

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰى مُحَمَّدٍ وَّآلِ مُحَمَّدٍ وَّعَجِّلْ فَرَجَهُمْ



دانش فنی پایه

رشته الکتروتکنیک

گروه برق و رایانه

شاخه فنی و حرفه‌ای

پایه دهم دوره دوم متوسطه





وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



نام کتاب: دانش فنی پایه (رشته الکتروتکنیک) - ۲۱۰۲۶۳

پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: علی‌اکبر مطیع‌بیرجندی، شهرام خدادادی، امیرحسین ترکمانی، محمدحسن اسلامی، علیرضا حجرگشت،

نقی اصغری آقاباقر، مجتبی انصاری پور و محسن کیالاشکی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)

نقی اصغری آقاباقر و امیرحسین ترکمانی و محسن کیالاشکی (اعضای گروه تألیف) - مجتبی انصاری پور

(ویراستار)

مدیریت آماده‌سازی هنری: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

شناسه افزوده آماده‌سازی: سمیه نظری (طراح جلد) - مهلا مرتضوی (صفحه‌آرا) - علیرضا سیاحی و مریم دهقان‌زاده (رسام)

نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وبگاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir

ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران-کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج-خیابان ۶۱ (دارو پخش)،

تلفن: ۴۴۹۸۵۱۶۱-۵، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۳۷۵۱۵-۱۳۹

چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ یازدهم ۱۴۰۵

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



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 (قُدّس سِرّه)

۱	پودمان اول: مبانی الکتریسیته
۲	■ واحد یادگیری ۱: درک و تبیین قانون کولن و پتانسیل الکتریکی
۹	■ واحد یادگیری ۲: درک، تبیین و کاربرد جریان الکتریکی
۱۷	پودمان دوم: مدار الکتریکی
۱۸	■ واحد یادگیری ۱: درک و تبیین مقاومت الکتریکی و کاربرد قانون اهم
۲۷	■ واحد یادگیری ۲: شناخت انواع مقاومت الکتریکی و توان الکتریکی
۳۹	پودمان سوم: اتصالات سری و موازی مقاومت‌های الکتریکی
۴۰	■ واحد یادگیری ۱: تحلیل اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی
۴۹	■ واحد یادگیری ۲: تحلیل اتصال موازی مقاومت‌های الکتریکی
۶۷	پودمان چهارم: انرژی الکتریکی
۶۸	■ واحد یادگیری ۱: شناخت انرژی الکتریکی جریان مستقیم
۷۸	■ واحد یادگیری ۲: شناخت انرژی الکتریکی جریان متناوب
۱۰۱	پودمان پنجم: سلف و خازن در جریان متناوب
۱۰۲	■ واحد یادگیری ۱: شناخت کمیت‌های مغناطیسی و سلف در جریان متناوب
۱۲۲	■ واحد یادگیری ۲: شناخت خازن در جریان متناوب
۱۳۸	منابع و مآخذ

سخنی با هنرآموزان گرامی

با توجه به آموزه‌های اسلامی، کار و اشتغال از ارزش تربیتی برخوردار است و انسان از طریق کار، نفس سرکش را رام کرده و شخصیت وجودی خویش را صیقل داده، هویت خویش را تثبیت کرده و زمینه 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 حوزه دنیای کار و دنیای آموزش بر مبنای نیازسنجی شغلی صورت گرفته است. درس‌های رشته‌های تحصیلی شاخه فنی و حرفه‌ای شامل دروس آموزش عمومی، دروس شایستگی‌های غیرفنی و شایستگی‌های فنی مورد نیاز بازار کار است. دروس دانش فنی از دروس شایستگی‌های فنی است که برای هر رشته در دو مرحله طراحی شده است. درس دانش فنی پایه با هدف شناخت مفاهیم و کسب دانش فنی پایه در گروه و رشته تحصیلی است که هنرجویان در پایه دهم و در آغاز ورود به رشته تحصیلی خود می‌بایست آن را آموزش ببینند و شایستگی‌های لازم را در ارتباط با دروس عملی و ادامه تحصیل در رشته خود کسب نمایند. درس دانش فنی تخصصی که در پایه دوازدهم طراحی شده است، شایستگی‌هایی را شامل می‌شود که موجب ارتقای دانش تخصصی حرفه‌ای شده و زمینه را برای ادامه تحصیل و توسعه حرفه‌ای هنرجویان در مقطع کاردانی پیوسته نیز فراهم می‌کند. کتاب دانش فنی پایه تئوری تفکیک شده دروس عملی کارگاه‌های ۸ ساعته نیست بلکه در راستای شایستگی‌ها و مشاغل تعریف شده برای هر رشته تدوین شده است. در ضمن، آموزش این کتاب نیاز به پیش‌نیاز خاصی ندارد و براساس آموزش‌های قبلی تا پایه نهم به تحریر درآمده است. لازم به یادآوری است که محتوای آموزشی کتاب دانش فنی پایه، آموزش‌های کارگاهی را عمق می‌بخشد و نیازهای هنرجویان را در راستای محتوای دانش نظری تأمین می‌کند.

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

دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش



نظرسنجی کتاب‌درسی

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

در تدوین درس دانش فنی پایه، موضوعاتی مانند تاریخچه رشته، محتوا جهت ایجاد انگیزش، مشاغل و هدف رشته تحصیلی، نقش رشته شما در توسعه کشور، 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، زبان فنی، ایمنی و بهداشت فردی و جمعی، پیشگیری از حوادث احتمالی شغلی و نمونه‌هایی از مهارت حل مسئله در بستر گروه تحصیلی و برای رشته 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 برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

پودمان اول

مبانی الکتریسیته

- واحد یادگیری ۱: درک و تبیین قانون کولن و پتانسیل الکتریکی
- واحد یادگیری ۲: درک، تبیین و کاربرد جریان الکتریکی



واحد یادگیری ۱

درک و تبیین قانون کولن و پتانسیل الکتریکی

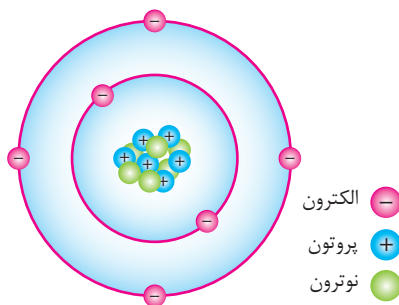
امروزه انرژی الکتریکی بیش از انواع دیگر انرژی مورد استفاده قرار می گیرد. بدون انرژی الکتریکی کاربرد وسایل روشنایی، تلویزیون، تلفن و اغلب وسایل خانگی غیرممکن است. به علاوه، در بیشتر وسایل نقلیه، انرژی الکتریکی نقش مهمی بازی می کند. به این ترتیب، می توان گفت انرژی الکتریکی تقریباً در همه جا به کار می رود. اگرچه الکتریسیته در قرون اخیر مورد استفاده قرار گرفته است ولی یونانی ها در حدود ۲۰۰۰ سال پیش آن را کشف کردند. آنها پی بردند که وقتی ماده ای به نام کهربا را به ماده دیگری مالش دهند، می تواند اجسامی مانند برگ خشک و براده های چوب را جذب کند. یونانی ها این کهربا را الکترون نام نهادند که کلمه الکتریسیته نیز از آن گرفته شده است.



شکل ۱

در سال ۱۷۳۳ یک دانشجوی فرانسوی به نام شارل دوفه^۱ به این نکته پی برد که یک تکه شیشه پس از مالش با پارچه ابریشمی بعضی از اجسام را جذب و برخی دیگر را دفع می کند (شکل ۱). 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 نام گذاری کرد. کاهش یا افزایش تعداد الکترون اتم های اجسام باعث ایجاد بارهای الکتریکی مثبت و منفی می شود که در بررسی ساختمان اتم به آن پرداخته می شود.

ساختمان اتم



شکل ۲

ساختمان اتم از دو بخش هسته و اطراف هسته تشکیل شده است. درون هسته ذرات پروتون و نوترون قرار دارند و الکترون ها بر روی مسیریایی در اطراف هسته می گردند. پروتون ها دارای بار الکتریکی مثبت و الکترون ها دارای بار الکتریکی منفی می باشند و نوترون ها از نظر بار الکتریکی خنثی هستند. تعداد پروتون های داخل هسته را عدد اتمی می گویند. در حالت های عادی تعداد پروتون ها و الکترون های اتم مساوی هستند لذا اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است (شکل ۲).

سؤال: منظور از حالت عادی اتم چیست؟

بار الکتریکی هر پروتون برابر بار الکتریکی الکترون است. مقدار بار الکتریکی الکترون برابر با ۱.۶×۱۰^{-۱۹} کولن می باشد و به صورت زیر نوشته می شود:

$$e = ۱.۶ \times ۱۰^{-۱۹} (C)$$

۱. Charles Dufay

مقدار بار الكتريكي الكترون را «بار پايه» در نظر مي گيرند. مضرب صحيحي از بار پايه را «بار الكتريكي» مي نامند و آن را با q نشان مي دهند و از رابطه زير به دست مي آيد:

$$q = n \cdot e$$

كه در اين رابطه:

q بار الكتريكي بر حسب كولن (C)

n تعداد الكترون

e بار الكتريكي الكترون است.

مثال: عدد اتمي مس برابر ۲۹ مي باشد. بار الكتريكي هسته آن چند كولن است؟ ($e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

حل: از رابطه $q = n \cdot e$ مي توان نوشت:

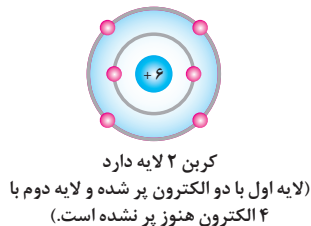
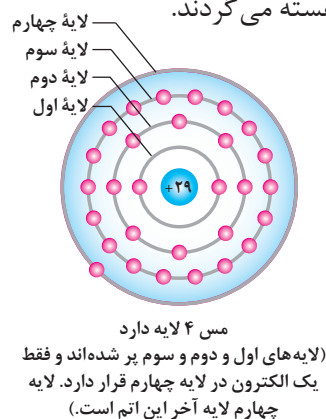
$$q = 29 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

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

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

لايه

لايه مسيري است كه الكترون ها تحت تأثير نيروي جاذبه پروتون ها به دور هسته مي گردند. هر لايه از اتم، تعداد الكترون هاي ثابتي ظرفيت دارد. اتم هاي تمام عناصر مي توانند تا هفت لايه داشته باشند. در شكل ۳ لايه هاي عناصر مس، كربن و هيدروژن نشان داده شده است.



شكل ۳

ظرفيت لايه

ظرفيت هر لايه نشان دهنده حداكثر الكترون هاي موجود در آن لايه مي باشد. ظرفيت هر لايه از رابطه زير به دست مي آيد:

$$2n^2 = \text{ظرفيت هر لايه}$$

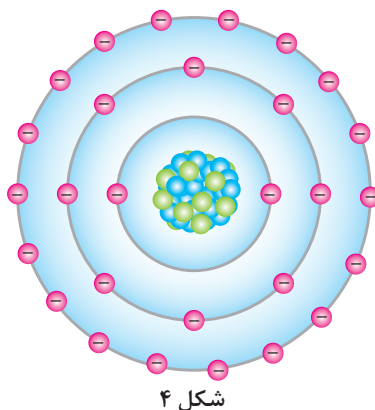
در اين رابطه n شماره هر لايه است. براي لايه هاي اول و دوم و سوم داريم:

$$2(1)^2 = 2 \text{ لايه اول}$$

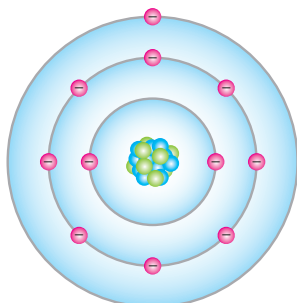
$$2(2)^2 = 8 \text{ لايه دوم}$$

$$2(3)^2 = 18 \text{ لايه سوم}$$

ظرفيت ديگر لايه ها نيز قابل محاسبه مي باشد (شكل ۴).



لایه خارجی (طبقه والانس)



شکل ۵

لایه خارجی آخرین لایه هر اتم است و آن را لایه والانس گویند. الکترون‌های لایه والانس را «الکترون والانس» می‌نامند (شکل ۵).

هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی عناصر به تعداد الکترون‌های لایه والانس بستگی دارد. هرچه تعداد الکترون‌های لایه والانس کمتر باشد، هدایت الکتریکی بیشتر می‌شود. عناصری که اتم‌هایشان یک الکترون والانس دارند هدایت الکتریکی بهتری خواهند داشت؛ در میان عناصری که یک الکترون در لایه آخر دارند، آنهایی که لایه آخرشان دورتر از همه است معمولاً هدایت الکتریکی بهتری دارند چون جدا شدن آن الکترون ساده‌تر است. به طور مثال اتم‌های مس، نقره و طلا دارای یک الکترون در لایه والانس هستند. بیشترین هدایت الکتریکی برای نقره و بعد از آن برای مس و طلا می‌باشد (شکل ۶).

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.

بیشترین هدایت الکتریکی برای عناصری است که در لایه والانس یک الکترون دارند و عناصری که در لایه والانس دو و یا سه الکترون دارند دارای هدایت الکتریکی کمتری هستند. با افزایش الکترون‌های لایه والانس هدایت الکتریکی کمتر می‌شود.

کمترین هدایت الکتریکی مربوط به عناصری است که در لایه والانس هشت الکترون دارند.

عناصری که در لایه والانس ۱، ۲ و ۳ الکترون دارند رسانای خوب الکتریکی می‌باشند مانند مس و آلومینیوم که آنها را «هادی» می‌نامند.

عناصری که در لایه والانس ۴ الکترون دارند رسانای ضعیف الکتریکی می‌باشند مانند ژرمانیم و سیلیسیم که آنها را «نیمه‌هادی» می‌نامند.

عناصری که در لایه والانس ۵، ۶، ۷ و ۸ الکترون دارند نارسانای الکتریکی می‌باشند مانند گاز هلیوم و نئون که آنها را «عایق» می‌نامند.

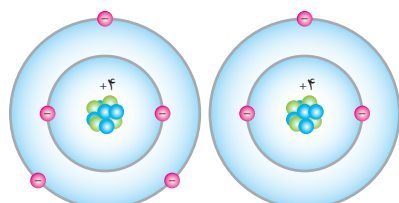
مس (^{29}Cu)، نقره (^{47}Ag) و طلا (^{79}Au) هر سه در یک گروه جدول تناوبی قرار دارند. مطابق انتظار هدایت الکتریکی نقره از مس بیشتر است اما، هدایت الکتریکی طلا نه تنها از نقره بیشتر نیست، بلکه از مس هم کمتر است! ۱ علت این موضوع را بررسی کنید و در کلاس ارائه کنید.

۲ تحقیق کنید علت کاربرد طلا در برخی مدارهای حساس الکتریکی چیست؟

تحقیق کنید



یون



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

شکل ۶

اتم دارای بار الکتریکی را «یون» گویند. اگر تعداد الکترون‌های اتم بیش از پروتون‌های آن باشد اتم را «یون منفی» گویند (شکل ۷-ب). و اگر تعداد الکترون‌های اتم کمتر از پروتون‌های آن باشد، اتم را «یون مثبت» گویند (شکل ۶-الف).

قانون کولن

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

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

در این رابطه:

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

q_1 بار الکتریکی اول برحسب کولن (C)

q_2 بار الکتریکی دوم برحسب کولن (C)

d فاصله میان دو بار برحسب متر (m) است.

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

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

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

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

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

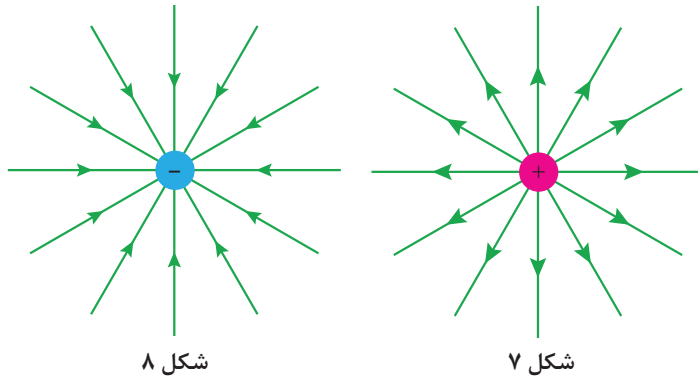
$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{12 \times 10^{-12}}{900 \times 10^{-4}} = 12 \times 10^{-1} = 1/2 (\text{N})$$

بارها همنام هستند پس نیروی کولنی بین آنها دافعه است.

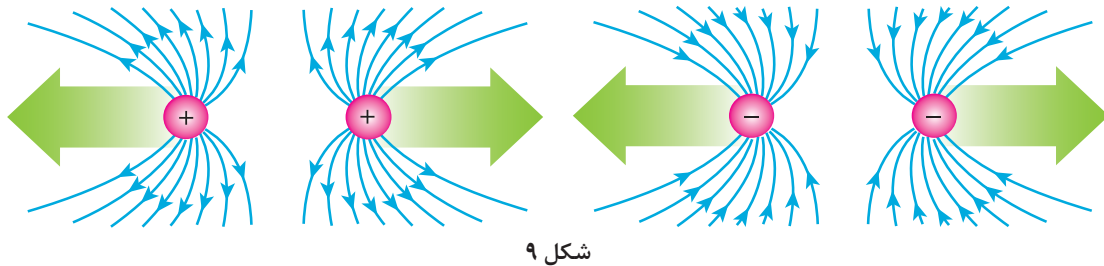
میدان الکتریکی

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

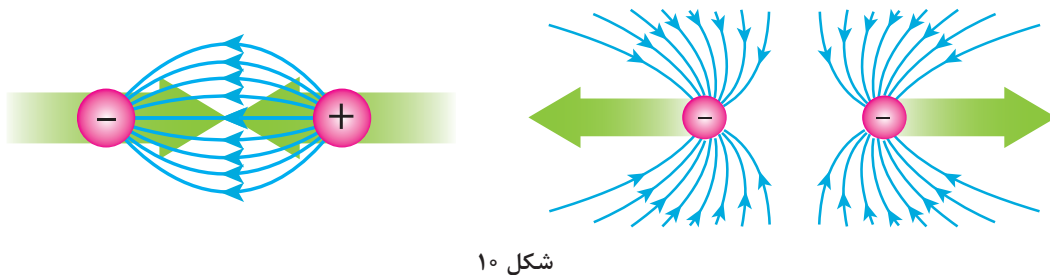
برای نمایش میدان الکتریکی هر بار الکتریکی از خطوط شعاعی استفاده می‌شود و آن را خطوط میدان الکتریکی می‌نامند. طبق قرارداد خطوط میدان الکتریکی از بارهای مثبت خارج و به بارهای منفی وارد می‌شود. خطوط میدان الکتریکی بار مثبت در شکل ۷ و خطوط میدان الکتریکی بار منفی در شکل ۸ نشان داده شده است.



خطوط میدان الکتریکی دوبار همانم و هم‌اندازه با نیروی دافعه کولنی در شکل ۹ نشان داده شده است.



خطوط میدان الکتریکی دوبار ناهمنام و هم‌اندازه با نیروی جاذبه کولنی در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شدت میدان الکتریکی

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

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

که در این رابطه:

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

F نیروی کولنی بر حسب نیوتن (N)

q بار الکتریکی بر حسب کولن (C) است.

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

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

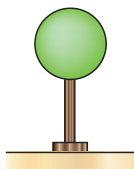
$$E = \frac{2}{4 \times 10^{-6}}$$

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

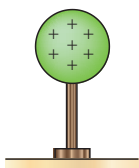
$$E = 5 \times 10^5 \left[\frac{N}{C} \right]$$

پتانسیل الکتریکی

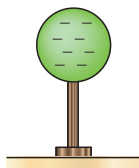
یک کره فلزی بر روی پایه عایق مطابق شکل ۱۱ در نظر گرفته شده است.



شکل ۱۱



ب



الف

بار ذخیره شده منفی بار ذخیره شده مثبت

شکل ۱۲

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 ۱۲).

نسبت انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شده به مقدار بار الکتریکی را «پتانسیل الکتریکی» می‌گویند و از رابطه روبه‌رو به دست می‌آید. که در این رابطه:

U انرژی پتانسیل الکتریکی بر حسب ژول (J)

V پتانسیل الکتریکی بر حسب ولت (V)

q بار الکتریکی بر حسب کولن (C)

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

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

مثال: بار الکتریکی $5\mu\text{C}$ روی یک کره رسانا با پایه عایق انباشته شده است. اگر انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شده 20 mJ باشد، پتانسیل الکتریکی آن را بیابید:

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

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

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

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

پتانسیل الکتریکی زمین

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

ولتاژ

اختلاف پتانسیل الکتریکی میان دو نقطه را «ولتاژ» می نامند و از رابطه زیر به دست می آید (شکل ۱۳).

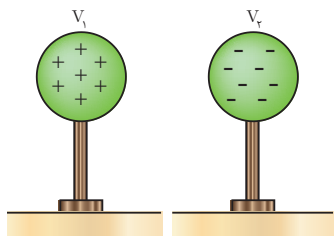
$$V = V_1 - V_2$$

که در این رابطه:

V_1 پتانسیل الکتریکی نقطه اول بر حسب ولت (V)

V_2 پتانسیل الکتریکی نقطه دوم بر حسب ولت (V)

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

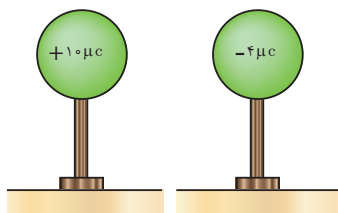


شکل ۱۳

مثال: دو کره مشابه رسانا یا انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شده 5 mJ مطابق شکل ۱۴، روی پایه عایق قرار دارند مطلوب است:

الف) پتانسیل الکتریکی کره ها

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



شکل ۱۴

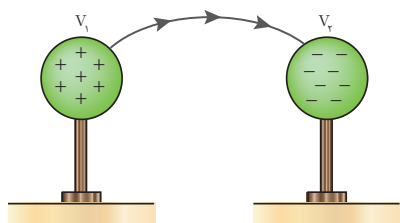
حل:

$$\text{الف) } V_1 = \frac{U_1}{q_1} = \frac{5 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-6}} = 0.5 \times 10^3 = 500 [\text{V}]$$

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

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

واحد‌یادگیری ۲ درک، تبیین و کاربرد جریان الکتریکی



شکل ۱۵

شارش بارهای الکتریکی بین دو نقطه را «جریان الکتریکی» گویند. عامل جاری شدن جریان الکتریکی اختلاف پتانسیل الکتریکی میان دو نقطه است (شکل ۱۵).
جریان الکتریکی ناشی از حرکت الکترون‌های آزاد می‌باشد. الکترون آزاد الکترونی است که می‌تواند از لایه والانس جدا شود و به هیچ اتمی وابسته نیست.



شکل ۱۶

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

در مورد دستگاه «واندوگراف» تحقیق کنید. اگر این دستگاه را در هنرستان دارید با آن آزمایش کنید. اگر می‌توانید فیلم‌هایی از آزمایش‌های انجام شده با واندوگراف را در کلاس نمایش دهید.

تحقیق کنید



شدت جریان الکتریکی

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

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

که در این رابطه:

q بار الکتریکی شارش یافته برحسب کولن [C]

t زمان شارش بار الکتریکی برحسب ثانیه [S]

I شدت جریان الکتریکی برحسب 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.



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

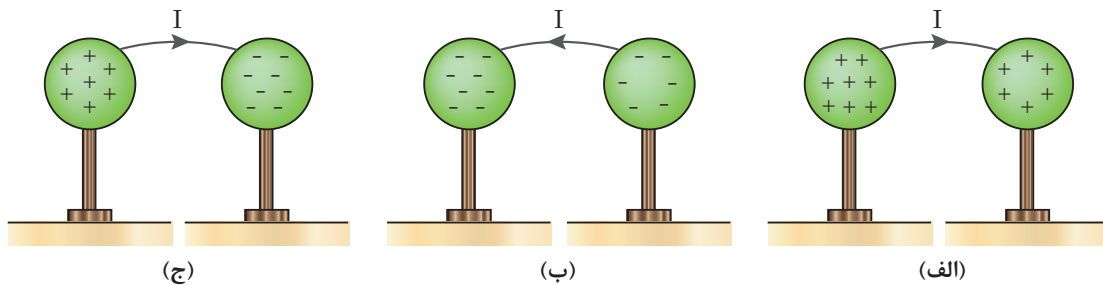
مثال: بار الکتریکی $4\mu\text{C}$ در مدت 0.02 s میان دو نقطه شارش می‌کند. شدت جریان الکتریکی چند آمپر است؟

حل: از رابطه $I = \frac{q}{t}$ داریم:

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

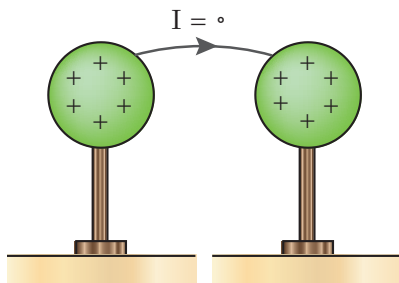
جهت جریان الکتریکی

جهت جریان الکتریکی از پتانسیل بیشتر به پتانسیل کمتر می‌باشد و مادامی که اختلاف پتانسیل وجود داشته باشد جریانی الکتریکی برقرار است (شکل ۱۷).



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

شکل ۱۷



شکل ۱۸

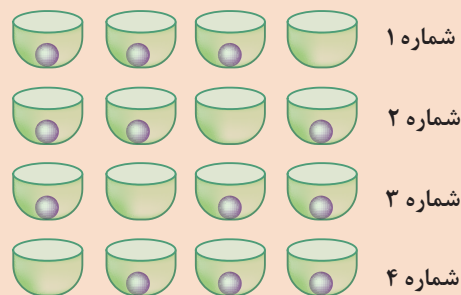
در شکل (الف) جریانی از کره پتانسیل بیشتر به کره با پتانسیل کمتر جاری می‌شود تا پتانسیل الکتریکی دو کره برابر شود (شکل ۱۸).

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

به شکل ۱۹ به ترتیب از سطرهاى ۱ الى ۴ نگاه کنید. به نظر شما گلوله به سمت راست حرکت کرده است یا ظرف خالی به سمت چپ حرکت کرده است؟



شکل ۱۹

آثار جریان الکتریکی

براساس قانون پایستگی انرژی، انرژی به وجود نمی آید و از بین نمی رود بلکه تنها از صورتی به صورت دیگر تبدیل می شود. انرژی پتانسیل الکتریکی با جاری شدن جریان الکتریکی به انرژی های دیگر تبدیل می شود. آثار جریان الکتریکی تولید گرما، نور، مغناطیس، حرکت و واکنش شیمیایی می باشد.

تولید گرما به وسیله جریان الکتریکی



شکل ۲۰

جریان الکتریکی هنگام عبور از سیم، در آن مقداری گرما تولید می کند. این بدان علت است که مقداری انرژی مصرف می شود تا جریان از سیم عبور کند و این انرژی به صورت گرما ظاهر می شود. چون عبور جریان از یک هادی خوب آسان تر است، نتیجه می گیریم که در آن حرارت کمتری تولید می شود. شکل ۲۰ موارد استفاده اثر حرارتی الکتریسیته را نمایش می دهد.

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 رشته‌ای است (شکل ۲۱).



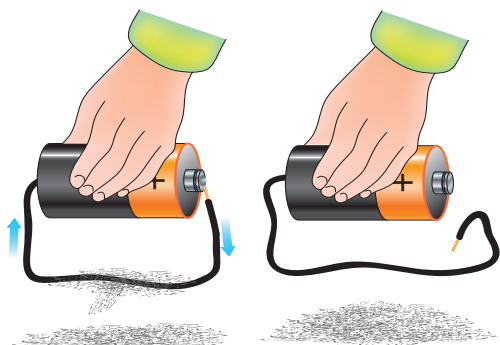
شکل ۲۱

نور را می‌توان بدون تولید حرارت زیاد نیز توسط جریان الکتریکی تولید کرد. بسیاری از گازها به هنگام هدایت جریان یونیزه می‌شوند و تابش‌های نوری تولید می‌کنند. به عنوان مثال زنون، آرگون و بخار جیوه را می‌توان نام برد. موارد استفاده آن را نیز در چراغ‌های معابر و لامپ‌های پر نور خودروها فروشگاه‌ها دیده‌اید. گازی مانند بخار جیوه هنگام حمل جریان الکتریکی یونیزه می‌شود و اشعه‌های ماورای بنفش از خود متصاعد می‌کند. این اشعه با لایه فسفرسانس (پودر سفیدرنگ چسبیده به جداره داخلی لامپ فلورسنت یا مهتابی) برخورد می‌کند و نور سفید می‌دهد (شکل ۲۲).



شکل ۲۲

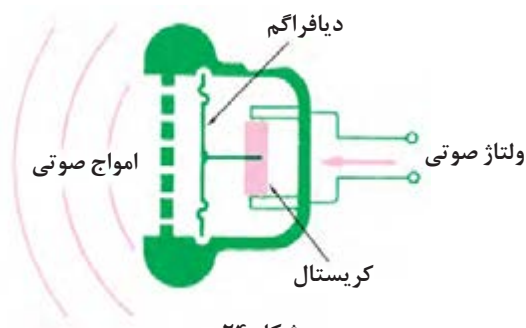
تولید مغناطیسی به وسیله جریان الکتریکی



شکل ۲۳

به خاصیت یک ماده در جذب یا دفع آهنربا «خاصیت مغناطیسی» می‌گویند. هر هادی که جریان الکتریکی از آن بگذرد، مانند یک آهنربا دارای خاصیت مغناطیسی عمل می‌کند. به این خاصیت، خاصیت مغناطیسی می‌گویند. در شکل ۲۳ هنگامی که جریان الکتریکی از سیم عبور کند، سیم مانند مغناطیس عمل می‌کند و براده‌های آهن را جذب می‌نماید، در صورت قطع شدن سیم، خاصیت مغناطیسی سیم از بین می‌رود و براده‌ها می‌افتند.

تولید صدا به وسیله جریان الکتریکی



شکل ۲۴

همان‌طور که نیرو در بعضی از کریستال‌ها خمشی یا چرخشی ایجاد می‌کند، اختلاف پتانسیل الکتریکی نیز باعث خمشی یا چرخشی در کریستال می‌شود و نیرو تولید می‌گردد. در شکل ۲۴ 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.

تولید واکنش شیمیایی به وسیله جریان الکتریکی



شکل ۲۵

بار الکتریکی عامل 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 SO_4Cu همراه باشد، مس II سولفات به یون‌های مثبت مس (Cu^{++}) و یون‌های منفی سولفات (SO_4^{2-}) تجزیه می‌شود. یون‌های مس به سمت الکتروود منفی می‌روند و الکترون جذب می‌کنند ولی چون مس فلز است، به الکتروود خواهد چسبید (شکل ۲۵).

پس از مدتی، الکتروود به طور کامل در لایه‌ای از مس پوشیده خواهد شد. از این طریق می‌توان با نقره و طلا نیز آبکاری کرد.



در الکترولیز، انرژی الکتریکی مصرف می‌شود تا یک واکنش شیمیایی غیرخودبه‌خودی رخ دهد. آیا می‌توان برعکس عمل کرد؛ یعنی یک واکنش شیمیایی خودبه‌خودی رخ دهد و باعث ایجاد انرژی الکتریکی شود؟ در مورد این موضوع تحقیق کنید و در کلاس ارائه نمایید.



پروفسور لطفی‌زاده (لطفعلی عسگرزاده)، مبدع منطق نوین فازی

پروفسور لطفی‌زاده در سال ۱۲۹۹ شمسی متولد شد. دوران متوسطه را در مدرسه البرز تهران از دانش آموزان ممتاز بود، پس از آن در دانشگاه تهران پذیرفته شد و در امتحانات سراسری ورود به دانشگاه، مقام دوم را کسب نمود. او جزء اولین گروه دانشجویانی بود که در رشته فنی دانشگاه تهران فارغ‌التحصیل شد و برای ادامه تحصیل به آمریکا و به دانشگاه MIT رفت. او درجه فوق لیسانس را در مهندسی برق دریافت کرد و در سال ۱۳۳۵ درجه دکتری خود را در رشته مهندسی برق از دانشگاه برکلی کلمبیا دریافت نمود و به استادان دانشگاه کلمبیا ملحق شد. در سال ۱۳۴۲ ریاست دپارتمان مهندسی برق دانشگاه برکلی را که بالاترین عنوان در رشته مهندسی است به عهده گرفت. به اعتقاد بسیاری، لطفی‌زاده یکی از باهوش‌ترین و برجسته‌ترین مردانی است که رشته مهندسی برق به خود دیده است. پروفسور «لطفی‌زاده» 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 آمریکا 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.

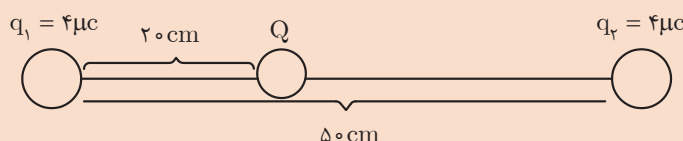
کاربرد منطق فازی در طبیعت:

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.



- ۱ عدد اتمی مس برابر ۲۹ می باشد. بار الکتریکی اطراف هسته چند کولن و چه نوعی می باشد؟
- ۲ اگر بار الکتریکی اتم مس $3/2 \times 10^{-19} \text{ C}$ باشد تعداد الکترون های اطراف هسته را مشخص کنید.
- ۳ بیشترین الکترون که می تواند در لایه چهارم یک اتم در اطراف هسته وجود داشته باشد چه تعدادی است؟
- ۴ دو بار الکتریکی مشابه $q = 5 \mu\text{C}$ در فاصله 10 cm از هم قرار دارند. نیروی کولنی بین آنها چه نوع و چه مقدار است؟

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



- ۶ دو بار نقطه ای مثبت و مساوی، هر یک برابر 10^{-4} کولن به فاصله دو متر از یکدیگر قرار دارند. نیروی بین آنها چند نیوتن است؟
- ۷ اندازه و نوع نیروی بین یک بار منفی 5 میکروکولنی و یک بار مثبت 2 میکروکولنی را که به فاصله 9 سانتی متر از یکدیگر قرار دارند، تعیین کنید.
- ۸ دو بار همنام وقتی به فاصله d از یکدیگر واقع شوند، نیروی معین F را به هم وارد می کنند. الف) اگر فاصله دو بار را نصف، دو برابر یا سه برابر کنیم، F به چه نسبتی تغییر خواهد کرد؟ ب) اگر در فاصله ثابت d اندازه یکی از بارهای الکتریکی را نصف یا دو برابر یا سه برابر کنیم، F به چه نسبتی تغییر می کند؟
- ۹ بار مثبت 5×10^{-7} کولنی وقتی در نقطه ای از یک میدان الکتریکی قرار گیرد، نیرویی برابر 0.4 N بر آن وارد می شود. شدت میدان الکتریکی را در این نقطه حساب کنید.
- ۱۰ شدت میدان الکتریکی در یک میدان یکنواخت (یعنی میدانی که شدت آن ثابت و خطوط نیروی آن موازی و هم جهت است) برابر $1000 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ است. اندازه نیروی وارد بر یک الکترون را وقتی که در این میدان قرار می گیرد، حساب کنید. بار الکتریکی الکترون را $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ (C)}$ بگیرید.
- ۱۱ بار الکتریکی q در میدان الکتریکی یکنواخت به شدت $20 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ قرار گرفته و نیرویی برابر 3×10^{-4} بر آن وارد شده است، مقدار بار q چند کولن است؟
- ۱۲ در نقطه ای بر بار $q = 4 \mu\text{C}$ نیروی کولنی 5 N وارد می شود. شدت میدان الکتریکی در آن نقطه را به دست آورید.
- ۱۳ انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شده در یک کره رسانا 50 mJ و پتانسیل الکتریکی آن 250 V می باشد. بار انباشته شده روی آن چند کولن است؟
- ۱۴ بار الکتریکی عبوری از مداری با جریان الکتریکی 3 آمپر در مدت 10 میلی ثانیه چند کولن است؟
- ۱۵ در اثر رعد و برق در مدت 2 ms تعداد 5×10^{21} الکترون از تنه یک درخت عبور می کند. حساب کنید شدت جریان عبوری از آن چند آمپر است؟ جریان حاصل از این رعد و برق چند برابر جریان مصرفی یک خانه مسکونی است در صورتی که جریان مصرفی یک خانه مسکونی 32 آمپر فرض شود؟

استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی مبتنی بر شایستگی درس دانش فنی پایه پودمان اول

عنوان پودمان	واحدهای یادگیری (شایستگی)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقق
پودمان ۱: مبانی الکتریسته	۱- درک و تبیین قانون کولن و پتانسیل الکتریکی	تعیین نیروی کولنی و اختلاف پتانسیل الکتریکی	بالاتر از حد انتظار	انجام شایسته فعالیت‌های مکمل محتوای پودمان (نظیر تحقیق کنید آزمایش کنید، فعالیت‌های گروهی و...) یا احراز شایستگی‌های عمومی و غیرفنی درحد بالاتر از انتظار
	۲- درک، تبیین و کاربرد جریان الکتریکی	محاسبه جریان و تبیین آثار جریان الکتریکی	در حد انتظار	۱- شناسایی ساختمان اتم ۲- مقایسه الکتریکی عناصر ۳- محاسبه شدت میدان الکتریکی ۴- تبیین پتانسیل الکتریکی ۵- استدلال شارش جریان الکتریکی ۶- محاسبه مقدار و جهت جریان الکتریکی ۷- شناسایی آثار جریان الکتریکی
			پایین‌تر از حد انتظار	در صورتی‌که هنرجو همه شاخص‌های درحد انتظار را محقق نسازد، پایین‌تر از حد انتظار ارزشیابی می‌شود.
	لازم است تا کیفیت فرایند کسب شایستگی در طول زمان آموزش پودمان براساس انجام فعالیت‌های کلاسی و کارگاهی، نظم مشارکت در فعالیت‌های آموزشی و تربیتی، ابتکار در تکالیف عملکردی درسی و... درنظر گرفته شود.			
شایستگی پودمان بالاتر از حد انتظار، درحد انتظار، پایین‌تر از حد انتظار				

شایستگی‌های غیرفنی و عمومی (ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی)

شاخص‌ها	ضریب کیفیت عملکرد	شایستگی عملکرد هنرجو
مدیریت کیفیت - جمع‌آوری و گردآوری اطلاعات - رعایت ارگونومی - کنترل حفاظت الکتریکی و الکترونیکی تجهیزات - ایجاد محتوای الکترونیک - کاهش مصرف کاغذ - طراحی خلاقانه پوستر گرافیکی و گرافیک متحرک - رعایت انضباط فردی و کلاسی - پوشش مناسب - احترام به استاد و همکلاسی‌ها - حضور به موقع در کارگاه و...	۲	

شایستگی‌های غیرفنی و عمومی			شایستگی‌های فنی			شایستگی عملکرد هنرجو در پودمان
بالاتر از حد انتظار	در حد انتظار	کمتر از حد انتظار	بالاتر از حد انتظار	در حد انتظار	کمتر از حد انتظار	

شایستگی عملکرد هنرجو از میانگین سطوح شایستگی کسب شده در مراحل کاری هر واحد یادگیری مشخص می‌شود. به شرط آنکه:

- سطح شایستگی هنرجو در هیچ مرحله ای کمتر از حد انتظار نباشد.
- هنرجو در شایستگی‌های غیرفنی و عمومی، شایستگی در حد انتظار یا بالاتر از حد انتظار را کسب کرده باشد.

