه:

$\omega$  سرعت زاویه بر حسب [Rad/s]

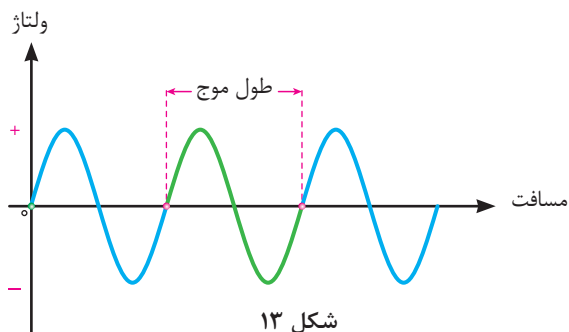
$f$  فرکانس بر حسب [Hz] است.

**مثال ۷:** فرکانس یک موج متناوب سینوسی  $50\text{ Hz}$  می‌باشد سرعت زاویه‌ای آن را به دست آورید:

**حل:** با توجه به رابطه  $\omega = 2\pi f$  داریم:

$$\omega = 2\pi \times 50 = 100\pi = 100 \times 3.14 = 314 \text{ [Rad/s]}$$

## طول موج



طول موج عبارت است از مسافتی که در یک سیکل کامل طی می‌شود (شکل ۱۳).

طول موج با سرعت انتشار موج، نسبت مستقیم و با تغییرات فرکانس، نسبت عکس دارد. طول موج را که با حرف  $\lambda$  (لاندا) نمایش می‌دهند از رابطه زیر به دست می‌آید.

در این رابطه:

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

$\lambda$ : طول موج [m]

$$\left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$V$ : سرعت موج

$f$ : فرکانس موج [Hz] است.

**مثال ۸:** طول موج یک صدا با فرکانس  $100\text{ Hz}$

که به وسیله بلندگویی پخش می‌شود، چقدر است؟ (سرعت صوت  $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  فرض شود)

$$V = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$f = 100 \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{340}{100} = 3.4 \text{ m}$$

**مثال ۹:** طول موج یک موج رادیویی با فرکانس  $3$  گیگا هرتز چقدر است؟

$$V = 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^9} = 0.1 \text{ m}$$

## مقدار متوسط موج متناوب سینوسی

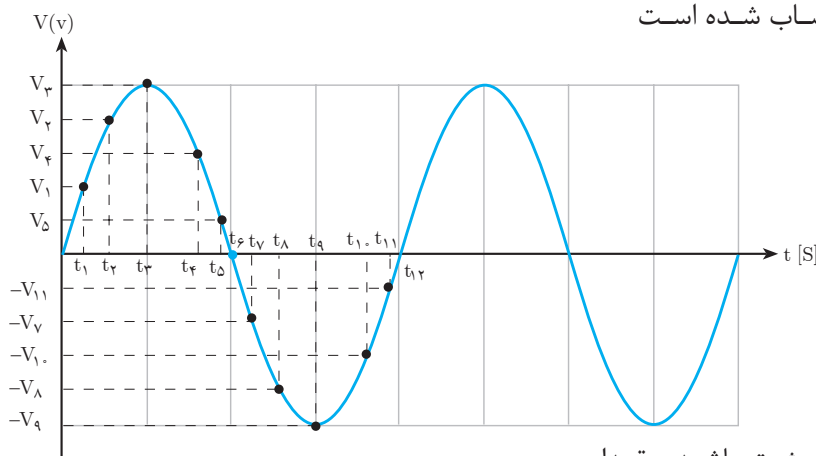
مقدار متوسط یک ولتاژ یا جریان متناوب سینوسی، میانگین مقادیر لحظه‌ای آن موج در یک دوره تناوب است.

برای محاسبه میانگین هر کمیتی باید حاصل جمع مقادیر نقاط مختلف را بر تعداد نقاط آن تقسیم کرد.

به‌طور مثال برای محاسبه میانگین حداقل و حداکثر دمای یک اتاق باید حاصل جمع حداقل دما با حداکثر دمای محیط را جمع و بر ۲ تقسیم کرد و یا برای محاسبه میانگین بین سه عدد ۱۰، ۱۸ و ۱۷ به صورت زیر عمل کرد.

$$\text{میانگین سه عدد} = \frac{۱۰+۱۸+۱۷}{۳}$$

بر همین اساس برای محاسبه دقیق مقدار متوسط یک موج باید مقادیر موج در هر لحظه را با هم جمع و بر تعداد نمونه‌های برداشته شده تقسیم کرد. شکل ۱۴ یک موج سینوسی ولتاژ متناوب را نشان می‌دهد که در هر نیم سیکل به ۶ قسمت تقسیم شده است و مقدار متوسط آن در هر نیم سیکل حساب شده است



شکل ۱۴

هر قدر تعداد قسمت‌ها بیشتر باشد، مقدار میانگین محاسبه شده دقیق‌تر است.

نکته



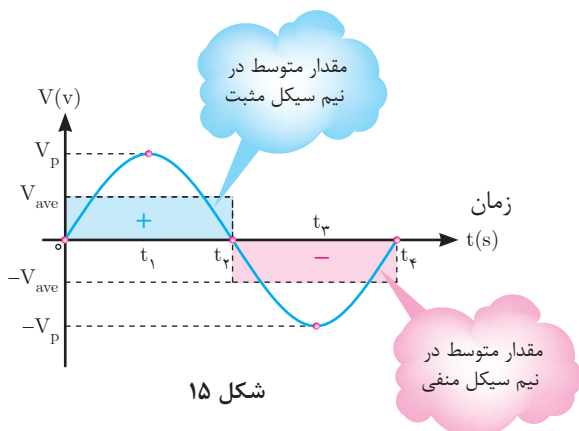
$$V_{ave}^+ = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5}{5}$$

(میانگین مقادیر لحظه‌ای نیم سیکل مثبت)

$$V_{ave}^- = \frac{-V_1 - V_2 - V_3 - V_4 - V_5}{5}$$

(میانگین مقادیر لحظه‌ای نیم سیکل منفی)

مقدار متوسط هر یک از نیم سیکل‌های یک موج سینوسی در شکل ۱۵ نشان داده شده است. مساحت زیر هر نیم سیکل با مساحت مقدار متوسط در همان نیم سیکل برابر است

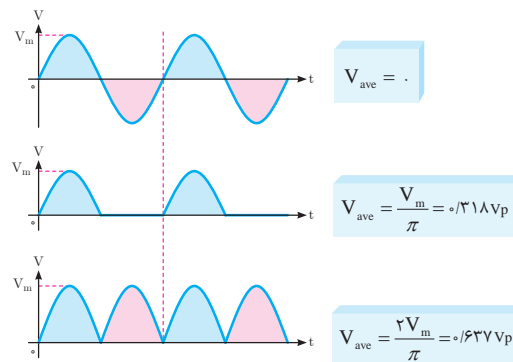


شکل ۱۵

همان طوری که از شکل ۱۶ مشخص است مقدار متوسط در یک سیکل کامل از جمع دو نیم سیکل به دست می‌آید مقدار آن مساوی صفر می‌شود.

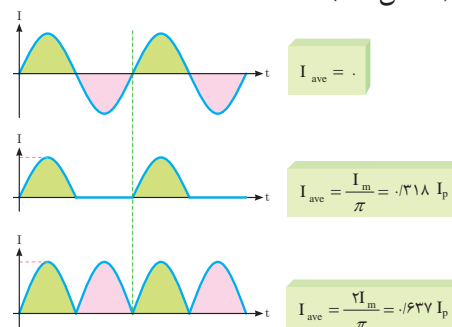
$$V_{av} = V_{av}^+ + V_{av}^- = 0$$

هرگاه موج‌هایی به صورت شکل ۱۶ داشته باشیم و بخواهیم مقدار متوسط هر یک از آنها را حساب کنیم می‌توان از روابط نوشته شده در مقابل آنها استفاده کرد.



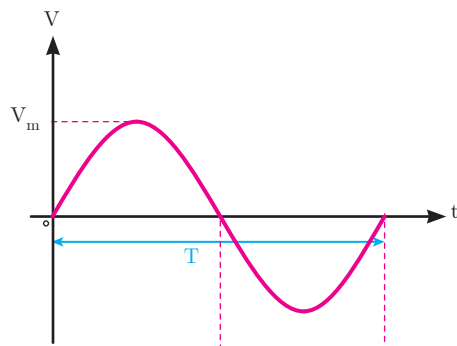
شکل ۱۶

لازم به ذکر است برای محاسبه مقدار متوسط شکل موج جریان نیز به همین ترتیب و بر پایه این روابط می‌توان عمل کرد (شکل ۱۷).



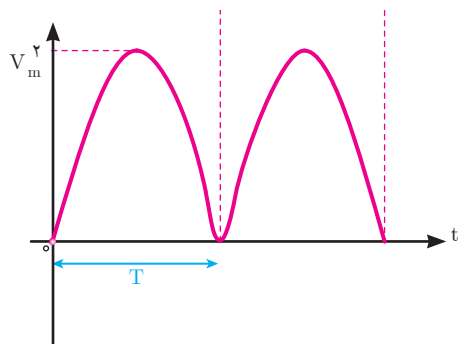
شکل ۱۷

## مقدار مؤثر موج متناوب سینوسی



مقدار مؤثر موج متناوب عبارت از «جذر میانگین مربعات» می‌باشد و آن را با  $rms$  یا  $^{eff}$  نشان می‌دهد. برای تعیین مقدار مؤثر موج متناوب سینوسی شکل ۱۸ ابتدا مقادیر لحظه‌ای موج را به توان دو رسانده تا مقادیر نیم سیکل منفی به مثبت تبدیل شود. شکل ۱۹ سپس میانگین موج محاسبه می‌شود.

شکل ۱۸



شکل ۱۹

چون در ابتدا مقادیر لحظه‌ای موج به توان دو رسیده است از میانگین آن جذر گرفته می‌شود. مقدار مؤثر ولتاژ با شکل موج متناوب سینوسی از رابطه روبه‌رو به دست می‌آید.

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

که در این رابطه :

$V_m$  مقدار ماکزیمم ولتاژ متناوب و

$V_{rms}$  مقدار مؤثر ولتاژ متناوب است.

برای محاسبه مقدار مؤثر جریان با شکل موج متناوب سینوسی نیز از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

که در این رابطه :

$I_m$  مقدار ماکزیمم جریان متناوب

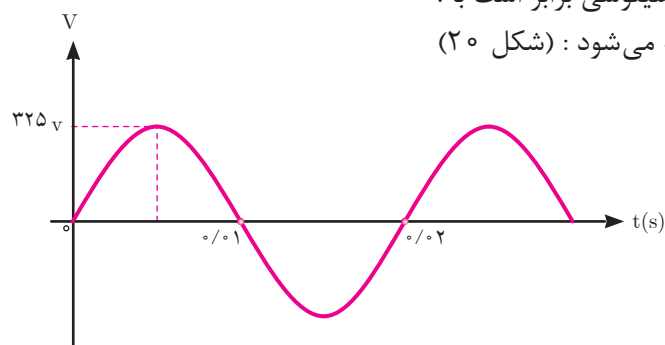
$I_{rms}$  مقدار مؤثر جریان متناوب می‌باشد.

مقدار مؤثر ولتاژ یا جریان متناوب برابر مقدار ولتاژ یا جریان مستقیمی است که در یک مقاومت مشخص در مدت زمان معینی به یک اندازه گرما تولید کند.

**مثال ۱۰:** مقدار مؤثر شکل موج متناوب سینوسی زیر را به دست آورید؟

**حل:** مقدار ماکزیمم با توجه به شکل موج سینوسی برابر است با :

با استفاده از رابطه مقدار مؤثر ولتاژ محاسبه می‌شود : (شکل ۲۰)



شکل ۲۰

$$V_m = 325 \text{ V}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{325}{\sqrt{2}} = 230 \text{ V}$$

**مثال ۱۱:** یک جریان متناوب با شکل موج سینوسی دارای مقدار مؤثر ۵ آمپر می‌باشد مقدار

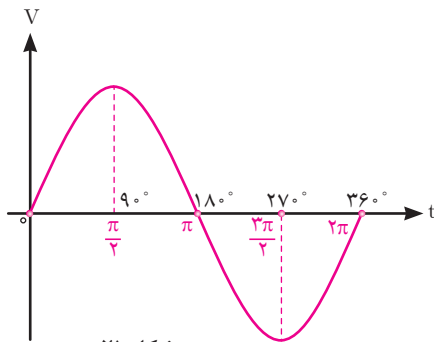
ماکزیمم جریان چند آمپر است؟

**حل:** از رابطه مقدار ماکزیمم جریان محاسبه می‌شود:

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$5 = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$I_m = 5 \times \sqrt{2} = 7 \text{ A}$$



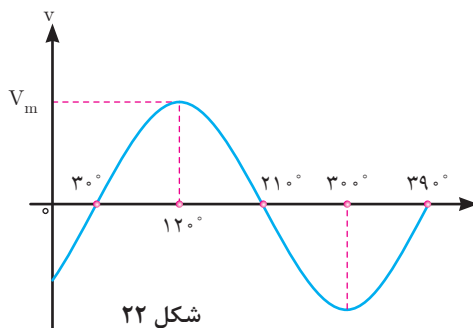
شکل ۲۱

فاز<sup>۱</sup> در لغت به معنی موقعیت می‌باشد. برای یک موج متناوب سینوسی شروع موج، موقعیت یا فاز موج را نسبت به مبدأ دستگاه مختصات نشان می‌دهد. فاز موج سینوسی را با  $\theta$  نشان می‌دهند (شکل ۲۱).

در شکل ۲۱ فاز موج سینوسی صفر است و آن را به صورت  $\theta_V = 0^\circ$  نشان می‌دهند.

در شکل ۲۲ فاز موج سینوسی  $-30^\circ$  درجه است. یعنی  $\theta_V = -30^\circ$  می‌باشد.

و در شکل ۲۳ فاز موج سینوسی  $+60^\circ$  درجه است یعنی  $\theta_V = +60^\circ$  می‌باشد.



شکل ۲۲

در مدارهای الکتریکی اختلاف بین فاز موج سینوسی ولتاژ با فاز موج سینوسی جریان که هم فرکانس هستند را (اختلاف فاز) گویند و با  $(\varphi)$  نشان می‌دهند و به صورت زیر محاسبه می‌شود.

فاز جریان - فاز ولتاژ = اختلاف فاز

$$\varphi = \theta_V - \theta_i$$

که در این رابطه :

$\varphi$  : زاویه اختلاف فاز بین فاز موج سینوسی ولتاژ با فاز

موج سینوسی جریان

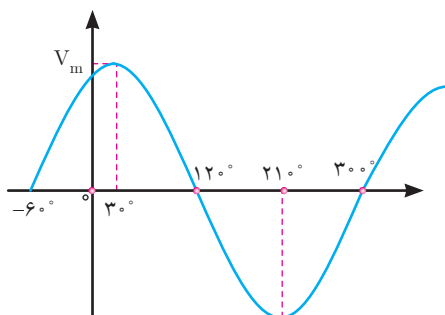
$\theta_V$ : فاز موج سینوسی ولتاژ

$\theta_i$ : فاز موج سینوسی جریان است.

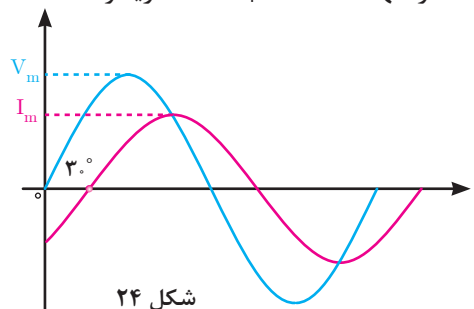
در شکل ۲۴ فاز موج سینوسی ولتاژ  $\theta_V = 0^\circ$

می‌باشد و فاز موج سینوسی جریان  $\theta_i = -30^\circ$  است.

اختلاف فاز آنها  $\varphi = +30^\circ$  است، زیرا :



شکل ۲۳

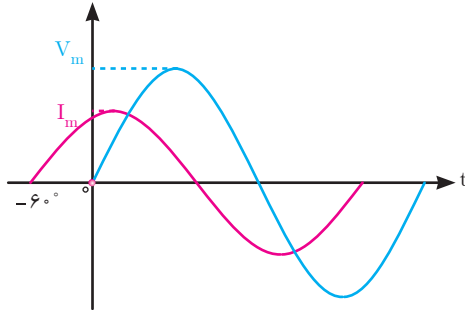


شکل ۲۴

$$\varphi = \theta_V - \theta_i$$

$$\varphi = -(-30^\circ) = +30^\circ$$

این مدار الکتریکی را پس فاز گویند زیرا جریان مدار  $30^\circ$  از ولتاژ مدار عقب تر است. در مدارهای پس فاز  $\phi$  مثبت خواهد شد.



شکل ۲۵

**مثال ۱۲:** اختلاف فاز موج‌های سینوسی شکل ۲۵ را محاسبه کنید.

**حل:** فاز موج سینوسی ولتاژ صفر است یعنی  $\theta_V = 0^\circ$  می‌باشد. فاز موج سینوسی جریان  $60^\circ +$  است یعنی  $\theta_i = 60^\circ +$  می‌باشد. از رابطه اختلاف فاز بدست می‌آید:

$$\begin{aligned}\phi &= \theta_V - \theta_i \\ \theta_V &= 0^\circ \\ \theta_i &= 60^\circ + \\ \phi &= 0^\circ - (60^\circ +) = -60^\circ\end{aligned}$$

این مدار الکتریکی را «پیش‌فاز» گویند زیرا جریان مدار  $60^\circ$  از ولتاژ مدار جلوتر است. در مدارهای پیش فاز  $\phi$  منفی خواهد شد.

## معادله زمانی موج

معادله زمانی موج سینوسی رابطه بین کمیت‌های «مقدار ماکزیمم»، «سرعت زاویه‌ای»، «فاز» موج سینوسی را نشان می‌دهد. معادله زمانی موج سینوسی ولتاژ متناوب به صورت زیر است.

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + \theta_V)$$

که در این رابطه :

$v(t)$  مقدار لحظه‌ای ولتاژ در لحظه  $t$  بر حسب ولت

$V_m$  مقدار ماکزیمم ولتاژ بر حسب ولت

$\omega$  سرعت زاویه‌ای بر حسب رادیان بر ثانیه  $\left[\frac{\text{Rad}}{\text{s}}\right]$

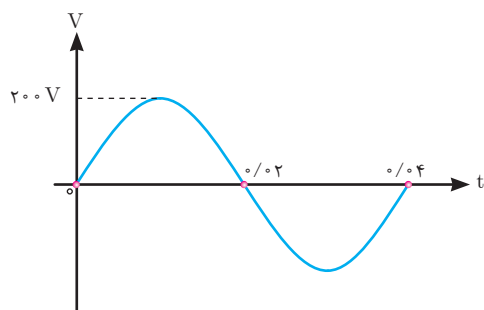
$\theta_V$  فاز موج سینوسی ولتاژ بر حسب درجه یا رادیان است.

کمیت‌های معادله زمانی  $v(t) = 100 \sin(100\pi t + 0^\circ)$  برابر است با :

$$V_m = 100 [V]$$

$$\omega = 100\pi \left[\frac{\text{Rad}}{\text{s}}\right]$$

$$\theta_V = 0^\circ$$



شکل ۲۶

مثال ۱۳: معادله زمانی موج سینوسی شکل ۲۶ را بنویسید.

حل:

با توجه به شکل می توان نوشت:

$$\theta_v = 0^\circ$$

$$T = 0.4 \text{ [s]}$$

$$V_m = 200 \text{ [V]}$$

از رابطه سرعت زاویه ای  $\omega$  حساب می شود:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0.4} = 5\pi \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

معادله زمانی موج سینوسی به صورت زیر است :

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + \theta_v)$$

با جایگذاری کمیت های آن معادله زمانی موج سینوسی به دست می آید:

$$v(t) = 200 \sin(5\pi t + 0)$$

معادله زمانی موج سینوسی جریان نیز مشابه معادله زمانی موج سینوسی ولتاژ به صورت زیر نوشته می شود.

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \theta_i)$$

که در این رابطه:

$i(t)$  مقدار لحظه ای جریان در لحظه  $t$  بر حسب آمپر

$I_m$  مقدار ماکزیمم جریان بر حسب آمپر

$\omega$  سرعت زاویه ای بر حسب رادیان بر ثانیه

$\theta_i$  فاز موج سینوسی جریان بر حسب درجه یا رادیان است.

پرسش

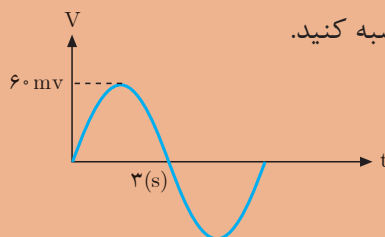


- ۱- هر يك از مفاهيم زير را تعريف كنيد.  
ولتاژ متناوب، فرکانس، زمان تناوب، مقدار مؤثر و متوسط يك موج سینوسی.
- ۲- مقدار ولتاژ ماکزیمم يك موج سینوسی برابر با يك ولت است مقدار مؤثر، ولتاژ را به دست آورید.
- ۳- با رسم سه موج سینوسی، اختلاف زاویه آنها را كه اولی نسبت به دومی  $30^\circ$  درجه جلوتر و دومی نسبت به سومی  $45^\circ$  درجه جلوتر است، نشان دهید.
- ۴- زاویه فاز  $90^\circ$  درجه برابر با چند رادیان است؟

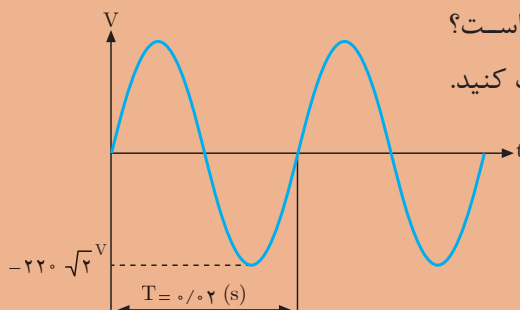
تمرین



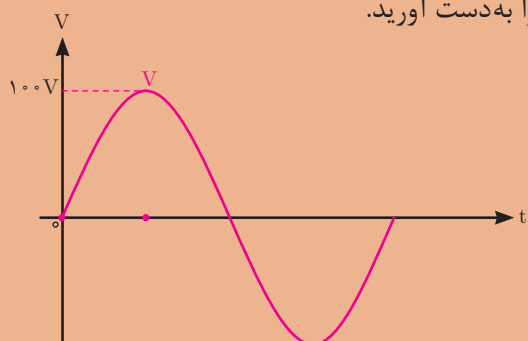
- ۱- منبع ولتاژ  $220$  ولت AC را به يك مقاومت  $20$  اهمی اتصال داده ایم:  
الف) مقدار جریان rms در مقاومت را محاسبه كنید.  
ب) اگر  $\omega = 100$  رادیان بر ثانيه باشد، فرکانس جریان برق چقدر است؟  
پ) چه مقدار ولتاژ (dc) مورد نیاز است تا معادل ولتاژ مؤثر در این مقاومت حرارت تولید شود؟
- ۲- فرکانس امواج متناوب سینوسی زیر چقدر است؟  
الف) ده سیكل در ثانيه  
ب) يك سیكل در ثانيه  
پ)  $50$  سیكل در يك ثانيه  
ت)  $50$  سیكل در  $5$  ثانيه
- ۳- زمان تناوب را برای فرکانس های زیر محاسبه كنید.  
الف)  $500$  هرتز (HZ)      ب)  $5$  مگا هرتز (MHZ)      پ)  $5$  گیگاهرتز (GHZ)
- ۴- در شكل زیر مقادیر  $V_{rms}$ ، زمان تناوب و فرکانس را محاسبه كنید.



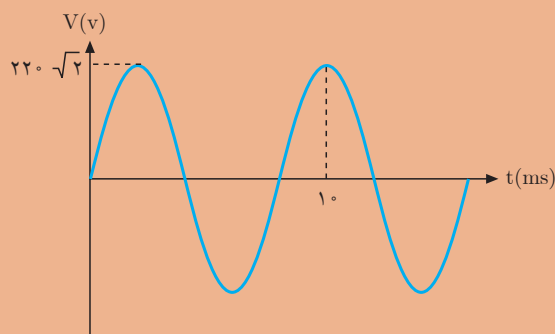
- ۵- جریانی به معادله  $i(t) = 10 \sin(100\pi t + 0^\circ)$  از يك مقاومت  $10$  اهمی عبور می كند. ولتاژ دو سر مقاومت چند ولت است؟
- ۶- مقدار ولتاژ منحنی شكل زیر را در  $\frac{T}{4}$  حساب كنید.  
فرکانس و مقدار مؤثر آن چقدر است؟



۷- مقدار مؤثر ولتاژ موج متناوب شکل مقابل را به دست آورید.



۸- ولتاژ متناوب سینوسی شکل زیر یک مقاومت الکتریکی  $5\Omega$  را تغذیه می کند. مطلوب است محاسبه:



الف) سرعت زاویه ای، فرکانس، زمان تناوب.

ب) ولتاژ rms.

ج) جریان عبوری از مقاومت الکتریکی.

