کتاب دانش فنی پایه (الکتروتکنیک)

ایران استخدام

سرویس خصوصی خدمات عام المنفعه اخبار شغل و استخدام

Www.IranEstekhdam.Ir

خواننده گرامی؛ در جهت بهبود کیفیت این فایل؛ لطفاً هرگونه انتقاد و پیشنهاد خود در مورد مطالب آن
و یا گزارش مشکل را به آدرس ایمیل و یا با شماره تلفن زیر مطرح نمایید:

شماره تلفن تماس:آره ۰۲۱-۹۱۳۰۰۰۱۳ آدرس ایمیل: soal@iranestekhdam.ir

«لینک‌های مفید و مرتبط»

دانلود منابع آزمون استخدامی هنرآموز الکتروتکنیک (۱) و (۲)

خرید و دانلود

دانلود نمونه سوالات آزمون استخدامی هنرآموز الکتروتکنیک

خرید و دانلود

دانلود منابع آزمون استخدامی استادکار الکتروتکنیک

خرید و دانلود

دانلود نمونه سوالات عمومی و تخصصی استخدام آموزش و پرورش

خرید و دانلود

دانلود منابع آزمون استخدامی دبیر حرفه و فن

خرید و دانلود

دانلود نمونه سوالات آزمون استخدامی دبیر حرفه و فن

خرید و دانلود

بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰى مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

دانش فنی پایه

رشتهٔ الکتروتکنیک

گروه برق و رایانه

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

پایهٔ دهم دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: دانش فنی پایه (رشتهٔ الکتروتکنیک) ـ ۲۱۰۲۶۳
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی وتألیف: علی‌اکبر مطیع‌بیرجندی، شهرام خدادادی، امیرحسین ترکمانی، محمدحسن اسلامی، علیرضا حجرگشت، نقی اصغری‌آقاباقر، مجتبی انصاری‌پور و محسن کیالاشکی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
نقی اصغری آقاباقر و امیرحسین ترکمانی و محسن کیالاشکی (اعضای گروه تألیف) ـ مجتبی انصاری‌پور (ویراستار)
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: سمیه نظری (طراح جلد)ـ مهلا مرتضوی (صفحه‌آرا) ـ علیرضا سیاحی و مریم دهقان‌زاده (رسام)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش(شهید موسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وبگاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر: شرکت چاپ‌ونشرکتاب‌های‌درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش)،
تلفن: ۵ـ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ۳۷۵۱۵
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 به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

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



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

امام خمینی (قُدِّسَ سِرُّهُ)

فهرست

پودمان اول: مبانی الکتریسیته ۱

- واحد یادگیری ۱: درک و تبیین قانون کولن و پتانسیل الکتریکی ۲
- واحد یادگیری ۲: درک، تبیین و کاربرد جریان الکتریکی ۹

پودمان دوم: مدار الکتریکی ۱۷

- واحد یادگیری ۱: درک و تبیین مقاومت الکتریکی و کاربرد قانون اهم ۱۸
- واحد یادگیری ۲: شناخت انواع مقاومت الکتریکی و توان الکتریکی ۲۷

پودمان سوم: اتصالات سری و موازی مقاومت‌های الکتریکی ۳۹

- واحد یادگیری ۱: تحلیل اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی ۴۰
- واحد یادگیری ۲: تحلیل اتصال موازی مقاومت‌های الکتریکی ۴۹

پودمان چهارم: انرژی الکتریکی ۶۷

- واحد یادگیری ۱: شناخت انرژی الکتریکی جریان مستقیم ۶۸
- واحد یادگیری ۲: شناخت انرژی الکتریکی جریان متناوب ۷۸

پودمان پنجم: سلف و خازن در جریان متناوب ۱۰۱

- واحد یادگیری ۱: شناخت کمیت‌های مغناطیسی و سلف در جریان متناوب ۱۰۲
- واحد یادگیری ۲: شناخت خازن در جریان متناوب ۱۲۲

منابع و مآخذ ۱۳۸

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 زمینهٔ ارتقای وجودی خویش را مهیا و امکان کسب روزی حلال و پاسخگویی به نیازهای جامعه را فراهم می‌آورد. آموزش فناوری، کار و مهارت‌آموزی، باعث پیشرفت فردی، افزایش بهره‌وری، مشارکت در زندگی اجتماعی و اقتصادی، کاهش فقر، افزایش درآمد و توسعه‌یافتگی خواهد شد. برای رسیدن به این مهم، برنامه‌ریزی درسی حوزهٔ دنیای کار و دنیای آموزش بر مبنای نیازسنجی شغلی صورت گرفته است. درس‌های رشته‌های تحصیلی شاخهٔ فنی و حرفه‌ای شامل دروس آموزش عمومی، دروس شایستگی‌های غیرفنی و شایستگی‌های فنی مورد نیاز بازار کار است. دروس دانش فنی از دروس شایستگی‌های فنی است که برای هر رشته در دو مرحله طراحی شده است. درس دانش فنی پایه با هدف شناخت مفاهیم و کسب دانش فنی پایه در گروه و رشتهٔ تحصیلی است که هنرجویان در پایهٔ دهم و در آغاز ورود به رشتهٔ تحصیلی خود می‌بایست آن را آموزش ببینند و شایستگی‌های لازم را در ارتباط با دروس عملی و ادامهٔ تحصیل در رشتهٔ خود کسب نمایند. درس دانش‌فنی تخصصی که در پایهٔ دوازدهم طراحی شده است، شایستگی‌هایی را شامل می‌شود که موجب ارتقای دانش تخصصیِ حرفه‌ای شده و زمینه را برای ادامهٔ تحصیل و توسعهٔ حرفه‌ای هنرجویان در مقطع کاردانی پیوسته نیز فراهم می‌کند.
کتاب دانش فنی‌پایه تئوری تفکیک شده دروس عملی کارگاه‌های ۸ ساعته نیست بلکه در راستای شایستگی‌ها و مشاغل تعریف شده برای هر رشته تدوین شده است. در ضمن، آموزش این کتاب نیاز به پیش‌نیاز خاصی ندارد و براساس آموزش‌های قبلی تا پایهٔ نهم به تحریر درآمده است. لازم به یادآوری است که محتوای آموزشی کتاب دانش‌فنی‌پایه، آموزش‌های کارگاهی را عمق می‌بخشد و نیازهای هنرجویان را در راستای محتوای دانش‌نظری تأمین می‌کند.
تدریس کتاب در کلاس درس به‌صورت تعاملی و با محوریت هنرآموز و هنرجوی فعال صورت می‌گیرد.

دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

نظرسنجی کتاب درسی

سخنی با هنرجویان عزیز

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

در تدوین درس دانش فنی پایه، موضوعاتی مانند تاریخچهٔ رشته، محتوا جهت ایجاد انگیزش، مشاغل و هدف رشتهٔ تحصیلی، نقش رشتهٔ شما در توسعهٔ کشور، مثال‌هایی از نوآوری، خلاقیت و الهام از طبیعت، اصول، مفاهیم، قوانین، نظریه، فناوری، علائم، تعاریف کمیت‌ها، واحدها و یکاها، فرمول‌های فنی، تعریف دستگاه‌ها و وسایل کار، مصادیقی از ارتباط مؤثر فنی و مستندسازی، 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 رشتهٔ تحصیلی در نظر گرفته شده است.

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

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

دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی وحرفه‌ای و کاردانش

پودمان اول

مبانی الکتریسیته

- واحد یادگیری۱: درک و تبیین قانون کولن و پتانسیل الکتریکی
- واحد یادگیری۲: 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 می‌گیرد. بدون انرژی الکتریکی کاربرد وسایل روشنایی، تلویزیون، تلفن و اغلب وسایل خانگی غیرممکن است. به‌علاوه، در بیشتر وسایل نقلیه، انرژی الکتریکی نقش مهمی بازی می‌کند. به این ترتیب، می‌توان گفت انرژی الکتریکی تقریباً در همه جا به‌کار می‌رود.

اگرچه الکتریسیته در قرون اخیر مورد استفاده قرار گرفته است ولی یونانی‌ها در حدود ۲۰۰۰ سال پیش آن را کشف کردند. آنها پی بردند که وقتی ماده‌ای به نام کهربا را به ماده دیگری مالش دهند، می‌تواند اجسامی مانند برگ خشک و براده‌های چوب را جذب کند. یونانی‌ها این کهربا را الکترون نام نهادند که کلمه الکتریسیته نیز از آن گرفته شده است.

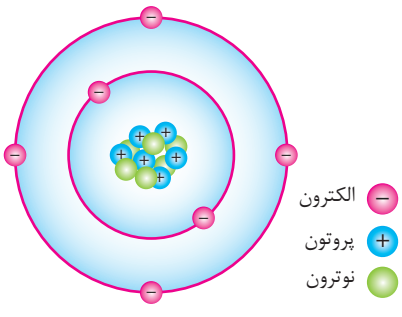


شکل ۱

در سال ۱۷۳۳ یک دانشجوی فرانسوی به نام شارل دوفه[1] 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 می‌کند (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 نام‌گذاری کرد. کاهش یا افزایش تعداد الکترون اتم‌های اجسام باعث ایجاد بارهای الکتریکی مثبت و منفی می‌شود که در بررسی ساختمان اتم به آن پرداخته می‌شود.

ساختمان اتم

ساختمان اتم از دو بخش هسته و اطراف هسته تشکیل شده است. درون هسته ذرات پروتون و نوترون قرار دارند و الکترون‌ها برروی مسیرهایی در اطراف هسته می‌گردند. پروتون‌ها دارای بار الکتریکی مثبت و الکترون‌ها دارای بار الکتریکی منفی می‌باشند و نوترون‌ها از نظر بار الکتریکی خنثی هستند. تعداد پروتون‌های داخل هسته را عدد اتمی می‌گویند. در حالت‌های عادی تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های اتم مساوی هستند لذا اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است (شکل ۲).



شکل ۲

سؤال: منظور از حالت عادی اتم چیست؟

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

$$e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} (C)$$

۱. Charles Dufay

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

$$q = n.e$$

که در این رابطه:

q بار الکتریکی برحسب کولن(C)

n تعداد الکترون

e بار الکتریکی الکترون است.

مثال: عدد اتمی مس برابر ۲۹ می‌باشد. بار الکتریکی هسته آن چند کولن است؟ ($e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} c$)

حل: از رابطه $q = n.e$ می‌توان نوشت:

$$q = ۲۹ \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}$$

$$q = ۴۶/۴ \times ۱۰^{-۱۹}$$

$$q = ۴/۶۴ \times ۱۰^{-۱۸} (C)$$

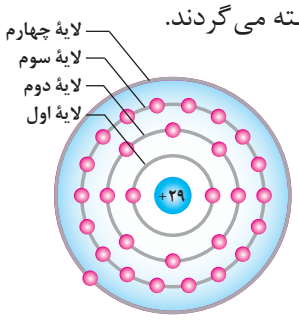
لایه

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

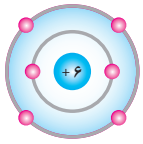
هر لایه از اتم، تعداد الکترون‌های ثابتی ظرفیت دارد.

اتم‌های تمام عناصر می‌توانند تا هفت لایه داشته باشند.

در شکل ۳ لایه‌های عناصر مس، کربن و هیدروژن نشان داده شده است.



مس ۴ لایه دارد
(لایه‌های اول و دوم و سوم پر شده‌اند و فقط یک الکترون در لایه چهارم قرار دارد. لایه چهارم لایه آخر این اتم است.)



کربن ۲ لایه دارد
(لایه اول با دو الکترون پر شده و لایه دوم با ۴ الکترون هنوز پر نشده است.)



هیدروژن ۱ لایه دارد
(لایه اول یک الکترون دیگر ظرفیت دارد)

شکل ۳

ظرفیت لایه

ظرفیت هر لایه نشان‌دهنده حداکثر الکترون‌های موجود در آن لایه می‌باشد. ظرفیت هر لایه از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\text{ظرفیت هر لایه} = ۲n^۲$$

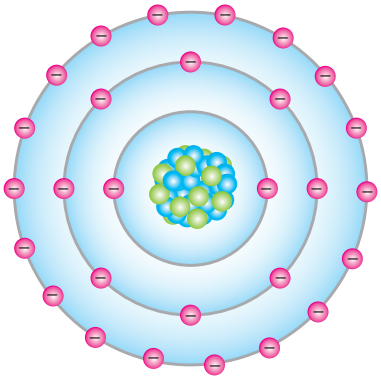
در این رابطه n شماره هر لایه است. برای لایه‌های اول و دوم و سوم داریم:

$۲(۱)^۲ = ۲$ لایه اول

$۲(۲)^۲ = ۸$ لایه دوم

$۲(۳)^۲ = ۱۸$ لایه سوم

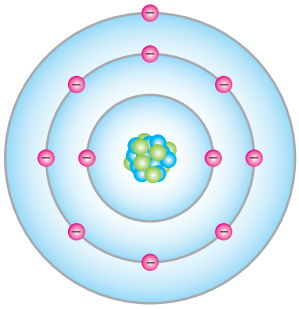
ظرفیت دیگر لایه‌ها نیز قابل محاسبه می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴

لایه خارجی (طبقهٔ والانس)

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



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. به‌طور 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 سلیسیم 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.

تحقیق کنید

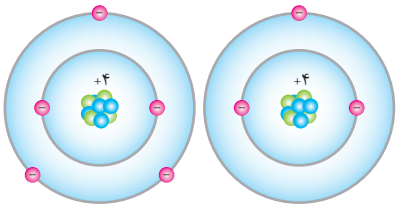
مس ($_{29}Cu$)، نقره ($_{47}Ag$) و طلا ($_{79}Au$) هرسه در یک گروه جدول تناوبی قرار دارند. مطابق انتظار هدایت الکتریکی نقره از مس بیشتر است اما، هدایت الکتریکی طلا نه تنها از نقره بیشتر نیست، بلکه از مس هم کمتر است!

۱ علت این موضوع را بررسی کنید و در کلاس ارائه کنید.

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

یون

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



۴-۳=۱ (الف) یون مثبت

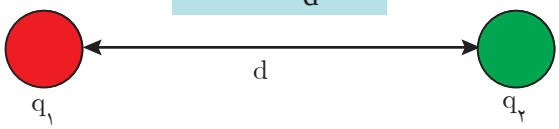
۴-۵=-۱ (ب) یون منفی

شکل ۶

قانون کولن

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

$K = 9\times10^9$ ضریب ثابت $(\frac{Nm^2}{C^2})$

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

مثال: دو بار الکتریکی ۳μc و ۴μc در فاصله ۳۰cm از یکدیگر قرار دارند. نیروی کولنی بین آنها چه نوع و چه مقدار است؟

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

$$F = 9\times10^9 \times \frac{3\times10^{-6}\times4\times10^{-6}}{(30\times10^{-2})^2}$$

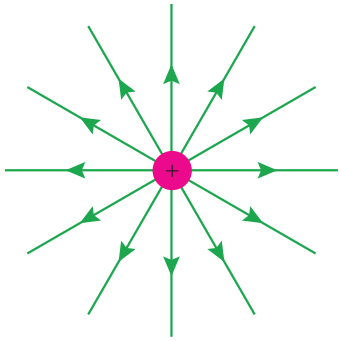
$$F = 9\times10^9 \times \frac{12\times10^{-12}}{900\times10^{-4}} = 12\times10^{-1} = 1/2(N)$$

بارها همنام هستند پس نیروی کولنی بین آنها دافعه است.

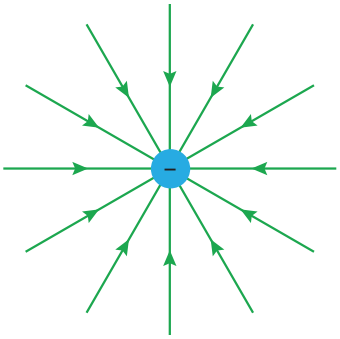
میدان الکتریکی

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.

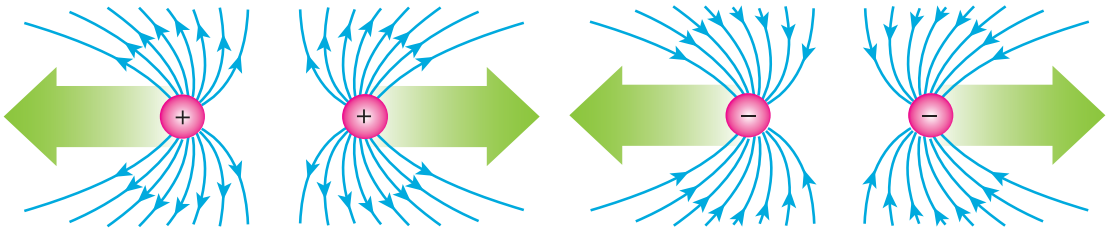


شکل ۷



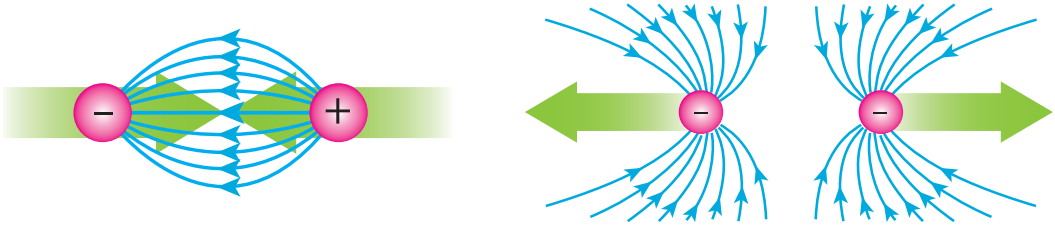
شکل ۸

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



شکل ۹

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



شکل ۱۰

شدت میدان الکتریکی

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

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

که در این رابطه:

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

F نیروی کولنی برحسب نیوتن (N)

q بار الکتریکی برحسب کولن (C) است.

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

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

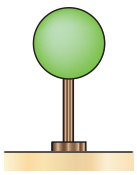
$$E = \frac{۲}{۴\times ۱۰^{-۶}}$$

$$E = \frac{۱}{۲}\times ۱۰^{۶}$$

$$E = ۵\times ۱۰^{۵}\left[\frac{N}{C}\right]$$

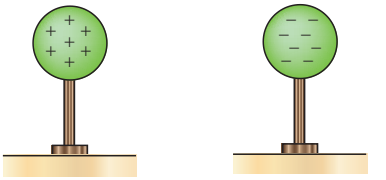
پتانسیل الکتریکی

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



شکل ۱۱

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).



الف — بار ذخیره‌شده منفی

ب — بار ذخیره‌شده مثبت

شکل ۱۲

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

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

که در این رابطه:

U انرژی پتانسیل الکتریکی برحسب ژول (j)

V پتانسیل الکتریکی برحسب ولت (V)

q بار الکتریکی برحسب کولن (C)

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

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

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

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

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

$$V=4000[V] \text{ یا } 4\ [KV]$$

پتانسیل الکتریکی زمین

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

ولتاژ

اختلاف پتانسیل الکتریکی میان دو نقطه را «ولتاژ» می‌نامند و از رابطه زیر به‌دست می‌آید (شکل ۱۳).

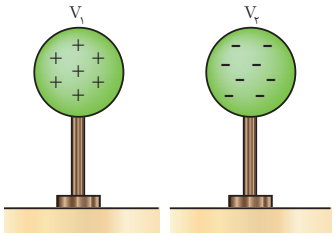
$$V=V_1-V_2$$

که در این رابطه:

V_1 پتانسیل الکتریکی نقطه اول برحسب ولت (V)

V_2 پتانسیل الکتریکی نقطه دوم برحسب ولت (V)

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

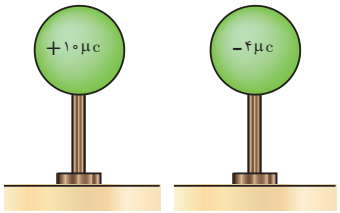


شکل ۱۳

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

الف) پتانسیل الکتریکی کره‌ها

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



شکل ۱۴

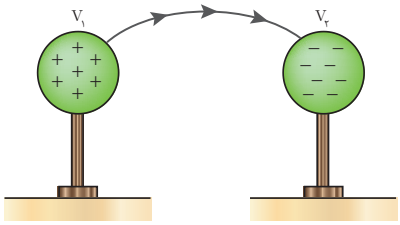
حل:

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

$$V_2=\frac{U_2}{q_2}=\frac{5\times10^{-3}}{-4\times10^{-6}}=-\frac{1}{25}\times10^{3}=-1250[V]$$

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

واحد یادگیری 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.

تحقیق کنید

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.

شدت جریان الکتریکی

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

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

که در این رابطه:
q بار الکتریکی شارش یافته 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.

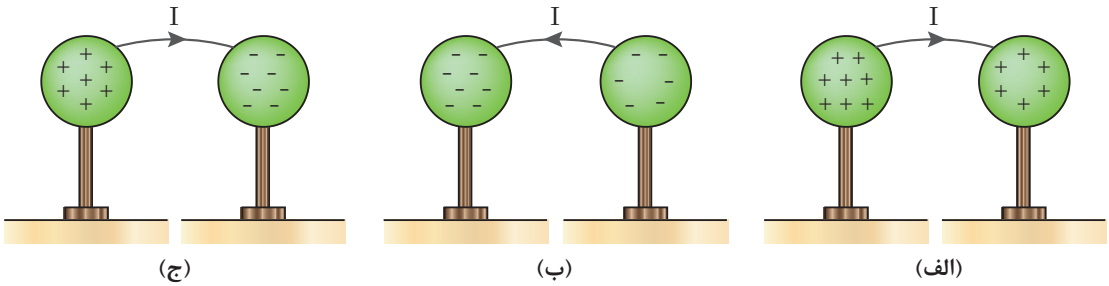
مثال: بار الکتریکی $4\mu c$ در مدت $0/02\ s$ میان دو نقطه شارش می‌کند. شدت جریان الکتریکی چند آمپر است؟

حل: از رابطه $I=\frac{q}{t}$ داریم:

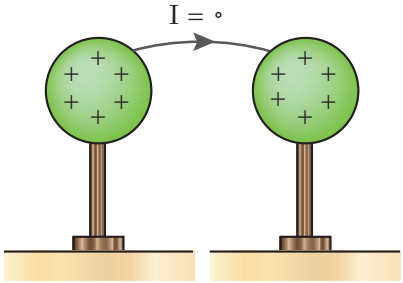
$$I=\frac{4\times10^{-6}}{0/02}=2\times10^{-4}[A]=0/2\,mA$$

جهت جریان الکتریکی

جهت جریان الکتریکی از پتانسیل بیشتر به پتانسیل کمتر می‌باشد و مادامی که اختلاف پتانسیل وجود داشته باشد جریان 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) جریان از کره پتانسیل بیشتر به کره با پتانسیل کمتر جاری می‌شود تا پتانسیل الکتریکی دو کره برابر شود (شکل ۱۸).

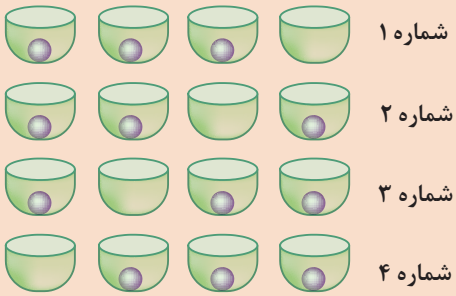
جهت جریان الکتریکی را می‌توان جهت حرکت بارهای مثبت از پتانسیل الکتریکی بیشتر به پتانسیل الکتریکی کمتر و یا جهت حرکت بارهای منفی از پتانسیل الکتریکی کمتر به پتانسیل الکتریکی بیشتر درنظر گرفت. توجه داشته باشید مقدار جریان الکتریکی اهمیت دارد نه جهت جریان الکتریکی.

فعالیت

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

فکر کنید

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



شکل ۱۹

آثار جریان الکتریکی

براساس قانون پایستگی انرژی، انرژی به‌وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود بلکه تنها از صورتی به صورت دیگر تبدیل می‌شود. انرژی پتانسیل الکتریکی با جاری شدن جریان الکتریکی به انرژی‌های دیگر تبدیل می‌شود. آثار جریان الکتریکی تولید گرما، نور، مغناطیس، حرکت و واکنش شیمیایی می‌باشد.

تولید گرما به‌وسیله جریان الکتریکی

جریان الکتریکی هنگام عبور از سیم، در آن مقداری گرما تولید می‌کند. این بدان علت است که مقداری انرژی مصرف می‌شود تا جریان از سیم عبور کند و این انرژی به صورت گرما ظاهر می‌شود. چون عبور جریان از یک هادی خوب آسان‌تر است، نتیجه می‌گیریم که در آن حرارت کمتری تولید می‌شود. شکل ۲۰ موارد استفاده اثر حرارتی الکتریسیته را نمایش می‌دهد.



شکل ۲۰

تولید نور به‌وسیله جریان الکتریکی

وقتی که از هادی‌های ضعیف جریانی عبور می‌کند، داغ می‌شوند و این گرما را به‌صورت 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 استفادهٔ آن را نیز در چراغ‌های معابر و لامپ‌های پرنور خودروها فروشگاه‌ها دیده‌اید.

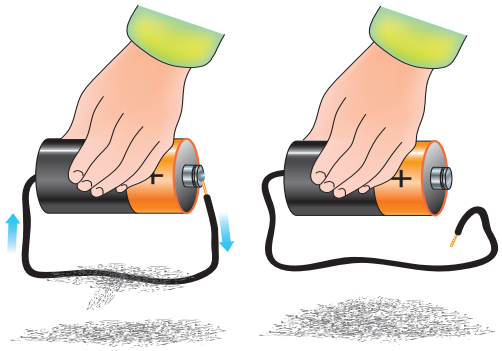
گازی مانند بخار جیوه هنگام حمل جریان الکتریکی یونیزه می‌شود و اشعهٔ ماورای بنفش از خود متصاعد می‌کند. این اشعه با لایه فسفرسانس (پودر سفیدرنگ چسبیده به جداره داخلی لامپ فلورسنت یا مهتابی) برخورد می‌کند و نور سفید می‌دهد (شکل ۲۲).



شکل ۲۲

تولید مغناطیس به‌وسیله جریان الکتریکی

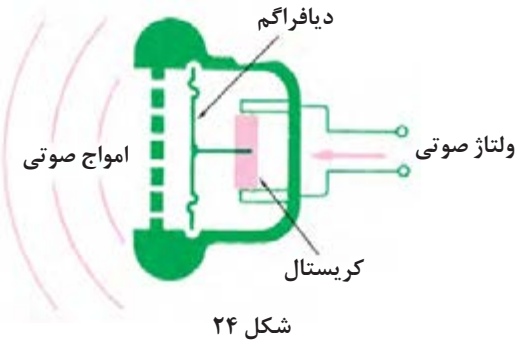
به خاصیت یک ماده در جذب یا دفع آهنربا «خاصیت مغناطیسی» می‌گویند. هر هادی که جریان الکتریکی از آن بگذرد، مانند یک آهنربا دارای خاصیت مغناطیسی عمل می‌کند. به این خاصیت، خاصیت مغناطیسی می‌گویند. در شکل ۲۳ هنگامی که جریان الکتریکی از سیم عبور کند، سیم مانند مغناطیس عمل می‌کند و براده‌های آهن را جذب می‌نماید،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



شکل ۲۳

تولید صدا به‌وسیله جریان الکتریکی

همان‌طور که نیرو در بعضی از کریستال‌ها خمش یا چرخش ایجاد می‌کند، اختلاف پتانسیل الکتریکی نیز باعث خمش یا چرخش در کریستال می‌شود و نیرو تولید می‌گردد. در شکل ۲۴ وقتی ولتاژ صوتی به کریستال‌های گوشی داده می‌شود، کریستال‌ها ارتعاش می‌کنند و دیافراگم را می‌لرزانند. در نتیجهٔ این امر، صدا از طریق گوشی شنیده می‌شود.



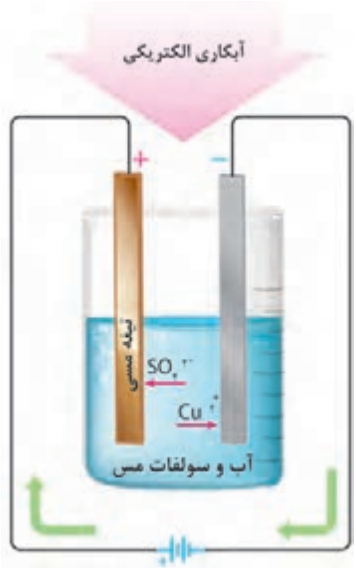
شکل ۲۴

تولید واکنش شیمیایی به‌وسیله جریان الکتریکی

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^{--}) تجزیه می‌شود. یون‌های مس به سمت الکترود منفی می‌روند و الکترون جذب می‌کنند ولی چون مس فلز است، به الکترود خواهد چسبید (شکل ۲۵).

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



شکل ۲۵

تحقیق کنید

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



پروفسورلطفی زاده در سال ۱۲۹۹شمسی متولد شد. دوران متوسطه را در مدرسه البرز تهران از دانش آموزان ممتاز بود، پس از آن در دانشگـاه 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 فوق‌لیسانس را در مهندسی برق دریافت کرد و در سال ۱۳۳۵ درجه دکتری خود را در رشته مهندسی برق از دانشگاه برکلی کلمبیا دریافت نمود و به استادان دانشگاه کلمبیا ملحق شد. در سال ۱۳۴۲ ریاست دپارتمان مهندسی برق دانشگاه برکلی را که بالاترین عنوان در رشته مهندسی است به‌عهده گرفت. به اعتقاد بسیاری، 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 به‌وجود می‌آید.

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

کاربرد منطق فازی در طبیعت:

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

تعمیق و تثبیت یادگیری

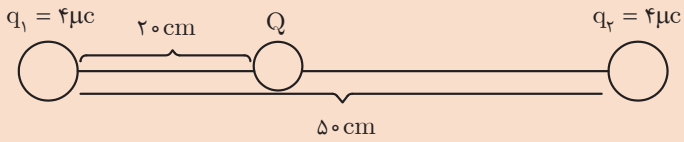
۱ عدد اتمی مس برابر ۲۹ می‌باشد. بار الکتریکی اطراف هسته چند کولن و چه نوعی می‌باشد؟

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

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

۴ دو بار الکتریکی مشابه $q = 5\mu c$ 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 $q_1 = 4\mu c$ و $q_2 = 9\mu c$ چه نیرویی بر بار $Q = 2\mu c$ وارد می‌شود؟ آیا می‌توان نیروی کولنی کل را به‌دست آورد؟



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

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

۸ دو بار همنام وقتی به فاصله d از یکدیگر واقع شوند، نیروی معین F را به هم وارد می‌کنند.
الف) اگر فاصله دو بار را نصف، دو برابر یا سه برابر کنیم، F به چه نسبتی تغییر خواهد کرد؟
ب) اگر در فاصله ثابت d اندازه یکی از بارهای الکتریکی را نصف یا دو برابر یا سه برابر کنیم، F به چه نسبتی تغییر می‌کند؟

۹ بار مثبت 5×10^{-7} کولنی وقتی در نقطه‌ای از یک میدان الکتریکی قرار گیرد، نیرویی برابر $0/04N$ بر آن وارد می‌شود. 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 $1000\frac{N}{C}$ است. اندازه نیروی وارد بر یک الکترون را وقتی که در این میدان قرار می‌گیرد، حساب کنید. بار الکتریکی الکترون را $e = 1/6\times10^{-9}(c)$ بگیرید.

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

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

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

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

۱۵ در اثر رعد و برق در مدت $2ms$ تعداد 5×10^{21} الکترون از تنه یک درخت عبور می‌کند. حساب کنید شدت جریان عبوری از آن چند آمپر است؟ جریان حاصل از این رعد و برق چند برابر جریان مصرفی یک خانه مسکونی است در صورتی که جریان مصرفی یک خانه مسکونی ۳۲ 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 الکتریسیته	۱ـ درک و تبیین قانون کولن و پتانسیل الکتریکی ۲ـ درک، تبیین و کاربرد 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 درحد بالاتر از انتظار
			در حد انتظار	۱ـ شناسایی ساختمان اتم ۲ـ مقایسه الکتریکی عناصر ۳ـ محاسبه شدت میدان الکتریکی ۴ـ تبیین پتانسیل الکتریکی ۵ـ استدلال شارش جریان الکتریکی ۶ـ محاسبه مقدار و جهت جریان الکتریکی ۷ـ شناسایی آثار جریان الکتریکی
			پایین‌تر از حد انتظار	درصورتی‌که 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 زیست‌محیطی)

شاخص‌ها	ضریب کیفیت عملکرد	شایستگی عملکرد هنرجو
مدیریت کیفیت ـ جمع‌آوری وگردآوری اطلاعات ـ رعایت ارگونومی ـ کنترل حفاظت الکتریکی و الکترونیکی تجهیزات ـ ایجاد محتوای الکترونیک ـ کاهش مصرف کاغذ ـ طراحی خلاقانه پوستر گرافیکی و گرافیک متحرک ـ رعایت انضباط فردی و کلاسی ـ پوشش مناسب ـ احترام به استاد و همکلاسی‌ها ـ 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 می‌شود. به شرط آنکه:

۱ سطح شایستگی هنرجو در هیچ مرحله ای کمتر از حد انتظار نباشد.