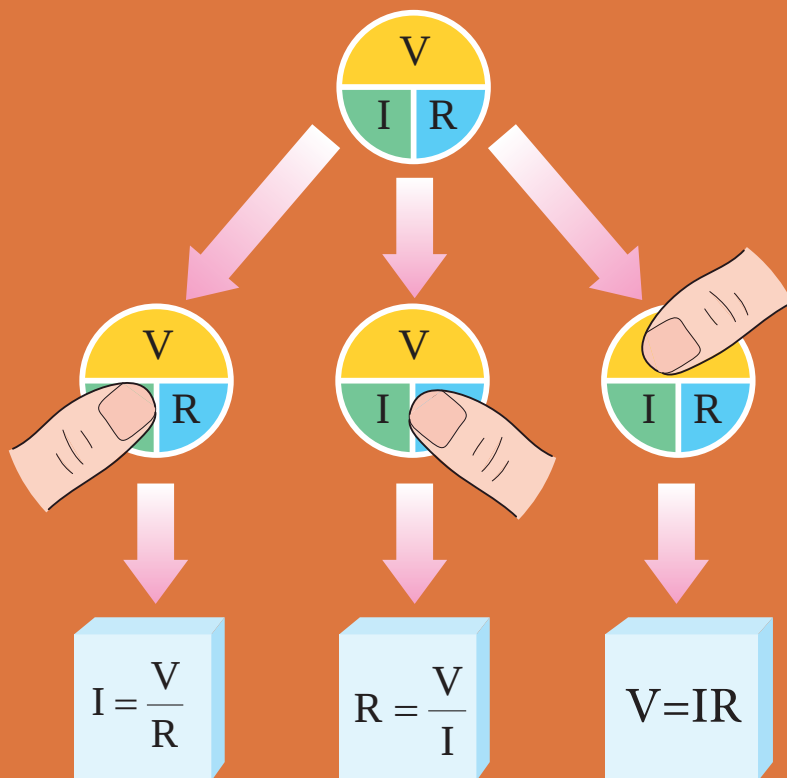
توجه:

- اگر حتی در یک مرحله کاری شایستگی کمتر از حد انتظار کسب شود، منجر به عدم کسب شایستگی پودمان می‌شود.
- با توجه به اینکه شایستگی‌های عمومی و غیرفنی از شرایط لازم برای کسب شایستگی می‌باشد؛ لذا در صورتی که شایستگی فنی را احراز کرده باشد اما در شایستگی یاد شده، سطح در حد انتظار کسب نشده باشد، به معنی عدم احراز شایستگی در پودمان است.

پودمان دوم

مدار الکتریکی

- واحد یادگیری ۱: درک و تبیین مقاومت الکتریکی و کاربرد قانون اهم
- واحد یادگیری ۲: شناخت انواع مقاومت الکتریکی و توان الکتریکی



واحد یادگیری ۱

درک و تبیین مقاومت الکتریکی و کاربرد قانون اهم

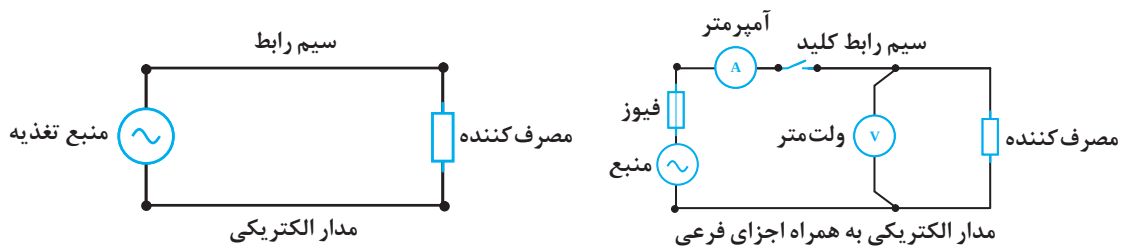
مسیری که در آن جریان الکتریکی برقرار می شود را «مدار الکتریکی» گویند. اجزای اصلی هر مدار الکتریکی عبارت است از:

۱ منبع تغذیه

۲ مصرف کننده

۳ سیم رابط

همچنین هر مدار الکتریکی می تواند شامل وسایل کنترلی نظیر کلید و یا تجهیزات حفاظتی نظیر فیوز و یا وسایل اندازه گیری الکتریکی نظیر آمپر متر نیز باشد که آنها را به عنوان اجزای فرعی مدار الکتریکی می شناسند (شکل ۱).



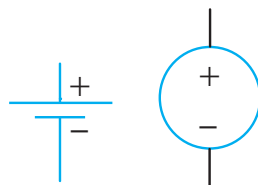
شکل ۱

منبع تغذیه

منبع تغذیه^۲ وظیفه تولید انرژی الکتریکی را برعهده دارد. نیروگاه های تولید برق و باتری ها منابع تغذیه ای هستند که در آنها سایر انرژی ها به انرژی الکتریکی تبدیل می شود. منابع تغذیه به دو دسته تقسیم می شوند :



(ب)



(الف)

شکل ۲

الف) منبع تغذیه جریان مستقیم

منبع تغذیه جریان مستقیم، منبعی است که جهت جریان آن تغییر نمی کند و آن را با حرف اختصاری DC نشان می دهند. ژنراتورهای جریان مستقیم، باتری ها و نیروگاه های خورشیدی از منابع تغذیه جریان مستقیم هستند. علامت اختصاری منبع تغذیه جریان مستقیم مطابق شکل ۲- الف است.

۱. Electrical Circuit

۲. Power Source

ب) منبع تغذیه جریان متناوب

منبع تغذیه جریان متناوب منبعی است که جهت جریان آن تغییر می‌کند و دارای فرکانس است و آن را با حرف اختصاری AC نشان می‌دهند. انرژی الکتریکی غالباً توسط ژنراتورها در نیروگاه‌های برق به صورت جریان متناوب تولید می‌شود. علامت اختصاری منبع تغذیه جریان متناوب مطابق شکل ۳-الف است.



شکل ۳

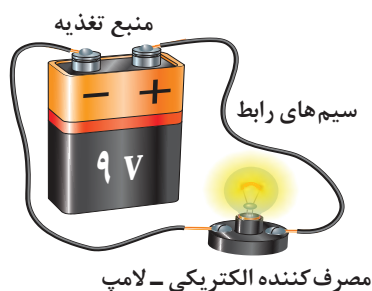
مصرف کننده الکتریکی



مصرف کننده الکتریکی^۱، 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 پودمان‌های بعد با آنها آشنا خواهید شد انرژی الکتریکی را در خود ذخیره می‌سازند (شکل ۴).

شکل ۴

سیم رابط

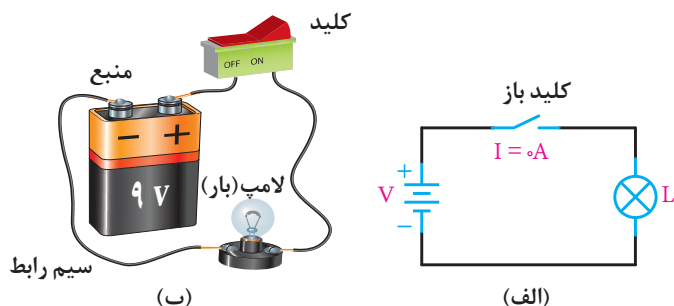


سیم رابط، ارتباط بین منبع تغذیه و مصرف کننده الکتریکی را به منظور انتقال انرژی الکتریکی از منبع تغذیه به مصرف کننده فراهم می‌سازد (شکل ۵).

شکل ۵

۱. Electrical Load

کلید



شکل ۶

در صورتی که قصد قطع و وصل مدار (کنترل مصرف کننده) الکتریکی را داشته باشیم، لازم است تا مسیر عبور جریان الکتریکی را قطع یا وصل کنیم که معمولاً این کار توسط کلید انجام می‌گیرد. کلید از اجزای اصلی مدار به حساب نمی‌آید (شکل ۶).

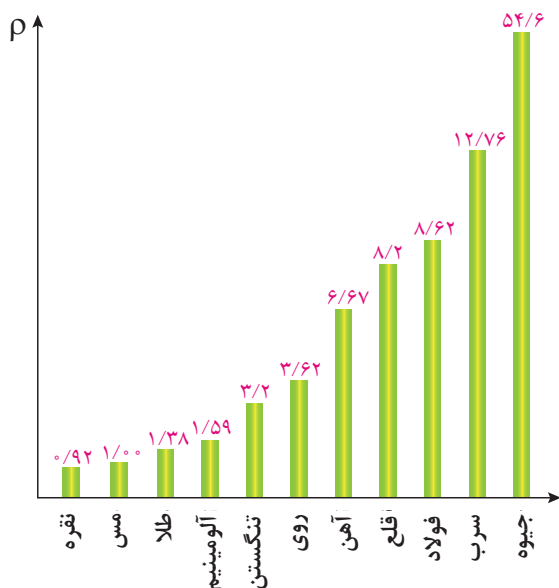
مقاومت الکتریکی



شکل ۷- گئورگ سیمون اهم

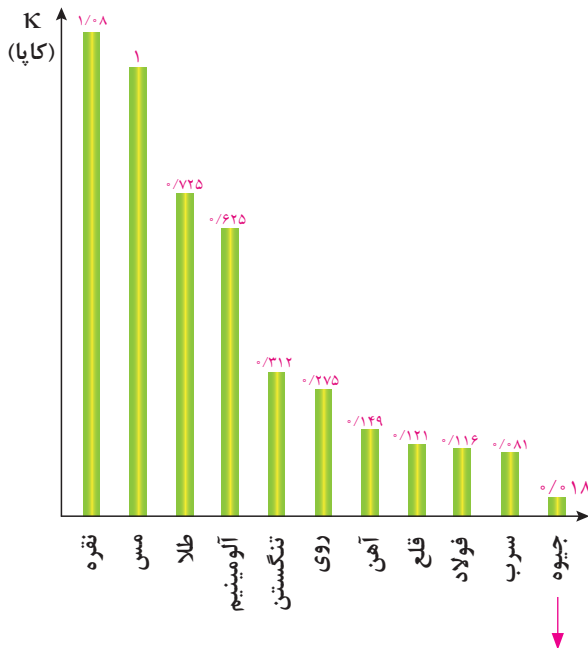
مقاومت الکتریکی عبارت است از مخالفتی که اجسام در مقابل عبور جریان الکتریکی از خود نشان می‌دهند. هادی‌ها نسبت به عایق‌ها جریان الکتریکی را به راحتی از خود عبور می‌دهند و مقاومت زیادی از خود نشان نمی‌دهند. در حدود سال‌های ۱۸۰۰ یک دانشمند آلمانی به نام گئورگ سیمون اهم آزمایش‌هایی در مورد مدارها و هادی‌ها انجام داد و نکات مهمی را در مورد ماهیت مقاومت الکتریکی کشف کرد. برای قدردانی از این شخص، واحد مقاومت به نام اهم نامیده شده است (شکل ۷).

مقاومت الکتریکی مخصوص



شکل ۸- الف

مقاومت الکتریکی مخصوص یا (مقاومت ویژه الکتریکی)، مقاومت الکتریکی جسمی به طول یک متر با سطح مقطع یک میلی‌متر مربع است. آن را با حرف ρ نشان می‌دهند. مقاومت الکتریکی مخصوص چند فلز در مقایسه با مس در شکل ۸- الف نشان داده شده است (مقدار هر عدد در نمودار از تقسیم مقاومت ویژه آن ماده بر مقاومت ویژه مس به دست آمده است).



این عدد یعنی هدایت الکتریکی ۱.۸٪ چوبه هدایت الکتریکی مس است.

شکل ۸- ب

عکس مقاومت الکتریکی مخصوص را هدایت الکتریکی مخصوص گویند و با K (کاپا) نشان می‌دهند، هدایت الکتریکی مخصوص چند فلز در مقایسه با مس در شکل ۸- ب نشان داده شده است.

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

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

که در این رابطه :
 ρ مقاومت الکتریکی مخصوص

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

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

K هدایت الکتریکی مخصوص

عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی

عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی هادی‌ها عبارت‌اند از :

■ سطح مقطع

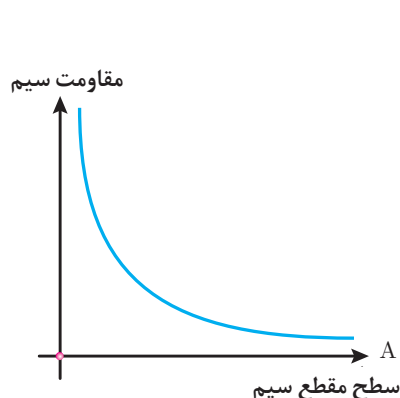
■ طول

■ جنس

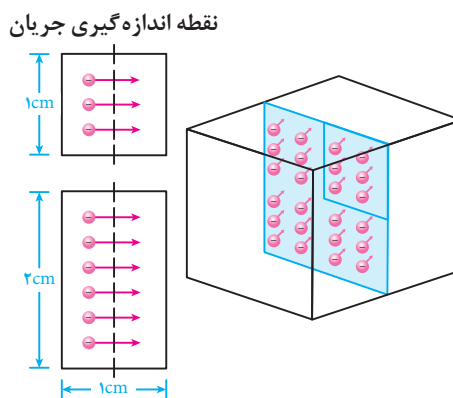
■ دما

تأثیر سطح مقطع هادی بر مقاومت الکتریکی

مقدار جریان الکتریکی به تعداد الکترون‌های آزاد موجود در سیم بستگی دارد؛ بنابراین با افزایش سطح مقطع هادی تعداد الکترون‌های آزاد بیشتر می‌شود تا مقدار بیشتری جریان الکتریکی بتواند از آن عبور کند. اگر سیم فلزی را بکشیم تا نازک‌تر و بلندتر شود، مقاومت آن افزایش خواهد یافت، برعکس اگر آن را فشرده کنیم و سطح مقطع آن را بیشتر کنیم، مقاومت کاهش خواهد یافت. چنانچه سطح مقطع مس یا هر رسانایی که به کار می‌برید دو برابر شود، قابلیت هدایت آن دو برابر و مقاومت آن نصف می‌شود (شکل ۹). شکل ۱۰ تغییرات مقاومت نسبت به سطح مقطع هادی را نمایش می‌دهد. طبق این نمودار هر قدر سطح مقطع افزایش پیدا می‌کند، مقاومت الکتریکی کمتر می‌شود.

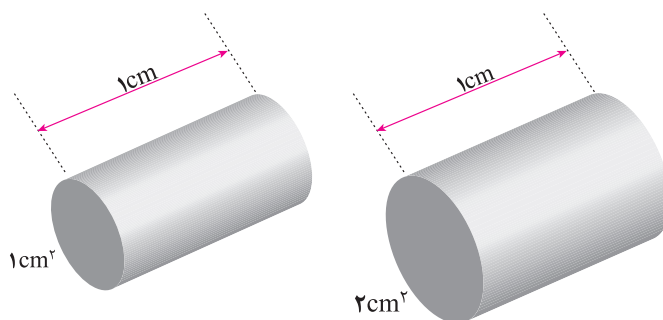


شکل ۱۰

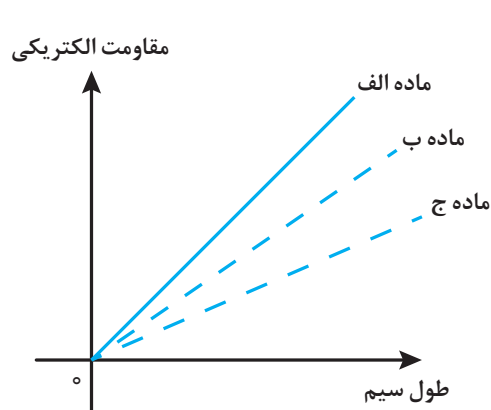


شکل ۹

می‌توان با اضافه کردن سطح مقطع (A) مقاومت را کم کرد و با کم کردن سطح مقطع بر مقاومت افزود. اگر سطح مقطع سیم را دو برابر کنیم، مقاومت آن نصف می‌شود. در نتیجه می‌گوییم مقاومت با سطح مقطع نسبت عکس دارد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱



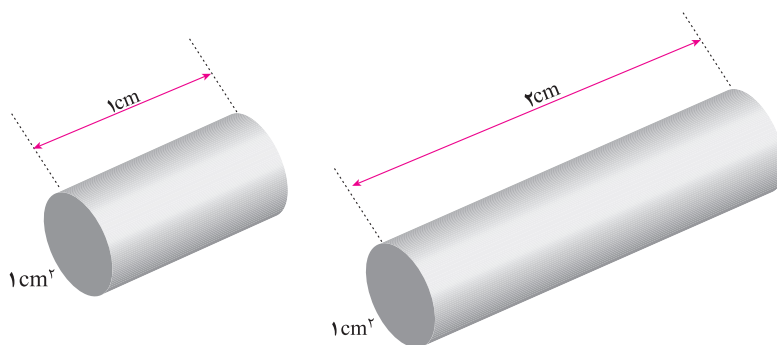
شکل ۱۲

تأثیر طول هادی بر مقاومت الکتریکی

مسلماً تعداد برخورد های الکترون ها با یکدیگر و جداره هادی در طول مسیر بیشتر، افزایش خواهد یافت و همین امر موجب افزایش مقاومت الکتریکی سیم می‌شود. درواقع هر طول معین از هادی، مقدار معینی مقاومت الکتریکی دارد و هرچه سیم طولی تر باشد، مقاومت الکتریکی آن نیز بیشتر است.

شکل ۱۲ تغییرات مقاومت بر حسب طول هادی در چند ماده مختلف را نشان می‌دهد. طبق این نمودار اگرچه شیب نمودار برای مواد مختلف فرق دارد اما، هر قدر طول هادی زیاد شود، مقاومت الکتریکی افزایش می‌یابد.

اگر طول یک سیم (L) را زیاد کنیم، مقاومت آن زیاد می‌شود و برعکس، اگر طول سیم را کم کنیم، مقاومت آن کم می‌شود.
اگر طول سیم را مثلاً دو برابر کنیم، مقاومت آن را دو برابر کرده‌ایم، پس مقاومت یک سیم با طول آن نسبت مستقیم دارد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳

مقاومت الکتریکی مخصوص و هدایت الکتریکی مخصوص به جنس هادی بستگی دارد؛ از رابطه زیر مقاومت الکتریکی رسانا به دست می‌آید.

$$R = \frac{L}{\kappa \cdot A} \quad \text{یا} \quad R = \rho \frac{L}{A}$$

در این رابطه:

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

L طول سیم بر حسب متر $[m]$

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

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

κ هدایت الکتریکی مخصوص بر حسب $\left[\frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \right]$ است.

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

$$R = \frac{L}{\kappa \cdot A} = \frac{112}{56 \times 4} = 0.5 [\Omega]$$

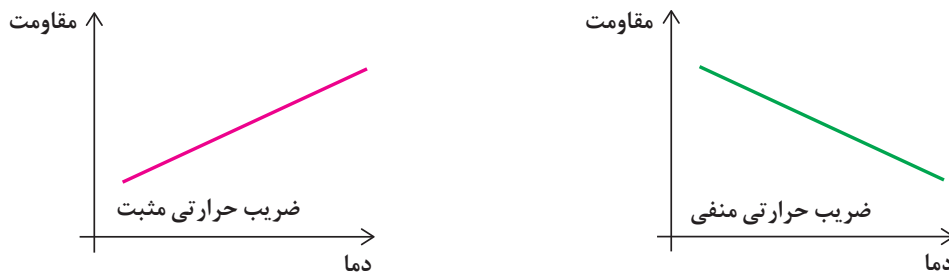
مثال: برای ساختن یک مقاومت الکتریکی 10 اهمی، چند متر سیم آلومینیومی با سطح مقطع $1/5 mm^2$ مورد

نیاز است؟ $\kappa_{AL} = 35 \left[\frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \right]$

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

اثر حرارت بر مقاومت الکتریکی

آنچه در مورد مقاومت گفته شد، همه در دمای اتاق صادق است. در دماهای کمتر یا بیشتر، مقدار مقاومت کلیه فلزات تغییر می‌کند. تغییر مقاومت بر اثر حرارت در فلزات مختلف متفاوت است، تغییرات واحد مقاومت الکتریکی به ازای یک درجه سانتی‌گراد را ضریب حرارتی می‌گویند و آن را با (α) نمایش می‌دهند؛ برای مثال اگر $\alpha = 0.004 / ^\circ\text{C}$ باشد یعنی اینکه واحد مقاومت آن جسم به ازای یک درجه سانتی‌گراد 0.004 اهم افزایش یا کاهش می‌یابد. اگر مقاومت الکتریکی جسمی بر اثر حرارت افزایش یابد، ضریب حرارتی (α) مثبت و در صورت کاهش مقاومت، ضریب حرارتی (α) منفی خواهد بود (شکل ۱۴). در هادی‌های الکتریکی ضریب حرارتی α همواره مثبت است لذا با افزایش دما، مقاومت الکتریکی هادی افزایش می‌یابد.



شکل ۱۴

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

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

که در این رابطه:

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

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

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

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

مثال: مقاومت الکتریکی سیمی در صفر درجه سانتی‌گراد 2Ω اهم است. اگر دمای سیم به 100 درجه سانتی‌گراد

برسد، مقاومت الکتریکی آن چند اهم می‌شود؟ $(\alpha = 0.004 / ^\circ\text{C})$

حل:

$$R_0 = 2\Omega$$

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

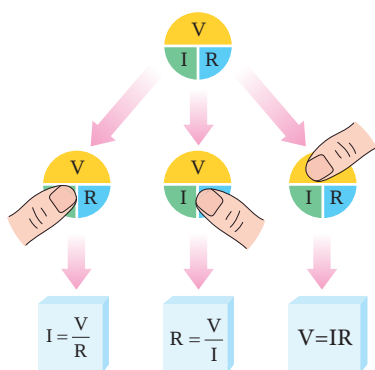
$$R = R_0(1 + \alpha \Delta\theta)$$

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

$$R = 2.8[\Omega]$$

قانون اهم

قانون اهم بیان می‌کند نسبت اختلاف پتانسیل دو سر هادی به شدت جریان آن در دمای معین مقداری ثابت است که این مقدار ثابت را «مقاومت الکتریکی» هادی گویند و با R نشان می‌دهند و از رابطه $R = \frac{V}{I}$ به دست می‌آید.



شکل ۱۵

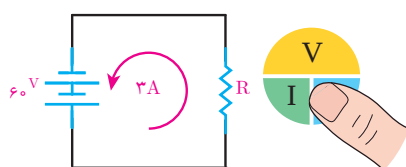
که در این رابطه :

V اختلاف پتانسیل دو سر هادی $[V]$

I شدت جریان هادی $[A]$

R مقاومت الکتریکی $[\Omega]$

است. نحوه استفاده از قانون اهم در شکل ۱۵ نشان داده شده است. شکل ۲۱ 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.

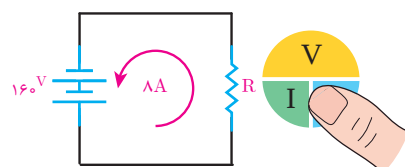


شکل ۱۶

مثال: اگر در مدار شکل ۱۶ شدت جریان ۳ آمپر از مقاومت عبور کند، مقاومت مدار چقدر است؟

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

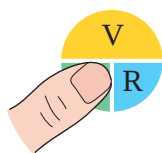
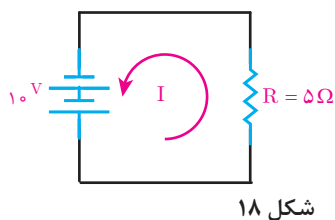
$$R = 20[\Omega]$$



شکل ۱۷

مثال: اگر در مدار شکل ۱۷ بخواهیم شدت جریان مدار ۸ آمپر شود، چه مقاومتی باید در مدار قرار گیرد؟

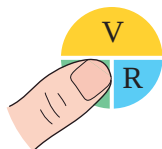
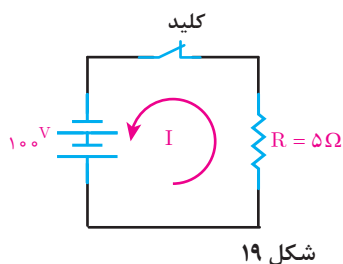
$$R = \frac{V}{I} = \frac{160}{8} \quad R = 20[\Omega]$$



مثال: اگر در مدار شکل ۱۸ ولتاژی برابر با ۱۰ ولت به دو سر مقاومتی برابر ۵ اهم اعمال شود، شدت جریان مدار چقدر است؟

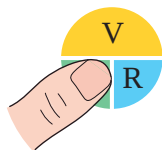
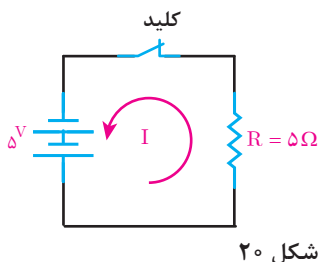
$$I = \frac{V}{R} = \frac{10}{5}$$

$$I = 2A$$



مثال: شدت جریان الکتریکی در مدار شکل ۱۹ چند آمپر است؟

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

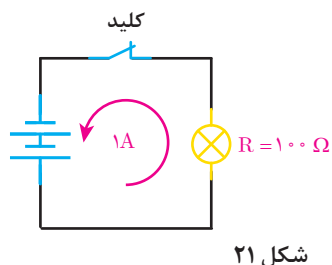


مثال: شدت جریان الکتریکی مدار شکل ۲۰ را به دست آورید.

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

با مقایسه نتایج دو مثال قبل چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

فعالیت کلاسی



مثال: اگر از لامپی به مقاومت ۱۰۰ اهم جریانی به شدت ۱ آمپر عبور کند، با توجه به شکل ۲۱ ولتاژ منبع چند ولت است؟

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

$$V = 100[V]$$

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؟

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

$$V = 50V$$

$$100 - 50 = 50[V]$$



واحد یادگیری ۲

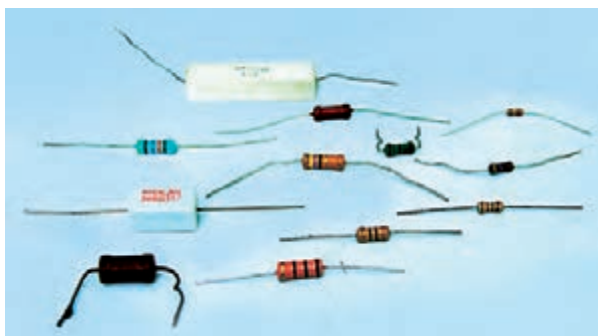
شناخت انواع مقاومت الکتریکی و توان الکتریکی

در مدارهای الکتریکی و الکترونیکی از قطعه‌ای به نام مقاومت الکتریکی برای کنترل جریان یا ولتاژ استفاده می‌شود. انواع مقاومت‌های الکتریکی به صورت زیر است:



مقاومت‌های ثابت

مقاومت‌های ثابت به آن دسته از مقاومت‌ها گفته می‌شود که مقدارشان همواره ثابت است.



شکل ۲۲

مقاومت متغیر

مقاومت متغیر، مقاومتی است که مقدار آن ثابت نیست و قابل تغییر می‌باشد. مقاومت متغیر وابسته، به مقاومت‌هایی گفته می‌شود که مقدار آنها به نور، حرارت، ولتاژ و... وابسته می‌باشد.

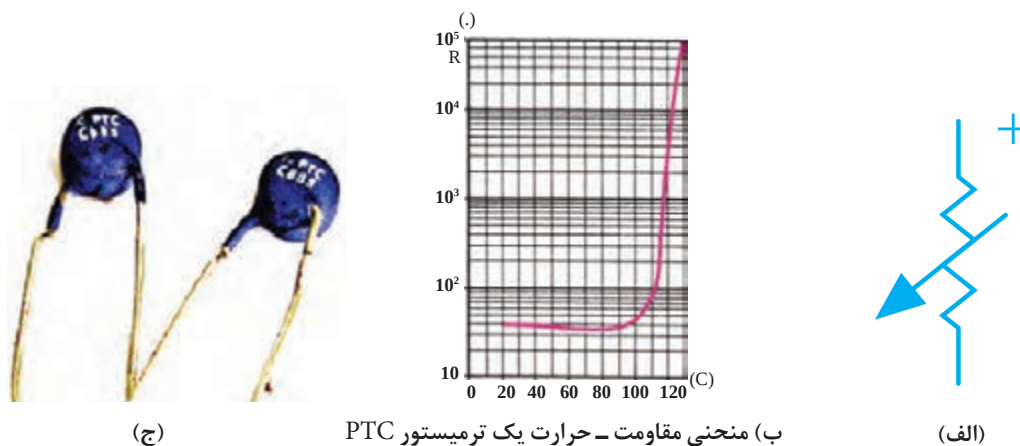
مقاومت تابع حرارت (ترمیستور)^۱

مقدار اهم این مقاومت‌ها تابع حرارت است، یعنی در اثر حرارت میزان مقاومتشان تغییر می‌کند. مقاومت‌های حرارتی را تحت عنوان «ترمیستور» می‌شناسیم. تغییرات در مقاومت به ضریب حرارتی آن که مثبت یا منفی باشد، بستگی دارد. در این مقاومت‌ها تغییرات مقدار مقاومت نسبت به تغییرات دما خطی نیست. از این مقاومت‌ها

۱. Thermally sensitive resistor = THERMISTOR

در مدارها به صورت حس کننده های^۱ حرارتی در مسیر دستگاه های الکتریکی نظیر موتورهای الکتریکی، کوره ها، سیستم های تهویه و تبرید استفاده می شود. به طور کلی ترمیستورها در مداراتی که دما را اندازه گیری یا کنترل می کنند به کار می روند و در دو نوع ساخته می شوند:

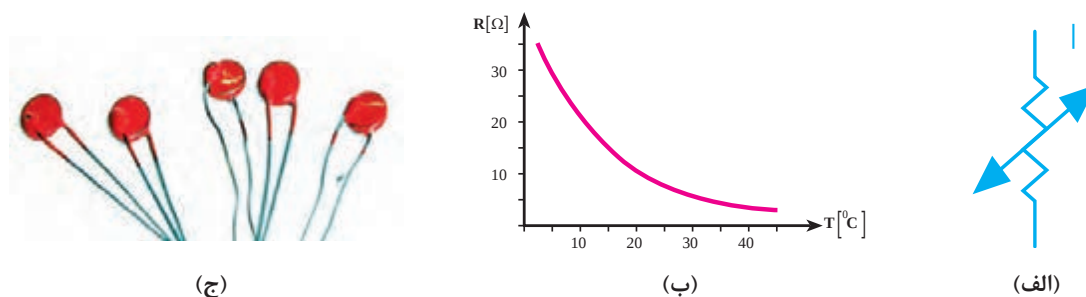
■ **ترمیستور با ضریب حرارتی مثبت^۲ (PTC):** نوعی ترمیستور است که با افزایش دما مقدار مقاومت آن افزایش می یابد. مقدار اهم مقاومت های PTC را در دمای 25°C بیان می کنند. همچنین علاوه بر این مقدار، دمایی را که در آن مقاومت PTC دو برابر می شود، قید می کنند. به این دما «دمای سوئیچ» می گویند. منحنی تغییرات مقاومت نسبت به حرارت PTC به همراه تصویر چند نمونه از آن در شکل ۲۳ نشان داده شده است.



شکل ۲۳

■ **ترمیستور با ضریب حرارتی منفی^۳ (NTC):** نوعی ترمیستور است که با افزایش دما مقدار مقاومتش کاهش می یابد، یعنی این نوع مقاومت ها دارای ضریب حرارتی منفی هستند. در انتخاب مقاومت های NTC به ماکزیمم قدرت مجاز مقاومت نیز باید توجه کرد. منحنی تغییرات مقاومت نسبت به تغییرات دما در NTC به صورت غیرخطی و نزولی است.

در شکل ۲۴ منحنی مشخصه^۴ NTC و یک نمونه مقاومت NTC همراه با علامت اختصاری آن نشان داده شده است.



شکل ۲۴

۱. Sensor

۲. PTC = Positive Temperature Coefficient

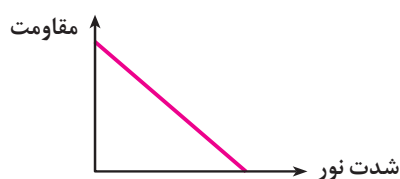
۳. NTC = Negative Temperature Coefficient

در چه مواردی نمی توان NTC یا PTC را به جای هم به کار برد؟ کاربردهای عملی هر کدام را گزارش دهید.

مقاومت های تابع نور^۱ (LDR)

مقدار مقاومت تابع نور (LDR) تابع تغییرات شدت نور تابیده شده به سطح آن است. مقاومت تابع نور در فضای تاریک دارای مقاومت خیلی زیاد (در حد مگا اهم) و در روشنایی دارای مقاومت کم (در حد کیلو یا اهم) است. مقاومت های LDR را «فتورزیستور» هم می نامند. برای اینکه نور روی عنصر مقاومتی فتورزیستور اثر گذارد معمولاً سطح ظاهری آن را با شیشه یا پلاستیک شفاف می پوشانند. در شکل ۲۵ نمای ظاهری و علامت اختصاری و در شکل ۲۶ منحنی تغییرات مقاومت نسبت به نور نشان داده شده است.

از این مقاومت در مدارات الکترونیکی به عنوان تشخیص دهنده نور (نورسنج) استفاده می شود. از جمله کاربردهای این مقاومت استفاده آن در دوربین های عکاسی و کلیدهای نوری و چشم های الکترونیکی است.