۹- در یک مصرف کننده الکتریکی فاز موج سینوسی ولتاژ  $\theta_v = 0^\circ$  و فاز موج سینوسی جریان  $\theta_i = -60^\circ$  می باشد. مطلوب است محاسبه:

الف) اختلاف فاز ولتاژ و جریان

ب) مدار پس فاز است یا پیش فاز؟ چرا؟

ج) شکل موج سینوسی جریان و ولتاژ را رسم کنید.

۱۰- معادله زمانی موج سینوسی ولتاژ و جریان مصرف کننده ای به صورت

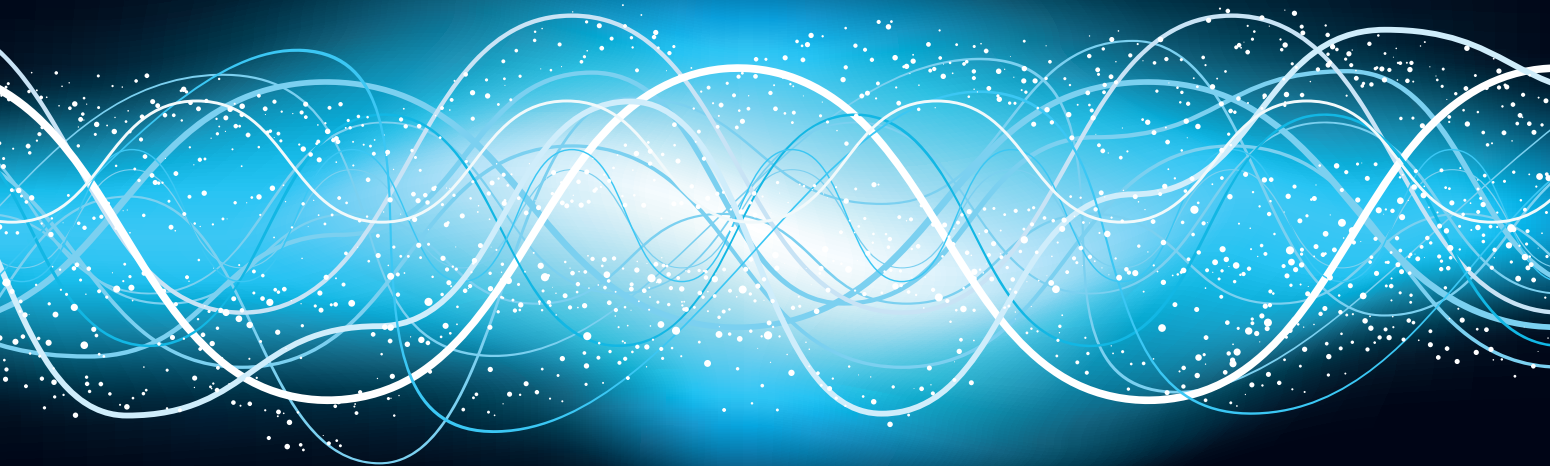
$v(t) = 220\sqrt{2} \sin(100\pi t + 0)$  و  $i(t) = 5\sqrt{2} \sin(100\pi t + 0)$  می باشد. مطلوب است محاسبه:

الف) اختلاف فاز ولتاژ و جریان.

ب) سرعت زاویه ای، فرکانس و زمان تناوب موج ولتاژ.

واحد یادگیری ۹

الکترومغناطیس



در جهان امروز، بشر به طرز عجیبی به الکتریسیته وابسته می‌باشد و بدون آن، زندگی بشر متمدن تقریباً غیرممکن است. اما باید خاطر نشان ساخت که پدیده مغناطیس نیز نقش بسیار عمده‌ای در زندگی بشر ایفا می‌کند. بدون پدیده مغناطیس لوازم الکتریکی و الکترومکانیکی از قبیل موتورهای الکتریکی، ترانسفورمرها و ژنراتورها دستگاه‌های اندازه‌گیری آنالوگ قادر به کار نخواهند بود. به‌طور کلی می‌توان گفت با آنکه بشر به الکتریسیته وابستگی شدید پیدا کرده است ولی در بیشتر موارد بدون پدیده مغناطیس قادر به استفاده از الکتریسیته نخواهد بود و بدون پدیده مغناطیس زندگی بشر متمدن غیرممکن خواهد بود.

در سال ۱۸۲۰ میلادی فیزیکدان دانمارکی به نام اورستد<sup>۱</sup> برای اولین بار متوجه شد که جریان الکتریکی می‌تواند آثار مغناطیسی به‌وجود آورد. این کشف مهم دو علم الکتریسیته و مغناطیس را به یکدیگر مربوط ساخت. برای تشریح رابطه بین جریان الکتریکی و مغناطیس نظریه‌ای به‌وجود آمده است که به آن نظریه الکترومغناطیس<sup>۲</sup> می‌گویند. تأثیر میدان مغناطیسی اطراف یک هادی حامل جریان بر عقربه قطب‌نما در شکل (۲۷) نشان داده شده است.



شکل ۲۷

مشاهده می‌شود عقربه قطب‌نما، عمود بر هادی جریان قرار می‌گیرد. وقتی جهت جریان الکتریکی در هادی تغییر داده شود عقربه و جهت آن نیز تغییر می‌کند. یکی از حوزه‌هایی که انتظار می‌رود فناوری نانو اثر فراوانی بر پیشرفت آن داشته باشد، مغناطیس‌ها و مواد مغناطیسی است. با ورود فناوری نانو به علم و صنعت مغناطیس، بهبود زیادی در کیفیت مغناطیس‌ها ایجاد شده است و مغناطیس‌هایی با ابعاد کوچک و نیروی مغناطیسی بزرگ ساخته شده‌اند.

۱- Oersted

۲- Electro Magnets

فناوری نانو در برق در چه زمینه هایی نوآوری داشته است؟

تحقیق کنید

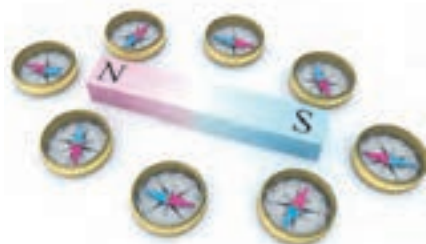


### هانس کریستن اوستد

داروساز، فیزیک‌دان و اندیشمند نابغه دانمارکی در سال ۱۷۷۷ دیده به جهان گشود. پدرش داروخانه داشت، بنابراین او در کودکی با بسیاری از مواد آشنایی پیدا کرد که این آشنایی سبب تحصیل در همین رشته شد. وی در سال ۱۷۹۹ در سن ۲۲ سالگی به اخذ درجه دکترا در داروشناسی نایل گردید. و در سال ۱۸۰۶ با سمت استاد عالی استخدام شد و در سال ۱۸۲۹ به ریاست مؤسسه پلی‌تکنیک کپنهاگن منصوب گردید.

### میدان مغناطیسی

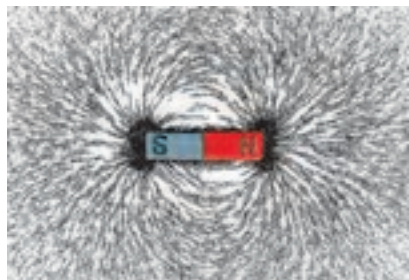
در فضای اطراف یک آهنربا یا مغناطیس طبیعی خاصیتی وجود دارد که ذرات آهن را به خود جذب می‌کند به این فضا «میدان مغناطیسی»<sup>۱</sup> می‌گویند.



شکل ۲۸

میدان مغناطیسی بر قطب‌نما تأثیر می‌گذارد و باعث انحراف آن می‌شود پس با حرکت دادن یک قطب‌نما در اطراف یک آهنربا می‌توان به وجود میدان مغناطیسی پی برد شکل (۲۸).

با قرار دادن یک مقوا بر روی یک آهنربا و پاشیدن براده‌های آهن به روی مقوا می‌توان خطوط نیروی میدان مغناطیسی را مشاهده کرد شکل (۲۹).



شکل ۲۹

هر خط نیروی میدان مغناطیسی را یک ماکسول<sup>۲</sup> (max) می‌گویند.

<sup>۱</sup>-Magnetic field

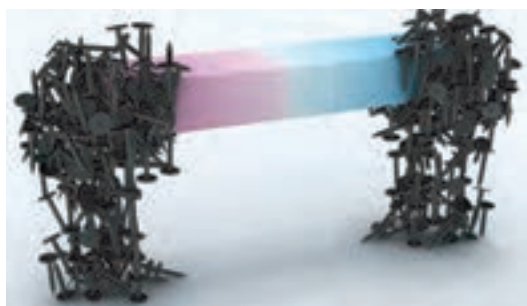
<sup>۲</sup>-Max Well

## ماکسول



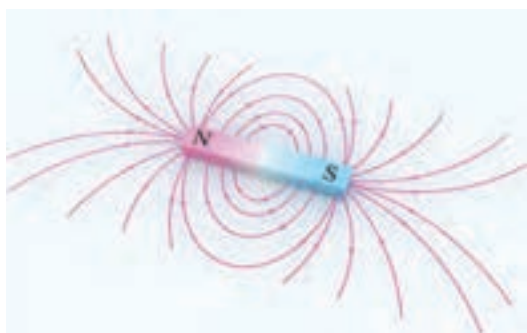
جیمز کلارک ماکسول در ۱۳ نوامبر سال ۱۸۳۱ در ادینبرای اسکاتلند متولد شد از کودکی به ریاضیات و فیزیک علاقه فراوان داشت در سال ۱۸۴۷ وارد دانشگاه ادینبرا شد و در ۱۸۵۰ به دانشگاه کمبریج رفت و در سال ۱۸۵۴ از تحصیل فراغت یافت.

ماکسول از سال ۱۸۵۶ تا ۱۸۶۵ استاد کالج مارشال در آبردین و کالج کینگ لندن بود، وی در سال ۱۸۷۳ کتابی به نام دوره الکتریسیته و مغناطیس منتشر کرد و بلافاصله به سمت استاد کرسی فیزیک دانشگاه انتخاب شد.



شکل ۳۰

خطوط نیروی میدان مغناطیسی در دو نقطه معین از میدان مغناطیسی دارای فشردگی بیشتری نسبت به سایر نقاط است این نقاط را قطب‌های مغناطیسی<sup>۱</sup> می‌نامند و با حروف  $N$  و  $S$  آنها را نشان می‌دهند. اثر جذب در قطب‌های میدان مغناطیسی بسیار قوی‌تر از سایر نقاط میدان مغناطیسی است (شکل ۳۰).



خطوط نیروی میدان مغناطیسی هیچگاه یکدیگر را قطع نمی‌کنند. بنا به قرارداد از قطب  $N$  بیرون می‌آیند و پس از امتداد در فضای اطراف آهنربا به قطب  $S$  وارد می‌شوند (شکل ۳۱).

در شکل خطوط نیروی میدان مغناطیسی اطراف یک آهنربا نمایش داده شده است.

شکل ۳۱- خطوط نیروی میدان مغناطیسی

<sup>۱</sup>-Magnetic poles

## فوران مغناطیسی

به مجموع خطوط نیروی میدان مغناطیسی اطراف یک مغناطیسی یا آهنربا «فوران» یا «شار مغناطیسی»<sup>۱</sup> می‌گویند و آن را با  $\Phi$  نشان می‌دهند.<sup>۲</sup>

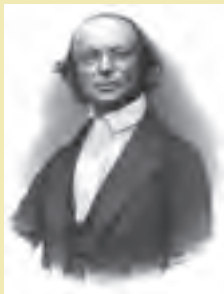
واحد فوران مغناطیسی ولت.ثانیه ( $v.sec$ ) است که اصطلاحاً به آن وِبر  $wb$  می‌گویند. یک وِبر<sup>۳</sup> برابر با  $10^8$  خط نیروی میدان مغناطیسی یا ماکسول است. پس:

$$1[v.sec] = 1[w.b] = 10^8 [max]$$

واحد رایج فوران مغناطیسی وِبر  $wb$  است و واحد کوچک‌تر آن میلی وِبر  $mwb$  می‌باشد. یک وِبر برابر با  $10^3$  میلی وِبر است. یعنی:

$$1[w.b] = 10^3 [mwb]$$

### ویلهلم وِبر



ویلهلم وِبر در سال ۱۷۹۵ میلادی در آلمان به دنیا آمد. وی فیزیکدان بود که شهرت‌اش به مطالعات در زمینه مغناطیس مربوط می‌شود. وِبر در سال ۱۸۷۸ میلادی دیده از جهان فرو بست.

دیدگاه‌های دانشمندان در قرن هجدهم در مورد ولتاژ مستقیم و متناوب چه تفاوت‌هایی با یکدیگر دارد؟

تحقیق کنید



$$\frac{1wb}{\phi} = \frac{10^3 mwb}{2/5 mwb}$$

$$\phi = \frac{2/5 \times 1}{10^3}$$

$$\phi = 2/5 \times 1 \times 10^{-3}$$

$$\phi = 2/5 \times 10^{-3} [wb]$$

مثال ۱: فوران مغناطیسی یک آهنربا  $2/5$  میلی وِبر است. فوران این آهنربا چند ماکسول  $max$  است؟

حل:

- با استفاده از تناسب، واحد فوران به وِبر تبدیل می‌شود.  
- یک وِبر برابر با  $10^8$  خط نیروی میدان مغناطیسی یا ماکسول  $max$  است.

<sup>۱</sup>-Magnetic Flux

<sup>۲</sup>- در برخی کتب آن را Flow می‌نامند.

<sup>۳</sup>-Weber

$$\frac{1 \text{ wb}}{2/5 \times 10^{-3}} = \frac{10^8 \text{ max}}{\varphi}$$

$$\varphi = \frac{2/5 \times 10^{-3} \times 10^8}{1}$$

$$\varphi = 2/5 \times 10^{-5} = 250000 [\text{max}]$$

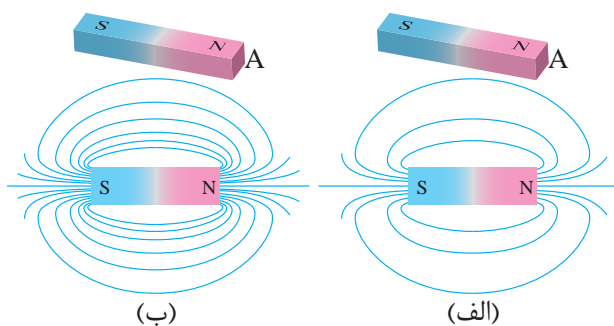
یا به عبارتی در اطراف این آهنربا  $250000$  خط نیروی میدان مغناطیسی وجود دارد.

### نیکولا تسلا



نیکولا تسلا در سال ۱۸۵۶ در امپراتوری اتریش - مجارستان متولد شد او پیشگام تولید، انتقال و استفاده از جریان الکتریکی متناوب شد. در سال ۱۸۸۸ شرکت وستینگهاوس امتیاز تسلا شامل موتور و ژنراتور الکتریکی را خرید و این شرکت از سیستم جریان متناوب تسلا برای روشنایی استفاده کرد. تسلا در طی زندگی اش یک میراث حقیقی از اختراعات به جای گذاشت از جمله انتقال انرژی الکتریکی از طریق امواج الکترومغناطیسی که امروزه هنوز جذاب هستند. به افتخار او نام واحد چگالی شار مغناطیسی تسلا می باشد.

### چگالی فوران مغناطیسی



شکل ۳۲

دو آهنربا با ابعاد مشابه و فوران های  $1000$  و  $2000$  ماکسول که سطح مقطع قطب آنها با  $A$  مشخص می باشد در شکل نشان داده شده است. میدان مغناطیسی آهنربای شکل ۳۲-الف در سطح مقطع قطب خود  $1000$  و میدان مغناطیسی آهنربای شکل ۳۲-ب در سطح مقطع خود  $2000$  خط نیرو جای داده است. سطح مقطع قطب  $A$  هر دو آهنربا برابر است، اما آهنربای شکل خطوط نیروی مغناطیسی یا فوران مغناطیسی بیشتری در سطح مقطع قطب  $A$  خود جای داده است. به

عبارتی فوران مغناطیسی در سطح مقطع قطب A آهنربای شکل ۳۲- ب نسبت به شکل ۳۲- الف فشرده و متراکم‌تر می‌باشد، لذا میدان مغناطیسی آن قوی‌تر است. در واقع میدان مغناطیسی این دو آهنربا با یکدیگر تفاوت دارند. برای نشان دادن این تفاوت کمیتی به نام «چگالی فوران مغناطیسی»<sup>۱</sup> تعریف می‌شود و آن را با B نشان می‌دهند.

چگالی فوران مغناطیسی B کمیتی است که تراکم یا فشردگی خطوط میدان مغناطیسی در سطح مقطع A را نشان می‌دهد. اگر سطح مورد نظر واحد انتخاب شود، «فوران عبوری از واحد سطح را چگالی فوران مغناطیسی» تعریف می‌کنند.

چگالی فوران مغناطیسی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$B = \frac{\phi}{A}$$

در این رابطه:

$\phi$  فوران مغناطیسی بر حسب وبر  $wb$

A مساحت مقطعی که فوران مغناطیسی  $\phi$  از آن می‌گذرد بر حسب مترمربع  $m^2$

B چگالی فوران مغناطیسی بر حسب وبر بر مترمربع  $\left[\frac{wb}{m^2}\right]$  است.

واحد چگالی فوران مغناطیسی B وبر بر مترمربع  $\left[\frac{wb}{m^2}\right]$  است که اصطلاحاً به آن تسلا<sup>۲</sup> [T] می‌گویند و واحد کوچک‌تر آن ماکسول بر سانتی‌مترمربع  $\left[\frac{max}{cm^2}\right]$  است که اصطلاحاً به آن گاوس<sup>۳</sup> [G] گفته می‌شود. پس:

$$1 \left[\frac{wb}{m^2}\right] = 1 T = 10^4 [G]$$

**مثال ۲:** آهنربایی با فوران مغناطیسی  $2 \text{ mwb}$  مطابق شکل ۳۳ در نظر است. چگالی فوران مغناطیسی در سطح مقطع A هسته چند گاوس می‌باشد؟ در صورتی که  $a = 10 \text{ mm}$  و  $b = 20 \text{ mm}$  باشد.

**حل:**

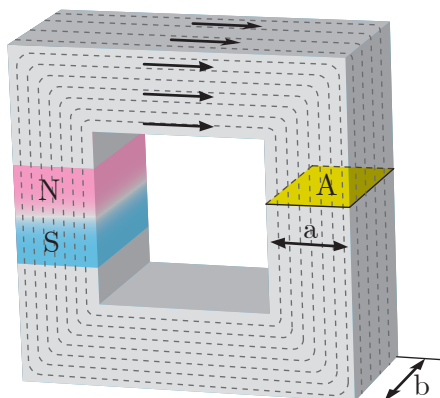
- سطح مقطع A برابر است با:

$$A = a.b = 10 \times 20 = 200 \left[mm^2\right]$$

- واحد سطح مقطع به متر مربع تبدیل می‌شود:

$$\frac{1m^2}{A} = \frac{10^6 mm^2}{200 mm^2}$$

$$A = \frac{200 \times 1}{10^6} = 200 \times 10^{-6}$$



شکل ۳۳

- واحد فوران مغناطیسی به وبر تبدیل می‌شود:

$$\frac{1 \text{ wb}}{\varphi} = \frac{10^3 \text{ mwb}}{0.02 \text{ mwb}}$$

$$\varphi = \frac{0.02 \times 1}{10^3} = 0.02 \times 10^{-3} = 2 \times 10^{-5} [\text{wb}]$$

- از رابطه زیر چگالی فوران مغناطیسی به دست می‌آید:

$$B = \frac{\varphi}{A} = \frac{2 \times 10^{-5}}{2 \times 10^{-4}} = 0.1 \left[ \frac{\text{wb}}{\text{m}^2} \right] = 0.1 [\text{T}]$$

- واحد چگالی فوران مغناطیسی به گاوس تبدیل می‌شود:

$$\frac{1 \text{ T}}{0.1 \text{ T}} = \frac{10^4 \text{ G}}{B}$$

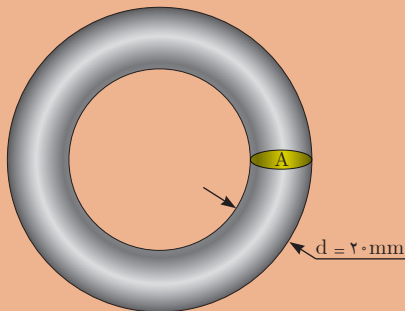
$$B = \frac{0.1 \times 10^4}{1} = 0.1 \times 10^4 = 1000 [\text{G}]$$

تمرین



۱- یک آهنربا ۴۰۰۰۰۰ خط نیروی میدان مغناطیسی دارد. فوران این آهنربا چند میلی وبر است؟

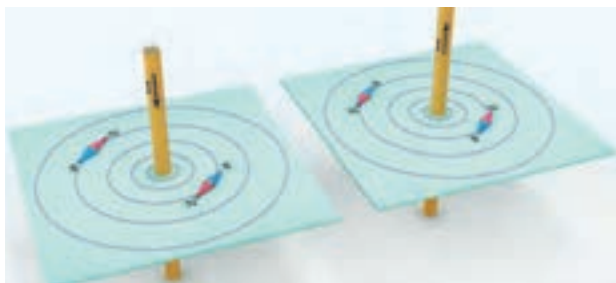
۲- آهنربایی با چگالی فوران مغناطیسی ۱۰۰۰۰ G مطابق شکل (۳۴) در نظر است. فوران مغناطیسی در سطح مقطع A هسته چند میلی وبر است.



شکل ۳۴

## میدان مغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی

جریان الکتریکی، میدان مغناطیسی تولید می‌کند. اورستد اولین کسی بود که به بررسی ارتباط بنیادی میان جریان الکتریکی و مغناطیس پرداخت و نظریه الکترومغناطیس را ارائه کرد. وی برای تشریح این نظریه با قرار دادن یک عقربه مغناطیسی در تمام نقاط مختلف اطراف یک هادی حامل جریان مطابق شکل ۳۵ مشاهده کرد عبور جریان الکتریکی باعث انحراف عقربه مغناطیسی می‌شود. و با تغییر جهت جریان الکتریکی در هادی جهت عقربه‌های مغناطیسی تغییر می‌کند.



شکل ۳۵

جهت میدان الکترومغناطیسی به جهت جریان الکتریکی بستگی دارد.

### جهت میدان الکترومغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی

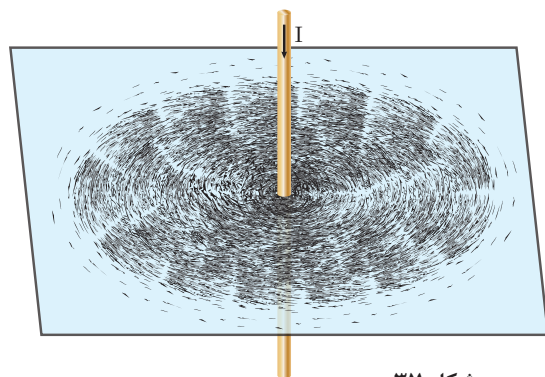
برای تعیین جهت میدان الکترومغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی علاوه بر استفاده از عقربه مغناطیسی مطابق شکل ۳۶ می‌توان از قانون شست<sup>۱</sup> نیز استفاده کرد. برای این منظور مطابق شکل ۳۶ باید شست



شکل ۳۶

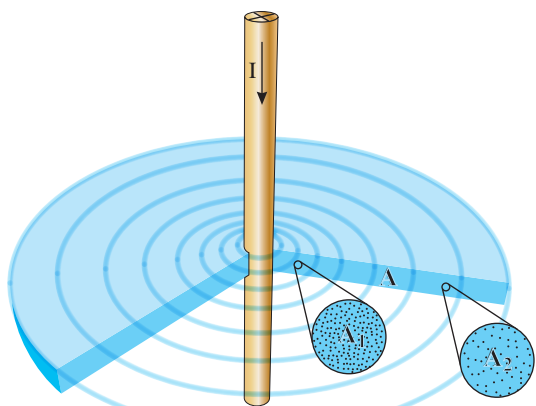
دست راست را در جهت جریان الکتریکی هادی قرار داد تا بقیه انگشتان به صورت بسته جهت میدان الکترومغناطیسی را نشان دهند. مشاهده می‌کنید مانند جهت جریان می‌توان جهت میدان مغناطیسی را نیز به کمک نقطه (•) و ضربدر (X) مشخص کرد.

### چگالی فوران مغناطیسی اطراف یک هادی حامل جریان الکتریکی



شکل ۳۷

اورستد در ادامه آزمایش‌های خود، هادی حامل جریان الکتریکی را از میان یک صفحه مقوایی عبور داد و بر روی صفحه مقوایی براده‌های آهن پاشید. شکل (۳۷)



شکل ۳۸

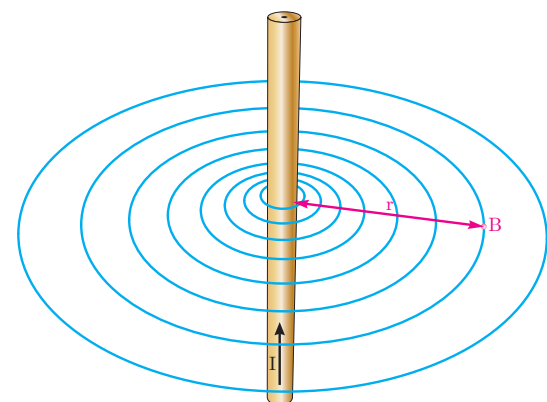
وی مشاهده کرد براده‌های آهن در مسیرهای دایره‌ای منظم شدند و هرچه از هادی فاصله می‌گیرند از فشردگی آنها کاسته می‌شود و این پدیده در سرتاسر طول هادی صادق است. برای درک این پدیده برشی از فضای اطراف هادی در سطح مقطع  $A$  در شکل ۳۸ نشان داده شده است.