۲ هنرجو در شایستگی‌های غیرفنی و عمومی، شایستگی در حد انتظار یا بالاتر از حد انتظار را کسب کرده باشد.

توجه:

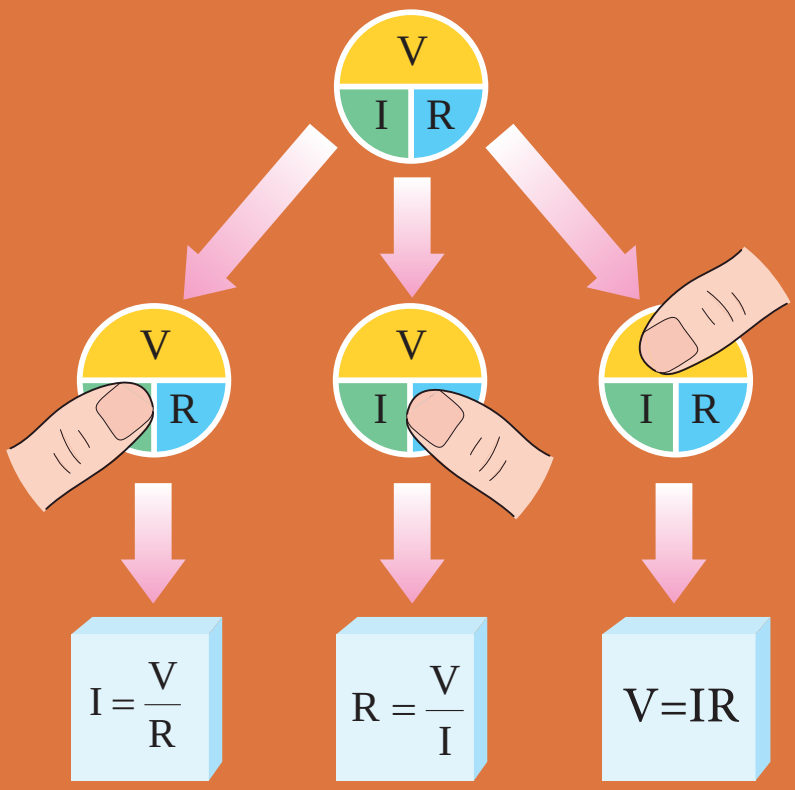
۱ اگر حتی در یک مرحله کاری شایستگی کمتر از حد انتظار کسب شود، منجر به عدم کسب شایستگی پودمان می‌شود.

۲ 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

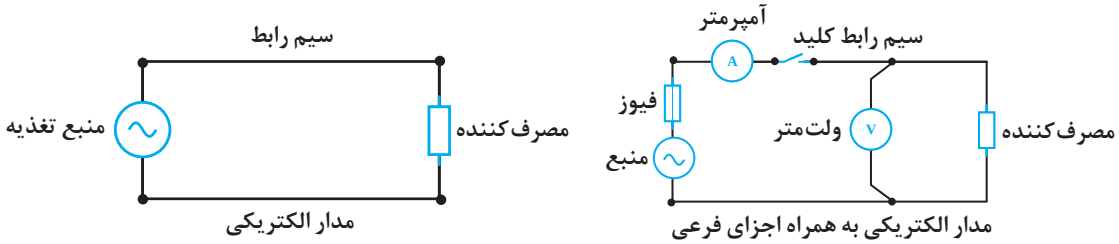
مسیری که در آن جریان الکتریکی برقرار می‌شود را «مدار الکتریکی» گویند. اجزای اصلی هر مدار الکتریکی[۱] عبارت است از:

۱ منبع تغذیه

۲ مصرف‌کننده

۳ سیم رابط

همچنین هر مدار الکتریکی می‌تواند شامل وسایل کنترلی نظیر کلید و یا تجهیزات حفاظتی نظیر فیوز و یا وسایل اندازه‌گیری الکتریکی نظیر آمپرمتر نیز باشد که آنها را به عنوان اجزای فرعی مدار الکتریکی می‌شناسند (شکل ۱).



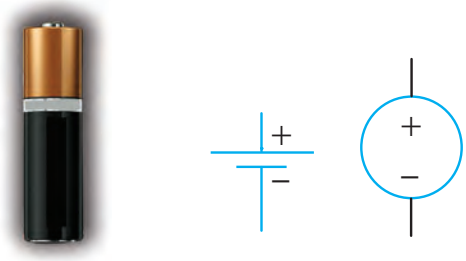
شکل ۱

منبع تغذیه

منبع تغذیه[۲] وظیفه تولید انرژی الکتریکی را برعهده دارد. نیروگاه‌های تولید برق و باتری‌ها منابع تغذیه‌ای هستند که در آنها سایر انرژی‌ها به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. منابع تغذیه به دو دسته تقسیم می‌شوند :

الف) منبع تغذیه جریان مستقیم

منبع تغذیه جریان مستقیم، منبعی است که جهت جریان آن تغییر نمی‌کند و آن را با حرف اختصاری DC نشان می‌دهند. ژنراتورهای جریان مستقیم، باتری‌ها و نیروگاه‌های خورشیدی از منابع تغذیه جریان مستقیم هستند. علامت اختصاری منبع تغذیه جریان مستقیم مطابق شکل ۲ـ الف است.



(ب) (الف)

شکل ۲

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 به‌صورت جریان متناوب تولید می‌شود. علامت اختصاری منبع تغذیه جریان متناوب مطابق شکل ۳ـ الف است.



(الف)



(ب)

شکل ۳

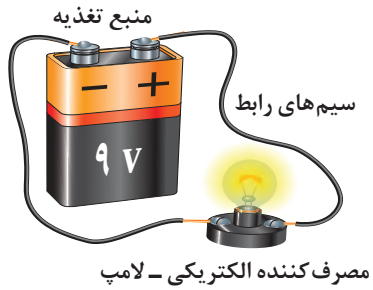
مصرف‌کننده الکتریکی



شکل ۴

مصرف‌کننده 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).

سیم رابط



مصرف‌کننده الکتریکی ـ لامپ

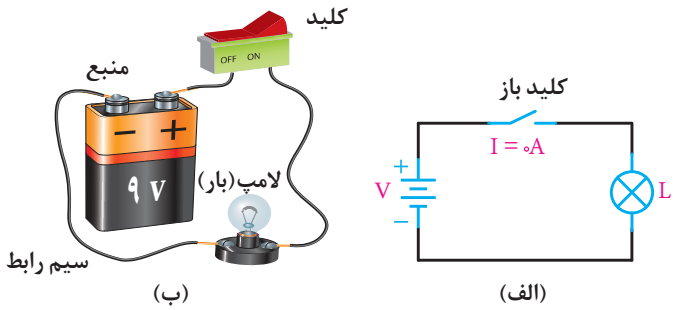
شکل ۵

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

۱. Electrical Load

کلید

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



شکل ۶

مقاومت الکتریکی



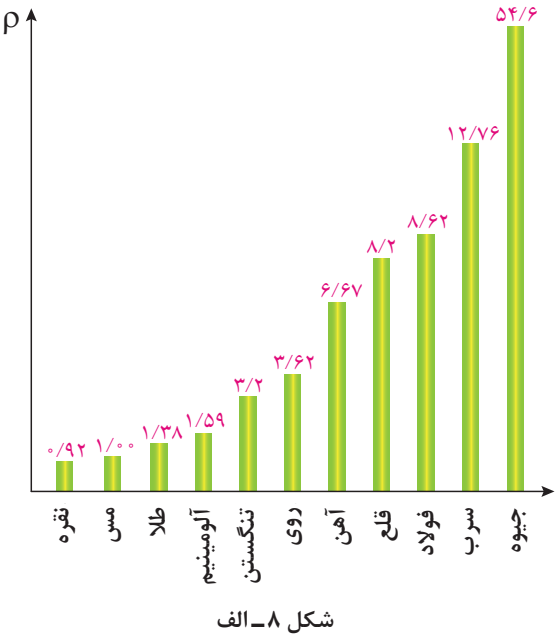
شکل ۷ـ گئورگ سیمون اهم

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

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



شکل ۸ـ الف

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

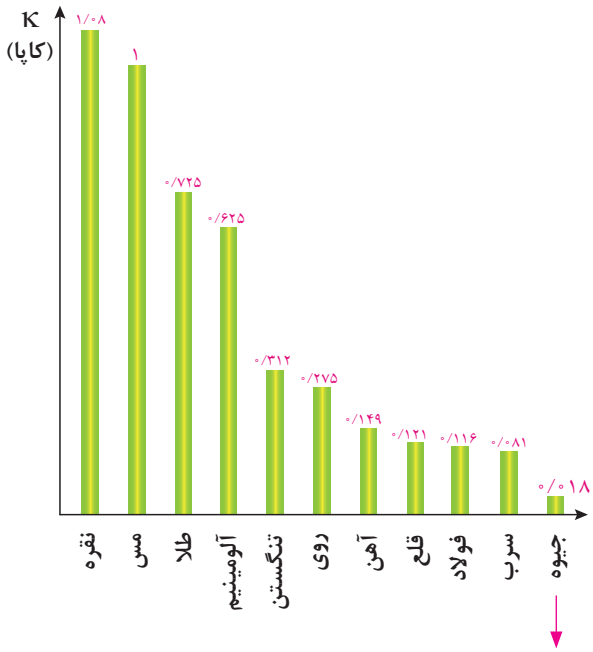
بین مقاومت الکتریکی مخصوص با هدایت الکتریکی مخصوص رابطه زیر برقرار است.

$$\rho = \frac{۱}{\kappa}$$

که در این رابطه :

ρ مقاومت الکتریکی مخصوص $\left[\frac{\Omega mm^۲}{m}\right]$

κ هدایت الکتریکی مخصوص $\left[\frac{m}{\Omega mm^۲}\right]$



این عدد یعنی هدایت الکتریکی ۰/۰۱۸ جیوه هدایت الکتریکی مس است.

شکل ۸ ـ ب

عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی

عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی هادی‌ها عبارت‌اند از :

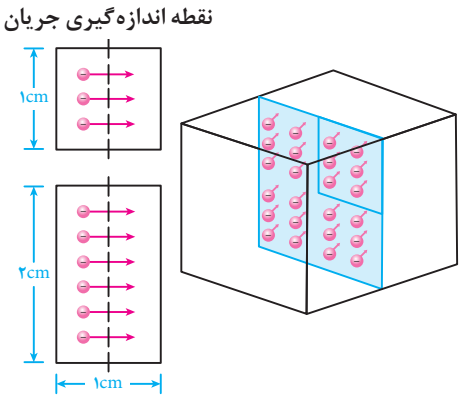
- سطح مقطع
- طول
- جنس
- دما

تأثیر سطح مقطع هادی بر مقاومت الکتریکی

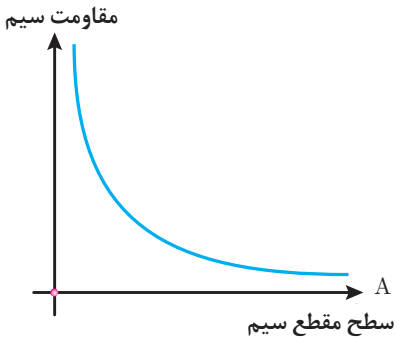
مقدار جریان الکتریکی به تعداد الکترون‌های آزاد موجود در سیم بستگی دارد ؛ بنابراین با افزایش سطح مقطع هادی تعداد الکترون‌های آزاد بیشتر می‌شود تا مقدار بیشتری جریان الکتریکی بتواند از آن عبور کند.

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 به‌کار 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.

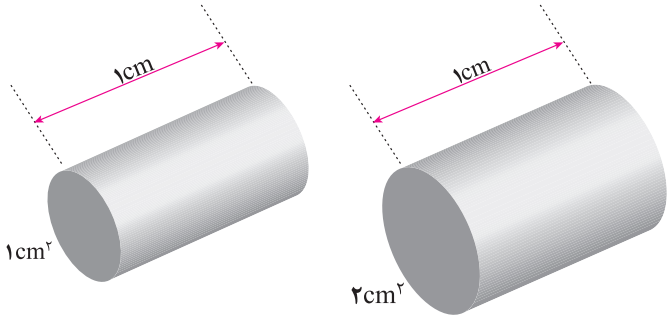


شکل ۹



شکل ۱۰

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).

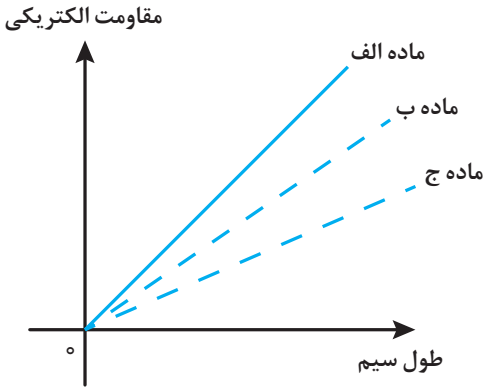


شکل ۱۱

تأثیر طول هادی بر مقاومت الکتریکی

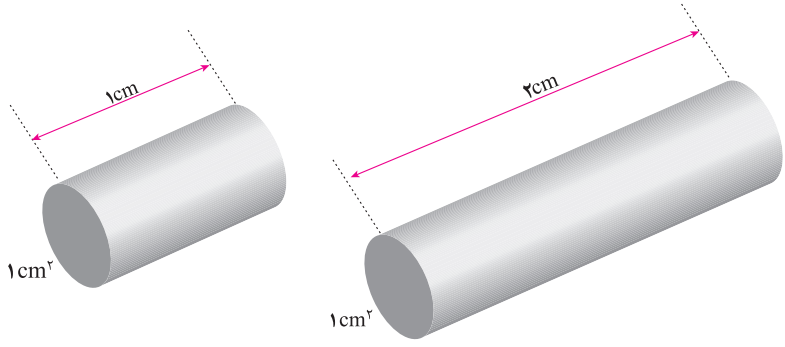
مسلماً تعداد برخوردهای الکترون‌ها با یکدیگر و جداره هادی در طول مسیر بیشتر، افزایش خواهد یافت و همین امر موجب افزایش مقاومت الکتریکی سیم می‌شود. درواقع هر طول معین از هادی، مقدار معینی مقاومت الکتریکی دارد و هرچه سیم طویل‌تر باشد، مقاومت الکتریکی آن نیز بیشتر است.

شکل ۱۲ تغییرات مقاومت برحسب 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.



شکل ۱۲

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 به‌دست می‌آید.

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

در این رابطه:

R مقاومت الکتریکی سیم برحسب اهم $[\Omega]$

L طول سیم برحسب متر $[m]$

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

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

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

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

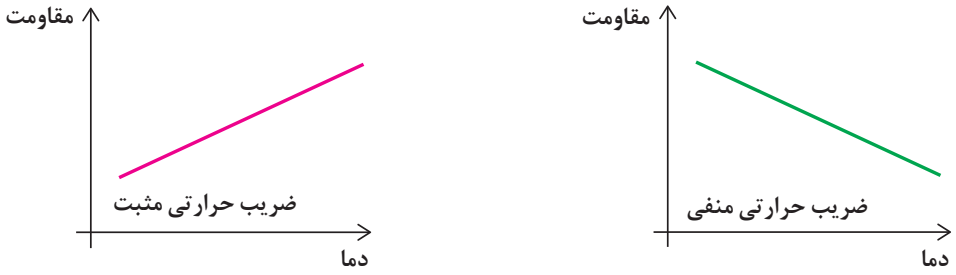
$$R = \frac{L}{\kappa.A} = \frac{112}{56\times 4} = 0/5[\Omega]$$

مثال: برای ساختن یک مقاومت الکتریکی ۱۰ اهمی، چند متر سیم آلومینیومی با سطح مقطع $1/5\ mm^2$ مورد نیاز است؟ $\kappa_{AL} = 35\left[\frac{m}{\Omega.mm^2}\right]$

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

اثر حرارت بر مقاومت الکتریکی

آنچه در مورد مقاومت گفته شد، همه در دمای اتاق صادق است. در دماهای کمتر یا بیشتر، مقدار مقاومت کلیه فلزات تغییر می‌کند. تغییر مقاومت بر اثر حرارت در فلزات مختلف متفاوت است، تغییرات واحد مقاومت الکتریکی به ازای یک درجه سانتی‌گراد را ضریب حرارتی می‌گویند و آن را با (α) نمایش می‌دهند ؛ برای مثال اگر $\alpha = ۰/۰۰۴$ باشد یعنی اینکه واحد مقاومت آن جسم به ازای یک درجه سانتی‌گراد ۰/۰۰۴ اهم افزایش یا کاهش می‌یابد. اگر مقاومت الکتریکی جسمی بر اثر حرارت افزایش یابد، ضریب حرارتی (α) مثبت و در صورت کاهش مقاومت، ضریب حرارتی(α) منفی خواهد بود (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 به‌دست می‌آید:

$$R = R_{۰}(۱ + a\Delta\theta)$$

که در این رابطه:

$R_{۰}$ مقاومت اولیه رسانا برحسب اهم $[\Omega]$

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

α ضریب حرارتی برحسب $\left[\frac{۱}{^{\circ}C}\right]$

$\Delta\theta=\theta_{۲}-\theta_{۱}$ تغییرات دمای رسانا برحسب درجه سانتی‌گراد $[^{\circ}C]$ است.

مثال: مقاومت الکتریکی سیمی در صفر درجه سانتی گراد $۲\,\Omega$ اهم است. اگر دمای سیم به ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد برسد، مقاومت الکتریکی آن چند اهم می‌شود؟ $(a = ۰/۰۰۴\frac{۱}{^{\circ}C})$

حل:

$$R_{۰} = ۲\Omega$$
$$\Delta\theta = \theta_{۲} - \theta_{۱} = ۱۰۰ - ۰ = ۱۰۰^{\circ}C$$
$$R = R_{۰}(۱ + \alpha\,\Delta\theta)$$
$$R = ۲(۱ + ۰/۰۰۴ \times ۱۰۰)$$
$$R = ۲/۸[\Omega]$$

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 $R = \frac{V}{I}$ به‌دست می‌آید.

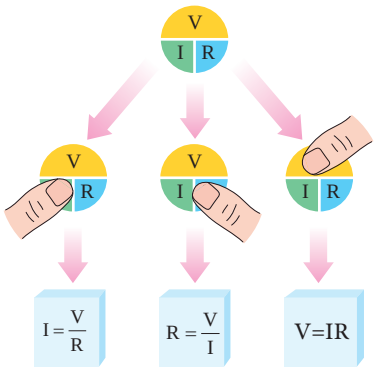
که در این رابطه :

V اختلاف پتانسیل دو سر هادی [v]

I شدت جریان هادی [A]

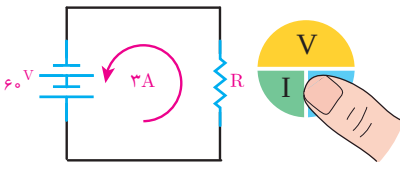
R مقاومت الکتریکی [Ω]

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 به‌راحتی به‌دست می‌آید.



شکل ۱۵

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

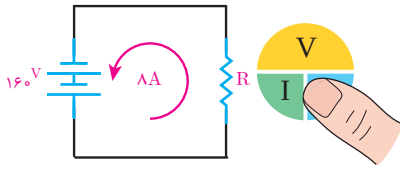


شکل ۱۶

$$R = \frac{V}{I} = \frac{۶۰}{۳}$$

$$R = ۲۰[\Omega]$$

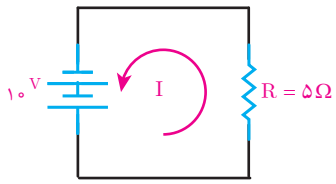
مثال: اگر در مدار شکل ۱۷ بخواهیم شدت جریان مدار ۸ آمپر شود، چه مقاومتی باید در مدار قرار گیرد؟



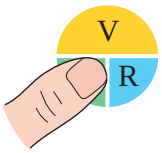
شکل ۱۷

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

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؟



شکل ۱۸

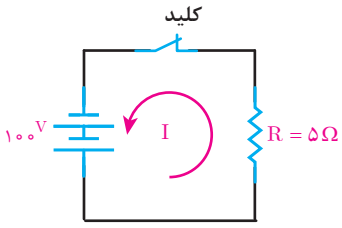


شدت جریان مدار با استفاده از قانون اهم محاسبه می‌شود.

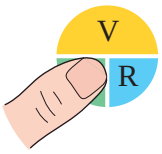
$$I = \frac{V}{R} = \frac{۱۰}{۵}$$

$$I = ۲A$$

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



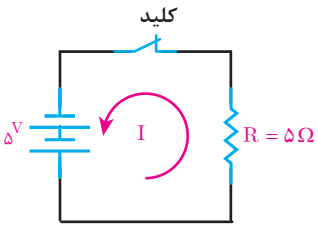
شکل ۱۹



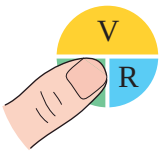
شدت جریان مدار با استفاده از قانون اهم محاسبه می‌شود.

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

مثال: شدت جریان الکتریکی مدار شکل ۲۰ را به‌دست آورید.



شکل ۲۰

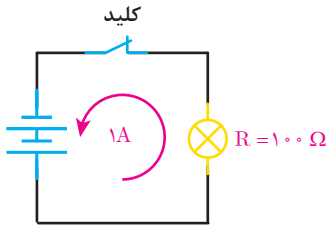


$$I = \frac{V}{R} = \frac{۵}{۵} = ۱[A]$$

فعالیت کلاسی

با مقایسه نتایج دو مثال قبل چه نتیجه‌ای می گیرید؟

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



شکل ۲۱



$$V = I.R = ۱ \times ۱۰۰$$

$$V = ۱۰۰[V]$$

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؟



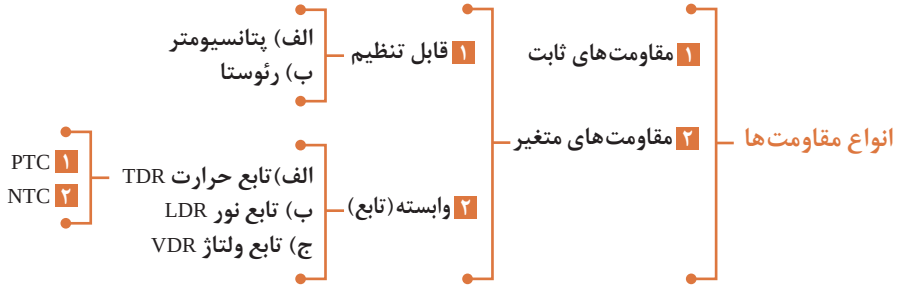
$$V = I.R = ۰/۵ \times ۱۰۰$$

$$V = ۵۰V$$

$$۱۰۰ - ۵۰ = ۵۰[V]$$

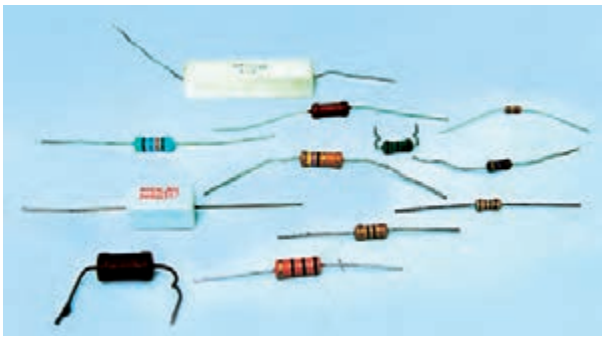
واحد یادگیری ۲
شناخت انواع مقاومت الکتریکی و توان الکتریکی

در مدارهای الکتریکی و الکترونیکی از قطعه‌ای به‌نام مقاومت الکتریکی برای کنترل جریان یا ولتاژ استفاده می‌شود. انواع مقاومت‌های الکتریکی به‌صورت 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.

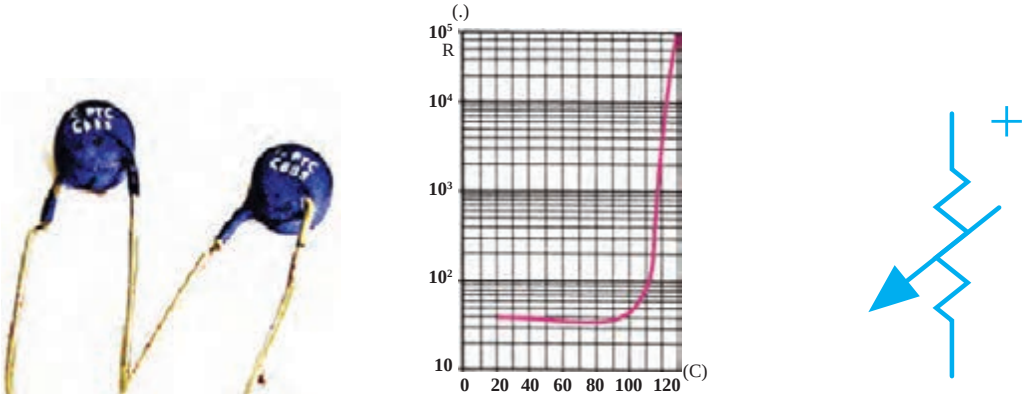
مقاومت تابع حرارت (ترمیستور[۱])

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. Tehrmally sensitive resistor = THERMISTOR

در مدارها به‌صورت حس کننده‌های[1] حرارتی در مسیر دستگاه‌های الکتریکی نظیر موتورهای الکتریکی، کوره‌ها، سیستم‌های تهویه و تبرید استفاده می‌شود. به‌طور کلی ترمیستورها در مداراتی که دما را اندازه‌گیری یا کنترل می‌کنند به‌کار می‌روند و در دو نوع ساخته می‌شوند:

ترمیستور با ضریب حرارتی مثبت[2] (PTC): PTC نوعی ترمیستور است که با افزایش دما مقدار مقاومت آن افزایش می‌یابد. مقدار اهم مقاومت‌های PTC را در دمای $25^{\circ}C$ بیان می‌کنند. همچنین علاوه بر این مقدار، دمایی را که در آن مقاومت PTC دو برابر می‌شود، قید می‌کنند. به این دما «دمای سوئیچ» می‌گویند. منحنی تغییرات مقاومت نسبت به حرارت PTC به همراه تصویر چند نمونه از آن در شکل ۲۳ نشان داده شده است.

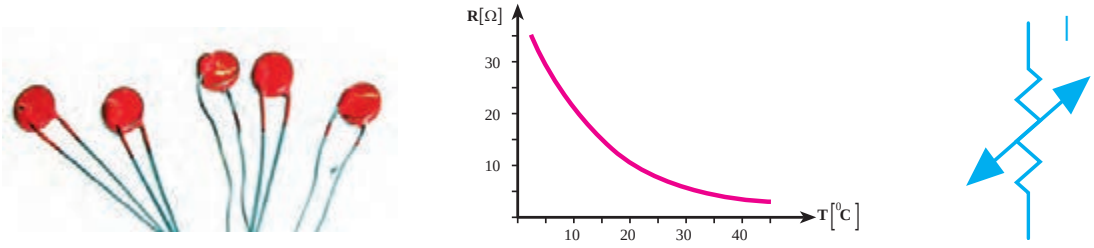


(ج) ب) منحنی مقاومت ـ حرارت یک ترمیستور PTC (الف)

شکل ۲۳

ترمیستور با ضریب حرارتی منفی[3] (NTC): NTC نوعی ترمیستور است که با افزایش دما مقدار مقاومتش کاهش می‌یابد، یعنی این نوع مقاومت‌ها دارای ضریب حرارتی منفی هستند. در انتخاب مقاومت‌های NTC به ماکزیمم قدرت مجاز مقاومت نیز باید توجه کرد. منحنی تغییرات مقاومت نسبت به تغییرات دما در NTC به‌صورت غیرخطی و نزولی است.

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



(ج) (ب) (الف)

شکل ۲۴

۱. Sensor
۲. PTC = Positive Temperature Coefficient
۳. NTC = Negative Temperature Coefficient

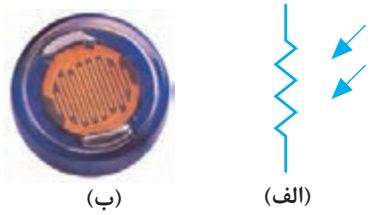
تحقیق کنید

در چه مواردی نمی‌توان NTC یا PTC را به‌جای هم به‌کار برد؟ کاربردهای عملی هرکدام را گزارش دهید.

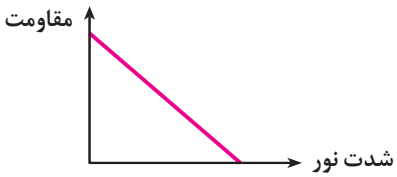
مقاومت‌های تابع نور (LDR)[1]

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 مگااهم) و در روشنایی دارای مقاومت کم (در حد کیلو یا اهم) است. مقاومت‌های LDR را «فتورزیستور» هم می‌نامند. برای اینکه نور روی عنصر مقاومتی فتورزیستور اثر گذارد معمولاً سطح ظاهری آن را با شیشه یا پلاستیک شفاف می‌پوشانند. 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 به‌عنوان تشخیص‌دهندهٔ نور(نورسنج) استفاده می‌شود. از جمله کاربردهای این مقاومت استفادهٔ آن در دوربین‌های عکاسی و کلیدهای نوری و چشم‌های الکترونیکی است.



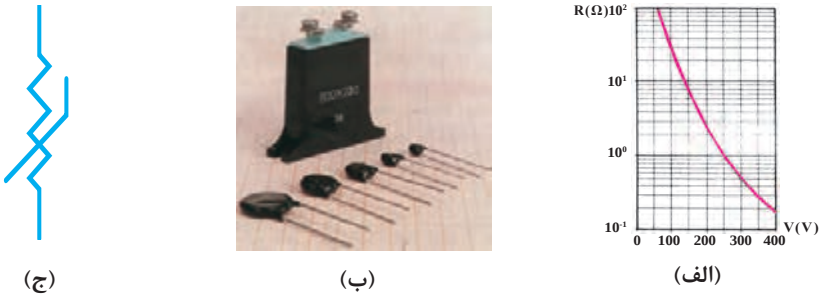
شکل ۲۵ــ نمای ظاهری و علامت اختصاری یک فتورزیستور



شکل ۲۶

مقاومت‌های تابع ولتاژ (VDR)[2]:

مقاومت‌های تابع ولتاژ (VDR) مقاومت‌هایی هستند که متناسب با تغییر ولتاژ مقاومت آنها تغییر می‌کند تا همواره ولتاژ یکسانی در مدار وجود داشته باشد. مقاومت VDR را تحت عنوان «واریستور»[3] نیز می‌شناسند. مقدار اهم این مقاومت‌ها با ولتاژ رابطهٔ معکوس دارد؛ یعنی با افزایش ولتاژ مقدار اهم آنها کاهش می‌یابد. شکل ظاهری چند واریستور به همراه منحنی مشخصهٔ تغییرات مقاومت نسبت به ولتاژ آنها در شکل ۲۷ نشان داده شده است. واریستورها به پلاریته ولتاژ اعمال شده وابسته نیستند که این خود مزّیتی برای این نوع مقاومت‌ها محسوب می‌شود، زیرا برای استفاده در مدارات AC بسیار مناسب هستند.



شکل ۲۷ــ منحنی مقاومت ــ ولتاژ یک واریستور و نمای ظاهری چندواریستور مختلف

۱. LDR = Light Dependent Resistor
۲. VDR = Voltage Dependent Resistor
۳. VARISTOR

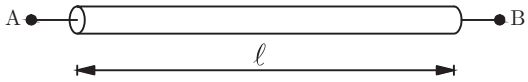
مقاومت متغیر قابل تنظیم

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



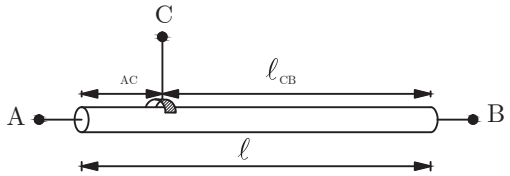
شکل ۲۸

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.



شکل ۲۹

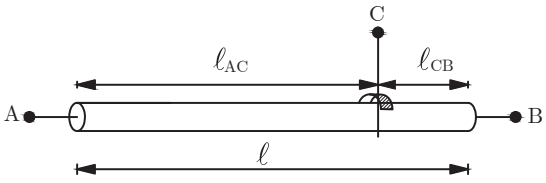
مقاومت الکتریکی بین سری‌های A و B متناسب با طول، سطح مقطع و جنس سیم مقدار مشخصی دارد. یک لغزنده مطابق شکل ۳۰ با سیم تماس داده شده است.



شکل ۳۰

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

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



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.

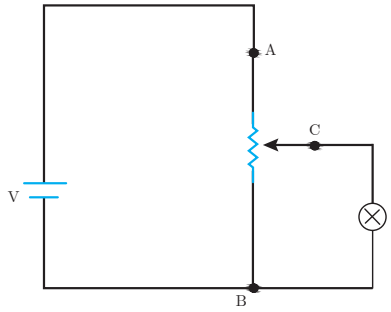
مقاومت الکتریکی متغیر در مدارهای الکتریکی مطابق شکل ۳۲ نشان داده می‌شود.