شکل ۲۶



(ب)



(الف)

شکل ۲۵- نمای ظاهری و علامت اختصاری یک فتورزیستور

مقاومت های تابع ولتاژ^۲ (VDR):

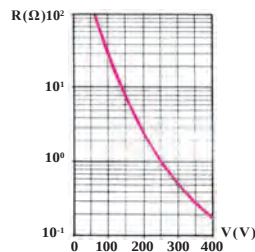
مقاومت های تابع ولتاژ (VDR) مقاومت هایی هستند که متناسب با تغییر ولتاژ مقاومت آنها تغییر می کند تا همواره ولتاژ یکسانی در مدار وجود داشته باشد. مقاومت VDR را تحت عنوان «واریستور»^۳ نیز می شناسند. مقدار اهم این مقاومت ها با ولتاژ رابطه معکوس دارد؛ یعنی با افزایش ولتاژ مقدار اهم آنها کاهش می یابد. شکل ظاهری چند واریستور به همراه منحنی مشخصه تغییرات مقاومت نسبت به ولتاژ آنها در شکل ۲۷ نشان داده شده است. واریستورها به پلارایته ولتاژ اعمال شده وابسته نیستند که این خود مزیتی برای این نوع مقاومت ها محسوب می شود، زیرا برای استفاده در مدارات AC بسیار مناسب هستند.



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۲۷- منحنی مقاومت - ولتاژ یک واریستور و نمای ظاهری چند واریستور مختلف

۱. LDR = Light Dependent Resistor

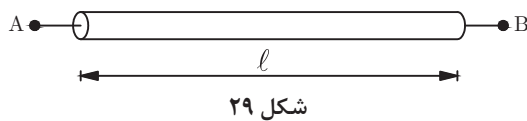
۲. VDR = Voltage Dependent Resistor

۳. VARISTOR

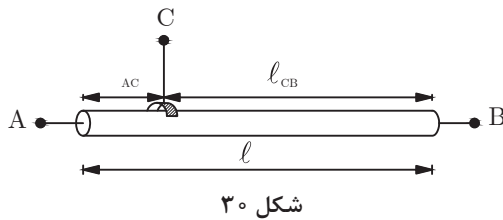
مقاومت متغیر قابل تنظیم



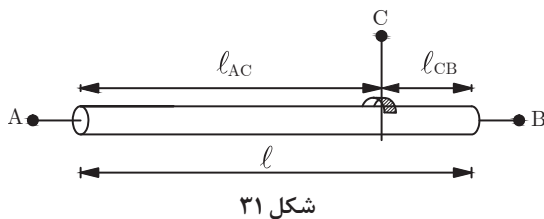
مقاومت متغیر قابل تنظیم به مقاومت‌هایی مانند رئوستا و پتانسیومتر گفته می‌شود که مقدار آنها قابل تنظیم می‌باشد (شکل ۲۸).



مقاومت الکتریکی متغیر تشکیل شده است از سیم با جنس کروم نیکل که یک لغزنده به روی آن حرکت می‌کند. مقاومت سیم با طول سیم متناسب است لذا می‌توان با تغییر طول سیم به یک مقاومت متغیر رسید. سیمی به طول l مطابق شکل ۲۹ در نظر است.



مقاومت الکتریکی بین سری‌های A و B متناسب با طول، سطح مقطع و جنس سیم مقدار مشخصی دارد. یک لغزنده مطابق شکل ۳۰ با سیم تماس داده شده است.



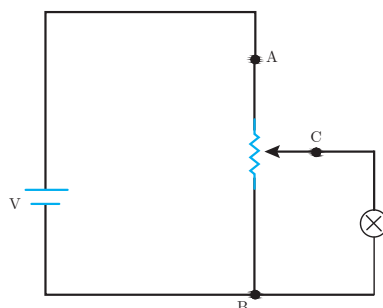
مقاومت الکتریکی بین سری‌های A و C متناسب با طول l_{AC} مقاومت بین سری‌های B و C متناسب با طول l_{CB} می‌باشد. با جابه‌جایی لغزنده طول‌های l_{AC} و l_{CB} تغییر کرده و متناسب با آن مقاومت الکتریکی سری‌های A و C و مقاومت الکتریکی سری‌های B و C تغییر می‌نماید (شکل ۳۱).



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 ۳۲ نشان داده می‌شود.

پتانسیومتر

پتانسیومتر، مقاومت الکتریکی متغیری است که سرهای A، B و C آن در مدار الکتریکی قرار می گیرند (شکل ۳۳).

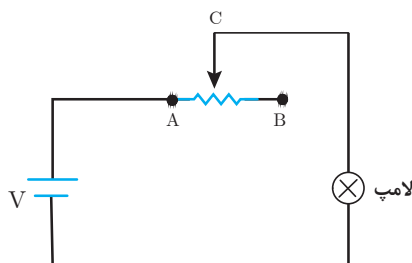


شکل ۳۳

از پتانسیومتر برای تغییر ولتاژ بین سرهای C و B براساس تقسیم ولتاژ بین سرهای AC و CB استفاده می کنند. در شکل ۳۳ با جابه جایی لغزنده ولتاژ لامپ تغییر و متناسب آن نور تغییر می کند.

رئوستا

رئوستا، مقاومت الکتریکی متغیری است که سرهای A و C آن در مدار الکتریکی قرار می گیرند (شکل ۳۴).



شکل ۳۴

از رئوستا برای تغییر جریان استفاده می شود. در شکل ۳۴ با جابه جایی لغزنده جریان لامپ تغییر می نماید و متناسب آن افت ولتاژ دو سر لامپ و نور لامپ تغییر می کند.

در مورد کاربردهای رئوستا و پتانسیومتر تحقیق کنید و گزارشی تصویری در مورد تفاوت آنها تهیه کنید.

تحقیق کنید



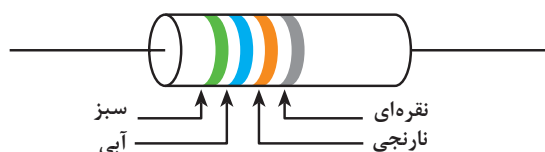
تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از نوارهای رنگی

در این روش مقدار مقاومت و تلرانس را به وسیله نوارهای رنگی مشخص می کنند. در این روش از دو رنگ اول برای عدد، رنگ سوم برای ضریب و رنگ چهارم برای تلرانس استفاده می شود. چنانچه مقاومت، رنگ چهارم نداشته باشد بی رنگ محسوب شده و تلرانس آن را ۲۰٪ در نظر می گیریم.

۰	۰	۰	-
۱	۱	۱	۰
۲	۲	۲	۰۰
۳	۳	۳	۰۰۰
۴	۴	۴	۰۰۰۰
۵	۵	۵	۰۰۰۰۰
۶	۶	۶	۰۰۰۰۰۰
۷	۷	۷	
۸	۸	۰/۱	±۰.۵
۹	۹	۰/۰/۱	±۱.۰

مثال: نوارهای رنگی مقاومتی، مطابق شکل زیر است، مقدار مقاومت و تolerانس آن چقدر است؟

حل: $56 \times 10^3 = 56K\Omega \pm 1\%$



شکل ۳۵

کار الکتریکی

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

$$W = RI^2t$$

که در این رابطه :

W کار الکتریکی [J]

R مقاومت الکتریکی [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؟

$$W = RI^2t$$

با استفاده از رابطه مقابل داریم:

$$W = 55(4)^2 \times (2 \times 60) = 105600 [J]$$

انرژی الکتریکی مصرفی علاوه بر یکای اندازه گیری ژول بر حسب کیلووات ساعت و مگاوات ساعت نیز بیان می‌شود.

هر کیلو وات ساعت (kwh) برابر چند ژول (J) می‌باشد؟

فکر کنید



محاسبه بهای انرژی الکتریکی مصرفی

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

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

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

حل: بهای هر kwh $\times$ انرژی الکتریکی مصرفی [kwh] = قیمت انرژی الکتریکی مصرفی
ریال $۳۲۰۰ = ۴ \times ۸۰۰ =$ قیمت انرژی الکتریکی مصرفی

تحقیق کنید



چرا ظرفیت تولید برق یک کشور را برحسب «مگاوات» یا «گیگاوات» بیان می‌کنند، اما مصرف برق را برحسب «کیلووات ساعت»؟

توان الکتریکی در جریان مستقیم

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 به دست می‌آید.

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

که در این رابطه:

P توان الکتریکی [W]

W کار الکتریکی [J]

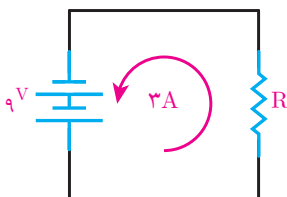
t زمان [s] است.

رابطه توان به شکل های زیر نیز اثبات می‌شود.

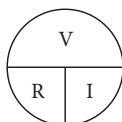
$$P = \frac{W}{t} = \frac{RI^2 t}{t} = RI^2$$

$$P = RI^2 = RI \cdot I = VI$$

$$P = VI = V \cdot \frac{V}{R} = \frac{V^2}{R}$$



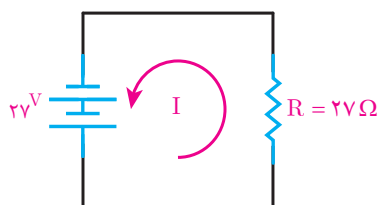
شکل ۳۶



مثال: در مدار شکل ۳۶ مقدار مقاومت الکتریکی و توان مصرفی آن را محاسبه کنید.

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

$$P = VI = 9 \times 3 = 27 [W]$$

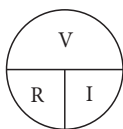


شکل ۳۷

مثال: در مدار شکل ۳۷ مقدار شدت جریان و توان مصرفی مقاومت را محاسبه کنید.

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

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



مثال: موتور یک ساعت دیواری ۳V و ۱۰ mW مفروض است. شدت جریان الکتریکی و مقاومت الکتریکی آن را محاسبه کنید.

$$P = V.I \Rightarrow 10 = 3 \times I \Rightarrow I = \frac{10}{3} = 3.33 \text{ mA}$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{3}{3.33} = 0.9 \text{ K}\Omega$$



پروفسور کارو لوکاس (لوکسی)، پدر علم رباتیک

در شهریور ماه ۱۳۲۸ در شهر اصفهان متولد و در تیرماه ۱۳۸۹ وفات یافت. وی تحصیلات متوسطه خود را در دبیرستان آرامنه تهران (کوشش) گذراند و در سال ۱۳۵۲ با شایستگی، موفق به اخذ کارشناسی ارشد در رشته مهندسی کنترل از دانشگاه تهران شد. نبوغ ذاتی او چنان عیان شده بود که در توصیه نامه علمی ایشان، استاد وی خطاب به دانشگاه‌های پرآوازه آمریکا نوشت: اگر کارو را در دانشگاه خود نپذیرید، دیوانه‌اید. دکترای خود را در رشته کنترل سیستم‌ها با گرایش اقتصاد مالی در سال ۱۳۵۵ از دانشگاه برکلی آمریکا به‌دست آورد. پس از آن، وی برای خدمت میهن، فعالیت در دانشگاه تهران را برگزید. در تدریسش تنها انتقال معلومات مدّ نظر نبود بلکه انجام پژوهش علمی و فنی اشتراکی را هدف خود قرار داده بود. وی جهت حرکت علم را به خوبی تشخیص و خود را در پیشاپیش این حرکت قرار می‌داد تا دانشگاه تهران را در زمره دانشگاه‌های پیشرفته جهان معرفی نماید. تدریس 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 رباتیک ایران لقب گرفت. اگرچه عشق و علاقه پروفسور کارلوکس به ایران و دانشگاه تهران مثال زدنی بود اما نگاه نافذش از لزوم همکاری‌های علمی و پژوهشی بین‌المللی هرگز غافل نماند. ایشان به عنوان استاد مدعو ایرانی در دانشگاه‌های آمریکا، کانادا، ایتالیا، چین، آرمستان و آلمان تدریس نمود و در پژوهش‌های مشترک تأثیرگذار بود، پروفسور کارلوکس استاد نمونه، چهره ماندگار مهندسی برق، برنده جشنواره‌های خوارزمی، ابن سینا و استاد برگزیده ایرانی توسط Elsevier-Scopus معرفی گردید. اما هیچ‌یک از این القاب و عناوین در برابر صفات و فضایل انسانی استاد ارزش چندانی ندارد. چهره مردانه او همیشه بشاش، متبسم، نگاهش جذاب اما مصمم و مهربان به خصوص با دانشجویانش بود.



۱ مقاومت الکتریکی مخصوص آلومینیوم نسبت به مس برابر $1/59$ می باشد، هدایت الکتریکی آن نسبت به مس را حساب کنید.

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

۳ روی یک هسته 500 دور سیم مسی با سطح مقطع 5mm^2 پیچیده ایم. اگر شعاع هسته $2/5\text{cm}$ باشد مقاومت الکتریکی سیم پیچ را حساب کنید.

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

الف) مقاومت الکتریکی آن را بیابید.

ب) در صورتی که بخواهیم سیم مسی با قطر $1/5\text{mm}$ جایگزین آن کنیم در صورتی که مقاومت الکتریکی تغییر نکند طول سیم مسی را بیابید.

۵ دمای سیم پیچ یک وسیله برقی بر اثر کار کردن از 25°C به 75°C افزایش می یابد. اگر مقاومت الکتریکی آن در 25°C برابر $1/8[\Omega]$ باشد مقاومت آن چند اهم افزایش می یابد؟

$$\alpha = 0.004 \left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$$

۶ جریان الکتریکی عبوری از لامپی که مقاومت الکتریکی آن $50[\Omega]$ و ولتاژ تغذیه آن 200V است را حساب کنید. در صورتی که در اثر روشن بودن دمای لامپ 40°C افزایش یابد جریان الکتریکی چقدر تغییر می کند؟

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

۷ اگر دانش آموزی هنگام خاموش بودن لامپ رشته ای مقاومت آن را اندازه گیری کند و بار دیگر وقتی لامپ روشن است مقاومت الکتریکی آن را محاسبه کند آیا مقادیر به دست آمده یکسان است؟ چرا؟

۸ به یک مقاومت 60 اهمی ولتاژی برابر 36 ولت داده شده است. چه جریانی از این مقاومت عبور می کند؟

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

۱۰ مقاومت الکتریکی یک لامپ $150[\Omega]$ است. ولتاژی برابر 120 ولت به آن داده می شود. مقدار جریان عبوری را حساب کنید.

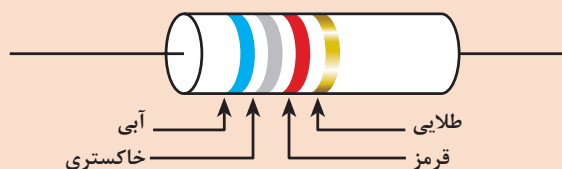
۱۱ با یک لامپ و یک منبع ولتاژ و یک آمپر متر مداری تشکیل داده ایم. اگر منبع ولتاژ را 24 ولت اختیار کنیم، آمپر متر مقدار $1/5$ آمپر را نشان خواهد داد. مقاومت الکتریکی مدار را تعیین کنید. اگر به جای منبع

24 ولتی، منبع ولتاژ 36 ولتی قرار دهیم، آمپر متر چه مقداری را نشان خواهد داد؟

۱۲ چه ولتاژی در مقاومت 40 اهمی، جریانی برابر با 100 میلی آمپر ایجاد می کند؟

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

۱۴ مقدار مقاومت شکل مقابل را تعیین کنید.



۱۵ در ویتترین مغازه‌ای ۴ لامپ رشته‌ای ۵۰۰ وات و ۲ لامپ رشته‌ای ۱۰۰۰ وات روزی ۸ ساعت روشن است.

حساب کنید انرژی الکتریکی مصرفی در ۳۰ روز چقدر است؟

۱۶ مقاومت الکتریکی قسمت گرماده یک وسیله حرارتی $80[\Omega]$ می‌باشد، حساب کنید اگر جریان الکتریکی عبوری از آن $A4$ باشد، در مدت زمان ۵ دقیقه انرژی الکتریکی مصرفی آن چند ژول و چند کیلوژول می‌باشد؟

۱۷ یک وسیله برقی $220V$ و $500W$ در نظر بگیرید:

الف) شدت جریان این وسیله در اتصال به شبکه $220V$ چند آمپر است؟

ب) در صورت کاهش ولتاژ به 200 ولت جریان چقدر تغییر می‌کند؟

۱۸ اگر لامپ‌های تمرین ۴ را با لامپ‌های کم مصرف LED با توان ۱۸ و ۲۵ وات را به ترتیب جایگزین

لامپ‌های ۵۰۰ وات و ۱۰۰۰ وات کنیم، در هزینه برق چقدر صرفه‌جویی می‌شود؟ در صورتی که بدانیم میزان نوردهی لامپ‌های جایگزین به همان مقدار لامپ‌های رشته‌ای باشد.

استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی مبتنی بر شایستگی درس دانش فنی پایه پودمان دوم

عنوان پودمان	واحدهای یادگیری (شایستگی)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقق
پودمان ۲: مدار الکتریکی	۱- درک و تبیین مقاومت الکتریکی و کاربرد قانون اهم ۲- شناخت انواع مقاومت و توان الکتریکی	محاسبه مقدار مقاومت الکتریکی شناخت و تعریف انواع مقاومت و محاسبه بهای انرژی الکتریکی مصرفی	بالاتر از حد انتظار	انجام شایسته فعالیت های مکمل محتوای پودمان (نظیر تحقیق کنید آزمایش کنید، فعالیت های گروهی و...) یا احراز شایستگی های عمومی و غیرفنی درحد بالاتر از انتظار
			در حد انتظار	۱- اجزای مدار الکتریکی را نشان دهد. ۲- با استدلال تأثیر عوامل فیزیکی بر مقاومت الکتریکی را بیان کند ۳- محاسبه مقاومت الکتریکی براساس قانون اهم ۴- کاربرد و ویژگی های انواع مقاومت های الکتریکی را بیان نماید. ۵- بهای انرژی الکتریکی مصرفی را محاسبه نماید.
			پایین تر از حد انتظار	در صورتی که هنرجو همه شاخص های در حد انتظار را محقق نسازد، پایین تر از حد انتظار ارزشیابی می شود.
			لازم است تا کیفیت فرایند کسب شایستگی در طول زمان آموزش پودمان براساس انجام فعالیت های کلاسی و کارگاهی، نظم مشارکت در فعالیت های آموزشی و تربیتی، ابتکار در تکالیف عملکردی درسی و... درنظر گرفته شود.	
شایستگی پودمان بالاتر از حد انتظار، درحد انتظار، پایین تر از حد انتظار				

شایستگی های غیرفنی و عمومی (ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی)

شاخص ها	ضریب کیفیت عملکرد	شایستگی عملکرد هنرجو
مدیریت کیفیت - جمع آوری و گردآوری اطلاعات - رعایت ارگونومی - کنترل حفاظت الکتریکی و الکترونیکی تجهیزات - ایجاد محتوای الکترونیک - کاهش مصرف کاغذ - طراحی خلاقانه پوسته گرافیکی و گرافیک متحرک - رعایت انضباط فردی و کلاسی - پوشش مناسب - احترام به استاد و همکلاسی ها - حضور به موقع در کارگاه و...	۲	

شایستگی های غیرفنی و عمومی			شایستگی های فنی		شایستگی عملکرد هنرجو در پودمان
بالاتر از حد انتظار	در حد انتظار	کمتر از حد انتظار	بالاتر از حد انتظار	در حد انتظار	

شایستگی عملکرد هنرجو از میانگین سطوح شایستگی کسب شده در مراحل کاری هر واحد یادگیری مشخص می شود. به شرط آنکه:

- ۱ سطح شایستگی هنرجو در هیچ مرحله ای کمتر از حد انتظار نباشد.
- ۲ هنرجو در شایستگی های غیرفنی و عمومی، شایستگی در حد انتظار یا بالاتر از حد انتظار را کسب کرده باشد.

توجه:

- ۱ اگر حتی در یک مرحله کاری شایستگی کمتر از حد انتظار کسب شود، منجر به عدم کسب شایستگی پودمان می شود.
- ۲ با توجه به اینکه شایستگی های عمومی و غیرفنی از شرایط لازم برای کسب شایستگی می باشد؛ لذا در صورتی که شایستگی فنی را احراز کرده باشد اما در شایستگی یاد شده، سطح در حد انتظار کسب نشده باشد، به معنی عدم احراز شایستگی در پودمان است.



پودمان سوم

اتصالات سری و موازی مقاومت‌های الکتریکی

- واحد یادگیری ۱: تحلیل اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی
- واحد یادگیری ۲: تحلیل اتصال موازی مقاومت‌های الکتریکی



واحد‌یادگیری ۱

تحلیل اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی

اتصال بین مقاومت‌هایی که در مدار الکتریکی قرار می‌گیرند به سه شکل امکان‌پذیر است:

■ اتصال سری

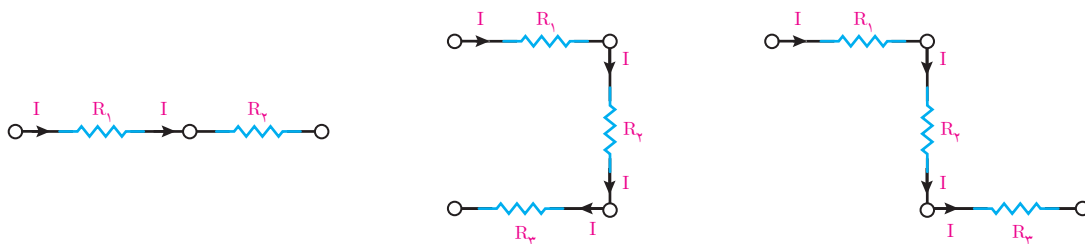
■ اتصال موازی

■ اتصال سری - موازی

که در ادامه به هریک از آنها پرداخته می‌شود.

اتصال سری

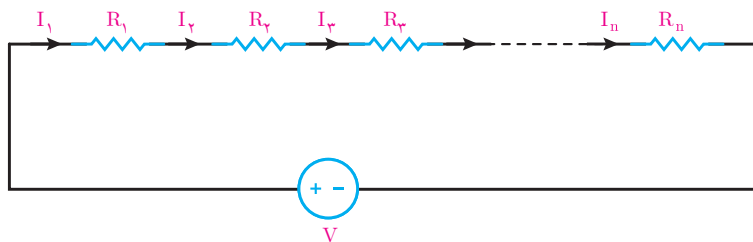
اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی بین دو یا چند مقاومت به شرطی ایجاد می‌شود که جریان عبوری هریک از مقاومت‌ها با هم یکسان باشد. در اتصال سری یک سر مقاومت‌های الکتریکی به یکدیگر اتصال می‌یابد (شکل ۱).



شکل ۱

هنگامی که دو یا چند مقاومت با یکدیگر اتصال سری پیدا می‌کنند و توسط سیم رابط به یک منبع تغذیه متصل شوند تشکیل مدار الکتریکی می‌دهند که اصطلاحاً آن را «مدار سری» گویند.

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

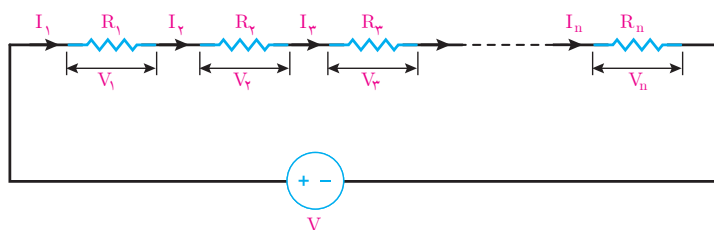


شکل ۲

همان‌طور که از شکل برمی‌آید می‌توان نوشت:

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

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



شکل ۳

به ولتاژ دو سر هر مقاومت اصطلاحاً «افت ولتاژ» گویند و با استفاده از رابطه مقاومت الکتریکی به دست می‌آیند.

جریان $\times$ مقاومت = ولتاژ

$$V_1 = R_1 I_1$$

$$V_2 = R_2 I_2$$

$\vdots$

$$V_n = R_n I_n$$



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

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

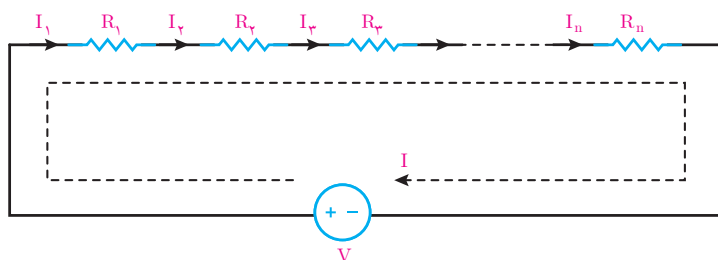
و روابط افت ولتاژ دو سر هر مقاومت را با جایگزینی I به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$V_1 = R_1 I$$

$$V_2 = R_2 I$$

$\vdots$

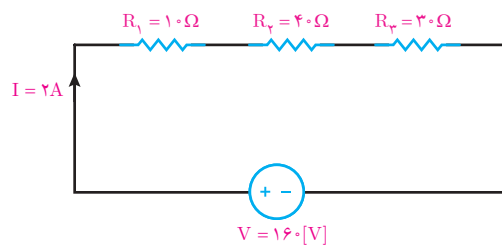
$$V_n = R_n I$$



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 به دست آورید:



شکل ۵

حل: مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_3 با یکدیگر اتصال سری دارند لذا جریان آنها با هم برابر است یعنی:

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = 2[A]$$

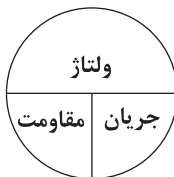
با استفاده از قانون اهم افت ولتاژها محاسبه می‌شود.

جریان $\times$ مقاومت = ولتاژ

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

$$V_2 = R_2 I = 40 \times 2 = 80 [V]$$

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



قانون ولتاژ کیرشهف KVL

قانون ولتاژ کیرشهف KVL بیان می‌کند «حاصل جمع جبری^۱ ولتاژها در هر مسیر بسته صفر است».

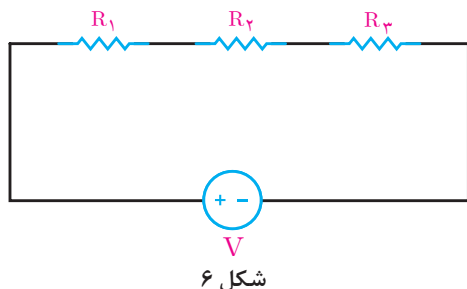
برای نوشتن رابطه قانون ولتاژ کیرشهف یا KVL به صورت زیر عمل می‌شود:

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

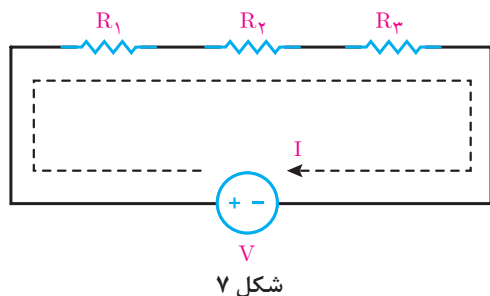
۲ افت ولتاژهای دو سر هر مقاومت با علامت (+) لحاظ می‌شود.

۳ اگر جریان حلقه I به پلاریته (+) منبع وارد شود ولتاژ منبع V با علامت مثبت نوشته می‌شود و اگر جریان

حلقه I به پلاریته (-) منبع وارد شود ولتاژ منبع V را با علامت منفی می‌نویسند.



اکنون در مدار شکل ۶ قانون ولتاژ کیرشهف اعمال می‌شود.



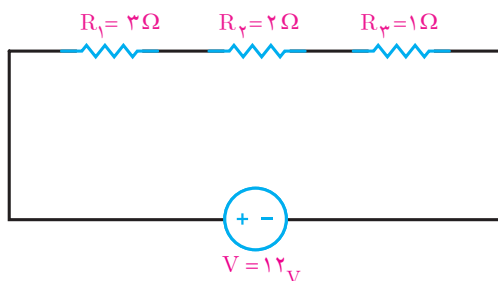
جریان حلقه I در جهت حرکت عقربه ساعت برای آن ترسیم می‌شود (شکل ۷).

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

و افت ولتاژهای دو سر مقاومت RI با علامت + لحاظ می‌شود و حاصل طبق قانون ولتاژ کیرشهف KVL برابر صفر است.

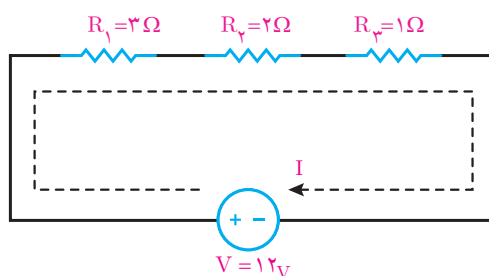
$$KVL) -V + R_1 I + R_2 I + R_3 I = 0$$

۱. به مقادیری که می‌توانند دارای علامت + یا - باشند جبری می‌گویند.



شکل ۸

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



شکل ۹

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

اکنون قانون ولتاژ کیرشهف نوشته می شود.

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

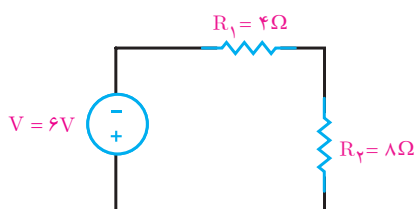
$$-12 + 3I + 2I + 1I = 0$$

$$-12 + 6I = 0$$

$$6I = 12$$

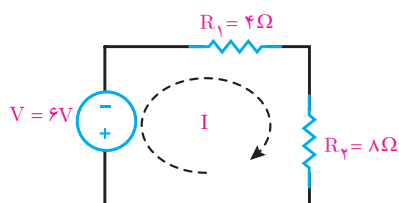
$$I = \frac{12}{6} = +2[\text{A}]$$

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



شکل ۱۰

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



شکل ۱۱

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

اکنون قانون کیرشهف نوشته می‌شود.

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

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

$$+6 + 12I = 0$$

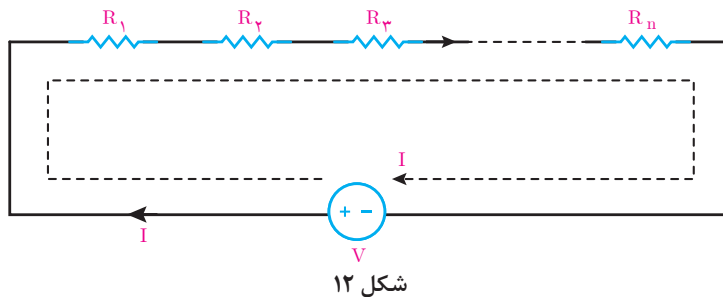
$$12I = -6$$

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

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 دو یا 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).



برای مدار KVL نوشته می‌شود

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

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

از I فاکتور گرفته می‌شود:

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

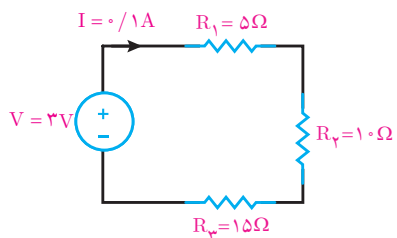
طرفین رابطه بر I تقسیم می‌شود.

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

نسبت $\frac{V}{I}$ همان R_{eq} است:

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

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

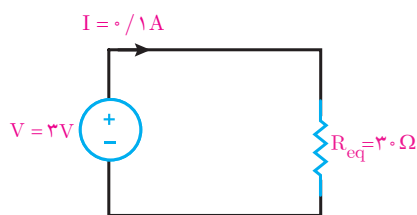


شکل ۱۳

مثال: مقاومت معادل مدار شکل ۱۳ را به دست آورید.

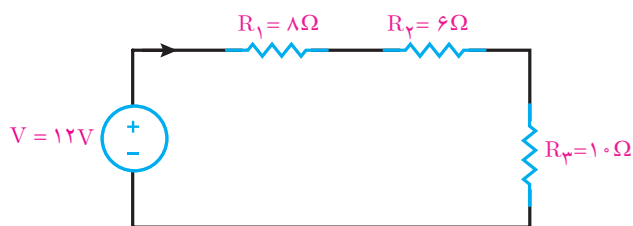
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

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



شکل ۱۴

مقاومت معادل Req جایگزین مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_3 خواهد شد به طوری که در شدت جریان و ولتاژ مدار تغییری ایجاد نمی‌شود (شکل ۱۴).



شکل ۱۵

مثال: در مدار شکل ۱۵ مطلوب است:

الف) مقاومت معادل

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

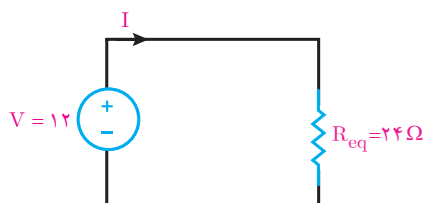
$$R_{eq} = 8 + 6 + 10 = 24 [\Omega]$$

ب) شدت جریان مدار

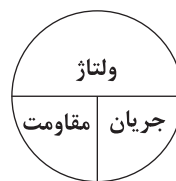
مقاومت معادل Req در شکل ۱۶ جایگزین مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_3 شده است اکنون به کمک رابطه مقاومت الکتریکی جریان مدار محاسبه می‌شود.

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

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



شکل ۱۶





در اتصال سری n تا مقاومت الکتریکی با مقدار مساوی « R » رابطه مقاومت معادل $R_{eq} = n \cdot R$ را اثبات کنید.

مثال: در یک مدار الکتریکی ۸ تا مقاومت الکتریکی 3Ω با یکدیگر سری شده‌اند. اگر جریان الکتریکی مدار $2/5A$ باشد، ولتاژ منبع تغذیه چندولت است؟

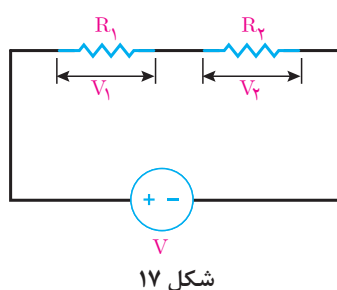
حل:

$$R_{eq} = n \cdot R$$

$$R_{eq} = 8 \times 3 = 24[\Omega]$$

$$V = I \cdot R_{eq} = 2/5 \times 24 = 60[V]$$

تقسیم ولتاژ بین دو مقاومت سری



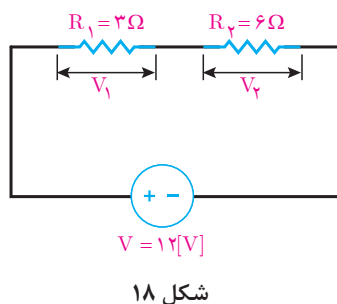
افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها بخشی از ولتاژ منبع مدار است. افت ولتاژ دو سر مقاومت را می‌شود بدون استفاده از جریان با رابطه تقسیم ولتاژ محاسبه کرد. رابطه تقسیم ولتاژ بین دو مقاومت سری به صورت زیر است (شکل ۱۷).

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

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



رابطه تقسیم ولتاژ بین دو مقاومت سری را اثبات کنید.



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

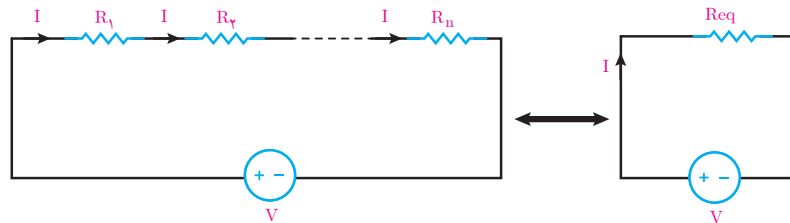
$$V_1 = V \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 12 \times \frac{3}{3 + 6} = \frac{36}{9} = 4[V]$$

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

توان الکتریکی

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

$$P = RI^2 \quad (\text{جریان})^2 \times \text{مقاومت} = \text{توان}$$



شکل ۱۹

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

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

از I^2 فاکتور گرفته می‌شود.

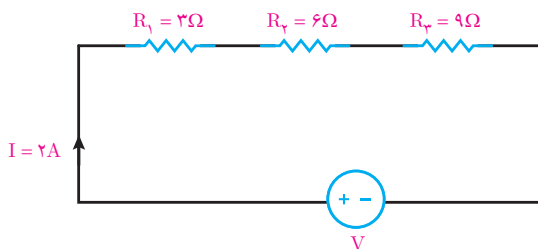
$$P_{eq} = (R_1 + R_2 + \dots + R_n) I^2$$

حاصل پرانتز همان مقاومت معادل مدار سری است لذا:

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

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

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



شکل ۲۰

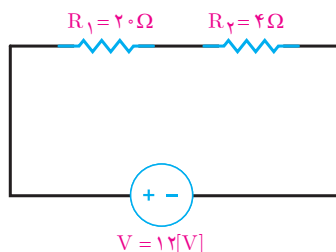
مثال: توان مدار الکتریکی شکل ۲۰ را به دست آورید.

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

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

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

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

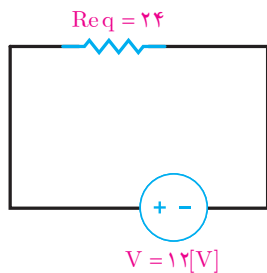


شکل ۲۱

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

حل: مقاومت معادل مدار به دست می‌آید.