دو ناحیه  $A_1$  و  $A_2$  با مقاطع مساوی به فاصله  $r_1$  و  $r_2$  از هادی در سطح مقطع  $A$  بزرگ‌نمایی شده‌اند. چگالی فوران مغناطیسی ناحیه  $A_2$  که

در فاصله دورتری نسبت به ناحیه  $A_1$  از هادی واقع است کمتر می‌باشد. پس با افزایش فاصله از هادی حامل جریان، میدان مغناطیسی ضعیف‌تر می‌شود و چگالی فوران مغناطیسی  $B$  کاهش می‌یابد.

## محاسبه چگالی فوران مغناطیسی اطراف یک هادی حامل جریان الکتریکی

آمپرو ماکسول دانشمندانی بودند که ثابت کردند چگالی فوران مغناطیسی  $B$  اطراف هادی حامل جریان با شدت جریان الکتریکی هادی نسبت مستقیم و با فاصله از هادی نسبت عکس



شکل ۳۹

دارد و رابطه زیر را برای تعیین مقدار چگالی فوران مغناطیسی  $B$  در نقطه‌ای به فاصله  $r$  از یک هادی حامل جریان به شدت  $I$  را براساس شکل ۳۹ ارائه کردند.

$$B = k \frac{I}{r}$$

در این رابطه:

$B$  چگالی فوران میدان مغناطیسی

برحسب  $\left[ \frac{wb}{m^2} \right]$

$K$  ضریبی است که به محیط اطراف هادی بستگی دارد و برای هوا مقدار آن  $2 \times 10^{-7}$  برحسب

است.  $\left[ \frac{wb}{A.m} \right]$

I شدت جریان الکتریکی هادی بر حسب [A]  
r فاصله از هادی بر حسب [m] است.

**مثال ۳:** چگالی فوران مغناطیسی در نقطه‌ای به فاصله ۱ cm از هادی حامل جریان ۱۰ A چند گاوس است؟

**حل:**

- واحد فاصله بر حسب متر تبدیل می‌شود.

$$\frac{1\text{m}}{r} = \frac{10^{-2}\text{cm}}{1\text{cm}}$$

$$r = \frac{1 \times 1}{100} = 0.01\text{m}$$

- چگالی میدان مغناطیسی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$B = k \frac{I}{r}$$

$$B = 2 \times 10^{-7} \times \frac{10}{0.01} = 2 \times 10^{-4} \left[ \frac{\text{wb}}{\text{m}^2} \right]$$

یا

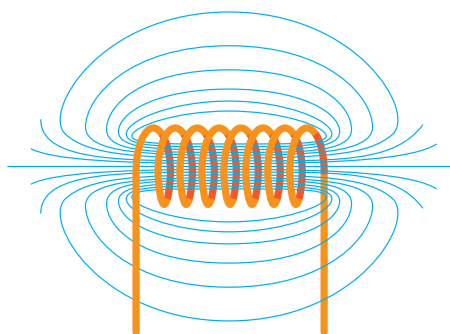
$$2 \times 10^{-4} [\text{T}]$$

- واحد چگالی فوران مغناطیسی به گاوس تبدیل می‌شود:

$$\frac{1\text{T}}{2 \times 10^{-4}\text{T}} = \frac{10^4\text{G}}{B}$$

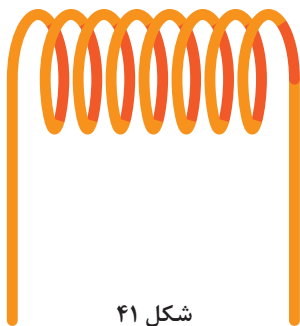
$$B = \frac{2 \times 10^{-4} \times 10^4}{1} = 2 [\text{G}]$$

## میدان مغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی



شکل ۴۰

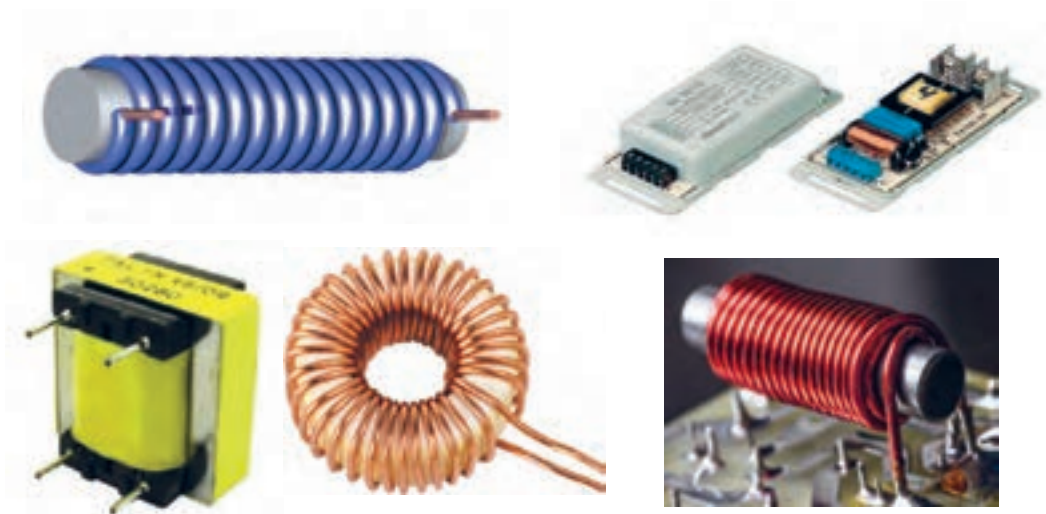
میدان الکترومغناطیسی هادی حامل جریان الکتریکی در سرتاسر دو طرف هادی توزیع می‌شود و متمرکز نیست و مقدار چگالی فوران مغناطیسی B در هر نقطه از اطراف هادی متغیر و کم است. اگر هادی حامل جریان الکتریکی به صورت سیم‌پیچ در آورده شود ضمن اینکه میدان الکترومغناطیسی در درون سیم‌پیچ متمرکز می‌شود، چگالی فوران مغناطیسی B نیز افزایش می‌یابد شکل (۴۰).



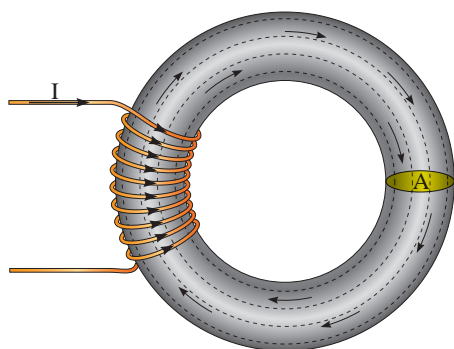
شکل ۴۱

سیم پیچ از پیچیدن چند دور هادی بوجود می‌آید.  
شکل (۴۱).

سیم پیچ را بوبین نیز می‌گویند. انواع سیم‌پیچ در شکل ۴۲ نشان داده شده است.



شکل ۴۲



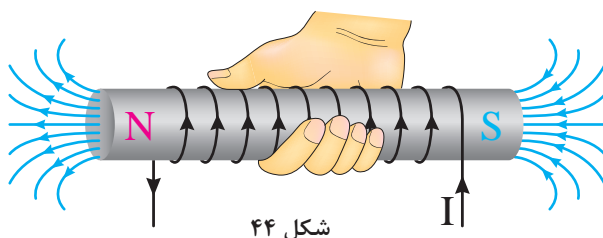
شکل ۴۳

با قرار دادن سیم‌پیچ بر روی یک هسته از جنس مواد فرومغناطیس<sup>۱</sup> مطابق شکل ۴۳ و عبور جریان الکتریکی از آن، میدان الکترومغناطیسی با چگالی  $B$  بیشتری نسبت به سیم‌پیچ با هسته هوا ایجاد می‌شود. هسته فرومغناطیس باعث می‌شود، میدان الکترومغناطیسی درون سیم‌پیچ متمرکزتر شود، لذا چگالی فوران مغناطیسی افزایش می‌یابد. مواد فرومغناطیسی خواص آهنربایی از خود نشان می‌دهند. آهن و آلیاژهای آهن، مواد فرومغناطیس هستند.

<sup>۱</sup> - Ferro magnetic

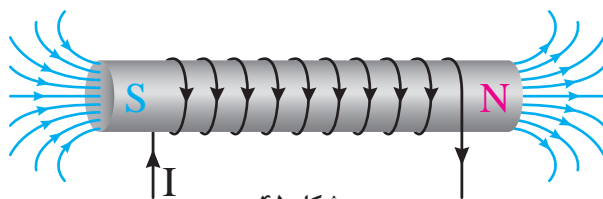
## جهت میدان الکترومغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی

جهت میدان الکترومغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی از قاعده دست راست<sup>۱</sup> تعیین می‌شود بدین منظور مطابق شکل ۴۴ اگر انگشتان دست راست در جهت جریان الکتریکی سیم‌پیچ قرار گیرد شست جهت میدان الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد. با تعیین جهت میدان الکترومغناطیسی محل قطب‌های N و S مشخص می‌شود. طبق قرارداد محل خروج فوران مغناطیسی را با حرف N و محل ورود آن را با حرف S نشان می‌دهند.



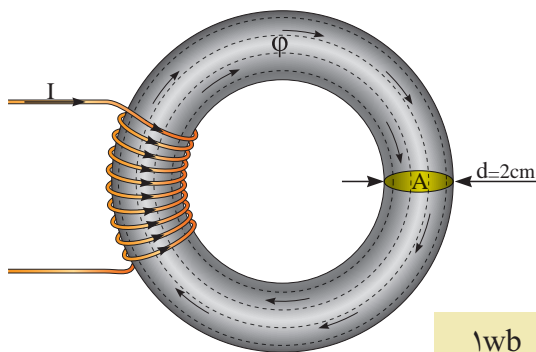
شکل ۴۴

جهت میدان مغناطیسی سیم‌پیچ نیز تابع جهت جریان سیم‌پیچ است و با تغییر جهت جریان جهت میدان مغناطیسی تغییر می‌کند شکل (۴۵).



شکل ۴۵

**مثال ۴:** سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی شکل ۴۶ میدان الکترومغناطیسی با فوران ۳/۱۴ mwb در هسته تولید می‌کند. چگالی فوران مغناطیسی در هسته چند تسلا است؟  
حل:



شکل ۴۶

- چگالی فوران از رابطه  $\phi = \frac{B}{A}$  به دست می‌آید. ابتدا واحد فوران را به وبر تبدیل می‌کنیم و سپس مساحت سطح مقطع A را محاسبه کنیم:

$$\frac{1 \text{ wb}}{\phi} = \frac{10^3 \text{ mwb}}{3/14} \Rightarrow \phi = \frac{3/14}{10^3} = 3/14 \times 10^{-3} [\text{wb}]$$

<sup>۱</sup>-Right-hand rule

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

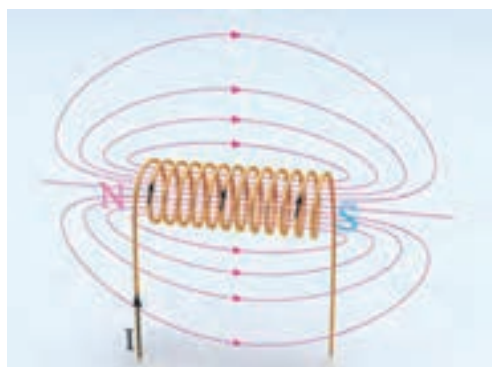
$$A = \frac{\pi (2)^2}{4} = 3.14 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\frac{1 \text{ m}^2}{A} = \frac{10^4 \text{ cm}^2}{3.14} \Rightarrow A = \frac{1 \times 3.14}{10^4} = 3.14 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$B = \frac{\phi}{A}$$

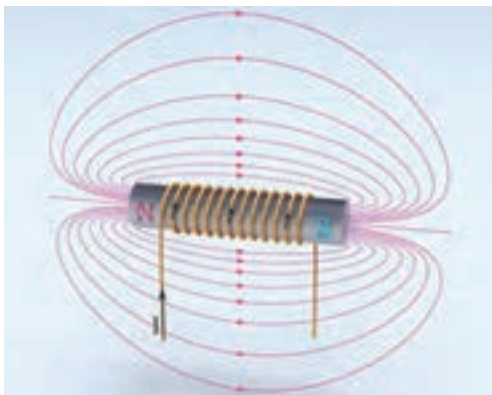
$$B = \frac{3.14 \times 10^{-3}}{3.14 \times 10^{-4}} = 10 \left[ \frac{\text{wb}}{\text{m}^2} \right] = 10 \text{ [T]}$$

## ضریب نفوذ مغناطیسی



شکل ۴۷

ضریب نفوذ مغناطیسی  $\mu$  معیاری است که میزان گذردهی هسته را در مقابل خطوط نیروی مغناطیسی نشان می‌دهد. میدان مغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان  $I$  با هسته هوا در شکل ۴۷ نشان داده شده است.



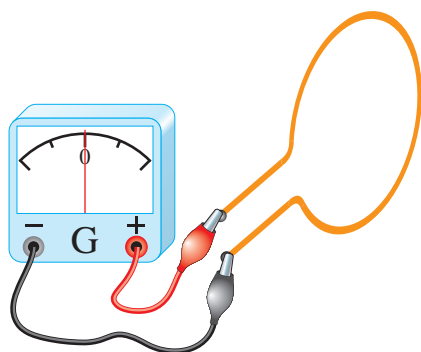
شکل ۴۸

اگر درون این سیم‌پیچ هسته فرومغناطیس قرار داده شود چگالی فوران مغناطیسی  $B$  در هسته به شدت افزایش می‌یابد (شکل ۴۸). از مقایسه شکل‌های ۴۷ و ۴۸ می‌توان نتیجه گرفت. هسته فرومغناطیس نسبت به هسته هوا ضریب نفوذ مغناطیسی  $\mu$  بزرگ‌تری دارد و چگالی فوران مغناطیسی بزرگ‌تری به دست می‌آید.

## قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

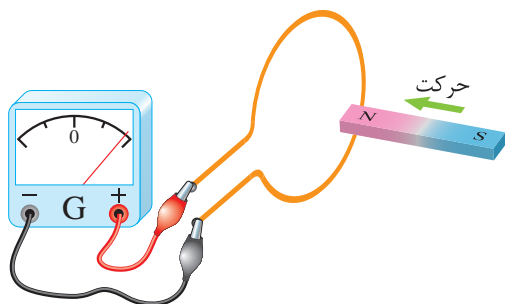
«قانون القای الکترومغناطیسی فاراده» یکی از اساسی‌ترین قوانین مغناطیسی در فیزیک است. طرز کار وسایل الکتریکی که الکترومغناطیس در آنها نقش دارد به کمک قانون القای الکترومغناطیسی فاراده قابل فهم است؛ قانون القای الکترومغناطیس فاراده در تحلیل طرز کار وسایل تبدیل انرژی الکترومکانیکی اعم از موتور یا ژنراتور کاربرد فراوان دارد. قانون القای الکترومغناطیسی فاراده و روابط حاکم بر آن را می‌توان با انجام چند آزمایش به دست آورد.

**آزمایش ۱ - مداری متشکل از یک حلقه هادی که دو سر آن به یک گالوانومتر<sup>۱</sup> متصل است در شکل ۴۹ نشان داده شده است.**



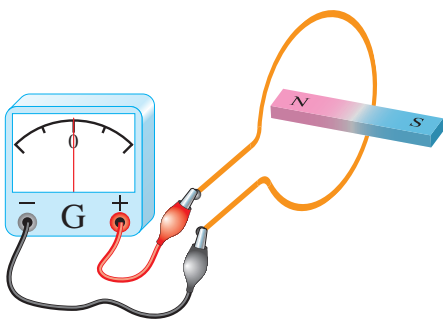
شکل ۴۹

اگر یک آهنربای دائم از طرف قطب N آن مطابق شکل ۵۰ داخل حلقه شود، عقربه گالوانومتر منحرف می‌شود. انحراف عقربه گالوانومتر به معنای عبور جریان از گالوانومتر است.



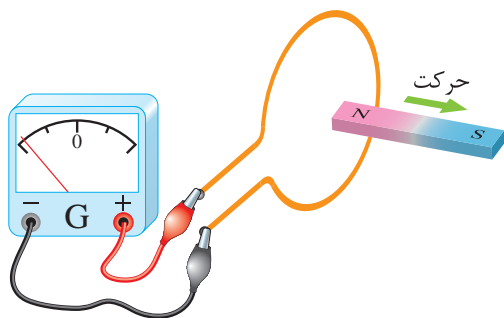
شکل ۵۰

در صورتی که آهنربای دائم نسبت به حلقه، مطابق شکل ۵۱ حرکتی نداشته باشد، عقربه گالوانومتر منحرف نخواهد شد.



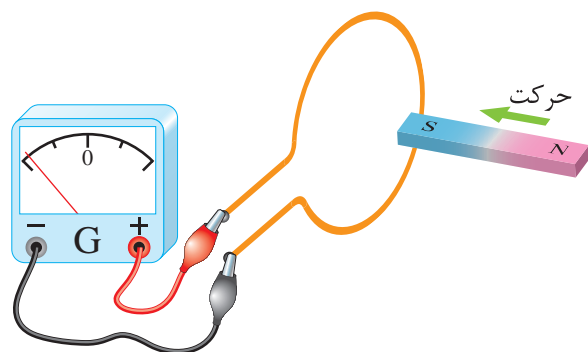
شکل ۵۱

۱- گالوانومتر یک آمپرتر بسیار دقیق است که می‌تواند جریان‌های خیلی کم را اندازه بگیرد.



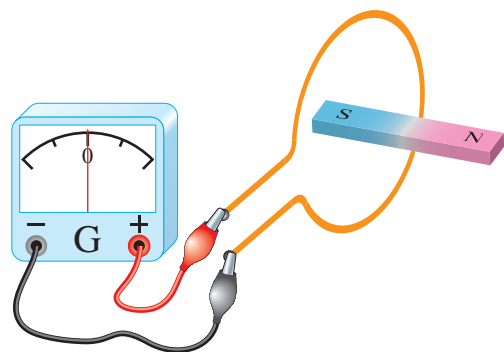
شکل ۵۲

وقتی که آهنربای دائم از حلقه، مطابق شکل ۵۲ دور شود، عقربه گالوانومتر در جهت عکس حالت قبل منحرف می‌شود. یعنی جهت جریان در حلقه تغییر کرده است.



شکل ۵۳

در ادامه آزمایش اگر قطب S آهنربای دائم مطابق شکل ۵۳ داخل حلقه شود، عقربه گالوانومتر بر خلاف حالتی که قطب N وارد حلقه شد منحرف می‌گردد.



شکل ۵۴

در این حالت نیز در صورتیکه آهنربای دائم نسبت به حلقه: مطابق شکل ۵۴ حرکتی نداشته باشد، عقربه گالوانومتر منحرف نخواهد شد.

بدین ترتیب در این آزمایش پدیده‌ای مشاهده می‌شود که در اثر حرکت آهنربای دائم نسبت به حلقه به وجود آمده است.

در آزمایش ۱ جریانی که در حلقه برقرار می‌شود را «جریان القایی»<sup>۱</sup> می‌نامند. می‌دانید عامل جاری شدن جریان در هر مدار الکتریکی نیروی محرکه (E) است. جریان القایی نیز ناشی از یک نیروی محرکه است که آن را «نیروی محرکه القایی»<sup>۲</sup> می‌نامند. نیروی محرکه القایی را به اختصار با EMF نشان می‌دهند.

<sup>۱</sup>-Induced Current

<sup>۲</sup>-Electro Motive Force

فاراده با آزمایش‌هایی نظیر این آزمایش، توانست قانونی به‌دست آورد که به «قانون القای الکترومغناطیسی فاراده» مشهور شد. وی بر اساس این آزمایش‌ها متوجه شد که تغییر فوران مغناطیسی عامل ایجاد نیروی محرکه القایی است؛ لذا قانون القای الکترومغناطیس فاراده را چنین تعریف کرد:

«مقدار نیروی محرکه القایی در هر مدار با آهنگ تغییر فوران متناسب است». فاراده به کمک این قانون برای محاسبه مقدار نیروی محرکه القایی رابطه ریاضی زیر را ارائه کرد. این رابطه بیان قانون القای الکترومغناطیسی فاراده است.

$$e \propto \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

در این رابطه:

$\Delta \phi$  تغییرات فوران مغناطیسی بر حسب وبر [wb]

$\Delta t$  مدت زمان وقوع تغییرات فوران مغناطیسی بر حسب ثانیه (s)

$e$  نیروی محرکه القایی بر حسب ولت [V] است.

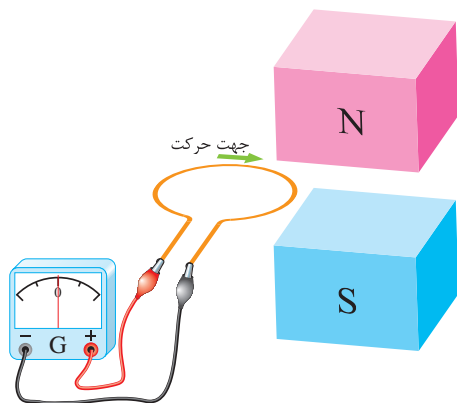
نیروی محرکه القایی  $e$  در عمل بسیار حائز اهمیت است. چراغ‌های اتاکی که در آن، این کتاب را می‌خوانید با استفاده از نیروی محرکه القایی حاصل از یک ژنراتور روشن می‌شوند. اگر به‌جای استفاده از یک حلقه سیم، از سیم‌پیچی با  $N$  حلقه، آزمایش فاراده تکرار شود، در هر حلقه سیم‌پیچ نیروی محرکه القایی ایجاد می‌شود و این نیروهای محرکه با یکدیگر جمع می‌شوند تا نیروی محرکه القایی سیم‌پیچ به‌دست آید؛ لذا مقدار نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$e = N \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

نیروی محرکه القایی  $e$  جریان القایی در سیم‌پیچ جاری می‌کند که از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$i = \frac{(V) \text{ نیروی محرکه القایی}}{(\Omega) \text{ مقاومت الکتریکی حلقه}}$$

**آزمایش ۲- حلقه هادی متصل به یک گالوانومتر**  
در بیرون میدان مغناطیسی B ناشی از دو قطب N و S یک آهنربای قوی در شکل ۵۵ نشان داده شده است. حلقه در جهت نشان داده شده از درون میدان مغناطیسی عبور داده می‌شود.

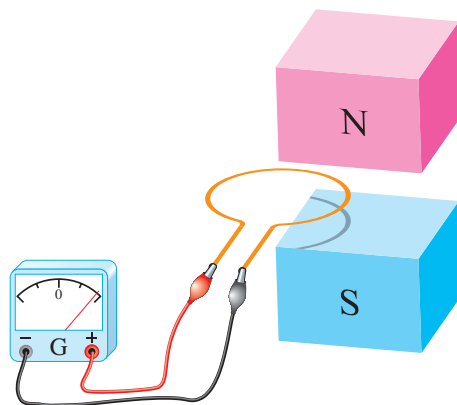


شکل ۵۵

با حرکت حلقه در هنگام ورود به میدان مغناطیسی، فورانی که از سطح حلقه می‌گذرد افزایش می‌یابد و هنگام خروج از میدان مغناطیسی، فورانی که از سطح حلقه می‌گذرد کاهش می‌یابد و به صفر می‌رسد. این تغییر فوران طبق قانون القای الکترومغناطیسی فاراده در حلقه نیروی محرکه القا می‌کند و گالوانومتر منحرف می‌شود.

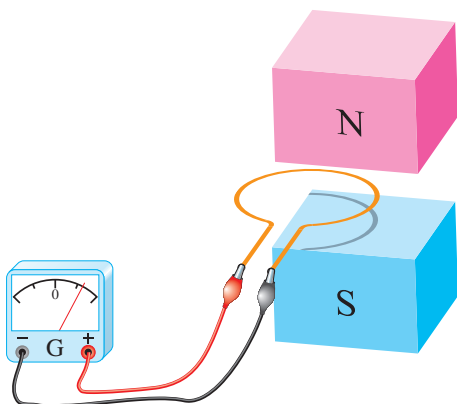
لحظه ورود حلقه به درون میدان مغناطیسی را شکل ۵۶ نشان می‌دهد.

در این لحظه فوران مغناطیسی بخشی از سطح حلقه را می‌پوشاند. تصویر حلقه روی قطب S این موضوع را نشان می‌دهد.