شکل ۳۲

پتانسیومتر

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

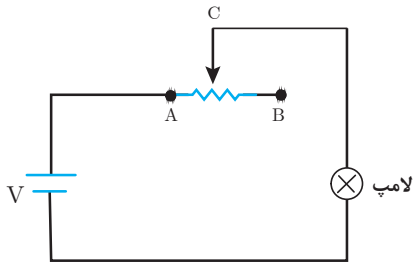


شکل ۳۳

از پتانسیومتر برای تغییر ولتاژ بین سرهای C و B براساس تقسیم ولتاژ بین سرهای AC و CB استفاده می‌کنند. در شکل ۳۳ با جابه‌جایی لغزنده ولتاژ لامپ تغییر و متناسب آن نور تغییر می‌کند.

رئوستا

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



شکل ۳۴

از رئوستا برای تغییر جریان استفاده می‌شود. در شکل ۳۴ با جابه‌جایی لغزنده جریان لامپ تغییر می‌نماید و متناسب آن افت ولتاژ دو سر لامپ و نور لامپ تغییر می‌کند.

تحقیق کنید

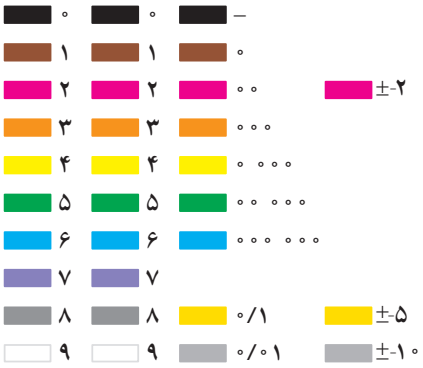
در مورد کاربردهای رئوستا و پتانسیومتر تحقیق کنید و گزارشی تصویری در مورد تفاوت آنها تهیه کنید.

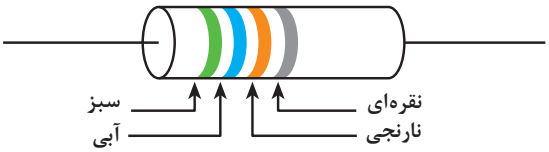
تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از نوارهای رنگی

در این روش مقدار مقاومت و تلرانس را به وسیلهٔ نوارهای رنگی مشخص می‌کنند.
در این روش از دو رنگ اول برای عدد، رنگ سوم برای ضریب و رنگ چهارم برای تلرانس استفاده می‌شود. چنانچه مقاومت، رنگ چهارم نداشته باشد بی‌رنگ محسوب شده و تلرانس آن را ۲۰٪ درنظر می‌گیریم.

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

حل: $۵۶ \times ۱۰^{۳} = ۵۶K\Omega \pm ۱۰$





شکل ۳۵

کار الکتریکی

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

انرژی در مقاومت الکتریکی به حرارت تبدیل می‌شود و از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$W = RI^{۲}t$$

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 ۵۵اهم است جریان ۴آمپر می‌گذرد. در مدت ۲ دقیقه چه مقدار انرژی الکتریکی به حرارت تبدیل می‌شود؟

با استفاده از رابطه مقابل داریم: $W = RI^{۲}t$

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

انرژی الکتریکی مصرفی علاوه‌بر یکای اندازه‌گیری ژول برحسب کیلووات‌ساعت و مگاوات‌ساعت نیز بیان می‌شود.

فکر کنید

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

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

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

حل: بهای هر kwh × انرژی الکتریکی مصرفی [kwh] = قیمت انرژی الکتریکی مصرفی

۸۰۰ × ۴ = ۳۲۰۰ ریال = 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 به‌دست می‌آید.

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

که در این رابطه:

P توان الکتریکی [W]

W کار الکتریکی [J]

t زمان [s] است.

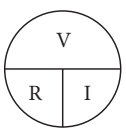
رابطه توان به شکل‌های زیر نیز اثبات می‌شود.

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

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

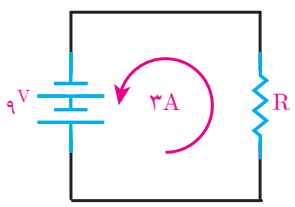
$$P = VI = V.\frac{V}{R} = \frac{V^2}{R}$$

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



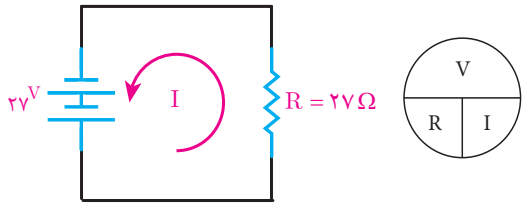
$$R = \frac{V}{I} = \frac{۹}{۳} = ۳[\Omega]$$

$$P = VI = ۹ \times ۳ = ۲۷[W]$$



شکل ۳۶

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



شکل ۳۷

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

$$P = RI^{۲} = ۲۷ \times ۱^{۲} = ۲۷w$$

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

$$P = V.I \Rightarrow ۱۰ = ۳ \times I \Rightarrow I = \frac{۱۰}{۳} = ۳/۳۳\,mA$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{۳}{۳/۳۳} = ۰/۹K\Omega$$

پروفسور کارو لوکاس (لوکس)، پدر علم روباتیک



در شهریور ماه ۱۳۲۸ درشهر اصفهان متولد و در تیرماه ۱۳۸۹ وفات یافت. وی تحصیلات متوسطهٔ خود را در دبیرستان ارامنه تهران (کوشش) گذراند و در سال ۱۳۵۲ با شایستگی، موفق به اخذ کارشناسی ارشد در رشته مهندسی کنترل از دانشگاه تهران شد.
نبوغ ذاتی او چنان عیان شده بود که در توصیه نامهٔ علمی ایشان، استاد وی خطاب به دانشگاه‌های پرآوازهٔ آمریکا نوشت: اگر کارو را در دانشگاه خود نپذیرید، دیوانه‌اید.
دکترای خود را در رشته کنترل سیستم‌ها با گرایش اقتصاد مالی در سال ۱۳۵۵ از دانشگاه برکلی آمریکا 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 قرارداده بود. وی جهت حرکت علم را به خوبی تشخیص و خود را در پیشاپیش این حرکت قرار می‌داد تا دانشگاه تهران را در زمره دانشگاه‌های پیشرفتهٔ جهان معرفی نماید. تدریس حسابگری زیستی را می‌توان به عنوان مصداق ذکر کرد.
ادامه پژوهش‌های وی به سیستم‌های هوشمند و روباتیک متمایل گردید و به حق و شایستگی پدر علم روباتیک ایران لقب گرفت. اگرچه عشق و علاقه پروفسور کارلوکس به ایران و دانشگاه تهران مثال زدنی بود اما نگاه نافذش از لزوم همکاری‌های علمی و پژوهشی بین‌المللی هرگز غافل نماند. ایشان به عنوان استاد مدعو ایرانی در دانشگاه‌های آمریکا، کانادا، ایتالیا،چین، ارمنستان و آلمان تدریس نمود و در پژوهش‌های مشترک تأثیرگذار بود، پروفسور کارولوکس استاد نمونه، چهره ماندگار مهندسی برق، برنده جشنواره‌های خوارزمی، ابن سینا و استاد برگزیده ایرانی توسط Elsevier-Scopus معرفی گردید.
اما هیچ‌یک از این القاب و عناوین در برابر صفات و فضایل انسانی استاد ارزش چندانی ندارد. چهره مردانه او همیشه بشاش، متبسم، نگاهش جذاب اما مصمم و مهربان به خصوص با دانشجویانش بود.

تعمیق و تثبیت یادگیری

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

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

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

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

الف) مقاومت الکتریکی آن را بیابید.

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

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

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

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

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

۷ اگر دانش‌آموزی هنگام خاموش بودن لامپ رشته‌ای مقاومت آن را اندازه‌گیری کند و بار دیگر وقتی لامپ روشن است مقاومت الکتریکی آن را محاسبه کند آیا مقادیر به‌دست آمده یکسان است؟ چرا؟

۸ به یک مقاومت ۶۰اهمی ولتاژی برابر ۳۶ولت داده شده است. چه جریانی از این مقاومت عبور می‌کند؟

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

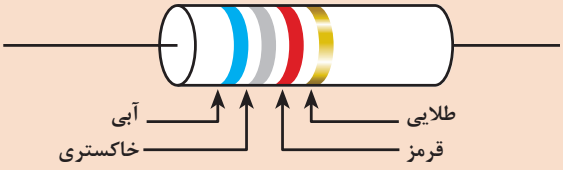
۱۰ مقاومت الکتریکی یک لامپ $150[\Omega]$ است. ولتاژی برابر ۱۲۰ولت به آن داده می‌شود. مقدار جریان عبوری را حساب کنید.

۱۱ با یک لامپ و یک منبع ولتاژ و یک آمپرمتر مداری تشکیل داده‌ایم . اگر منبع ولتاژ را ۲۴ولت اختیار کنیم، آمپرمتر مقدار ۱/۵ آمپر را نشان خواهد داد. مقاومت الکتریکی مدار را تعیین کنید. اگر به جای منبع ۲۴ ولتی، منبع ولتاژ ۳۶ولتی قرار دهیم، آمپرمتر چه مقداری را نشان خواهد داد؟

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

۱۳ حداکثر ولتاژی که یک مقاومت ۲۲/۵اهمی می‌تواند تحمل کند ۱۲۰ولت است. اگر جریانی به شدت ۱۰آمپر از آن بگذرد آیا این مقاومت تحمل این جریان را خواهد داشت؟ چرا؟

۱۴ مقدار مقاومت شکل مقابل را تعیین کنید.



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

۱۶ مقاومت الکتریکی قسمت گرماده یک وسیله حرارتی $80[\Omega]$ می‌باشد، حساب کنید اگر جریان الکتریکی عبوری از آن $4A$ باشد، در مدت زمان ۵ دقیقه انرژی الکتریکی مصرفی آن چند ژول و چند کیلوژول می‌باشد؟

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

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

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

۱۸ اگر لامپ‌های تمرین ۴ را با لامپ‌های کم مصرف LED با توان ۱۸ و ۲۵وات را به ترتیب جایگزین لامپ‌های ۵۰۰ واتی و ۱۰۰۰واتی 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	۱ـ درک و تبیین مقاومت الکتریکی و کاربرد قانون اهم ۲ـ 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 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	۱ـ اجزای مدار الکتریکی را نشان دهد. ۲ـ با استدلال تأثیر عوامل فیزیکی بر مقاومت الکتریکی را بیان کند ۳ـ محاسبه مقاومت الکتریکی براساس قانون اهم ۴ـ کاربرد و ویژگی‌های انواع مقاومت‌های الکتریکی را بیان نماید. ۵ـ بهای انرژی الکتریکی مصرفی را محاسبه نماید.
			پایین‌تر از حد انتظار	درصورتی‌که هنرجو همه شاخص‌های در حد 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 زیست‌محیطی)

شاخص‌ها	ضریب کیفیت عملکرد	شایستگی عملکرد هنرجو
مدیریت کیفیت ـ جمع‌آوری وگردآوری اطلاعات ـ رعایت ارگونومی ـ کنترل حفاظت الکتریکی و الکترونیکی تجهیزات ـ ایجاد محتوای الکترونیک ـ کاهش مصرف کاغذ ـ طراحی خلاقانه پوسته گرافیکی و گرافیک متحرک ـ رعایت انضباط فردی و کلاسی ـ پوشش مناسب ـ احترام به استاد و همکلاسی‌ها ـ 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 می‌شود. به شرط آنکه:

۱ سطح شایستگی هنرجو در هیچ مرحله ای کمتر از حد انتظار نباشد.

۲ هنرجو در شایستگی‌های 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 می‌شود.

۲ 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 سوم

اتصالات سری و موازی مقاومت‌های الکتریکی



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

واحد یادگیری ۱
تحلیل اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی

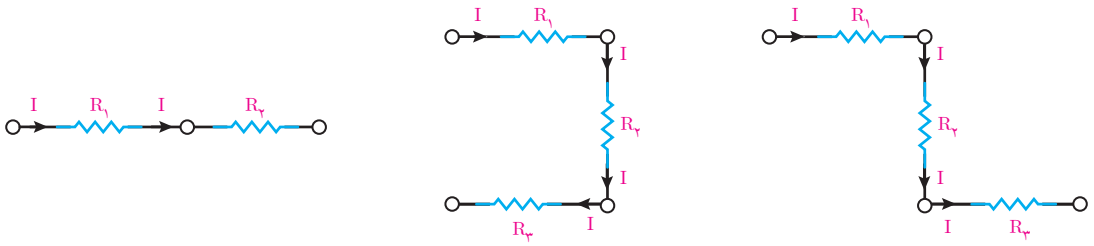
اتصال بین مقاومت‌هایی که در مدار الکتریکی قرار می‌گیرند به سه شکل امکان‌پذیر است:

- اتصال سری
- اتصال موازی
- اتصال سری ـ موازی

که در ادامه به هریک از آنها پرداخته می‌شود.

اتصال سری

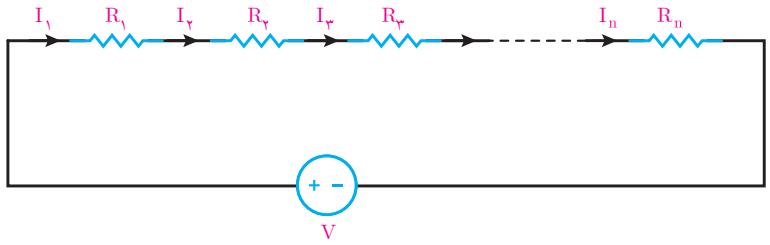
اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی بین دو یا چند مقاومت به شرطی ایجاد می‌شود که جریان عبوری هریک از مقاومت‌ها با هم یکسان باشد. در اتصال سری یک سر مقاومت‌های الکتریکی به یکدیگر اتصال می‌یابد (شکل ۱).



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.

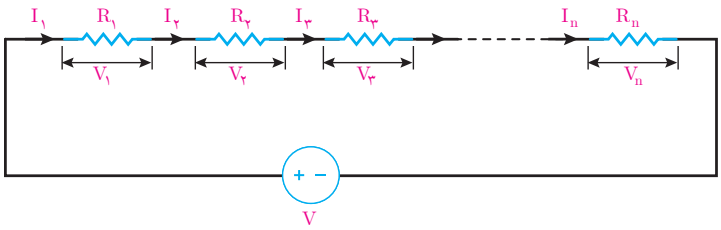


شکل ۲

همان‌طور که از شکل برمی‌آید می‌توان نوشت:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \cdots = I_n$$

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 به‌دست می‌آیند.

جریان × مقاومت = ولتاژ

$V_۱ = R_۱I_۱$

$V_۲ = R_۲I_۲$

⋮

$V_n = R_nI_n$



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

$I = I_۱ = I_۲ = I_۳ = \cdots = I_n$

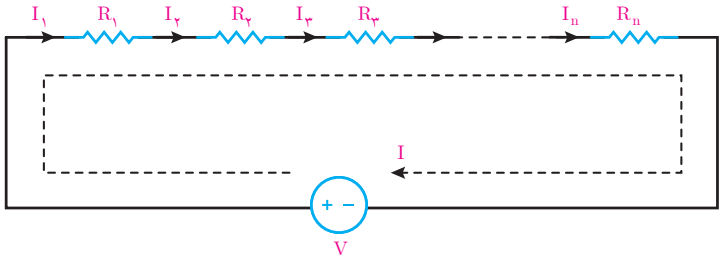
و روابط افت ولتاژ دو سر هر مقاومت را با جایگزینی I به‌صورت زیر می‌توان نوشت:

$V_۱ = R_۱I$

$V_۲ = R_۲I$

⋮

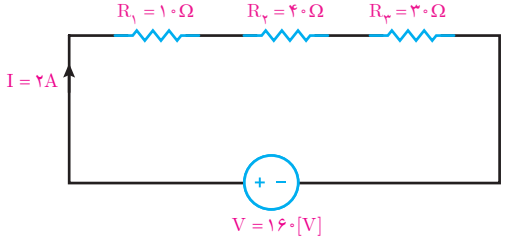
$V_n = R_nI$



شکل ۴

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

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



شکل ۵

حل: مقاومت‌های R_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 × 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[1] ولتاژها در هر مسیر بسته صفر است».

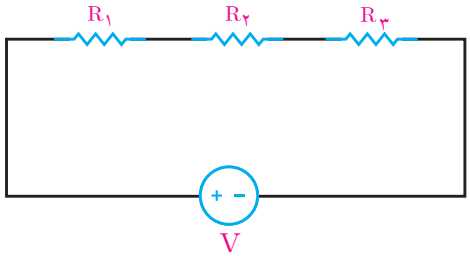
برای نوشتن رابطه قانون ولتاژ کیرشهف یا KVL به صورت زیر عمل می‌شود:

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.

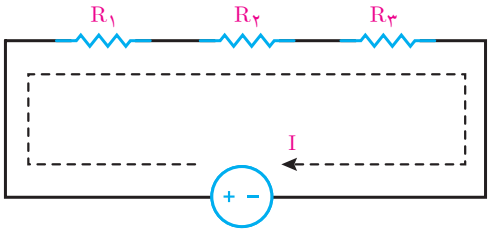
۳ اگر جریان حلقه I به پلاریته (+) منبع وارد شود ولتاژ منبع V با علامت مثبت نوشته می‌شود و اگر جریان حلقه I به پلاریته (−) منبع وارد شود ولتاژ منبع V را با علامت منفی می‌نویسند.

اکنون در مدار شکل ۶ قانون ولتاژ کیرشهف اعمال می‌شود.



شکل ۶

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



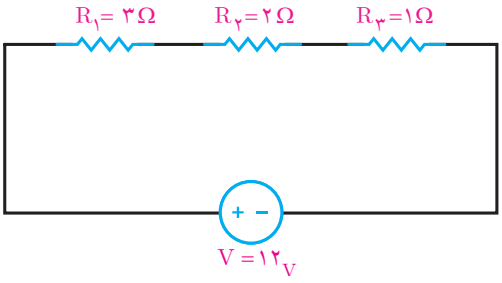
شکل ۷

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.

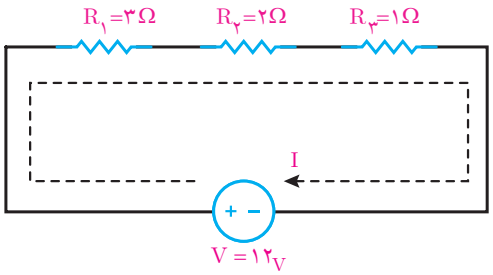
$$KVL) \quad -V + R_1 I + R_2 I + R_3 I = 0$$

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 به‌دست آورید.



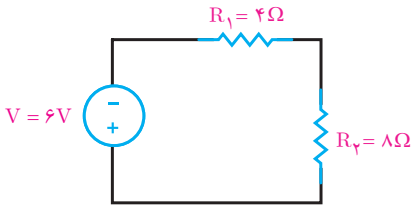
شکل ۹

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

اکنون قانون ولتاژ کیرشهف نوشته می‌شود.

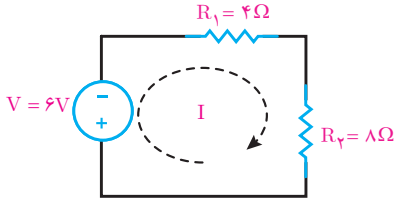
$$KVL)\ -V + R_۱I + R_۲I + R_۳I = ۰$$
$$-۱۲ + ۳I + ۲I + ۱I = ۰$$
$$-۱۲ + ۶I = ۰$$
$$۶I = ۱۲$$
$$I = \frac{۱۲}{۶} = +۲[A]$$

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



شکل ۱۰

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



شکل ۱۱

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

اکنون قانون کیرشهف نوشته می‌شود.

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

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

$+6 + 12I = 0$

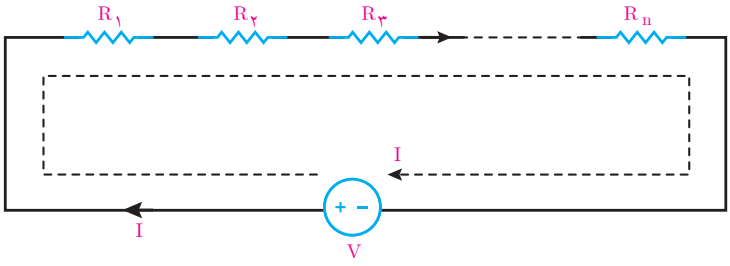
$12I = -6$

$I = \frac{-6}{12} = -0/5[A]$

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).



شکل ۱۲

برای مدار KVL نوشته می‌شود

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

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

از I فاکتور گرفته می‌شود:

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

طرفین رابطه بر I تقسیم می‌شود.

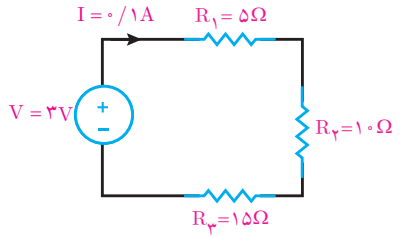
$\frac{V}{I} = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n$

نسبت $\frac{V}{I}$ همان R_{eq} است:

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

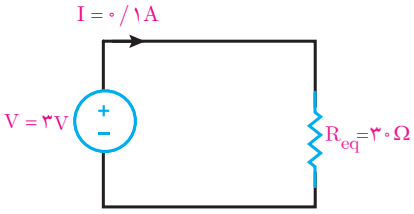
از این رابطه برای محاسبه مقاومت معادل بین n تا مقاومت با اتصال سری استفاده می‌شود.

مثال: مقاومت معادل مدار شکل ۱۳ را به‌دست آورید.



شکل ۱۳

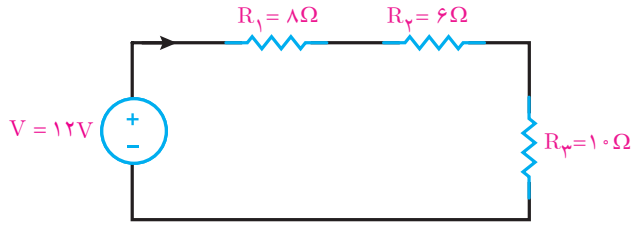
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$
$$R_{eq} = ۵ + ۱۰ + ۱۵ = ۳۰\,[\Omega]$$



شکل ۱۴

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

مثال: در مدار شکل ۱۵ مطلوب است:



شکل ۱۵

الف) مقاومت معادل

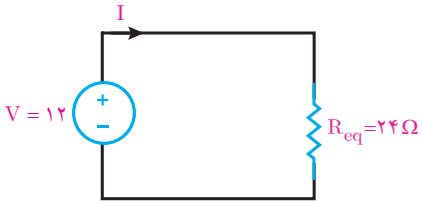
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$
$$R_{eq} = ۸ + ۶ + ۱۰ = ۲۴\,[\Omega]$$

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.

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

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



شکل ۱۶



فعالیت کلاسی

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

مثال: در یک مدار الکتریکی ۸تا مقاومت الکتریکی ۳Ω با یکدیگر سری شده‌اند. اگر جریان الکتریکی مدار ۲/۵A باشد، ولتاژ منبع تغذیه چندولت است؟

حل:

$R_{eq} = n . R$

$R_{eq} = ۸ \times ۳ = ۲۴[\Omega]$

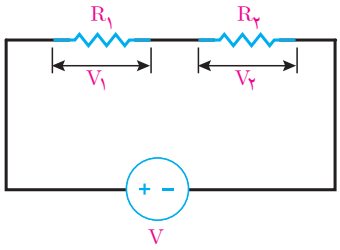
$V = I . R_{eq} = ۲/۵ \times ۲۴ = ۶۰[V]$

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 به‌صورت زیر است (شکل ۱۷).

$$V_۱ = V \frac{R_۱}{R_۱ + R_۲}$$

$$V_۲ = V \frac{R_۲}{R_۱ + R_۲}$$



شکل ۱۷

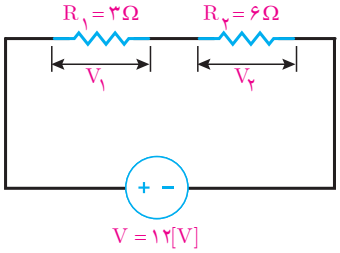
فعالیت کلاسی

رابطه تقسیم ولتاژ بین دو مقاومت سری را اثبات کنید.

مثال: در مدار شکل زیر با استفاده از رابطه تقسیم ولتاژ مقدار $V_۱$ و $V_۲$ را به‌دست آورید (شکل ۱۸).

$$V_۱ = V \frac{R_۱}{R_۱ + R_۲} = ۱۲ \times \frac{۳}{۳ + ۶} = \frac{۳۶}{۹} = ۴[V]$$

$$V_۲ = V \frac{R_۲}{R_۱ + R_۲} = ۱۲ \times \frac{۶}{۳ + ۶} = \frac{۷۲}{۹} = ۸[V]$$



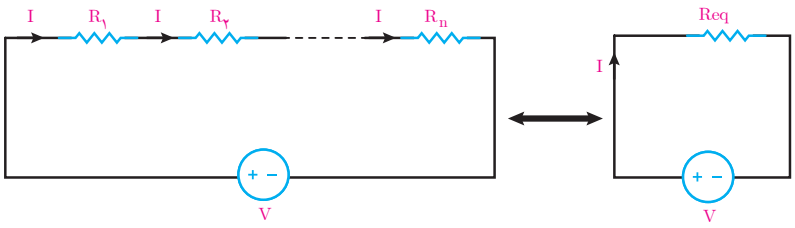
شکل ۱۸

توان الکتریکی

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

توان = مقاومت × (جریان)^۲

$P = RI^۲$



شکل ۱۹

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

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

از $I^۲$ فاکتور گرفته می‌شود.

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

حاصل پرانتز همان مقاومت معادل مدار سری است لذا:

$$P_{eq} = R_{eq}I^۲$$

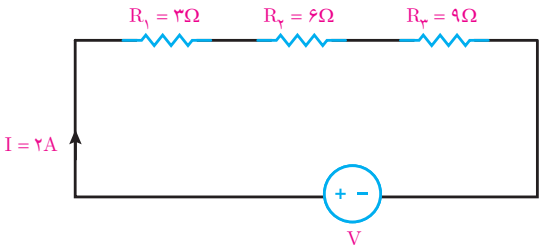
این رابطه نشان می‌دهد توان مدار سری با توان مقاومت معادل سری نیز برابر است یعنی:

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

مثال: توان مدار الکتریکی شکل ۲۰ را به‌دست آورید.

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

$$P_{eq} = R_۱I^۲ + R_۲I^۲ + R_۳I^۲$$
$$P_{eq} = ۳(۲)^۲ + ۶(۲)^۲ + ۹(۲)^۲$$
$$P_{eq} = ۱۲ + ۲۴ + ۳۶ = ۷۲[W]$$

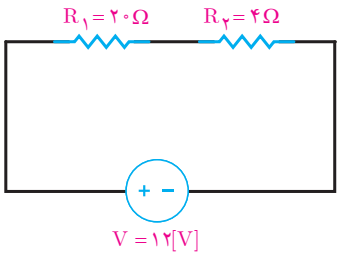


شکل ۲۰

مثال: توان مدار الکتریکی شکل ۲۱ را به‌دست آورید.

حل: مقاومت معادل مدار به‌دست می‌آید.

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



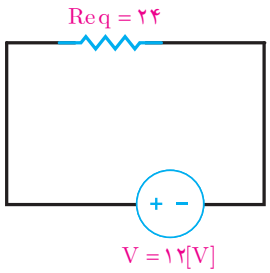
شکل ۲۱

از رابطه مقاومت الکتریکی جریان مدار به‌دست می‌آید (شکل ۲۲).



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

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



شکل ۲۲

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

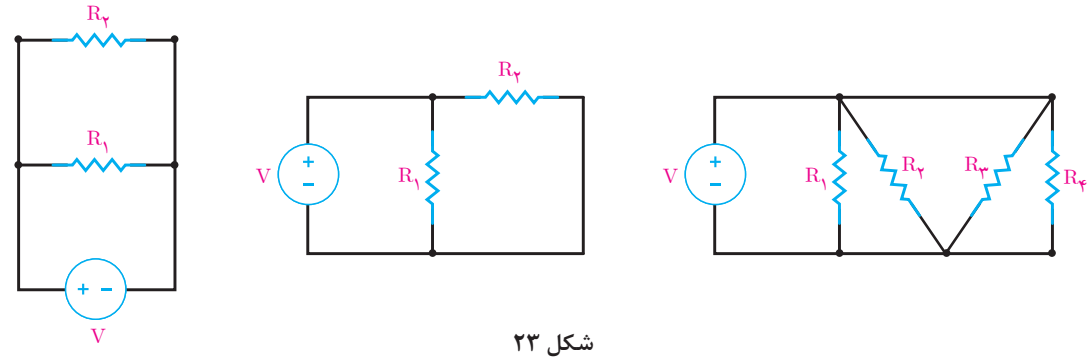
$$\text{توان} = \text{مقاومت} \times (\text{جریان})^۲$$

$$P_{eq} = R_۱I^۲ + R_۲I^۲ = R_{eq}I^۲$$

$$P_{eq} = ۲۴ \times ۰/۵^۲ = ۶[W]$$

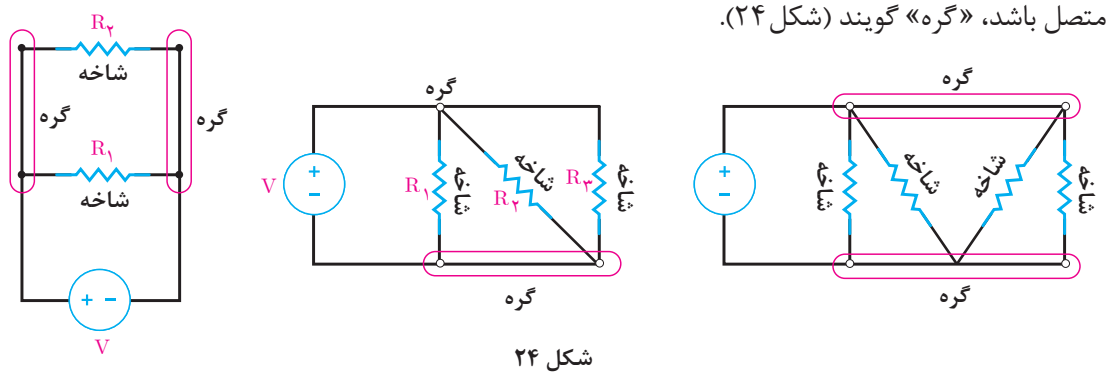
واحد یادگیری ۲
تحلیل اتصال موازی مقاومت‌های الکتریکی

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

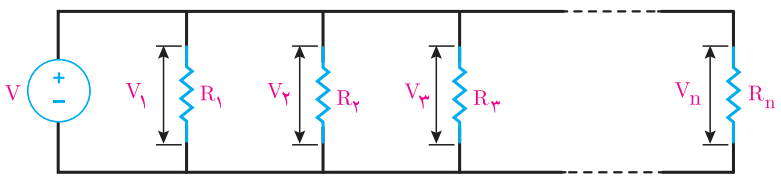
مسیر عبور جریان از هر مقاومت موازی و منبع را (شاخه) گویند و نقطه‌ای از مدار را که بیش از دو شاخه به آن متصل باشد، «گره» گویند (شکل ۲۴).



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.

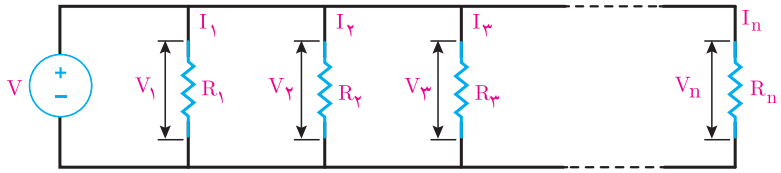


شکل ۲۵

همان‌طور که از شکل برمی‌آید می‌توان نوشت:

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

ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌های شکل ۲۶ در هریک از آنها جریان جاری می‌کند.



شکل ۲۶

جریان هر یک از مقاومت‌ها با استفاده از رابطه مقاومت الکتریکی به‌دست می‌آیند.



