بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰی مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

دانش فنی پایه

رشتهٔ الکتروتکنیک

گروه برق و رایانه

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

پایهٔ دهم دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: دانش فنی پایه (رشتهٔ الکتروتکنیک) ـ ۲۱۰۲۶۳
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: علی‌اکبر مطیع‌بیرجندی، شهرام خدادادی، امیرحسین ترکمانی، محمدحسن اسلامی، علیرضا حجرگشت، نقی اصغری‌آقاباقر، مجتبی انصاری‌پور (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
نقی اصغری آقاباقر، امیرحسین ترکمانی (اعضای گروه تألیف) ـ مجتبی انصاری‌پور (ویرا ستار)
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: سمیه نظری(طراح جلد)ـ نسرین اصغری (صفحه‌آرا) ـ علیرضا سیاحی، مریم دهقان زاده(رسام)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وبگاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش) تلفن :۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰،
صندوق پستی: ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ چهارم ۱۳۹۸

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 به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

شابک ۰ـ ۲۵۸۹ ـ ۰۵ ـ ۹۶۴ ـ ۹۷۸ **ISBN 978 – 964 – 05 – 2589–0**

ما باید زحمت بکشیم تا در همهٔ جناح‌ها خودکفا باشیم. امکان ندارد که استقلال به‌دست 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 (قُدِّسَ سِرُّهُ)

فهرست

پودمان اول: تولید انرژی الکتریکی ۱

کلیات ۲

- واحدیادگیری ۱: تولید انرژی الکتریکی ۷
- واحدیادگیری ۲: الکتریسیته ۲۱
- واحدیادگیری ۳: آثار جریان الکتریکی ۳۶
- ارزشیابی شایستگی پودمان اوّل ۴۲

پودمان دوم: کار و توان الکتریکی ۴۳

- واحدیادگیری ۴: مقاومت الکتریکی ۴۴
- واحدیادگیری ۵: کار و توان الکتریکی ۵۶
- ارزشیابی شایستگی پودمان دوم ۶۲

پودمان سوم: اتصالات سرّی و موازی الکتریکی ۶۳

- واحدیادگیری ۶: اتصال مقاومت‌های اهمی ۶۴
- واحدیادگیری ۷: باتری ۹۳
- ارزشیابی شایستگی پودمان سوم ۱۰۴

پودمان چهارم: مدارهای جریان متناوب ۱۰۵
- واحدیادگیری۸: جریان متناوب ۱۰۶
- واحدیادگیری۹: الکترومغناطیس ۱۲۳
- واحدیادگیری ۱۰: خازن ۱۶۱
- ارزشیابی شایستگی پودمان چهارم ۱۷۸

پودمان پنجم: اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی ۱۷۹
- واحدیادگیری۱۱: توان در جریان متناوب ۱۸۰
- واحدیادگیری۱۲: اندازه‌گیری جریان، ولتاژ و مقاومت اهمی ۱۸۷
- ارزشیابی شایستگی پودمان پنجم ۱۹۸

منابع و مآخذ ۱۹۹

سخنی با هنرآموزان گرامی

با توجه به آموزه‌های اسلامی، کار و اشتغال از ارزش تربیتی برخوردار است و انسان از طریق کار، نفس‌سرکش را رام کرده و شخصیت وجودی خویش را صیقل داده، هویت خویش را تثبیت کرده و زمینهٔ ارتقای 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 حوزهٔ دنیای کار و دنیای آموزش بر مبنای نیازسنجی شغلی صورت گرفته است. درس‌های رشته‌های تحصیلی شاخهٔ 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 فنی‌پایه با هدف شناخت مفاهیم و کسب دانش فنی پایه در گروه و رشتهٔ تحصیلی است که هنرجویان در پایهٔ دهم و در آغاز ورود به رشتهٔ تحصیلی خود می‌بایست آن را آموزش ببینند و شایستگی‌های لازم را در ارتباط با دروس عملی و ادامهٔ تحصیل در رشتهٔ خود کسب نمایند. درس دانش‌فنی تخصصی که در پایهٔ دوازدهم طراحی شده است، شایستگی‌هایی را شامل می‌شود که موجب ارتقای دانش تخصصیِ حرفه‌ای شده و زمینه را برای ادامهٔ تحصیل و توسعهٔ حرفه‌ای هنرجویان در مقطع کاردانی پیوسته نیز فراهم می‌کند.

کتاب دانش فنی‌پایه 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 پایهٔ نهم به تحریر درآمده است. لازم به یادآوری است که محتوای آموزشی کتاب دانش‌فنی‌پایه، آموزش‌های کارگاهی را عمق می‌بخشد و نیازهای هنرجویان را در راستای محتوای دانش‌نظری تأمین می‌کند.

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

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

سخنی با هنرجویان عزیز

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

در تدوین درس دانش‌فنی‌پایه، موضوعاتی مانند تاریخچهٔ رشته، محتوا جهت ایجاد انگیزش، مشاغل و هدف رشتهٔ تحصیلی، نقش رشتهٔ شما در توسعهٔ کشور،مثال‌هایی از نوآوری، خلاقیت و الهام از طبیعت،اصول،مفاهیم، قوانین، نظریه، فناوری، علائم، تعاریف کمیت‌ها، واحدها و یکاها، فرمول‌های فنی،تعریف دستگاه‌ها و وسایل کار، مصادیقی از ارتباط مؤثر فنی و مستندسازی، زبان‌فنی، ایمنی و بهداشت فردی و جمعی، پیشگیری از حوادث احتمالی شغلی و نمونه‌هایی از مهارت حل مسئله در بستر گروه تحصیلی و برای رشتهٔ تحصیلی در نظر گرفته شده است.

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

توصیه می‌شود در یادگیری این درس به دلیل کاربرد زیاد آن در درس‌های دیگر رشته، کوشش لازم را داشته باشید.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی وحرفه‌ای و کاردانش

پودمان اول

تولید انرژی الکتریکی

دراین فصل مطالب زیر را فراخواهید گرفت:

۱- نحوه تولید انرژی الکتریکی
۲- نیروگاه‌های جریان‌های متناوب و مستقیم
۳- انتقال، توزیع و مصرف‌کننده‌های 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

کلیات

مقدمـــه: هنرجویـان عزیـز، شـغل مناسـب براسـاس دانـش، مهـارت، تجربـه، علاقـه و خصوصیـات و تـوان فـردی در انجـام یـک وظیفـه معیـن تعییـن می‌شـود. شـما می‌توانیـد بـا یادگیـری مفاهیـم و عمق‌بخشـی بیشـتر بـه آنهـا بـه کمـک ایـن درس در زمینـه شـغلی خـود به‌عنـوان یـک بـرق‌کار، مفیـد و مؤثـر واقـع شـوید.

امـروزه زمینـه شـغلی بـرق‌کاران نسـبت بـه گذشـته دارای دامنـه وسـیع‌تری اسـت؛ به‌طوری‌کـه بـه دلیـل تغییـر نیـاز بـازار کار هوشـمند سـازی بـرق سـاختمان(BMS)[1] نصـب و سیم‌کشـی دسـتگاه‌های حفاظتـی شـامل دوربین‌هـای مداربسـته، ضدسـرقت، اعـلام حریـق، بـرق اضطـراری و سیسـتم آنتـن مرکـزی، سیسـتم تلفن،دسـتگاه‌های صوتی-آیفـون صوتـی و تصویـری و دربازکـن جـزء وظایـف برقـکاران شـده اسـت.

در سال‌هـای بعـد بـه شایسـتگی‌هـای بیشـتری در زمینه‌هـای حرفه‌ای و شغلـی برق خـواهید رسـید. ارتقـای ایـن شایسـتگی‌ها، توانایـی بـرق‌کاران را در فعالیت‌هـای مرتبـط بـا تجهیـزات هوشمندسـازی بـرق سـاختمان افزایـش خواهـد داد و راه را بـرای ایجـاد زمینه‌هـای شـغلی و خوداشـتغالی و کسـب درآمـد بـه منظـور زندگـی بهتـر آنهـا هموارتـر می‌کنـد.

در ادامـه بـا تعـدادی از حرفه‌هـا و مشـاغل مرتبـط بـا رشـته الکتروتکنیـک آشـنا می‌شـوید.

اتوماسیون صنعتی (هوشمندسازی فعالیت کارخانجات و صنعت)

۱- Building Management System

مشاغل مرتبط با رشته الکتروتکنیک

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

گروه شغلی: برق‌کار عمومی، ساختمان و صنعتی

ردیف	۱	۲	۳
عنوان شغل	برق‌کار امور ساختمانی	برق‌کار امور صنعتی	تعمیرکار و نصاب خطوط برق
تصویر مرتبط با شغل			
شرح شغل	انجام سیم‌کشی برق ساختمان مسکونی ونصب قطعات الکتریکی	نصب قطعات تابلوهای برق سه‌فاز(صنعتی،کشاورزی وتجاری)	انجام امور مربوط به تعمیر، نصب و نگهداری خطوط توزیع برق

ردیف	۴	۵	۶
عنوان شغل	تعمیرکار لوازم‌الکتریکی و الکترونیکی	مربی آموزش حرفه‌ای متوسطه	اپراتور نیروگاه برق
تصویر مرتبط با شغل			
شرح شغل	تعمیر لوازم گردنده وحرارتی برقی خانگی	آموزش مهارت‌های برق‌کاری به هنرجویان و علاقه‌مندان	نگهداری، تست وگزارش عملکرد تأسیسات نیروگاهی یا اتاق کنترل

ردیف	۷	۸	۹
عنوان شغل	مسئول کنترل کیفیت	تابلوساز و نصاب تابلوی برق	طراح برق و الکترونیک
تصویر مرتبط با شغل			
شرح شغل	کنترل کیفی محصولات وخدمات الکتریکی	نصاب قطعات وچیدمان داخل تابلوی برق	طراح تأسیسات الکتریکی

ردیف	۱۰	۱۱	۱۲
عنوان شغل	مدیر صنعت	تحلیل‌گر سیستم	مؤلف و نویسنده مرتبط
تصویر مرتبط با شغل			
شرح شغل	مدیر پروژه‌های برقی	مهندس تحلیل سیستم	نویسندگان ومؤلفین کتب مرتبط با آموزش برق
ردیف	۱۳	۱۴	۱۵
عنوان شغل	نصاب و سرویس‌کار سیستم‌های جریان ضعیف	تعمیرکار لوازم خانگی	نصب و تعمیرکار بالابر و نفربر
تصویر مرتبط با شغل			
شرح شغل	نصاب سیستم‌های حفاظتی	تعمیر و تعویض قطعات لوازم خانگی	نصب و تعمیر بالابرهای تجاری

تاریخچه برق در ایران

نخستین نیروگاه دولتی برق در سال ۱۲۶۴ شمسی یعنی ۶ سال پس از اینکه توماس الوا ادیسون 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 می‌کرد.

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 راه‌اندازی شد. امین‌الضرب نخستین کسی بود که با دریافت یک امتیازنامه 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 امتیازنامه حاج حسین امین‌الضرب بر می‌آید در این امتیازنامه برپایی کارخانه‌های برق، آجرسازی و نجاری یک جا به وی واگذار شده بود.

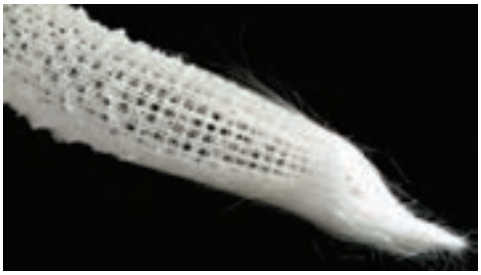
اولین نیروگاه بخاری (محل نگهداری موزه برق تهران)

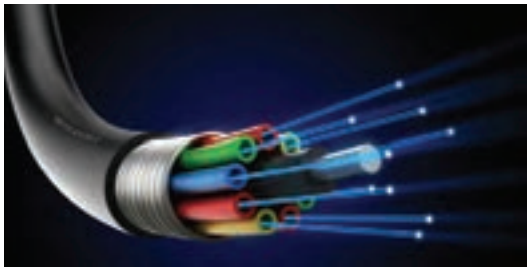
همچنین از حدود سال ۱۳۰۳ بخش‌های خصوصی دیگری از جمله کارخانه‌های آرد، ریسندگی، نساجی و برخی شهرداری‌ها، در شهرهای مختلف ایران نسبت به راه‌اندازی نیروگاه‌های کوچک از نوع دیزل و حرارتی برای تأمین بخشی از برق روشنایی مناطق شهری اقدام کردند.

در سال ۱۳۱۶ نخستین نیروگاه برق دولتی به قدرت ۶۴۰۰ کیلووات از نوع حرارتی، توسط بلدیه تهران (شهرداری) در شمال شرقی بیرون دروازه دوشان تپه (میدان شهدا) راه‌اندازی 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 بهره‌برداری قرار می‌گرفت. با راه‌اندازی 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 دوشان‌تپه 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 (درحد تار موی انسان) هستند اما اگر در کنار هم جمع شوند، ساختاری بسیار مستحکم می‌سازند.

واحد یادگیری ۱

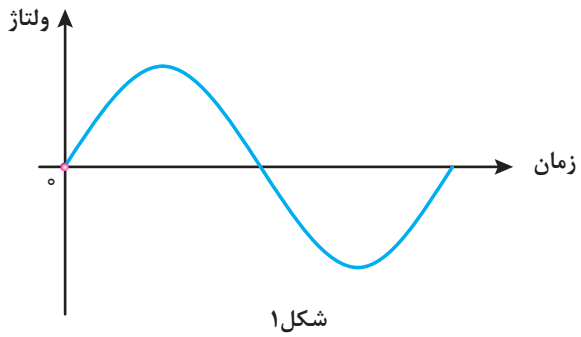
تولید انرژی الکتریکی

مقدمه

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 به‌دست می‌آید. و برای این تبدیل انرژی از ژنراتور[1] استفاده می‌شود. محل نصب ژنراتور و تجهیزات مربوط به آن را نیروگاه[2] می‌نامند. نیروگاه‌های برق در دو نوع «جریان متناوب»[3] و «جریان مستقیم»[4] 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).



شکل۱

الف) نیروگاه حرارتی

نیروگاه حرارتی با انرژی حرارتی حاصل از سوخت‌های فسیلی یا سوخت‌های هسته‌ای، آب را به بخار تبدیل می‌کند توربین[5] 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.

شکل۲

۱- Genarator
۲- Power plant
۳- Alternating Current (Ac)
۴- Direct Current (Dc)
۵-Turbine

ب) نیروگاه آبی

نیروگاه آبی، انرژی پتانسیل گرانشی حاصل از ذخیره سازی آب در پشت سد را توسط توربین به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند و ژنراتور انرژی مکانیکی توربین را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید(شکل ۳).

شکل ۳ـ سد و نیروگاه آبی کارون ۳ استان خوزستان

زمان احداث نیروگاه آبی چندین سال طول می‌کشد و در سرزمین‌هایی قابل استفاده می‌باشد که امکان احداث سد فراهم باشد و احداث آن باعث تخریب و تغییر در شرایط محیط زیست نشود.

پ)نیروگاه گازی

نیروگاه گازی انرژی جنبشی حاصل از هوای فشرده و گرم‌شده را توسط توربین به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند و ژنراتور انرژی مکانیکی توربین را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید.

زمان احداث نیروگاه‌های گازی در مقایسه با نیروگاه‌های آبی و حرارتی کمتر می‌باشد اما بازده آنها به‌دلیل اتلاف انرژی حرارتی کمتر از ۳۰ درصد می‌باشد(شکل ۴).

شکل ۴ـ نیروگاه گازی

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 ۵).

شکل ۵ـ نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند

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 یک‌سال قابل احداث و بهره برداری می‌باشد. رایگان بودن انرژی باد و عدم نیاز به انرژی فسیلی از مزایای مهم نیروگاه بادی می‌باشد (شکل۶).

شکل ۶ـ نیروگاه بادی

ج)نیروگاه دیزلی

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

نیروگاه دیزلی به صورت نصب ثابت و سیار قابل استفاده می‌باشند (شکل ۷).

شکل ۷ـ دیزل ژنراتور

نیروگاه‌های جریان مستقیم

یکی از نیروگاه‌های جریان مستقیم نیروگاه‌های خورشیدی است که شکل موج ولتاژ و جریان خروجی ژنراتور این نیروگاه‌ها به صورت خط صاف است. یعنی با گذشت زمان مقدار ولتاژ یا جریان تغییر نمی‌کند و ثابت است (شکل۸). روش‌های تولید انرژی الکتریکی با جریان مستقیم به شرح زیر است :

شکل ۸ــ ولتاژ خروجی نیروگاه خورشیدی

الف)روش فوتوولتاییک

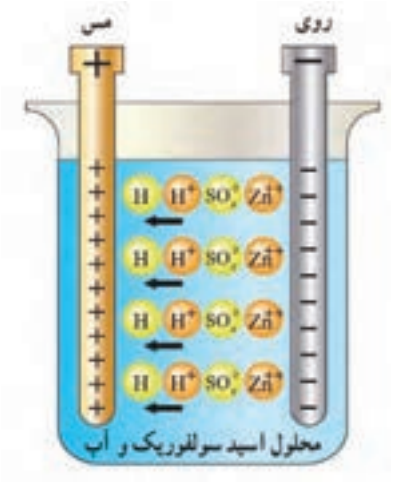
نور نوعی انرژی است که از ذرات حامل انرژی به نام فوتون به وجود می‌آید. هنگامی که فوتون‌های یک شعاع نوری با جسمی برخورد می‌کنند، انرژی خود را از دست می‌دهند. در بعضی اجسام، انرژی فوتون‌ها باعث آزادی الکترون‌ها می‌شود. انرژی نورانی تابیده شده به یکی از دو صفحه متصل به هم، باعث تخلیه الکترون از یکی به دیگری می‌شود. در نتیجه، مانند باتری در دو صفحه بارهای مخالف ایجاد می‌شود (شکل ۹). به این اثر فوتوولتاییک[۱] می‌گویند.

شکل ۹ــ فوتوولتاییک

شکل ۱۰ــ کاربرد متفاوت ا نرژی الکتریکی تولید شده توسط نور خورشید

۱ -PhotoVoltaic

ب)روش شیمیایی



شکل ۱۱ـ الکتروشیمیایی

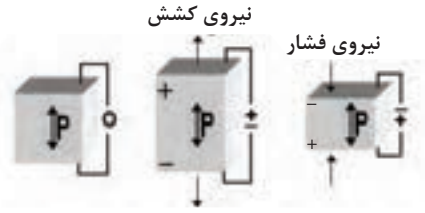
مـواد شـیمیایی بـا فلـزات مخصوصـی ترکیـب می‌شـوند و واکنش‌هـای شـیمیایی را ایجـاد می‌کننـد کـه باعـث انتقـال الکترون‌هـا و تولیـد بارهـای الکتریکـی می‌گـردد. باتـری معمولـی از ایـن راه الکتریسـیته تولیـد می‌کنـد. ایـن پدیـده بـر قوانیـن الکتروشـیمی مبتنـی اسـت. بـرای مثـال، می‌تـوان باتـری تـر را نـام بـرد. اسـید سـولفوریک هنگامـی کـه در یک ظرف شیشـه‌ای بـا آب (بـه عنـوان الکترولیـت) مخلـوط می‌شـود، بـه دو مـادۀ شـیمیایی هیـدروژن (H) و سـولفات (So_4) تجزیـه می‌گـردد. بـه علـت طبیعـت ترکیبـات شـیمیایی اتم‌هـای هیـدروژن یون‌هـای مثبـت(H^+) و اتم‌هـای سولـفـات یون‌هـای منفـی (So_4^{-2}) دارنـد. تعـداد بارهـای مثبـت و منفـی مسـاوی‌اند و در نتیجـه، کل محلـول از نظـر بـار الکتریکـی خنثـی اسـت. پـس از آن، هنگامـی کـه میله‌هـای مسـی یـا روی را بـه داخـل محلـول وارد می‌کنیـم، بـا محلـول ترکیـب می‌شـوند (شـکل ۱۱).

فلـز روی بـا یون‌هـای سـولفات ترکیـب می‌شـود. چـون ایـن اتم‌هـا منفـی انـد، یون‌هـای مثبـت (Zn^{++}) از میلـۀ فلـزی روی خـارج می‌شـوند. در اثـر خـارج شـدن یون‌هـای مثبـت از میلـه روی، میلـه دارای الکترون‌هـای اضافـی می‌شـود. پـس بـه طـور منفـی بـاردار می‌گـردد. یون‌هـای روی بـا یون‌هـای سـولفات ترکیـب می‌شـوند، آنهـا را خنثـی می‌کننـد. در ایـن حالـت، محلـول از نظـر بارهـای مثبـت غنی‌تـر اسـت. یون‌هـای مثبـت هیـدروژن الکترون‌هـای آزاد میلـه مسـی را جـذب و محلـول را دوبـاره خنثـی می‌کننـد ولـی در ایـن حالـت، میلـه مسـی کمبـود الکتـرون خواهـد داشـت. در نتیجـه، بـه طـور مثبـت بـاردار خواهـد شـد.

پ)روش پیزوالکتریک

هنگامـی کـه بـه بعضـی اجسـام فشـار وارد می‌کنیـم، الکترون‌هـای آنهـا در جهـت نیـرو از مـدار خـارج می‌شـوند. در نتیجـه، الکترون‌هـا یـک طـرف جسـم را تـرک می‌کننـد و در طـرف دیگـر آن جمـع می‌شـوند. بنابرایـن، در دو جهـت مخالـف جسـم بارهـای مثبـت و منفـی بـه وجـود می‌آینـد (شـکل ۱۲).

بـه اثـر فشـار بـرای تولیـد الکتریسـیته، اثـر پیزوالکتریـک، می‌گوینـد. پیـزو یـک کلمـۀ یونانـی بـه معنـای فشـار اسـت. ایـن اثـر بیشـتر در مـورد کریسـتال‌ها و بعضـی سـرامیک‌های مخصـوص خـود را نشـان می‌دهـد. کریسـتال‌های پیزوالکتریـک در بعضـی میکروفون‌هـا مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیرنـد.



شکل ۱۲ (الف)ـ فشار و کشش روی کریستال

شکل ۱۲ (ب)ـ کاربرد کریستال در میکروفون

شکل ۱۲ (ج)ـ کاربرد پیزوالکتریک در فندک

ت)روش ترموالکتریک

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

بارهایی که در درجهٔ 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 ۱۳). هنگامی که چندین ترموکوپل به یکدیگر متصل شوند، یک ترموپیل (باتری حرارتی) به وجود می‌آید. از ترموکوپل برای اندازه‌گیری درجه حرارت در کوره‌ها استفاده می‌شود (شکل ۱۴).

شکل ۱۳

شکل ۱۴ـ دو نمونه ترموکوپل

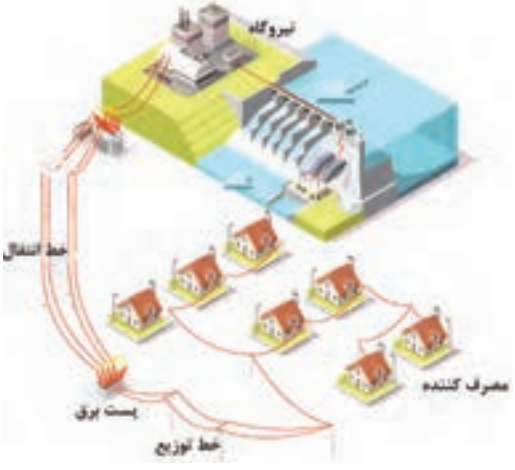
معرفی پایگاه اینترنتی:

در پایگاه اینترنتی سازمان انرژی‌های نو ایران، «سانا» http://www.suna.org.ir می‌توانید مطالعات بیشتری درمورد انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق و منابع این انرژی‌ها درکشورمان ایران، داشته باشید (شکل ۱۵).

شکل ۱۵ــ پایگاه اینترنتی سانا

انتقال انرژی الکتریکی

انتقال انرژی الکتریکی از محل تولید در نیروگاه‌های برق توسط «شبکه‌های انتقال‌نیرو» به سمت مصرف‌کننده انجام می‌شود.



شکل ۱۶ــ تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

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 افزاینده» زیاد می‌شود و در انتهای شبکه انتقال نیرو توسط «پست کاهنده» کاهش می‌یابد. برای کاهش یا افزایش ولتاژ از ترانسفورمر استفاده می‌شود. در واقع ترانسفورمر یک مبدل ولتاژ است.

شکل ۱۷ــ پست انتقال برق

توزیع انرژی الکتریکی

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 ۱۸).

شکل ۱۸ـ پست توزیع

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 و تفریحی

انرژی الکتریکی در این بخش‌ها درتجهیزات زیر مصرف می‌شود:

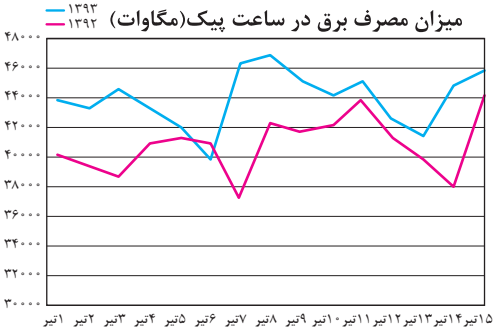
- موتورهای الکتریکی مثل یخچال‌ها، کولرها، پمپ‌های صنعتی و آب
- روشنایی مثل لامپ LED، لامپ CFL و فلورسنت
- گرمازا مثل سماور برقی، پلوپز برقی و المنت‌ها و نظایر آن

زمان اوج مصرف انرژی الکتریکی

به ساعاتی که مصرف انرژی الکتریکی در کل کشور زیاد باشد، ساعت اوج[1] 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

۱- Peak

از فصل‌هـای سـال (تابسـتان) مصـرف انـرژی الکتریکـی نسـبت بـه سـایر فصـول سـال بـه دلیـل اضافـه شـدن وسـایل سرمایشـی نظیـر کولـر و. .. بیشـتر اسـت کـه بـه آن اوج مصـرف فصلـی می‌گوینـد. در شـکل ۱۹ پیـک مصـرف بـرق کشـور (برحسـب مـگاوات) در تیرمـاه سـال‌های ۱۳۹۲و۱۳۹۳ نشـان داده شـده اسـت.

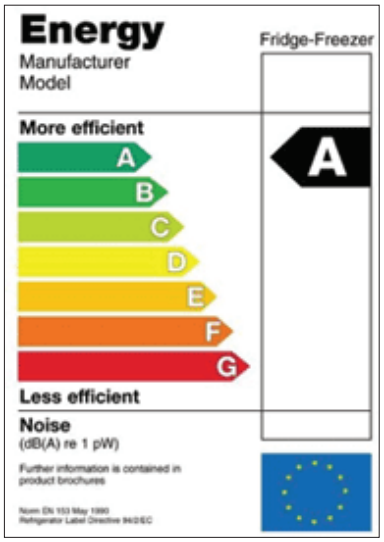


شکل ۱۹ـ اوج مصرف برق در تیرماه

آشنایی با برچسب انرژی

مـردم بـه دنبـال تهیـه وسـایل برقـی بـا کمتریـن مصـرف انـرژی الکتریکـی جهـت اسـتفاده در زندگـی روزمـره خـود هسـتند. در عصـر تکنولـوژی، تنـوع بسـیاری در نـوع و کیفیـت محصـولات برقـی در بـازار وجـود دارد. انتخـاب وسـایل برقـی و میـزان مصـرف انـرژی بـرای مصرف‌کننـدگان دارای اهمیـت و ضـرورت بسـیاری اسـت. ایجـاد اطمینـان از کیفیـت محصـول ازطریـق آزمایـش لـوازم برقـی و تعییـن رتبـه کارایـی آنهـا در آزمایشـگاه ملـی صرفه‌جویـی انـرژی انجـام می‌شـود و برچسـب انـرژی بـرای آنهـا تهیـه خواهـد شـد.

برچسـب انـرژی امـروزه در اغلـب کشـورهای جهـان وجـود دارد و مصرف‌کننـدگان را بـا میـزان مصـرف انـرژی هریـک از وسـایل خانگـی آشـنا می‌کنـد. همچنیـن اطلاعـات مشـترک در همـه وسـایل، اطلاعـات اختصاصـی مرتبـط بـه هـر وسـیله انرژی‌بـر را در اختیـار مصرف‌کننـدگان قـرار می‌دهـد. مصرف‌کننـده می‌توانـد بـا توجـه بـه ایـن اطلاعـات در هنـگام خریـد، دسـتگاهی را انتخـاب کنـد کـه در مقایسـه بـا سـایر مدل‌هـای مشـابه دارای مصـرف انـرژی کمتـر و بازدهـی بیشـتری باشـد. برچسـب انـرژی از قسـمت‌های مختلفـی تشـکیل شـده اسـت کـه هـر قسـمت نمایانگـر اطلاعاتـی اسـت (شـکل ۲۰).

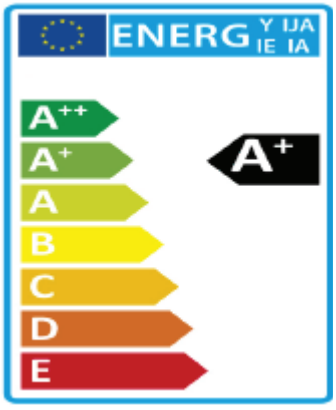


شکل ۲۰ـ برچسب انرژی بازده انرژی A

بخش‌های مختلف برچسب انرژی

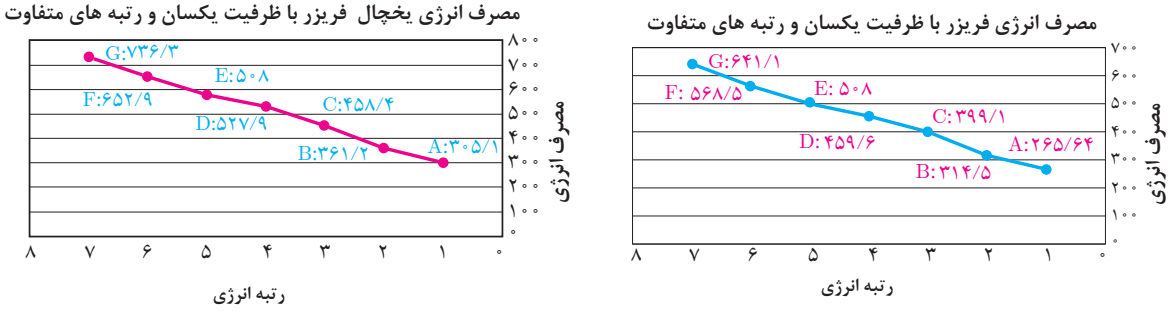
سـه بخـش اولیـه برچسـب کـه در تمامـی وسـایل انرژی‌بـر خانگـی مشـترک اسـت بـه ترتیـب نمایانگـر علامـت تجـاری، نـام کارخانـه سـازنده و مـدل دسـتگاه می‌باشـد. بخـش چهـارم برچسـب انـرژی بـه وسـیله هفـت حـرف لاتیـن از A تـا G

در هفت طیف رنگی درجه‌بندی شده است که هر یک 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 خشک کن، 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.

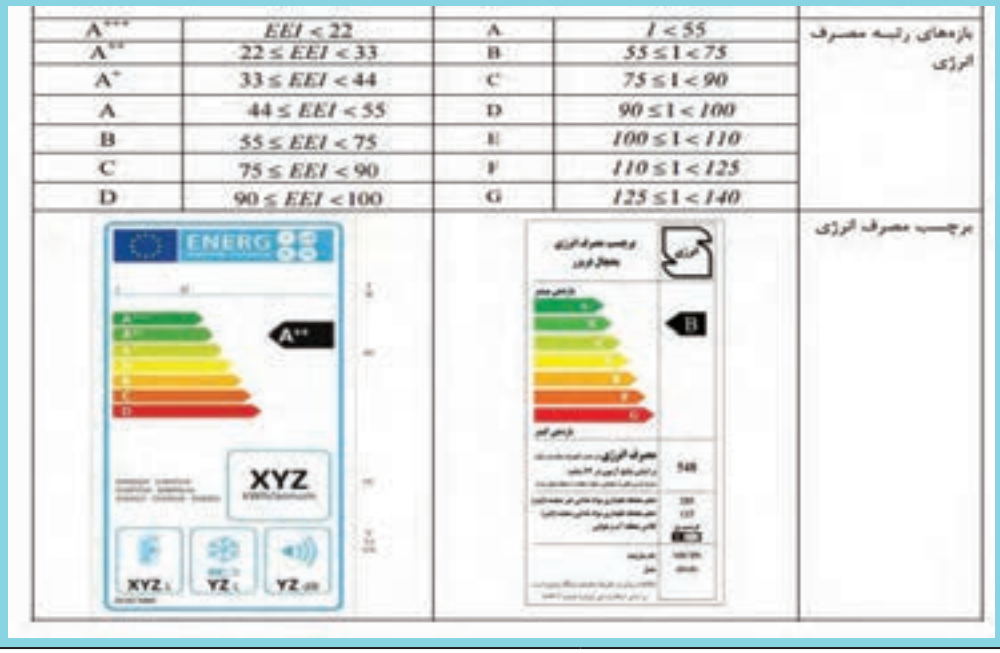


۱-انتخاب درست و آگاهانه مردم در هنگام خرید وسایل برقی خانگی
۲-آشنا ساختن مصرف‌کنندگان یا میزان کارایی و بازدهی وسایل برقی خانگی
۳-بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی
۴-کاهش هزینه انرژی مصرفی در خانواده‌ها
۵-کاهش آلودگی محیط‌زیست
۶-ارائه اطلاعات اختصاصی ویژه هر وسیله برقی

با توجه به اهمیت و ارزش انرژی، از سال ۲۰۱۰ میلادی درجه‌بندی برچسب انرژی از A به A^{+++} ارتقا داده شده است (شکل ۲۱).



شکل ۲۱ـ مقایسه برچسب انرژی

متغیرها	برچسب انرژی قدیمی اروپا و استاندارد ملّی	برچسب انرژی جدید بر اساس دستورالعمل اروپا و استاندارد ملّی
شاخص بازده	شاخص بازده انرژی I (درصد)= مصرف سالانه دستگاه / مصرف انرژی استاندارد سالانه	$EEI=\frac{AEc}{SAEc}\times ۱۰۰$ AEc مصرف انرژی سالیانه وسیله برودتی SAEc مصرف انرژی سالیانه استاندارد وسیله برودتی
بازه‌های رتبه مصرف		

A^{+++}	$EEI < 22$	A	$I < 55$	بازه‌های رتبه مصرف انرژی
A^{++}	$22 \le EEI < 33$	B	$55 \le I < 75$	
A^{+}	$33 \le EEI < 44$	C	$75 \le I < 90$	
A	$44 \le EEI < 55$	D	$90 \le I < 100$	
B	$55 \le EEI < 75$	E	$100 \le I < 110$	
C	$75 \le EEI < 90$	F	$110 \le I < 125$	
D	$90 \le EEI < 100$	G	$125 \le I < 140$	

تحقیق کنید

معرفی پایگاه اینترنتی:

در پایگاه اینترنتی سازمان بهره‌وری انرژی ایران،«سابا» http://www.saba.org.ir می‌توانید مطالعات بیشتری درمورد مصرف‌کننده‌های الکتریکی و لوازم خانگی برقی و برچسب انرژی داشته باشید.

پایگاه اینترنتی سابا

پرسش

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 مصرف‌کنندگان می‌گذارد؟
۷- استفاده از برچسب انرژی روی وسایل برقی چه مزایایی برای مصرف‌کنندگان این وسایل دارد؟
۸- در شکل زیر عملکرد نیروگاه آبی را تشریح کنید.

سد و نیروگاه آبی

واحد یادگیری ۲

الکتریسیته

مقدمه

امروزه انرژی الکتریکی بیش از انواع دیگر انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدون انرژی الکتریکی کاربرد وسایل روشنایی، تلویزیون، تلفن و اغلب وسایل خانگی غیرممکن است. به‌علاوه، 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.

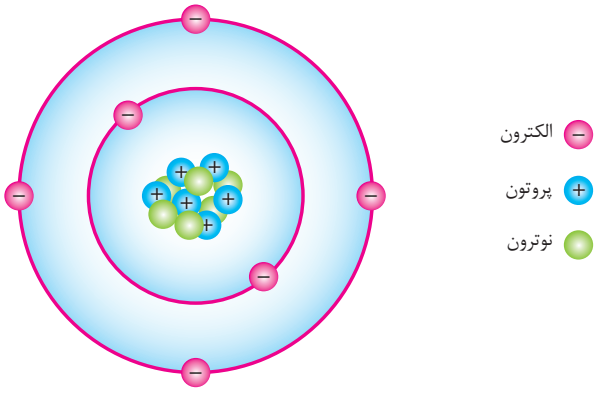
در سال ۱۷۳۳ یک دانشجوی فرانسوی به نام شارل دوفه[1] به این نکته پی برد که یک تکه شیشهٔ باردار بعضی از اجسام باردار را جذب و اجسام باردار دیگر را دفع می‌کند (شکل ۲۲). بنابراین، او چنین نتیجه گرفت که دو نوع بار الکتریکی وجود دارد.

در اواسط دهه ۱۷۰۰، بنجامین فرانکلین این دو نوع را بارهای الکتریکی مثبت و منفی نام‌گذاری کرد.

شکل ۲۲

ساختمان اتم

اتم از دو بخش هسته و اطراف هسته تشکیل شده است. درون هسته ذرات پروتون و نوترون قرار دارند و الکترون‌ها برروی 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 ۲۳).



شکل ۲۳

۱-Charles Dufay

بار الکتریکی هر پروتون برابر بار الکتریکی الکترون است و مقدار بار الکتریکی الکترون برابر با $۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}$ کولن می‌باشد و به صورت زیر نوشته می‌شود:

$e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}$

مقدار بار الکتریکی الکترون را «بار پایه» در نظر می‌گیرند. مضرب صحیحی از بار پایه را «بار الکتریکی» می‌نامند و آن را با q نشان می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$q = n.e$

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 می‌باشد. بار الکتریکی هسته آن چند کولن است؟ $(e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} C)$

حل: از رابطه $q = n.e$ می‌توان نوشت:

$q = ۲۹ \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}$

$q = ۴۶/۴ \times ۱۰^{-۱۹}$

$q = ۴/۶۴ \times ۱۰^{-۱۸} (C)$

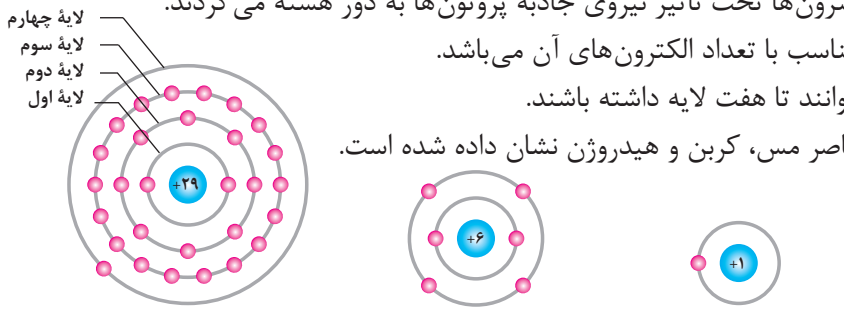
لایه‌ها

لایه مسیری است که الکترون‌ها تحت تأثیر نیروی جاذبه پروتون‌ها به دور هسته می‌گردند.

تعداد لایه‌های هر اتم متناسب با تعداد الکترون‌های آن می‌باشد.

اتم‌های تمام عناصر می‌توانند تا هفت لایه داشته باشند.

در شکل ۲۴ لایه‌های عناصر مس، کربن و هیدروژن نشان داده شده است.



هیدروژن ۱ لایه دارد — کربن ۲ لایه دارد — مس ۴ لایه دارد

شکل ۲۴

ظرفیت لایه

ظرفیت لایه نشان‌دهنده حداکثر الکترون‌های موجود در هر لایه می‌باشد.

ظرفیت هر لایه از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

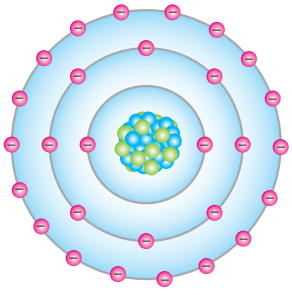
$ظرفیت هر لایه = ۲n^۲$

در این رابطه n شماره هر لایه می‌باشد. برای لایه‌های اول و دوم و سوم داریم:

$۲(۱)^۲ = ۲$ لایه اول

$۲(۲)^۲ = ۸$ لایه دوم

$۲(۳)^۲ = ۱۸$ لایه سوم

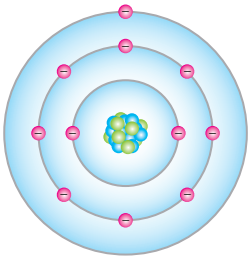


شکل ۲۵

ظرفیت دیگر لایه‌ها نیز قابل محاسبه می‌باشد.

لایه خارجی (طبقهٔ والانس)

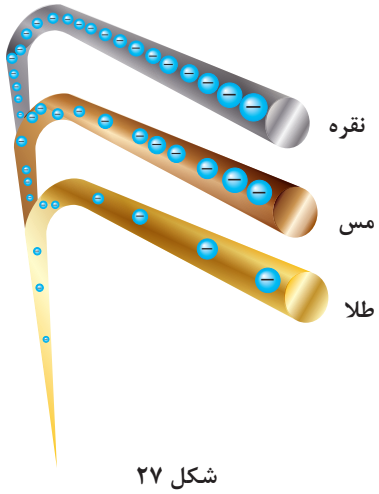
لایه خارجی آخرین لایه هر اتم است و آن را لایه والانس گویند.
الکترون‌های لایه والانس را «الکترون والانس» می‌نامند (شکل ۲۶).



شکل ۲۶

هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی عناصر به تعداد الکترون‌های لایه والانس بستگی دارد. هرچه 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؛ به‌طور مثال اتم‌های مس، نقره و طلا دارای یک الکترون در لایه والانس هستند. بهترین هادی الکتریکی نقره و پس از آن مس و طلا می‌باشد (شکل ۲۷).
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.



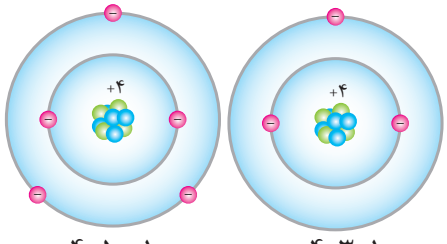
شکل ۲۷

نیمه هادی

عناصری که در لایه والانس چهار الکترون دارند «نیمه‌هادی» نامیده می‌شوند. عناصری نظیر ژرمانیوم و سیلیسیم در لایه والانس خود چهار الکترون دارند و جزو نیمه‌هادی‌های معروف هستند.

یون

اتم دارای بار الکتریکی را «یون» گویند. اگر تعداد الکترون‌های اتم بیش از پروتون‌های آن باشد اتم را «یون منفی» گویند. شکل (۲۸ـ ب) و اگر تعداد الکترون‌های اتم کمتر از پروتون‌های آن باشد، اتم را «یون مثبت» گویند شکل (۲۸ـ الف).



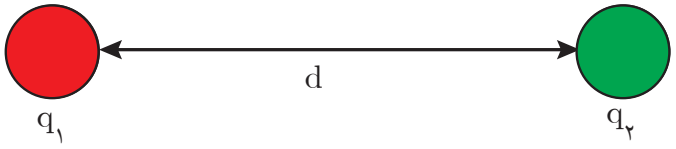
۴-۳=۱ (الف) یون مثبت
۴-۵=-۱ (ب) یون منفی

شکل ۲۸

قانون کولن

قانون کولن نیروی میان بارهای الکتریکی را بیان می‌کند. بنا به تعریف نیروی کولنی بین دو بار الکتریکی با حاصل‌ضرب 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 برحسب کولن (C)

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

$K = ۹\times۱۰^۹$ ضریب ثابت: $(\frac{Nm^2}{C^2})$

نیروی کولنی میان بارهای همنام دافعه و میان بارهای ناهمنام جاذبه می‌باشد.

مثال: دو بار الکتریکی ۳µc و ۴µc در فاصله ۳۰cm 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:

$$F = ۹\times۱۰^۹ \times \frac{۳\times۱۰^{-۶}\times۴\times۱۰^{-۶}}{(۳۰\times۱۰^{-۲})^۲}$$

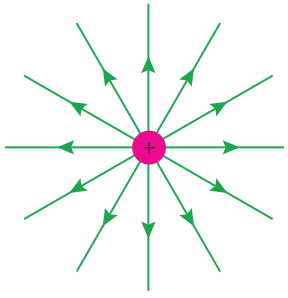
$$F = ۹\times۱۰^۹ \times \frac{۱۲\times۱۰^{-۱۲}}{۹۰۰\times۱۰^{-۴}} = ۱۲\times۱۰^{-۱} = ۱/۲(N)$$

بارها همنام هستند پس نیروی کولنی بین آنها دافعه است.

میدان الکتریکی

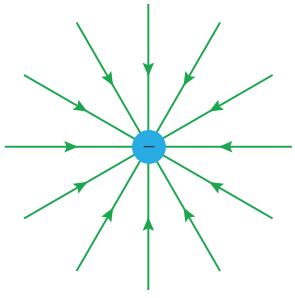
در فضای اطراف هر بار الکتریکی خاصیتی وجود دارد که به بارهای الکتریکی دیگر نیرو وارد می‌کند، به این خاصیت «میدان الکتریکی» گویند.

برای نمایش میدان الکتریکی هر بار الکتریکی از خطوط شعاعی استفاده می‌شود و آن را خطوط میدان الکتریکی می‌نامند. طبق قرارداد خطوط میدان الکتریکی از بارهای مثبت خارج و به بارهای منفی وارد می‌شود. خطوط میدان الکتریکی بار مثبت در شکل ۲۹ نشان داده شده است.



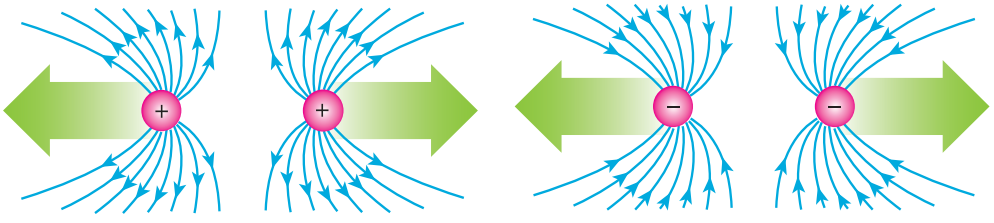
شکل ۲۹

و خطوط میدان الکتریکی بار منفی در شکل ۳۰ نشان داده شده است.



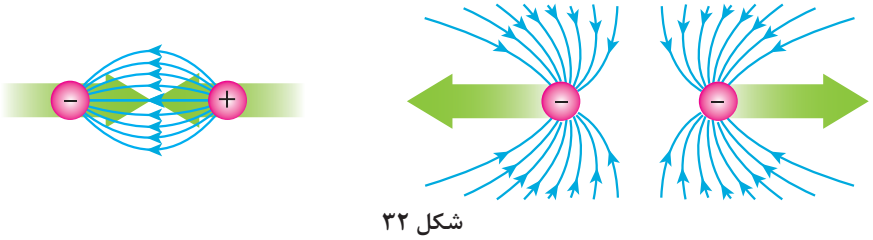
شکل ۳۰

خطوط میدان الکتریکی دوبار همنام و هم‌اندازه با نیروی دافعه کولنی در شکل ۳۱ نشان داده شده است.



شکل ۳۱

و خطوط میدان الکتریکی دوبار ناهمنام و هم‌اندازه با نیروی جاذبه کولنی در شکل ۳۲ نشان داده شده است.



شکل ۳۲

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 به‌دست می‌آید.

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

که در این رابطه:

E شدت میدان الکتریکی برحسب نیوتن بر کولن $(\frac{N}{C})$

F نیروی کولنی بر حسب نیوتن (N)

q بار الکتریکی بر حسب کولن (C) است.

مثال: بر بار الکتریکی ۴μc در نقطه‌ای نیروی کولنی ۲N وارد می‌شود. شدت میدان الکتریکی در آن نقطه چند $\frac{N}{C}$ است؟

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

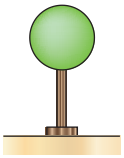
$$E = \frac{۲}{۴\times۱۰^{-۶}}$$

$$E = \frac{۱}{۲}\times۱۰^{۶}$$

$$E = ۵\times۱۰^{۵}\left[\frac{N}{C}\right]$$

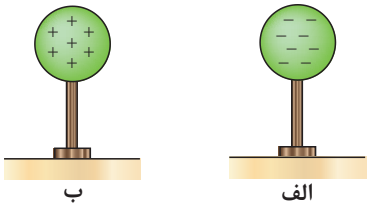
پتانسیل الکتریکی

یک کره فلزی بر روی پایه عایق مطابق شکل ۳۳ در نظر گرفته شده است.



شکل ۳۳

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 ۳۴).



الف — بار ذخیره شده منفی

ب — بار ذخیره شده مثبت

شکل ۳۴

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 برحسب 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 $5\mu c$ روی یک کره رسانا با پایه عایق انباشته شده است. اگر انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شده $20mj$ باشد، پتانسیل الکتریکی آن را بیابید:

حل: از رابطه $V=\frac{U}{q}$ می‌توان نوشت:

$$V=\frac{20\times10^{-3}}{5\times10^{-6}}$$

$$V=4\times10^{3}$$

$$V=4000[V] \text{ یا } 4\ [KV]$$

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 می‌باشد که می‌توان به آن بار الکتریکی داد یا از آن دریافت کرد.