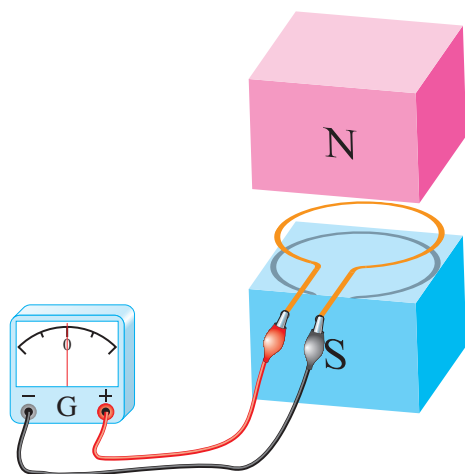


شکل ۵۶

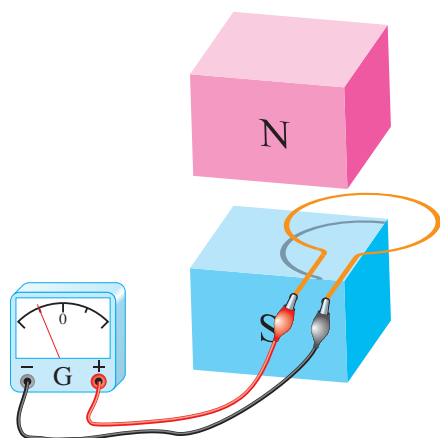
هرچه حلقه بیشتر وارد میدان مغناطیسی می‌شود فوران بیشتری سطح حلقه را می‌پوشاند. شکل (۵۷)



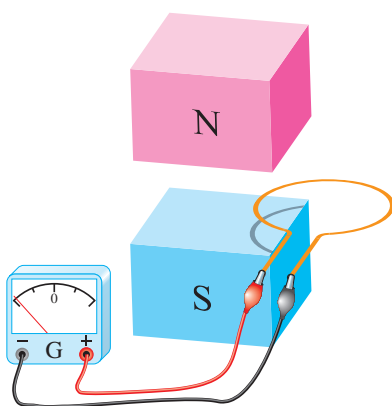
شکل ۵۷



شکل ۵۸



شکل ۵۹



شکل ۶۰

این تغییر فوران طبق قانون فاراده نیروی محرکه القایی در حلقه ایجاد می‌کند. لذا گالوانومتر منحرف می‌شود.

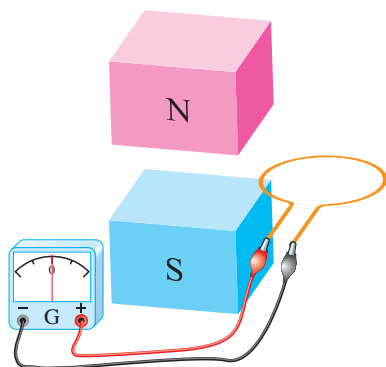
شکل ۵۸ لحظه‌ای را نشان می‌دهد که حلقه به صورت کامل وارد میدان مغناطیسی شده است. تصویر حلقه روی قطب S این موضوع را نشان می‌دهد. با اینکه تمام فوران مغناطیسی سطح حلقه را پوشانده است اما حرکت حلقه در این لحظه موجب تغییر فوران در سطح حلقه نخواهد شد. لذا در آن نیروی محرکه القا نمی‌شود و گالوانومتر صفر را نشان می‌دهد.

لحظه خروج حلقه در شکل ۵۹ نشان داده شده است. در این لحظه فوران مغناطیسی بخشی از سطح حلقه را می‌پوشاند و دوباره تغییرات فوران در سطح حلقه ایجاد می‌شود. بنابراین در حلقه نیروی محرکه القا می‌شود و گالوانومتر را در جهت مخالف منحرف می‌کند.

در لحظه خروج حلقه از میدان مغناطیسی فورانی که سطح حلقه را می‌پوشاند رو به کاهش است در صورتی که در زمان ورود حلقه به میدان مغناطیسی فورانی که سطح حلقه را می‌پوشاند رو به افزایش بوده است. لذا گالوانومتر به هنگام خروج حلقه از میدان مغناطیسی، برخلاف جهت ورود حلقه به میدان مغناطیسی، منحرف می‌شود.

لحظه خروج حلقه از میدان مغناطیسی در شکل ۶۰ نشان داده شده است.

مشاهده می‌شود سطحی از حلقه که توسط فوران پوشانده شده است رو به کاهش است. لذا تغییرات فوران در سطح حلقه، در آن نیروی محرکه القا می‌کند و عقربه گالوانومتر را منحرف خواهد کرد.



شکل ۶۱

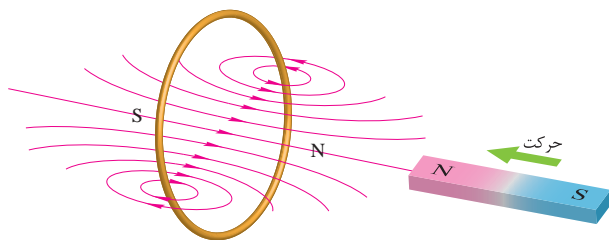
خروج کامل حلقه از میدان مغناطیسی در شکل ۶۱ نشان داده شده است. در این لحظه فورانی از سطح حلقه نمی‌گذرد و تغییرات فوران آن به صفر رسیده است لذا در آن نیروی محرکه القا نمی‌شود و گالوانومتر صفر را نشان می‌دهد.

## قانون لنز

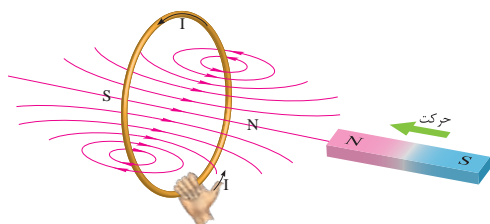
در پدیده القای الکترومغناطیسی پلارितه نیروی محرکه القایی و جهت جریان القایی مشخص نشد. پلاریته نیروی محرکه القایی و جهت جریان القایی با استفاده از «اصل بقای انرژی» تعیین خواهد شد. در این مبحث اصل بقای انرژی به صورت «قانون لنز» بیان می‌شود که توسط آقای لنز در سال ۱۸۳۴ میلادی ارائه گردید. طبق این قانون: «جریان القایی در جهتی برقرار می‌شود که با عامل به وجود آورنده خود مخالفت کند». قانون لنز در مورد جریان‌های القایی به کار می‌رود. از آنجایی که جریان در مدار بسته جاری می‌شود، لذا قانون لنز در مدارهای بسته کاربرد پیدا می‌کند.

در شکل ۶۲ مقطع یک حلقه هادی و یک آهنربا نشان داده شده است. هنگامی که قطب N آهنربا به طرف حلقه «حرکت» داده می‌شود، مطابق آزمایش ۱ فازاده، جریان القایی در حلقه جاری می‌شود. این جریان، میدان مغناطیسی در اطراف حلقه تولید خواهد نمود. طبق قانون لنز جهت جریان القایی به گونه‌ای است که با عامل به وجود آورنده‌اش مخالفت می‌کند؛ بدین

معنی که میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی با حرکت آهنربا به سمت حلقه مخالفت خواهد کرد. یعنی قطب N میدان حلقه مقابل قطب N آهنربا قرار می‌گیرد تا با ایجاد نیروی دافعه مانع حرکت آهنربا به سمت حلقه شود.



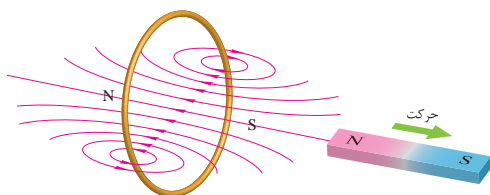
شکل ۶۲



شکل ۶۳

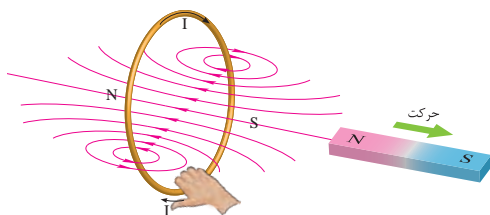
با مشخص شدن محل قطب‌های N و S اطراف حلقه جهت میدان مغناطیسی آن تعیین می‌شود. اکنون بنا به قانون شست مطابق شکل ۶۳ جهت جریان القایی تعیین می‌شود.

وقتی آهنربا به طرف حلقه «حرکت» می‌کند، جریان القایی ظاهر می‌شود. به بیان قانون القای الکترومغناطیسی فاراده، این «حرکت دادن» همان «تغییر فوران» است که جریان القایی را تولید می‌کند و طبق قانون لنز میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی با این «حرکت دادن» مخالفت خواهد کرد.



شکل ۶۴

اگر آهنربا مطابق شکل ۶۴ به عقب حرکت داده شود، مطابق آزمایش ۱ فاراده نیز در این حالت جریان القایی در حلقه جاری می‌شود و طبق قانون لنز، میدان مغناطیسی ناشی از این جریان القایی نیز با عامل به وجود آورنده‌اش که همان «حرکت رو به عقب» آهنربا است مخالفت خواهد کرد؛ یعنی میدان حلقه، قطب S خود را در مقابل قطب N آهنربا قرار می‌دهد تا با ایجاد نیروی جاذبه مانع حرکت آهنربا شود.



شکل ۶۵

با مشخص شدن محل قطب‌های N و S اطراف حلقه، جهت میدان مغناطیسی آن تعیین می‌شود. اکنون بنا به قانون شست مطابق شکل ۶۵ جهت جریان القایی حلقه تعیین می‌شود.

با توجه به شکل‌های ۶۳ و ۶۵ مشاهده می‌شود جهت میدان مغناطیسی حلقه ناشی از جریان القایی همواره به گونه‌ای است که با «حرکت» آهنربا مخالفت می‌کند.

«حرکت» آهنربا به سمت حلقه یا دور شدن از حلقه همیشه تحت تأثیر نیروی مقاوم میدان مغناطیسی حلقه قرار می‌گیرد. از این رو لازم است نیرویی که صرف حرکت آهنربا می‌گردد کار انجام دهد.

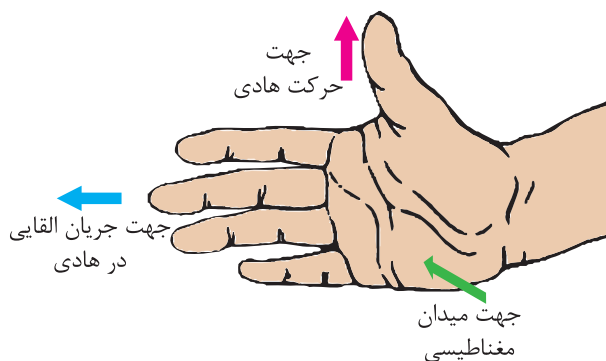
به نظر شما کار انجام شده برای حرکت آهنربا به چه انرژی‌ای تبدیل می‌شود؟ جهت میدان مغناطیسی جریان القایی به گونه‌ای است که همواره با عامل به وجودآورنده‌اش، «حرکت آهنربا» مخالفت می‌کند. این مخالفت در رابطه قانون القای الکترومغناطیسی فاراده با یک علامت منفی به صورت رابطه زیر نشان داده می‌شود.

$$e = -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

علامت منفی بیانگر همان قانون لنز است که در محاسبات دخالت داده نمی‌شود. لذا  $e$  به عنوان «نیروی ضد محرکه القایی» معرفی می‌شود تا مخالفت آن بر اساس قانون لنز در نام آن گنجانیده شده باشد. نیروی ضد محرکه القایی را به اختصار با  $\mathcal{E}_{emf}$  نشان می‌دهند.

## قانون دست راست

تعیین جهت جریان القایی با قانون بقای انرژی که به صورت قانون لنز مطرح شد در برخی مواقع دشوار است. روش ساده‌تر برای تعیین جهت جریان القایی «قانون دست راست» است که آن را نیز می‌توان به کار برد. طبق این قانون اگر دست راست را مطابق شکل ۶۶ طوری نگه داشت که فوران مغناطیسی از قطب N به کف دست وارد شود و شست جهت حرکت هادی را نشان دهد، انگشتان جهت جریان القایی هادی را نشان خواهند داد.

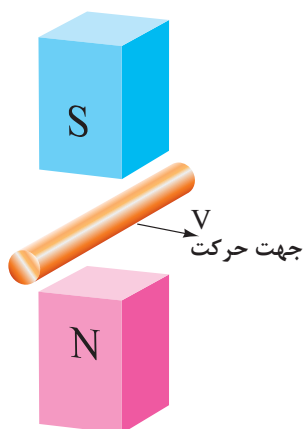


شکل ۶۶ - قانون دست راست

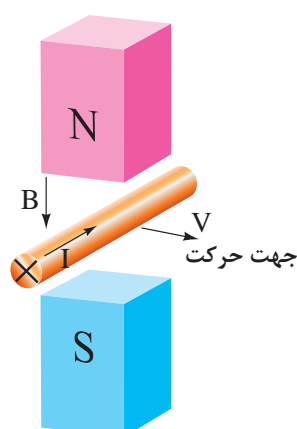
### فعالیت ۱ - ۹

۱ - جهت جریان القایی هادی شکل‌های ۶۹ و ۷۰ را با استفاده از قانون دست راست تعیین کنید.

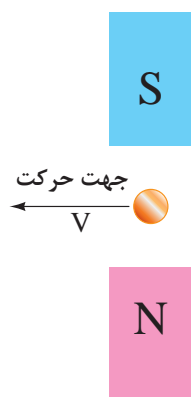
جهت جریان القایی یک هادی متحرک در میدان مغناطیسی توسط قانون دست راست در شکل‌های ۶۷ و ۶۸ تعیین شده است.



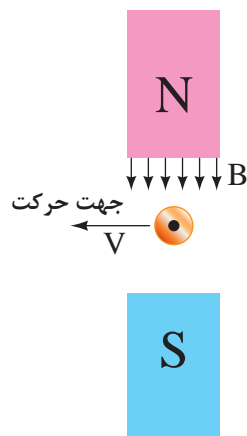
شکل ۶۹



شکل ۶۷



شکل ۷۰



شکل ۶۸

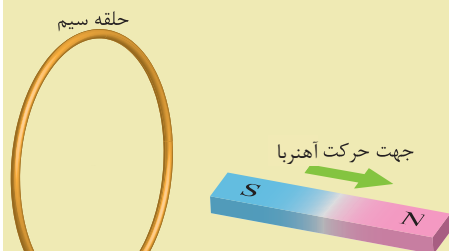
۲ - از جواب‌های به‌دست آمده در شکل‌های ۶۷ الی ۷۰ چه نتیجه‌ای به‌دست می‌آید؟

## پرسش‌های کامل کردنی

- ۱ - طرز کار وسایل الکتریکی که ..... در آنها نقش دارد به کمک قانون القای الکترومغناطیس فاراده قابل فهم است.
- ۲ - طبق قانون لنز ..... به گونه‌ای است که با عامل به وجود آورنده اش ..... می‌کند.
- ۳ - برای تعیین جهت جریان القایی از روش ..... استفاده می‌شود.

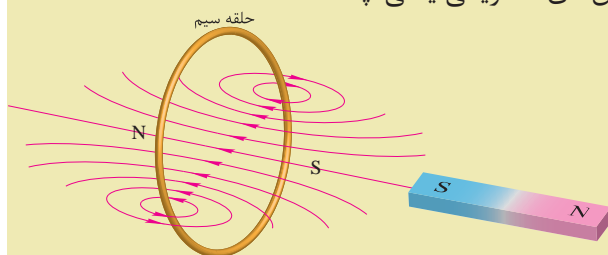
## پرسش‌های تشریحی

- ۱ - با توجه به شکل ۷۱ جهت جریان القایی در حلقه را مشخص کنید.



شکل ۷۱

- ۲ - برگشت پذیری فرایند تبدیل انرژی در ماشین‌های الکتریکی یعنی چه؟
- ۳ - قانون لنز را تعریف کنید.
- ۴ - با توجه به شکل ۷۲ جهت حرکت آهنربا را مشخص کنید.

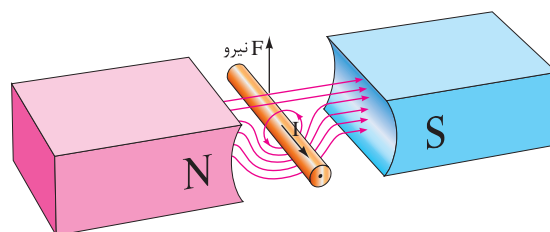


شکل ۷۲

- ۵ - قانون دست راست را توضیح دهید و کاربرد آن را بنویسید.

## نیروی مغناطیسی وارد بر هادی حامل جریان الکتریکی

یک هادی حامل جریان الکتریکی در میدان مغناطیسی قطب‌های N و S آهنربایی قوی در نظر گرفته شده است. شکل (۷۳)



شکل ۷۳

میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را شرح و تفصیل داده است، «نیروی لورنس» می‌گویند. مقدار نیروی مغناطیسی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F = BIL$$

در این رابطه:

$F$  نیروی مغناطیسی بر حسب نیوتن [N]  
 $B$  چگالی فوران مغناطیسی بر حسب  $\left[\frac{wb}{m^2}\right]$   
 $I$  شدت جریان الکتریکی هادی بر حسب [A]  
 $L$  طول مؤثر هادی که تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد بر حسب [m]

**مثال ۵:** هادی به طول مؤثر  $20\text{ cm}$  در میدان مغناطیسی با چگالی فوران  $0.8 \times 10^{-2} \left[\frac{wb}{m^2}\right]$  به طور عمود بر خطوط میدان مغناطیسی قرار دارد. اگر از این هادی جریان  $10\text{ A}$  عبور کند، نیروی مغناطیسی وارد بر این هادی چند نیوتن است؟

**حل:**

از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F = BIL$$

$$F = 0.8 \times 10^{-2} \times 20 \times 10 = 1.6$$

جهت میدان مغناطیسی قطب‌ها از سوی قطب N به سمت قطب S می‌باشد. میدان مغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی با قانون شست تعیین شده است. مشاهده می‌شود در پایین هادی، جهت میدان مغناطیسی قطب‌ها و جهت میدان مغناطیسی اطراف هادی هم‌جهت می‌باشد و یکدیگر را تقویت می‌کنند؛ اما در بالای هادی جهت میدان مغناطیسی آنها مخالف یکدیگر می‌باشد و همدیگر را تضعیف می‌کنند. لذا «نیروی مغناطیسی» به هادی از سوی میدان قوی‌تر به سمت میدان ضعیف‌تر وارد می‌شود و هادی را به سمت بالا حرکت می‌دهد.

## فعالیت ۲ - ۹

اگر جهت جریان الکتریکی هادی شکل ۷۳ عوض شود با رسم خطوط میدان مغناطیسی قطب‌ها و اطراف هادی، جهت نیروی مغناطیسی وارد به هادی را تعیین کنید. همان‌طور که توضیح داده شد می‌توان نتیجه گرفت:

«به هر هادی حامل جریان در میدان مغناطیسی، نیروی مغناطیسی وارد می‌شود»، به‌طوری‌که «نیروی مغناطیسی سعی به بیرون راندن هادی از درون میدان مغناطیسی دارد».

به نیروی مغناطیسی وارد به هادی حامل جریان الکتریکی به احترام «لورنس» که مفاهیم

## قانون دست چپ

برای تعیین جهت نیروی مغناطیسی، «قانون دست چپ» ارائه شده است. طبق این قانون اگر دست چپ خود را مطابق شکل ۷۴ به گونه‌ای نگه دارید که فوران مغناطیسی از قطب N به

### فعالیت ۳ - ۹

۱ - جهت نیروی مغناطیسی شکل‌های ۷۷ و ۷۸ را با استفاده از قانون دست چپ تعیین کنید.



شکل ۷۷



شکل ۷۸

۲ - با مقایسه جهت نیروی مغناطیسی شکل‌های زیر، چه نتیجه‌ای به دست می‌آید:

(الف) شکل ۷۵ با شکل ۷۶:

.....

.....

.....

(ب) شکل ۷۵ با شکل ۷۷:

.....

.....

.....

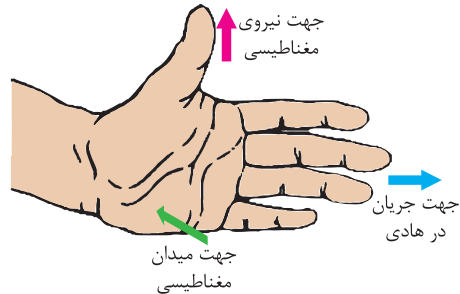
(پ) شکل ۷۵ با شکل ۷۸:

.....

.....

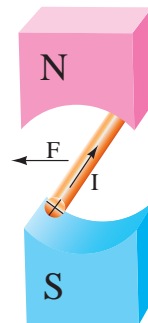
.....

کف دست وارد شود و انگشتان، جهت جریان الکتریکی هادی را نشان دهند، انگشت شست جهت نیروی مغناطیسی وارد به هادی را نشان می‌دهد.

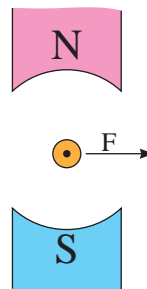


شکل ۷۴

جهت نیروی مغناطیسی هادی حامل جریان، درون میدان مغناطیسی، توسط قانون دست چپ در شکل‌های ۷۵ و ۷۶ تعیین شده است.

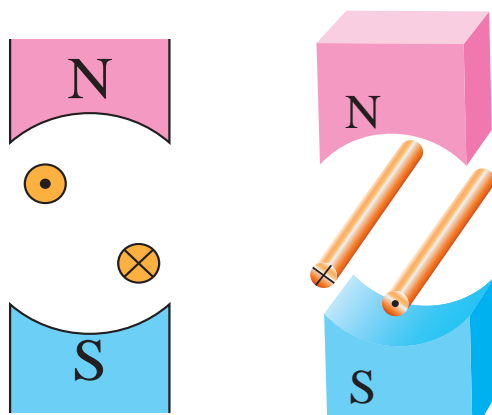


شکل ۷۵



شکل ۷۶

۳- جهت نیروی مغناطیسی وارد به هادی‌های حامل جریان شکل‌های ۷۹ و ۸۰ را با کمک قانون دست چپ تعیین کنید.

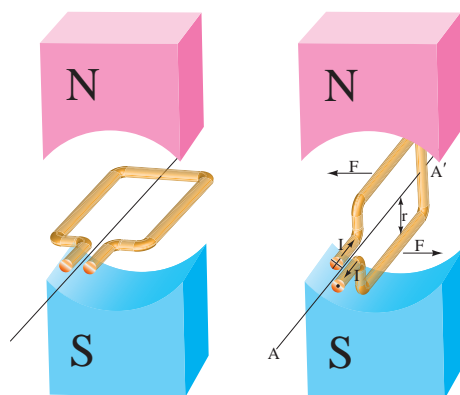


شکل ۸۰

شکل ۷۹

### گشتاور نیروی مغناطیسی وارد بر حلقه جریان کامل

حلقه حامل جریان الکتریکی، معلق در میان میدان مغناطیسی دو قطب آهنربایی قوی که می‌تواند آزادانه حول محور  $AA'$  بگردد، فرض شده است شکل (۸۱). به بازوهای حامل جریان این حلقه، نیروی مغناطیسی در دو جهت مخالف، با مقدار مساوی وارد می‌شود. این نیروها در حلقه حامل جریان الکتریکی، «گشتاور»<sup>۱</sup> ایجاد می‌کنند و آن را حول محور می‌گردانند، لذا حلقه جابه‌جا می‌شود. شکل (۸۲)



شکل ۸۲

شکل ۸۱

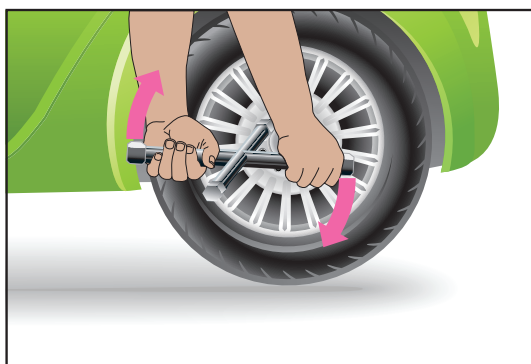
#### فعالیت ۴ - ۹

۱ - چگونگی گشتاور در شکل ۸۵ را بررسی کنید.



شکل ۸۵

گشتاور عامل گردش است. به‌طور مثال هنگامی که مکانیک برای باز کردن پیچ‌های چرخ اتومبیل از «آچارچرخ» استفاده می‌کند، وی با دستان خود، دو نیرو در جهت مخالف به آچارچرخ اعمال می‌کند. این نیروها حول محور آچارچرخ گشتاور ایجاد می‌کنند تا آن بگردد. شکل (۸۳)



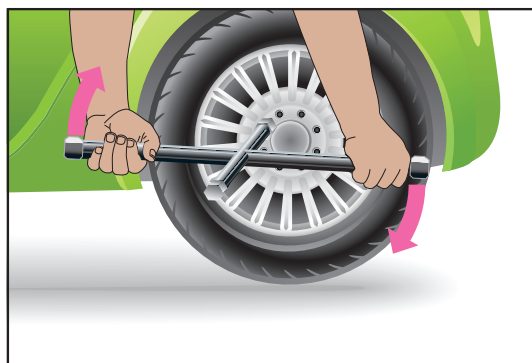
شکل ۸۳

۲ - دو فرمان اتومبیل در شکل ۸۶ نشان داده شده است. گرداندن کدام یک راحت است؟ برای پاسخ خود دلیل بیاورید.