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

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

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

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

$$\vdots$$

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

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

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

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

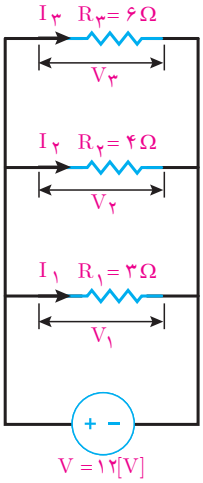
$$I_1 = \frac{V}{R_1}$$

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

$$\vdots$$

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

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



شکل ۲۷

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

$$V = V_۱ = V_۲ = V_۳ = ۱۲[V]$$

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

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



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

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

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

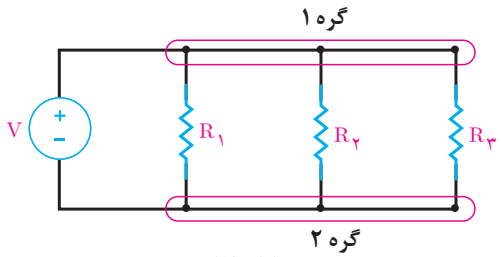
قانون جریان کیرشهف KCL

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

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

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

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

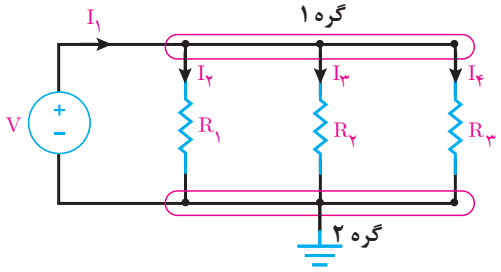


شکل ۲۸

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

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



شکل ۲۹

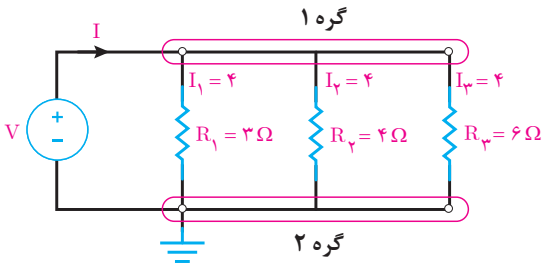
مثال: قانون جریان کیرشهف را برای مدار شکل روبه‌رو بنویسید و به کمک آن جریان منبع را به‌دست آورید (شکل ۳۰).

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

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

KCL) $+ I - 4 - 3 - 2 = 0$

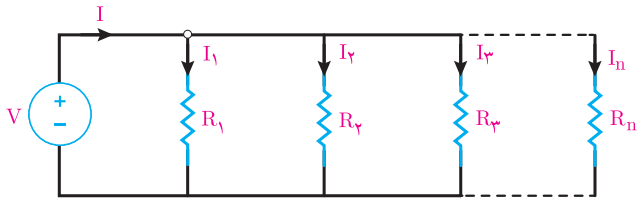
$I = 9$ [A]



شکل ۳۰

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 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.

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

از رابطه مقاومت الکتریکی مقادیر $I_۱$ تا I_n محاسبه می‌شود.

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

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

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

از V فاکتور گرفته می‌شود.

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

طرفین به V تقسیم می‌شود.

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

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

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

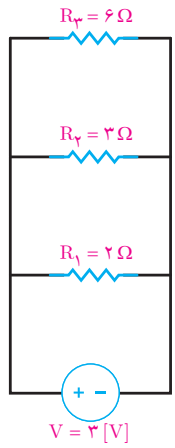
$$R_{eq} = \frac{۱}{\frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} + \cdots + \frac{۱}{R_n}}$$

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

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

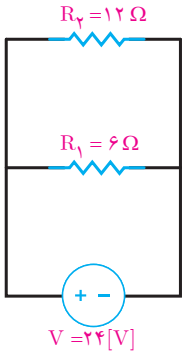
$$R_{eq} = \frac{۱}{\frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳}}$$

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



شکل ۳۲

مثال: در مدار شکل ۳۳ مطلوب است:



شکل ۳۳

الف) مقاومت معادل

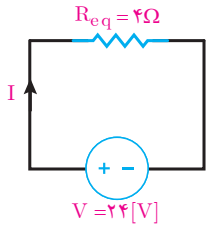
$$R_{eq} = \frac{۱}{\frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲}} = \frac{۱}{\frac{۱}{۶} + \frac{۱}{۱۲}} = ۴[\Omega]$$

ب) شدت جریان مدار

مقاومت معادل Req جایگزین $R_۱$ و $R_۲$ می‌شود شکل ۳۴ و با استفاده از رابطه مقاومت الکتریکی جریان مدار محاسبه خواهد شد.

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

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

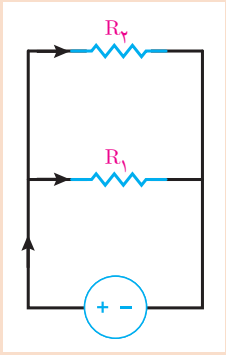


شکل ۳۴

فعالیت کلاسی

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

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



شکل ۳۵

فعالیت کلاسی

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 ۲۴Ω با یکدیگر موازی شده‌اند اگر جریان مدار ۲/۵A باشد ولتاژ منبع تغذیه چند ولت است؟

حل:

$$R_{eq} = \frac{R}{n} = \frac{۲۴}{۱۲} = ۲[\Omega]$$

$$V = I . R_{eq} = ۲/۵ \times ۲ = ۵v$$

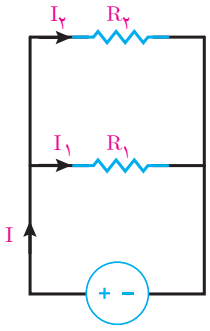
تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی

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 به‌صورت زیر است:

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

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

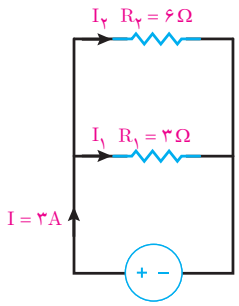


شکل ۳۶

فعالیت کلاسی

رابطه تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی را اثبات کنید.

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



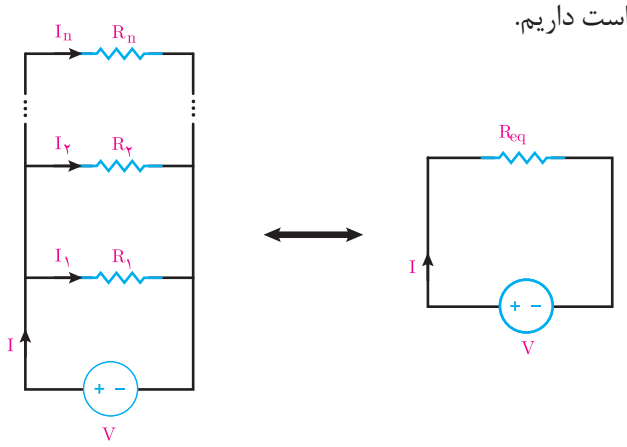
شکل ۳۷

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

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

توان الکتریکی

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



شکل ۳۸

توان هر مقاومت برابر خواهد بود:



توان = مقاومت × (جریان)^2

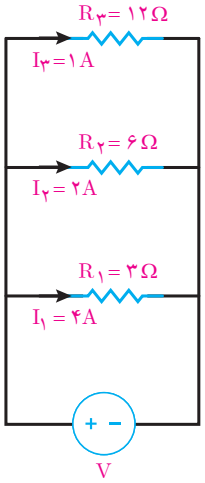
$P = RI^2$

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

$$P_{eq} = R_1I_1^2 + R_2I_2^2 + \cdots + R_nI_n^2$$

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

$$P_{eq} = R_1I_1^2 + R_2I_2^2 + \cdots + R_nI_n^2 = R_{eq}I^2$$



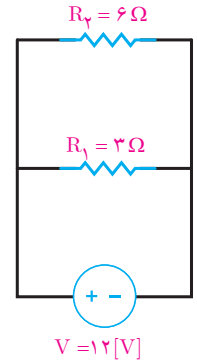
شکل ۳۹

مثال: توان مدار الکتریکی شکل ۳۹ را به‌دست آورید.

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

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

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

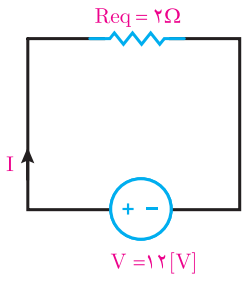


شکل ۴۰

مثال: توان مدار الکتریکی شکل ۴۰ را به‌دست آورید.

حل: مقاومت معادل مدار به‌دست می‌آید.

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



شکل ۴۱

مقاومت Req جایگزین $R_۱$ و $R_۲$ خواهد شد و جریان مدار از رابطه مقاومت الکتریکی به‌دست می‌آید (شکل ۴۱).

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



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

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

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

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

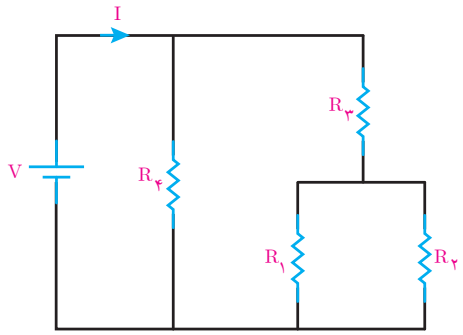


تحقیق کنید

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

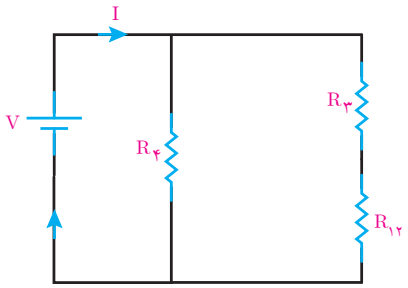
اتصال سری ـ موازی

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



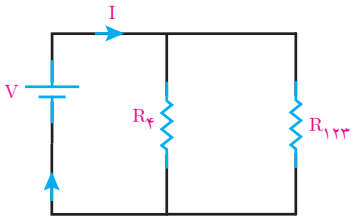
شکل ۴۲

در مدار شکل ۴۳ مقاومت $R_۱$ و $R_۲$ با هم موازی هستند و معادل آنها با $R_{۱۲}$ نشان داده شده است (شکل ۴۳).



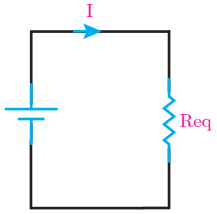
شکل ۴۳

مقاومت $R_{۱۲}$ با $R_۳$ سری شده است و مقاومت معادل آنها با $R_{۱۲۳}$ نشان داده شده است (شکل ۴۴).



شکل ۴۴

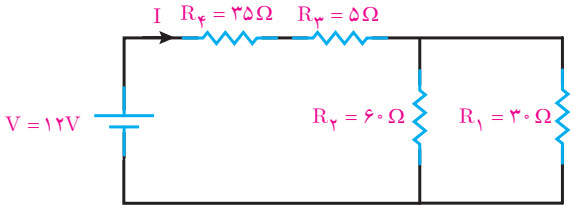
مقاومت $R_{۱۲۳}$ با $R_۴$ موازی شده است و مقاومت معادل آنها با R_{eq} نشان داده شده است (شکل ۴۵).



شکل ۴۵

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

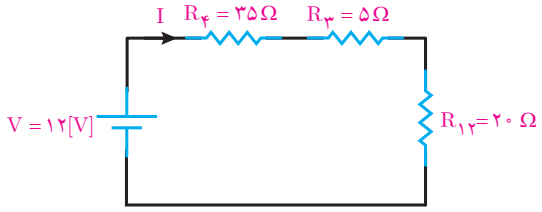
حل: مقاومت‌های R_1 و R_2 با هم موازی هستند و معادل آنها R_{12} به‌دست می‌آید.



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} به‌جای R_1 و R_2 شکل ۴۷ به‌دست می‌آید.



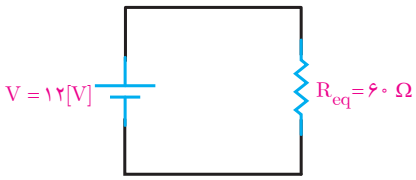
شکل ۴۷

مقاومت R_{12} ، R_3 و R_4 با هم سری هستند و معادل آنها R_{eq} به‌دست می‌آید.

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

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

با جایگزینی R_{eq} به‌جای R_3 ، R_4 و R_{12} شکل ۴۸ به‌دست می‌آید.



شکل ۴۸

با رابطه مقاومت الکتریکی جریان مدار به‌دست می‌آید.

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

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12}{60} = 0/2\,[A]$$



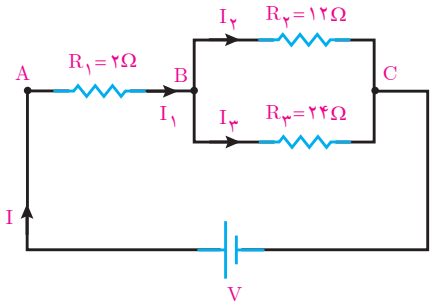
مثال: در مدار شکل ۴۹ اگر $V_{BC} = ۴۸V$ باشد جریان منبع را به‌دست آورید.

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

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

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

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



شکل ۴۹

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

$$KCL) + I_۱ - I_۲ - I_۳ = ۰$$
$$+ I_۱ - ۴ - ۲ = ۰$$
$$I_۱ = ۶ [A]$$

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

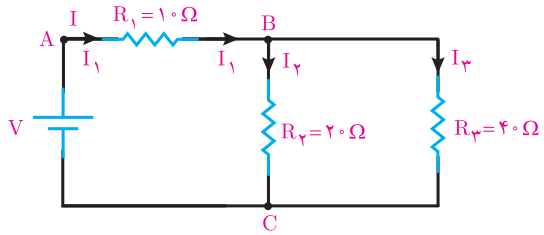
$$I = I_۱$$
$$I = ۶ [A]$$

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

حل: از قانون اهم جریان مقاومت $R_۱$ به‌دست می‌آید.

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

$$I_۱ = \frac{V_{AB}}{R_۱} = \frac{۳۰}{۱۰} = ۳[A]$$



شکل ۵۰

از رابطه تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی $I_۲$ و $I_۳$ به‌دست می‌آید.

$$I_۲ = I_۱ \frac{R_۳}{R_۲ + R_۳} = ۳ \times \frac{۴۰}{۲۰ + ۴۰} = \frac{۱۲۰}{۶۰} = ۲[A]$$

$$I_۳ = I_۱ \frac{R_۲}{R_۲ + R_۳} = ۳ \times \frac{۲۰}{۲۰ + ۴۰} = \frac{۶۰}{۶۰} = ۱[A]$$

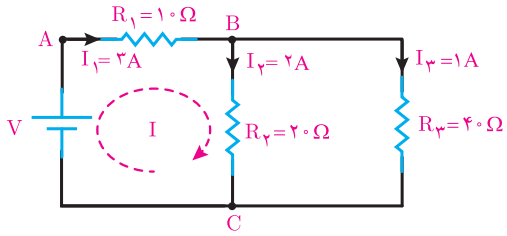
از قانون اهم ولتاژ دو سر مقاومت $R_۲$ که V_{BC} نشان داده می‌شود به‌دست می‌آید.

جریان × مقاومت = ولتاژ

$$V_{BC} = R_۲I_۲ = ۲۰ \times ۲ = ۴۰\,[V]$$

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

$$KVL) - V + R_۱I_۱ + R_۲I_۲ = ۰$$
$$KVL) - V + ۱۰(۳) + ۲۰(۲) = ۰$$
$$KVL) - V + ۳۰ + ۴۰ = ۰$$
$$V = ۷۰\,[V]$$

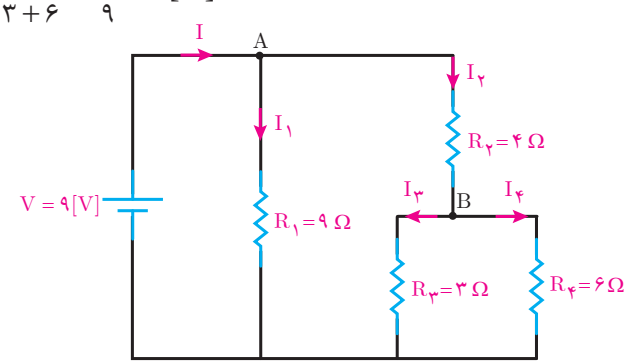


شکل ۵۱

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

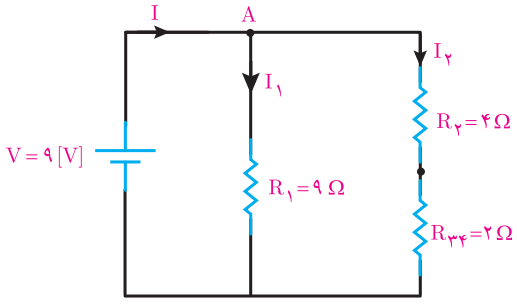
حل: مقاومت‌های $R_۳$ و $R_۴$ با هم موازی هستند. مقاومت معادل آنها $R_{۳۴}$ به‌دست می‌آید.

$$R_{۳۴} = \frac{R_۳ R_۴}{R_۳ + R_۴} = \frac{۳ \times ۶}{۳ + ۶} = \frac{۱۸}{۹} = ۲[\Omega]$$



شکل ۵۲

با جایگزینی $R_{۳۴}$ به‌جای $R_۳$ و $R_۴$ شکل ۵۳ به‌دست می‌آید.

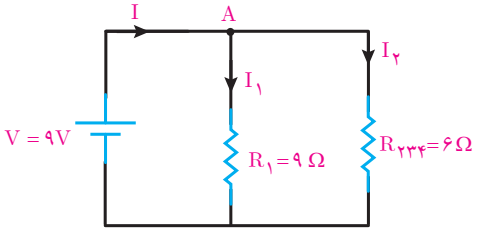


شکل ۵۳

مقاومت‌های $R_۲$ و $R_{۳۴}$ با هم سری هستند مقاومت معادل آنها $R_{۲۳۴}$ به‌دست می‌آید.

$$R_{۲۳۴} = R_۲ + R_{۳۴} = ۴ + ۲ = ۶[\Omega]$$

با جایگزینی $R_{۲۳۴}$ به‌جای $R_۲$ و $R_{۳۴}$ شکل ۵۴ به‌دست می‌آید.



شکل ۵۴

از قانون اهم جریان‌های $I_۱$ و $I_۲$ به‌دست می‌آید.



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

$$I_۱ = \frac{V}{R_۱} = \frac{۹}{۹} = ۱[A]$$

$$I_۲ = \frac{V}{R_{۲۳۴}} = \frac{۹}{۶} = ۱/۵[A]$$

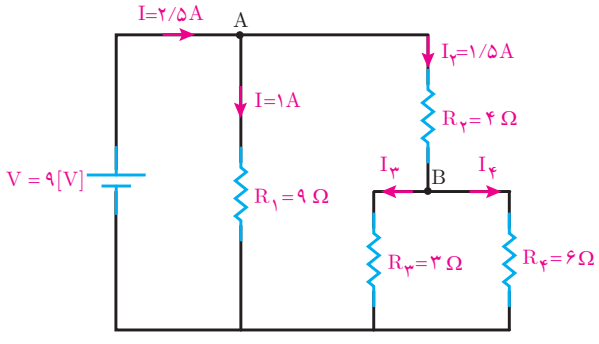
بانوشتن KCL برای گره A جریان منبع I به‌دست می‌آید.

$$KCLA) + I - I_۱ - I_۲ = ۰$$
$$+ I - ۱ - ۱/۵ = ۰$$
$$I = ۲/۵[A]$$

اکنون با به‌دست آمدن I و $I_۱$ و $I_۲$ و با توجه به شکل ۵۵ و استفاده از روابط تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی $R_۳$ و $R_۴$ جریان $I_۳$ و $I_۴$ به‌دست می‌آید.

$$I_۳ = I_۲ \frac{R_۴}{R_۳ + R_۴} = ۱/۵ \times \frac{۶}{۳+۶} = \frac{۹}{۹} = ۱[A]$$

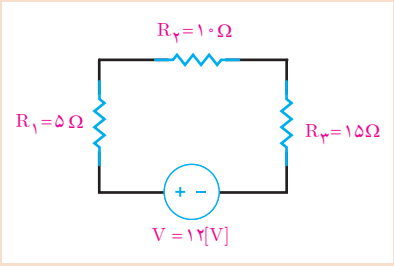
$$I_۴ = I_۲ \frac{R_۳}{R_۳ + R_۴} = ۱/۵ \times \frac{۳}{۳+۶} = \frac{۴/۵}{۹} = ۰/۵[A]$$



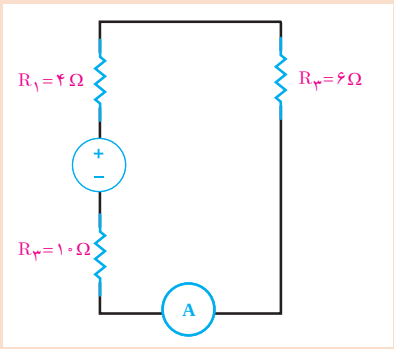
شکل ۵۵

تعمیق و تثبیت یادگیری

۱ جریان مدار روبه‌رو را به‌دست آورید.



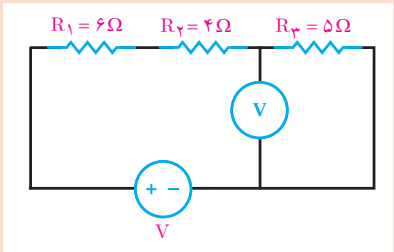
۲ آمپرمتر مدار شکل مقابل ۰/۵ آمپر را نشان می‌دهد. ولتاژ منبع را به‌دست آورید.



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

الف) ولتاژ منبع

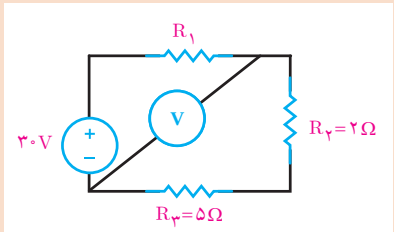
ب) افت ولتاژ مقاومت $R_۲$



۴ ولتاژ اندازه‌گیری‌شده توسط ولت‌متر در شکل روبه‌رو ۲۱V می‌باشد. مطلوب است محاسبه:

الف) مقاومت $R_۱$

ب) توان مصرفی مقاومت $R_۳$

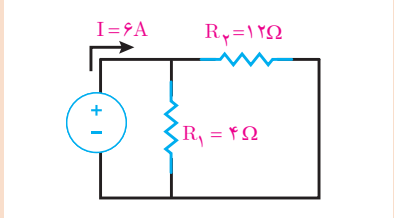


۵ در شکل روبه‌رو مطلوب است محاسبه:

الف) مقاومت R_{eq}

ب) ولتاژ منبع

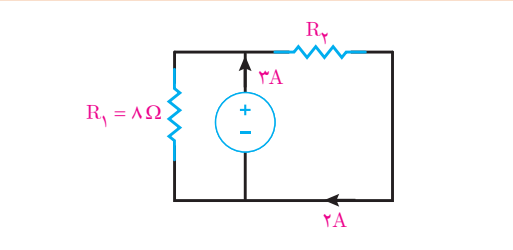
پ) جریان هر شاخه



۶ در شکل روبه‌رو مطلوب است محاسبه:

الف) ولتاژ منبع

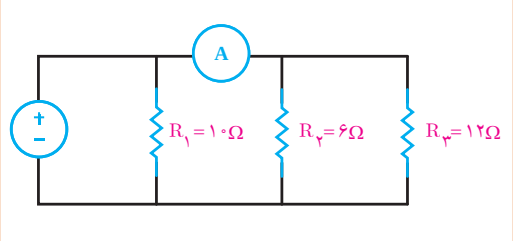
ب) مقاومت $R_۲$



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

الف) ولتاژ منبع چقدر است؟

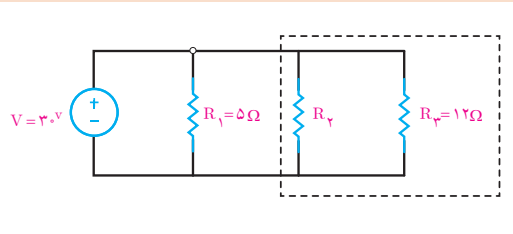
ب) جریان کل مدار را بیابید.



۸ در شکل روبه‌رو توان مصرفی قسمت مشخص شده ۱۰۰W می‌باشد. حساب کنید:

الف) جریان کل مدار

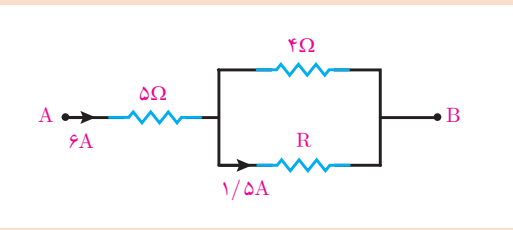
ب) مقاومت $R_۲$



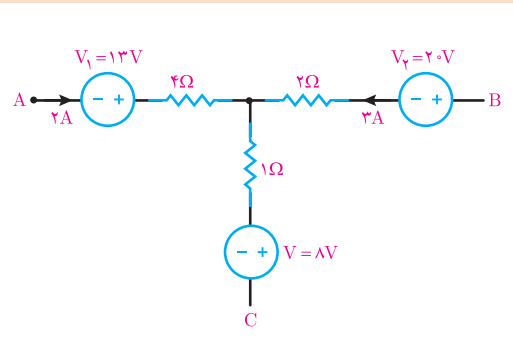
۹ شکل روبه‌رو بخشی از مدار الکتریکی است، مطلوب است محاسبه:

الف) V_{AB}

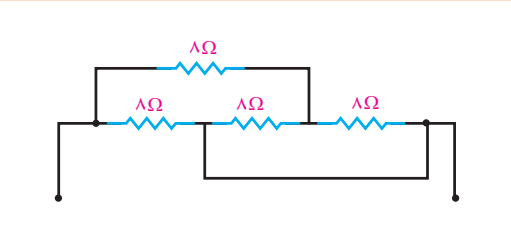
ب) مقدار R

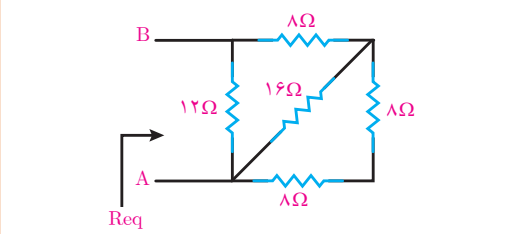


۱۰ شکل روبه‌رو بخشی از یک مدار الکتریکی است. توان هر یک از مقاومت‌های مدار را به‌دست آورید.

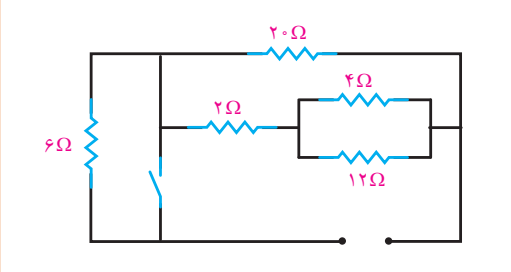


۱۱ مقاومت معادل را در هر یک از شکل‌های زیر به‌دست آورید:

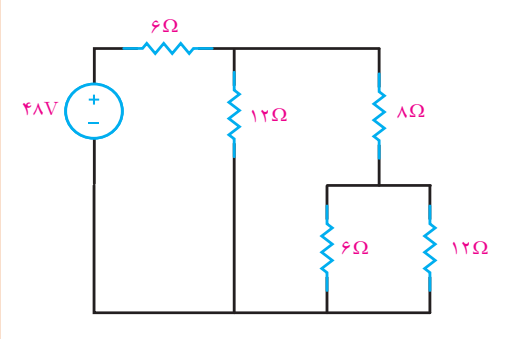




۱۲ در شکل روبه‌رو مقاومت معادل را در دو حالت کلید باز و بسته محاسبه کنید.



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

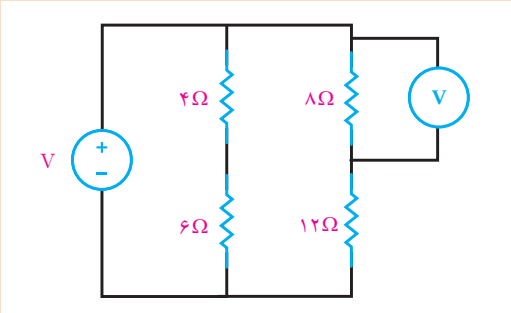


۱۴ در شکل روبه‌رو ولت‌متر ۳۲ولت را نشان می‌دهد مطلوب است:

الف) جریان هر مقاومت

ب) ولتاژ دو سر هر مقاومت

ج) توان کل مدار



۱۵ در یک مدار با فیوز ۱۶آمپری چند لامپ رشته‌ای ۱۰۰وات، ۲۳۰ولت می‌تواند روشن باشد؟ اگر در این مدار از یک اتوی ۱۲۰۰وات 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: اتصالات سری و موازی مقاومت‌های الکتریکی	۱ـ تحلیل اتصال سری مقاومت‌های الکتریکی ۲ـ 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	۱ـ محاسبه مقاومت معادل مدار الکتریکی مقاومتی سری، موازی و مختلط ۲ـ ولتاژ نقطه‌ای و جریان شاخه‌های مدار ۳ـ محاسبه توان در مدارهای الکتریکی مقاومتی
			پایین‌تر از حد انتظار	درصورتی‌که 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، در حد انتظار، پایین‌تر از حد انتظار				

شایستگی‌های غیرفنی و عمومی (ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی)

شاخص‌ها	ضریب کیفیت عملکرد	شایستگی عملکرد هنرجو
مدیریت کیفیت ـ جمع‌آوری وگردآوری اطلاعات ـ رعایت ارگونومی ـ کنترل حفاظت الکتریکی و الکترونیکی تجهیزات ـ ایجاد محتوای الکترونیک ـ کاهش مصرف کاغذ ـ طراحی خلاقانه پوسته گرافیکی و گرافیک متحرک ـ رعایت انضباط فردی و کلاسی ـ پوشش مناسب ـ احترام به استاد و همکلاسی‌ها ـ 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 می‌شود. به شرط آنکه:

۱ سطح شایستگی هنرجو در هیچ مرحله ای کمتر از حد انتظار نباشد.

۲ هنرجو در شایستگی‌های 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 می‌شود.

۲ 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 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 انرژی‌ای گفته می‌شود که از طریق جریان برق مستقیم (DC) منتقل می‌شود. در جریان مستقیم الکترون‌ها فقط در یک جهت حرکت می‌کنند. برخلاف جریان متناوب یا AC که جهت جریان به‌صورت تناوبی عوض می‌شود. شکل موج ولتاژ و جریان انرژی الکتریکی جریان مستقیم به‌صورت خط صاف، دارای نویز یا نوسانات جزئی است. یعنی با گذشت زمان جهت ولتاژ یا جریان تغییر نمی‌کند و ثابت است. جریان مستقیم را به اختصار با حروف DC نشان می‌دهند (شکل ۱). در ادامه به روش‌های تولید انرژی الکتریکی جریان مستقیم پرداخته می‌شود:

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 می‌آید. هنگامی که فوتون‌های یک شعاع نوری با جسمی برخورد می‌کنند، انرژی خود را از دست می‌دهند. در بعضی اجسام، انرژی فوتون‌ها باعث آزادی الکترون‌ها می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱ــ فوتوولتاییک

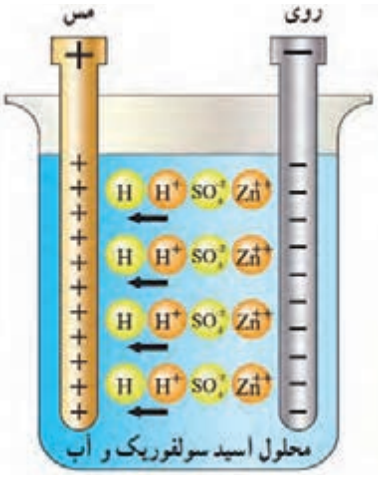


شکل ۲ــ کاربرد انرژی الکتریکی تولید شده توسط نور خورشید

۱. PhotoVoltaic

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 (به‌عنوان الکترولیت) مخلوط می‌شود، به دو مادهٔ 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 درنتیجه، 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).



شکل ۳ـ الکتروشیمیایی

فلز روی با یون‌های سولفات ترکیب می‌شود. چون این اتم‌ها منفی اند، یون‌های مثبت (Zn^{++}) در اطراف میلهٔ فلزی روی تشکیل می‌شوند. و میله دارای الکترون‌های اضافی و درنتیجه 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، به‌طور 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 به‌عنوان 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).



باتری قلمی



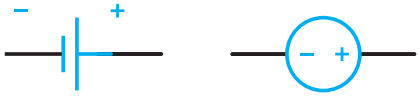
باتری کتابی



باتری موبایل

شکل ۴

علامت اختصاری باتری در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵ـ شمای فنی باتری

باتری‌ها در دو نوع قابل شارژ[1] و غیرقابل شارژ[2] ساخته می‌شوند (شکل ۶).



شارژ نشدنی　　شارژ شدنی

شکل ۶ــ 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 مصرف‌کننده‌ای 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 مصرف‌کننده کاهش می‌یابد. اختلاف پتانسیل دو سر باتری هنگامی که به مصرف‌کننده متصل باشد را «ولتاژ بارداری» باتری گویند و آن را با V نشان می‌دهند.

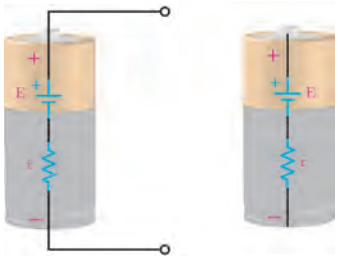
اختلاف نیروی محرکه الکتریکی باتری E با ولتاژ بارداری V را « افت ولتاژ درونی باتری» می‌گویند. افت ولتاژ درونی باتری را با ΔV نشان می‌دهند و از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\Delta V = E - V$$

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

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

مقاومتی که برای معادل‌سازی افت ولتاژ درونی باتری در نظر گرفته می‌شود را «مقاومت درونی» باتری گویند. مقاومت درونی باتری را با r نشان می‌دهند و با مدار الکتریکی باتری به‌صورت سری قرار می‌گیرد (شکل ۷).