ولتاژ

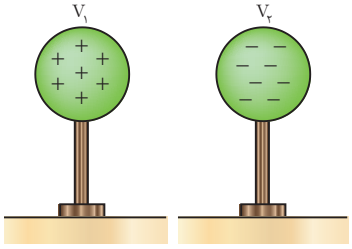
اختلاف پتانسیل الکتریکی میان دو نقطه را «ولتاژ» می‌نامند و از رابطه زیر به‌دست می‌آید (شکل ۳۵).

که در این رابطه: $V=V_1-V_2$

V_1 پتانسیل الکتریکی نقطه اول برحسب ولت (V)

V_2 پتانسیل الکتریکی نقطه دوم برحسب ولت (V)

V ولتاژ بین نقاط اول و دوم برحسب ولت (V) است.

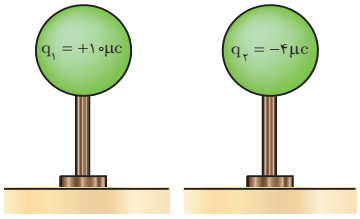


شکل ۳۵

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

الف) پتانسیل الکتریکی کره‌ها

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



شکل ۳۶

حل:

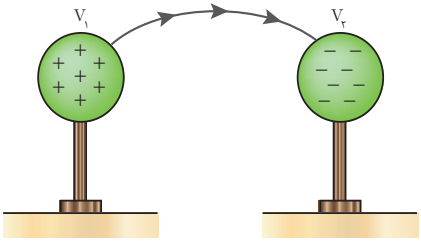
(الف) $V_1=\frac{U_1}{q_1}=\frac{5\times10^{-3}}{10\times10^{-6}}=0/5\times10^{3}=500[V]$

$$V_2=\frac{U_2}{q2}=\frac{5\times10^{-3}}{-4\times10^{-6}}=-\frac{1}{25}\times10^{3}=-1250[V]$$

(ب) $V_1-V_2=500-(-1250)=1750\ [V]$

جریان الکتریکی

شارش بارهای الکتریکی بین دو نقطه را «جریان الکتریکی» گویند. عامل جاری شدن جریان الکتریکی اختلاف پتانسیل الکتریکی میان دو نقطه است (شکل ۳۷).
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 ۳۷

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 ۳۸). صاعقه را تخلیه الکتریکی نیز می‌گویند. تخلیه الکتریکی (صاعقه) ممکن است به ساختمان‌های بلند برخورد نماید و خسارت به بار آورد.

شکل ۳۸

در بیمارستان‌ها برای بیهوش کردن بیماران از ماده‌ای به نام اتر استفاده می‌شود. اتر ماده‌ای فرّار است و بخار آن در فضای اتاق پخش می‌شود. اگر چرخ‌های تخت حامل بیمار لاستیکی باشد، براثر مالش این چرخ‌ها با پتو و روکش بیمار ممکن است در آنها الکتریسیتهٔ 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 به‌دست 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 اندازه‌گیری شدت جریان الکتریکی آمپر است و با [A] نشان می‌دهند. شارش یک کولن بار الکتریکی در مدت یک ثانیه را «یک آمپر» گویند.

شکل ۳۹

آندره آمپر در سال ۱۷۷۵ میلادی در لیون فرانسه به دنیا آمد (شکل ۳۹).
به پاس تلاش‌های وی در فیزیک یکای اندازه‌گیری شدت جریان آمپر [A] نام‌گذاری شده است

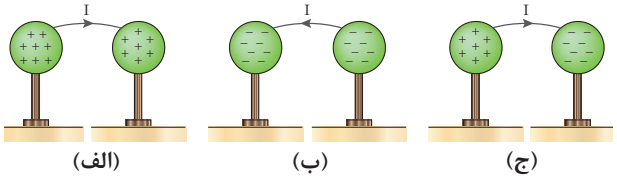
مثال: بار الکتریکی $4\mu c$ در مدت $0/02\ s$ میان دو نقطه شارش می‌کند. شدت جریان الکتریکی چند آمپر است؟

حل: از رابطه $I=\frac{q}{t}$ داریم:

$$I=\frac{4\times10^{-6}}{0/02}=2\times10^{-4}[A]=0/2mA$$

جهت جریان الکتریکی

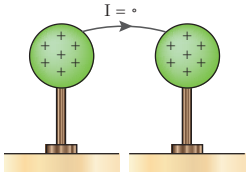
جهت جریان الکتریکی از پتانسیل بیشتر به پتانسیل کمتر می‌باشد و مادامی‌که اختلاف پتانسیل وجود داشته باشد جریان الکتریکی برقرار است (شکل ۴۰).



(الف) (ب) (ج)

در شکل (الف) بارهای + در کره سمت چپ بیشتر می‌باشد.
در شکل (ب) بارهای − در کره سمت چپ بیشتر می‌باشد.
شکل ۴۰

در شکل (الف) جریان از کره پتانسیل بیشتر به کره با پتانسیل کمتر جاری می‌شود تا پتانسیل الکتریکی دو کره برابر شود (شکل ۴۱).



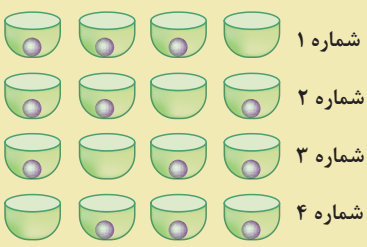
شکل ۴۱

فعالیت

شکل‌های ب و ج را پس از اینکه پتانسیل دو کره برابر شد رسم نمایید.

فکر کنید

به شکل ۴۲ 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؟



شکل ۴۲

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 ۴۳

مدار الکتریکی

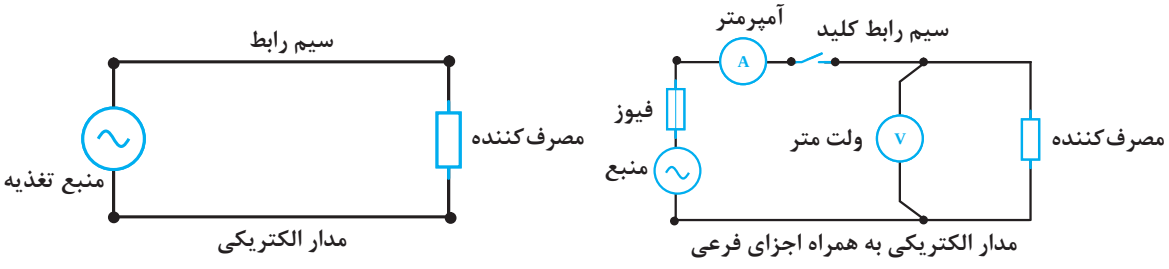
مسیری که در آن جریان الکتریکی برقرار می‌شود را «مدار الکتریکی» گویند. اجزای اصلی هر مدار الکتریکی[۱] عبارت است از:

۱ـ منبع تغذیه

۲ـ مصرف‌کننده

۳ـ سیم رابط

همچنین هر مدار الکتریکی می‌تواند شامل وسایل کنترلی نظیر کلید و یا تجهیزات حفاظتی نظیر فیوز و یا وسایل اندازه‌گیری الکتریکی نظیر آمپرمتر نیز باشد که آنها را به عنوان اجزای فرعی مدار الکتریکی می‌شناسند (شکل ۴۴).



شکل ۴۴

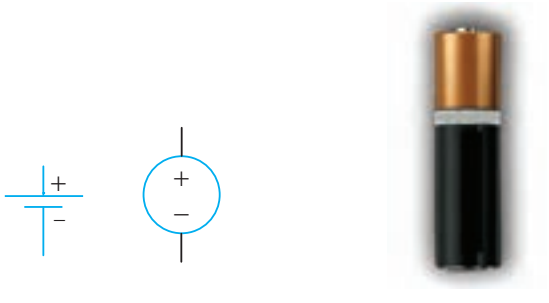
۱ـ Electrical Circuit

منبع تغذیه

منبع تغذیه[1] 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 ـ 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 ۴۵ است.



(ب) (الف)

شکل ۴۵

ب ـ 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 به‌صورت جریان متناوب تولید می‌شود. علامت اختصاری منبع تغذیه جریان متناوب مطابق شکل ۴۶ است.

(الف) (ب)

شکل ۴۶

---

۱ -Power Source

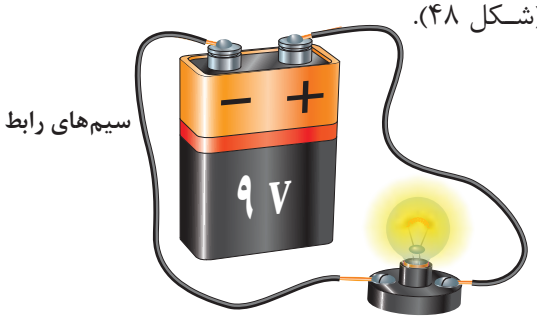
مصرف‌کننده الکتریکی

شکل ۴۷

مصرف‌کننده الکتریکی[1]، انرژی الکتریکی را تبدیل یا ذخیره می‌سازد. موتورهای الکتریکی، لامپ‌ها، بخاری برقی و ... جزء بارهایی هستند که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی، نور یا حرارتی تبدیل می‌کنند اما بارهای خازنی و یا سلفی که در فصل‌های بعد با آنها آشنا خواهید شد انرژی الکتریکی را در خود ذخیره می‌سازند(شکل ۴۷).

سیم رابط

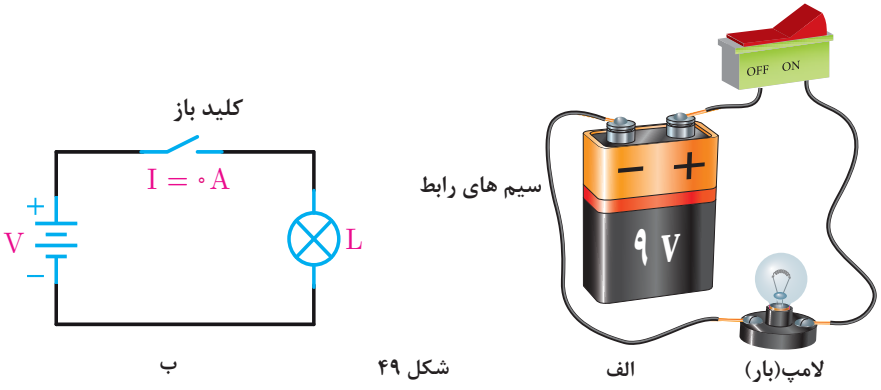
سیم رابط، ارتباط بین منبع تغذیه و مصرف‌کننده الکتریکی را به منظور انتقال انرژی الکتریکی از منبع تغذیه به مصرف‌کننده فراهم می‌سازد (شکل ۴۸).



شکل ۴۸

کلید

در صورتی‌که قصد قطع و وصل مدار (کنترل مصرف‌کننده) الکتریکی را داشته باشیم، لازم است تا مسیر عبور جریان الکتریکی را قطع یا وصل کنیم که معمولاً این کار توسط کلید انجام می‌گیرد. کلید از اجزای اصلی مدار به حساب نمی‌آید(شکل ۴۹).



شکل ۴۹

۱-Electrical Load

پرسش

۱- کمیت‌های زیر را تعریف کنید:

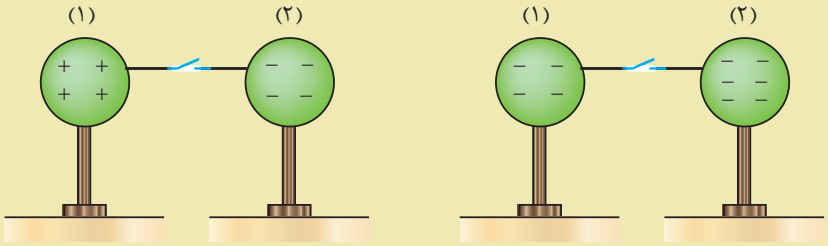
الف) عدد اتمی ب) بار الکتریکی ج) لایه والانس د) نیمه هادی

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.



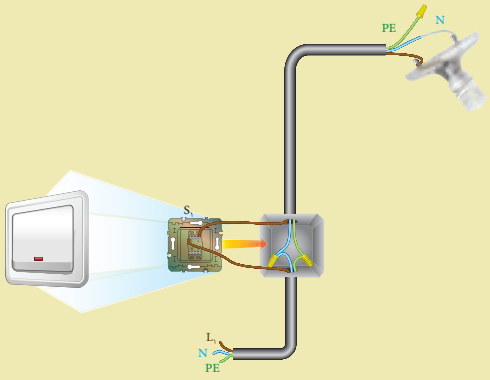
الف ب

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 روبه‌رو کدام اجزای مدار آورده شده است؟ نوع تغذیه این مدار از نظر جریان متناوب یا مستقیم، کدام است؟



تمرین

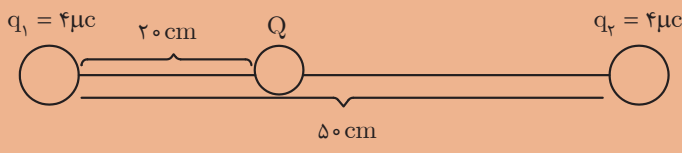
۱ـ عدد اتمی مس برابر ۲۹ می‌باشد. بار الکتریکی اطراف هسته چند کولن و چه نوعی می‌باشد؟

۲ـ اگر بار الکتریکی اتم مس $3/2\times10^{-19}c$ باشد تعداد الکترون‌های اطراف هسته را مشخص کنید.

۳ـ بیشترین الکترون که می‌تواند در لایه چهارم یک اتم در اطراف هسته وجود داشته باشد چه تعدادی است؟

۴ـ دو بار الکتریکی مشابه $q=5\mu c$ در فاصله $10Cm$ از هم قرار دارند. نیروی کولنی بین آنها چه نوع و چه مقدار است؟

۵ـ در شکل زیر از طرف بار $q_1 = 4\mu c$ و $q_2 = 9\mu c$ چه نیرویی بر بار $Q = 2\mu c$ وارد می‌شود؟ آیا می‌توان نیروی کولنی کل را به‌دست آورد؟



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

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

۸ـ دو بار همنام وقتی به فاصله d از یکدیگر واقع شوند، نیروی معین F را به هم وارد می‌کنند.

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 می‌کند؟

۹ـ بار مثبت 5×10^{-7} کولنی وقتی در نقطه‌ای از یک میدان الکتریکی قرار گیرد، نیرویی برابر ۰/۰۴ N بر آن وارد می‌شود. شدت میدان الکتریکی را در این نقطه حساب کنید.

۱۰ـ شدت میدان الکتریکی در یک میدان یکنواخت (یعنی میدانی که شدت آن ثابت و خطوط نیروی آن موازی و هم جهت است) برابر $1000\frac{N}{C}$ است. اندازه نیروی وارد بر یک الکترون را وقتی که در این میدان قرار می‌گیرد، حساب کنید. بار الکتریکی الکترون را (c) $e = 1/6\times10^{-9}$ بگیرید.

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

۱۲ـ در نقطه‌ای بر بار $q = 4\mu c$ نیروی کولنی 5N وارد می‌شود. شدت میدان الکتریکی در آن نقطه را به‌دست آورید.

۱۳ـ انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شده در یک کره رسانا 50mj و پتانسیل الکتریکی آن 250V می‌باشد. بار انباشته شده روی آن چند کولن است؟

۱۴ـ بار الکتریکی عبوری از مداری با جریان الکتریکی ۳ آمپر در مدت ۱۰ میلی ثانیه چند کولن است؟

۱۵ـ در اثر رعد و برق در مدت 2ms تعداد 5×10^{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 صورتی‌که جریان مصرفی یک خانه مسکونی ۳۲ آمپر فرض شود؟

واحد یادگیری ۳

آثار جریان الکتریکی

تولید گرما به وسیله جریان الکتریکی

جریان الکتریکی هنگام عبور از سیم، در آن مقداری گرما تولید می‌کند. این بدان علت است که مقداری انرژی مصرف می‌شود تا جریان از سیم عبور کند و این انرژی به صورت گرما ظاهر می‌شود. چون عبور جریان از یک هادی خوب آسان‌تر است، نتیجه می‌گیریم که در آن حرارت کمتری تولید می‌شود. شکل ۵۰ موارد استفاده اثر حرارتی الکتریسیته را نمایش می‌دهد.

شکل ۵۰

تولید نور به وسیله جریان الکتریکی

وقتی که از هادی‌های ضعیف جریانی عبور می‌کند، داغ می‌شوند و این گرما را به صورت نور قرمز یا سفید ظاهر می‌کند. در نتیجه، به علت گرما و التهاب، درخشش و روشنایی تولید می‌شود که اساس کار لامپ رشته ای است (شکل ۵۱).

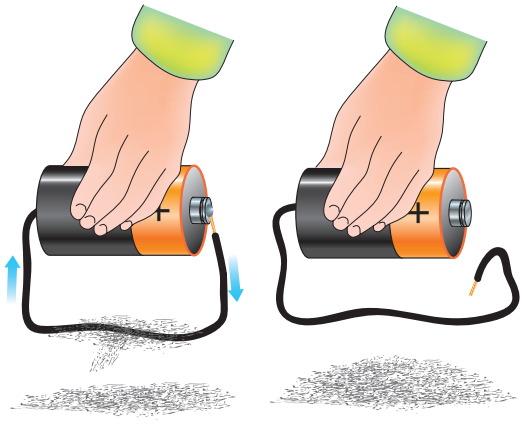
شکل ۵۱

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 استفادهٔ آن را نیز در چراغ‌های معابر و لامپ‌های نئون تبلیغاتی فروشگاه‌ها دیده‌اید.
گازی مانند بخار جیوه هنگام حمل جریان الکتریکی یونیزه می‌شود و اشعهٔ ماورای بنفش از خود متصاعد می‌کند. این اشعه با لایه فسفرسانس (پودر سفیدرنگ چسبیده به جداره داخلی لامپ فلورسنت یا مهتابی) برخورد می‌کنند و نور سفید می‌دهند (شکل ۵۲).

شکل ۵۲

تولید مغناطیس به وسیلهٔ جریان الکتریکی

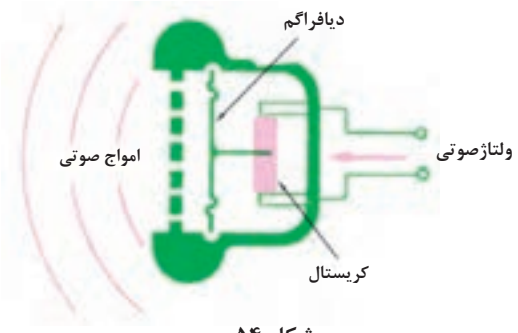
هر هادی که جریان الکتریکی از آن بگذرد، مانند یک مغناطیس عمل می‌کند. به این خاصیت، خاصیت مغناطیسی می‌گویند.
در شکل ۵۳ هنگامی که جریان الکتریکی از سیم عبور کند، سیم مانند مغناطیس عمل می‌کند و براده‌های آهن را جذب می‌نماید، در صورت قطع شدن سیم، خاصیت مغناطیسی سیم از بین می‌رود و براده‌ها می‌افتند.



شکل ۵۳

تولید فشار به وسیله جریان الکتریکی

همان‌طور 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 ۵۴ وقتی ولتاژ صوتی به کریستال‌های گوشی داده می‌شود، کریستال‌ها ارتعاش می‌کنند و دیافراگم را می‌لرزانند. در نتیجه این امر، صدا از طریق گوشی شنیده می‌شود.



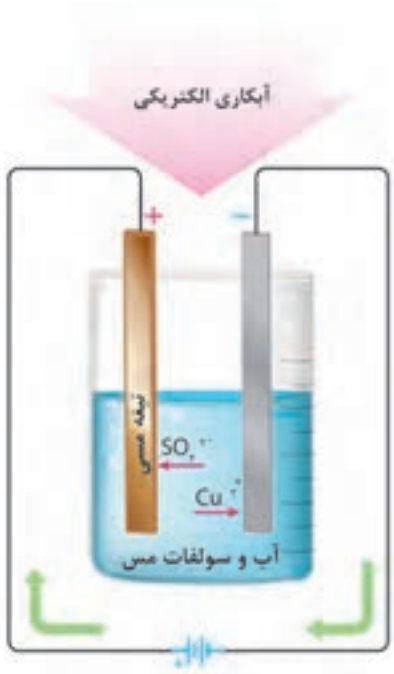
شکل ۵۴

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 (So_4cu) همراه باشد، سولفات مس به یون‌های مثبت مس (cu^{++}) و یون‌های منفی سولفات (So_4^{2-}) تجزیه می‌شود.

یون‌هـای مـس بـه سـمت الکتـرود منفـی می‌رونـد و الکتـرون جـذب می‌کننـد ولـی چـون مـس فلـز اسـت، بـه الکتـرود خواهـد چسـبید (شـکل ۵۵).
پـس از مدتـی، الکتـرود بـه طـور کامـل در لایـه‌ای از مـس پوشـیده خواهـد شـد. از ایـن طریـق می‌تـوان بـا نقـره و طـلا نیـز آبـکاری کـرد.



شکل ۵۵

پرسش

۱- پنج اثرجریان الکتریکی را نام ببرید.
۲- آبکاری برقی چیست؟
۳- لامپ معمولی چگونه نور تولید می‌کند؟
۴- در لامپ‌های نئون از یک ..... به عنوان‌هادی 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؟

پروفسورلطفی زاده (لطفعلی عسگرزاده)، مبدع منطق نوین فازی

پروفسورلطفی زاده در سال ۱۲۹۹شمسی 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 به‌عهده گرفت. به اعتقاد بسیاری لطفی زاده یکی از باهوش‌ترین 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 :

برخلاف 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 نمی‌شناسد. ولی در مجموعه‌های نامعین منطق فازی، بین سیاه و سفید مجموعه‌ای از طیف‌های خاکستری هم لحاظ می‌شود و به این طریق فصل مشترک ساده‌ای بین انسان و رایانه به وجود می‌آید.

این منطق حدود چهل سال پیش در امریکا توسط لطفی‌زاده پایه‌ریزی 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:

دستگاه‌ها و لوازم خانگی کنترل فازی که کنترل‌پذیری بهتری دارند عبارت‌اند از ماشین لباسشویی و دوربین‌های دیجیتال و ویدئو، یخچال، سیستم‌های تهویه مطبوع، جارو برقی، کنترل خودکار ترافیک، سیستم ترمز اتومبیل‌ها، ماشین‌های صنعتی هوشمند، سیستم‌های تشخیص هویت از روی اثر انگشت یا تصویر مردمک چشم و حتی غلط‌یاب تایپی در نرم‌افزارهای نگارشی مانند word و.. . امروزه هیچ دستگاه الکترونیکی‌ای، مخصوصاً لوازم خانگی بدون این منطق در ساختار خود تولید نمی‌شوند.

استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی مبتنی بر شایستگی درس دانش فنی پایه

رشته تحصیلی: الکتروتکنیک | پایه: دهم | سال تحصیلی:
کد رشته: ۰۷۱۳۱۰ | کد درس: | کد کتاب: ۲۱۰۲۶۳

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقق	نمره
پودمان ۱: تولید انرژی الکتریکی	۱ـ بررسی روش‌های تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی ۲ـ کاربرد قانون کولن در موقعیت‌های مختلف عملکردی	تحلیل انتقال انرژی الکتریکی از تولید تا مصرف از دیدگاه افت توان با استفاده از نقشه، نوع مصرف و توزیع بار موقعیتی	بالاتر از حد انتظار	۱ـ تحلیل تولید و انتقال انرژی از نیروگاه تا مصرف در حالت‌های مختلف ۲ـ محاسبه نیروی بین دو بار الکتریکی در موقعیت‌های مختلف حقیقی ۳ـ تحلیل شدت میدان الکتریکی بین چند بار مختلف	۳
		با استفاده از قانون کولن مقدار و نوع نیروی بین بارهای الکتریکی را تشخیص دهد.	در حد انتظار	۱ـ تحلیل تولید و انتقال انرژی از نیروگاه تا مصرف در حالت‌های مختلف ۲ـ محاسبه نیروی بین دو بار الکتریکی در موقعیت‌های مختلف حقیقی	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	تعیین وضعیت انتقال انرژی	۱
	نمره مستمر از ۵				
	نمره شایستگی پودمان				
	نمره پودمان از ۲۰				

فیزیک دوم

کار و توان الکتریکی

دراین فصل مطالب زیر را فراخواهید گرفت:

۱- مقاومت الکتریکی

۲- قانون اهم

۳- کار الکتریکی

۴- توان الکتریکی

۵- بازده

واحدیادگیری ۴

مقاومت‌الکتریکی

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 وهادی‌ها 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 میلی‌مترمربع است. آن را با حرف ρ نشان می‌دهند. مقاومت الکتریکی مخصوص چند فلز در مقایسه با مس در (شکل ۲ـ الف) نشان داده شده است.

عکس مقاومت الکتریکی مخصوص را هدایت الکتریکی مخصوص گویند و با κ نشان می‌دهند، هدایت الکتریکی مخصوص چند فلز در مقایسه با مس در (شکل ۲ـ ب) نشان داده شده است.

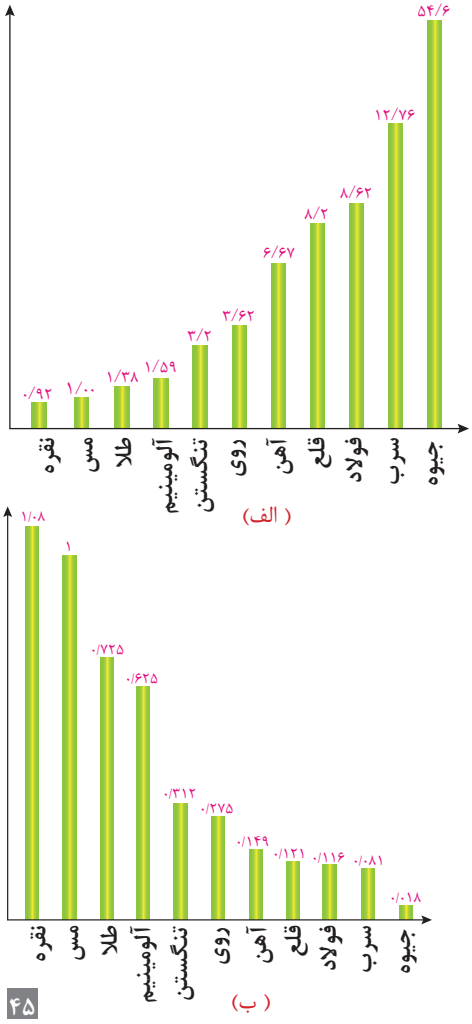
بین مقاومت الکتریکی مخصوص با هدایت الکتریکی مخصوص رابطه زیر برقرار است.

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

که در این رابطه :

ρ مقاومت الکتریکی مخصوص $\left[\frac{\Omega mm^2}{m}\right]$

κ هدایت الکتریکی مخصوص $\left[\frac{m}{\Omega mm^2}\right]$



شکل ۲

عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی

عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی‌هادی‌ها عبارت‌اند از :

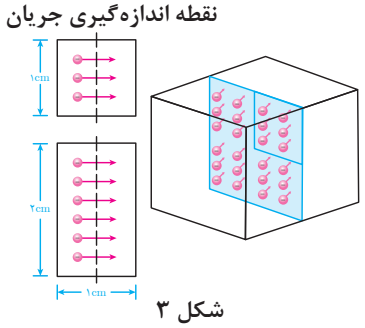
- سطح مقطع‌هادی
- طول‌هادی
- جنس‌هادی

تأثیر سطح مقطع‌هادی بر مقاومت الکتریکی :

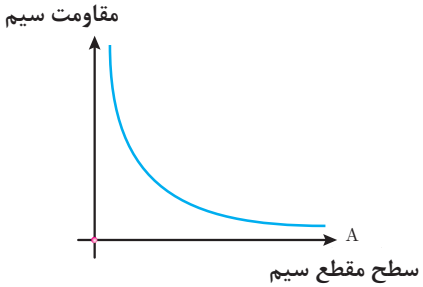
مقدار جریان الکتریکی به تعداد الکترون‌های آزاد موجود در سیم بستگی دارد ؛ بنابراین با افزایش سطح مقطع‌هادی تعداد الکترون‌های آزاد بیشتر می‌شود. تا مقدار بیشتری جریان الکتریکی بتواند از آن عبور کند.

یک قطعه مس به ارتفاع ۲ و عرض ۱ سانتی متر در محل اندازه گیری 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 مقطع‌هادی را نمایش می‌دهد. طبق این نمودار هر قدر سطح مقطع افزایش پیدا می‌کند، مقاومت الکتریکی کمتر می‌شود.



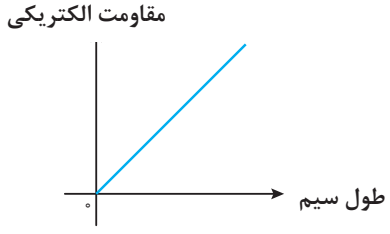
شکل ۳



شکل ۴

تأثیر طول‌هادی 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 ازهادی، مقدار معینی مقاومت الکتریکی دارد و هرچه سیم طویل‌تر باشد، مقاومت الکتریکی آن نیز بیشتر است.



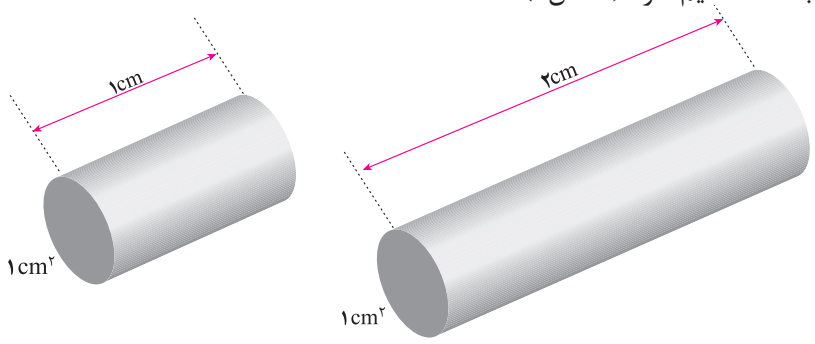
شکل ۵

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

رابطه مقاومت الکتریکی هادی :

اگـر طـول یـک سـیم (L) را زیـاد کنیـم، مقاومـت آن زیـاد می‌شـود و برعکـس، اگـر طـول سـیم را کـم کنیـم، مقاومـت آن کـم می‌شـود.

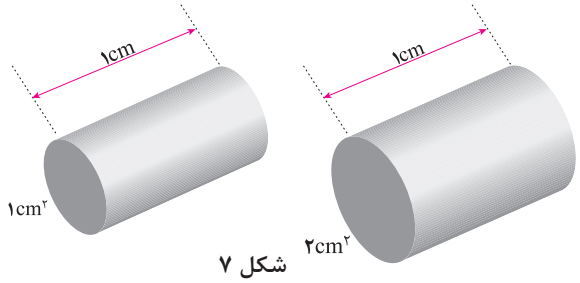
اگـر طـول سـیم را مثـلاً دو برابـر کنیـم، مقاومـت آن را دو برابـر کرده‌ایـم، پـس مقاومـت یـک سـیم بـا طـول آن نسـبت مسـتقیم دارد (شـکل۶).



شکل ۶

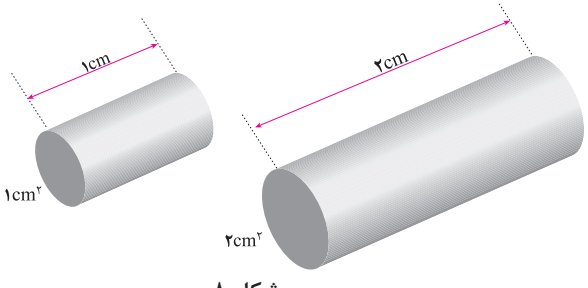
همچنیـن می‌تـوان بـا اضافـه کـردن سـطح مقطـع (A) مقاومـت را کـم کـرد و بـا کـم کـردن سـطح مقطـع بـر مقاومـت افـزود.

اگـر سـطح مقطـع سـیم را دو برابـر کنیـم، مقاومـت آن نصـف می‌شـود. در نتیجـه می‌گوییـم مقاومـت بـا سـطح مقطـع نسـبت عکـس دارد (شـکل۷).



شکل ۷

اگـر طـول سـیم دو برابـر و سـطح مقطـع آن دو برابـر شـود، مقاومـت الکتریکـی نسـبت بـه وضعیـت قبلـی تغییـر نخواهـد کـرد (شـکل ۸).



شکل ۸

مقاومت الکتریکی مخصوص و هدایت الکتریکی مخصوص به جنس‌هادی بستگی دارد ؛ از رابطه زیر مقاومت الکتریکی رسانا به‌دست می‌آید.

$$R = \rho \frac{L}{A} \qquad \text{یا} \qquad R = \frac{L}{\kappa . A}$$

در این رابطه:

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

L طول سیم بر حسب متر $[m]$

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

ρ مقاومت الکتریکی مخصوص بر حسب $\frac{\Omega mm^2}{m}$

κ هدایت الکتریکی مخصوص بر حسب $\frac{m}{\Omega . mm^2}$ است.

مثال: سیم مسی به طول ۱۱۲ متر با سطح مقطع $4mm^2$ و هدایت مخصوص $\kappa = 56(\frac{m}{\Omega . mm^2})$ 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: برای ساختن یک مقاومت الکتریکی ۱۰ اهمی، چند متر سیم آلومینیومی با سطح مقطع $1/5\ mm^2$ مورد نیاز است؟ $\kappa_{AL} = 35(\frac{m}{\Omega . mm^2})$

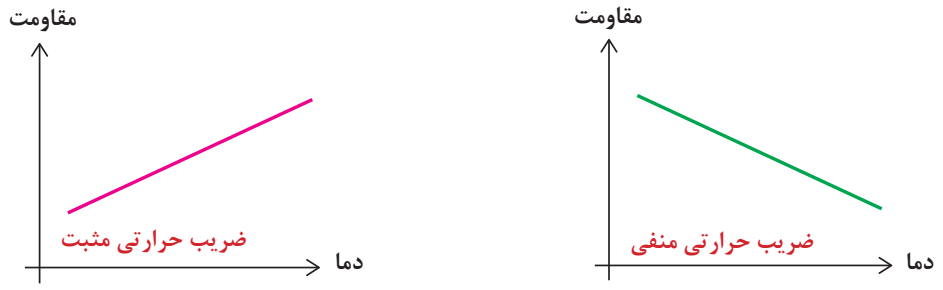
$$R = \frac{L}{\kappa . A} \Rightarrow 10 = \frac{L}{35 \times 1/5} \rightarrow L = 10 \times 35 \times 1/5 = 525m$$

- 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 (α) نمایش می‌دهند ؛ برای مثال اگر $\alpha = 0/004$ باشد یعنی اینکه واحد مقاومت آن جسم به ازای یک درجه سانتی‌گراد ۰/۰۰۴ اهم افزایش یا کاهش می‌یابد. اگر مقاومت الکتریکی جسمی بر اثر حرارت افزایش یابد، ضریب حرارتی (α) مثبت و در صورت کاهش مقاومت، ضریب حرارتی(α) منفی خواهد بود. در مورد اول، فلز را PTC [۱] ودر مورد دومNTC [۲] می‌نامند.

۱-Positive Temperature Coeficient

۲-Negative Temperature Coeficient



شکل ۹

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

$$R = R_{\circ}(1 + a\Delta\theta)$$

که در این رابطه:

$R_{\circ}$ مقاومت اولیه رسانا بر حسب اهم $[\Omega]$

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

α ضریب حرارتی برحسب $\left[\frac{1}{^{\circ}C}\right]$

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

مثال: مقاومت الکتریکی سیمی در صفر درجه سانتی گراد $2\,\Omega$ اهم است. اگر دمای سیم به ۱۰۰ درجه سانتی گراد برسد، مقاومت الکتریکی آن چند اهم می‌شود؟ $(a = 0/004\frac{1}{^{\circ}C})$

حل:

$$R_{\circ} = 2\Omega$$

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

$$R = R_{\circ}(1 + \alpha\,\Delta\theta)$$

$$R = 2(1 + 0/004 \times 100)$$

$$R = 2/8[\Omega]$$

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 $R = \frac{V}{I}$ به‌دست می‌آید.

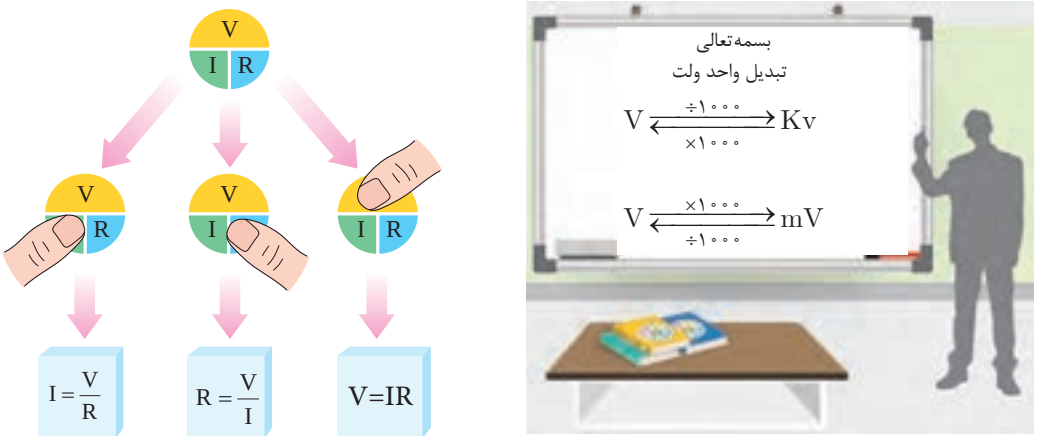
که در این رابطه :

V اختلاف پتانسیل دو سرهادی [v]

I شدت جریان‌هادی [A]

R مقاومت الکتریکی [Ω]

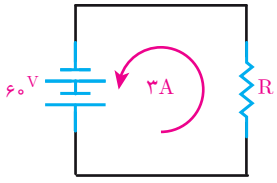
است. نحوه استفاده از قانون اهم در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰

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

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

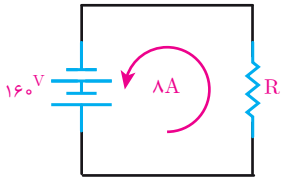


شکل ۱۱

$$R = \frac{V}{I} = \frac{۶۰}{۳}$$

$$R = ۲۰\Omega$$

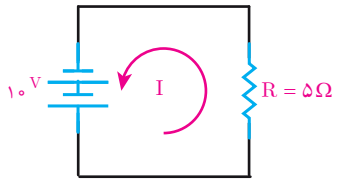
مثال: اگر درمدار (شکل۱۲) بخواهیم شدت جریان مدار ۸ آمپر شود، چه مقاومتی باید در مدار قرار گیرد ؟



شکل ۱۲

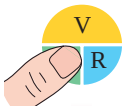
$$R = \frac{V}{I} = \frac{۱۶۰}{۸} \quad R = ۲۰\Omega$$

مثال: اگر در مدار (شکل ۱۳) ولتاژی برابر با ۱۰ ولت به دو سر مقاومتی برابر ۵ اهم اعمال شود، شدت جریان مدار چقدر است ؟



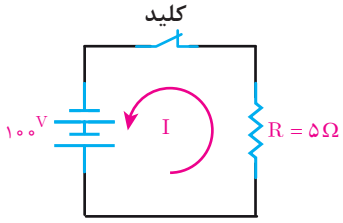
شکل ۱۳

شدت جریان مدار با استفاده از قانون اهم محاسبه می‌شود.



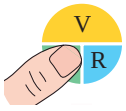
$$I = \frac{V}{R} = \frac{۱۰}{۵}$$
$$I = ۲A$$

مثال: شدت جریان الکتریکی در مدار (شکل ۱۴) چند آمپر است؟



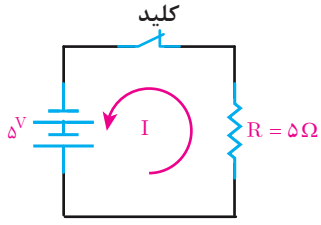
شکل ۱۴

شدت جریان مدار با استفاده از قانون اهم محاسبه می‌شود.

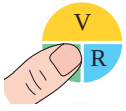


$$I = \frac{V}{R} = \frac{۱۰۰}{۵} = ۲۰A$$

مثال: شدت جریان الکتریکی مدار (شکل ۱۵) را به دست آورید.



شکل ۱۵

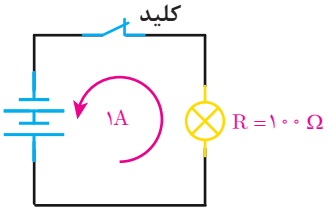


$$I = \frac{V}{R} = \frac{۵}{۵} = ۱A$$

فعالیت کلاسی

با مقایسه نتایج دو مثال قبل چه نتیجه‌ای می گیرید؟

مثال: اگر از لامپی به مقاومت ۱۰۰ اهم جریانی به شدت ۱ آمپر عبور کند، با توجه به (شکل ۱۶) ولتاژ منبع چند ولت است ؟



شکل ۱۶

$$V = I.R = ۱ \times ۱۰۰$$
$$V = ۱۰۰V$$

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

$$V = I.R = ۰/۵ \times ۱۰۰$$
$$V = ۵۰V$$
$$۱۰۰ - ۵۰ = ۵۰V$$

ابررسانا

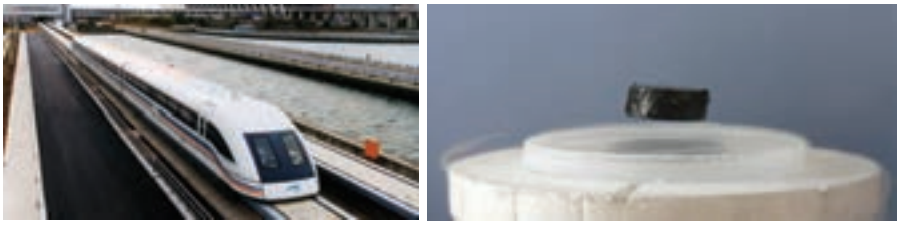
اگر دمای فلزات مختلف را تا دمای معینی (دمای بحرانی) پایین آوریم، پدیده شگرفی در آنها اتفاق می‌افتد که طی آن مقدار مقاومت فلزات در برابر عبور جریان برق به طور ناگهانی تا حد صفر کاهش می‌یابد. در این شرایط است که فلزها تبدیل به ابر رسانا خواهند شد. تبدیل به حالت ابررسانایی، فقط مربوط به فلزات نمی شود بلکه 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 ۱۷ـ 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 ۵۸۱km/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 نمی کنند. به این نوع قطارها ماگلو(Maglev) گفته می‌شود (شکل ۱۷- ب).



الف ب

شکل ۱۷

پرسش

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؟

تمرین

۱- مقاومت الکتریکی مخصوص آلومینیوم نسبت به مس برابر ۱/۵۹ می‌باشد، هدایت الکتریکی آن نسبت به مس را حساب کنید.

۲- برای ساختن یک مقاومت 5Ω چند متر سیم مسی با سطح مقطع $1/5mm^2$ مورد نیاز است؟ $(\kappa_{cu}=56)$

۳- روی یک هسته ۵۰۰ دور سیم مسی با سطح مقطع $0/5mm^2$ پیچیده‌ایم اگر شعاع هسته $2/5cm$ باشد مقاومت الکتریکی سیم پیچ را حساب کنید.

۴- درون یک وسیله برقی $80m$ سیم آلومینیومی با قطر $1/5mm$ استفاده شده است:

الف) مقاومت الکتریکی آن را بیابید.

ب) در صورتی که بخواهیم سیم مسی با قطر $1/5mm$ 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 $25^\circ C$ به $75^\circ C$ افزایش می‌یابد. اگر مقاومت الکتریکی آن در $25^\circ C$ برابر $1/8\Omega$ باشد مقاومت آن چند اهم افزایش می‌یابد؟

$$\alpha = 0/004\left[\frac{1}{^\circ C}\right]$$

۶- جریان الکتریکی عبوری از لامپی که مقاومت الکتریکی آن 50Ω و ولتاژ تغذیه آن $200V$ است را حساب کنید. در صورتی که در اثر روشن بودن دمای لامپ $40^\circ C$ افزایش یابد جریان الکتریکی چقدر تغییر می‌کند؟

$$\rho = \frac{1}{20}\left[\frac{\Omega mm^2}{m}\right]$$

۷- بـه یـک مقاومـت ۶۰ اهمـی ولتـاژی برابـر ۳۶ ولـت داده شـده اسـت. چـه جریانـی از ایـن مقاومـت عبـور می‌کنـد؟

۸- ولتاژ لازم برای عبور جریانی برابر ۱/۲ آمپر از یک مقاومت ۵ اهمی چقدر است؟

۹- مقاومـت الکتریکـی یـک لامـپ ۱۵۰Ω اسـت. ولتـاژی برابـر ۱۲۰ ولـت بـه آن داده می‌شـود. مقـدار جریـان عبـوری را حسـاب کنیـد.

۱۰- بـا یـک لامـپ و یـک منبـع ولتـاژ و یـک آمپرمتـر مـداری تشـکیل داده ایـم . اگـر منبـع ولتـاژ را ۲۴ ولـت اختیـار کنیـم، آمپرمتـر مقـدار ۱/۵ آمپـر را نشـان خواهـد داد. مقاومـت الکتریکـی مـدار را تعییـن کنیـد. اگـر بـه جـای منبـع ۲۴ ولتـی، منبـع ولتـاژ ۳۶ ولتـی قـرار دهیـم، آمپرمتـر چـه مقـداری را نشـان خواهـد داد؟

۱۱- چه ولتاژی در مقاومت ۴۰ اهمی، جریانی برابر با ۱۰۰ میلی آمپر ایجاد می‌کند؟

۱۲- حداکثـر ولتـاژی کـه یـک مقاومـت ۲۲/۵ اهمـی می‌توانـد تحمـل کنـد ۱۲۰ ولـت اسـت. اگـر جریانـی بـه شـدت ۱۰ آمپـر از آن بگـذرد آیـا ایـن مقاومـت تحمـل ایـن جریـان را خواهـد داشـت؟ چـرا؟

پروفسور کارو لوکاس (لوکس) پدر علم رباتیک

در شهریور ماه ۱۳۲۸ درشهر اصفهان متولد شد.تحصیلات متوسطهٔ خود را در دبیرستان ارامنه 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 نامهٔ علمی ایشان، استاد وی خطاب به دانشگاه‌های پرآوازهٔ 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 قرارداده 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 پیشرفتهٔ جهان معرفی نماید. تدریس حسابگری زیستی را می‌توان به عنوان مصداق ذکر کرد.

ادامه پژوهش‌های وی به سیستم‌های هوشمند و رباتیک 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، ارمنستان و آلمان تدریس نمود و در پژوهش‌های مشترک تأثیرگذار بود، پروفسور کارولوکس 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 مصرف‌کننده 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 به‌دست می‌آید.

که در این رابطه :

$$W = RI^{2}t$$

W کار الکتریکی [j]
R مقاومت الکتریکی [Ω]
I شدت جریان الکتریکی [A]
t زمان [s] است.

مثال: 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:

$$W = RI^{2}t$$

$$W = ۵۵(۴)^{۲} \times (۲ \times ۶۰) = ۱۰۵۶۰۰[J]$$

انرژی الکتریکی مصرفی علاوه بر یکای اندازه‌گیری ژول برحسب کیلووات ساعت و مگاوات ساعت نیز بیان می‌شود.

فعالیت

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

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 × مقدار انرژی الکتریکی مصرفی (kwh) = بهای برق مصرفی

مثال: یک مصرف‌کننده برقی ۸۰۰ وات روزی ۵ ساعت روشن است. در صورتی‌که بهای هر کیلو وات ساعت ۸۰۰ ریال باشد هزینه انرژی الکتریکی مصرفی آن چقدر است؟

حل:

بهای هر kwh × انرژی الکتریکی مصرفی [kwh] = قیمت انرژی الکتریکی مصرفی
ریال ۳۲۰۰ = ۸۰۰ × ۴ = قیمت انرژی الکتریکی مصرفی

توان الکتریکی

توان الکتریکی، مقدار کار الکتریکی انجام شده در واحد زمان می‌باشد. توان الکتریکی را با P نشان می‌دهند و واحد آن وات (W) است. یک وات تبدیل یک ژول انرژی در مدت یک ثانیه می‌باشد. توان در مقاومت الکتریکی از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

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

که در این رابطه :

P توان الکتریکی [W]

W کار الکتریکی [j]

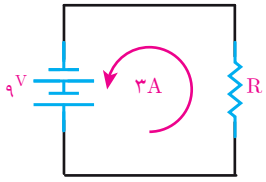
t زمان [s] است.

رابطه توان به شکل‌های زیر نیز اثبات می‌شود.