شکل ۸۶

در صورتی که مکانیک نتواند این آچارچرخ را بگرداند، آچاری که طول بازوهای آن بلندتر است را به کار می‌برد تا گشتاور آچار افزایش یابد و بگردد. شکل (۸۴)



شکل ۸۴

## خودالقایی

برای تبدیل تناسب به تساوی در رابطه زیر از ضریبی به نام «ضریب خودالقایی» که با حرف  $L$  نشان داده می‌شود استفاده می‌شود.

$$e = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

واحد ضریب خودالقایی  $\frac{\text{ولت ثانیه}}{\text{آمپر}}$  می‌باشد و آن را «هانری» گویند و با  $H$  نشان می‌دهند. یک هانری ضریب خودالقایی هادی یا سیم پیچی است که هرگاه در مدت یک ثانیه جریان آن یک آمپر تغییر کند نیروی محرکه خودالقایی یک ولت ایجاد شود.

**مثال ۶:** جریان یک سیم پیچ با ضریب خودالقایی  $0.5$  هانری در مدت  $0.2$  ثانیه از صفر به  $2$  آمپر می‌رسد. نیروی محرکه خودالقایی چند ولت است؟

**حل:**

تغییرات جریان برابر است با :

$$\Delta i = 2 - 0 = 2 [A]$$

تغییرات زمان برابر است با :

$$\Delta t = 0.2 (s)$$

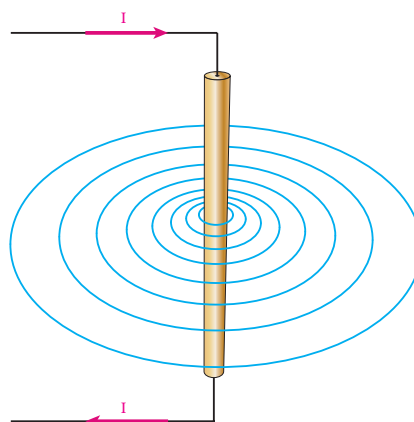
از رابطه زیر نیروی محرکه خودالقایی به دست می‌آید.

$$e = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

$$e = 0.5 \times \frac{2}{0.2} = 1 [V]$$

**مثال ۷:** در مدار شکل زیر در صورت باز شدن کلید مقدار نیروی محرکه خودالقایی سیم پیچ در مدت  $0.5$  ثانیه چند ولت است؟

خودالقایی القای الکترومغناطیسی ناشی از تغییرات فوران خود هادی می‌باشد. پدیده خودالقایی ناشی از تغییرات جریان نسبت به زمان ایجاد می‌شود. با عبور جریان از یک هادی در اطراف آن میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. شکل (۸۷)



شکل ۸۷

تغییر جریان هادی باعث تغییر میدان مغناطیسی اطراف آن خواهد شد. تغییر میدان مغناطیسی طبق قانون القای الکترومغناطیسی فاراده درون هادی نیروی محرکه القا می‌نماید. که آن را نیروی محرکه خودالقایی گویند. طبق قانون لنز «نیروی محرکه خودالقایی» با عامل به وجود آورنده‌اش، تغییرات جریان مخالفت می‌نماید. پدیده خودالقایی در سیم پیچ‌ها نیز همانند پدیده خودالقایی توضیح داده می‌شود. نیروی محرکه خودالقایی متناسب با تغییرات جریان نسبت به زمان است و به رابطه زیر بیان می‌شود.

$$e \propto \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

که در این رابطه:

$L$  ضریب خودالقایی سیم پیچ [H]

$\mu$  ضریب نفوذ مغناطیسی  $\left[ \frac{\text{Wb}}{\text{A.m}} \right]$

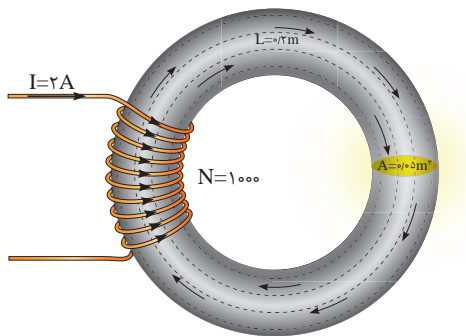
$N$  تعداد حلقه های سیم پیچ

$A$  سطح مقطع هسته سیم پیچ  $[\text{m}^2]$

$\ell$  طول متوسط هسته [m] است.

**مثال ۸:** ضریب خودالقایی سیم پیچ شکل ۸۹

را به دست آورید.  $(\mu = 2 \times 10^{-5} \frac{\text{Wb}}{\text{A.m}})$



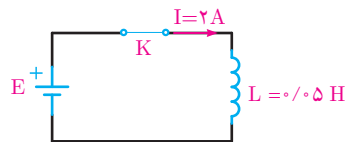
شکل ۸۹

**حل:**

از رابطه فوق داریم.

$$L = \frac{\mu N^2 A}{\ell}$$

$$L = \frac{2 \times 10^{-5} \times 1000^2 \times 0.005}{0.2} = 1 \text{ H}$$



شکل ۸۸

**حل:** تغییرات جریان برابر است با:

$$\Delta i = 0 - 2 = -2 [\text{A}]$$

تغییرات زمان برابر است با:

$$\Delta t = 0.5 [\text{s}]$$

از رابطه فوق نیروی محرکه خودالقایی به دست می آید:

$$e = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

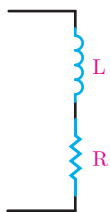
$$e = 0.5 \times \frac{-2}{0.5} = -2 [\text{V}]$$

برای محاسبه ضریب خودالقایی سیم پیچ از رابطه زیر استفاده می شود.

$$L = \frac{\mu N^2 A}{\ell}$$

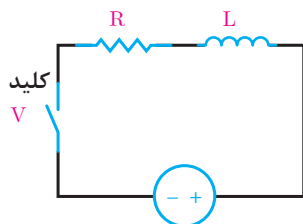
## مدار الکتریکی معادل سیم پیچ

سیم پیچ علاوه بر ضریب خودالقایی  $L$ ، مقاومت الکتریکی اهمی  $R$  نیز دارد. مقاومت الکتریکی اهمی ناشی از طول و سطح مقطع هادی سیم پیچ است و ضریب خودالقایی ناشی از نیروی محرکه خودالقایی می باشد که در اثر تغییرات جریان به وجود می آید. برای سیم پیچ مدار الکتریکی شامل اتصال سری مقاومت الکتریکی اهمی  $R$  و ضریب خودالقایی  $L$  معادل می نمایند. شکل (۹۰)



شکل ۹۰

## سیم‌پیچ در جریان مستقیم



شکل ۹۱

سیم‌پیچ در جریان مستقیم از خود فقط مقاومت الکتریکی اهمی  $R$  نشان می‌دهد اما با قطع و وصل جریان و یا تغییرات جریان علاوه بر مقاومت الکتریکی نیروی محرکه خودالقایی نیز در آن ایجاد می‌شود لذا ضریب خودالقایی  $L$  نیز ظاهر می‌شود. مدار الکتریکی معادل یک سیم‌پیچ که توسط منبع جریان مستقیم تغذیه می‌شود در شکل ۹۱ نشان داده شده است.

با بستن کلید، جریان سعی دارد به‌طور آنی افزایش یابد اما نیروی محرکه خودالقایی ایجادشده با افزایش آنی جریان مخالفت می‌کند. در نتیجه، مدت زمانی طول می‌کشد تا جریان به بیشترین مقدار یا مقدار نهایی خود برسد. با قطع کلید نیز جریان به‌طور آنی به صفر نمی‌رسد؛ زیرا نیروی محرکه خودالقایی تولیدشده، با این تغییر سریع مخالفت می‌کند. لذا جریان به تدریج به صفر می‌رسد.

مدت زمانی که طول می‌کشد تا جریان در یک سیم‌پیچ به  $\frac{63}{100}$  درصد مقدار نهایی خود برسد را ثابت زمانی می‌گویند. مقدار ثابت زمانی در یک سیم‌پیچ به مقدار مقاومت الکتریکی ( $R$ ) و ضریب خودالقایی ( $L$ ) بستگی دارد و از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\tau = \frac{L}{R}$$

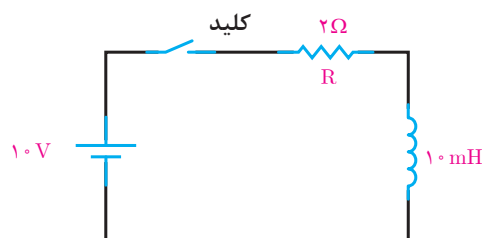
که در این رابطه :

$\tau$  ثابت زمانی [s]

$L$  ضریب خودالقایی [H]

$R$  مقاومت الکتریکی [ $\Omega$ ] است.

تقریباً ۵ ثابت زمانی طول می‌کشد تا جریان در یک سیم‌پیچ به مقدار نهایی خود برسد.



شکل ۹۲

**مثال ۹:** در مدار شکل ۹۲ پس از بستن کلید، مدت زمانی که شدت جریان به مقدار نهایی خود می‌رسد را حساب کنید.

حل:

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{10}{2} = 5 \text{ [ms]}$$

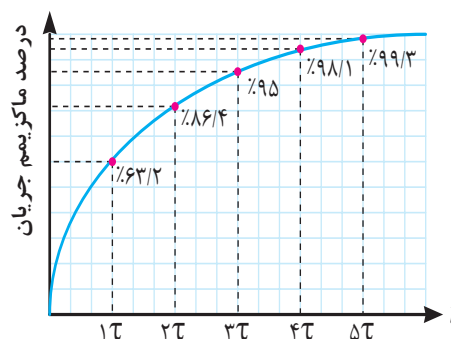
$$t = 5\tau = 5 \times 5 = 25 \text{ [ms]}$$

مثال ۱۰: در مثال ۹ اگر بوبینی با اندوکتانس ۲۰ mH به جای بوبین ۱۰ mH قرار گیرد، ثابت زمانی چگونه تغییر می‌کند؟

حل:

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{20}{2} = 10 \text{ [ms]}$$

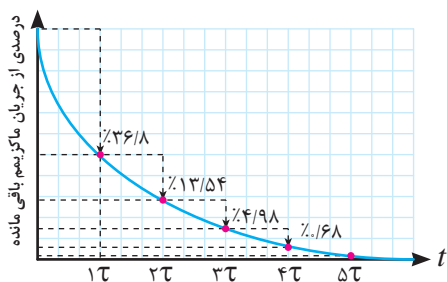
مشاهده می‌شود ثابت زمانی دو برابر می‌شود. با بسته شدن کلید در ثابت زمانی اول جریانی به اندازه ۶۳/۲ درصد کل جریان نهایی از سیم‌پیچ می‌گذرد. در ثابت زمانی دوم، جریان به ۸۶/۴ درصد می‌رسد. در ثابت‌های زمانی سوم، چهارم و پنجم نیز به همین ترتیب، به‌طوری که در ثابت زمانی پنجم تقریباً به مقدار نهایی خود می‌رسد. منحنی شکل ۹۳ روند تغییرات جریان تا رسیدن به مقدار نهایی خود به هنگام بستن کلید مدار شکل ۹۱ را در هر ثابت زمانی نشان می‌دهد.



شکل ۹۳

رفتار سیم‌پیچ در این ۵ ثابت زمانی را «حالت گذرا» و هنگامی که جریان پس از پنج ثابت زمانی به مقدار نهایی خود می‌رسد را «حالت پایدار» سیم‌پیچ گویند.

با باز شدن کلید مدار شکل ۹۱ تغییرات جریان تا رسیدن به مقدار نهایی خود در هر ثابت زمانی در شکل ۹۴ نشان داده شده است. در ثابت زمانی اول جریان به اندازه ۶۳/۲ درصد از مقدار ماکزیم کاهش پیدا می‌کند و به ۳۶/۸ درصد می‌رسد. در ثابت زمانی دوم به ۱۳/۵ درصد می‌رسد. در ثابت‌های زمانی سوم، چهارم و پنجم کاهش جریان به همین منوال ادامه پیدا می‌کند و در ثابت زمانی پنجم تقریباً به صفر می‌رسد.



شکل ۹۴

رفتار سیم‌پیچ در این ۵ ثابت زمانی را «حالت گذرا» گویند. بعد از ۵ ثابت زمانی جریان سیم‌پیچ به مقدار نهایی خود می‌رسد و ثابت می‌شود ضریب خودالقایی نیز صفر می‌شود لذا در مقدار جریان بی‌تأثیر می‌شود و سیم‌پیچ به «حالت پایدار» می‌رسد.

## سیم پیچ در حالت متناوب

سیم پیچ در جریان متناوب علاوه بر مقاومت الکتریکی اهمی  $R$ ، به دلیل تغییرات جریان ناشی از فرکانس نیروی محرکه خودالقایی نیز در آن به وجود می آید. جریان متناوب باعث ایجاد فوران در سیم پیچ می شود و نیروی محرکه خودالقایی ایجاد می کند. این نیروی محرکه خودالقایی با جاری شدن جریان در سیم پیچ مخالفت می نماید. مخالفت سیم پیچ در مقابل عبور جریان متناوب الکتریکی ناشی از اثر خودالقایی را «مقاومت القایی» گویند و با  $X_L$  نشان می دهند و واحد آن اهم است. مقاومت القایی با ضریب خودالقایی ارتباط دارد و از رابطه زیر به دست می آید. در این رابطه:

$$X_L = 2\pi fL$$

$X_L$  مقاومت القایی  $[\Omega]$

$f$  فرکانس  $[Hz]$

$L$  ضریب خودالقایی  $[H]$  است.

**مثال ۱۱:** مقاومت القایی یک سلف  $10\text{ mH}$  در فرکانس  $50^\circ$  و  $60^\circ$  هرتز چند اهم است؟  
حل:

از رابطه زیر داریم:

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 10 \times 10^{-3} = 3.14 [\Omega]$$

$$X_L = 2 \times 3.14 \times 60 \times 10 \times 10^{-3} = 3.768 [\Omega]$$

## سلف

سلف، سیم پیچی است که از مقاومت الکتریکی  $R$  در مقایسه با مقاومت القایی  $X_L$  آن صرف نظر شده است. در مدارات الکتریکی سلفها به صورت سری یا موازی با یکدیگر اتصال پیدا می کنند.

**الف) اتصال سری سلفها :**

در اتصال سری سلفها، ضریب خودالقایی کل برابر مجموع همه ضریب خودالقایی های موجود در مدار است که از رابطه زیر به دست می آید.

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

**مثال ۱۲:** سه سلف با ضریب خودالقایی  $2$ ،  $4$ ،  $6$  میلی هانری به صورت سری به یکدیگر متصل شده اند. ضریب خودالقایی کل را به دست آورید.

حل: از رابطه زیر داریم:

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3$$

$$L_{eq} = 2 + 4 + 6 = 12 [ms]$$

### ب) اتصال موازی سلف‌ها :

در اتصال موازی سلف‌ها ضریب خودالقایی کل از رابطه زیر به دست می‌آید.

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

**مثال ۱۳:** سه سلف با ضریب خودالقایی ۴، ۶، ۱۲ میلی هانری به صورت موازی به یکدیگر متصل شده‌اند. ضریب خودالقایی کل را به دست آورید.

**حل:**

از رابطه زیر داریم:

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{12}$$

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{3+2+1}{12}$$

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{6}{12}$$

$$L_{eq} = \frac{1 \times 12}{6} = 2 \text{mH}$$

**مثال ۱۴:** دو سلف به اتصال سری در یک مدار الکتریکی دارای مقاومت القایی ۳ و ۶ اهم می‌باشد. مقاومت القایی کل چند اهم است؟

**حل :**

از رابطه زیر داریم :

$$X_{L_{eq}} = X_{L_1} + X_{L_2}$$

$$X_{L_{eq}} = 3 + 6 = 9 [\Omega]$$

**مثال ۱۵:** دو سلف با اتصال موازی در یک مدار الکتریکی دارای مقاومت القایی ۳ و ۶ اهم می‌باشند. مقاومت القایی کل چند اهم است؟

**حل:**

از رابطه زیر داریم:

$$\frac{1}{X_{L_{eq}}} = \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}}$$

$$\frac{1}{X_{L_{eq}}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6}$$

$$X_{L_{eq}} = 2 [\Omega]$$

**منحنی جریان و ولتاژ سلف در جریان متناوب**  
جریان سلف از ولتاژ دو سر آن  $90^\circ$  عقب‌تر است لذا سلف را یک عنصر «پس فاز» می‌شناسند. منحنی ولتاژ و جریان یک سلف در اتصال به منبع متناوب سینوسی در شکل ۹۵ نشان داده شده است که در آن  $\theta_i = -90^\circ$  و  $\theta_v = 0$  می‌باشد.

همچنین، برای محاسبه مقاومت القایی معادل در مدارهای سری و موازی نیز می‌توان مشابه محاسبه ضریب خودالقایی معادل سلف عمل کرد. روابط محاسبه مقاومت القایی معادل، در مدار سری و موازی به صورت زیر است.

مدار سری

$$X_{L_{eq}} = X_{L_1} + X_{L_2} + \dots + X_{L_n}$$

مدار موازی

$$\frac{1}{X_{L_{eq}}} = \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + \dots + \frac{1}{X_{L_n}}$$

حل :

الف) از رابطه  $X_L$  داریم.

$$X_L = 2\pi fL = \omega L$$

$$X_L = 1000 \times 10 \times 10^{-3} = 10 [\Omega]$$

ب) از قانون اهم داریم :

$$\text{ولتاژ} = \text{مقاومت} \times \text{جریان}$$

$$I_m = \frac{V_m}{X_L} = \frac{50}{10} = 5 [A]$$

از رابطه جریان مؤثر به دست می آید.

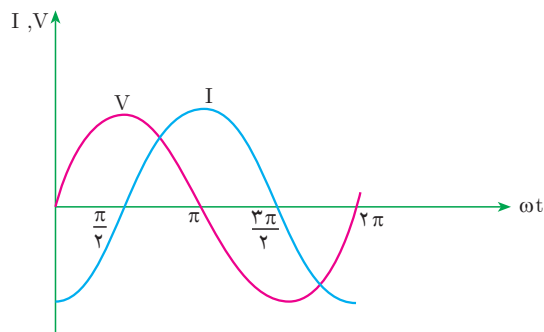
$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3.54 [A]$$

شکل ۹۷

ج) جریان سلف از ولتاژ دو سر آن عقب تر است و داریم :

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \theta_i)$$

$$i(t) = 5 \sin(1000t + 90^\circ)$$



شکل ۹۵

با توجه به شکل ۹۵ معادلات زمانی ولتاژ و جریان به صورت زیر خواهد شد.

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + 0)$$

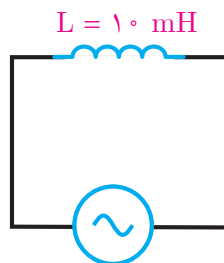
$$i(t) = I_m \sin(\omega t - 90^\circ)$$

و زاویه اختلاف فاز برابر خواهد شد :

$$\varphi = \theta_V - \theta_i$$

$$\varphi = 0 - (-90^\circ) = +90^\circ$$

مثال ۱۶: در مدار شکل ۹۶ مطلوب است :



شکل ۹۶

$$v(t) = 50 \sin(1000t)$$

الف) مقاومت القایی سلف

ب) جریان سلف

ج) معادله زمانی جریان سلف

## انرژی سلف

**مثال ۱۷:** از یک سلف با ضریب خودالقایی

$$i(t) = 4 \sin(50^\circ t - 90^\circ) \text{ ۰/۲ هانری جریان}$$

زمانی

می‌گذرد. ماکزیمم انرژی ذخیره شده در

سلف چند ژول است؟

$$W_L = \frac{1}{2} L I_m^2$$

**حل:** از رابطه داریم:

$$W_L = \frac{1}{2} (0.2)(4)^2 = 1.6 \text{ [J]}$$

سلف انرژی الکتریکی را به صورت میدان مغناطیسی در خود ذخیره می‌سازد و ماکزیمم انرژی ذخیره شده در سلف از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$W_L = \frac{1}{2} L I_m^2$$

که در این رابطه :

$W_L$  ماکزیمم انرژی ذخیره شده در سلف [J]

$L$  ضریب خودالقایی [H]

$I_m$  ماکزیمم جریان سلف [A] است.

## توان الکتریکی سلف

توان الکتریکی سلف صرف ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی می‌شود، مقدار انرژی ذخیره شده در واحد زمان در سلف را «توان الکتریکی سلف» می‌گویند.

توان الکتریکی سلف قادر به تبدیل کردن انرژی الکتریکی نیست لذا آن را «توان غیرمؤثر» یا «توان راکتیو» نیز می‌گویند و با حرف  $Q_L$  نشان می‌دهند و واحد آن «ولت آمپر راکتیو» «VAR» است. توان الکتریکی سلف از رابطه زیر به دست می‌آید و آن را با علامت مثبت نشانه‌گذاری می‌کنند.

$$Q_L = +X_L I_L^2$$

که در این رابطه :

$Q_L$  توان الکتریکی سلف [VAR]

$X_L$  مقاومت القایی سلف [ $\Omega$ ]

$I_L$  جریان سلف [A] است.

**مثال ۱۸:** یک سلف با مقاومت القایی ۴ اهم با جریان مؤثر ۳ آمپر مفروض است. توان

الکتریکی سلف چقدر است ؟

**حل:**

از رابطه توان الکتریکی سلف داریم:

$$Q_L = +X_L I_L^2$$

$$Q_L = +4 \times 3^2 = +36 \text{ [VAR]}$$



- ۱- مقدار نیروی مغناطیسی از رابطه ..... به دست می آید.
- ۲ - برای تعیین ..... قانون دست چپ ارائه شده است.
- ۳- خودالقایی و ضریب خودالقایی را تعریف کنید.
- ۴- تغییرات جریان چه اثراتی بر سیم پیچ می گذارد؟
- ۵- عوامل مؤثر بر مقدار ضریب خودالقایی کدام است؟
- ۶- انرژی ذخیره شده در سلف یعنی چه؟
- ۷- رابطه فازی بین ولتاژ و جریان یک سلف چیست؟
- ۸- موقعیت جریان و ولتاژ سلف چگونه است؟
- ۹- توان الکتریکی سلف را تعریف کنید.
- ۱۰- چرا سلف را یک عنصر پس فاز می نامند؟
- ۱۱- مقاومت القایی سلف را تعریف کنید. رابطه آن را بنویسید. عوامل مؤثر بر آن را نام ببرید.
- ۱۲- ثابت زمانی سلف را تعریف کنید. چه مدت طول می کشد تا جریان سلف به مقدار نهایی خود برسد؟
- ۱۳- نشان دهید واحد ثابت زمانی بر حسب ثانیه می باشد.



- ۱- نیروی وارد به یک هادی حامل جریان الکتریکی ۲ آمپر در میدان مغناطیسی  $\frac{5}{10}$  تسلا برابر  $\frac{1}{10}$  نیوتن است. طول مؤثر هادی چند متر است؟
- ۲- سیم پیچی به طول ۵۰ سانتی متر و سطح مقطع  $\frac{2}{10}$  متر مربع با هسته هوا دارای ۱۰۰۰ دور است اولاً ضریب خودالقایی آن تقریباً چند میلی هانری است؟ ثانیاً اگر بخواهیم ضریب خودالقایی دو برابر شود، تعداد دور سیم پیچ باید چند دور شود؟
- ۳- دو بوبین با ضریب خودالقایی ۱۰۰ میلی هانری را یک بار به طور سری و بار دیگر به طور موازی به هم وصل می کنیم. ضریب خودالقایی کل در هر دو حالت چقدر می شود؟
- ۴- ضریب خودالقایی سیم پیچی  $20 \text{ mH}$  و جریان عبوری از آن ۱۰ آمپر است. چه مقدار انرژی در سیم پیچ ذخیره می شود؟
- ۵- چهار سلف با ضریب های خودالقایی ۵۰، ۲۵، ۱۰۰ و ۲۵ میلی هانری را یک بار به طور سری و بار دیگر به طور موازی ببندید. ضریب خودالقایی کل را در هر حالت به دست آورید.
- ۶- از یک سلف با ضریب خودالقایی  $10 \text{ mH}$  جریان متناوبی با فرکانس ۵۰ هرتز عبور می کند. مقاومت القایی سلف چند اهم است؟ اگر فرکانس به یک کیلو هرتز تغییر یابد، مقاومت القایی سلف چند اهم می شود؟
- ۷- در یک سلف با ضریب خودالقایی ۳ میلی هانری، جریان در مدت دو ثانیه از یک آمپر به ۷ آمپر افزایش می یابد ولتاژ خودالقایی در سلف چند میلی ولت است؟ اگر ضریب خودالقایی ۳ هانری باشد، ولتاژ القایی چند میلی ولت می شود؟
- ۸- یک سلف با ضریب خودالقایی ۲ هانری و مقاومت اهمی  $\frac{5}{10}$  اهمی در دست است. اگر این سلف را به ولتاژ  $\frac{1}{5}$  ولت مستقیم وصل کنید، ماکزیمم جریان مدار چند آمپر می شود؟ چه مدت زمانی طول می کشد تا جریان ماکزیمم شود؟
- ۹- توان الکتریکی یک سلف  $10 \text{ VAR}$  می باشد در صورتی که جریان سلف  $2 \text{ A}$  باشد مقاومت القایی سلف را به دست آورید.
- ۱۰- بیشترین انرژی ذخیره شده در یک سلف با ضریب خود القایی ۵۰ میلی هانری که جریان مؤثر عبوری از آن  $2\sqrt{2}$  آمپر است را محاسبه کنید.