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



شکل ۲۲



از رابطه مقاومت الکتریکی جریان مدار به دست می آید
(شکل ۲۲).

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

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

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

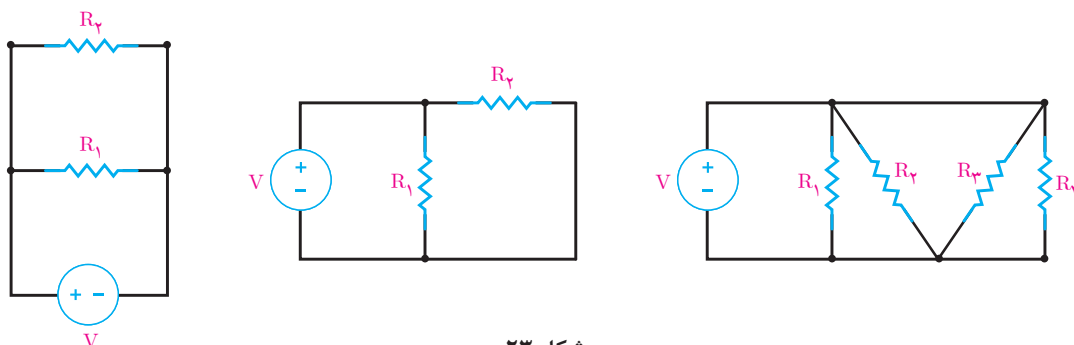
$$P_{eq} = R_1 I^2 + R_2 I^2 = R_{eq} I^2$$

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

واحد‌یادگیری ۲

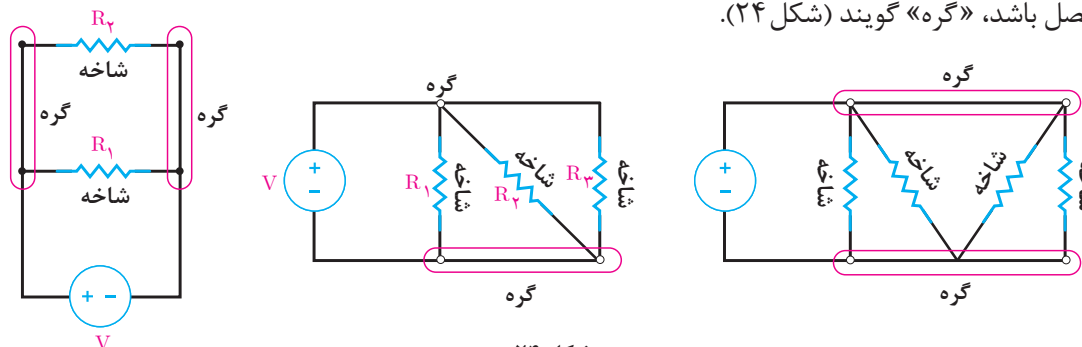
تحلیل اتصال موازی مقاومت‌های الکتریکی

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

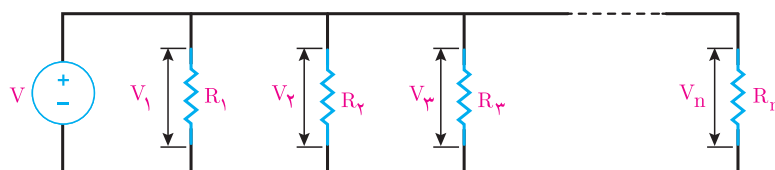
مسیر عبور جریان از هر مقاومت موازی و منبع را (شاخه) گویند و نقطه‌ای از مدار را که بیش از دو شاخه به آن متصل باشد، «گره» گویند (شکل ۲۴).



شکل ۲۴

هنگامی که دو یا چند مقاومت با یکدیگر اتصال موازی پیدا می‌کنند و توسط سیم رابط به یک منبع تغذیه متصل شوند 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.

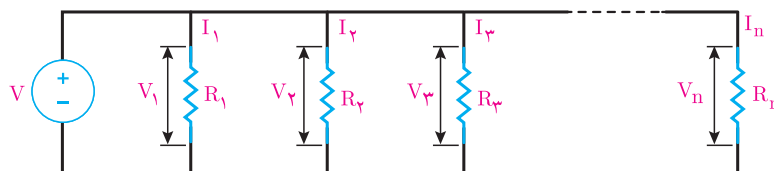


شکل ۲۵

همان طور که از شکل برمی آید می توان نوشت:

$$V_1 = V_r = V_r = \dots = V_n$$

ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت های شکل ۲۶ در هر یک از آنها جریان جاری می کند.



شکل ۲۶

جریان هر یک از مقاومت ها با استفاده از رابطه مقاومت الکتریکی به دست می آیند.

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

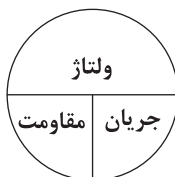
$$I_1 = \frac{V_1}{R_1}$$

$$I_r = \frac{V_r}{R_r}$$

$$I_r = \frac{V_r}{R_r}$$

⋮

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



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

$$V = V_1 = V_r = V_r = \dots = V_n$$

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

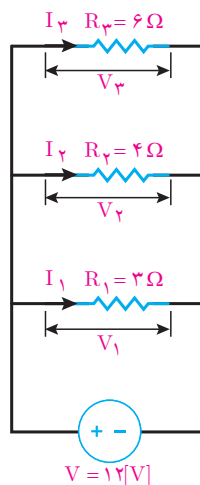
$$I_1 = \frac{V}{R_1}$$

$$I_r = \frac{V}{R_r}$$

⋮

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

مثال: جریان شاخه‌های هر یک از مقاومت‌های مدار شکل ۲۷ را به دست آورید.



شکل ۲۷

حل: مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_3 با یکدیگر اتصال موازی دارند لذا ولتاژ آنها با هم برابر است، یعنی:

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

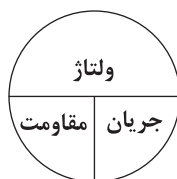
با استفاده از قانون اهم جریان هر یک از شاخه‌های مقاومت‌ها محاسبه می‌شود.

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

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

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

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

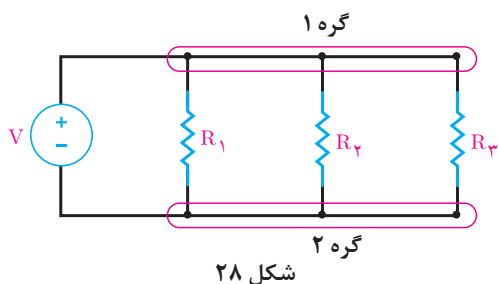


قانون جریان کیرشهف KCL

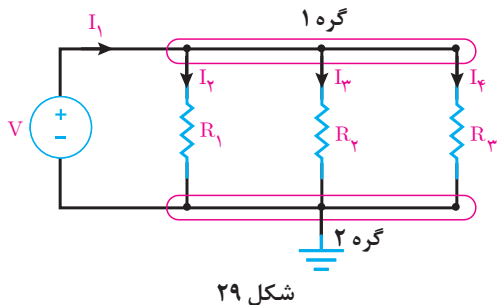
قانون جریان کیرشهف KCL بیان می‌کند «حاصل جمع جبری جریان‌هایی که به یک گره می‌رسد صفر است» و با رابطه زیر بیان می‌شود:

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

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

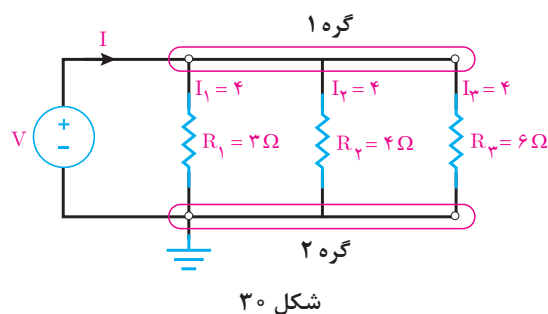


۱ گره‌های مدار مشخص و نام‌گذاری شود (شکل ۲۸).



۲ 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).

۳ برای نوشتن KCL برای گره ۱ جریان‌هایی که به گره وارد می‌شوند با علامت (+) و جریان‌هایی که از گره خارج می‌شوند با علامت (-) اختیار می‌شود و سپس رابطه قانون جریان کیرشهف نوشته می‌شود. $\text{KCL)} + I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0$



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

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

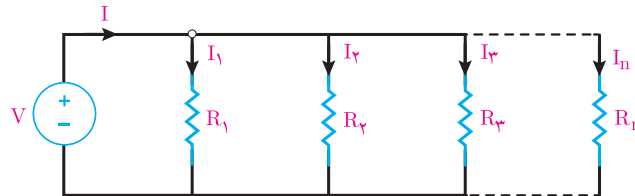
$$\text{KCL)} + I - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

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

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

مقاومت معادل

مقاومت معادل عبارت است از مقاومتی که جای دو یا چند مقاومت در مدار قرار می‌گیرد به طوری که در جریان و ولتاژ مدار تغییر ایجاد نمی‌شود. مقاومت معادل را با R_{eq} نشان می‌دهند. برای به دست 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

■ برای مدار شکل ۳۱ KCL نوشته می‌شود.

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

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

■ از رابطه مقاومت الکتریکی مقادیر I_1 تا I_n محاسبه می‌شود.

$$I_1 = \frac{V}{R_1}, I_2 = \frac{V}{R_2}, I_3 = \frac{V}{R_3}, \dots, I_n = \frac{V}{R_n}$$

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

■ مقادیر I_1 تا I_n را در رابطه KCL قرار می‌دهند.

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

■ از V فاکتور گرفته می‌شود.

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

■ طرفین به V تقسیم می‌شود.

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

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

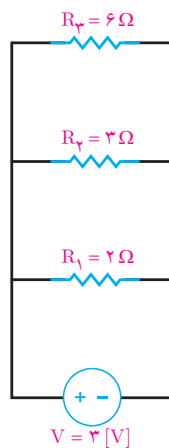
$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

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

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

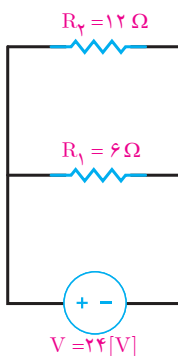
$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

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



شکل ۳۲

مثال: در مدار شکل ۳۳ مطلوب است:



شکل ۳۳

الف) مقاومت معادل

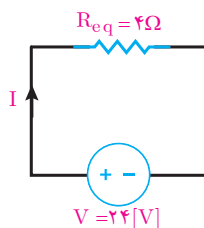
$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{6} + \frac{1}{12}} = 4 [\Omega]$$

ب) شدت جریان مدار

مقاومت معادل Req جایگزین R1 و R2 می شود شکل ۳۴ و با استفاده از رابطه مقاومت الکتریکی جریان مدار محاسبه خواهد شد.

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

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

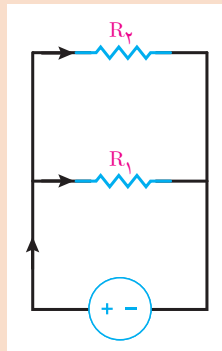


شکل ۳۴



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

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



شکل ۳۵



در اتصال موازی n تا مقاومت الکتریکی با مقدار مساوی « R » رابطه مقاومت معادل $R_{eq} = \frac{R}{n}$ را اثبات کنید.

مثال: در یک مدار الکتریکی ۱۲ تا مقاومت الکتریکی با مقدار مساوی 24Ω با یکدیگر موازی شده‌اند اگر جریان مدار $2/5A$ باشد ولتاژ منبع تغذیه چند ولت است؟

حل:

$$R_{eq} = \frac{R}{n} = \frac{24}{12} = 2[\Omega]$$

$$V = I \cdot R_{eq} = 2/5 \times 2 = 5V$$

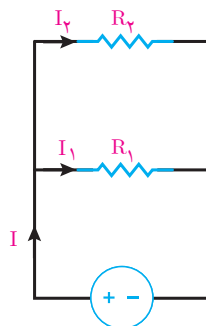
تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی

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 در شکل ۳۶ به صورت زیر است:

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

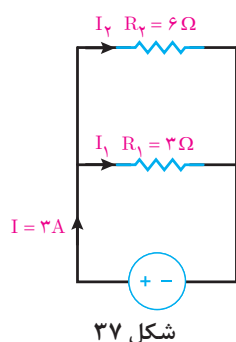
$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



شکل ۳۶



رابطه تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی را اثبات کنید.



شکل ۳۷

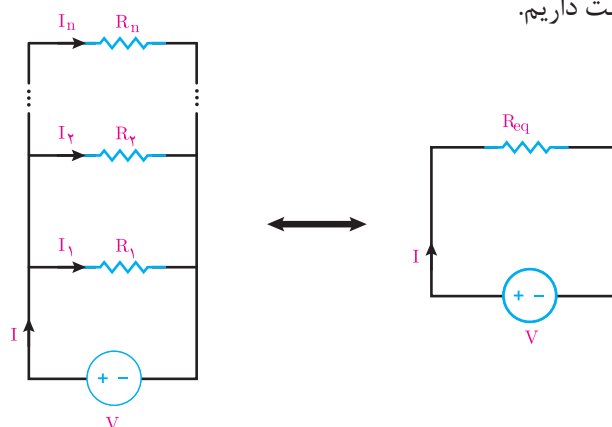
مثال: در مدار شکل ۳۷ با استفاده از رابطه تقسیم جریان، جریان‌های I_1 و I_2 را به دست آورید.

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

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

توان الکتریکی

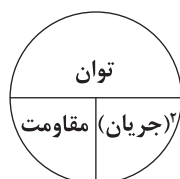
توان مدار موازی از حاصل جمع توان همه مقاومت‌های مدار به دست می‌آید. در مدار الکتریکی شکل ۳۸ که شامل n مقاومت موازی است داریم.



شکل ۳۸

توان هر مقاومت برابر خواهد بود:

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

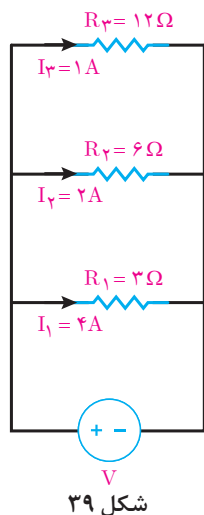


توان مدار الکتریکی شکل ۳۸ از مجموع توان هر مقاومت به دست می‌آید و آن را با P_{eq} نشان می‌دهند.

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

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

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

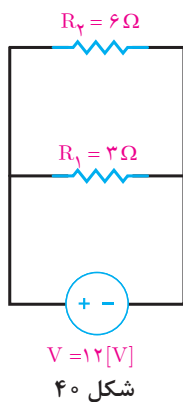


مثال: توان مدار الکتریکی شکل ۳۹ را به دست آورید.

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

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

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

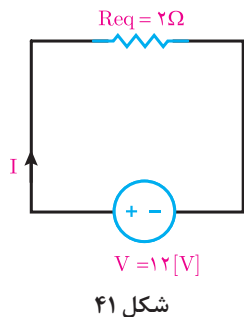


مثال: توان مدار الکتریکی شکل ۴۰ را به دست آورید.

حل: مقاومت معادل مدار به دست می‌آید.

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

مقاومت R_{eq} جایگزین R_1 و R_2 خواهد شد و جریان مدار از رابطه مقاومت الکتریکی به دست می‌آید (شکل ۴۱).



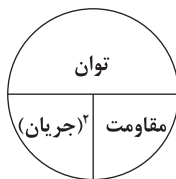
$$\text{ولتاژ} \\ \text{جریان} = \frac{\text{مقاومت}}$$

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



توان مقاومت معادل R_{eq} با مجموع توان مقاومت‌های R_1 و R_2 برابر است.

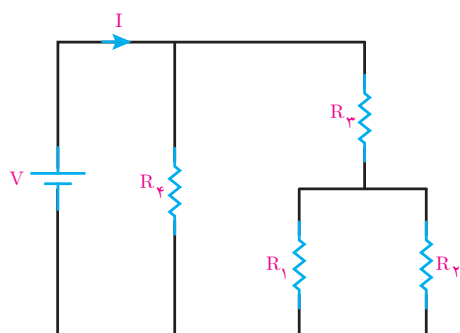
$P_{eq} = R_{eq} I^2 = 2 \times 6^2 = 72[W]$





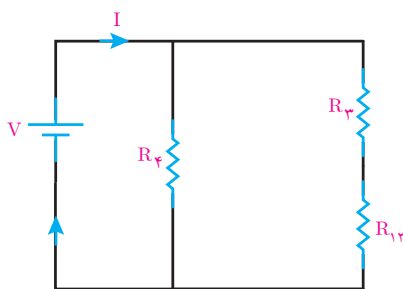
مارماهی الکتریکی می تواند ولتاژی در حدود ۶۰۰ ولت با جریانی که می تواند به ۱ آمپر برسد تولید کند! توان الکتریکی مارماهی چقدر است؟ بررسی کنید که این انرژی در کدام سلول های مارماهی تولید می شود و ساختار اتصال سلول های مارماهی به یکدیگر چگونه است؟ موازی است یا سری؟

اتصال سری – موازی



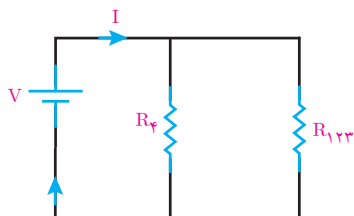
شکل ۴۲

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



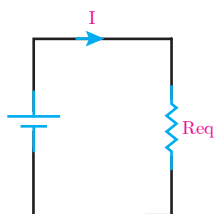
شکل ۴۳

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



شکل ۴۴

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

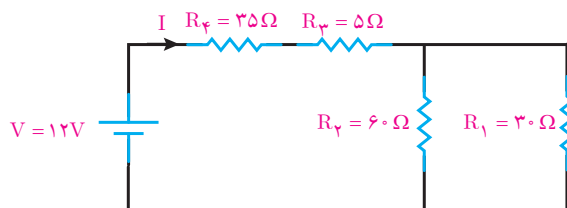


شکل ۴۵

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

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

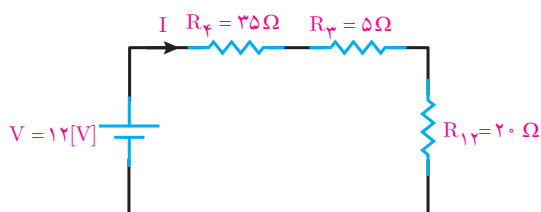
حل: مقاومت‌های R_1 و R_2 با هم موازی هستند و معادل آنها R_{12} به دست می‌آید.



شکل ۴۶

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

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



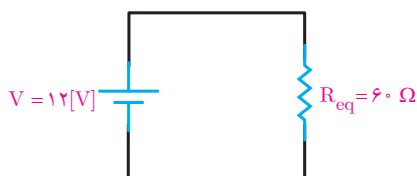
شکل ۴۷

مقاومت R_{12} ، R_3 و R_f با هم سری هستند و معادل آنها R_{eq} به دست می‌آید.

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

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

با جایگزینی R_{eq} به جای R_3 ، R_f و R_{12} شکل ۴۸ به دست می‌آید.

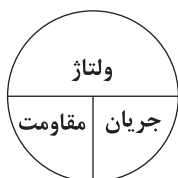


شکل ۴۸

با رابطه مقاومت الکتریکی جریان مدار به دست می‌آید.

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

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



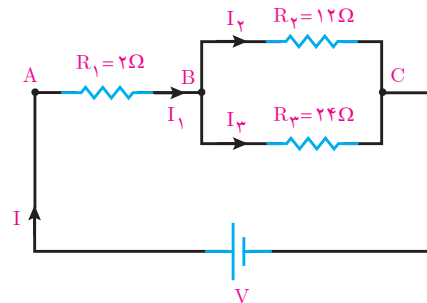
مثال: در مدار شکل ۴۹ اگر $V_{BC} = 48V$ باشد جریان منبع را به دست آورید.

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

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

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

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



شکل ۴۹

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

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

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

$$I_1 = 6[A]$$

با توجه به شکل ۴۹ جریان منبع I با جریان عبوری از مقاومت سری R_1 برابر است لذا:

$$I = I_1$$

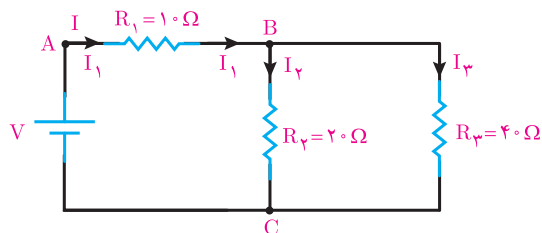
$$I = 6[A]$$

مثال: در مدار شکل ۵۰ $V_{AB} = 30V$ می باشد. ولتاژ منبع چند ولت است؟

حل: از قانون اهم جریان مقاومت R_1 به دست می آید.

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

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



شکل ۵۰

از رابطه تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی I_2 و I_3 به دست می آید.

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

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

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

جریان $\times$ مقاومت = ولتاژ

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

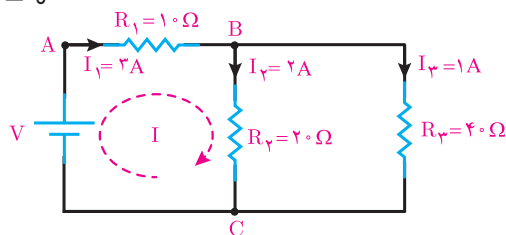
از قانون ولتاژهای کیرشهف KVL ولتاژ منبع به دست می‌آید (شکل ۵۱).

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

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

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

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

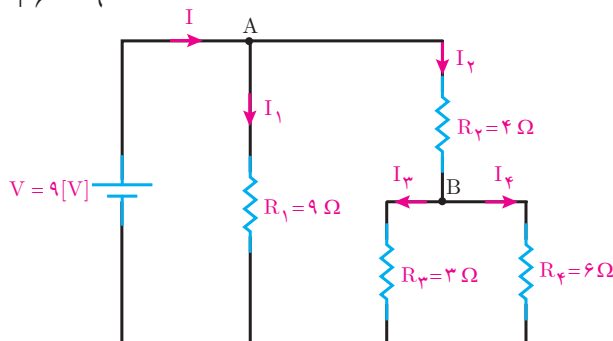


شکل ۵۱

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

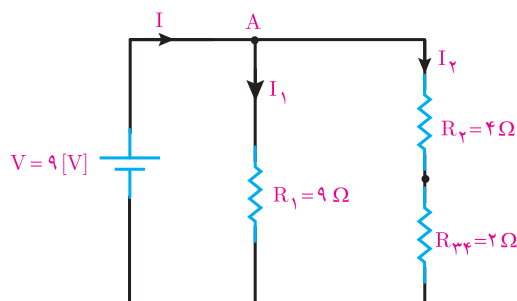
حل: مقاومت‌های R_3 و R_4 با هم موازی هستند. مقاومت معادل آنها R_{34} به دست می‌آید.

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



شکل ۵۲

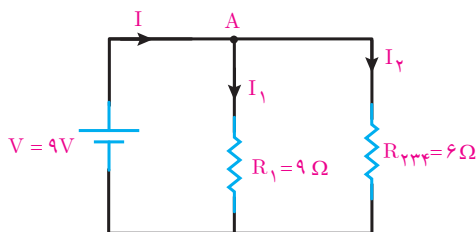
با جایگزینی R_{34} به جای R_3 و R_4 شکل ۵۳ به دست می‌آید.



شکل ۵۳

مقاومت‌های R_2 و R_{234} با هم سری هستند مقاومت معادل آنها R_{234} به دست می‌آید.
 $R_{234} = R_2 + R_{34} = 4 + 2 = 6[\Omega]$

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



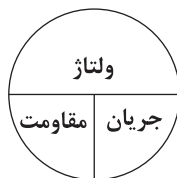
شکل ۵۴

از قانون اهم جریان‌های I_1 و I_2 به دست می‌آید.

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

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

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



بانوشتن KCL برای گره A جریان منبع I به دست می‌آید.

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

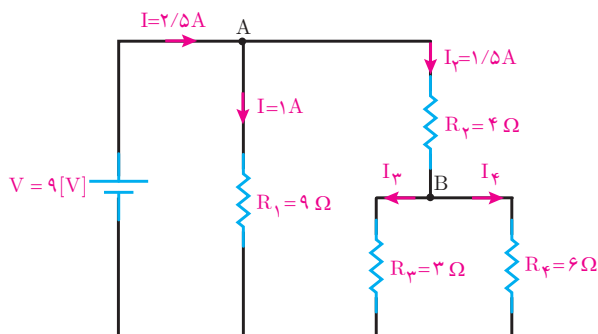
$$+ I - 1 - 1.5 = 0$$

$$I = 2.5[A]$$

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 به دست می‌آید.

$$I_3 = I_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 1.5 \times \frac{6}{3 + 6} = \frac{9}{9} = 1[A]$$

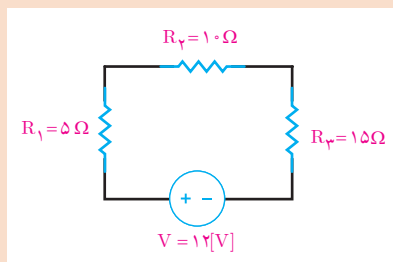
$$I_4 = I_2 \frac{R_3}{R_3 + R_4} = 1.5 \times \frac{3}{3 + 6} = \frac{4.5}{9} = 0.5[A]$$



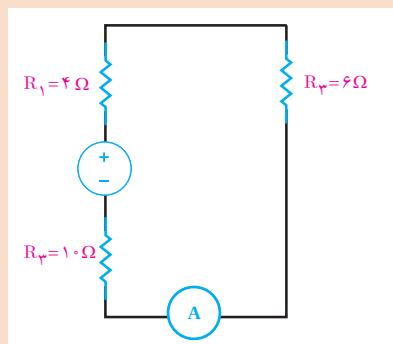
شکل ۵۵



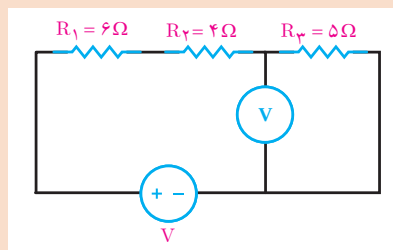
۱ جریان مدار روبه‌رو را به‌دست آورید.



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



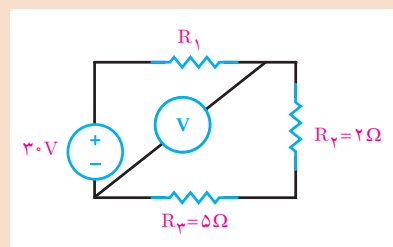
۳ ولت متر شکل روبه‌رو عدد ۱۵ ولت را نشان می‌دهد. مطلوب است محاسبه:



الف) ولتاژ منبع

ب) افت ولتاژ مقاومت R_3

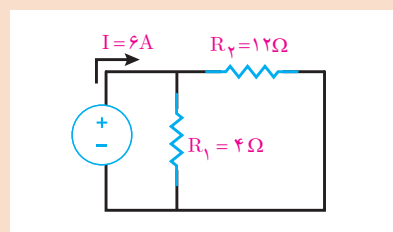
۴ ولتاژ اندازه‌گیری شده توسط ولت متر در شکل روبه‌رو ۲۱V می‌باشد. مطلوب است محاسبه:



الف) مقاومت R_1

ب) توان مصرفی مقاومت R_3

۵ در شکل روبه‌رو مطلوب است محاسبه:



الف) مقاومت R_{eq}

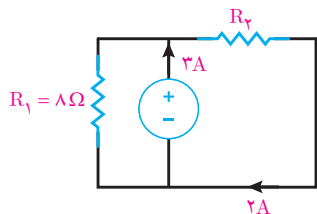
ب) ولتاژ منبع

پ) جریان هر شاخه

۶ در شکل روبه‌رو مطلوب است محاسبه:

الف) ولتاژ منبع

ب) مقاومت R_2

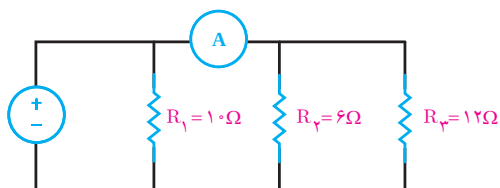


۷ آمپر متر در شکل روبه‌رو ۲ آمپر را نشان می‌دهد.

حساب کنید:

الف) ولتاژ منبع چقدر است؟

ب) جریان کل مدار را بیابید.

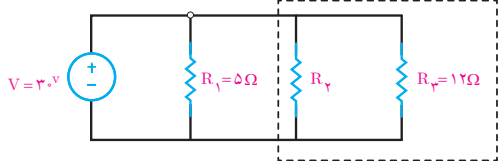


۸ در شکل روبه‌رو توان مصرفی قسمت مشخص شده

100 W می‌باشد. حساب کنید:

الف) جریان کل مدار

ب) مقاومت R_2

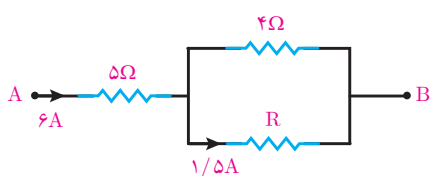


۹ شکل روبه‌رو بخشی از مدار الکتریکی است،

مطلوب است محاسبه:

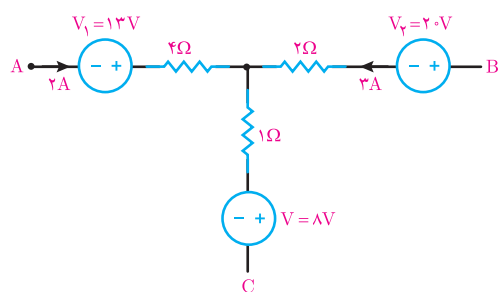
الف) V_{AB}

ب) مقدار R

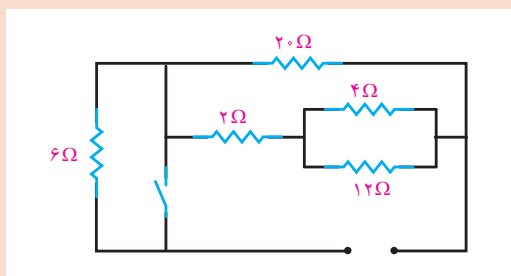
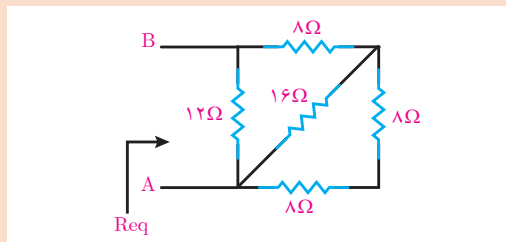
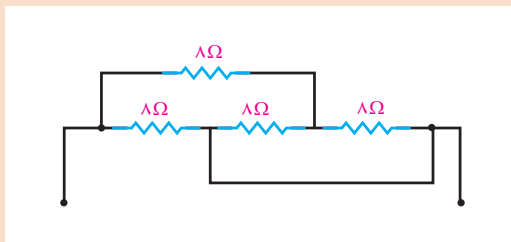


۱۰ شکل روبه‌رو بخشی از یک مدار الکتریکی است.

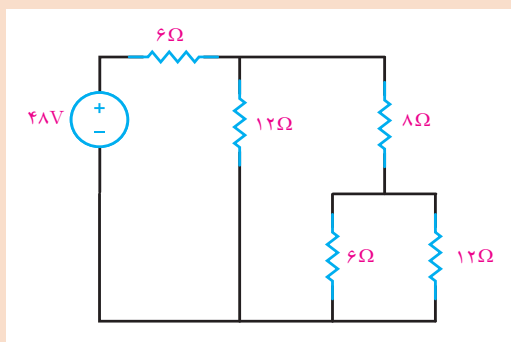
توان هر یک از مقاومت‌های مدار را به‌دست آورید.



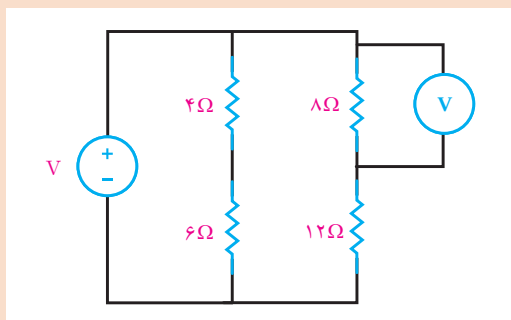
۱۱ مقاومت معادل را در هر یک از شکل‌های زیر به دست آورید:



۱۲ در شکل روبه‌رو مقاومت معادل را در دو حالت کلید باز و بسته محاسبه کنید.



۱۳ در شکل روبه‌رو جریان، ولتاژ و توان هر مقاومت را بیابید.



۱۴ در شکل روبه‌رو ولت‌متر ۳۲ ولت را نشان می‌دهد. مطلوب است:

- الف) جریان هر مقاومت
- ب) ولتاژ دو سر هر مقاومت
- ج) توان کل مدار

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

استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی مبتنی بر شایستگی درس دانش فنی پایه پودمان سوم

عنوان پودمان	واحدهای یادگیری (شایستگی)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقق
پودمان ۳: تصاوالت سری و موازی مقاومت‌های الکتریکی	۱- تحلیل اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی ۲- تحلیل اتصال موازی مقاومت‌های الکتریکی	با استفاده از قوانین کیرشهف (K.V.L) و (K.C.L)، ولتاژ، جریان، مقاومت معادل و توان را محاسبه کند.	بالاتر از حد انتظار	انجام شایسته فعالیت‌های مکمل محتوای پودمان (نظیر تحقیق کنید آزمایش کنید، فعالیت‌های گروهی و...) یا احراز شایستگی‌های عمومی و غیرفنی درحد بالاتر از انتظار
			در حد انتظار	۱- محاسبه مقاومت معادل مدار الکتریکی مقاومتی سری، موازی و مختلط ۲- ولتاژ نقطه‌ای و جریان شاخه‌های مدار ۳- محاسبه توان در مدارهای الکتریکی مقاومتی
			پایین تر از حد انتظار	در صورتی که هنرجو همه شاخص‌های در حد انتظار را محقق نسازد، پایین تر از حد انتظار ارزشیابی می‌شود.
	لازم است تا کیفیت فرایند کسب شایستگی در طول زمان آموزش پودمان براساس انجام فعالیت‌های کلاسی و کارگاهی، نظم مشارکت در فعالیت‌های آموزشی و تربیتی، ابتکار در تکالیف عملکردی درسی و... درنظر گرفته شود.			
شایستگی پودمان بالاتر از حد انتظار، در حد انتظار، پایین تر از حد انتظار				

شایستگی های غیرفنی و عمومی (ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی)

شاخص ها	ضریب کیفیت عملکرد	شایستگی عملکرد هنرجو
مدیریت کیفیت - جمع آوری و گردآوری اطلاعات - رعایت ارگونومی - کنترل حفاظت الکتریکی و الکترونیکی تجهیزات - ایجاد محتوای الکترونیک - کاهش مصرف کاغذ - طراحی خلافا نه پوسته گرافیکی و گرافیک متحرک - رعایت انضباط فردی و کلاسی - پوشش مناسب - احترام به استاد و همکلاسی ها - حضور به موقع در کارگاه و...	۲	

شایستگی های غیرفنی و عمومی			شایستگی های فنی		شایستگی عملکرد هنرجو در پودمان
بالاتر از حد انتظار	در حد انتظار	کمتر از حد انتظار	بالاتر از حد انتظار	در حد انتظار	

شایستگی عملکرد هنرجو از میانگین سطوح شایستگی کسب شده در مراحل کاری هر واحد یادگیری مشخص می شود. به شرط آنکه:

- ۱ سطح شایستگی هنرجو در هیچ مرحله ای کمتر از حد انتظار نباشد.
- ۲ هنرجو در شایستگی های غیرفنی و عمومی، شایستگی در حد انتظار یا بالاتر از حد انتظار را کسب کرده باشد.

توجه:

- ۱ اگر حتی در یک مرحله کاری شایستگی کمتر از حد انتظار کسب شود، منجر به عدم کسب شایستگی پودمان می شود.
- ۲ با توجه به اینکه شایستگی های عمومی و غیرفنی از شرایط لازم برای کسب شایستگی می باشد؛ لذا در صورتی که شایستگی فنی را احراز کرده باشد اما در شایستگی یاد شده، سطح در حد انتظار کسب نشده باشد، به معنی عدم احراز شایستگی در پودمان است.