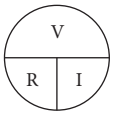
$$P = \frac{w}{t} = \frac{RI^2 t}{t} = RI^2$$

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

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



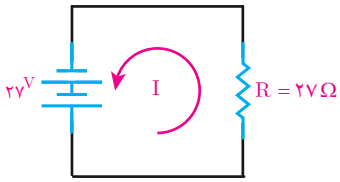
شکل ۱۸



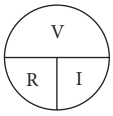
$$R = \frac{V}{I} = \frac{۹}{۳} = ۳\Omega$$

$$P = VI = ۹ \times ۳ = ۲۷W$$

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



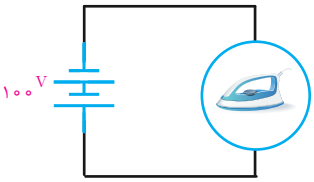
شکل ۱۹



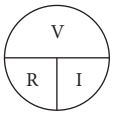
$$I = \frac{V}{R} = \frac{۲۷}{۲۷} = ۱A$$

$$P = RI^2 = ۲۷ \times ۱^2 = ۲۷w$$

مثال: شدت جـــریان و توان مصرفی اتوی برقی (شکل ۲۰) را محاسبه کنید.



شکل ۲۰

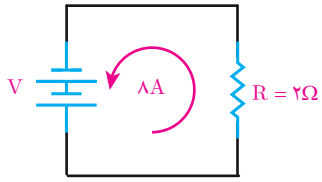


$$I = \frac{V}{R} = \frac{۱۰۰}{۱۰} = ۱۰A$$

$$P = RI^2$$

$$P = ۱۰ \times ۱۰^2 = ۱۰۰۰w$$

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



شکل ۲۱

$$V = R.I = ۸ \times ۲ = ۱۶v$$

$$P = RI^2$$

$$P = ۲ \times ۸^2 = ۱۲۸w$$

مثـال: سـماور برقـی ۲۲۰V و ۲۰۰۰W مفـروض اسـت. شـدت جریـان و مقاومـت الکتریکـی قسـمت گرمـاده آن را محاسـبه کنیـد.

$$P = V.I \Rightarrow ۲۰۰۰ = ۲۲۰ \times I \Rightarrow I = \frac{۲۰۰۰}{۲۲۰} = ۹A$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{۲۲۰}{۹} = ۲۴/۴\Omega$$

در صورت کاهش ولتاژ به میزان ۱۸۰ ولت، شدت جریان و توان سماور چقدر می‌شود ؟

$$I = \frac{V}{R} = \frac{۱۸۰}{۲۴/۴} = ۷/۳A$$

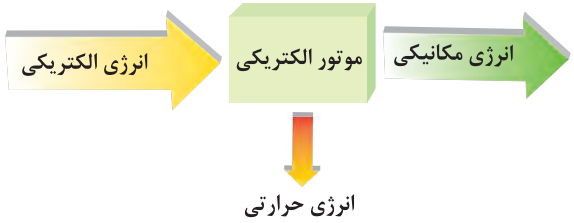
$$P = R.I^{۲} = ۲۴/۴ \times ۷/۳^{۲} = ۱۳۰۰w$$

بازده

بازده یا راندمان، نسبت توان خروجی به توان ورودی وسایل الکتریکی می‌باشد. بازده یا راندمان را با حرف یونانی اتا η نشان می‌دهند. و چون از نسبت دو توان ورودی و خروجی به‌دست می‌آید بدون واحد می‌باشد. و معمولاً آن را برحسب درصد نشان می‌دهند و از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

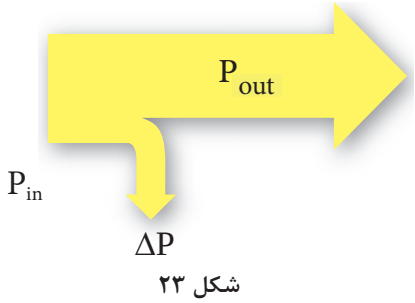
$$\eta\% = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{توان ورودی}} \times ۱۰۰$$

موتورهـای الکتریکـی از وسـایل الکتریکـی هسـتند کـه انـرژی الکتریکـی را بـه انـرژی مکانیکـی تبدیـل می‌کننـد امـا درایـن فراینـد بخشـی از انـرژی الکتریکـی بـه انـرژی حرارتـی تبدیـل می‌شـود. (شکل ۲۲)



شکل ۲۲

در موتـور مقـداری از انـرژی الکتریکـی کـه در واحـد زمـان بـه انـرژی مکانیکـی تبدیـل می‌شـود، تـوان خروجـی گوینـد و بـا P_{Out} نشـان می‌دهنـد و واحـد آن وات [W] اسـت و مقـداری از انـرژی الکتریکـی کـه در واحـد زمـان بـه انـرژی حرارتـی تبدیـل می‌شـود، تلفـات تـوان گوینـد و با ΔP نشـان می‌دهنـد و واحـد آن نیـز وات [W] اسـت. همچنیـن مقـدار انـرژی الکتریکـی کـه در واحـد زمـان از شـبکه الکتریکـی دریافـت می‌شـود تـوان ورودی اسـت و بـا P_{in} نشـان داده می‌شـود و واحـد آن وات [W] اسـت.



شکل ۲۳

ارتبـاط بیـن تـوان ورودی، خروجـی و تلفـات تـوان در دیاگـرام تـوازن تـوان (شـکل ۲۳) نشـان داده شـده اسـت.

با توجه به دیاگرام توازن توان رابطه به‌صورت مقابل است:

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

مثـال: یـک موتـور الکتریکـی ۷۵۰ واتـی از شـبکه الکتریکـی ۱۰۰۰وات تـوان الکتریکـی دریافـت می‌کنـد راندمـان آن چنـد درصـد اسـت؟ تلفـات تـوان موتـور چنـد وات اسـت؟

حل :

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times ۱۰۰$$

$$\eta\% = \frac{۷۵۰}{۱۰۰۰} \times ۱۰۰ = ۷۵\%$$

با توجه به دیاگرام توازن توان می‌توان نوشت :

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

$$\Delta P = ۱۰۰۰ - ۷۵۰ = ۲۵۰[W]$$

معمـولاً تـوان موتورهـای الکتریکـی بـر روی پـلاک مشـخصات برحسـب اسـب بخـار [HP] نیـز یادداشـت می‌شـود. یـک اسـب بخـار برابـر ۷۴۶ وات اسـت یعنـی : $۱[Hp] = ۷۴۶[W]$

فعالیت

روی پـلاک یـک موتورالکتریکـی ۵/۵ HP نوشـته شـده اسـت، مقـدار آن برحسـب وات [W] چقـدر است ؟

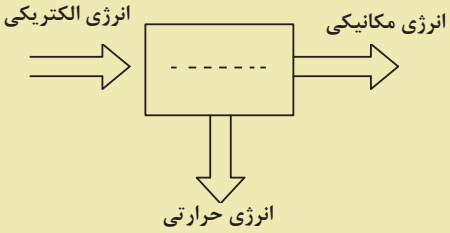
پرسش

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.

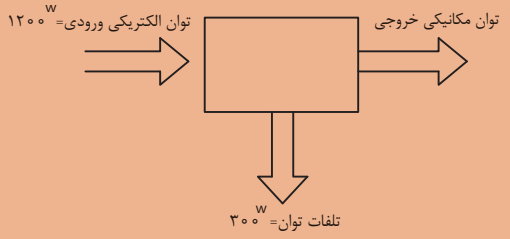
۳- بلوک دیاگرام زیر مربوط به چه وسیله برقی است؟



۴- روی پلاک موتوری $\frac{۳}{۴}$ HP نوشته شده است. توان الکتریکی آن چند وات می‌باشد؟

تمرین

۱- راندمان وسیله الکتریکی را که بلوک دیاگرام توان آن به‌صورت زیر می‌باشد را حساب کنید



۲- راندمان یک موتور الکتریکی ۸۵٪ می‌باشد اگر تلفات توان ۱۵۰W باشد، توان ورودی و خروجی چند وات است؟

۳- راندمان یک موتور الکتریکی $\frac{۱}{۲}$ HP برابر ۷۰٪ می‌باشد توان ورودی و تلفات آن چند وات است؟

۴- در ویترین 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 ۸۰Ω می‌باشد، حساب کنید اگر جریان الکتریکی عبوری از آن ۴A باشد، در مدت زمان ۵ دقیقه انرژی الکتریکی مصرفی آن چند ژول و چند کیلو ژول می‌باشد؟

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

الف) شدت جریان این وسیله در اتصال به شبکه ۲۲۰V 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 واتی و ۱۰۰۰ واتی کنیم، در هزینه برق چقدر صرفه‌جویی می‌شود؟ در صورتی‌که بدانیم میزان نوردهی لامپ‌های جایگزین به همان مقدار لامپ‌های رشته‌ای باشد.

استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی مبتنی بر شایستگی درس دانش فنی پایه

رشته تحصیلی: الکتروتکنیک | پایه: دهم | سال تحصیلی:
کد رشته: ۰۷۱۳۱۰ | کد درس: | کد کتاب: ۲۱۰۲۶۳

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقق	نمره
پودمان ۲: کار و توان الکتریکی	۱ـ کاربرد قانون اهم ۲ـ محاسبه کار و توان الکتریکی	با استفاده از قانون اهم مدارهای مقاومتی و توان الکتریکی را تحلیل کند.	بالاتر از حد انتظار	۱ـ حل مدارهای مقاومتی و محاسبه مقدار توان الکتریکی ۲ـ تحلیل توان الکتریکی و مقدار مصرف	۳
			در حد انتظار	حل مدارهای مقاومتی و محاسبه مقدار توان الکتریکی	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	به‌کارگیری قوانین اهم در مدارهای ساده	۱
	نمره مستمر از ۵				
	نمره شایستگی پودمان				
	نمره پودمان از ۲۰				

پودمان سوم

اتصالات سرّی و موازی الکتریکی

دراین فصل مطالب زیر را فراخواهید گرفت:

۱- اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی

۲- اتصال موازی مقاومت‌های الکتریکی

۳- اتصال سری ـ 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:

ـ اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی

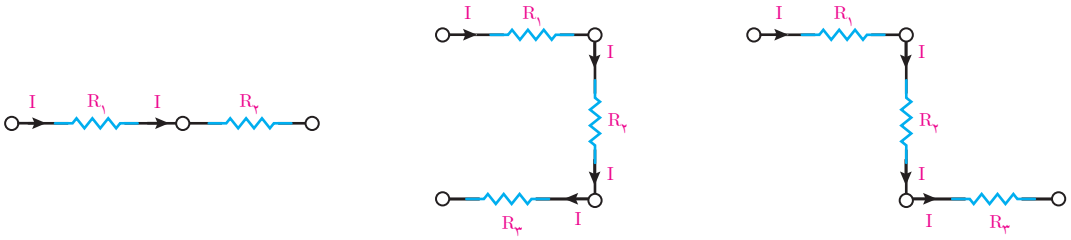
ـ اتصال موازی مقاومت‌های الکتریکی

ـ اتصال سری و موازی مقاومت‌های الکتریکی

که در ادامه به هریک از آنها پرداخته می شود.

اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی

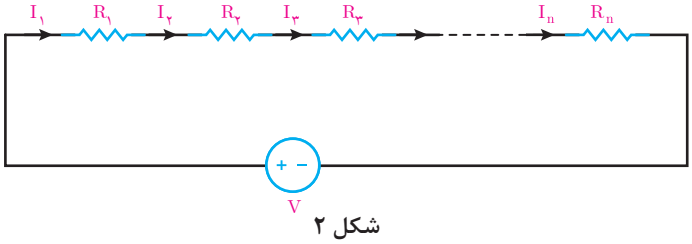
اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی بین دو یا چند مقاومت به شرطی ایجاد می‌شود که جریان عبوری هریک از مقاومت‌ها با هم برابر باشد. در اتصال سری یک سر مقاومت‌های الکتریکی به یکدیگر اتصال می‌یابد. (شکل ۱)



شکل ۱

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

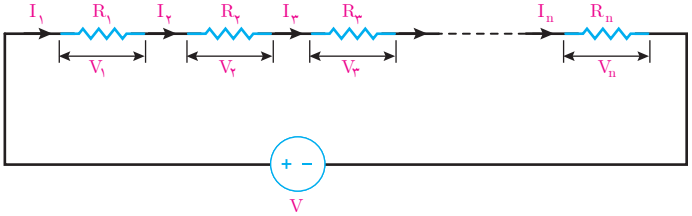
جریان عبوری از مقاومت‌هایی که با یکدیگر اتصال سری دارند برابر است و این یک شرط اساسی در مدارهای سری می‌باشد. در شکل n،۲ تا مقاومت که با یکدیگر اتصال سری دارند و تشکیل یک مدار سری داده‌اند نشان داده شده است.



شکل ۲

همانطور که از شکل برمی‌آید می‌توان نوشت: $I_1 = I_2 = I_3 = \cdots = I_n$

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 به‌دست می‌آیند.

جریان × مقاومت = ولتاژ

$V_۱ = R_۱I_۱$

$V_۲ = R_۲I_۲$

⋮

$V_n = R_nI_n$

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

$I = I_۱ = I_۲ = I_۳ = \cdots = I_n$

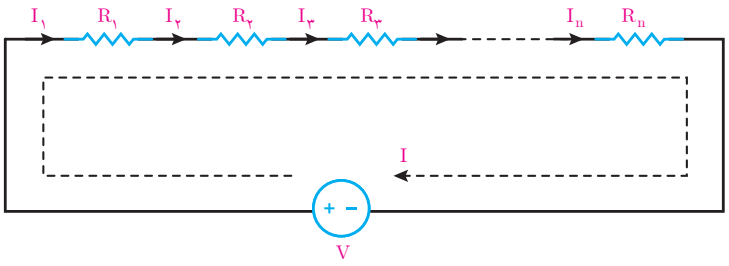
و روابط افت ولتاژ دو سر هر مقاومت را با جایگزینی I به‌صورت زیر می‌توان نوشت:

$V_۱ = R_۱I$

$V_۲ = R_۲I$

⋮

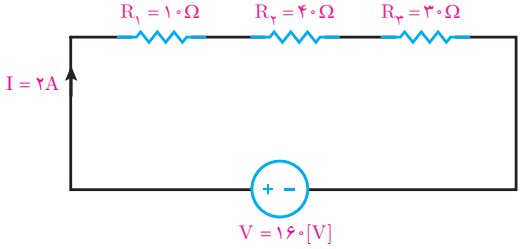
$V_n = R_nI$



شکل ۴

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 به‌دست آورید:



شکل ۵

حل: مقاومت‌های $R_۱$ ، $R_۲$ و $R_۳$ با یکدیگر اتصال سری دارند لذا جریان آنها با هم برابر است یعنی:

$I = I_۱ = I_۲ = I_۳ = ۲[A]$

با استفاده از قانون اهم افت ولتاژها محاسبه می‌شود.

جریان × مقاومت = ولتاژ

$V_۱ = R_۱I = ۱۰ \times ۲ = ۲۰[V]$

$V_۲ = R_۲I = ۴۰ \times ۲ = ۸۰[V]$

$V_۳ = R_۳I = ۳۰ \times ۲ = ۶۰[V]$

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:

$$\Sigma V + \Sigma RI = ۰$$

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

۱ـ برای مسیر بسته یک حلقه جریان I در جهت حرکت عقربه ساعت اختیار می‌شود.

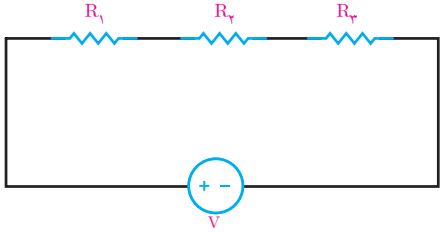
۲ـ افت ولتاژهای دو سر هر مقاومت با علامت (+) لحاظ می‌شود و مجموع آنها را با ΣRI نشان می‌دهند.

۳ـ 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 ΣV نشان می‌دهند.

۴ـ ΣRI و ΣV در رابطه ریاضی قانون ولتاژ کیرشهف قرار داده می‌شود.

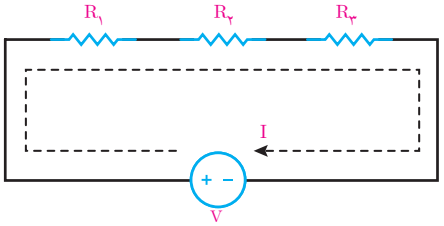
$$\Sigma V + \Sigma RI = ۰$$

اکنون در مدار (شکل ۶) قانون ولتاژ کیرشهف اعمال می‌شود.



شکل ۶

۱ـ جریان حلقه I در جهت حرکت عقربه ساعت برای آن ترسیم می‌شود (شکل ۷).



شکل ۷

۲ـ ΣRI به‌صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\Sigma RI = + R_۱I_۱ + R_۲I_۲ + R_۳I_۳$$

۳ـ ΣV به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\Sigma V = -V$$

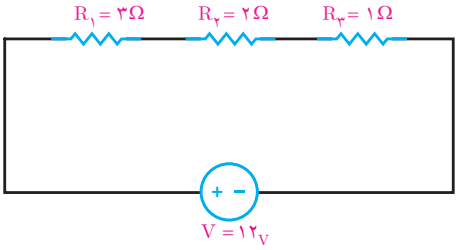
جریان حلقه I به پلاریته منفی منبع ولتاژ وارد می‌شود لذا علامت (-) برای V لحاظ شده است.

۴ـ رابطه ریاضی قانون ولتاژ کیرشهف نوشته می‌شود.

$$KVL)\ \Sigma V + \Sigma RI = ۰$$

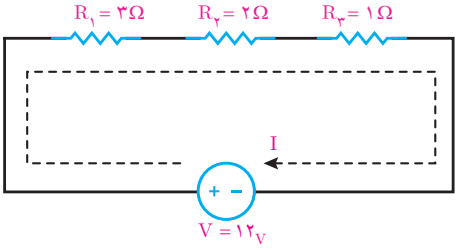
$$KVL)\ -V + R_۱I + R_۲I + R_۳I = ۰$$

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



شکل ۸

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



شکل۹

اکنون رابطه ریاضی قانون ولتاژ کیرشهف نوشته می‌شود.

KVL) $\Sigma V + \Sigma RI = ۰$

KVL) $-V + R_۱I + R_۲I + R_۳I = ۰$

$-۱۲ + ۳I + ۲I + ۱I = ۰$

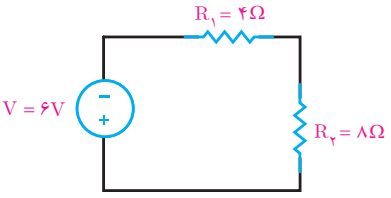
$-۱۲ + ۶I = ۰$

$۶I = ۱۲$

$I = \frac{۱۲}{۶} = +۲A$

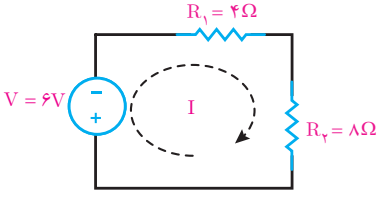
جریان حلقه I برابر ۲ آمپر می‌باشد. علامت (+) بیانگر این است که جهت جریان حلقه I موافق جهت جریان مسیر بسته می‌باشد.

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



شکل ۱۰

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



شکل ۱۱

اکنون رابطهٔ ریاضی قانون کیرشهف نوشته می‌شود.

$KVL)\ \Sigma V + \Sigma RI = ۰$

$KVL)\ +V + R_۱I + R_۲I = ۰$

$+۶ + ۴I + ۸I = ۰$

$+۶ + ۱۲I = ۰$

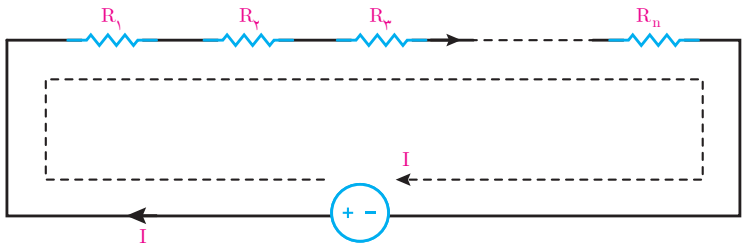
$۱۲I = -۶$

$I = \frac{-۶}{۱۲} = -۰/۵A$

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

مقاومت معادل

مقاومت معادل عبارت است از مقاومتی که جای چند مقاومت در مدار قرار می‌گیرد به‌طوری‌که در جریان و ولتاژ مدار تغییر ایجاد نمی‌شود، مقاومت معادل را با R_{eq} نشان می‌دهند . برای به‌دست آوردن مقاومت معادل در مدارهای سری از KVL استفاده می‌شود. برای این منظور n تا مقاومت سری مدار شکل زیر در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱۲).



شکل ۱۲

برای مدار KVL نوشته می‌شود

$KVL)\ -V + R_۱I + R_۲I + R_۳I + \cdots + R_nI = ۰$

$V = R_۱I + R_۲I + R_۳I + \cdots + R_nI$

از I فاکتور گرفته می‌شود:

$V = I\ (R_۱ + R_۲ + R_۳ + \cdots + R_n)$

طرفین رابطه بر I تقسیم می‌شود.

$\frac{V}{I} = R_۱ + R_۲ + R_۳ + \cdots + R_n$

نسبت $\frac{V}{I}$ همان R_{eq} است:

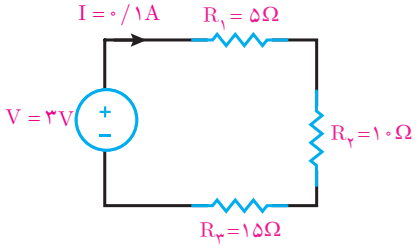
$R_{eq} = R_۱ + R_۲ + R_۳ + \cdots + R_n$

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

مثال: مقاومت معادل مدار (شکل ۱۳) را به‌دست آورید.

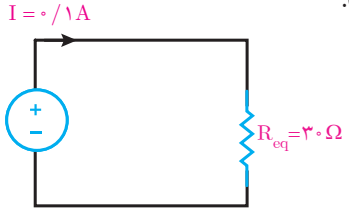
$R_{eq} = R_۱ + R_۲ + R_۳$

$R_{eq} = ۵ + ۱۰ + ۱۵ = ۳۰\Omega$



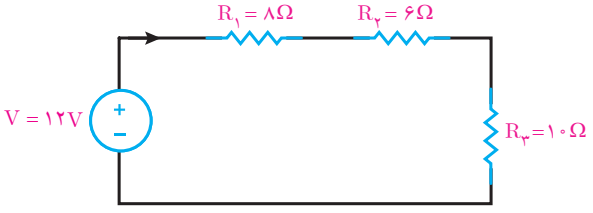
شکل ۱۳

مقاومت معادل Req جایگزین مقاومت‌های $R_۱$، $R_۲$ و $R_۳$ خواهد شد به‌طوری‌که در شدت جریان مدار تغییری ایجاد نمی‌شود (شکل ۱۴).



شکل ۱۴

مثال: در مدار (شکل ۱۵) مطلوب است:



شکل ۱۵

الف) مقاومت معادل

$R_{eq} = R_۱ + R_۲ + R_۳$

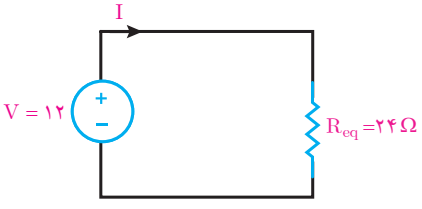
$R_{eq} = ۸ + ۶ + ۱۰ = ۲۴\Omega$

ب) شدت جریان مدار.

مقاومت معادل Req در (شکل ۱۶) جایگزین مقاومت‌های $R_۱$، $R_۲$ و $R_۳$ شده است اکنون به کمک قانون اهم جریان مدار محاسبه می‌شود.

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

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{۱۲}{۲۴} = ۰/۵\ [A]$$



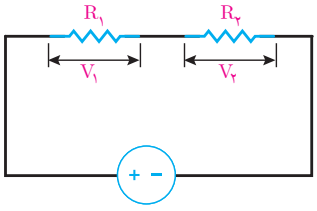
شکل ۱۶

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 به‌صورت زیر است (شکل ۱۷).

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

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

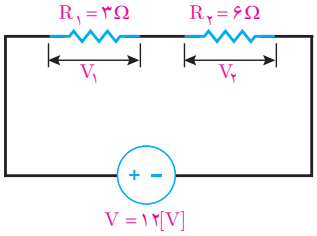


شکل ۱۷

فعالیت کلاسی

رابطه تقسیم ولتاژ بین دو مقاومت سری را اثبات کنید.

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



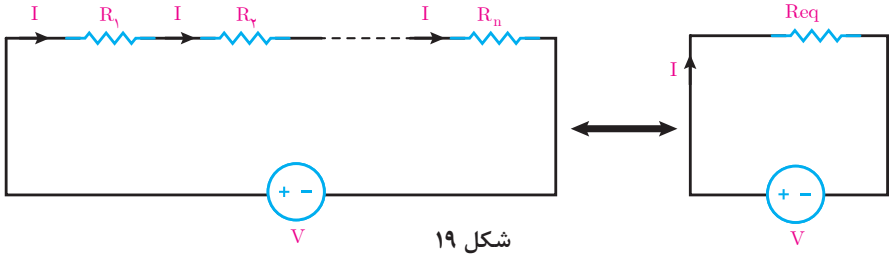
شکل ۱۸

$$V_1 = V\frac{R_1}{R_1+R_2} = ۱۲\times\frac{۳}{۳+۶} = \frac{۳۶}{۹} = ۴[V]$$

$$V_2 = V\frac{R_2}{R_1+R_2} = ۱۲\times\frac{۶}{۳+۶} = \frac{۷۲}{۹} = ۸[V]$$

توان مدار سری

توان مدار سری از حاصل جمع توان همه مقاومت‌های مدار به‌دست می‌آید. در مدار الکتریکی (شکل ۱۹) که شامل n مقاومت سری است داریم:



شکل ۱۹

توان = مقاومت × (جریان)^۲

$P = RI^۲$

توان مدار الکتریکی (شکل ۱۹) از مجموع توان هر مقاومت به‌دست می‌آید و آن را با P_{eq} نشان می‌دهند.

$P_{eq} = R_۱I^۲ + R_۲I^۲ + \cdots + R_nI^۲$

از $I^۲$ فاکتور گرفته می‌شود.

$P_{eq} = (R_۱ + R_۲ + \cdots + R_n)\, I^۲$

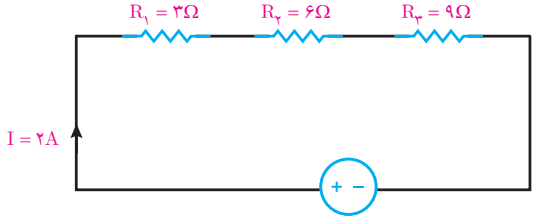
حاصل پرانتز همان مقاومت معادل مدار سری است لذا:

$P_{eq} = R_{eq}I^۲$

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

$P_{eq} = (R_۱ + R_۲ + \cdots + R_n)\, I^۲ = R_{eq}I^۲$

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



شکل ۲۰

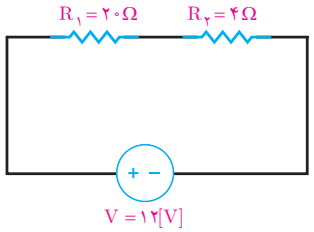
حل: توان مدار از مجموع توان مقاومت‌های $R_۱$ ، $R_۲$ و $R_۳$ به‌دست می‌آید.

$P_{eq} = R_۱I^۲ + R_۲I^۲ + R_۳I^۲$

$P_{eq} = ۳(۲)^۲ + ۶(۲)^۲ + ۹(۲)^۲$

$P_{eq} = ۱۲ + ۲۴ + ۳۶ = ۷۲[W]$

مثال: توان مدار الکتریکی (شکل ۲۱) را به‌دست آورید.



شکل ۲۱

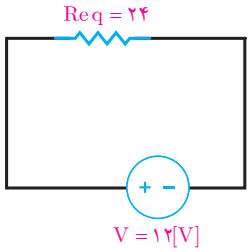
حل: مقاومت معادل مدار به‌دست می‌آید.

$R_{eq} = R_۱ + R_۲ = ۲۰ + ۴ = ۲۴\Omega$

از قانون اهم جریان مدار به‌دست می‌آید (شکل ۲۲).

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

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{۱۲}{۲۴} = ۰/۵[A]$$



شکل ۲۲

توان مقاومت معادل R_{eq} برابر مجموع توان $R_۱$ و $R_۲$ است لذا:

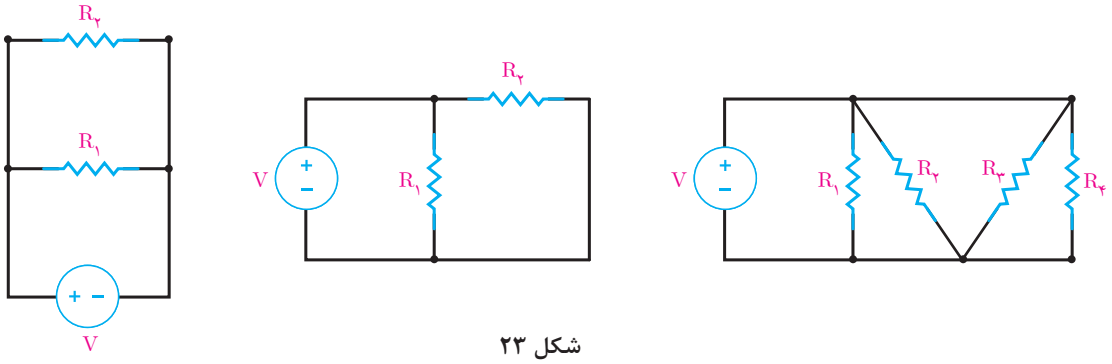
$$\text{توان} = \text{مقاومت} \times (\text{جریان})^۲$$

$$P_{eq} = R_{eq}I^۲$$

$$P_{eq} = ۲۴ \times ۰/۵^۲ = ۶[W]$$

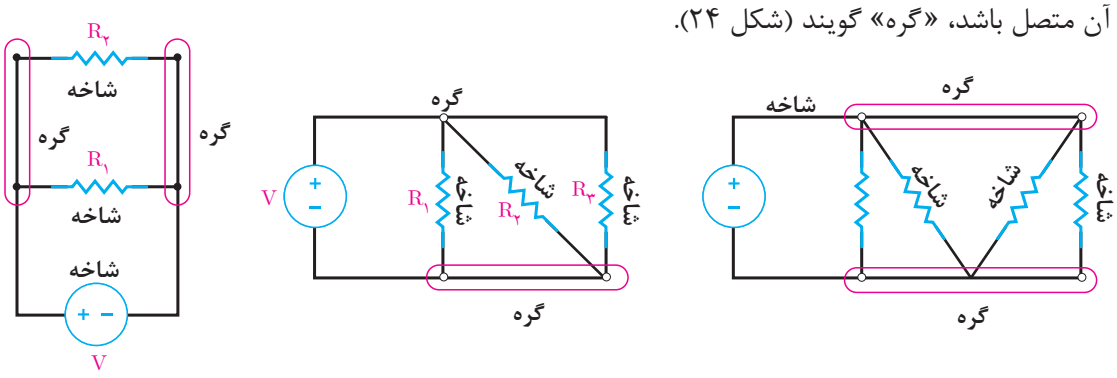
اتصال موازی مقاومت‌های الکتریکی

اتصال موازی مقاومت‌های الکتریکی بین دو یا چند مقاومت به شرطی ایجاد می‌شود که ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌ها با هم برابر باشند. در اتصال موازی دو سر مقاومت‌های الکتریکی به یکدیگر اتصال می‌یابد (شکل ۲۳).



شکل ۲۳

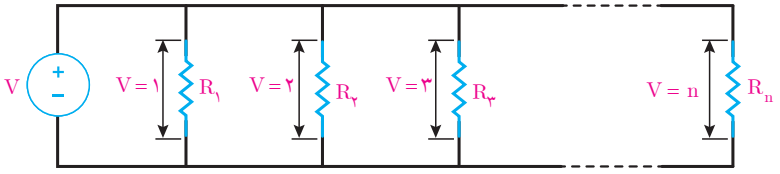
مسیر عبور جریان از هر مقاومت موازی و منبع را (شاخه) گویند و نقطه‌ای از مدار را که بیش از دو شاخه به آن متصل باشد، «گره» گویند (شکل ۲۴).



شکل ۲۴

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

ولتاژ دو سر مقاومت‌هایی که با یکدیگر اتصال موازی دارند برابر است و این یک شرط اساسی در مدارهای موازی می‌باشد. در (شکل ۲۵)، n تا مقاومت که با یکدیگر اتصال موازی دارند و تشکیل یک مدار موازی داده‌اند نشان داده شده است.

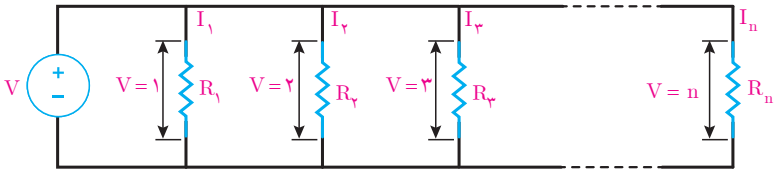


شکل ۲۵

همانطور که از شکل برمی‌آید می‌توان نوشت:

$$V_۱ = V_۲ = V_۳ = \cdots = V_n$$

ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌های (شکل ۲۶) در هریک از مقاومت‌ها جریان جاری می‌کند (شکل ۲۶).



شکل ۲۶

جریان هر یک از مقاومت‌ها با استفاده از قانون اهم به‌دست می‌آیند.

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

$$I_۱ = \frac{V_۱}{R_۱}$$

$$I_۲ = \frac{V_۲}{R_۲}$$

$$I_۳ = \frac{V_۳}{R_۳}$$

.
.
.

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

با توجه به شرط اساسی مدارهای موازی ولتاژ مقاومت‌های با اتصال موازی با هم برابرند لذا می‌توان نوشت:

$$V = V_۱ = V_۲ = V_۳ = \cdots = V_n$$

و روابط جریان هر مقاومت را با جایگزینی V به‌صورت زیر می‌توان نوشت:

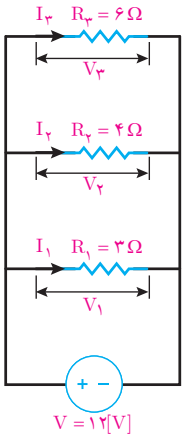
$$I_۱ = \frac{V}{R_۱}$$

$$I_۲ = \frac{V}{R_۲}$$

$$\vdots$$

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

مثال: جریان شاخه‌های هریک از مقاومت‌های مدار (شکل ۲۷) را به‌دست آورید.



شکل ۲۷

حل: مقاومت‌های $R_۱$، $R_۲$ و $R_۳$ با یکدیگر اتصال موازی دارند لذا ولتاژ آنها با هم برابر است، یعنی:

$$V = V_۱ = V_۲ = V_۳ = ۱۲[V]$$

با استفاده از قانون اهم جریان هر یک از شاخه‌های مقاومت‌ها محاسبه می‌شود.

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

$$I_۱ = \frac{V}{R_۱} = \frac{۱۲}{۳} = ۴[A]$$

$$I_۲ = \frac{V}{R_۲} = \frac{۱۲}{۴} = ۳[A]$$

$$I_۳ = \frac{V}{R_۳} = \frac{۱۲}{۶} = ۲[A]$$

قانون جریان کیرشهف KCL

قانون جریان کیرشهف KCL بیان می‌کند «حاصل جمع جبری جریان‌هایی که به یک گره می‌رسد صفر است» و با رابطه ریاضی زیر بیان می‌شود:

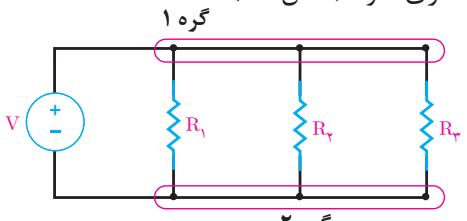
$$KCL)\ I_۱ + I_۲ + I_۳ + \cdots + I_n = ۰$$

که می‌توان آن را به‌صورت زیر نیز نوشت:

$$KCL)\ \sum_{i=۱}^{n} I_i = ۰$$

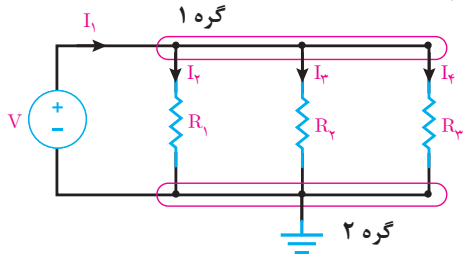
برای نوشتن رابطه ریاضی قانون جریان کیرشهف یا KCL به‌صورت زیر عمل می‌شود.

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



شکل ۲۸

۲ـ یکی از گره‌ها زمین شود و برای شاخه‌های متصل به گره‌های دیگر جهت جریان مشخص می‌شود. در اینجا گره ۲ زمین شده است (شکل ۲۹).



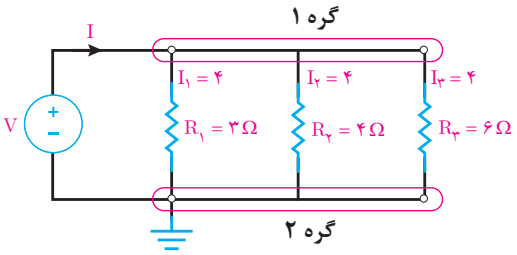
شکل ۲۹

۳ـ 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.

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

$$KCL) + I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

مثال: قانون جریان کیرشهف را برای مدار شکل زیر بنویسید و به کمک آن جریان منبع را به‌دست آورید (شکل ۳۰).



شکل ۳۰

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

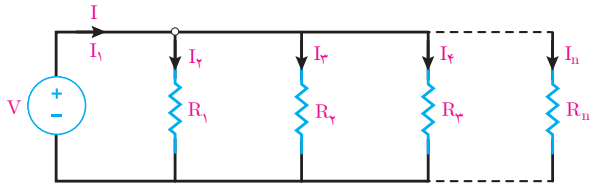
$$KCL) + I - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$KCL) + I - ۴ - ۳ - ۲ = 0$$

$$I = ۹ \ [A]$$

مقاومت معادل

مقاومت معادل عبارت است از مقاومتی که جای چند مقاومت در مدار قرار می‌گیرد به‌طوری‌که در جریان و ولتاژ مدار تغییر ایجاد نمی‌شود. مقاومت معادل را با R_{eq} نشان می‌دهند. برای به‌دست آوردن مقاومت معادل در مدارهای موازی از KCL استفاده می‌شود. برای این منظور n تا مقاومت موازی مدار (شکل ۳۱) در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۳۱

ـ برای مدار (شکل ۳۱) KCL نوشته می‌شود.

$$KCL) + I - I_۱ - I_۲ - I_۳ - \cdots - I_n = ۰$$

$$I = I_۱ + I_۲ + I_۳ + \cdots + I_n$$

ـ از قانون اهم مقادیر $I_۱$ تا I_n محاسبه می‌شود.

$$I_۱ = \frac{V}{R_۱} \;,\; I_۲ = \frac{V}{R_۲} \;,\; I_۳ = \frac{V}{R_۳}, \cdots I_n = \frac{V}{R_n}$$

ـ مقادیر $I_۱$ تا I_n را در رابطه KCL قرار می‌دهند.

$$I = \frac{V}{R_۱} + \frac{V}{R_۲} + \frac{V}{R_۳} + \cdots + \frac{V}{R_n}$$

ـ از V فاکتور گرفته می‌شود.

$$I = V\left(\frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} + \cdots + \frac{۱}{R_n}\right)$$

طرفین به V تقسیم می‌شود.

$$\frac{I}{V} = \frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} + \cdots + \frac{۱}{R_n}$$

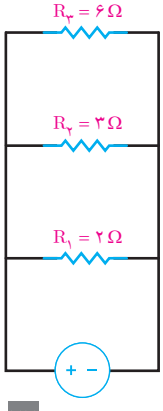
ـ نسبت $\frac{I}{V}$ همان $\frac{۱}{R_{eq}}$ است.

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} + \cdots + \frac{۱}{R_n}$$

$$R_{eq} = \frac{۱}{\frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} + \cdots + \frac{۱}{R_n}}$$

تعیین رابطه برای محاسبه مقاومت معادل بین n تا مقاومت با اتصال موازی استفاده می‌شود.

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

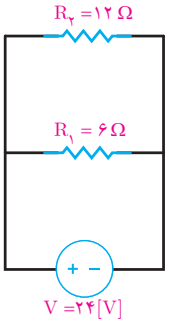


شکل ۳۲

$$R_{eq} = \frac{۱}{\frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳}}$$

$$R_{eq} = \frac{۱}{\frac{۱}{۲} + \frac{۱}{۳} + \frac{۱}{۶}} = ۱\,\Omega$$

مثال: در مدار (شکل ۳۳) مطلوب است:



شکل ۳۳

الف) مقاومت معادل

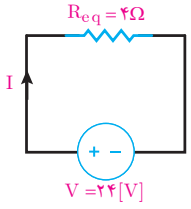
$$R_{eq} = \frac{۱}{\frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲}} = \frac{۱}{\frac{۱}{۶} + \frac{۱}{۱۲}} = ۴\Omega$$

ب) شدت جریان مدار

مقاومت معادل Req جایگزین $R_۱$ و $R_۲$ می‌شود (شکل ۳۴) و با استفاده از قانون اهم جریان مدار محاسبه خواهد شد.

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

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{۲۴}{۴} = ۶[A]$$

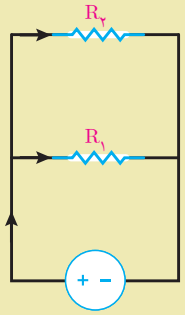


شکل ۳۴

فعالیت کلاسی

نشان دهید برای دو مقاومت موازی $R_۱$ و $R_۲$ (شکل ۳۵) می‌توان از رابطه زیر مقاومت معادل را به‌دست آورد.

$$R_{eq} = \frac{R_۱ R_۲}{R_۱ + R_۲}$$



شکل ۳۵

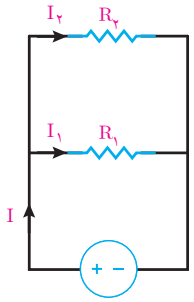
تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی

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 (شکل ۳۶) به‌صورت زیر است.

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

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



شکل ۳۶

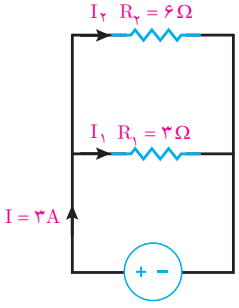
فعالیت کلاسی

رابطه تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی را اثبات کنید.

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

$$I_1 = I\frac{R_2}{R_1 + R_2} = ۳ \times \frac{۶}{۳+۶} = \frac{۱۸}{۹} = ۲[A]$$

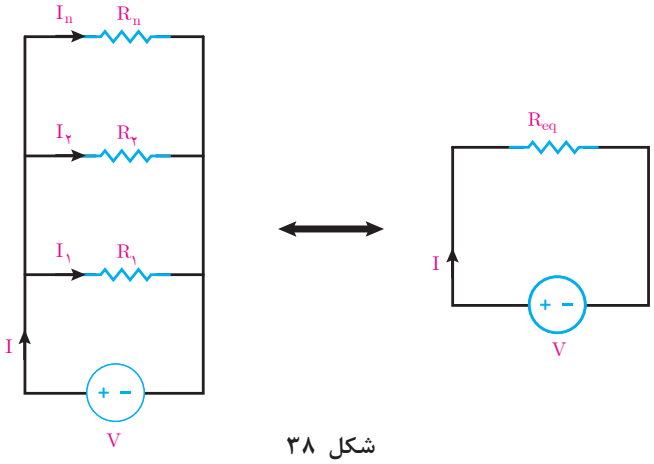
$$I_2 = I\frac{R_1}{R_1 + R_2} = ۳ \times \frac{۳}{۳+۶} = \frac{۹}{۹} = ۱[A]$$



شکل ۳۷

توان مدار موازی

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



شکل ۳۸

توان هر مقاومت برابر خواهد بود:

توان = مقاومت × (جریان)^۲

$$P = RI^۲$$

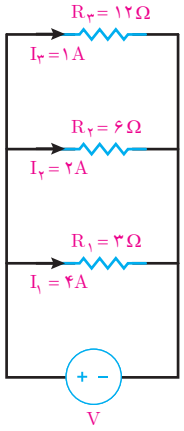
توان مدار الکتریکی (شکل ۳۸) از مجموع توان هر مقاومت به‌دست می‌آید و آن را با P_{eq} نشان می‌دهند.

$$P_{eq} = R_۱I_۱^۲ + R_۲I_۲^۲ + \cdots + R_nI_n^۲$$

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

$$P_{eq} = R_۱I_۱^۲ + R_۲I_۲^۲ + \cdots + R_nI_n^۲ = R_{eq}I^۲$$

مثال: توان مدار الکتریکی (شکل ۳۹) را به‌دست آورید.



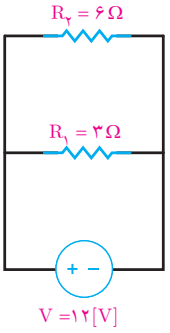
شکل ۳۹

حل: توان مدار از مجموع توان مقاومت‌های $R_۱$، $R_۲$ و $R_۳$ به‌دست می‌آید.

$$P_{eq} = R_۱I_۱^۲ + R_۲I_۲^۲ + R_۳I_۳^۲$$

$$P_{eq} = ۳(۴)^۲ + ۶(۲)^۲ + ۱۲(۱)^۲ = ۸۴[W]$$

مثال: توان مدار الکتریکی (شکل ۴۰) را به‌دست آورید.



شکل ۴۰

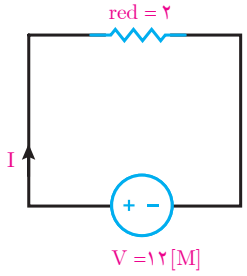
حل: مقاومت معادل مدار به‌دست می‌آید.

$$R_{eq} = \frac{۱}{\frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲}} = \frac{۱}{\frac{۱}{۳} + \frac{۱}{۴}} = ۲\Omega$$

مقاومت Req جایگزین $R_۱$ و $R_۲$ خواهد شد و جریان مدار از قانون اهم به‌دست می‌آید (شکل ۴۱)

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

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{۱۲}{۲} = ۶[A]$$



شکل ۴۱

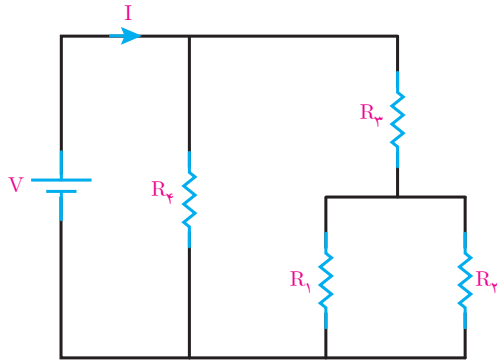
ـ توان مقاومت معادل R_{eq} با مجموع توان مقاومت‌های $R_۱$ و $R_۲$ برابر است.

$$\text{توان} = \text{مقاومت} \times (\text{جریان})^۲$$

$$P_{eq} = R_{eq}I^۲ = ۲ \times ۶^۲ = ۷۲[W]$$

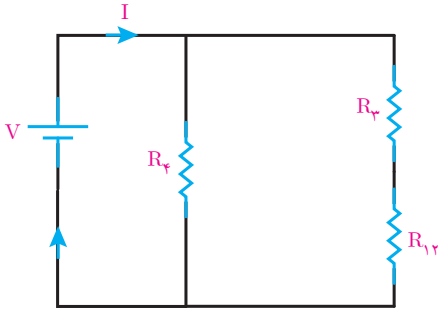
مدارهای سری – موازی

مدارهای سری ـ موازی مدارهایی هستند که در آنها ترکیبی از مقاومت‌های سری و موازی شده وجود دارد (شکل ۴۲).



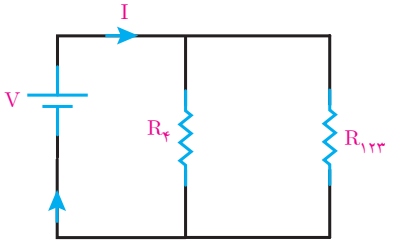
شکل ۴۲

در مدار (شکل ۴۳) مقاومت R_3 و R_4 با هم موازی هستند و معادل آنها با R_{12} نشان داده شده است (شکل ۴۳).



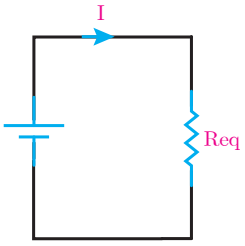
شکل ۴۳

مقاومت R_{12} با R_3 سری شده است و مقاومت معادل آنها فقط با R_{123} نشان داده شده است (شکل ۴۴).



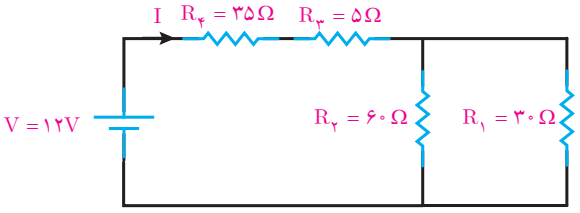
شکل ۴۴

مقاومت $R_{۱۲۳}$ با $R_۴$ موازی شده است و مقاومت معادل آنها با R_{eq} نشان داده شده است (شکل ۴۵).