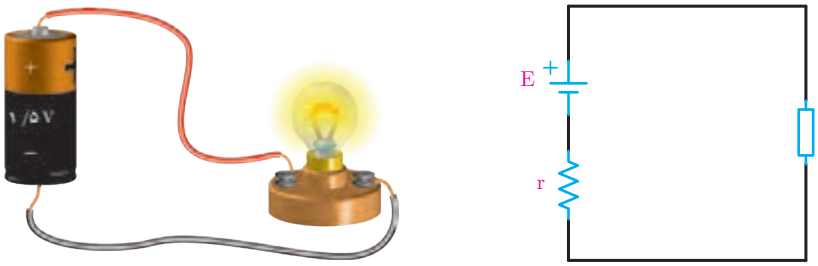
شکل ۷ــ مدار الکتریکی باتری

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؟

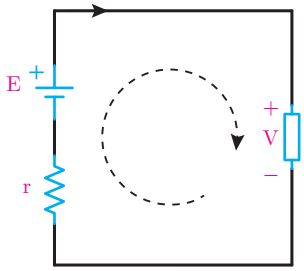
۱. Rechargeable
۲. Primary Battery

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



شکل ۸

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



شکل ۹

با نوشتن KVL مسیر بسته مدار الکتریکی باتری خواهیم داشت:

$KVL) +V + rI - E = ۰$

با مرتب کردن رابطه KVL، رابطه زیر به‌دست می‌آید

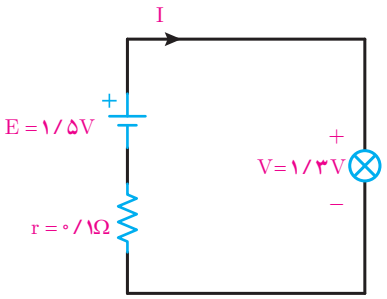
$E - V = rI$

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

$\Delta V = rI$

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

الف) مدار الکتریکی



شکل ۱۰

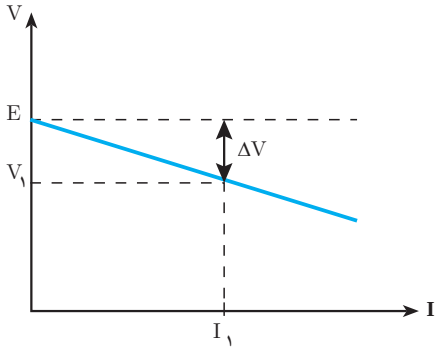
ب) جریان باتری

$$KVL) +V+rI-E=0$$
$$۱/۳+۱I-۱/۵=۰$$
$$۱I=۲/۰$$
$$I=\frac{۰/۲}{۱}=۰/۲\ [A]$$

ج) افت ولتاژ درونی باتری

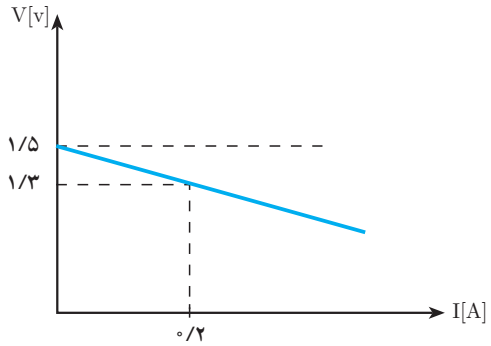
$$\Delta V=rI$$
$$\Delta V=۱\times۰/۲=۰/۲\ [V]$$

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

$$E - V = rI$$
$$۱/۵ - ۱/۳ = r(۰/۲)$$
$$r = \frac{۰/۲}{۰/۲} = ۱\ [\Omega]$$

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

$$\Delta V = E - V$$
$$\Delta V = ۱/۵ - ۱/۳ = ۰/۲\ [V]$$

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

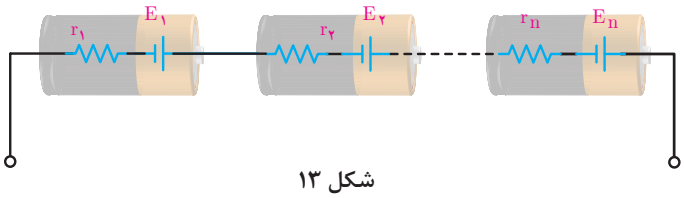
$$E - V = rI$$
$$۱/۵ - V = ۱ \times ۰/۵$$
$$V = ۱\ [V]$$

اتصال باتری‌ها

اتصال باتری‌ها به یکدیگر به منظور افزایش ولتاژ یا جریان انجام می‌شود. برای افزایش ولتاژ، باتری‌ها را با یکدیگر به‌صورت سری متصل می‌کنند. اما برای افزایش جریان، باتری‌ها را با یکدیگر به‌صورت موازی متصل می‌کنند. درصورتی‌که ضمن افزایش ولتاژ نیاز به افزایش جریان نیز باشد باتری‌ها را به‌صورت ترکیبی از اتصال سری و موازی به‌کار می‌گیرند.

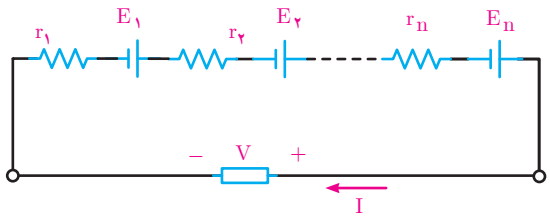
اتصال سری باتری‌ها

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



شکل ۱۳

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



شکل ۱۴

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

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

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

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

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

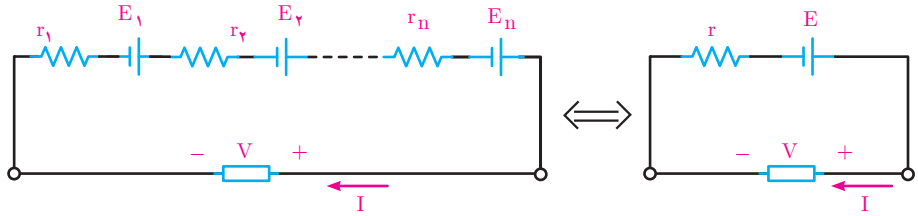
همچنین مقاومت درونی باتری‌ها نیز با یکدیگر جمع می‌شود و معادل آنها مقاومت درونی r ایجاد می‌شود.

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

و می‌توان نوشت:

$$rI - E + V = 0$$

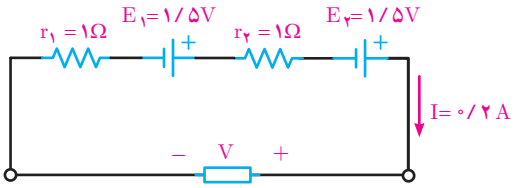
مدار الکتریکی معادل n باتری سری در شکل ۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۵ــ مدار معادل

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

الف) مدار الکتریکی



شکل ۱۶

ب) اختلاف پتانسیل دو سر مصرف‌کننده

$$r = r_1 + r_2$$

$$r = ۱ + ۱ = ۲\ [\Omega]$$

$$E = E_1 + E_2$$

$$E = ۱/۵ + ۱/۵ = ۳\ [V]$$

$$rI - E + V = 0$$

$$۲ \times ۰/۲ - ۳ + V = 0$$

$$V = ۶/۲\ [V]$$

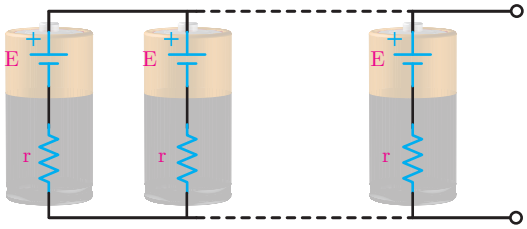
در اتصال سری باتری‌ها با متصل کردن مثبت هر باتری به منفی باتری بعد اختلاف پتانسیل مصرف‌کننده افزایش می‌یابد. اگر در اتصال سری باتری‌ها مثبت هر باتری به مثبت باتری بعد متصل شود اختلاف پتانسیل مصرف‌کننده کاهش پیدا می‌کند و خرابی باتری‌ها را در پی خواهد داشت.

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؟

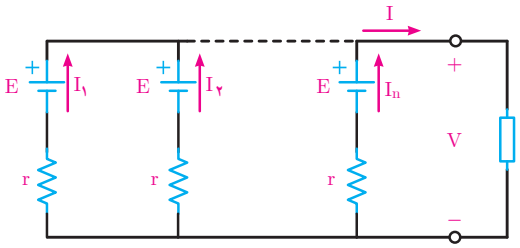
اتصال موازی باتری‌ها

اتصال موازی باتری‌ها به منظور افزایش جریان به‌کار می‌رود. برای ایجاد اتصال موازی حتماً از باتری‌های مشابه استفاده می‌شود و مثبت باتری‌ها به یکدیگر و منفی آنها نیز به یکدیگر متصل خواهد شد. مدار الکتریکی اتصال موازی باتری‌ها در شکل ۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۱۷

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



شکل ۱۸

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

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

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

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

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

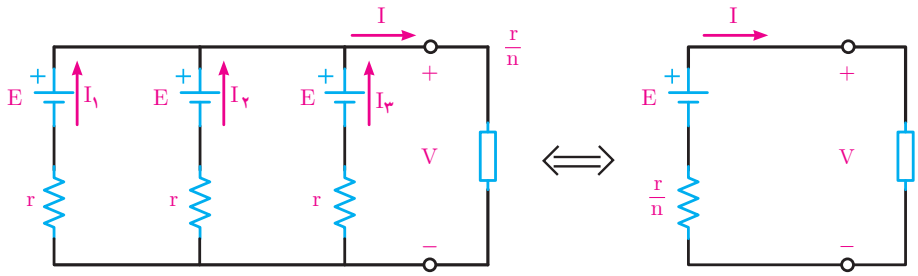
$$KCL)\ \frac{E-V}{r}+\frac{E-V}{r}+\cdots+\frac{E-V}{r}=I$$

در رابطه KCL به تعداد n باتری تکرار شده است لذا:

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

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

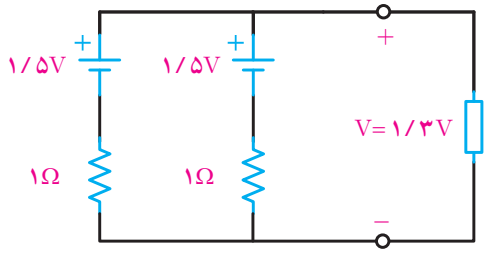
مدار الکتریکی معادل n باتری موازی در شکل ۱۹ نشان داده شده است



شکل ۱۹

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

الف) مدار الکتریکی



شکل ۲۰

ب) جریان مصرف‌کننده

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

$$۱/۵ - ۱/۳ = \frac{۱}{۲} I$$

$$I = ۰/۴ \ [A]$$

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

تعمیق و تثبیت یادگیری

۱ اختلاف پتانسیل یک باتری ۹ ولتی در اتصال به مصرف‌کننده ۸ ولت می‌باشد اگر جریان مصرف‌کننده ۰/۵ آمپر باشد مطلوب است:

الف) افت ولتاژ درونی باتری

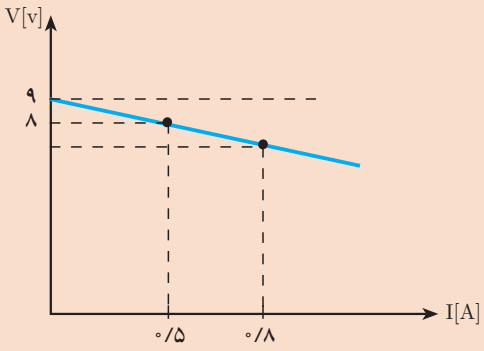
ب) مقاومت درونی باتری

۲ نمودار تأثیر جریان باتری بر اختلاف پتانسیل دو سر باتری در شکل صفحهٔ بعد نشان داده شده است. مطلوب است محاسبهٔ:

الف) افت ولتاژ در جریان ۰/۵ آمپر

ب) اختلاف پتانسیل دو سر باتری در جریان ۰/۸ آمپر

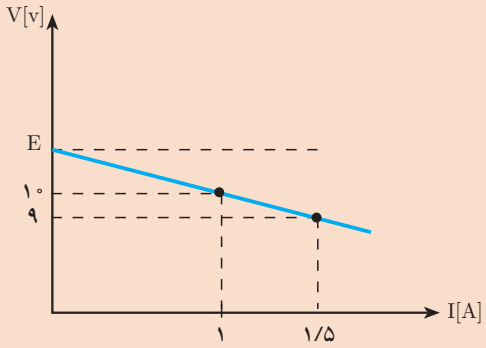
E=۹



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

الف) نیروی محرکه باتری

ب) مقاومت درونی باتری



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

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

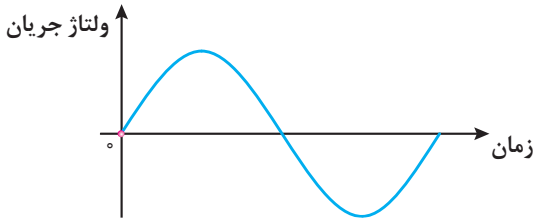
۶ چند باتری ۹ ولتی با مقاومت درونی ۱ اهم به‌طور موازی متصل شوند تا جریان و ولتاژ مصرف‌کننده به ترتیب ۴ آمپر و ۸ ولت شود؟

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 جزرومد آب دریا و سایر موارد به‌دست 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 به‌صورت سینوسی می‌باشد که به آن متناوب گویند (شکل ۲۱).



شکل ۲۱

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 ۳۰درصد می‌باشد.


شکل ۲۲

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 ۲۳ـ سد و نیروگاه آبی کارون ۳ در استان خوزستان

۱. Genarator
۲. Turbine
۳. Power plant

پ)نیروگاه گازی

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

زمان احداث نیروگاه‌های گازی در مقایسه با نیروگاه‌های آبی و حرارتی کمتر می‌باشد اما بازده آنها به‌دلیل اتلاف انرژی حرارتی کمتر از ۳۰درصد می‌باشد (شکل ۲۴).



شکل ۲۴ـ نیروگاه گازی

ت) نیروگاه سیکل ترکیبی

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



شکل ۲۵ـ نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند

ث)نیروگاه بادی

نیروگاه بادی انرژی جنبشی حاصل از باد را توسط توربین به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند و ژنراتور انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید. نیروگاه بادی با توجه به شرایط اقلیمی، وزش باد در مدت زمان کمتر از یک‌سال قابل احداث و بهره‌برداری می‌باشد. رایگان بودن انرژی باد و عدم نیاز به انرژی فسیلی از مزایای مهم نیروگاه بادی می‌باشد (شکل ۲۶).



شکل ۲۶ـ نیروگاه بادی

ج) نیروگاه دیزلی

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

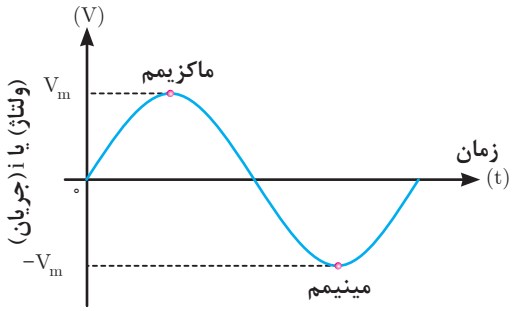
نیروگاه دیزلی به صورت نصب ثابت و سیار قابل استفاده می‌باشند (شکل ۲۷).



شکل ۲۷ـ دیزل ژنراتور

جریان متناوب

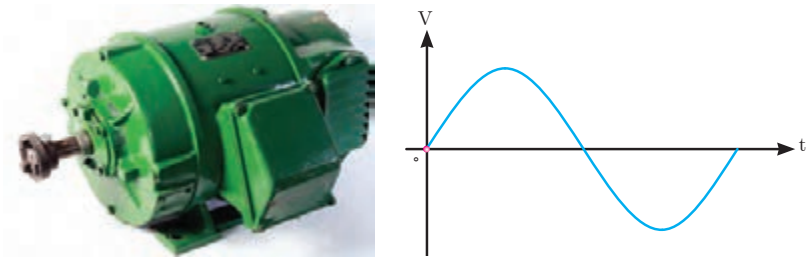
جریان متناوب جریانی است که جهت آن در تناوب‌ها مشخص و مقدار آن در هر لحظه از زمان تغییر می‌کند و دامنهٔ آن نیز نسبت به زمان نوسانی است. شکل موج مرسوم جریان متناوب، سینوسی است. در موج سینوسی حداکثر مثبت را ماکزیمم[1] و حداکثر منفی را مینیمم[2] گویند (شکل ۲۸).



شکل ۲۸

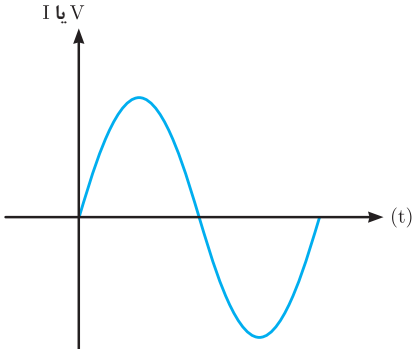
تولید جریان متناوب

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



شکل ۲۹

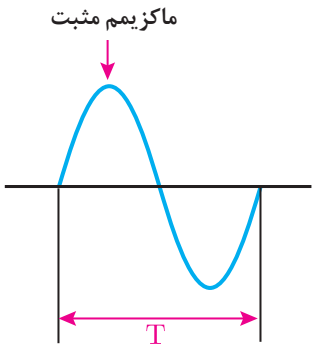
ژنراتور جریان متناوب از دو قسمت ساکن و متحرک تشکیل شده است. قسمت ساکن را استاتور[3] و قسمت متحرک را رتور[4] می‌گویند. انرژی مکانیکی توربین، رتور ژنراتور را می‌گرداند تا ژنراتور انرژی الکتریکی تولید کند.
انرژی الکتریکی دارای سه مشخصه ولتاژ، جریان و زمان است (شکل ۳۰).



شکل ۳۰

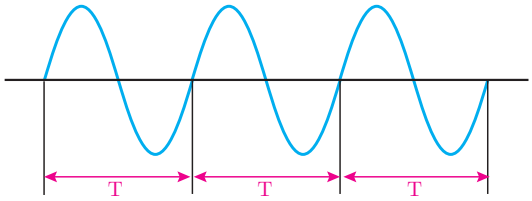
۱. Maximum
۲. Minimum
۳. Stator
۴. Rotor

مقدار و جهت ولتاژ یا جریان متناوب سینوسی با زمان تغییر می‌کند؛ یعنی از صفر شروع می‌شود و به مقدار حداکثر (پیک مثبت) یا ماکزیمم می‌رسد. آنگاه دوباره صفر می‌شود و سپس به حداقل (پیک منفی) یا مینیمم می‌رسد و باز صفر می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، هنگامی که موج سینوسی از صفر می‌گذرد، پلاریته خود را عوض می‌کند. به عبارت ساده‌تر، موج سینوسی بین مقادیر مثبت و منفی تناوب می‌کند. مجموعهٔ یک تناوب مثبت و منفی را یک سیکل کامل گویند (شکل ۳۱).



شکل ۳۱

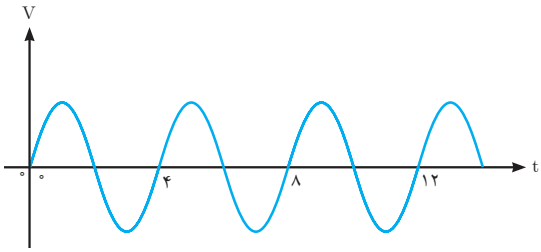
زمان تناوب مدت زمان انجام یک سیکل کامل می‌باشد و آن را با حرف T نشان می‌دهند. واحد زمان تناوب ثانیه است (شکل ۳۲).



شکل ۳۲

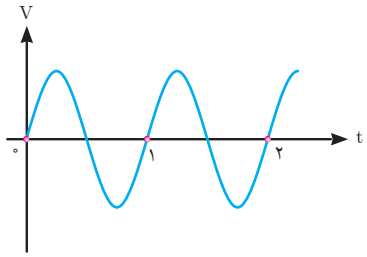
مثال: زمان تناوب موج سینوسی شکل ۳۳ را به‌دست آورید.

حل: یک سیکل کامل را مشخص می‌کنیم زمان انجام آن را از روی محور زمان T=۴s به‌دست می‌آوریم.



شکل ۳۳

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



شکل ۳۴

۱. Peak

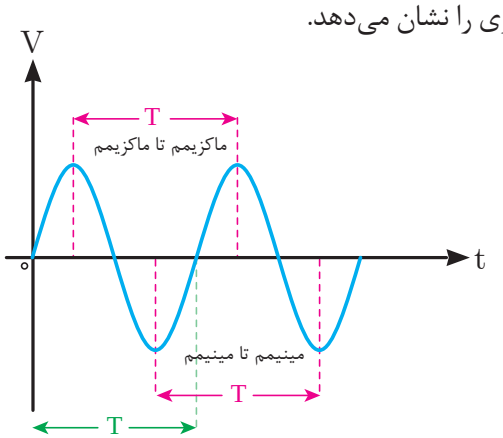
حل :

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.

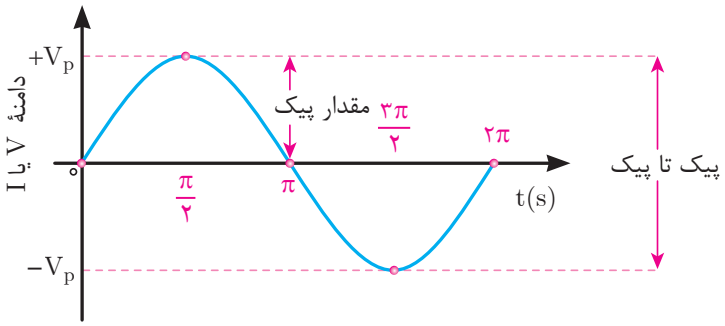
روش سوم: زمان تناوب را می‌توان بین دو پیک منفی (مینیمم) متوالی اندازه گرفت.

شکل ۳۵ سه روش اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.



شکل ۳۵

زاویه طی‌شده بین ابتدا تا انتهای یک سیکل کامل برابر ۳۶۰ درجه است (شکل ۶۲).



شکل ۳۶

واحد اندازه‌گیری زاویه علاوه‌بر درجه، رادیان نیز می‌باشد به‌طوری‌که هر ۳۶۰ درجه معادل ۲π رادیان است یعنی :

$$۳۶۰^{\circ} = ۲\pi$$

زاویه طی شده بین ابتدا تا انتهای یک سیکل کامل برابر ۲π رادیان است (شکل ۳۶).

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

$$\frac{D}{۳۶۰} = \frac{R}{۲\pi}$$

مثال: زاویه 180° معادل چند رادیان است؟

حل :

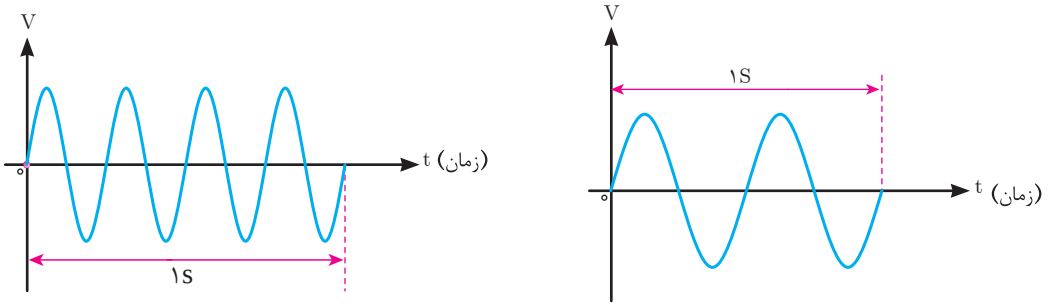
$$\frac{D}{360} = \frac{R}{2\pi}$$

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

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

فرکانس

فرکانس به تعداد سیکل‌هایی که در یک ثانیه انجام می‌گیرد گفته می‌شود و آن را با حرف f نشان می‌دهند. واحد فرکانس سیکل بر ثانیه است و با [CPS] نشان می‌دهند و به احترام آقای هرتز آن را با هرتز [HZ] نشان می‌دهند. هرچه تعداد سیکل‌ها در ثانیه بیشتر باشد، فرکانس بیشتر است. شکل ۳۷ دو موج سینوسی را نشان می‌دهد که موج (الف) دو سیکل و موج (ب) چهار سیکل را در ثانیه طی می‌کنند؛ یعنی، فرکانس موج (الف) ۲هرتز و فرکانس موج (ب) ۴هرتز است.



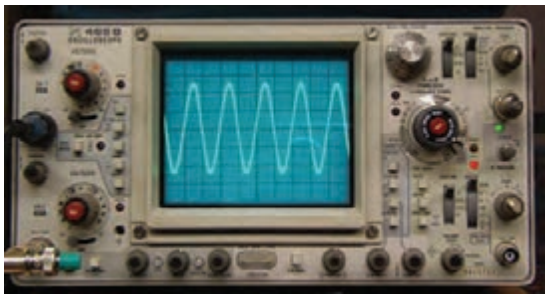
ب الف

شکل ۳۷

فرکانس برق در ایران ۵۰ هرتز یا CPS ۵۰ است. یعنی ۵۰ سیکل کامل در یک ثانیه انجام می‌شود. فرکانس برق بعضی از کشورها ۶۰ هرتز (CPS ۶۰) است. فرکانس جریان یا ولتاژ را می‌توان، با فرکانس متر (دستگاه اندازه‌گیری فرکانس) اندازه گرفت و با اسیلوسکوپ (شکل۳۸) (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

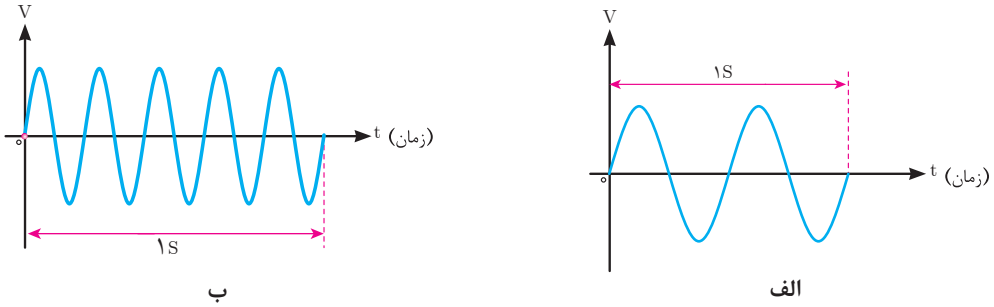
با توجه به این روابط، هر قدر فرکانس زیادتر شود، به همان اندازه زمان تناوب کاهش پیدا می‌کند؛ مثلاً اگر زمان تناوب یک موج، یک ثانیه باشد فرکانس آن یک هرتز و اگر زمان تناوب، ۲ ثانیه شود، فرکانس آن نصف خواهد شد.

مثال: با توجه به شکل 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 کرده‌اند. پس فرکانس موج (ب) بیشتر است.

موج الف:

$$f = ۲Hz$$

$$T = \frac{۱}{۲} = ۰/۵$$

$$\text{زاویه} = ۴\pi[Rad]$$

$$\text{زاویه} = \frac{۲\pi}{T} \rightarrow \frac{۲\pi}{۰/۵} = ۴\pi[Rad]$$

موج ب:

$$f = ۵Hz$$

$$T = \frac{۱}{۵} = ۰/۲$$

$$\text{زاویه} = \frac{۲\pi}{T} \rightarrow \frac{۲\pi}{۰/۲} = ۱۰\pi[Rad]$$

سرعت زاویه‌ای

موج متناوب در هر سیکل ۲π رادیان را طی می‌کند، لذا مقدار زاویه طی شده در مدت یک ثانیه برابر $۲\pi f$ می‌باشد که آن را سرعت زاویه‌ای گویند و با رابطه زیر نشان می‌دهند:

$$\omega = ۲\pi f$$

که در این رابطه:

ω: سرعت زاویه برحسب [Rad/s]

f: فرکانس برحسب [HZ] است.

مثال: فرکانس یک موج متناوب سینوسی ۵۰HZ می‌باشد سرعت زاویه‌ای آن را به‌دست آورید:

حل: با توجه به رابطه $\omega = ۲\pi f$ داریم:

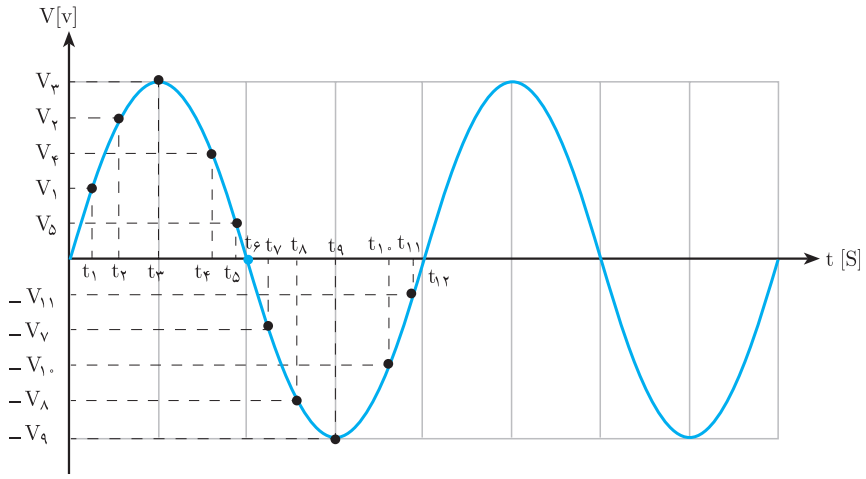
$$\omega = ۲\pi \times ۵۰ = ۱۰۰\pi = ۱۰۰ \times ۳/۱۴ = ۳۱۴ \ [Rad/s]$$

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 حاصل‌جمع 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 ۶قسمت تقسیم شده است و مقدار متوسط آن در هر نیم سیکل حساب شده است.



شکل ۴۰

نکته

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

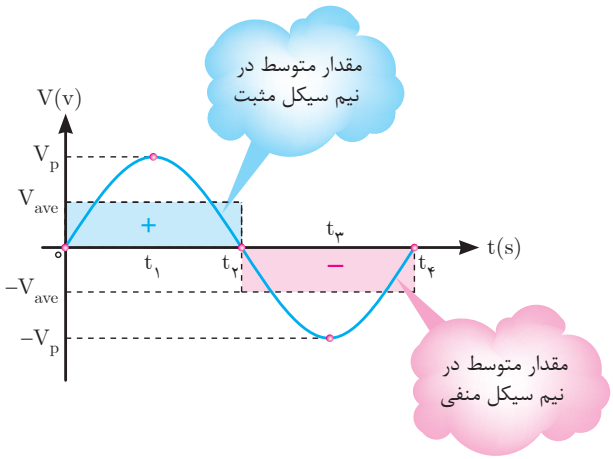
میانگین مقادیر لحظه‌ای نیم‌سیکل مثبت

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

میانگین مقادیر لحظه‌ای نیم‌سیکل منفی

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

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

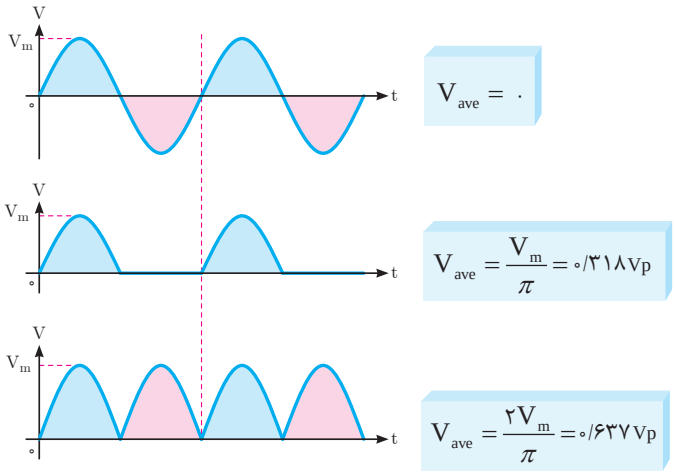


شکل ۴۱

همان طوری که از شکل ۴۲ مشخص است مقدار متوسط در یک سیکل کامل سینوسی از جمع دو نیم سیکل مثبت و منفی به‌دست می‌آید و مقدار آن مساوی صفر می‌شود.

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

هرگاه موج‌هایی به‌صورت شکل ۴۲ داشته باشیم و بخواهیم مقدار متوسط هر یک از آنها را حساب کنیم می‌توان از روابط نوشته شده در مقابل آنها استفاده کرد.



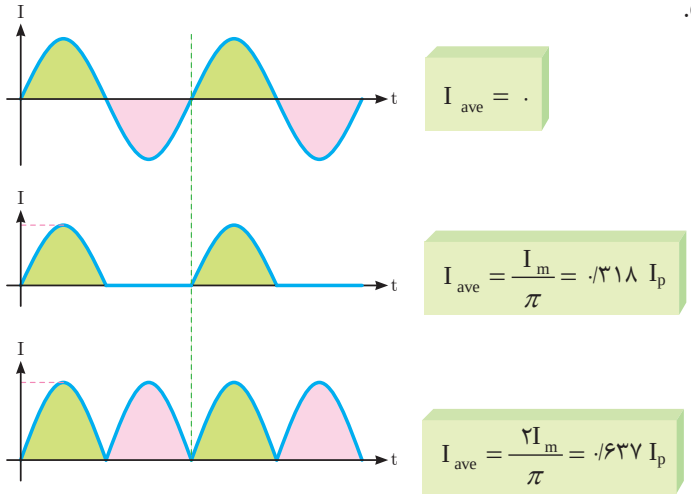
شکل ۴۲

تحقیق کنید

چرا مقدار متوسط یک موج سینوسی که فقط دارای یک نیم‌سیکل است (یکسوشده) از رابطه $\frac{V_m}{\pi}$ به‌دست می‌آید؟

برای توضیح می‌توانید از هوش مصنوعی یا فیلم‌های آموزشی موجود در اینترنت نیز کمک بگیرید.

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



شکل ۴۳

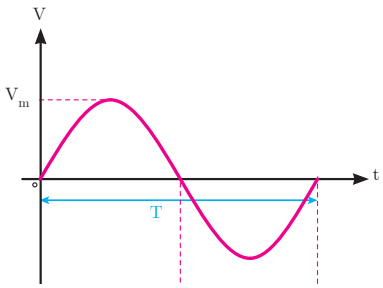
مقدار مؤثر موج متناوب سینوسی

مقدار مؤثر موج متناوب عبارت از «جذر میانگین مربعات» می‌باشد و آن را با rms[1] یا eff[2] نشان می‌دهد. برای تعیین مقدار مؤثر موج متناوب سینوسی شکل ۴۴ ابتدا مقادیر لحظه‌ای موج را به توان دو می‌رسانند تا مقادیر نیم سیکل منفی به مثبت تبدیل شود. شکل ۴۵ سپس میانگین موج محاسبه می‌شود.

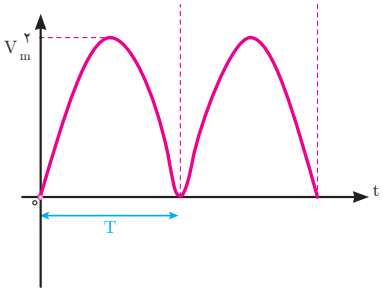
چون در ابتدا مقادیر لحظه‌ای موج به توان دو رسیده است از میانگین آن جذر گرفته می‌شود.

مقدار مؤثر ولتاژ با شکل موج متناوب سینوسی از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

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



شکل ۴۴



شکل ۴۵

که در این رابطه:

V_m مقدار ماکزیمم ولتاژ متناوب و

V_{rms} مقدار مؤثر ولتاژ متناوب است.

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

که در این رابطه:

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

۱. Root Mean Square

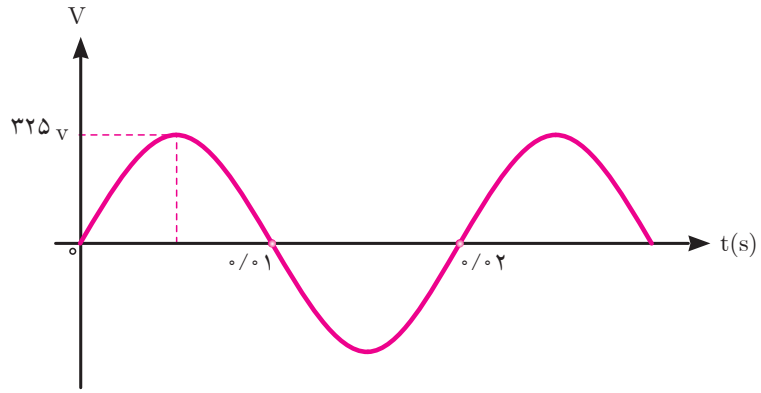
۲. Effective

I_m مقدار ماکزیمم جریان متناوب

I_{rms} مقدار مؤثر جریان متناوب می‌باشد.

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

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



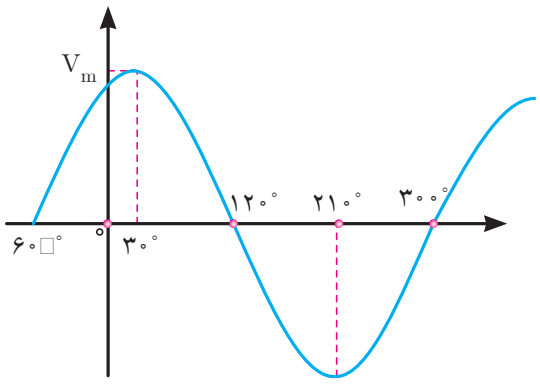
شکل ۴۶

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

$$V_m = ۳۲۵v$$

با استفاده از رابطه صفحه قبل مقدار مؤثر ولتاژ محاسبه می‌شود:

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



شکل ۴۷

و در شکل ۴۷ فاز موج سینوسی ۶۰+ درجه است یعنی $\theta_v = +۶۰$ می‌باشد.

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

فاز جریان - فاز ولتاژ = اختلاف فاز

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

که در این رابطه :

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

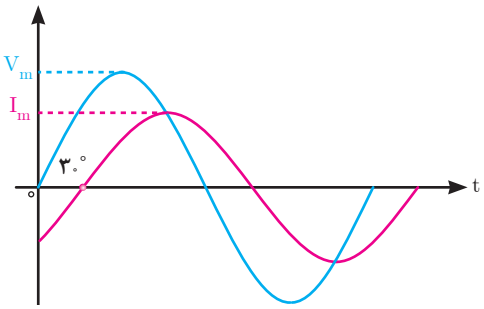
θ_V فاز موج سینوسی ولتاژ

θ_i فاز موج سینوسی جریان است.

در شکل ۴۸ فاز موج سینوسی ولتاژ $\theta_V = ۰^\circ$ می‌باشد و فاز موج سینوسی جریان $\theta_i = -۳۰^\circ$ است. اختلاف فاز آنها $\varphi = +۳۰^\circ$ است، زیرا :

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

$$\varphi = -(-۳۰) = +۳۰^\circ$$



شکل ۴۸

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

حل: از رابطه مقدار ماکزیمم جریان محاسبه می‌شود:

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{۲}}$$

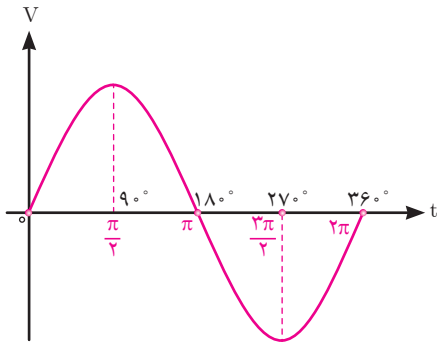
$$۵ = \frac{I_m}{\sqrt{۲}}$$

$$I_m = ۵ \times \sqrt{۲} = ۷A$$

فاز

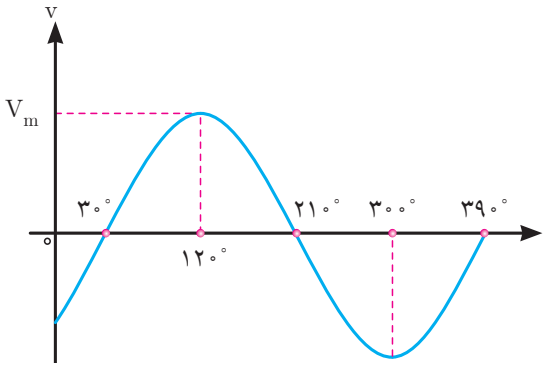
فاز[۱] در لغت به معنی موقعیت می‌باشد. برای یک موج متناوب سینوسی شروع موج، موقعیت یا فاز موج را نسبت به مبدأ دستگاه مختصات نشان می‌دهد. فاز موج سینوسی را با θ نشان می‌دهند.

در شکل ۴۹ فاز موج سینوسی صفر است و آن را به‌صورت $\theta_v = ۰$ نشان می‌دهند.



شکل ۴۹

۱. Phase



شکل ۵۰

در شکل ۵۰ فاز موج سینوسی ۳۰- درجه است. یعنی $\theta_v = -۳۰$ می‌باشد.

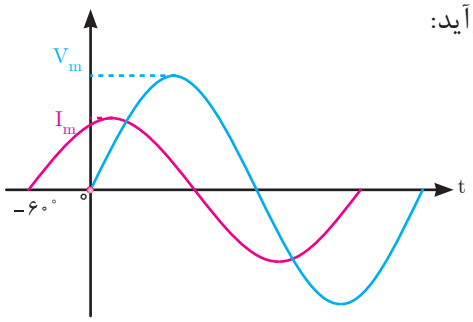
این مدار الکتریکی را پس‌فاز گویند زیرا جریان مدار ۳۰° از ولتاژ مدار عقب‌تر است. در مدارهای پس‌فاز φ مثبت خواهد شد.

مثال: اختلاف فاز موج‌های سینوسی شکل ۵۱ را محاسبه کنید.

حل: فاز موج سینوسی ولتاژ صفر است یعنی $\theta_V=۰$ می‌باشد. فاز موج سینوسی جریان ۶۰+ است یعنی $\theta_i = +۶۰^\circ$ می‌باشد.

از رابطه اختلاف فاز به‌دست می‌آید:

$$\varphi = \theta_V - \theta_i$$
$$\theta_V = ۰$$
$$\theta_i = +۶۰^\circ$$
$$\varphi = ۰ - (+۶۰^\circ) = -۶۰^\circ$$



شکل ۵۱

این مدار الکتریکی را «پیش‌فاز» گویند زیرا جریان مدار ۶۰° از ولتاژ مدار جلوتر است. در مدارهای پیش‌فاز φ منفی خواهد شد.

معادله زمانی موج

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

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

که در این رابطه :

$v(t)$ مقدار لحظه‌ای ولتاژ در لحظه t برحسب ولت

V_m مقدار ماکزیمم ولتاژ برحسب ولت

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

θ_V فاز موج سینوسی ولتاژ برحسب درجه یا رادیان است.

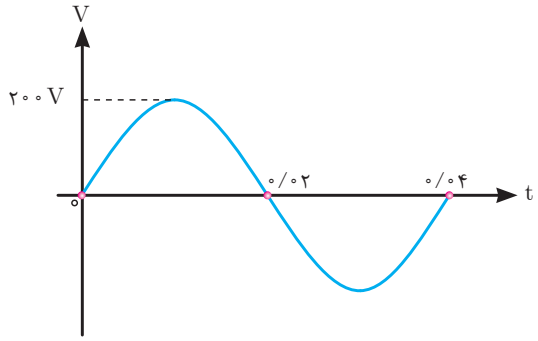
کمیت‌های معادله زمانی $V(t)=۱۰۰\sin\left(۱۰۰\pi t+۰^\circ\right)$ برابر است با:

$$V_m=۱۰۰[V]$$

$$\omega=۱۰۰\pi\left[\frac{Rad}{s}\right]$$

$$\theta_v=۰$$

مثال: معادله زمانی موج سینوسی شکل ۵۲ را بنویسید.



شکل ۵۲

حل:

با توجه به شکل می‌توان نوشت:

$$\theta_V=۰^\circ$$

$$T=۰/۰۴[s]$$

$$V_m=۲۰۰[v]$$

از رابطه سرعت زاویه‌ای ω حساب می‌شود:

$$\omega=\frac{۲\pi}{T}=\frac{۲\pi}{۰/۰۴}=۵۰\pi\left[\frac{Rad}{s}\right]$$

معادله زمانی موج سینوسی به‌صورت زیر است :

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

با جای‌گذاری کمیت‌های آن معادله زمانی موج سینوسی به‌دست می‌آید:

$$V(t)=۲۰۰\sin\left(۵۰\pi t+۰\right)$$

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

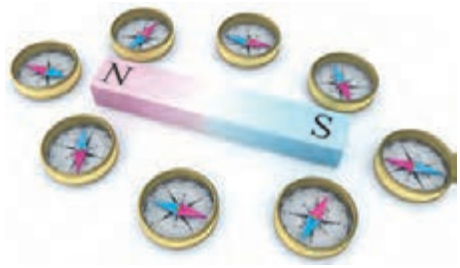
$$i(t)=I_m\sin\left(\omega t+\theta i\right)$$

که در این رابطه:

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

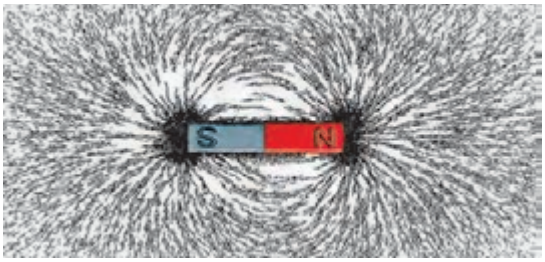
میدان مغناطیسی

در فضای اطراف یک آهنربا یا مغناطیس طبیعی خاصیتی وجود دارد که ذرات آهن را به خود جذب می‌کند به این فضا «میدان مغناطیسی»[1] 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).



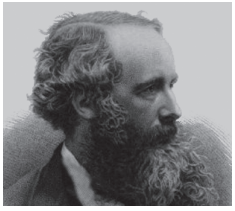
شکل ۵۳

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[2] (max) می‌گویند.



شکل ۵۴

ماکسول



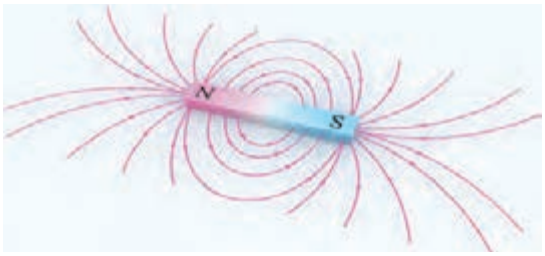
جیمز کلارک ماکسول در ۱۳نوامبر سال ۱۸۳۱ در ادینبرای اسکاتلند متولد شد از کودکی به ریاضیات و فیزیک علاقه فراوان داشت در سال ۱۸۴۷ وارد دانشگاه ادینبرا شد و در سال ۱۸۵۰ به دانشگاه کمبریج رفت و در سال ۱۸۵۴ از تحصیل فراغت یافت.
ماکسول از سال ۱۸۵۶ تا ۱۸۶۵ استاد کالج مارشال در آبردین و کالج کینگ لندن بود، وی 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 ۵۶ـ 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

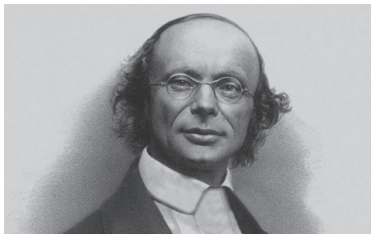
به مجموع خطوط نیروی میدان مغناطیسی اطراف یک مغناطیسی یا آهنربا «فوران» یا «شار مغناطیسی[۲]» می‌گویند و آن را با φ نشان می‌دهند[۳].
واحد فوران مغناطیسی ولت.ثانیه (v.sec) است که اصطلاحاً به آن وِبر wb می‌گویند. یک وبر[۴] برابر با $۱۰^{۸}$ خط نیروی میدان مغناطیسی یا ماکسول است. پس:

$$۱[\text{v.sec}] = ۱[\text{web}] = ۱۰^{۸}[\text{max}]$$

واحد رایج فوران مغناطیسی وبر wb است و واحد کوچک‌تر آن میلی وبر mwb می‌باشد. یک وبر برابر با $۱۰^{۳}$ میلی‌وبر است. یعنی:

$$۱[\text{web}] = ۱۰^{۳}[\text{mwb}]$$

ویلهم وبر



ویلهم وبر در سال ۱۷۹۵ میلادی در آلمان به‌دنیا 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
۳. در برخی کتب آن را Flow می‌نامند.
۴. Weber

تحقیق کنید

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

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

حل:

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

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

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

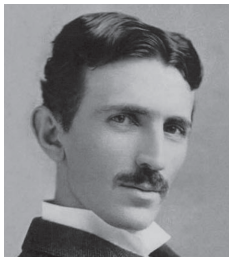
$$\varphi=\frac{2/5\times1}{10^{3}}$$

$$\varphi=2/5\times1\times10^{-3}$$

$$\varphi=2/5\times10^{-3}[wb]$$

$$\varphi=2/5\times10^{+5}=250000[max]$$

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



نیکولا تسلا

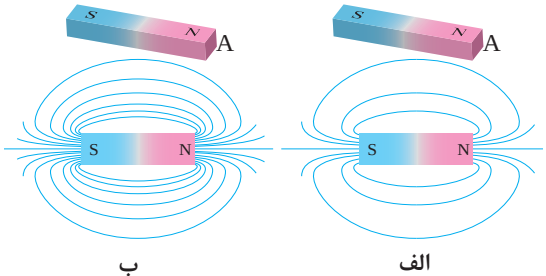
نیکولا تسلا در سال ۱۸۵۶ در امپراتوری اتریش ـ مجارستان متولد شد او پیشگام تولید، انتقال و استفاده از جریان الکتریکی متناوب شد. در سال ۱۸۸۸ شرکت وستینگهاوس امتیاز تسلا شامل موتور و ژنراتور الکتریکی را خرید و این شرکت از سیستم جریان متناوب تسلا برای روشنایی استفاده کرد.

تسلا در طی زندگی‌اش یک میراث حقیقی از اختراعات به جای گذاشت از جمله انتقال انرژی الکتریکی از طریق امواج الکترومغناطیسی که امروزه هنوز جذاب هستند. به افتخار او نام واحد چگالی فوران (شار) مغناطیسی تسلا می‌باشد.

چگالی فوران مغناطیسی

دو آهنربا با ابعاد مشابه و فوران‌های ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ ماکسول که سطح مقطع قطب آنها با A مشخص می‌باشد در شکل نشان داده شده است.

میدان مغناطیسی آهنربای شکل ۵۷ـالف در سطح مقطع قطب خود ۱۰۰۰ و میدان مغناطیسی آهنربای شکل ۵۷ـب در سطح مقطع خود ۲۰۰۰ خط نیرو جای داده است.



الف ب

شکل ۵۷

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. به‌عبارتی فوران مغناطیسی در سطح مقطع قطب A آهنربای شکل ۵۷ـ ب نسبت به شکل ۵۷ـ الف فشرده و متراکم‌تر می‌باشد، لذا میدان مغناطیسی آن قوی‌تر است. در واقع میدان مغناطیسی این دو آهنربا با یکدیگر تفاوت دارند. برای نشان دادن این تفاوت کمیتی به نام «چگالی فوران مغناطیسی»[۱] تعریف می‌شود و آن را با B نشان می‌دهند.

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

چگالی فوران مغناطیسی از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

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

در این رابطه:

φ فوران مغناطیسی بر حسب وبر wb

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

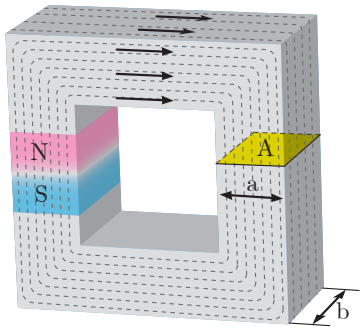
B چگالی فوران مغناطیسی برحسب وبر بر مترمربع $\left[\frac{wb}{m^2}\right]$ است.

واحد چگالی فوران مغناطیسی B وبر بر مترمربع $\left[\frac{wb}{m^2}\right]$ است که اصطلاحاً به آن تسلا[۲] [T] می‌گویند و واحد کوچک‌تر آن ماکسول بر سانتی‌مترمربع $\left[\frac{max}{cm^2}\right]$ است که اصطلاحاً به آن گاوس[۳] [G] گفته می‌شود. پس:

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

مثال: آهنربایی با فوران مغناطیسی ۰/۰۲ mwb مطابق شکل ۵۸ در نظر است. چگالی فوران مغناطیسی در سطح مقطع A هسته چند گاوس می‌باشد؟ درصورتی‌که a=۱۰ mm و b=۲۰ mm باشد.

حل:



شکل ۵۸

■ سطح مقطع A برابر است با:

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

■ واحد سطح مقطع به مترمربع تبدیل می‌شود:

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

۱. Magnetic Flux Density
۲. Tesla
۳. Gauss

■ واحد فوران مغناطیسی به وبر تبدیل می‌شود:

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

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

■ از رابطه زیر چگالی فوران مغناطیسی به‌دست می‌آید:

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

■ واحد چگالی فوران مغناطیسی به گاوس تبدیل می‌شود:

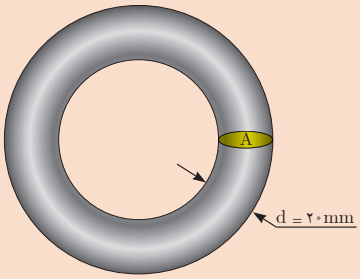
$$\frac{1\text{T}}{0/1\text{T}}=\frac{10^{4}\text{G}}{B}$$

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

تعمیق و تثبیت یادگیری

۱ یک آهنربا ۴۰۰۰۰۰ خط نیروی میدان مغناطیسی دارد. فوران این آهنربا چند میلی‌وبر است؟

۲ آهنربایی با چگالی فوران مغناطیسی ۱۰۰۰۰G مطابق شکل روبه‌رو در نظر است. فوران مغناطیسی در سطح مقطع A هسته چند میلی‌وبر است.



شکل ۵۹

تعمیق و تثبیت یادگیری

۱ فوران مغناطیسی یک آهنربا با سطح مقطع 5cm^{2} و چگالی ۵۰G چند میلی وبر است؟

۲ نیروی محرکه القایی یک سیم‌پیچ که فوران مغناطیسی آن در مدت ۵۰ms به اندازه ۲۰mmb تغییر می‌کند ۱۲۰V 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

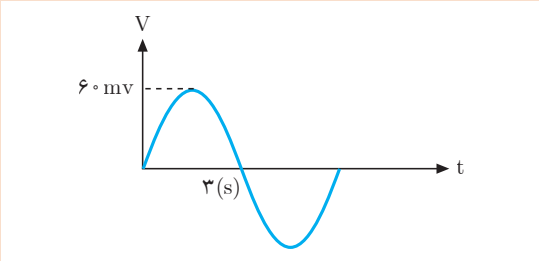
۵ زمان تناوب را برای فرکانس‌های زیر محاسبه کنید.

الف) ۵۰۰هرتز(HZ)

ب)۵مگاهرتز(MHZ)

پ) ۵گیگاهرتز(GHZ)

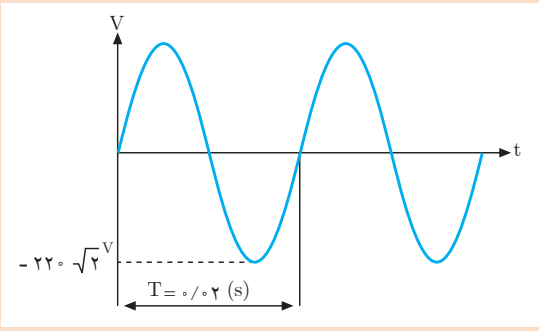
۶ در شکل زیر مقادیر V_{rms}، زمان تناوب و فرکانس را محاسبه کنید.



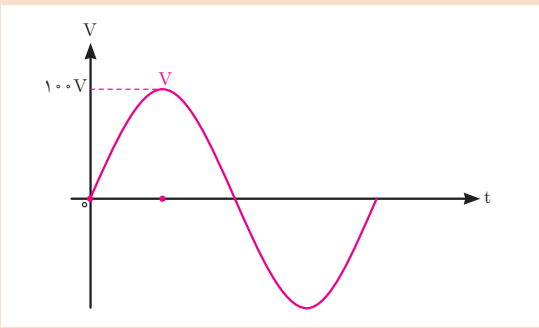
۷ جریانی به معادله $i(t)=۱۰\sin\left(۱۰۰\pi t+۰^{\circ}\right)$ از یک مقاومت ۱۰اهمی عبور می‌کند. ولتاژ دو سر مقاومت چند ولت است؟

۸ مقدار ولتاژ منحنی شکل زیر را در $\frac{T}{۲}$ حساب کنید.

فرکانس و مقدار مؤثر آن چقدر است؟



۹ مقدار مؤثر ولتاژ موج متناوب شکل مقابل را به‌دست آورید.

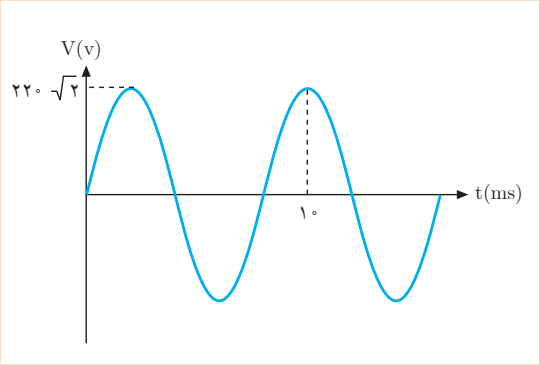


۱۰ ولتاژ متناوب سینوسی شکل زیر یک مقاومت الکتریکی 5Ω را تغذیه می‌کند. مطلوب است محاسبه:

الف) سرعت زاویه‌ای، فرکانس، زمان تناوب.

ب) ولتاژ rms.

ج) جریان عبوری از مقاومت الکتریکی.



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

الف) اختلاف فاز ولتاژ و جریان

ب) مدار پس فاز است یا پیش‌فاز؟ چرا؟

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

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

الف) اختلاف فاز ولتاژ و جریان.

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

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	۱ـ شناخت انرژی الکتریکی جریان مستقیم ۲ـ 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 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	۱ـ ویژگی روش‌های تولید انرژی جریان مستقیم را توضیح دهد. ۲ـ محاسبه افت ولتاژ درونی باتری ۳ـ محاسبه ولتاژ و جریان باتری‌های سری و باتری‌های موازی ۴ـ ویژگی‌ها و طرز کار نیروگاه‌های متناوب را توضیح دهد. ۵ـ استخراج و محاسبه کمیت‌های موج متناوب از روی منحنی ۶ـ صورت‌بندی معادله موج متناوب ۷ـ محاسبه اختلاف فاز
			پایین‌تر از حد انتظار	در صورتی که 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 زیست‌محیطی)

شاخص‌ها	ضریب کیفیت عملکرد	شایستگی عملکرد هنرجو
مدیریت کیفیت ـ جمع‌آوری وگردآوری اطلاعات ـ رعایت ارگونومی ـ کنترل حفاظت الکتریکی و الکترونیکی تجهیزات ـ ایجاد محتوای الکترونیک ـ کاهش مصرف کاغذ ـ طراحی خلاقانه پوسته گرافیکی و گرافیک متحرک ـ رعایت انضباط فردی و کلاسی ـ پوشش مناسب ـ احترام به استاد و همکلاسی‌ها ـ 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 می‌شود. به شرط آنکه:

۱ سطح شایستگی هنرجو در هیچ مرحله ای کمتر از حد انتظار نباشد.

۲ هنرجو در شایستگی‌های 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 می‌شود.

۲ 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 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.

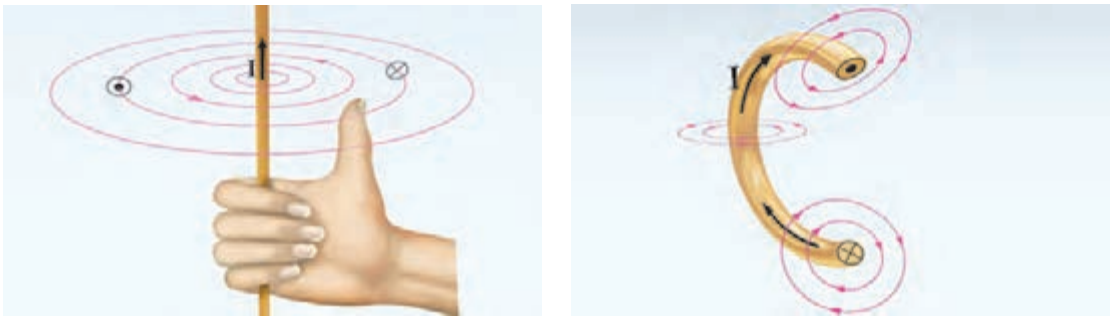


هانس کریستن اورستد

داروساز، فیزیک‌دان و اندیشمند نابغه دانمارکی در سال ۱۷۷۷ دیده به جهان گشود.پدرش داروخانه داشت، بنابراین او در کودکی با بسیاری از مواد آشنایی پیدا کرد که این آشنایی سبب تحصیل در همین رشته شد. وی در سال ۱۷۹۹ در سن ۲۲سالگی 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

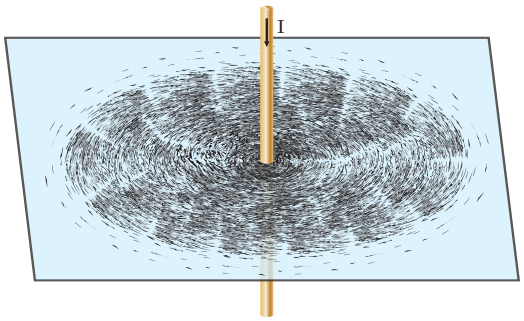
برای تعیین جهت میدان الکترومغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی علاوه بر استفاده از عقربه مغناطیسی می‌توان از قانون شست[1] نیز استفاده کرد. برای این منظور مطابق شکل ۲ باید شست دست راست را در جهت جریان الکتریکی هادی قرار داد تا بقیه انگشتان به‌صورت بسته جهت میدان الکترومغناطیسی را نشان دهند.
مشاهده می‌کنید مانند جهت جریان می‌توان جهت میدان مغناطیسی را نیز به کمک نقطه(•) و ضربدر(×) مشخص کرد.



شکل ۲

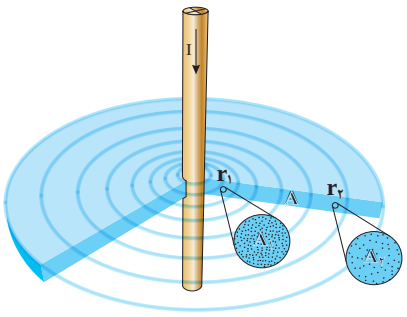
چگالی فوران مغناطیسی اطراف یک هادی حامل جریان الکتریکی

اورستد در ادامه آزمایش‌های خود، هادی حامل جریان الکتریکی را از میان یک صفحه مقوایی عبور داد و بر روی صفحه مقوایی براده‌های آهن پاشید (شکل ۳).



شکل ۳

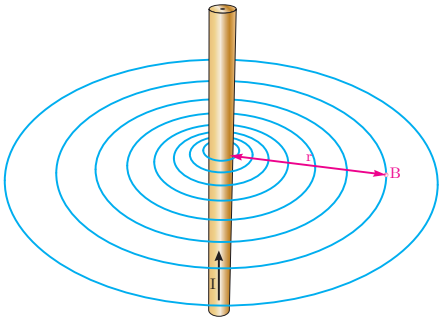
وی مشاهده کرد براده‌های آهن در مسیرهای دایره‌ای منظم شدند و هرچه از هادی فاصله می‌گیرند از فشردگی آنها کاسته می‌شود و این پدیده در سرتاسر طول هادی صادق است. برای درک این پدیده برشی از فضای اطراف هادی در سطح مقطع A در شکل ۴ نشان داده شده است. دو ناحیه A_1 و A_2 با مقاطع مساوی به فاصله r_1 و r_2 از هادی 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



شکل ۵

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 برحسب $\left[\frac{wb}{m^2}\right]$ یا تسلا [T]

K ضریبی است که به محیط اطراف هادی بستگی دارد و برای هوا مقدار آن 2×10^{-7} برحسب $\left[\frac{wb}{A.m}\right]$ است.

I شدت جریان الکتریکی هادی برحسب [A]

r فاصله از هادی برحسب [m] است.

مثال: چگالی فوران میدان مغناطیسی در نقطه‌ای به فاصله ۱ cm از هادی حامل جریان ۱۰A چند گاوس است؟

حل:

■ واحد فاصله بر حسب متر تبدیل می‌شود.

$$\frac{1m}{r} = \frac{100cm}{1cm}$$

$$r = \frac{1\times1}{100} = 0/01m$$

■ چگالی میدان مغناطیسی از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

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

$$B = 2\times10^{-7}\times\frac{10}{0/01} = 2\times10^{-4}\left[\frac{wb}{m^2}\right]$$

یا

$$B = 2\times10^{-4}[T]$$

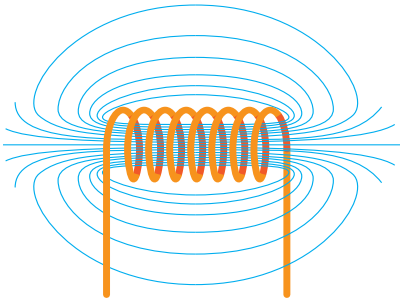
■ واحد چگالی فوران مغناطیسی به گاوس تبدیل می‌شود:

$$\frac{1T}{2\times10^{-4}T} = \frac{10^4G}{B}$$

$$B = \frac{2\times10^{-4}\times10^4}{1} = 2[G]$$

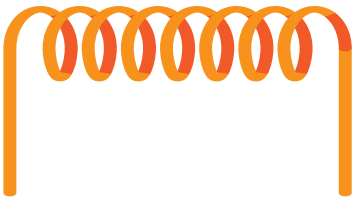
میدان مغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی

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).



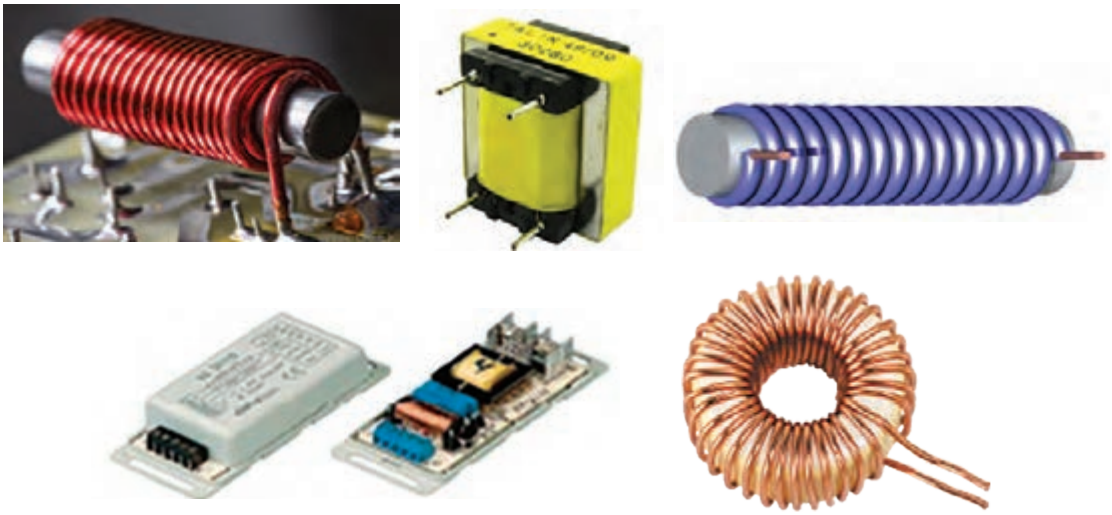
شکل ۶

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



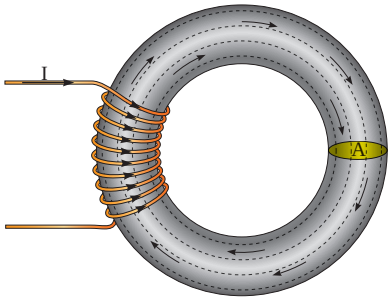
شکل ۷

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



شکل ۸

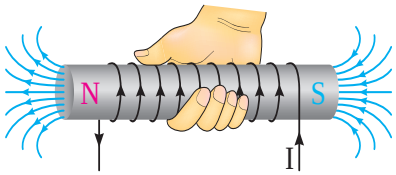
با قرار دادن سیم‌پیچ بر روی یک هسته از جنس مواد فرومغناطیس[1] مطابق شکل ۹ و عبور جریان الکتریکی از آن، میدان الکترومغناطیسی با چگالی B بیشتری نسبت به سیم‌پیچ با هسته هوا ایجاد می‌شود. هسته فرومغناطیس باعث می‌شود، میدان الکترومغناطیسی درون سیم‌پیچ متمرکزتر شود، لذا چگالی فوران مغناطیسی افزایش می‌یابد. مواد فرومغناطیسی خواص آهنربایی از خود نشان می‌دهند. آهن و آلیاژهای آهن، مواد فرومغناطیس هستند.



شکل ۹

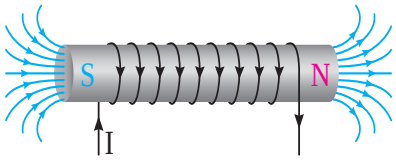
جهت میدان الکترومغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی

جهت میدان الکترومغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی از قاعده دست راست[2] 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 ۱۰

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



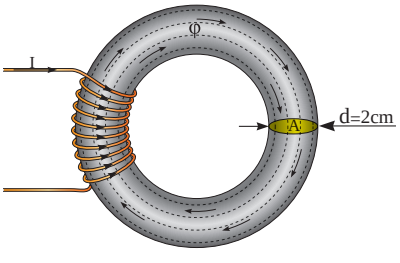
شکل ۱۱

مثال: سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی (شکل ۱۲) میدان الکترومغناطیسی با فوران ۳/۱۴ mwb در هسته تولید می‌کند. چگالی فوران مغناطیسی در هسته چند تسلا است؟

حل:

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

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



شکل ۱۲

۱- Ferro magnetic

۲- Right-hand rule

$$A = \frac{\pi d^{۲}}{۴}$$

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

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

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

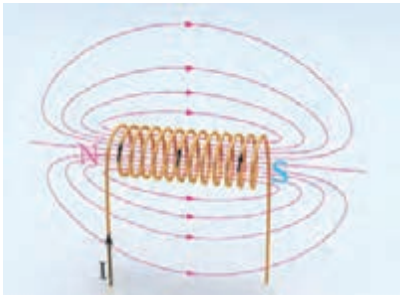
$$\mathrm{B} = \frac{۳/۱۴\times ۱۰^{-۳}}{۳/۱۴\times ۱۰^{-۴}} = ۱۰\left[\frac{\mathrm{wb}}{\mathrm{m}^{۲}}\right] = ۱۰\left[\mathrm{T}\right]$$

تحقیق کنید

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 ان را تخمین بزنید.

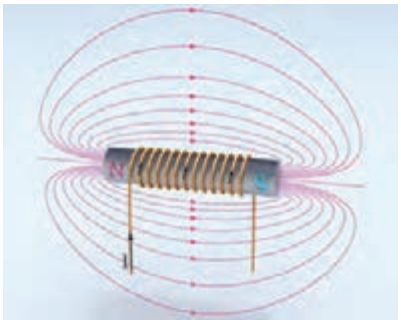
ضریب نفوذ مغناطیسی

ضریب نفوذ مغناطیسی μ معیاری است که میزان گذردهی هسته را در مقابل خطوط نیروی مغناطیسی نشان می‌دهد. میدان مغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان I با هسته هوا در (شکل ۱۳) نشان داده شده است.



شکل ۱۳

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



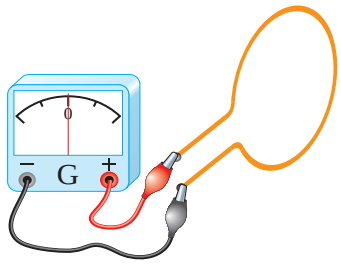
شکل ۱۴

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 به‌دست می‌آید.

قانون القای الکترومغناطیسی فارادی[1]

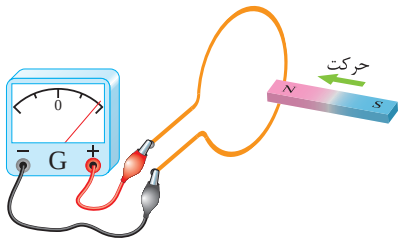
«قانون القای الکترومغناطیسی فارادی» یکی از اساسی‌ترین قوانین مغناطیسی در فیزیک است. طرز کار وسایل الکتریکی که الکترومغناطیس در آنها نقش دارد به کمک قانون القای الکترومغناطیسی فاراده قابل فهم است؛ قانون القای الکترومغناطیس فاراده در تحلیل طرز کار وسایل تبدیل انرژی الکترومکانیکی اعم از موتور یا ژنراتور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

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



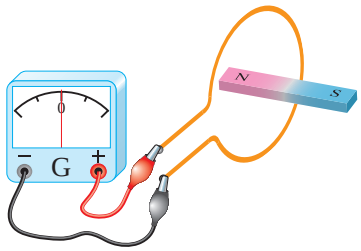
شکل ۱۵

آزمایش ۱ـ مداری متشکل از یک حلقه هادی که دو سر آن به یک گالوانومتر[2] متصل است در شکل ۱۵ نشان داده شده است.



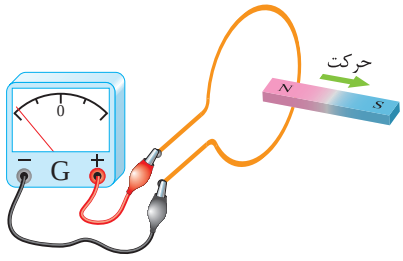
شکل ۱۶

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

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



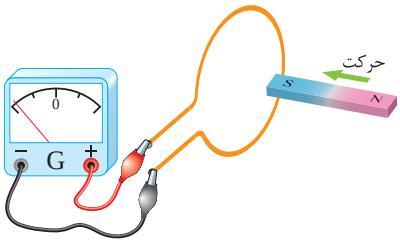
شکل ۱۸

وقتی‌که 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 (۱۷۹۱ـ۱۸۶۷)

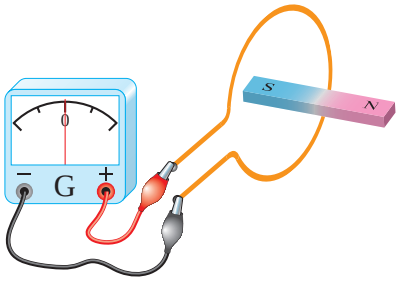
۲. گالوانومتر یک آمپرمتر بسیار دقیق است که می‌تواند جریان‌های خیلی کم را اندازه بگیرد.

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 ۱۹

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



شکل ۲۰

بدین ترتیب در این آزمایش پدیده‌ای مشاهده می‌شود که در اثر حرکت آهنربای دائم نسبت به حلقه به‌وجود 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 به‌دست آورد که به «قانون القای الکترومغناطیسی فاراده» مشهور شد. وی بر اساس این آزمایش‌ها متوجه شد که تغییر فوران مغناطیسی عامل ایجاد نیروی محرکه القایی است؛ لذا قانون القای الکترومغناطیس فاراده را چنین تعریف کرد:

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

فاراده به کمک این قانون برای محاسبه مقدار نیروی محرکه القایی رابطه ریاضی زیر را ارائه کرد. این رابطه بیان ریاضی قانون القای الکترومغناطیسی فاراده است.

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

در این رابطه:

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

Δt مدت زمان وقوع تغییرات فوران مغناطیسی بر حسب ثانیه [s]

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

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

---

۱. Induced Current

۲. Electro Motive Force

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

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

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

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

تحقیق کنید

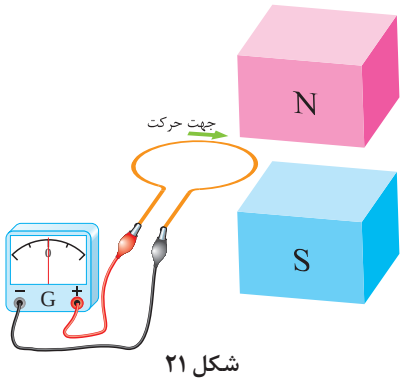
در مورد زندگی فارادی و آزمایش‌ها و ابداعات او تحقیق کنید و به روشی خلاقانه در کلاس ارائه کنید.

مثال: فوران یک سیم‌پیچ ۱۰۰۰ دوری در مدت ۱۰ میلی‌ثانیه به اندازه ۵ میلی وبر 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:

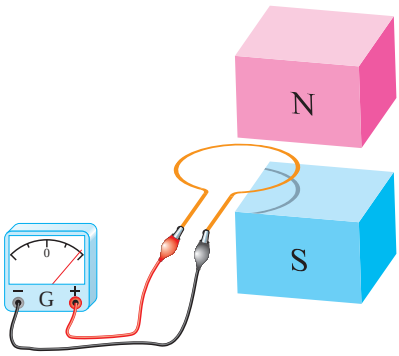
$$e = N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = 1000 \times \frac{5[mw]}{10[ms]} = 500\ [V]$$

$$i = \frac{V}{R} = \frac{500}{1000} = 0/5[A]$$



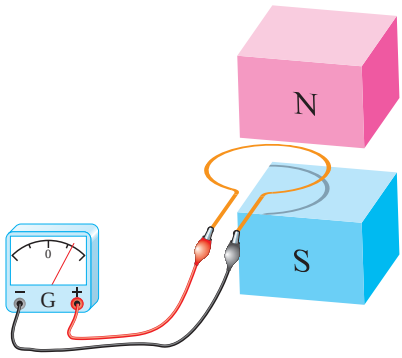
شکل ۲۱

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



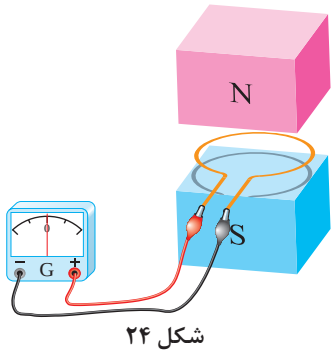
شکل ۲۲

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.



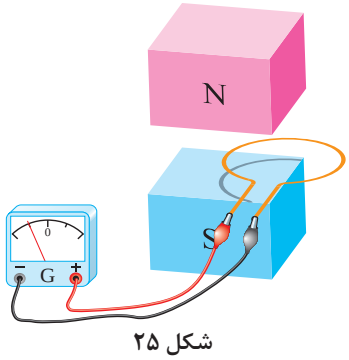
شکل ۲۳

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



شکل ۲۴

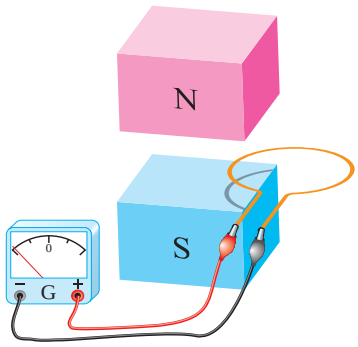
این تغییر فوران طبق قانون فاراده نیروی محرکه القایی در حلقه ایجاد می‌کند. لذا گالوانومتر منحرف می‌شود.
شکل ۲۴ لحظه‌ای را نشان می‌دهد که حلقه به‌صورت کامل وارد میدان مغناطیسی شده است.
تصویر حلقه روی قطب S این موضوع را نشان می‌دهد. با اینکه تمام فوران مغناطیسی سطح حلقه را پوشانده است اما حرکت حلقه در این لحظه موجب تغییر فوران در سطح حلقه نخواهد شد. لذا در آن نیروی محرکه القا نمی‌شود و گالوانومتر صفر را نشان می دهد.



شکل ۲۵

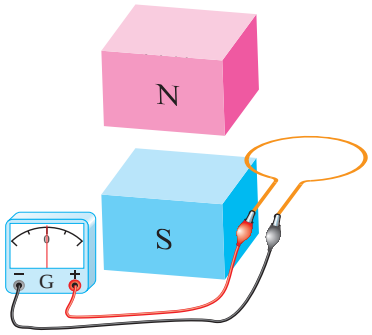
لحظه خروج حلقه در شکل ۲۵ نشان داده شده است.
در این لحظه فوران مغناطیسی بخشی از سطح حلقه را می‌پوشاند و دوباره تغییرات فوران در سطح حلقه ایجاد می‌شود. بنابراین در حلقه نیروی محرکه القا می‌شود و گالوانومتر را در جهت مخالف منحرف می‌کند.
در لحظه خروج حلقه از میدان مغناطیسی فورانی که سطح حلقه را می‌پوشاند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

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 ۲۶

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.



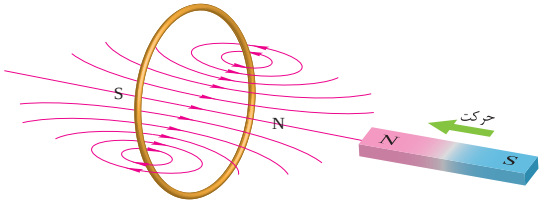
شکل ۲۷

تحقیق کنید

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.

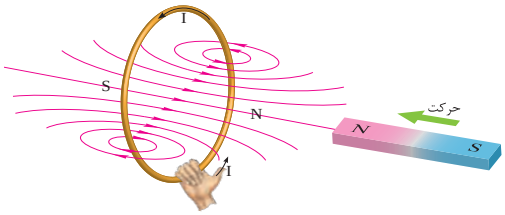
قانون لنز

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 به‌صورت «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 به‌وجود آورنده خود مخالفت کند».
قانون لنز در مورد جریان‌های القایی به کار می‌رود. از آنجایی که جریان در مدار بسته جاری می‌شود، لذا قانون لنز در مدارهای بسته کاربرد پیدا می‌کند.
در (شکل 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.



شکل ۲۸

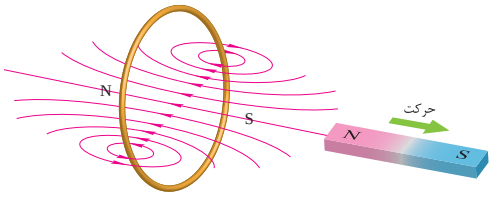
طبق قانون لنز جهت جریان القایی به گونه‌ای است که با عامل به‌وجودآورنده‌اش مخالفت می‌کند؛ بدین معنی که میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی با حرکت آهنربا به سمت حلقه مخالفت خواهد کرد. یعنی قطب N میدان حلقه مقابل قطب N آهنربا قرار می‌گیرد تا با ایجاد نیروی دافعه مانع حرکت آهنربا به سمت حلقه شود. با مشخص 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 القایی تعیین می‌شود.



شکل ۲۹

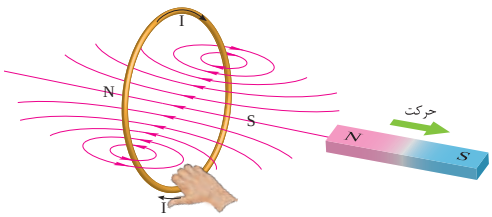
وقتی آهنربا به طرف حلقه «حرکت» می‌کند، جریان القایی ظاهر می‌شود. به بیان قانون القای الکترومغناطیسی فاراده، این «حرکت دادن» همان «تغییر فوران» است که جریان القایی را تولید می‌کند و طبق قانون لنز میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی با این «حرکت دادن» مخالفت خواهد کرد.

اگر آهنربا مطابق (شکل 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 به‌وجودآورنده‌اش که همان «حرکت رو به عقب» آهنربا است مخالفت خواهد کرد؛ یعنی میدان حلقه، قطب S خود را در مقابل قطب N آهنربا قرار می‌دهد تا با ایجاد نیروی جاذبه مانع حرکت آهنربا شود.



شکل ۳۰

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.



شکل ۳۱

با توجه به (شکل‌های ۲۹ و ۳۱) مشاهده می‌شود جهت میدان مغناطیسی حلقه ناشی از جریان القایی همواره به‌گونه‌ای 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 انجام‌شده برای حرکت آهنربا به چه انرژی‌ای تبدیل می‌شود؟

جهت میدان مغناطیسی جریان القایی به گونه‌ای است که همواره با عامل به‌وجودآورنده‌اش، «حرکت آهنربا»

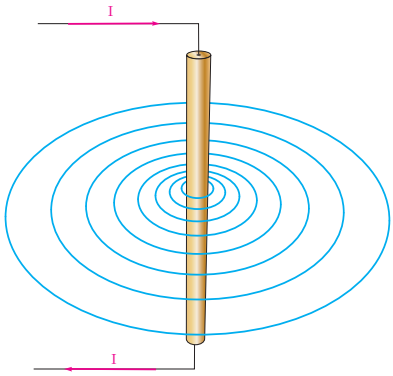
مخالفت می‌کند. این مخالفت در رابطه قانون القای الکترومغناطیسی فاراده با یک علامت منفی به‌صورت رابطه زیر نشان داده می‌شود.

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

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

خودالقایی

خودالقایی القای الکترومغناطیسی ناشی از تغییرات فوران خود هادی می‌باشد. پدیده خودالقایی ناشی از تغییرات جریان نسبت به زمان ایجاد می‌شود. با عبور جریان از یک هادی در اطراف آن میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود (شکل ۳۲).



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 به‌وجود آورنده‌اش، تغییرات جریان مخالفت می‌نماید. پدیده خودالقایی در سیم‌پیچ‌ها نیز همانند پدیده خودالقایی توضیح داده می‌شود.

نیروی محرکه خودالقایی متناسب با تغییرات جریان نسبت به زمان است و با رابطه زیر بیان می‌شود:

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

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

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

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

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

مثال: جریان یک سیم‌پیچ با ضریب خودالقایی ۰/۵ هانری در مدت ۰/۲ ثانیه از صفر به ۲ آمپر می‌رسد. نیروی محرکه خودالقایی چند ولت است؟

حل: تغییرات جریان برابر است با:

$$\Delta i = ۲ - ۰ = ۲[A]$$

تغییرات زمان برابر است با:

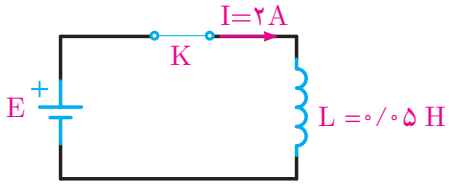
$$\Delta t = ۰/۲[s]$$

از رابطه زیر نیروی محرکه خودالقایی به‌دست می‌آید:

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

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

مثال: در مدار شکل ۳۳ در صورت بازشدن کلید مقدار نیروی محرکه خودالقایی سیم‌پیچ در مدت ۰/۵ ثانیه چند ولت است؟



شکل ۳۳

حل: تغییرات جریان برابر است با:

$$\Delta i = ۰ - ۲ = -۲[A]$$

تغییرات زمان برابر است با:

$$\Delta t = ۰/۵[s]$$

از رابطه فوق نیروی محرکه خودالقایی به‌دست می‌آید:

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

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

برای محاسبه ضریب خودالقایی سیم‌پیچ از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$L = \frac{\mu N^۲ A}{\ell}$$

که در این رابطه:

L ضریب خودالقایی سیم‌پیچ [H]

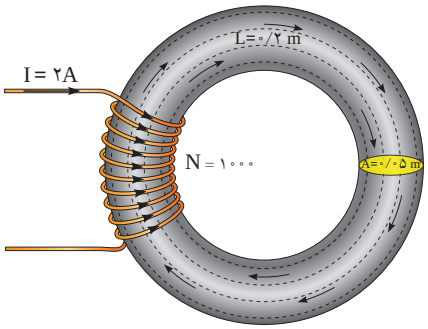
μ ضریب نفوذ مغناطیسی $\left[\frac{Wb}{A.m}\right]$

N تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ

A سطح مقطع هسته سیم‌پیچ [m^2]

ℓ طول متوسط هسته [m] است.

مثال: ضریب خودالقایی سیم‌پیچ شکل ۳۴ را به‌دست آورید. $(\mu = ۲\times ۱۰^{-۵}\ \frac{Wb}{A.m})$



شکل ۳۴

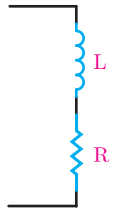
حل: از رابطه فوق داریم:

$$L = \frac{\mu N^2 A}{\ell}$$

$$L = \frac{۲\times ۱۰^{-۵}\times ۱۰۰۰^2 \times ۰/۰۵}{۰/۲} = ۱[H]$$

مدار الکتریکی معادل سیم‌پیچ

سیم‌پیچ علاوه بر ضریب خودالقایی L، مقاومت الکتریکی اهمی R نیز دارد. مقاومت الکتریکی اهمی ناشی از طول و سطح مقطع هادی سیم‌پیچ است و ضریب خودالقایی ناشی از نیروی محرکه خودالقایی می‌باشد که در اثر تغییرات جریان به‌وجود می‌آید. برای سیم‌پیچ مدار الکتریکی شامل اتصال سری مقاومت الکتریکی اهمی R و ضریب خودالقایی L معادل می‌نمایند. (شکل ۳۵)



شکل ۳۵

سیم‌پیچ در جریان متناوب

سیم‌پیچ در جریان متناوب علاوه بر مقاومت الکتریکی اهمی R، به دلیل تغییرات جریان ناشی از فرکانس نیروی محرکه خودالقایی نیز در آن به‌وجود می‌آید.

جریان متناوب باعث ایجاد فوران در سیم‌پیچ می‌شود و نیروی محرکه خودالقایی ایجاد می‌کند. این نیروی محرکه خودالقایی با جاری شدن جریان در سیم‌پیچ مخالفت می‌نماید. مخالفت سیم‌پیچ در مقابل عبور جریان متناوب الکتریکی ناشی از اثر خودالقایی را «مقاومت القایی» گویند و با X_L نشان می‌دهند و واحد آن اهم است. مقاومت القایی با ضریب خودالقایی ارتباط دارد و از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$X_L = ۲\pi fL$$

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

مثال: مقاومت القایی یک سلف ۱۰ mH در فرکانس ۵۰ و ۶۰هرتز چند اهم است؟

حل:

$$X_L = ۲\pi fL$$

از رابطه زیر داریم:

$$X_L = ۲\times ۳/۱۴\times ۵۰\times ۱۰\times ۱۰^{-۳} = ۳/۱۴[\Omega]$$

$$X_L = ۲\times ۳/۱۴\times ۶۰\times ۱۰\times ۱۰^{-۳} = ۳/۷۶۸[\Omega]$$

سلف

سلف، سیم‌پیچی است که از مقاومت الکتریکی R در مقایسه با مقاومت القایی X_L آن صرف‌نظر شده است. در مدارات الکتریکی سلف‌ها به صورت سری یا موازی با یکدیگر اتصال پیدا می‌کنند.

الف) اتصال سری سلف‌ها

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

$$L_{eq} = L_۱ + L_۲ + \cdots + L_n$$

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

حل: از رابطه زیر داریم:

$$L_{eq} = L_۱ + L_۲ + L_۳$$

$$L_{eq} = ۲ + ۴ + ۶ = ۱۲[mH]$$

ب) اتصال موازی سلف‌ها

در اتصال موازی سلف‌ها ضریب خودالقایی کل از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

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

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

حل: از رابطه زیر داریم:

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

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

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

$$\frac{۱}{L_{eq}} = \frac{۶}{۱۲}$$

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

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 به‌صورت زیر است:

مدار سری:

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

مدار موازی:

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

مثال: دو سلف 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:

$$X_{L_{eq}} = X_{L_۱} + X_{L_۲}$$

$$X_{L_{eq}} = ۳ + ۶ = ۹[\Omega]$$

مثال: دو سلف با اتصال موازی در یک مدار الکتریکی دارای مقاومت القایی ۳ و ۶اهم می‌باشند. مقاومت القایی کل چند اهم است؟

حل : از رابطه زیر داریم:

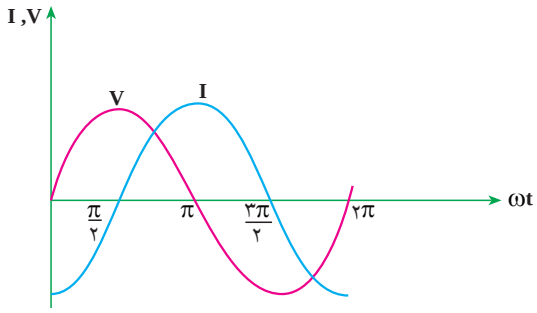
$$\frac{۱}{X_{L_{eq}}} = \frac{۱}{X_{L_۱}} + \frac{۱}{X_{L_۲}}$$

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

$$X_{L_{eq}} = ۲[\Omega]$$

منحنی جریان و ولتاژ سلف در جریان متناوب

جریان سلف از ولتاژ دو سر آن ۹۰° عقب‌تر است لذا سلف را یک عنصر«پس فاز» می‌شناسند. منحنی ولتاژ و جریان یک سلف در اتصال به منبع متناوب سینوسی در شکل ۳۶ نشان داده شده است که در آن $\theta_i = -۹۰^\circ$ و $\theta_V = ۰$ می‌باشد.



شکل ۳۶

با توجه به شکل ۳۶ معادلات زمانی ولتاژ و جریان به‌صورت زیر خواهد شد:

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + ۰)$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t - ۹۰^\circ)$$

و زاویه اختلاف فاز برابر خواهد شد:

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

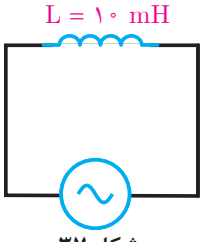
$$\varphi = ۰ - (-۹۰) = +۹۰$$

مثال: در مدار شکل ۳۷ مطلوب است:

الف) مقاومت القایی سلف

ب) جریان سلف

ج) معادله زمانی جریان سلف



شکل ۳۷

$$v(t) = ۵۰ \sin(۱۰۰۰t)$$

حل:

الف) از رابطه x_L داریم:

$$x_L = ۲\pi fL = \omega L$$

$$x_L = ۱۰۰۰ \times ۱۰ \times ۱۰^{-۳} = ۱۰[\Omega]$$

ب: از قانون اهم داریم

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

$$I_m = \frac{V_m}{x_L} = \frac{۵۰}{۱۰} = ۵[A]$$

از رابطه جریان مؤثر به‌دست می‌آید.

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۵}{\sqrt{۲}} = ۳/۵۴[A]$$

ج) جریان سلف از ولتاژ دو سر آن عقب‌تر است و داریم :

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

$$i(t) = ۵\sin(۱۰۰۰t + ۹۰^\circ)$$

انرژی سلف

سلف انرژی الکتریکی را به‌صورت میدان مغناطیسی در خود ذخیره می‌سازد و ماکزیمم انرژی ذخیره شده در سلف از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$W_L = \frac{۱}{۲} L I_m^۲$$

که در این رابطه:

W_L ماکزیمم انرژی ذخیره شده در سلف [j]

L ضریب خودالقایی [H]

I_m ماکزیمم جریان سلف [A] است.

مثال: از یک سلف با ضریب خودالقایی ۰/۲ هانری جریان متناوب سینوسی به معادله زمانی

$$i(t) = ۴\sin(۵۰۰t - ۹۰^\circ)$$

می‌گذرد. ماکزیمم انرژی ذخیره شده در سلف چند ژول است؟

حل : از رابطه داریم:

$$W_L = \frac{۱}{۲} L I^۲ m$$

$$W_L = \frac{۱}{۲}(۰/۲)(۴)^۲ = ۱/۶[j]$$

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 آمپرراکتیو» «VAR» است. توان الکتریکی سلف از رابطه زیر به‌دست می‌آید و آن را با علامت مثبت نشانه‌گذاری می‌کنند.

$$Q_L = +X_L I_L^2$$

که در این رابطه:
Q_L توان الکتریکی سلف [VAR]
X_L مقاومت القایی سلف [Ω]
I_L جریان سلف [A] است.

مثال: یک سلف با مقاومت القایی ۴اهم با جریان مؤثر ۳آمپر مفروض است. توان الکتریکی سلف چقدر است؟
حل: از رابطه توان الکتریکی سلف داریم:

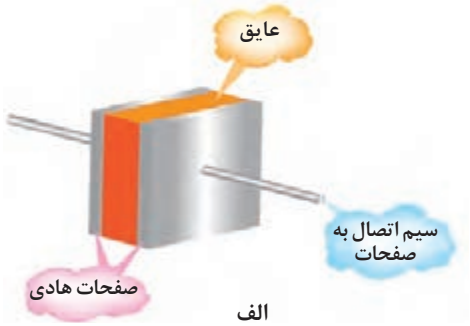
$$Q_L = +X_L I_L^2$$

$$Q_L = +۴ \times ۳^2 = +۳۶ [VAR]$$

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 ۳۸ـالف). عایق خازن‌ها را «دی‌الکتریک» نیز می‌گویند. جنس دی‌الکتریک می‌تواند هوا، خلأ، کاغذ، میکا و... باشد.
خازن را با علامت اختصاری شکل ۳۸ـ ب نشان می‌دهند.



الف


نمای الکترون خازن

ب

شکل ۳۸

خازن در لغت به معنای ذخیره‌ساز است زیرا انرژی الکتریکی را به‌صورت میدان الکترواستاتیکی در خود ذخیره می‌کند.

ظرفیت خازن

ظرفیت خازن نسبت بار الکتریکی ذخیره شده به اختلاف پتانسیل صفحات می‌باشد و آن را با C نشان می‌دهند و واحد آن $\frac{\text{کولن}}{\text{ولت}}$ می‌باشد که به احترام مایکل فاراد به آن «فاراد» گویند و با حرف F نشان می‌دهند.
یک فاراد ظرفیت خازنی است که هرگاه اختلاف پتانسیل یک ولت بین صفحات آن ایجاد شود بار الکتریکی یک کولن در آن ذخیره شده است. ظرفیت خازن از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

در این رابطه:
C ظرفیت خازن برحسب فاراد [F]
q بار ذخیره شده برحسب کولن [C]
V اختلاف پتانسیل برحسب ولت [V] است.

۱. Dielectric

مثال: یک خازن در اثر اعمال ۲۰ولت به دو سر آن بار الکتریکی معادل ۸۰کولن را ذخیره می‌کند. ظرفیت خازن چقدر است؟

حل:

$$C=\frac{q}{V} \qquad C=\frac{۸۰}{۲۰}=۴[F]$$

مثال: خازنی با ظرفیت $۴۰\mu F$ را به ولتاژ ۵۰ ولت اتصال می‌دهیم . مقدار بار الکتریکی ذخیره شده چقدر است ؟

حل:

$$q=CV$$

$$q=۴۰\times۱۰^{-۶}\times۵۰=۲۰۰۰[\mu C]$$

مثال: یک خازن $۱۰\mu F$ با بار $۱۰\mu C$ چقدر اختلاف پتانسیل دارد؟

حل:

$$V=\frac{q}{C} \qquad V=\frac{۱۰\times۱۰^{-۶}}{۱۰\times۱۰^{-۶}}=۱[V]$$

عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن

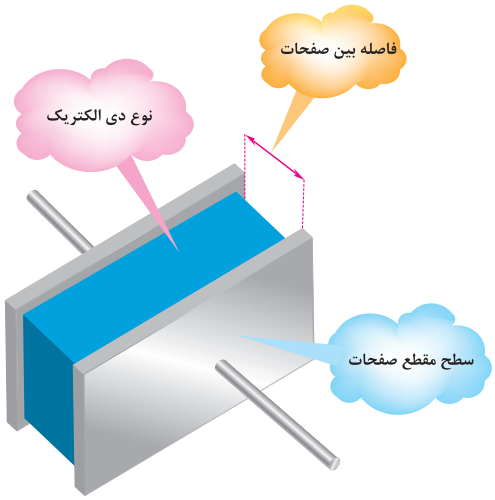
مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعیین ظرفیت خازن عبارت‌اند از:

۱ مساحت صفحات هادی

۲ فاصله بین صفحات هادی

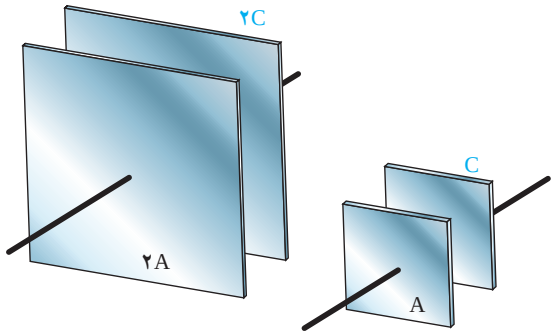
۳ جنس عایق یا دی‌الکتریک

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).



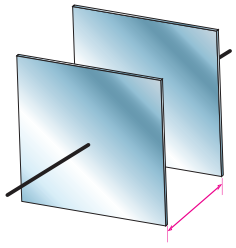
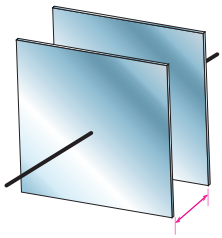
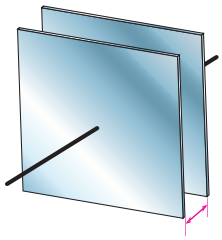
شکل ۳۹ـ عوامل مؤثر بر ظرفیت خازن

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).



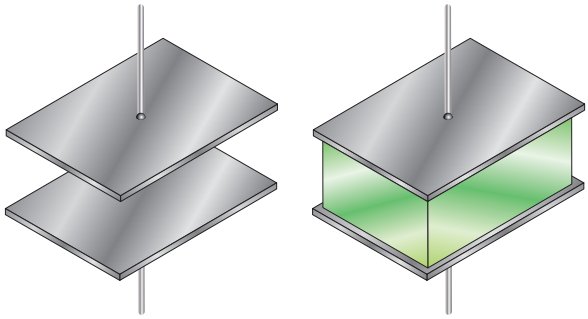
شکل ۴۰ـ تأثیر مساحت صفحات بر ظرفیت خازن

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 کم	ظرفیت متوسط	ظرفیت زیاد
		
فاصله صفحات زیاد	فاصله صفحات متوسط	فاصله صفحات کم

شکل ۴۱ـ تأثیر فاصلهٔ 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 $\varepsilon_{\circ}$ نشان می‌دهند و برابر است با:

$$\varepsilon_{\circ} = ۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲} \left[\frac{F}{m}\right]$$

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:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{\circ}}$$

ضریب نفوذ نسبی تعدادی از عایق‌های الکتریکی در جدول نشان داده شده است.

جدول ضریب نفوذ نسبی عایق‌ها

نوع عایق	ضریب نفوذ نسبی عایق‌ها(ε_r)
هوا	۱
تفلون	۲
کاغذ آغشته به پارافین	۲/۵
روغن	۴
میکا	۵
اکسید آلومینیم	۷
شیشه	۷/۵
اکسید تانتالیم	۲۶
سرامیک	۱۲۰۰

ظرفیت خازن با توجه به ابعاد صفحات هادی و فاصله آنها از یکدیگر و جنس عایق از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

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

که در آن:

C ظرفیت خازن برحسب $[F]$

$\varepsilon = \varepsilon_{\circ}\varepsilon_r$ ضریب نفوذ الکتریکی عایق برحسب $\left[\frac{F}{m}\right]$

A مساحت صفحات برحسب $[m^۲]$

d فاصله بین صفحات برحسب $[m]$ است.

مثال: ظرفیت خازنی که مساحت صفحات آن ۰/۰۵ مترمربع و فاصله بین صفحات آن ۰/۱ سانتی‌متر و نوع دی‌الکتریک به کار رفته در آن میکا باشد را به‌دست آورید.

حل: با استفاده از جدول ضریب نفوذ نسبی (ε_r) برای میکا برابر ۵ است. همچنین می‌دانیم که ضریب نفوذ نسبی هوا برابر است با

$$\varepsilon_\circ = ۸/۸۵\times ۱۰^{-۱۲}$$

بنابراین با توجه به مقادیر داده شده، مقدار C ظرفیت خازن را به‌دست می‌آوریم.

$$\varepsilon = \varepsilon_\circ \varepsilon_r$$

$$\varepsilon = ۸/۸۵\times ۱۰^{-۱۲}\left[\frac{F}{m}\right]$$

$$A = ۰/۰۵[m^۲]$$

$$d = ۰/۱\times ۱۰^{-۲}[m]$$

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

$$C = \frac{۸/۸۵\times ۱۰^{-۱۲}\times ۵\times ۰/۰۵}{۰/۱\times ۱۰^{-۲}} = ۰/۰۰۲۲۱\mu f$$

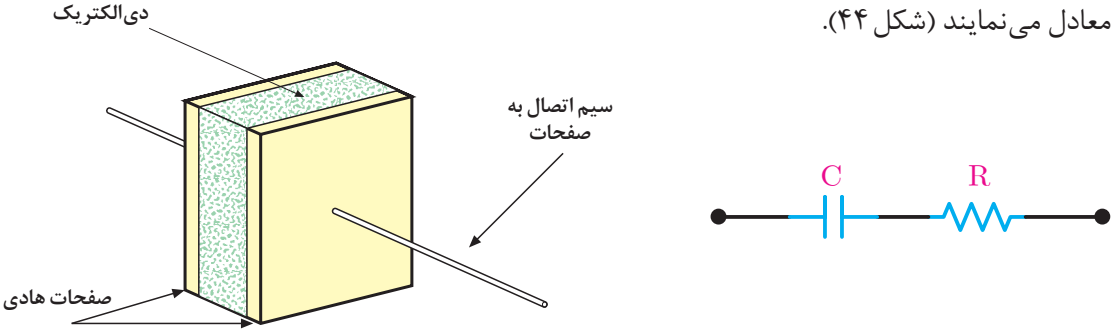


شکل ۴۳

از جمله مشخصه‌های دیگر خازن ولتاژکار آن است که همراه با ظرفیت روی بدنه خازن نوشته می‌شود. در شکل ۴۳ خازن با تحمل ولتاژ ۴۰۰ ولت DC و ظرفیت ۱۰۰ 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 می‌نمایند (شکل ۴۴).



شکل ۴۴ـ مدار الکتریکی معادل خازن

تحقیق کنید

تفاوت خازن و باتری در چیست؟ آیا می‌توان از خازن‌ها به‌جای 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[1] با جاری شدن جریان در خازن مخالفت می‌کند. «مقاومت خازنی» را با X_C نشان می‌دهند و واحد آن اهم است و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fc}$$

در این رابطه:
X_C مقاومت خازنی $[\Omega]$
f فرکانس $[Hz]$
C ظرفیت خازن $[F]$ است.

مثال: یک خازن با ظرفیت $100\mu F$ در فرکانس ۵۰ 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

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.

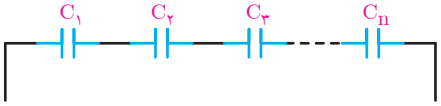


شکل ۴۵

الف) اتصال سری خازن‌ها

ظرفیت خازن معادل C_{eq} چند خازن با اتصال سری شکل ۴۶ از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \cdots + \frac{1}{C_n}$$



شکل ۴۶

۱. Capacitor Reactance

مثال: ظرفیت خازن معادل خازن‌های شکل ۴۷ را به‌دست آورید.

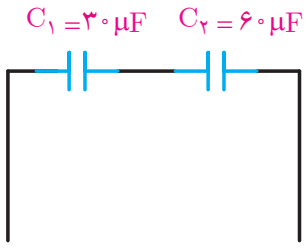
حل:

$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۱}{C_۱}+\frac{۱}{C_۲}$$

$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۱}{۳۰}+\frac{۱}{۶۰}$$

$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۲+۱}{۶۰}=\frac{۳}{۶۰}$$

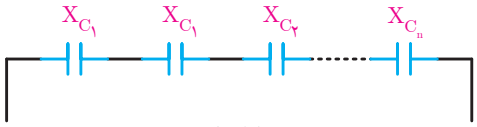
$$C_{eq}=\frac{۶۰}{۳}=۲۰\mu F$$



شکل ۴۷

مقاومت خازنی معادل X_C خازن‌های اتصال سری شکل ۴۸ از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$X_{C_{eq}}=X_{C_۱}+X_{C_۲}+\cdots+X_{C_n}$$



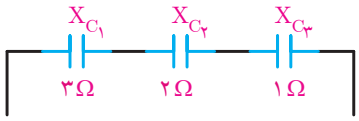
شکل ۴۸

مثال: مقاومت خازنی معادل شکل ۴۹ را به‌دست آورید.

حل:

$$X_{C_{eq}}=X_{C_۱}+X_{C_۲}+X_{C_۳}$$

$$X_{C_{eq}}=۳+۲+۱=۶[\Omega]$$



شکل ۴۹

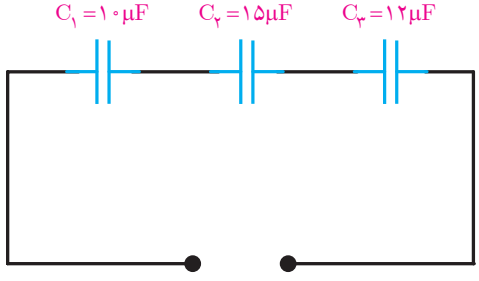
مثال: ظرفیت معادل مدار شکل ۵۰ را به‌دست آورید.

حل:

$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۱}{C_۱}+\frac{۱}{C_۲}+\frac{۱}{C_۳}$$

$$\frac{۱}{C_{eq}}=\frac{۱}{۱۰}+\frac{۱}{۱۵}+\frac{۱}{۱۲}=\frac{۶+۴+۵}{۶۰}=\frac{۱۵}{۶۰}$$

$$C_{eq}=\frac{۱۶۰}{۱۵}=۴[\mu F]$$

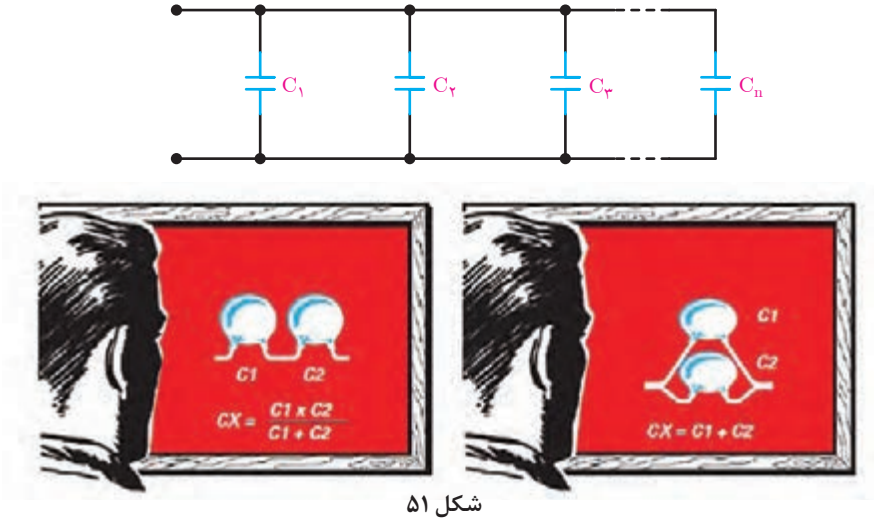


شکل ۵۰

ب) اتصال موازی خازن‌ها

ظرفیت خازن معادل C_{eq} چند خازن با اتصال موازی شکل ۵۱ از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$C_{eq} = C_۱ + C_۲ + \cdots + C_n$$



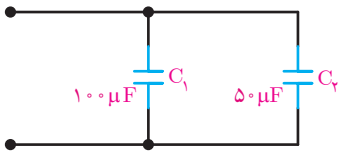
شکل ۵۱

مثال: ظرفیت خازن معادل خازن‌های شکل ۵۲ را به‌دست آورید.

حل:

$$C_{eq} = C_۱ + C_۲$$

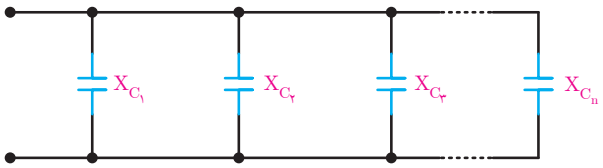
$$C_{eq} = ۱۰۰ + ۵۰ = ۱۵۰\mu F$$



شکل ۵۲

مقاومت خازنی معادل X_{C_t} خازن‌ها با اتصال موازی شکل ۵۳ از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

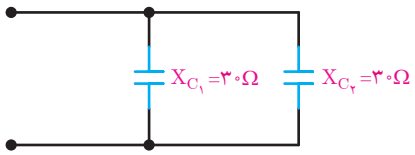
$$\frac{۱}{X_{C_{eq}}} = \frac{۱}{X_{C_۱}} + \frac{۱}{X_{C_۲}} + \frac{۱}{X_{C_۳}} + \cdots + \frac{۱}{X_{C_n}}$$



شکل ۵۳

مثال: مقاومت خازنی معادل خازن‌های شکل ۵۴ را به‌دست آورید.

حل:



شکل ۵۴

$$\frac{۱}{X_{C_{eq}}}=\frac{۱}{X_{C_۱}}+\frac{۱}{X_{C_۲}}$$

$$\frac{۱}{X_{C_{eq}}}=\frac{۱}{۳۰}+\frac{۱}{۳۰}$$

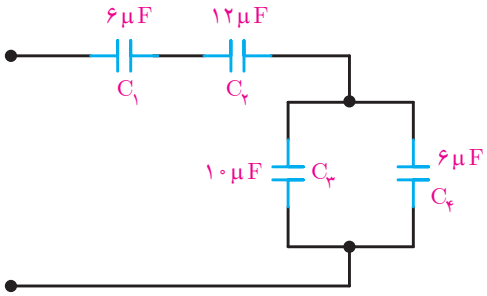
$$\frac{۱}{X_{C_{eq}}}=\frac{۲}{۳۰}$$

$$X_{C_{eq}}=\frac{۳۰}{۲}=۱۵[\Omega]$$

ج) اتصال سری ـ 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 دربارهٔ آنها عمل می‌کنیم. در نهایت، مجموعه C_1 و C_2 با مجموعه C_3 و C_4 سری هستند و از قوانین سری پیروی می‌کنند. بنابراین، می‌توان نوشت:

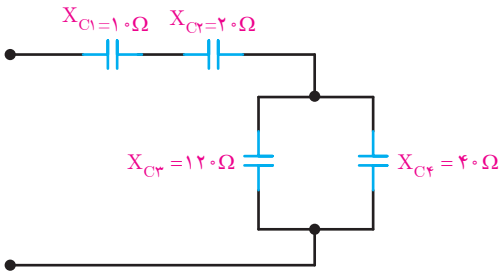
$$C_{۱,۲}=\frac{C_۱C_۲}{C_۱+C_۲}=\frac{۶\times۱۲}{۶+۱۲}=۴[\mu F]$$

$$C_{۳,۴}=C_۳+C_۴=۱۰+۶=۱۶[\mu F]$$

$$C_۵=\frac{۴\times۱۶}{۴+۱۶}=\frac{۱۶}{۵}=۳/۲[\mu F]$$

مثال: مقاومت خازنی معادل شکل ۵۶ را به‌دست آورید.

حل :



شکل ۵۶

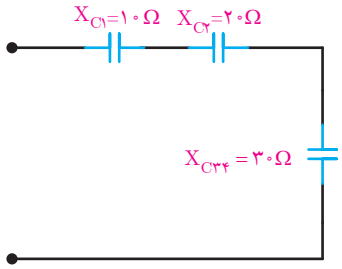
$$\frac{۱}{X_{C_{۳۴}}}=\frac{۱}{X_{C_۳}}+\frac{۱}{X_{C_۴}}$$

$$\frac{۱}{X_{C_{۳۴}}}=\frac{۴}{۱۲۰}$$

$$X_{C_{۳۴}}=\frac{۱۲۰}{۴}=۳۰[\Omega]$$

مدار به شکل ۵۷ در می‌آید.

اکنون معادل سری $X_{C_۱}$، $X_{C_۲}$ و $X_{C_{۳۴}}$ را به دست می‌آوریم.



شکل ۵۷

$$X_{C_{eq}}=X_{C_۱}+X_{C_۲}+X_{C_{۳۴}}$$

$$X_{C_{eq}}=۱۰+۲۰+۳۰=۶۰[\Omega]$$

انرژی خازن

خازن انرژی الکتریکی را به‌صورت میدان الکتریکی در خود ذخیره می‌سازد و ماکزیمم انرژی ذخیره‌شده در خازن از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$W_C=\frac{۱}{۲}CV_m^۲$$

که در این رابطه :

W_C ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن $[j]$

C ظرفیت خازن $[F]$

V_m ماکزیمم ولتاژ خازن $[V]$ است.

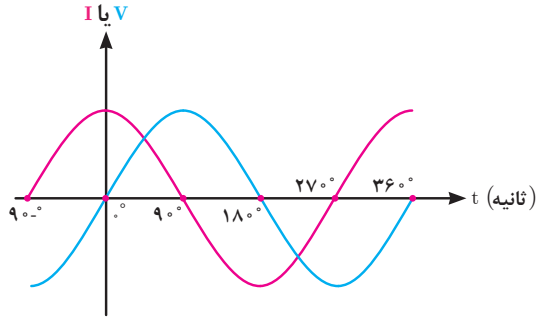
مثال: به یک خازن با ظرفیت ۵۰ میکروفاراد ولتاژ متناوب سینوسی به معادله زمانی $v(t)=۱۰۰\sin(۱۰۰۰t)$ وصل شده است. ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن چند ژول است؟

حل:

$$W_C=\frac{۱}{۲}CV_m^۲$$

$$W_C=\frac{۱}{۲}\times۵۰\times۱۰^{-۶}\times(۱۰۰)^۲=۰/۲۵[j]$$

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 «پیش‌فاز» می‌شناسند. منحنی ولتاژ و جریان خازن در اتصال به منبع متناوب سینوسی در شکل ۵۸ نشان داده شده است که در آن $\theta_v = ۰$ و $\theta_i = ۹۰$ می‌باشد.

با توجه به شکل ۵۸ معادلات زمانی ولتاژ و جریان به‌صورت زیر خواهد شد:

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + ۰)$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + ۹۰^\circ)$$

و زاویه اختلاف فاز ϕ برابر خواهد شد.

$$\phi = \theta_V - \theta_i$$

$$\phi = ۰ - (۹۰) = -۹۰^\circ$$

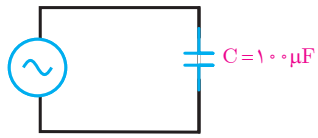
مثال: در مدار شکل ۵۹ مطلوب است:

الف) مقاومت خازنی

ب) جریان خازن

ج) معادله زمانی جریان خازن

$$v(t) = ۵۰\sin(۱۰۰۰t)$$



شکل ۵۹

حل:

الف) از رابطه زیر داریم:

$$X_C = \frac{۱}{C\omega}$$

$$X_C = \frac{۱}{۱۰۰\times۱۰^{-۶}\times۱۰۰۰} = ۱۰[\Omega]$$

ب) از رابطه مقاومت الکتریکی داریم:

$$I_m = \frac{V_m}{X_C} = \frac{۵۰}{۱۰} = ۵[A]$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۵}{\sqrt{۲}} = ۳/۵۴[A]$$

جریان خازن از ولتاژ دو سر آن ۹۰ درجه جلوتر است لذا داریم:

$$i(t) = ۵\sin(۱۰۰۰t + ۹۰)$$

توان الکتریکی خازن

توان الکتریکی خازن صرف ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی می‌شود. مقدار انرژی ذخیره‌شده در واحد زمان در خازن را «توان الکتریکی خازن» گویند. توان الکتریکی خازن قادر به تبدیل کردن انرژی الکتریکی نیست لذا آن را توان «غیرمؤثر» یا «توان راکتیو[1]» نیز می‌گویند و با حرف C نشان می‌دهند و واحد آن «ولت آمپر راکتیو VAR» است. توان الکتریکی خازن از رابطه زیر به‌دست می‌آید و آن را با علامت منفی نشانه‌گذاری می‌کنند.

$$Q_c = -X_c I_c^2$$

که در این رابطه:
Q_c توان الکتریکی خازن $[VAR]$
X_c مقاومت خازنی $[\Omega]$
I_c جریان خازنی $[A]$ است.

مثال: یک مقاومت خازنی ۲اهم با جریان مؤثر ۴آمپر مفروض است. توان الکتریکی خازن چقدر است؟

حل:

$$Q_c = -X_c I_c^2$$

$$Q_c = -۲ \times ۴^2 = -۳۲[VAR]$$

۱. Reactive Power

تعمیق و تثبیت یادگیری

۱ نیروی وارد به یک هادی حامل جریان الکتریکی ۲ آمپر در میدان مغناطیسی ۰/۵ تسلا برابر ۰/۱ نیوتن است. طول مؤثر هادی چند متر است؟

۲ سیم‌پیچی به طول ۵۰ سانتی‌متر و سطح مقطع ۰/۰۲ متر مربع با هسته هوا دارای ۱۰۰۰ دور است اولاً ضریب خودالقایی آن تقریباً چند میلی هانری است؟ ثانیاً اگر بخواهیم ضریب خودالقایی دو برابر شود، تعداد دور سیم‌پیچ باید چند دور شود؟

۳ دو بوبین با ضریب خودالقایی ۱۰۰ میلی‌هانری را یک بار به طور سری و بار دیگر به طور موازی به هم وصل می‌کنیم. ضریب خودالقایی کل در هر دو حالت چقدر می‌شود؟

۴ ضریب خودالقایی سیم‌پیچی $20\,mH$ و جریان عبوری از آن ۱۰آمپر است. چه مقدار انرژی در سیم‌پیچ ذخیره می‌شود؟

۵ چهار سلف با ضریب‌های خودالقایی ۵۰، ۲۵، ۱۰۰ و ۲۵ میلی‌هانری را یک بار به طور سری و بار دیگر به طور موازی ببندید. ضریب خودالقایی کل را در هر حالت به‌دست آورید.

۶ از یک سلف با ضریب خودالقایی $10\,mH$ جریان متناوبی با فرکانس ۵۰ هرتز عبور می‌کند. مقاومت القایی سلف چند اهم است؟ اگر فرکانس به یک کیلو هرتز تغییر یابد، مقاومت القایی سلف چند اهم می‌شود؟

۷ در یک سلف با ضریب خودالقایی ۳میلی‌هانری، جریان در مدت دو ثانیه از یک آمپر به ۷ آمپر افزایش می‌یابد ولتاژ خودالقایی در سلف چند میلی‌ولت است؟ اگر ضریب خودالقایی ۳ هانری باشد، ولتاژ القایی چند میلی ولت می‌شود؟

۸ توان الکتریکی یک سلف $10\,VAR$ می‌باشد در صورتی که جریان سلف $2A$ باشد مقاومت القایی سلف را به‌دست آورید.

۹ بیشترین انرژی ذخیره شده در یک سلف باضریب 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 $4mm$ می‌باشد. در هر حالت زیر ظرفیت خازن را حساب کنید.

الف) عایق بین صفحات هوا باشد.

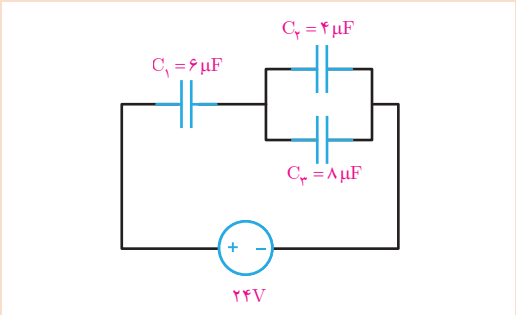
ب) عایق بین صفحات از نوع میکا باشد.

۱۱ خازنی به ظرفیت $50\,\mu F$ را به یک باتری $12V$ متصل می‌کنیم بار الکتریکی ذخیره شده در آن چند کولن است؟

۱۲ در شکل روبه‌رو مطلوب است:

الف) ظرفیت معادل (C_{eq}) چند میکروفاراد است؟

ب) بار الکتریکی و ولتاژ هر خازن

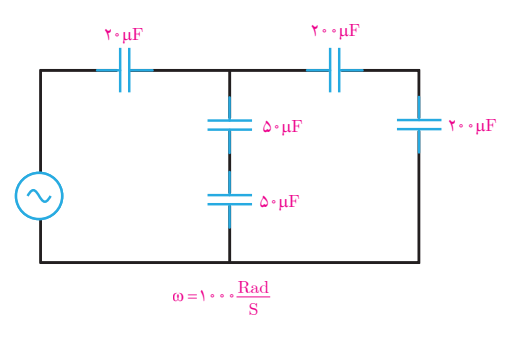


۱۳ در شکل روبه‌رو مطلوب است:

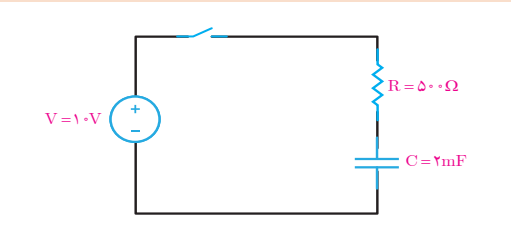
الف) محاسبه C_{eq}

ب) محاسبه X_{ceq}

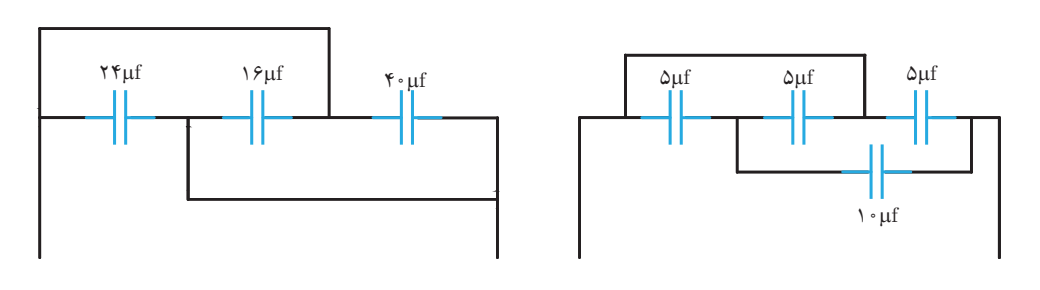
ج) اگر $\omega = ۵۰۰ \frac{Rad}{s}$ باشد در این حالت C_{eq} و X_{ceq} را حساب کنید.



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؟

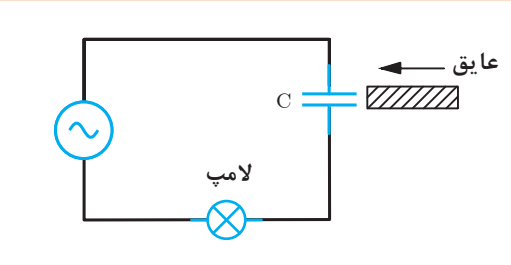


۱۵ ظرفیت معادل در شکل‌های زیر را به دست آورید.



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:
$v(t)=۱۰۰\sin(۱۰۰۰t+۰)$ و $i(t)=۵\sin(۱۰۰۰t+۹۰^\circ)$ است مطلوب است:
الف) مقاومت خازنی
ب) ظرفیت خازن

۱۹ خازنی با توان الکتریکی ۱۰۰- ولت آمپر راکتیو و ظرفیت ۵۰ میکروفاراد مفروض است:
الف) مقاومت خازنی در سرعت زاویه‌ای ۵۰۰ رادیان بر ثانیه چند اهم است؟
ب) جریان مؤثر خازن چند آمپر است؟

۲۰ معادلات زمانی ولتاژ و جریان یک مدار الکتریکی به ترتیب :

$$V(t)=۲۰\sqrt{۲}\sin(۳۱۴t+۰)$$
$$i(t)=۱۰\sqrt{۲}\sin(۳۱۴t+۳۷^\circ)$$

می‌باشد. مطلوب است:
الف) توان مؤثر
ب) توان غیرمؤثر
ج) توان ظاهری

۲۱ یک مصرف‌کننده الکتریکی با توان ۸۰ w و ۱۰۰ VA پس‌فاز مفروض است. مطلوب است:
الف) رسم مثلث توان
ب) ضریب توان
ج) توان غیرمؤثر

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	۱ـ درک و تبیین قانون کولن و پتانسیل الکتریکی ۲ـ 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 درحد بالاتر از انتظار
			در حد انتظار	۱ـ شناسایی ساختمان اتم ۲ـ مقایسه هدایت الکتریکی عناصر ۳ـ محاسبه شدت میدان الکتریکی ۴ـ تبیین پتانسیل الکتریکی ۵ـ استدلال شارش جریان الکتریکی ۶ـ محاسبه مقدار و جهت جریان الکتریکی ۷ـ شناسایی آثار جریان الکتریکی
			پایین‌تر از حد انتظار	در صورتی که 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 زیست‌محیطی)

شاخص‌ها	ضریب کیفیت عملکرد	شایستگی عملکرد هنرجو
مدیریت کیفیت ـ جمع‌آوری وگردآوری اطلاعات ـ رعایت ارگونومی ـ کنترل حفاظت الکتریکی و الکترونیکی تجهیزات ـ ایجاد محتوای الکترونیک ـ کاهش مصرف کاغذ ـ طراحی خلاقانه پوسته گرافیکی و گرافیک متحرک ـ رعایت انضباط فردی و کلاسی ـ پوشش مناسب ـ احترام به استاد و همکلاسی‌ها ـ 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 می‌شود. به شرط آنکه:

۱ سطح شایستگی هنرجو در هیچ مرحله ای کمتر از حد انتظار نباشد.

۲ هنرجو در شایستگی‌های 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 می‌شود.

۲ با توجه به اینکه شایستگی‌های عمومی و غیرفنی از شرایط لازم برای کسب شایستگی می‌باشد؛ لذا درصورتی که شایستگی فنی را احراز کرده باشد اما شایستگی‌های 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 قیطرانی، فریدون. احمدی، عین‌ا... . مظفری، حسین. همتایی، محمود. تجلی‌پور، مسعود. ۱۳۹۳. مبانی برق. کد ۳۵۵/۱۸ چاپ چهاردهم. شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.

۳ ترکمانی، امیرحسین. ۱۳۹۴. ماشین‌های الکتریکی DC کد ۴۹۰/۱ چاپ سوم. شرکت چاپ‌ونشر کتاب‌های درسی ایران.

۴ نظریان. فتحا... . ۱۳۹۴. اصول اندازه‌گیری الکتریکی کد ۳۵۹/۹۳، چاپ چهاردهم. شرکت چاپ‌ونشر کتاب‌های درسی ایران.

۵ سایت موزه برق شهدا.

۶ سایت انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی ایران (ساتبا).

«لینک‌های مفید و مرتبط»

دانلود منابع آزمون استخدامی هنرآموز الکتروتکنیک (۱) و (۲)

خرید و دانلود

دانلود نمونه سوالات آزمون استخدامی هنرآموز الکتروتکنیک

خرید و دانلود

دانلود منابع آزمون استخدامی استادکار الکتروتکنیک

خرید و دانلود

دانلود نمونه سوالات عمومی و تخصصی استخدام آموزش و پرورش

خرید و دانلود

دانلود منابع آزمون استخدامی دبیر حرفه و فن

خرید و دانلود

دانلود نمونه سوالات آزمون استخدامی دبیر حرفه و فن

خرید و دانلود

سرویس خصوصی خدمات عام المنفعه اخبار شغل و استخدام

Www.IranEstekhdam.Ir

خواننده گرامی؛ در جهت بهبود کیفیت این فایل؛ لطفاً هرگونه انتقاد و پیشنهاد خود در مورد مطالب آن

و یا گزارش مشکل را به آدرس ایمیل و یا با شماره تلفن زیر مطرح نمایید:

شماره تلفن تماس: ۰۲۱-۹۱۳۰۰۱۱۳ آدرس ایمیل: soal@iranestekhdam.ir