پودمان چهارم

انرژی الکتریکی

- واحد یادگیری ۱: شناخت انرژی الکتریکی جریان مستقیم
- واحد یادگیری ۲: شناخت انرژی الکتریکی جریان متناوب



واحد یادگیری ۱

شناخت انرژی الکتریکی جریان مستقیم

انرژی الکتریکی جریان مستقیم به انرژی ای گفته می شود که از طریق جریان برق مستقیم (DC) منتقل می شود. در جریان مستقیم الکترون ها فقط در یک جهت حرکت می کنند. برخلاف جریان متناوب یا AC که جهت جریان به صورت تناوبی عوض می شود. شکل موج ولتاژ و جریان انرژی الکتریکی جریان مستقیم به صورت خط صاف، دارای نویز یا نوسانات جزئی است. یعنی با گذشت زمان جهت ولتاژ یا جریان تغییر نمی کند و ثابت است. جریان مستقیم را به اختصار با حروف DC نشان می دهند (شکل ۱). در ادامه به روش های تولید انرژی الکتریکی جریان مستقیم پرداخته می شود:

الف) روش فوتوولتاییک

تبدیل انرژی الکتریکی نور خورشید به انرژی الکتریکی جریان مستقیم را روش فوتوولتاییک^۱ گویند. نور نوعی انرژی است که از ذرات حامل انرژی به نام فوتون به وجود می آید. هنگامی که فوتون های یک شعاع نوری با جسمی برخورد می کنند، انرژی خود را از دست می دهند. در بعضی اجسام، انرژی فوتون ها باعث آزادی الکترون ها می شود (شکل ۱).

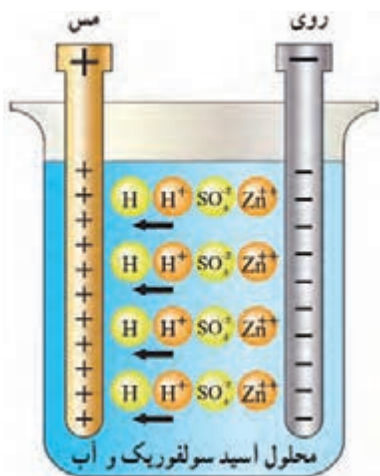


شکل ۱- فوتوولتاییک



شکل ۲- کاربرد انرژی الکتریکی تولید شده توسط نور خورشید

۱. PhotoVoltaic



شکل ۳-الکتروشیمیایی

ب) روش شیمیایی

مواد شیمیایی با فلزات مخصوصی ترکیب می‌شوند و واکنش‌های شیمیایی را ایجاد می‌کنند که باعث انتقال الکترون‌ها و تولید بارهای الکتریکی می‌گردد. باتری معمولی از این راه الکتریسیته تولید می‌کند. برای مثال، می‌توان باتری تر را نام برد. اسیدسولفوریک هنگامی که در یک ظرف شیشه‌ای با آب (به عنوان الکترولیت) مخلوط می‌شود، به دو ماده شیمیایی هیدروژن (H) و سولفات (SO_4) تجزیه می‌گردد. به علت طبیعت ترکیبات شیمیایی اتم‌های هیدروژن یون‌های مثبت (H^+) و اتم‌های سولفات یون‌های منفی (SO_4^{2-}) دارند. تعداد بارهای مثبت و منفی مساوی‌اند و در نتیجه، کل محلول از نظر بار الکتریکی خنثی است. پس از آن، هنگامی که میله‌های مسی یا روی را به داخل محلول وارد می‌کنیم، با محلول ترکیب می‌شوند (شکل ۳).

فلز روی با یون‌های سولفات ترکیب می‌شود. چون این اتم‌ها منفی‌اند، یون‌های مثبت (Zn^{++}) در اطراف میله فلزی روی تشکیل می‌شوند. و میله دارای الکترون‌های اضافی و در نتیجه بار الکتریکی منفی می‌شود. یون‌های روی با یون‌های سولفات منفی ترکیب می‌شوند، آنها را خنثی می‌کنند. در این حالت، محلول از نظر بارهای مثبت غنی‌تر است. یون‌های مثبت هیدروژن الکترون‌های آزاد میله مسی را جذب و محلول را دوباره خنثی می‌کنند ولی در این حالت، میله مسی کمبود الکترون خواهد داشت. در نتیجه، به طور مثبت باردار خواهد شد. در نهایت یک پایانه از جنس روی دارای بار الکتریکی منفی و یک پایانه از جنس مس دارای بار الکتریکی مثبت تشکیل می‌شود که به عنوان یک یا باتری عمل می‌کند

ج) باتری

باتری یکی از منابع تأمین انرژی الکتریکی جریان مستقیم است. در باتری انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود (شکل ۴).



شکل ۴

علامت اختصاری باتری در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵-شمای فنی باتری

باتری‌ها در دو نوع قابل شارژ^۱ و غیرقابل شارژ^۲ ساخته می‌شوند (شکل ۶).



شارژ نشدنی

شارژ شدنی

شکل ۶- باتری قابل شارژ و غیرقابل شارژ

باتری‌های قابل شارژ امکان چندین بار شارژ مجدد را دارند اما باتری‌های غیرقابل شارژ پس از دشارژ قابل استفاده نخواهند بود.

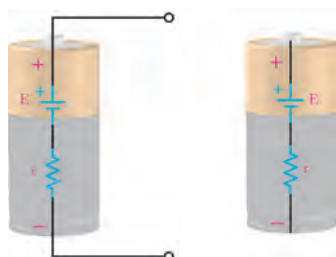
افت ولتاژ درونی باتری

اختلاف پتانسیل دو سر باتری هنگامی که به هیچ مصرف کننده‌ای متصل نمی‌باشد را «ولتاژ بی‌باری» باتری گویند. ولتاژ بی‌باری بیشترین مقدار ولتاژ باتری است. 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 مصرف کننده کاهش می‌یابد. اختلاف پتانسیل دو سر باتری هنگامی که به مصرف کننده 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 به دست می‌آید:

$$\Delta V = E - V$$



شکل ۷- مدار الکتریکی باتری

افت ولتاژ درونی باتری افزایش می‌یابد. برای معادل سازی افت ولتاژ درونی باتری آن را با افت ولتاژ دو سر یک مقاومت معادل می‌کنند.

مقاومتی که برای معادل سازی 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 به صورت سری قرار می‌گیرد (شکل ۷).

تحقیق کنید



ولتاژ دوسر چندباتری مختلف را در زمانی که پر و خالی هستند اندازه بگیرید. آیا اندازه‌گیری شما با پیش‌بینی شما قبل از انجام آزمایش مطابقت داشت؟ توضیح دهید چه چیزی در باتری پر و خالی تغییر می‌کند؟ چگونه می‌توان دستگاهی برای اندازه‌گیری میزان شارژ باتری ساخت؟

۱. Rechargeable

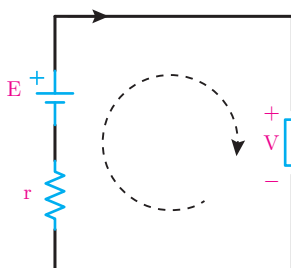
۲. Primary Battery

اتصال یک مصرف کننده به باتری و مدار الکتریکی آن در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸

با اتصال مصرف کننده به باتری در مدار الکتریکی باتری مسیر بسته ایجاد می شود و جریان I در مدار جاری خواهد شد. با جاری شدن جریان در دو سر مصرف کننده اختلاف پتانسیل V که با اختلاف پتانسیل دو سر باتری برابر است ایجاد می شود (شکل ۹).



شکل ۹

با نوشتن KVL مسیر بسته مدار الکتریکی باتری خواهیم داشت:

$$KVL) +V +rI -E = 0$$

با مرتب کردن رابطه KVL، رابطه زیر به دست می آید

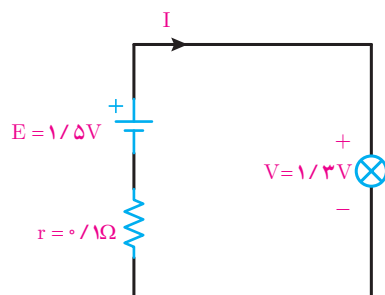
$$E - V = rI$$

از آنجایی که $\Delta V = E - V$ است افت ولتاژ درونی باتری به صورت زیر محاسبه خواهد شد

$$\Delta V = rI$$

مثال: اختلاف پتانسیل یک باتری قلمی $1/5$ ولتی با مقاومت درونی 1 اهم در اتصال به یک لامپ $1/3$ ولت کاهش می یابد مطلوب است:

الف) مدار الکتریکی



شکل ۱۰

ب) جریان باتری

$$KVL) +V + rI - E = 0$$

$$1/3 + 1I - 1/5 = 0$$

$$1I = 2/5$$

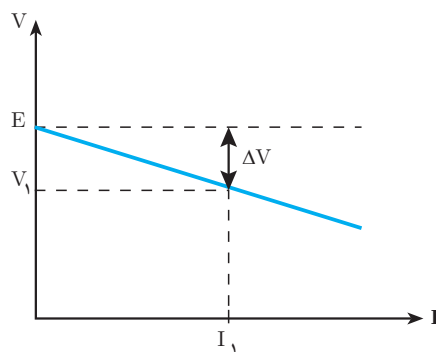
$$I = \frac{0.4}{1} = 0.4 \text{ [A]}$$

ج) افت ولتاژ درونی باتری

$$\Delta V = rI$$

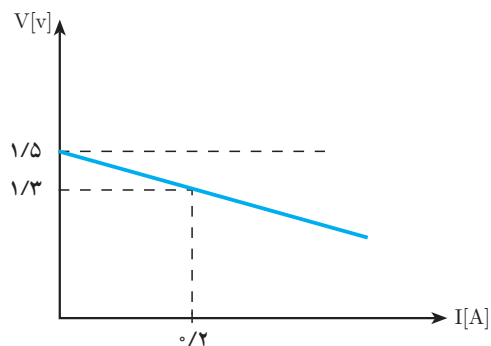
$$\Delta V = 1 \times 0.4 = 0.4 \text{ [V]}$$

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 ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱

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



شکل ۱۲

مطلوب است:

الف) مقاومت درونی باتری

$$E - V = rI$$

$$1/5 - 1/3 = r(0/2)$$

$$r = \frac{0/2}{0/2} = 1 \text{ } [\Omega]$$

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

$$\Delta V = E - V$$

$$\Delta V = 1/5 - 1/3 = 0/2 \text{ [V]}$$

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

$$E - V = rI$$

$$1/5 - V = 1 \times 0/5$$

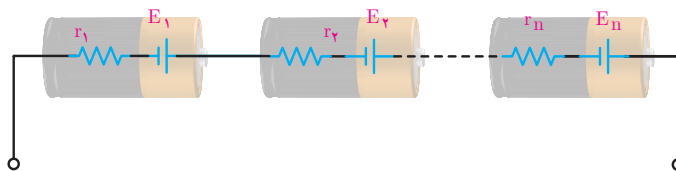
$$V = 1 \text{ [V]}$$

اتصال باتری‌ها

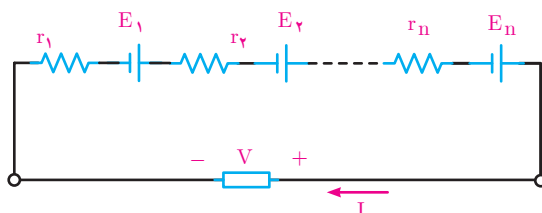
اتصال باتری‌ها به یکدیگر به منظور افزایش ولتاژ یا جریان انجام می‌شود. برای افزایش ولتاژ، باتری‌ها را با یکدیگر به صورت سری متصل می‌کنند. اما برای افزایش جریان، باتری‌ها را با یکدیگر به صورت موازی متصل می‌کنند. در صورتی که ضمن افزایش ولتاژ نیاز به افزایش جریان نیز باشد باتری‌ها را به صورت ترکیبی از اتصال سری و موازی به کار می‌گیرند.

اتصال سری باتری‌ها

اتصال سری باتری‌ها به منظور افزایش ولتاژ به کار می‌رود. برای ایجاد اتصال سری، مثبت هر باتری به منفی باتری بعد متصل می‌شود. مدار الکتریکی اتصال سری باتری‌ها در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۳



شکل ۱۴

با اتصال چند باتری سری به مصرف کننده جریان در مدار جاری خواهد شد (شکل ۱۴).

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

$$r_1 I - E_1 + r_2 I - E_2 + \dots + r_n I - E_n + V = 0$$

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

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

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

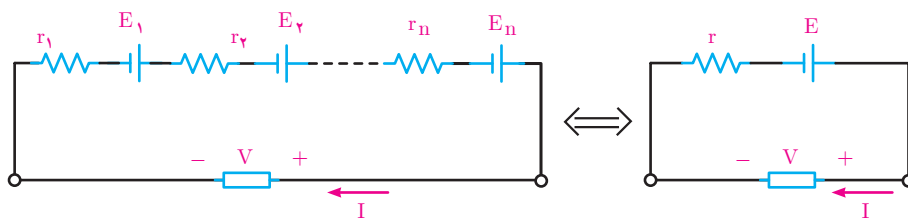
همچنین مقاومت درونی باتری‌ها نیز با یکدیگر جمع می‌شود و معادل آنها مقاومت درونی r ایجاد می‌شود.

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

و می‌توان نوشت:

$$rI - E + V = 0$$

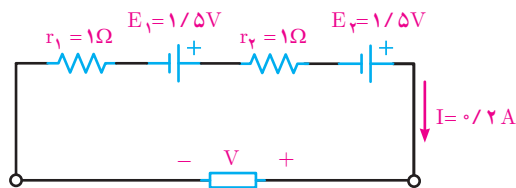
مدار الکتریکی معادل n باتری سری در شکل ۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۵- مدار معادل

مثال: دو باتری مشابه $1/5$ ولتی با مقاومت درونی 1Ω به صورت سری به یک مصرف کننده متصل شده‌اند. اگر جریان مصرف کننده 0.2 آمپر باشد مطلوب است محاسبه:

الف) مدار الکتریکی



شکل ۱۶

ب) اختلاف پتانسیل دو سر مصرف کننده

$$r = r_1 + r_2$$

$$r = 1 + 1 = 2 [\Omega]$$

$$E = E_1 + E_2$$

$$E = 1/5 + 1/5 = 2/5 [V]$$

$$rI - E + V = 0$$

$$2 \times 0.2 - 2/5 + V = 0$$

$$V = 6/5 [V]$$

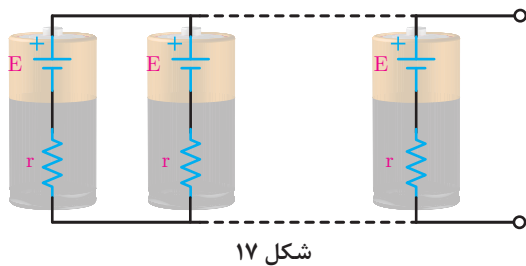
در اتصال سری باتری‌ها با متصل کردن مثبت هر باتری به منفی باتری بعد اختلاف پتانسیل مصرف کننده افزایش می‌یابد. اگر در اتصال سری باتری‌ها مثبت هر باتری به مثبت باتری بعد متصل شود اختلاف پتانسیل مصرف کننده کاهش پیدا می‌کند و خرابی باتری‌ها را در پی خواهد داشت.

تحقیق کنید



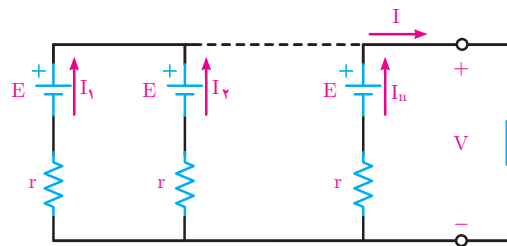
باتری کامیون‌ها و اتوبوس‌های دیزلی اغلب ۲۴ ولتی است. باتری اغلب خودروهای موازی نیز ۱۲ ولت است. چرا نمی‌توان با سری کردن دو باتری خودروی سواری، یک باتری برای خودروهای سنگین ساخت؟

اتصال موازی باتری‌ها



اتصال موازی باتری‌ها به منظور افزایش جریان به کار 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 ۱۷ نشان داده شده است.

با اتصال چند باتری موازی به مصرف کننده جریان در آن جاری خواهد شد (شکل ۱۸).



شکل ۱۸

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

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

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

$$\text{KCL) } I_1 + I_2 + \dots + I_n = I$$

با جایگزینی مقدار جریان هر باتری در رابطه KCL به دست می‌آید:

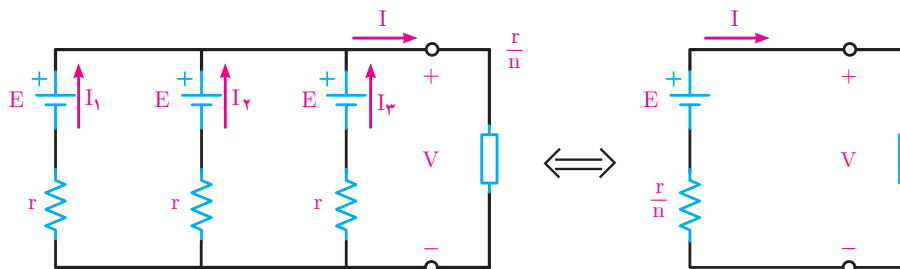
$$\text{KCL) } \frac{E - V}{r} + \frac{E - V}{r} + \dots + \frac{E - V}{r} = I$$

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

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

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

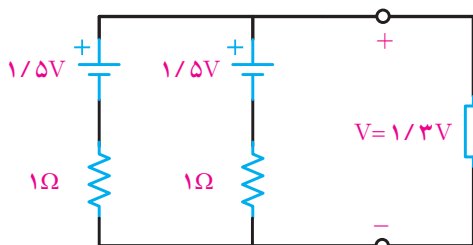
مدار الکتریکی معادل n باتری موازی در شکل ۱۹ نشان داده شده است



شکل ۱۹

مثال: دو باتری مشابه $1/5$ ولتی با مقاومت درونی 1 اهم به صورت موازی به یک مصرف کننده متصل شده اند. اگر اختلاف پتانسیل مصرف کننده $1/3$ ولت باشد مطلوب است:

الف) مدار الکتریکی



شکل ۲۰

ب) جریان مصرف کننده

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

$$1/5 - 1/3 = \frac{1}{2} I$$

$$I = 0/4 \text{ [A]}$$

در اتصال موازی باتری های مشابه جریان مصرف کننده برابر حاصل جمع جریان باتری های موازی خواهد شد. اگر باتری های موازی مشابه نباشند جریان مصرف کننده کمتر از حاصل جمع جریان باتری های موازی خواهد شد.

۱) اختلاف پتانسیل یک باتری 9 ولتی در اتصال به مصرف کننده 8 ولت می باشد اگر جریان مصرف کننده

$0/5$ آمپر باشد مطلوب است:

الف) افت ولتاژ درونی باتری

ب) مقاومت درونی باتری

۲) نمودار تأثیر جریان باتری بر اختلاف پتانسیل دو سر باتری در شکل صفحه بعد نشان داده شده است.

مطلوب است محاسبه:

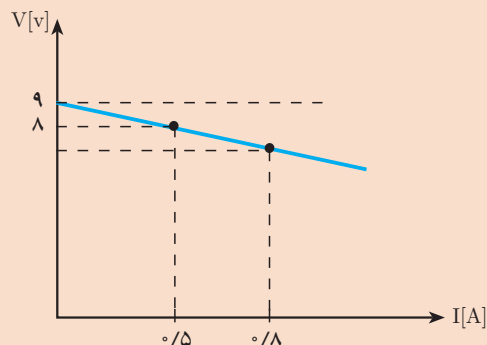
الف) افت ولتاژ در جریان $0/5$ آمپر

ب) اختلاف پتانسیل دو سر باتری در جریان $0/8$ آمپر

تعمیق و تثبیت
یادگیری

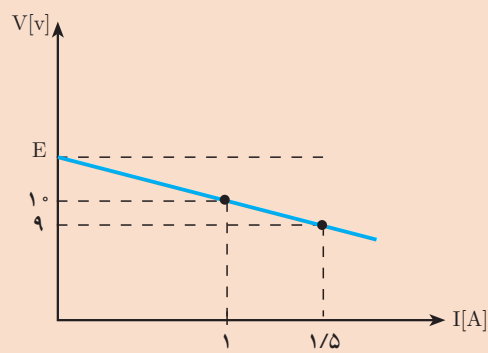


$$E=9$$



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

الف) نیروی محرکه باتری
ب) مقاومت درونی باتری



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

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

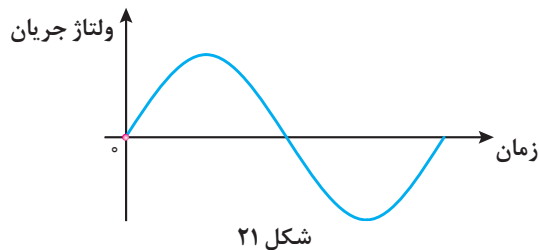
۶ چند باتری ۹ ولتی با مقاومت درونی ۱ اهم به طور موازی متصل شوند تا جریان و ولتاژ مصرف کننده به ترتیب ۴ آمپر و ۸ ولت شود؟

واحد یادگیری ۲

شناخت انرژی الکتریکی جریان متناوب

انرژی الکتریکی جریان متناوب از تبدیل انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی (حرارت)، انرژی جنبشی باد، انرژی پتانسیل گرانشی آب، انرژی حاصل از هوای فشرده (گاز) حاصل از جزر و مد آب دریا و سایر موارد به دست می‌آید. و برای این تبدیل انرژی از ژنراتور^۱ و توربین^۲ استفاده می‌شود. انرژی جنبشی باد، بخار و... توسط توربین به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود سپس این انرژی مکانیکی توسط ژنراتور به انرژی الکتریکی تبدیل خواهد شد. محل نصب ژنراتور، توربین و تجهیزات مربوط به آن را نیروگاه^۳ می‌نامند. جریان متناوب را به اختصار با حروف AC 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 ۲۱).



شکل ۲۲

الف) نیروگاه حرارتی

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

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 ۲۳). 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.



شکل ۲۳- سد و نیروگاه آبی کارون ۳ در استان خوزستان

۱. Genarator
۲. Turbine
۳. Power plant



شکل ۲۴- نیروگاه گازی

پ) نیروگاه گازی

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

زمان احداث نیروگاه های گازی در مقایسه با نیروگاه های آبی و حرارتی کمتر می باشد اما بازده آنها به دلیل اتلاف انرژی حرارتی کمتر از ۳۰ درصد می باشد (شکل ۲۴).



شکل ۲۵- نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند

ت) نیروگاه سیکل ترکیبی

نیروگاه سیکل ترکیبی از دو نیروگاه حرارتی و گازی که در مجاورت یکدیگر احداث شده اند، تشکیل شده است به این ترتیب که از انرژی حرارتی تلف شده در نیروگاه گازی برای گرم کردن آب نیروگاه حرارتی استفاده می شود. بنابراین بازده و خروجی نیروگاه سیکل ترکیبی در مقایسه با نیروگاه حرارتی و گازی بیشتر خواهد بود (شکل ۲۵).



شکل ۲۶- نیروگاه بادی

ث) نیروگاه بادی

نیروگاه بادی انرژی جنبشی حاصل از باد را توسط توربین به انرژی مکانیکی تبدیل می کند و ژنراتور انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می نماید. نیروگاه بادی با توجه به شرایط اقلیمی، وزش باد در مدت زمان کمتر از یک سال قابل احداث و بهره برداری می باشد. رایگان بودن انرژی باد و عدم نیاز به انرژی فسیلی از مزایای مهم نیروگاه بادی می باشد (شکل ۲۶).

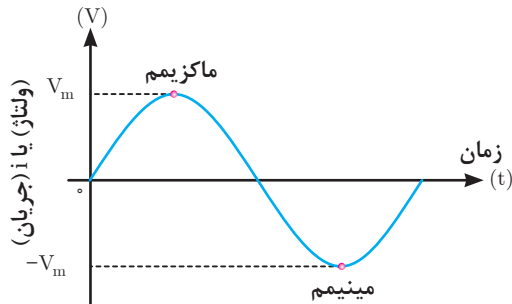


شکل ۲۷- دیزل ژنراتور

ج) نیروگاه دیزلی

نیروگاه دیزلی انرژی حاصل از سوخت های فسیلی نظیر گازوئیل را توسط ماشین های درون سوز به انرژی مکانیکی تبدیل می کند و ژنراتور انرژی مکانیکی ماشین درون سوز را به انرژی الکتریکی تبدیل می نماید. نیروگاه دیزلی به صورت نصب ثابت و سیار قابل استفاده می باشند (شکل ۲۷).

جریان متناوب

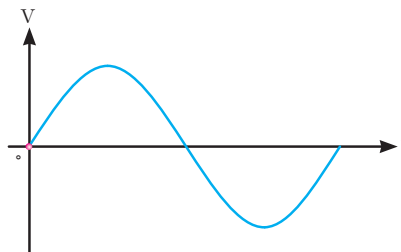


شکل ۲۸

جریان متناوب جریانی است که جهت آن در تناوب‌ها مشخص و مقدار آن در هر لحظه از زمان تغییر می‌کند و دامنه آن نیز نسبت به زمان نوسانی است. شکل موج مرسوم جریان متناوب، سینوسی است. در موج سینوسی حداکثر مثبت را ماکزیمم^۱ و حداکثر منفی را مینیمم^۲ گویند (شکل ۲۸).

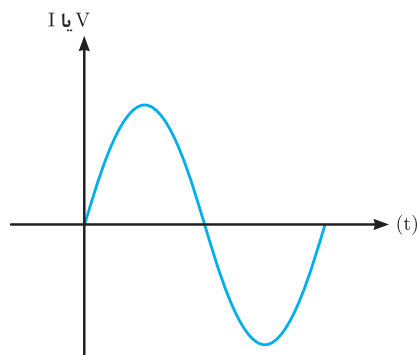
تولید جریان متناوب

تولید جریان متناوب توسط ژنراتورهای جریان متناوب انجام می‌شود (شکل ۲۹).



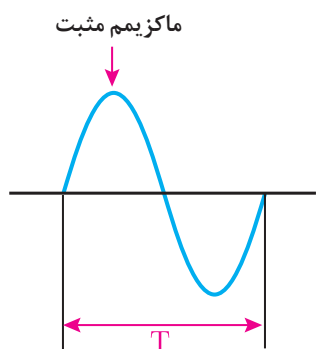
شکل ۲۹

ژنراتور جریان متناوب از دو قسمت ساکن و متحرک تشکیل شده است. قسمت ساکن را استاتور^۳ و قسمت متحرک را رتور^۴ 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 ۳۰).



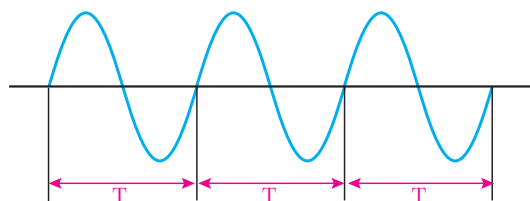
شکل ۳۰

۱. Maximum
۲. Minimum
۳. Stator
۴. Rotor



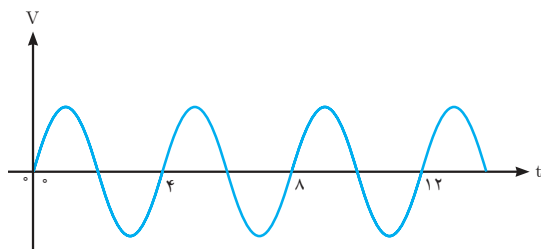
شکل ۳۱

مقدار و جهت ولتاژ یا جریان متناوب سینوسی با زمان تغییر می کند؛ یعنی از صفر شروع می شود و به مقدار حداکثر (پیک مثبت) یا ماکزیمم می رسد. آنگاه دوباره صفر می شود و سپس به حداقل (پیک منفی) یا مینیمم می رسد و باز صفر می شود. همان طور که مشاهده می کنید، هنگامی که موج سینوسی از صفر می گذرد، پلاریته خود را عوض می کند. به عبارت ساده تر، موج سینوسی بین مقادیر مثبت و منفی تناوب می کند. مجموعه یک تناوب مثبت و منفی را یک سیکل کامل گویند (شکل ۳۱).



شکل ۳۲

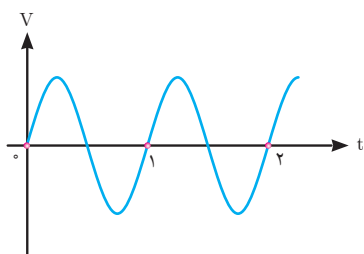
زمان تناوب مدت زمان انجام یک سیکل کامل می باشد و آن را با حرف T نشان می دهند. واحد زمان تناوب ثانیه است (شکل ۳۲).



شکل ۳۳

مثال: زمان تناوب موج سینوسی شکل ۳۳ را به دست آورید.

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

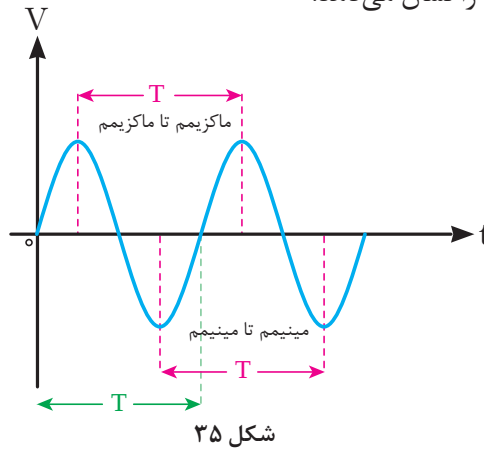


شکل ۳۴

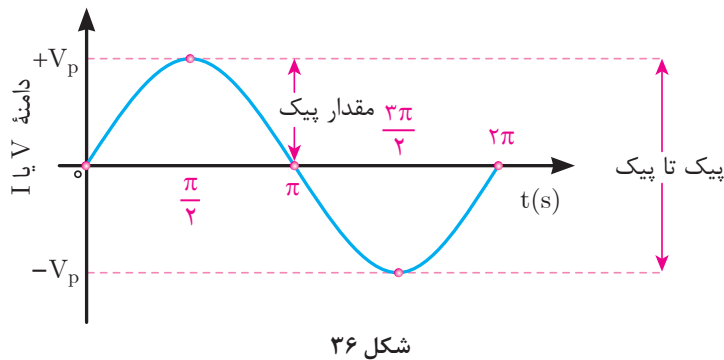
مثال: در شکل ۳۴ سه روش برای اندازه گیری زمان تناوب پیدا کنید.

حل:

روش اول: زمان تناوب را می‌توان از یکی از صفرها در سیکل اول تا صفر مشابه در سیکل دوم اندازه گرفت.
روش دوم: زمان تناوب را می‌توان بین دو پیک مثبت (ماکزیمم) متوالی اندازه گرفت.
روش سوم: زمان تناوب را می‌توان بین دو پیک منفی (مینیمم) متوالی اندازه گرفت.
شکل ۳۵ سه روش اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.



زاویه طی شده بین ابتدا تا انتهای یک سیکل کامل برابر 360° درجه است (شکل ۳۶).



واحد اندازه‌گیری زاویه علاوه بر درجه، رادیان نیز می‌باشد به طوری که هر 360° درجه معادل 2π رادیان است یعنی:

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

زاویه طی شده بین ابتدا تا انتهای یک سیکل کامل برابر 2π رادیان است (شکل ۳۶).
برای تبدیل رادیان و درجه به یکدیگر از رابطه زیر استفاده می‌شود.

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

مثال: زاویه 18° معادل چند رادیان است؟

حل:

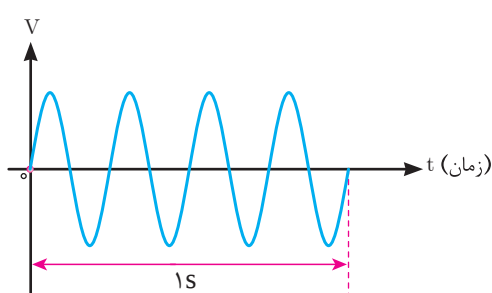
$$\frac{D}{36^\circ} = \frac{R}{2\pi}$$

$$\frac{18^\circ}{36^\circ} = \frac{R}{2\pi}$$

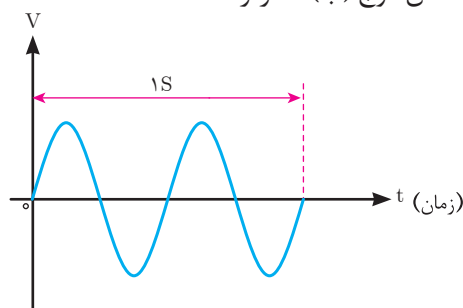
$$R = \frac{2\pi \times 18^\circ}{36^\circ} = \pi [\text{Rad}]$$

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 ۳۷ دو موج سینوسی را نشان می‌دهد که موج (الف) دو سیکل و موج (ب) چهار سیکل را در ثانیه طی می‌کند؛ یعنی، فرکانس موج (الف) ۲ هرتز و فرکانس موج (ب) ۴ هرتز است.



ب



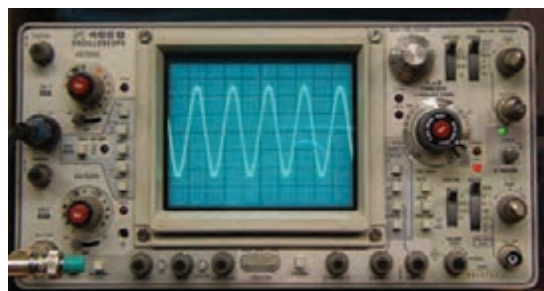
الف

شکل ۳۷

فرکانس برق در ایران ۵۰ هرتز یا ۵۰ CPS است. یعنی ۵۰ سیکل کامل در یک ثانیه انجام می‌شود. فرکانس برق بعضی از کشورها ۶۰ هرتز (۶۰ CPS) است. فرکانس جریان یا ولتاژ را می‌توان، با فرکانس متر (دستگاه اندازه‌گیری فرکانس) اندازه گرفت و با اسیلوسکوپ (شکل ۳۸) (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 ۳۸

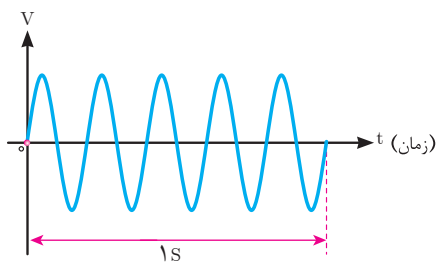
با توجه به این روابط، هر قدر فرکانس زیادتر شود، به همان اندازه زمان تناوب کاهش پیدا می کند؛ مثلاً اگر زمان تناوب یک موج، یک ثانیه باشد فرکانس آن یک هرتز و اگر زمان تناوب، ۲ ثانیه شود، فرکانس آن نصف خواهد شد.

مثال: با توجه به شکل ۳۹ به سؤالات زیر پاسخ دهید.

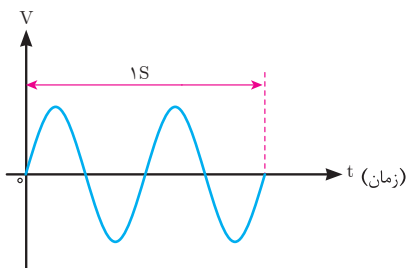
الف) فرکانس کدام موج بیشتر است؟

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 ۳۹

حل: موج (الف) ۲ سیکل و موج (ب) ۵ سیکل را در ثانیه طی کرده اند. پس فرکانس موج (ب) بیشتر است.

موج ب:

$$f = 5 \text{ Hz}$$

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

$$\text{زاویه} = \frac{2\pi}{T} \rightarrow \frac{2\pi}{0.2} = 10\pi [\text{Rad}]$$

موج الف:

$$f = 2 \text{ Hz}$$

$$T = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$\text{زاویه} = 4\pi [\text{Rad}]$$

$$\text{زاویه} = \frac{2\pi}{T} \rightarrow \frac{2\pi}{0.5} = 4\pi [\text{Rad}]$$

سرعت زاویه ای

موج متناوب در هر سیکل 2π رادیان را طی می کند، لذا مقدار زاویه طی شده در مدت یک ثانیه برابر $2\pi f$ می باشد که آن را سرعت زاویه ای گویند و با رابطه زیر نشان می دهند:

$$\omega = 2\pi f$$

که در این رابطه:

ω : سرعت زاویه برحسب $[\text{Rad/s}]$

f : فرکانس برحسب $[\text{Hz}]$ است.

مثال: فرکانس یک موج متناوب سینوسی 50 Hz می باشد سرعت زاویه ای آن را به دست آورید:

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

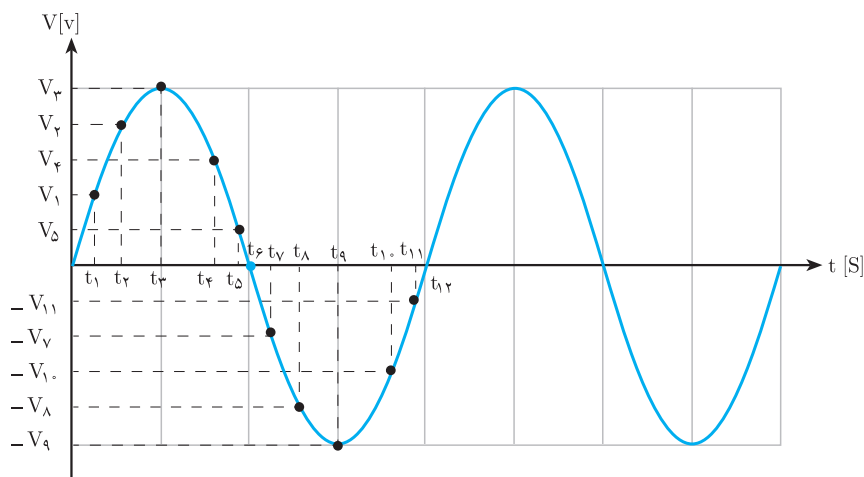
$$\omega = 2\pi \times 50 = 100\pi = 100 \times 3.14 = 314 [\text{Rad/s}]$$

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

$$\text{میانگین سه عدد} = \frac{۱۰+۱۸+۱۷}{۳} = ۱۵$$

بر همین اساس برای محاسبه دقیق مقدار متوسط یک موج باید مقادیر موج در هر لحظه را با هم جمع و بر تعداد نمونه‌های برداشته شده تقسیم کرد. شکل ۴۰ 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 ۴۰

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

نکته

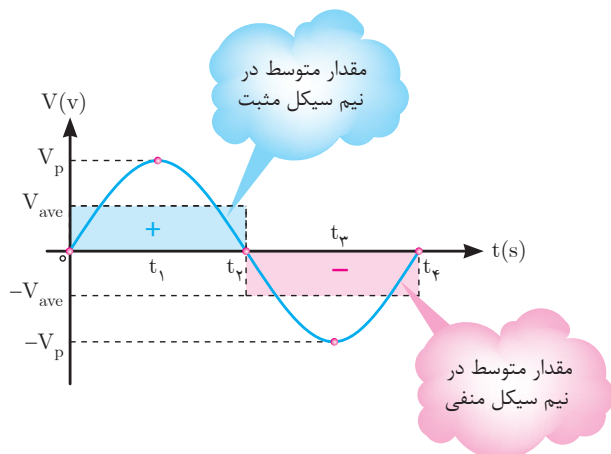


میانگین مقادیر لحظه‌ای نیم‌سیکل مثبت

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

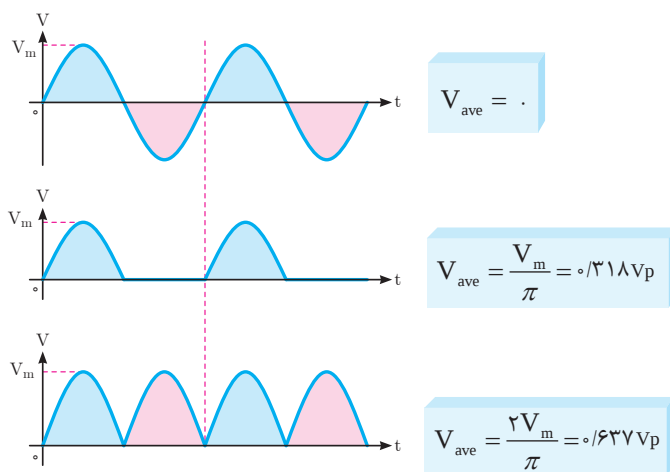
میانگین مقادیر لحظه‌ای نیم‌سیکل منفی

$$V_{ave}^{-} = \frac{-V_7 - V_8 - V_9 - V_{10} - V_{11}}{5}$$



شکل ۴۱

مقدار متوسط هر یک از نیم سیکل های یک موج سینوسی در شکل ۴۱ نشان داده شده است. مساحت زیر هر نیم سیکل با مساحت مقدار متوسط در همان نیم سیکل برابر است.



شکل ۴۲

همان طوری که از شکل ۴۲ مشخص است مقدار متوسط در یک سیکل کامل سینوسی از جمع دو نیم سیکل مثبت و منفی به دست می آید و مقدار آن مساوی صفر می شود.

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

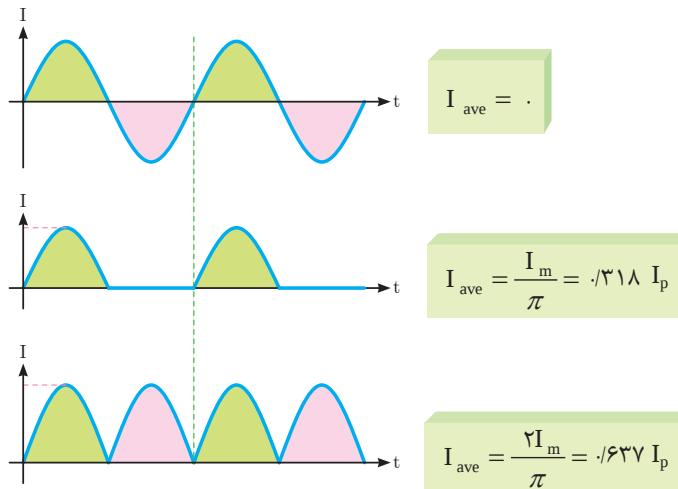
هرگاه موج هایی به صورت شکل ۴۲ داشته باشیم و بخواهیم مقدار متوسط هر یک از آنها را حساب کنیم می توان از روابط نوشته شده در مقابل آنها استفاده کرد.

چرا مقدار متوسط یک موج سینوسی که فقط دارای یک نیم سیکل است (یکسوسه) از رابطه $\frac{V_m}{\pi}$ به دست می آید؟
برای توضیح می توانید از هوش مصنوعی یا فیلم های آموزشی موجود در اینترنت نیز کمک بگیرید.

تحقیق کنید

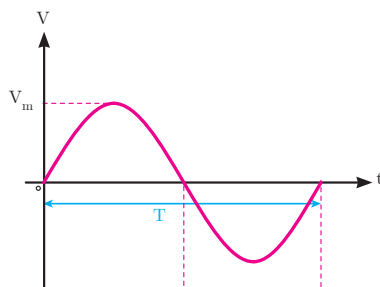


لازم به ذکر است برای محاسبه مقدار متوسط شکل موج جریان نیز به همین ترتیب و بر پایه این روابط می توان عمل کرد (شکل ۴۳).



شکل ۴۳

مقدار مؤثر موج متناوب سینوسی



شکل ۴۴

مقدار مؤثر موج متناوب عبارت از «جذر میانگین مربعات» می باشد و آن را با I_{rms} یا V_{eff} نشان می دهد. برای تعیین مقدار مؤثر موج متناوب سینوسی شکل ۴۴ ابتدا مقادیر لحظه ای موج را به توان دو می رسانند تا مقادیر نیم سیکل منفی به مثبت تبدیل شود. شکل ۴۵ سپس میانگین موج محاسبه می شود. چون در ابتدا مقادیر لحظه ای موج به توان دو رسیده است از میانگین آن جذر گرفته می شود.

مقدار مؤثر ولتاژ با شکل موج متناوب سینوسی از رابطه زیر به دست می آید.

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

که در این رابطه:

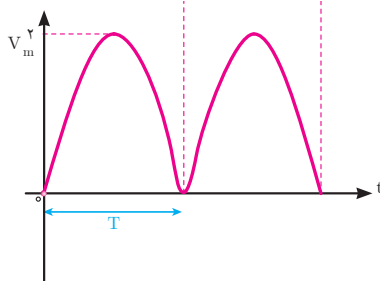
V_m مقدار ماکزیمم ولتاژ متناوب و

V_{rms} مقدار مؤثر ولتاژ متناوب است.

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

که در این رابطه:

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



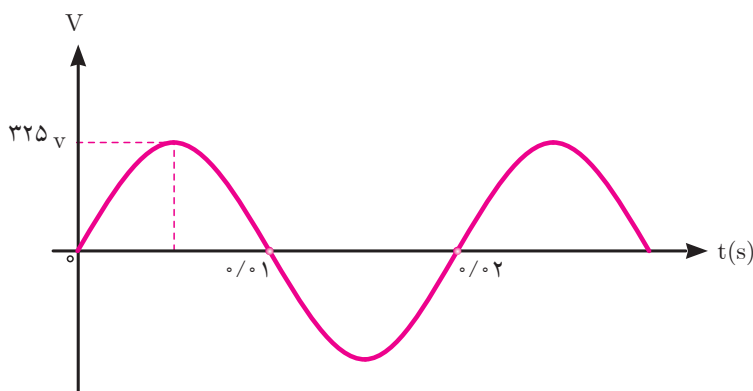
شکل ۴۵

۱. Root Mean Square

۲. Effective

I_m مقدار ماکزیمم جریان متناوب
 I_{rms} مقدار مؤثر جریان متناوب می باشد.
 مقدار مؤثر ولتاژ یا جریان متناوب برابر مقدار ولتاژ یا جریان مستقیمی است که در یک مقاومت مشخص در مدت زمان معینی به یک اندازه گرما تولید کند.

مثال: مقدار مؤثر شکل ۴۶ موج متناوب سینوسی زیر را به دست آورید؟



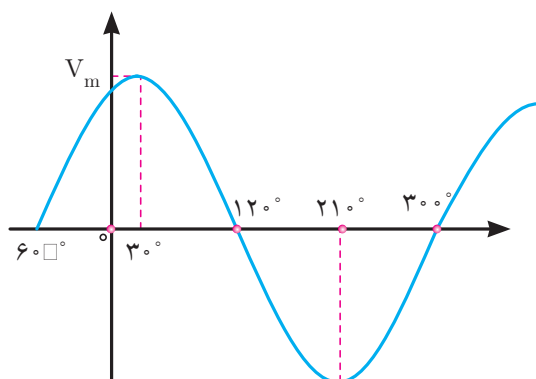
شکل ۴۶

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

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

با استفاده از رابطه صفحه قبل مقدار مؤثر ولتاژ محاسبه می شود:

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



شکل ۴۷

و در شکل ۴۷ فاز موج سینوسی $+60^\circ$ درجه است یعنی $\theta_v = +60^\circ$ می باشد.

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 به صورت زیر محاسبه می‌شود.

فاز جریانی - 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

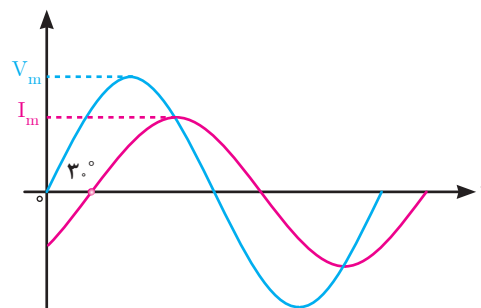
θ_V فاز موج سینوسی ولتاژ

θ_i فاز موج سینوسی جریان است.

در شکل ۴۸ فاز موج سینوسی ولتاژ $\theta_V = 0^\circ$ می‌باشد و فاز موج سینوسی جریان $\theta_i = -3^\circ$ است. اختلاف فاز آنها $\varphi = +3^\circ$ است، زیرا :

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

$$\varphi = -(-3^\circ) = +3^\circ$$



شکل ۴۸

مثال: یک جریان متناوب با شکل موج سینوسی دارای مقدار مؤثر ۵ آمپر می‌باشد مقدار ماکزیمم جریان چند آمپر است؟

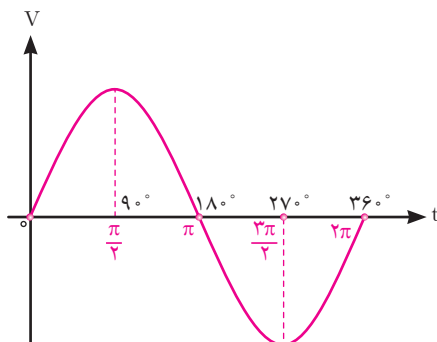
حل: از رابطه مقدار ماکزیمم جریان محاسبه می‌شود:

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

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

$$I_m = 5 \times \sqrt{2} = 7.07 \text{ A}$$

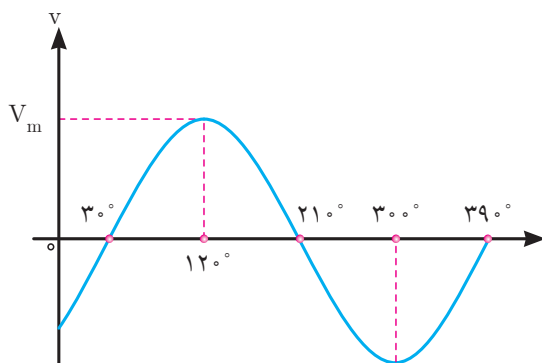
فاز



شکل ۴۹

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



شکل ۵۰

در شکل ۵۰ فاز موج سینوسی -30° درجه است. یعنی $\theta_V = -30^\circ$ می باشد.

این مدار الکتریکی را پس فاز گویند زیرا جریان مدار 30° از ولتاژ مدار عقب تر است. در مدارهای پس فاز φ مثبت خواهد شد.

مثال: اختلاف فاز موج های سینوسی شکل ۵۱ را محاسبه کنید.

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

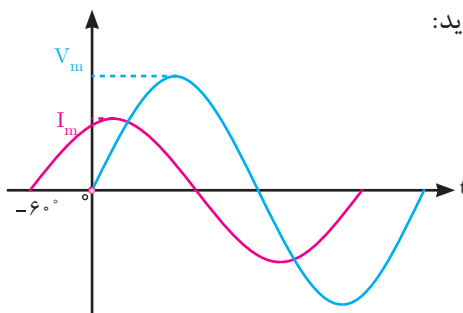
از رابطه اختلاف فاز به دست می آید:

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

$$\theta_V = 0^\circ$$

$$\theta_i = +60^\circ$$

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



شکل ۵۱

این مدار الکتریکی را «پیش فاز» گویند زیرا جریان مدار 60° از ولتاژ مدار جلوتر است. در مدارهای پیش فاز φ منفی خواهد شد.

معادله زمانی موج

معادله زمانی موج سینوسی رابطه بین کمیت های «مقدار ماکزیمم»، «سرعت زاویه ای»، «فاز» موج سینوسی را نشان می دهد. معادله زمانی موج سینوسی ولتاژ متناوب به صورت زیر است.

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

که در این رابطه :

$V(t)$ مقدار لحظه ای ولتاژ در لحظه t بر حسب ولت

V_m مقدار ماکزیمم ولتاژ بر حسب ولت

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

θ_V فاز موج سینوسی ولتاژ بر حسب درجه یا رادیان است.

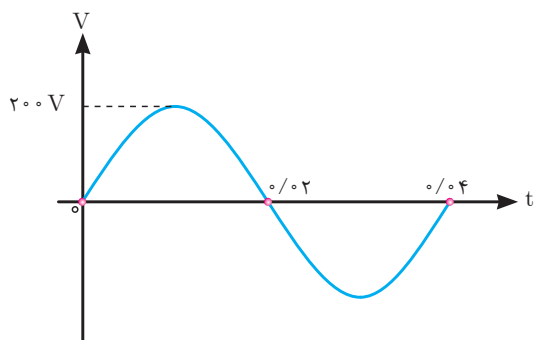
کمیت‌های معادله زمانی $V(t) = 100 \sin(100\pi t + 0^\circ)$ برابر است با:

$$V_m = 100 \text{ [V]}$$

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

$$\theta_V = 0^\circ$$

مثال: معادله زمانی موج سینوسی شکل ۵۲ را بنویسید.



شکل ۵۲

حل:

با توجه به شکل می‌توان نوشت:

$$\theta_V = 0^\circ$$

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

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

از رابطه سرعت زاویه‌ای ω حساب می‌شود:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0.4} = 50\pi \left[\frac{\text{Rad}}{\text{s}} \right]$$

معادله زمانی موج سینوسی به صورت زیر است:

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

با جای گذاری کمیت‌های آن معادله زمانی موج سینوسی به دست 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:

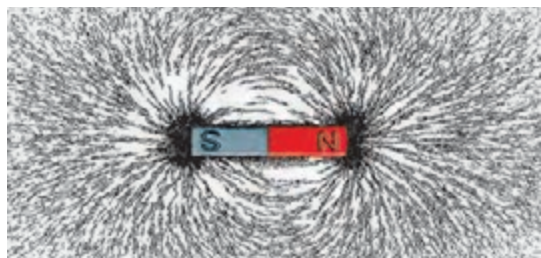
$i(t)$ مقدار لحظه‌ای جریان در لحظه t بر حسب آمپر
 I_m مقدار ماکزیمم جریان بر حسب آمپر
 ω سرعت زاویه‌ای بر حسب رادیان بر ثانیه
 θ_i فاز موج سینوسی جریان بر حسب درجه یا رادیان است.

میدان مغناطیسی



شکل ۵۳

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. 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 ۵۳).



شکل ۵۴

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 ۵۴). هر خط نیروی میدان مغناطیسی را یک ماکسول^۲ (max) می‌گویند.



ماکسول

جیمز کلارک ماکسول در ۱۳ نوامبر سال ۱۸۳۱ در ادینبرا اسکاتلند متولد شد از کودکی به ریاضیات و فیزیک علاقه فراوان داشت در سال ۱۸۴۷ وارد دانشگاه ادینبرا شد و در سال 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.

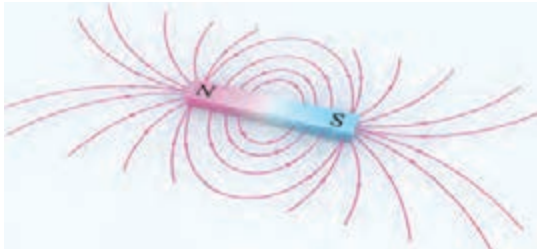
۱. Magnetic Field

۲. Max Well



شکل ۵۵

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 ۵۵).



شکل ۵۶- خطوط نیروی میدان مغناطیسی

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 ۵۶). در شکل خطوط نیروی میدان مغناطیسی اطراف یک آهنربا نمایش داده شده است.

فوران مغناطیسی

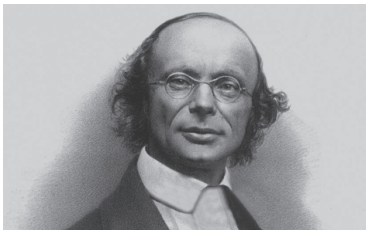
به مجموع خطوط نیروی میدان مغناطیسی اطراف یک مغناطیسی یا آهنربا «فوران» یا «شار مغناطیسی»^۲ می‌گویند و آن را با Φ نشان می‌دهند^۳.

واحد فوران مغناطیسی ولت.ثانیه (v.sec) است که اصطلاحاً به آن وبر wb می‌گویند. یک وبر^۴ برابر با 10^8 خط نیروی میدان مغناطیسی یا ماکسول است. پس:

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

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

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



ویلهلم وبر

ویلهلم 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.

۱. Magnetic Poles

۲. Magnetic Flux

۴. Weber

۳. در برخی کتب آن را Flow می‌نامند.



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:

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

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

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

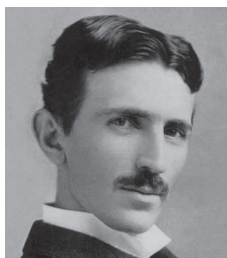
$$\varphi = \frac{2/5 \times 1}{10^3}$$

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

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

$$\varphi = 2/5 \times 10^{-3} = 250000 [max]$$

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

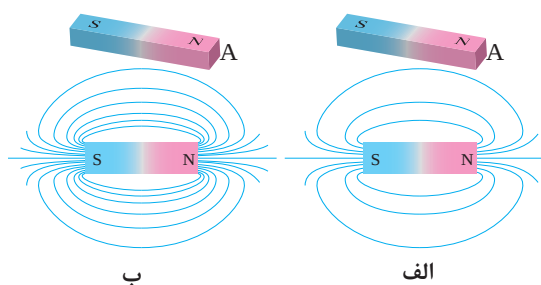


نیکولا تسلا

نیکولا تسلا در سال ۱۸۵۶ در امپراتوری اتریش - مجارستان متولد شد و 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 فوران (شار) مغناطیسی تسلا می‌باشد.

چگالی فوران مغناطیسی



شکل ۵۷

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 ۵۷-الف در سطح مقطع قطب خود ۱۰۰۰ و میدان مغناطیسی آهنربای شکل ۵۷-ب در سطح مقطع خود ۲۰۰۰ خط نیروی جای داده است.

سطح مقطع قطب A هر دو آهنربا برابر است، اما آهنربای شکل خطوط نیروی مغناطیسی یا فوران مغناطیسی بیشتری در سطح مقطع قطب A خود جای داده است. به عبارتی فوران مغناطیسی در سطح مقطع قطب A آهنربای شکل ۵۷- ب نسبت به شکل ۵۷- الف فشرده و متراکم تر می باشد، لذا میدان مغناطیسی آن قوی تر 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 می شود و آن را با B نشان می دهند.

چگالی فوران مغناطیسی B کمیتی است که تراکم یا فشردگی خطوط میدان مغناطیسی در سطح مقطع A را نشان می دهد. اگر سطح مورد نظر واحد انتخاب شود، «فوران عبوری از واحد سطح را چگالی فوران مغناطیسی» تعریف می کنند.

چگالی فوران مغناطیسی از رابطه زیر به دست می آید.

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

در این رابطه:

ϕ فوران مغناطیسی بر حسب وبر wb

A مساحت مقطعی که فوران مغناطیسی ϕ از آن می گذرد 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] می گویند و واحد کوچک تر آن ماکسول بر سانتی مترمربع $\left[\frac{max}{cm^2} \right]$ است که اصطلاحاً به آن گاوس^۳ [G] گفته می شود. پس:

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

مثال: آهنربایی با فوران مغناطیسی 0.2 mwb مطابق شکل ۵۸ در نظر است. چگالی فوران مغناطیسی در سطح مقطع A هسته چند گاوس می باشد؟ در صورتی که $a = 10 \text{ mm}$ و $b = 20 \text{ mm}$ باشد.

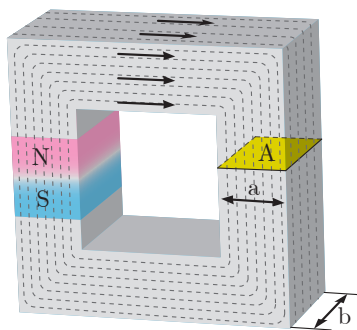
حل:

■ سطح مقطع A برابر است با:

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

■ واحد سطح مقطع به مترمربع تبدیل می شود:

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



شکل ۵۸

۱. Magnetic Flux Density

۲. Tesla

۳. Gauss

■ واحد فوران مغناطیسی به وبر تبدیل می‌شود:

$$\frac{1 \text{ wb}}{\phi} = \frac{10^3 \text{ mwb}}{0.02 \text{ mwb}}$$

$$\phi = \frac{0.02 \times 1}{10^3} = 0.02 \times 10^{-3} = 2 \times 10^{-5} [\text{wb}]$$

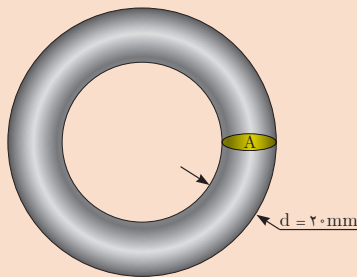
■ از رابطه زیر چگالی فوران مغناطیسی به دست می‌آید:

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{2 \times 10^{-5}}{2 \times 10^{-4}} = 0.1 \left[\frac{\text{wb}}{\text{m}^2} \right] = 0.1 [\text{T}]$$

■ واحد چگالی فوران مغناطیسی به گاوس تبدیل می‌شود:

$$\frac{1 \text{ T}}{0.1 \text{ T}} = \frac{10^4 \text{ G}}{B}$$

$$B = \frac{0.1 \times 10^4}{1} = 0.1 \times 10^4 = 1000 [\text{G}]$$



شکل ۵۹

۱ یک آهنربا ۴۰۰۰۰۰ خط نیروی میدان مغناطیسی دارد. فوران این

آهنربا چند میلی‌وبر است؟

۲ آهنربایی با چگالی فوران مغناطیسی ۱۰۰۰۰ G مطابق شکل روبه‌رو

در نظر است. فوران مغناطیسی در سطح مقطع A هسته چند میلی‌وبر است.

تعمیق و تثبیت
یادگیری



۱ فوران مغناطیسی یک آهنربا با سطح مقطع ۵ cm^۲ و چگالی ۵۰ G چند میلی‌وبر است؟

۲ نیروی محرکه القایی یک سیم‌پیچ که فوران مغناطیسی آن در مدت ۵۰ ms به اندازه ۲۰ mwb تغییر

می‌کند ۱۲۰ V می‌باشد. تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ چند دور است؟

۳ منبع ولتاژ ۲۲۰ ولت AC را به یک مقاومت ۲۰ اهمی اتصال داده‌ایم:

الف) مقدار جریان rms در مقاومت را محاسبه کنید.

ب) اگر $\omega = 100$ 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؟

۴ فرکانس امواج متناوب سینوسی زیر چقدر است؟

الف) ۱۰ سیکل در ثانیه

ب) ۱ سیکل در ثانیه

پ) ۵۰ سیکل در یک ثانیه

ت) ۵۰ سیکل در ۵ ثانیه

تعمیق و تثبیت
یادگیری



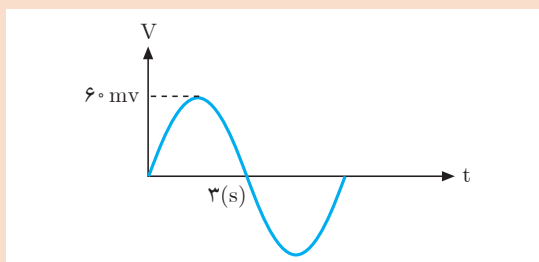
۵ زمان تناوب را برای فرکانس‌های زیر محاسبه کنید.

الف) ۵۰۰ هرتز (HZ)

ب) ۵ مگاهرتز (MHZ)

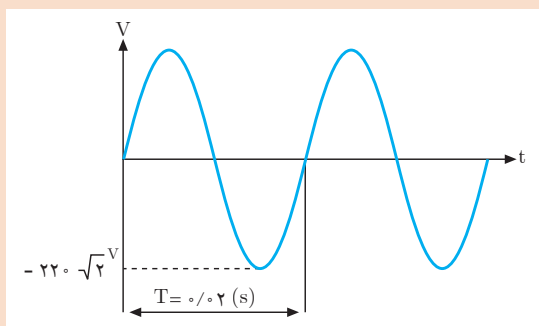
پ) ۵ گیگاهرتز (GHZ)

۶ در شکل زیر مقادیر V_{rms} ، زمان تناوب و فرکانس را محاسبه کنید.



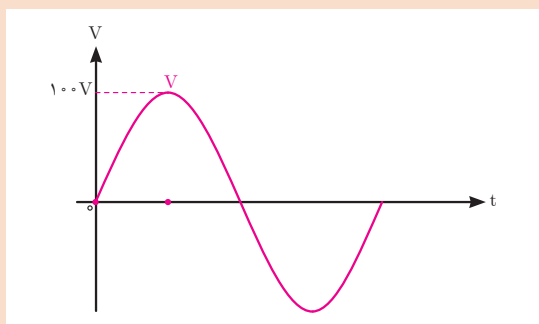
۷ جریانی به معادله $i(t) = 10 \sin(100\pi t + 0^\circ)$ از یک مقاومت 10Ω عبور می‌کند. ولتاژ دو سر مقاومت چند ولت است؟

۸ مقدار ولتاژ منحنی شکل زیر را در $\frac{T}{4}$ حساب کنید.

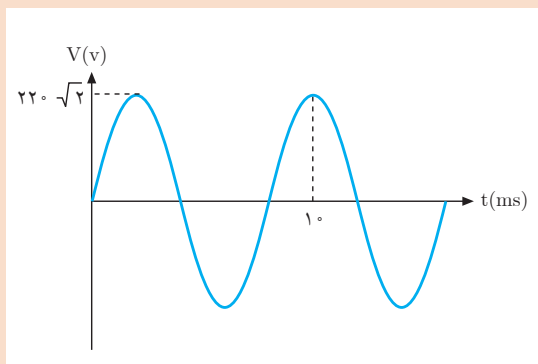


فرکانس و مقدار مؤثر آن چقدر است؟

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



۱۰ ولتاژ متناوب سینوسی شکل زیر یک مقاومت الکتریکی 55Ω را تغذیه می کند. مطلوب است محاسبه:



الف) سرعت زاویه ای، فرکانس، زمان تناوب.

ب) ولتاژ rms.

ج) جریان عبوری از مقاومت الکتریکی.

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

مطلوب است محاسبه:

الف) اختلاف فاز ولتاژ و جریان

ب) مدار پس فاز است یا پیش فاز؟ چرا؟

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

۱۲ معادله زمانی موج سینوسی ولتاژ و جریان مصرف کننده ای به صورت $v(t) = 220\sqrt{2} \sin(100\pi t + 0)$

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

الف) اختلاف فاز ولتاژ و جریان.

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

استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی مبتنی بر شایستگی درس دانش فنی پایه پودمان چهارم

عنوان پودمان	واحدهای یادگیری (شایستگی)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقق
پودمان ۴: انرژی الکتریکی	۱- شناخت انرژی الکتریکی جریان مستقیم ۲- شناخت انرژی الکتریکی جریان متناوب	تعیین نیروی کولنی و اختلاف پتانسیل الکتریکی محاسبه جریان و تبیین آثار جریان الکتریکی	بالاتر از حد انتظار	انجام شایسته فعالیت های مکمل محتوای پودمان (نظیر تحقیق کنید آزمایش کنید، فعالیت های گروهی و...) یا احراز شایستگی های عمومی و غیرفنی درحد بالاتر از انتظار
			در حد انتظار	۱- ویژگی روش های تولید انرژی جریان مستقیم را توضیح دهد. ۲- محاسبه افت ولتاژ درونی باتری ۳- محاسبه ولتاژ و جریان باتری های سری و باتری های موازی ۴- ویژگی ها و طرز کار نیروگاه های متناوب را توضیح دهد. ۵- استخراج و محاسبه کمیت های موج متناوب از روی منحنی ۶- صورت بندی معادله موج متناوب ۷- محاسبه اختلاف فاز
			پایین تر از حد انتظار	در صورتی که هنرجو همه شاخص های درحد انتظار را محقق نسازد، پایین تر از حد انتظار ارزشیابی می شود.
			لازم است تا کیفیت فرایند کسب شایستگی در طول زمان آموزش پودمان براساس انجام فعالیت های کلاسی و کارگاهی، نظم مشارکت در فعالیت های آموزشی و تربیتی، ابتکار در تکالیف عملکردی درسی و... درنظر گرفته شود.	
شایستگی پودمان بالاتر از حد انتظار، درحد انتظار، پایین تر از حد انتظار				

شایستگی های غیرفنی و عمومی (ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی)

شاخص ها	ضریب کیفیت عملکرد	شایستگی عملکرد هنرجو
مدیریت کیفیت - جمع آوری و گردآوری اطلاعات - رعایت ارگونومی - کنترل حفاظت الکتریکی و الکترونیکی تجهیزات - ایجاد محتوای الکترونیک - کاهش مصرف کاغذ - طراحی خلاقانه پوسته گرافیکی و گرافیک متحرک - رعایت انضباط فردی و کلاسی - پوشش مناسب - احترام به استاد و همکلاسی ها - حضور به موقع در کارگاه و...	۲	

شایستگی عملکرد هنرجو در پودمان	شایستگی های غیرفنی و عمومی			شایستگی های فنی	
	بالتر از حد انتظار	در حد انتظار	کمتر از حد انتظار	بالتر از حد انتظار	در حد انتظار

شایستگی عملکرد هنرجو از میانگین سطوح شایستگی کسب شده در مراحل کاری هر واحد یادگیری مشخص می شود. به شرط آنکه:

- ۱ سطح شایستگی هنرجو در هیچ مرحله ای کمتر از حد انتظار نباشد.
- ۲ هنرجو در شایستگی های غیرفنی و عمومی، شایستگی در حد انتظار یا بالاتر از حد انتظار را کسب کرده باشد.

توجه:

- ۱ اگر حتی در یک مرحله کاری شایستگی کمتر از حد انتظار کسب شود، منجر به عدم کسب شایستگی پودمان می شود.
- ۲ با توجه به اینکه شایستگی های عمومی و غیرفنی از شرایط لازم برای کسب شایستگی می باشد؛ لذا در صورتی که شایستگی فنی را احراز کرده باشد اما در شایستگی یاد شده، سطح در حد انتظار کسب نشده باشد، به معنی عدم احراز شایستگی در پودمان است.



پودمان پنجم

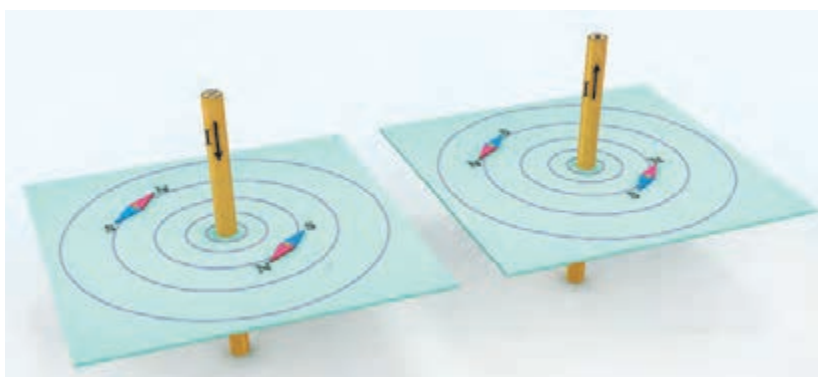
سلف و خازن در جریان متناوب

- واحد یادگیری ۱: شناخت کمیت‌های مغناطیسی و سلف در جریان متناوب
- واحد یادگیری ۲: شناخت خازن در جریان متناوب

واحد یادگیری ۱

شناخت کمیت‌های مغناطیسی و سلف در جریان متناوب

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



شکل ۱

جهت میدان الکترومغناطیسی به جهت جریان الکتریکی بستگی دارد.

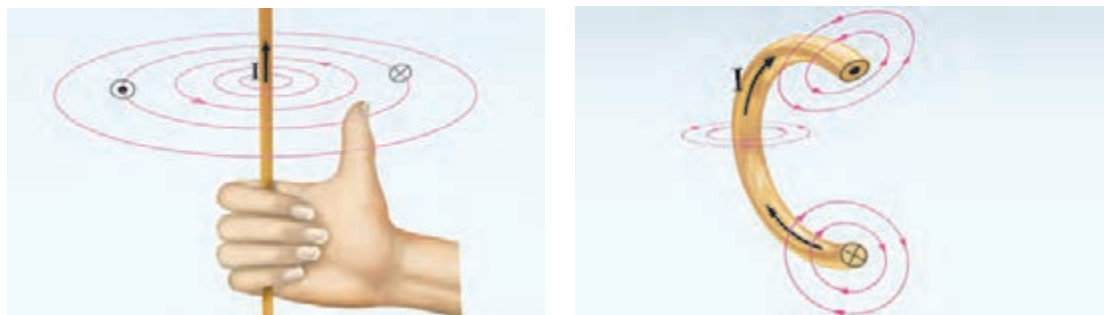


هانس کریستین اورستد

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 نائل گردید و در سال ۱۸۰۶ با سمت استاد عالی استخدام شد و در سال ۱۸۲۹ به ریاست مؤسسه پلی‌تکنیک کپنهاگن منصوب گردید.

جهت میدان مغناطیسی مدارهای هادی حامل جریان الکتریکی

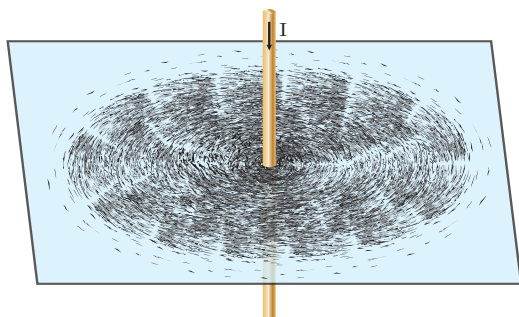
برای تعیین جهت میدان الکترومغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی علاوه بر استفاده از عقربه مغناطیسی می‌توان از قانون شست^۱ نیز استفاده کرد. برای این منظور مطابق شکل ۲ باید شست دست راست را در جهت جریان الکتریکی هادی قرار داد تا بقیه انگشتان به صورت بسته جهت میدان الکترومغناطیسی را نشان دهند. مشاهده می‌کنید مانند جهت جریان می‌توان جهت میدان مغناطیسی را نیز به کمک نقطه (•) و ضربدر (X) مشخص کرد.