شکل ۴۵

مثال: مقاومت معادل مدار (شکل ۴۶) زیر را به‌دست آورید و سپس جریان مدار را محاسبه کنید.

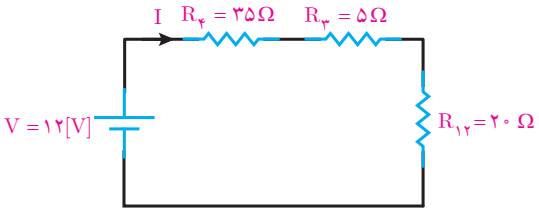


شکل ۴۶

حل: مقاومت‌های $R_۱$ و $R_۲$ با هم موازی هستند و معادل آنها $R_{۱۲}$ به‌دست می‌آید.

$$R_{۱۲}=\frac{R_۱\times R_۲}{R_۱+R_۲}=\frac{۳۰\times ۶۰}{۳۰+۶۰}=۲۰\Omega$$

با جایگزینی $R_{۱۲}$ به‌جای $R_۱$ و $R_۲$ شکل ۴۷ به‌دست می‌آید.



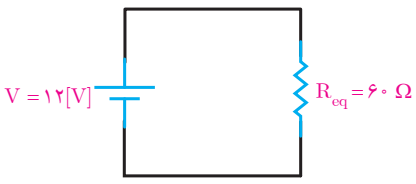
شکل ۴۷

مقاومت $R_{۱۲}$ ، $R_۳$ و $R_۴$ با هم سری هستند و معادل آنها R_{eq} به‌دست می‌آید.

$$R_{eq}= R_۴ + R_۳ + R_{۱۲}$$

$$R_{eq}= ۳۵ + ۵ + ۲۰ = ۶۰\Omega$$

با جایگزینی R_{eq} به‌جای $R_۳$ ، $R_۴$ و $R_{۱۲}$ (شکل ۴۸) به‌دست می‌آید.



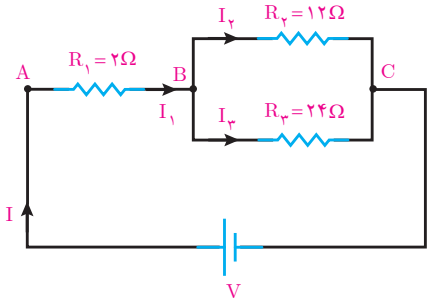
شکل ۴۸

با قانون اهم جریان مدار به‌دست می‌آید.

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

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{۱۲}{۶۰} = ۰/۲[A]$$

مثال: در مدار (شکل ۴۹) اگر $V_{BC} = ۴۸V$ باشد جریان منبع را به‌دست آورید.



شکل ۴۹

حل: V_{BC} ولتاژ دو سر مقاومت‌های $R_۲$ و $R_۳$ می‌باشد. $R_۲$ و $R_۳$ با هم موازی هستند و با قانون اهم جریان شاخه‌های آنها به‌دست می‌آید.

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

$$I_۲ = \frac{V_{BC}}{R_۲} = \frac{۴۸}{۱۲} = ۴[A]$$

$$I_۳ = \frac{V_{BC}}{R_۳} = \frac{۴۸}{۲۴} = ۲[A]$$

با نوشتن KCL برای گره B جریان $I_۱$ به‌دست می‌آید.

$$KCL) + I_۱ - I_۲ - I_۳ = ۰$$

$$+ I_۱ - ۴ - ۲ = ۰$$

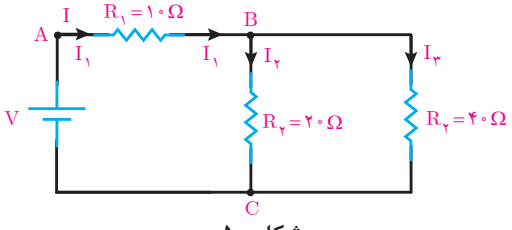
$$I_۱ = ۶\ [A]$$

با توجه به (شکل ۴۹) جریان منبع I با جریان عبوری از مقاومت سری $R_۱$ برابر است لذا:

$$I = I_۱$$

$$I = ۶\ [A]$$

مثال: در مدار (شکل ۵۰)، $V_{AB} = ۳۰V$ می‌باشد. ولتاژ منبع چند ولت است؟



شکل ۵۰

حل: از قانون اهم جریان مقاومت R_1 به‌دست می‌آید.

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

$$I_1 = \frac{V_{AB}}{R_1} = \frac{۳۰}{۱۰} = ۳[A]$$

از رابطه تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی I_2 و I_3 به‌دست می‌آید.

$$I_2 = I_1 \frac{R_3}{R_2 + R_3} = ۳ \times \frac{۴۰}{۲۰+۴۰} = \frac{۱۲۰}{۶۰} = ۲[A]$$

$$I_3 = I_1 \frac{R_2}{R_2 + R_3} = ۳ \times \frac{۲۰}{۲۰+۴۰} = \frac{۶۰}{۶۰} = ۱[A]$$

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

ولتاژ = جریان × مقاومت

$$V_{BC} = R_2 I_2 = ۲۰ \times ۲ = ۴۰[V]$$

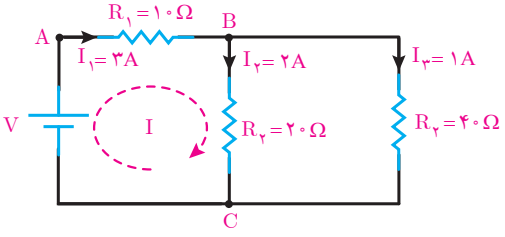
از قانون ولتاژهای کیرشهف KVL ولتاژ منبع به‌دست می‌آید (شکل ۵۱).

$$KVL) \; -V + R_1 I_1 + R_2 I_2 = ۰$$

$$KVL) \; -V + ۱۰(۳) + ۲۰(۲) = ۰$$

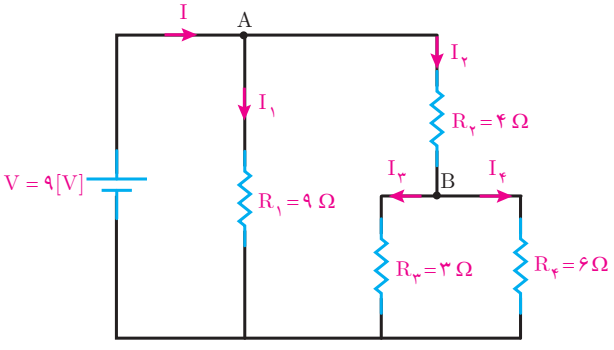
$$KVL) \; -V + ۳۰ + ۴۰ = ۰$$

$$V = ۷۰[V]$$



شکل ۵۱

مثال: جریان هر یک از شاخه‌های مدار (شکل ۵۲) را به‌دست آورید.

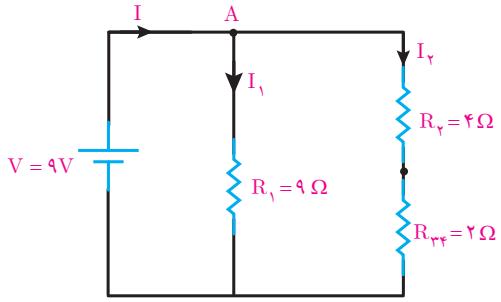


شکل ۵۲

حل: مقاومت‌های R_3 و R_4 با هم موازی هستند. مقاومت معادل آنها R_{34} به‌دست 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} به‌جای R_3 و R_4 (شکل ۵۳) به‌دست می‌آید.

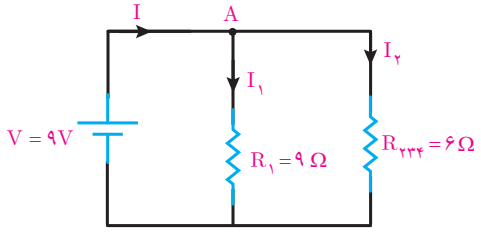


شکل ۵۳

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

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

با جایگزینی R_{234} به‌جای R_2 و R_{34} (شکل ۵۴) به‌دست می‌آید.



شکل ۵۴

از قانون اهم جریان‌های I_1 و I_2 به‌دست می‌آید.

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

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

$$I_2 = \frac{V}{R_{234}} = \frac{9}{6} = 1/5[A]$$

بانوشتن KCL برای گره A جریان منبع I به‌دست می‌آید.

$$KCLA) + I - I_1 - I_2 = 0$$

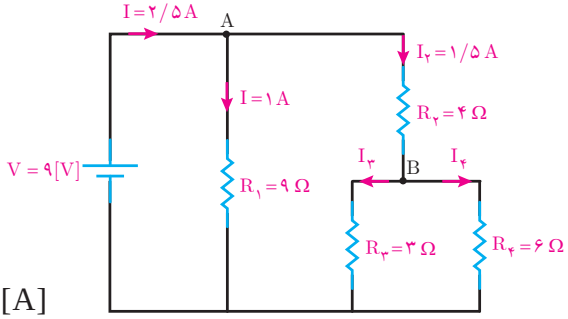
$$+ I - 1 - 1/5 = 0$$

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

اکنون با به دست آمدن I و I_1 و I_2 و با توجه به (شکل ۵۵) و استفاده از روابط تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی R_3 و R_4 جریان I_3 و I_4 به‌دست می‌آید.

$$I_3 = I_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} = ۱/۵ \times \frac{۶}{۳+۶} = \frac{۹}{۹} = ۱\,[A]$$

$$I_4 = I_2 \frac{R_3}{R_3 + R_4} = ۱/۵ \times \frac{۳}{۳+۶} = \frac{۴/۵}{۹} = ۰/۵\,[A]$$



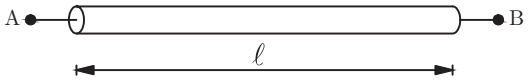
شکل ۵۵

مقاومت الکتریکی متغیر

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

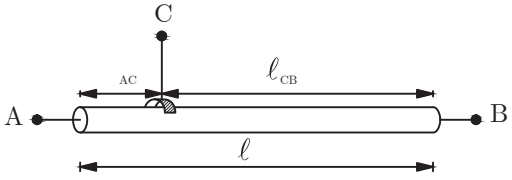
شکل ۵۶

مقاومت الکتریکی متغیرتشکیل 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 می‌توان با تغییر طول سیم به یک مقاومت متغیر رسید.
سیمی به طول ℓ مطابق (شکل ۵۷) در نظر است.



شکل ۵۷

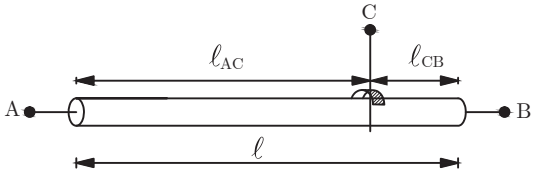
مقاومت الکتریکی بین سری‌های A و B متناسب با طول، سطح مقطع و جنس سیم مقدار مشخصی دارد.
یک لغزنده مطابق (شکل ۵۸) با سیم تماس داده شده است.



شکل ۵۸

مقاومت الکتریکی بین سری‌های A و C متناسب با طول ℓ_{AC} و مقاومت بین سری‌های C و B متناسب با طول ℓ_{CB} می‌باشد.

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



شکل ۵۹

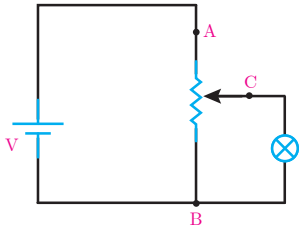
بنابراین مقاومت الکتریکی R_{AB} ثابت و مقاومت‌های الکتریکی R_{AC} و R_{CB} متغیر می‌باشد که با جابه‌جایی لغزنده مقدار آنها تغییر می‌کند.

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 قرارمی‌گیرند (شکل ۶۱).

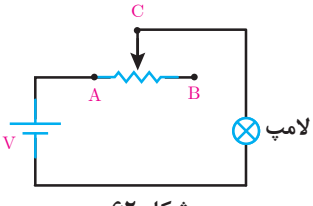


شکل ۶۱

از پتانسیومتر برای تغییر ولتاژ بین سری‌های 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.

رئوستـــا

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.

پرسش

۱ـ مدار سری را تعریف کنید و ویژگی‌های آن را با رسم شکل شامل سه مقاومت بنویسید.

۲ـ مدار موازی را تعریف کنید و ویژگی‌های آن را با رسم شکل شامل سه مقاومت بنویسید.

۳ـ قانون ولتاژهای کیرشهف (KVL) را تعریف کنید و رابطه ریاضی آن را بنویسید.

۴ـ قانون جریان‌های کیرشهف (KCL) را تعریف کنید و رابطه ریاضی آن را بنویسید.

۵ـ مفاهیم زیر را تعریف کنید.

الف) گره ب) شاخه ج) مسیر بسته د) مدار سری ـ موازی

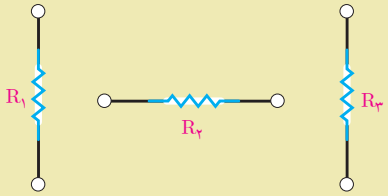
۶ـ مقاومت متغیر را تعریف کنید و ساختمان آن را تشریح کنید.

۷ـ پتانسیومتر را تعریف کنید و نحوه اتصال آن را در یک مدار الکتریکی نشان دهید.

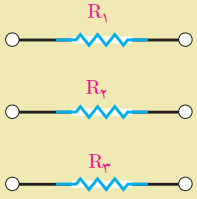
۸ـ رئوستا را تعریف کنید و نحوه اتصال آن را در یک مدار الکتریکی نشان دهید.

۹ـ مقاومت‌های الکتریکی شکل‌های زیر را به صورت سری به یکدیگر اتصال دهید.

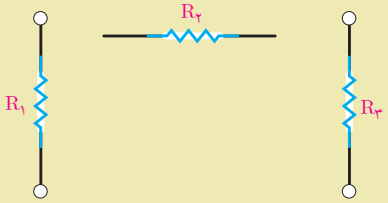
شکل الف



شکل ب



شکل ج



۱۰ـ مقاومت‌های الکتریکی پرسش ۹ را مجدداً رسم کنید و آنها را به‌صورت موازی به یکدیگر متصل کنید.

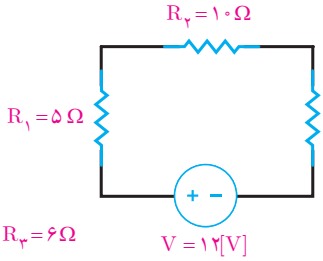
۱۱ـ مدار الکتریکی رسم کنید که در آن مقاومت‌های R_1 و R_2 به‌صورت موازی اتصال دارند و با مقاومت R_3 سری شده‌اند.

۱۲ـ مدار الکتریکی رسم کنید که در آن مقاومت‌های R_1 و R_2 به‌صورت سری اتصال دارند و با مقاومت R_3 موازی شده‌اند.

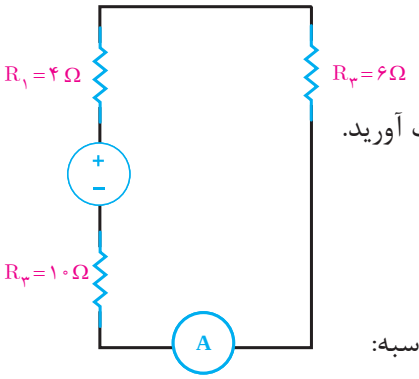
۱۳ـ لوازم الکتریکی منزل مسکونی با کدام اتصال الکتریکی به شبکه وصل شده‌اند؟

مسائل

۱ـ جریان مدار روبه‌رو را به‌دست آورید.



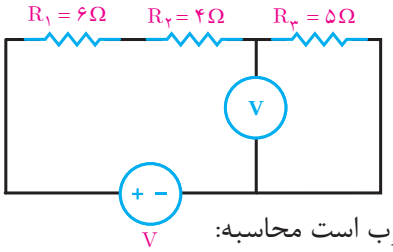
۲ـ آمپر مدار شکل مقابل ۰/۵ آمپر را نشان می‌دهد. ولتاژ منبع را به‌دست آورید.



۳ـ ولت‌متر شکل روبه‌رو عدد ۱۵ ولت را نشان می‌دهد. مطلوب است محاسبه:

الف) ولتاژ منبع

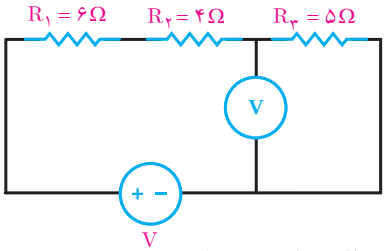
ب) افت ولتاژ مقاومت $R_۲$



۴ـ توان مصرفی مقاومت $R_۲$ در شکل زیر برابر ۲۴ وات می‌باشد. مطلوب است محاسبه:

الف) ولتاژ منبع

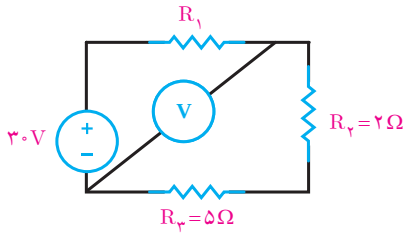
ب) توان تولیدی منبع



۵ـ ولتاژ اندازه‌گیری شده توسط ولت متر در شکل زیر ۲۱V می‌باشد. مطلوب است محاسبه:

الف) مقاومت $R_۱$

ب) توان مصرفی مقاومت $R_۳$

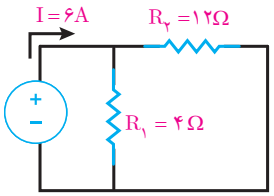


۶ـ در شکل روبه‌رو مطلوب است محاسبه:

الف) مقاومت R_{eq}

ب) ولتاژ منبع

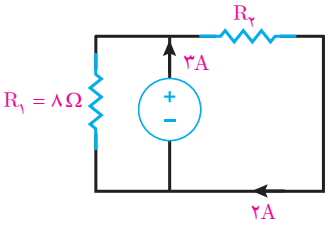
پ) جریان هر شاخه



۷ـ در شکل روبه‌رو مطلوب است محاسبه:

الف) ولتاژ منبع

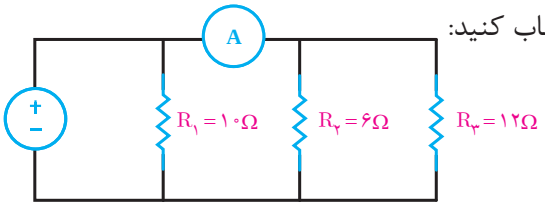
ب) مقاومت $R_۲$



۸ـ آمپرمتر در شکل روبه‌رو ۲ آمپر را نشان می‌دهد. حساب کنید:

الف) ولتاژ منبع چقدر است؟

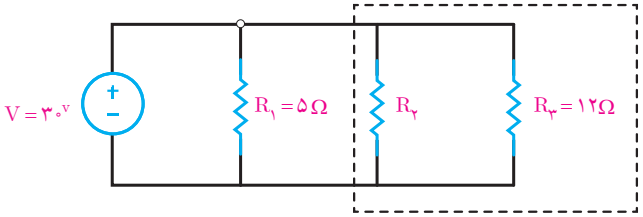
ب) جریان کل مدار را بیابید.



۹ـ در شکل زیر توان مصرفی قسمت مشخص شده ^{W}۱۰۰ می‌باشد. حساب کنید:

الف) جریان کل مدار

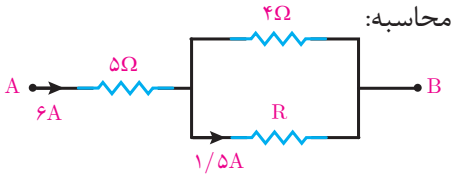
ب) مقاومت $R_۲$



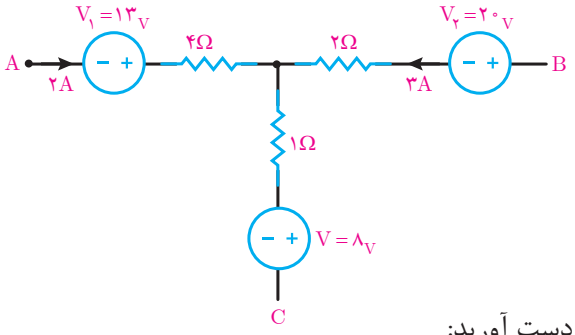
۱۰ـ شکل روبه‌رو بخشی از مدار الکتریکی است ، مطلوب است محاسبه:

الف) V_{AB}

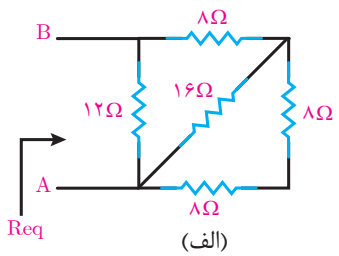
ب) مقدار R



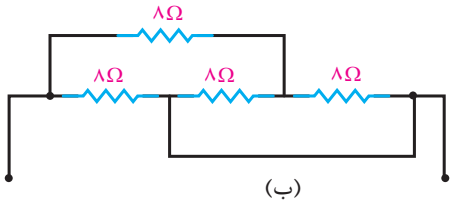
۱۱ـ شکل زیر بخشی از یک مدار الکتریکی است. توان هر یک از مقاومت‌های مدار را به‌دست آورید.



۱۲ـ مقاومت معادل را در هریک از شکل‌های زیر به‌دست آورید:

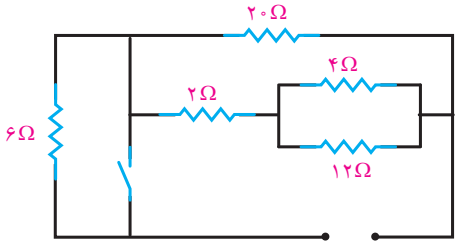


(الف)

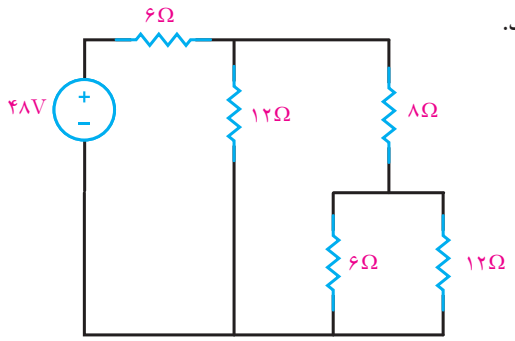


(ب)

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



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

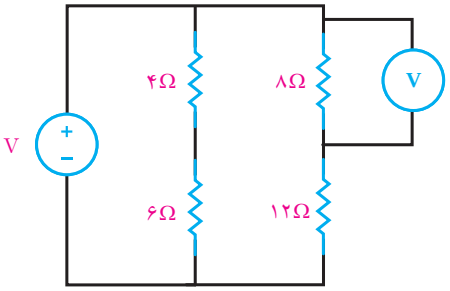


۱۵ـ در شکل زیر ولت‌متر ۳۲ ولت را نشان می‌دهد مطلوب است:

الف) جریان هر مقاومت

ب) ولتاژ دو سر هر مقاومت

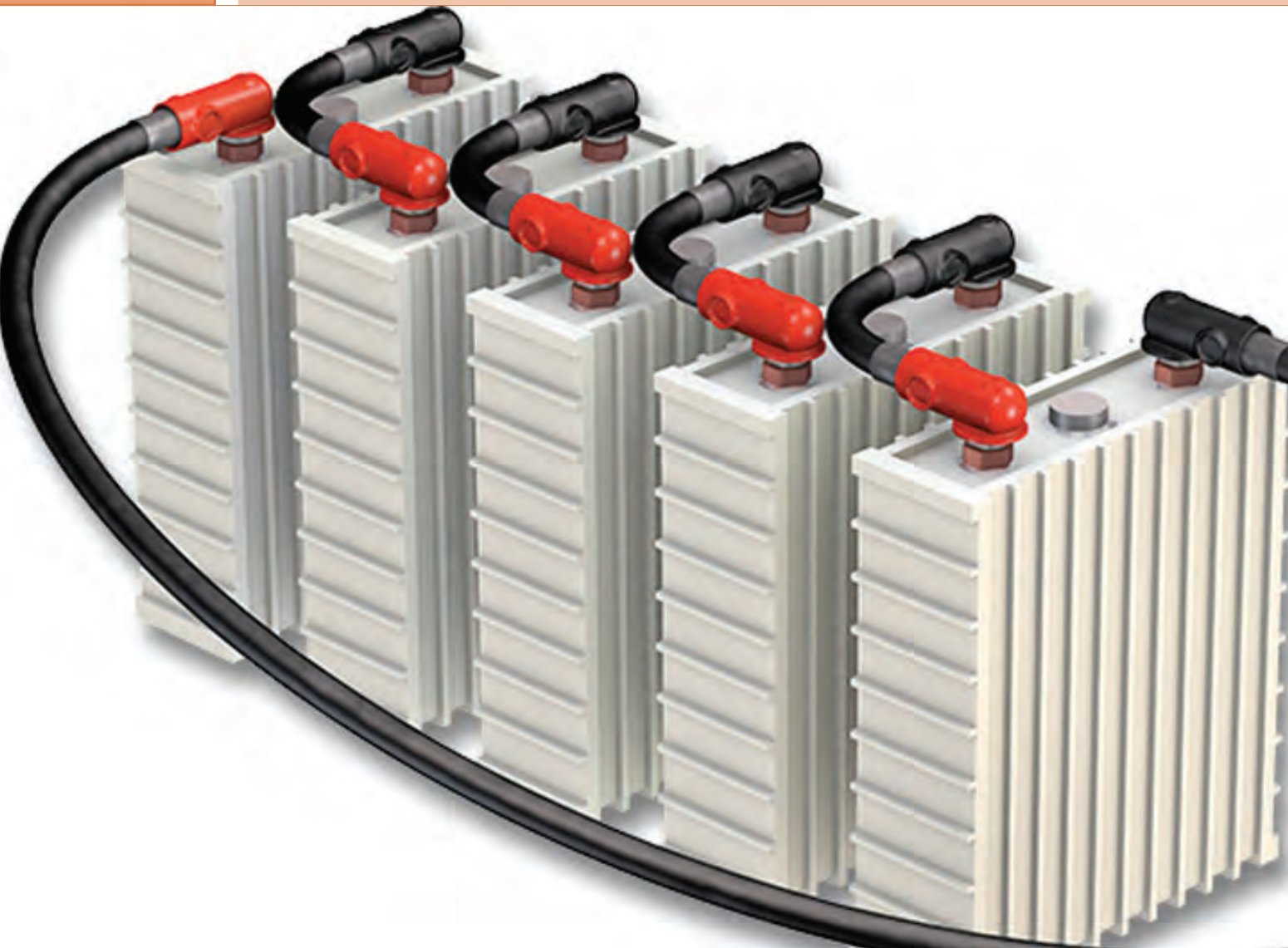
ج) توان کل مدار



۱۶ـ در یک مدار با فیوز ۱۶ آمپری چند لامپ رشته ای ۱۰۰ وات، ۲۳۰ ولت می‌تواند روشن باشد؟ اگر در این مدار از یک اتوی ۱۲۰۰ وات استفاده شود چند لامپ می‌توان روشن کرد؟

واحدیادگیری ۷

باتری



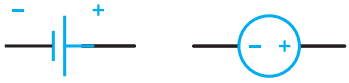
باتری

باتری یکی از منابع تأمین انرژی الکتریکی جریان مستقیم می‌باشد. در باتری انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. (شکل ۶۳)

باتری موبایل　　باتری کتابی　　باتری قلمی

شکل ۶۳

علامت اختصاری باتری در (شکل ۶۴) نشان داده شده است.



شکل ۶۴ـ شمای فنی باتری

باتری‌ها در دو نوع قابل شارژ[۱] و غیرقابل شارژ ساخته می‌شوند. (شکل ۶۵)

شارژ نشدنی　　شارژ شدنی

شکل ۶۵ـ باتری قابل شارژ و غیرقابل شارژ

باتری‌های قابل شارژ امکان چندین بار شارژ مجدد را دارند و پس از هر بار شارژ قابل استفاده خواهند شد درصورتی‌که باتری‌های غیرقابل شارژ امکان شارژ مجدد را ندارند و پس از دشارژ قابل استفاده نخواهند بود.

۱ـ Rechargeable

افت ولتاژ درونی باتری

اختلاف پتانسیل دو سر باتری هنگامی‌که به هیچ مصرف‌کننده متصل نمی‌باشد را «ولتاژ بی‌باری» باتری گویند، ولتاژ بی‌باری بیشترین مقدار اختلاف پتانسیل باتری را دارد. بیشترین اختلاف پتانسیل باتری را «نیروی محرکه الکتریکی» باتری گویند و آن را با E نشان می‌دهند.

اختلاف پتانسیل دو سر باتری در اتصال به مصرف‌کننده کاهش می‌یابد. اختلاف پتانسیل دو سر باتری هنگامی‌که به مصرف‌کننده متصل باشد را «ولتاژ بارداری» باتری گویند و آن را با V نشان می‌دهند.

اختلاف نیروی محرکه الکتریکی باتری E با ولتاژ بارداری V را « افت ولتاژ درونی باتری» می‌گویند. افت ولتاژ درونی باتری را با ΔV نشان می‌دهند و از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$\Delta V = E - V$$

افت ولتاژ درونی باتری تابع جریان باتری است. با افزایش جریان باتری افت ولتاژ درونی باتری افزایش می‌یابد.

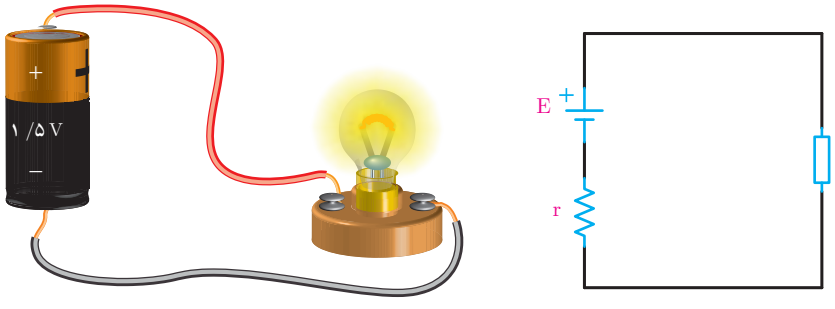
برای معادل‌سازی افت ولتاژ درونی باتری آن را با افت ولتاژ دو سر یک مقاومت معادل می‌کنند.

مقاومتی که برای معادل‌سازی افت ولتاژ درونی باتری در نظر گرفته می‌شود را «مقاومت درونی» باتری گویند.

مقاومت درونی باتری را با r نشان می‌دهند و با مدار الکتریکی باتری به‌صورت سری قرار می‌گیرد. (شکل ۶۶)

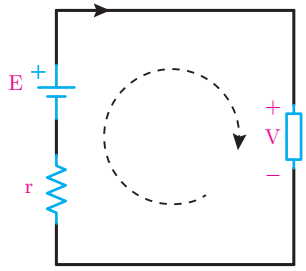
شکل ۶۶ــ مدار الکتریکی باتری

اتصال یک مصرف‌کننده به باتری و مدار الکتریکی آن در شکل ۶۷ نشان داده شده است.



شکل ۶۷

با اتصال مصرف‌کننده به باتری در مدار الکتریکی باتری مسیر بسته ایجاد می‌شود و جریان I در مدار جاری خواهد شد. با جاری شدن جریان در دو سر مصرف‌کننده اختلاف پتانسیل V که با اختلاف پتانسیل دو سر باتری برابر است ایجاد می‌شود (شکل ۶۸).



شکل ۶۸

با نوشتن KVL مسیر بسته مدار الکتریکی باتری خواهیم داشت:

$$KVL) +V + rI - E = ۰$$

با مرتب کردن رابطه KVL، رابطه زیر به‌دست می‌آید

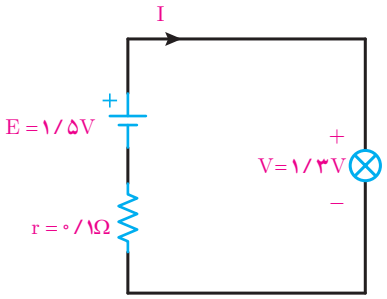
$$E - V = rI$$

از آنجایی‌که $\Delta V = E - V$ است افت ولتاژ درونی باتری به‌صورت زیر محاسبه خواهد شد

$$\Delta V = rI$$

مثال: اختلاف پتانسیل یک باتری قلمی ۱/۵ ولتی با مقاومت درونی ۱ اهم در اتصال به یک لامپ ۱/۳ ولت کاهش می‌یابد مطلوب است:

الف) مدار الکتریکی



ب) جریان باتری

$$KVL) +V + rI - E = ۰$$

$$۱/۳ + ۱I - ۱/۵ = ۰$$

$$۱I = ۰/۲$$

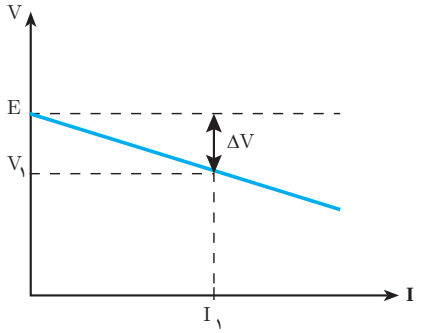
$$I = \frac{۰/۲}{۱} = ۰/۲ \ [A]$$

ج) افت ولتاژ درونی باتری

$$\Delta V = rI$$

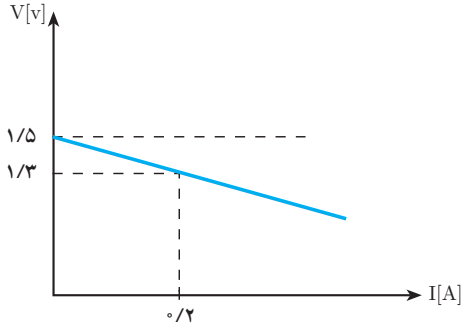
$$\Delta V = ۱ \times ۰/۲ = ۰/۲ \ [V]$$

نیروی محرکه باتری تابع واکنش‌های شیمیایی درون باتری است و جریان باتری تأثیری بر مقدار نیروی محرکه باتری E ندارد. تغییر جریان باتری بر افت ولتاژ درونی باتری تأثیر می‌گذارد و با افزایش جریان، افت ولتاژ درونی باتری افزایش می‌یابد و باعث کاهش اختلاف پتانسیل دو سر باتری خواهد شد. تأثیر جریان باتری بر اختلاف پتانسیل دو سر باتری در نمودار (شکل ۶۹) نشان داده شده است.



شکل ۶۹

مثال: نمودار تأثیر جریان بر اختلاف پتانسیل یک باتری در شکل زیر نشان داده شده است.



مطلوب است:

الف) مقاومت درونی باتری

$$E - V = rI$$

$$۱/۵ - ۱/۳ = r(۰/۲)$$

$$r = \frac{۰/۲}{۰/۲} = ۱\ [\Omega]$$

ب) افت ولتاژ درونی باتری به ازای جریان ۰/۲ آمپر

$$\Delta V = E - V$$

$$\Delta V = ۱/۵ - ۱/۳ = ۰/۲\ [V]$$

ج) اگر جریان باتری به ۰/۵ آمپر افزایش یابد اختلاف پتانسیل باتری چقدر خواهد شد.

$$E - V = rI$$

$$۱/۵ - V = ۱ \times ۰/۵$$

$$V = ۱\ [V]$$

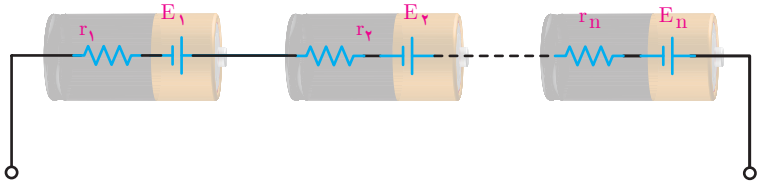
اتصال باتری‌ها

اتصال باتری‌ها به یکدیگر به منظور افزایش ولتاژ یا جریان انجام می‌شود. برای افزایش ولتاژ، باتری‌ها را با یکدیگر به‌صورت سری متصل می‌کنند. همچنین برای افزایش جریان، باتری‌ها را با یکدیگر به‌صورت موازی متصل می‌کنند.

درصورتی‌که ضمن افزایش ولتاژ نیاز به افزایش جریان نیز باشد باتری‌ها را به‌صورت ترکیبی از اتصال سری و موازی به‌کار می‌گیرند.

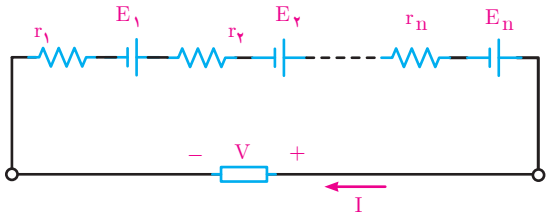
اتصال سری باتری‌ها

اتصال سری باتری‌ها به منظور افزایش ولتاژ به‌کار می‌رود. برای ایجاد اتصال سری، مثبت هر باتری به منفی باتری بعد متصل می‌شود. مدار الکتریکی اتصال سری باتری‌ها در (شکل ۷۰) نشان داده شده است.



شکل ۷۰

با اتصال چند باتری سری به مصرف‌کننده جریان در مدار جاری خواهد شد. (شکل ۷۱)



شکل ۷۱

در اتصال سری باتری‌ها جریان همه باتری‌ها با یکدیگر برابر است و مساوی جریان مصرف‌کننده می‌باشد. با نوشتن KVL خواهیم داشت:

$$KVL)\ r_1I - E_1 + r_2I - E_2 + \cdots + r_nI - E_n + V = 0$$

$$(r_1 + r_2 + \ldots + r_n)I - (E_1 + E_2 + \cdots + E_n) + V = 0$$

با سری شدن باتری‌ها نیروی محرکه الکتریکی آنها با یکدیگر جمع می‌شود و نیروی محرکه الکتریکی E ایجاد می‌شود.

$$E = E_1 + E_2 + \cdots + E_n$$

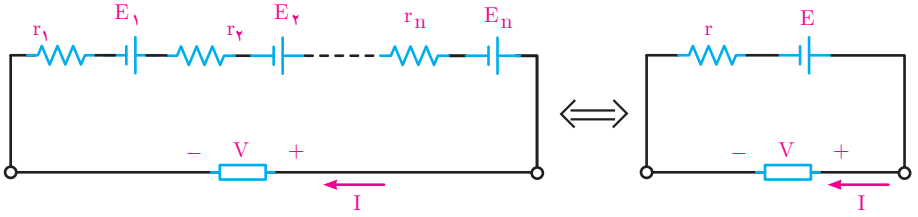
همچنین مقاومت درونی باتری‌ها نیز با یکدیگر جمع می‌شود و معادل آنها مقاومت درونی r ایجاد می‌شود.

$$r = r_1 + r_2 + \cdots + r_n$$

و می‌توان نوشت:

$$rI - E + V = ۰$$

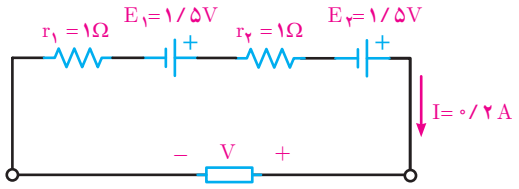
مدار الکتریکی معادل n باتری سری در (شکل ۷۲) نشان داده شده است.



شکل ۷۲ــ مدار معادل

مثال: دو باتری مشابه ۱/۵ ولتی با مقاومت درونی ۱ اهم به‌صورت سری به یک مصرف‌کننده متصل شده‌اند. اگر جریان مصرف‌کننده ۰/۲ آمپر باشد مطلوب است محاسبهٔ:

الف) مدار الکتریکی



ب) اختلاف پتانسیل دو سر مصرف‌کننده

$$r = r_۱ + r_۲$$

$$r = ۱ + ۱ = ۲\Omega$$

$$E = E_۱ + E_۲$$

$$E = ۱/۵ + ۱/۵ = ۳ \ [V]$$

$$rI - E + V = ۰$$

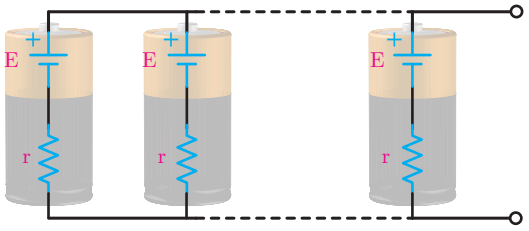
$$۲ \times ۰/۲ - ۳ + V = ۰$$

$$V = ۲/۶ \ [V]$$

در اتصال سری باتری‌ها با متصل کردن مثبت هر باتری به منفی باتری بعد اختلاف‌پتانسیل مصرف‌کننده افزایش می‌یابد. اگر در اتصال سری باتری‌ها مثبت هر باتری به مثبت باتری بعد متصل شود اختلاف پتانسیل مصرف‌کننده کاهش پیدا می‌کند و خرابی باتری‌ها را در پی خواهد داشت.

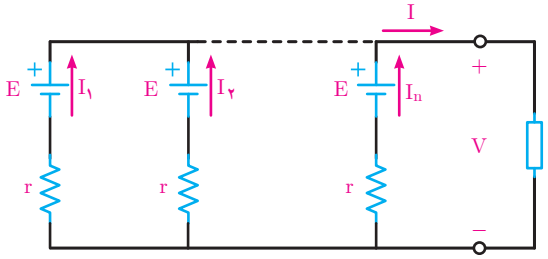
اتصال موازی باتری‌ها

اتصال موازی باتری‌ها به منظور افزایش جریان به‌کار می‌رود. برای ایجاد اتصال موازی حتماً از باتری‌های مشابه استفاده می‌شود و مثبت باتری‌ها به یکدیگر و منفی آنها نیز به یکدیگر متصل خواهد شد. مدار الکتریکی اتصال موازی باتری‌ها در (شکل ۷۳) نشان داده شده است.



شکل ۷۳

با اتصال چند باتری موازی به مصرف‌کننده جریان در آن جاری خواهد شد. (شکل ۷۴)



شکل ۷۴

با استفاده از رابطه $rI=E-V$ مقدار جریان هر باتری به‌دست می‌آید

$$I=\frac{E-V}{r}$$

در اتصال موازی باتری‌ها جریان مصرف‌کننده برابر مجموع جریان هر باتری می‌باشد. با نوشتن KCL خواهیم داشت:

$$KCL)\ I_1+I_2+\cdots+I_n=I$$

با جایگزینی مقدار جریان هر باتری در رابطه KCL به‌دست می‌آید:

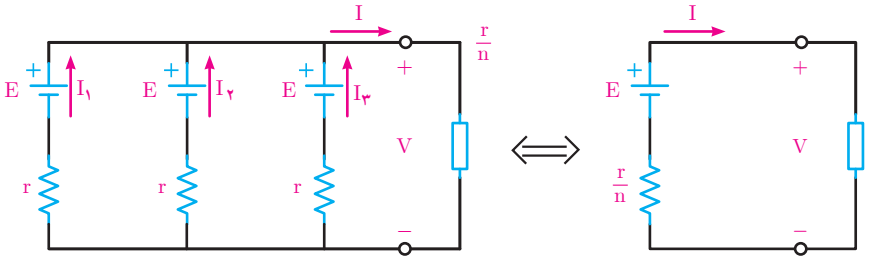
$$KCL)\ \frac{E-V}{r}+\frac{E-V}{r}+\cdots+\frac{E-V}{r}=I$$

در رابطه KCL $\frac{E-V}{r}$ به تعداد n باتری تکرار شده است لذا:

$$n(\frac{E-V}{r})=I$$

$$E-V=\frac{r}{n}I$$

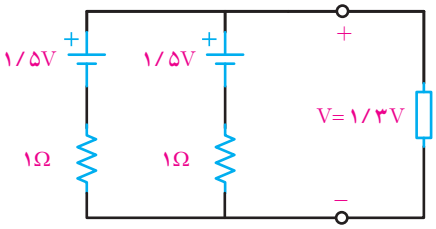
مدار الکتریکی معادل n باتری موازی در (شکل ۷۵) نشان داده شده است



شکل ۷۵

مثال: دو باتری مشابه ۱/۵ ولتی با مقاومت درونی ۱ اهم به‌صورت موازی به یک مصرف‌کننده متصل شده‌اند. اگر اختلاف پتانسیل مصرف‌کننده ۱/۳ ولت باشد مطلوب است:

الف) مدار الکتریکی



ب) جریان مصرف‌کننده

$$E - V = \frac{r}{n} I$$

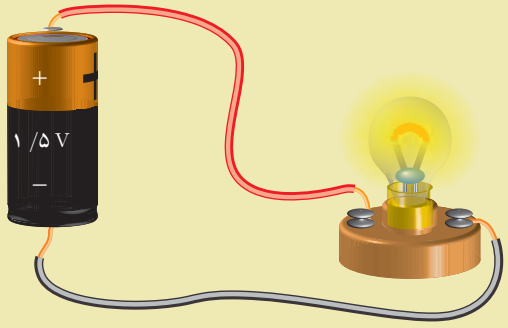
$$۱/۵ - ۱/۳ = \frac{۱}{۲} I$$

$$I = ۰/۴ \ [A]$$

در اتصال موازی باتری‌های مشابه جریان مصرف‌کننده برابر حاصل‌جمع جریان باتری‌های موازی خواهد شد. اگر باتری‌های موازی مشابه نباشند جریان مصرف‌کننده کمتر از حاصل‌جمع جریان باتری‌های موازی خواهد شد.

پرسش

۱ـ باتری را تعریف کنید.
۲ـ انواع باتری را نام ببرید.
۳ـ مفاهیم زیر را تعریف کنید.
الف) ولتاژ بی‌باری باتری
ب) ولتاژ بارداری باتری
پ) نیروی محرکه الکتریکی باتری
ت) افت ولتاژ درونی باتری
۴ـ مدار معادل الکتریکی شکل زیر را رسم کنید.



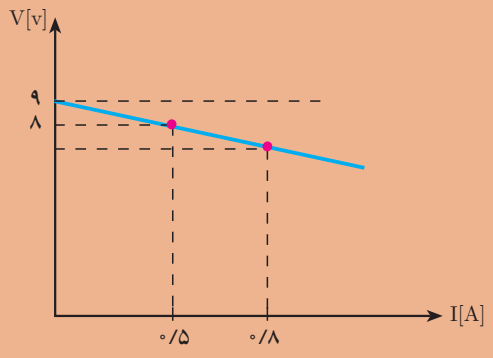
۵ـ با افزایش جریان، افت ولتاژ درونی باتری ..... می‌یابد و اختلاف پتانسیل در سر باتری ..... می‌یابد.
۶ـ تأثیر جریان باتری بر اختلاف پتانسیل دو سر باتری را با نمودار توضیح دهید.
۷ـ علت موازی بستن باتری‌ها با یکدیگر را توضیح دهید.
۸ـ برای ایجاد اتصال سری ..... هر باتری به ..... باتری بعد متصل می‌شود.
۹ـ درصورتی‌که باتری‌های موازی مشابه نباشند چه تأثیری بر جریان مصرف‌کننده دارد.

تمرین

۱ـ اختلاف پتانسیل یک باتری ۹ ولتی در اتصال به مصرف‌کننده ۸ ولت می‌باشد اگر جریان مصرف‌کننده ۰/۵ آمپر باشد مطلوب است:
الف) افت ولتاژ درونی باتری
ب) مقاومت درونی باتری

۲ـ نمودار تأثیر جریان باتری بر اختلاف پتانسیل دو سر باتری در شکل صفحهٔ بعد نشان داده شده است. مطلوب است محاسبهٔ:
الف) افت ولتاژ در جریان ۰/۵ آمپر
ب) اختلاف پتانسیل دو سر باتری در جریان ۰/۸ آمپر

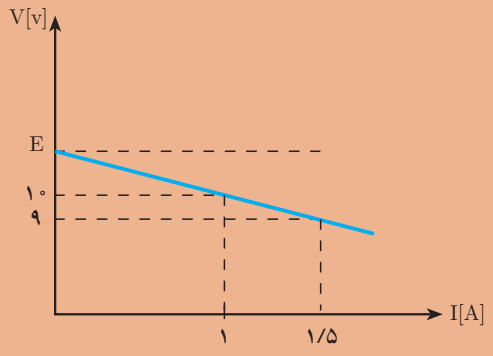
E=۹



۳ـ نمودار تأثیر جریان باتری بر اختلاف پتانسیل دو سر باتری در شکل زیر نشان داده شده است. مطلوب است محاسبهٔ:

الف) نیروی محرکه باتری

ب) مقاومت درونی باتری



۴ـ دو باتری مشابه ۱۲ ولتی با اتصال سری به یک مصرف‌کننده متصل شده‌اند. اگر ولتاژ و جریان مصرف‌کننده به ترتیب ۲۲ ولت و ۲ آمپر باشد مقاومت درونی هر باتری را بیابید.

۵ـ دو باتری مشابه ۱۲ ولتی با اتصال موازی به یکدیگر متصل شده‌اند اگر جریان و ولتاژ مصرف‌کننده به ترتیب ۲ آمپر و ۱۱/۵ ولت باشد مقاومت درونی هر باتری را بیابید.