## واحد یادگیری ۱۰

# خازن



## خازن

خازن تشکیل شده است از دو صفحه هادی که بین آنها عایق<sup>۱</sup> قرار دارد. عایق خازن‌ها را «دی‌الکتریک» نیز می‌گویند. جنس دی‌الکتریک می‌تواند هوا، خلاء، کاغذ، میکا و ... باشد. خازن را با علامت اختصاری شکل (۹۷- ب) نشان می‌دهند.



خازن در لغت به معنای ذخیره‌ساز است زیرا انرژی الکتریکی را به صورت میدان الکترواستاتیکی در خود ذخیره می‌کند.

## ظرفیت خازن

ظرفیت خازن نسبت بار الکتریکی ذخیره شده به اختلاف پتانسیل صفحات می‌باشد و آن را با C نشان می‌دهند و واحد آن  $\frac{\text{کولن}}{\text{ولت}}$  می‌باشد که به احترام مایکل فاراد به آن «فاراد» گویند و با حرف F نشان می‌دهند. یک فاراد ظرفیت خازنی است که هرگاه اختلاف پتانسیل یک ولت بین صفحات آن ایجاد شود بار الکتریکی یک کولن در آن ذخیره شده است. ظرفیت خازن از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

در این رابطه:

C ظرفیت خازن برحسب فاراد [F]

q بار ذخیره شده برحسب کولن [C]

V اختلاف پتانسیل برحسب ولت [V] است.

**مثال ۱:** یک خازن در اثر اعمال  $20^\circ$  ولت به دو سر آن بار الکتریکی معادل  $80^\circ$  کولن را ذخیره می‌کند. ظرفیت خازن چقدر است؟

$$C = \frac{q}{V} \quad C = \frac{80^\circ}{20^\circ} = 4 [F]$$

حل :

**مثال ۲:** خازنی با ظرفیت  $40^\circ \mu F$  را به ولتاژ  $50^\circ$  ولت اتصال می‌دهیم. مقدار بار الکتریکی ذخیره شده چقدر است ؟

$$q = CV$$

$$q = 40^\circ \times 10^{-6} \times 50^\circ = 2000^\circ [\mu C]$$

حل :

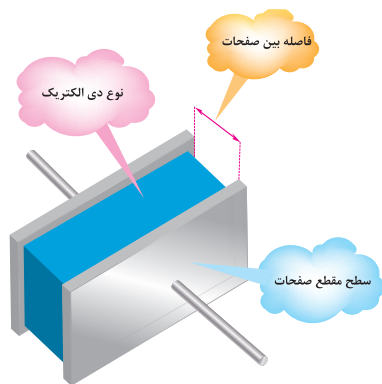
**مثال ۳:** یک خازن  $10^\circ \mu F$  با بار  $10^\circ \mu C$  چقدر اختلاف پتانسیل دارد؟

$$V = \frac{q}{C} \quad V = \frac{10^\circ \times 10^{-6}}{10^\circ \times 10^{-6}} = 1 [V]$$

حل :



## عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن

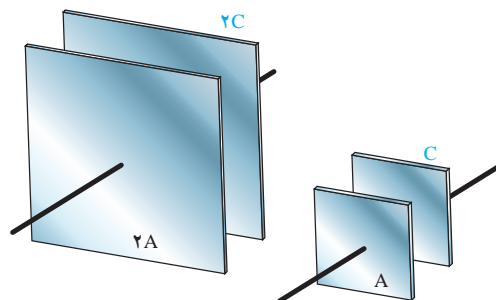


شکل ۹۸- عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن

مهم ترین عوامل مؤثر در تعیین ظرفیت خازن عبارت‌اند از:

- ۱- مساحت صفحات هادی
  - ۲- فاصله بین صفحات هادی
  - ۳- جنس عایق یا دی الکتریک
- ظرفیت خازن متناسب با مساحت صفحات و فاصله صفحات از یکدیگر می‌باشد به طوری که ظرفیت خازن با مساحت صفحات نسبت مستقیم و با فاصله صفحات از یکدیگر نسبت عکس دارد (شکل ۹۸).

هر چه مساحت صفحات هادی بزرگ‌تر باشد بار الکتریکی بیشتری را در خود ذخیره می‌کند. بنابراین خازن با صفحات بزرگ‌تر ظرفیت بیشتری خواهد داشت. (شکل ۹۹)



شکل ۹۹- تأثیر مساحت صفحات بر ظرفیت خازن

هر چه فاصله صفحات از یکدیگر بیشتر باشد ظرفیت خازن کمتر خواهد شد لذا خازن با فاصله صفحات کمتری دارای ظرفیت بیشتری خواهد شد. (شکل ۱۰۰)

ظرفیت زیاد	ظرفیت متوسط	ظرفیت کم
فاصله صفحات کم	فاصله صفحات متوسط	فاصله صفحات زیاد

شکل ۱۰۰- تأثیر فاصله بین صفحات بر ظرفیت خازن

جنس و کیفیت عایق یا دی‌الکتریک بین صفحات باردار خازن اثر مستقیم بر ظرفیت خازن دارد. دی‌الکتریک خوب و با کیفیت دی‌الکتریکی است که بتواند نیروی کولنی بین بارهای الکتریکی ذخیره‌شده بر روی صفحات باردار خازن را تحمل کند و خاصیت عایقی خود را از دست ندهد. (شکل ۱۰۱).

و فاصله آنها از یکدیگر و جنس عایق از رابطه زیر به دست می‌آید.

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

که در آن:

$$C \text{ ظرفیت خازن بر حسب [F]} \\ \epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \text{ ضریب نفوذ الکتریکی عایق بر حسب } \left[ \frac{F}{m} \right] \\ A \text{ مساحت صفحات بر حسب [m}^2\text{]} \\ d \text{ فاصله بین صفحات بر حسب [m] است.}$$

**مثال ۴:** ظرفیت خازنی که مساحت صفحات آن ۰/۰۵ مترمربع و فاصله بین صفحات آن ۰/۱ سانتی‌متر و نوع دی‌الکتریک به کار رفته در آن میکا باشد را به دست آورید.

**حل:**

با استفاده از جدول ضریب نفوذ نسبی ( $\epsilon_r$ ) برای میکا برابر ۵ است. همچنین می‌دانیم که ضریب نفوذ نسبی هوا برابر است با

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$$

بنابراین با توجه به مقادیر داده شده، مقدار  $C$  ظرفیت خازن را به دست می‌آوریم.

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

$$\epsilon = 8.85 \times 10^{-12} \left[ \frac{F}{m} \right]$$

$$A = 0.05 \text{ m}^2$$

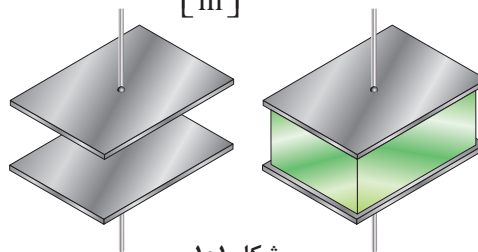
$$d = 0.1 \times 10^{-2} \text{ m}$$

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

$$C = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 5 \times 0.05}{0.1 \times 10^{-2}} = 0.00221 \mu\text{f}$$

کیفیت عایق یا دی‌الکتریک در واقع استقامت الکتریکی عایق در مقابل میدان الکتریکی بین صفحات باردار خازن است. استقامت الکتریکی عایق‌ها در مقابل میدان الکتریکی بین صفحات باردار خازن را «ضریب نفوذ الکتریکی» می‌نامند و با  $\epsilon$  نشان می‌دهند. ضریب نفوذ الکتریکی هوا را با  $\epsilon_0$  نشان می‌دهند و برابر است با:

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \left[ \frac{F}{m} \right]$$



نسبت ضریب نفوذ عایق‌های الکتریکی به ضریب نفوذ الکتریکی هوا را «ضریب نفوذ نسبی» گویند و با  $\epsilon_r$  نشان می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

ضریب نفوذ نسبی تعدادی از عایق‌های الکتریکی در جدول نشان داده شده است.

#### جدول ضریب نفوذ نسبی عایق‌ها

نوع عایق	ضریب نفوذ نسبی عایق‌ها ( $\epsilon_r$ )
هوا	۱
تفلون	۲
کاغذ آغشته به پارافین	۲/۵
روغن	۴
میکا	۵
اکسید آلومینیم	۷
شیشه	۷/۵
اکسید تانتالیم	۲۶
سرامیک	۱۲۰۰

ظرفیت خازن با توجه به ابعاد صفحات هادی

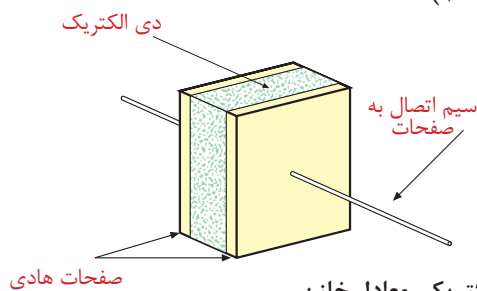
از جمله مشخصه‌های دیگر خازن ولتاژ کار آن است که همراه با ظرفیت روی بدنه خازن نوشته می‌شود. در شکل ۱۰۲ خازن با تحمل ولتاژ ۴۰۰ ولت DC و ظرفیت ۱۰۰ میکرو فاراد نشان داده شده است.



شکل ۱۰۲

## مدار الکتریکی معادل خازن

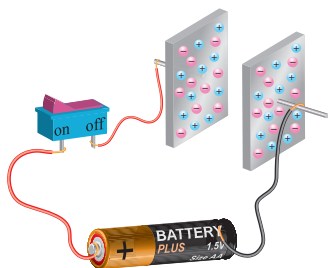
خازن علاوه بر ظرفیت  $C$ ، مقاومت الکتریکی  $R$  نیز دارد. مقاومت الکتریکی ناشی از سطح مقطع و ضخامت صفحات خازن است. برای خازن مدار الکتریکی شامل اتصال سری مقاومت الکتریکی  $R$  و ظرفیت خازن  $C$  معادل می‌نمایند. شکل (۱۰۳)



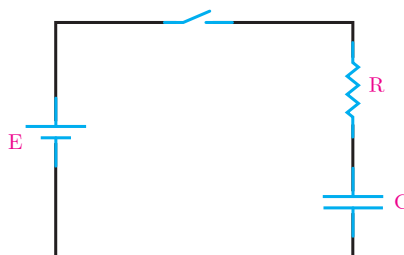
شکل ۱۰۳- مدار الکتریکی معادل خازن

## خازن در جریان مستقیم

یک خازن که توسط منبع جریان مستقیم تغذیه می‌شود در شکل ۱۰۴ و مدار الکتریکی معادل آن در شکل ۱۰۵ نشان داده شده است.

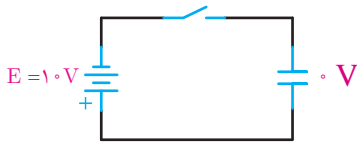
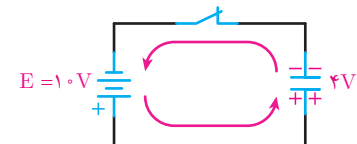


شکل ۱۰۴



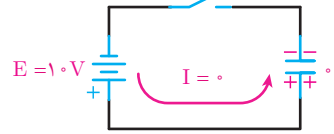
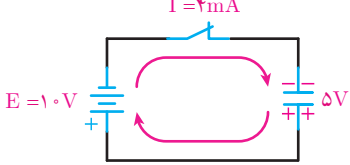
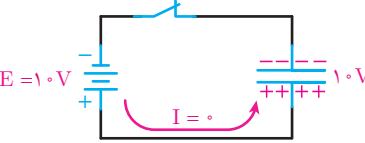
شکل ۱۰۵

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، کمبود الکترون پیدا می‌کند و دارای بار مثبت می‌شود. (شکل ۱۰۶)

<p>وقتی کلید باز است هیچ جریانی از مدار نمی‌گذرد و خازن شارژ نمی‌شود.</p>	
<p>وقتی کلید بسته می‌شود جریان در مدار برقرار می‌شود و صفحات خازن باردار خواهد شد و خازن شارژ می‌شود.</p>	

شکل ۱۰۶

مادامی که خازن شارژ می‌شود ولتاژ خازن افزایش می‌یابد و جریان شارژ خازن کاهش می‌یابد تا ولتاژ خازن به ولتاژ باتری می‌رسد در این شرایط خازن شارژ کامل شده است و جریان شارژ آن صفر می‌شود. شکل ۱۰۷ این مطلب را به روشنی نشان می‌دهد.

<p>مدار باز بوده، جریان نمی‌گذرد</p>	
<p>خازن در حال شارژ</p>	
<p>خازن کاملاً شارژ شده و جریان نمی‌گذرد</p>	

شکل ۱۰۷

در شکل ۱۰۷ با وصل کلید شارژ خازن شروع می‌شود. مدت زمانی که طول می‌کشد تا ولتاژ خازن به  $\frac{63}{2}\%$  ولتاژ نهایی برسد را ثابت زمانی خازن می‌گویند و آن را با حرف  $\tau$  نشان می‌دهند. مقدار  $\tau$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\tau = RC$$

که در آن  $\tau$  ثابت زمانی خازن بر حسب [S]

R مقاومت الکتریکی بر حسب [ $\Omega$ ]

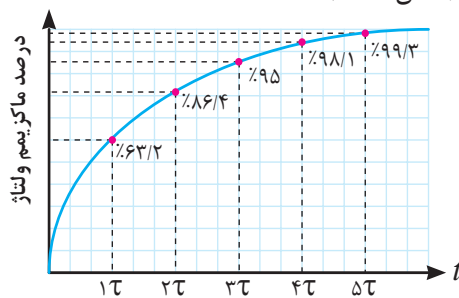
C ظرفیت خازن بر حسب [F] است.

در هر ثابت زمانی بعدی، خازن به اندازه  $\frac{63}{2}\%$  درصد از ولتاژ باقی مانده شارژ می‌شود. مدت زمانی که طول می‌کشد تا خازن شارژ کامل شود، از رابطه زیر

$$t = 5\tau$$

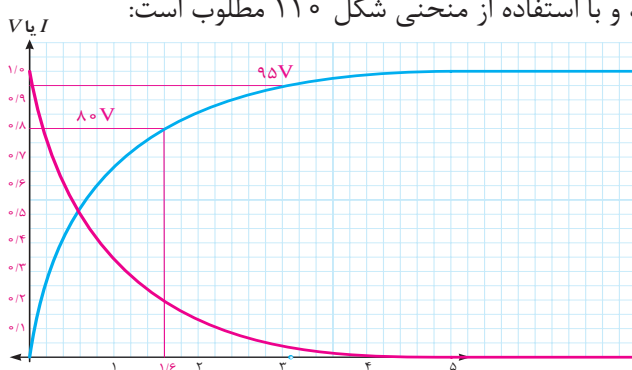
$\tau$  ثابت زمانی خازن [s]

و t مدت زمان شارژ کامل است (شکل ۱۰۸).

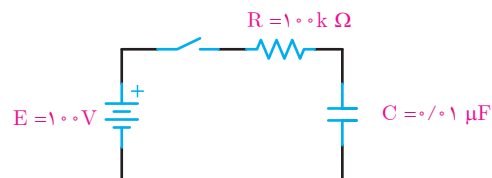


شکل ۱۰۸- منحنی شارژ خازن

**مثال ۵:** در مدار شکل ۱۰۹ پس از بستن کلید و با استفاده از منحنی شکل ۱۱۰ مطلوب است:



شکل ۱۱۰



شکل ۱۰۹

(الف) چه مدت طول می‌کشد تا ولتاژ دو سر خازن به ۸۰ ولت برسد؟

(ب) بعد از ۳ میلی ثانیه، ولتاژ دو سر خازن چه مقدار می‌شود؟

**حل:**

$$\tau = RC$$

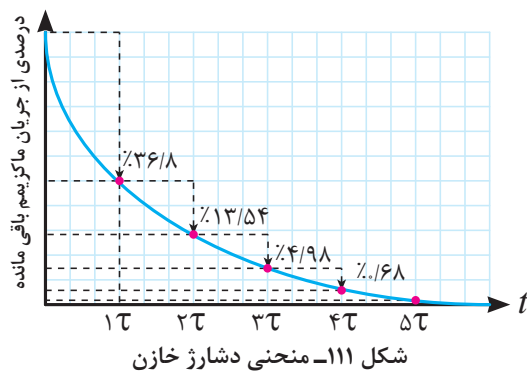
$$100 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6} = 10 \text{ ms}$$

ثابت زمانی مدار

در یک ثابت زمانی یا یک میلی ثانیه، خازن به اندازه  $63/2\%$  درصد ولتاژ کل - یعنی  $63/2\%$  ولت، شارژ می شود. اگر بخواهیم خازن  $80\%$  ولت شارژ شود، چنین عمل می کنیم:

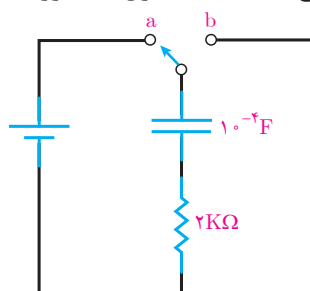
از روی محور عمودی که ولتاژ را نشان می دهد، مقدار  $80\%$  ولت را پیدا می کنیم و خطی موازی محور زمان (افقی) می کشیم تا منحنی شارژ را قطع کند. از آنجا نیز خطی موازی محور عمودی (ولتاژ) رسم می کنیم تا محور زمان را قطع کند. محل تقاطع محور زمان عدد  $1/6\tau$  را نشان می دهد؛ یعنی،  $1/6$  میلی ثانیه طول می کشد تا خازن به مقدار  $80\%$  ولت شارژ شود. در  $3$  میلی ثانیه یا  $3$  ثابت زمانی، ولتاژ دو سر خازن به  $95\%$  ولت می رسد. چرا؟ با رسم خطوطی موازی محورهای مختصات، همان طور که قبلاً گفته شد - مقدار  $95\%$  ولت به دست می آید.

با اتصال خازن شارژ شده به یک مقاومت، خازن انرژی ذخیره شده خود را در مقاومت به حرارت تبدیل می کند تا دشارژ شود پس از دشارژ کامل خازن ولتاژ صفر می شود. مدت زمانی که طول می کشد تا خازن دشارژ کامل شود نیز برابر  $5\tau$  است. در ثابت زمانی اول  $63/2\%$  درصد از شارژ کامل خازن از بین می رود و در ثابت زمانی های بعدی به ترتیب  $63/2\%$  درصد از شارژ باقی مانده تخلیه می شود. در انتهای  $5$  ثابت زمانی، خازن کاملاً تخلیه شده است شکل (۱۱۱).



شکل ۱۱۱- منحنی دشارژ خازن

**مثال ۶:** مدار شکل زیر کلید مدت زیادی در وضعیت a قرار داشته است پس از تغییر حالت کلید به وضعیت b چه مدت طول می کشد تا خازن دشارژ کامل شود؟



شکل ۱۱۲

**حل:**

مدت زمانی که طول می کشد تا خازن به طور کامل دشارژ شود از رابطه  $t = 5\tau$  به دست می آید.

$$\tau = RC = 2 \times 10^3 \times 10^{-4} = 0.2 \text{ s}$$

$$t = 5\tau = 5 \times 0.2 = 1 \text{ s}$$

## خازن در جریان متناوب

خازن در جریان متناوب علاوه بر مقاومت الکتریکی  $R$  مربوط به صفحات هادی به دلیل تغییرات ولتاژ ناشی از فرکانس «مقاومت خازنی» دارد. مقاومت خازنی<sup>۱</sup> با جاری شدن جریان در خازن مخالفت می‌کند. «مقاومت خازنی» را با  $X_c$  نشان می‌دهند و واحد آن اهم است و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c}$$

در این رابطه :

$X_c$  مقاومت خازنی  $[\Omega]$

$f$  فرکانس  $[Hz]$

$C$  ظرفیت خازن  $[F]$  است.

**مثال ۶:** یک خازن با ظرفیت  $100 \mu F$  در فرکانس  $50^\circ$  هرتز مفروض است مقاومت خازنی آن چند اهم است؟

**حل :** از رابطه (۴-۱۳) داریم:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c}$$

$$X_c = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 100 \times 10^{-6}} = 31.85 [\Omega]$$

## اتصال خازن‌ها

برای سادگی محاسبات از مقاومت الکتریکی  $R$  مربوط به صفحات هادی در مقایسه با مقاومت خازنی صرف‌نظر می‌شود و مدار الکتریکی معادل خازن مطابق شکل ۱۱۳ در نظر گرفته می‌شود.

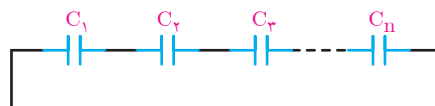


شکل ۱۱۳

### الف) اتصال سری خازن‌ها

ظرفیت خازن معادل  $C_t$  چند خازن با اتصال سری شکل ۱۱۴ از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$



شکل ۱۱۴

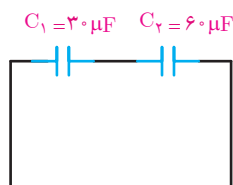
مثال ۷: ظرفیت خازن معادل خازن‌های شکل ۱۱۵ را به دست آورید.

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{30} + \frac{1}{60}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{2+1}{60} = \frac{3}{60}$$

$$C_{eq} = \frac{60}{3} = 20 \mu F$$

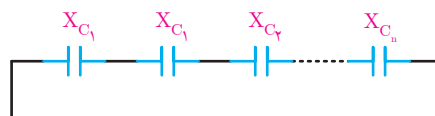


شکل ۱۱۵

حل:

مقاومت خازنی معادل  $X_C$  خازن‌های اتصال سری شکل ۱۱۶ از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$X_{Ceq} = X_{C_1} + X_{C_2} + \dots + X_{C_n}$$

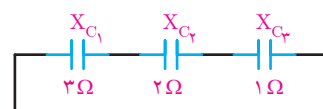


شکل ۱۱۶

مثال ۸: مقاومت خازنی معادل شکل ۱۱۷ را به دست آورید.

$$X_{Ceq} = X_{C_1} + X_{C_2} + X_{C_3}$$

$$X_{Ceq} = 3 + 2 + 1 = 6 \Omega$$



شکل ۱۱۷

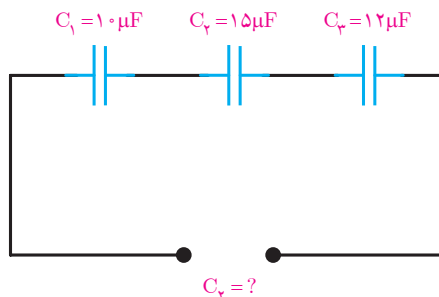
حل:

مثال ۹: ظرفیت معادل مدار شکل ۱۱۸ را به دست آورید.

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{15} + \frac{1}{12} = \frac{6+4+5}{60} = \frac{15}{60}$$

$$C_t = \frac{60}{15} = 4 [\mu F]$$



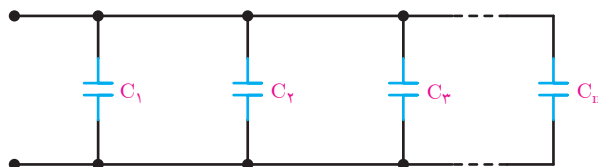
شکل ۱۱۸

حل:

### ب) اتصال موازی خازن‌ها

ظرفیت خازن معادل  $C_{eq}$  چند خازن با اتصال موازی شکل ۱۱۹ از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$



شکل ۱۱۹

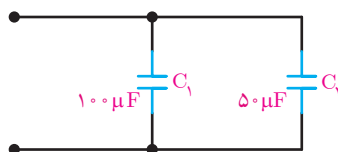


مثال ۱۰: ظرفیت خازن معادل خازن‌های شکل ۱۲۰ را به دست آورید.

حل:

$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

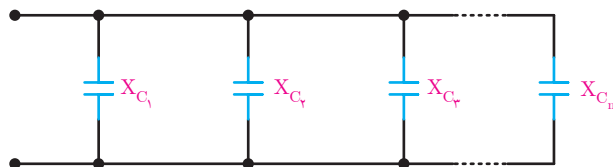
$$C_t = 100 + 50 = 150 \mu f$$



شکل ۱۲۰

مقاومت خازنی معادل  $X_{C_i}$  خازن‌ها با اتصال موازی شکل ۱۲۱ از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\frac{1}{X_{C_{eq}}} = \frac{1}{X_{C_1}} + \frac{1}{X_{C_2}} + \frac{1}{X_{C_3}} + \dots + \frac{1}{X_{C_n}}$$



شکل ۱۲۱

مثال ۱۱: مقاومت خازنی معادل خازن‌های شکل ۱۲۲ را به دست آورید.