شکل ۲

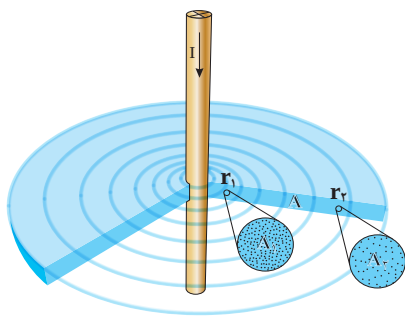
چگالی فوران مغناطیسی اطراف یک هادی حامل جریان الکتریکی

اگرستد 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 ۳).



شکل ۳

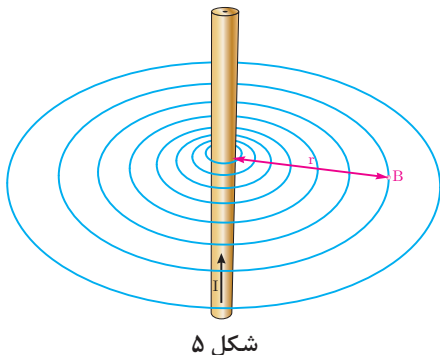
وی مشاهده کرد براده‌های آهن در مسیرهای دایره‌ای منظم شدند و هرچه از هادی فاصله می‌گیرند از فشردگی آنها کاسته می‌شود و این پدیده در سرتاسر طول هادی صادق است. برای درک این پدیده برشی از فضای اطراف هادی در سطح مقطع A در شکل ۴ نشان داده شده است. دو ناحیه A_1 و A_2 با مقاطع مساوی به فاصله r_1 و r_2 از هادی در سطح مقطع A بزرگ‌نمایی شده‌اند. چگالی فوران مغناطیسی ناحیه A_2 که در فاصله دورتری نسبت به ناحیه A_1 از هادی واقع است کمتر می‌باشد. پس با افزایش فاصله از هادی حامل جریان، میدان مغناطیسی ضعیف‌تر می‌شود و چگالی فوران مغناطیسی B کاهش می‌یابد.



شکل ۴

۱. Thumb Rule

محاسبه چگالی فوران مغناطیسی اطراف یک هادی حامل جریان الکتریکی



آمپر و 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 ۵ ارائه کردند.

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

در این رابطه:

B چگالی فوران میدان مغناطیسی بر حسب $\left[\frac{wb}{m^2} \right]$ یا تسلا $[T]$
 K ضریبی است که به محیط اطراف هادی بستگی دارد و برای هوا مقدار آن 2×10^{-7} بر حسب $\left[\frac{wb}{A.m} \right]$ است.
 I شدت جریان الکتریکی هادی بر حسب $[A]$
 r فاصله از هادی بر حسب $[m]$ است.

مثال: چگالی فوران میدان مغناطیسی در نقطه‌ای به فاصله 1 cm از هادی حامل جریان 10 A چند گاوس است؟

حل:

■ واحد فاصله بر حسب متر تبدیل می‌شود.

$$\frac{1m}{r} = \frac{10 \text{ cm}}{1 \text{ cm}}$$

$$r = \frac{1 \times 1}{100} = 0.01 \text{ m}$$

■ چگالی میدان مغناطیسی از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

$$B = 2 \times 10^{-7} \times \frac{10}{0.01} = 2 \times 10^{-4} \left[\frac{wb}{m^2} \right]$$

یا

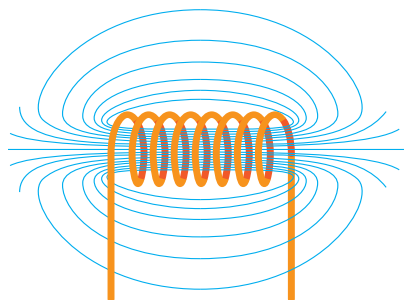
$$B = 2 \times 10^{-4} [T]$$

■ واحد چگالی فوران مغناطیسی به گاوس تبدیل می‌شود:

$$\frac{1T}{2 \times 10^{-4} T} = \frac{10^4 G}{B}$$

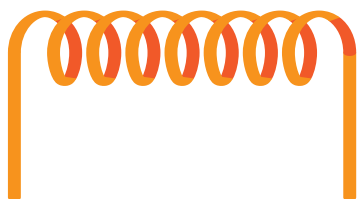
$$B = \frac{2 \times 10^{-4} \times 10^4}{1} = 2 [G]$$

میدان مغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی



شکل ۶

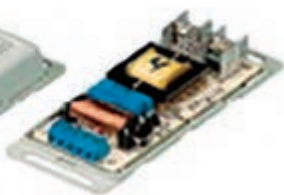
میدان مغناطیسی هادی حامل جریان الکتریکی در سرتاسر دو طرف هادی توزیع می‌شود و متمرکز نیست و مقدار چگالی فوران مغناطیسی B در هر نقطه از اطراف هادی متغیر و کم است. اگر هادی حامل جریان الکتریکی به صورت سیم‌پیچ در آورده شود ضمن اینکه این میدان مغناطیسی در درون سیم‌پیچ متمرکز می‌شود، چگالی فوران مغناطیسی B نیز افزایش می‌یابد (شکل ۶).



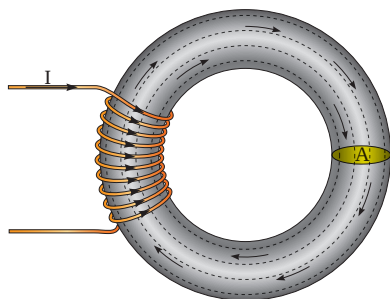
شکل ۷

سیم‌پیچ از پیچیدن چند دور هادی به وجود می‌آید. (شکل ۷).

سیم پیچ را بوبین نیز می‌گویند. انواع سیم‌پیچ در شکل ۸ نشان داده شده است.



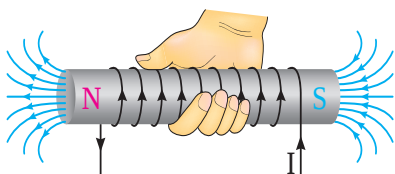
شکل ۸



شکل ۹

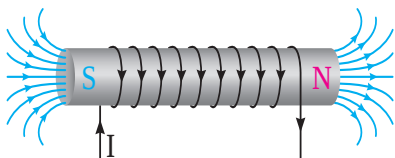
با قرار دادن سیم‌پیچ بر روی یک هسته از جنس مواد فرومغناطیسی^۱ مطابق شکل ۹ و عبور جریان الکتریکی از آن، میدان الکترومغناطیسی با چگالی B بیشتری نسبت به سیم‌پیچ با هسته هوا ایجاد می‌شود. هسته فرومغناطیس باعث می‌شود، میدان الکترومغناطیسی درون سیم‌پیچ متمرکزتر شود، لذا چگالی فوران مغناطیسی افزایش می‌یابد. مواد فرومغناطیسی خواص آهنربایی از خود نشان می‌دهند. آهن و آلیاژهای آهن، مواد فرومغناطیس هستند.

جهت میدان الکترومغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی



شکل ۱۰

جهت میدان الکترومغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی از قاعده دست راست^۲ تعیین می‌شود بدین منظور مطابق شکل ۱۰ 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.



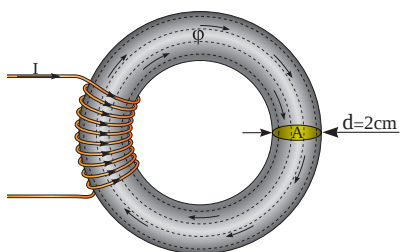
شکل ۱۱

جهت میدان مغناطیسی سیم‌پیچ نیز تابع جهت جریان سیم‌پیچ است و با تغییر جهت جریان، جهت میدان مغناطیسی تغییر می‌کند (شکل ۱۱).

مثال: سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی (شکل ۱۲) میدان الکترومغناطیسی با فوران $3/14 \text{ mwb}$ در هسته تولید می‌کند. چگالی فوران مغناطیسی در هسته چند تسلا است؟

حل:

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



شکل ۱۲

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

۱- Ferro magnetic

۲- Right-hand rule

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (2)^2}{4} = 3.14 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\frac{1 \text{ m}^2}{A} = \frac{10^4 \text{ cm}^2}{3.14} \Rightarrow A = \frac{1 \times 3.14}{10^4} = 3.14 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

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

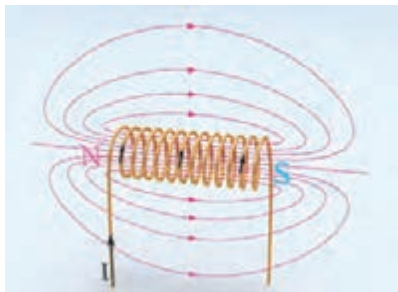
$$B = \frac{3.14 \times 10^{-3}}{3.14 \times 10^{-4}} = 10 \left[\frac{\text{wb}}{\text{m}^2} \right] = 10 \text{ [T]}$$

دستگاه MRI و Magnetic Resonance Imaging از میدان‌های مغناطیسی قوی و امواج رادیویی برای تولید تصاویر دقیق از داخل بدن استفاده می‌کند. با بررسی این دستگاه و شدت میدان مغناطیسی آن (در حدود ۱ تا ۲ است)، شدت جریان مورد نیاز آن را تخمین بزنید.

تحقیق کنید



ضریب نفوذ مغناطیسی

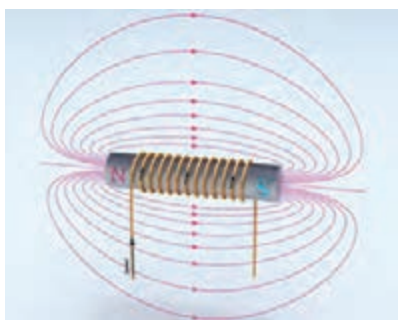


شکل ۱۳

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 ۱۳) نشان داده شده است.

اگر درون این سیم‌پیچ هسته فرومغناطیس قرار داده شود چگالی فوران مغناطیسی B در هسته به شدت افزایش می‌یابد (شکل ۱۴).

از مقایسه (شکل‌های ۱۳ و ۱۴) می‌توان نتیجه گرفت. هسته فرومغناطیس نسبت به هسته هوا ضریب نفوذ مغناطیسی μ بزرگ‌تری دارد و چگالی فوران مغناطیسی بزرگ‌تری به دست می‌آید.

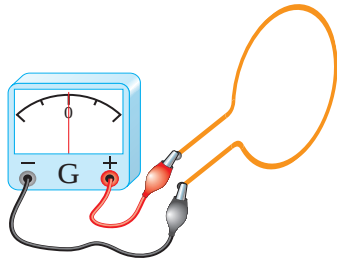


شکل ۱۴

قانون القای الکترومغناطیسی فارادی^۱

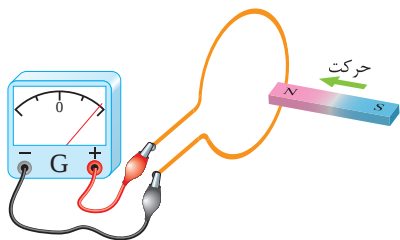
«قانون القای الکترومغناطیسی فارادی» یکی از اساسی‌ترین قوانین مغناطیسی در فیزیک است. طرز کار وسایل الکتریکی که الکترومغناطیس در آنها نقش دارد به کمک قانون القای الکترومغناطیسی فاراده قابل فهم است؛ قانون القای الکترومغناطیس فاراده در تحلیل طرز کار وسایل تبدیل انرژی الکترومکانیکی اعم از موتور یا ژنراتور کاربرد فراوان دارد.

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



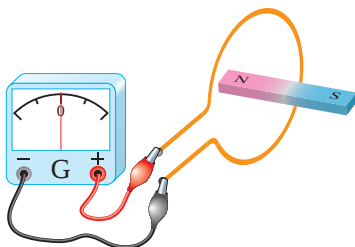
شکل ۱۵

آزمایش ۱- مداری متشکل از یک حلقه هادی که دو سر آن به یک گالوانومتر^۲ متصل است در شکل ۱۵ نشان داده شده است.



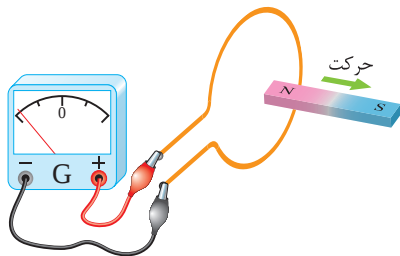
شکل ۱۶

اگر یک آهنربای دائم از طرف قطب N آن مطابق شکل ۱۶ داخل حلقه شود، عقربه گالوانومتر منحرف می‌شود. انحراف عقربه گالوانومتر به معنای عبور جریان از گالوانومتر است.



شکل ۱۷

در صورتی که آهنربای دائم نسبت به حلقه، مطابق شکل ۱۷ حرکتی نداشته باشد، عقربه گالوانومتر منحرف نخواهد شد.

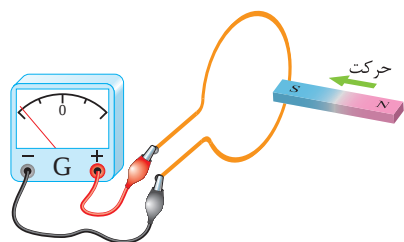


شکل ۱۸

وقتی که آهنربای دائم از حلقه، مطابق شکل ۱۸ دور شود، عقربه گالوانومتر در جهت عکس حالت قبل منحرف می‌شود. یعنی جهت جریان در حلقه تغییر کرده است.

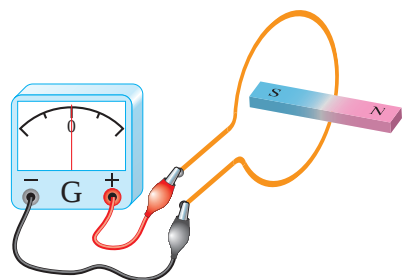
۱. Michael Faraday (۱۷۹۱-۱۸۶۷)

۲. گالوانومتر یک آمپر متر بسیار دقیق است که می‌تواند جریان‌های خیلی کم را اندازه بگیرد.



شکل ۱۹

در ادامه آزمایش اگر قطب S آهنربای دائم مطابق شکل ۱۹ داخل حلقه شود، عقربه گالوانومتر بر خلاف حالتی که قطب N وارد حلقه شد منحرف می‌گردد.



شکل ۲۰

در این حالت نیز در صورتی که آهنربای دائم نسبت به حلقه، مطابق شکل ۲۰ حرکتی نداشته باشد، عقربه گالوانومتر منحرف نخواهد شد.

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

در آزمایش ۱ جریانی که در حلقه برقرار می‌شود را «جریان القایی»^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. فاراده با آزمایش‌هایی نظیر این آزمایش، توانست قانونی به دست آورد که به «قانون القای الکترومغناطیسی فاراده» مشهور شد. وی بر اساس این آزمایش‌ها متوجه شد که تغییر فوران مغناطیسی عامل ایجاد نیروی محرکه القایی است؛ لذا قانون القای الکترومغناطیسی فاراده را چنین تعریف کرد: «مقدار نیروی محرکه القایی در هر مدار با آهنگ تغییر فوران متناسب است». فاراده به کمک این قانون برای محاسبه مقدار نیروی محرکه القایی رابطه ریاضی زیر را ارائه کرد. این رابطه بیان ریاضی قانون القای الکترومغناطیسی فاراده است.

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

در این رابطه:

$\Delta\phi$ 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.

نیروی محرکه القایی e در عمل بسیار حائز اهمیت است. چراغ‌های اتاقی که در آن، این کتاب را می‌خوانید با استفاده از نیروی محرکه القایی حاصل از یک ژنراتور روشن می‌شوند.

۱. Induced Current

۲. Electro Motive Force

اگر به جای استفاده از یک حلقه سیم، از سیم‌پیچی با N حلقه، آزمایش فاراده تکرار شود، در هر حلقه سیم‌پیچ نیروی محرکه القایی ایجاد می‌شود و این نیروهای محرکه با یکدیگر جمع می‌شوند تا نیروی محرکه القایی سیم‌پیچ به دست آید؛ لذا مقدار نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$e = N \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

نیروی محرکه القایی e جریان القایی در سیم‌پیچ جاری می‌کند که از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

در مورد زندگی فارادی و آزمایش‌ها و ابداعات او تحقیق کنید و به روشی خلاقانه در کلاس ارائه کنید.

تحقیق کنید

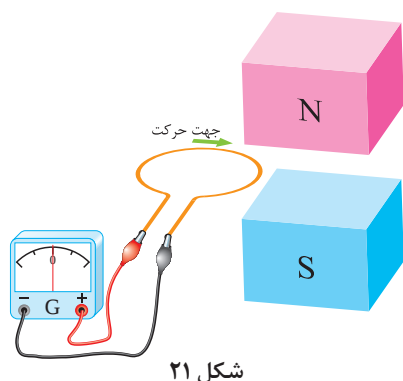


مثال: فوران یک سیم‌پیچ ۱۰۰۰ دوری در مدت ۱۰ میلی‌ثانیه به اندازه ۵ میلی و بر افزایش می‌یابد. مقدار نیروی محرکه القایی سیم‌پیچ چند ولت است. اگر یک مقاومت 1000Ω به سیم‌پیچ وصل شود جریان آن چند آمپر خواهد بود (از مقاومت سیم‌پیچ صرف‌نظر شود).

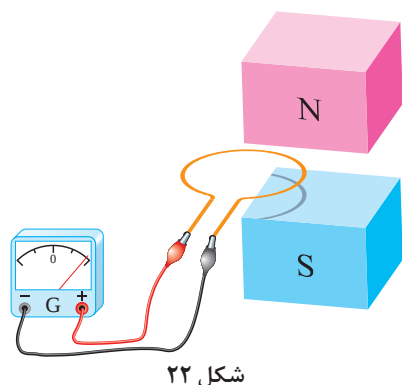
حل:

$$e = N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = 1000 \times \frac{5 [\text{mV}]}{10 [\text{ms}]} = 500 [\text{V}]$$

$$i = \frac{V}{R} = \frac{500}{1000} = 0.5 [\text{A}]$$

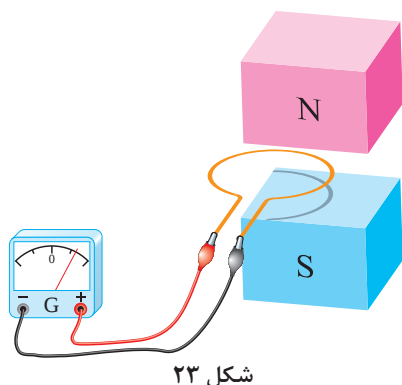


آزمایش ۲- حلقه هادی متصل به یک گالوانومتر در بیرون میدان مغناطیسی B ناشی از دو قطب N و S یک آهنربای قوی در شکل ۲۱ نشان داده شده است. حلقه در جهت نشان داده شده از درون میدان مغناطیسی عبور داده می‌شود.



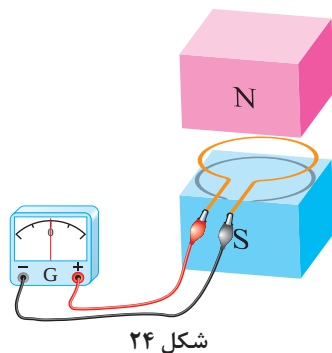
شکل ۲۲

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



شکل ۲۳

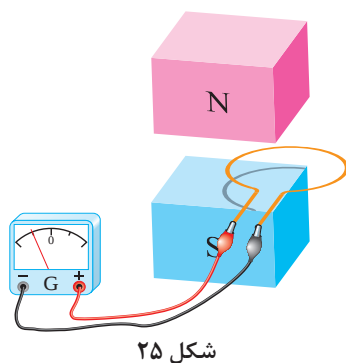
هرچه حلقه بیشتر وارد میدان مغناطیسی می‌شود فوران بیشتری سطح حلقه را می‌پوشاند (شکل ۲۳).



شکل ۲۴

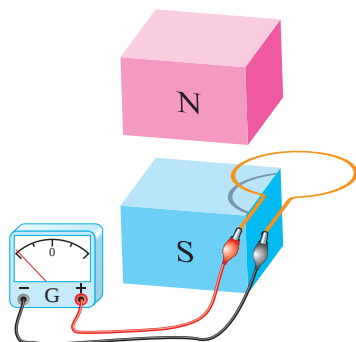
این تغییر فوران طبق قانون فاراده نیروی محرکه القایی در حلقه ایجاد می‌کند. لذا گالوانومتر منحرف می‌شود. شکل ۲۴ لحظه‌ای را نشان می‌دهد که حلقه به صورت کامل وارد میدان مغناطیسی شده است.

تصویر حلقه روی قطب S این موضوع را نشان می‌دهد. با اینکه تمام فوران مغناطیسی سطح حلقه را پوشانده است اما حرکت حلقه در این لحظه موجب تغییر فوران در سطح حلقه نخواهد شد. لذا در آن نیروی محرکه القا نمی‌شود و گالوانومتر صفر را نشان می‌دهد.



شکل ۲۵

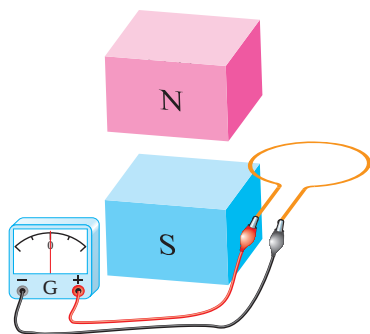
لحظه خروج حلقه در شکل ۲۵ نشان داده شده است. در این لحظه فوران مغناطیسی بخشی از سطح حلقه را می‌پوشاند و دوباره تغییرات فوران در سطح حلقه ایجاد می‌شود. بنابراین در حلقه نیروی محرکه القا می‌شود و گالوانومتر را در جهت مخالف منحرف می‌کند. در لحظه خروج حلقه از میدان مغناطیسی فورانی که سطح حلقه را می‌پوشاند 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، بر خلاف جهت ورود حلقه به میدان مغناطیسی، منحرف می‌شود.



شکل ۲۶

لحظه خروج حلقه از میدان مغناطیسی در شکل ۲۶ 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 ۲۷

خروج کامل حلقه از میدان مغناطیسی در شکل ۲۷ نشان داده شده است. در این لحظه فورانی از سطح حلقه نمی‌گذرد و تغییرات فوران آن به صفر رسیده است لذا در آن نیروی محرکه القا نمی‌شود و گالوانومتر صفر را نشان می‌دهد.

در مورد سیستم شارژ بی‌سیم که در برخی از تلفن‌های همراه، خودروهای الکتریکی، لوازم خانگی هوشمند وجود دارد تحقیق کنید. مکانیزم عمل آنها را توضیح دهید.

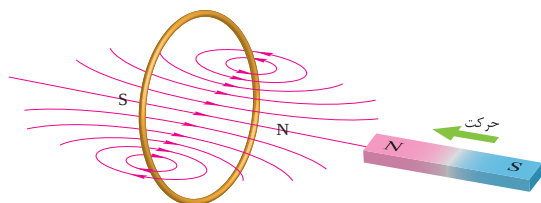
تحقیق کنید



قانون لنز

در پدیده القای الکترومغناطیسی پلاریته نیروی محرکه القایی و جهت جریان القایی مشخص نشد. پلاریته نیروی محرکه القایی و جهت جریان القایی با استفاده از «اصل بقای انرژی» تعیین خواهد شد. در این مبحث اصل بقای انرژی به صورت «قانون لنز» بیان می‌شود که توسط آقای لنز در سال ۱۸۳۴ میلادی ارائه گردید. طبق این قانون: «جریان القایی در جهتی برقرار می‌شود که با عامل به وجود آورنده خود مخالفت کند».

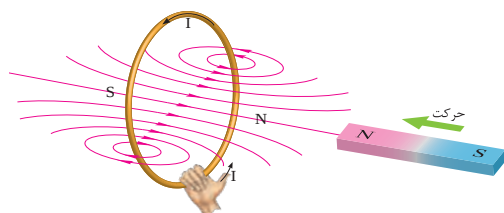
قانون لنز در مورد جریان‌های القایی به کار می‌رود. از آنجایی که جریان در مدار بسته جاری می‌شود، لذا قانون لنز در مدارهای بسته کاربرد پیدا می‌کند.



شکل ۲۸

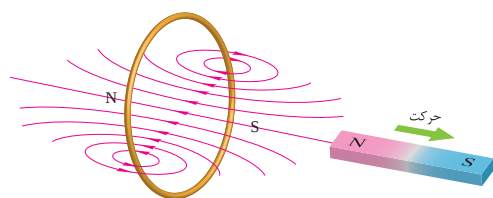
در (شکل ۲۸) مقطع یک حلقه هادی و یک آهنربا نشان داده شده است. هنگامی که قطب N آهنربا به طرف حلقه «حرکت» داده می‌شود، مطابق آزمایش ۱ فاراده، جریان القایی در حلقه جاری می‌شود. این جریان، میدان مغناطیسی در اطراف حلقه تولید خواهد نمود.

طبق قانون لنز جهت جریان القایی به گونه‌ای است که با عامل به وجودآورنده‌اش مخالفت می‌کند؛ بدین معنی که میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی با حرکت آهنربا به سمت حلقه مخالفت خواهد کرد. یعنی قطب N میدان حلقه مقابل قطب N آهنربا قرار می‌گیرد تا با ایجاد نیروی دافعه مانع حرکت آهنربا به سمت حلقه شود. با مشخص شدن محل قطب‌های N و S اطراف حلقه جهت میدان مغناطیسی آن تعیین می‌شود. اکنون بنا به قانون دست راست مطابق (شکل ۲۹) جهت جریان



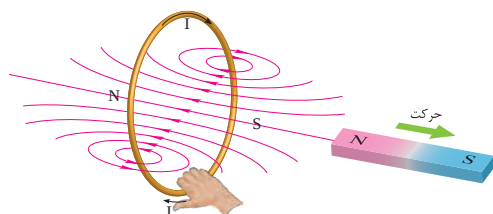
شکل ۲۹

القایی تعیین می‌شود. وقتی آهنربا به طرف حلقه «حرکت» می‌کند، جریان القایی ظاهر می‌شود. به بیان قانون القای الکترومغناطیسی فاراده، این «حرکت دادن» همان «تغییر فوران» است که جریان القایی را تولید می‌کند و طبق قانون لنز میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی با این «حرکت دادن» مخالفت خواهد کرد.



شکل ۳۰

اگر آهنربا مطابق (شکل ۳۰) به عقب حرکت داده شود، مطابق آزمایش ۱ فاراده نیز در این حالت جریان القایی در حلقه جاری می‌شود و طبق قانون لنز، میدان مغناطیسی ناشی از این جریان القایی نیز با عامل به وجودآورنده‌اش 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 ۳۱

با مشخص شدن محل قطب‌های N و S اطراف حلقه، جهت میدان مغناطیسی آن تعیین می‌شود. اکنون بنا به قانون دست راست مطابق (شکل ۳۱) جهت جریان القایی حلقه تعیین می‌شود. با توجه به (شکل‌های ۲۹ و ۳۱) مشاهده می‌شود جهت میدان مغناطیسی حلقه ناشی از جریان القایی همواره به گونه‌ای است که با «حرکت» آهنربا مخالفت می‌کند.

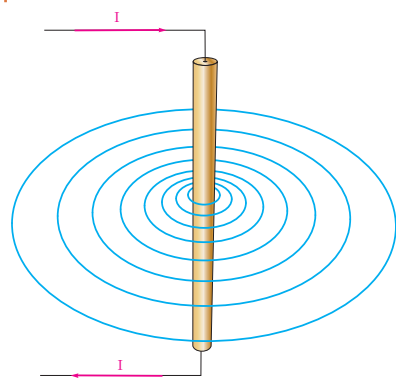
«حرکت» آهنربا به سمت حلقه یا دور شدن از حلقه همیشه تحت تأثیر نیروی مقاوم میدان مغناطیسی حلقه قرار می‌گیرد. از این رو لازم است نیرویی که صرف حرکت آهنربا می‌گردد کار انجام دهد. به نظر شما کار انجام شده برای حرکت آهنربا به چه انرژی‌ای تبدیل می‌شود؟ جهت میدان مغناطیسی جریان القایی به گونه‌ای است که همواره با عامل به وجودآورنده‌اش، «حرکت آهنربا»

مخالفت می‌کند. این مخالفت در رابطه قانون القای الکترومغناطیسی فاراده با یک علامت منفی به صورت رابطه زیر نشان داده می‌شود.

$$e = -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

علامت منفی بیانگر همان قانون لنز است که در محاسبات دخالت داده نمی‌شود. لذا e به عنوان «نیروی 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.

خودالقایی



شکل ۳۲

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 ۳۲).

تغییر جریان هادی باعث تغییر میدان مغناطیسی اطراف آن خواهد شد. تغییر میدان مغناطیسی طبق قانون القای الکترومغناطیسی فاراده درون هادی نیروی محرکه القا می‌نماید. که آن را نیروی محرکه خودالقایی گویند. طبق قانون لنز «نیروی محرکه خودالقایی» با عامل به وجود آورنده اش، تغییرات جریان مخالفت می‌نماید. پدیده خودالقایی در سیم پیچ‌ها نیز همانند پدیده خودالقایی توضیح داده می‌شود. نیروی محرکه خودالقایی متناسب با تغییرات جریان نسبت به زمان است و با رابطه زیر بیان می‌شود:

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

برای تبدیل تناسب به تساوی در رابطه زیر از ضریبی به نام «ضریب خودالقایی» که با حرف L نشان داده می‌شود استفاده می‌شود.

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

واحد ضریب خودالقایی $\frac{\text{ولت ثانیه}}{\text{آمپر}}$ می‌باشد و آن را «هانری» گویند و با H نشان می‌دهند. یک هانری ضریب

خودالقایی هادی یا سیم پیچی است که هرگاه در مدت یک ثانیه جریان آن یک آمپر تغییر کند نیروی محرکه خودالقایی یک ولت ایجاد شود.

مثال: جریان یک سیم پیچ با ضریب خودالقایی 0.5 هنری در مدت 0.2 ثانیه از صفر به 2 آمپر می‌رسد. نیروی محرکه خودالقایی چند ولت است؟
حل: تغییرات جریان برابر است با:

$$\Delta i = 2 - 0 = 2 \text{ [A]}$$

تغییرات زمان برابر است با:

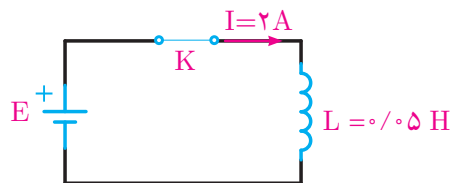
$$\Delta t = 0.2 \text{ [s]}$$

از رابطه زیر نیروی محرکه خودالقایی به دست می‌آید:

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

$$e = 0.5 \times \frac{2}{0.2} = 5 \text{ [V]}$$

مثال: در مدار شکل ۳۳ در صورت باز شدن کلید مقدار نیروی محرکه خودالقایی سیم پیچ در مدت 0.5 ثانیه چند ولت است؟



شکل ۳۳

حل: تغییرات جریان برابر است با:

$$\Delta i = 0 - 2 = -2 \text{ [A]}$$

تغییرات زمان برابر است با:

$$\Delta t = 0.5 \text{ [s]}$$

از رابطه فوق نیروی محرکه خودالقایی به دست می‌آید:

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

$$e = 0.5 \times \frac{-2}{0.5} = -2 \text{ [V]}$$

برای محاسبه ضریب خودالقایی سیم پیچ از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$L = \frac{\mu N^2 A}{\ell}$$

که در این رابطه:

L ضریب خودالقایی سیم پیچ [H]

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

N تعداد حلقه های سیم پیچ

A سطح مقطع هسته سیم پیچ [m^2]

ℓ طول متوسط هسته [m] است.

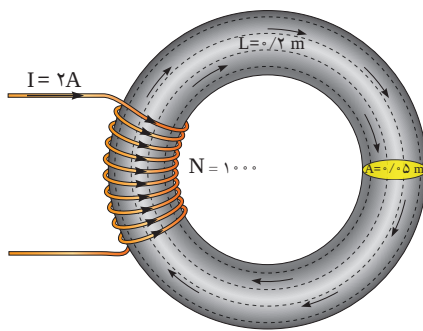
مثال: ضریب خودالقایی سیم پیچ شکل ۳۴ را به دست آورید.

$$(\mu = 2 \times 10^{-5} \frac{\text{Wb}}{\text{A.m}})$$

حل: از رابطه فوق داریم:

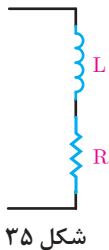
$$L = \frac{\mu N^2 A}{\ell}$$

$$L = \frac{2 \times 10^{-5} \times 1000^2 \times 0.0005}{0.2} = 1 [\text{H}]$$



شکل ۳۴

مدار الکتریکی معادل سیم پیچ



شکل ۳۵

سیم پیچ علاوه بر ضریب خودالقایی L ، مقاومت الکتریکی اهمی R نیز دارد. مقاومت الکتریکی اهمی ناشی از طول و سطح مقطع هادی سیم پیچ است و ضریب خودالقایی ناشی از نیروی محرکه خودالقایی می باشد که در اثر تغییرات جریان به وجود می آید. برای سیم پیچ مدار الکتریکی شامل اتصال سری مقاومت الکتریکی اهمی R و ضریب خودالقایی L معادل می نمایند. (شکل ۳۵)

سیم پیچ در جریان متناوب

سیم پیچ در جریان متناوب علاوه بر مقاومت الکتریکی اهمی R ، به دلیل تغییرات جریان ناشی از فرکانس نیروی محرکه خودالقایی نیز در آن به وجود می آید.

جریان متناوب باعث ایجاد فوران در سیم پیچ می شود و نیروی محرکه خودالقایی ایجاد می کند. این نیروی محرکه خودالقایی با جاری شدن جریان در سیم پیچ مخالفت می نماید. مخالفت سیم پیچ در مقابل عبور جریان متناوب الکتریکی ناشی از اثر خودالقایی را «مقاومت القایی» گویند و با X_L نشان می دهند و واحد آن اهم است. مقاومت القایی با ضریب خودالقایی ارتباط دارد و از رابطه زیر به دست می آید.

$$X_L = 2\pi fL$$

در این رابطه:

X_L مقاومت القایی $[\Omega]$

f فرکانس $[Hz]$

L ضریب خودالقایی $[H]$ است.

مثال: مقاومت القایی یک سلف 10 mH در فرکانس 50 و 60 هرتز چند اهم است؟

حل:

$$X_L = 2\pi fL$$

از رابطه زیر داریم:

$$X_L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 10 \times 10^{-3} = 3.14 [\Omega]$$

$$X_L = 2 \times 3.14 \times 60 \times 10 \times 10^{-3} = 3.768 [\Omega]$$

سلف

سلف، سیم‌پیچی است که از مقاومت الکتریکی R در مقایسه با مقاومت القایی X_L آن صرف نظر 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 به دست می‌آید.

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

مثال: سه سلف با ضریب خودالقایی 2 ، 4 و 6 میلی‌هنری به صورت سری به یکدیگر متصل شده‌اند. ضریب خودالقایی کل را به دست آورید.

حل: از رابطه زیر داریم:

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3$$

$$L_{eq} = 2 + 4 + 6 = 12 [\text{mH}]$$

ب) اتصال موازی سلف‌ها

در اتصال موازی سلف‌ها ضریب خودالقایی کل از رابطه زیر به دست می‌آید.

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

مثال: سه سلف با ضریب خودالقایی ۴، ۶ و ۱۲ میلی‌هانری به صورت موازی به یکدیگر متصل شده‌اند. ضریب خودالقایی کل را به دست آورید.
حل: از رابطه زیر داریم:

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{12}$$

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{3+2+1}{12}$$

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{6}{12}$$

$$L_{eq} = \frac{1 \times 12}{6} = 2 [\text{mH}]$$

همچنین، برای محاسبه مقاومت القایی معادل در مدارهای سری و موازی نیز می‌توان مشابه محاسبه ضریب خودالقایی معادل سلف عمل کرد. روابط محاسبه مقاومت القایی معادل، در مدار سری و موازی به صورت زیر است:

مدار سری:

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

مدار موازی:

$$\frac{1}{X_{L_{eq}}} = \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + \dots + \frac{1}{X_{L_n}}$$

مثال: دو سلف با اتصال سری در یک مدار الکتریکی دارای مقاومت القایی ۳ و ۶ اهم می‌باشد. مقاومت القایی کل چند اهم است؟
حل: از رابطه زیر داریم:

$$X_{L_{eq}} = X_{L_1} + X_{L_2}$$

$$X_{L_{eq}} = 3 + 6 = 9 [\Omega]$$

مثال: دو سلف با اتصال موازی در یک مدار الکتریکی دارای مقاومت القایی ۳ و ۶ اهم می‌باشند. مقاومت القایی کل چند اهم است؟

حل: از رابطه زیر داریم:

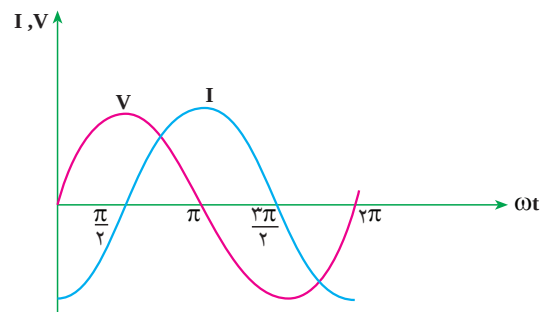
$$\frac{1}{X_{Leq}} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}}$$

$$\frac{1}{X_{Leq}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6}$$

$$X_{Leq} = 2[\Omega]$$

منحنی جریان و ولتاژ سلف در جریان متناوب

جریان سلف از ولتاژ دو سر آن 90° عقب‌تر است لذا سلف را یک عنصر «پس فاز» می‌شناسند. منحنی ولتاژ و جریان یک سلف در اتصال به منبع متناوب سینوسی در شکل ۳۶ نشان داده شده است که در آن $\theta_i = -90^\circ$ و $\theta_v = 0$ می‌باشد.



شکل ۳۶

با توجه به شکل ۳۶ معادلات زمانی ولتاژ و جریان به صورت زیر خواهد شد:

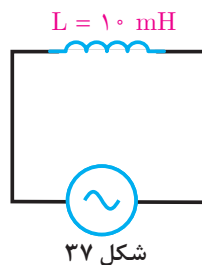
$$v(t) = V_m \sin(\omega t + 0)$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t - 90^\circ)$$

و زاویه اختلاف فاز برابر خواهد شد:

$$\varphi = \theta_v - \theta_i$$

$$\varphi = 0 - (-90^\circ) = +90^\circ$$



$$v(t) = 50 \sin(1000t)$$

مثال: در مدار شکل ۳۷ مطلوب است:

الف) مقاومت القایی سلف

ب) جریان سلف

ج) معادله زمانی جریان سلف

حل:

الف) از رابطه X_L داریم:

$$X_L = 2\pi fL = \omega L$$

$$X_L = 1000 \times 10 \times 10^{-3} = 10 [\Omega]$$

ب) از قانون اهم داریم:

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

$$I_m = \frac{V_m}{X_L} = \frac{50}{10} = 5 [A]$$

از رابطه جریان مؤثر به دست می آید.

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3.54 [A]$$

ج) جریان سلف از ولتاژ دو سر آن عقب تر است و داریم:

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

$$i(t) = 5 \sin(1000t + 90^\circ)$$

انرژی سلف

سلف انرژی الکتریکی را به صورت میدان مغناطیسی در خود ذخیره می سازد و ماکزیمم انرژی ذخیره شده در سلف از رابطه زیر به دست می آید:

$$W_L = \frac{1}{2} L I_m^2$$

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 0.2 هانری جریان متناوب سینوسی به معادله زمانی

$$i(t) = 4 \sin(500t - 90^\circ)$$

می گذرد. ماکزیمم انرژی ذخیره شده در سلف چند ژول است؟

$$W_L = \frac{1}{2} L I_m^2$$

حل: از رابطه داریم:

$$W_L = \frac{1}{2} (0.2)(4)^2 = 1.6 [J]$$

توان الکتریکی سلف

توان الکتریکی سلف صرف ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی می‌شود، مقدار انرژی ذخیره‌شده در واحد زمان در سلف را «توان الکتریکی سلف» می‌گویند.

توان الکتریکی سلف قادر به تبدیل کردن انرژی الکتریکی نیست لذا آن را «توان غیرمؤثر» یا «توان راکتیو» نیز می‌گویند و با حرف Q_L نشان می‌دهند و واحد آن «ولت آمپر راکتیو» «VAR» است. توان الکتریکی سلف از رابطه زیر به دست می‌آید و آن را با علامت مثبت نشانه‌گذاری می‌کنند.

$$Q_L = +X_L I_L^2$$

که در این رابطه:

Q_L توان الکتریکی سلف [VAR]

X_L مقاومت القایی سلف [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:

$$Q_L = +X_L I_L^2$$

$$Q_L = +4 \times 3^2 = +36 \text{ [VAR]}$$

واحد یادگیری ۲

شناخت خازن در جریان متناوب

خازن

خازن تشکیل شده است از دو صفحه هادی که بین آنها عایق^۱ قرار دارد (شکل ۳۸-الف). عایق خازن ها را «دی الکتریک» نیز می گویند. جنس دی الکتریک می تواند هوا، خلأ، کاغذ، میکا و... باشد. خازن را با علامت اختصاری شکل ۳۸-ب نشان می دهند.



شکل ۳۸

خازن در لغت به معنای ذخیره ساز است زیرا انرژی الکتریکی را به صورت میدان الکترواستاتیکی در خود ذخیره می کند.

ظرفیت خازن

ظرفیت خازن نسبت بار الکتریکی ذخیره شده به اختلاف پتانسیل صفحات می باشد و آن را با C نشان می دهند و واحد آن کولن می باشد که به احترام مایکل فاراد به آن «فاراد» گویند و با حرف F نشان می دهند. یک فاراد ظرفیت خازنی است که هرگاه اختلاف پتانسیل یک ولت بین صفحات آن ایجاد شود بار الکتریکی یک کولن در آن ذخیره شده است. ظرفیت خازن از رابطه زیر به دست می آید:

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

در این رابطه:

C ظرفیت خازن برحسب فاراد [F]

q بار ذخیره شده برحسب کولن [C]

V اختلاف پتانسیل برحسب ولت [V] است.

سلف و خازن در جریان متناوب

مثال: یک خازن در اثر اعمال ۲۰ ولت به دو سر آن بار الکتریکی معادل ۸۰ کولن را ذخیره می‌کند. ظرفیت خازن چقدر است؟

حل:

$$C = \frac{q}{V} \quad C = \frac{80}{20} = 4 [F]$$

مثال: خازنی با ظرفیت ۴۰ μF را به ولتاژ ۵۰ ولت اتصال می‌دهیم. مقدار بار الکتریکی ذخیره شده چقدر است؟

حل:

$$q = CV$$

$$q = 40 \times 10^{-6} \times 50 = 2000 [\mu C]$$

مثال: یک خازن ۱۰ μF با بار ۱۰ μC چقدر اختلاف پتانسیل دارد؟

حل:

$$V = \frac{q}{C} \quad V = \frac{10 \times 10^{-6}}{10 \times 10^{-6}} = 1 [V]$$

عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن

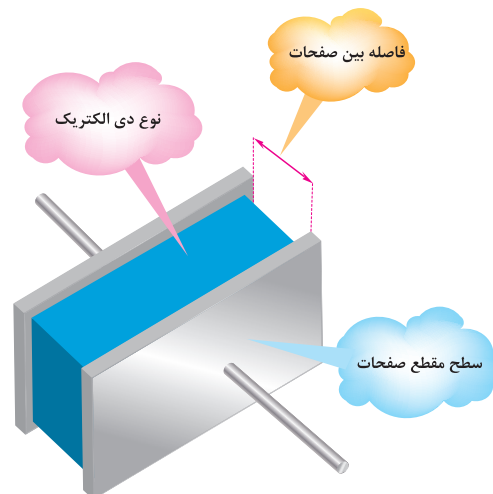
مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعیین ظرفیت خازن عبارت‌اند از:

۱ مساحت صفحات هادی

۲ فاصله بین صفحات هادی

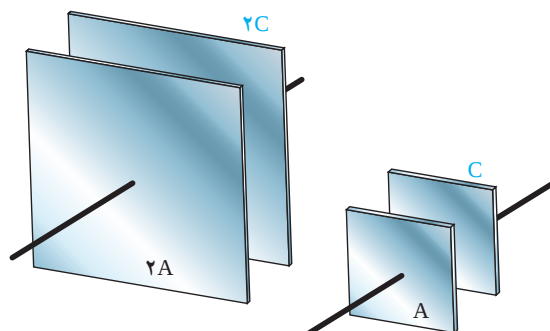
۳ جنس عایق یا دی‌الکتریک

ظرفیت خازن متناسب با مساحت صفحات و فاصله صفحات از یکدیگر می‌باشد به طوری که ظرفیت خازن با مساحت صفحات نسبت مستقیم و با فاصله صفحات از یکدیگر نسبت عکس دارد (شکل ۳۹).



شکل ۳۹- عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن

هرچه مساحت صفحات هادی بزرگ‌تر باشد بار الکتریکی بیشتری را در خود ذخیره می‌کند. بنابراین خازن با صفحات بزرگ‌تر ظرفیت بیشتری خواهد داشت (شکل ۴۰).



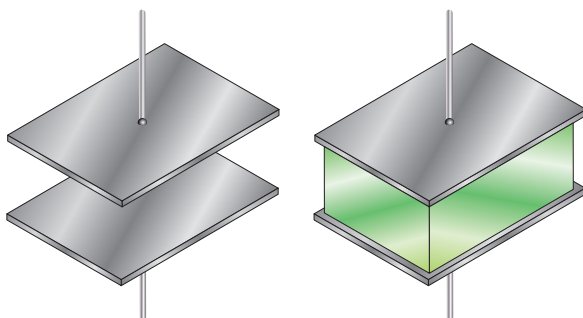
شکل ۴۰- تأثیر مساحت صفحات بر ظرفیت خازن

هرچه فاصله صفحات از یکدیگر بیشتر باشد ظرفیت خازن کمتر خواهد شد لذا خازن با فاصله صفحات کمتری دارای ظرفیت بیشتری خواهد شد (شکل ۴۱).

ظرفیت زیاد	ظرفیت متوسط	ظرفیت کم
فاصله صفحات کم	فاصله صفحات متوسط	فاصله صفحات زیاد

شکل ۴۱- تأثیر فاصله بین صفحات بر ظرفیت خازن

جنس و کیفیت عایق یا دی‌الکتریک بین صفحات باردار خازن اثر مستقیم بر ظرفیت خازن دارد. دی‌الکتریک خوب و با کیفیت دی‌الکتریکی است که بتواند نیروی کولنی بین بارهای الکتریکی ذخیره‌شده بر روی صفحات باردار خازن را تحمل کند و خاصیت عایقی خود را از دست ندهد (شکل ۴۲).



شکل ۴۲

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:

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \left[\frac{F}{m} \right]$$

نسبت ضریب نفوذ عایق‌های الکتریکی به ضریب نفوذ الکتریکی هوا را «ضریب نفوذ نسبی» گویند و با ϵ_r نشان می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

ضریب نفوذ نسبی تعدادی از عایق‌های الکتریکی در جدول نشان داده شده است.

جدول ضریب نفوذ نسبی عایق‌ها

نوع عایق	ضریب نفوذ نسبی عایق‌ها (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 به دست می‌آید:

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

که در آن:

C ظرفیت خازن بر حسب [F]

$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ ضریب نفوذ الکتریکی عایق بر حسب $\left[\frac{F}{m} \right]$

A مساحت صفحات بر حسب $[m^2]$

d فاصله بین صفحات بر حسب [m] است.

مثال: ظرفیت خازنی که مساحت صفحات آن 0.05 مترمربع و فاصله بین صفحات آن 0.1 سانتی متر و نوع دی الکتریک به کار رفته در آن میکا باشد را به دست آورید.

حل: با استفاده از جدول ضریب نفوذ نسبی (ϵ_r) برای میکا برابر 5 است. همچنین می دانیم که ضریب نفوذ نسبی هوا برابر است با

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$$

بنابراین با توجه به مقادیر داده شده، مقدار C ظرفیت خازن را به دست می آوریم.

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

$$\epsilon = 8.85 \times 10^{-12} \left[\frac{F}{m} \right]$$

$$A = 0.05 [m^2]$$

$$d = 0.1 \times 10^{-2} [m]$$

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

$$C = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 5 \times 0.05}{0.1 \times 10^{-2}} = 0.00221 \mu f$$

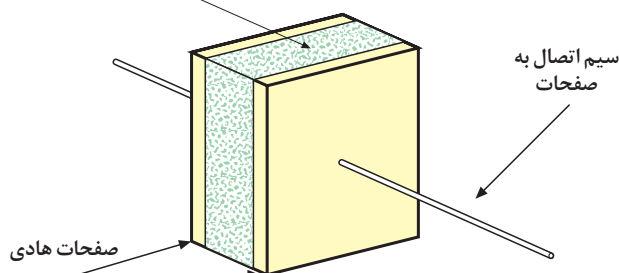


شکل ۴۳

از جمله مشخصه های دیگر خازن ولتاژ کار آن است که همراه با ظرفیت روی بدنه خازن نوشته می شود. در شکل ۴۳ خازن با تحمل ولتاژ 400 ولت DC و ظرفیت 100 میکروفاراد نشان داده شده است.

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 می نمایند (شکل ۴۴).



شکل ۴۴- مدار الکتریکی معادل خازن



تفاوت خازن و باتری در چیست؟ آیا می‌توان از خازن‌ها به جای باتری‌ها به‌طور مثال در خودروها استفاده کرد؟ مزایا و معایب این جایگزینی چیست؟ نتایج را در کلاس ارائه کنید.

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^۱ 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: یک خازن با ظرفیت $100\mu F$ در فرکانس 50 هرتز مفروض است مقاومت خازنی آن چند اهم است؟

حل: از رابطه با U 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 خازن‌ها



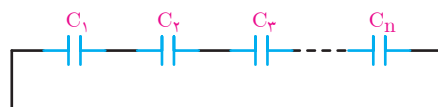
شکل ۴۵

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 ۴۵ در نظر گرفته می‌شود.

الف) اتصال سری خازن‌ها

ظرفیت خازن معادل C_{eq} چند خازن با اتصال سری شکل ۴۶ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$



شکل ۴۶

مثال: ظرفیت خازن معادل خازن‌های شکل ۴۷ را به دست آورید.

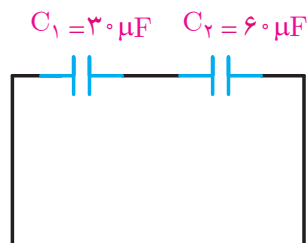
حل:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{30} + \frac{1}{60}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{2+1}{60} = \frac{3}{60}$$

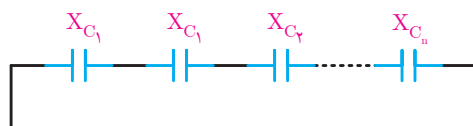
$$C_{eq} = \frac{60}{3} = 20 \mu F$$



شکل ۴۷

مقاومت خازنی معادل X_C خازن‌های اتصال سری شکل ۴۸ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$X_{Ceq} = X_{C_1} + X_{C_2} + \dots + X_{C_n}$$



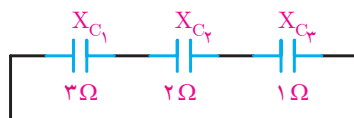
شکل ۴۸

مثال: مقاومت خازنی معادل شکل ۴۹ را به دست آورید.

حل:

$$X_{Ceq} = X_{C_1} + X_{C_2} + X_{C_3}$$

$$X_{Ceq} = 3 + 2 + 1 = 6 [\Omega]$$



شکل ۴۹

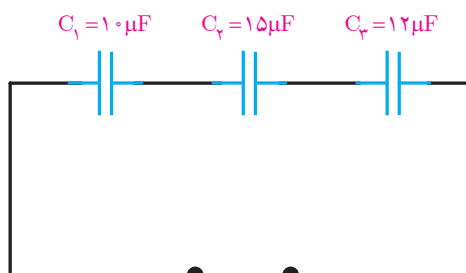
مثال: ظرفیت معادل مدار شکل ۵۰ را به دست آورید.

حل:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{15} + \frac{1}{12} = \frac{6+4+5}{60} = \frac{15}{60}$$

$$C_{eq} = \frac{60}{15} = 4 [\mu F]$$

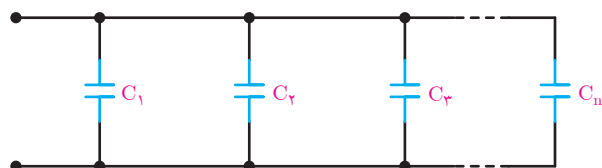


شکل ۵۰

ب) اتصال موازی خازن‌ها

ظرفیت خازن معادل C_{eq} چند خازن با اتصال موازی شکل ۵۱ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$



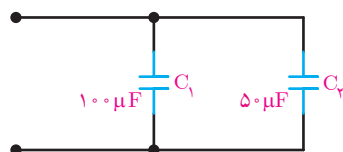
شکل ۵۱

مثال: ظرفیت خازن معادل خازن‌های شکل ۵۲ را به دست آورید.

حل:

$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

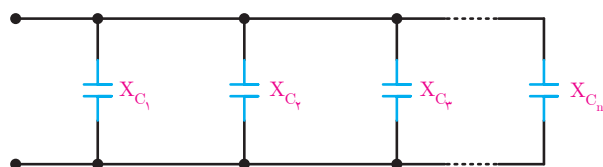
$$C_{eq} = 100 + 50 = 150 \mu F$$



شکل ۵۲

مقاومت خازنی معادل X_{Ct} خازن‌ها با اتصال موازی شکل ۵۳ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{1}{X_{Ceq}} = \frac{1}{X_{C1}} + \frac{1}{X_{C2}} + \frac{1}{X_{C3}} + \dots + \frac{1}{X_{Cn}}$$



شکل ۵۳

مثال: مقاومت خازنی معادل خازن‌های شکل ۵۴ را به دست آورید.

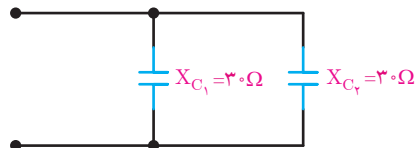
حل:

$$\frac{1}{X_{C_{eq}}} = \frac{1}{X_{C_1}} + \frac{1}{X_{C_2}}$$

$$\frac{1}{X_{C_{eq}}} = \frac{1}{30} + \frac{1}{30}$$

$$\frac{1}{X_{C_{eq}}} = \frac{2}{30}$$

$$X_{C_{eq}} = \frac{30}{2} = 15 [\Omega]$$

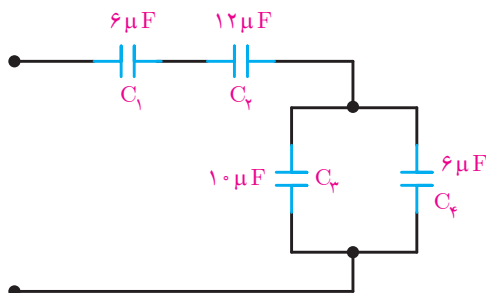


شکل ۵۴

ج) اتصال سری – موازی خازن‌ها

در اتصال مختلط خازن‌ها از روابط اتصال سری و موازی متناسب استفاده می‌کنیم.

مثال: ظرفیت خازن معادل مدار شکل ۵۵ چند میکروفاراد است؟



شکل ۵۵

حل:

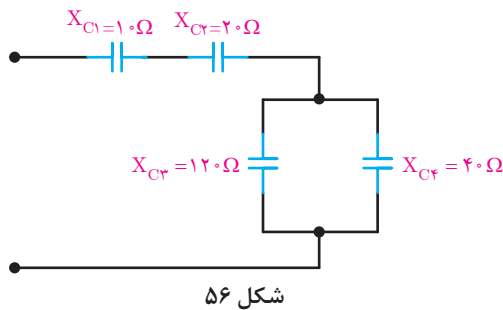
در این مدار C_1 و C_2 سری است که روابط سری را درباره این دو عمل می‌کنیم. C_3 و C_4 نیز با هم موازی‌اند و روابط موازی را درباره آنها عمل می‌کنیم. در نهایت، مجموعه C_1 و C_2 با مجموعه C_3 و C_4 سری هستند و از قوانین سری پیروی می‌کنند. بنابراین، می‌توان نوشت:

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

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

$$C_5 = \frac{4 \times 16}{4 + 16} = \frac{16}{5} = 3 \frac{1}{5} [\mu F]$$

سلف و خازن در جریان متناوب



مثال: مقاومت خازنی معادل شکل ۵۶ را به دست آورید.
حل:

$$\frac{1}{X_{C_{\text{ref}}}} = \frac{1}{X_{C_3}} + \frac{1}{X_{C_4}}$$

$$\frac{1}{X_{C_{\text{ref}}}} = \frac{4}{120}$$

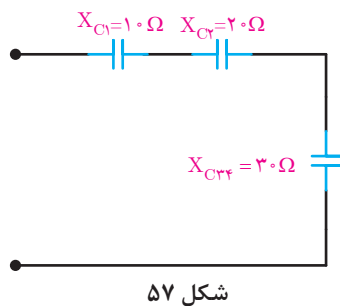
$$X_{C_{\text{ref}}} = \frac{120}{4} = 30 [\Omega]$$

مدار به شکل ۵۷ در می آید.

اکنون معادل سری X_{C_1} ، X_{C_2} و $X_{C_{\text{ref}}}$ را به دست می آوریم:

$$X_{C_{\text{eq}}} = X_{C_1} + X_{C_2} + X_{C_{\text{ref}}}$$

$$X_{C_{\text{eq}}} = 10 + 20 + 30 = 60 [\Omega]$$



انرژی خازن

خازن انرژی الکتریکی را به صورت میدان الکتریکی در خود ذخیره می سازد و ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن از رابطه زیر به دست می آید:

$$W_C = \frac{1}{2} C V_m^2$$

که در این رابطه :

W_C ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن [J]

C ظرفیت خازن [F]

V_m ماکزیمم ولتاژ خازن [V] است.

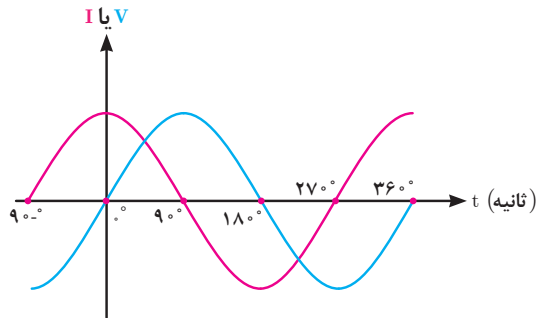
مثال: به یک خازن با ظرفیت ۵۰ میکروفاراد ولتاژ متناوب سینوسی به معادله زمانی $v(t) = 100 \sin(100 \pi t)$ وصل شده است. ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن چند ژول است؟

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



شکل ۵۸

جریان خازن از ولتاژ دو سر آن ۹۰° جلوتر است لذا خازن را یک عنصر «پیش فاز» می‌شناسند. منحنی ولتاژ و جریان خازن در اتصال به منبع متناوب سینوسی در شکل ۵۸ نشان داده شده است که در آن $\theta_V = 0^\circ$ و $\theta_I = 90^\circ$ می‌باشد.

با توجه به شکل ۵۸ معادلات زمانی ولتاژ و جریان به صورت زیر خواهد شد:

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + 0^\circ)$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

و زاویه اختلاف فاز ϕ برابر خواهد شد.

$$\phi = \theta_V - \theta_I$$

$$\phi = 0^\circ - (90^\circ) = -90^\circ$$

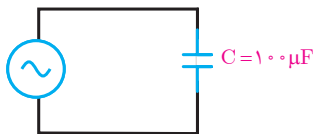
مثال: در مدار شکل ۵۹ مطلوب است:

الف) مقاومت خازنی

ب) جریان خازن

ج) معادله زمانی جریان خازن

$$v(t) = 5 \sin(1000t)$$



شکل ۵۹

حل:

الف) از رابطه زیر داریم:

$$X_C = \frac{1}{C\omega}$$

$$X_C = \frac{1}{1000 \times 10^{-6} \times 1000} = 1 \Omega$$

ب) از رابطه مقاومت الکتریکی داریم:

$$I_m = \frac{V_m}{X_C} = \frac{5}{1} = 5 \text{ [A]}$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3.54 \text{ [A]}$$

جریان خازن از ولتاژ دو سر آن ۹۰° درجه جلوتر است لذا داریم:

$$i(t) = 5 \sin(1000t + 90^\circ)$$

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»^۱ نیز می‌گویند و با حرف C نشان می‌دهند و واحد آن «ولت آمپر راکتیو VAR» است. توان الکتریکی خازن از رابطه زیر به دست می‌آید و آن را با علامت منفی نشانه‌گذاری می‌کنند.

$$Q_c = -X_c I_c^2$$

که در این رابطه:

Q_c توان الکتریکی خازن [VAR]

X_c مقاومت خازنی [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؟

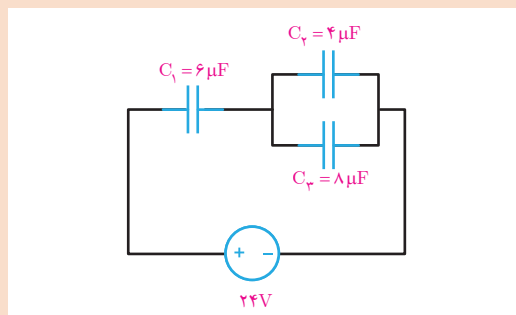
حل:

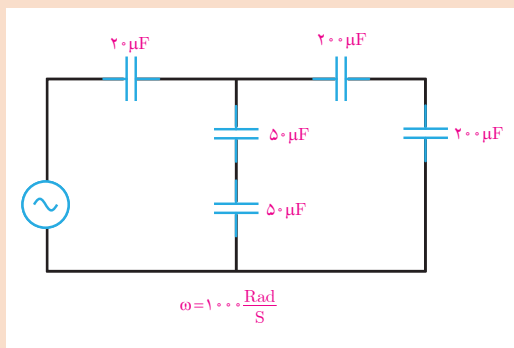
$$Q_c = -X_c I_c^2$$

$$Q_c = -2 \times 4^2 = -32 \text{ [VAR]}$$



- ۱ نیروی وارد به یک هادی حامل جریان الکتریکی ۲ آمپر در میدان مغناطیسی ۵/۰ تسلا برابر ۱/۰ نیوتن است. طول مؤثر هادی چند متر است؟
- ۲ سیم پیچی به طول ۵۰ سانتی متر 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 سیم پیچ باید چند دور شود؟
- ۳ دو بوبین با ضریب خودالقایی ۱۰۰ میلی هانری را یک بار به طور سری و بار دیگر به طور موازی به هم وصل می کنیم. ضریب خودالقایی کل در هر دو حالت چقدر می شود؟
- ۴ ضریب خودالقایی سیم پیچی ۲۰ mH و جریان عبوری از آن ۱۰ آمپر است. چه مقدار انرژی در سیم پیچ ذخیره می شود؟
- ۵ چهار سلف با ضریب های خودالقایی ۵۰، ۲۵، ۱۰۰ و ۲۵ میلی هانری را یک بار به طور سری و بار دیگر به طور موازی ببندید. ضریب خودالقایی کل را در هر حالت به دست آورید.
- ۶ از یک سلف با ضریب خودالقایی ۱۰ mH جریان متناوبی با فرکانس ۵۰ هرتز عبور می کند. مقاومت القایی سلف چند اهم است؟ اگر فرکانس به یک کیلو هرتز تغییر یابد، مقاومت القایی سلف چند اهم می شود؟
- ۷ در یک سلف با ضریب خودالقایی ۳ میلی هانری، جریان در مدت دو ثانیه از یک آمپر به ۷ آمپر افزایش می یابد ولتاژ خودالقایی در سلف چند میلی ولت است؟ اگر ضریب خودالقایی ۳ هانری باشد، ولتاژ القایی چند میلی ولت می شود؟
- ۸ توان الکتریکی یک سلف VAR ۱۰ می باشد در صورتی که جریان سلف ۲ A باشد مقاومت القایی سلف را به دست آورید.
- ۹ بیشترین انرژی ذخیره شده در یک سلف با ضریب خود القایی ۵۰ میلی هانری که جریان مؤثر عبوری از آن $2\sqrt{2}$ آمپر است را محاسبه کنید.
- ۱۰ مساحت صفحات یک خازن 10 cm^2 و فاصله صفحات آن ۴ mm می باشد. در هر حالت زیر ظرفیت خازن را حساب کنید.
(الف) عایق بین صفحات هوا باشد.
(ب) عایق بین صفحات از نوع میکا باشد.
- ۱۱ خازنی به ظرفیت $50 \mu\text{F}$ را به یک باتری ۱۲V متصل می کنیم بار الکتریکی ذخیره شده در آن چند کولن است؟
- ۱۲ در شکل روبه رو مطلوب است:
(الف) ظرفیت معادل (C_{eq}) چند میکرو فاراد است؟
(ب) بار الکتریکی و ولتاژ هر خازن



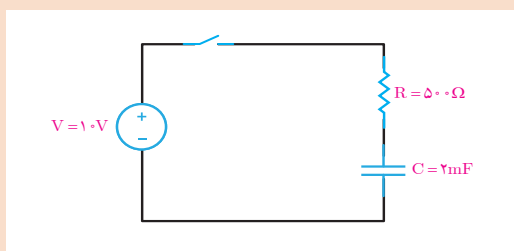


۱۳ در شکل روبه‌رو مطلوب است:

الف) محاسبه C_{eq}

ب) محاسبه X_{ceq}

ج) اگر $\omega = 500 \frac{\text{Rad}}{\text{s}}$ باشد در این حالت C_{eq} و X_{ceq} را حساب کنید.

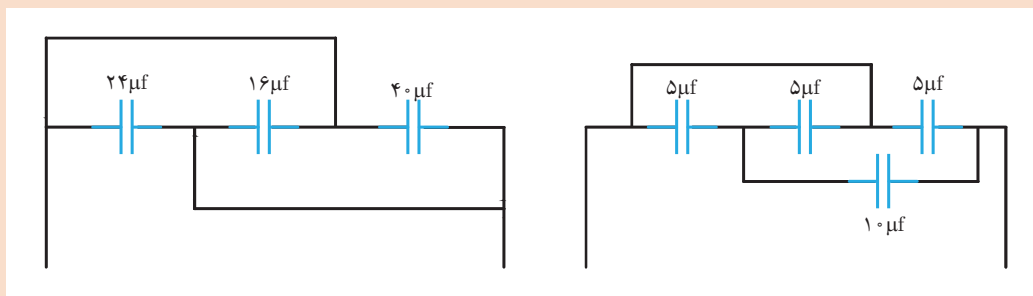


۱۴ در شکل روبه‌رو پس از بستن کلید چه مدت طول

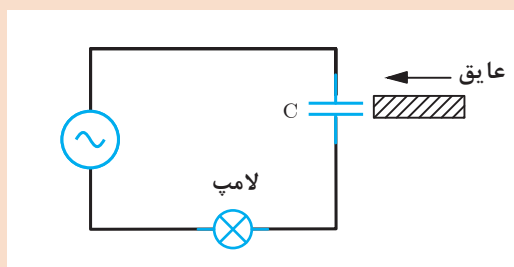
می‌کشد تا خازن به حالت پایدار برسد؟ در این

حالت ولتاژ خازن چقدر است؟

۱۵ ظرفیت معادل در شکل‌های زیر را به دست آورید.



۱۶ ظرفیت خازنی با حداکثر ولتاژ ۱۰۰ ولت و ماکزیمم انرژی ذخیره شده ۰/۲ ژول چند میکروفاراد است؟



۱۷ در شکل زیر با قرار دادن عایق بین صفحات خازن

نور لامپ چه تغییری می‌کند؟ چرا؟

۱۸ معادلات زمانی ولتاژ و جریان یک خازن به ترتیب:

$$v(t) = 100 \sin(100\pi t + 90^\circ) \text{ و } i(t) = 5 \sin(100\pi t + 90^\circ) \text{ است مطلوب است:}$$

الف) مقاومت خازنی

ب) ظرفیت خازن

۱۹ خازنی با توان الکتریکی 100 W - ولت آمپر راکتیو و ظرفیت $50 \mu\text{F}$ میکروفاراد مفروض است:

الف) مقاومت خازنی در سرعت زاویه‌ای 500 رادیان بر ثانیه چند اهم است؟

ب) جریان مؤثر خازن چند آمپر است؟

۲۰ معادلات زمانی ولتاژ و جریان یک مدار الکتریکی به ترتیب:

$$V(t) = 20\sqrt{2} \sin(314t + 0^\circ)$$

$$i(t) = 10\sqrt{2} \sin(314t + 37^\circ)$$

می‌باشد. مطلوب است:

الف) توان مؤثر

ب) توان غیرمؤثر

ج) توان ظاهری

۲۱ یک مصرف کننده الکتریکی با توان 80 W و 100 VA پس فاز مفروض است. مطلوب است:

الف) رسم مثلث توان

ب) ضریب توان

ج) توان غیرمؤثر

استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی مبتنی بر شایستگی درس دانش فنی پایه پودمان پنجم

عنوان پودمان	واحدهای یادگیری (شایستگی)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقق
پودمان ۵: سلف و خازن در جریان متناوب	۱- درک و تبیین قانون کولن و پتانسیل الکتریکی ۲- درک، تبیین و کارکرد جریان الکتریکی	تعیین نیروی کولنی و اختلاف پتانسیل الکتریکی محاسبه جریان و تبیین آثار جریان الکتریکی	بالاتر از حد انتظار	انجام شایسته فعالیت‌های مکمل محتوای پودمان (نظیر تحقیق کنید آزمایش کنید، فعالیت‌های گروهی و...) یا احراز شایستگی‌های عمومی و غیرفنی در حد بالاتر از انتظار
			در حد انتظار	۱- شناسایی ساختمان اتم ۲- مقایسه هدایت الکتریکی عناصر ۳- محاسبه شدت میدان الکتریکی ۴- تبیین پتانسیل الکتریکی ۵- استدلال شارش جریان الکتریکی ۶- محاسبه مقدار و جهت جریان الکتریکی ۷- شناسایی آثار جریان الکتریکی
			پایین تر از حد انتظار	در صورتی که هنرجو همه شاخص‌های در حد انتظار را محقق نسازد، پایین تر از حد انتظار ارزشیابی می‌شود.
			لازم است تا کیفیت فرایند کسب شایستگی در طول زمان آموزش پودمان براساس انجام فعالیت‌های کلاسی و کارگاهی، نظم مشارکت در فعالیت‌های آموزشی و تربیتی، ابتکار در تکالیف عملکردی درسی و... در نظر گرفته شود.	
شایستگی پودمان بالاتر از حد انتظار، در حد انتظار، پایین تر از حد انتظار				

شایستگی های غیرفنی و عمومی (ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی)

شاخص ها	ضریب کیفیت عملکرد	شایستگی عملکرد هنرجو
مدیریت کیفیت - جمع آوری و گردآوری اطلاعات - رعایت ارگونومی - کنترل حفاظت الکتریکی و الکترونیکی تجهیزات - ایجاد محتوای الکترونیک - کاهش مصرف کاغذ - طراحی خلاقانه پوسته گرافیکی و گرافیک متحرک - رعایت انضباط فردی و کلاسی - پوشش مناسب - احترام به استاد و همکلاسی ها - حضور به موقع در کارگاه و...	۲	

شایستگی عملکرد هنرجو در پودمان	شایستگی های غیر فنی و عمومی			شایستگی های فنی		
	بالاتر از حد انتظار	در حد انتظار	کمتر از حد انتظار	بالاتر از حد انتظار	در حد انتظار	کمتر از حد انتظار

شایستگی عملکرد هنرجو از میانگین سطوح شایستگی کسب شده در مراحل کاری هر واحد یادگیری مشخص می شود. به شرط آنکه:

- ۱ سطح شایستگی هنرجو در هیچ مرحله ای کمتر از حد انتظار نباشد.
- ۲ هنرجو در شایستگی های غیرفنی و عمومی، شایستگی در حد انتظار یا بالاتر از حد انتظار را کسب کرده باشد.

توجه:

- ۱ اگر حتی در یک مرحله کاری شایستگی کمتر از حد انتظار کسب شود، منجر به عدم کسب شایستگی پودمان می شود.
- ۲ با توجه به اینکه شایستگی های عمومی و غیرفنی از شرایط لازم برای کسب شایستگی می باشد؛ لذا در صورتی که شایستگی فنی را احراز کرده باشد اما شایستگی های غیرفنی و عمومی یاد شده، سطح در حد انتظار کسب نشده باشد، به معنی عدم احراز شایستگی در پودمان است.

منابع و مآخذ

- ۱ برنامه درسی درس دانش فنی پایه رشته الکتروتکنیک، دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش سال ۱۳۹۴.
- ۲ قیصرانی، فریدون. احمدی، عین‌ا... مظفری، حسین. همتایی، محمود. تجلی‌پور، مسعود. ۱۳۹۳. مبانی برق. کد ۳۵۵/۱۸ چاپ چهاردهم. شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- ۳ ترکمانی، امیرحسین. ۱۳۹۴. ماشین‌های الکتریکی DC کد ۴۹۰/۱ چاپ سوم. شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- ۴ نظریان. فتح‌ا... ۱۳۹۴. اصول اندازه‌گیری الکتریکی کد ۳۵۹/۹۳، چاپ چهاردهم. شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- ۵ سایت موزه برق شهدا.
- ۶ سایت انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی ایران (ساتبا).