۶ـ چند باتری ۹ ولتی با مقاومت درونی ۱ اهم به‌طور موازی متصل شوند تا جریان و ولتاژ مصرف‌کننده به ترتیب ۴ آمپر و ۸ ولت شود؟

استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی مبتنی بر شایستگی درس دانش فنی پایه

رشته تحصیلی: الکتروتکنیک | **پایه: دهم** | **سال تحصیلی:**

کد رشته: ۰۷۱۳۱۰ | **کد درس:** | **کد کتاب: ۲۱۰۲۶۳**

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقیق	نمره
پودمان ۳: اتصالات سری و موازی الکتریکی	۱ـ تحلیل مدارهای سری و موازی باتری‌های الکتریکی ۲ـ تحلیل مدارهای سری و موازی مقاومتی	با استفاده از قانون کیرشهف (K.V.L و K.C.L) مدارهای سری‌وموازی باتری‌ها را تحلیل کند	بالاتر از حد انتظار	حل مدار الکتریکی مقاومتی مختلط و محاسبه ولتاژ و جریان نقطه‌ای مدار	۳
			در حد انتظار	حل مدارهای مقاومتی سری و موازی و چند حلقه‌ای	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	حل مدارهای مقاومتی ساده	۱
	نمره مستمر از ۵				
	نمره شایستگی پودمان				
	نمره پودمان از ۲۰				

پودمان چهارم

مدارهای جریان متناوب

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

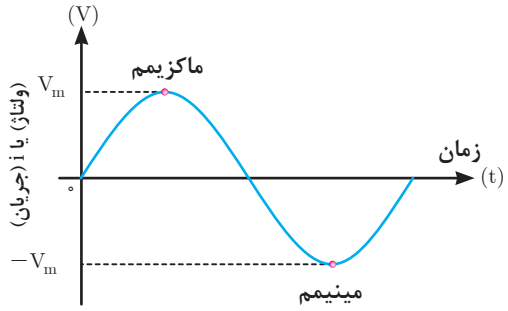
۷-خازن

واحد یادگیری ۸

جریان متناوب

جریان متناوب

جریان متناوب جریانی است که جهت و مقدار آن در هر لحظه از زمان تغییر می‌کند و دامنهٔ 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) .

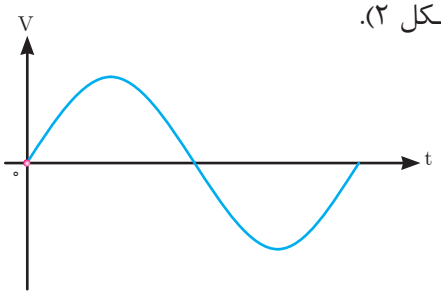


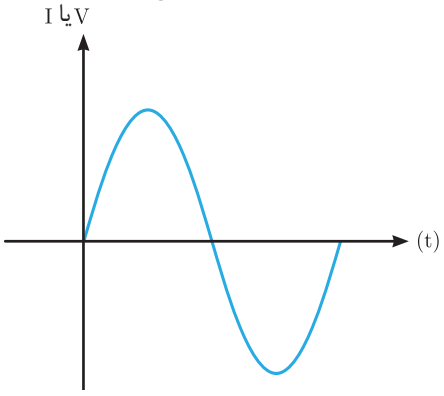
شکل ۱

تولید جریان متناوب

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

شکل ۲





شکل ۳

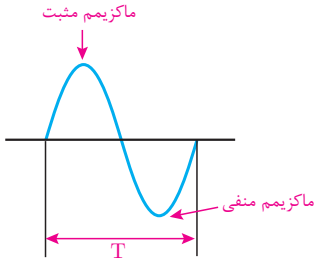
ژنراتور جریان متناوب از دو قسمت ساکن و متحرک تشکیل شده است. قسمت ساکن را استاتور[1] و قسمت متحرک را رتور[2] می‌گویند. انرژی مکانیکی توربین، رتور ژنراتور را می‌گرداند تا ژنراتور انرژی الکتریکی تولید کند. انرژی الکتریکی دارای سه مشخصه ولتاژ، جریان و زمان است (شکل ۳).

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

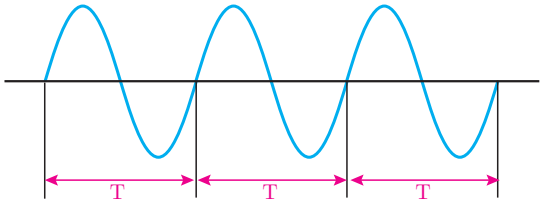
۲- Rotor

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



شکل ۴

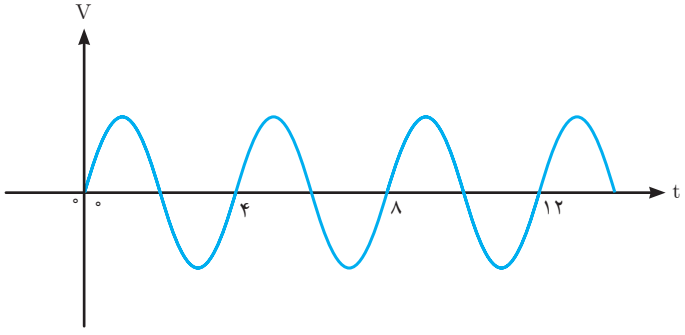
زمان تناوب مدت زمان انجام یک سیکل کامل می‌باشد و آن را با حرف T نشان می‌دهند. واحد زمان تناوب ثانیه است (شکل ۵).



شکل ۵

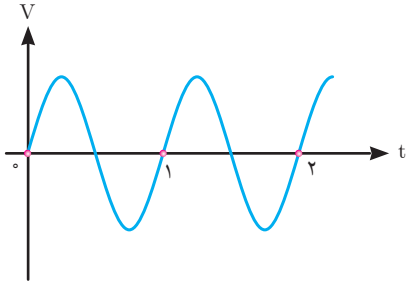
مثال: زمان تناوب موج سینوسی (شکل ۶) را به دست آورید.

حل : یک سیکل کامل را مشخص می‌کنیم زمان انجام آن را از روی محور زمان $T=4s$ به دست می‌آوریم.



شکل ۶ـ الف

مثال: در (شکل ۶) سه روش برای اندازه گیری زمان تناوب پیدا کنید.



شکل ۶ـ ب

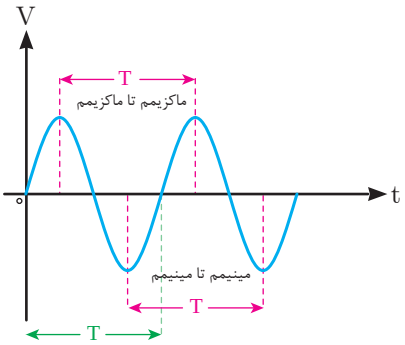
حل :

روش اول : زمـان تنـاوب را می‌تـوان از یکـی از صفرهـا در سـیکل اول تـا صفـر مشـابه در سـیکل دوم انـدازه گرفـت.

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

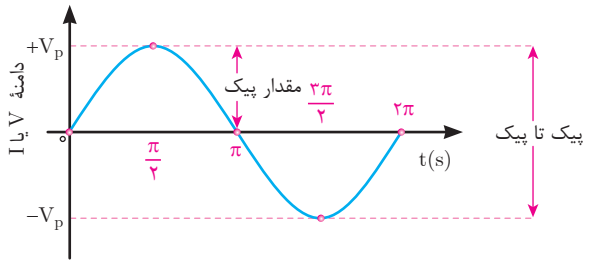
روش سوم : زمان تناوب را می‌توان بین دو پیک (ماکزیمم) منفی متوالی اندازه گرفت.

(شکل ۷) سه روش اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.



شکل ۷

زاویه طی‌شده بین ابتدا تا انتهای یک سیکل کامل برابر ۳۶۰ درجه است. (شکل ۸)



شکل ۸

واحـد اندازه‌گیـری زاویـه عـلاوه بـر درجـه، رادیـان نیـز می‌باشـد به‌طوری‌کـه هـر ۳۶۰ درجـه معـادل ۲π رادیـان اسـت یعنـی :

$$۳۶۰^{\circ} = ۲\pi$$

زاویه طی شده بین ابتدا تا انتهای یک سیکل کامل برابر ۲π رادیان است (شکل ۸).

برای تبدیل رادیان و درجه به یکدیگر از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$\frac{D}{۳۶۰} = \frac{R}{۲\pi}$$

مثال: زاویه 180° معادل چند رادیان است؟

حل :

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

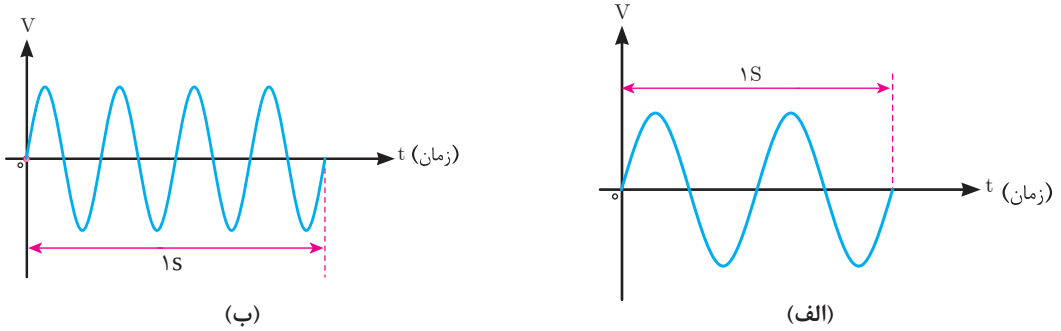
$$\frac{180}{360} = \frac{R}{2\pi}$$

$$R = \frac{2\pi \times 180}{360} = \pi [Rad]$$

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.



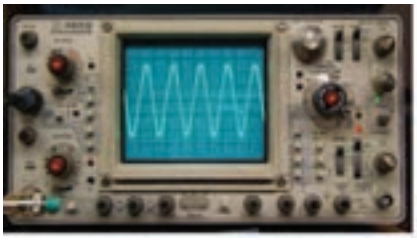
(ب) (الف)

شکل ۹

فرکانس برق در ایران ۵۰ هرتز یا CPS ۵۰ است. یعنی ۵۰ سیکل کامل در یک ثانیه انجام می‌شود. فرکانس برق بعضی از کشورها ۶۰ هرتز (CPS ۶۰) 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

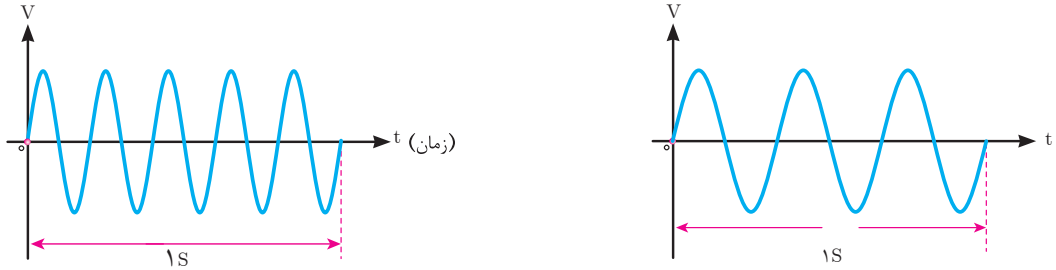
با توجه به این روابط، هر قدر فرکانس زیادتر شود، به همان اندازه زمان تناوب کاهش پیدا می‌کند؛ مثلاً اگر زمان تناوب یک موج، یک ثانیه باشد فرکانس آن یک هرتز و اگر زمان تناوب، ۲ ثانیه شود، فرکانس آن نصف خواهد شد.

مثال: با توجه به (شکل ۱۱) به سؤالات زیر پاسخ دهید.

الف) فرکانس کدام موج بیشتر است ؟

ب) مقادیر زمان تناوب و فرکانس را حساب کنید.

ج) مقدار زاویه طی شده در مدت ۱ ثانیه در هر موج چند رادیان است.



(ب) (الف)

شکل ۱۱

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

موج الف: $f = ۳Hz$

$$T = \frac{۱}{۳} = ۰/۳۳$$

$$\text{زاویه} = ۶\pi [Rad]$$

موج ب: $f = ۵Hz$

$$T = \frac{۱}{۵} = ۰/۲$$

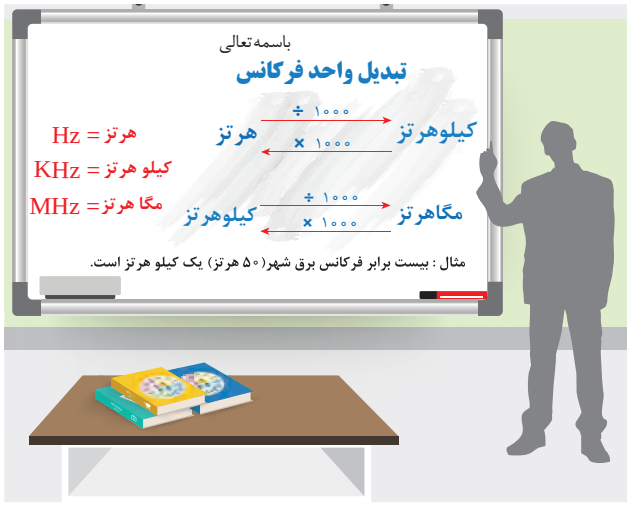
$$\text{زاویه} = ۱۰\pi [Rad]$$

در صنایع مخابراتی برای زمان تناوب از واحدهای کوچک‌تر و برای فرکانس از واحدهای بزرگ‌تر استفاده می‌کنند. این واحدها به صورت زیر نوشته می‌شوند.

یک کیلوهرتز $(۱KHz) = ۱۰^{۳} Hz$

یک مگاهرتز $(۱MHz) = ۱۰^{۶} Hz$

یک گیگاهرتز $(۱GHz) = ۱۰^{۹} Hz$



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

شکل ۱۲

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

حل:

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

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

حل:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60\,Hz} = 16/67\,(ms)$$

سرعت زاویه‌ای

موج متناوب در هر سیکل 2π 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:

ω: سرعت زاویه بر حسب [Rad/s]

f: فرکانس برحسب [HZ] است.

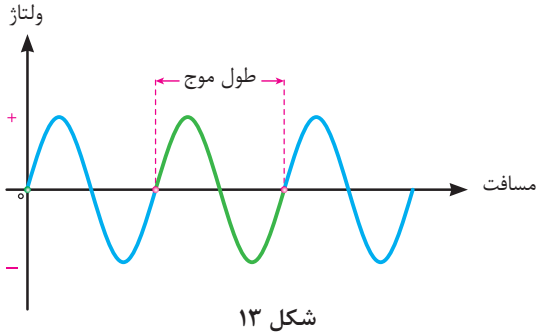
مثال: فرکانس یک موج متناوب سینوسی 50HZ می‌باشد سرعت زاویه‌ای آن را به‌دست آورید:

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

$$\omega = 2\pi \times 50 = 100\pi = 100 \times 3/14 = 314\ [Rad/s]$$

طول موج

طول موج عبارت است از مسافتی که در یک سیکل کامل طی می‌شود (شکل۱۳).



شکل ۱۳

طول موج با سرعت انتشار موج، نسبت مستقیم و با تغییرات فرکانس، نسبت عکس دارد. طول موج را که با حرف λ (لاندا) نمایش می‌دهند و از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

در این رابطه :

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

λ : طول موج $[m]$

V: سرعت موج $\left[\frac{m}{s}\right]$

f : فرکانس موج $[HZ]$ است.

مثال : طول موج یک صدا با فرکانس $۱۰۰Hz$ که به وسیلهٔ بلندگویی پخش می‌شود، چقدر است؟ (سرعت صوت $۳۴۰\frac{m}{s}$ فرض شود)

$$V = ۳۴۰\frac{m}{s}$$

$$f = ۱۰۰HZ$$

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{۳۴۰}{۱۰۰} = ۳/۴m$$

مثال: طول موج یک موج رادیویی با فرکانس ۳ گیگا هرتز چقدر است ؟

$$V = ۳\times۱۰^{۸}\frac{m}{s}$$

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{۳\times۱۰^{۸}}{۳\times۱۰^{۹}} = ۰/۱m$$

مقدار متوسط موج متناوب سینوسی

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

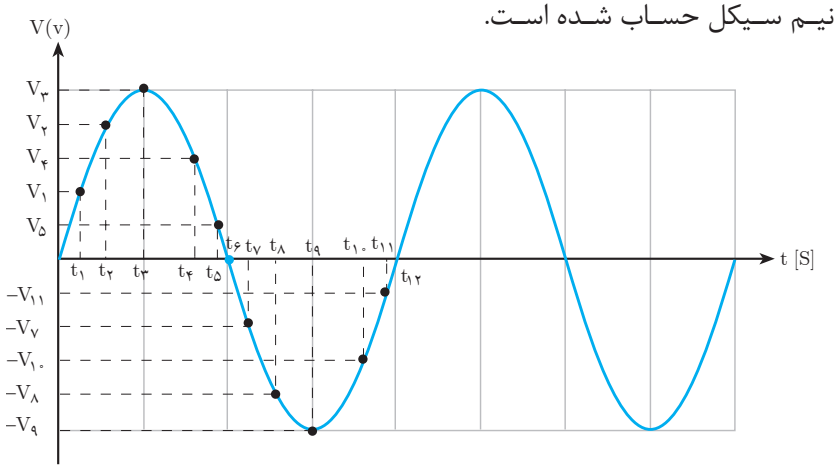
برای محاسبه میانگین هر کمیتی باید حاصل جمع مقادیر نقاط مختلف را بر تعداد نقاط آن تقسیم کرد.

به‌طورمثال 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. (شکل۱۴) 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

نکته

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

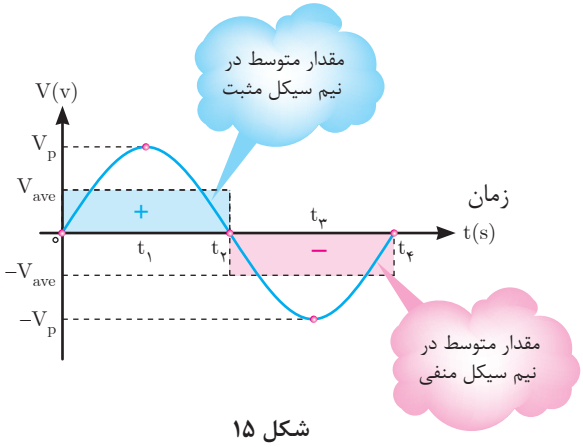
میانگین مقادیر لحظه‌ای نیم سیکل مثبت

$$V^{+}_{ave} = \frac{V_۱ + V_۲ + V_۳ + V_۴ + V_۵}{۵}$$

میانگین مقادیر لحظه‌ای نیم سیکل منفی

$$V^{-}_{ave} = \frac{-V_۷ - V_۸ - V_۹ - V_{۱۰} - V_{۱۱}}{۵}$$

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.

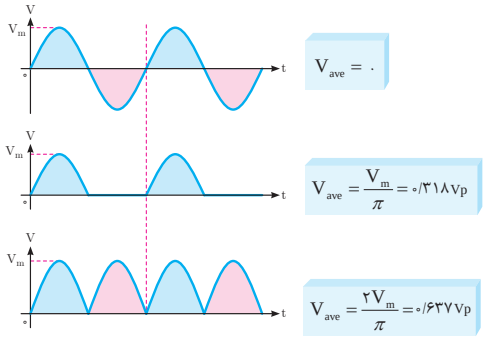


شکل ۱۵

همـان طـوری کـه از (شـکل ۱۶) مشـخص اسـت مقـدار متوسـط در یـک سـیکل کامـل سینوسـی از جمـع دو نیـم سـیکل مثبـت و منفـی بـه دسـت می‌آیـد مقـدار آن مسـاوی صفـر می‌شـود.

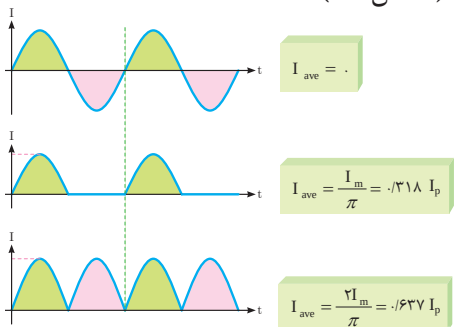
$$V_{av} = V^{+}_{av} + V^{-}_{av} = ۰$$

هـرگاه موج‌هایـی بـه صـورت (شـکل ۱۶) داشـته باشـیم و بخواهیـم مقـدار متوسـط هـر یـک از آنهـا را حسـاب کنیـم می‌تـوان از روابـط نوشـته شـده در مقابـل آنهـا اسـتفاده کـرد.



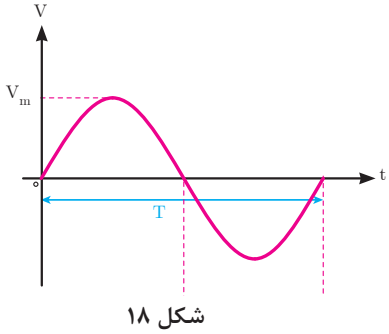
شکل ۱۶

لازم بـه ذکـر اسـت بـرای محاسـبه مقـدار متوسـط شـکل مـوج جریـان نیـز بـه همیـن ترتیـب و بـر پایـه ایـن روابـط می‌تـوان عمـل کـرد (شـکل ۱۷).



شکل ۱۷

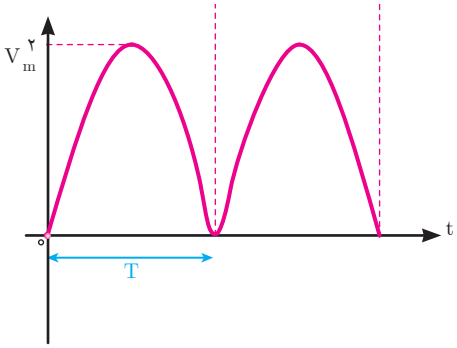
مقدار مؤثر موج متناوب سینوسی



شکل ۱۸

مقـدار مؤثـر مـوج متنـاوب عبـارت از«جـذر میانگیـن مربعـات» می‌باشـد و آن را بـا rms[۱] یـا eff[۲] نشـان می‌دهـد. بـرای تعییـن مقـدار مؤثـر مـوج متنـاوب سینوسـی (شـکل ۱۸) ابتـدا مقادیـر لحظـه‌ای مـوج را بـه تـوان دو می‌رسـانند تـا مقادیـر نیـم سـیکل منفـی بـه مثبـت تبدیـل شـود. (شـکل ۱۹) سـپس میانگیـن مـوج محاسـبه می‌شـود.

۱- root mean square
۲- effective



شکل ۱۹

چـون در ابتـدا مقادیـر لحظـه‌ای مـوج بـه تـوان دو رسـیده اسـت از میانگیـن آن جـذر گرفتـه می‌شـود.
مقـدار مؤثـر ولتـاژ بـا شـکل مـوج متنـاوب سینوسـی از رابطـه روبـه‌رو به‌دسـت می‌آیـد.

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{۲}}$$

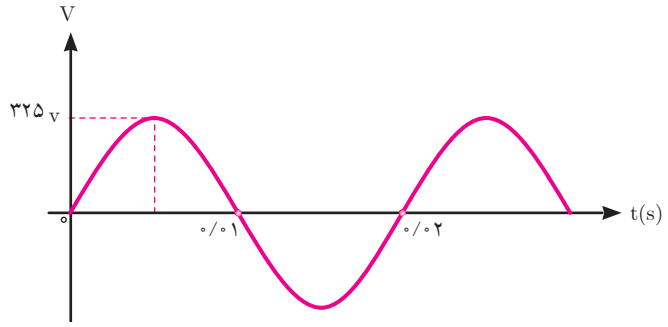
که در این رابطه :
V_m مقدار ماکزیمم ولتاژ متناوب و
V_{rms} مقدار مؤثر ولتاژ متناوب است.

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

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{۲}}$$

I_m مقدار ماکزیمم جریان متناوب
I_{rms} مقدار مؤثر جریان متناوب می‌باشد.
مقـدار مؤثـر ولتـاژ یـا جریـان متنـاوب برابـر مقـدار ولتـاژ یـا جریـان مسـتقیمی اسـت کـه در یـک مقاومـت مشـخص در مـدت زمـان معینـی بـه یـک انـدازه گرمـا تولیـد کنـد.

مثال: مقدار مؤثر (شکل ۲۰) موج متناوب سینوسی زیر را به‌دست آورید؟



شکل ۲۰

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

$$V_m = ۳۲۵v$$

با استفاده از رابطه مقدار مؤثر ولتاژ محاسبه می‌شود:

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۳۲۵}{\sqrt{۲}} = ۲۳۰v$$

مثال: 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:

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{۲}}$$

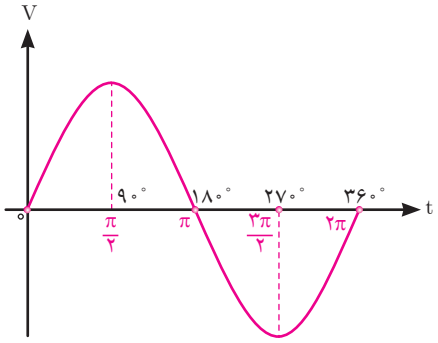
$$۵ = \frac{I_m}{\sqrt{۲}}$$

$$I_m = ۵ \times \sqrt{۲} = ۷A$$

فاز

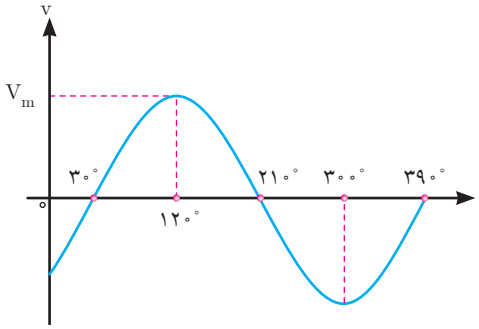
فاز[۱] در لغت به معنی موقعیت می‌باشد. برای یک موج متناوب سینوسی شروع موج، موقعیت یا فاز موج را نسبت به مبدأ دستگاه مختصات نشان می‌دهد. فاز موج سینوسی را با θ نشان می‌دهند.

در (شکل ۲۱) فاز موج سینوسی صفر است و آن را به صورت $\theta_v = ۰$ نشان می‌دهند.



شکل ۲۱

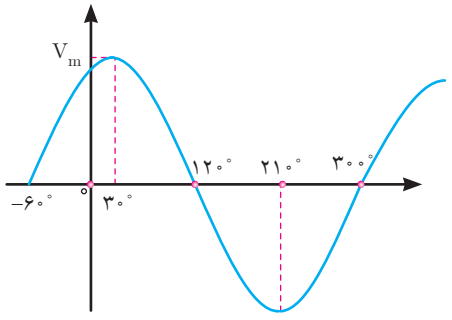
در (شکل ۲۲) فاز موج سینوسی ۳۰- درجه است. یعنی $\theta_v = -۳۰$ می‌باشد.



شکل ۲۲

۱-Phase

و در (شکل ۲۳) فاز موج سینوسی ۶۰+ درجه است یعنی $\theta_v = +60$ می‌باشد.



شکل ۲۳

در مدارهای الکتریکی اختلاف بین فاز موج سینوسی ولتاژ با فاز موج سینوسی جریان که هم فرکانس هستند را (اختلاف فاز) گویند و با (φ) نشان می‌دهند و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

فاز جریان – فاز ولتاژ = اختلاف فاز

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

که در این رابطه :

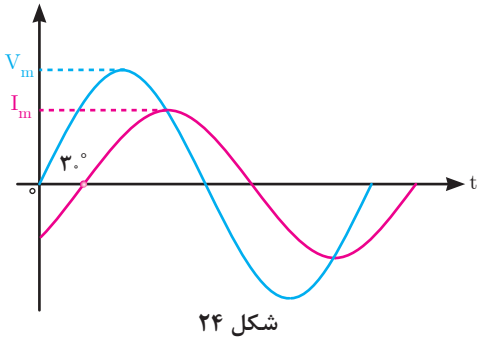
φ زاویه اختلاف فاز بین فاز موج سینوسی ولتاژ با فاز موج سینوسی جریان

θ_V فاز موج سینوسی ولتاژ

θ_i فاز موج سینوسی جریان است.

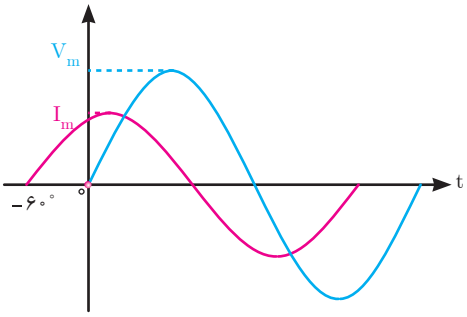
در (شکل ۲۴) فاز موج سینوسی ولتاژ $\theta_V = 0^\circ$ می‌باشد و فاز موج سینوسی جریان $\theta_i = -30^\circ$ است. اختلاف فاز آنها $\varphi = +30^\circ$ است، زیرا :

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



شکل ۲۴

این مدار الکتریکی را پس فاز گویند زیرا جریان مدار ۳۰° از ولتاژ مدار عقب‌تر است. در مدارهای پس فاز φ مثبت خواهد شد.



شکل ۲۵

مثال: اختلاف فاز موج‌های سینوسی (شکل ۲۵) را محاسبه کنید.

حل : فاز موج سینوسی ولتاژ صفر است یعنی $\theta_V=0$ می‌باشد. فاز موج سینوسی جریان ۶۰+ است یعنی $\theta_i = +60^\circ$ می‌باشد.

از رابطه اختلاف فاز به‌دست می‌آید:

$$\varphi = \theta_V - \theta_i$$
$$\theta_V = 0$$
$$\theta_i = +60^\circ$$
$$\varphi = 0 - (+60^\circ) = -60^\circ$$

این مدار الکتریکی را «پیش‌فاز» گویند زیرا جریان مدار ۶۰° از ولتاژ مدار جلوتر است. در مدارهای پیش فاز φ 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 به‌صورت 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 برحسب ولت

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

θ_V فاز موج سینوسی ولتاژ برحسب درجه یا رادیان است.

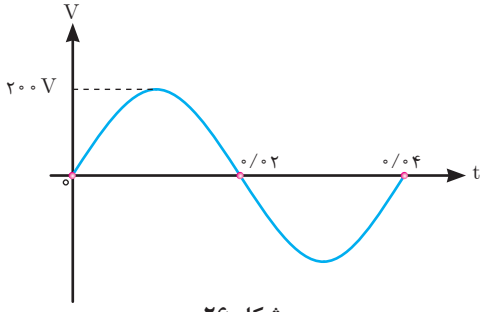
کمیت‌های معادله زمانی $v(t) = 100\sin(100\pi t + 0^\circ)$ برابر است با :

$$V_m = 100[V]$$
$$\omega = 100\pi\left[\frac{Rad}{s}\right]$$
$$\theta_v = 0$$

مثال: معادله زمانی موج سینوسی (شکل ۲۶) را بنویسید.

حل:

با توجه به شکل می‌توان نوشت:



شکل ۲۶

$$\theta_V = 0^\circ$$
$$T = 0/04\,[s]$$
$$V_m = 200\,[v]$$

از رابطه سرعت زاویه‌ای ω حساب می‌شود:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0/04} = 50\pi\left[\frac{rad}{s}\right]$$

معادله زمانی موج سینوسی به‌صورت زیر است :

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

با جایگذاری کمیت‌های آن معادله زمانی موج سینوسی به‌دست می‌آید:

$$v(t) = 200 \sin(50\pi t + 0)$$

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

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

که در این رابطه:

$i(t)$ مقدار لحظه‌ای جریان در لحظه t برحسب آمپر

I_m مقدار ماکزیمم جریان بر حسب آمپر

ω سرعت زاویه‌ای برحسب رادیان بر ثانیه

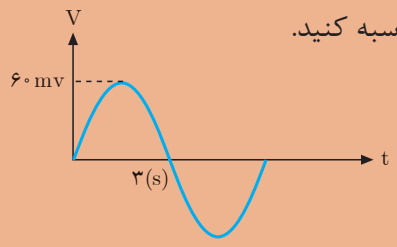
θ_i فاز موج سینوسی جریان برحسب درجه یا رادیان است.

پرسش

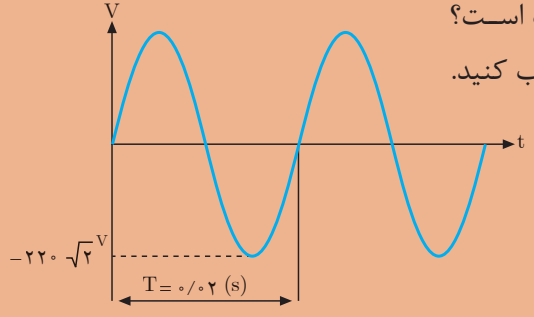
۱- هر یک از مفاهیم زیر را تعریف کنید.
ولتاژ متناوب، فرکانس، زمان تناوب، مقدار مؤثر و متوسط یک موج سینوسی.
۲- مقدار ولتاژ ماکزیمم یک موج سینوسی برابر با یک ولت است مقدار مؤثر ولتاژ را به‌دست آورید.
۳- با رسم سه موج سینوسی، اختلاف زاویه آنها را که اولی نسبت به دومی ۳۰ درجه جلوتر و دومی نسبت به سومی ۴۵ درجه جلوتر است، نشان دهید.
۴- زاویه فاز ۹۰ درجه برابر با چند رادیان است؟

تمرین

۱- منبع ولتاژ ۲۲۰ ولت AC را به یک مقاومت ۲۰ اهمی اتصال داده‌ایم:
الف) مقدار جریان rms در مقاومت را محاسبه کنید.
ب) اگر $\omega=۱۰۰$ رادیان بر ثانیه 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 سیکل در ثانیه
ب)یک سیکل در ثانیه
پ) ۵۰ سیکل در یک ثانیه
ت) ۵۰ سیکل در ۵ ثانیه
۳- زمان تناوب را برای فرکانس‌های زیر محاسبه کنید.
الف) ۵۰۰ هرتز(HZ) ب)۵ مگا هرتز(MHZ) پ) ۵ گیگاهرتز(GHZ)
۴- در شکل زیر مقادیر V_{rms}، زمان تناوب و فرکانس را محاسبه کنید.

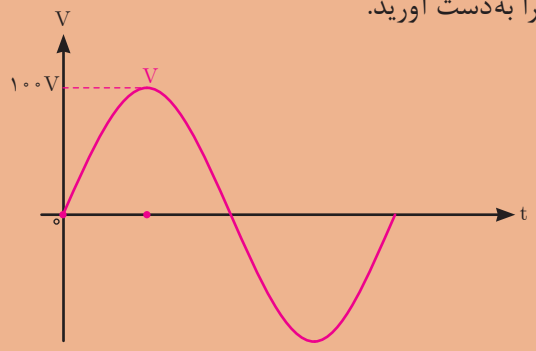


۵- جریانی به معادله $i(t)=۱۰\sin\left(۱۰۰\pi t+۰^\circ\right)$ از یک مقاومت ۱۰ اهمی عبور می‌کند. ولتاژ دو سر مقاومت چند ولت است؟



۶- مقدار ولتاژ منحنی شکل زیر را در $\frac{T}{۲}$ حساب کنید.
فرکانس و مقدار مؤثر آن چقدر است؟

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

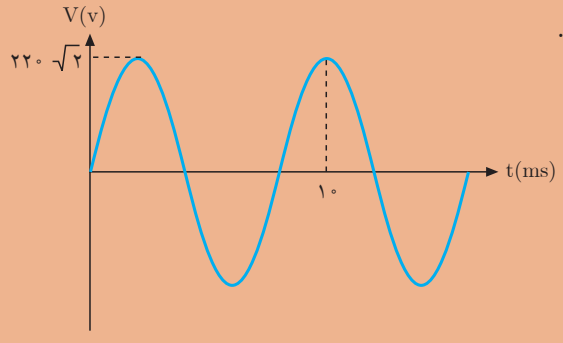


۸- ولتاژ متناوب سینوسی شکل زیر یک مقاومت الکتریکی 5Ω را تغذیه می‌کند. مطلوب است محاسبه:

الف) سرعت زاویه‌ای، فرکانس، زمان تناوب.

ب) ولتاژ rms.

ج) جریان عبوری از مقاومت الکتریکی.



۹- در یک مصرف‌کننده الکتریکی فاز موج سینوسی ولتاژ $\theta_v = ۰$ و فاز موج سینوسی جریان $\theta_i = -۶۰^\circ$ می‌باشد. مطلوب است محاسبه:

الف) اختلاف فاز ولتاژ و جریان

ب) مدار پس فاز است یا پیش‌فاز؟ چرا؟

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

۱۰- معادله زمانی موج سینوسی ولتاژ و جریان مصرف‌کننده‌ای به‌صورت $v(t) = ۲۲۰\sqrt{۲}\sin(۱۰۰\pi t + ۰)$ و $i(t) = ۵\sqrt{۲}\sin(۱۰۰\pi t + ۰)$ می‌باشد. مطلوب است محاسبه:

الف) اختلاف فاز ولتاژ و جریان.

ب) سرعت زاویه‌ای، فرکانس و زمان تناوب موج ولتاژ.

واحد یادگیری ۹

الکترومغناطیس

مقدمه

در جهـان امـروز، بشـر بـه طـرز عجیبـی بـه الکتریسـیته وابسـته می‌باشـد و بـدون آن، زندگـی بشـر متمـدن تقریبـاً غیرممکـن اسـت. امـا بایـد خاطـر نشـان سـاخت کـه پدیـده مغناطیـس نیـز نقـش بسـیار عمـده‌ای در زندگـی بشـر ایفـا می‌کنـد. بـدون پدیـده مغناطیـس لـوازم الکتریکـی و الکترومکانیکـی ازقبیـل موتورهای‌الکتریکـی، ترانسـفورمرها و ژنراتورهـا و دسـتگاه هـای اندازه‌گیـری آنالـوگ قـادر بـه‌کار نخواهنـد بـود. به‌طـور کلـی می‌تـوان گفـت بـا آنکـه بشـر بـه الکتریسـیته وابسـتگی شـدید پیـدا کـرده اسـت ولـی در بیشـتر مـوارد بـدون پدیـده مغناطیـس قـادر بـه اسـتفاده از الکتریسـیته نخواهـد بـود و بـدون پدیـده مغناطیـس زندگـی بشـر متمـدن غیرممکـن خواهـد بـود.

در سـال ۱۸۲۰میـلادی فیزیـک‌دان دانمارکـی بـه نـام اورسـتد[۱] بـرای اولیـن بـار متوجـه شـد کـه جریـان الکتریکـی می‌توانـد آثـار مغناطیسـی به‌وجـود آورد. ایـن کشـف مهـم دو علـم الکتریسـیته و مغناطیـس را بـه یکدیگـر مربـوط سـاخت. بـرای تشـریح رابطـه بیـن جریـان الکتریکـی و مغناطیـس نظریـه‌ای به‌وجـود آمـده اسـت کـه بـه آن نظریـه الکترومغناطیـس[۲] می‌گوینـد. تأثیـر میـدان مغناطیسـی اطـراف یـک هـادی حامـل جریـان بـر عقربـه قطب‌نمـا در (شـکل ۲۷) نشـان داده شـده اسـت.

شکل ۲۷

مشـاهده می‌شـود عقربـه قطب‌نمـا، عمـود بـر هـادی جریـان قـرار می‌گیـرد. وقتـی جهـت جریـان الکتریکـی در هـادی تغییـر داده شـود عقربـه و جهـت آن نیـز تغییـر می‌کنـد.

یکـی از حوزه‌هایـی کـه انتظـار مـی‌رود فنـاوری نانـو اثـر فراوانـی بـر پیشـرفت آن داشـته باشـد، مغناطیس‌هـا و مـواد مغناطیسـی اسـت. بـا ورود فنـاوری نانـو بـه علـم و صنعـت مغناطیـس، بهبـود زیـادی در کیفیـت مغناطیس‌هـا ایجـاد شـده اسـت و مغناطیس‌هایـی بـا ابعـاد کوچـک و نیـروی مغناطیسـی بـزرگ سـاخته شـده‌اند.

۱- Oersted

۲-Electro Magnets

تحقیق کنید

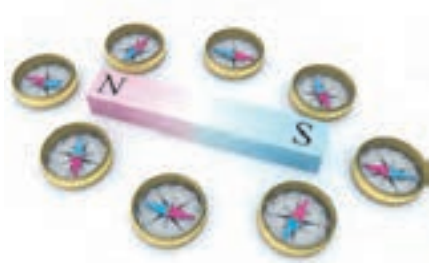
فناوری نانو در برق در چه زمینه هایی نوآوری داشته است؟

هانس کریستن اورستد

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»[۱] می‌گویند.

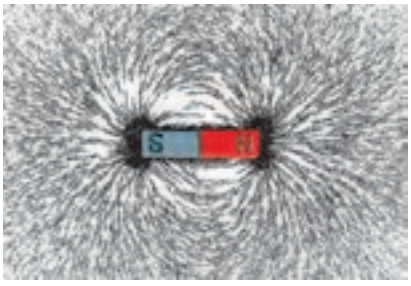


شکل ۲۸

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).

هر خط نیروی میدان مغناطیسی را یک ماکسول[۲] (max) می گویند.



شکل ۲۹

۱-Magnetic field

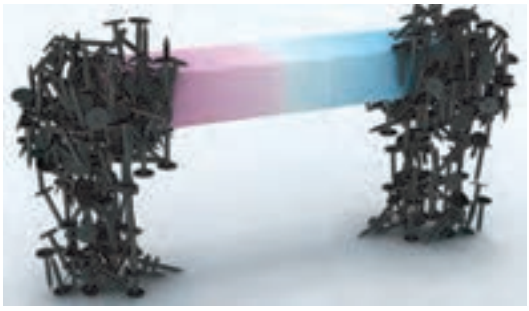
۲-Max Well

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.

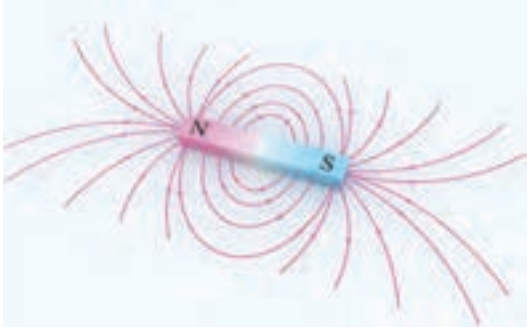
خطوط نیروی میدان مغناطیسی در دو نقطه معین از میدان مغناطیسی دارای فشردگی بیشتری نسبت به سایر نقاط است این نقاط را قطب‌های مغناطیسی[۱] می‌نامند و با حروف N و S آنها را نشان می‌دهند. اثر جذب در قطب‌های میدان مغناطیسی بسیار قوی‌تر از سایر نقاط میدان مغناطیسی است (شکل ۳۰).



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.



شکل۳۱ـ خطوط نیروی میدان مغناطیسی

۱-Magnetic poles

فوران مغناطیسی

به مجموع خطوط نیروی میدان مغناطیسی اطراف یک مغناطیسی یا آهنربا «فوران» یا «شار مغناطیسی[1]» می‌گویند و آن را با φ نشان می‌دهند[2].
واحد فوران مغناطیسی ولت.ثانیه (*v.sec*) است که اصطلاحاً به آن وِبر *wb* می‌گویند. یک وبر[3] برابر با 10^8 خط نیروی میدان مغناطیسی یا ماکسول است. پس:

$$1[\text{v.sec}] = 1[\text{web}] = 10^8[\text{max}]$$

واحد رایج فوران مغناطیسی وبر *wb* است و واحد کوچک‌تر آن میلی وبر *mwb* می‌باشد. یک وبر برابر با 10^3 میلی‌وبر است. یعنی:

$$1[\text{web}] = 10^3[\text{mwb}]$$

ویلهم وبر

ویلهم وبر در سال ۱۷۹۵ میلادی در آلمان به دنیا آمد. وی فیزیکدان بود که شهرت‌اش به مطالعات در زمینه مغناطیس مربوط می‌شود. وبر در سال ۱۸۷۸ میلادی دیده از جهان فرو بست.

تحقیق کنید

دیدگاه‌های دانشمندان در قرن هجدهم در مورد ولتاژ مستقیم و متناوب چه تفاوت‌هایی با یکدیگر دارد؟

مثال: فوران مغناطیسی یک آهنربا ۲/۵ میلی وبر است. فوران این آهنربا چند ماکسول *max* است؟

حل:

ـ با استفاده از تناسب، واحد فوران به وبر تبدیل می‌شود.

$$\frac{1\text{wb}}{\varphi} = \frac{10^3\text{mwb}}{2/5\text{mwb}}$$

۱-Magnetic Flux

۲- در برخی کتب آن را Flow می‌نامند.

۳-Weber

ـ یک وبر برابر با 10^{8} خط نیروی میدان مغناطیسی یا ماکسول max است.

$$\varphi = \frac{2/5 \times 1}{10^{3}}$$

$$\varphi = 2/5 \times 1 \times 10^{-3}$$

$$\varphi = 2/5 \times 10^{-3}\,[\mathrm{wb}]$$

$$\varphi = 2/5 \times 10^{+5} = 250000\,[\mathrm{max}]$$

یا به عبارتی در اطراف این آهنربا ۲۵۰۰۰۰ خط نیروی میدان مغناطیسی وجود دارد.

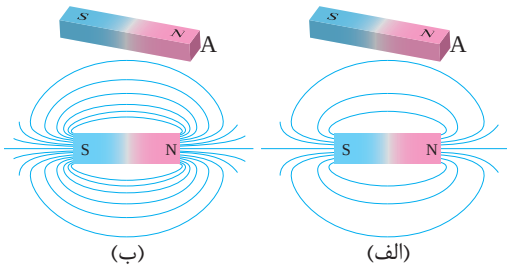
نیکولا تسلا

نیکولا تسلا در سال ۱۸۵۶ در امپراتوری اتریش ـ 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 زندگی‌اش 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 می‌باشد.

چگالی فوران مغناطیسی

دو آهنربا با ابعاد مشابه و فوران‌های ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ ماکسول که سطح مقطع قطب آنها با A مشخص می‌باشد در شکل نشان داده شده است. میدان مغناطیسی آهنربای (شکل ۳۲ـ الف) در سطح مقطع قطب خود ۱۰۰۰ و میدان مغناطیسی آهنربای (شکل ۳۲ـ ب) در سطح مقطع خود ۲۰۰۰ 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



شکل ۳۲

مقطع قطب A آهنربای (شکل ۳۲ـ ب) نسبت به (شکل ۳۲ـ 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»[۱] 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 به‌دست می‌آید.

$$B = \frac{\varphi}{A}$$

در این رابطه:

φ فوران مغناطیسی بر حسب وبر wb

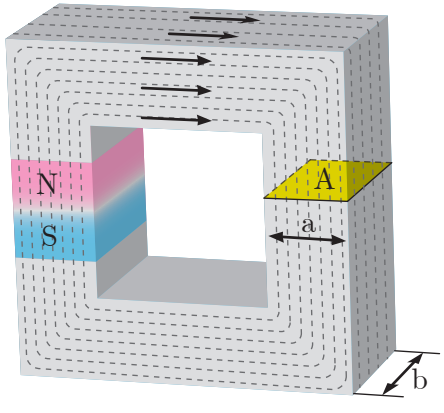
A مساحت مقطعی که فوران مغناطیسی φ از آن می‌گذرد بر حسب مترمربع m^2

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[۲] [T] می‌گویند و واحد کوچک‌تر آن ماکسول بر سانتی‌مترمربع $\left[\frac{max}{cm^2}\right]$ است که اصطلاحاً به آن گاوس[۳] [G] گفته می‌شود. پس:

$$1\left[\frac{wb}{m^2}\right] = 1T = 10^4[G]$$

مثال: آهنربایی با فوران مغناطیسی ۰/۰۲ mwb مطابق (شکل ۳۳) در نظر است. چگالی فوران مغناطیسی در سطح مقطع A هسته چند گاوس می‌باشد؟ در صورتی‌که a=۱۰ mm و b=۲۰ mm باشد.



شکل ۳۳

حل:

ـ سطح مقطع A برابر است با:

$$A = a.b = 10 \times 20 = 200\left[mm^2\right]$$

ـ واحد سطح مقطع به متر مربع تبدیل می‌شود:

$$A = \frac{200 \times 1}{10^6} = 200 \times 10^{-6}$$

$$\frac{1m^2}{A} = \frac{10^6 mm^2}{200 mm^2}$$

۱- Magnetic flux Density ۲- Tesla ۳- Gauss

ـ واحد فوران مغناطیسی به وبر تبدیل می‌شود:

$$\frac{1\text{wb}}{\varphi}=\frac{10^{3}\text{mwb}}{0/02\text{mwb}}$$

$$\varphi=\frac{0/02\times1}{10^{3}}=0/02\times10^{-3}=2\times10^{-5}[\text{wb}]$$

ـ از رابطه زیر چگالی فوران مغناطیسی به‌دست می‌آید:

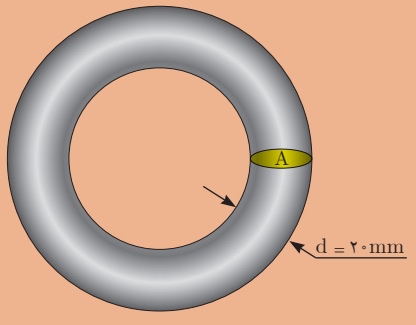
$$B=\frac{\varphi}{A}=\frac{2\times10^{-5}}{2\times10^{-4}}=0/1\left[\frac{\text{wb}}{\text{m}^{2}}\right]=0/1[\text{T}]$$

ـ واحد چگالی فوران مغناطیسی به گاوس تبدیل می‌شود:

$$\frac{1\text{T}}{0/1\text{T}}=\frac{10^{4}\text{G}}{B}$$

$$B=\frac{0/1\times10^{4}}{1}=0/1\times10^{4}=1000[\text{G}]$$

تمرین

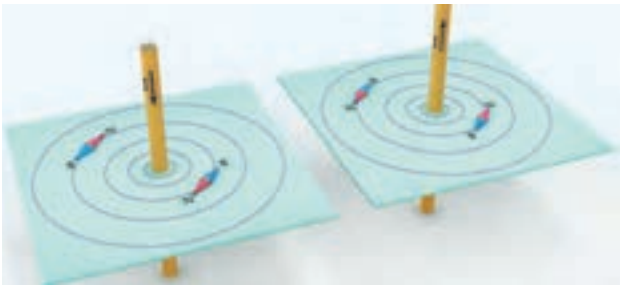


۱ـ یک آهنربا ۴۰۰۰۰۰ خط نیروی میدان مغناطیسی دارد. فوران این آهنربا چند میلی وبر است؟

۲ـ آهنربایی با چگالی فوران مغناطیسی ۱۰۰۰۰ G مطابق (شکل روبه‌رو) در نظر است. فوران مغناطیسی در سطح مقطع A هسته چند میلی وبر است.