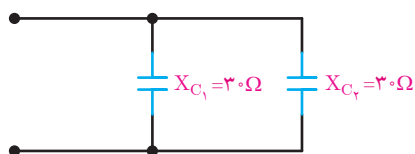
حل:

$$\frac{1}{X_{C_{eq}}} = \frac{1}{X_{C_1}} + \frac{1}{X_{C_2}}$$

$$\frac{1}{X_{C_{eq}}} = \frac{1}{30} + \frac{1}{30}$$

$$\frac{1}{X_{C_{eq}}} = \frac{2}{30}$$

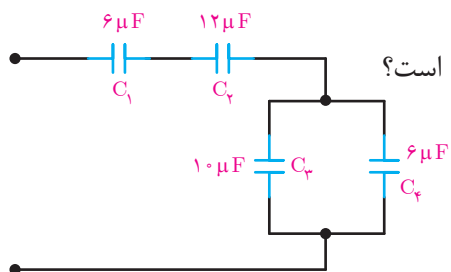
$$X_{C_{eq}} = \frac{30}{2} = 15 \Omega$$



شکل ۱۲۲

## اتصال مختلط خازن‌ها

در اتصال مختلط خازن‌ها از روابط اتصال سری و موازی متناسب استفاده می‌کنیم.



مثال ۱۲: ظرفیت خازن معادل مدار شکل ۱۲۳ چند میکروفاراد است؟

شکل ۱۲۳

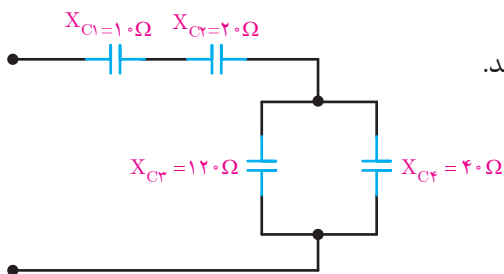
حل:

در این مدار  $C_1$  و  $C_2$  سری است که روابط سری را درباره این دو عمل می‌کنیم.  $C_3$  و  $C_4$  نیز با هم موازی‌اند و روابط موازی را درباره آنها عمل می‌کنیم. در نهایت، مجموعه  $C_1$  و  $C_2$  با مجموعه  $C_3$  و  $C_4$  سری هستند و از قوانین سری پیروی می‌کنند. بنابراین، می‌توان نوشت:

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

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

$$C_5 = \frac{4 \times 16}{4 + 16} = \frac{16}{5} = 3 \frac{1}{5} \mu F$$



شکل ۱۲۴

مثال ۱۳: مقاومت خازنی معادل شکل ۱۲۴ را به دست آورید.

حل:

$$\frac{1}{X_{C34}} = \frac{1}{X_{C3}} + \frac{1}{X_{C4}}$$

$$\frac{1}{X_{C34}} = \frac{4}{120}$$

$$X_{C34} = \frac{120}{4} = 30 \Omega$$

مدار به شکل ۱۲۵ در می‌آید.

اکنون معادل سری  $X_{C1}$ ،  $X_{C2}$  و  $X_{C34}$  را به دست می‌آوریم.

$$X_{Ceq} = X_{C1} + X_{C2} + X_{C34}$$

$$X_{Ceq} = 10 + 20 + 30 = 60 \Omega$$

شکل ۱۲۵

## انرژی خازن

خازن انرژی الکتریکی را به صورت میدان الکتریکی در خود ذخیره می‌سازد و ماکزیمم انرژی ذخیره‌شده در خازن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W_C = \frac{1}{2} C V_m^2$$

که در این رابطه:

$W_C$  ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن (ج)

$C$  ظرفیت خازن (F)

$V_m$  ماکزیمم ولتاژ خازن (V) است.

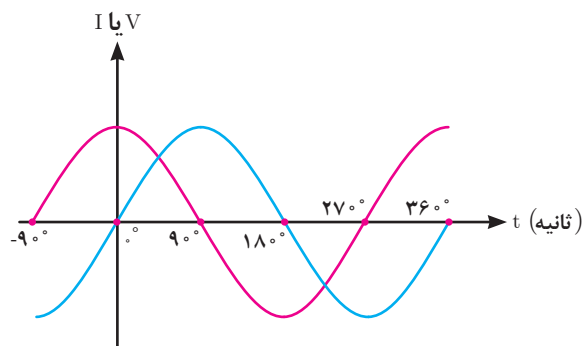
**مثال ۱۴:** به یک خازن با ظرفیت  $50 \mu\text{F}$  میکروفاراد ولتاژ متناوب سینوسی به معادله زمانی  $v(t) = 100 \sin(1000t)$  وصل شده است. ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن چند ژول است؟

حل:

$$W_C = \frac{1}{2} C V_m^2$$

$$W_C = \frac{1}{2} \times 50 \times 10^{-6} \times (100)^2 = 0.25 \text{ (J)}$$

## منحنی جریان و ولتاژ خازن در جریان متناوب



شکل ۱۲۶

جریان خازن از ولتاژ دو سر آن  $90^\circ$  جلوتر است لذا خازن را یک عنصر «پیش‌فاز» می‌شناسند. منحنی ولتاژ و جریان خازن در اتصال به منبع متناوب سینوسی در شکل ۱۲۶ نشان داده شده است که در آن  $\theta_v = 0^\circ$  و  $\theta_i = 90^\circ$  می‌باشد.

با توجه به شکل ۱۲۶ معادلات زمانی ولتاژ و جریان به صورت زیر خواهد شد.

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + 0^\circ)$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

و زاویه اختلاف فاز  $\phi$  برابر خواهد شد.

$$\phi = \theta_v - \theta_i$$

$$\phi = 0^\circ - (90^\circ) = -90^\circ$$

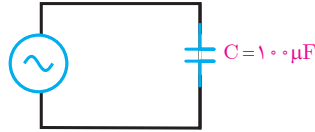
مثال ۱۵: در مدار شکل ۱۲۷ مطلوب است:

الف) مقاومت خازنی

ب) جریان خازن

ج) معادله زمانی جریان خازن

$$v(t) = 50 \sin(1000t)$$



شکل ۱۲۷

حل:

الف) از رابطه زیر داریم:

$$X_C = \frac{1}{1000 \times 100 \times 10^{-6}} = 10 \Omega$$

ب) از قانون اهم داریم:

$$I_m = \frac{V_m}{X_C} = \frac{50}{10} = 5(A)$$

ولتاژ =  
مقاومت = جریان

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3.54(A)$$

$$i(t) = 5 \sin(1000t + 90)$$

جریان خازن از ولتاژ دو سر آن ۹۰ درجه جلوتر است لذا داریم:

## توان الکتریکی خازن

توان الکتریکی خازن صرف ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی می‌شود. مقدار انرژی ذخیره‌شده در واحد زمان در خازن را «توان الکتریکی خازن» گویند. توان الکتریکی خازن قادر به تبدیل کردن انرژی الکتریکی نیست لذا آن را توان «غیرمؤثر» یا «توان راکتیو» نیز می‌گویند و با حرف C نشان می‌دهند و واحد آن «ولت آمپر راکتیو VAR» است. توان الکتریکی خازن از رابطه زیر به دست می‌آید و آن را با علامت منفی نشانه‌گذاری می‌کنند.

$$Q_C = -X_C I_C^2$$

که در این رابطه:

$Q_C$  توان الکتریکی خازن [VAR]

$X_C$  مقاومت خازنی [ $\Omega$ ]

$I_C$  جریان خازنی [A] است.

مثال ۱۶: یک مقاومت خازنی ۲ اهم با جریان مؤثر ۴ آمپر مفروض است. توان الکتریکی خازن

چقدر است؟

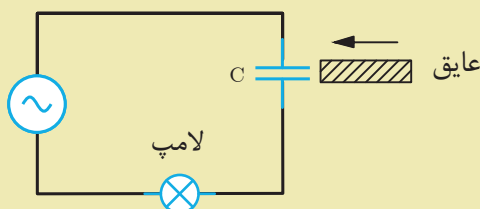
$$Q_C = -X_C I_C^2$$

$$Q = -2 \times 4^2 = -32(VAR)$$

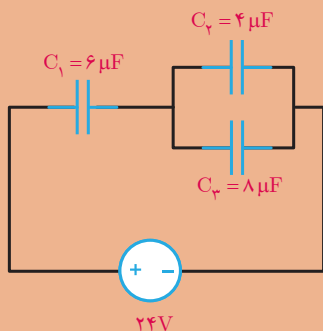
حل:



- ۱- خازن را تعریف کنید و عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن را نام ببرید.
- ۲- ثابت زمانی خازن را تعریف کنید؟ چه مدت طول می کشد تا خازن در مدار پایدار شود؟
- ۳- مقاومت خازنی را تعریف کنید؟ به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۴- توان الکتریکی خازن را تعریف کنید؟ چرا آن را توان راکتیو می نامند؟
- ۵- چرا خازن را یک عنصر پیش فاز تعریف می کنند؟ منحنی سینوسی جریان و ولتاژ خازن را رسم کنید.
- ۶- در شکل زیر با قرار دادن عایق بین صفحات خازن نور لامپ چه تغییری می کند؟ چرا؟



- ۱- مساحت صفحات یک خازن  $10 \text{ cm}^2$  و فاصله صفحات آن  $4 \text{ mm}$  می باشد. در هر حالت زیر ظرفیت خازن را حساب کنید.
  - الف) عایق بین صفحات هوا باشد.
  - ب) عایق بین صفحات از نوع میکا باشد.
- ۲- خازنی به ظرفیت  $50 \mu\text{F}$  را به یک باتری  $12\text{V}$  متصل می کنیم بار الکتریکی ذخیره شده در آن چند کولن است؟
- ۳- در شکل زیر مطلوب است:
  - الف) ظرفیت معادل ( $C_{eq}$ ) چند میکروفاراد است؟
  - ب) بار الکتریکی و ولتاژ هر خازن

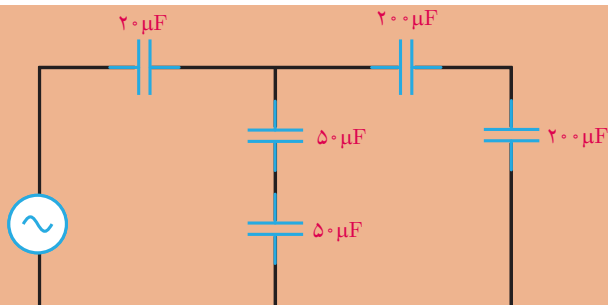


۴- در شکل صفحه بعد مطلوب است:

الف) محاسبه  $C_{eq}$

ب) محاسبه  $X_{ceq}$

ج) اگر  $\omega = 50 \cdot \frac{\text{Rad}}{\text{s}}$  باشد در این حالت  $C_{eq}$  و  $X_{ceq}$  را حساب کنید.

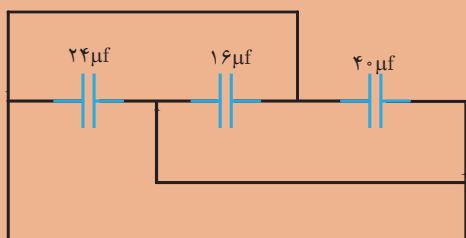


$$\omega = 1000 \frac{\text{Rad}}{\text{S}}$$

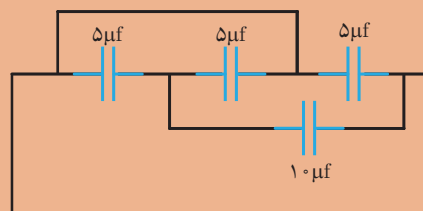
۵- در شکل زیر پس از بستن کلید چه مدت طول می کشد تا خازن به حالت پایدار برسد؟ در این حالت ولتاژ خازن چقدر است؟



۶- ظرفیت معادل در شکل های زیر را به دست آورید.



(الف)



(ب)

۷- ظرفیت خازنی با حداکثر ولتاژ ۱۰۰ ولت و ماکزیمم انرژی ذخیره شده ۰/۲ ژول چند میکروفاراد است؟

۸- معادلات زمانی ولتاژ و جریان یک خازن به ترتیب  $v(t) = 100 \sin(100\pi t + \phi)$  و  $i(t) = 5 \sin(100\pi t + 90^\circ)$  است مطلوب است:

الف) مقاومت خازنی

ب) ظرفیت خازن

۹- خازنی با توان الکتریکی ۱۰۰- ولت آمپر راکتیو و ظرفیت ۵۰ میکروفاراد مفروض است:

الف) مقاومت خازنی در سرعت زاویه ای ۵۰۰ رادیان بر ثانیه چند اهم است؟

ب) جریان موثر خازن چند آمپر است؟



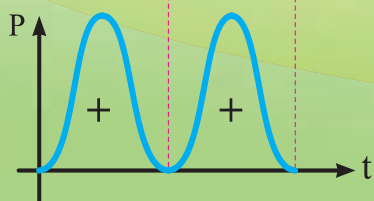
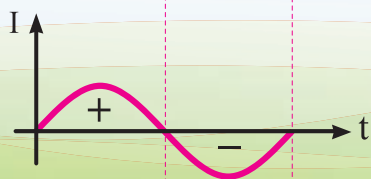
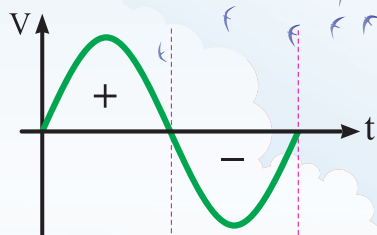


در این فصل مطالب زیر را فرا خواهید گرفت:

- ۱- توان در جریان متناوب
- ۲- اندازه گیری جریان
- ۳- اندازه گیری ولتاژ
- ۴- اندازه گیری مقاومت
- ۵- اندازه گیری انرژی الکتریکی

# واحد یادگیری ۱۱

## توان در جریان متناوب



$$P = V \times I$$



## توان مؤثر و غیرمؤثر در جریان متناوب

توان مؤثر توانی است که انرژی الکتریکی را تبدیل می‌کند و واحد آن وات است و در مدارهای جریان متناوب از رابطه روبه‌رو به‌دست می‌آید.

$$P = V_e I_e \cos \phi$$

توان غیرمؤثر توانی است که انرژی الکتریکی را ذخیره می‌کند و واحد آن ولت آمپر راکتیو است و در مدارهای جریان متناوب از رابطه روبه‌رو به‌دست می‌آید.

$$Q = V_e I_e \sin \phi$$

در مدارهای پس فاز، زاویه اختلاف فاز  $\phi$  مقداری مثبت است لذا علامت  $Q$  مثبت خواهد شد اما در مدارهای پیش فاز، زاویه اختلاف فاز  $\phi$  مقداری منفی است لذا علامت  $Q$  منفی خواهد شد.

در این روابط:

$P$  توان مؤثر  $[w]$

$Q$  توان غیر مؤثر  $[VAR]$

$V_e$  ولتاژ مؤثر  $[V]$

$I_e$  جریان مؤثر  $[A]$

$\phi$  زاویه اختلاف فاز جریان با ولتاژ (درجه) یا (رادیان) است.

**مثال ۱:** معادلات زمانی ولتاژ و جریان یک مدار الکتریکی به‌صورت زیر است :

$$v(t) = 220\sqrt{2} \sin(50^\circ t + 0^\circ)$$

$$i(t) = 10\sqrt{2} \sin(50^\circ t + 6^\circ)$$

مطلوب است:

الف) مقدار ولتاژ و جریان مؤثر

ب) زاویه اختلاف فاز و نوع مدار

ج) توان مؤثر

د) توان غیرمؤثر

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 220 [V]$$

$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{10\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 10 [A]$$

حل:

الف)

$$\phi = \theta_v - \theta_i$$

$$\phi = 0^\circ - 6^\circ = -6^\circ$$

ب)

$$P = V_e I_e \cos \varphi$$

$$P = 220 \times 10 \times \cos 60^\circ = 1100 \text{ [W]}$$

(ج)

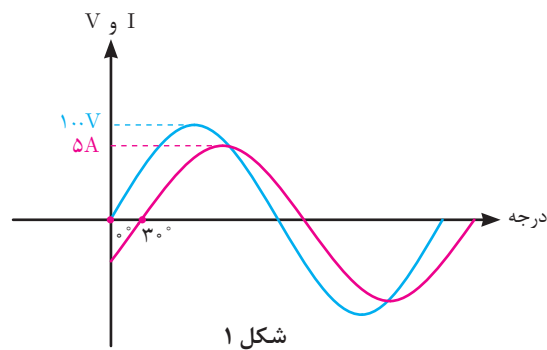
(د) زاویه  $\varphi$  مقداری منفی دارد یعنی مدار پیش‌فاز است. پیش‌فاز یعنی جریان مدار از ولتاژ مدار به اندازه  $60^\circ$  درجه جلوتر است.

از رابطه  $Q$  داریم:

$$Q = V_e I_e \sin \varphi$$

$$Q = 220 \times 10 \times \sin(-60^\circ) = -1100\sqrt{3} \text{ [VAR]}$$

**مثال ۲:** منحنی ولتاژ جریان یک مدار الکتریکی در شکل زیر داده شده است:



مطلوب است :

(الف) مقدار ولتاژ و جریان مؤثر

(ب) زاویه اختلاف فاز و نوع مدار

(ج) توان مؤثر

(د) توان غیرمؤثر

**حل :**

(الف) با توجه به شکل ۱

$$V_m = 100 \text{ [V]}$$

$$I_m = 5 \text{ [A]}$$

$$\theta_V = 0^\circ$$

$$\theta_i = -30^\circ$$

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{100}{\sqrt{2}} = 50\sqrt{2}$$

$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} \text{ [A]}$$

$$\varphi = \theta_V - \theta_i$$

$$\varphi = 0^\circ - (-30^\circ) = +30^\circ$$

(ب)

زاویه  $\phi$  مقداری مثبت دارد یعنی مدار پس فاز است. پس فاز یعنی جریان مدار از ولتاژ مدار به اندازه  $30^\circ$  درجه عقب تر است.

(ج)

$$P = V_e I_e \cos \phi$$

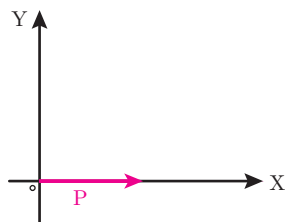
$$P = 50\sqrt{2} \times 2 / 5\sqrt{2} \times \cos(+30^\circ) = 125\sqrt{3} [W]$$

(د)

$$Q = V_e I_e \sin \phi$$

$$Q = 50\sqrt{2} \times 2 / 5\sqrt{2} \times \sin(+30^\circ) = 125 [VAR]$$

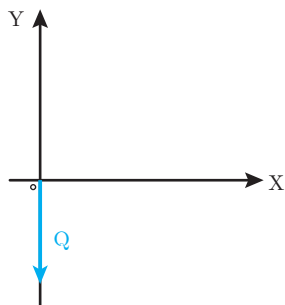
## بردار توان های مؤثر و غیر مؤثر



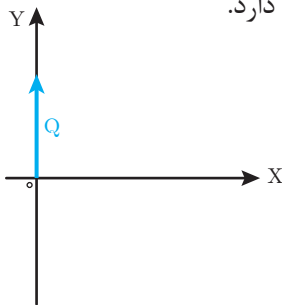
شکل ۲- بردار توان مؤثر

بردار توان مؤثر، یک بردار افقی و مثبت است. طول آن برابر مقدار توان مؤثر می باشد. (شکل ۲)

بردار توان غیرمؤثر یک بردار عمودی است که علامت آن به مثبت یا منفی بودن توان غیرمؤثر بستگی دارد.



(ب) بردار توان غیرمؤثر پیش فاز



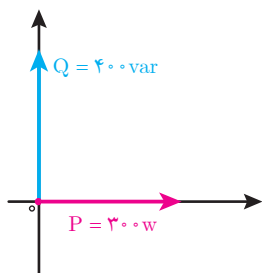
(الف) بردار توان غیرمؤثر پس فاز

شکل ۳

**مثال ۳:** یک مدار الکتریکی دارای توان مؤثر  $W = 300$  و توان غیرمؤثر پس فاز  $VAR = 400$  می باشد بردارهای  $P$  و  $Q$  آن را رسم کنید.

**حل:**

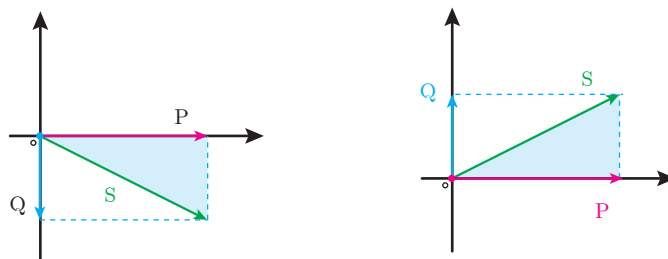
بردار توان مؤثر  $P$  به صورت افقی و بردار توان غیرمؤثر به صورت عمودی رسم می شود. (شکل ۴)



شکل ۴

## توان ظاهری

توان ظاهری از برابند توان مؤثر و توان غیرمؤثر به دست می آید. توان ظاهری را با  $S$  نشان می دهند و واحد آن ولت آمپر  $[VA]$  است (شکل ۵).



ب) توان ظاهری مدار پیش فاز

الف) توان ظاهری مدار پس فاز

شکل ۵

و مقدار آن از رابطه زیر به دست می آید.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

که در این رابطه :

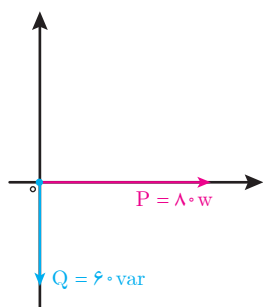
$S$  توان ظاهری  $[VA]$

$P$  توان مؤثر  $[W]$

$Q$  توان غیرمؤثر  $[VAR]$  است.

**مثال ۴:** یک مدار الکتریکی دارای زاویه اختلاف فاز  $\varphi = -37^\circ$  و توان مؤثر  $W = 80$  و توان غیرمؤثر  $VAR = 60$  می باشد. بردارهای توان را رسم کنید و مقدار توان ظاهری را محاسبه نمایید.

**حل:** زاویه اختلاف فاز منفی است پس توان غیرمؤثر منفی می باشد. (شکل ۶)



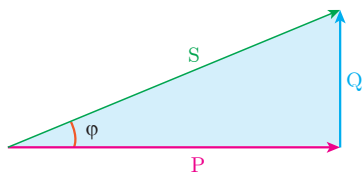
شکل ۶

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

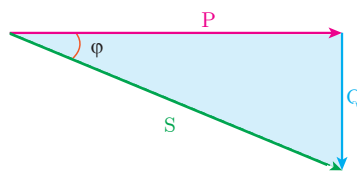
$$S = \sqrt{80^2 + 60^2} = 100 [VA]$$

## مثلث توان

مثلث توان، مثلث قائم الزاویه‌ای است که توان مؤثر و غیرمؤثر اضلاع قائم و توان ظاهری وتر آن می‌باشد. بردارهای  $P$  و  $Q$  و  $S$  می‌توانند تشکیل یک مثلث دهند. زاویه بین  $P$  و  $S$  همان زاویه  $\varphi$  است. (شکل ۷)



(ب) مثلث توان مدار پس فاز



(الف) مثلث توان مدار پیش فاز

شکل ۷

مثلث توان دارای نسبت‌های مثلثاتی زیر است:

$$\begin{aligned}\cos \varphi &= \frac{P}{S} \\ \sin \varphi &= \frac{Q}{S} \\ \operatorname{tg} \varphi &= \frac{Q}{P}\end{aligned}$$

که در این رابطه:

$\cos \varphi$  ضریب توان مؤثر

$\sin \varphi$  ضریب توان غیرمؤثر

$\operatorname{tg} \varphi$  ضریب کیفیت می‌باشد.

**مثال ۵:** یک مدار الکتریکی دارای توان مؤثر  $120 \text{ W}$  و توان غیرمؤثر  $160 \text{ VAR}$  می‌باشد مطلوب است :

(الف) رسم مثلث توان

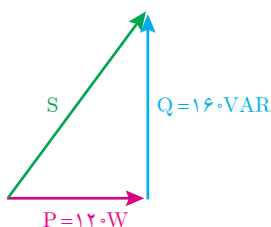
(ب) توان ظاهری

(ج) ضریب توان مؤثر

**حل:**

(الف) توان غیرمؤثر مثبت است یعنی مدار پس‌فاز می‌باشد.

(ب) توان ظاهری از رابطه زیر به دست می‌آید.



شکل ۸

$$\begin{aligned}S &= \sqrt{P^2 + Q^2} \\ S &= \sqrt{120^2 + 160^2} = 200 [\text{VA}]\end{aligned}$$

ج) ضریب توان مؤثر از رابطه زیر به دست می آید.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{120}{200} = 0.6$$

توان ظاهری را می توان از حاصل ضرب ولتاژ مؤثر در جریان مؤثر نیز محاسبه کرد.

$$S = V_e I_e$$

که در این رابطه:

$S$  توان ظاهری [VA]

$V_e$  ولتاژ مؤثر [V]

$I_e$  جریان مؤثر [A] می باشد.

مثال ۶: ولتاژ و جریان یک مدار الکتریکی به ترتیب  $200\text{ V}$  و  $10\text{ A}$  است توان ظاهری آن چند ولت آمپر می باشد؟

حل:

$$S = V_e I_e$$

$$S = 200 \times 10 = 2000 \text{ [VA]}$$

پرسش



۱- انواع توان در جریان متناوب را نام ببرید.

۲- توان مؤثر را تعریف کنید.

۳- توان غیرمؤثر را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.

۴- توان ظاهری را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید.

۵- مثلث توان را تعریف کنید و انواع آن را رسم نمایید.

تمرین



۱- معادلات زمانی ولتاژ و جریان یک مدار الکتریکی به ترتیب :

$$V(t) = 20\sqrt{2} \sin(314t + 0)$$

$$i(t) = 10\sqrt{2} \sin(314t + 37^\circ)$$

می باشد. مطلوب است:

الف) توان مؤثر

ب) توان غیرمؤثر

ج) توان ظاهری

۲- یک مصرف کننده الکتریکی با توان  $80\text{ W}$  و  $100\text{ VA}$  پس فاز مفروض است. مطلوب است:

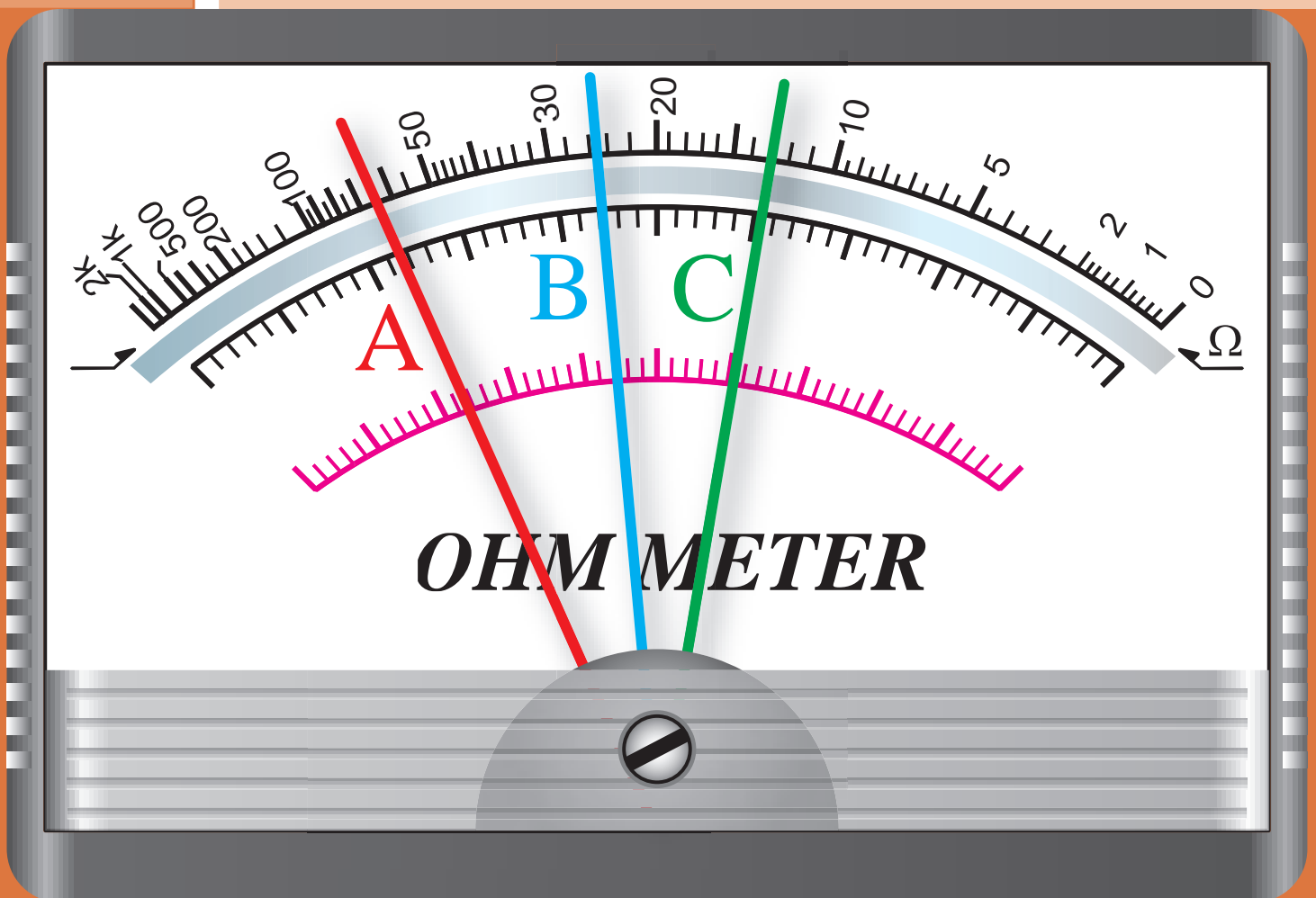
الف) رسم مثلث توان

ب) ضریب توان

ج) توان غیرمؤثر

## واحد یادگیری ۱۲

اندازه‌گیری جریان، ولتاژ و مقاومت اهمی



## آمپر متر

آمپر متر دستگاهی است که جریان الکتریکی را اندازه می‌گیرد. برای اندازه‌گیری جریان الکتریکی مستقیم از آمپر متر DC و برای اندازه‌گیری جریان الکتریکی متناوب از آمپر متر AC استفاده می‌شود.



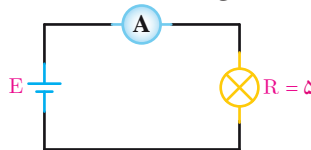
آمپر متر در مدارهای الکتریکی با علامت اختصاری شکل ۹ نشان داده می‌شود.

شکل ۹



شکل ۱۰

آمپر متر در مدار الکتریکی به صورت سری قرار می‌گیرد تا جریان مصرف‌کننده با جریان عبوری از آمپر متر برابر باشد. نحوه قرار گرفتن آمپر متر در یک مدار الکتریکی ساده در شکل ۱۰ و مدار الکتریکی معادل آن در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱

## اندازه‌گیری جریان DC

برای خواندن مقدار جریانی که آمپر متر نشان می‌دهد باید به طریق زیر عمل کرد:  
الف) حدود اندازه‌گیری یا ضریب کلید رنج (مثلاً در شکل ۱۰، ۱۰۰ mA می‌باشد) را به ماکزیمم عدد روی صفحه مدرج (مثلاً در شکل ۱۰ یکی از تقسیمات ۱۰ می‌باشد) تقسیم می‌کنیم. عدد به دست آمده را ضریب ثابت صفحه نامیده و آن را با حرف C نشان می‌دهیم؛ با توجه به شکل ۱۰ داریم:

$$C = \frac{\text{ضریب کلید رنج}}{\text{آخرین عدد روی صفحه}} = \frac{100}{10} = 10 \text{ mA}$$

ب) مقدار انحراف عقربه را در ضریب ثابت صفحه ضرب می‌کنیم. در شکل ۱۰ عقربه به اندازه ۱/۶ قسمت از تقسیمات منحرف شده است، لذا مقدار جریانی که عقربه نشان می‌دهد برابر است با:

عدد عقربه  $\times C =$  مقدار جریانی که آمپر متر نشان می‌دهد.

$$C = 10 \times 1/6 = 1.6 \text{ mA}$$

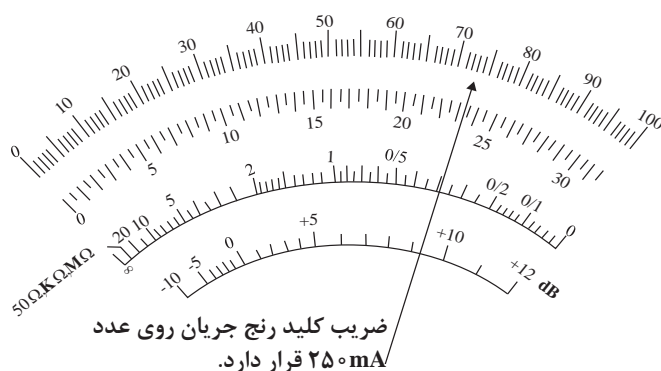
**مثال ۱:** بیشترین عدد درج شده روی یک میلی آمپر متر ۶۰ می باشد (صفحه مدرج به ۶۰ قسمت تقسیم شده است) اگر حدود اندازه گیری (ضریب کلید رنج) روی عدد ۳۰۰mA بوده و عقربه آمپر متر به اندازه ۴۲/۵ قسمت منحرف شده باشد، آمپر متر مقدار جریان را ۲۱۲/۵mA نشان می دهد زیرا:

$$C = \frac{300 \text{ mA}}{60} = 5 \text{ mA}$$

مقدار جریانی که میلی آمپر متر اندازه می گیرد برابر است با:

$$I = 42.5 \times C = 42.5 \times 5 \text{ mA} = 212.5 \text{ mA}$$

**مثال ۲:** در شکل ۱۲ میلی آمپر متر ۱۸۲/۵ میلی آمپر را نشان می دهد.

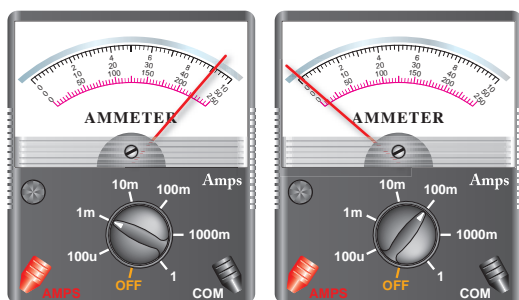


شکل ۱۲

مقدار جریانی که آمپر متر نشان می دهد.

$$C = \frac{250}{100} = 2.5 \text{ mA}$$

$$2.5 \times 73 = 182.5 \text{ mA}$$



(ب)

(الف)

شکل ۱۳

برای دقیق تر خواندن جریانی که آمپر متر نشان می دهد باید حدود اندازه گیری (ضریب کلید رنج) را طوری انتخاب کنیم که انحراف عقربه بیشترین مقدار را داشته باشد. شکل ۱۳ جریان ۰/۹۲ میلی آمپر را در محدوده اندازه گیری ۱ mA و ۱۰۰ mA نشان می دهد. همان طور که از شکل نیز پیداست اندازه گیری جریان ۰/۹۲ mA در رنج ۱ mA دقیق تر است.

آمپر مترها و میلی آمپر مترهای DC به صورت های آزمایشگاهی، تابلویی و یا به صورت قسمتی از مولتی متر (اهم متر- ولت متر - آمپر متر) ساخته می شوند. شکل ۱۴ چند نمونه از آمپر مترها و میلی آمپر مترهای آزمایشگاهی را نشان می دهد.



شکل ۱۴



شکل ۱۵

مولتی متر یک دستگاه پر کاربرد در برق و الکترونیک است. نوعی از مولتی متر وجود دارد که به آوومتر دیجیتالی موسوم است. این نوع مولتی متر نیز دارای رنج جریان DC است و مقدار اندازه گیری شده را به صورت رقمی روی صفحه نمایش نشان می دهد. در شکل ۱۵ یک نمونه از این مولتی مترها را مشاهده می کنید.



شکل ۱۶

**اندازه گیری جریان AC:** برای اندازه گیری جریان AC حتماً باید از آمپر مترهای AC استفاده کرد. پس با آمپر مترهایی که فقط دارای رنج DC می باشند نمی توان جریان AC را اندازه گرفت. بعضی دیگر از آمپر مترها توانایی اندازه گیری جریان های AC و DC را توأم دارند که با کلید انتخاب (AC و DC) می توان در هر لحظه جریان مورد نظر را اندازه گرفت. آمپر مترهای AC بیشتر به صورت تابلویی ساخته می شوند. شکل ۱۶ دو نمونه از آمپر مترهای AC تابلویی را نشان می دهد.



شکل ۱۷

شکل ۱۷ یک مولتی متر دیجیتالی آزمایشگاهی را نشان می دهد که دارای رنج جریان متناوب (AC) و مستقیم (DC) می باشد.

مولتی مترهای عقربه ای معمولاً فاقد رنج اندازه گیری جریان AC هستند. اما کلیه مولتی مترهای دیجیتالی رنج اندازه گیری جریان AC را دارا می باشند. برای اندازه گیری جریان AC توسط آوومتر دیجیتالی، کافی است که ترمینال های مخصوص

جریان را با مدار سری نموده و کلید AC آن را فعال کنیم تا روی صفحه نمایش مولتی متر علامت AC ظاهر گردد. در این صورت مقدار جریان AC به صورت رقمی روی صفحه نمایش نوشته می شود.

علاوه بر آمپر مترهای آزمایشگاهی و تابلویی و مولتی مترها، نوع دیگری از آمپر مترهای AC وجود دارند که به آمپر متر «انبری» معروف اند. برای اندازه گیری جریان کافی است سیم حامل جریان AC را وسط هسته این مولتی متر که با آهنری باز می شود قرار دهیم تا مقدار جریان را نشان دهد. توجه داشته باشید که در این حالت فقط یک رشته سیم باید از هسته عبور داده شود. امروزه آمپر مترهای انبری را به صورت مولتی متر (ترکیبی) می سازند. شکل ۱۸ دو نمونه آمپر متر انبری عقربه ای و دیجیتالی را نشان می دهد.



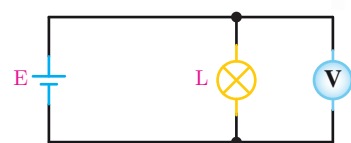
شکل ۱۸- آمپر متر انبری

## ولت متر

ولت متر دستگاهی است که اختلاف پتانسیل یا ولتاژ الکتریکی را اندازه می گیرد. برای اندازه گیری ولتاژ الکتریکی مستقیم از ولت متر DC و برای اندازه گیری ولتاژ الکتریکی متناوب از ولت متر AC استفاده می شود.



شکل ۱۹



شکل ۲۱



شکل ۲۰

ولت متر در مدار الکتریکی با علامت اختصاری شکل ۱۹ نشان داده می شود. ولت متر در مدار الکتریکی به صورت موازی قرار می گیرد تا ولتاژ مصرف کننده با ولتاژ ولت متر یکی باشد. نحوه قرار گرفتن ولت متر در یک مدار الکتریکی ساده در شکل ۲۰ و مدار الکتریکی معادل آن در شکل ۲۱ نشان داده شده است.

## اندازه‌گیری ولتاژ DC

برای خواندن مقدار ولتاژی که ولت‌متر نشان می‌دهد، همانند خواندن آمپر‌متر، ابتدا ضریب ثابت سنجش را به دست آورده و آنگاه این عدد را در مقدار انحراف عقربه برحسب تقسیمات ضرب می‌کنیم.



شکل ۲۲

**مثال ۳:** اگر ضریب کلید رنج شکل ۲۲ روی عدد ۵۰۰ ولت باشد مقدار ولتاژ اندازه‌گیری شده چقدر است؟

$$C = \frac{500}{250} = 2$$

مقداری که ولت‌متر نشان می‌دهد برابر است با: عدد خوانده شده  $\times C$  تعداد تقسیماتی که عقربه منحرف شده است.

$$220 \times 2 = 440 [V]$$

بنابراین داریم :

**مثال ۴:** در شکل ۲۳ ولت‌متر ولتاژی به اندازه ۳۸۰ ولت را نشان می‌دهد، زیرا :

$$C = \frac{500}{50} = 10$$



شکل ۲۳

مقدار ولتاژ برابر است با :

تعداد خانه‌های منحرف شده  $\times C$

$$10 \times 38 = 380$$

برای دقیق تر خواندن مقدار ولتاژی که ولت‌متر نشان می‌دهد باید حدود اندازه‌گیری (ضریب کلید رنج) را طوری انتخاب نماییم که انحراف عقربه بیشترین مقدار را داشته باشد. ولت‌مترهای DC به صورت‌های آزمایشگاهی، تابلویی و یا به صورت قسمتی از مولتی‌متر ساخته می‌شوند. شکل ۲۴ یک نمونه از میلی ولت‌متر آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۲۶- یک نمونه ولت‌متر تابلویی AC را نشان می‌دهد.



شکل ۲۵



شکل ۲۴

شکل ۲۵ یک نمونه ولت‌متر DC تابلویی را نشان می‌دهد. مولتی‌مترهای دیجیتالی نیز قادر به اندازه‌گیری ولتاژ DC هستند. یک نمونه دیگر از این مولتی‌مترها در شکل ۲۶ نشان داده شده است.

## اندازه‌گیری ولتاژ AC

برای اندازه‌گیری ولتاژ AC از ولت‌متر AC استفاده می‌شود. اکثر ولت‌مترهای آزمایشگاهی هر دو ولتاژ AC و DC را اندازه می‌گیرند (شکل ۲۷). به همین منظور بر روی ولت‌مترها کلید انتخاب AC و DC وجود داشته و یا سلکتور حدود اندازه‌گیری AC با DC تفاوت دارد.

همه مولتی‌مترها، اعم از عقربه‌ای و دیجیتالی، قادر به اندازه‌گیری ولتاژ AC می‌باشند. نحوه قرائت ولتاژ AC روی ولت‌مترهای AC همانند ولت‌مترهای DC است، و در مورد ولت‌مترهای دیجیتالی، مقدار ولتاژ به صورت رقم روی صفحه نمایش (Display) نوشته می‌شود. لازم به یادآوری است که ولت‌مترهای عقربه‌ای و یا مولتی‌مترهای معمولی به هیچ عنوان قادر به اندازه‌گیری ولتاژهای AC کم (کمتر از یک ولت) به صورت دقیق نیستند ولی مولتی‌مترها و با ولت‌مترهای



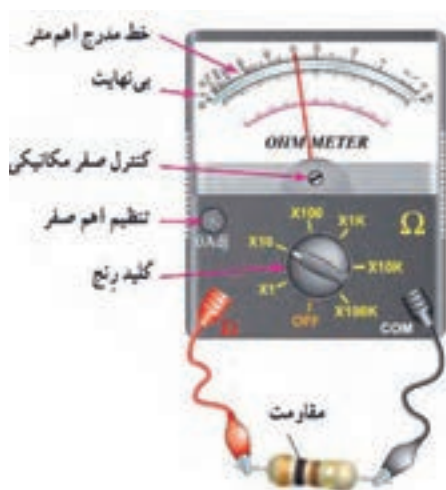
شکل ۲۷



شکل ۲۸

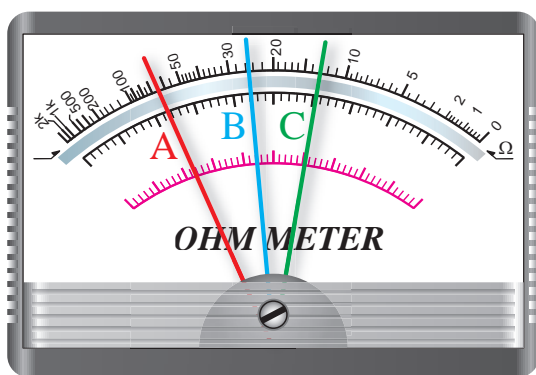
دیجیتالی، ولتاژهای AC خیلی کم (حدود یک میلی‌ولت) را با دقت کافی اندازه‌گیری می‌کنند. برای اندازه‌گیری ولتاژهای زیاد AC و یا DC (۱۰۰۰ ولت به بالا) از پراب‌های مخصوص ولتاژ زیاد استفاده می‌شود. این پراب‌ها دارای مقاومت بسیار بزرگ بوده و با ولت‌متر سری می‌شوند تا قسمت اعظم ولتاژ مورد اندازه‌گیری در آنها افت کند. شکل ۲۸ نمونه‌ای از این نوع پراب را که در آن مقاومت ۱۰ مگا اهم جهت اندازه‌گیری ولتاژ زیاد، با ولت‌متر سری شده است نشان می‌دهد.

## اهم متر



شکل ۲۹

اهم‌متر دستگاهی است که مقاومت الکتریکی را اندازه می‌گیرد. اهم‌متر در مدار الکتریکی به صورت موازی قرار می‌گیرد. نحوه اندازه‌گیری یک مقاومت الکتریکی توسط اهم‌متر آزمایشگاهی در شکل ۲۹ نشان داده شده است. تمامی آوومترهای دیجیتالی و عقربه‌ای مجهز به اهم‌متر هستند. امروزه اهم‌مترها دیگر به صورت یک دستگاه مستقل ساخته نمی‌شوند. درجه‌بندی اهم‌متر عکس درجه‌بندی ولت‌متر و آمپر‌متر است؛ یعنی صفر آن در سمت راست صفحه مدرج قرار دارد، ضمناً درجه‌بندی آن خطی نیست.



شکل ۳۰

برای خواندن مقدار مقاومت اهمی از روی اهم‌متر کافی است که مقدار خوانده شده روی صفحه مدرج را در ضریب کلید رنج اهم‌متر ضرب کنیم. به عنوان مثال در شکل ۳۰ عقربه‌های C و B و A مقادیر زیر را نشان می‌دهند.

$$(A) ۶۷/۵ \times ۱۰ = ۶۷۵\Omega$$

$$(B) ۲۴/۷۵ \times ۱۰ = ۲۴۷/۵\Omega$$

$$(C) ۱۳ \times ۱۰ = ۱۳۰\Omega$$



شکل ۳۱

همان طور که در شکل ۳۱ نیز می‌بینید درجه‌بندی اهم متر از سمت راست به تدریج فشرده می‌شود. به عنوان مثال مقاومت‌های  $2\Omega$  و  $3\Omega$  و  $10\Omega$  و  $15\Omega$  تا حدود  $50\Omega$ ، تقریباً به راحتی قابل خواندن هستند، اما از حدود  $50\Omega$  تا آخرین حد تقسیمات، درجه‌بندی بسیار فشرده می‌شود که در این حالت مقاومت‌های زیاد (مثلاً  $10$  اهم به بالا) به طور دقیق قابل خواندن نیست. بنابراین برای دقیق خواندن مقدار مقاومت‌ها باید کلید رنج را طوری تنظیم کنیم که عقربه روی اعدادی که مقدار مقاومت را بسیار دقیق و واضح نشان می‌دهند قرار گیرد اگر انحراف عقربه از سمت چپ بیشتر از  $4\%$  باشد مقدار مقاومت واضح خوانده می‌شود.

## کنتور

کنتور دستگاهی است که انرژی الکتریکی را اندازه‌گیری می‌کند. برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی در مصرف کننده تکفاز از کنتور تکفاز و در مصرف کننده سه فاز از کنتور سه فاز استفاده می‌شود. واحد اندازه‌گیری انرژی الکتریکی ژول می‌باشد که برابر وات ثانیه است ولی در عمل از واحدهای بزرگ‌تر مانند کیلو وات ساعت، مگا، وات، ساعت استفاده می‌شود. واحد اندازه‌گیری انرژی ناشی از توان مؤثر در کنتورها کیلو وات ساعت و ناشی از توان غیرمؤثر کیلووار ساعت است. در شکل ۳۲ دو نمونه کنتور دیجیتالی و آنالوگ نشان داده شده است. در کنتورهای آنالوگ فقط امکان اندازه‌گیری انرژی الکتریکی امکان داشت ولی در کنتورهای دیجیتال علاوه بر اندازه‌گیری انرژی الکتریکی امکان اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی نظیر ولتاژ، جریان و فرکانس و ... وجود دارد.



(ب) کنتور دیجیتالی



(الف) کنتور آنالوگ

شکل ۳۲



- ۱- آمپر متر چگونه در مدار قرار می گیرد و چرا؟
- ۲- نحوه خواندن مقادیر از روی صفحه مدرج مولتی متر چگونه است؟
- ۳- فرق آمپر متر تابلویی با آمپر متر انبری را شرح دهید.
- ۴- ولت متر چگونه در مدار قرار می گیرد و چرا؟
- ۵- ولتاژهای خیلی زیاد را چگونه با ولت مترهای معمولی اندازه می گیرند؟
- ۶- مقاومت های اهمی را چگونه اندازه می گیرند؟
- ۷- هنگام استفاده از یک دستگاه اندازه گیری کدام نکات را باید به دقت مد نظر داشت.

## منابع و مآخذ

- ۱- برنامه درسی رشته الکتروتکنیک - دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کاردانش - سال ۱۳۹۴
- ۲- قیطرانی، فریدون. احمدی، عینا... مظفری، حسین. همتایی، محمود. تجلی پور، مسعود. ۱۳۹۳. مبانی برق. کد ۳۵۵/۱۸ چاپ چهاردهم. شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران
- ۳- ترکمانی، امیرحسین. ۱۳۹۴. ماشین های الکتریکی DC کد ۴۹۰/۱ چاپ سوم. شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران
- ۴- نظریان. فتحا... ۱۳۹۴. اصول اندازه گیری الکتریکی کد ۳۵۹/۹۳، چاپ چهاردهم. شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران
- ۵- استاندارد شایستگی حرفه، ۱۳۹۴. رشته الکتروتکنیک. دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کاردانش
- ۶- سایت موزه برق شهدا
- ۷- سایت انرژی های تجدیدپذیر و بهره وری انرژی ایران (ساتبا)