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 ۳۴) مشاهده کرد عبور جریان الکتریکی باعث انحراف عقربه مغناطیسی می‌شود. و با تغییر جهت جریان الکتریکی در هادی جهت عقربه‌های مغناطیسی تغییر می‌کند.



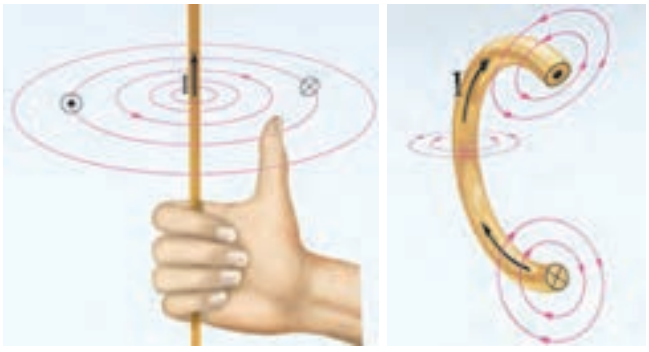
شکل ۳۴

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 ۳۵) می‌توان از قانون شست[1] نیز استفاده کرد. برای این منظور مطابق (شکل ۳۵) باید شست دست راست را در جهت جریان الکتریکی هادی قرار داد تا بقیه انگشتان به‌صورت بسته جهت میدان الکترومغناطیسی را نشان دهند.

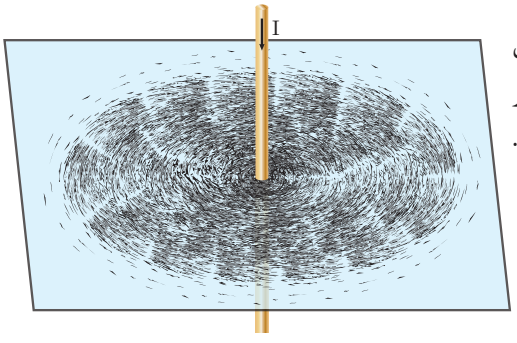
مشاهده می‌کنید مانند جهت جریان می‌توان جهت میدان مغناطیسی را نیز به کمک نقطه (•) و ضربدر(×) مشخص کرد.



شکل ۳۵

چگالی فوران مغناطیسی اطراف یک هادی حامل جریان الکتریکی

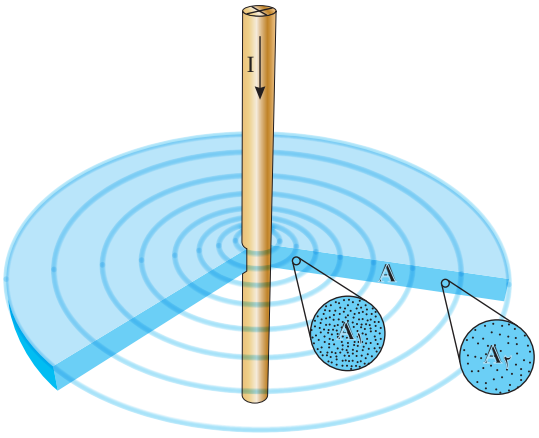
اورستد در ادامه آزمایش‌های خود، هادی حامل جریان الکتریکی را از میان یک صفحه مقوایی عبور داد و بر روی صفحه مقوایی براده‌های آهن پاشید. (شکل ۳۶)



شکل ۳۶

۱-Thumb Rule

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 ۳۷) نشان داده شده است.

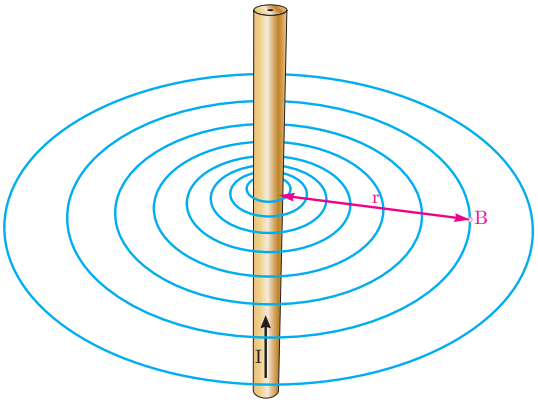


شکل ۳۷

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 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 ۳۸) ارائه کردند.



شکل ۳۸

$$B = k\frac{I}{r}$$

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 2×10^{-7} برحسب $\left[\frac{wb}{A.m}\right]$ است.

I شدت جریان الکتریکی هادی بر حسب [A]

r فاصله از هادی بر حسب [m] است.

مثـال: چگالـی فـوران میـدان مغناطیسـی در نقطـه‌ای بـه فاصلـه ۱ cm از هـادی حامـل جریـان ۱۰A چنـد گاوس اسـت؟

حل:

ـ واحد فاصله بر حسب متر تبدیل می‌شود.

$$\frac{۱m}{r}=\frac{۱۰۰cm}{۱cm}$$

$$r=\frac{۱\times۱}{۱۰۰}=۰/۰۱m$$

ـ چگالی میدان مغناطیسی از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$B=k\frac{I}{r}$$

$$B=۲\times۱۰^{-۷}\times\frac{۱۰}{۰/۰۱}=۲\times۱۰^{-۴}\left[\frac{wb}{m^{۲}}\right]$$

یا

$$B=۲\times۱۰^{-۴}[T]$$

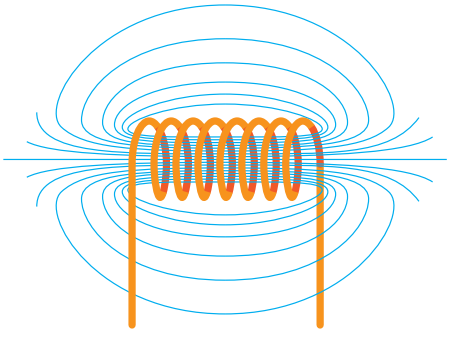
ـ واحد چگالی فوران مغناطیسی به گاوس تبدیل می‌شود:

$$\frac{۱T}{۲\times۱۰^{-۴}T}=\frac{۱۰^{۴}G}{B}$$

$$B=\frac{۲\times۱۰^{-۴}\times۱۰^{۴}}{۱}=۲[G]$$

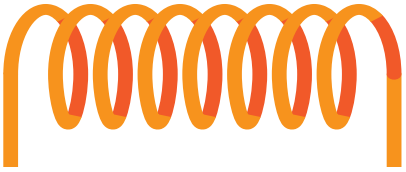
میدان مغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی

میـدان الکترومغناطیسـی هـادی حامـل جریـان الکتریکـی در سرتاسـر دو طـرف هـادی توزیـع می‌شـود و متمرکـز نیسـت و مقـدار چگالـی فـوران مغناطیسـی B در هـر نقطـه از اطـراف هـادی متغیـر و کـم اسـت. اگـر هـادی حامـل جریـان الکتریکـی بـه صـورت سـیم‌پیچ در آورده شـود ضمـن اینکـه میـدان الکتـرو مغناطیسـی در درون سـیم‌پیچ متمرکـز می‌شـود، چگالـی فـوران مغناطیسـی B نیـز افزایـش می‌یابـد (شـکل ۳۹).



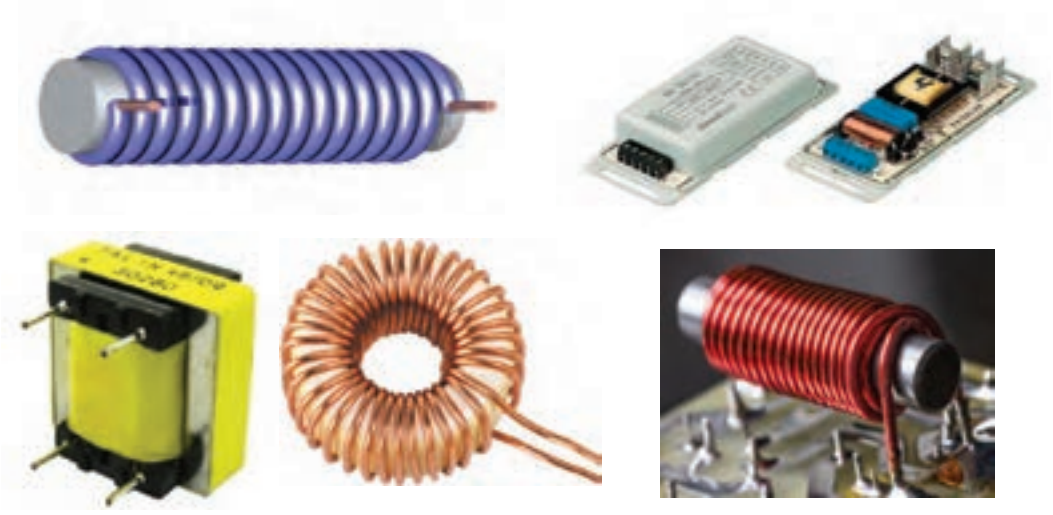
شکل ۳۹

سیم پیچ از پیچیدن چند دور هادی به‌وجود می‌آید. (شکل ۴۰).



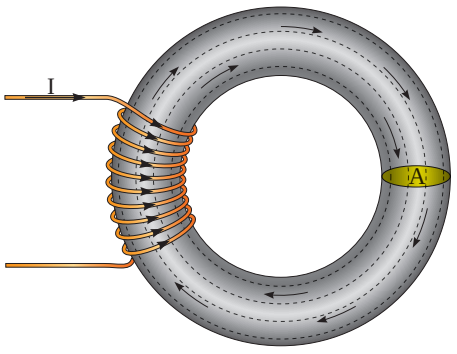
شکل ۴۰

سیم پیچ را بوبین نیز می‌گویند. انواع سیم‌پیچ در (شکل ۴۱) نشان داده شده است.



شکل ۴۱

با قرار دادن سیم‌پیچ بر روی یک هسته از جنس مواد فرومغناطیس[۱] مطابق (شکل ۴۲) 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.

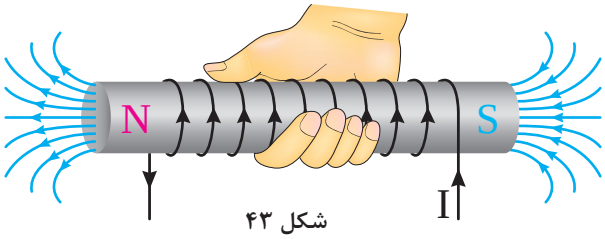


شکل ۴۲

۱- Ferro magnetic

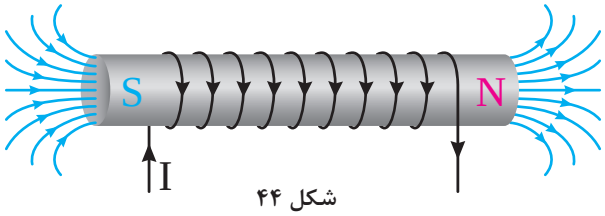
جهت میدان الکترومغناطیس سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی

جهت میدان الکترومغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی از قاعده دست راست[1] تعیین می‌شود بدین منظور مطابق (شکل ۴۳) 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 ۴۳

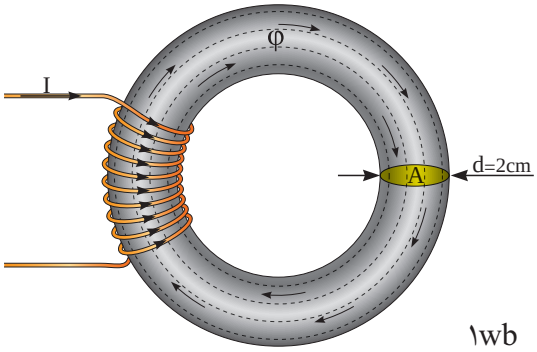
جهت میدان مغناطیسی سیم‌پیچ نیز تابع جهت جریان سیم‌پیچ است و با تغییر جهت جریان جهت میدان مغناطیسی تغییر می‌کند (شکل ۴۴) .



شکل ۴۴

مثال: سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی (شکل۴۵) میدان الکترومغناطیسی با فوران ۳/۱۴ mwb در هسته تولید می‌کند. چگالی فوران مغناطیسی در هسته چند تسلا است؟

حل:



شکل ۴۵

ـ چگالی فوران از رابطه $\varphi = \frac{B}{A}$ به‌دست می‌آید. ابتدا واحد فوران را به وبر تبدیل می‌کنیم و سپس مساحت سطح مقطع A را محاسبه کنیم:

$$\frac{1wb}{\varphi} = \frac{10^{3}\,mwb}{3/14} \Rightarrow \varphi = \frac{3/14}{10^{3}} = 3/14\times10^{-3}\,[wb]$$

[1]-Right-hand rule

$$A = \frac{\pi d^{۲}}{۴}$$

$$A = \frac{\pi(۲)^{۲}}{۴} = ۳/۱۴\left[cm^{۲}\right]$$

$$\frac{۱\mathrm{m}^{۲}}{\mathrm{A}} = \frac{۱۰^{۴}\mathrm{cm}^{۲}}{۳/۱۴} \Rightarrow \mathrm{A} = \frac{۱\times۳/۱۴}{۱۰^{۴}} = ۳/۱۴\times۱۰^{-۴}\left[\mathrm{m}^{۲}\right]$$

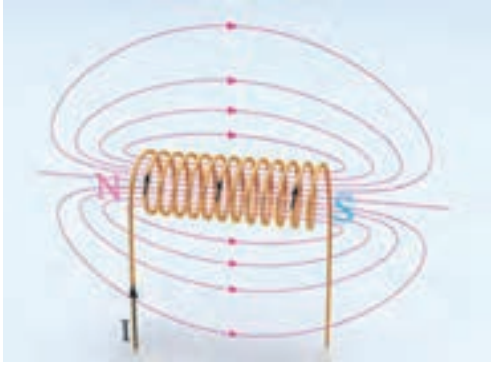
$$\mathrm{B} = \frac{\varphi}{\mathrm{A}}$$

$$\mathrm{B} = \frac{۳/۱۴\times۱۰^{-۳}}{۳/۱۴\times۱۰^{-۴}} = ۱۰\left[\frac{\mathrm{wb}}{\mathrm{m}^{۲}}\right] = ۱۰\left[\mathrm{T}\right]$$

ضریب نفوذ مغناطیسی

ضریب نفوذ مغناطیسی μ معیاری است که میزان گذردهی هسته را در مقابل خطوط نیروی مغناطیسی نشان می‌دهد.

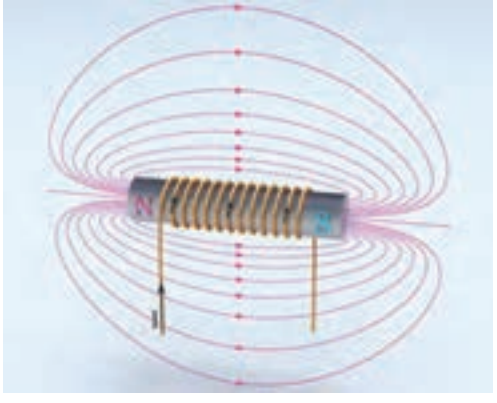
میدان مغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان I با هسته هوا در (شکل ۴۶) نشان داده شده است.



شکل ۴۶

اگر درون این سیم‌پیچ هسته فرومغناطیس قرار داده شود چگالی فوران مغناطیسی B در هسته به شدت افزایش می‌یابد (شکل ۴۷).

از مقایسه (شکل‌های ۴۶ و ۴۷) می‌توان نتیجه گرفت. هسته فرومغناطیس نسبت به هسته هوا ضریب نفوذ مغناطیسی μ بزرگ‌تری دارد و چگالی فوران مغناطیسی بزرگ‌تری به‌دست می‌آید.



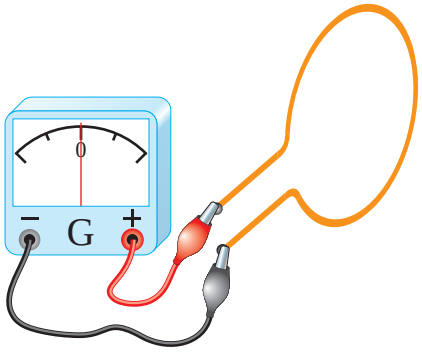
شکل ۴۷

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.

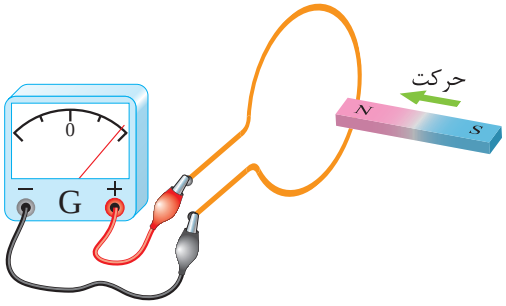
قانون القای الکترومغناطیسی فاراده و روابط حاکم بر آن را می‌توان با انجام چند آزمایش به‌دست آورد.

آزمایش ۱ ـ مداری متشکل از یک حلقه هادی که دو سر آن به یک گالوانومتر[1] متصل است در (شکل ۴۸) نشان داده شده است.



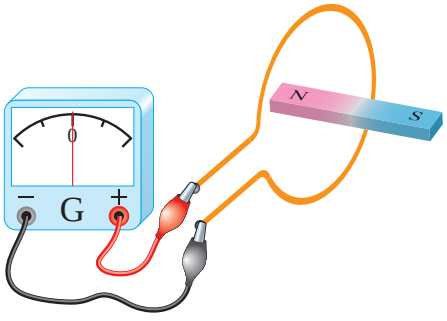
شکل ۴۸

اگر یک آهنربای دائم از طرف قطب N آن مطابق (شکل ۴۹) داخل حلقه شود، عقربه گالوانومتر منحرف می‌شود. انحراف عقربه گالوانومتر به معنای عبور جریان از گالوانومتر است.



شکل ۴۹

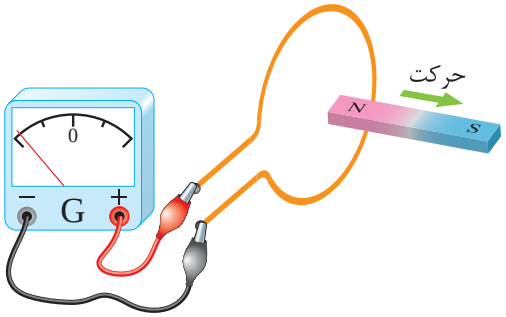
در صورتی‌که آهنربای دائم نسبت به حلقه، مطابق (شکل ۵۰) حرکتی نداشته باشد، عقربه گالوانومتر منحرف نخواهد شد.



شکل ۵۰

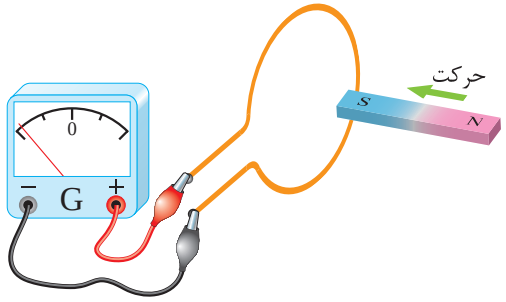
۱- گالوانومتر یک آمپرمتر بسیار دقیق است که می‌تواند جریان‌های خیلی کم را اندازه بگیرد.

وقتی‌که آهنربای دائم از حلقه، مطابق (شکل ۵۱) دور شود، عقربه گالوانومتر در جهت عکس حالت قبل منحرف می‌شود. یعنی جهت جریان در حلقه تغییر کرده است.



شکل ۵۱

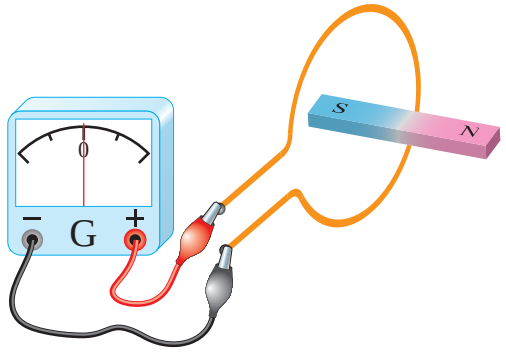
در ادامه آزمایش اگر قطب S آهنربای دائم مطابق (شکل ۵۲) داخل حلقه شود، عقربه گالوانومتر بر خلاف حالتی که قطب N وارد حلقه شد منحرف می‌گردد.



شکل ۵۲

در این حالت نیز در صورتی‌که آهنربای دائم نسبت به حلقه: مطابق (شکل ۵۳) حرکتی نداشته باشد، عقربهٔ گالوانومتر منحرف نخواهد شد.

بدین ترتیب در این آزمایش پدیده‌ای مشاهده می‌شود که در اثر حرکت آهنربای دائم نسبت به حلقه به‌وجود آمده است.



شکل ۵۳

در آزمایش ۱ جریانی که در حلقه برقرار می‌شود را «جریان القایی[۱]» 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[۲]» می‌نامند. نیروی محرکه القایی را به اختصار با EMF نشان می‌دهند.

۱-Induced Current

۲-Electro Motive Force

فـاراده بـا آزمایش‌هایـی نظیـر ایـن آزمایـش، توانسـت قانونـی به‌دسـت آورد کـه بـه «قانـون القـای الکترومغناطیسـی فـاراده» مشـهور شـد. وی بـر اسـاس ایـن آزمایش‌هـا متوجـه شـد کـه تغییـر فـوران مغناطیسـی عامـل ایجـاد نیـروی محرکـه القایـی اسـت؛ لـذا قانـون القـای الکترومغناطیـس فـاراده را چنیـن تعریـف کـرد:

«مقدار نیروی محرکه القایی در هر مدار با آهنگ تغییر فوران متناسب است».

فـاراده بـه کمـک ایـن قانـون بـرای محاسـبه مقـدار نیـروی محرکـه القایـی رابطـه ریاضـی زیـر را ارائـه کـرد. ایـن رابطـه بیـان ریاضـی قانـون القـای الکترومغناطیسـی فـاراده اسـت.

$$e \propto \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$$

در این رابطه:

$\Delta\varphi$ تغییرات فوران مغناطیسی بر حسب وبر [wb]

Δt مدت زمان وقوع تغییرات فوران مغناطیسی بر حسب ثانیه (s)

e نیروی محرکه القایی بر حسب ولت [V] است.

نیـروی محرکـه القایـی e در عمـل بسـیار حائـز اهمیـت اسـت. چراغ‌هـای اتاقـی کـه در آن، ایـن کتـاب را می‌خوانیـد بـا اسـتفاده از نیـروی محرکـهٔ القایـی حاصـل از یـک ژنراتـور روشـن می‌شـوند.

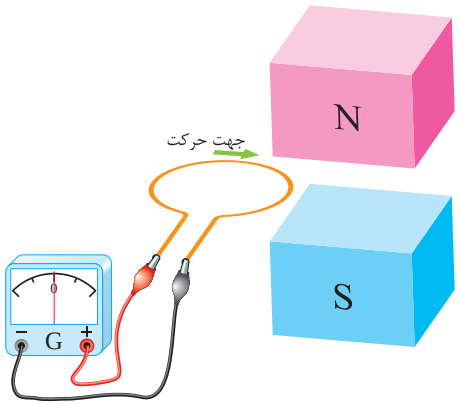
اگـر به‌جـای اسـتفاده از یـک حلقـه سـیم، از سـیم‌پیچی بـا N حلقـه، آزمایـش فـاراده تکـرار شـود، در هـر حلقـه سـیم‌پیچ نیـروی محرکـه القایـی ایجـاد می‌شـود و ایـن نیروهـای محرکـه بـا یکدیگـر جمـع می‌شـوند تـا نیـروی محرکـه القایـی سـیم‌پیچ به‌دسـت آیـد؛ لـذا مقـدار نیـروی محرکـه القایـی در سـیم‌پیچ از رابطـه زیـر تعییـن می‌شـود.

$$e = \mathrm{N}\frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$$

نیـروی محرکـه القایـی e جریـان القایـی در سـیم‌پیچ جـاری می‌کنـد کـه از رابطـه زیـر به‌دسـت می‌آیـد:

$$i = \frac{\text{نیروی محرکه القایی (V)}}{\text{مقاومت الکتریکی حلقه } (\Omega)}$$

آزمایش ۲ـ حلقه هادی متصل به یک گالوانومتر در بیرون میدان مغناطیسی B ناشی از دو قطب N و S یک آهنربای قوی در (شکل ۵۴) نشان داده شده است. حلقه در جهت نشان داده شده از درون میدان مغناطیسی عبور داده می‌شود.

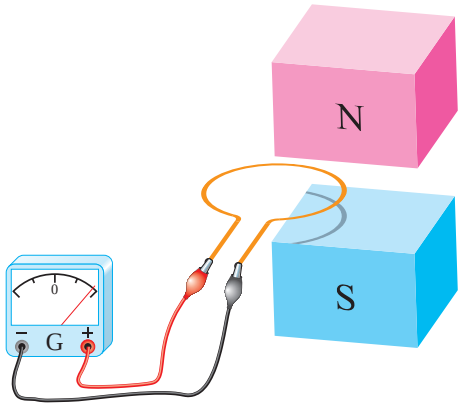


شکل ۵۴

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.

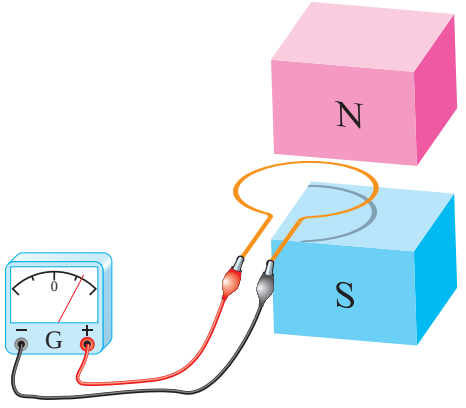
لحظه ورود حلقه به درون میدان مغناطیسی را (شکل ۵۵) نشان می‌دهد.

در این لحظه فوران مغناطیسی بخشی از سطح حلقه را می‌پوشاند. تصویر حلقه روی قطب S این موضوع را نشان می‌دهد.



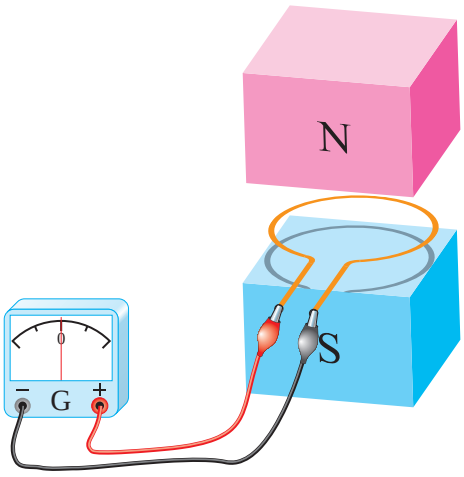
شکل ۵۵

هرچه حلقه بیشتر وارد میدان مغناطیسی می‌شود فوران بیشتری سطح حلقه را می‌پوشاند. (شکل ۵۶)



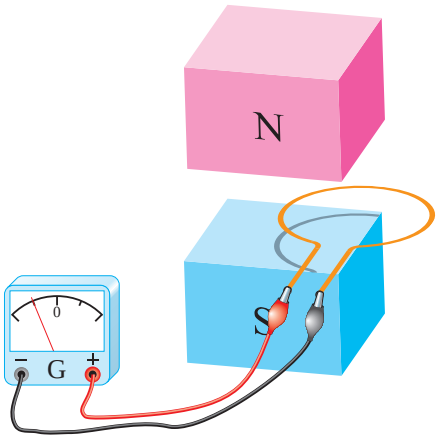
شکل ۵۶

این تغییر فوران طبق قانون فاراده نیروی محرکه القایی در حلقه ایجاد می‌کند. لذا گالوانومتر منحرف می‌شود.
(شکل ۵۷) لحظه‌ای را نشان می‌دهد که حلقه به‌صورت 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 می دهد.



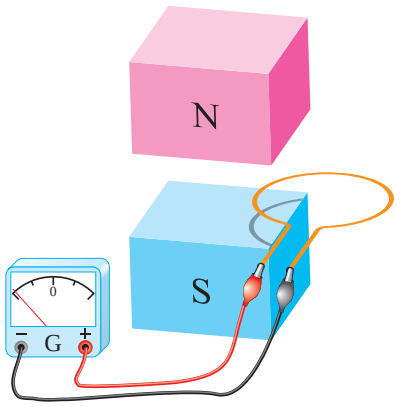
شکل ۵۷

لحظه خروج حلقه در (شکل ۵۸) 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.



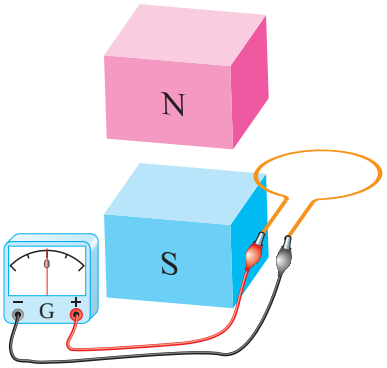
شکل ۵۸

لحظه خروج حلقه از میدان مغناطیسی در (شکل ۵۹) 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 ۵۹

خـروج کامـل حلقه از میـدان مغناطیسـی در (شکل ۶۰) نشـان داده شـده اسـت. در ایـن لحظه فـورانـی از سـطح حلقه نمی‌گـذرد و تغییرات فوران آن به صفـر رسیده است لذا در آن نیـروی محـرکه القا نمی‌شود و گالوانومـتر صفـر را نشان می‌دهد.



شکل ۶۰

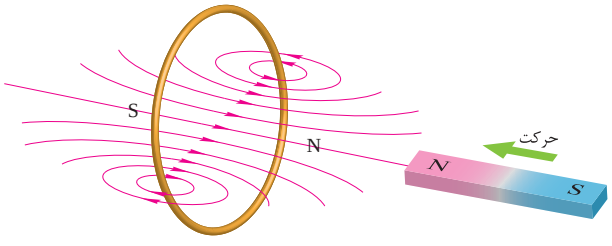
قانون لنز

در پدیـده القـای الکترومغناطیسـی پلاریتـه نیـروی محرکـه القایـی و جهـت جریـان القایـی مشـخص نشـد. پلاریتـه نیـروی محرکـه القایـی و جهـت جریـان القایـی بـا اسـتفاده از «اصـل بقـای انـرژی» تعییـن خواهـد شـد. در ایـن مبحـث اصـل بـقای انـرژی به‌صـورت «قانـون لنـز» بیـان می‌شـود کـه توسـط آقـای لنـز در سـال ۱۸۳۴ میـلادی ارائـه گردیـد. طبـق ایـن قانـون:

«جریان القایی در جهتی برقرار می‌شود که با عامل به‌وجود آورنده خود مخالفت کند».

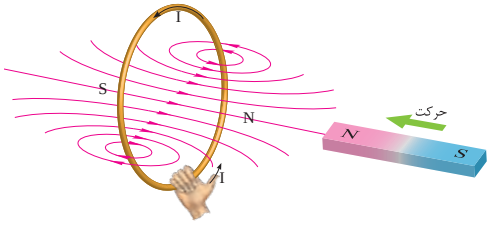
قانـون لنـز در مـورد جریان‌هـای القایـی بـه کار مـی‌رود. از آنجایـی کـه جریـان در مـدار بسـته جـاری می‌شـود، لـذا قانـون لنـز در مدارهـای بسـته کاربـرد پیـدا می‌کنـد.

در (شـکل ۶۱) مقطـع یـک حلقـه هـادی و یـک آهنربـا نشـان داده شـده اسـت. هنگامی‌کـه قطـب N آهنربـا بـه طـرف حلقـه «حرکـت» داده می‌شـود، مطابـق آزمایـش ۱ فـاراده، جریـان القایـی در حلقـه جـاری می‌شـود. ایـن جریـان، میـدان مغناطیسـی در اطـراف حلقـه تولیـد خواهـد نمـود. طبـق قانـون لنـز جهـت جریـان القایـی بـه گونـه‌ای اسـت کـه بـا عامـل به‌وجودآورنـده‌اش مخالفـت می‌کنـد؛ بدیـن معنـی کـه میـدان مغناطیسـی ناشـی از جریـان القایـی بـا حرکـت آهنربـا بـه سـمت حلقـه مخالفـت خواهـد کـرد. یعنـی قطـب N میـدان حلقـه مقابـل قطـب N آهنربـا قـرار می‌گیـرد تـا بـا ایجـاد نیـروی دافعـه مانـع حرکـت آهنربـا بـه سـمت حلقـه شـود.



شکل ۶۱

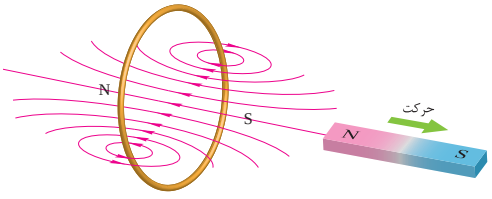
با مشخص شدن محل قطب‌های N و S اطراف حلقه جهت میدان مغناطیسی آن تعیین می‌شود. اکنون بنا به قانون شست مطابق (شکل ۶۲) جهت جریان القایی تعیین می‌شود.



شکل ۶۲

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.

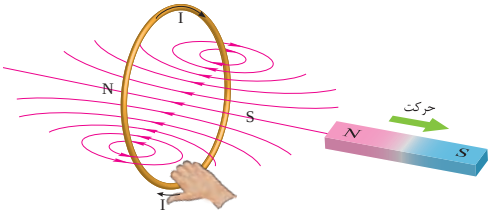
اگر آهنربا مطابق (شکل ۶۳) به عقب حرکت داده شود، مطابق آزمایش ۱ فاراده نیز در این حالت جریان القایی در حلقه جاری می‌شود و طبق قانون لنز، میدان مغناطیسی ناشی از این جریان القایی نیز با عامل به‌وجودآورنده‌اش که همان «حرکت رو به عقب» آهنربا است مخالفت خواهد کرد؛ یعنی میدان حلقه، قطب S خود را در مقابل قطب N آهنربا قرار می‌دهد تا با ایجاد نیروی جاذبه مانع حرکت آهنربا شود.



شکل ۶۳

با مشخص شدن محل قطب‌های N و S اطراف حلقه، جهت میدان مغناطیسی آن تعیین می‌شود. اکنون بنا به قانون شست مطابق (شکل ۶۴) جهت جریان القایی حلقه تعیین می‌شود.

با توجه به (شکل‌های ۶۲ و ۶۴) مشاهده می‌شود جهت میدان مغناطیسی حلقه ناشی از جریان القایی همواره به‌گونه‌ای است که با «حرکت» آهنربا مخالفت می‌کند.



شکل ۶۴

«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 انجام‌شده برای حرکت آهنربا به چه انرژی‌ای تبدیل می‌شود؟

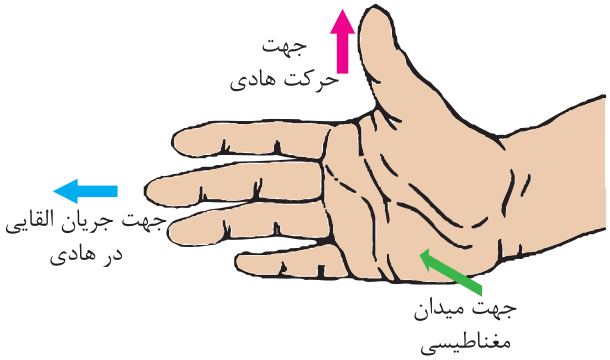
جهت میدان مغناطیسی جریان القایی به گونه‌ای است که همواره با عامل به‌وجودآورنده‌اش، «حرکت آهنربا» مخالفت می‌کند. این مخالفت در رابطه قانون القای الکترومغناطیسی فاراده با یک علامت منفی به‌صورت رابطه زیر نشان داده می‌شود.

$$e = -\mathrm{N}\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

علامت منفی بیانگر همان قانون لنز است که در محاسبات دخالت داده نمی‌شود. لذا e به‌عنوان «نیروی ضدمحرکه القایی» معرفی می‌شود تا مخالفت آن بر اساس قانون لنز در نام آن گنجانیده شده باشد. نیروی ضدمحرکه القایی را به اختصار با $Cemf$ نشان می‌دهند.

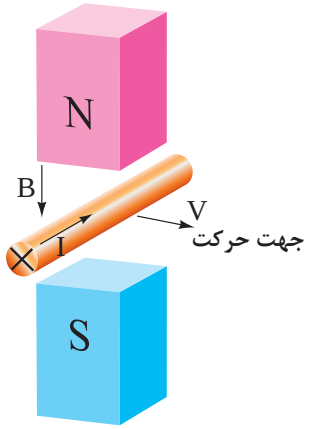
قانون دست راست

تعیین جهت جریان القایی با قانون بقای انرژی که به‌صورت 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 به‌کار برد. طبق این قانون اگر دست راست را مطابق (شکل ۶۵) طوری نگه‌داشت 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.

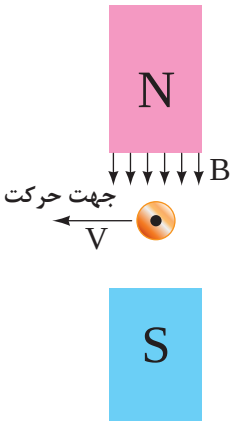


شکل ۶۵ــ قانون دست راست

جهت جریان القایی یک هادی متحرک در میدان مغناطیسی توسط قانون دست راست در (شکل‌های ۶۶ و ۶۷) تعیین شده است.



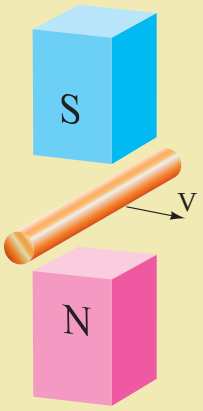
شکل ۶۶



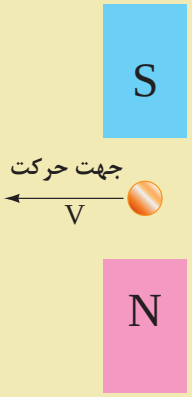
شکل ۶۷

فعالیت

۱ ـ جهت جریان القایی هادی (شکل‌های ۶۸ و ۶۹) را با استفاده از قانون دست راست تعیین کنید.



شکل ۶۸



شکل ۶۹

۲ ـ از جواب‌های به‌دست آمده در (شکل‌های ۶۶ الی ۶۹) چه نتیجه‌ای به‌دست می‌آید؟

پرسش

پرسش‌های کامل کردنی

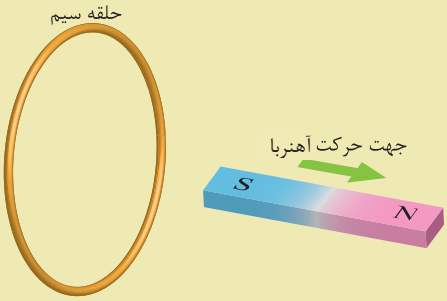
۱ ـ طرز کار وسایل الکتریکی که ..... در آنها نقش دارد به کمک قانون القای الکترومغناطیس فاراده قابل فهم است.

۲ ـ طبق قانون لنز ..... به گونه‌ای است که با عامل به‌وجودآورنده‌اش ..... می‌کند.

۳ ـ برای تعیین جهت جریان القایی از روش ..... استفاده می‌شود.

پرسش‌های تشریحی

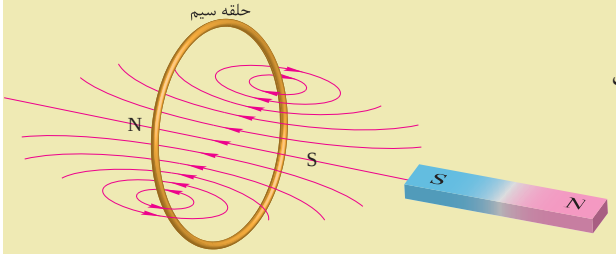
۱ ـ با توجه به شکل روبه‌رو جهت جریان القایی در حلقه را مشخص کنید.



۲ ـ برگشت‌پذیری فرایند تبدیل انرژی در ماشین‌های الکتریکی یعنی چه؟

۳ ـ قانون لنز را تعریف کنید.

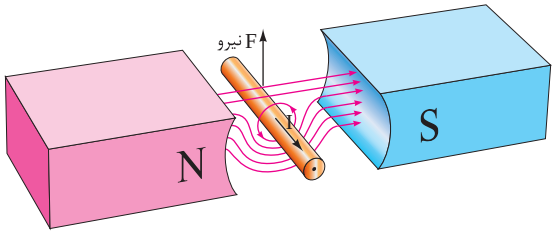
۴ ـ با توجه به شکل روبه‌رو جهت حرکت آهنربا را مشخص کنید.



۵ ـ 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 ۷۰)



شکل ۷۰

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 به‌سمت میدان ضعیف‌تر وارد می‌شود و هادی را به‌سمت بالا حرکت می‌دهد.

فعالیت

اگر جهت جریان الکتریکی هادی (شکل ۷۰) 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 میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را شرح و تفصیل داده است، «نیروی لورنس» می‌گویند.
مقدار نیروی مغناطیسی از رابطه زیر به‌دست 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]

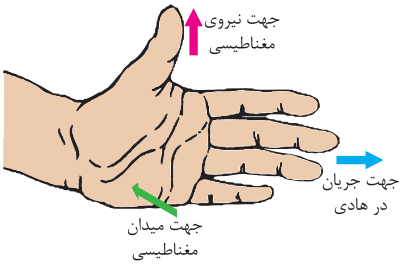
مثال: هادی به طول مؤثر ۲۰ [cm] در میدان مغناطیسی با چگالی فوران ۰/۸ $\left[\frac{wb}{m^2}\right]$ به طور عمود بر خطوط میدان مغناطیسی قرار دارد. اگر از این هادی جریان ۱۰ [A] عبور کند، نیروی مغناطیسی وارد بر این هادی چند نیوتن است؟

حل:
از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$F = BIL$$
$$F = ۰/۸ \times ۱۰ \times ۲۰ \times ۱۰^{-۲} = ۱/۶$$

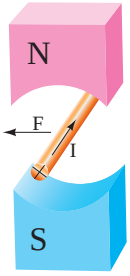
قانون دست چپ

برای تعیین جهت نیروی مغناطیسی، «قانون دست چپ» ارائه شده است. طبق این قانون اگر دست چپ خود را مطابق (شکل ۷۱) به گونه‌ای نگه دارید که فوران مغناطیسی از قطب N به کف دست وارد شود و انگشتان، جهت جریان الکتریکی هادی را نشان دهند، انگشت شست جهت نیروی مغناطیسی وارد به هادی را نشان می‌دهد.

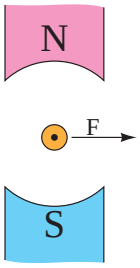


شکل ۷۱

جهت نیروی مغناطیسی هادی حامل جریان، درون میدان مغناطیسی، توسط قانون دست چپ در شکل‌های ۷۲ و ۷۳ تعیین شده است.



شکل ۷۲



شکل ۷۳

فعالیت

۱ـ جهت نیروی مغناطیسی شکل‌های ۷۴ و ۷۵ را با استفاده از قانون دست چپ تعیین کنید.

شکل ۷۴

شکل ۷۵

۲ـ با مقایسه جهت نیروی مغناطیسی شکل‌های زیر، چه نتیجه‌ای به‌دست می‌آید:

الف) شکل ۷۲ با شکل ۷۳:

.....

.....

ب) شکل ۷۲ با شکل ۷۴:

.....

.....

پ) شکل ۷۲ با شکل ۷۵:

.....

.....

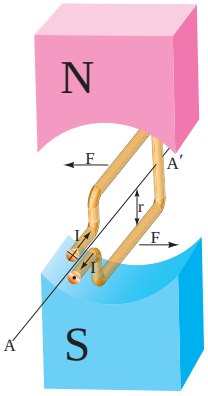
۳ـ جهت نیروی مغناطیسی وارد به هادی‌های حامل جریان (شکل‌های ۷۶ و ۷۷) را با کمک قانون دست چپ تعیین کنید.

شکل ۷۶

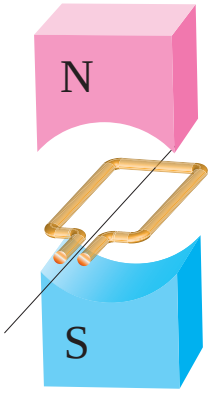
شکل ۷۷

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 ۷۸). 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[۱]» ایجاد می‌کنند و آن را حول محور می‌گردانند، لذا حلقه جابه‌جا می‌شود. (شکل ۷۹)



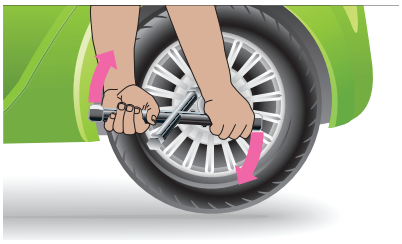
شکل ۷۸



شکل ۷۹

۱- Torque

گشتاور عامل گردش است. به‌طور مثال هنگامی‌که مکانیک برای بازکردن 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 ۸۰)



شکل ۸۰

در صورتی‌که مکانیک نتواند این آچارچرخ را بگرداند، آچاری که طول بازوهای آن بلندتر است را به‌کار می‌برد تا گشتاور آچار افزایش یابد و بگردد. (شکل ۸۱)

شکل ۸۱

فعالیت

۱ـ چگونگی گشتاور در (شکل ۸۲) را بررسی کنید.

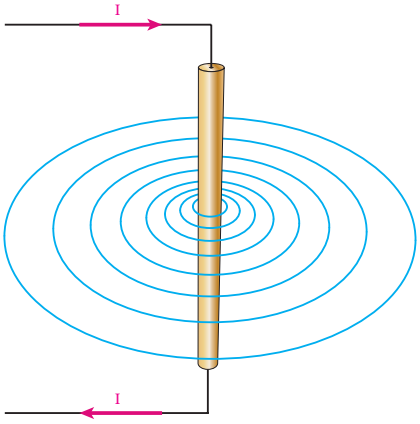
شکل ۸۲

۲ ـ دو فرمان اتومبیل در (شکل ۸۳) نشان داده شده است. گرداندن کدام‌یک راحت است؟ برای پاسخ خود دلیل بیاورید.

شکل ۸۳

خودالقایی

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 ۸۴)



شکل ۸۴

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 به‌وجود آورنده‌اش، تغییرات جریان مخالفت می‌نماید. پدیده خودالقایی در سیم‌پیچ‌ها نیز همانند پدیده خودالقایی توضیح داده می‌شود. نیروی محرکه خودالقایی متناسب با تغییرات جریان نسبت به زمان است و با رابطه زیر بیان می‌شود.

$$e \propto \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

برای تبدیل تناسب به تساوی در رابطه زیر از ضریبی به‌نام «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: جریان یک سیم‌پیچ با ضریب خودالقایی ۰/۵ هانری در مدت ۰/۲ ثانیه از صفر به ۲ آمپر می‌رسد. نیروی محرکه خودالقایی چند ولت است؟

حل:

تغییرات جریان برابر است با :

$$\Delta i = ۲ - ۰ = ۲[A]$$

تغییرات زمان برابر است با :

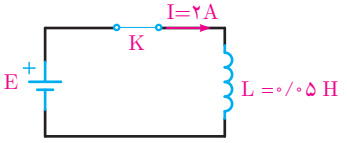
$$\Delta t = ۰/۲(s)$$

از رابطه زیر نیروی محرکه خودالقایی به‌دست می‌آید.

$$e = L\frac{\Delta i}{\Delta t}$$

$$e = ۰/۱ \times \frac{۲}{۰/۲} = ۱[v]$$

مثال: در مدار (شکل ۸۵) در صورت بازشدن کلید مقدار نیروی محرکه خودالقایی سیم‌پیچ در مدت ۰/۵ ثانیه چند ولت است؟



شکل ۸۵

حل : تغییرات جریان برابر است با :

$$\Delta i = ۰ - ۲ = -۲[A]$$

تغییرات زمان برابر است با:

$$\Delta t = ۰/۵[s]$$

از رابطه فوق نیروی محرکه خودالقایی به‌دست می‌آید:

$$e = L\frac{\Delta i}{\Delta t}$$

$$e = ۰/۵ \times \frac{-۲}{۰/۵} = -۲[v]$$

برای محاسبه ضریب خودالقایی سیم‌پیچ از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$L = \frac{\mu N^۲ A}{\ell}$$

که در این رابطه:

L ضریب خودالقایی سیم‌پیچ [H]

μ ضریب نفوذ مغناطیسی $\left[\frac{Wb}{A.m}\right]$

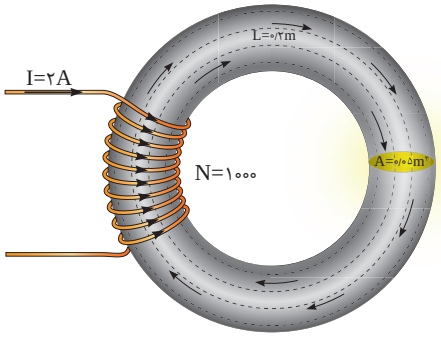
N تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ

A سطح مقطع هسته سیم‌پیچ $[m^۲]$

ℓ طول متوسط هسته [m] است.

مثال: ضریب خودالقایی سیم‌پیچ (شکل ۸۶) را به‌دست آورید.

$$(\mu = ۲\times ۱۰^{-۵}\ \frac{Wb}{A.m})$$



شکل ۸۶

حل:

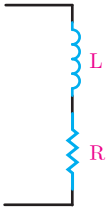
از رابطه فوق داریم.

$$L = \frac{\mu N^۲ A}{\ell}$$

$$L = \frac{۲\times ۱۰^{-۵} \times ۱۰۰۰^۲ \times ۰/۰۰۵}{۰/۲} = ۱H$$

مدار الکتریکی معادل سیم پیچ

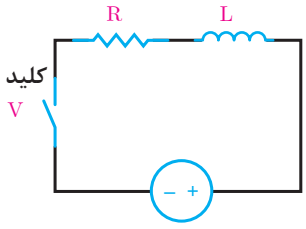
سیم‌پیچ علاوه بر ضریب خودالقایی L، مقاومت الکتریکی اهمی R نیز دارد. مقاومت الکتریکی اهمی ناشی از طول و سطح مقطع هادی سیم‌پیچ است و ضریب خودالقایی ناشی از نیروی محرکه خودالقایی می‌باشد که در اثر تغییرات جریان به‌وجود می‌آید. برای سیم‌پیچ مدار الکتریکی شامل اتصال سری مقاومت الکتریکی اهمی R و ضریب خودالقایی L معادل می‌نمایند. (شکل ۸۷)



شکل ۸۷

سیم‌پیچ در جریان مستقیم

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.



شکل ۸۸

مدار الکتریکی معادل یک سیم‌پیچ که توسط منبع جریان مستقیم تغذیه می‌شود در (شکل ۸۸) 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 به طور 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 سیم پیچ به ۶۳/۲ 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 :

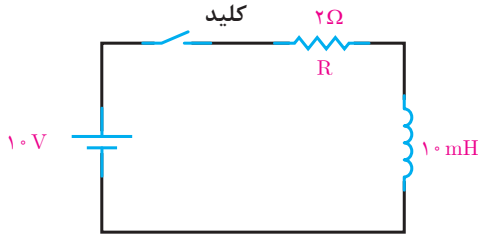
τ ثابت زمانی [s]

L ضریب خودالقایی [H]

R مقاومت الکتریکی [Ω] است.

تقریباً ۵ ثابت زمانی طول می‌کشد تا جریان در یک سیم‌پیچ به مقدار نهایی خود برسد.

مثال: در مدار شکل ۸۹ پس از بستن کلید، مدت زمانی که شدت جریان به مقدار نهایی خود می‌رسد را حساب کنید.



شکل ۸۹

حل:

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{۱۰}{۲} = ۵[ms]$$

$$t = ۵\tau = ۵ \times ۵ = ۲۵[ms]$$

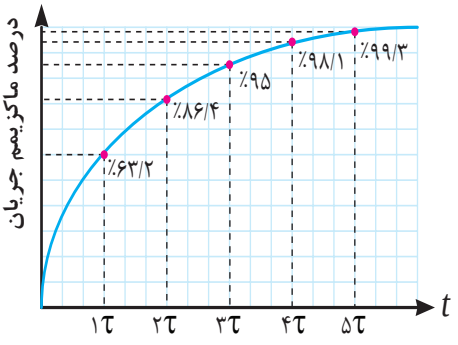
مثـال: در مثـال بـالا اگـر بوبینـی بـا اندوکتانـس ۲۰mH بـه جـای بوبیـن ۱۰ mH قـرار گیـرد، ثابـت زمانـی چگونـه تغییـر می‌کنـد؟

حل:

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{۲۰}{۲} = ۱۰[ms]$$

مشاهده می‌شود ثابت زمانی دو برابر می‌شود.

بـا بسـته شـدن کلیـد در ثابـت زمانـی اول جریانـی بـه انـدازه ۶۳/۲ درصـد کل جریـان نهایـی از سـیم‌پیچ می‌گـذرد. در ثابـت زمانـی دوم، جریـان بـه ۸۶/۴ درصـد می‌رسـد. در ثابت‌هـای زمانـی سـوم، چهـارم و پنجـم نیـز بـه همیـن ترتیـب، به‌طـوری کـه در ثابـت زمانـی پنجـم تقریبـاً بـه مقـدار نهایـی خـود می‌رسـد. منحنـی (شـکل ۹۰) رونـد تغییـرات جریـان تـا رسـیدن بـه مقـدار نهایی خـود بـه هنـگام بسـتن کلیـد مـدار (شـکل۸۸) را در هـر ثابـت زمانـی نشـان می‌دهـد.

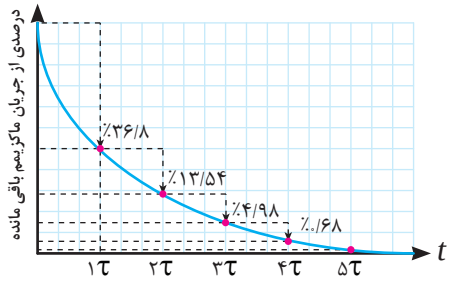


شکل ۹۰

رفتـار سـیم‌پیچ در ایـن ۵ ثابـت زمانـی را «حالـت گـذرا» و هنگامی‌کـه جریـان پـس از پنـج ثابـت زمانـی بـه مقـدار نهایـی خـود می‌رسـد را «حالـت پایـدار» سـیم‌پیچ گوینـد.

با باز شدن کلید مدار (شکل ۸۸) تغییرات جریان تا رسیدن به مقدار نهایی خود در هر ثابت زمانی در (شکل ۹۱) نشان داده شده است.

در ثابـت زمانـی اول جریـان بـه انـدازهٔ ۶۳/۲ درصـد از مقـدار ماکزیمـم کاهـش پیـدا می‌کنـد و بـه ۳۶/۸ درصـد می‌رسـد. در ثابـت زمانـی دوم بـه ۱۳/۶ درصـد می‌رسـد. در ثابت‌هـای زمانـی سـوم، چهـارم و پنجـم کاهـش جریـان بـه همیـن منـوال ادامـه پیـدا می‌کنـد و در ثابـت زمانـی پنجـم تقریبـاً بـه صفـر می‌رسـد.



شکل ۹۱

رفتـار سـیم‌پیچ در ایـن ۵ ثابـت زمانـی را «حالـت گـذرا» گوینـد. بعـد از ۵ ثابـت زمانـی جریـان سـیم‌پیچ بـه مقـدار نهایـی خـود می‌رسـد و ثابـت می‌شـود ضریـب خودالقایـی نیـز صفـر می‌شـود لـذا در مقـدار جریـان بی‌تأثیـر می‌شـود و سـیم‌پیچ بـه «حالـت پایـدار» می‌رسـد.

سیم‌پیچ در حالت متناوب

سیم‌پیچ در جریان متناوب علاوه بر مقاومت الکتریکی اهمی R، به دلیل تغییرات جریان ناشی از فرکانس نیروی محرکه خودالقایی نیز در آن به‌وجود می‌آید.
جریان متناوب باعث ایجاد فوران در سیم‌پیچ می‌شود و نیروی محرکه خودالقایی ایجاد می‌کند. این نیروی محرکه خودالقایی با جاری شدن جریان در سیم‌پیچ مخالفت می‌نماید. مخالفت سیم‌پیچ در مقابل عبور جریان متناوب الکتریکی ناشی از اثر خودالقایی را «مقاومت القایی» گویند و با X_L نشان می‌دهند و واحد آن اهم است. مقاومت القایی با ضریب خودالقایی ارتباط دارد و از رابطه زیر به‌دست می‌آید. در این رابطه:

$$X_L = 2\pi fL$$

X_L مقاومت القایی $[\Omega]$
f فرکانس $[HZ]$
L ضریب خودالقایی $[H]$ است.

مثال: مقاومت القایی یک سلف ۱۰ mH در فرکانس ۵۰ و ۶۰ 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، سیم‌پیچی است که از مقاومت الکتریکی R در مقایسه با مقاومت القایی X_L آن صرف‌نظر شده است. در مدارات الکتریکی سلف‌ها به صورت سری یا موازی با یکدیگر اتصال پیدا می‌کنند.

الف) اتصال سری سلف‌ها :

در اتصال سری سلف‌ها، ضریب خودالقایی کل برابر مجموع همه ضریب خودالقایی‌های موجود در مدار است که از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

مثال: سه سلف با ضریب خودالقایی ۲، ۴ و ۶ میلی هانری به‌صورت سری به یکدیگر متصل شده‌اند. ضریب خودالقایی کل را به‌دست 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 به‌دست می‌آید.

$$\frac{۱}{L_{eq}} = \frac{۱}{L_۱} + \frac{۱}{L_۲} + ... + \frac{۱}{L_n}$$

مثال: سه سلف با ضریب خودالقایی ۴، ۶ و ۱۲ میلی هانری به‌صورت موازی به یکدیگر متصل شده‌اند. ضریب خودالقایی کل را به‌دست آورید.

حل:

از رابطه زیر داریم:

$$\frac{۱}{L_{eq}} = \frac{۱}{L_۱} + \frac{۱}{L_۲} + \frac{۱}{L_۳}$$

$$\frac{۱}{L_{eq}} = \frac{۱}{۴} + \frac{۱}{۶} + \frac{۱}{۱۲}$$

$$\frac{۱}{L_{eq}} = \frac{۳+۲+۱}{۱۲}$$

$$\frac{۱}{L_{eq}} = \frac{۶}{۱۲}$$

$$L_{eq} = \frac{۱\times۱۲}{۶} = ۲mH$$

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

$$X_{L_{eq}} = X_{L_۱} + X_{L_۲} + ... + X_{L_n}$$

مدار موازی

$$\frac{۱}{X_{L_{eq}}} = \frac{۱}{X_{L_۱}} + \frac{۱}{X_{L_۲}} + ... + \frac{۱}{X_{L_n}}$$

مثال: 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 :

$$X_{L_{eq}} = X_{L_۱} + X_{L_۲}$$

$$X_{L_{eq}} = ۳ + ۶ = ۹[\Omega]$$

مثال: 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:

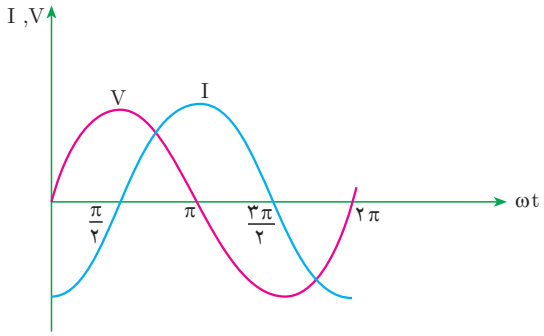
$$\frac{۱}{X_{L_{eq}}} = \frac{۱}{X_{L_۱}} + \frac{۱}{X_{L_۲}}$$

$$\frac{۱}{X_{L_{eq}}} = \frac{۱}{۳} + \frac{۱}{۶}$$

$$X_{L_{eq}} = ۲[\Omega]$$

منحنی جریان و ولتاژ سلف در جریان متناوب

جریان سلف از ولتاژ دو سر آن ۹۰° عقب‌تر است لذا سلف را یک عنصر«پس فاز» می‌شناسند. منحنی ولتاژ و جریان یک سلف در اتصال به منبع متناوب سینوسی در (شکل ۹۲) نشان داده شده است که در آن $\theta_i = -۹۰^\circ$ و $\theta_V = ۰$ می‌باشد.



شکل ۹۲

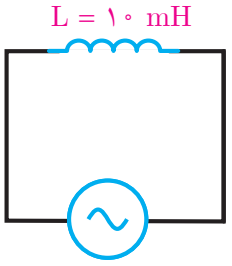
با توجه به (شکل ۹۲) معادلات زمانی ولتاژ و جریان به‌صورت زیر خواهد شد.

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + ۰)$$
$$i(t) = I_m \sin(\omega t - ۹۰^\circ)$$

و زاویه اختلاف فاز برابر خواهد شد :

$$\varphi = \theta_V - \theta_i$$
$$\varphi = ۰ - (-۹۰) = +۹۰$$

مثال: در مدار (شکل ۹۳) مطلوب است :



شکل ۹۳

$$v(t) = ۵۰ \sin(۱۰۰۰t)$$

الف) مقاومت القایی سلف

ب) جریان سلف

ج) معادله زمانی جریان سلف

حل :

الف) از رابطه x_L داریم.

$$x_L = ۲\pi fL = \omega L$$
$$x_L = ۱۰۰۰ \times ۱۰ \times ۱۰^{-۳} = ۱۰[\Omega]$$

ب) از قانون اهم داریم :

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

$$I_m = \frac{V_m}{x_L} = \frac{۵۰}{۱۰} = ۵[A]$$

از رابطه جریان مؤثر به‌دست می‌آید.

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۵}{\sqrt{۲}} = ۳/۵۴[A]$$

ج) جریان سلف از ولتاژ دو سر آن عقب‌تر است و داریم :

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \theta i)$$
$$i(t) = ۵\sin(۱۰۰۰t + ۹۰^\circ)$$

انرژی سلف

سلف انرژی الکتریکی را به‌صورت میدان مغناطیسی در خود ذخیره می‌سازد و ماکزیمم انرژی ذخیره شده در سلف از رابطه زیر به‌دست 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.

مثال: از یک سلف با ضریب خودالقایی ۰/۲ هانری جریان متناوب سینوسی به معادله زمانی

$$i(t) = 4\sin(500t - 90^\circ)$$

می‌گذرد. ماکزیمم انرژی ذخیره شده در سلف چند ژول است؟

حل : از رابطه داریم:

$$W_L = \frac{1}{2} L I_m^2$$

$$W_L = \frac{1}{2}(0/2)(4)^2 = 1/6[j]$$

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 آمپرراکتیو» «VAR» است. توان الکتریکی سلف از رابطه زیر به‌دست 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[Ω]

I_L جریان سلف [A] است.

مثال: 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:

$$Q_L = +X_L I_L^2$$

$$Q_L = +4 \times 3^2 = +36[VAR]$$

پرسش

۱ـ مقدار نیروی مغناطیسی از رابطه ..... به‌دست می‌آید.
۲ ـ برای تعیین ..... قانون دست چپ ارائه شده است.
۳ـ خودالقایی و ضریب خودالقایی را تعریف کنید.
۴ـ تغییرات جریان چه اثراتی بر سیم‌پیچ می‌گذارد؟
۵ـ عوامل مؤثر بر مقدار ضریب خودالقایی کدام است؟
۶ـ انرژی ذخیره‌شده در سلف یعنی چه؟
۷ـ رابطه فازی بین ولتاژ و جریان یک سلف چیست؟
۸ـ موقعیت جریان و ولتاژ سلف چگونه است؟
۹ـ توان الکتریکی سلف را تعریف کنید.
۱۰ـ چرا سلف را یک عنصر پس‌فاز می‌نامند؟
۱۱ـ مقاومت القایی سلف را تعریف کنید. رابطه آن را بنویسید. عوامل مؤثر بر آن را نام ببرید.
۱۲ـ ثابت زمانی سلف را تعریف کنید. چه مدت طول می‌کشد تا جریان سلف به مقدار نهایی خود برسد؟
۱۳ـ نشان دهید واحد ثابت زمانی برحسب ثانیه می‌باشد.

تمرین

۱ـ نیروی وارد به یک هادی حامل جریان الکتریکی ۲ آمپر در میدان مغناطیسی ۰/۵ تسلا برابر ۰/۱ نیوتن است. طول مؤثر هادی چند متر است؟
۲ـ سیم‌پیچی به طول ۵۰ سانتی‌متر و سطح مقطع ۰/۰۲ 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 سیم‌پیچ باید چند دور شود؟
۳ـ دو بوبین با ضریب خودالقایی ۱۰۰ میلی هانری را یک بار به طور سری و بار دیگر به طور موازی به هم وصل می‌کنیم. ضریب خودالقایی کل در هر دو حالت چقدر می‌شود؟
۴ـ ضریب خودالقایی سیم‌پیچی ۲۰mH و جریان عبوری از آن ۱۰آمپر است. چه مقدار انرژی در سیم‌پیچ ذخیره می‌شود؟
۵ـ چهار سلف با ضریب‌های 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 به‌دست آورید.
۶ـ از یک سلف با ضریب خودالقایی ۱۰ mH جریان متناوبی با فرکانس ۵۰ هرتز عبور می‌کند. مقاومت القایی سلف چند اهم است؟ اگر فرکانس به یک کیلو هرتز تغییر یابد، مقاومت القایی سلف چند اهم می‌شود؟
۷ـ در یک سلف با ضریب خودالقایی ۳ میلی هانری، جریان در مدت دو ثانیه از یک آمپر به ۷ آمپر افزایش می‌یابد ولتاژ خودالقایی در سلف چند میلی‌ولت است؟ اگر ضریب خودالقایی ۳ هانری باشد، ولتاژ القایی چند میلی ولت می‌شود؟
۸ـ یک سلف با ضریب خودالقایی ۲ هانری و مقاومت اهمی۰/۵ اهمی‌در دست است. اگر این سلف را به ولتاژ ۱/۵ولت مستقیم وصل کنید، ماکزیمم جریان مدار چند آمپر می‌شود؟ چه مدت زمانی طول می‌کشد تا

جریان ماکزیمم شود؟

۹ـ توان الکتریکی یک سلف VAR ۱۰ می‌باشد در صورتی که جریان سلف ۲A باشد مقاومت القایی سلف را به‌دست آورید.

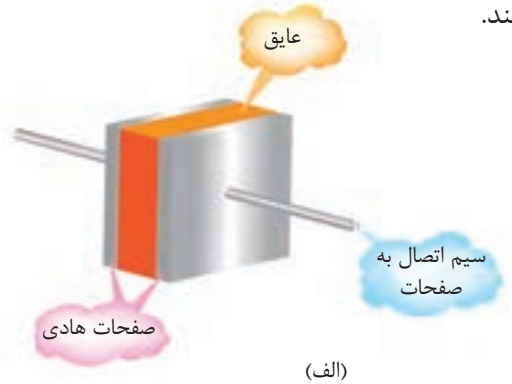
۱۰ـ بیشترین انرژی ذخیره شده در یک سلف باضریب خود القایی ۵۰ میلی هانری که جریان مؤثر عبوری از آن $۲\sqrt{۲}$ آمپر است را محاسبه کنید.

واحد یادگیری ۱۰

خازن

خازن

خـازن تشـکیل شـده اسـت از دو صفحـه هـادی کـه بیـن آنهـا عایـق[1] قـرار دارد. عایـق خازن‌هـا را «دی‌الکتریـک» نیـز می‌گوینـد. جنـس دی‌الکتریـک می‌توانـد هـوا، خـلأ، کاغـذ، میـکا و ... باشـد. خازن را با علامت اختصاری (شکل ۹۴ـ ب) نشان می‌دهند.



(الف)

نمای الکترون خازن

(ب)

شکل ۹۴

خـازن در لغـت بـه معنـای ذخیره‌سـاز اسـت زیـرا انـرژی الکتریکـی را به‌صـورت میـدان الکترواسـتاتیکی در خـود ذخیـره می‌کنـد.

ظرفیت خازن

ظرفیـت خـازن نسـبت بـار الکتریکـی ذخیـره شـده بـه اختـلاف پتانسـیل صفحـات می‌باشـد و آن را بـا C نشـان می‌دهنـد و واحـد آن $\frac{\text{کولن}}{\text{ولت}}$ می‌باشـد کـه بـه احتـرام مایـکل فـاراد بـه آن «فـاراد» گوینـد و بـا حـرف F نشـان می‌دهنـد.

یـک فـاراد ظرفیـت خازنـی اسـت کـه هـرگاه اختـلاف پتانسـیل یـک ولـت بیـن صفحـات آن ایجـاد شـود بـار الکتریکـی یـک کولـن در آن ذخیـره شـده اسـت. ظرفیـت خـازن از رابطـه زیـر بـه دسـت می‌آیـد:

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

در این رابطه:

C ظرفیت خازن برحسب فاراد [F]

q بار ذخیره شده برحسب کولن [C]

V اختلاف پتانسیل برحسب ولت [V] است.

مثـال: یـک خـازن در اثـر اعمـال ۲۰ ولـت بـه دو سـر آن بـار الکتریکـی معـادل ۸۰ کولـن را ذخیـره می‌کنـد. ظرفیـت خـازن چقـدر اسـت؟

حل :

$$C = \frac{q}{V} \qquad C = \frac{۸۰}{۲۰} = ۴[F]$$

۱ـ Dielectric

مثـال: خازنـی بـا ظرفیـت ۴۰μF را بـه ولتـاژ ۵۰ ولـت اتصـال می‌دهیـم . مقـدار بـار الکتریکـی ذخیـره شـده چقـدر اسـت ؟

حل :

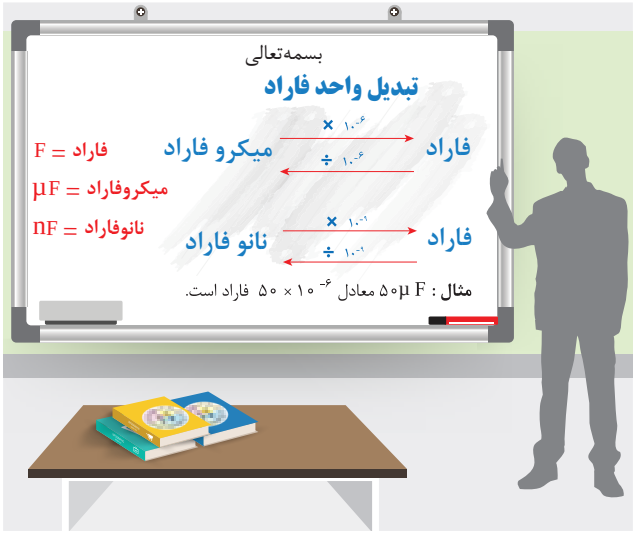
$$q = CV$$

$$q = ۴۰\times۱۰^{-۶}\times۵۰ = ۲۰۰۰[\mu C]$$

مثال: یک خازن ۱۰μF با بار ۱۰μC چقدر اختلاف پتانسیل دارد؟

حل :

$$V = \frac{q}{C} \qquad V = \frac{۱۰\times۱۰^{-۶}}{۱۰\times۱۰^{-۶}} = ۱[V]$$



عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن

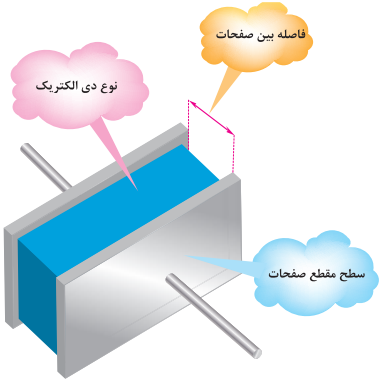
مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعیین ظرفیت خازن عبارت‌اند از:

۱ـ مساحت صفحات هادی

۲ـ فاصله بین صفحات هادی

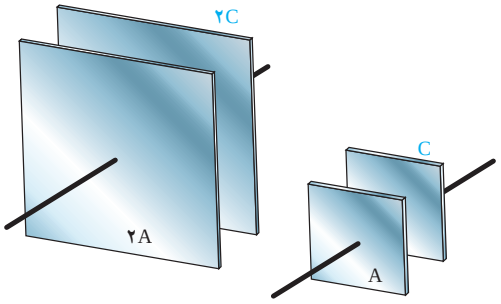
۳ـ جنس عایق یا دی‌الکتریک

ظرفیـت خـازن متناسـب بـا مسـاحت صفحـات و فاصلـه صفحـات از یکدیگـر می‌باشـد بـه طـوری کـه ظرفیـت خـازن بـا مسـاحت صفحـات نسـبت مسـتقیم و بـا فاصلـه صفحـات از یکدیگـر نسـبت عکـس دارد (شـکل ۹۵).



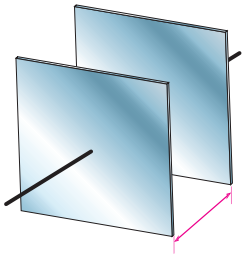
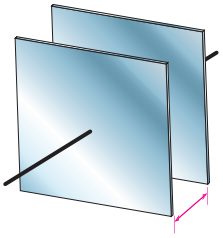
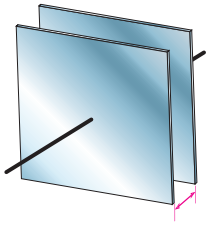
شکل ۹۵ـ عوامل مؤثر برظرفیت خازن

هـر چـه مسـاحت صفحـات هـادی بزرگ‌تـر باشـد بـار الکتریکـی بیشـتری را در خـود ذخیـره می‌کنـد. بنابرایـن خـازن بـا صفحـات بزرگ‌تـر ظرفیـت بیشـتری خواهـد داشـت. (شـکل ۹۶)



شکل ۹۶ـ تأثیر مساحت صفحات بر ظرفیت خازن

هـر چـه فاصلـه صفحـات از یکدیگـر بیشـتر باشـد ظرفیـت خـازن کمتـر خواهـد شـد لـذا خـازن بـا فاصلـه صفحـات کمتـری دارای ظرفیـت بیشـتری خواهـد شـد. (شـکل ۹۷)

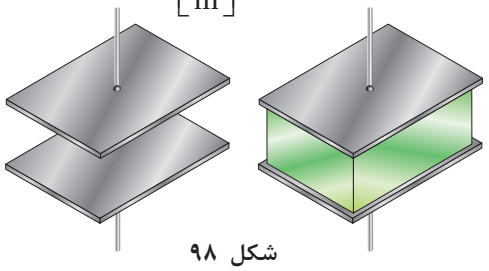
ظرفیت کم	ظرفیت متوسط	ظرفیت زیاد
		
فاصله صفحات زیاد	فاصله صفحات متوسط	فاصله صفحات کم

شکل ۹۷ـ تأثیر فاصلهٔ بین صفحات بر ظرفیت خازن

جنـس و کیفیـت عایـق یـا دی‌الکتریـک بیـن صفحـات بـاردار خـازن اثـر مسـتقیم بـر ظرفیت خـازن دارد. دی‌الکتریـک خـوب و بـا کیفیـت دی‌الکتریکـی اسـت کـه بتوانـد نیـروی کولنـی بیـن بارهـای الکتریکـی ذخیره‌شـده بـر روی صفحـات بـاردار خـازن را تحمـل کنـد و خاصیـت عایقـی خـود را از دسـت ندهـد (شـکل ۹۸).

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 ε نشان می‌دهند. ضریب نفوذ الکتریکی هوا را با ε_0 نشان می‌دهند و برابر است با:

$$\varepsilon_0 = 8/85 \times 10^{-12} \left[\frac{F}{m}\right]$$



شکل ۹۸

نسبت ضریب نفوذ عایق‌های الکتریکی به ضریب نفوذ الکتریکی هوا را «ضریب نفوذ نسبی» گویند و با ε_r نشان می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

ضریب نفوذ نسبی تعدادی از عایق‌های الکتریکی در جدول نشان داده شده است.

جدول ضریب نفوذ نسبی عایق‌ها

نوع عایق	ضریب نفوذ نسبی عایق‌ها(ε_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 و فاصله آنها از یکدیگر و جنس عایق از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

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

که در آن:

C ظرفیت خازن برحسب [F]

$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ ضریب نفوذ الکتریکی عایق برحسب $\left[\frac{F}{m}\right]$

A مساحت صفحات برحسب $[m^2]$

d فاصله بین صفحات برحسب [m] است.

مثال: 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 (ε_r) برای میکا برابر ۵ است. همچنین می‌دانیم که ضریب نفوذ نسبی هوا برابر است با $\varepsilon_0 = 8/85 \times 10^{-12}$

بنابراین با توجه به مقادیر داده شده، مقدار C ظرفیت خازن را به دست می‌آوریم.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

$$\varepsilon = 8/85 \times 10^{-12} \left[\frac{F}{m}\right]$$

$$A = 0/05 m^2$$

$$d = 0/1 \times 10^{-2} m^2$$

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

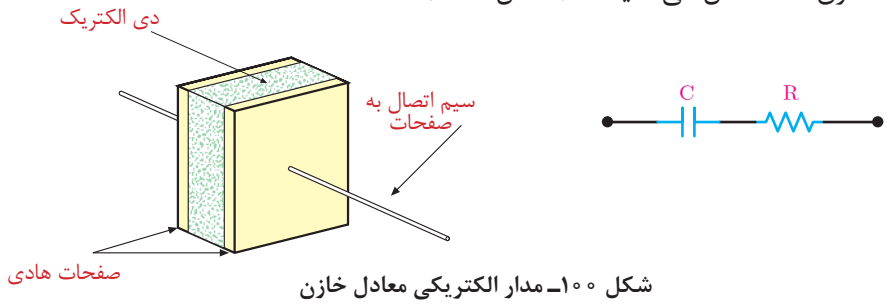
$$C = \frac{8/85 \times 10^{-12} \times 5 \times 0/05}{0/1 \times 10^{-2}} = 0/00221 \mu f$$

از جمله مشخصه‌های دیگر خازن ولتاژ کار آن است که همراه با ظرفیت روی بدنه خازن نوشته می‌شود. در (شکل ۹۹) خازن با تحمل ولتاژ ۴۰۰ ولت DC و ظرفیت ۱۰۰ میکرو فاراد نشان داده شده است.

شکل ۹۹

مدار الکتریکی معادل خازن

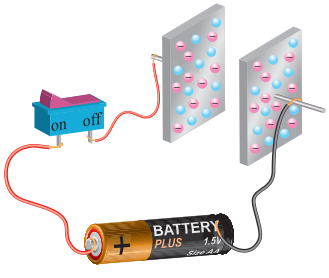
خازن علاوه بر ظرفیت C، مقاومت الکتریکی R نیز دارد. مقاومت الکتریکی ناشی از سطح مقطع و ضخامت صفحات خازن است. برای خازن مدار الکتریکی شامل اتصال سری مقاومت الکتریکی R و ظرفیت خازن C معادل می‌نمایند. (شکل ۱۰۰)



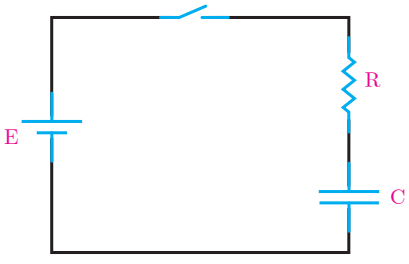
شکل ۱۰۰ـ مدار الکتریکی معادل خازن

خازن در جریان مستقیم

یک خازن که توسط منبع جریان مستقیم تغذیه می‌شود در (شکل ۱۰۱) و مدار الکتریکی معادل آن در (شکل ۱۰۲) نشان داده شده است.

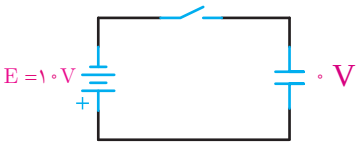
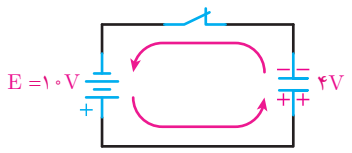


شکل ۱۰۱



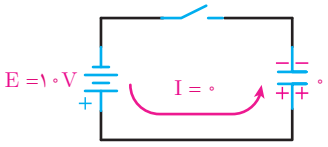
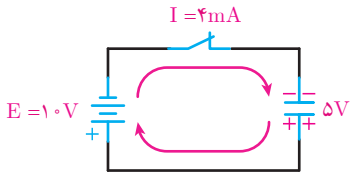
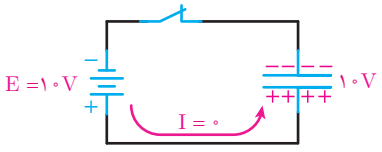
شکل ۱۰۲

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 ۱۰۳)

وقتی کلید باز است هیچ جریانی از مدار نمی‌گذرد و خازن شارژ نمی‌شود.	
وقتی کلید بسته می‌شود جریان در مدار برقرار می‌شود و صفحات خازن باردار خواهد شد و خازن شارژ می‌شود.	

شکل ۱۰۳

مادامی‌که 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 ۱۰۴) این مطلب را به روشنی نشان می‌دهد.

مدار باز بوده، جریان نمی‌گذرد	
خازن درحال شارژ	
خازن کاملاً شارژ شده و جریان نمی‌گذرد	

شکل ۱۰۴

در شکل ۱۰۷ با وصل کلید، شارژ خازن شروع می‌شود. مدت زمانی را که طول می‌کشد تا ولتاژ خازن به ٪۶۳/۲ ولتاژ نهایی برسد، ثابت زمانی خازن می‌گویند و آن را با حرف τ نشان می‌دهند. مقدار τ از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\tau = R\,C$$

که در آن τ ثابت زمانی خازن برحسب [S]

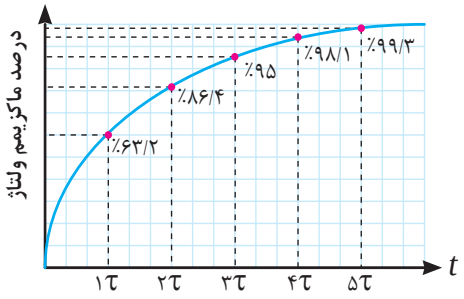
R مقاومت الکتریکی برحسب [Ω]

C ظرفیت خازن برحسب [F] است.

در هر ثابت زمانی بعدی، خازن به اندازه ۶۳/۲ درصد از ولتاژ باقی‌مانده شارژ می‌شود. مدت زمانی که طول می‌کشد تا خازن شارژ کامل شود، از رابطه $t = 5\tau$ قابل محاسبه است در این رابطه:

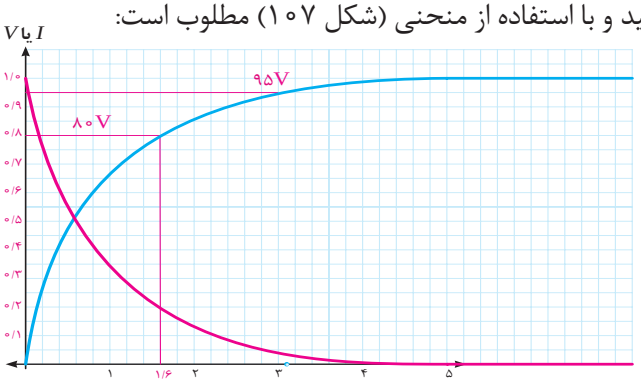
τ ثابت زمانی خازن [s]

و t مدت زمان شارژ کامل است (شکل ۱۰۵).

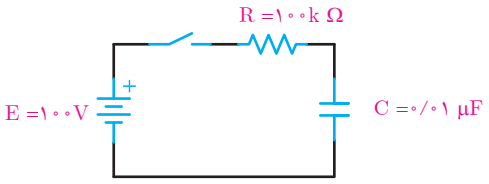


شکل ۱۰۵ـ منحنی شارژ خازن

مثال۵: در مدار (شکل ۱۰۶) پس از بستن کلید و با استفاده از منحنی (شکل ۱۰۷) مطلوب است:



شکل ۱۰۷



شکل ۱۰۶

الف) چه مدت طول می‌کشد تا ولتاژ دو سر خازن به ۸۰ ولت برسد؟

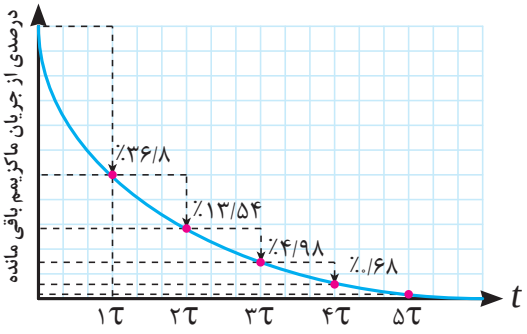
ب) بعد از ۳ میلی‌ثانیه، ولتاژ دو سر خازن چه مقدار می‌شود؟

حل :

ثابت زمانی مدار

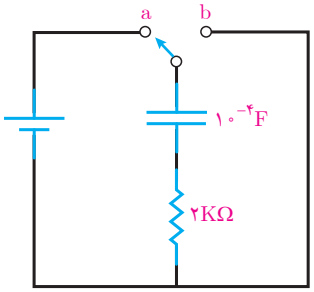
$$\tau = RC = ۱۰۰\times۱۰^{۳}\times۰/۰۱\times۱۰^{-۶} = ۱\text{ms}$$

در یک ثابت زمانی یا یک میلی‌ثانیه، خازن به اندازهٔ ۶۳/۲ درصد ولتاژ کل ـ یعنی ۶۳/۲ ولت، شارژ می‌شود. اگر بخواهیم خازن ۸۰ ولت شارژ شود، چنین عمل می‌کنیم:
از روی محور عمودی که ولتاژ را نشان می‌دهد، مقدار ۸۰ ولت را پیدا می‌کنیم و خطی موازی محور زمان (افقی) می‌کشیم تا منحنی شارژ را قطع کند. از آنجا نیز خطی موازی محور عمودی (ولتاژ) رسم می‌کنیم تا محور زمان را قطع کند. محل تقاطع محور زمان عدد $1/6\tau$ را نشان می‌دهد؛ یعنی، ۱/۶ میلی‌ثانیه طول می‌کشد تا خازن به مقدار ۸۰ ولت شارژ شود.
در ۳ میلی‌ثانیه یا ۳ ثابت زمانی، ولتاژ دو سر خازن به ۹۵ ولت می‌رسد. چرا ؟ با رسم خطوطی موازی محورهای مختصات، همان‌طور که قبلاً گفته شد ـ مقدار ۹۵ ولت به دست می‌آید.
با اتصال خازن شارژ شده به یک مقاومت، خازن انرژی ذخیره شده خود را در مقاومت به حرارت تبدیل می‌کند تا دشارژ شود پس از دشارژ کامل خازن ولتاژ صفر می‌شود. مدت زمانی که طول می‌کشد تا خازن دشارژ کامل شود نیز برابر 5τ است. در ثابت زمانی اول ۶۳/۲ درصد از شارژ کامل خازن از بین می‌رود و در ثابت زمانی‌های بعدی به ترتیب ۶۳/۲ درصد از شارژ باقی‌مانده تخلیه می‌شود. در انتهای ۵ ثابت زمانی، خازن کاملاً تخلیه شده است (شکل ۱۰۸).



شکل ۱۰۸ـ منحنی دشارژ خازن

مثال: مدار (شکل ۱۰۹) کلید مدت زیادی در وضعیت a قرار داشته است پس از تغییر حالت کلید به وضعیت b چه مدت طول می‌کشد تا خازن دشارژ کامل شود؟



شکل ۱۰۹

حل:
مدت زمانی که طول می‌کشد تا خازن به‌طور کامل دشارژ شود از رابطه $t=5\tau$ به دست می‌آید.

$\tau = R\,C = ۲ \times ۱۰^{۳} \times ۱۰^{-۴} = ۰/۲s$

$t=5\tau = ۵ \times ۰/۲ = ۱s$

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[1] 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:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fc}$$

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 ۵۰ هرتز مفروض است مقاومت خازنی آن چند اهم است؟

حل : از رابطه (۴-۱۳) داریم:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fc}$$

$$X_C = \frac{1}{2\times 3/14\times 50\times 100\times 10^{-6}} = 31/85[\Omega]$$

اتصال خازن ها

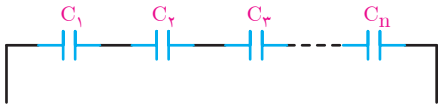
برای سادگی محاسبات از مقاومت الکتریکی R مربوط به صفحات هادی در مقایسه با مقاومت خازنی صرف‌نظر می‌شود و مدار الکتریکی معادل خازن مطابق (شکل ۱۱۰) در نظر گرفته می‌شود.

شکل ۱۱۰

الف) اتصال سری خازن‌ها

ظرفیت خازن معادل C_t چند خازن با اتصال سری (شکل ۱۱۱) از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \cdots + \frac{1}{C_n}$$



شکل ۱۱۱

۱- Capacitor Reactance

مثال: ظرفیت خازن معادل خازن‌های (شکل ۱۱۲) را به دست آورید.

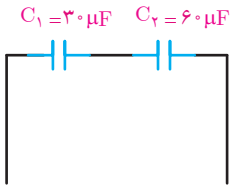
حل:

$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۱}{C_۱}+\frac{۱}{C_۲}$$

$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۱}{۳۰}+\frac{۱}{۶۰}$$

$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۲+۱}{۶۰}=\frac{۳}{۶۰}$$

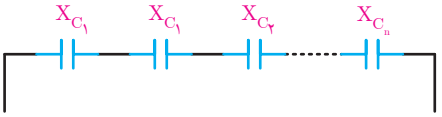
$$C_{eq}=\frac{۶۰}{۳}=۲۰\mu F$$



شکل ۱۱۲

مقاومت خازنی معادل X_c خازن‌های اتصال سری (شکل ۱۱۳) از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$X_{Ceq}=X_{C_۱}+X_{C_۲}+\cdots+X_{Cn}$$



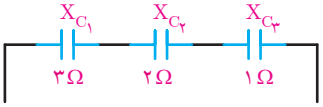
شکل ۱۱۳

مثال: مقاومت خازنی معادل (شکل ۱۱۴) را به‌دست آورید.

حل:

$$X_{Ceq}=X_{C_۱}+X_{C_۲}+X_{C_۳}$$

$$X_{Ceq}=۳+۲+۱=۶\Omega$$



شکل ۱۱۴

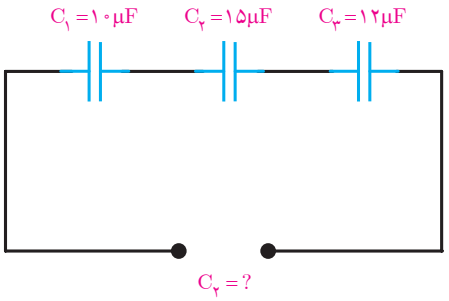
مثال: ظرفیت معادل مدار (شکل ۱۱۵) را به دست آورید.

حل:

$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۱}{C_۱}+\frac{۱}{C_۲}+\frac{۱}{C_۳}$$

$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۱}{۱۰}+\frac{۱}{۱۵}+\frac{۱}{۱۲}=\frac{۶+۴+۵}{۶۰}=\frac{۱۵}{۶۰}$$

$$C_t=\frac{۱۶۰}{۱۵}=۴[\mu F]$$

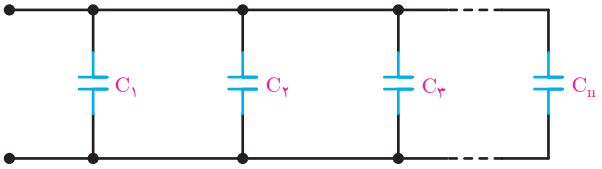


شکل ۱۱۵

ب) اتصال موازی خازن‌ها

ظرفیت خازن معادل C_{eq} چند خازن با اتصال موازی (شکل ۱۱۶) از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

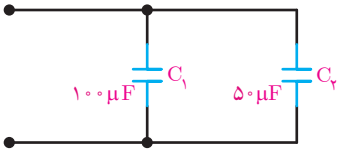
$$C_{eq} = C_۱ + C_۲ + \cdots + C_n$$



شکل ۱۱۶

مثال: ظرفیت خازن معادل خازن‌های (شکل ۱۱۷) را به‌دست آورید.

حل:



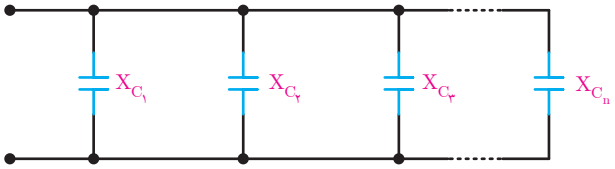
شکل ۱۱۷

$$C_{eq} = C_۱ + C_۲$$

$$C_t = ۱۰۰ + ۵۰ = ۱۵۰\mu f$$

مقاومت خازنی معادل X_{C_t} خازن‌ها با اتصال موازی (شکل ۱۱۸) از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

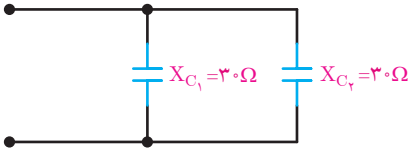
$$\frac{۱}{X_{C_{eq}}} = \frac{۱}{X_{C_۱}} + \frac{۱}{X_{C_۲}} + \frac{۱}{X_{C_۳}} + \cdots + \frac{۱}{X_{C_n}}$$



شکل ۱۱۸

مثال: مقاومت خازنی معادل خازن‌های (شکل ۱۱۹) را به دست آورید.

حل:



شکل ۱۱۹

$$\frac{۱}{X_{C_{eq}}} = \frac{۱}{X_{C_۱}} + \frac{۱}{X_{C_۲}}$$

$$\frac{۱}{X_{C_{eq}}} = \frac{۱}{۳۰} + \frac{۱}{۳۰}$$

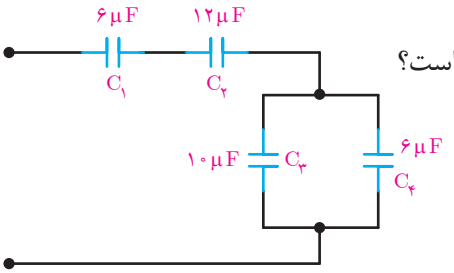
$$\frac{۱}{X_{C_{eq}}} = \frac{۲}{۳۰}$$

$$X_{C_{eq}} = \frac{۳۰}{۲} = ۱۵\Omega$$

اتصال مختلط خازن‌ها

در اتصال مختلط خازن‌ها از روابط اتصال سری و موازی متناسب استفاده می‌کنیم.

مثال: ظرفیت خازن معادل مدار (شکل ۱۲۰) چند میکروفاراد است؟



شکل ۱۲۰

حل :

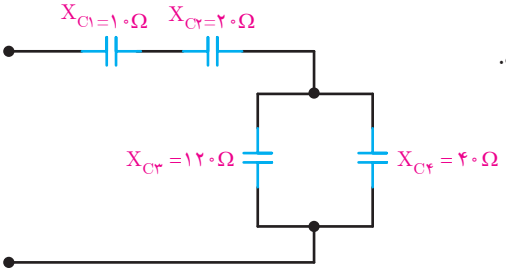
در این مدار C_1 و C_2 سری است که روابط سری را درباره این دو عمل می‌کنیم. C_3 و C_4 نیز با هم موازی‌اند و روابط موازی را دربارهٔ آنها عمل می‌کنیم. در نهایت، مجموعه C_1 و C_2 با مجموعه C_3 و C_4 سری هستند و از قوانین سری پیروی می‌کنند. بنابراین، می‌توان نوشت:

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

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

$$C_5 = \frac{4 \times 16}{4 + 16} = \frac{16}{5} = 3/2\mu F$$

مثال: مقاومت خازنی معادل (شکل ۱۲۱) را به‌دست آورید.



شکل ۱۲۱

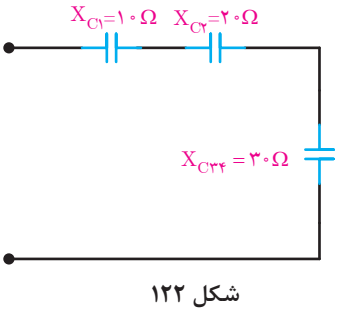
حل :

$$\frac{1}{X_{C_{34}}} = \frac{1}{X_{C_3}} + \frac{1}{X_{C_4}}$$

$$\frac{1}{X_{C_{34}}} = \frac{4}{120}$$

$$X_{C_{34}} = \frac{120}{4} = 30\Omega$$

مدار به (شکل ۱۲۲) در می‌آید.



شکل ۱۲۲

اکنون معادل سری X_{C_1}، X_{C_2} و $X_{C_{34}}$ را به دست می‌آوریم.

$$X_{C_{eq}} = X_{C_1} + X_{C_2} + X_{C_{34}}$$

$$X_{C_{eq}} = 10 + 20 + 30 = 60\Omega$$

انرژی خازن

خازن انرژی الکتریکی را به صورت میدان الکتریکی در خود ذخیره می‌سازد و ماکزیمم انرژی ذخیره‌شده در خازن از رابطه زیر به‌دست می‌آید :

که در این رابطه :

$$W_C = \frac{1}{2} C V_m^2$$

W_C ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن (j)

C ظرفیت خازن (F)

V_m ماکزیمم ولتاژ خازن (V) است.

مثال: به یک خازن با ظرفیت ۵۰ میکروفاراد ولتاژ متناوب سینوسی به معادله زمانی $v(t) = 100\sin(1000t)$ وصل شده است. ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن چند ژول است؟

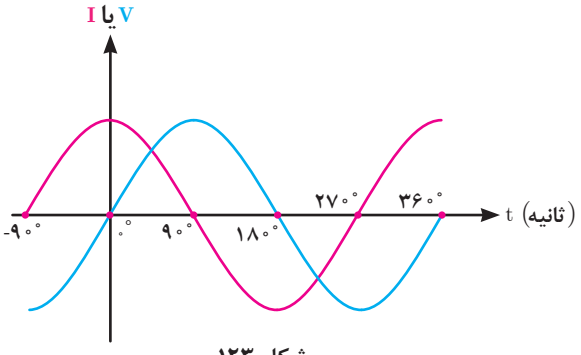
حل :

$$W_C = \frac{1}{2} C V_m^2$$

$$W_C = \frac{1}{2} \times 50 \times 10^{-6} \times (100)^2 = 0/25[j]$$

منحنی جریان و ولتاژ خازن در جریان متناوب

جریان خازن از ولتاژ دو سر آن ۹۰ جلوتر است لذا خازن را یک عنصر«پیش‌فاز» می‌شناسند. منحنی ولتاژ و جریان خازن در اتصال به منبع متناوب سینوسی در (شکل ۱۲۳) نشان داده شده است که در آن $\theta_v = 0$ و $\theta_i = 90$ می‌باشد.



شکل ۱۲۳

با توجه به (شکل ۱۲۳) 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 ϕ برابر خواهد شد.

$$\phi = \theta_V - \theta_i$$

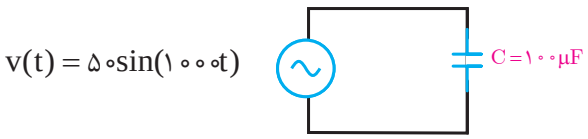
$$\phi = 0 - (90) = -90^\circ$$

مثال : در مدار (شکل ۱۲۴) مطلوب است :

الف) مقاومت خازنی

ب) جریان خازن

ج) معادله زمانی جریان خازن



شکل ۱۲۴

حل:

الف) از رابطه زیر داریم :

$$X_C = \frac{۱}{C\omega}$$

$$X_C = \frac{۱}{۱۰۰\times۱۰^{-۶}\times۱۰۰۰} = ۱۰[\Omega]$$

ب) از قانون اهم داریم :

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

$$I_m = \frac{V_m}{X_C} = \frac{۵۰}{۱۰} = ۵[A]$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۵}{\sqrt{۲}} = ۳/۵۴[A]$$

جریان خازن از ولتاژ دو سر آن ۹۰ درجه جلوتر است لذا داریم:

$$i(t) = ۵\sin(۱۰۰۰t + ۹۰)$$

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 به‌دست می‌آید و آن را با علامت منفی نشانه‌گذاری می‌کنند.

$$Q_c = -X_c I_c^۲$$

که در این رابطه :

Q_c توان الکتریکی خازن [VAR]

X_c مقاومت خازنی [Ω]

I_C جریان خازنی [A] است.

مثال: یک مقاومت خازنی ۲ اهم با جریان مؤثر ۴ آمپر مفروض است. توان الکتریکی خازن چقدر است؟

حل :

$$Q_c = -X_c I_c^۲$$

$$Q_c = -۲\times۴^۲ = -۳۲(VAR)$$

پرسش

۱ـ خازن را تعریف کنید و عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن را نام ببرید.

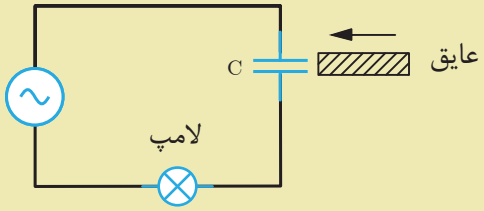
۲ـ ثابت زمانی خازن را تعریف کنید؟ چه مدت طول می‌کشد تا خازن در مدار پایدار شود؟

۳ـ مقاومت خازنی را تعریف کنید؟ به چه عواملی بستگی دارد؟

۴ـ توان الکتریکی خازن را تعریف کنید؟ چرا آن را توان راکتیو می‌نامند؟

۵ـ چرا خازن را یک عنصر پیش‌فاز تعریف می‌کنند؟ منحنی سینوسی جریان و ولتاژ خازن را رسم کنید.

۶ـ در شکل زیر با قرار دادن عایق بین صفحات خازن نور لامپ چه تغییری می‌کند؟ چرا؟



تمرین

۱ـ مساحت صفحات یک خازن $۱۰cm^۲$ و فاصله صفحات آن ۴mm می‌باشد. در هر حالت زیر ظرفیت خازن را حساب کنید.

الف) عایق بین صفحات هوا باشد.

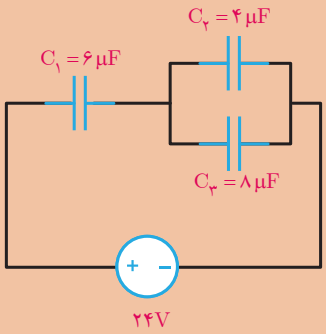
ب) عایق بین صفحات از نوع میکا باشد.

۲ـ خازنی به ظرفیت $۵۰\mu F$ را به یک باتری ۱۲V متصل می‌کنیم بار الکتریکی ذخیره شده در آن چند کولن است؟

۳ـ در شکل زیر مطلوب است:

الف) ظرفیت معادل (C_{eq}) چند میکروفاراد است؟

ب) بار الکتریکی و ولتاژ هر خازن

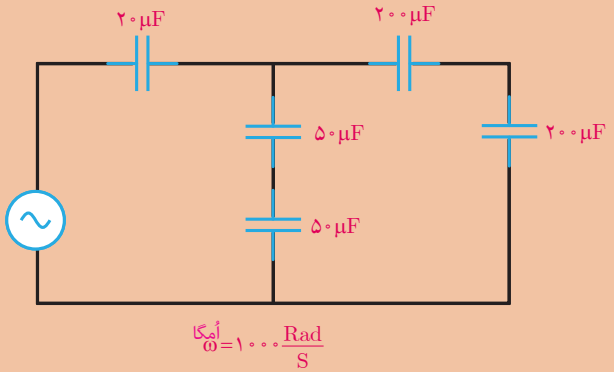


۴ـ در شکل صفحه بعد مطلوب است:

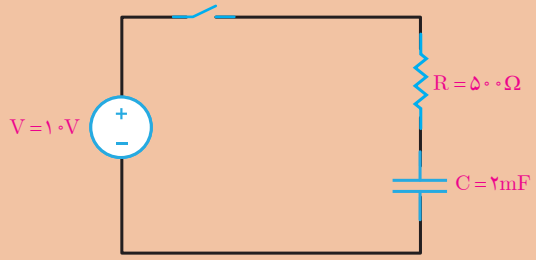
الف) محاسبه C_{eq}

ب) محاسبه X_{ceq}

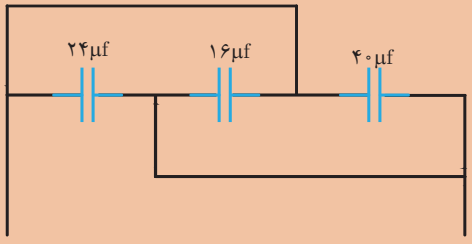
ج) اگر $\omega = ۵۰۰\frac{Rad}{s}$ باشد در این حالت C_{eq} و X_{ceq} را حساب کنید.



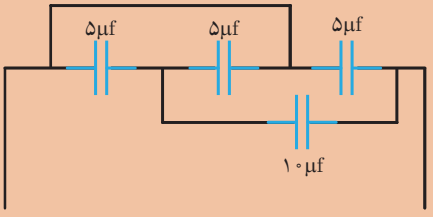
۵ـ در شکل زیر پس از بستن کلید چه مدت طول می‌کشد تا خازن به حالت پایدار برسد؟ در این حالت ولتاژ خازن چقدر است؟



۶ـ ظرفیت معادل در شکل‌های 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 $v(t)=۱۰۰\sin(۱۰۰۰t+۰)$ و $i(t)=۵\sin(۱۰۰۰t+۹۰^\circ)$ 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 زاویه‌ای ۵۰۰ رادیان بر ثانیه چند اهم است؟

ب) جریان موثر خازن چند آمپر است؟

استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی مبتنی بر شایستگی درس دانش فنی پایه

رشته تحصیلی: الکتروتکنیک | پایه: دهم | سال تحصیلی:
کد رشته: ۰۷۱۳۱۰ | کد درس: | کد کتاب: ۲۱۰۲۶۳

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقیق	نمره
پودمان ۴: مدارهای جریان متناوب	۱ـ تحلیل مدارهای الکتریکی متناوب مقاومتی به روش عددی ۲ـ تحلیل مدارهای الکتریکی متناوب مقاومتی به روش رسم دیاگرام	با استفاده از روابط حاکم بر مدارهای جریان متناوب، کمیت‌های مرتبط با جریان متناوب را محاسبه و ترسیم کند.	بالاتر از حد انتظار	۱ـ تحلیل و محاسبه مقادیر مؤثر و ماکزیمم جریان و ولتاژ ۲ـ محاسبه فرکانس و طول موج و اختلاف فاز و ترسیم نمودارهای اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ	۳
			در حد انتظار	۱ـ تحلیل و محاسبه مقادیر مؤثر و ماکزیمم جریان و ولتاژ ۲ـ محاسبه فرکانس و طول موج و اختلاف فاز از روی نمودار	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	محاسبه فرکانس و زمان تناوب	۱
	نمره مستمر از ۵				
	نمره شایستگی پودمان				
	نمره پودمان از ۲۰				

فصل پنجم

اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی

در این فصل مطالب زیر را فرا خواهید گرفت:

۱ـ توان در جریان متناوب

۲ـ اندازه‌گیری جریان

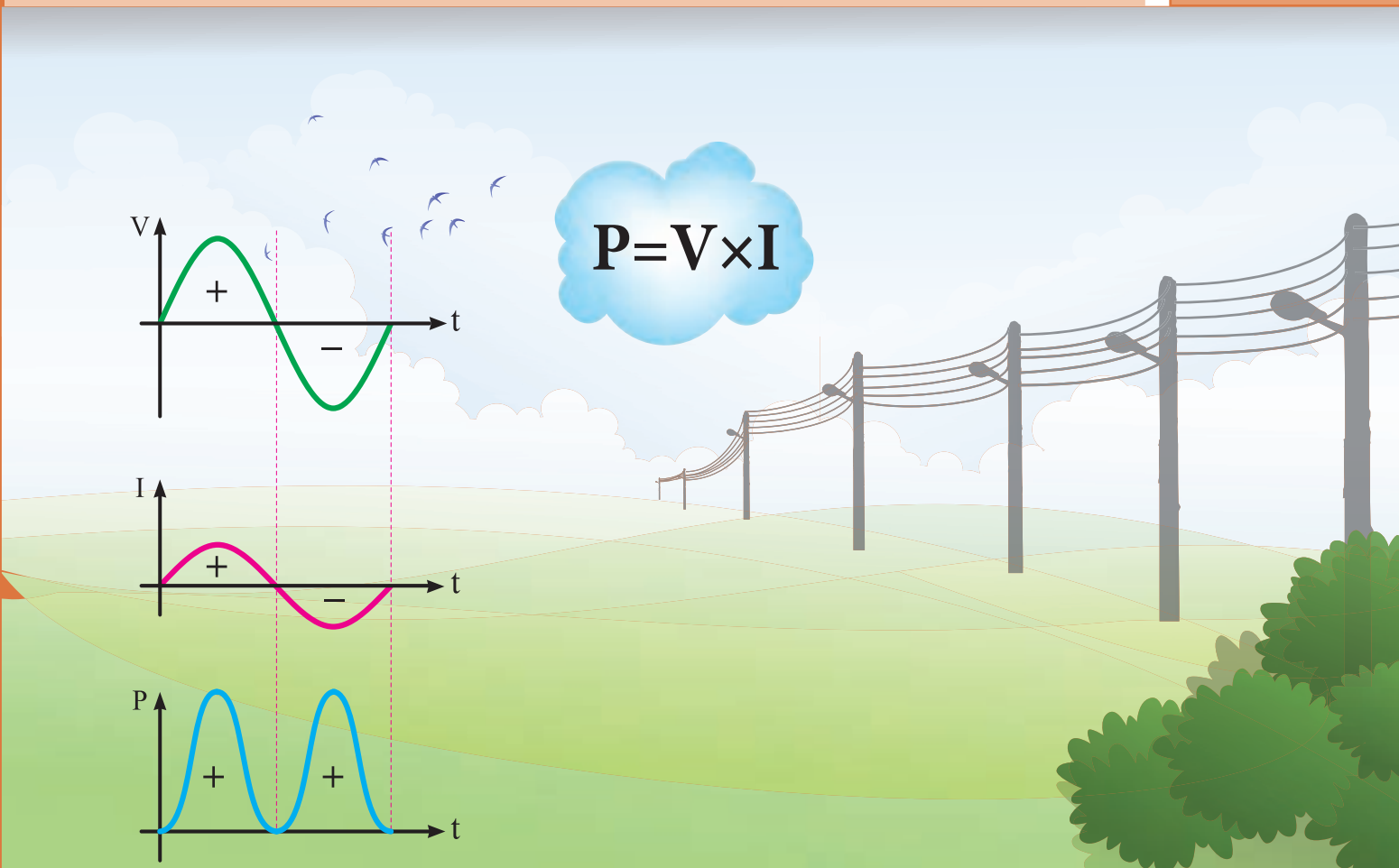
۳ـ اندازه‌گیری ولتاژ

۴ـ اندازه‌گیری مقاومت

۵ـ اندازه‌گیری انرژی الکتریکی

واحد یادگیری ۱۱

توان در جریان متناوب



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.

$$P = V_e I_e \cos\varphi$$

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.

$$Q = V_e I_e \sin\varphi$$

در مدارهای پس فاز، زاویه اختلاف فاز φ مقداری مثبت است لذا علامت Q مثبت خواهد شد اما در مدارهای پیش فاز، زاویه اختلاف فاز φ مقداری منفی است لذا علامت Q منفی خواهد شد.

در این روابط:

P توان مؤثر [w]

Q توان غیر مؤثر [VAR]

Ve ولتاژ مؤثر [V]

Ie جریان مؤثر [A]

φ زاویه اختلاف فاز جریان با ولتاژ (درجه) یا (رادیان) است.

مثال: معادلات زمانی ولتاژ و جریان یک مدار الکتریکی به‌صورت زیر است :

$$v(t) = ۲۲۰\sqrt{۲}\sin(۵۰۰t + ۰)$$

$$i(t) = ۱۰\sqrt{۲}\sin(۵۰۰t + ۶۰^\circ)$$

مطلوب است:

الف) مقدار ولتاژ و جریان مؤثر

ب) زاویه اختلاف فاز و نوع مدار

ج) توان مؤثر

د) توان غیرمؤثر

حل:

الف)

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۲۲۰\sqrt{۲}}{\sqrt{۲}} = ۲۲۰[V]$$

$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۱۰\sqrt{۲}}{\sqrt{۲}} = ۱۰[A]$$

ب)

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

$$\varphi = ۰ - ۶۰ = -۶۰$$

ج)

$$P = V_e I_e \cos\varphi$$

$$P = ۲۲۰ \times ۱۰ \times \cos ۶۰^\circ = ۱۱۰۰[w]$$

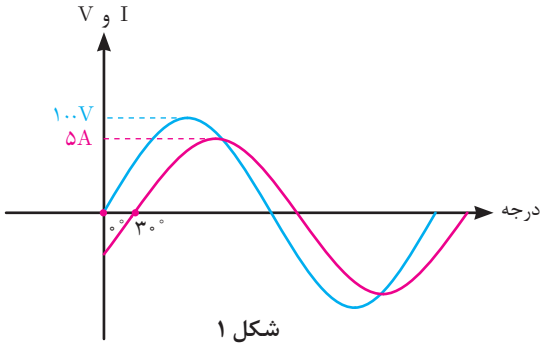
د) زاویه φ مقداری منفی دارد یعنی مدار پیش‌فاز است. پیش‌فاز یعنی جریان مدار از ولتاژ مدار به اندازه ۶۰ درجه جلوتر است.

از رابطه Q داریم:

$$Q = V_e I_e \sin\varphi$$

$$Q = ۲۲۰ \times ۱۰ \sin(-۶۰) = -۱۱۰۰\sqrt{۳}[VAR]$$

مثال: منحنی ولتاژ جریان یک مدار الکتریکی در (شکل ۱) داده شده است:



شکل ۱

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)

$$V_m = ۱۰۰[V]$$

$$I_m = ۵[A]$$

$$\theta_V = ۰$$

$$\theta_i = -۳۰$$

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۱۰۰}{\sqrt{۲}} = ۵۰\sqrt{۲}$$

$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۵}{\sqrt{۲}} = ۲/۵\sqrt{۲}[V]$$

ب)

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

$$\varphi = ۰ - (-۳۰) = +۳۰$$

زاویه φ مقداری مثبت دارد یعنی مدار پس‌فاز است. پس‌فاز یعنی جریان مدار از ولتاژ مدار به اندازه ۳۰ درجه عقب‌تر است.

ج)

$$P = V_e I_e \cos\varphi$$

$$P = ۵۰\sqrt{۲} \times ۲/۵\sqrt{۲} \times \cos(+۳۰) = ۱۲۵\sqrt{۳}[w]$$

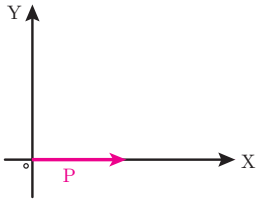
د)

$$Q = V_e I_e \, Sin\varphi$$

$$Q = ۵۰\sqrt{۲} \times ۲/۵\sqrt{۲} \times Sin(+۳۰) = ۱۲۵[VAR]$$

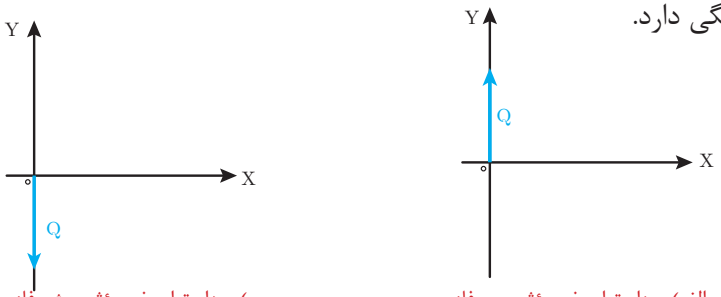
بردار توان‌های مؤثر و غیرمؤثر

بردار توان مؤثر، یک بردار افقی و مثبت است. طول آن برابر مقدار توان مؤثر می‌باشد. (شکل ۲)



شکل ۲ـ بردار توان مؤثر

بردار توان غیرمؤثر یک بردار عمودی است که علامت آن به مثبت یا منفی بودن توان غیرمؤثر بستگی دارد.



الف) بردار توان غیرمؤثر پس فاز

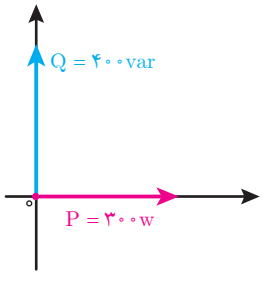
ب) بردار توان غیرمؤثر پیش فاز

شکل ۳

مثال: یک مدار الکتریکی دارای توان مؤثر ۳۰۰ W و توان غیرمؤثر پس‌فاز ۴۰۰VAR+ می‌باشد بردارهای P و Q آن را رسم کنید.

حل:

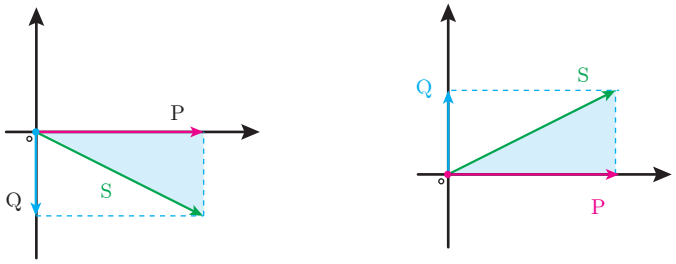
بردار توان مؤثر P به‌صورت افقی و بردار توان غیرمؤثر به‌صورت عمودی رسم می‌شود. (شکل۴)



شکل ۴

توان ظاهری

توان ظاهری از برایند توان مؤثر و توان غیرمؤثر به‌دست می‌آید. توان ظاهری را با S نشان می‌دهند و واحد آن ولت آمپر [VA] است (شکل ۵).



الف) توان ظاهری مدار پس‌فاز

ب) توان ظاهری مدار پیش‌فاز

شکل ۵

و مقدار آن از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

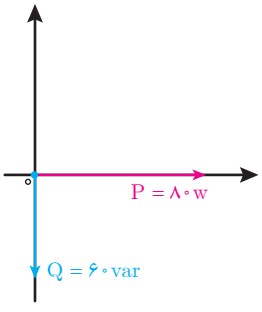
که در این رابطه :
S توان ظاهری [VA]
P توان مؤثر [W]
Q توان غیرمؤثر [VAR] است.

مثال: یک مدار الکتریکی دارای زاویه اختلاف فاز $\varphi = -37$ و توان مؤثر ۸۰ W و توان غیرمؤثر ۶۰ VAR می‌باشد. بردارهای توان را رسم کنید و مقدار توان ظاهری را محاسبه نمایید.

حل: زاویه اختلاف فاز منفی است پس توان غیرمؤثر منفی می‌باشد. (شکل ۶)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

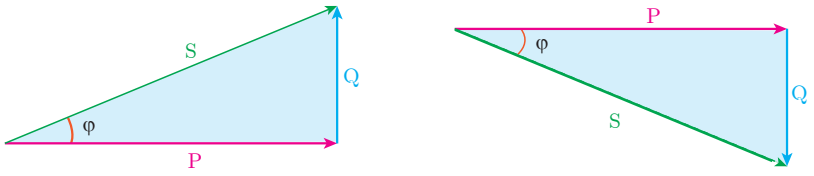
$$S = \sqrt{۸۰^2 + ۶۰^2} = ۱۰۰[VA]$$



شکل ۶

مثلث توان

مثلث توان، مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که توان مؤثر و غیرمؤثر اضلاع قائم و توان ظاهری وتر آن می‌باشد. بردارهای P ، Q و S می‌توانند تشکیل یک مثلث دهند. زاویه بین P و S همان زاویه φ است. (شکل ۷)



ب) مثلث توان مدار پس فاز　　الف) مثلث توان مدار پیش فاز

شکل ۷

مثلث توان دارای نسبت‌های مثلثاتی زیر است:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

$$\sin\varphi = \frac{Q}{S}$$

$$tg\varphi = \frac{Q}{P}$$

که در این رابطه:

$\cos\varphi$ ضریب توان مؤثر

$\sin\varphi$ ضریب توان غیرمؤثر

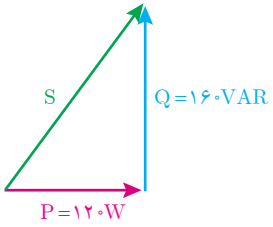
$tg\varphi$ ضریب کیفیت می‌باشد.

مثال: یک مدار الکتریکی دارای توان مؤثر ۱۲۰ w و توان غیرمؤثر ۱۶۰+ 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.



شکل۸

ب) توان ظاهری از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{۱۲۰^2 + ۱۶۰^2} = ۲۰۰[VA]$$

ج) ضریب توان مؤثر از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{۱۲۰}{۲۰۰} = ۰/۶$$

توان ظاهری را می‌توان از حاصل ضرب ولتاژ مؤثر در جریان مؤثر نیز محاسبه کرد.

$$S = V_e I_e$$

که در این رابطه:
S توان ظاهری [VA]
Veولتاژ مؤثر [V]
Ie جریان مؤثر [A] می‌باشد.

مثال: ولتاژ و جریان یک مدار الکتریکی به ترتیب ۲۰۰V و ۱۰A است توان ظاهری آن چند ولت آمپر می‌باشد؟

حل:

$$S = V_e I_e$$
$$S = ۲۰۰ \times ۱۰ = ۲۰۰۰[VA]$$

پرسش

۱ـ انواع توان در جریان متناوب را نام ببرید.
۲ـ توان مؤثر را تعریف کنید.
۳ـ توان غیرمؤثر را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.
۴ـ توان ظاهری را تعریف کنید و رابطه آن را بنویسید.
۵ـ مثلث توان را تعریف کنید و انواع آن را رسم نمایید.

تمرین

۱ـ معادلات زمانی ولتاژ و جریان یک مدار الکتریکی به ترتیب :

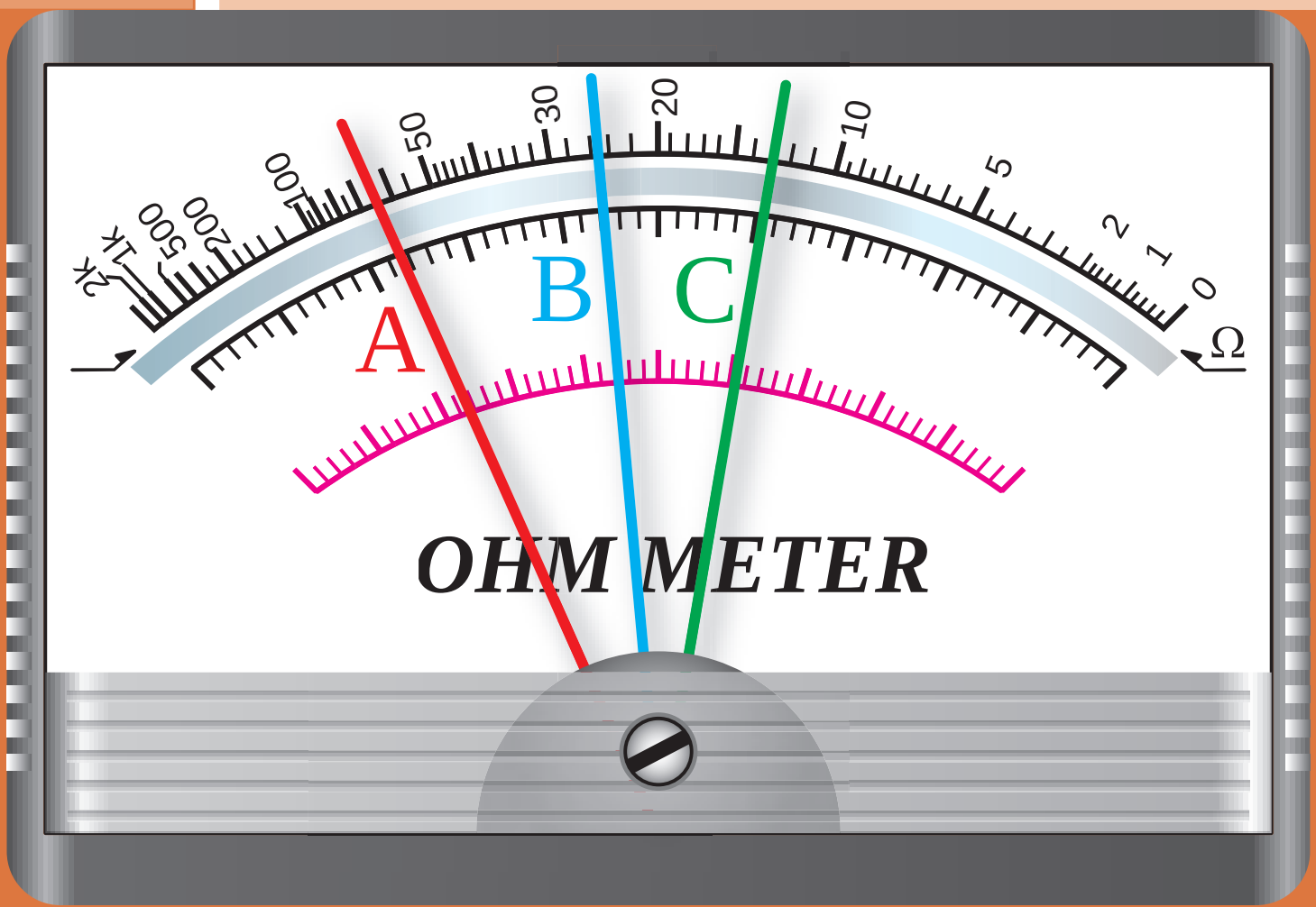
$$V(t) = ۲۰\sqrt{۲}\sin(۳۱۴t + ۰)$$
$$i(t) = ۱۰\sqrt{۲}\sin(۳۱۴t + ۳۷^\circ)$$

می‌باشد. مطلوب است:
الف) توان مؤثر
ب) توان غیرمؤثر
ج) توان ظاهری

۲ـ یک مصرف‌کننده الکتریکی با توان ۸۰ w و ۱۰۰ VA پس‌فاز مفروض است. مطلوب است:
الف) رسم مثلث توان
ب) ضریب توان
ج) توان غیرمؤثر

واحد یادگیری ۱۲

اندازه‌گیری جریان، ولتاژ و مقاومت اهمی



آمپرمتر

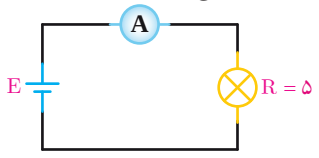
آمپرمتر دستگاهی است که جریان الکتریکی را اندازه می‌گیرد. برای اندازه‌گیری جریان الکتریکی مستقیم از آمپرمتر DC و برای اندازه‌گیری جریان الکتریکی متناوب از آمپرمتر AC استفاده می‌شود.

آمپرمتر در مدارهای الکتریکی با علامت اختصاری (شکل ۹) نشان داده می‌شود.

شکل ۹

آمپرمتر در مدار الکتریکی به صورت سری قرار می‌گیرد تا جریان مصرف‌کننده با جریان عبوری از آمپرمتر برابر باشد. نحوه قرار گرفتن آمپرمتر در یک مدار الکتریکی ساده در (شکل ۱۰) و مدار الکتریکی معادل آن در (شکل ۱۱) نشان داده شده است.

شکل ۱۰



شکل ۱۱

اندازه‌گیری جریان DC

برای خواندن مقدار جریانی که آمپرمتر 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:

$$C = \frac{\text{ضریب کلید رنج}}{\text{آخرین عدد روی صفحه}} = \frac{۱۰۰}{۱۰} = ۱۰\,mA$$

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 × C = مقدار جریانی که آمپرمتر نشان می‌دهد.

$$C = ۱۰ \times ۱/۶ = ۱۶\,mA$$

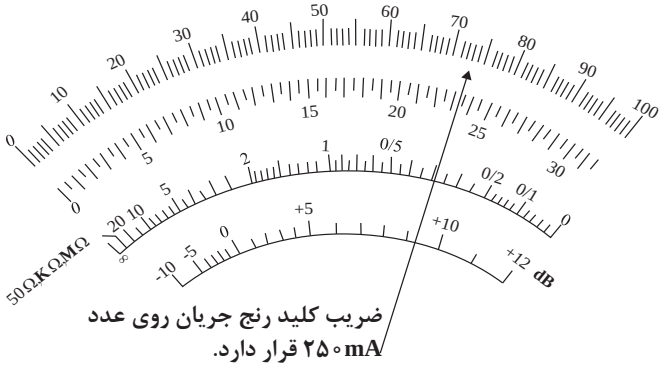
مثـــال: بیشـــترین عـــدد درج شـــده روی یـــک میلـــی آمپرمتـــر ۶۰ می‌باشـــد (صفحـــه مـــدرج بـــه ۶۰ قســـمت تقســـیم شـــده اســـت) اگـــر حـــدود اندازه‌گیـــری (ضریـــب کلیـــد رنـــج) روی عـــدد ۳۰۰mA بـــوده و عقربـــه آمپرمتـــر بـــه انـــدازه ۴۲/۵ قســـمت منحـــرف شـــده باشـــد، آمپرمتـــر مقـــدار جریـــان را ۲۱۲/۵mA نشـــان می‌دهـــد زیـــرا :

$$C = \frac{۳۰۰\text{mA}}{۶۰} = ۵\text{mA}$$

مقدار جریانی که میلی آمپرمتر اندازه می‌گیرد برابر است با :

$$I = ۴۲/۵ \times C = ۴۲/۵ \times ۵\text{mA} = ۲۱۲/۵\text{mA}$$

مثال: در (شکل ۱۲) میلی‌آمپر متر ۱۸۲/۵ میلی آمپر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲

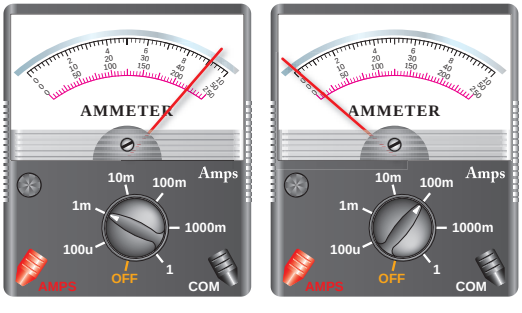
مقدار جریانی که آمپرمتر نشان می‌دهد.

$$C = \frac{۲۵۰}{۱۰۰} = ۲/۵\text{mA}$$

$$۲/۵ \times ۷۳ = ۱۸۲/۵\text{mA}$$

بـــرای دقیق‌تـــر خوانـــدن جریانـــی کـــه آمپرمتـــر نشـــان می‌دهـــد بایـــد حـــدود اندازه‌گیـــری (ضریـــب کلیـــد رنـــج) را طـــوری انتخـــاب کنیـــم کـــه انحـــراف عقربـــه بیشـــترین مقـــدار را داشـــته باشـــد.

(شـــکل ۱۳) جریـــان ۰/۹۲ میلـــی آمپـــر را در محـــدوده اندازه‌گیـــری ۱ mA و ۱۰۰ mA نشـــان می‌دهـــد. همـــان طـــور کـــه از شـــکل نیـــز پیداســـت اندازه‌گیـــری جریـــان ۰/۹۲mA در رنـــج ۱mA دقیـــق‌تر اســـت.



(ب) (الف)

شکل ۱۳

آمپرمترهـا و میلی‌آمپرمترهـای DC بـه صورت‌هـای آزمایشـگاهی، تابلویـی و یـا بـه صـورت قسـمتی از مولتی‌متـر (اهم‌متـر ـ ولت‌متـر ـ آمپرمتـر) سـاخته می‌شـوند. (شـکل ۱۴) چنـد نمونـه از آمپرمترهـا و میلی‌آمپرمترهـای آزمایشـگاهی را نشـان می‌دهـد.

شکل ۱۴

مولتی‌متر یک دستگاه پرکاربرد در برق و الکترونیک است.
نوعـی از مولتی‌متـر وجـود دارد کـه بـه آوومتـر دیجیتالـی موسـوم اسـت. ایـن نـوع مولتی‌متـر نیـز دارای رنـج جریـان DC اسـت و مقـدار اندازه‌گیری‌شـده را بـه صـورت رقمـی روی صفحـه نمایـش نشـان می‌دهـد. در (شـکل ۱۵) یـک نمونـه از ایـن مولتی‌مترهـا را مشـاهده می‌کنیـد.

شکل ۱۵

اندازه‌گیری جریان AC : بـرای اندازه‌گیـری جریـان AC حتمـاً بایـد از آمپرمترهـای AC اسـتفاده کـرد. پـس بـا آمپرمترهایـی کـه فقـط دارای رنـج DC می‌باشـند نمی‌تـوان جریـان AC را انـدازه گرفـت. بعضـی دیگـر از آمپرمترهـا توانایـی اندازه‌گیـری جریان‌هـای AC و DC را توأمـاً دارا هسـتند کـه بـا کلیـد انتخـاب (AC و DC) می‌تـوان در هـر لحظـه جریـان مـورد نظـر را انـدازه گرفـت. آمپرمترهـای AC بیشـتر بـه صـورت تابلویـی سـاخته می‌شـوند. (شـکل ۱۶) دو نمونـه از آمپرمترهـای AC تابلویـی را نشـان می‌دهـد.

شکل ۱۶

(شـکل ۱۷) یـک مولتی‌متـر دیجیتالـی آزمایشـگاهی را نشـان می‌دهـد کـه دارای رنـج جریـان متنـاوب (AC) و مسـتقیم (DC) می باشـد.
مولتی‌مترهـای عقربـه‌ای معمـولاً فاقـد رنـج اندازه‌گیـری جریـان AC هسـتند. امـا کلیـه مولتی‌مترهـای دیجیتالـی رنـج اندازه‌گیـری جریـان AC را دارا می‌باشـند. بـرای اندازه‌گیـری جریـان AC توسـط آوومتـر دیجیتالـی، کافـی اسـت کـه ترمینال‌هـای مخصـوص جریـان

شکل ۱۷

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 می‌شود.

علاوه بر آمپرمترهای آزمایشگاهی و تابلویی و مولتی‌مترها، انواع دیگری از آمپرمترهای AC وجود دارند که به آمپرمتر «انبری» معروف‌اند. برای اندازه‌گیری جریان کافی است سیم حامل جریان AC را وسط هسته این مولتی‌متر که با اهرمی باز می‌شود 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 آمپرمترهای انبری را به صورت مولتی‌متر (ترکیبی) می‌سازند. (شکل ۱۸) دو نمونه آمپرمتر انبری عقربه‌ای و دیجیتالی را نشان می‌دهد.

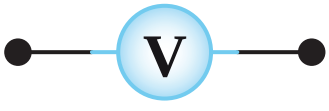
شکل ۱۸- آمپرمتر انبری

ولت‌متر

ولت‌متر دستگاهی است که اختلاف پتانسیل یا ولتاژ الکتریکی را اندازه می‌گیرد. برای اندازه‌گیری ولتاژ الکتریکی مستقیم از ولت‌متر DC و برای اندازه‌گیری ولتاژ الکتریکی متناوب از ولت‌متر AC استفاده می‌شود.

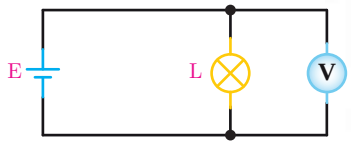
ولت‌متر در مدار الکتریکی با علامت اختصاری (شکل ۱۹) نشان داده می‌شود.

ولت‌متر در مدار الکتریکی به‌صورت موازی قرار می‌گیرد تا ولتاژ مصرف‌کننده با ولتاژ ولت‌متر یکی باشد. نحوه قرار گرفتن ولت‌متر در یک مدار الکتریکی ساده در (شکل ۲۰) و مدار الکتریکی معادل آن در (شکل ۲۱) نشان داده شده است.



شکل ۱۹

شکل ۲۰



شکل ۲۱

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: اگر ضریب کلید رنج (شکل ۲۲) روی عدد ۵۰۰ ولت باشد مقدار ولتاژ اندازه‌گیری شده چقدر است؟

$$C = \frac{۵۰۰}{۲۵۰} = ۲$$

مقداری که ولت‌متر نشان می‌دهد برابر است با: عدد خوانده شده × C تعداد تقسیماتی که عقربه منحرف شده است.

بنابراین داریم : $۲۲۰ \times ۲ = ۴۴۰ [v]$

شکل ۲۳

مثال: در (شکل ۲۳) ولت متر ولتاژی به اندازه ۳۸۰ ولت را نشان می‌دهد، زیرا :

$$C = \frac{۵۰۰}{۵۰} = ۱۰$$

مقدار ولتاژ برابر است با :

تعداد خانه‌های منحرف شده × C

$$۱۰ \times ۳۸ = ۳۸۰$$

برای دقیق‌تر 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.
ولت مترهای 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 ۲۴

شکل ۲۵

شکل ۲۶ـ یک نمونه ولت‌متر تابلویی AC را نشان می‌دهد.

(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 (شکل۲۷).
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 ازیک ولت) به صورت دقیق نیستند ولی مولتی‌مترها و یا ولت‌مترهای

شکل ۲۷

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.

شکل ۲۸

اهم متر

اهم‌متر دستگاهی است که مقاومت الکتریکی را اندازه می‌گیرد.
اهم متر در مدار الکتریکی به صورت موازی قرار می‌گیرد.
نحوه اندازه‌گیری یک مقاومت الکتریکی توسط اهم‌متر آزمایشگاهی در (شکل ۲۹) نشان داده شده است.
تمامی‌آوومترهای دیجیتالی و عقربه‌ای مجهز به اهم متر هستند. امروزه اهم مترها دیگر به صورت یک دستگاه مستقل ساخته نمی‌شوند. درجه‌بندی اهم متر عکس درجه‌بندی ولت متر و آمپرمتر است؛ یعنی صفر آن در سمت راست صفحه مدرج قرار دارد، ضمناً درجه‌بندی آن خطی نیست.

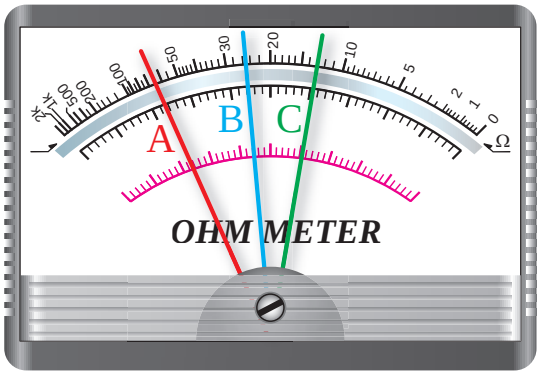
شکل ۲۹

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 A ، B و C مقادیر زیر را نشان می‌دهند.

$(A)۶۷/۵\times۱۰=۶۷۵\Omega$

$(B)۲۴/۷۵\times۱۰=۲۴۷/۵\Omega$

$(C)۱۳\times۱۰=۱۳۰\Omega$



شکل ۳۰

همـان طـور کـه در (شـکل ۳۱) نیـز می‌بینیـد درجه‌بنـدی اهـم متـر از سـمت راسـت بـه تدریـج فشـرده می‌شـود. بـه عنـوان مثـال مقاومت‌هـای ۲Ω ، ۳Ω ، ۱۰Ω و ۱۵Ωتـا حـدود ۵۰Ω، تقریبـاً بـه راحتـی قابـل خوانـدن هسـتند، امـا از حـدود ۵۰Ω تـا آخریـن حـد تقسـیمات، درجه‌بنـدی بسـیار فشـرده می‌شـود کـه در ایـن حالـت مقاومت‌هـای زیـاد (مثـلاً ۱۰ اهـم بـه بـالا) بـه طـور دقیـق قابـل خوانـدن نیسـت. بنابرایـن بـرای دقیـق خوانـدن مقـدار مقاومت‌هـا بایـد کلیـد رنـج را طـوری تنظیـم کنیـم کـه عقربـه روی اعـدادی کـه مقـدار مقاومـت را بسـیار دقیـق و واضـح نشـان می‌دهنـد قـرار گیـرد اگـر انحـراف عقربـه از سـمت چـپ بیشـتر از ٪۴۰باشـد مقـدار مقاومـت واضـح خوانـده می‌شـود.

شکل ۳۱

وات متر

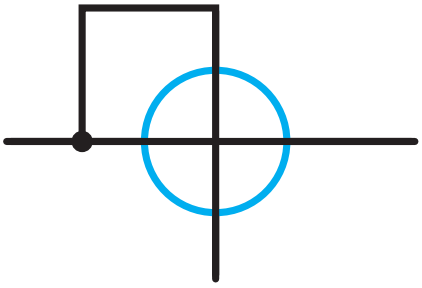
وات متـر دسـتگاهی اسـت کـه بـرای اندازه‌گیـری تـوان مؤثـر مصرف‌کننده‌هـای الکتریکـی اسـتفاده می‌شـود. بـرای اندازه‌گیـری تـوان مؤثـر مصرف‌کننده‌هـای تکفـاز از وات متـر تکفـاز و بـرای اندازه‌گیـری تـوان مؤثـر مصرف‌کننده‌هـای سـه‌فاز از وات متـر سـه‌فاز اسـتفاده می‌شـود. (شـکل ۳۲)

الف) وات‌متر تکفاز

ب) وات‌متر سه‌فاز

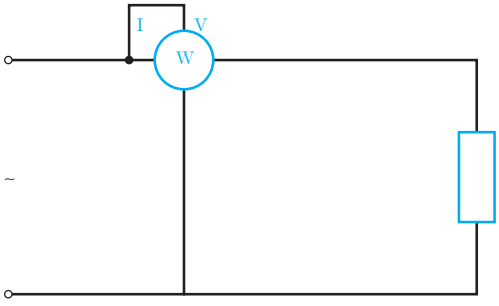
شکل ۳۲

وات‌متر در مدارهای الکتریکی با علامت اختصاری مطابق (شکل ۳۳) نشان داده می‌شود.



شکل ۳۳

وات متر تکفاز دارای یک سیم‌پیچ ولتاژ و یک سیم‌پیچ جریان می‌باشد. سیم‌پیچ ولتاژ با مدار الکتریکی مصرف‌کننده موازی قرار می‌گیرد تا ولتاژ آن را سنجش نماید و سیم‌پیچ جریان با مدار الکتریکی مصرف‌کننده سری قرار می‌گیرد تا جریان آن را سنجش کند. روش نصب وات متر تکفاز در (شکل ۳۴) نشان داده شده است.



شکل ۳۴

کنتور

کنتور دستگاهی است که انرژی الکتریکی را اندازه‌گیری می‌کند. برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی در مصرف کننده تکفاز از کنتور تکفاز و در مصرف‌کننده 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 کیلووات‌ساعت، مگاوات‌ساعت استفاده می‌شود. واحد اندازه‌گیری انرژی ناشی از توان مؤثر در کنتورها کیلووات ساعت و ناشی از توان غیرمؤثر کیلووات‌ساعت است.

در (شکل ۳۵) دو نمونه کنتور دیجیتالی و آنالوگ نشان داده شده است. در کنتورهای آنالوگ فقط امکان اندازه‌گیری انرژی الکتریکی امکان داشت ولی در کنتورهای دیجیتال علاوه‌بر اندازه‌گیری انرژی الکتریکی امکان اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی نظیر ولتاژ، جریان و فرکانس و... وجود دارد.

الف) کنتور آنالوگ

ب) کنتور دیجیتالی

شکل ۳۵

پرسش

۱ـ آمپرمتر چگونه در مدار قرار می‌گیرد و چرا؟
۲ـ نحوه خواندن مقادیر از روی صفحه مدرج مولتی متر چگونه است؟
۳ـ فرق آمپرمتر تابلویی با آمپرمتر انبری را شرح دهید.
۴ـ ولت‌متر چگونه در مدار قرار می‌گیرد و چرا ؟
۵ـ ولتاژهای خیلی زیاد را چگونه با ولت مترهای معمولی اندازه می‌گیرند؟
۶ـ مقاومت‌های اهمی را چگونه اندازه می‌گیرند؟
۷ـ روش نصب وات‌متر تکفاز را با رسم شکل نشان دهید.
۸ـ مزیت کنتورهای دیجیتال بر کنتورهای آنالوگ چیست؟

استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی مبتنی بر شایستگی درس دانش فنی پایه

رشته تحصیلی: الکتروتکنیک | پایه: دهم | سال تحصیلی:

کد رشته: ۰۷۱۳۱۰ | کد درس: | کد کتاب: ۲۱۰۲۶۳

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقیق	نمره
پودمان ۵: اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی	۱ـ تحلیل مقادیر مختلف توان در مدارهای جریان متناوب ۲ـ بررسی روش‌های اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی	۱ـ با استفاده از روابط حاکم بر مدارهای جریان متناوب مقادیر مختلف توان را محاسبه و دیاگرام آن را ترسیم کند. ۲ـ با استفاده از دستورالعمل به‌کارگیری دستگاه‌های اندازه‌گیری الکتریکی نحوه اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی را تحلیل کند	بالاتر از حد انتظار	ترسیم مثلث توان و تحلیل ارتباط توان‌ها در مدار با چند المان پسیو، تفاوت انواع وسایل اندازه‌گیری آنالوگ و دیجیتال	۳
			در حد انتظار	۱ـ تحلیل بردار مثلث توان در مدارهای جریان متناوب ۲ـ تحلیل نحوه قرار گرفتن آمپرمتر و ولت‌متر در مدار الکتریکی	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	تفکیک توان مؤثر از توان غیر مؤثر، تعیین روش اندازه‌گیری جریان و ولتاژ DC و AC	۱
	نمره مستمر از ۵				
	نمره شایستگی پودمان				
	نمره پودمان از ۲۰				

منابع و مآخذ

۱ـ برنامه درسی درس دانش فنی پایه، رشتهٔ الکتروتکنیک ـ دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش ـ سال ۱۳۹۴.
۲ـ قیطرانی، فریدون. احمدی، عین‌ا... . مظفری، حسین. همتایی، محمود. تجلی‌پور، مسعود. ۱۳۹۳. مبانی برق. کد ۳۵۵/۱۸ چاپ چهاردهم. شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
۳ـ ترکمانی، امیرحسین. ۱۳۹۴. ماشین‌های الکتریکی DC کد ۴۹۰/۱ چاپ سوم. شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
۴ـ نظریان. فتح‌ا... . ۱۳۹۴. اصول اندازه‌گیری الکتریکی کد ۳۵۹/۹۳، چاپ چهاردهم. شرکت چاپ‌ونشر کتاب‌های درسی ایران.
۵ـ سایت موزه برق شهدا.
۶ـ سایت انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی ایران (ساتبا).

هنرآموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنان می‌توانند نظرهای اصلاحی خود را دربارهٔ مطالب این کتاب ازطریق نامه به‌نشانی تهران- صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵- گروه درسی مربوط و یا پیام نگار tvoccd@roshd.ir ارسال نمایند.

وب‌گاه: tvoccd.oerp.ir

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش