کتاب دانش فنی پایه (الکترونیک)

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

Www.IranEstekhdam.Ir
ایران استخدام
IRAN ESTEKHDAM

«لینک‌های مفید و مرتبط»

دانلود منابع آزمون استخدامی هنرآموز الکترونیک

خرید و دانلود

دانلود نمونه سوالات آزمون استخدامی هنرآموز الکترونیک

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 عَلٰی مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

دانش فنی پایه

رشتهٔ الکترونیک

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 الکترونیک) ـ ۲۱۰۲۷۵
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی وتألیف: شهرام نصیری‌سوادکوهی، محمود شبانی، شهرام خدادادی، احمد توکلی و محسن کیالاشکی (اعضای شورای‌برنامه‌ریزی)
شهرام خدادادی و شهرام نصیری‌سوادکوهی (اعضای گروه‌تألیف) ـ محمود شبانی (ویراستار فنی)
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: جواد صفری(مدیر هنری) ـ الهه یعقوبی‌نیا و سارا ساعدی‌نژاد (صفحه‌آرا)
نشانی سازمان: تـهران: خیابان ایرانشهر شمالـی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب سایت: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر : شرکت چاپ و نشرکتاب‌هـای‌درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷جـادهٔ مخصوص‌کـرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش) تلفن :۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰،
صندوق پستی: ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ‌ونشرکتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ دوم 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 ۳- ۳۷۱۸ - ۰۵ - ۹۶۴ - ۹۷۸ **ISBN 978 – 964 – 05 – 3718-3**



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 ۱: مفاهیم و قوانین اساسی الکتریسیته ۱

پودمان ۲: مدارهای مقاومتی سری، موازی و ترکیبی در جریان مستقیم ۴۹

پودمان ۳: سلف و خازن در جریان مستقیم و جریان متناوب..... ۹۵

پودمان ۴: دیود و کاربردهای آن..... ۱۶۳

پودمان ۵: ترانزیستور و کاربردهای آن..... ۲۰۳

این کتاب در سال ۱۴۰۳ بر اساس تغییرات کتاب‌های درسی کارگاهی بازنگری شد و مطابق با شایستگی‌های کتاب‌های درسی رشته الکترونیک محتوی آن بازتألیف شد.

سخنی با هنرآموزان گرامی

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران و نیازهای متغیر دنیای کار و مشاغل، برنامه درسی رشته الکترونیک طراحی و بر اساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. کتاب حاضر از مجموعه کتاب‌های دانش فنی است که برای سال دهم تألیف گردیده است. این کتاب دارای ۵ پودمان است، که هر پودمان از دو واحد یادگیری تشکیل شده است. همچنین ارزشیابی مبتنی بر شایستگی از ویژگی‌های این کتاب می‌باشد که در پایان هر پودمان شیوه ارزشیابی آورده شده است. ارزشیابی شایستگی در هر پودمان شامل ارزشیابی پایانی و ارزشیابی مستمر است. چنانچه هنرجو در یک پودمان شایستگی لازم را کسب نکند برای ارزشیابی مجدد، فرصت جبران تا پایان سال تحصیلی وجود دارد. مهارت حل مسئله در این کتاب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از ویژگی‌های دیگر این کتاب طراحی فعالیت‌های یادگیری ساختار یافته در ارتباط با شایستگی‌های فنی و غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای و بحث‌های زیست‌محیطی است. این کتاب جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است که لازم است از سایر اجزای بستهٔ آموزشی مانند کتاب همراه هنرجو و نرم‌افزار و فیلم آموزشی در فرایند یادگیری استفاده شود.

کتاب شامل پودمان‌های زیر است:

پودمان اول: شامل مفاهیم و قوانین اساسی الکتریسیته است که مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

پودمان دوم: مدارهای مقاومتی سری موازی و ترکیبی در جریان مستقیم، در این پودمان مدارهای ساده الکتریکی DC تجزیه و تحلیل می‌شود و نمونه‌هایی از مدارهای مقاومتی سری، موازی و ترکیبی به همراه پیل‌ها و اتصالات آنها بررسی شده و شایستگی‌های مورد نظر در زمینه‌های مرتبط آموزش داده می‌شود.

پودمان سوم: سلف و خازن در جریان مستقیم و جریان متناوب ـ در این پودمان رفتار مقاومت، خازن و سلف در جریان مستقیم و متناوب و چگونگی سری، موازی و ترکیب کردن آنها با هم آموزش داده می‌شود.

پودمان چهارم: دیود و کاربردهای آن ـ در این پودمان پس از معرفی دیود و خصوصیات آن، انواع دیود و کاربردهای آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

پودمان پنجم: ترانزیستور و کاربردهای آن ـ این پودمان به ساختمان داخلی و رفتار ترانزیستور در مدار، چگونگی تقویت در ترانزیستورها و کاربرد ترانزیستور به عنوان کلید می‌پردازد.

دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش



سخنی با هنرجویان عزیز

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعه پایدار، ما را برآن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را تغییرات جدید براساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران در نظام جدید آموزشی بازطراحی و تألیف کنیم. مهم‌ترین تغییر در کتاب‌ها، آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی، توانایی انجام کار واقعی به‌طور استاندارد و درست تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشته تحصیلی حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی درنظر گرفته شده است:

۱ شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند توانایی حل مدارهای ساده الکتریکی

۲ شایستگی‌های غیرفنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه

۳ شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم‌افزارها

۴ شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر

بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی‌وحرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه‌درسی رشته‌های شاخه فنی‌وحرفه‌ای را تدوین نموده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف کتاب‌های درسی هر رشته است.

این کتاب اولین کتاب دانش فنی ویژه رشتهٔ الکترونیک است که با نام دانش فنی پایه ارائه می‌شود. در پایه دوازدهم ادامه این مباحث را با نام دانش فنی تخصصی آموزش خواهید دید. کسب شایستگی‌های این کتاب برای موفقیت در شغل و حرفه آینده ضروری است. هنرجویان عزیز سعی نمایید تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب را کسب کنید و در فرایند ارزشیابی به اثبات برسانید.

کتاب دانش فنی پایه دارای پنج پودمان است، شرط لازم برای قبولی در این درس، کسب شایستگی در تمام پودمان‌های این درس است. در صورت احراز نشدن شایستگی در هر پودمان، امکان ارزشیابی مجدد تا پایان سال برای آن پودمان وجود دارد. ارزشیابی هر پودمان شامل دو بخش ارزشیابی مستمر و ارزشیابی بی‌پایان است.

همچنین علاوه بر کتاب‌درسی، امکان استفاده از سایر اجزای بسته آموزشی مانند استفاده از نرم‌افزارهای مختلف، وجود دارد. یکی از این اجزای بسته آموزشی کتاب همراه هنرجو است که برای انجام فعالیت‌های موجود در کتاب‌درسی باید استفاده کنید. اجزای بسته آموزشی دیگری نیز برای شما درنظر گرفته شده است که با مراجعه به وبگاه رشته خود به نشانی www.oerp.ir می‌توانید از عناوین آن مطلع شوید.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط‌زیست و شایستگی‌های یادگیری مادام‌العمر و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی‌های فنی در کتاب درسی و بستهٔ آموزشی ارائه شده است. شما هنرجویان عزیز، کوشش نمایید این شایستگی‌ها را در کنار شایستگی‌های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و آنها را در انجام فعالیت‌های یادگیری به‌کار گیرید.

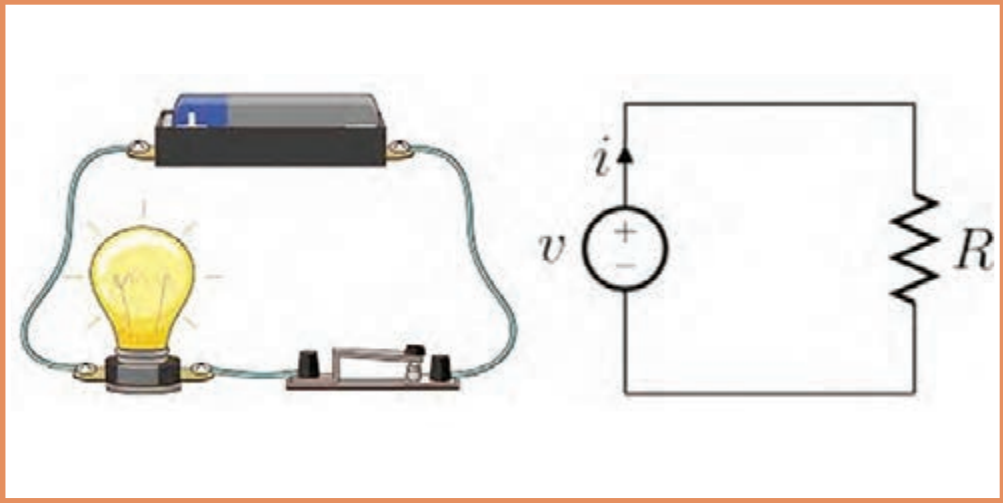
رعایت نکات ایمنی، بهداشتی و حفاظتی از اصول انجام کار است لذا توصیه‌های هنرآموز محترمتان در خصوص رعایت مواردی که در کتاب آمده است را در انجام کارها جدی بگیرید.

امیدواریم با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی، گام‌های مؤثری در جهت سربلندی و استقلال کشور و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی و تربیت مؤثر و شایسته جوانان برومند ایران اسلامی برداشته شود.

دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

پودمان ۱

مفاهیم و قوانین اساسی الکتریسیته



آشنایی با اصول الکتریسیته ساکن

الکتریسیته پدیده‌ای است که دیده نمی‌شود، ولی قادر است پدیده‌های فیزیکی بسیاری مانند حرارت، روشنایی، حرکت و مغناطیس را به وجود آورد.

یونانی‌ها حدود دو هزار سال پیش کشف کردند که بر اثر مالش ماده‌ای به نام کهربا به جسمی دیگر، نیرویی در کهربا به وجود می‌آید که می‌تواند اجسامی مانند برگ خشک و براده‌های چوب را جذب کند. یونانی‌ها این‌گونه اجسام را که مانند کهربا عمل می‌کنند «**الکتریک**» نامیدند.کلمه الکتریسیته نیز از کهربا گرفته شده است.

وقتی موهای خود را شانه می‌زنید، شانه نیز دارای همین نیروی مرموز می‌شود و می‌تواند مانند میله کهربا عمل کند و ذرات کاغذ را جذب کند (شکل ۱).



وقتی موهای خود را شانه می‌کنید، شانه دارای بار الکتریکی می‌شود و مانند میلهٔ کهربا عمل می‌کند و می‌تواند ذرات کاغذ را جذب کند.

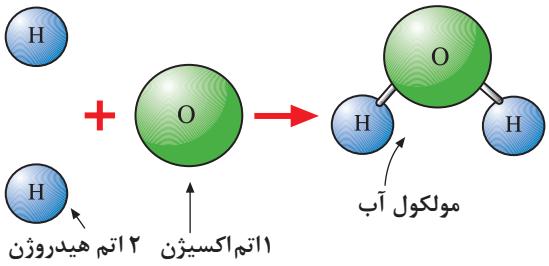
شکل ۱ــ یکی از روش‌های تولید الکتریسیته

ساختمان ماده

هوایی که تنفس می‌کنیم، یک قطره آب، یک قطعه فلز و هر آنچه در طبیعت وجود دارد بر خلاف تفاوت‌های ظاهری بسیاری که دارند همه از ذرات بسیار ریزی تشکیل می‌شوند. این ذرات را **مولکول** می‌نامند. مولکول خواص ماده را دارد.

مولکول‌ها، از ذرات ریزتری به نام اتم ساخته می‌شوند. اتم قابل تقسیم به ذره کوچک‌تری نیست ولی از قسمت‌های کوچک‌تری تشکیل شده است.

شکل ۲ یک مولکول آب را نشان می‌دهد. این مولکول ترکیبی از دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن است.

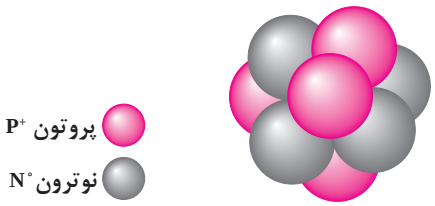


شکل ۲ــ یک مولکول آب

ساختمان اتم

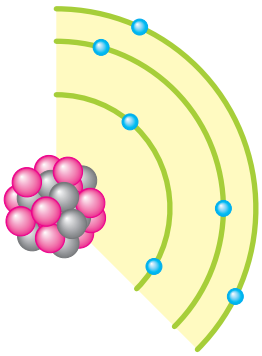
ساختمان اتم از دو قسمت تشکیل شده است.
الف)هسته
ب)پوسته یا مدارهای الکترونی(اوربیتال)

الف) هسته: در هستهٔ اتم دو نوع ذرّه وجود دارد. پروتون که حامل بار مثبت است و نوترون که از نظر الکتریکی خنثی است، یعنی بار الکتریکی ندارد (شکل ۳).



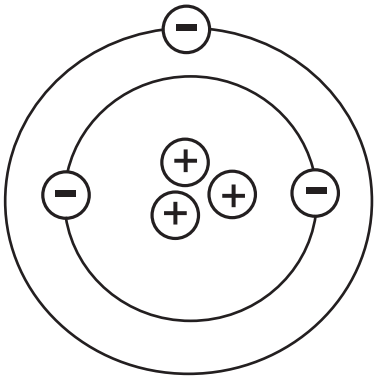
شکل ۳ــ ذرات پروتون و نوترون در اتم

ب) اوربیتال(پوسته): در اطراف هستهٔ اتم لایه‌های بیضوی شکل قرار دارند. این لایه‌ها «اوربیتال» نامیده می‌شوند. ذرات بسیار ریزی به نام الکترون در اوربیتال‌ها دوران می‌کنند. الکترون حامل بار منفی است و جرم بسیار کمی دارد. نحوه قرارگرفتن الکترون‌ها روی مدارها و پروتون‌ها و نوترون‌ها در هسته، در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل۴ــ نحوه قرار گرفتن الکترون‌ها روی مدارها

ذراتی که به آنها اشاره شد بنای اصلی مواد را تشکیل می‌دهند. در هر اتم، بار مثبت پروتون‌ها از نظر مقدار، با بار منفی الکترون‌ها برابر است. در اتم لیتیوم ۳ پروتون و ۳الکترون وجود دارد (شکل ۵).



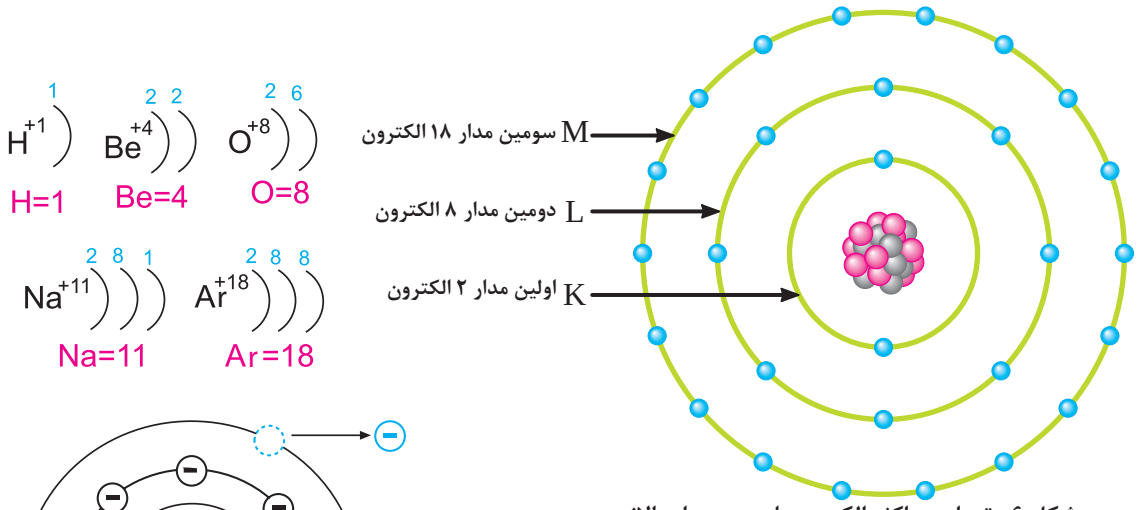
شکل ۵ــ اتم لیتیوم دارای سه الکترون و سه پروتون است.

در حالت عادی یک اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است زیرا تعداد پروتون‌ها با تعداد الکترون‌ها برابر است، تعداد پروتون‌های موجود در هستهٔ اتم هر ماده ، مشخص کننده **عدد اتمی** آن ماده است. عدد اتمی کربن ۶ است. زیرا ۶ پروتون و ۶ الکترون دارد.
وزن کل هسته که شامل وزن پروتون‌ها و نوترون‌ها است را **وزن اتمی** می‌گویند.

مدارهای الکترونی اتم‌ها را به ترتیب با حروف اختصاری K,L,M,N,O, ... مشخص می‌کنند.
حداکثر الکترون‌های روی هر مدار اتم از رابطه ($2n^2$) محاسبه می‌شود. در این رابطه n نشان‌دهنده شماره مدار است. مثلاً برای تعیین تعداد الکترون‌های مدار اول (K) می‌توان نوشت:

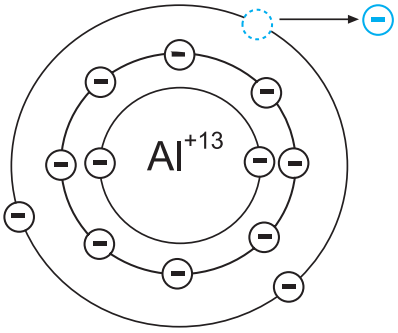
الکترون ۲ = $2 \times (1)^2 = 2n^2$

بنابراین در مدار اول حداکثر دو الکترون جای می‌گیرد. به همین ترتیب تعداد الکترون‌های مدارهای دیگر قابل محاسبه است (شکل ۶).



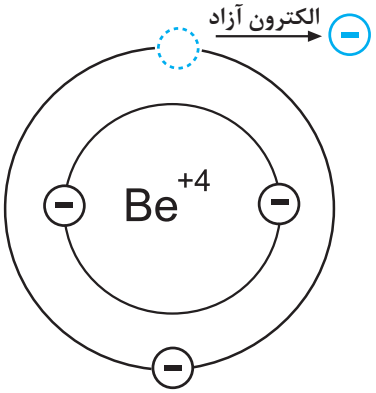
شکل ۶ــ تعداد حداکثر الکترون‌ها در هر مدار والانس

همان‌طور که گفته شد اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است یعنی در یک اتم تعداد بارهای الکتریکی مثبت (پروتون‌ها) و تعداد بارهای الکتریکی منفی (الکترون‌ها) با هم برابر است. حال اگر یک اتم به علت اعمال انرژی الکترون از دست بدهد، تعداد الکترون‌ها کم می‌شود. به عبارت دیگر بار منفی اتم کاهش می‌یابد. کاهش بار منفی اتم به معنی این است که اتم دارای بار مثبت شده است. بر عکس اگر اتم الکترون دریافت کند، تعداد الکترون‌های (بار منفی) آن زیاد می‌شود و اتم را از نظر بار الکتریکی، منفی می‌کند (شکل ۷).



شکل ۷ــ اتم آلومینیوم با از دست دادن یک الکترون دارای بار الکتریکی مثبت شده است.

اگر الکترونی از اتم جدا شود و به هیچ اتمی وابسته نباشد، آن الکترون را **الکترون آزاد** می‌نامند (شکل ۸). معمولاً الکترون‌ها از آخرین لایهٔ اتم که بیشترین فاصله را با هسته دارد جدا می‌شوند و در فعل و انفعالات شیمیایی شرکت می‌کنند.



شکل ۸ــ اگر الکترونی از یک اتم جداشود و به هیچ اتمی وابسته نباشد آن الکترون را الکترون آزاد می‌نامند.

به آخرین لایهٔ هر اتم، لایه والانس یا ظرفیت (Valence) گویند. حداکثر الکترون‌های لایه ظرفیت ۸ تا است.

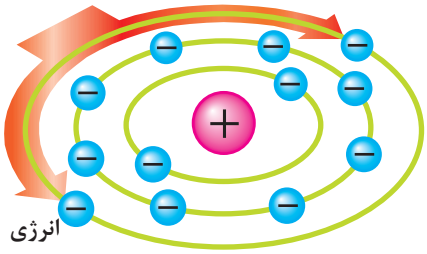
طبقه‌بندی مواد از نظر هدایت الکتریکی

الف) هادی‌ها (Conductors):

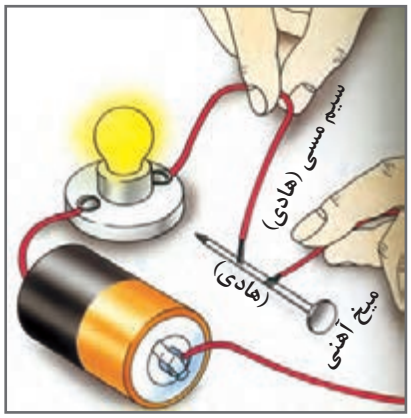
موادی را که الکترون‌های مدار والانس آنها به‌راحتی آزاد می‌شوند «هادی» یا «رسانا» می‌نامند. تعداد الکترون‌های والانس این مواد معمولاً ۱، ۲ یا ۳ الکترون است (شکل ۹).

هرگاه به اتم‌های یک‌هادی انرژی داده شود، انرژی بین الکترون‌ها تقسیم می‌شود. چون در هادی‌ها تعداد الکترون‌های والانس کم است، به هر الکترون انرژی بیشتری می‌رسد. (نسبت به اتم‌هایی که تعداد الکترون‌های والانس آن بیشتر است) لذا الکترون‌های والانس به راحتی از نیروی هسته آزاد می‌شوند (شکل ۹).

از هادی‌های خوب می‌توان نقره، مس، طلا و آلومینیوم را نام برد. در صنعت برق از سیم‌های مسی و آلومینیومی استفاده می‌شود، زیرا این عناصر فراوان و مقرون به صرفه هستند (شکل ۱۰).



شکل ۹ـ تقسیم انرژی بین الکترون‌های والانس

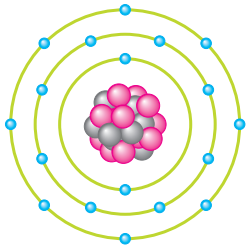


شکل ۱۰ـ برقراری جریان الکتریکی در هادی‌ها

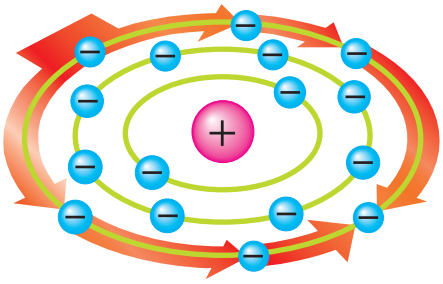
ب) عایق‌ها(dielectrics):

به موادی که الکترون‌های مدار والانس آنها تمایل به ماندن در مدار خود را دارند و به راحتی جدا نمی‌شوند «عایق» یا «دی‌الکتریک» می‌گویند. این مواد در مدار والانس خود ۵، ۶، ۷ یا ۸ الکترون دارند (شکل ۱۱).

در صورتی که به اتم یک دی‌الکتریک انرژی داده شود این انرژی بین الکترون‌های والانس آن تقسیم می‌شود. چون تعداد الکترون‌های والانس در عایق‌ها زیاد است، لذا مقدار انرژیی که به هر الکترون می‌رسد، نسبت به‌هادی‌ها که تعداد الکترون والانس کمتری دارند کاهش می‌یابد. از عایق‌های خوب می‌توان شیشه، کاغذ، پلاستیک، هوا و میکا را نام برد (شکل ۱۲).

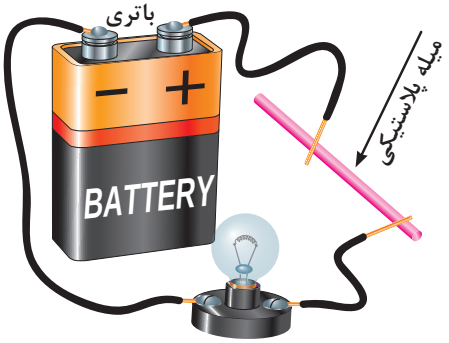


شکل ۱۱ـ ساختمان اتمی یک عنصر عایق



شکل ۱۲ـ تقسیم انرژی بین الکترون‌های والانس عایق‌ها

شکل ۱۳ تصویری را نشان می‌دهد، که در آن چون میله پلاستیکی نمی‌تواند الکترون‌های لایه والانس خود را انتقال دهد، لامپ روشن نمی‌شود پس می‌توان نتیجه گرفت که ماده عایق نمی‌تواند جریان الکتریکی را عبور دهد (شکل ۱۳).



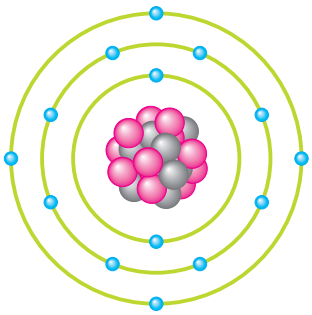
شکل ۱۳ــ عدم انتقال الکترون‌ها در یک میله پلاستیکی

ج) نیمه‌هادی‌ها (semiconductors):

موادی که از نظر آزاد کردن الکترون والانس بین عایق‌ها و هادی‌ها قرار دارند «نیمه‌هادی» نامیده می‌شوند.در واقع این مواد هادی یا عایق خوبی نیستند.

در شرایط عادی، نیمه‌هادی‌ها تمایلی به دریافت و یا از دست دادن الکترون والانس ندارند. اما در صورتی که به آنها انرژی داده شود، می‌توانند الکترون آزاد تبادل کنند. از جمله نیمه‌هادی‌های پرکاربرد می‌توان رژمانیوم ($Ge^{۳۲}$) و سیلیسیم ($Si^{۱۴}$) را نام برد.

تعداد الکترون‌های والانس نیمه‌هادی‌ها معمولاً ۴ الکترون است (شکل ۱۴).

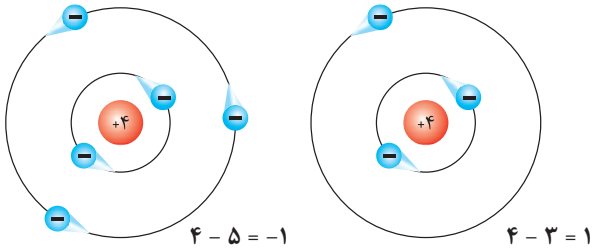

شکل ۱۴ــ ساختمان اتمی سیلیسیم

در پودمان‌های بعد با خصوصیات و زمینه‌های کاربردی بیشتری از نیمه‌هادی‌ها آشنا خواهید شد.

آشنایی با نحوه پخش بار الکتریکی بر روی جسم

اتم‌های باردار

در شرایط عادی در هر اتم تعداد الکترون‌ها و پروتون‌ها مساوی است و اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است. تعداد پروتون‌های داخل هسته یک اتم تغییر نمی‌کند. در واقع خصوصیات اتم، وابسته به تعداد پروتون‌ها است اما تعداد الکترون‌ها ممکن است تغییر کند. اگردر اتمی تعداد الکترون‌ها از پروتون‌ها کمتر باشد، اتم بار مثبت دارد و چنانچه تعداد الکترون‌های اتمی از پروتون‌های آن بیشتر باشد، اتم بار منفی دارد (شکل ۱۵).



یک الکترون کمتر از پروتون دارد (یون مثبت)

یک الکترون بیشتر از پروتون دارد (یون منفی)

شکل۱۵ــ اتم با بار مثبت و اتم با بار منفی

باردار شدن اجسام

اگر اتم‌های یک جسم، الکترون‌های خود را از دست بدهند یا الکترون زیادی بگیرند، آن جسم باردار خواهد شد. باردار شدن اجسام از چند راه امکان‌پذیر است:

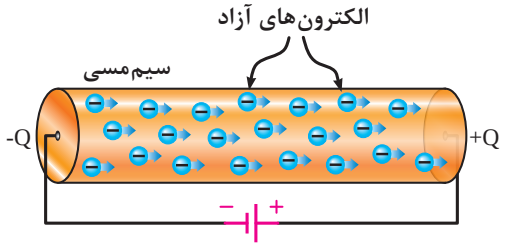
الف) اصطکاک ب) تماس

در سال‌های گذشته با جزئیات این روش‌ها آشنا شده‌اید.

جریان الکتریکی[1]

به‌طور کلی الکتریسیته بر دو نوع ساکن و جاری تقسیم می‌شود. با الکتریسیته ساکن در سال‌های قبل آشنا شده‌اید. در این قسمت به الکتریسیته جاری می‌پردازیم.

اگر بارهای الکتریکی (الکترون‌ها) در طول یک‌هادی جابه‌جا شوند، می‌گوییم در طول‌هادی **جریان** برقرار شده است. **بنابراین جابه‌جایی بارهای الکتریکی در واحد زمان را جریان الکتریکی می‌نامند** و آن را با حرف I نشان می‌دهند[2]. شکل ۱۶ جابه‌جایی بارهای الکتریکی در طول یک‌هادی(جریان الکتریکی) را نشان می‌دهد.



شکل ۱۶ــ جریان الکتریکی در یک‌هادی

اگر بار الکتریکی را با q (بر حسب کولن c) و زمان را با t (بر حسب ثانیه t) نشان دهیم، شدت جریان I (برحسب آمپر A) از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$I=\frac{q}{t} \Rightarrow \boxed{\text{آمپر}\,(A)=\frac{\text{کولن}\,(c)}{\text{ثانیه}\,(s)}}$$

مثال : اگر باری برابر با ۶ کولن در مدت ۳ ثانیه از سیمی مطابق شکل ۱۶ عبور کند، چند آمپر جریان در مدار جاری می‌شود؟

حل :

$$I=\frac{q}{t}=\frac{۶}{۳}=۲[A]$$

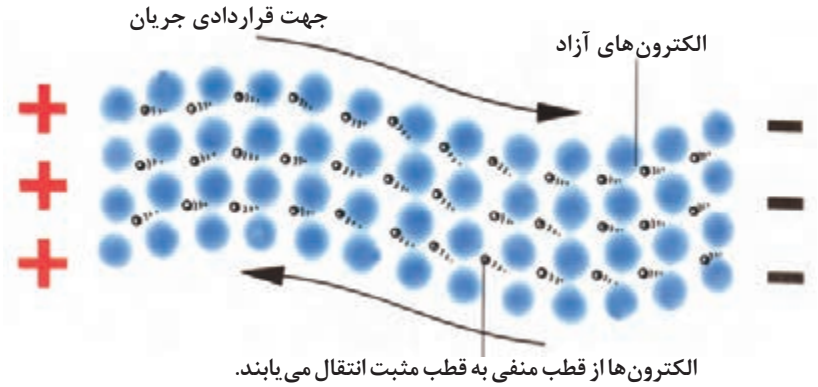
جهت جریان الکتریکی

جهت واقعی: چون عامل به‌وجود آمدن جریان الکتریکی، حرکت الکترون‌ها است و این ذرات دارای بار منفی هستند، لذا جهت حرکت واقعی الکترون‌ها از قطب منفی به سمت قطب مثبت است.

۱ـ electrical Current

۲ـ جریان الکتریکی (Current) با حرف C آغاز می‌شود و چون در زبان فرانسه شدت جریان الکتریکی را intensite de Courant می‌نویسند و آندره ماری آمپر فیزیکدان فرانسوی از حرف «I» برای نمایش شدت جریان استفاده کرد این نماد به‌کار می‌رود.

جهت قراردادی: براساس قرارداد، جهت جریان الکتریکی را در مدارها از قطب مثبت به سمت قطب منفی در نظر می‌گیرند (شکل ۱۷).



شکل ۱۷ـ جهت حرکت اصلی و قراردادی جریان الکتریکی

اگر در رابطهٔ جریان (I) به‌جای پارامترهای (t, q) مقدار واحد را قرار دهیم، تعریف یک آمپر به‌دست می‌آید.

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

$$1_{(A)} = \frac{1(c)}{1(s)}$$

۱ کولن بار الکتریکی موجود در یک جسم برابر است با:

۱ کولن = ۶/۲۴ × 10^{18} الکترون

برای اندازه‌گیری جریان الکتریکی از وسیله‌ای به نام آمپرمتر استفاده می‌شود.
شکل ۱۸، تصویر دو نمونه آمپرمتر را به همراه علامت اختصاری آن نشان می‌دهد.



الف) عقربه‌ای　　ب) دیجیتالی　　ج) علامت اختصاری

شکل ۱۸ـ آمپرمتر عقربه‌ای، دیجیتالی و علامت اختصاری

اختلاف پتانسیل الکتریکی

برای انجام کار در مدارهای الکتریکی باید انرژی الکتریکی در حال حرکت باشد. نیرویی که باعث به‌وجود آمدن جریان الکتریکی در مدار می‌شود را «نیروی محرکه الکتریکی یا EMF[1]» می‌نامند.
بنا به تعریف هر بار الکتریکی که بار الکتریکی دیگری را با عمل جذب یا دفع به حرکت درآورد کاری انجام گرفته است. لذا به نیروی محرکه‌ای که بتواند بار الکتریکی را به حرکت درآورد «پتانسیل» یا «ولتاژ» گویند (شکل ۱۹).



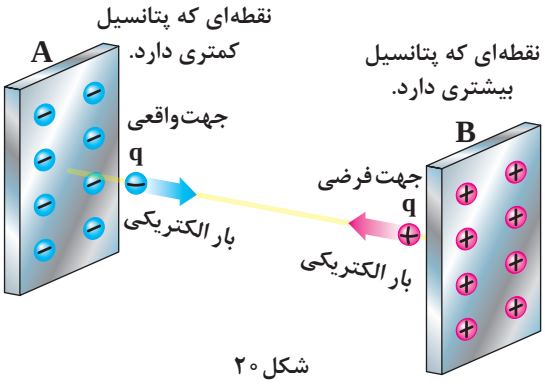
الف) الکترون‌های آزاد در حال حرکت نامنظم



ب) الکترون‌های آزاد تحت تأثیر ولتاژ

شکل ۱۹

وقتی دو بار غیر هم نام مورد بررسی قرار می‌گیرند، در حقیقت اختلاف پتانسیل بین آن دو، مورد توجه است. به همین دلیل در مدارهای الکتریکی اغلب ولتاژ را تحت عنوان اختلاف پتانسیل بیان می‌کنند. زیرا میزان کاری که روی دو ذرّه باردار انجام می‌شود به پتانسیل اولیه آنها بستگی دارد (شکل ۲۰).



شکل ۲۰

پتانسیل الکتریکی از رابطه مقابل محاسبه می‌شود:

$$\text{(ولتاژ)}\quad V=\frac{W}{q}=\frac{\text{(کار انجام شده)}}{\text{(بار الکتریکی)}}$$

اگر در رابطه ولتاژ (V) به‌جای پارامترهای (w , q) مقدار واحد را قرار دهیم تعریف یک ولت به‌دست می‌آید.

$$V=\frac{W}{q}\Rightarrow 1(v)=\frac{1(j)}{1(c)}$$

۱ـ EMF-Electro Motive Force

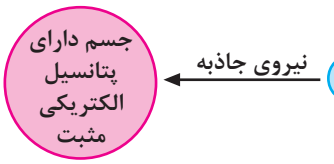
جسمی را که دارای بار الکتریکی مثبت است، در نظر بگیرید. این جسم کمبود الکترون دارد، لذا می‌خواهد از هر طریقی که مقدور باشد الکترون‌ها را به سمت خود جذب کند، پس دارای نیروی جاذبه است. به این انرژی ذخیره شده، «**پتانسیل الکتریکی**» می‌گویند.

هنگامی که جسم دارای کمبود الکترون است می‌گوییم دارای پتانسیل الکتریکی مثبت است و آن را با علامت «+» نشان می‌دهیم (شکل ۲۱).

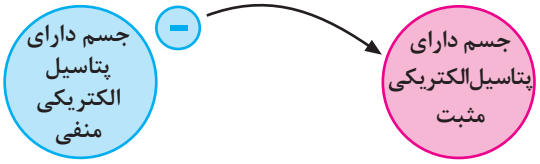
پتانسیل منفی را با «-» نشان می‌دهند، (شکل ۲۲).

برای اندازه‌گیری ولتاژ الکتریکی از وسیله‌ای به نام ولت‌متر استفاده می‌شود.

شکل ۲۳ تصویر دو نمونه ولت‌متر را به همراه علامت اختصاری آن نشان می‌دهد.



شکل ۲۱ـ جسم باردار با پتانسیل الکتریکی مثبت (کمبود الکترون)



شکل ۲۲ـ انتقال بارهای الکتریکی بین دو جسم



الف) ولت‌متر عقربه‌ای



ب) ولت‌متر دیجیتالی



ج) علامت اختصاری

شکل ۲۳

مقاومت الکتریکی

هدایت و مقاومت مخصوص

اجسامی که در طبیعت وجود دارند، نمی‌توانند جریان الکتریکی را به یک اندازه از خود عبور دهند. هادی‌ها جریان را به‌راحتی عبور می‌دهند و عایق‌ها برعکس از عبور جریان جلوگیری می‌کنند. اکثر فلزات هادی‌های خوبی هستند. البته همه فلزات به یک اندازه رسانایی ندارند.

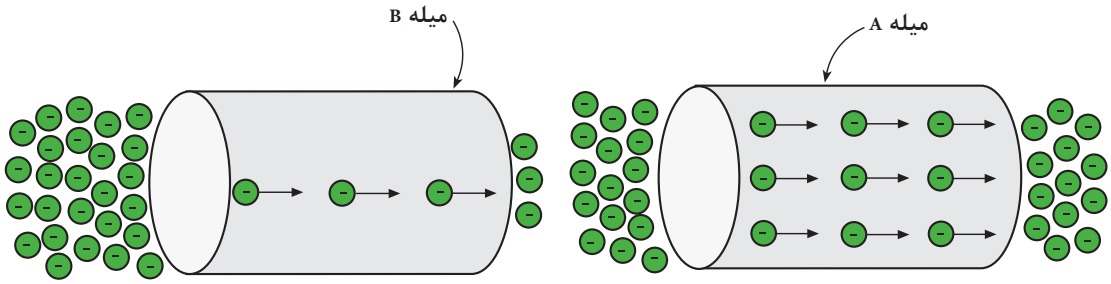
اگر با یک منبع ولتاژ ثابت هدایت فلزات مختلف را که طول و سطح مقطع یکسانی دارند (با طول ۱ متر و سطح مقطع یک میلی‌متر مربع) اندازه بگیریم، فلزی که الکترون آزاد بیشتری دارد، جریان بیشتری را از خود عبور می‌دهد.

نسبت شدت جریان عبوری از یک فلز به مقدار ولتاژ منبع را «**هدایت الکتریکی مخصوص**» آن فلز گویند.

به عبارت دیگر قابلیت هدایت سیمی به طول یک متر و سطح مقطع یک میلی‌متر مربع را هدایت الکتریکی مخصوص می‌نامند. «**ضریب هدایت الکتریکی مخصوص**» را با حرف یونانی χ (کاپا) نشان می‌دهند

مقاومت الکتریکی مخصوص

اجسام با هدایت مخصوص کم در مقابل عبور جریان مقاومت بیشتری دارند. هر جسمی که هدایت مخصوص آن زیاد باشد مقاومت مخصوص آن کم است.



میله **A** الکترون‌ها را به خوبی عبور می‌دهد لذا دارای هدایت زیاد و مقاومت کم است.

میله **B** الکترون‌ها را به‌خوبی عبور نمی‌دهد لذا دارای هدایت کم و مقاومت زیاد است.

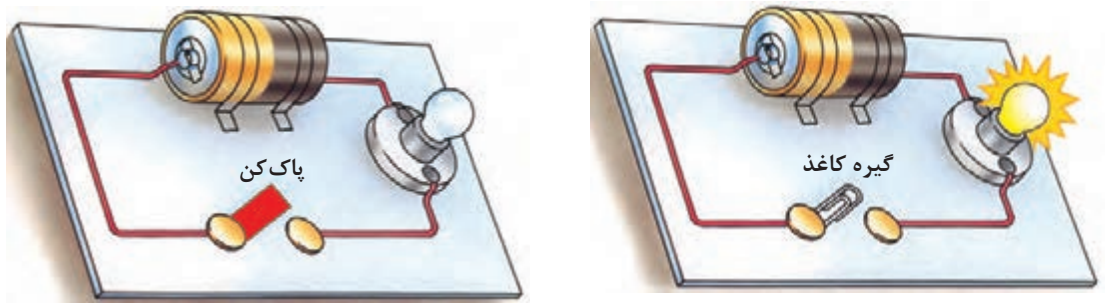
شکل ۲۴ـ وضعیت دو میله A و B از نظر مقاومت الکتریکی مخصوص و هدایت الکتریکی.

مقاومت الکتریکی مخصوص، مقاومت سیمی است به طول ۱ متر و سطح مقطع یک میلی‌مترمربع. ضریب مقاومت مخصوص را با حروف یونانی ρ (رو) نشان می‌دهند.

با کمی دقت در توضیحات فوق می‌توان نتیجه گرفت که این دو ضریب عکس یکدیگرند و روابط زیر را برای این دو ضریب می‌توان نوشت:

$$\chi = \frac{1}{\rho} \quad \text{یا} \quad \rho = \frac{1}{\chi}$$

در واقع هر جسمی که قابلیت هدایت آن زیاد است مقدار مقاومت الکتریکی آن کم و هر جسمی که مقاومت مخصوص آن زیاد باشد دارای هدایت الکتریکی کم است. (شکل ۲۵) این مورد را نشان می‌دهد.



الف) ضریب هدایت گیره کاغذ زیاد است در نتیجه با وصل به پیچ لامپ روشن می‌شود.

ب) ضریب مقاومت پاک‌کن زیاد است در نتیجه با وصل به پیچ لامپ روشن نمی‌شود.

شکل ۲۵ـ ضریب هدایت‌های دو جسم مختلف

این دو ضریب بدون واحد هستند و اغلب واحد آنها را برحسب عوامل دیگر بیان می‌کنند.
در صنعت برق از سیم‌های مسی و آلومینیومی بیشتر استفاده می‌شود، مقدار هدایت الکتریکی مخصوص این دو فلز برابر است با:

$$\chi_{Cu} = ۵۶ \quad \left[\frac{m}{\Omega.mm^۲}\right] \qquad \text{و} \qquad \chi_{AL} = ۳۷ \quad \left[\frac{m}{\Omega.mm^۲}\right]$$

سؤال: مقدار مقاومت مخصوص مس و آلومینیوم چقدر است؟

$$\rho_{Cu} = \frac{۱}{x_{Cu}} = \frac{۱}{۵۶} = ۰/۰۱۷۸۵ \quad \left[\frac{\Omega.mm^۲}{m}\right]$$

$$\rho_{Al} = \frac{۱}{x_{AL}} = \frac{۱}{۳۷} = ۰/۰۲۷ \quad \left[\frac{\Omega.mm^۲}{m}\right]$$

تحقیق کنید

با کمی بررسی مقدار ضریب هدایت و مقاومت مخصوص دو فلز طلا و نقره که در صنعت برق کاربرد دارند را به‌دست آورید و تعیین کنید کدام یک هادی‌تر است.

مقاومت الکتریکی (Resistor)

خاصیتی از جسم که در مقابل عبور جریان الکتریکی از خود مقاومت نشان می‌دهد را «مقاومت الکتریکی» گویند و با حرف R نشان می‌دهند.
مقدار مقاومت الکتریکی را بر حسب اهم [Ω] می‌سنجند. علامت اختصاری مقاومت را به شکل (—R—) نشان می‌دهند.
مقاومت الکتریکی ممکن است به‌صورت ناخواسته در مدار ایجاد شود، مانند مقاومت سیم ارتباطی که مقدار آن ناچیز است و می‌توان از آن صرفنظر نمود. اما در مواردی باید از سیم مقاومت‌دار استفاده نمود مانند سیم مقاومت‌دار (المنت) یک اتوی برقی یا سیم مقاومت‌دار هویه حرارتی (شکل ۲۶).



شکل ۲۶

مقدار مقاومت سیم‌های مدار به‌صورت ناخواسته بوده و با مخالفتی که در برابر جریان دارند باعث ایجاد تلفات الکتریکی می‌شوند.

اما مقاومت یک مصرف‌کننده مانند اتو نه تنها مزاحم نیست بلکه علاوه بر کنترل جریان الکتریکی، در مقدار حرارت تولیدی اتو نیز مؤثر است. مقدار مقاومت یک سیم و مقاومت یک مصرف‌کننده الکتریکی را از روابط جداگانه‌ای می‌توان محاسبه کرد. وسیله‌ای که برای اندازه‌گیری مقدار مقاومت به‌کار می‌رود، اهم‌متر نام دارد. شکل ۲۷ تصویر دو نمونه اهم‌متر به همراه علامت اختصاری آن را نشان می‌دهد.



الف) اهم‌متر عقربه‌ای



ب) اهم‌متر دیجیتالی



ج) علامت اختصاری

شکل ۲۷

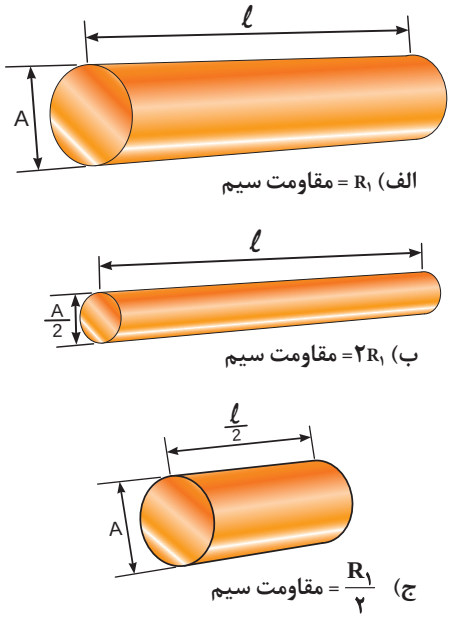
مقدار مقاومت الکتریکی یک سیم

هرگاه سه قطعه سیم با مشخصات داده شده در شکل ۲۸ را در اختیار داشته باشیم و به طور جداگانه مقدار مقاومت‌های هر یک از آنها را اندازه بگیریم، به نتایجی می‌رسیم که نشانگر ارتباط بین عوامل مؤثر در مقاومت الکتریکی یک هادی است. برای بررسی عوامل، موارد زیر را مورد بررسی قرار می‌دهیم:

۱ مقاومت سیم (الف) را اندازه می‌گیریم و به‌عنوان مقاومت مبنا یادداشت می‌کنیم.

۲ مقاومت سیم (ب) را اندازه می‌گیریم. در این حالت مشاهده می‌شود با نصف‌شدن سطح مقطع سیم مقدار مقاومت آن دو برابر شده است.

۳ با اندازه‌گیری مقاومت سیم در مرحله (ج) مشاهده می‌کنیم که با توجه به اینکه طول سیم در حالت (ج) نسبت به حالت (الف) نصف شده، مقدار مقاومت آن نیز به نصف مقدار در حالت (الف) کاهش یافته است. با مقایسه مراحل (الف، ب و ج) در می‌یابیم که مقاومت یک سیم با طول آن رابطه مستقیم و با سطح مقطع آن نسبت عکس دارد.



شکل ۲۸ـ مقایسه مقاومت چند قطعه سیم با ابعاد مختلف

مقدار مقاومت سیم را می‌توان از روابط زیر به دست آورد:

$$R=\frac{\ell}{\chi.A} \quad \text{یا} \quad R=\rho\frac{\ell}{A}$$

R ـ مقاومت سیم بر حسب اهم (Ω)

ℓ ـ طول سیم بر حسب متر (m)

A ـ سطح مقطع سیم برحسب میلی‌متر مربع (mm^2)

ρ ـ مقاومت مخصوص سیم بر حسب $(\frac{\Omega.mm^2}{m})$

χ ـ هدایت مخصوص سیم بر حسب $(\frac{m}{\Omega.mm^2})$

پرسش

با توجه به اینکه بیان شده ρ و χ بدون واحد هستند بررسی کنید، چرا در جلوی اعداد آنها واحدهایی نوشته می‌شود؟ (با کمک رابطه R)

مثال ۱: مقدار مقاومت سیم مسی به طول ۵۰ متر و سطح مقطع ۲۰ میلی‌متر مربع چند اهم است؟

حل:

$\ell = ۵۰\ m \qquad A = ۲۰\ mm^2 \qquad \chi_{cu} = ۵۶$

$$R=\frac{\ell}{\chi.A}=\frac{۵۰}{۵۶\times ۲۰}=۰/۰۴۴[\Omega]$$

مثال ۲: اگر در مثال قبل جنس سیم آلومینیوم درنظر گرفته شود مقدار مقاومت سیم چند اهم است؟

حل:

$\ell = ۵۰\ m \qquad A = ۲۰\ mm^2 \qquad \chi_{Al} = ۳۷$

$$R=\frac{\ell}{\chi.A}=\frac{۵۰}{۳۷\times ۲۰}=۰/۰۶۷[\Omega]$$

پرسش

از مقایسه مقادیر به‌دست آمده برای مقاومت (R) دو سیم چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

مثال ۳: اگر بخواهیم مقدار مقاومت سیم مسی به‌طول ۱۰۰ m از ۰/۵Ω بیشتر نشود سطح مقطع سیم چند میلی‌متر مربع باید باشد؟

حل:

$\ell = ۱۰۰\ m \qquad R = ۰/۵\Omega \qquad \chi_{cu} = ۵۶$

$$R = \frac{\ell}{\chi.A} \Rightarrow A = \frac{\ell}{R.\chi} \Longrightarrow A = \frac{۱۰۰}{۰/۵ \times ۵۶} = ۳/۵۷\left[mm^۲\right]$$

مثال ۴: مقدار مقاومت سیم آلومینیومی به قطر ۴ میلی‌متر و طول ۵۰۰ متر چند اهم است؟ (π = ۳/۱۴)

حل:

$\ell = ۵۰۰ m \qquad d = 4mm \qquad \chi_{Al} = ۳۷$

$$A = \frac{d^۲.\pi}{۴} = \frac{(۴)^۲ \times ۳/۱۴}{۴} = ۱۲/۵۶\left[mm^۲\right]$$

$$R = \frac{\ell}{\chi.A} = \frac{۵۰۰}{۳۷ \times ۱۲/۵۶} = ۱/۰۷۵[\Omega]$$

هدایت الکتریکی

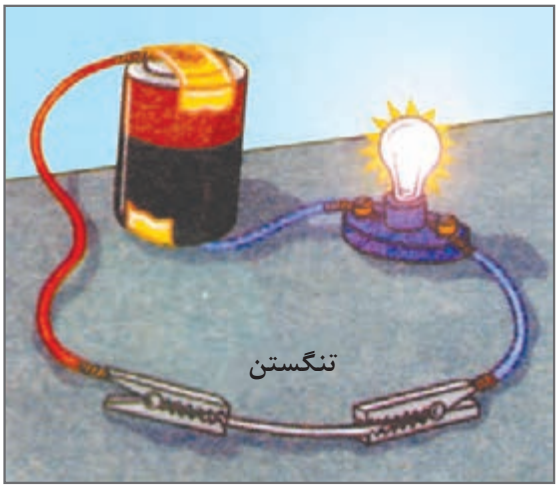
عکس مقاومت الکتریکی را «هدایت الکتریکی» می‌نامند و آن را با حرف (G) نشان می‌دهند. G از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$\boxed{G = \frac{۱}{R}}$$

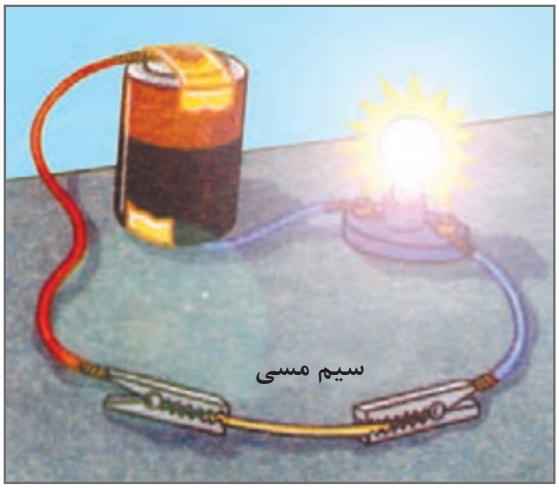
واحد هدایت الکتریکی نیز از برعکس نوشتن واحد مقاومت الکتریکی حاصل می‌شود. واحد هدایت الکتریکی بر حسب مو (mho) بیان می‌شود.

$$\boxed{۱mho = \frac{۱}{\Omega}}$$

تصاویر الف و ب شکل ۲۹ نشان می‌دهند که زیاد یا کم بودن مقدار ضریب هدایت یک سیم چقدر در میزان روشنایی لامپ مؤثر است.



ب) سیم تنگستن در بین دو گیره سوسماری



الف) سیم مسی در بین دو گیره سوسماری

شکل ۲۹

در تصویر (الف) چون سیم به‌کار رفته در محل اتصال مسی است مقاومت آن کم و به عبارت دیگر میزان هدایت آن زیاد است، در این حالت نور لامپ زیاد می‌باشد. در شکل (ب) سیمی از جنس تنگستن استفاده شده است. چون مقدار هدایت الکتریکی سیم تنگستن کم است به همین خاطر نور لامپ کم می‌شود.

تبدیل واحدها به یکدیگر

در سال‌های گذشته با کمیت‌های اصلی، فرعی و واحدهای آنها آشنا شده‌اید.
در اینجا با معرفی جدول واحدهای کوچک‌تر، بزرگ‌تر و واحدهای اصلی (جدول ۱) و بررسی چند مثال با چگونگی تبدیل کمیت‌های الکتریکی جریان (I)، ولتاژ (V) و مقاومت (R) آشنا می‌شویم.

جدول ۱ــ واحدهای کوچک‌تر و بزرگ‌تر از واحدهای اصلی الکتریکی

چگونگی تبدیل ضرایب		حرف اختصاری	نام ضریب	شکل‌نمایی ضریب	مقدار ضریب
از پایین به بالا مقدار موردنظر را در ضرایب دارای توان منفی ضرب و بر ضرایب دارای توان مثبت تقسیم می‌کنیم.	از بالا به پایین مقدار موردنظر را در ضرایب دارای توان مثبت ضرب و بر ضرایب دارای توان منفی تقسیم می‌کنیم.	T	ترا	10^{12}	۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰
		G	گیگا	10^{9}	۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰
		M	مگا	10^{6}	۱۰۰۰۰۰۰
		K	کیلو	10^{3}	۱۰۰۰
		H	هکتو	10^{2}	۱۰۰
		da	دکا	۱۰	۱۰
			واحد اصلی	10^{0}	۱
		d	دسی	10^{-1}	۰/۱
		c	سانتی	10^{-2}	۰/۰۱
		m	میلی	10^{-3}	۰/۰۰۱
		μ	میکرو	10^{-6}	۰/۰۰۰۰۰۱
		n	نانو	10^{-9}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۱
		p	پیکو	10^{-12}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱

مثال ۱: شدت جریان عبوری از یک سیم ۰/۰۵ آمپر است. این جریان معادل چند میلی آمپر است؟

حل:

$I = ۰/۰۵\ (A) \times ۱۰^{۳} = ۵ \times ۱۰^{-۲} \times ۱۰^{۳}$

$I = ۵ \times ۱۰^{(-۲+۳)} = ۵ \times ۱۰^{+۱} = ۵۰\,[mA]$

نکته مهم

هنگام ضرب اعداد با پایه‌های یکسان، نماهای مثبت و یا منفی آنها با هم جمع می‌شوند.

مثال ۲: شدت جریان ۰/۲ میلی‌آمپر معادل چند میکرو آمپر است؟

حل:

$I = ۰/۲ \times ۱۰^{۳} = ۲ \times ۱۰^{-۱} \times ۱۰^{۳}\ [\mu A]$

$I = ۲ \times ۱۰^{(-۱+۳)} = ۲ \times ۱۰^{۲} = ۲۰۰\,[\mu A]$

مثال ۳: شدت جریان ۱۰ میکروآمپر معادل چند آمپر است؟

حل :

$I = ۱۰ \times ۱۰^{-۶} = ۰/۰۰۰۰۱ [A]$

مثال ۴: پنج ولت معادل چند میلی ولت است؟

حل :

$V = ۵ (V) \times ۱۰^{۳} = ۵۰۰۰ [mV]$

نکته مهم

اگر عدد موجود در نمای ده مثبت باشد، به تعداد آن در مقابل عدد ۵، صفر می‌گذاریم ($۵ \times ۱۰^{۳} = ۵۰۰۰$)
و اگر منفی باشد به تعداد آن از سمت راست عدد پنج شمرده و سپس ممیز می‌گذاریم. ($۵ \times ۱۰^{-۳} = ۰/۰۰۵$)

مثال ۵: یک میلی ولت معادل چند ولت است؟

حل:

$V = ۱ \times ۱۰^{-۳} = ۱۰^{-۳}$ $V = ۰/۰۰۱ [V]$

مثال ۶: ده کیلو اهم معادل چند اهم است؟

حل :

$R = ۱۰ \times ۱۰^{۳} = ۱۰۰۰۰ [\Omega]$

مثال ۷: مقاومت ۵۰۰ اهم معادل چند کیلو اهم است؟

حل:

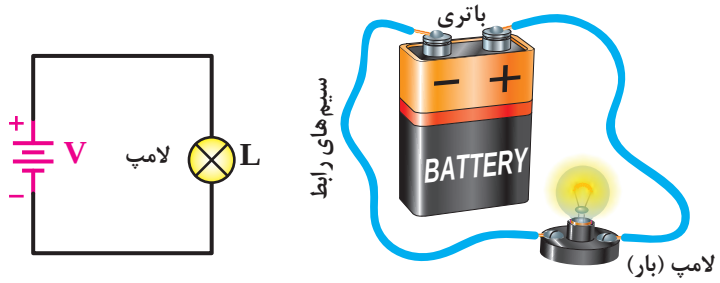
$R = ۵۰۰ \times ۱۰^{-۳} = ۵ \times ۱۰^{۲} \times ۱۰^{-۳} \, k\Omega = ۵ \times ۱۰^{-۱} = ۰/۵ [k\Omega]$

مدار الکتریکی

مسیر عبور جریان الکتریکی را «مدار الکتریکی» می‌نامند. اجزای اصلی یک مدار الکتریکی ساده عبارت‌اند از :

- منبع تغذیه
- سیم‌های رابط
- مصرف کننده (بار)

در شکل ۳۰ یک مدار الکتریکی ساده نشان داده شده است.



الف) مدار الکتریکی ساده ب) شکل مدار تصویر مقابل

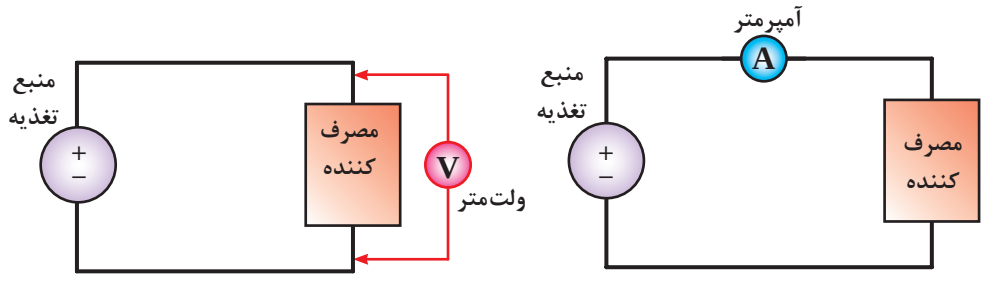
شکل ۳۰ـ یک مدار الکتریکی ساده

در مدارهای الکتریکی علاوه بر سه عامل اصلی فوق ممکن است از اجزای دیگری نیز استفاده شود. از جمله این اجزا می‌توان کلید، فیوز و وسایل اندازه‌گیری را نام برد. اگر اجزای فوق در مدار الکتریکی وجود نداشته باشد، ایرادی در کار مدار پیش نمی‌آید اما عدم وجود یکی از اجزای اصلی کار طبیعی مدار را دچار مشکل می‌کند.
به همین دلیل به سایر اجزای مدار «اجزای فرعی» می‌گویند. کلید در مدارهای الکتریکی به‌عنوان قطع ووصل‌کننده جریان به‌کار می‌رود. در شکل ۳۱ چند نمونه از کلیدها نشان داده شده است.



شکل ۳۱

دستگاه‌های اندازه‌گیری برای سنجش کمیت‌های گوناگون الکتریکی مانند جریان، ولتاژ و مقاومت به کار می‌روند.
برای اندازه‌گیری جریان هر جزء مدار باید آمپرمتر را طبق شکل ۳۲ـ الف در مسیر آن جزء قرار داد. در اصطلاح به این نوع اتصال «سری» گفته می‌شود.
برای اندازه‌گیری ولتاژ هر یک از اجزای مدار باید ولت‌متر را به دو سر آن جزء از مدار وصل کرد. در اصطلاح این نوع اتصال را «موازی» می‌نامیم. شکل ۳۲ـ ب نحوه اتصال ولت‌متر را نشان می‌دهد.

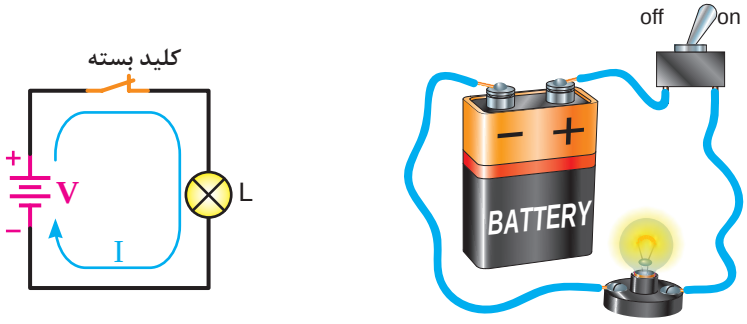


الف) نحوه اتصال آمپرمتر در مدار

ب) نحوه اتصال ولت‌متر در مدار

شکل ۳۲-نمونه‌هایی از مدار کامل

اگر برای عبور جریان الکتریکی مسیر کاملی از طریق قطب مثبت باتری، سیم‌های رابط و مصرف‌کننده به قطب منفی وجود داشته باشد، آن مدار را «مداربسته» یا «مدار کامل» می‌گویند.
در شکل ۳۳ نمونه‌ای از یک مدار الکتریکی بسته (کامل) را مشاهده می‌کنید.



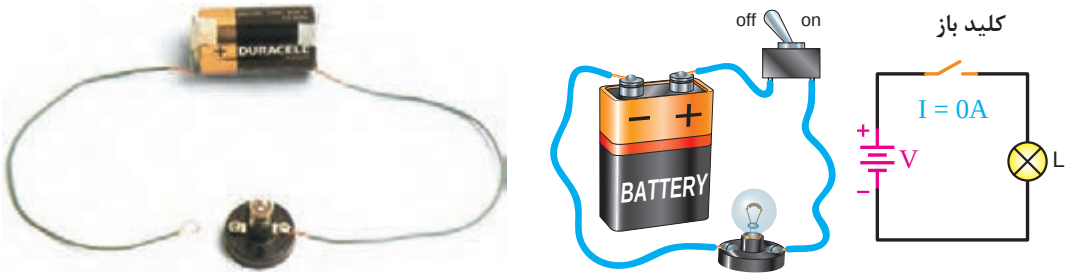
الف) مدار کامل (مدار واقعی)　　ب) مدار کامل با کلید (شکل مداری)

شکل ۳۳ ـ نمونه‌هایی از مدار کامل

نکته مهم

توجه داشته باشید که زمانی در یک مدار جریان برقرار می‌شود که مدار بسته باشد و اگر با وجود منبع انرژی در مدار جریان برقرار نباشد، می‌گوییم مدار باز است.

در صورتی که مسیر عبور جریان به دلایلی از قبیل قطع شدن سیم‌های رابط، قطع مصرف‌کننده، قطع کلید و یا سوختن فیوز کامل نباشد مدار را «مدار باز»[1] گویند. شکل ۳۴ نمونه‌هایی از حالت مدار باز را نشان می‌دهد.



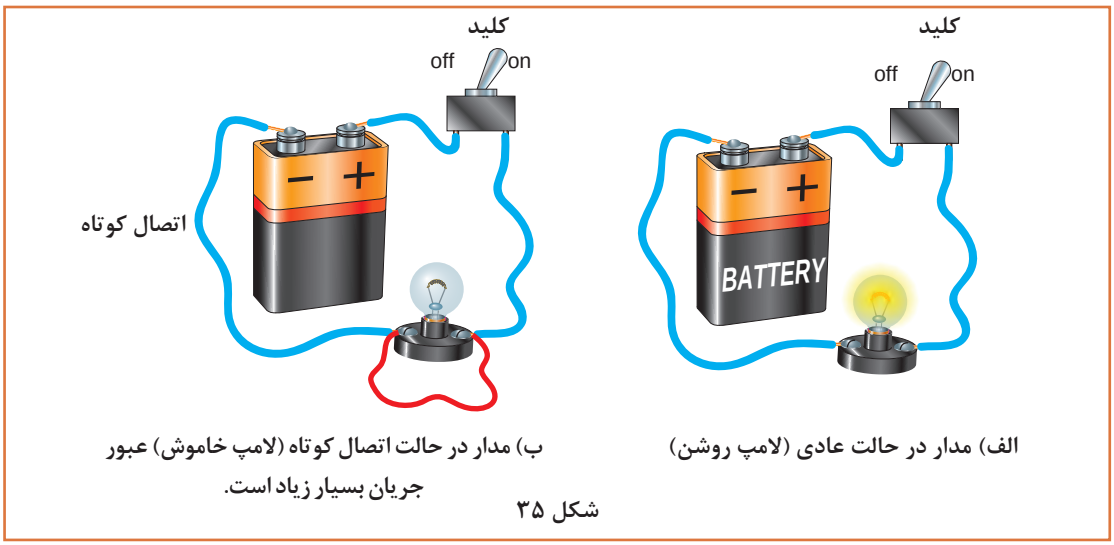
الف) مدار باز با کلید (شکل مداری)　　ب) مدار باز بدون کلید (شکل واقعی)

شکل ۳۴

نکته

یکی از حالات خطرناکی که ممکن است در مدار الکتریکی به وجود آید، حالت «اتصال کوتاه» است. حالت اتصال کوتاه در مدار به شرایطی گفته می‌شود که مقاومت مصرف‌کننده (بار) به صفر برسد. در صورت وقوع چنین حالتی جریان بسیار زیادی از مدار خواهد گذشت (شکل ۳۵ـ ب) .
که می‌تواند خطرات و آسیب‌هایی جدی به دنبال داشته باشد.

۱ـ Open Circuit



الف) مدار در حالت عادی (لامپ روشن)

ب) مدار در حالت اتصال کوتاه (لامپ خاموش) عبور جریان بسیار زیاد است.

شکل ۳۵

فیوز وسیله‌ای است که مدارهای الکتریکی را در مقابل افزایش غیرمجاز جریان حفاظت می‌کند. نمونه‌هایی از انواع فیوزها را به همراه علامت اختصاری آن در شکل ۳۶ مشاهده می‌کنید.



الف) مینیاتوری

تصاویر فیوز شیشه‌ای

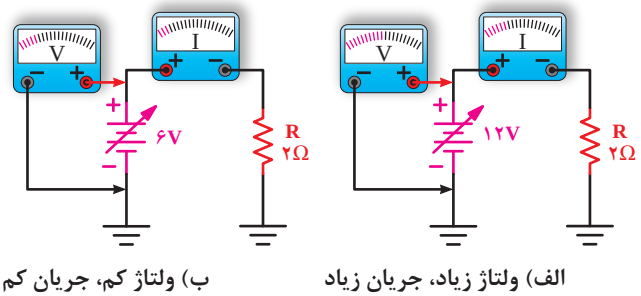
ب) علامت اختصاری

شکل ۳۶

قانون اهم

جرج سیمون اهم در سال ۱۸۲۸ براساس تجربیات و آزمایش‌های فراوان توانست ارتباط بین ولتاژ (V)، جریان (I) و مقاومت (R) را در یک مدار به دست آورد.

اهم به این نتیجه رسید که اگر مقاومت یک مدار را ثابت نگه‌داریم و ولتاژ منبع تغذیه را افزایش دهیم شدت جریان افزایش می‌یابد (شکل ۳۷).



الف) ولتاژ زیاد، جریان زیاد

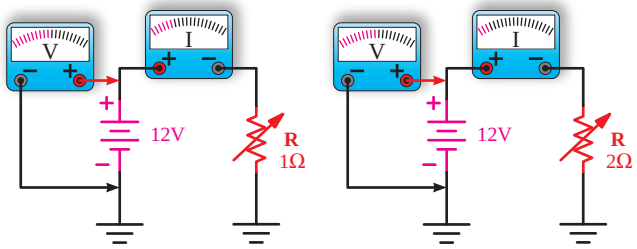
ب) ولتاژ کم، جریان کم

شکل ۳۷ـ تغییرات ولتاژ و جریان به ازای مقاومت ثابت در یک مدار الکتریکی

$$I \propto V$$

او همچنین دریافت که اگر ولتاژ منبع تغذیه را ثابت نگه‌داریم و مقدار مقاومت مدار را افزایش دهیم، جریان مدار کاهش می‌یابد (شکل ۳۸).

$$I\alpha\frac{1}{R}$$



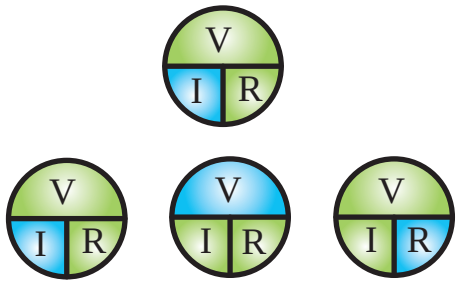
ب) مقاومت کم، جریان زیاد　　الف) مقاومت زیاد، جریان کم

شکل ۳۸ـ تغییرات جریان و مقاومت به ازای ولتاژ ثابت در یک مدار الکتریکی

اهم نتایج آزمایشات خود را مطابق رابطه زیر بیان کرد.

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

از شکل ۳۹ برای نشان دادن ارتباط بین V، I و R در قانون اهم استفاده می‌شود. در صورتی‌که دو جزء از معادله معلوم باشد به راحتی می‌توان جزء سوم را به‌دست آورد.

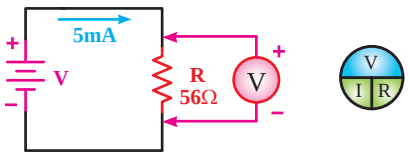


$$I=\frac{V}{R} \qquad V=IR \qquad R=\frac{V}{I}$$

شکل ۳۹ـ نمودار دایره‌های قانون اهم در حالت‌های مختلف قانون اهم

مثال۱: در مدار شکل ۴۰ ولت‌متری که در دو سر مقاومت قرار دارد، چه ولتاژی را نشان می‌دهد؟

حل:



شکل ۴۰

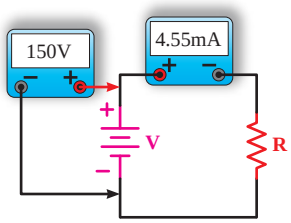
$V= R.I$

$V= ۵mA \times ۵۶\Omega$

$V = ۵ \times ۱۰^{-۳}A \times ۵۶\Omega = ۲۸۰ \times ۱۰^{-۳}\ v$

$V = ۲۸۰[mV]$

مثال ۲: در مدار شکل ۴۱ مقدار مقاومت چند کیلو اهم است؟



شکل ۴۱

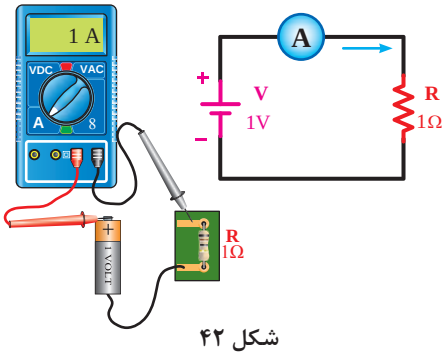


حل:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{۱۵۰V}{۴/۵۵mA}$$

$$R = \frac{۱۵۰V}{۴/۵۵\times۱۰^{-۳}A} = ۳۳\times۱۰^{۳}\Omega = ۳۳[k\Omega]$$

مثال ۳: جریان عبوری از مقاومت مدار شکل ۴۲ چند میلی آمپر است؟



شکل ۴۲

حل:

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

$$I = ۱\times۱۰^{۳} = ۱۰۰۰[mA]$$



تمرین کلاسی

به دو سر یک مقاومت ۵۰۰Ω ولتاژ ۲۰ ولت اعمال شده است. جریان گذرنده از مدار چند میلی‌آمپر است؟

.....

.....

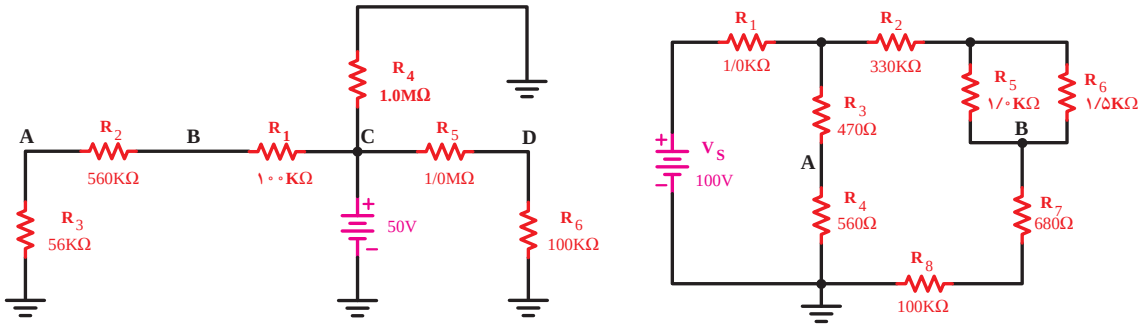
تمرین کلاسی

از مداری شامل مقاومت $۱K\Omega$، جریان $۱mA$ عبور می‌کند، افت ولتاژ دو سر مقاومت چند ولت است؟

.....

.....

در برخی موارد برای حل مدارهای الکتریکی پیچیده‌ای مانند شکل ۴۳ استفاده از قانون اهم به تنهایی کافی نیست و به کارگیری روش‌ها و قوانین دیگری نیز لازم است.



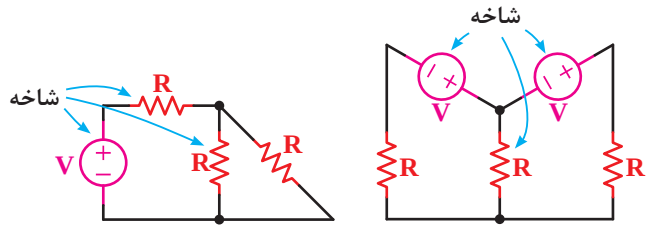
الف)

شکل ۴۳ـ نمونه‌هایی از مدارهای پیچیده

به همین خاطر لازم است، پیش از بررسی قوانین با تعاریف شاخه، گره و حلقه آشنا شویم.

تعریف شاخه

مسیر بین دو گره که یک یا چند قطعه بکار رفته است در مدارهای الکتریکی «شاخه» نام دارد. در شکل ۴۴ نمونه‌هایی برای شاخه نشان داده شده است.



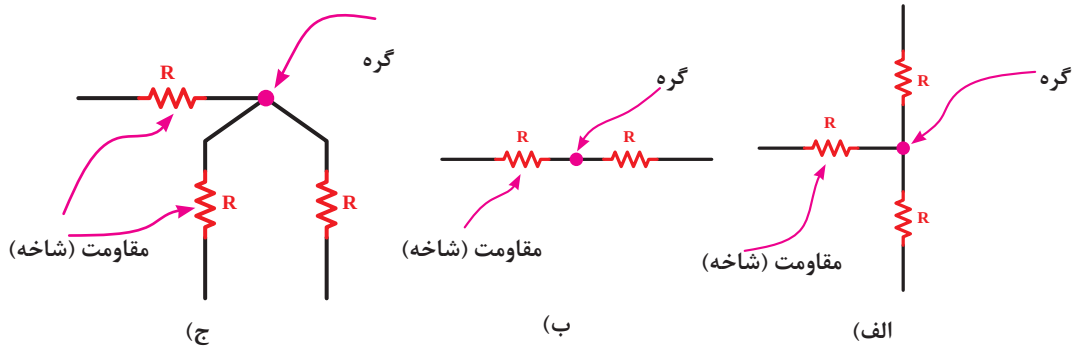
ب)

شکل ۴۴

الف)

تعریف گره

محل اتصال دو یا چند شاخه در یک مدارالکتریکی را «گره» می‌نامند. شکل ۴۵ نمونه‌هایی از گره‌های مختلف را نشان می‌دهد.



ج)

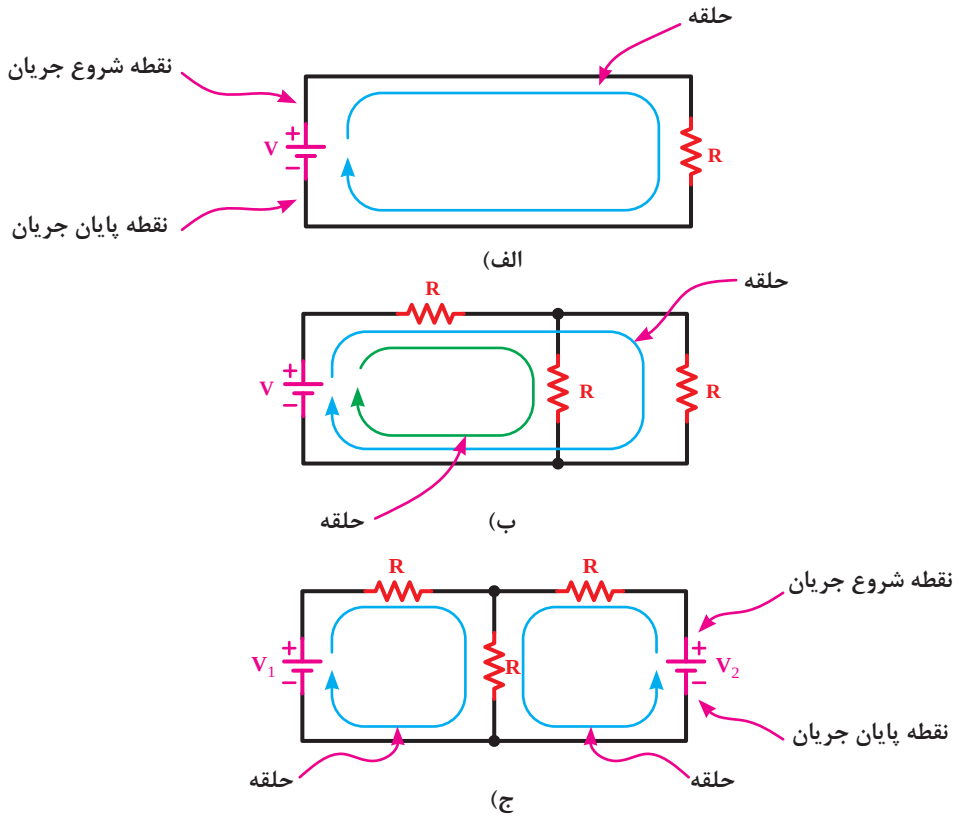
ب)

الف)

شکل ۴۵

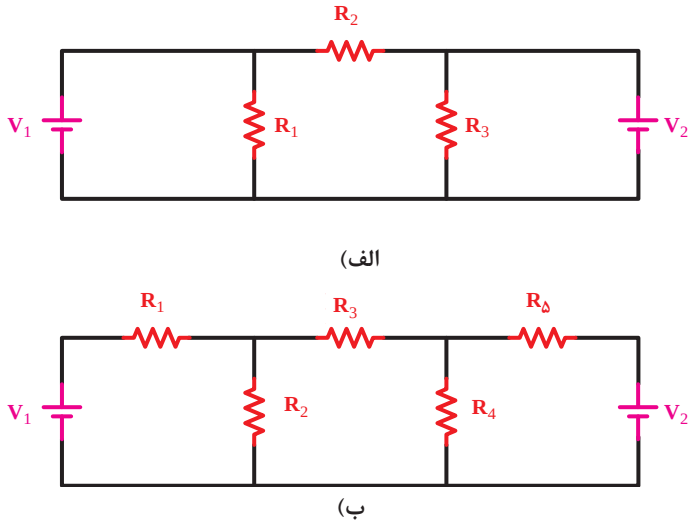
تعریف حلقه

هرگاه در مدار، نقطهٔ شروع حرکت جریان، نقطه پایان جریان نیز باشد آن را «مدار کامل» یا «حلقه» می‌نامند. در شکل ۴۶ نمونه‌هایی از حلقه‌های مختلف را مشاهده می‌کنید.



شکل ۴۶

مثال ۱: تعداد شاخه‌های موجود در شکل ۴۷ را مشخص کنید.



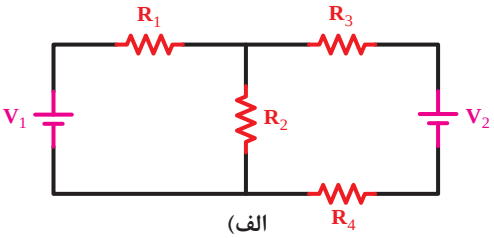
شکل ۴۷

حل: تعداد شاخه‌های مدار الف ۵ شاخه و مدار ب ۵ شاخه می‌باشد.

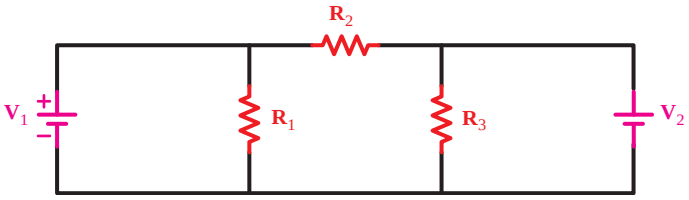
نکته

اگر مسیر جریان دو شاخه یکی باشد آن دو را ۱ شاخه درنظر می‌گیرند.

مثال ۲: تعداد گره‌های موجود در شکل ۴۸ را مشخص کنید.



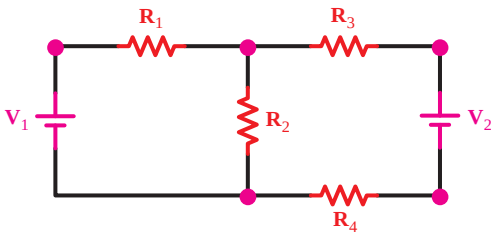
الف)



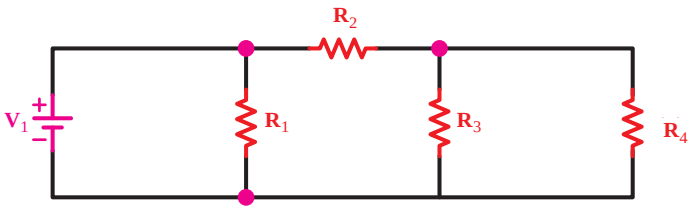
ب)

شکل ۴۸

حل: با توجه به تعریف گره می‌توان گره‌های موجود در مدارهای الف و ب را مطابق شکل ۴۹ مشخص کرد. تعداد گره‌های مدار الف برابر ۵ گره و مدار (ب) برابر ۳ گره است.



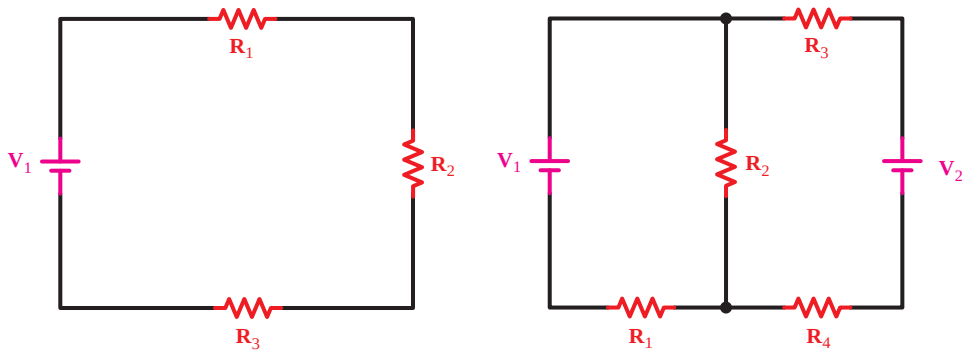
الف) تعداد گره‌های مدار ۵ گره است



ب) تعداد گره‌های مدار ۳ گره است.

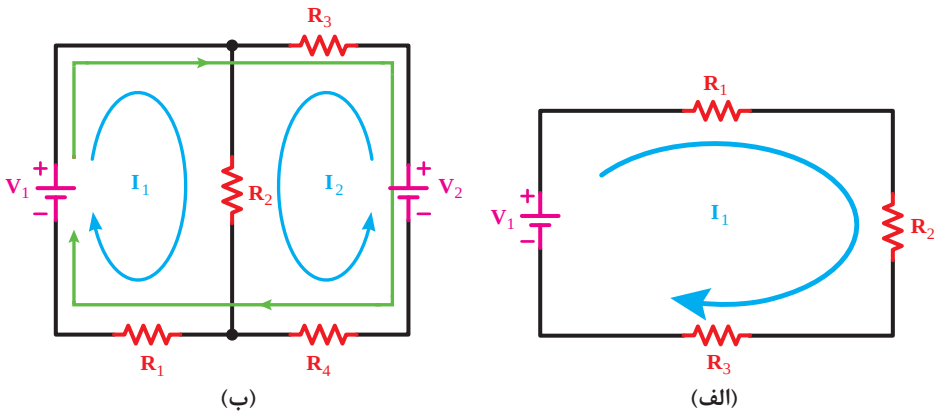
شکل ۴۹

مثال ۳: تعداد حلقه مدارهای شکل ۵۰ را مشخص کنید.



شکل ۵۰

حل: برای مشخص کردن تعداد حلقه‌ها می‌بایست طبق تعریف حلقه عمل کنیم که در این‌صورت شکل الف ۱ حلقه و شکل ب ۳ حلقه دارد.



شکل ۵۱

قوانین کیرشهف[1]

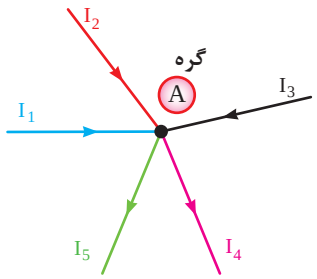
قانون جریان‌ها (KCL)[2]

براساس قانون جریان‌ها در یک مدار الکتریکی در هر گره مجموع جریان‌های وارد شده به گره برابر با مجموع جریان‌های خارج شده از گره است (شکل ۵۲).

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

به عبارت دیگر جمع جبری جریان‌های وارد شده به گره و جریان‌های خارج شده از آن برابر با صفر است.

$$\sum I = ۰$$



شکل ۵۲ـ قانون جریان‌ها برای گره

در شکل ۵۲ وضعیت گره A از نظر جریان‌های ورودی و خروجی مشخص شده است. معادله KCL را برای گره A چنین می‌توان نوشت:

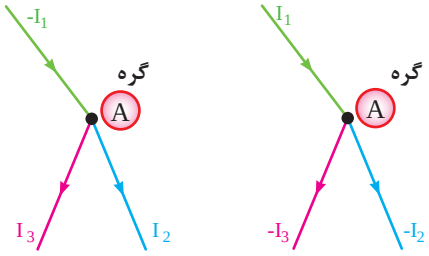
$$\sum I_{in} = \sum I_{out} \qquad \text{یا} \qquad \sum I = ۰$$

$$I_۱ + I_۲ + I_۳ = I_۴ + I_۵ \qquad I_۱ + I_۲ + I_۳ - I_۴ - I_۵ = ۰$$

نکته

انتخاب علامت مثبت یا منفی برای جریان‌های وارد شده و خارج شده به یک گره قراردادی است و هیچ‌گونه محدودیتی ندارد. اما باید توجه داشته باشید برای یک گره جریان باید از یک روش تبعیت کند (شکل ۵۳) مثلاً همه جریان‌های ورودی را مثبت یا منفی درنظر بگیرید. نمی‌توانید یکی از جریان‌های ورودی به گره را مثبت و دیگری را منفی بگیرید.

۱ـ Kirchhoffs Laws
۲ـ KCL - Kirchhoffs Current Law

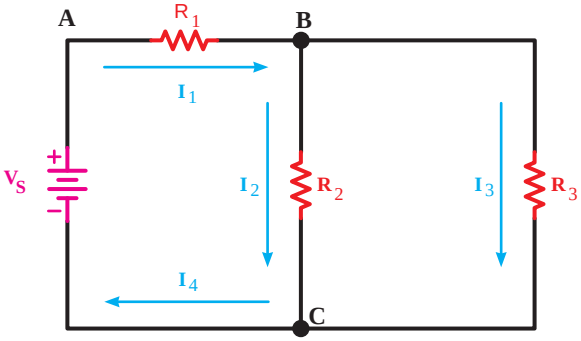


الف) جریان‌های ورودی مثبت و جریان‌های خروجی منفی

ب) جریان‌های ورودی منفی و جریان‌های خروجی مثبت

شکل ۵۳ـ قانون جریان‌ها برای گره‌ها

مثال ۱: معادلات KCL مدار شکل ۵۴ را بنویسید.



شکل ۵۴

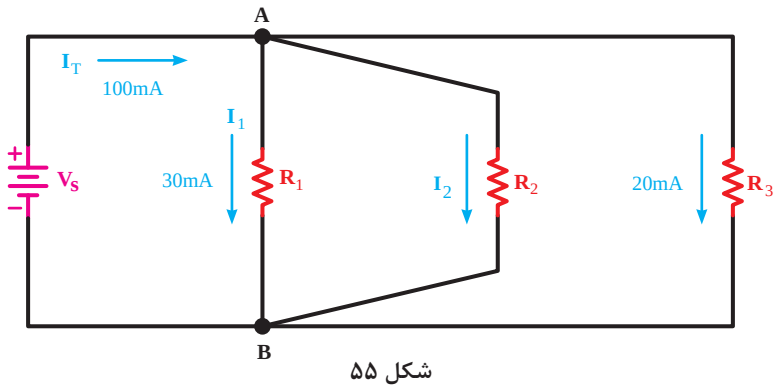
معادله KCL گره B ⟵ یا $-I_1 + I_2 + I_3 = 0$

$I_1 = I_2 + I_3$

معادله KCL گره C ⟵ یا $-I_2 - I_3 + I_4 = 0$

$I_4 = I_2 + I_3$

مثال ۲: جریان مقاومت R_2 در شکل ۵۵ چند میلی‌آمپر به‌دست می‌آید:



شکل ۵۵

با نوشتن معادله KCL درگره A مقدار جریان $I_۲$ به دست می‌آید:

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

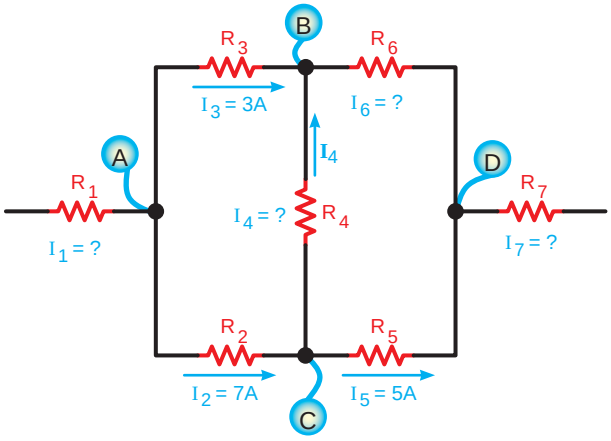
$$I_T = I_۱ + I_۲ + I_۳$$

$$I_۲ = I_T - (I_۱ + I_۳)$$

$$I_۲ = ۱۰۰ - (۳۰+۲۰)$$

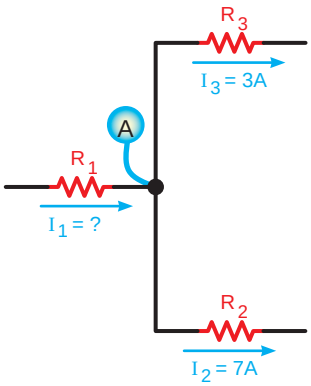
$$I_۲ = ۵۰[mA]$$

مثال ۳: مقدار و جهت جریان در هر یک از مقاومت‌های شکل ۵۶ را به‌دست آورید.



شکل ۵۶

حل: برای مشخص شدن مقدار و جهت جریان‌ها باید معادله KCL را برای هر یک از گره‌های C,B,A و D بنویسیم.

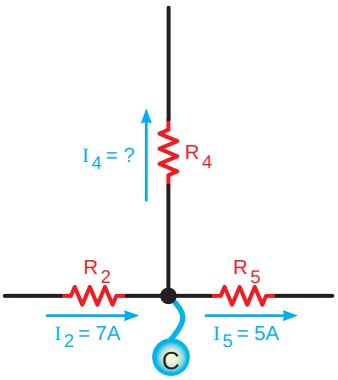


شکل ۵۷

در گره A دو جریان $I_۲$ و $I_۳$ خارج می‌شوند. لذا جریان $I_۱$ بر آن وارد می‌شود در شکل ۵۷ با نوشتن معادله KCL جریان $I_۱$ قابل محاسبه است:

$$I_۱ = I_۲ + I_۳ = ۷ + ۳$$

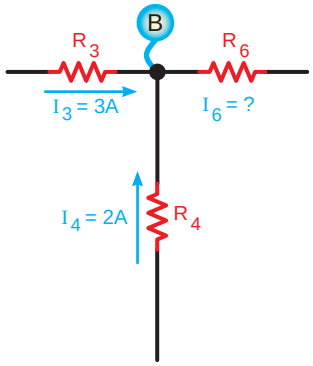
$$I_۱ = ۱۰[A]$$



شکل ۵۸

در گره C چون جریان $I_۵$ کوچک‌تر از $I_۲$ است لذا جریان $I_۴$ باید از گره خارج شود تا تعادل جریان برقرار شود. (شکل ۵۸) پس معادله KCL را فقط برای حالتی می‌توان نوشت که جریان $I_۴$ از گره خارج می‌شود:

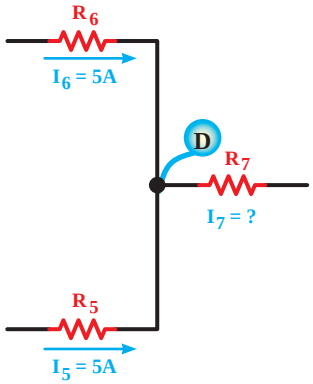
$$I_۲ = I_۴ + I_۵ \Rightarrow I_۴ = I_۲ - I_۵ = ۷ - ۵$$
$$I_۴ = ۲[A]$$



شکل ۵۹

در گره B (شکل ۵۹) چون جریان‌های $I_۳$ و $I_۴$ وارد می‌شوند. بنابر قاعده KCL جریان $I_۶$ باید از نقطه B خارج شود. مقدار $I_۶$ برابر خواهد شد با:

$$I_۶ = I_۳ + I_۴ = ۳ + ۲ = ۵[A]$$
$$I_۶ = ۵[A]$$



شکل ۶۰

همان‌طوری که در شکل ۶۰ مشاهده می‌شود جریان‌های $I_۶$ و $I_۵$ به گره D وارد می‌شوند. بنابراین با نوشتن KCL برای گره D معلوم می‌شود که جهت جریان $I_۷$ باید به گونه‌ای باشد که از گره خارج شود، بنابراین داریم:

$$I_۷ = I_۵ + I_۶ = ۵ + ۵ = ۱۰A$$
$$I_۷ = ۱۰[A]$$

قانون ولتاژها (KVL)[1]

براساس این قانون در یک حلقه (مسیر بسته) مجموع افت ولتاژها برابر با مجموع نیروهای محرکه (ولتاژها) موجود در حلقه است.

$$\sum V = \sum R.I$$ [2]

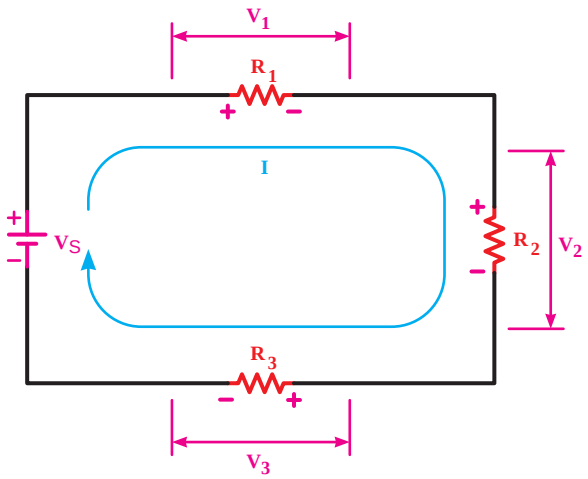
به عبارت دیگر جمع جبری نیروهای محرکه و افت ولتاژهای موجود در هر حلقه بسته مساوی با صفر است.

$$\sum V = ۰$$

توجه

در مدارهای الکتریکی منابع تغذیه (باتری‌ها) را نیروی محرکه و ولتاژ دوسر مقاومت‌ها و سایر مصرف‌کننده‌ها را افت ولتاژ در نظر می‌گیرند.

با توجه به تعریف ارائه شده پس برای مدار شکل ۶۱ معادله KVL را به‌صورت‌های زیر می‌توان نوشت:



شکل ۶۱

شکل ۶۱ یک مدار با سه مقاومت نشان می‌دهد. در این مدار معادله KVL را می‌نویسیم:

$$\sum V = \sum R.I$$

$$V_S = R_۱I + R_۲I + R_۳I$$

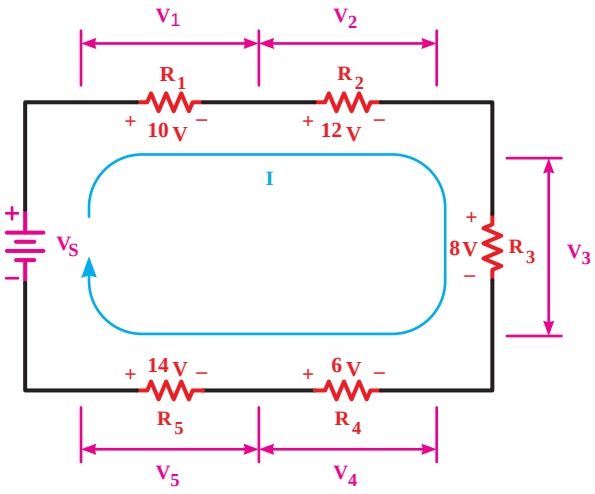
یا

$$+ R_۱I + R_۲I + R_۳I - V_S = ۰$$

۱ـ KVL- Kirchhoff 's Voltage Law

۲ـ علامت (Σ) زیگما، حرف یونانی و به معنی مجموع است.

مثال ۱: در مدار شکل ۶۲ مقدار ولتاژ منبع Vs را به‌دست آورید.



شکل ۶۲

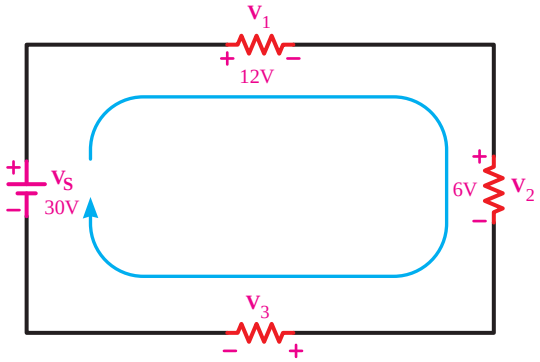
حل: با نوشتن معادله KVL حلقه می‌توان مقدار Vs را به‌دست آورد.

$V_۱ + V_۲ + V_۳ + V_۴ + V_۵ - Vs = ۰$

$۱۰ + ۱۲ + ۸ + ۶ + ۱۴ - Vs = ۰$

$Vs = ۵۰ [v]$

مثال ۲: مقدار ولتاژ Vs شکل ۶۳ چند ولت است.



شکل ۶۳

حل:

$V_۱ + V_۲ + V_۳ - Vs = ۰$

$V_۱ + V_۲ + V_۳ = Vs$

$V_۳ = Vs - (V_۱ - V_۲)$

$Vs = ۳۰ - (۱۲ + ۶)$

$V_s = ۱۲ [v]$

کار در منزل

با استفاده از نرم‌افزاری که در اختیار دارید، مدارهای مربوط به قوانین کیرشهف را ببندید و صحت آن را بررسی کنید.

الگوی پرسش

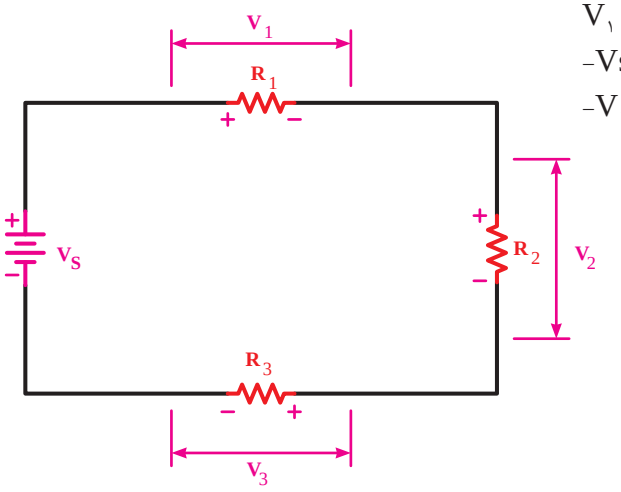
۱ کدام یک از معادلات زیر برای شکل ۶۴ صحیح است؟

الف) $V_1 - V_2 - V_3 - Vs = 0$

ب) $V_1 + V_2 = Vs + V_3$

پ) $-Vs + V_1 + V_2 + V_3 = 0$

ت) $-V_1 - V_2 + V_3 + Vs = 0$



شکل ۶۴

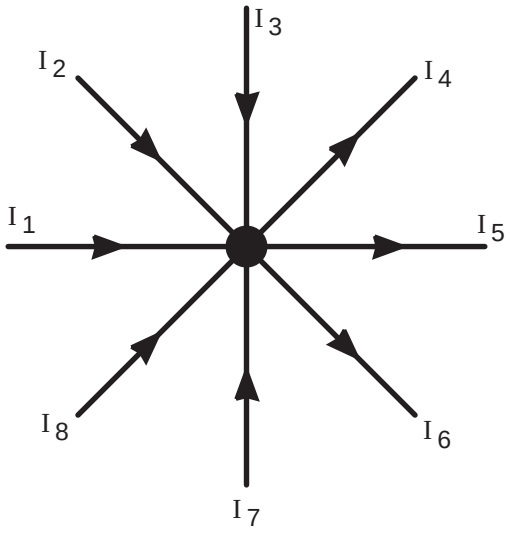
۲ کدام معادله برای شکل ۶۵ صحیح است؟

الف) $I_1 + I_3 + I_5 + I_7 = I_2 + I_4 + I_6 + I_8$

ب) $I_1 - I_2 + I_3 - I_4 + I_5 - I_6 + I_7 - I_8 = 0$

پ) $I_1 + I_2 + I_3 + I_7 + I_8 = I_4 + I_5 + I_6$

ت) $-I_1 - I_2 - I_3 - I_4 - I_5 + I_6 + I_7 + I_8 = 0$



شکل ۶۵

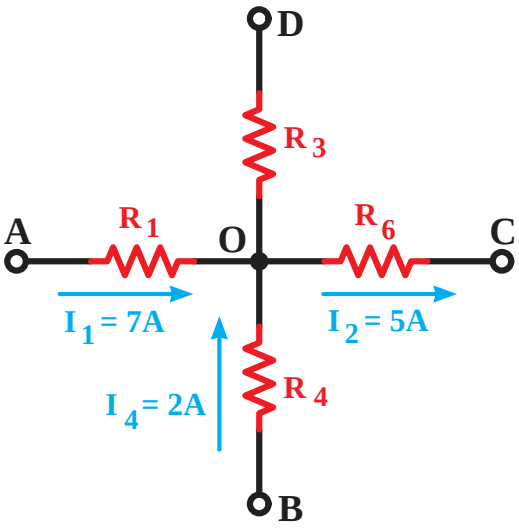
۳ کدام گزینه در مورد مقدار و جهت جریان در مقاومت R۳ شکل ۶۶ صحیح است؟

الف) ۴A ، از O به D

ب) ۱۰A ، از D به O

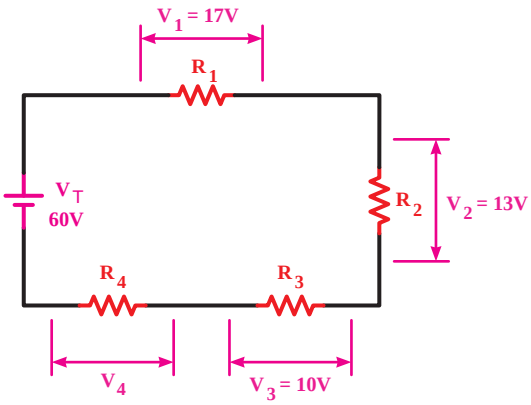
پ) ۴A ، از D به O

ت) ۱۰A ، از O به D



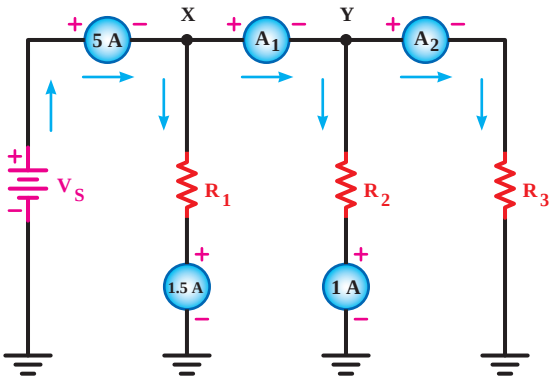
شکل ۶۶

۴ با توجه به شکل ۶۷ ولتاژ دو سر مقاومت R۴ چند ولت است؟



شکل ۶۷

۵ در مدار شکل ۶۸ آمپرمترهای A۱ و A۲ چند آمپر را نشان می‌دهد؟



شکل ۶۸

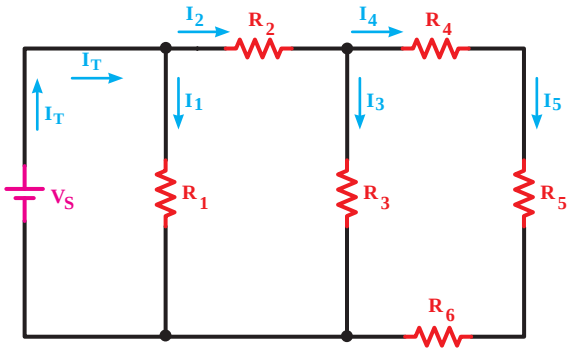
۶ با توجه به شکل ۶۹ کدام‌یک از روابط زیر صحیح است؟

الف) $I_1 + I_3 + I_5 = I_2 + I_4$

ب) $I_1 + I_2 = I_3$

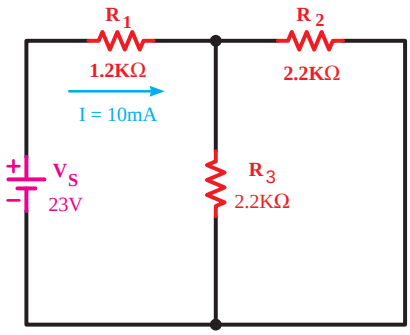
پ) $I_2 + I_3 = I_4 + I_5$

ت) $I_2 - I_3 = I_4$



شکل ۶۹

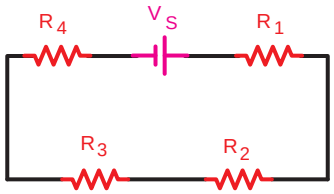
۷ افت ولتاژ دو سر مقاومت R۱ در شکل ۷۰ چند ولت است؟



شکل ۷۰

۸ طرف دوم معادله نوشته شده برای شکل ۷۱ را تکمیل کنید.

$V_S - R_2I - R_3I =$.....



شکل ۷۱

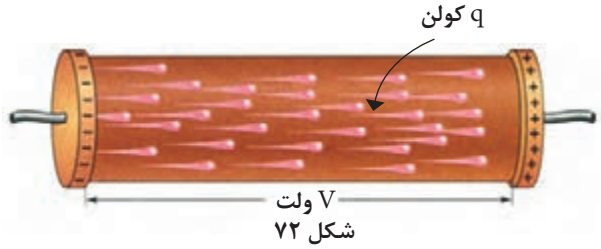
۹ براساس قانون ..... جمع جبری افت ولتاژ و نیروهای محرکه موجود در هر حلقه مساوی صفر است.

کار در منزل

مدارهای مربوط به این الگوی پرسش را با استفاده از نرم‌افزاری که در اختیار دارید ببندید و صحت پاسخ‌های خود را مورد سنجش قرار دهید و نتیجه را در کلاس به بحث بگذارید.

کار الکتریکی

در الکتریسیته تعریف کار به‌صورت زیر است: اگر اختلاف پتانسیل V ولت در دو سر یک هادی قرار گیرد به‌طوری که q کولن بار از آن عبور کند، کاری معادل W ژول انجام می‌گیرد (شکل ۷۲).



شکل ۷۲

کار الکتریکی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$W = V.q$$

V ـ اختلاف پتانسیل بر حسب ولت

q ـ مقدار بار الکتریکی جابه‌جا شده بر حسب کولن

W ـ کار انجام شده بر حسب ژول

رابطه ($W = V.q$) در مدارهای الکتریکی کاربرد زیادی ندارد و معمولاً از شکل‌های دیگر رابطه انرژی استفاده می‌شود.

برای این منظور اگر از روابط جریان ($I=\frac{q}{t}$) و قانون اهم ($V = R.I$) که قبلاً فرا گرفته‌اید کمک بگیریم.

می‌توان به روابط نهایی کار به‌صورت $W = VIt = RI^2t$ دست یافت.

فعالیت

روابط $W = V.I.t$ و $W = R.I^2.t$ را اثبات کنید.

براساس رابطه $W=V.I.t$ واحد کار الکتریکی را می‌توان چنین بیان کرد.

$$W = V \cdot I \cdot t$$

$$[j] = [V].[A].[s]$$

ژول ولت آمپر ثانیه

وسیله‌ای که مقدار انرژی الکتریکی مصرفی را اندازه‌گیری می‌کند در صنعت، کنتور[1] نام دارد (شکل ۷۳).


شکل ۷۳

۱-Counter

سؤال

کنتور برق دستگاهی است که انرژی مصرفی منازل یا کارخانجات را برحسب کیلو وات ساعت اندازه گیری می کند؟ چرا؟

مثال ۱: مقدار انرژی الکتریکی مصرفی یک لامپ ۱۲ ولت ۰/۵ آمپر، در مدت ۲۰ دقیقه چقدر است؟

$V=۱۲v$

$I=۰/۵A$

$t=۲۰min$

حل:

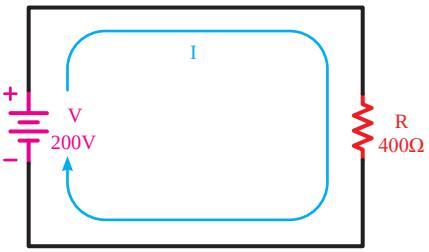
$t = ۲۰ \times ۶۰ = ۱۲۰۰s$

$w= V.I.t$

$w= ۱۲\times ۰/۵ \times ۱۲۰۰=۷۲۰۰[j]$

مثال ۲: در شکل ۷۴ اگر R نشان‌دهنده مقاومت المنت یک دستگاه برقی باشد مقدار جریان دریافتی و انرژی مصرفی آن در مدت ۱۰ دقیقه چقدر است؟

حل:



شکل ۷۴

$$I=\frac{V}{R}=\frac{۲۰۰}{۴۰۰}=۰/۵[A]$$

$$t = ۱۰ \times ۶۰ = ۶۰۰ [S]$$

$$W = R . I^{۲} . t$$

$$W = ۴۰۰\times (۰/۵)^{۲} \times ۶۰۰ = ۶۰/۰۰۰ [j]$$

توان[۱] الکتریکی

مقدار کار انجام شده در واحد زمان را «توان» یا «قدرت» گویند. توان را از رابطه زیر می‌توان به دست آورد.

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

w ـ مقدار کار انجام شده بر حسب ژول (J)

t ـ مدت زمان انجام کار بر حسب ثانیه (S)

P ـ توان (قدرت) برحسب ژول بر ثانیه ($\frac{j}{s}$) یا وات (w)

واحد توان به احترام جمیز وات[۲] برحسب وات (w) نام‌گذاری شده است. در صنعت از واحدهای کوچک‌تر و بزرگ‌تر وات نیز استفاده می‌شود که عبارت‌اند از:

(وات) $w=۱۰^{-۶}$ (میکروووات) μw

(وات) $w=۱۰^{-۳}$ (میلی‌وات) mw

(وات) $w=۱۰^{۳}$ (کیلووات) kw

(وات) $w=۱۰^{۶}$ (مگاوات) Mw

۱ـ Power ۱ـ James Watt

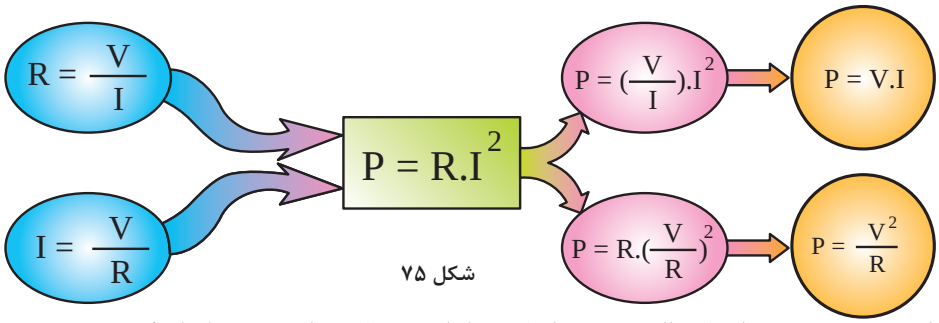
در انتخاب مصرف‌کننده‌های الکتریکی برای انجام کاری مشخص، باید به توان نوشته شده روی بدنه آنها توجه خاص شود.

(**مثلاً:** توان لامپ‌ها، یخچال، موتورکولر، سماوربرقی و ...)

توان الکتریکی را با واحد دیگری به نام «اسب‌بخار[1]ـhp » نیز بیان می‌کنند. (این واحد در سیستم انگلیسی و آمریکایی به این صورت تعریف شده است. ۱hp =۷۳۶w (در سیستم انگلیسی)، ۱hp =۷۴۶w (در سیستم آمریکایی)

یک اسب بخار قدرت موردنیاز برای بلندکردن وزن ۷۵ کیلوگرم، (میانگین وزن یک نفر) به ارتفاع یک متر در عرض یک ثانیه است. رابطه ($P = \frac{W}{t}$) در محاسبه توان وسایل الکتریکی کاربرد زیادی ندارد لذا برای محاسبه توان با بهره‌گیری از روابط انرژی و قانون اهم می‌توان رابطه‌های مناسب دیگری را به‌دست آورد.

(شکل ۷۵) چگونگی به‌دست آوردن دو رابطه دیگر توان الکتریکی را نشان می‌دهد.



شکل ۷۵

مقدار توان مصرفی در مدارهای الکتریکی را با وسیله‌ای به نام «وات متر» اندازه‌گیری می‌کنند. علامت اختصاری این وسیله به‌صورت  است. شکل واقعی دو نمونه وات‌متر را در شکل ۷۶ مشاهده می‌کنید.



ب) دیجیتالی

الف) عقربه‌ای

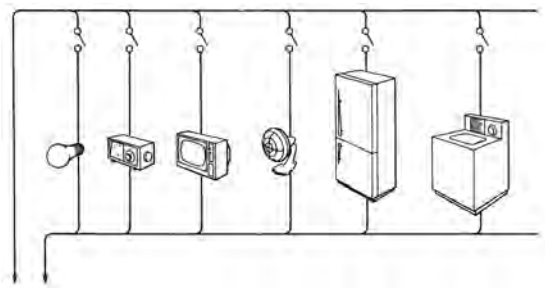
شکل ۷۶

۱ـ hp-Horse power

توان مصرفی کل یک مدار الکتریکی که از چند مصرف‌کننده تشکیل شده است از حاصل‌جمع توان‌های تک‌تک عناصر مدار به‌دست می‌آید.

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots + P_n$$

برای محاسبه توان هر یک از عناصر لازم است دو کمیت از سه کمیت V و I و R معلوم باشد تا بتوان یکی از روابط p را به کار برد. مثلاً توان مصرفی کل شکل ۷۷ برابر با مجموع توان‌های مصرفی لامپ، رادیو، تلویزیون، پنکه و یخچال و ماشین لباسشویی است. توان کل مصرفی در یک مدار را از روابط زیر می‌توان محاسبه کرد.



به طرف مولد الکتریسیته

شکل ۷۷

$$P_T = \frac{V_T^2}{R_T} \quad ، P_T = V_T . I_T \quad ، P_T^1 = R_T . I_T^2$$

P_T ـ توان کل

V_T ـ ولتاژ کل

I_T ـ جریان کل

R_T ـ مقاومت کل

مثال ۱: از یک مقاومت ۱۰ اهمی، جریانی برابر با ۲ آمپر عبور می‌کند. چه مقدار توان در مقاومت تلف می‌شود؟

حل:

$$P = R . I^2$$

$$P = ۱۰ \times (۲)^2 = ۱۰ \times ۴ = ۴۰ [w]$$

مثال ۲: توان یک لامپ ۱۰۰ وات و ولتاژ کار آن ۲۲۰ ولت است، این لامپ چه مقدار جریان از شبکه دریافت می‌کند؟

حل:

$$P = V.I$$

$$۱۰۰ = ۲۲۰ \times I$$

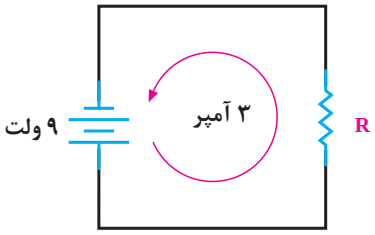
$$I = \frac{۱۰۰}{۲۲۰} = ۰/۴۵ [A]$$

مثال ۳: توان تلف شده در دو سر یک مقاومت برابر با ۲۰ وات است. اگر ولتاژ دو سر مقاومت ۱۰ ولت باشد مقدار مقاومت چند اهم است؟

حل:

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(۱۰)^2}{۲۰} = \frac{۱۰۰}{۲۰} = ۵ [\Omega]$$

۱ـ T= ToTal (به معنی کُل)



شکل ۷۸

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

مثال ۴: در مدار شکل ۷۸ مقدار مقاومت الکتریکی و توان مصرفی آن را محاسبه کنید.

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

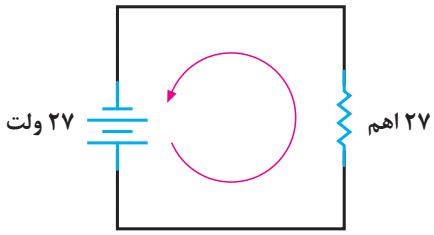
$$P=V\times I=۹\times ۳=۲۷[W]$$

تمرین کلاسی

از یک مقاومت ۱۰۰ اهمی، جریانی برابر با ۰/۱ آمپر عبور می‌کند. چه مقدار توان در مقاومت تلف می‌شود؟

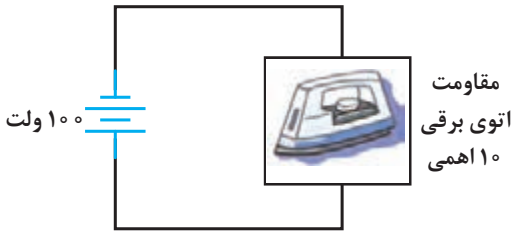
تمرین

۱ در مدار شکل ۷۹ مقدار شدت جریان و توان مصرفی مقاومت را محاسبه کنید.



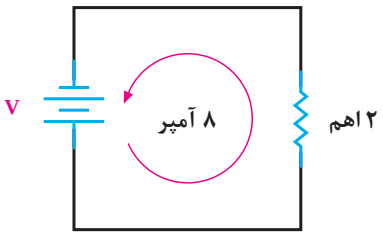
شکل ۷۹

۲ شدت جریان و توان مصرفی اتوی برقی شکل ۸۰ را محاسبه کنید.



شکل ۸۰

۳ ولتاژ منبع و توان مصرفی مقاومت ۲ اهمی مدار شکل ۸۱ را محاسبه کنید.



شکل ۸۱

مثال۵: مقدار جریان و انرژی مصرفی یک موتور الکتریکی شکل ۸۲ با قدرت ۱hp (انگلیسی)، که در شبکه ۲۲۰ ولتی به مدت ۲۰ دقیقه کار می‌کند را حساب کنید.



شکل ۸۲ـ موتور الکتریکی

حل:

$$P = 1hP = 1\times 736 = 736[w]$$

$$P = V.I \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{736}{220} = 3/34\ [A]$$

$$t = 20 \Rightarrow t = 20\times 60 = 1200\ [s]$$

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P.t = 736\times 120 = 883200\ [j]$$

بهره (راندمان الکتریکی)

طبق اصل «پایستگی یا بقای انرژی» انرژی هیچ‌گاه از بین نمی‌رود و فقط از نوعی به نوع دیگر تبدیل می‌شود. در هنگام تبدیل انرژی‌ها به یکدیگر، مقداری از انرژی به مصرف مفید نمی‌رسد و به نوعی دیگر از انرژی تبدیل می‌شود که موردنظر ما نیست. این انرژی را «انرژی تلف شده» می‌نامند.

مثلاً در یک موتور الکتریکی که انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود، بخشی از انرژی الکتریکی موتور به‌صورت‌های زیر تلف می‌شود:

الف) اصطکاک قسمت‌های مکانیکی گردنده

ب) حرارت در سیم‌های حامل جریان

پ) حرارت در سیم‌پیچی و هسته

در عمل تمام انرژی الکتریکی دریافتی از شبکه به انرژی مکانیکی تبدیل نخواهد شد. با توجه به توضیحات بالا می‌توان نتیجه گرفت که انرژی یا توان داده شده به هر وسیله‌ای از انرژی یا توان دریافت شده از آن بیشتر است. از طرف دیگر مقدار توان تلف شده در همه دستگاه‌ها یکسان نیست. لذا لازم است تا با عاملی میزان کارآیی هر وسیله را بیان کنیم که معمولاً از اصطلاح «بهره» یا «راندمان» استفاده می‌شود. شکل ۸۳ وضعیت مصرف‌کننده‌ها را از نظر توان ورودی و خروجی نشان می‌دهد.

مقدار توان تلف شده را با ΔP نشان می‌دهند که از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید.

توان تلف شده = توان ورودی − توان خروجی

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

به‌طور کلی نسبت توان گرفته شده (خروجی) به توان داده شده (ورودی) را بازده می‌گویند بازده یا بهره که معرف مقدار عددی راندمان است، همیشه برحسب درصد بیان می‌شود. هر قدر عدد راندمان بیشتر باشد، نشان‌دهنده آن است که کیفیت کاری دستگاه بهتر است. اگر توان ورودی را با (P_1) و توان خروجی را با (P_2)



شکل ۸۳ــ وضعیت مصرف‌کننده‌ها از نظر توان

توجه

روی پلاک مشخصات و یا بدنه تمامی دستگاه‌ها توان خروجی نوشته می‌شود چون مقدار کار مفیدی که وسایل برای ما انجام می‌دهند، اهمیت دارد.

و ضریب بهره را با (η ــ **اِتا**) نشان دهیم رابطه آن به‌صورت زیر خواهد شد:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

مثال: توان مفید الکتروموتوری ۱ اسب بخار انگلیسی و راندمان آن ۸۵ درصد است. توان ورودی و تلفات داخلی آن را محاسبه کنید. در صورتی که ولتاژ الکتروموتور ۲۲۰ ولت باشد، شدت جریان چقدر است؟

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \rightarrow P_1 = \frac{P_2}{\eta}$$

$$P_1 = \frac{1 \times 736}{0/85} = 866[w]$$

$P_1 = 866[w]$ قدرت ورودی

$\Delta P = P_1 - P_2 = 866 - 736 = 130w$ تلفات داخلی

$$I = \frac{P_1}{V} = \frac{866}{220} = 3/93[A]$$

تمرین

مولدی با قدرت مکانیکی ورودی ۵/۵hp (hp انگلیسی) شکل ۸۴ حداکثر می‌تواند انرژی الکتریکی ۳۵ لامپ ۲۲۰ ولتی ۰/۵ آمپری را تأمین کند. حساب کنید میزان تلفات و راندمان آن چقدر است؟



شکل ۸۴ـ مولد جریان متناوب

محاسبه هزینه برقی مصرفی

کار الکتریکی به‌وسیله دستگاهی به نام «کنتور» اندازه‌گیری می‌شود. تصویری از این وسیله را به همراه علامت اختصاری آن در شکل ۸۵ مشاهده می‌کنید. کار الکتریکی را از رابطه زیر می‌توان محاسبه کرد.

$$W = V.I.t \Rightarrow W = P.t$$



شکل ۸۵ـ کنتور و علامت فنی

در رابطه کار الکتریکی اگر P برحسب وات و t برحسب ثانیه باشد، w برحسب وات‌ثانیه یا ژول به‌دست می‌آید. چون وات‌ثانیه یا ژول واحد کوچکی است، لذا برای محاسبه هزینه برق مصرفی منازل و کارخانجات از واحدهای بزرگ‌تر استفاده می‌شود. در مقیاس تجارتی توان را برحسب کیلووات (KW) و زمان را برحسب ساعت (h) در نظر می‌گیرند. به همین دلیل مبنای محاسبه قیمت برای برق مصرفی برحسب کیلووات ساعت (kwh) سنجیده می‌شود.

رابطه‌ای که برای محاسبه هزینه برق مصرفی به‌کار می‌رود برابر است با:

$$C_T = C.W$$

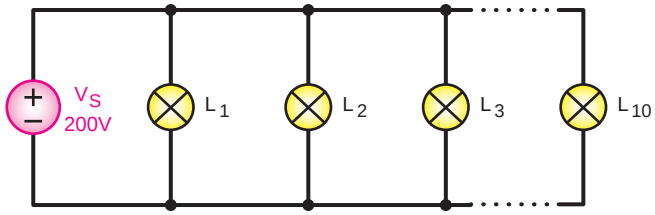
C ـ قیمت یک کیلووات ساعت برق

W ـ انرژی (کار الکتریکی) مصرفی برحسب کیلووات ساعت

C_T ـ قیمت کل برق مصرفی

همان‌گونه که از رابطه (W) و (C_T) مشخص است، هرقدر توان مصرف‌کننده و یا زمان استفاده از آن بیشتر باشد، کار الکتریکی و هزینه برق مصرفی بیشتر خواهد شد.

مثال ۱: اگر ده لامپ ۱۰۰ واتی طبق شکل ۸۶ به مدت ۲ ساعت روشن باشد، هزینه برق مصرفی آنها چقدر است؟ قیمت هر کیلو وات ساعت برق مصرفی را ۵۰۰ ریال درنظر بگیرید.



شکل ۸۶

حل:

توان مصرفی کل	$P=10\times100=1000w=1[KW]$
زمان روشن بودن لامپ‌ها	$t=2h$
انرژی مصرفی کل	$W=P\times t=1\times2=2[KWh]$
کل هزینه به ریال	$C_T=C\times W=500\times2=1000$

مثال ۲: اگر به‌جای ۱۰ لامپ رشته‌ای ۱۰۰ وات مثال ۱، از ۱۰ لامپ LED که توان هر لامپ ۱۰ وات است استفاده کنیم، هزینه برق مصرفی را محاسبه کنید.

توان مصرفی کل	$P=10\times10=100w=0/1[Kw]$
زمان روشن بودن لامپ‌ها	$t=2h$
انرژی مصرفی کل	$W=P\times t=0/1\times2=0/2[KWh]$
کل هزینه به ریال	$C_T=C\times W=500\times0/2=100$

تمرین

در یک منزل مسکونی در شبانه روز تلویزیون با توان ۲۴۰ وات ۵ ساعت و رایانه شخصی با توان ۱۰۰ وات ۸ ساعت روشن است، قیمت برق مصرفی را در مدت ۳۰ روز به ازای هر کیلو وات ساعت برابر ۵۰۰ ریال محاسبه کنید.

پژوهش

در مورد موتورهای خانگی، نظیر موتور یخچال، کولر آبی، کولر گازی و پنکه، در موارد زیر تحقیق کنید و نتیجه تحقیق را به کلاس ارائه دهید. توان موتور برحسب اسب بخار، راندمان موتور، جریان نامی موتور.

پژوهش

پژوهش کنید که کنتورهای معمولی مکانیکی با کنتورهای دیجیتالی چه تفاوت‌هایی دارند؟ نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

الگوی پرسش

۱ رابطه کار الکتریکی ($W=V.q$) و ($W=R.I^{2}.t$) را با هم مقایسه کنید و موارد کاربرد هر یک را شرح دهید.

۲ توان الکتریکی را تعریف کنید و رابطه آن را با کار الکتریکی بنویسید

۳ در صورتی که توان مصرفی یک کارخانه هفت مگاوات در ماه باشد، مقدار توان را برحسب اسب بخار انگلیسی و آمریکایی به دست آورید.

۴ مقدار جریان و انرژی مصرفی یک موتور به قدرت ۴ اسب بخار آمریکایی را در شرایطی که ولتاژ کار آن ۲۲۰ ولت باشد و به مدت ۴ ساعت و ۲۵ دقیقه کار کند، محاسبه کنید.

۵ با مراجعه به فضای مجازی، پلاک یک نمایش‌گر لامپ اشعه کاتدیک و یک نمایشگر LCD را بخوانید. و توان مصرفی هر یک را بنویسید. در صورتی که بنابر آمار اعلام شده هزینه تمام شده تولید هر کیلو وات ساعت برق ۴۰۰ ریال باشد و هر رایانه در روز به مدت ۱۰ ساعت روشن بماند، در یک سال (۱۲ ماه و هر ماه ۳۰ روز) با جایگزین کردن نمایشگر LCD با CRT چقدر صرفه‌جویی می‌شود؟

۶ یک یخچال قدیمی برای برطرف کردن برفک از یک رشته حرارتی با توان یک کیلووات استفاده می‌کند و در طول شبانه‌روز هر ۸ ساعت یک بار این رشته حرارتی به مدت ۲۰ دقیقه روشن می‌شود. در صورتی که هزینه برق تولیدی کیلووات ساعتی ۴۰۰ ریال باشد، تعیین کنید:

الف) میزان انرژی مصرفی توسط رشته حرارتی در طول یک سال (۳۶۵ روز)

ب) درصورتی که در یخچال‌های جدید، رفع برفک با برگشت گاز حداکثر ۱۰۰ وات انرژی مصرف کند، با جایگزین کردن یخچال قدیمی با یخچال جدیدی، چقدر در هزینه تولید برق کشور صرفه‌جویی می‌شود؟

۷ با مراجعه به سایت‌های مرتبط، پلاک یک موتور کولر یا موتور دیگری را بخوانید و میزان راندمان آن را محاسبه کنید.

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

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی/ شایستگی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقق
پودمان ۱: مفاهیم و قوانین اساسی الکتریسیته	۱ـ سواد استفاده ازکمیت‌ها و مفاهیم الکتریکی ۲ـ سواد استفاده از قوانین اساسی الکتریسیته جاری	۱ـ تبیین ساختمان اتم و الکتریسیته ساکن ۲ـ طبقه‌بندی مواد از نظر هدایت الکتریکی ۳ـ تبیین جریان، ولتاژ و مقاومت الکتریکی ۴-تبدیل یکاها ۵ـ قانون اهم را درمدار الکتریکی تبیین کند ۶ـ قوانین KVL و KCL را در مدار الکتریکی به‌کار ببرد. ۷ـ تحلیل راندمان و هزینه انرژی الکتریکی	بالاتر از حد انتظار	علاوه بر تحقق شاخص‌های در حد انتظار، انجام کلیه فعالیت‌های پودمان (مانند تحقیق کنید، فکر کنید، پژوهش کنید ،جست‌وجو کنید، بحث گروهی)
			در حد انتظار	۱ـ توضیح ساختار اتم با ذکر اجزای اصلی و نحوه ایجاد بار الکتریکی در الکتریسیته ساکن. ۲ـ تعیین و دسته‌بندی مواد رسانا، نیمه‌رسانا و عایق. ۳ـ محاسبه و تحلیل مقادیر جریان، ولتاژ و مقاومت در یک مدار الکتریکی. ۴ـ تبدیل یکاهای الکتریکی مانند آمپر، ولت و اهم در محاسبات مختلف. ۵ـ استفاده از قانون اهم برای محاسبه مقدار مقاومت، جریان یا ولتاژ در مدارهای ساده. ۶ـ به‌کارگیری قوانین کیرشهف در مدارهای الکتریکی ساده ۷ـ محاسبه میزان انرژی مصرفی تجهیزات الکتریکی و ارزیابی راندمان مصرف‌کننده‌ها.
			پایین‌تر از حد انتظار	درصورتی‌که هنرجو همه شاخص‌های درحد انتظار را محقق نسازد، پایین‌تر از حد انتظار ارزشیابی می‌شود.
نمره مستمر از ۵ (براساس انجام فعالیت‌های کلاسی و کارگاهی، نظم، مشارکت در فعالیت‌های آموزشی و تربیتی، ابتکار در تکالیف عملکردی درسی و... از ۱ تا ۵ نمره اختصاص پیدا خواهد کرد.)				
شایستگی پودمان (پایین‌تر از حد انتظار، در حد انتظار، بالاتر از حد انتظار)				
نمره پودمان از ۲۰				

۲ـ شایستگی های غیرفنی و عمومی (ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی):

شاخص ها	ضریب کیفیت عملکرد	شایستگی عملکرد هنرجو
مدیریت کیفیت ـ جمع‌آوری وگردآوری اطلاعات ـ زبان فنی 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 ـ ...	۲	

شایستگی عملکرد هنرجو در واحد یادگیری	شایستگی‌های غیر فنی و عمومی			شایستگی‌های 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:

۱ـ سطح شایستگی هنرجو در هیچ مرحله‌ای کمتر از حد انتظار نباشد.

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

توجه:

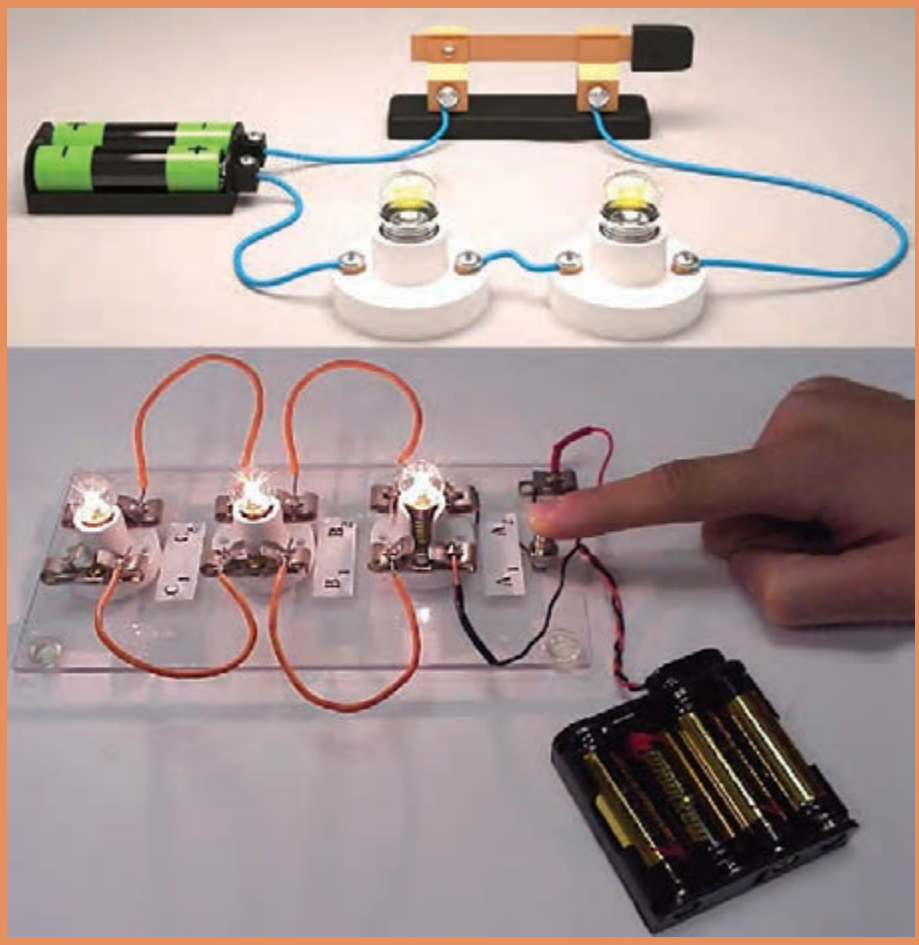
۱ـ اگر حتی در یک مرحله کاری شایستگی کمتر از حد انتظار کسب شود ، منجر به عدم کسب شایستگی واحد یادگیری می‌شود.

۲ـ اگر میانگین سطوح شایستگی ۲/۵ یا بیشتر باشد، سطح شایستگی بالاتر از حد انتظار خواهد بود.

۳ـ با توجه به اینکه شایستگی‌های عمومی و غیرفنی از شرایط لازم برای کسب شایستگی می‌باشد؛ لذا در صورتی‌که شایستگی فنی را احراز کرده باشد اما در شایستگی غیرفنی و عمومی، سطح در حد انتظار کسب نشده باشد، به معنی عدم احراز شایستگی در واحد یادگیری است.

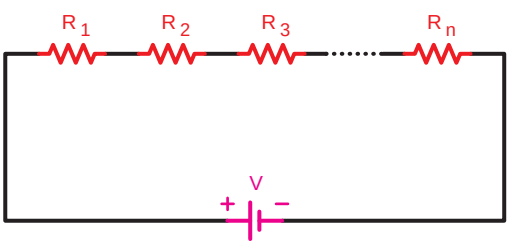
پودمان ۲

مدارهای مقاومتی سری، موازی و ترکیبی در جریان مستقیم



اتصال سری مقاومت‌ها

اگر در یک مدار الکتریکی مقاومت‌ها طوری به‌هم متصل شوند که انتهای مقاومت اول به ابتدای مقاومت دوم و انتهای مقاومت دوم به ابتدای مقاومت سوم وصل شده باشد و به همین ترتیب تا آخرین مقاومت ادامه یابد می‌گوییم مدار به صورت سری[1] بسته شده است.

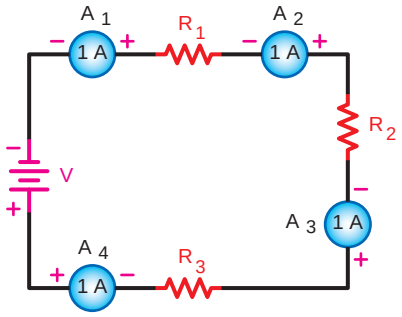


شکل ۱ـ نقشه فنی مدار سری

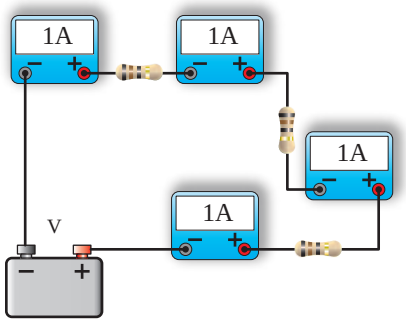


شکل ۲ـ مدار واقعی دو لامپ به‌صورت سری

شکل ۱ نقشه فنی مدارهای سری و شکل ۲ دو لامپ که به‌صورت سری به یکدیگر متصل شده‌اند را نشان می‌دهد. به‌طور کلی هرگاه دو یا چند مقاومت (n مقاومت) به صورت متوالی (دنبال هم ـ پشت سرهم) به یکدیگر اتصال داده شوند، مدار را «سری» گویند(شکل ۳).



ب) شکل مداری



الف) مدار واقعی

شکل ۳ـ جریان در همه نقاط مدار سری همواره یکسان است

خصوصیات مدارهای سری

در مدار سری جریان در تمام مقاومت‌ها مساوی و یکسان است. به همین دلیل در مدارهای سری جریان را می‌توان به عنوان یک عامل مشترک برای تمام عناصر موجود در مدار دانست.

۱ـ Series

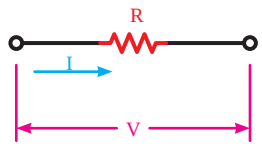
برای جریان در مدار سری می‌توان رابطه روبه‌رو را نوشت:

$$I_{A1} = I_{A2} = I_{A3} = I_{A4} = I_T$$

یعنی:

$$I_{R1} = I_{R2} = I_{R3} = I_{R4} = I_T$$

بر اثر عبور جریان از هر مقاومت الکتریکی در دو سر آن افت ولتاژی به وجود می‌آید. (شکل ۴) مقدار آن را می‌توان براساس قانون اهم از رابطه $V = I.R$ محاسبه کرد.



شکل ۴ـ افت ولتاژ دوسر مقاومت در یک مدار

چون جریان در مدار سری ثابت است لذا مقدار افت ولتاژ در دوسر مقاومت با مقدار اهم آن رابطه مستقیم دارد. یعنی در صورت افزایش مقاومت (R) مقدار ولتاژ (V) نیز افزایش می‌یابد.

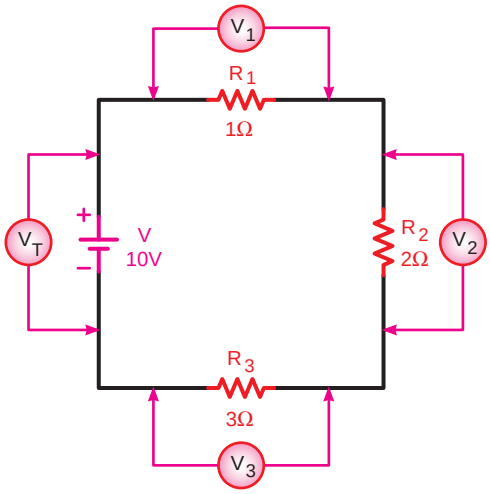
طبق قانون KVL در حلقه بسته شکل ۵ ولتاژ کل منبع تغذیه به نسبت مقدار مقاومت‌ها بین مقاومت‌های مدار تقسیم می‌شود.

بنابراین می‌توان نوشت:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_{R_T} = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3}$$

نتیجه می‌گیریم اگر مقدار افت ولتاژ دو سر همه مقاومت‌های مدار سری مساوی نباشد می‌توان ولتاژ را به عنوان یک عامل غیرمشترک در مدار سری در نظر گرفت.



شکل ۵ـ بررسی ولتاژها در مدار سری

مقاومت معادل[1] در مدار سری

مقاومت کل[2] یا «مقاومت معادل» به مقاومتی گفته می‌شود که بتواند به تنهایی اثر همه مقاومت‌های موجود در مدار را داشته باشد و جایگزین آنها شود.

مقاومت R_T می‌تواند معادل تمام مقاومت‌های موجود در مدار باشد و جایگزین آنها شود.

۱ـ Equivalent Resistance-Req

۲ـ Total Resistance-RT

با توجه به خصوصیات مطرح شده در مورد مدارهای سری رابطه نهایی مقاومت معادل R_T به صورت زیر به دست می‌آید:

خصوصیات مدار سری

$$I_T = I_{R_1} = I_{R_2} = I_{R_3} = ... = I_{R_n} \quad (1)$$
$$V = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3} + ... + V_{R_n} \quad (2)$$

براساس قانون اهم برای هر مقاومت و ولتاژ کل می‌توانیم روابط زیر را بنویسیم:
مقادیر فوق را در معادله (۲) قرار می‌دهیم:

$$R_T I_T = R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_3 + ... + R_n I_n$$

چون جریان در مدار سری ثابت و در همه مدار یکسان است.

$$I_1 = I_2 = I_3 = ... = I_n = I_T$$

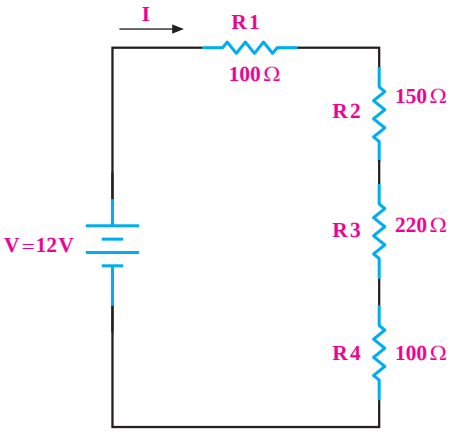
به‌جای I_1، I_2، I_3 و I_n مقدار I_T را قرار می‌دهیم:

$$R_T I_T = R_1 I_T + R_2 I_T + R_3 I_T + ... + R_n I_T$$

از I_T در طرف دوم معادله فاکتور می‌گیریم و سپس آن را ساده می‌کنیم (مقدار I_T در طرفین حذف می‌شود.)

$$R_T \cancel{I_T} = \cancel{I_T}\left(R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_n\right)$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_n$$



شکل ۶

مثال: مقاومت معادل مدار شکل ۶ چند اهم است؟

حل

$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$:

$R_T = ۱۰۰ + ۱۵۰ + ۲۲۰ + ۱۰۰$

$R_T = ۵۷۰[\Omega]$

تذکر مهم

مقدار مقاومت معادل هر مدار سری از بزرگ‌ترین مقاومت موجود در مدار بیشتر است.

حالات خاص در مدارهای سری مقاومتی

نکته

هرگاه چند مقاومت مساوی به‌صورت سری به یکدیگر اتصال یابند مقدار مقاومت معادل از حاصل‌ضرب تعداد مقاومت‌ها در مقدار یک مقاومت به‌دست می‌آید.

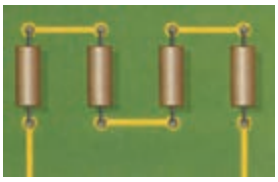
$R_1 = R_2 = R_3 = R_n = ... = R$

R ـ مقدار اهم یک مقاومت

n ـ تعداد مقاومت‌ها

$R_T = n.R$

مثال۱: در صورتی که چهار مقاومت ۳۳ اهمی مطابق شکل ۷ به هم اتصال یابند، مقاومت معادل مدار چند اهم است؟



شکل ۷ـ اتصال چهار مقاومت مساوی به‌صورت سری

حل:

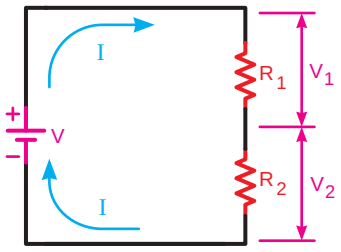
با توجه به شکل ۷ مدار به‌صورت سری است و مقاومت‌ها از نظر مقدار با هم برابر هستند پس می‌توانیم بنویسیم:

$R_T = n.R$

$R_T = n.R = ۴ \times ۳۳ \Rightarrow R_T = ۱۳۲[\Omega]$

نکته

اگر دو مقاومت طبق شکل ۸ به‌صورت سری بسته شوند، مقدار ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌ها را از روابط زیر می‌توان محاسبه کرد:



شکل ۸

می‌دانیم:

$$V_1 = R_1.I$$

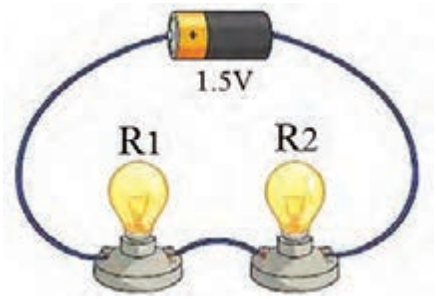
$$I = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

با جایگذاری معادل I در معادله زیر داریم:

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

برهمین اساس برای محاسبه ولتاژ V_2 می‌توانیم بنویسیم: $V_2 = V\frac{R_2}{R_1 + R_2}$

مثال۲: در صورتی که دو لامپ با مقاومت داخلی 4Ω مطابق شکل ۹ به‌صورت سری و به باتری ۱/۵ ولت اتصال یابند افت ولتاژ در سر هر لامپ چند ولت است؟



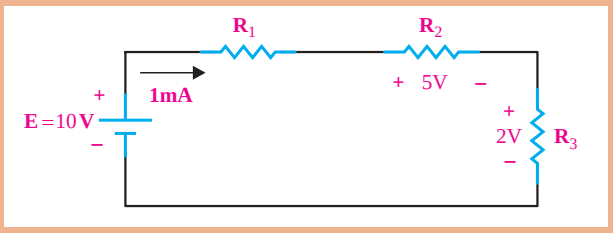
شکل ۹ـ اتصال دو لامپ سری به یک باتری

$$V_1 = V\frac{R_1}{R_1 + R_2} \Longrightarrow V_1 = 1/5 \times \frac{4}{4+4} \Rightarrow V_1 = \frac{6}{8} = 0/75[v]$$

$$V_2 = V\frac{R_2}{R_1 + R_2} \Longrightarrow V_2 = 1/5 \times \frac{4}{4+4} \Rightarrow V_2 = \frac{6}{8} = 0/75[v]$$

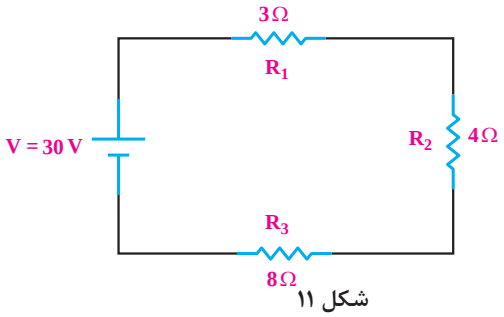
تمرین کلاسی۱

مقدار مقاومت هریک از مقاومت‌های R_3، R_2، R_1 را در شکل ۱۰ به‌دست آورید.



شکل ۱۰

مثال۳: در مدار شکل ۱۱ مطلوب است محاسبه:
الف) جریان مدار
ب) ولتاژ در دو سر هر مقاومت
ج) تحقیق درباره قانون KVL



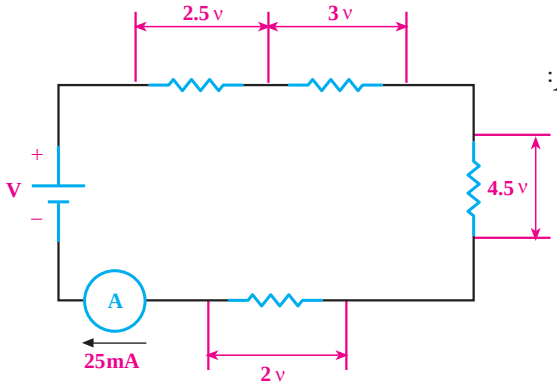
شکل ۱۱

حل:

$$R_T = R_۱ + R_۲ + R_۳$$
$$R_T = ۳ + ۴ + ۸ = ۱۵\Omega$$
$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{۳۰}{۱۵} = ۲A$$
$$V_{R_۱} = R_۱ I = ۳ \times ۲ = ۶[v]$$
$$V_{R_۲} = R_۲ I = ۴ \times ۲ = ۸[v]$$
$$V_{R_۳} = R_۳ I = ۸ \times ۲ = ۱۶[v]$$

قانون KVL ⟶ $\sum V = \sum R.I$
$$۳۰ = ۶ + ۸ + ۱۶$$
$$۳۰ = ۳۰$$

مثال۴: در مدار شکل ۱۲ مطلوبست محاسبه مقادیر:
الف) مقدار اهم هریک از مقاومت‌ها
ب) ولتاژ کل مدار (V)
ج) توان مصرفی کل مدار



شکل ۱۲

حل:

$$R_۱ = \frac{V_۱}{I} = \frac{۲/۵v}{۲۵mA} = ۱۰۰[\Omega]$$
$$R_۲ = \frac{V_۲}{I} = \frac{۳v}{۲۵mA} = ۱۲۰[\Omega]$$
$$R_۳ = \frac{V_۳}{I} = \frac{۴/۵v}{۲۵mA} = ۱۸۰[\Omega]$$
$$R_۴ = \frac{V_۴}{I} = \frac{۲v}{۲۵mA} = ۸۰[\Omega]$$

قانون KVL $\longrightarrow V = V_۱ + V_۲ + V_۳ + V_۴$

$V = ۲/۵ + ۳ + ۴/۵ + ۲ = ۱۲[V]$

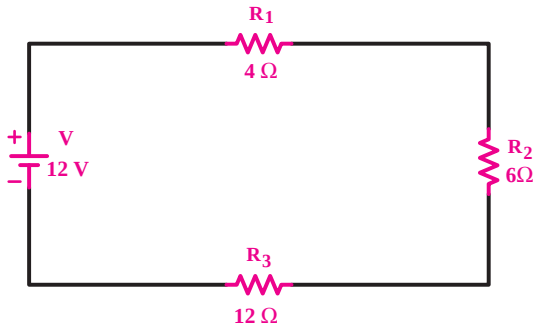
چون مدار سری است و جریان کل با جریان هریک از
مقاومت‌ها برابر است پس می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$I_T = I_۱ = I_۲ = I_۳ = I_۴ = ۲۵[mA]$

$P_T = V_T.I_T = ۱۲V \times ۲۵\ [mA] = ۳۰۰[mw]$

$= ۳۰۰ \times ۱۰^{-۳} = ۰/۳[W]$

مثال۶: در مدار شکل ۱۳ توان مصرفی مقاومت‌های $R_۱$، $R_۲$ و $R_۳$ و توان کل مدار را به‌دست آورید.



شکل ۱۳ـ مدار

$R_T = R_۱ + R_۲ + R_۳ \Rightarrow R_T = ۴+۶+۱۲ = ۲۲$

$$I_t = \frac{V_T}{R_T} = \frac{۱۲}{۲۲} = ۰/۵۴[A]$$

$P_۱ = R_۱.I_۱^۲ \Rightarrow P_۱ = ۴ \times (۰/۵۴)^۲ = ۱/۱۶\ [w]$

$P_۲ = R_۲.I_۲^۲ \Rightarrow P_۲ = ۶ \times (۰/۵۴)^۲ = ۱/۷۵\ [w]$

$P_۳ = R_۳.I_۳^۲ \Rightarrow P_۳ = ۱۲ \times (۰/۵۴)^۲ = ۳/۵\ [w]$

$P_T = P_۱ + P_۲ + P_۳ = ۱/۱۶ + ۱/۷۵ + ۳/۵ = ۶/۴۱\ [w]$

نکته

توان تولید شده توسط منبع، برابر مجموع توان‌های مصرف شده در اجزای مدار است.

خرابی در مدارهای سری

قطع شدن مسیر عبور جریان: در صورتی که در مدار سری به خاطر هریک از دلایل زیر، مسیر جریان قطع شود، جریان مدار صفر می‌شود.

۱ قطع منبع تغذیه (خالی شدن باتری یا پیل)
۲ قطع شدن سیم‌های رابط (پارگی سیم)
۳ قطع شدن مقاومت مصرف کننده.

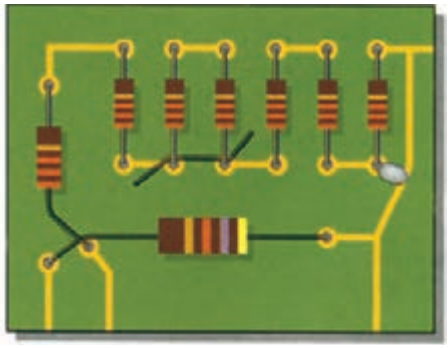
شکل ۱۴ یک نمونه از حالات بالا را نشان می‌دهد.
در این مدار، لامپ قطع شده است.



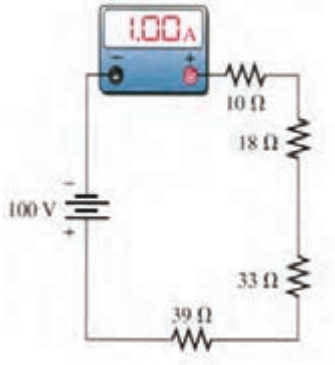
شکل ۱۴ــ قطع سیم یا لامپ موجب قطع شدن مدار سری می‌شود.

اتصال کوتاه در مدار سری

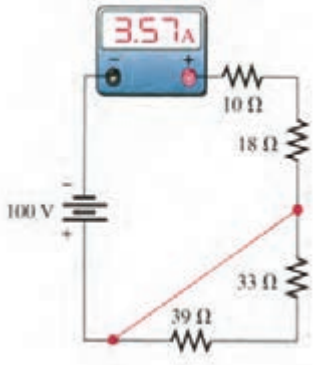
درصورتی که در یک مدار سری، اتصال کوتاه رخ دهد، جریان مدار در مقایسه با مقدار اولیه، متناسب با تعداد(مقدار) مقاومت‌های اتصال کوتاه شده، افزایش می‌یابد. شکل ۱۵ این حالت را نشان می‌دهد.



الف) حالت‌های مختلف اتصال کوتاه روی برد مدار چاپی



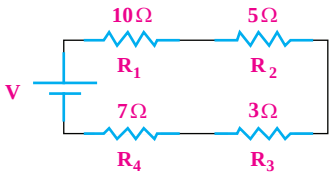
ب) جریان مدار در حالت عادی



ج) جریان مدار در حالتی که دو مقاومت اتصال کوتاه شده‌اند.

شکل ۱۵ــ وضعیت مدار در حالت عادی و اتصال کوتاه

خوب گوش دادن یک هنر است، سعی کنید خوب گوش دهید تا مطالب درسی را به آسانی یاد بگیرید.



شکل ۱۶

تمرین تعاملی: با توجه به تجربه آموخته‌های خود، تمرین‌های زیر را حل کنید و نتایج را در کلاس به بحث بگذارید.

تمرین

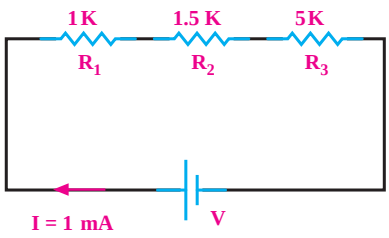
مقاومت معادل مدار شکل ۱۶ را به‌دست آورید.

پاسخ: ۲۵ اهم

تمرین

در مدار شکل ۱۷ ولتاژ منبع تغذیه (V) و افت ولتاژ دوسر مقاومت‌ها را به دست آورید.

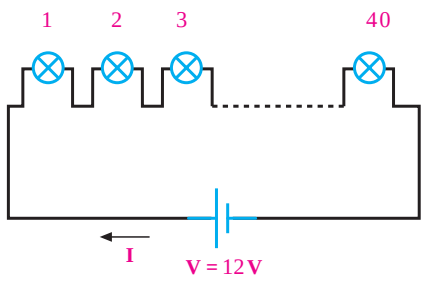
پاسخ: V=۷/۵[v]



شکل ۱۷

فکر کنید

تعداد ۴۰ لامپ مشابه ۶ ولت ۰/۳ آمپری را مطابق شکل ۱۸ به‌طور سری به منبع ولتاژ ۱۲ ولتی اتصال داده‌ایم. لامپ‌ها روشن نمی‌شوند. با توجه به اینکه همه آنها سالم و اتصالات نیز سالم هستند، علت را شرح دهید.

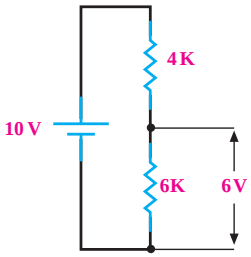


شکل ۱۸

کاربرد بستن مقاومت‌ها به صورت سری

با توجه به مطالبی که تاکنون فراگرفته‌اید، می‌توانیم نتیجه بگیریم که در اتصال سری مقاومت‌های اهمی، زمینه‌هایی مانند ساختن مقاومت معادل، کاهش جریان مدار و تقسیم ولتاژ فراهم می‌شود.

اگر بخواهیم از یک ولتاژ مشخص ولتاژ کمتری داشته باشیم، راه عملی آن است که با استفاده از دو مقاومت، افت ولتاژ لازم را تهیه کنیم و مورد استفاده قرار دهیم، مثلاً از ولتاژ ۱۰ ولت، ۶ ولت آن مورد نیاز است. برای تأمین این ولتاژ، مطابق شکل ۱۹ منبع ۱۰ ولتی را با دو مقاومت ۴ و ۶ کیلو اهمی سری می‌کنیم. سپس از افت ولتاژ روی مقاومت ۶ کیلو اهمی که ۶ ولت است، می‌توانیم استفاده نماییم.



شکل ۱۹ــ تقسیم ولتاژ

کار گروهی

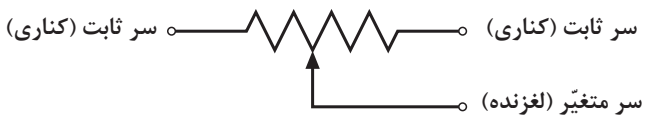
در مدار شکل ۱۹ اگر در دو سر مقاومت ۶ کیلو اهمی مقاومت ۱۰ اهمی قرار دهیم، آیا مقدار ولتاژ خروجی همان ۶ ولت است؟ پاسخ دهید.

فیلم

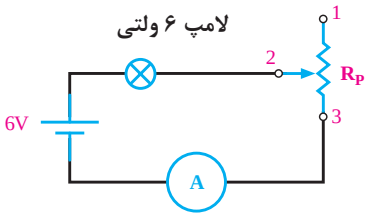
فیلمی از کاربرد رئوستا و پتانسیومتر را ببینید.

رئوستا و پتانسیومتر

همان‌طور که اشاره شد، برای تقسیم ولتاژ و به دست آوردن ولتاژ دلخواه می‌توانیم از مقاومت‌های ثابت استفاده کنیم. در عمل، بیشتر از مقاومت‌های متغیر استفاده می‌شود،که به‌وسیلهٔ این مقاومت‌های متغیر می‌توان ولتاژهای متغیری از حداقل تا حداکثر ولتاژ منبع به دست آورد. مقاومت‌های متغیر به صورت رئوستا و پتانسیومتر در مدار بسته می‌شود. شکل ۲۰ نمای فنی یک مقاومت متغیر را نشان می‌دهد.



شکل ۲۰ــ نماد الکتریکی مقاومت متغیر



شکل ۲۱ـ اتصال رئوستا در مدار

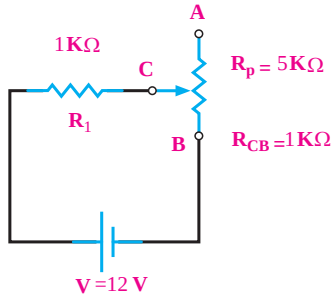
سر لغزنده یا متغیر می‌تواند روی سطح خارجی مقاومت حرکت کند و مقدار مقاومت را نسبت به سرهای ثابت تغییر دهد. اگر از دوسر مقاومت متغیر (یک سر ثابت و یک سر لغزنده) در مدار استفاده شود، در این حالت مقاومت متغیر به‌صورت رئوستا در مدار قرار می‌گیرد. با حرکت سر لغزنده، مقدار مقاومت رئوستا (مقاومت مدار) تغییر می‌کند. با تغییر مقاومت مدار، می‌توانیم شدت جریان مدار را تغییر دهیم.

رئوستا برای کنترل شدت جریان مدار به کار می‌رود و در مدار به صورت سری بسته می‌شود. شکل ۲۱ اتصال رئوستا را در مدار نشان می‌دهد.

با تغییر سر لغزنده از شماره ۲ به ۳ مقدار مقاومت مدار کاهش می‌یابد. با کاهش مقاومت مدار جریان آن افزایش می‌یابد و روشنایی لامپ بیشتر می‌شود. در نقطه ۳ مقاومت R_P حداقل می‌شود و شدت جریان به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

بارش فکری

در صورتی که سر لغزنده شماره ۲ را به پایه یک نزدیک کنیم، چه اتفاقی در مدار می‌افتد؟ از طریق بارش فکری بحث را جمع‌بندی کنید.



شکل ۲۲ـ مدار مثال ۱

مثال ۱: شدت جریان مدار شکل ۲۲ را در حالت‌های زیر به دست آورید.

۱ سر لغزنده C در نقطه A قرار دارد.

۲ سر لغزنده C در نزدیکی نقطه B قرار دارد، به‌طوری که $R_{CB}=1k\Omega$ می‌شود.

۳ سر لغزنده بین A و B قرار دارد و آن را دو قسمت می‌کند.

راه‌حل:

حالت ۱:
$$R_T = R_1 + R_P = 1k\Omega + 5k\Omega = 6[k\Omega]$$
$$I = \frac{12V}{6\times10^3} = 2[mA]$$

حالت ۲:
$$R_T = R_1 + R_{CB} = 1k\Omega + 1k\Omega = 2[k\Omega]$$
$$I = \frac{12V}{2\times10^3} = 6[mA]$$

حالت ۳:
$$R_T = R_1 + \frac{R_p}{2} = 1 + 2/5 = 3/5[k\Omega]$$
$$I = \frac{12}{3/5} = 3/43[mA]$$

از مثال فوق مشخص می‌شود که مقاومت مدار در حالت ۱ برابر $6k\Omega$ و شدت جریان $2mA$ است. در حالت ۲ مقاومت مدار کاهش یافته و به $2k\Omega$ رسیده‌است، در نتیجه، شدت جریان افزایش می‌یابد و به $6mA$ می‌رسد. در حالت ۳ مقدار مقاومت بین حالت ۱ و ۲ قرار دارد و جریان مدار ۳/۴۳ میلی‌آمپر است.

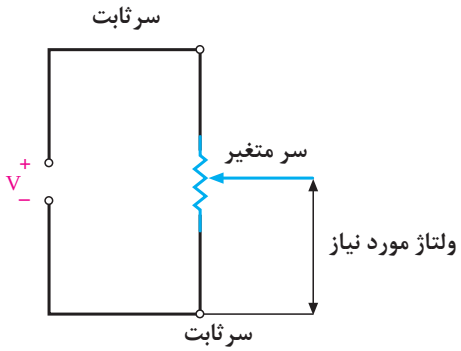
بنابراین، با قرار گرفتن یک رئوستا به طور سری در مدار، شدت جریان کنترل می‌شود.

بحث کنید

در مدار شکل ۲۲ اگر پایه C را به A اتصال کوتاه کنیم، چه تغییری در کار مدار ایجاد می‌شود؟ نتایج را به کلاس ارائه کنید.

اگر از هر سه سر مقاومت متغیر(دوسر ثابت و یک سر لغزنده) در مدار استفاده شود، مقاومت متغیر به صورت پتانسیومتر در مدار قرار می‌گیرد. با حرکت سر لغزنده، مقدار مقاومت آن نسبت به سرهای ثابت تغییر می‌کند. با قرار دادن ولتاژی به دو سر ثابت می‌توان از سر لغزنده و یکی از سرهای کناری، ولتاژهای متغیر مورد نیاز را دریافت کرد.

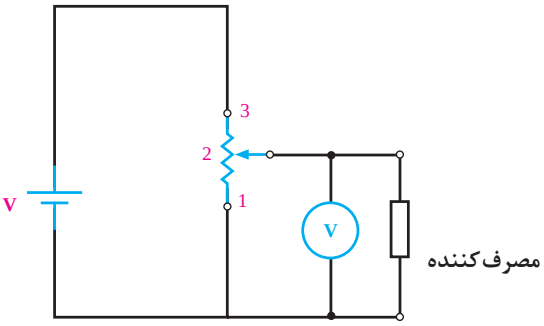
پتانسیومتر را برای دریافت ولتاژهای کمتر از ولتاژ منبع به‌کار می‌برند. شکل ۲۳ اتصال پتانسیومتر را به مدار نشان می‌دهد.



شکل ۲۳ـ اتصال پتانسیومتر در مدار

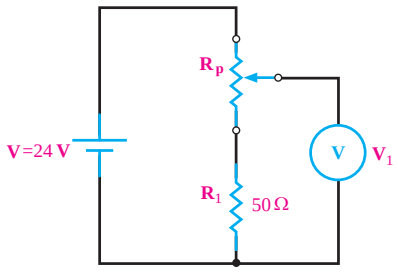
با وصل کردن ولتاژ منبع به دو سر مقاومت متغیر (پتانسیومتر)، و تنظیم سر لغزنده، ولتاژ مورد نیاز را از سر ثابت و سر لغزنده دریافت می‌کنیم.

پتانسیومتر در مدار به‌صورت سری ـ موازی بسته می‌شود و مقدار ولتاژ مورد نیاز به مصرف‌کننده را تأمین می‌کند.



شکل ۲۴ـ دریافت ولتاژ متغیر

طبق شکل ۲۴ هر قدر سر لغزنده شماره ۲ به پایهٔ شماره ۳ نزدیک‌تر شود، ولت‌متر ولتاژ بیشتری را نشان می‌دهد. بنابراین متناسب با ولتاژ مورد نیاز مصرف‌کننده، می‌توان سر لغزنده شماره ۲ را در محل مناسب قرار داد.



شکل ۲۵ـ مدار مثال ۳

پاسخ دهید: آیا مشکلی که در ارتباط با تقسیم ولتاژ با مقاومت ثابت مطرح کردیم، با استفاده از پتانسیومتر برطرف شده است؟ چرا؟

مثال ۲: در شکل ۲۵ برای دریافت ولتاژ از ۶ تا ۲۴ ولت، چه پتانسیومتری را در مدار قرار می‌دهید؟

راه حل:

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

$$V_1(R_1 + R_P) = VR_1 \Rightarrow V_1R_1 + V_1R_P = VR_1$$

$$V_1R_P = VR_1 - V_1R_1$$

$$R_P = \frac{R_1(V - V_1)}{V_1}$$

$$R_P = ۵۰ \times \frac{(۲۴ - ۶)}{۶} = \frac{۵۰ \times ۱۸}{۶} = ۱۵۰[\Omega]$$

بارش فکری

آیا روش ساده‌تری برای حل مثال ۳ وجود دارد؟ از طریق بارش فکری پاسخ دهید.

کاربرد مقاومت‌های متغیر

شدت صدای رادیو، فرستنده‌ها، گیرنده‌ها و نیز روشنایی تصویر تلویزیون به کمک ولوم‌هایی که در جلوی دستگاه تعبیه شده‌است، کم و زیاد می‌شود.
این ولوم‌ها چیزی جز مقاومت‌های متغیر نیستند که به صورت رئوستا و پتانسیومتر در مدار قرار گرفته‌اند.

کار در منزل

با استفاده از نرم‌افزاری که در اختیار دارید، مدارهای رئوستا و پتانسیومتر را تمرین کنید.

فعالیت

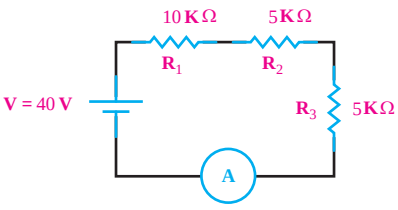
ویژگی‌های مدارهای سری را بنویسید و در کلاس به بحث بگذارید.

بارش فکری

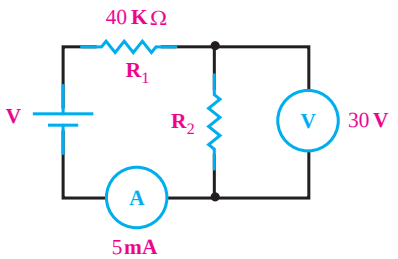
مفهوم کلمه ولوم (volume) را با استفاده از فرهنگ لغت بیابید و از طریق بارش فکری مفهوم آن را نهادینه کنید.

الگوی پرسش ۲

۱ یک مدار سری مقاومتی چگونه شکل می‌گیرد؟
۲ ویژگی‌های مدار سری را نام ببرید.
۳ ولتاژ کل در مدار سری با توجه به مقدار مقاومت‌ها به چه نسبتی بین آنها تقسیم می‌شود؟
۴ چگونگی استفاده از رئوستا و پتانسیومتر را در مدار با رسم شکل شرح دهید.
۵ در مدار شکل ۲۶ مقدار مقاومت کل و جریان مدار چقدر است؟
۶ در مدار شکل ۲۷ مقدار R_2 و V چقدر است؟

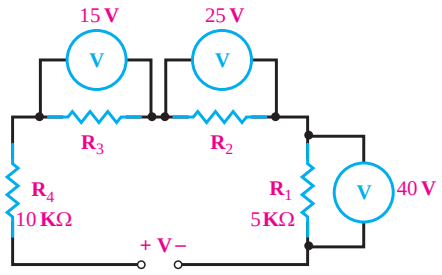


شکل ۲۶ـ مدار سؤال ۵



شکل ۲۷ـ مدار سؤال ۶

۷ در مدار شکل ۲۸ مقدار V چقدر است؟



شکل ۲۸ــ مدار سؤال ۷

۸ مقاومت معادل مدار شکل ۲۹ چقدر است؟

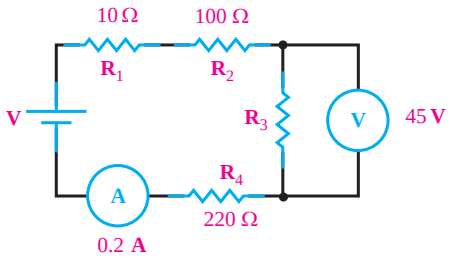
۹ یک آمپرمتر در مداری به‌صورت سری قرار گرفته است. این آمپرمتر پس از وصل منبع تغذیه عدد صفر را نشان می‌دهد. کدام یک از موارد زیر را باید مورد بررسی قرار داد؟

الف) بازرسی سیم‌های رابط مدار

ب) بررسی اتصال کوتاه شدن مقاومت‌ها

ج) بررسی مقاومت‌ها از نظر قطع شدگی

د) گزینه‌های الف و ج

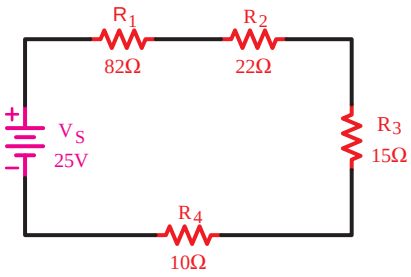


شکل ۲۹ــ مدار سؤال ۸

۱۰ جریان عبوری از مدار شکل ۳۰ چند میلی‌آمپر است؟

الف) ۱۹۴ ب) ۴/۸

ج) ۶/۲ د) ۵/۶

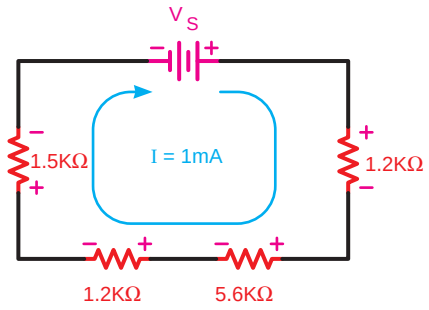


شکل ۳۰

۱۱ در مدار شکل ۳۱ ولتاژ V_S چند ولت است؟

الف) ۹/۵ ب) ۰/۹۵

ج) ۹۵ د) ۰/۰۹۵

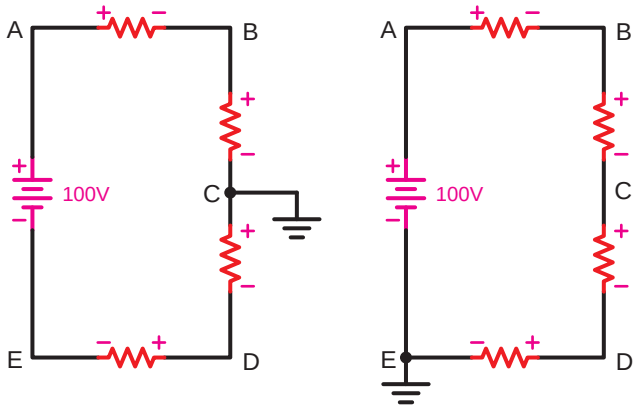


شکل ۳۱

۱۲ در شکل ۳۲ اگر افت ولتاژ در دو سر هر مقاومت برابر ۲۵ ولت باشد در شکل‌های (الف) و (ب) ولتاژ نقطه B نسبت به زمین به ترتیب از راست به چپ چند ولت است؟

الف) ۷۵ و ۵۰ ب) ۷۵ و ۲۵

ج) ۵۰ و ۲۵ د) ۱۰۰ و ۲۵

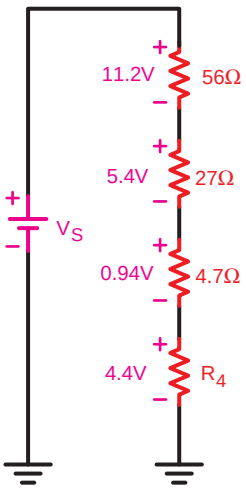


شکل ۳۲

۱۳ مقدار مقاومت R_4 در شکل ۳۳ چند اهم است؟

الف) ۰/۸۸ ب) ۲/۲

ج) ۲۲۰ د) ۲۲



شکل ۳۳

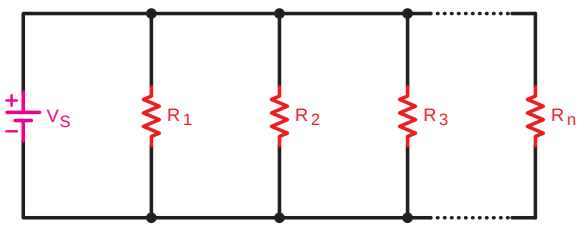
۱۴ مقدار مقاومت معادل سه مقاومت ۳۳۰Ω، ۲۷۰Ω و ۶۸Ω که به صورت موازی بسته شده‌اند چند اهم است؟

الف) ۶۶۸ ب) ۴۷

ج) ۶۸ د) ۲۲

اتصال موازی مقاومت‌ها

اگر دو یا چند مقاومت (n مقاومت) به ترتیبی اتصال داده شوند که یک طرف هر یک از آنها به یکدیگر و طرف دیگر آنها نیز به یکدیگر متصل شوند این اتصال را «اتصال موازی[1]» می‌گویند (شکل ۳۴).



شکل ۳۴ـ اتصال چند مقاومت موازی

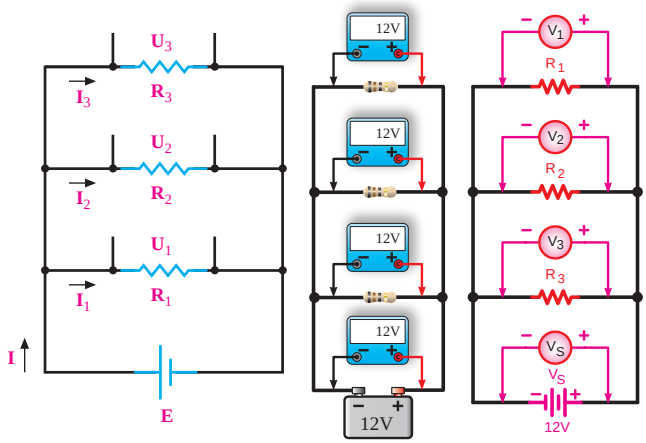
۱ـ Parallel

در شکل ۳۵ سه لامپ را که به صورت موازی بسته شده‌اند مشاهده می‌کنید.



شکل ۳۵ـ اتصال سه لامپ به صورت موازی

در مدارهای موازی چون دو سر هر مقاومت مستقیماً به دو سر باتری متصل است بنابراین ولتاژ دو سر همه مقاومت‌ها با هم مساوی است. مساوی بودن ولتاژ در مدار موازی به عنوان عامل مشترک مدار در نظر گرفته می‌شود. با اتصال مداری طبق شکل ۳۶ مطلب فوق بررسی و تأیید می‌شود.



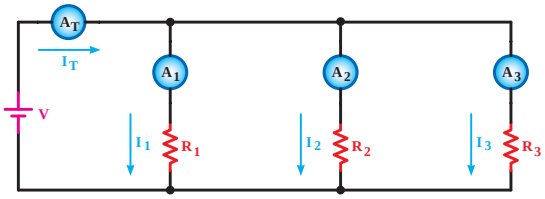
شکل ۳۶ـ مدار با چهار مقاومت موازی و وسایل اندازه‌گیری

برای مدارهای موازی می‌توان رابطه زیر را نوشت:

$$V_1 = V_2 = V_3 = \ldots = V_S$$

یعنی

$$V_{R1} = V_{R2} = V_{R3} = \ldots = V_S$$



شکل ۳۷ـ بررسی جریان‌های هر شاخه و جریان کل در مدار موازی

جریان در هر شاخه یک مدار موازی به نسبت عکس مقدار مقاومت‌های هر شاخه تقسیم می‌شود. زیرا طبق قانون اهم $I = \frac{V}{R}$ است.

با اتصال مداری مطابق شکل ۳۷ هر یک از آمپرمترهای $A_۱$، $A_۲$، $A_۳$ و A_T جریانی مشخص را نشان می‌دهند.

جریان کل (I_T) که توسط آمپرمتر A_T نشان داده می‌شود از قانون KCL پیروی می‌کند. رابطه جریان کل را می‌توان براساس این قانون چنین نوشت:

$$I_{A_T} = I_{A_۱} + I_{A_۲} + I_{A_۳}$$

یعنی

$$I_T = I_۱ + I_۲ + I_۳$$

مقاومت معادل در مدار موازی

برای محاسبه مقاومت معادل در مدار موازی با n مقاومت می‌توان از رابطه نهایی زیر استفاده کرد:

خصوصیات مدار موازی

$$V = V_{R_۱} = V_{R_۲} = V_{R_۳} = \ldots\ldots = V_{R_n} \quad (۱)$$

$$I_T = I_۱ + I_۲ + I_۳ + \ldots\ldots + I_n \quad (۲)$$

با توجه به قانون اهم برای هر مقاومت مطابق ستون زیر می‌توان نوشت:

$$I_۱ = \frac{V}{R_۱} \quad , \quad I_۲ = \frac{V}{R_۲} \quad , \quad \ldots\ldots \quad I_n = \frac{V}{R_n}$$

حال مقادیر جریان‌ها را در معادله (۲) قرار می‌دهیم و از V در طرف دوم معادله فاکتور می‌گیریم.

$$\frac{V}{R_T} = \frac{V}{R_۱} + \frac{V}{R_۲} + \frac{V}{R_۳} + \ldots + \frac{V}{R_n}$$

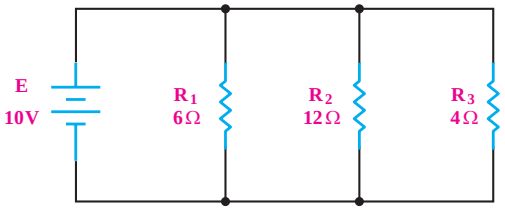
$$\frac{\cancel{V}}{R_T} = \cancel{V}\left(\frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} + \ldots + \frac{۱}{R_n}\right)$$

مقدار V از دو طرف معادله حذف می‌شود. معادل نهایی به صورت زیر خواهد شد.

$$\frac{\cancel{V}}{R_T} = \cancel{V}\left(\frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} + \ldots + \frac{۱}{R_n}\right)$$

$$\frac{۱}{R_T} = \frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} + \ldots + \frac{۱}{R_n}$$

مثال: مقاومت معادل را در مدار شکل ۳۸ به‌دست آورید.



شکل ۳۸

$$\frac{۱}{R_T}=\frac{۱}{R_۱}+\frac{۱}{R_۲}+\frac{۱}{R_۳}$$

$$\frac{۱}{R_T}=\frac{۱}{۶}+\frac{۱}{۱۲}+\frac{۱}{۴}=\frac{۲+۱+۳}{۱۲}=\frac{۶}{۱۲}$$

$$R_T=\frac{۱۲}{۶}=۲[\Omega]$$

تذکر مهم

مقدار مقاومت معادل هر مدار موازی از کوچک‌ترین مقاومت موجود در مدار نیز کمتر است.

حالات خاص در مدارهای موازی مقاومتی

نکته ۱

اگر n مقاومت مساوی با یکدیگر به‌صورت موازی بسته شده باشند، برای به‌دست آوردن مقاومت معادل R_T، مقدار یک مقاومت را بر n تقسیم می‌کنیم.

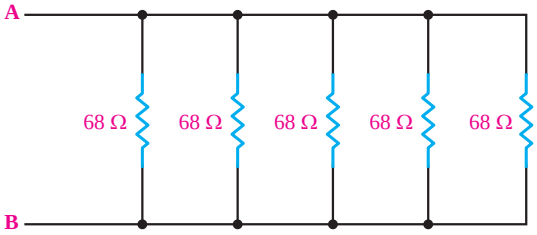
R ـ مقدار اهم یک مقاومت

n ـ تعداد مقاومت‌ها

$$R_۱=R_۲=R_۳=...=R_n=R$$

$$R_T=\frac{R}{n}$$

مثال ۱: در شکل ۳۹، پنج عدد مقاومت ۶۸Ω با یکدیگر به صورت موازی بسته شده‌اند. مقاومت معادل را در این مدار به‌دست آورید.



شکل ۳۹

حل:

$$R_T=\frac{R}{n}=\frac{۶۸}{۵}=۱۳/۶[\Omega]$$

$$R_T=۱۳/۶[\Omega]$$

نکته ۲

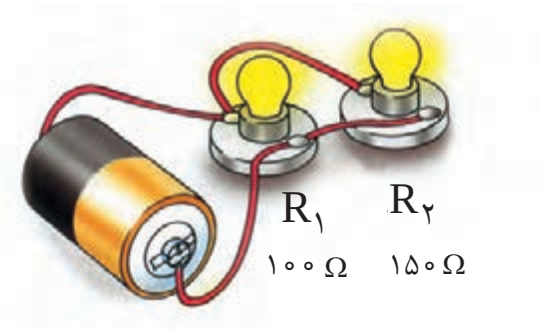
اگر در مدار موازی، فقط دوعدد مقاومت اهمی وجود داشته باشد، برای به‌دست آوردن مقاومت معادل آن، از رابطهٔ روبه‌رو نیز می‌توانیم استفاده کنیم.

$$R_T=\frac{R_۱.R_۲}{R_۱+R_۲}$$

فعالیت

با بررسی تخصصی برق نحوه به‌دست آوردن (اثبات) رابطه مقاومت معادل دو مقاومت موازی را به‌دست آورده و در کلاس مورد بررسی قرار دهید.

مثال ۲: مقاومت معادل دولامپ با مشخصات داده شده که مطابق شکل ۴۰ به‌هم وصل شده‌اند چند اهم است؟



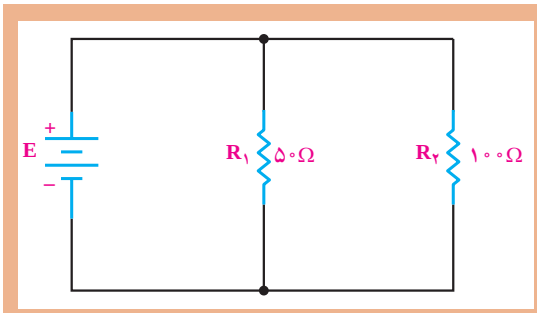
شکل ۴۰ـ اتصال دو لامپ به‌صورت موازی

$$R_T = \frac{R_1 . R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_T = \frac{۱۰۰ \times ۱۵۰}{۱۰۰ + ۱۵۰} = \frac{۱۵۰۰۰}{۲۵۰} = ۶۰ [\Omega]$$

تمرین کلاسی ۲

مقدار مقاومت معادل را در شکل ۴۱ به‌دست آورید.



شکل ۴۱

نکته ۳

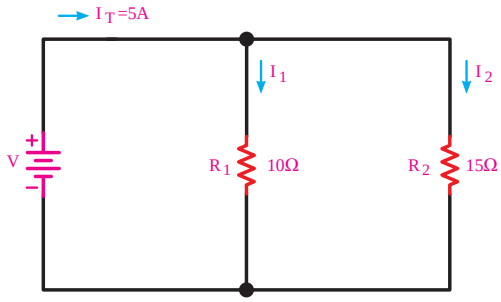
قانون تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی

اگر در مدار موازی، فقط دو عدد مقاومت اهمی وجود داشته باشد برای به‌دست آوردن جریان هریک از آنها براساس جریان کل I_T از روابط روبه‌رو می‌توان استفاده کرد.

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

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

مثال ۳: شدت جریان هر شاخه مدار شکل ۴۲ را به‌دست آورید.



شکل ۴۲

حل: با توجه به روابط تقسیم جریان در دو مقاومت موازی می‌توان نوشت:

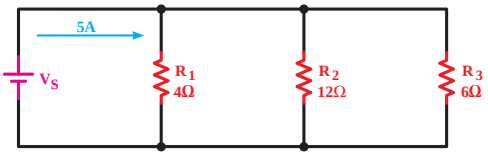
$$I_۲ = I_T \times \frac{R_۱}{R_۱ + R_۲} = \frac{۵ \times ۱۰}{۱۰ + ۱۵} = ۲[A]$$

$$I_۱ = I_T \frac{R_۲}{R_۱ + R_۲} = \frac{۵ \times ۱۵}{۱۰ + ۱۵} = ۳[A]$$

نکته

توان تولید شده توسط منبع با مجموع توان‌های مصرفی شاخه‌های موازی برابر است.

مثال ۴: مقاومت معادل و ولتاژ کل را در شکل ۴۳ به‌دست آورید.



شکل ۴۳

حل:

$$\frac{۱}{R_T} = \frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳}$$

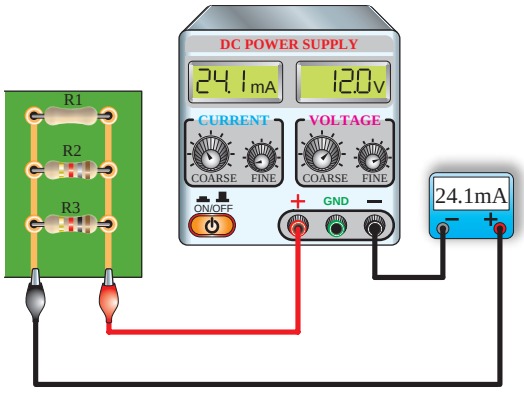
$$\frac{۱}{R_T} = \frac{۱}{۴} + \frac{۱}{۱۲} + \frac{۱}{۶} \Rightarrow \frac{۱}{R_T} = \frac{۳+۱+۲}{۱۲} = \frac{۶}{۱۲}$$

$$R_T = \frac{۱۲}{۶} = ۲[\Omega]$$

$$V_S = R_T . I_T \Rightarrow V_S = ۵ \times ۲$$

$$V_S = ۱۰[V]$$

مثال ۵: مقدار مقاومت $R_۱$ شکل ۴۴ را به‌دست آورید.



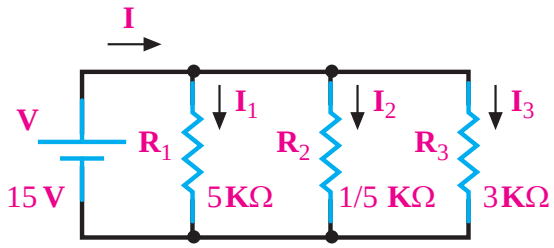
شکل ۴۴

$$\left(R_۳ = ۱k\Omega \quad , R_۲ = ۱/۸K\Omega\right)$$

$$R_T = \frac{V}{I_T} = \frac{۱۲V}{۲۴/۱mA} = ۴۹۸[\Omega]$$

$$\frac{۱}{R_T} = \frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} \Rightarrow \frac{۱}{R_۱} = \frac{۱}{R_T} - \left(\frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳}\right)$$

$$\frac{۱}{R_۱} = \frac{۱}{۴۹۸\Omega} - \left(\frac{۱}{۱/۸k\Omega} + \frac{۱}{۱k\Omega}\right) \Rightarrow R_۱ = ۲/۲۱[k\Omega]$$



شکل ۴۵ـ مدار مثال ۶

مثال ۶: در مدار شکل ۴۵ شدت جریان هر شاخه و شدت جریان کل را به‌دست آورید.

حل:

$$I_۱ = \frac{V}{R_۱} = \frac{۱۵V}{۵\times۱۰^{+۳}} = ۳[mA]$$

$$I_۲ = \frac{V}{R_۲} = \frac{۱۵V}{۱/۵\times۱۰^{۳}} = ۱۰[mA]$$

$$I_۳ = \frac{V}{R_۳} = \frac{۱۵V}{۳\times۱۰^{۳}} = ۵[mA]$$

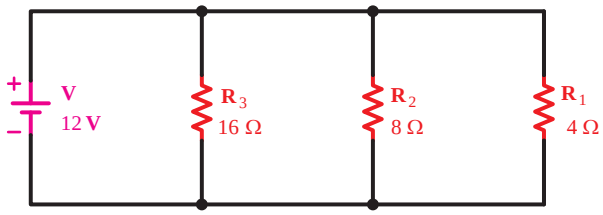
$$I = I_۱ + I_۲ + I_۳$$

$$I = ۳+۱۰+۵ \Rightarrow I = ۱۸[mA]$$

مثال ۷: در مدار شکل ۴۶ مقادیر خواسته شده را به‌دست آورید.

الف) توان مصرفی هر مقاومت

ب) توان مصرفی کل مدار



شکل ۴۶

ج) جریان کل

د) مقاومت معادل

حل: چون مدار موازی است و ولتاژ در دو سر همه مقاومت‌ها مساوی می‌باشد لذا توان تک‌تک مقاومت‌ها را به‌راحتی می‌توان براساس روابط محاسبه کرد.

$$P_۱ = \frac{V^۲}{R_۱} = \frac{(۱۲)^۲}{۴} = ۳۶[w]$$

$$P_۲ = \frac{V^۲}{R_۲} = \frac{(۱۲)^۲}{۸} = ۱۸[w]$$

$$P_3 = \frac{V^2}{R_3} = \frac{(12)^2}{16} = 9[w]$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \Rightarrow P_T = 36+18+9 = 63\ [w]$$

$$P_T = V_T \cdot I_T \Rightarrow I_T = \frac{P_T}{V_T} = \frac{63}{12} = 5/25\ [A]$$

$$V_T = R_T \cdot I_T \Rightarrow R_T = \frac{V_T}{I_T} = \frac{12}{5/25} = 2/28\ [\Omega]$$

فعالیت

ویژگی‌های مدارهای موازی را بنویسید و در کلاس به‌بحث بگذارید.

تحقیق کنید

حالت‌های اتصال کوتاه و قطع را در مدار موازی بررسی کنید و مثال‌های دیگری را در این زمینه بیان کنید.

خرابی در مدارهای موازی

در مدارهای موازی نیز دو نوع خرابی متداول است:

الف) خرابی در اثر قطع شدن.

ب) خرابی در اثر اتصال کوتاه.

الف) در مدار موازی عناصری مانند منبع تغذیه، مقاومت و سیم‌های ارتباطی می‌توانند قطع شوند.

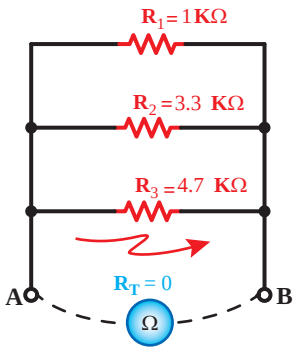
- در صورتی که منبع تغذیه قطع شود، جریان در سرتاسر مدار قطع می‌شود.
- چنانچه سیم رابط یا مقاومت یکی از شاخه‌ها قطع شود، جریان آن شاخه قطع خواهد شد ولی سایر قسمت‌های مدار به کار خود ادامه می‌دهند.

همان طور که می‌دانید، در سیم‌کشی منازل و اماکن تجاری، مصرف کننده‌ها به صورت موازی متصل می‌شوند. فرض کنید در داخل منزل مشغول تماشای تلویزیون هستید و سیم رابط تلویزیون قطع می‌شود. در این حالت فقط تلویزیون از کار می‌افتد و سایر سامانه‌های برقی منزل به‌کار خود ادامه می‌دهند.

ب) خرابی در اثر اتصال کوتاه

در مدارهای موازی در صورتی که اتصال کوتاهی برای منبع تغذیه یا یکی از عناصر موازی رخ دهد، مدار به طور کامل از کار می‌افتد.

برای مثال فرض کنید در داخل خانه، یکی از پریزها اتصال کوتاه شود، بلافاصله فیوز کنتور اصلی یا تابلوی برق قطع می‌شود و کل سیستم مرتبط با آن مجموعه را از کار می‌اندازد، (شکل ۴۷).



شکل ۴۷

الگوی پرسش

۱ در مداری با چهار مقاومت مساوی ۱۰ کیلواهم که به‌صورت موازی بسته شده‌اند. مقاومت معادل از رابطه ..... به‌دست می‌آید و مقدار مقاومت معادل برابر با ..... است.

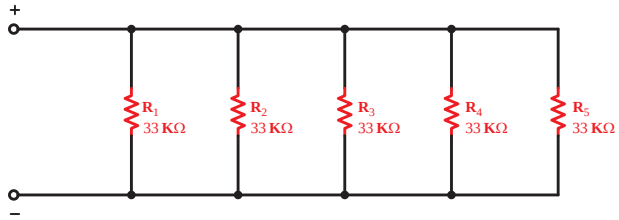
۲ در مدار موازی، مقاومت کل از کمترین مقاومت مدار بیشتر است.

درست ○ نادرست ○

۳ در مدار موازی، جریان مقاومت کوچک‌تر، از جریان بقیه مقاومت‌ها بیشتر است.

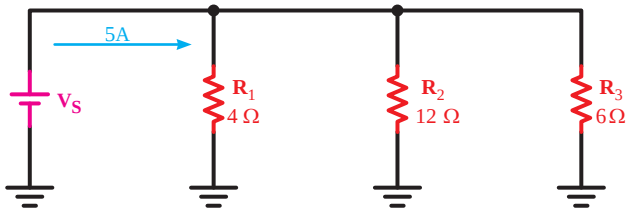
درست ○ نادرست ○

۴ مقاومت معادل را در شکل ۴۸ به‌دست آورید.



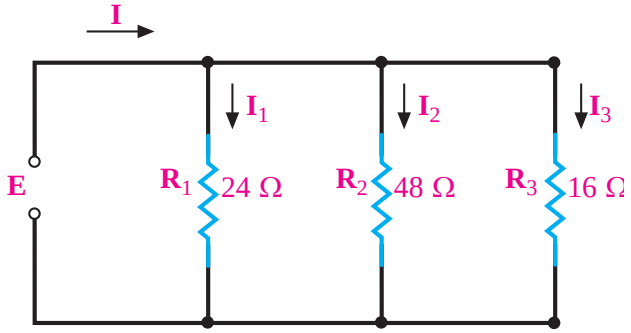
شکل ۴۸

۵ با توجه به مدار شکل ۴۹ مقدار ولتاژ منبع تغذیه را محاسبه کنید.



شکل ۴۹

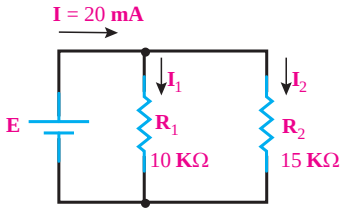
۶ مقاومت معادل را در شکل ۵۰ محاسبه کنید.



شکل ۵۰

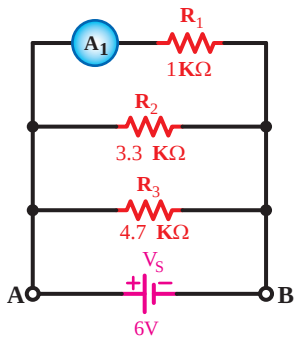
۷ در مدار شکل ۵۱ مطلوب است:
محاسبهٔ جریان I_1 و I_2

۸ ولتاژ هریک از مقاومت‌های شکل ۵۱ را به‌دست آورید.



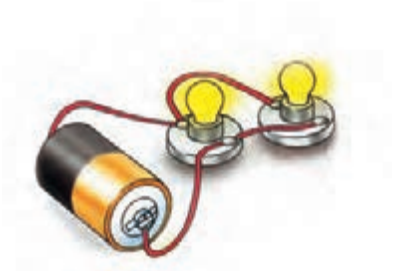
شکل ۵۱

۹ جریان هریک از مقاومت‌های شکل ۵۲ را به‌دست آورید.

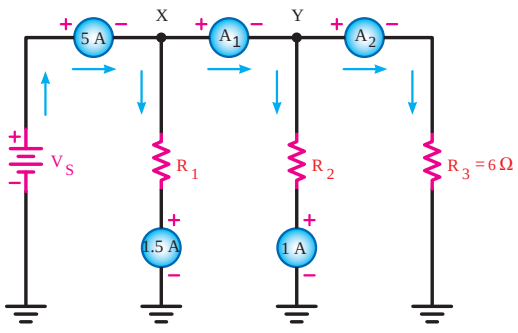


شکل ۵۲

۱۰ دو لامپ با مقاومت داخلی ۴ اهم مطابق شکل ۵۳ با هم موازی شده‌اند و به باری ۱/۵ ولتی اتصال می‌یابند. جریان کل عبوری از مدار و جریان هریک از لامپ‌ها چقدر است؟


شکل ۵۳

۱۱ در مدار شکل ۵۴ مقادیر مقاومت‌های R_1 و R_2 را تعیین کنید.



شکل ۵۴

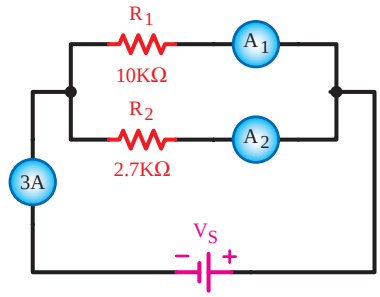
۱۲ مقدار مقاومت معادل سه مقاومت ۳۳۰ Ω، ۲۷۰ Ω و ۶۸ Ω که به صورت موازی بسته شده‌اند چند اهم است؟

الف) ۶۶۸ ب) ۴۷ ج) ۶۸ د) ۲۲

۱۳ در شکل ۵۵ آمپرمترهای A_1 و A_2 به ترتیب از راست به چپ چند آمپر را نشان می‌دهند؟

الف) ۲/۳۶ و ۰/۶۴ ب) ۰/۵۶ و ۱/۳۶

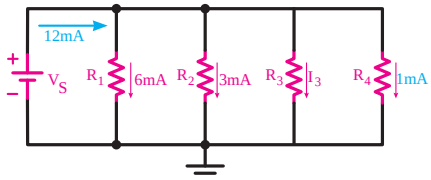
ج) ۱/۳۶ و ۱/۶۴ د) ۰/۶۴ و ۲/۳۶



شکل ۵۵

۱۴ در شکل ۵۶ و در صورتی که مقدار مقاومت $R_T = 2k\Omega$ باشد مقدار مقاومت R_3 چند کیلو اهم است؟

الف) ۱۲ ب) ۲ ج) ۹ د) ۱۰

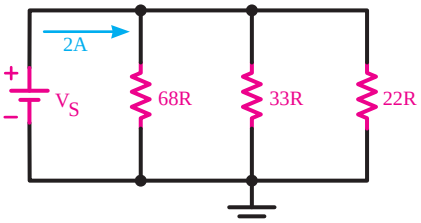


شکل ۵۶

۱۵ در مدار شکل ۵۷ ولتاژ کل چند ولت است؟

الف) ۱۴/۹ ب) ۷/۲۵

ج) ۲۲/۱ د) ۴۴/۶



شکل ۵۷

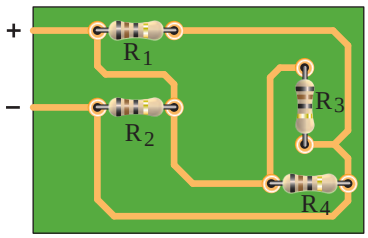
۱۶ خروجی یک تقویت‌کننده استریو به چهار بلندگو طبق‌شکل۵۸ اتصال دارد. مقاومت معادل خروجی بلندگوها چند اهم است؟

الف)۸ ب) ۲ ج) ۶۴ د) ۳۲



شکل ۵۸

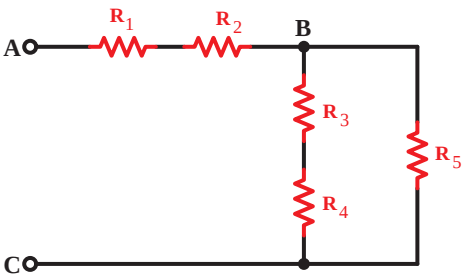
۱۷ با توجه به شکل ۵۹ نحوه اتصال مقاومت‌ها نسبت به یکدیگر ..... است.



شکل ۵۹

مدارهای سری ـ موازی (ترکیبی ـ مختلط)

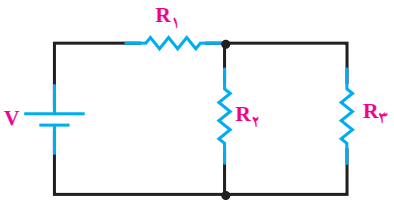
مدار ترکیبی «سری ـ موازی» به مداری گفته می‌شود که در آن ترکیبی از مقاومت‌های سری و موازی وجود داشته باشد. در شکل ۶۰ یک نمونه مدار «سری ـ موازی» مقاومتی را مشاهده می‌کنید.



شکل ۶۰ـ یک نمونه مدار مقاومتی سری- موازی

در مدارهای سری ـ موازی تعدادی از عناصر با یکدیگر سری و تعدادی دیگر با هم موازی می‌شوند.

مثلاً در شکل ۶۱ مقاومت‌های R_2، R_3 با یکدیگر موازی هستند و مجموعهٔ این مقاومت‌ها با R_1 به‌صورت سری بسته‌شده‌است. برای تحلیل مقاومت‌ها «سری ـ موازی» معمولاً باید مدار را به‌صورت سری یا موازی درآورد.



شکل ۶۱

در مدارهای ترکیبی «سری ـ موازی» قسمت‌هایی از مدار که به صورت سری بسته شده‌اند تمام ویژگی‌های مدار سری را دارند و قسمت‌هایی از مدار که به‌صورت موازی است، تمام خواص مدار موازی را دارد.

برای محاسبهٔ مقاومت معادل این گونه مدارها به‌ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

۱ برای ساده کردن مدار از قسمتی شروع می‌کنیم که منبع تغذیه وجود ندارد یا نقاط باز مشخص شده در مدار هستند.

۲ ابتدا مقاومت‌هایی که به صورت سری یا موازی بسته شده‌اند و در یک مجموعه قراردارند را باید با هم ترکیب و ساده کنیم.

۳ برای محاسبهٔ R_T (مجموع =Total) یا R_{eq} (معادل =equivalent) در هر قسمت، از روابط مقاومت معادل در مدارهای سری و موازی استفاده می‌کنیم.

۴ بهتر است از نقطه‌ای شروع کنیم که مدار به تدریج ساده شود و به یک مقاومت معادل برسیم. برای این منظور لازم است قبل از شروع کار، مدار را به‌طور دقیق بررسی کنیم.

توضیح ۱: در زمان محاسبه مقاومت معادل مدارهای سری ـ موازی به‌خاطر خلاصه‌نویسی و مشخص بودن شکل اتصال مقاومت‌ها از علامت دو خط موازی (||) برای مقاومت‌های موازی و از علامت (+) برای مقاومت‌های سری با یکدیگر استفاده می‌شود.

توضیح ۲: در مدارهای ترکیبی برای نشان دادن پارامتر مقاومت معادل (R_T) از روش‌های مختلفی برای نمایش آن استفاده می‌شود که در زیر چند مورد آن شرح داده شده است.

مقاومت‌های معادل مرحله اول — $R_T=R_{T_1}$

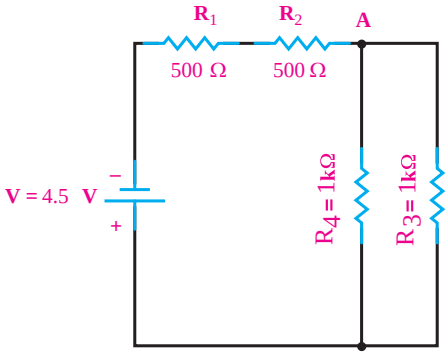
مقاومت معادل بین دو مقاومت R_3 و R_4 — $R_T = R_{eq_1}$

نام‌گذاری معادل یک قسمت با حروف — $R_T = R_{34}$

$R_T = R_x$ یا R_y

مثال ۱: اگر مداری مطابق شکل ۶۲ داشته باشیم و بخواهیم مقاومت معادل آن را به‌دست آوریم می‌توان مقاومت معادل را به شکل کلی زیر نوشت سپس هر قسمت را جداگانه محاسبه کرد.

$$R_T = R_{eq} = [(R_1+R_2) + (R_3 \parallel R_4)]$$



شکل ۶۲

این رابطه نشان می‌دهد که دو مقاومت R_1 و R_2 باهم سری، دو مقاومت R_3 و R_4 با یکدیگر موازی و در نهایت مقاومت معادل هردو قسمت باهم سری هستند.

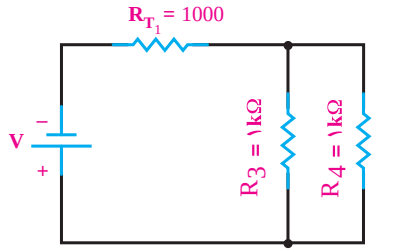
$$R_T = R_{eq_1} = R_{12} = R_x = R_1 + R_2$$
$$R_x = ۵۰۰ + ۵۰۰ = ۱۰۰۰[\Omega]$$

در شکل ۶۳ تصویر مدار را به همراه قسمت ساده شده مرحله اول مشاهده می‌کنید.

و به‌همین ترتیب برای مقاومت‌های موازی مساوی داریم:

$$R_{T_2} = R_{eq_2} = R_{34} = R_y = \frac{R}{n}$$

$$R_y = \frac{۱۰۰۰}{۲} = ۵۰۰[\Omega]$$

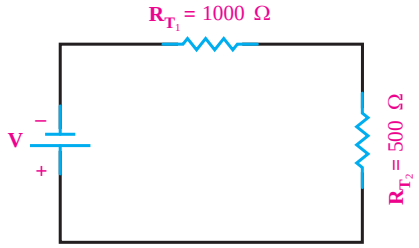


شکل ۶۳

شکل ۶۴ تصویر مقاومت معادل قسمت دوم مدار را نشان می‌دهد.

و در نهایت مقاومت معادل کل مدار برابر است با:

$$R_T = R_{eq} = R_x + R_y = R_{12} + R_{34}$$
$$R_T = ۱۰۰۰ + ۵۰۰ = ۱۵۰۰[\Omega]$$



شکل ۶۴

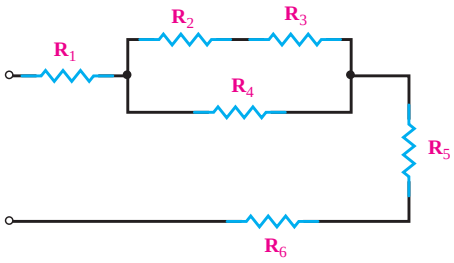


شکل ۶۵

مثال ۲: در مدار شکل ۶۶ با نوشتن معادله (روابط لازم) مشخص کنید کدام مقاومت‌ها باهم سری و کدام مقاومت‌ها باهم موازی هستند.

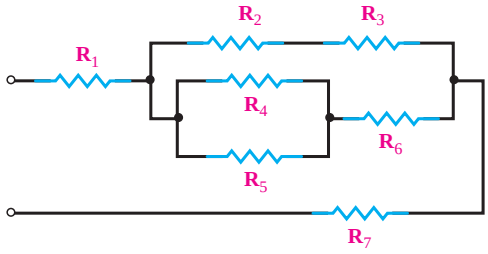
حل: با دقت در شکل مدار مشاهده می‌کنیم R_2 و R_3 با هم سری، R_{23} با R_4 موازی و R_1 و (R_{234}) و R_5 و R_6 با هم سری‌اند. خلاصه این توضیح را به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$R_T = R_1 + [(R_2 + R_3) \parallel R_4] + R_5 + R_6$$



شکل ۶۶

مثال ۳: در مدار شکل ۶۷ مقاومت‌های سری یا موازی شده را به‌صورت خلاصه بنویسید.

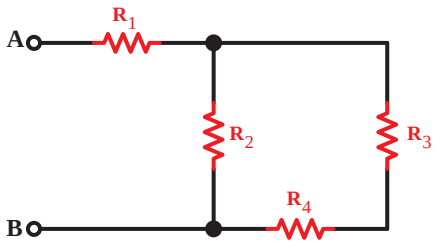


شکل ۶۷

حل: با بررسی وضعیت مقاومت‌های مدار به‌صورت خلاصه چنین می‌توان نوشت:

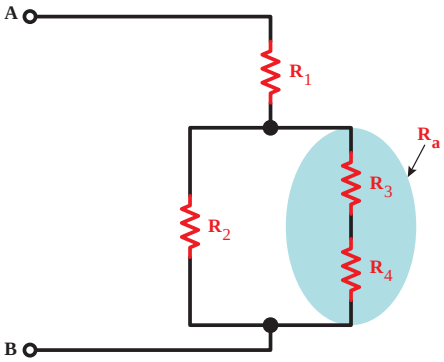
$$R_T = R_1 + [(R_2 + R_3) \| [(R_4 \| R_5) + R_6]] + R_7$$

مثال ۴: مقدار مقاومت معادل شکل ۶۸ را درصورتی که $R_1 = 12\Omega, R_2 = 4\Omega, R_3 = 2\Omega, R_4 = 10\Omega$ است، حساب کنید.



شکل ۶۸

حل: ابتدا مدار را به صورت شکل ساده شده شکل ۶۸ الف در می‌آوریم و معادل دو مقاومت سری R_3 و R_4 را محاسبه می‌کنیم.

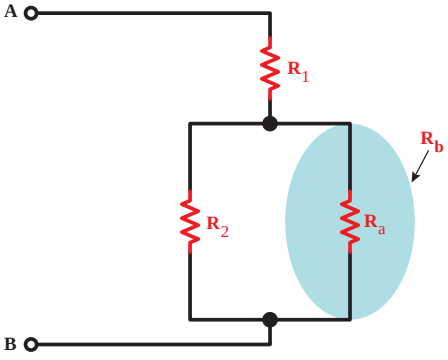


شکل ۶۸ (الف)

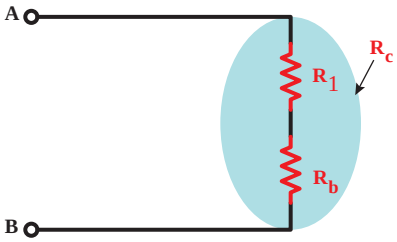
مقاومت معادل مقاومت‌های R_3 و R_4 را که R_a به‌صورت موازی هستند حساب می‌کنیم. (شکل ۶۸)

$$R_a = R_3 + R_4 = 10 + 2 = 12[\Omega]$$

$$R_b = \frac{4 \times 12}{4 + 12} = 3[\Omega]$$



شکل ۶۸ (ب)



شکل ۶۸ (ج)

مقاومت‌های معادل به دست آمده مرحله قبل (R_b) را که با مقاومت R_1 به‌صورت سری است محاسبه می‌کنیم:

$$R_c = R_1 + R_b = ۳ + ۱۲ = ۱۵[\Omega]$$

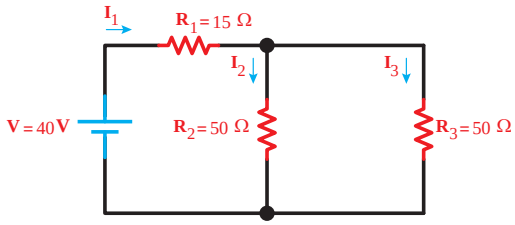


شکل ۶۹

مقاومت به‌دست آمده برابر با مقاومت معادل کل مدار است، (شکل ۶۹)

$$R_{AB} = R_t = ۱۵\ [\Omega]$$

مثال ۵: افت ولتاژ دوسر R_2 و R_1 را در مدار شکل ۷۰ حساب کنید.



شکل ۷۰

حل: با محاسبه مقاومت معادل، شدت جریان کل را به دست می‌آوریم.

$$R_2 \| R_3 = \frac{۵۰\Omega}{۲} = ۲۵\,\Omega$$

$$R_t = R_1 + R_{2,3}$$

$$R_t = ۱۵\ \Omega + ۲۵\ \Omega = ۴۰\Omega$$

$$I = \frac{V}{R_t} = \frac{۴۰V}{۴۰\Omega}$$

$$I = ۱\ [A]$$

افت ولتاژ دو سر R_1 از حاصل ضرب شدت جریان عبوری از آن در مقدار R_1 به‌دست می‌آید.

$$V_{R_1} = R_1 I_1$$

$$I = I_1 = ۱\ [A]$$

$$V_{R_1} = ۱۵\Omega \times ۱A = ۱۵[V]$$

یا

$$V_{R_{2,3}} = V_{R_2} = V_{R_3} = V - V_{R_1} = ۴۰ - ۱۵ = ۲۵[V]$$

فکر کنید

آیا روش دیگری برای محاسبه افت ولتاژ $V_{R_{۲۳}}$ وجود دارد؟ در صورت مثبت بودن پاسخ، مسئله را با روش‌های پیشنهادی خود حل کنید.

چون $R_۲$ و $R_۳$ با هم مساوی‌اند، شدت جریان کل به نسبت مساوی بین آن دو تقسیم می‌شود، یعنی:

$$I_۲ = \frac{I}{۲} = \frac{۱A}{۲} = ۰/۵[A]$$

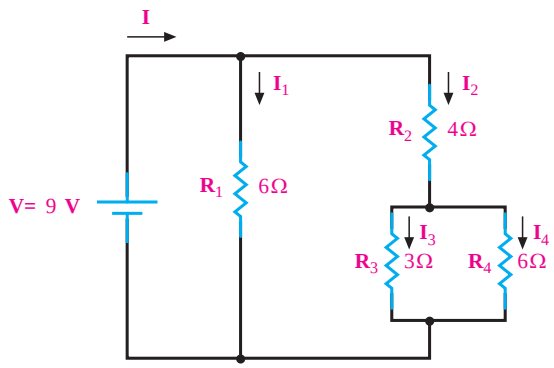
$$V_{R_۲} = I_۲ R_۲$$

$$V_{R_۲} = ۰/۵A \times ۵۰\Omega = ۲۵[V]$$

کار در منزل

با استفاده از نرم‌افزاری که در اختیار دارید، مدارهای ترکیبی، سری و موازی را تمرین کنید.

مثال ۶: مقاومت معادل، جریان کل و جریان هر شاخه از مدار شکل ۷۱ را به‌دست آورید.



شکل ۷۱ــ مدار مثال ۳

حل:

$$R_{۳,۴} = R_۴ \| R_۳ = \frac{۳ \times ۶}{۳ + ۶} = ۲[\Omega]$$

$$R_{۳,۴} + R_۲ = ۲\Omega + ۴\Omega = ۶[\Omega]$$

مقاومت کل $$R_t = R_۱ \| R_{۲,۳,۴} = \frac{۶\Omega}{۲} = ۳[\Omega]$$

شدت جریان کل $$I = \frac{V}{R_t} = \frac{۹V}{۳\Omega} = ۳[A]$$

شدت جریان $I_۱$ از تقسیم کردن ولتاژ منبع بر $R_۱$ به‌دست می‌آید.

$$I_۱ = \frac{V}{R_۱} = \frac{۹V}{۶\Omega} = ۱/۵[A]$$

شدت جریان $I_۲$ پس از عبور از $R_۲$ به $I_۳$ و $I_۴$ تقسیم می‌شود؛ بنابراین، جریان $I_۲$ برابر است با:

$$I_۲ = I_{۲,۳,۴} = \frac{V}{R_{۲,۳,۴}} = \frac{۹V}{۶\Omega} = ۱/۵[A]$$

شدت جریان $I_۲$ را از طریق تقسیم جریان $I_۲$ بین $R_۳$ و $R_۴$ محاسبه می‌کنیم.

$$I_۳ = I_۲ \frac{R_۴}{R_۳ + R_۴}$$

$$I_۳ = \frac{۱/۵A \times ۶\Omega}{(۳+۶)\Omega} = ۱[A]$$

جریان $I_۴$ از تفاضل شدت جریان‌های $I_۲$ و $I_۳$ به‌دست می‌آید؟ چرا؟

$$I_۴ = I_۲ - I_۳$$

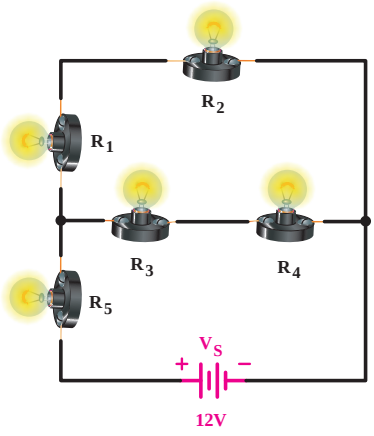
$$I_۴ = ۱/۵ - ۱ = ۰/۵[A]$$

مثال ۷: در مدار شکل ۷۲ اگر مقدار مقاومت هر لامپ ۳Ω باشد مطلوب است :

الف) جریان کل مدار

ب) جریان هریک از لامپ‌ها

ج) ولتاژ دوسر هرکدام از لامپ‌ها



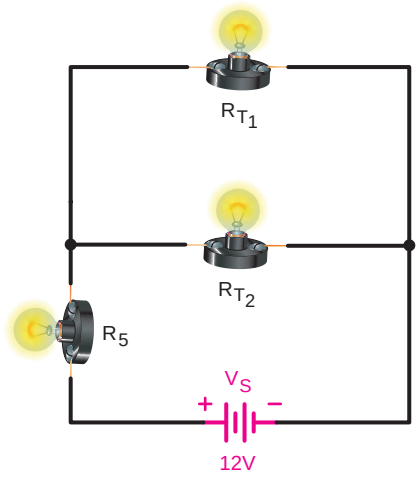
شکل ۷۲

حل: برای بررسی محاسبه R_T ابتدا مقدار مقاومت شاخه‌ها را جداگانه حساب کنیم. (شکل ۷۳)

$$\begin{cases} R_{T_۱} = R_{L_۱} + R_{L_۲} \\ R_{T_۱} = n.R \end{cases} \Rightarrow R_{T_۱} = ۲ \times ۳ = ۶[\Omega]$$

$$\begin{cases} R_{T_۲} = R_{L_۳} + R_{L_۴} \\ R_{T_۲} = n.R \end{cases} \Rightarrow R_{T_۲} = ۲ \times ۳ = ۶[\Omega]$$

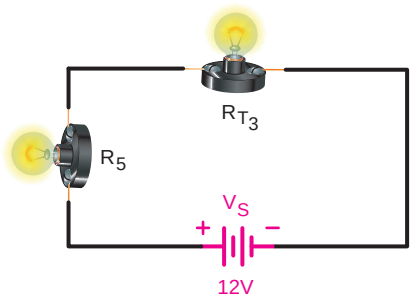
$$\begin{cases} R_{T_۳} = R_{T_۱} \parallel R_{T_۲} \\ R_{T۳} = \frac{R}{n} = \frac{۶}{۲} = ۳[\Omega] \end{cases}$$



شکل ۷۳

مقدار مقاومت‌ها معادل کل مدار طبق شکل ۷۴ برابر خواهد شد با:

$$R_T = R_{T_3} + R_5$$
$$R_T = ۳ + ۳ = ۶[\Omega]$$



شکل ۷۴

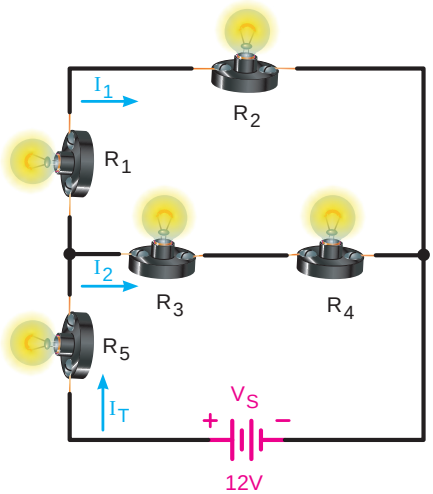
طبق قانون اهم جریان کل را بدین‌صورت محاسبه می کنیم:

$$I_T = \frac{V_S}{R_T} \Rightarrow I_T = \frac{۱۲}{۶} \Rightarrow I_T = ۲[A]$$

$I_{L_5} = I_T$

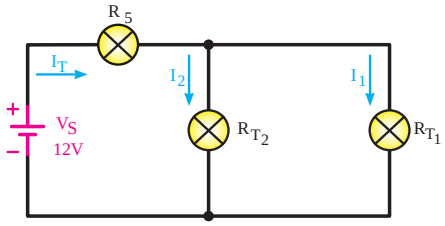
$I_{L_1} = I_{L_2}$ چون دو لامپ سری هستند.

$I_{L_3} = I_{L_4}$ چون دو لامپ سری هستند.



شکل ۷۵

جریان هر شاخه را از تقسیم جریان به‌دست می‌آوریم. شکل ۷۶ تصویر مداری لامپ‌ها را نشان می‌دهد.

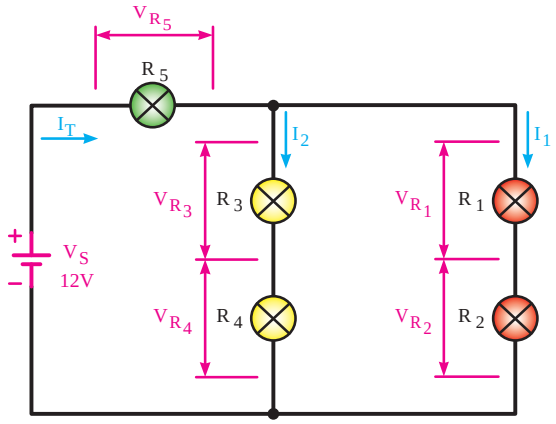


شکل ۷۶

$$I_{L_1} = I_T \frac{R_{T_2}}{R_{T_1} + R_{T_2}} \Rightarrow I_{L_1} = ۲\frac{۶}{۶+۶} = \frac{۱۲}{۱۲} \Rightarrow$$
$$I_{L_1} = ۱[A]$$

$$I_{L_2} = I_T \frac{R_{T_1}}{R_{T_1} + R_{T_2}} \Rightarrow I_{L_2} = ۲\frac{۶}{۶+۶} = \frac{۱۲}{۱۲} \Rightarrow$$
$$I_{L_2} = ۱[A]$$

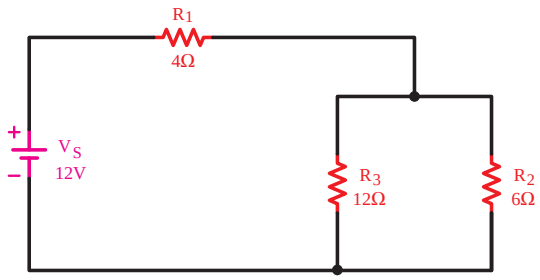
برای محاسبه افت ولتاژ دو سر مقاومت‌ها (شکل ۷۷) باید مقدار اهم هر مقاومت را در جریان عبوری از آن ضرب کرد:



شکل ۷۷

$$V_{R_5} = R_5.I_T \Rightarrow V_{R_5} = ۳\times۲ \Rightarrow V_{R_5} = ۶[V]$$
$$V_{R_4} = R_4.I_2 \Rightarrow V_{R_4} = ۳\times۱ \Rightarrow V_{R_4} = ۳[V]$$
$$V_{R_3} = R_3.I_2 \Rightarrow V_{R_3} = ۳\times۱ \Rightarrow V_{R_3} = ۳[V]$$
$$V_{R_2} = R_2.I_1 \Rightarrow V_{R_2} = ۳\times۱ \Rightarrow V_{R_2} = ۳[V]$$
$$V_{R_1} = R_1.I_1 \Rightarrow V_{R_1} = ۳\times۱ \Rightarrow V_{R_1} = ۳[V]$$

مثال ۸: در مدار شکل ۷۸ مطلوب است:
الف) توان هریک از مقاومت‌ها
ب) توان کل مدار



شکل ۷۸

حل:

$$R_T = \frac{R_2.R_3}{R_2+R_3} + R_1$$
$$R_T = \frac{۶\times۱۲}{۶+۱۲} + ۴ = ۸\Omega$$
$$I_T = \frac{V_S}{R_T} = \frac{۱۲}{۸} = ۱/۵A$$
$$I_2 = I_T \frac{R_3}{R_2+R_3} = ۱/۵A \times \frac{۱۲}{۶+۱۲} = ۱A$$
$$I_3 = I_T \frac{R_2}{R_2+R_3} = ۱/۵A \times \frac{۶}{۶+۱۲} = ۰/۵A$$
$$P_1 = R_1.I_1^2 = ۴\times(۱/۵)^2 = ۹w$$
$$P_2 = R_2.I_2^2 = ۶\times(۱)^2 = ۶w$$
$$P_3 = R_3.I_3^2 = ۱۲\times(۰/۵)^2 = ۳w$$
$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = ۹+۶+۳ = ۱۸w$$

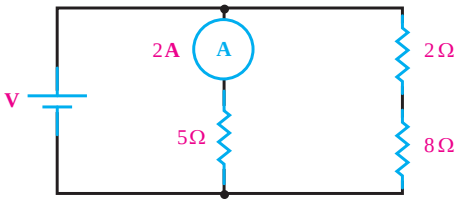
توان کل را به‌صورت زیر هم می‌توان به‌دست آورد:

$$P_T = R_T.I_T^2 = ۸\times(۱/۵)^2 = ۱۸[w]$$

الگوی پرسش

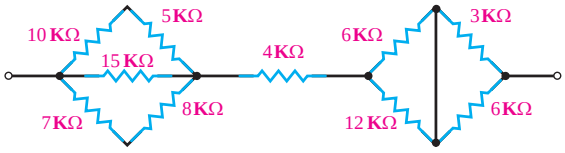
۱ مدار ترکیبی از چه قوانینی پیروی می‌کند؟

۲ در شکل ۷۹ ولتاژ باتری (V) و جریان کل را محاسبه کنید.



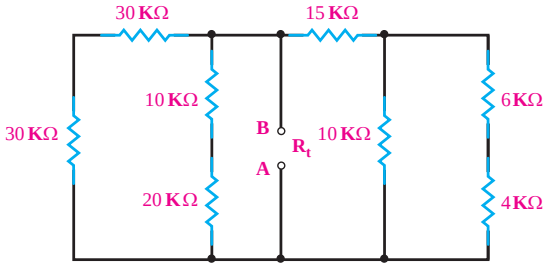
شکل ۷۹

۳ مقاومت معادل مدار شکل ۸۰ را محاسبه کنید.



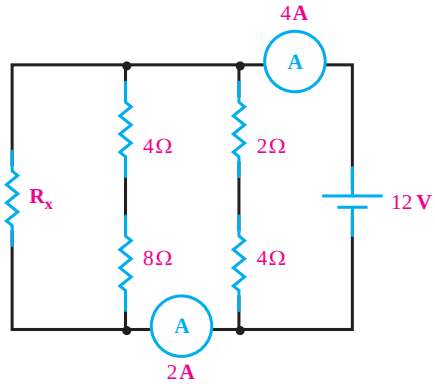
شکل ۸۰

۴ مقاومت معادل مدار (R_t) بین دو نقطه A و B در مدار شکل ۸۱ را محاسبه کنید. اگر بین دو نقطه A و B منبع ولتاژ ۱۰۰ ولتی وصل شود، جریان کل عبوری از مدار چند میلی‌آمپر است؟



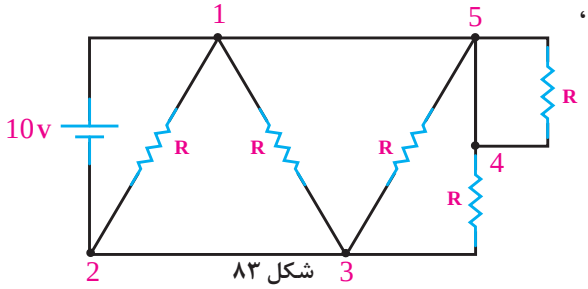
شکل ۸۱

۵ مقدار مقاومت R_x در مدار شکل ۸۲ را محاسبه کنید.



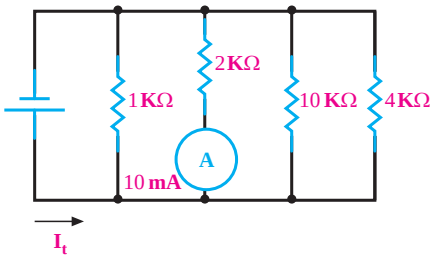
شکل ۸۲

۶ در شکل ۸۳ اختلاف پتانسیل‌های V_{12}، V_{13}، V_{53}، V_{54}، V_{43}، V_{23} و V_{15} را محاسبه کنید.



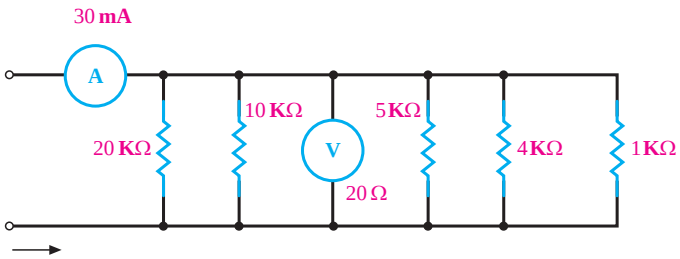
شکل ۸۳

۷ در مدار شکل ۸۴، جریان کل I_t را محاسبه کنید.



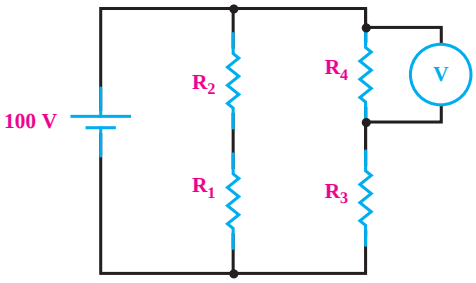
شکل ۸۴

۸ در مدار شکل ۸۵ کدام مقاومت باز شود (از مدار جدا شود) تا دستگاه‌های اندازه‌گیری مقدار داده شده در شکل را نشان دهند؟ فرایند محاسبات را با ذکر دلیل بنویسید.



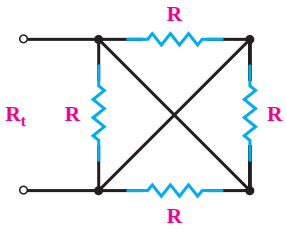
شکل ۸۵

۹ در مدار شکل ۸۶ در چه صورت ولت‌متر عدد صفر را نشان می‌دهد؟ فرایند محاسبات را با ذکر دلیل بنویسید.



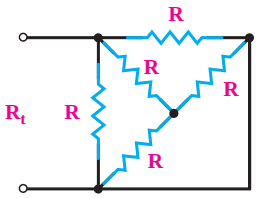
شکل ۸۶

۱۰ در شکل ۸۷ مقدار R_t را محاسبه کنید.



شکل ۸۷

۱۱ مقاومت معادل شکل ۸۸ را محاسبه کنید.



شکل ۸۸

کار در منزل

هریک از مدارهای مربوط به این الگوی پرسش را به صورت نرم‌افزاری ببندید و صحت نتایج را با پاسخ‌های خود مقایسه کنید.

پیل و باتری (Battery - Cell)

یکی از منابع تأمین انرژی الکتریکی باتری‌ها هستند. باتری‌ها انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. نمونه‌ای از باتری ترکیبی، پیل‌های خشک و تر هستند که در چراغ قوه و خودرو به کار می‌روند.
واژهٔ باتری و پیل را معمولاً به جای یکدیگر به کار می‌برند اما این دو از نظر مفهوم با هم تفاوت دارند. باتری از دو یا چند پیل تشکیل می‌شود که به طور سری یا موازی به هم وصل شده‌اند. به عبارت دیگر، پیل‌ها واحد تشکیل دهنده باتری‌ها هستند. نماد فنی یک پیل در استاندارد IEC به صورت دو خط موازی است که یکی بزرگ‌تر و دیگری کوچک‌تر رسم می‌شود (شکل ۸۹).



شکل ۸۹ــ نمای فنی یک پیل و انواع باتری‌ها

فیلم ۱

فیلم مربوط به پیل‌ها و باتری‌ها را ببینید.

جست‌وجو

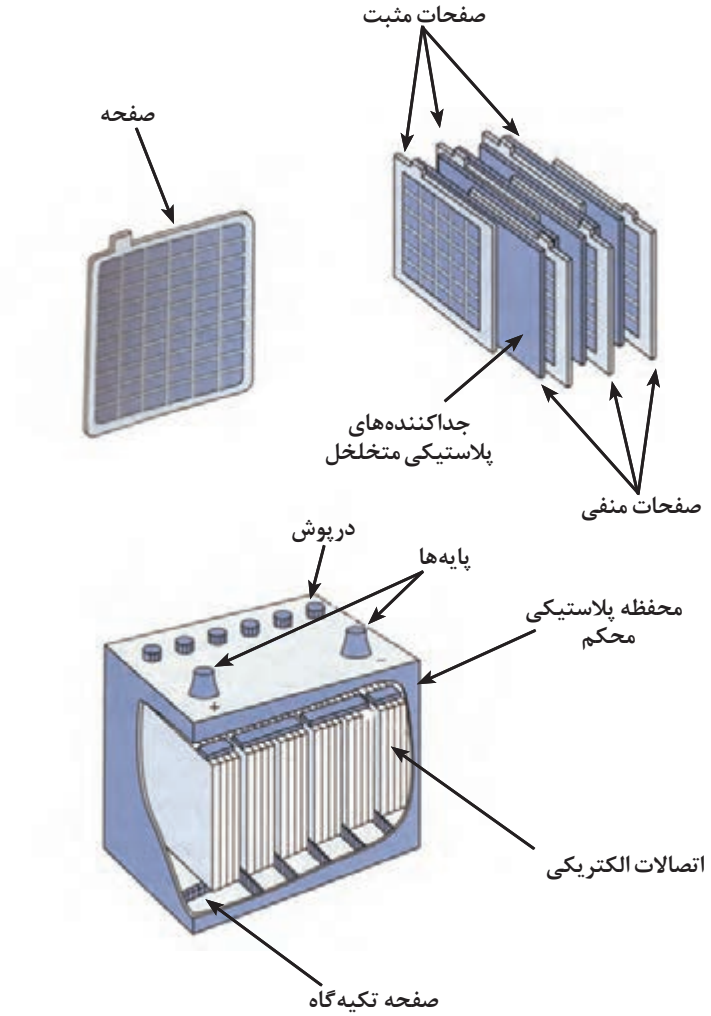
واژه IEC را در فضای مجازی جست‌وجو کنید و بررسی کنید مخفف چه واژه‌هایی است، سپس مفهوم آن را بیابید و به کلاس ارائه دهید.

خط بزرگ‌تر را معمولاً قطب مثبت و خط کوچک‌تر را قطب منفی در نظر می‌گیرند.

پژوهش

با مراجعه به فضای مجازی انواع پیل‌های خشک را بیابید و گزارش خود را به کلاس ارائه دهید.

پیل‌های خشک در دو نوعِ قابل شارژ و غیرقابل شارژ تولید می‌شوندکه مشخصه آنها را روی آن درج می‌کنند. یادآور می‌شود که معمولاً پیل‌های تر قابل شارژ هستند. در شکل ۹۰ یک نمونه پیل تر و ساختمان داخلی آن را مشاهده می‌کنید.



شکل ۹۰ـ پیل تر و ساختمان داخلی آن

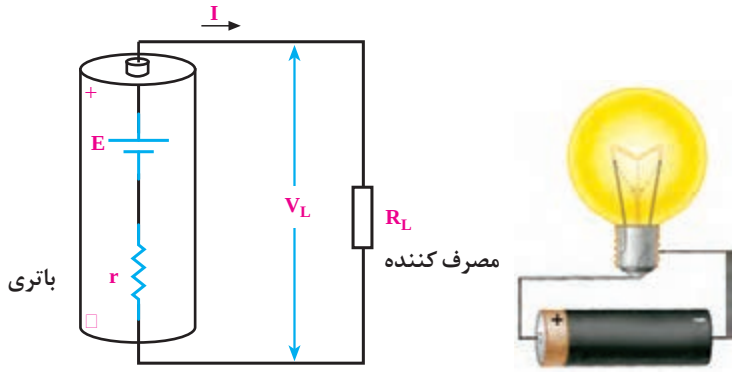
مقاومت داخلی پیل‌ها (باتری)

ولتاژ دو سر یک مولد (باتری) را در شرایط زیر با ولت‌متر اندازه می‌گیریم. ولتاژ دو سر باتری را بدون اتصال به بار اندازه‌گیری می‌کنیم. سپس یک مقاومت را به دو سر باتری می‌بندیم. در این حالت نیز ولتاژ دو سر آن را اندازه می‌گیریم.

از مقایسه ولتاژها، متوجه می‌شویم که ولتاژ اندازه‌گیری شده در مرحله دوم از ولتاژ اندازه‌گیری شده در مرحله اول کمتر است، در حالی‌که انتظار ما این بود که ولتاژ اندازه‌گیری شده در هر دو مرحله باهم برابر باشند.

چرا این حالت اتفاق می‌افتد؟ ولتاژ اندازه‌گیری شده در مرحله دوم کمتر است، چون قسمتی از ولتاژ در داخل باتری افت کرده است. بنابراین باید در داخل باتری مقاومتی وجود داشته باشد تا باعث کاهش ولتاژ شود. این مقاومت را مقاومت داخلی باتری می‌نامند.

مقاومت داخلی باتری از نظر مصرف انرژی مانند مقاومتی است که به عنوان مصرف‌کننده با باتری سری شده‌است. شکل ۹۱ یک باتری را با مقاومت داخلی نشان می‌دهد. مقاومت داخلی باتری را با حرف r نشان می‌دهند که همیشه با مصرف کننده سری می‌شود.



شکل ۹۱ــ مقاومت داخلی باتری

هر قدر مقاومت داخلی باتری کوچک‌تر باشد، افت ولتاژ دو سر آن کمتر است و می‌توان در شرایط معمولی آن را نادیده گرفت. با ضعیف شدن باتری، مقاومت داخلی آن زیاد می‌شود. در این حالت ولتاژ و شدت جریان تولیدی به وسیله باتری کاهش می‌یابد.

همان‌طور که گفتیم علت کاهش ولتاژ دو سر باتری، افت مقداری از ولتاژ باتری در دو سر مقاومت داخلی آن است. از طرفی چون مقاومت داخلی باتری به مقاومت کل مدار اضافه می‌شود، شدت جریان را نیز کم می‌کند.

با توجه به موارد ذکر شده برای مدار شکل ۹۱ می‌توانیم روابط مربوط به ولتاژ و جریانی که به مصرف‌کننده می‌رسد را به دست آوریم:

$$R_t = r + R_L$$

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

$$V_L = E - V_r = E - I.r$$

E ولتاژ باتری، V_r افت ولتاژ دو سر مقاومت داخلی و V_L افت ولتاژ دو سر بار یا مصرف‌کننده است.

با توجه به روابط به دست آمده ولتاژی که به مصرف‌کننده می‌رسد، همیشه به اندازه افت ولتاژ دو سر مقاومت داخلی از ولتاژ باتری کمتر است.

بارش فکری

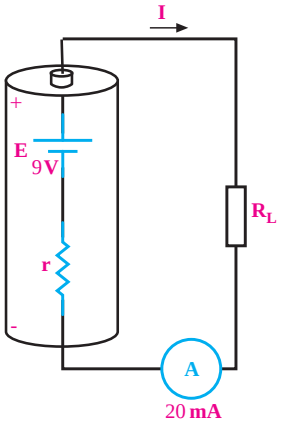
آیا با استفاده از اهم‌متر می‌توانیم مقاومت داخلی باتری را اندازه بگیریم؟ از طریق بارش فکری پاسخ صحیح را به دست آورید.

مثال: در مدار شکل ۹۲

الف) مقدار مقاومت داخلی r و ولتاژی که به دو سر بار $R_L = ۳۰۰\Omega$ می‌رسد، را محاسبه کنید.

ب) اگر R_L را به ۳۴۵۰ اهم افزایش دهیم، ولتاژ دو سر بار و شدت جریان مدار را محاسبه کنید.

پ) ولتاژ دو سربار محاسبه شده در مرحله الف و ب را با هم مقایسه کنید و نتایج حاصل را بنویسید.



شکل ۹۲

حل: الف) $R_L = ۳۰۰\Omega$

$$R_t = \frac{۹}{۲۰mA} = ۰/۴۵K\Omega = ۴۵۰[\Omega]$$

$$R_t = r + R_L$$

$$r = R_t - R_L = ۴۵۰ - ۳۰۰ = ۱۵۰[\Omega]$$

$$V_L = IR_L = ۲۰mA \times ۳۰۰[\Omega] = ۶[V]$$

در بار $R_L = ۳۰۰\ \Omega$ از ولتاژ باتری فقط ۶ ولت به بار می‌رسد و ۳ ولت دو سر مقاومت داخلی افت می‌کند.

ب) $R_L = ۳۴۵۰\Omega$

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

$$R_t = r + R_L = ۱۵۰ + ۳۴۵۰ = ۳۶۰۰[\Omega]$$

با داشتن R_t مقدار شدت جریان و ولتاژ قابل محاسبه است.

$$I = \frac{E}{R_t}$$

$$I = \frac{۹V}{۳۶۰۰\Omega} = ۲/۵[mA]$$

$$V_L = I.R_L = ۲/۵\ mA \times ۳۴۵۰\Omega = ۸/۶۲۵[V]$$

پ) با مقایسه مراحل الف و ب می‌توانیم نتیجه بگیریم که در مرحله ب ولتاژ بیشتری به بار می‌رسد و ولتاژ کمتری در دو سر مقاومت داخلی افت می‌کند.

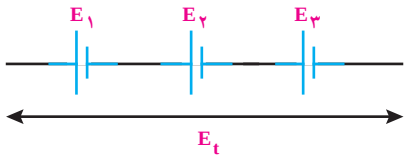
پاسخ دهید: مقدار تفاوت افت ولتاژ در داخل باتری در مراحل الف و ب را به دست آورید.

نتیجه: اگر مقاومت مصرف‌کننده نسبت به مقاومت داخلی مولد خیلی بیشتر باشد، از مقاومت داخلی مولد می‌توان صرف‌نظر کرد.

اتصال پیل‌ها

اتصال سری پیل‌ها

برای به دست آوردن ولتاژهای بیشتر، چند پیل را با هم سری می‌کنند. برای سری کردن پیل‌ها باید قطب مثبت هر پیل به قطب منفی پیل دیگر اتصال یابد. ولتاژ کل یک باتری در صورت اتصال صحیح در مدار سری برابر با مجموع ولتاژ تک تک پیل‌های سری شده است، (شکل ۹۳).



شکل ۹۳ـ سه پیل به‌صورت سری

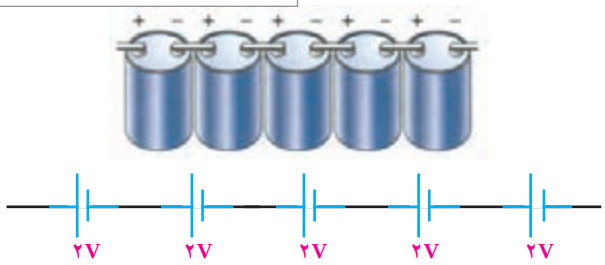
$$E_t = E_1 + E_2 + E_3$$

اگر تعدادی پیل (n پیل) با هم سری شود، ولتاژ کل از رابطه مقابل محاسبه می‌شود:

$$E_t = E_1 + E_2 + \ldots\ldots + E_n$$
$$I_1 = I_2 = I_3 = \ldots\ldots = I_n$$

لازم به ذکر است در اتصال سری پیل‌ها جریان عبوری از مدار یکسان است.

در شکل ۹۴ اتصال سری چند پیل را می‌بینید.



شکل ۹۴ـ اتصال سری پیل‌ها با شکل واقعی

پژوهش کنید

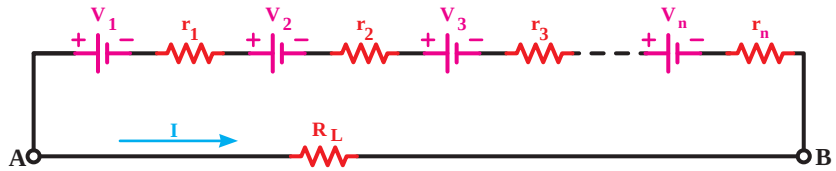
اگر دو پیل را به صورت سری مخالف به‌هم ببندیم چه اتفاقی می‌افتد؟ با ذکرمثال عملی تشریح کنید.

بررسی کنید

با مراجعه به سایت رشد و یا سایر فضاهای مجازی، مشخصات باتری‌های تلفن همراه را بیابید. در این باتری‌ها چند پیل با هم سری شده‌اند؟

نکته مهم

هرگاه دو یا چند باتری با مشخصات ولتاژی (V) و مقاومت داخلی (r) به‌صورت سری بسته شده باشند (شکل ۹۵) مقدار جریان عبوری از بار متصل به آنها را از رابطه زیر می‌توان به‌دست آورد.

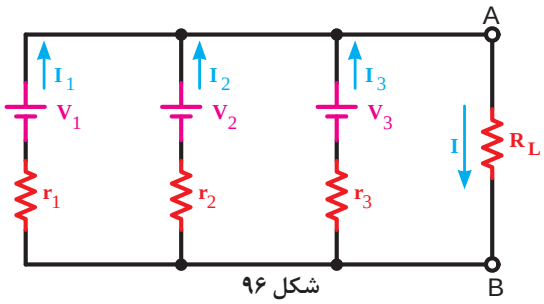


شکل ۹۵

$$I = \left(\frac{nV}{nr + R_L} \right)$$

در صورتی که دو یا چند باتری با مشخصات ولتاژی (V) و مقاومت داخلی (r) به‌صورت موازی بسته شده باشند (شکل ۹۶) جریان عبوری از بار متصل به آنها از رابطه زیر می‌توان به‌دست آورد.

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



شکل ۹۶

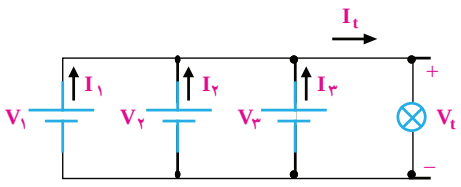
اتصال موازی پیل‌ها

برای بالا بردن جریان‌دهی باتری، پیل‌ها به طور موازی بسته می‌شوند. برای موازی کردن پیل‌ها باید قطب مثبت پیل‌ها را به یکدیگر و قطب منفی آنها را به یکدیگر اتصال دهیم. در شکل ۹۷ نقشه فنی و شکل ظاهری چند پیل که به صورت موازی بسته شده‌اند را مشاهده می‌کنید.

$$E_t = E_1 = E_2 = E_3 = \ldots\ldots = E_n$$
$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots\ldots + I_n$$

یادآور می‌شود که در مدار شکل ۹۷ ولتاژ دو سر پیل‌ها باید با هم برابر باشد تا ظرفیت جریان‌دهی باتری، متناسب با تعداد پیل‌ها افزایش یابد؛ یعنی:





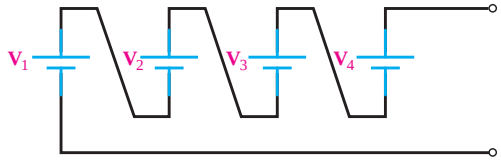
شکل ۹۷ـ شکل ظاهری و نقشه فنی مدار چند پیل موازی

مثال۱: پیل‌های شکل ۹۸ را طوری وصل کنید که حداکثر ولتاژ از آنها به دست آید.



شکل ۹۸

حل:



شکل ۹۹

پژوهش

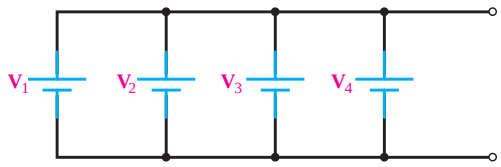
آیا می‌دانید همه باتری‌ها دارای برگه مشخصات هستند؟ یک نمونه برگه مشخصات باتری پاوربانک را بیابید و آن را به کمک دوستان خود ترجمه کنید و به کلاس ارائه دهید.

مثال۲: در صورتی‌که ولتاژ پیل‌های شکل ۱۰۰ با هم برابر باشد، آنها را طوری متصل کنید تا بتوان حداکثر ظرفیت جریان‌دهی را به دست آورد.



(الف)

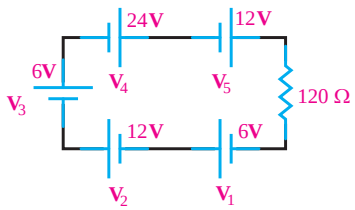
حل:



(ب)

شکل ۱۰۰

مثال۳: در مدار شکل ۱۰۱ ولتاژ دو سر مقاومت مصرف‌کننده ۱۲۰ اهم و جریان عبوری از آن را محاسبه کنید.



شکل ۱۰۱

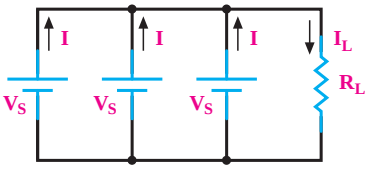
حل:

$$V_t = V_۱ + V_۲ + V_۳ + V_۴ + V_۵$$

$$V_t = ۶V + ۱۲V + ۶V + ۲۴V + ۱۲V = ۶۰V$$

$$I = \frac{V_t}{۱۲۰\Omega} = \frac{۶۰V}{۱۲۰\Omega} = ۰/۵[A]$$

مثال ۴: در مدار شکل ۱۰۲ در صورتی که پیل‌ها مشابه باشند، رابطه ولتاژ دو سر مقاومت R_L و حداکثر جریانی که پیل‌ها می‌توانند به مدار بدهند، را بنویسید.



شکل ۱۰۲ـ مدار مثال ۴

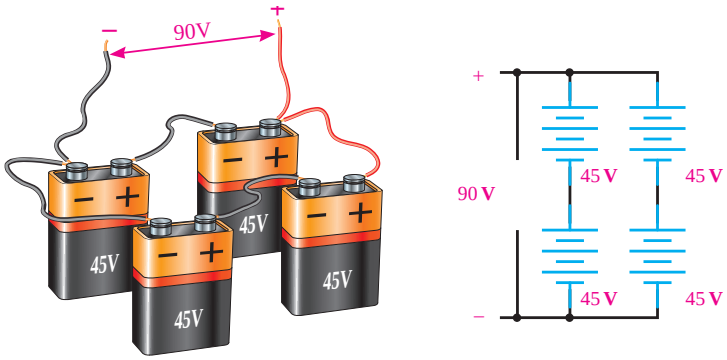
حل:

$V_L = V_t = V_s$

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

اتصال سری ـ موازی (ترکیبی) پیل‌ها

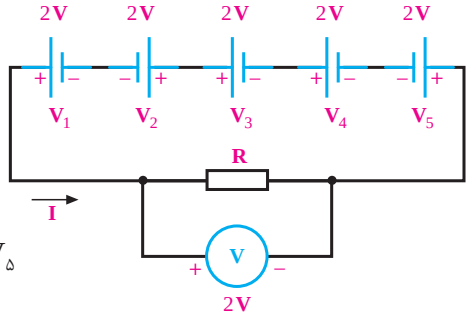
اگر بخواهند هم ولتاژ باتری و هم جریان‌دهی آن را افزایش دهند، پیل‌های تشکیل‌دهنده باتری را به صورت ترکیبی سری ـ موازی به هم وصل می‌کنند (شکل ۱۰۳).



شکل ۱۰۳ـ اتصال ترکیبی باتری‌ها

اتصال متقابل پیل‌ها

در صورتی که دو یا چند پیل، مطابق شکل ۱۰۴ به‌هم اتصال داده شوند، به آن «**اتصال متقابل**» می‌گویند. در این حالت، ولتاژ کل کاهش می‌یابد، زیرا پیل‌هایی که قطب‌هایشان به صورت مخالف با بقیه بسته شده است، مانند مصرف‌کننده عمل می‌کنند. رابطه ولتاژ کل در این مدار برابر با تفاوت بین ولتاژهای مخالف و موافق است:



$V_t = V_1 - V_2 + V_3 + V_4 - V_5$

$V_t = 2-2+2+2-2=2[V]$

شکل ۱۰۴ـ اتصال متقابل پیل‌ها

نکته مهم

هرگز نباید پیل‌هایی که ولتاژ متفاوت دارند را به صورت موازی و متقابل به یک‌دیگر اتصال داد، زیرا انرژی الکتریکی پیل‌های با ولتاژ بالاتر در پیل‌های با ولتاژ کمتر تخلیه می‌شوند. اگر باتری‌ها قابل شارژ باشند باتری ضعیف‌تر شارژ می‌شود و اگر باتری‌ها غیرقابل شارژ باشند، انرژی الکتریکی در باتری ضعیف‌تر به حرارت تبدیل می‌شود.

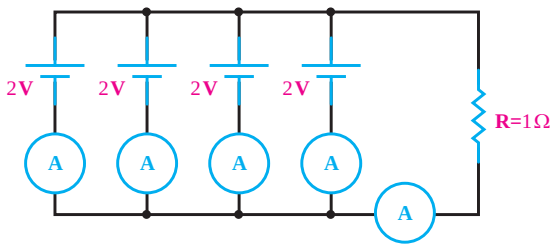
الگوی پرسش

۱ پیل را تعریف کنید.
۲ باتری را تعریف کنید.
۳ چند نوع پیل تر و خشک را نام ببرید.
۴ اتصال چند پیل سری در یک باتری را از لحاظ پلاریته (قطب‌های منفی و مثبت) بررسی کنید و نقشه فنی آن را رسم کنید.

پژوهش کنید

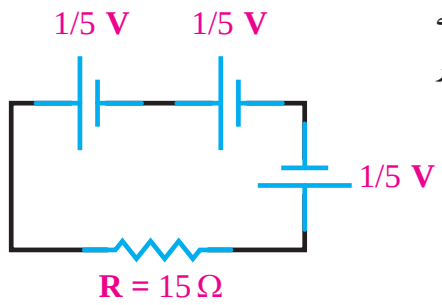
درصورتی‌که دو پیل با مقاومت داخلی و ولتاژ مساوی را به صورت موازی ببندیم، چه اتفاقی می‌افتد؟ با ذکر دلیل مستندسازی کنید و به کلاس ارائه دهید.

۵ در اتصال پیل‌ها به صورت موازی، رابطه شدت جریان کل با شدت جریان تولیدی توسط هر پیل را با رسم شکل بنویسید.
۶ برای افزایش ولتاژ و تأمین ولتاژ مورد نیاز، پیل‌ها را چگونه اتصال می‌دهند؟ با رسم شکل نشان دهید.
۷ مقاومت داخلی پیل را تعریف کنید، این مقاومت چه تأثیری در عملکرد مدار دارد؟
۸ اتصال متقابل پیل‌ها را با ذکر مثال شرح دهید.
۹ برای تأمین ولتاژ ۹ ولت حداقل از چند پیل ۱/۵ ولتی و به چه صورت استفاده می‌کنیم؟
۱۰ برای افزایش میزان جریان‌دهی یک پیل به ۵ برابر، باید چند پیل مشابه را و به چه صورت اتصال دهیم؟ با رسم شکل شرح دهید.
۱۱ در مدار شکل ۱۰۵ شدت جریانی که هر پیل به بار R_L می‌دهد و شدت جریان کل را محاسبه کنید.



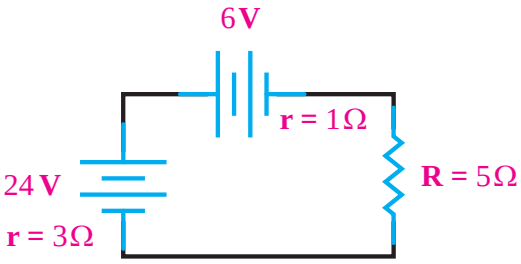
شکل ۱۰۵

۱۲ در مدار شکل ۱۰۶ ولتاژ و جریان کل را محاسبه کنید. مقاومت‌های مربوط به هر پیل را صفر در نظر بگیرید.



شکل ۱۰۶

۱۳ در مدار شکل ۱۰۷ شدت جریان عبوری از مدار را محاسبه کنید.



شکل ۱۰۷

پژوهش کنید

آیا باتری‌های غیرقابل شارژ را می‌توان شارژ کرد؟ نتایج پژوهش را در کلاس به بحث بگذارید.

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

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی/ شایستگی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقق
پودمان ۲: مدارهای مقاومتی سری، موازی و ترکیبی در جریان مستقیم	۱ـ درک و تسلط بر مدارهای سری و موازی مقاومت‌ها ۲ـ درک و تسلط بر اتصال باتری‌ها	۱ـ محاسبه مقاومت معادل، جریان، ولتاژ و توان در مدارهای سری و موازی و ترکیبی ۲ـ تبیین مقاومت داخلی و اتصال باتری‌ها ۳ـ محاسبه ولتاژ و جریان کل در اتصال باتری‌ها	بالاتر از حد انتظار	علاوه بر تحقق شاخص‌های در حد انتظار، انجام کلیه فعالیت‌های پودمان (مانند، تحقیق کنید، فکر کنید، پژوهش کنید، جست‌وجو کنید، بحث گروهی)
			در حد انتظار	۱ـ تعیین مقدار مقاومت معادل در مدارهای سری و موازی با استفاده از قوانین کیرشهف و قانون اهم. ۲ـ محاسبه جریان و ولتاژ هر جزء در مدارهای ترکیبی. ۳ـ استفاده از قوانین کیرشهف برای تعیین ولتاژ کل و جریان مدار در اتصالات سری و موازی باتری‌ها. ۴ـ بررسی تأثیر مقاومت داخلی باتری بر ولتاژ خروجی و عملکرد مدار. ۵ـ مقایسه روش‌های اتصال باتری‌ها (سری و موازی) و تحلیل مزایا و معایب هر روش.
			پایین‌تر از حد انتظار	درصورتی‌که‌هنرجوهمه‌شاخص‌های‌درحدانتظاررامحقق نسازد، پایین‌تر از حد انتظار ارزشیابی می‌شود.
	نمره مستمر از ۵ (براساس انجام فعالیت‌های کلاسی و کارگاهی، نظم، مشارکت در فعالیت‌های آموزشی و تربیتی، ابتکار در تکالیف عملکردی درسی و... از ۱ تا ۵ نمره اختصاص پیدا خواهد کرد.)			
	شایستگی پودمان (پایین‌تر از حد انتظار، در حد انتظار، بالاتر از حد انتظار)			
	نمره پودمان از ۲۰			

۲ـ شایستگی‌های غیرفنی و عمومی (ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی):

شاخص ها	ضریب کیفیت عملکرد	شایستگی عملکرد هنرجو
مدیریت کیفیت ـ جمع‌آوری و گردآوری اطلاعات ـ زبان فنی 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 ـ ...	۲	

شایستگی عملکرد هنرجو در واحد یادگیری	شایستگی‌های غیر فنی و عمومی			شایستگی‌های 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:

۱ـ سطح شایستگی هنرجو در هیچ مرحله‌ای کمتر از حد انتظار نباشد.

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

توجه:

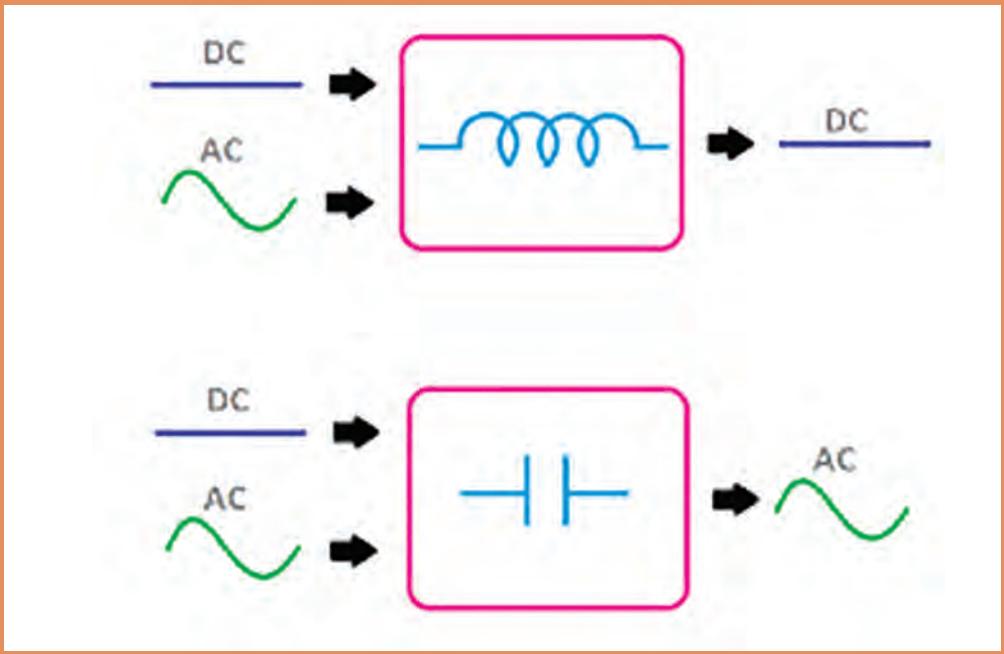
۱ـ اگر حتی در یک مرحله کاری شایستگی کمتر از حد انتظار کسب شود ، منجر به عدم کسب شایستگی واحد یادگیری می‌شود.

۲ـ اگر میانگین سطوح شایستگی ۲/۵ یا بیشتر باشد، سطح شایستگی بالاتر از حد انتظار خواهد بود.

۳ـ با توجه به اینکه شایستگی‌های عمومی و غیرفنی از شرایط لازم برای کسب شایستگی می‌باشد؛ لذا در صورتی‌که شایستگی فنی را احراز کرده باشد اما در شایستگی غیرفنی و عمومی، سطح در حد انتظار کسب نشده باشد، به معنی عدم احراز شایستگی در واحد یادگیری است.

پودمان ۳

سلف و خازن در جریان مستقیم و جریان متناوب



مغناطیس[1]

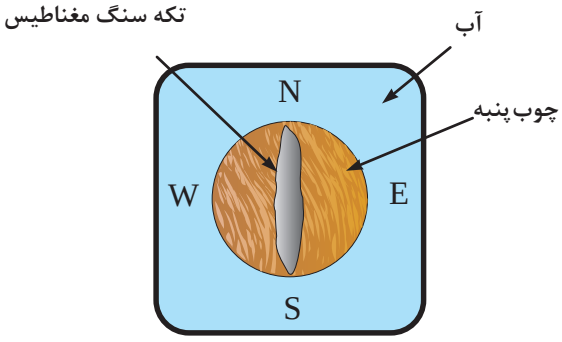
تقریباً از شش قرن پیش از میلاد مسیح یونانیان می‌دانستند یک نوع سنگ طبیعی وجود دارد که تکه‌های کوچکی را می‌رباید (شکل ۱).



شکل ۱ـ سنگ مغناطیس طبیعی

بعدها دریانوردان با قرار دادن قطعه‌ای از سنگ طبیعی روی یک تکه تخته کوچک و شناور کردن آن روی سطح آب درون یک ظرف برای خود قطب‌نماهای ساده‌ای ساختند.

چون اولین بار این سنگ در منطقه‌ای به نام ماگنزیا[2] در آسیای صغیر پیدا شد، آن را «مگنتیت»[3] یا «مغناطیس» نام‌گذاری کرده‌اند (شکل ۲).



شکل ۲ـ نحوه ساخت قطب‌نماهای اولیه

۱ـ Magnetism

۲ـ Ferro Magnetism

۳ـ Magnetite



شکل ۳

شکل۳ یک قطعه سنگ آهن‌ربای طبیعی را نشان می‌دهد که براده‌های آهن به آن چسبیده است. براده‌ها بیشتر به دو سر آن می‌چسبند و در قسمت میانی براده‌های کمتری جذب می‌شود. این نکته نشان می‌دهد که در هر آهن‌ربا مکان‌هایی وجود دارد که در آنها اثر نیروی جاذبه مغناطیسی بیشتر از نقاط دیگر ظاهر می‌شود. این مکان‌ها را «قطب‌های آهن‌ربا» می‌گویند.

مولکول مغناطیسی

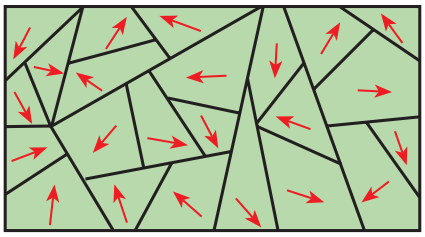
عناصر آهن، نیکل، کبالت و کادمیم از جمله فلزات مغناطیسی طبیعی هستند که در خود، ذرات مغناطیسی یا مولکول‌های مغناطیسی دارند.

مولکول‌های مغناطیسی عیناً مانند مغناطیس‌های کوچک عمل می‌کنند. اگر چه آهن، نیکل و کبالت تنها اجسام مغناطیسی طبیعی هستند، ولی با به کارگیری روش‌های مخصوص می‌توان ترکیباتی ساخت و به آنها خاصیت آهن‌ربایی داد.

فیلم

فیلمی از امواج الکترومغناطیسی و ذرات مغناطیسی را ببینید.

خواص مغناطیسی اجسام



شکل ۴ـ فلز مغناطیس نشده

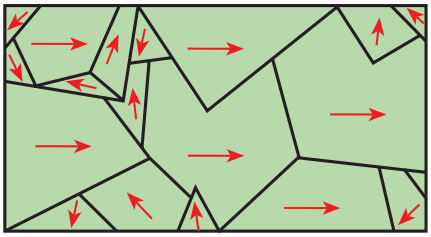
اجسام در طبیعت از نظر خواص مغناطیسی به دو دسته تقسیم می‌شوند: الف) اجسام مغناطیسی، ب) اجسام غیرمغناطیسی.

اجسام مغناطیسی: اجسامی که خواص آهن‌ربایی از خود نشان می‌دهند، دارای خاصیت مغناطیسی یا آهن‌ربایی هستند. از جمله این مواد آهن و آلیاژهای آهن هستند که به آنها مواد «**فرومغناطیسی**» می‌گویند. فرو در یونانی به معنی آهن است. اجسام مغناطیسی مولکول‌های مغناطیسی دارند. پس ظاهراً باید همیشه مانند مغناطیس عمل کنند ولی چنین نیست. این بدان علت است که درشرایط عادی، مولکول‌های مغناطیسی به طور پراکنده و نامرتب در جسم قرار دارند و در نتیجه، میدان‌های مغناطیسی مولکول‌ها یکدیگر را خنثی می‌کنند، بنابراین، فلز خاصیت مغناطیسی ندارد. در شکل ۴ مولکول‌های مغناطیسی یک فلز مغناطیس نشده را مشاهده می‌کنید.

اگر همه مولکول‌های مغناطیسی به‌طور هم‌جهت قرار بگیرند. میدان مغناطیسی آنها با یکدیگر جمع شده، در این صورت فلز دارای خاصیت مغناطیسی می‌شود.

اگر فقط بعضی از مولکول‌ها هم جهت باشند، میدان مغناطیسی ضعیفی تولید می‌شود. بنابراین، میزان مغناطیس

شدن یک جسم مغناطیسی را می‌توان کم یا زیاد کرد.
شکل ۵ مولکول‌های مغناطیسی منظم شده در یک فلز مغناطیس شده را نشان می‌دهد.

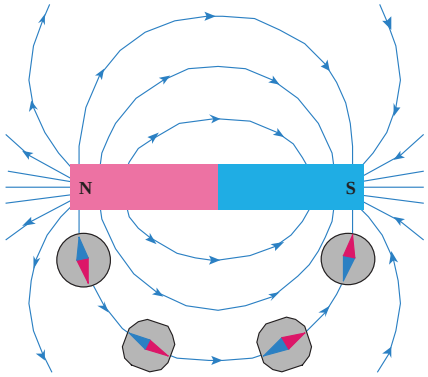


شکل ۵ـ فلز تقریباً مغناطیس شده

اجسام غیرمغناطیسی: برخی از اجسام تقریباً خاصیت مغناطیس ندارند، این اجسام را اجسام غیرمغناطیسی می‌نامند، مانند روی و چوب، اجسام غیرمغناطیس به دو گروه پارامغناطیس و دیامغناطیس تقسیم می‌شوند. هرگاه چند ماده غیرمغناطیسی را به یک آهن‌ربای بسیار قوی نزدیک کنیم. برخی از آنها به‌آرامی جذب و برخی دیگر به‌آرامی دفع می‌شوند. البته این جذب و دفع‌ها ممکن است آن‌قدر ضعیف و کند باشد که به چشم دیده نشود. موادی که فقط به مقدار خیلی جزئی جذب آهن‌ربا می‌شوند به مواد «**پارامغناطیس**[1]» موسوم‌اند، مانند چوب، اکسیژن، آلومینیوم و پلاتین. موادی که فقط به مقدار خیلی جزئی از آهن‌ربا دفع می‌شوند، مواد «**دیامغناطیس**[2]» نامیده می‌شوند: مانند روی، نمک، طلا و جیوه.

میدان مغناطیسی

با توجه به جذب و دفع قطب‌های مغناطیسی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که نیروهای خارج‌شده از قطب‌های مغناطیسی باعث این اثر می‌شوند. البته این رویداد فقط در قطب‌ها اتفاق نمی‌افتد. بلکه نیروی مغناطیسی، آهن‌ربا را در یک میدان در بر می‌گیرند. این پدیده را طبق شکل ۶ می‌توان هنگام حرکت قطب‌نما در اطراف یک آهن‌ربا مشاهده کرد.
در هر موقعیت اطراف آهن‌ربا یک انتهای عقربه قطب‌نما در جهت قطب مخالف آهن‌ربا قرار می‌گیرد.



شکل ۶ـ میدان مغناطیسی آهن‌ربا

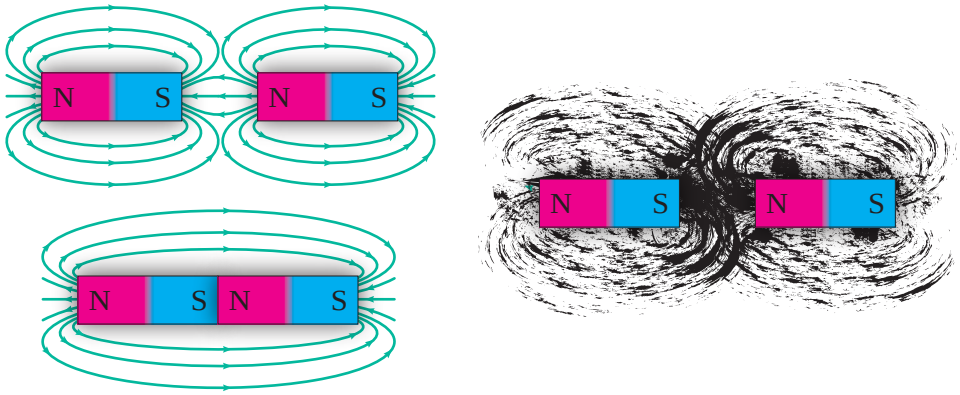
همچنین، با قرار دادن قطب‌نما در فاصله‌های دورتر از آهن‌ربا می‌توان مشاهده کرد که این میدان مغناطیسی دورتر از آهن‌ربا نیز وجود دارد. چنانچه قطب‌نما را به آرامی از آهن‌ربا دور کنیم، به نقطه‌ای خواهیم رسید که عقربه قطب‌نما دیگر تحت تأثیر میدان مغناطیسی آهن‌ربا نیست و دوباره به طرف قطب شمال زمین جذب می‌شود.
فضایی را که در آن آهن‌ربا بر اجسام مغناطیسی تأثیر می‌گذارد، میدان مغناطیسی می‌گویند.

۱- Para Magnetism ۲- Dia Magnetism

با پاشیدن براده آهن بر یک سطح صاف و قراردادن آهن‌ربا در زیر آن، براده‌های آهن به طور مرتب در طول خطوط نیرو قرار می‌گیرند و جهت‌گیری میدان مغناطیسی را نشان می‌دهند.
به این خطوط نیرو «**فلو**» نیز می‌گویند.

اثر متقابل میدان‌های مغناطیسی

هنگامی که دو مغناطیس در مجاورت هم قرار می‌گیرند، میدان‌های مغناطیس آنها بر یکدیگر اثر می‌کنند. اگر خطوط نیرو هر دو در یک جهت باشند، یکدیگر را جذب می‌کنند و به هم می‌رسند. به همین دلیل است که قطب‌های ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند. (شکل ۷)



شکل ۷ـ نیروهای جاذبه بین دو قطب غیرهمنام

اگرخطوط نیرو در جهت‌های مخالف باشند، نمی‌توانند با هم ترکیب شوند و چون نمی‌توانند یکدیگر را قطع کنند، نیروهای مخالف بر یکدیگر وارد می‌کنند، به همین دلیل است که قطب‌های هم‌نام یکدیگر را دفع می‌کنند. این اثر متقابل خطوط نیرو را به وسیله براده‌های آهن نیز می‌توان نشان داد.

رسم کنید

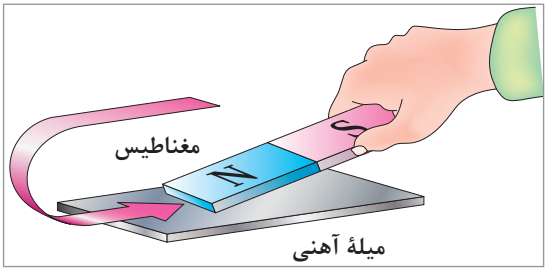
با توجه به شکل ۷ میدان مربوط به دو قطب هم نام را رسم کنید.

روش‌های به وجود آوردن خاصیت مغناطیسی (آهن‌ربای مصنوعی)

جسم آهنی (فرومغناطیسی) را می‌توان با منظم کردن مولکول‌های مغناطیسی‌اش، مغناطیس کرد، بهترین راه انجام این عمل، وارد کردن نیروی مغناطیسی است. این نیرو بر میدان مغناطیسی هرمولکول اثر کرده و همه آنها را در یک جهت منظم می‌کند. ساخت آهن‌ربای مصنوعی به دو روش امکان پذیر است:

۱ مالش مغناطیسی
۲ جریان الکتریکی

۱ـ مالش مغناطیسی: هنگامی که جسم مغناطیس شده به سطح یک آهن مغناطیس نشده طبق شکل ۸ مالش داده شود، میدان مغناطیسی مولکول‌های آهن را مرتب می‌کند و آهن مغناطیس می‌شود.

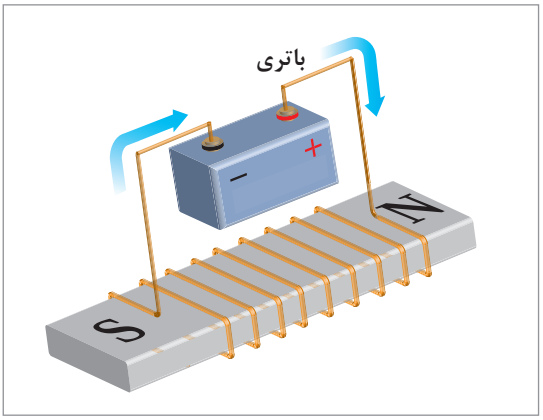


شکل ۸ـ مغناطیس کردن فلز در اثر مالش

فعالیت

مغناطیس شدن در اثر مالش را تجربه کنید.

۲ـ جریان الکتریکی: اگر سیمی را به دور یک قطعه آهن مغناطیس نشده بپیچیم و دو سر آن را به یک منبع ولتاژ DC وصل کنیم، جریان الکتریکی میدان مغناطیسی تولید می‌کند و باعث منظم شدن مولکول‌های مغناطیسی آهن می‌شود. شکل ۹ چگونگی تولید قطعه مغناطیسی به وسیله جریان الکتریکی DC را نمایش می‌دهد.



شکل ۹ـ مغناطیس موقت جریان الکتریکی

اگر یک جسم مغناطیس شده خاصیت مغناطیسی خود را برای مدت طولانی حفظ کند، به آن **مغناطیس دائمی** می‌گویند و اگر خاصیت مغناطیسی خود را به سرعت از دست بدهد، **مغناطیس موقتی** نام دارد. آهن سخت و برخی از انواع فولاد، مغناطیس‌های دائمی خوبی هستند. آهن نرم برای مغناطیس‌های موقتی به کاربرده می‌شود.

تجربه مغناطیس کردن اجسام با استفاده از جریان الکتریکی را در سال‌های قبل انجام داده‌اید. درصورت تمایل می‌توانید آن را تکرار کنید.

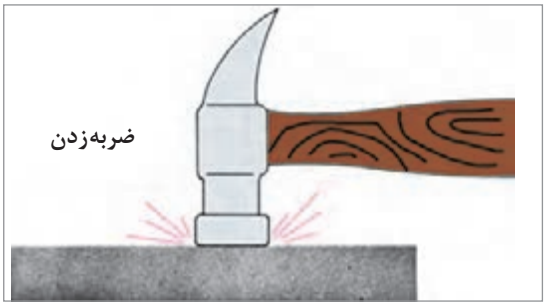
روش‌های از بین بردن خاصیت مغناطیسی آهن‌ربا

برای از بین بردن خاصیت مغناطیسی یک آهن‌ربا باید مولکول‌های مغناطیسی آن را دوباره به صورت نامرتب در بیاوریم تا میدان‌هایشان در خلاف جهت یکدیگر قرار گیرد. این عمل به سه روش انجام می‌گیرد:

۱ ضربه سخت

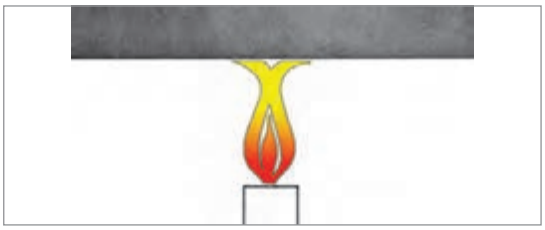
۲ گرما

۳ جریان الکتریکی متناوب



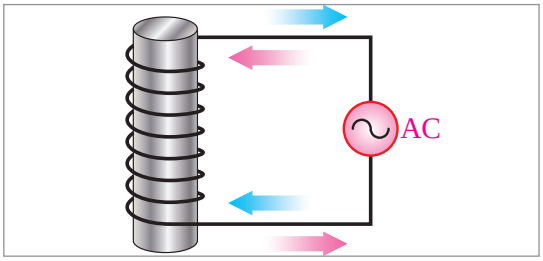
شکل ۱۰ـ خنثی کردن اثرمغناطیس آهن‌ربا با زدن ضربه

۱ـ ضربه سخت: اگر به یک آهن‌ربا ضربه سختی وارد کنیم، نیروی وارد شده مولکول‌ها را به شدّت تکان می‌دهد و باعث به هم خوردن نظم و ترتیب آنها می‌شود. گاهی اوقات لازم است ضربه را چند بار وارد کنیم (شکل ۱۰).



شکل ۱۱ـ خنثی کردن اثر مغناطیسی یک آهن‌ربا به وسیله گرما

۲ـ گرما: اگرآهن‌ربا را گرم کنیم، انرژی حرارتی باعث نوسان مولکول‌های مغناطیسی می‌شود و ترتیبشان را به هم می‌زند (شکل ۱۱).



شکل ۱۲ـ خنثی کردن اثرمغناطیسی توسط جریان متناوب (AC)

۳ـ جریان الکتریکی متناوب (AC): اگر مغناطیس را در میدان مغناطیسی قرار دهیم، جهت آن به سرعت تغییر می‌کند، نظم مولکول‌ها بهم می‌خورد، زیرا مولکول‌ها می‌خواهند از میدان پیروی کنند. میدان مغناطیسی متغیر را می‌توان به وسیله یک جریان متناوب تولید کرد. این مطلب را در آینده توضیح خواهیم داد (شکل ۱۲).

پژوهش

کاربرد مغناطیس‌زدایی درکجاست ؟

میدان الکترومغناطیسی[1]

در بحث میدان الکترومغناطیسی هرچند نیروی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به یکدیگر مربوط هستند. ولی کاملاً با هم تفاوت دارند. نیروهای مغناطیسی و نیروهای الکترواستاتیک تا هنگامی که حرکتی وجود نداشته باشد بریکدیگر بی‌اثرند، ولی درصورتی‌که میدان نیروی هر یک از آنها متحرک باشد، اثرات متقابل برهم می‌گذارند. چون الکترون کوچک‌ترین بخش هر اتم است.

۱- Electro magnetic field

برای تشریح رابطه بین الکتریسیته ومغناطیس نظریه‌ای به وجود آمده است که به آن نظریه الکترومغناطیس می‌گویند. به ترکیب دو میدان الکتریکی و مغناطیسی «میدان الکترومغناطیسی» می‌گویند که کاربرد گسترده‌ای در صنعت برق و الکترونیک دارد. امواجی که از آنتن پخش می‌شود، امواج الکترومغناطیس نام دارد.

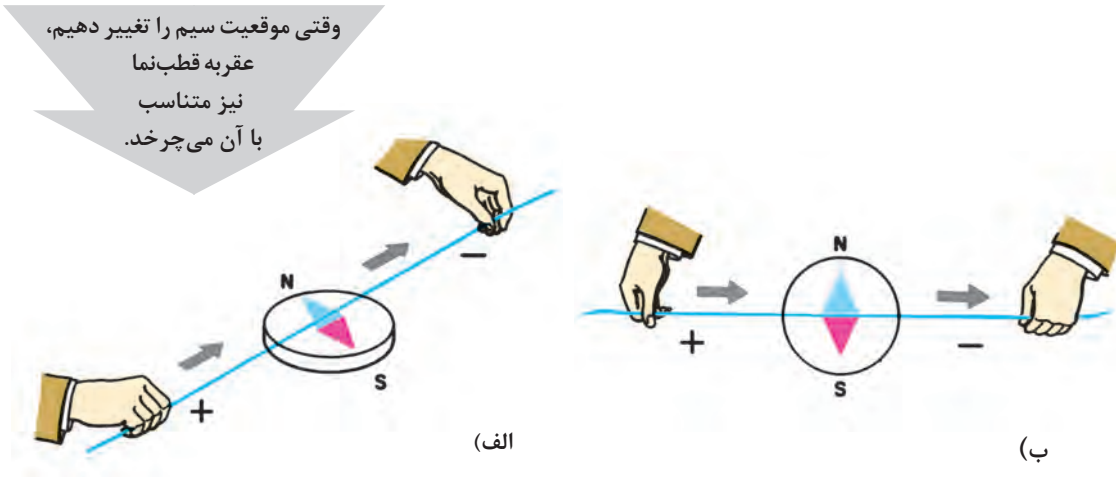
پژوهش

درباره کاربرد الکترومغناطیس در حوزه پزشکی جست‌وجو کنید و دستگاه‌های الکترومغناطیسی را معرفی کنید.

میدان مغناطیسی ناشی از سیم حامل جریان

هنگامی‌که با اعمال ولتاژی به دو سرسیم‌ها جریان الکتریکی درآن برقرار می‌شود، الکترون‌ها همسو می‌شوند و همه دریک جهت حرکت می‌کنند به طوری که میدان‌های مغناطیسی آنها با هم جمع می‌شوند. در سال ۱۸۱۹، **هانس کریستین ارستد**[1] کشف کرد که سیم حامل جریان در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کند که این میدان بر عقربه‌های قطب‌نما اثر می‌گذارد (شکل۱۳).

چون میدان مغناطیسی به دور یک الکترون حلقه‌ای را به وجود می‌آورد، میدان‌های مغناطیسی اطراف الکترون‌های جهت گرفته در یک سیم با یکدیگر تشکیل حلقه‌هایی به دور سیم می‌دهند. هریک از این حلقه‌ها را یک خط نیرو یا یک ماکسول می‌نامند. واحد بزرگ‌تر خط نیرو برابر با 10^8 خط نیرو است که یک وبر(wb) نامیده می‌شود.

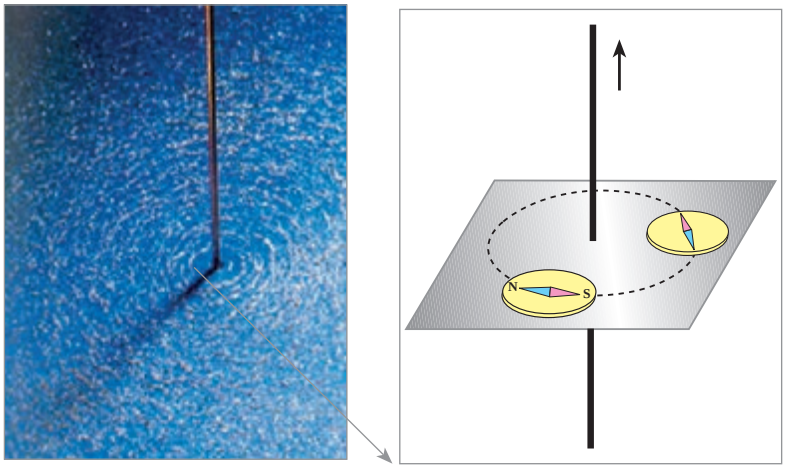


شکل ۱۳ــ میدان مغناطیسی ناشی از سیم حامل جریان

۱-Hans christian Oersted شیمی‌دان و فیزیک‌دان قرن ۱۸ و ۱۹ دانمارکی

اثر الکترومغناطیس بر یک سیم

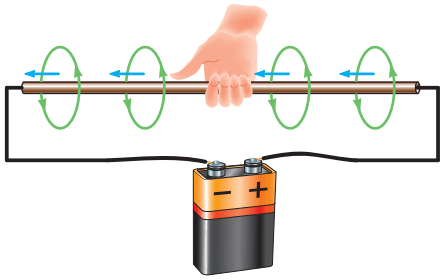
جهت میدان مغناطیسی همواره به جهت جریانی که از سیم می‌گذرد، بستگی دارد. برای تعیین جهت میدان مغناطیسی، می‌توان از قطب‌نما و **قانون دست راست** استفاده کرد. طبق شکل ۱۴ چنانچه قطب‌نما را در اطراف سیم حرکت دهیم، همیشه قطب N عقربه قطب‌نما جهت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.



برادهٔ آهن　　خطوط قوا

شکل ۱۴ــ تعیین جهت میدان مغناطیسی اطراف سیم با استفاده از قطب‌نما

برای تعیین جهت میدان مغناطیسی می‌توان از قانون دست راست نیز استفاده کرد. چنانچه طبق شکل ۱۵ انگشت‌های دست راست را به دور سیم بپیچیم، به طوری که انگشت شست در جهت جریان قرار بگیرد، بسته شدن بقیه انگشتان جهت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.



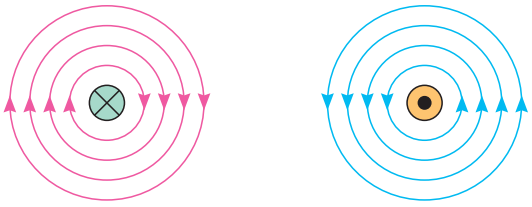
شکل ۱۵ــ تعیین جهت میدان مغناطیسی با استفاده از قانون دست راست

فکر کنید

جهت جریان به سمت داخل وخارج از سیم را چگونه می‌توان با جهت یک پیکان شبیه سازی کرد؟ بررسی کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

طبق شکل ۱۶ از این پس برای تعیین جهت میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان، مقطع سیم را با دایره نشان می‌دهیم. در صورتی که جهت جریان در مقطع سیم از طرف ناظر به طرف صفحه کاغذ باشد، با علامت ⊗ و اگر از طرف مقطع سیم به طرف ناظر باشد، با علامت ⊙ نمایش داده می‌شود. طبق قانون

دست راست جهت میدان در سیمی با علامت ⊗ درجهت موافق حرکت عقربه ساعت و در سیمی با علامت ⊙ در جهت مخالف حرکت عقربه ساعت خواهد بود.



جریان سیم به سمت خارج　　جریان سیم به سمت داخل

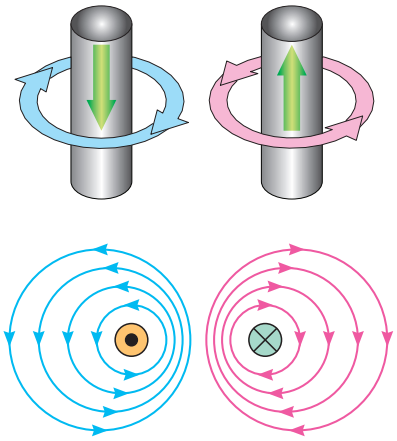
شکل ۱۶ــ جهت میدان در سیم

چگالی (تراکم) خطوط نیرو

چنانچه جریانی که از سیم می‌گذرد، بیشتر شود، میدان مغناطیسی حاصل از آن قوی‌تر خواهد شد، مانند خطوط میدان در آهن‌ربا، این خطوط نیرو در نزدیکی سیم نیز به هم نزدیک‌تر و قوی‌تر و هرچه از مرکز سیم دورتر شویم، تراکم خطوط میدان ضعیف‌تر می‌شود. خطوط میدان مغناطیسی در هر نقطه از اطراف سیم حامل جریان را، چگالی میدان مغناطیسی می‌نامند.

اثر متقابل میدان‌های مغناطیسی بر یکدیگر

اگر دوسیم را که جریان‌هایی در جهت‌های عکس یکدیگر از آنها می‌گذرند به هم نزدیک کنیم، میدان‌های مغناطیسی آنها یکدیگر را دفع می‌کنند، زیرا جهت خطوط نیرویشان عکس یکدیگر است و نمی‌توانند یکدیگر را قطع کنند. بنابراین میدان‌ها باعث دور شدن سیم‌ها از هم می‌شوند (شکل ۱۷).

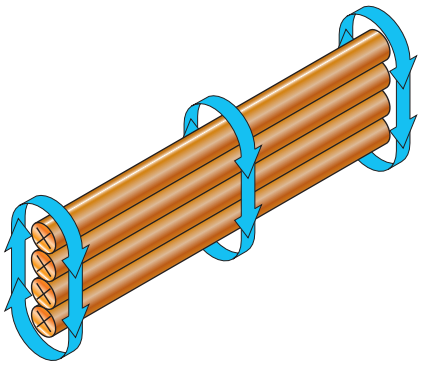


شکل ۱۷ــ نیروی دافعه بین دو سیم جریان‌دار غیرهم جهت

فکر کنید

درصورتی‌که دو سیم را که جریان‌های هم‌جهت دارند به یکدیگر نزدیک کنیم، چه تأثیری روی سیم می‌گذارد؟

چنانچه سه یا چهار سیم را طوری کنار هم قرار دهیم که جهت جریان در همه آنها یکسان باشد،میدان مغناطیسی قوی‌تر خواهد شد (شکل۱۸).

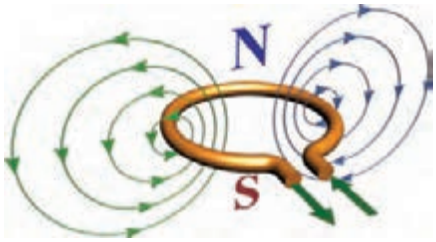


شکل ۱۸ــ قوی‌ترکردن میدان مغناطیسی از طریق افزایش سیم‌ها

اثر الکترومغناطیسی درسیم پیچ (پیچه)

اثر الکترومغناطیسی در یک حلقه

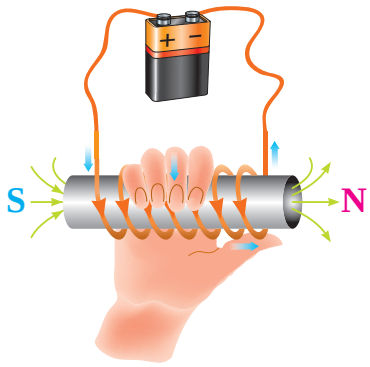
اگر سیمی را به‌صورت حلقه درآوریم و از آن جریان الکتریکی عبور دهیم، تمام خطوط نیروی مغناطیسی اطراف سیم طوری مرتب می‌شود که خطوط نیرو در مرکز حلقه تجمع و درخارج حلقه از هم دور می‌شود. به این ترتیب یک مغناطیس دائمی شکل می‌گیرد. دراین مغناطیس مصنوعی الکتریکی قطب شمال در طرفی از حلقه قرار دارد که خطوط نیرو از آن خارج می‌شوند و قطب جنوب در طرفی از حلقه قرار دارد که خطوط نیرو به آن وارد می‌شوند. توجه داشته باشید که چگالی میدان مغناطیسی در مرکز حلقه بیشتر است (شکل ۱۹).



شکل ۱۹ــ میدان مغناطیسی حاصل در یک حلقه

اثر الکترومغناطیس در یک بوبین

اگر سیمی در یک جهت به صورت حلقوی پیچیده شود، یک بوبین یا سلف ساخته می‌شود. اگر از این بوبین جریانی عبور کند، میدان‌های مغناطیسی حلقه‌ها به یکدیگر اضافه می‌شوند و میدان مغناطیس بوبین قوی‌تر



شکل ۲۰ــ تعیین دو قطب یک بوبین با قانون دست راست

می‌شود. هرچه تعداد حلقه‌ها بیشتر باشد و حلقه‌ها به صورت فشرده کنار هم پیچیده شوند یا در داخل بوبین هسته قرار گیرد، میدان‌های مغناطیسی بیشتری به یکدیگر اضافه می‌شوند و در نتیجه، میدان مغناطیسی بوبین قوی‌تر خواهد بود. برای تعیین قطب‌های یک بوبین از قانون دست راست استفاده می‌شود. طبق شکل ۲۰ چنانچه انگشت‌هایتان را در جهت جریان و حلقه‌های بوبین به دور بوبین حلقه کنید انگشت شست در جهت قطب N قرار می‌گیرد.

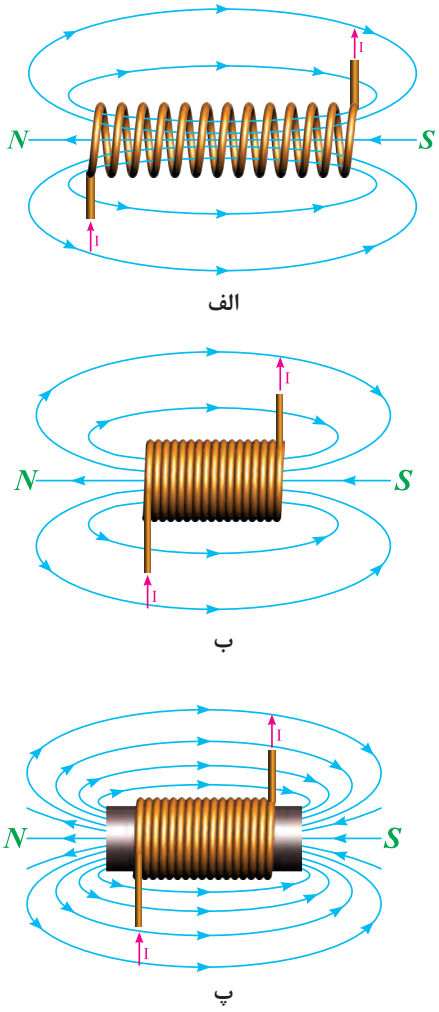
خطوط نیرو در مرکز بوبین به چهار عامل زیر بستگی دارد: (شکل ۲۱)

۱ تعداد حلقه‌ها

۲ جریان عبوری از بوبین

۳ فاصله حلقه‌ها

۴ جنس هسته



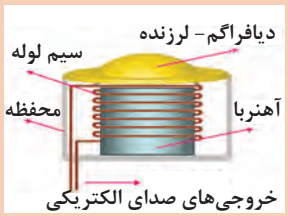
شکل ۲۱ـ اثر هسته آهنی بر چگالی میدان

کاربرد مغناطیس

مصرف‌کننده‌های الکتریکی از قبیل لامپ روشنایی و بخاری برقی توسط عبور جریان الکتریکی فعال می‌شوند و کار مفید انجام می‌دهند. اما مصرف‌کننده‌های دیگری مانند رله‌های مغناطیسی، بلندگوها، موتورها و مولدها وجود دارند که عبور جریان از آنها باعث خاصیت مغناطیسی می‌شود و نیروی حاصل از مغناطیس، می‌تواند کاری انجام دهد.

پژوهش

در مورد نقش سیم پیچ به‌کار رفته در تصاویر شکل ۲۲ پژوهش کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.



الف



ب



ج



د

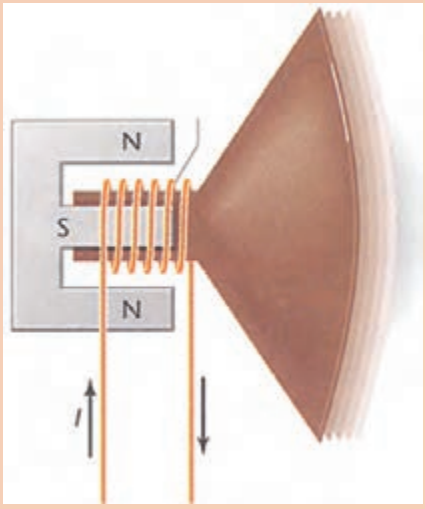
شکل ۲۲

فیلم

فیلمی از ژنراتورها و موتورها را مشاهده کنید.

پژوهش

درمورد ساختمان بلندگو و طرز کار آن تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس گزارش دهید (شکل ۲۳).



شکل ۲۳ـ ساختمان بلندگو

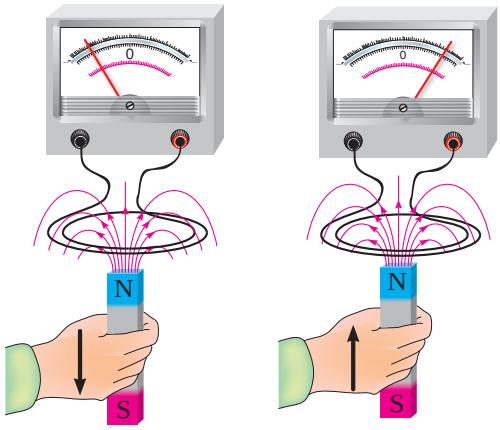
پاسخ دهید: آیا می‌توانیم با ثابت نگه داشتن سیم پیچ و حرکت میدان، ولتاژ الکتریکی تولید کنیم؟ نتایج فعالیت را به کلاس ارائه دهید.

الگوی پرسش

۱ ذرات با مولکول‌های مغناطیسی را تعریف کنید.
۲ میدان الکترومغناطیسی از ترکیب میدان‌های ..... و ..... به‌وجود می‌آید.
۳ خطوط فلو میدان را تعریف کنید.
۴ تفاوت بین مغناطیس‌های دائمی و موقتی چیست؟
۵ جهت میدان مغناطیسی اطراف یک هادی حامل جریان با کدام قانون تعیین می‌شود؟
۶ بوبین یا سلونوئید چه نوع قطعه‌ای است و چه کاربردی دارد؟
۷ قانون دست راست را برای سلونوئید تعریف کنید.
۸ چرا در الکترومغناطیس‌ها هسته به کار می‌برند؟ شرح دهید.

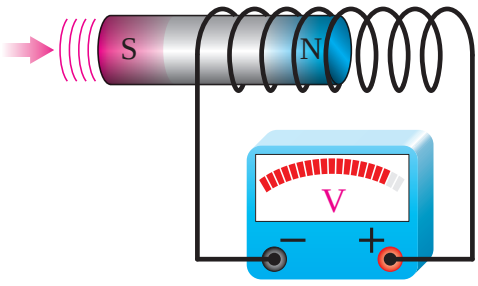
نیروی محرکه القایی

وجود هسته در داخل سیم‌پیچ باعث می‌شود تا فوران مغناطیسی پراکنده نشده و خاصیت سلفی افزایش یابد. در سال ۱۸۳۱ میلادی مایکل فارادی دانشمند انگلیسی با انجام دادن آزمایش‌هایی مشابه شکل ۲۴ دریافت که با دور و نزدیک کردن آهن‌ربا به سیم‌پیچ، عقربه گالوانمتر (میکرو آمپرسنج) منحرف شده و عبور جریان را نشان می‌دهد مانند وقتی که در یک مدار مولد وجود داشته باشد.



شکل ۲۴ـ جریان القایی در جهتی است که با حرکت آهن‌ربا به‌طرف پیچه مخالفت می‌کند.

درواقع با حرکت آهن‌ربا نسبت به سیم‌پیچ یک نیروی محرکه‌ای در دو سر بوبین القا می‌شود این نیروی محرکه سبب جاری شدن جریان و حرکت میکروآمپرسنج می‌شود.
به همین خاطر این پدیده را القای الکترومغناطیسی و جریان تولید شده را جریان الکتریکی القایی می‌نامند.



شکل ۲۵

فارادی نتیجه تحقیقات خود را در قالب رابطه زیر چنین نوشت:

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

N ـ تعداد دور بوبین

$\Delta\phi$ ـ تغییرات فوران

Δt ـ تغییرات زمان

E ـ نیروی محرکه القایی (emf)

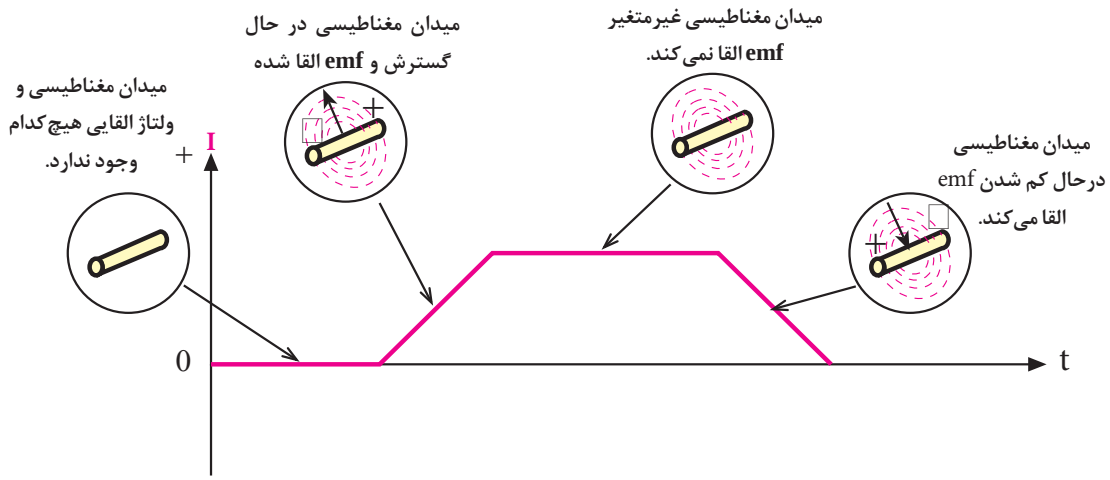
از نتایج آزمایش‌های فارادی چنین می‌توان نتیجه گرفت با افزایش سرعت حرکت آهن‌ربا در داخل بوبین تغییرات فوران زیادتری پدید می‌آید این امر سبب افزایش نیروی محرکه القایی و جریان القایی می‌شود (شکل۲۵).

اگر سیمی را در مسیر جریانی مشابه شکل ۲۶ قرار دهیم با درنظر گرفتن نتایج آزمایش فارادی نتایج زیر به‌دست می‌آید.

زمانی که میدان مغناطیسی در حال ایجاد شدن است، خطوط قوای مغناطیسی از مرکز هادی به طرف خارج گسترش می‌یابند. میدان در حال گسترش به وسیله هادی قطع می‌شود و یک نیروی محرکه الکتریکی (emf) در هادی تولید می‌گردد. با کم شدن میدان و قطع خطوط قوا به وسیله هادی، باز هم یک نیروی محرکه الکتریکی در هادی القا می‌شود، بنابراین، افزایش یا کاهش جریان در هادی سبب گسترش یا فروکش کردن میدان مغناطیسی در اطراف آن می‌شود و نیروی محرکه‌ای متناسب با تغییرات میدان در هادی القا می‌گردد.

توجه داشته باشید که اگر جریان عبوری از هادی ثابت باشد، میدان مغناطیسی ایجاد شده نیز ثابت خواهد بود، لذا نیروی محرکه‌ای در هادی القا نمی‌شود. شکل ۲۶ القای نیروی محرکه را در زمان تغییر نشان می‌دهد.

به خاصیتی از سیم‌پیچ که به‌ازای تغییر جریان تغییر فوران در آن حاصل شده و باعث القا یک نیروی محرکه مغناطیسی جدید در سیم‌پیچ می‌شود «خاصیت خودالقایی» و به مقدار آن «ضریب خودالقایی» یا «اندوکتانس ـ L» گفته می‌شود. واحد L برحسب هانری بیان می‌شود.



شکل ۲۶ـ نمایش تولید emf

جهت نیروی محرکه خودالقا

شاید تصور شود که قطب‌ها یا جهت نیروی محرکه القائی همیشه باید در جهت جریان به وجود آورنده آن باشد. این تصور درست نیست. می‌دانیم که افزایش جریان هادی از صفر تا مقدار ماکزیمم، سبب افزایش میدان مغناطیسی و نیروی محرکه القائی می‌شود.

اگر نیروی محرکه القاشده در همان جهت جریان باشد، شدّت جریان را افزایش می‌دهد. افزایش جریان، نیروی محرکه بیشتری را سبب می‌شود و افزایش نیروی محرکه نیز به نوبه خود افزایش جریان را به دنبال دارد. این دوره تناوب تکرار می‌شود تا جایی که قطعه‌ای را در مدار می‌سوزاند. اما می‌دانیم که چنین اتفاقی نمی‌افتد، یعنی جهت نیروی محرکه القائی همیشه طوری است که اثر آن مخالف با تغییر جهت جریان به وجود آورنده آن است.

قانون لنز

در سال ۱۸۳۴ یک فیزیک‌دان آلمانی به نام لنز در ادامه تحقیقات و آزمایش‌های فارادی قانونی را به جهانیان ارائه داد که بیانگر جهت نیروی محرکه القائی در یک هادی بود و ما اکنون آن را به عنوان قانون لنز می‌شناسیم.

براساس قانون لنز، هر تغییر در جریان عبوری از یک هادی باعث ایجاد نیروی محرکه خودالقائی می‌شود که اثر آن با جهت تغییرات مخالفت می‌کند، به‌عبارت‌دیگر، هنگامی‌که جریان کاهش می‌یابد، نیروی محرکه القائی در جهتی است که با کاهش جریان مخالفت می‌کند و هنگامی که جریان افزایش می‌یابد، باز جهت نیروی محرکه خود القائی طوری است که با افزایش جریان مخالفت می‌کند.

لنز نتیجه تحقیقات خود در مورد نیروی محرکه القایی را به‌صورتی دیگر بیان کرد.

وی مقدار نیروی محرکه القایی را تحت‌تأثیر دو عامل تغییرات جریان نسبت به زمان و ضریبی به‌نام خودالقا(L) دانست و برای مخالفت این نیروی محرکه القایی از علامت منفی (-) در کنار رابطه زیر استفاده کرد.

$$Cemf = -L\frac{\Delta I'}{\Delta t}$$

cemf ـ نیروی محرکه القایی (نیروی ضدمحرکه)

L ـ ضریب خودالقایی

ΔI ـ تغییرات جریان

Δt ـ تغییرات زمان

فیلم ۱

فیلمی از خودالقایی و قانون لنز را ببینید.

از آنجا که عمل نیروی محرکه القائی مخالف با ولتاژ (جریان) به‌وجود آورنده خود است. آن را نیروی ضدمحرکه القائی می‌نامند و با Cemf نمایش می‌دهند و واحد آن برحسب ولت بیان می‌شود.

۱- Δt و ΔI که دلتای آی و دلتای تی تلفظ می‌شود، همان تغییرات شدت جریان و تغییرات زمان است.

اندوکتانس یا ضریب خودالقا

اندوکتانس در حقیقت یکی از خصوصیات فیزیکی یک هادی یا سیم‌پیچ است، اما اغلب آن را بر اساس تأثیری که بر عبور جریان دارد، تعریف می‌کنند. بنابراین، اندوکتانس عبارت از خاصیت هر هادی در مقابل هر تغییر در شدّت جریان عبوری از آن است. اندوکتانس را به افتخار هاینریش لنز دانشمند آلمانی با L نشان می‌دهند. واحد اندوکتانس هانری[1] است که از نام دانشمند کاشف آن گرفته شده است. اگر در یک سیم‌پیچ در اثر تغییر جریان یک آمپر در ثانیه نیروی ضدمحرکه‌ای برابر با یک ولت ایجاد شود، اندوکتانس آن یک هانری است. واحدهای کوچک‌تر هانری، میلی‌هانری ($10^{-3}H$) و میکرو هانری ($10^{-6}H$) است. علامت اختصاری سلف (خودالقا) مطابق شکل ۲۷ است.

L



شکل ۲۷ـ علامت اختصاری سلف

مثال: در یک بوبین اگر شدّت جریان در یک ثانیه از ۵۰۰ میلی‌آمپر به ۱۰۰ میلی‌آمپر برسد و نیروی ضدمحرکه‌ای مساوی یک ولت در آن تولید کند، مقدار ضریب خودالقاء (اندوکتانس) بوبین را به دست آورید.

راه حل:

$$Cemf = -L\frac{\Delta i}{\Delta t} = -L\frac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1}$$

$$Cemf = -L\frac{(0/1 - 0/5)A}{1sec}$$

$$L = -\frac{Cemf}{\frac{\Delta I}{\Delta t}} = -\frac{1}{-0/4} = 2/5[H]$$

عوامل مؤثّر در ضریب خودالقا یا (اندوکتانس)

عوامل مؤثّر در ضریب خودالقا یا اندوکتانس یک سلف را به دو دسته تقسیم می‌کنیم:

الف) جنس هسته

ب) عوامل فیزیکی

الف) جنس هسته: همان طور که می‌دانیم، سلف از یک سیم‌پیچ درست شده است و ماده‌ای که سیم به دور آن پیچیده می‌شود، هسته نام دارد.

هسته‌ها ممکن است از مواد مغناطیسی یا غیرمغناطیسی باشند. هسته‌های با مواد مغناطیسی، خطوط قوای مغناطیسی ایجاد شده توسط سیم‌پیچ را به راحتی از خود عبور می دهند، یعنی قابلیت نفوذپذیری (ضریب نفوذ) آنها زیاد است. این مواد را معمولاً مواد فرومغناطیسی می‌نامند.

ضریب نفوذ هسته را با حرف μ (مو) مشخص می‌کنند. مقدار ضریب نفوذ مغناطیسی هسته نشان‌دهنده میزان نفوذپذیری میدان مغناطیسی درهسته است.

۱ـ ژوزف هانری نام فیزیک‌دان آمریکایی است که همراه با مایکل فارادی خاصیت القائی را کشف کرده است.

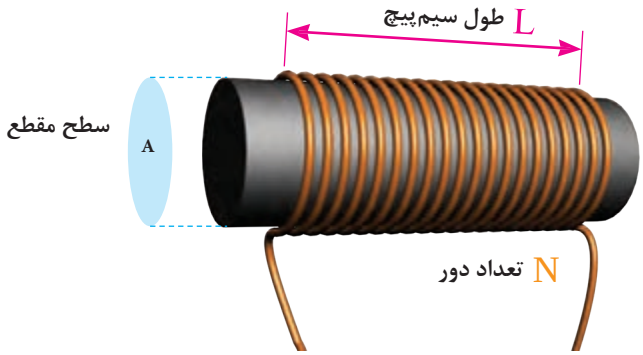
در مبحث مغناطیس معمولاً از ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی (μ_r) استفاده می‌شود که مقدار آن از طریق جدول یا منحنی به‌دست می‌آید. با قرار دادن مقدار آن در رابطه زیر می‌توان مقدار ضریب نفوذ مغناطیسی (μ) جنس هسته موردنظر را به‌دست آورد.

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \Rightarrow \mu = \mu_r \mu_0$$

μ_0 ضریب نفوذپذیری مغناطیسی هوا (با خلأ) بوده که مقدار آن برابر $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{H}{m}$ است و μ_r برای مواد فرومغناطیسی بزرگ‌تر از ۱۰۰ و برای مواد غیرمغناطیسی حدود ۱ است.

ب) عوامل فیزیکی: همان‌گونه که در شکل ۲۸ نشان داده شده است، پارامترهای زیر، بر اندوکتانس سلف مؤثّراند.

۱ تعداد دور سیم‌پیچ
۲ طول سیم‌پیچ
۳ سطح مقطع هسته



شکل ۲۸ـ پارامترهای مهم در یک سلف

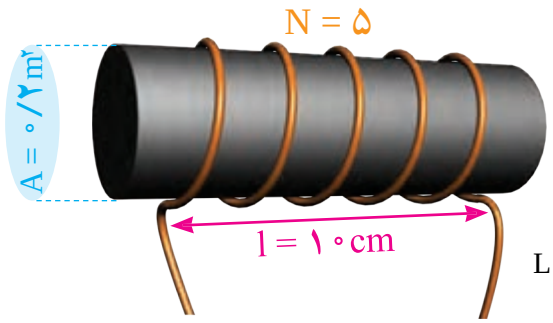
اندوکتانس با توجه به عوامل مؤثّر در آن به‌صورت زیر نوشته می‌شود.

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

این رابطه در حالتی صادق است که L از قطر هسته بزرگ‌تر باشد.

L اندوکتانس بر حسب هانری، μ ضریب نفوذ هسته برحسب هانری برمتر، A سطح مقطع هسته برحسب مترمربع و l طول سیم‌پیچ برحسب متر است.

مثال: با توجه به شکل ۲۹ مقدار اندوکتانس بوبین چقدر است؟ هسته از جنس هوا است.



شکل ۲۹ـ بوبین مثال ۲

$$L = \frac{\mu_0 . A . N^2}{l} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 0/2 \times 5^2}{10 \times 10^{-2}} = 62/8 [\mu H]$$

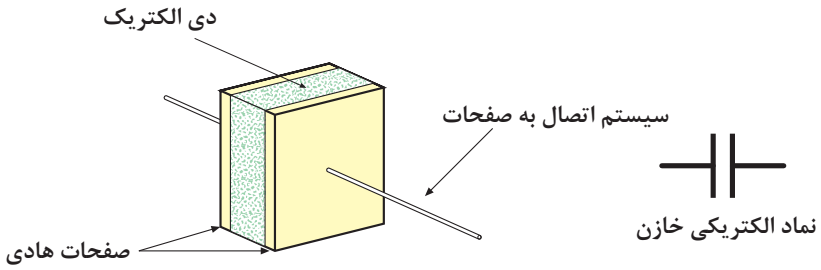
کار گروهی

در مثال ۲ اگر تعداد دور سیم به ۱۰۰ دور افزایش یابد، ضریب خودالقاء چند میلی‌هانری می‌شود و چند برابر ضریب خودالقاء به دست آمده در مثال قبل است؟ آنها را با هم مقایسه کنید و نتیجه را به بحث بگذارید.

خازن

خازن قطعه‌ای الکتریکی است که در مدارهای الکتریکی اثر خازنی ایجاد می‌کند. اثر خازنی خاصیتی است که سبب می‌شود مقداری انرژی الکتریکی در یک میدان الکترواستاتیک ذخیره شود. به تعبیر دیگر، خازن‌ها عناصری هستند که می‌توانند مقداری الکتریسیته را به صورت یک میدان الکترواستاتیک در خود ذخیره کنند. همان‌گونه که یک مخزن آب برای ذخیره کردن مقداری آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. خازن‌ها به اشکال گوناگون ساخته می‌شوند و متداول‌ترین آنها خازن‌های مسطح هستند. این نوع خازن‌ها از دو صفحه هادی که بین آنها عایق (دی‌الکتریک) قرار دارد، تشکیل می‌شوند.

شکل ۳۰ طرح ساده یک خازن مسطح و نماد الکتریکی آن را نشان می‌دهد. صفحات هادی نسبتاً بزرگ‌اند و در فاصله بسیار نزدیک به هم قرار می‌گیرند. دی‌الکتریک انواع مختلفی دارد و با ضریب مخصوصی که نسبت به هوا سنجیده می‌شود، معرفی می‌گردد. این ضریب را ضریب دی‌الکتریک می‌گویند و آن را با حرف ε (اپسیلون) نمایش می‌دهند.



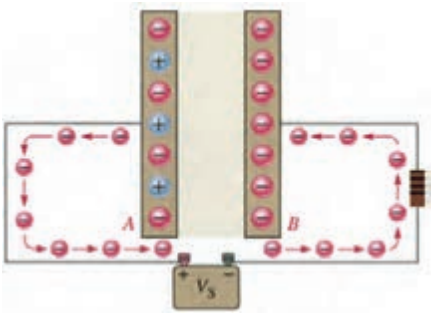
شکل ۳۰ـ طرح ساده یک خازن مسطح و نماد الکتریکی

ظرفیت خازن

ظرفیت یک خازن،که آن را با حرف C نمایش می‌دهند، نشان‌دهنده میزان توانایی ذخیره کردن شارژ (بار) الکتریکی است. بنا به تعریف، ظرفیت خازن برابر است با مقدار بار الکتریکی که روی یکی از صفحات خازن جمع شود تا پتانسیل آن نسبت به صفحه دیگر به اندازه یک ولت افزایش یابد. به عبارت دیگر، خارج قسمت بار الکتریکی (Q) ذخیره شده روی هر یک از صفحات خازن بر اختلاف پتانسیل (V) میان دو صفحه را ظرفیت آن خازن گویند.

هرگاه صفحات یک خازن به ولتاژی اتصال داده شود بار الکتریکی در صفحات خازن ذخیره می‌شود. این شرایط

تا زمانی که خازن خالی نشود باقی می‌ماند. به همین دلیل از خازن در مدارهای الکتریکی به منظور ذخیره انرژی الکتریکی استفاده می‌شود (شکل ۳۱).

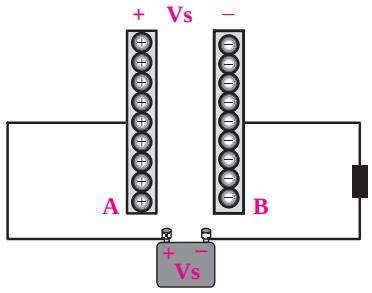


شکل ۳۱

ذخیره انرژی الکتریکی به این معنی است که پس از قطع منبع ولتاژ بارهای الکتریکی همچنان باقی بمانند.

لذا می‌توان گفت که میزان ذخیره شدن شارژ الکتریکی به ظرفیت خازن‌ها بستگی دارد. در یک ولتاژ برابر خازنی که ظرفیت کمتری دارد، بار کمتر و خازنی که ظرفیت بیشتری دارد، بار بیشتری را در خود ذخیره می‌کند. واحد ظرفیت فاراد است که از نام مایکل فارادی گرفته شده است.

تعریف فاراد عبارت است از نسبت یک کولن[1] بار ذخیره شده در هر یک از صفحات خازنی که به اختلاف پتانسیل یک ولت اتصال داده شده باشد (شکل ۳۲). با توجه به تعریف ارائه شده ظرفیت خازن از رابطه زیر قابل محاسبه است.



شکل ۳۲

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

C ظرفیت خازن بر حسب فاراد (F)، Q بار یک صفحه برحسب کولن (C) و V ولتاژ دو سرخازن است. فاراد واحد بزرگی است و در کارهای عملی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. در عمل از واحدهای کوچک‌تری مثل میلی‌فاراد (mF)، میکروفاراد (μF)، نانو فاراد (nF) و پیکوفاراد (PF) استفاده می‌کنند.

مثال۱: یک خازن در اثر اعمال ۲۰ ولت به دوسر آن باری معادل ۸۰کولن را ذخیره می‌کند. ظرفیت خازن چقدر است؟

راه‌حل:

$$C = \frac{Q}{V} \Rightarrow C = \frac{۸۰(C)}{۲۰(V)} = ۴[F]$$

تمرین: خازنی با ظرفیت ۴۰ μF را به ولتاژ ۵۰ ولت اتصال می‌دهیم، مقدار بار ذخیره شده چقدر است؟

مثال۲: به دو سر خازن ۱۰μF چه ولتاژی بدهیم تا باری معادل ۱۰μC در آن ذخیره شود؟

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

$$V = \frac{۱۰\times۱۰^{-۶}(C)}{۱۰\times۱۰^{-۶}(F)} = ۱[V]$$

۱ـ کولن (coulomb) واحد بار الکتریکی است و مقدار آن بار $۶/۲۴\times۱۰^{۱۸}$ الکترون می‌باشد.

عوامل مؤثّر بر ظرفیت خازن

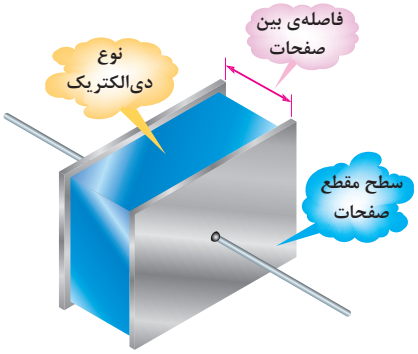
مهم‌ترین عوامل مؤثّر بر ظرفیت خازن عبارت‌اند از:

۱ مساحت صفحات

۲ فاصله بین صفحات

۳ دی‌الکتریک به کار رفته بین صفحات

ظرفیت یک خازن فقط[1] به ابعاد و نوع عایق آن بستگی دارد، نه به مقدار ولتاژ و بار ذخیره شده درآن. شکل ۳۳ عوامل مؤثّر در ظرفیت را نشان می‌دهد.



شکل ۳۳ـ عوامل مؤثّر بر ظرفیت خازن

ظرفیت خازن نسبت مستقیم با سطح مشترک خازن و نسبت معکوس با فاصله صفحات دارد. هم‌چنین جنس دی‌الکتریک در میزان ظرفیت مؤثّر است. مقدار ظرفیت خازن از رابطه: $C=\frac{\varepsilon_{\circ}\varepsilon_{r}A}{d}$ قابل محاسبه است.

در این رابطه A سطح مشترک صفحات خازن و d فاصله صفحات از هم یا ضخامت دی‌الکتریک است. ε_r ضریب دی‌الکتریک خازن یا قابلیت تحمل دی‌الکتریک (خاصیت عایقی) نسبت به هوا است. ضریب دی‌الکتریک عدد ثابتی است که نشان می‌دهد خاصیت دی‌الکتریک هر ماده چند برابر خاصیت دی‌الکتریک هوا است. در رابطه ظرفیت خازن، A برحسب مترمربع و d برحسب متر و $\varepsilon_{\circ}$ برحسب فاراد برمتر است(F/m).

$\varepsilon_{\circ}=۸/۸۵\times۱۰^{-۱۲}\ F/m$

مثال: ظرفیت خازنی را که مساحت آن ۰/۰۵ مترمربع و فاصلهٔ بین صفحات آن ۰/۱ سانتی‌متر و نوع دی‌الکتریک به‌کار رفته در آن میکا باشد به‌دست آورید. (توضیح: ضریب دی‌الکتریک نسبی میکا برابر ۵ است)

حل:

$\varepsilon_r = ۵$

$\varepsilon_{\circ} = ۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲}\ (\frac{F}{m})$

$\varepsilon = \varepsilon_{\circ}\varepsilon_r = ۸/۸۵\times۱۰^{-۱۲}\times۵ = ۴۴/۲۵\times۱۰^{-۱۲}$

$A = ۰/۰۵m^۲ = ۵\times۱۰^{-۲}m^۲$

$d = ۰/۱cm = ۰/۱\times۱۰^{-۲}m = ۱\times۱۰^{-۳}m$

$C = \varepsilon\frac{A}{d} = ۴۴/۲۵\times۱۰^{-۱۲}\times\frac{۵\times۱۰^{-۲}}{۱\times۱۰^{-۳}}$

$C = ۲۲۱/۲۵\times۱۰^{-۱۱} = ۲۲۱/۲۵\times۱۰^{-۱۱}\times۱۰^{۶}$

$= ۲۲۱/۲۵\times۱۰^{-۵}[\mu f]$

پرسش

ظرفیت خازن برحسب nf و pf چقدر است؟

۱ـ فرکانس ولتاژ دو سر خازن، درجه حرارت و مدت زمانی که خازن مورد استفاده قرار می‌گیرد از عوامل دیگری است که بر ظرفیت خازن تأثیر ناچیزی می‌گذارند، به طوری که می‌توان در بعضی مواقع از آنها صرف نظر کرد.

تمرین: ظرفیت خازنی با سطح مقطع ۰/۰۲مترمربع و ضخامت دی‌الکتریک ۰/۱سانتی‌متر و ε_r (ضریب دی‌الکتریک) برابر ۴ را محاسبه کنید.

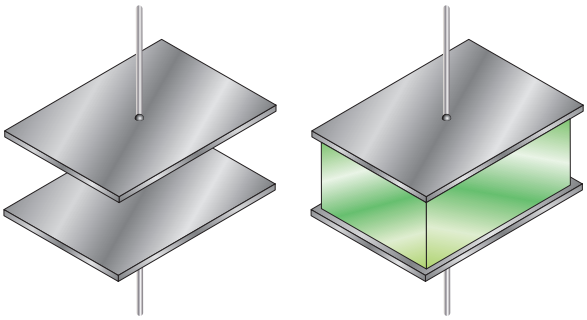
همان‌طور که ذکر شد ماده عایق مورد استفاده بین صفحات خازن را دی‌الکتریک گویند. دی‌الکتریک به کار رفته درخازن‌ها می‌تواند هوا، خلأ، کاغذ، شیشه ، میکا و ... باشد.

بعضی از دی‌الکتریک‌ها به علت اینکه ظرفیت خازنی بزرگی تولید می‌کنند، دی‌الکتریک‌های خوبی هستند. در حالی که برخی دیگر ظرفیت کوچکی تولید می‌کنند و در نتیجه، دی‌الکتریک‌های ضعیفی هستند.

تفاوت بین دی‌الکتریک‌های خوب و ضعیف، از چگونگی تأثیر نیروی الکترواستاتیکی بر مولکول‌های دی‌الکتریک مشخص می‌شود.

شکل ۳۴ تأثیر دی‌الکتریک بر ظرفیت خازن را نشان می‌دهد.

مقدار ضرایب دی‌الکتریک را در جداول خاص مشخص می‌کنند.



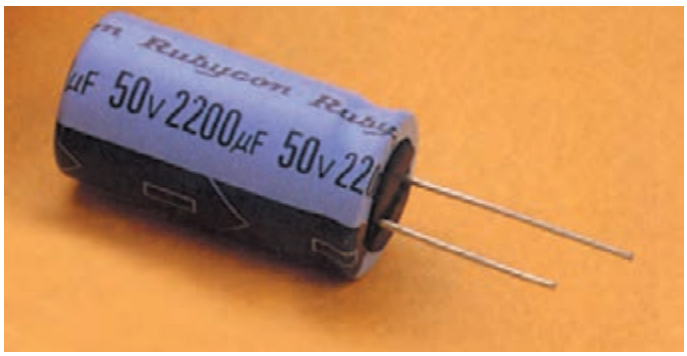
شکل ۳۴ــ ظرفیت خازن سمت راست، ۵ برابر ظرفیت خازن سمت چپ است.

پژوهش

با مراجعه به فضای مجازی انواع جداول مربوط به ضریب دی‌الکتریک خازن را بیابید و درباره آن بحث کنید و نتایج را به کلاس ارائه دهید.

از جمله مشخصه‌های دیگر خازن ولتاژ کار آن است که همراه با ظرفیت روی بدنه خازن نوشته می‌شود و حتماً باید به آن توجه داشت.

ولتاژ کار خازن حداکثر ولتاژ DC است که خازن می‌تواند در آن ولتاژ، کار عادی خود را انجام دهد، مثلاً خازن شکل ۳۵ که روی آن ۲۲۰۰μF/۵۰V نوشته شده است، می‌تواند تا ۵۰ ولت DC را تحمل کند و به کار خود ادامه دهد.

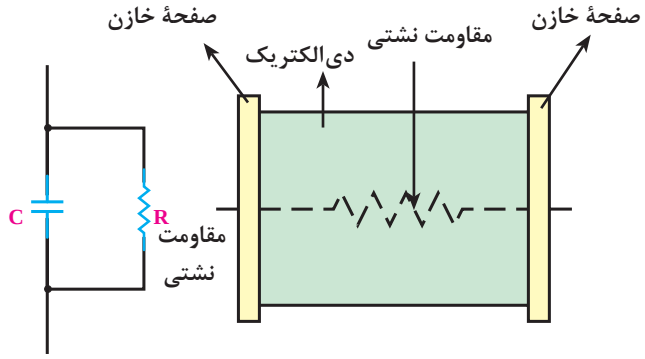


شکل ۳۵ــ خازن الکترولیتی

نشت در خازن‌ها

دی‌الکتریک مورد استفاده در خازن‌ها باید از عبور هرگونه جریانی بین صفحات خازن جلوگیری کند. مگر در مواقعی که به‌دلیل ولتاژ بسیار زیاد، مولکول‌های دی‌الکتریک شکسته شوند. در هرصورت، عملاً عایقی به معنای

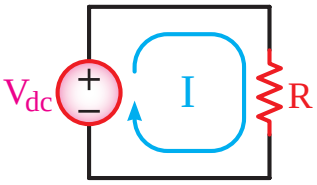
صددرصد وجود ندارد. لذا دی‌الکتریک‌ها هم مقدار بسیار کمی جریان را از خود عبور می‌دهند. مقاومتی که هر دی‌الکتریک در مقابل عبور جریان از خود نشان می‌دهد، مقاومت نشتی خازن نامیده می‌شود. شکل ۳۶ مقاومت نشتی و مدار معادل آن را نشان می‌دهد. مقاومت نشتی معمولاً حدود مگا اهم است. در اثر کارکرد زیاد خازن مقاومت نشتی آن به‌تدریج کاهش می‌یابد.



شکل ۳۶ــ مقاومت نشتی و مدار معادل آن

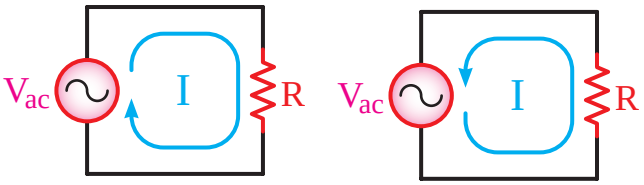
جریان متناوب

در هر مدار الکتریکی که ولتاژ وجود داشته باشد جریان الکتریکی نیز جاری خواهد شد. اگر قطب‌های ولتاژ مدار هرگز تغییر نکند جهت جریان ثابت می‌ماند، در این صورت به آن «جریان مستقیم یا DC»[1] می‌گویند (شکل ۳۷).



شکل ۳۷

جریان الکتریکی دیگری نیز وجود دارد که همیشه در یک جهت نیست یعنی ابتدا در یک جهت جریان می‌یابد، سپس جهت خود را عوض می‌کند و در خلاف جهت حالت قبل جاری می‌شود. به این نوع جریان اصطلاحاً «جریان متناوب یا AC»[2] می‌گویند (شکل ۳۸).



الف) ب)

شکل ۳۸

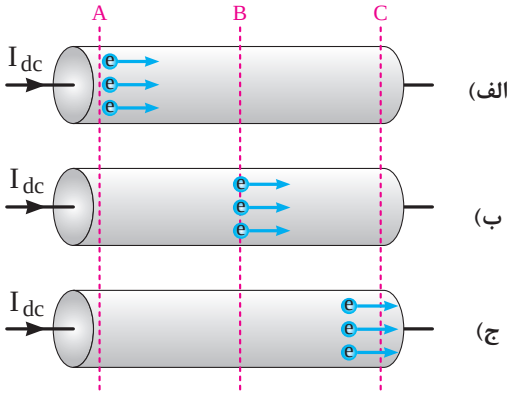
مقایسه جریان مستقیم و جریان متناوب در یک سیم

اگر جریان DC از قطعه سیمی عبور کند، جریان از قطب مثبت شروع شده و به قطب منفی ختم می‌شود.

۱ـ Direct Current - DC

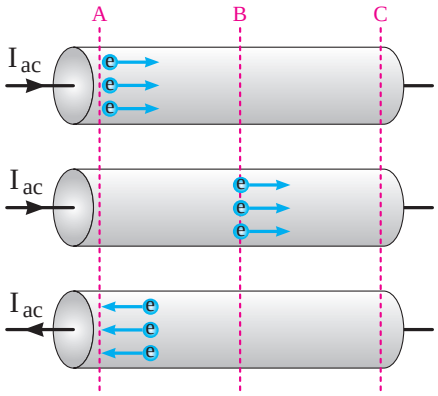
۲ـ Alternating Current - AC

(جهت قراردادی جریان خلاف حرکت الکترون است) (شکل ۳۹).



شکل ۳۹

حال چنانچه جریان AC از قطعه سیم عبور کند در یک مدت زمان معین ابتدا جریان در یک مسیر حرکت می‌کند سپس جهت جریان عوض شده و الکترون‌ها در مسیر طی شده اول باز می‌گردند. شکل ۴۰ نحوهٔ حرکت الکترون‌ها را در جریان AC نشان می‌دهد.

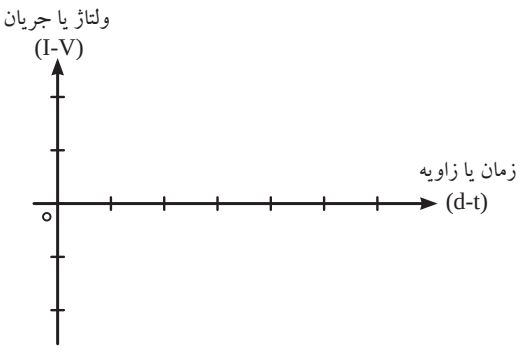


شکل ۴۰

شکل موج‌ها در جریان متناوب

سیگنال الکتریکی حاصل از صحبت کردن انسان، تصاویر تلویزیونی، سیگنال‌های رادیویی، همه امواج متفاوتی‌اند که به طور مستمر و روزمره با آنها سروکار داریم.

تغییرات ولتاژ یا جریان در مدارهای الکتریکی را به صورت «شکل موج»[1] نشان می‌دهند. برای رسم شکل موج به محورهای مختصاتی مطابق شکل ۴۱ نیاز داریم. محور عمودی بیانگر اندازه ولتاژ یا جریان و محور افقی معرف زمان یا زاویه است. بالای محور افقی را قسمت مثبت موج و پایین محور افقی را قسمت منفی موج می‌گویند.



شکل ۴۱

۱-Wave form

برای مشاهده و اندازه‌گیری شکل موج‌های ولتاژ و جریان از وسیله‌هایی به نام «اسیلوسکوپ»[1] استفاده می‌کنند. شکل ۴۲ دو نمونه اسیلوسکوپ را نشان می‌دهد. اسیلوسکوپ به معنای نوسان‌نما یا نشان‌دهنده شکل موج است.



شکل ۴۲

از انواعِ شکل موج‌ها می‌توان شکل موج مربعی، مثلثی، دندانه اره‌ای و سینوسی را نام برد. در جریان متناوب معمولاً شکل موج سینوسی از سایر انواع موج‌ها متداول‌تر است. یادآوری می‌شود که همه شکل موج‌ها قابل تبدیل به شکل موج سینوسی هستند.

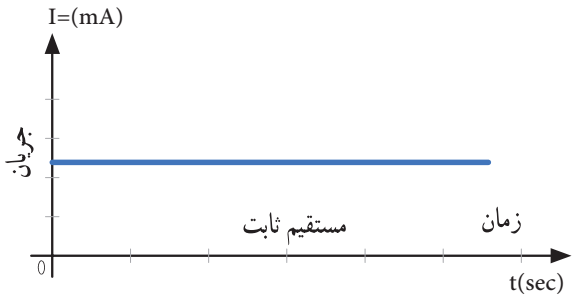
به‌طور کلی جریان‌های AC و DC دارای شکل موج هستند.

الف) جریان مستقیم: (Direct Current) DC)

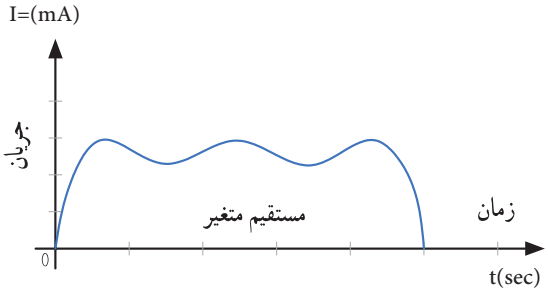
جریان مستقیم یا یک طرفه جریانی است که فقط در یک جهت در مدار جاری می‌شود. باتری‌ها مولد جریان مستقیم هستند.

در شکل ۴۳ نمودار جریان مستقیم روی محورهای مختصات رسم شده است.همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید، در زمان‌های مختلف مقدار جریان و جهت آن ثابت است. به این جریان، جریان مستقیم ثابت گویند.

اگر جهت جریان تغییر نکند ولی مقدار آن متغیر باشد، جریان مستقیم متغیر نام دارد. شکل ۴۴ یک نمونه جریان مستقیم متغیر را نشان می‌دهد.

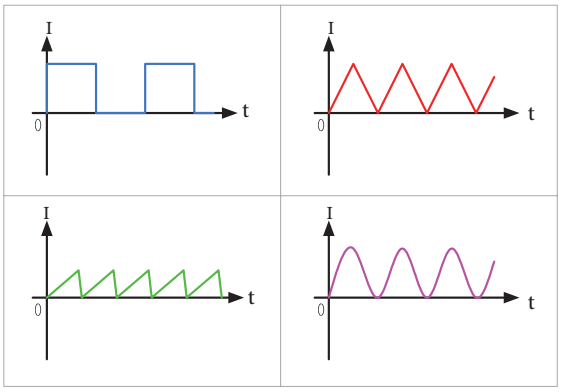


شکل ۴۳ـ نمودار جریان مستقیم(DC) ثابت



شکل ۴۴ـ نمودار جریان مستقیم(DC)متغیر

۱- Oscilloscope

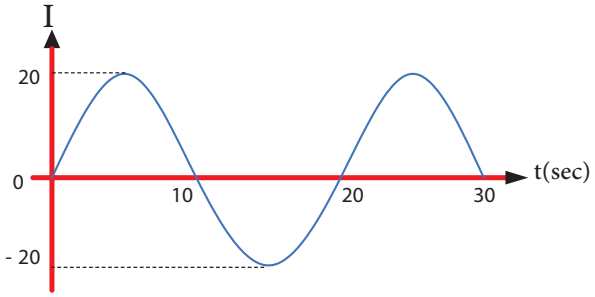


شکل ۴۵ـ انواع شکل موج‌های جریان مستقیم(DC)

فعالیت گروهی

چند نوع جریان مستقیم متغیر را در شکل ۴۵ مشاهده می‌کنید.آنها را نام‌گذاری کنید. انواع دیگر جریان مستقیم متغیر را بیابید.

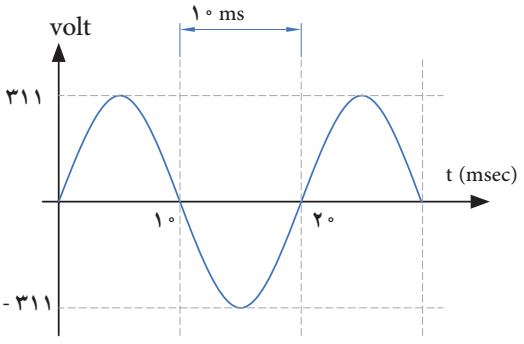
ب) جریان متناوب AC (Alternating Current):



شکل ۴۶ـ نمودار جریان متناوب سینوسی (AC)

جریان متناوب یا AC جریانی است که جهت و مقدار آن با زمان و به‌صورت یکنواخت تغییر می‌کند. برق مصرفی منازل که در نیروگاه‌ها تولید می‌شود، جریان متناوب است. در شکل ۴۶ یک نمونه جریان متناوب سینوسی رسم شده است. همان‌طور که در شکل ۴۶ مشاهده می‌کنید، جریان در ابتدا صفر است، سپس افزایش یافته به مقدار حداکثر (بیشینه) خود می‌رسد، سپس به صفر برمی‌گردد. مجدداً در جهت منفی به بیشترین مقدار خود می‌رسد و بار دیگر به صفر برمی‌گردد. طی این مراحل را یک چرخه (دوره تناوب یا سیکل) می نامند. این مراحل در زمان‌های مساوی عیناً تکرار می‌شود.

شکل‌های ولتاژ و جریان متناوب

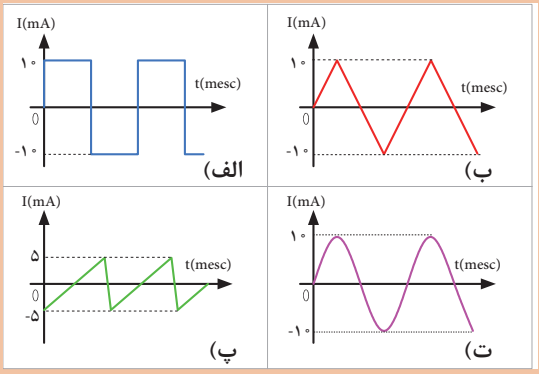


شکل ۴۷ـ نمودار ولتاژ متناوب سینوسی (AC)

متداول‌ترین شکل جریان متناوب، شکل موجی است که شرکت‌های برق تولید می‌کنند.این شکل موج، به‌صورت سینوسی است. شکل ۴۷ ولتاژ متناوب سینوسی تولیدی توسط شرکت‌های تولید برق در ایران را نشان می‌دهد.

فکر کنید

در شکل ۴۸ نمونه‌های دیگر جریان متناوب نشان داده شده است. این جریان‌ها را نام‌گذاری کنید. انواع دیگر جریان متناوب را بیابید.



شکل ۴۸ـ انواع شکل موج‌های جریان متناوب (AC)

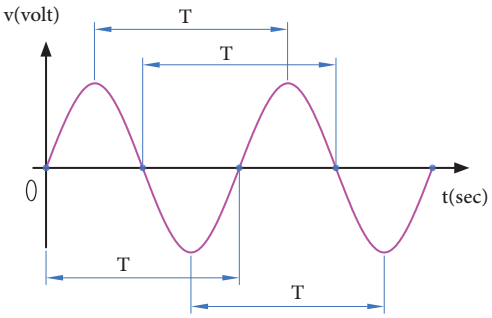
فیلم

فیلمی از چگونگی تولید جریان متناوب سینوسی را مشاهده کنید و اطلاعات مهم آن را به خاطر بسپارید.

ویژگی‌های موج سینوسی

هر موج سینوسی دارای ویژگی زمان تناوب، فرکانس یا بسامد و دامنه است که به آن می‌پردازیم.

زمان تناوب (T): مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک چرخه (دوره یا سیکل) کامل طی شود را زمان تناوب یا پریود موج گویند.شکل ۴۹ زمان تناوب موج را نشان می‌دهد.زمان تناوب را با حرف T مشخص می‌کنند. واحد زمان تناوب، ثانیه است. اجزای ثانیه، میلی‌ثانیه (msec)، میکروثانیه (μsec)، نانو ثانیه (nsec) و پیکو ثانیه (psec) است.

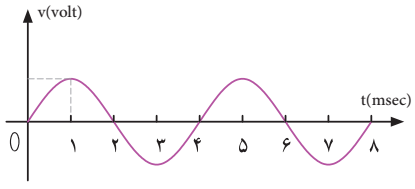


شکل ۴۹ـ زمان تناوب موج سینوسی

مثال: زمان تناوب موج سینوسی شکل ۵۰ را محاسبه کنید.

پاسخ: با توجه به شکل،مدت زمان یک سیکل ۴ میلی‌ثانیه است.

جواب: $T=4msec$



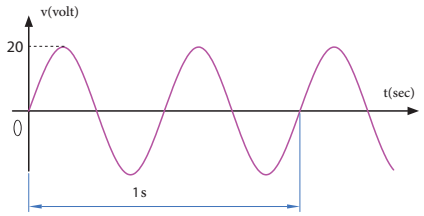
شکل ۵۰ـ موج سینوسی

پرسش

درصورتی که تقسیمات محور زمان ۴ برابر شود (یعنی عدد ۱ تبدیل به ۴ و عدد ۲ تبدیل به ۸ و....
شود)، زمان تناوب چند میلی ثانیه خواهد بود؟

■ **فرکانس یا بسامد (Frequency):** به تعداد چرخه (دوره یا سیکل) در مدت‌زمان یک ثانیه فرکانس گویند.

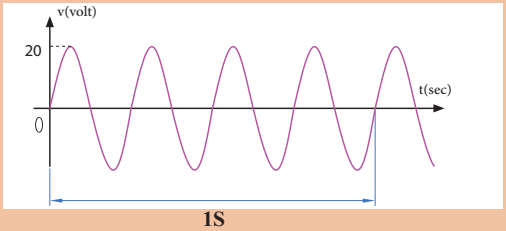
واحد فرکانس، سیکل (چرخه) بر ثانیه:
(CPS)–cycle Per Second) یا هرتز (Hz) است.
برای مثال، چون موج سینوسی نشان داده شده در شکل ۵۱ دارای ۲ چرخه (سیکل) در یک ثانیه است، پس فرکانس آن ۲ سیکل برثانیه یا ۲ هرتز می‌شود.



شکل ۵۱ــ موج سینوسی با فرکانس ۲HZ

فکر کنید

□ تعداد چرخه‌ها (سیکل‌ها) برای موج سینوسی شکل ۵۲ چند هرتز است؟ چرا؟

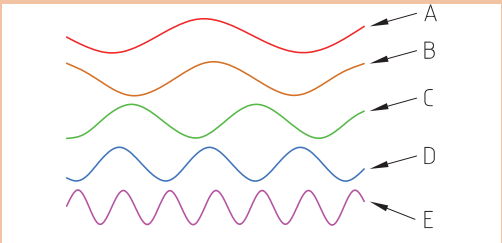


1S
شکل ۵۲ــ موج سینوسی با فرکانس HZ .....

■ چه پدیده‌هایی می‌شناسید که حرکت آنها تناوبی است؟
در مورد فرکانس موج‌های تولید شده توسط مغز انسان در حالات مختلف (حالت بیداری ـ خواب، در حالت دیدن رؤیا و سایر موارد) پژوهش کنید و نتایج را به کلاس ارائه دهید.

پرسش

در شکل ۵۳ کدام موج فرکانس بیشتری دارد؟ کدام موج فرکانس کمتری دارد؟ مشخص کنید و دلیل آن را توضیح دهید.



شکل ۵۳ــ موج‌های سینوسی با فرکانس‌های متفاوت

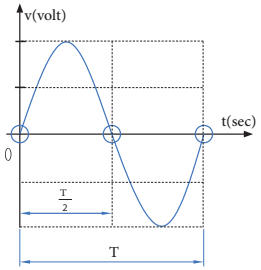
پژوهش

□ در مورد کمترین فرکانس و بیشترین فرکانس شناخته شده، پژوهش کنید و نتایج را به کلاس ارائه دهید.
□ در مورد فرکانس کار میکروفر (امواج میکروویو) تحقیق کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

رابطه بین فرکانس و زمان تناوب: به شکل موج سینوسی ۵۴ توجه کنید، در زمان تناوب T یک سیکل از موج طی شده است، چون فرکانس تعداد سیکل‌ها در یک ثانیه است لذا با استفاده از یک تناسب ساده رابطه بین زمان تناوب و فرکانس به‌دست می‌آید.

یک سیکل	T ثانیه
x	یک ثانیه

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



شکل ۵۴ـ زمان تناوب یک موج سینوسی

الگوی پرسش

۱ زمان تناوب موج سینوسی μsec ۱ است، فرکانس موج کدام است؟

۱ـ ۱ kHz ۲ـ ۱۰ kHz

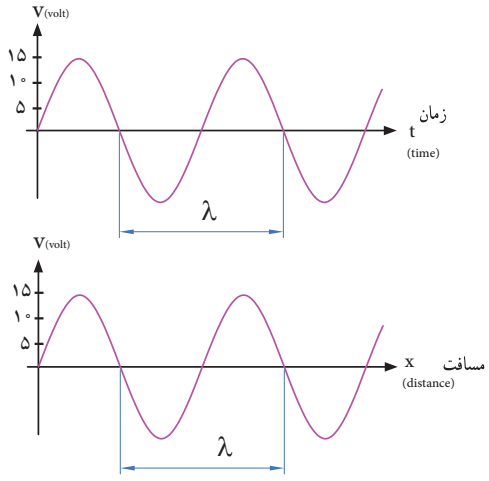
۳ـ ۱۰۰ kHz ۴ـ ۱ MHz

۲ اگر فرکانس یک موج صوتی f =۵۰۰Hz باشد زمان تناوب آن کدام است؟

۱ـ ۲ ثانیه ۲ـ ۲ میلی‌ثانیه

۳ـ ۰/۵ ثانیه ۴ـ ۱ ثانیه

طول موج: مسافتی را که موج در مدت زمان یک سیکل طی می‌کند، طول موج گویند و آن را با λ (لاندا) نشان می‌دهند.شکل ۵۵ طول موج، یک موج سینوسی را نشان می‌دهد.



شکل ۵۵ـ زمان تناوب یک موج سینوسی

مقدار طول موج از رابطه زیر قابل محاسبه است:

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

دراین رابطه λ طول موج برحسب متر (m)، V سرعت موج برحسب متر بر ثانیه (m/sec) و T زمان تناوب برحسب ثانیه (sec) است. سرعت موج بستگی به محیطی دارد که موج در آن منتشر می‌شود. مثلاً صدای انسان در دمای محیط تقریباً دارای سرعت ۳۴۰ متر بر ثانیه است.امواج الکترومغناطیس که با سرعت نور حرکت می‌کنند دارای سرعت $C=3\times10^8\ m/sec$ هستند.

مثال۱: اگر یک ایستگاه رادیویی دارای فرکانس ۱۰۰مگاهرتز (MHZ) باشد و امواج رادیویی با سرعت امواج الکترومغناطیس در فضا پخش شوند، طول موج این ایستگاه چقدر است؟

پاسخ:

$$V = C = 3\times10^8 \frac{m}{sec}$$

$$\lambda = \frac{C}{f} = \frac{3\times10^8}{100\times10^6} = 3m$$

پژوهش

در مورد فرکانس و طول موج چند ایستگاه رادیویی پژوهش کنید و نتایج را به کلاس ارائه دهید.

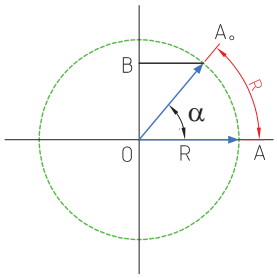
فکر کنید

اگر فرکانس شنوایی (AF-Audio Frequency) در فاصله ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز باشد و سرعت انتشارصوت تقریباً ۳۴۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شود، کمترین و بیشترین طول موج برای فرکانس شنوایی چند متر است؟

سرعت زاویه‌ای: سرعت، مقدار مسافتی است که متحرک در واحد زمان طی می‌کند، مثلاً وقتی می‌گویند سرعت یک اتومبیل ۸۰ کیلومتر بر ساعت است، یعنی درصورتی‌که حرکت یکنواخت باشد این وسیلهٔ نقلیه در هر ساعت ۸۰ کیلومتر راه را طی می‌کند. مقدار سرعت برحسب مسافت طی شده از رابطهٔ $V=\frac{x}{t}$ به‌دست می‌آید. در این رابطه v سرعت برحسب m/sec و x مسافت برحسب m و t زمان برحسب sec است.

اگر متحرک پیرامون یک مسیر دایره شکل حرکت کند، برای بیان سرعت از اصطلاح سرعت زاویه‌ای استفاده می‌کنند.سرعت زاویه‌ای را با ω (اُمگا) نشان می‌دهند.

برای محاسبه سرعت زاویه‌ای، دایره‌ای به شعاع R را مطابق شکل ۵۶ درنظر بگیرید. اگر متحرک از نقطه A روی محیط دایره حرکت کند و مسافتی از محیط دایره را که برابر شعاع دایره است، طی کند، می‌گوییم زاویه پیموده شده یک رادیان است، به عبارت دیگر زاویه مقابل به کمانی از دایره که طول کمان برابر شعاع دایره باشد را یک رادیان گویند.



شکل ۵۶ـ زاویه برابر یک رادیان

۱Rad = ۵۷/ ۳ درجه = یک رادیان

سرعت زاویه‌ای، زاویه پیموده شده برحسب رادیان در مدت یک ثانیه است.

ω = سرعت زاویه‌ای

$$\omega=\frac{\text{(زاویه پیموده شده برحسب رادیان)}}{\text{(زمان طی زاویه برحسب ثانیه)}} \rightarrow \omega=\frac{\alpha}{t}$$

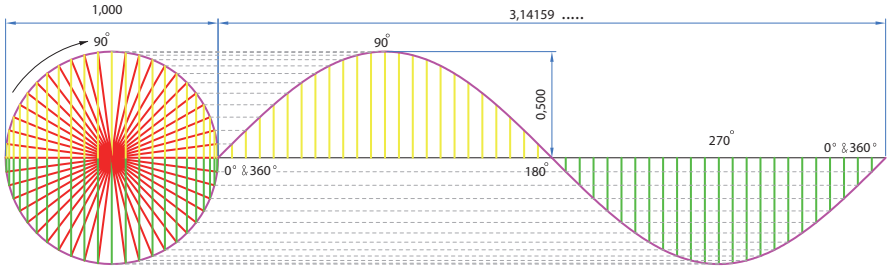
پویانمایی

با جست‌وجو در اینترنت انیمیشن مربوط به پیمودن بردار شعاع دایره به اندازه ۳۶۰ درجه و حرکت آونگ برای ایجاد موج سینوسی را مشاهده کنید.

فکر کنید

محیط یک دایره با شعاع R برابر $2\pi R$ است. زاویه پیموده شده در یک دورکامل حول محیط دایره که برابر ۳۶۰ درجه است برابر با چند رادیان می‌شود؟

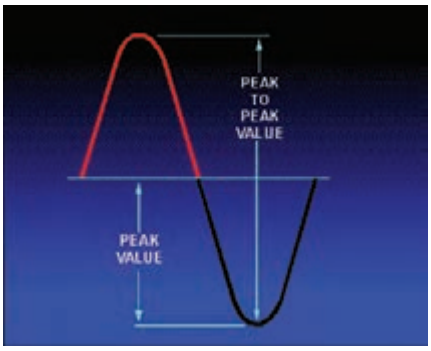
به شکل ۵۷ توجه کنید، اگر بردار شعاع دایره محیط دایره را یک دور کامل بزند معادل یک سیکل موج سینوسی است.



شکل ۵۷ـ یک سیکل موج سینوسی معادل ۳۶۰ درجه است

زمان تناوب یک موج سینوسی معادل ۳۶۰ درجه است. لذا سرعت زاویه‌ای از رابطه $\omega = \frac{2\pi Rad}{T} = 2\pi f$ به دست می‌آید.

دامنه بیشینه موج سینوسی: حداکثر مقداردامنه ولتاژ یا جریان موج سینوسی در هرنیم سیکل را مقدار ماکزیمم یا بیشینه یا پیک (peak-max) موج سینوسی گویند.شکل ۵۸ مقدار پیک مثبت و منفی یک موج سینوسی را نشان می‌دهد.



شکل ۵۸ـ مقدار پیک مثبت و منفی یک موج سینوسی

فکر کنید

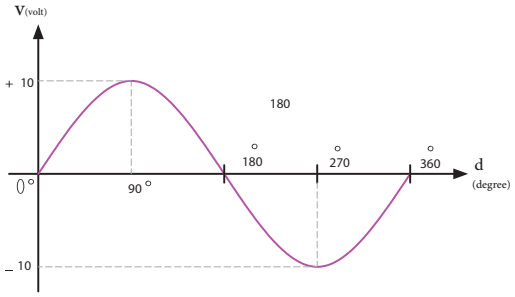
آیا پیک مثبت و منفی موج سینوسی شبیه قله و ته دره یک کوه مانند شکل ۵۹ است ؟ شرح دهید.



شکل ۵۹ـ قله و دره مانند پیک تا پیک موج سینوسی

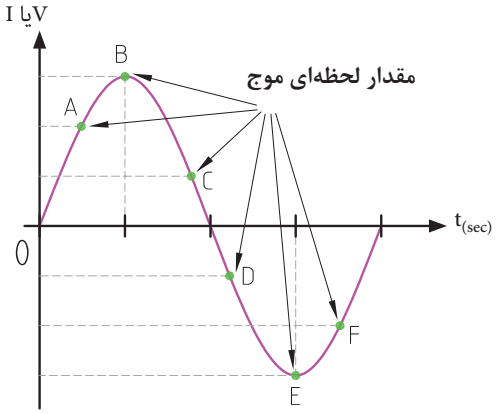
پرسش

مقدار پیک مثبت و منفی موج سینوسی شکل ۶۰ چند ولت است؟



شکل ۶۰ـ محاسبه مقدار پیک موج سینوسی

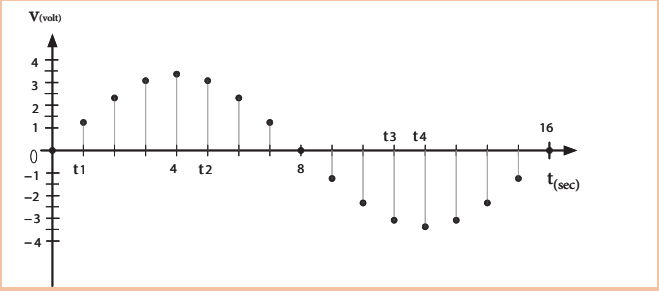
دامنهٔ لحظه‌ای موج: به مقدار دامنه موج در هر لحظه از زمان، مقدار لحظه‌ای موج یا دامنهٔ لحظه‌ای موج گویند.شکل ۶۱ مقدار لحظه‌ای موج را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۶۱ـ مقدار لحظه‌ای موج سینوسی

پرسش

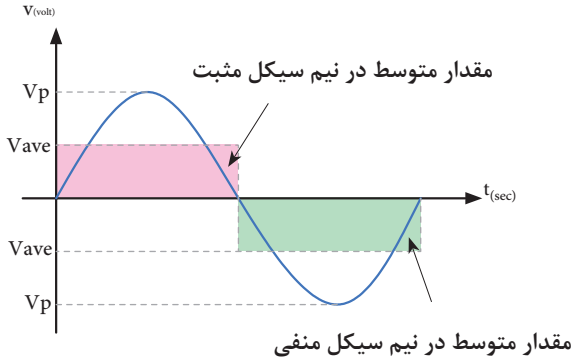
مقدار لحظه‌ای موج سینوسی شکل ۶۲، در زمان‌های $t_1 = 1sec$ و $t_2 = 5sec$ و $t_3 = 11sec$ و $t_4 = 12sec$ چقدراست؟ مقدار تقریبی را در جدول بنویسید.



شکل ۶۲ـ مقدار لحظه‌ای موج سینوسی

زمان	t_1	t_2	t_3	t_4
مقدار دامنه موج				

مقدار متوسط موج سینوسی: به مقدار میانگین یا معدل (Average - Ave) مقادیر لحظه‌ای موج سینوسی در یک سیکل، مقدار متوسط موج گویند. مقدار متوسط موج سینوسی در هر سیکل در شکل ۶۳ نشان داده شده است.



شکل ۶۳ـ مقدار متوسط موج سینوسی

فکر کنید

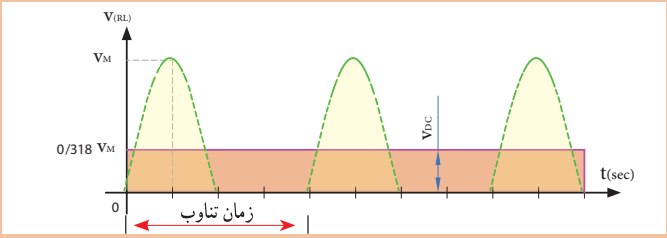
۱ آیا مقدار میانگین یک موج سینوسی در یک سیکل کامل صفر است؟ چرا؟

۲ آیا می‌توانیم بگوییم مقدار میانگین (متوسط) یک موج در نیم سیکل برابر با مقدار DC آن موج در نیم‌سیکل است؟

پرسش

معدل (میانگین) مقادیر ۲+، ۴+، ۵+، ۷+ و ۲+ چند است؟

مقدار متوسط یک سیکل از موج سینوسی یک‌طرفه که به آن موج یک‌سو شده می‌گویند با استفاده از رابطه زیر به‌دست می‌آید. شکل ۶۴ موج یک‌سو شده یا یک‌طرفه را نشان می‌دهد.



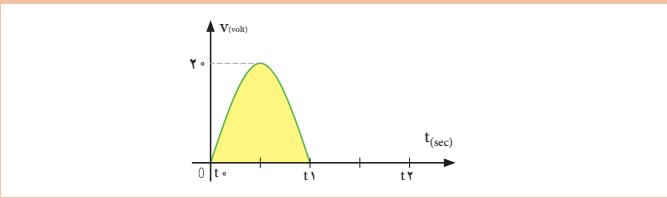
شکل ۶۴ـ موج سینوسی یک‌طرفه

$$V_{ave} = \frac{V_m}{\pi} = ۰/۳۱۸ \times V_m$$

$$I_{ave} = \frac{I_m}{\pi} = ۰/۳۱۸ \times I_m$$

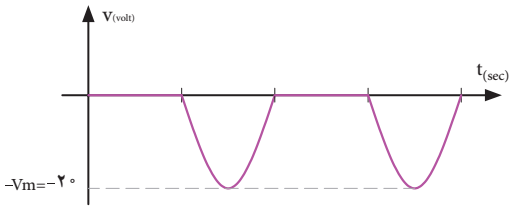
فکر کنید

آیا مقدار میانگین موج سینوسی یک‌سو شده منفی (شکل ب ۶۵)، دارای جهت معکوس است و رابطه آن با رابطه محاسبه مقدار میانگین نیم سیکل مثبت (شکل الف ۶۵) تفاوتی دارد؟ چرا؟



شکل الف ۶۵ـ موج سینوسی یک‌سو شده نیم موج مثبت

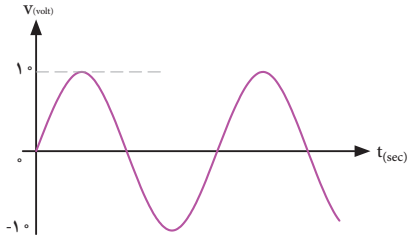
مثال ۲: میانگین موج سینوسی یک‌سو شده نیم‌موج شکل ب ۶۵ را محاسبه کنید.



شکل ب ۶۵ــ موج سینوسی یک‌سو شده نیم موج منفی

میانگین موج سینوسی یک‌سو شده:

$$V_{ave} = \frac{V_m}{\pi} = \frac{۲۰}{۳/۱۴} = ۶/۳۷ \text{ ولت}$$

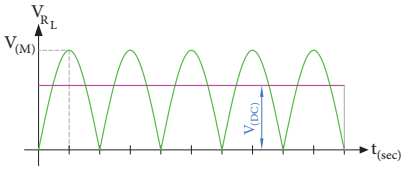


شکل ۶۶ــ موج سینوسی

■ میانگین یک موج سینوسی مطابق شکل ۶۶ در یک سیکل کامل چند ولت است؟

فکر کنید

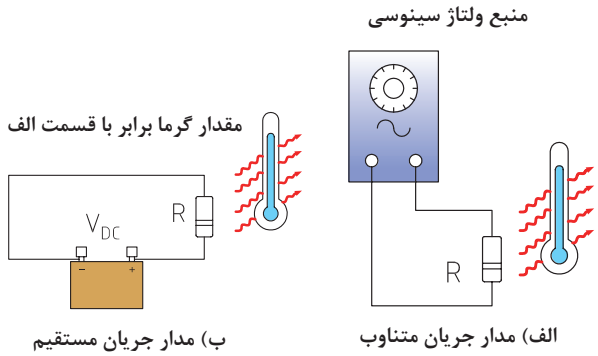
□ میانگین موج شکل ۶۷ که به موج سینوسی یک‌سو شده تمام موج معروف است با موج یک‌سو شده نیم موج چه رابطه‌ای دارد؟ شرح دهید.



شکل ۶۷ــ موج سینوسی یک‌سوشده تمام موج

■ **مقدار مؤثر موج سینوسی:** مقدار مؤثر یک ولتاژ سینوسی معادل مقدار ولتاژ DC است که در یک بار معین و در زمان معین می‌تواند همان مقدار گرما را تولید کند که ولتاژ DC در همان بار و در همان زمان، تولید می‌کند. شکل ۶۸ گرمای تولیدی یکسان در بار مساوی (R یکسان) و در زمان مساوی توسط ولتاژ متناوب و ولتاژ DC را نشان می‌دهد. مقدار مؤثر موج سینوسی را با Ve یا Ie نشان می‌دهند. e اول کلمه effective است. مقدار مؤثر با علامت اختصاری rms، که اول کلمات Root Mean Square است نیز نوشته می‌شود.

مقدار مؤثر یک موج سینوسی از روابط روبه‌رو قابل محاسبه است:



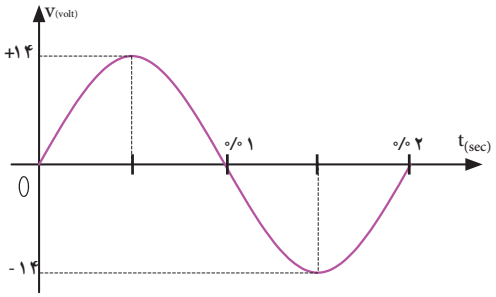
شکل ۶۸ــ مقدار مؤثر موج متناوب و معادل مقدار DC

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} \Rightarrow Vrms = ۰/۷۰۷V_m$$

$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{۲}} \Rightarrow Irms = ۰/۷۰۷I_m$$

مثال ۳: مقدار مؤثر ولتاژ موج سینوسی شکل ۶۹ چند ولت است؟

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۱۴}{\sqrt{۲}} = \frac{۱۴}{۱/۴۱۴} = ۹/۹ \text{ ولت}$$



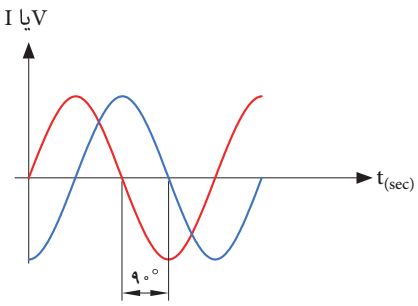
شکل ۶۹ــ موج سینوسی

الگوی پرسش

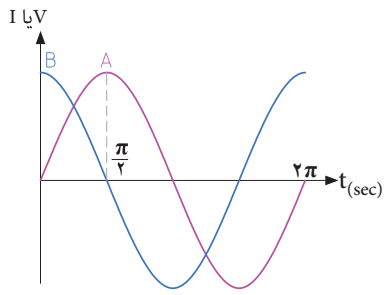
۱ مقدار مؤثر یک موج سینوسی ۲۰ ولت است، مقدار پیک و پیک تا پیک آن را محاسبه کنید.
۲ مقدار ماکزیمم یک موج سینوسی ۵۰ ولت است، مقدار مؤثر و پیک تا پیک (قله تا قله) موج را محاسبه کنید.
۳ برق شهر در کشورایران دارای مقدار مؤثر ۲۲۰ ولت و فرکانس ۵۰ هرتز است، مقدارقله (پیک) و قله تا قله (پیک تا پیک) و زمان تناوب برق شهر را محاسبه کنید.
۴ زمان تناوب و مقدار پیک و مقدار پیک تا پیک برق شهر در کشورهایی که دارای مقدار مؤثر ۱۱۰ ولت و فرکانس ۶۰ هرتز است را محاسبه کنید.

اختلاف فاز بین دو موج سینوسی

اگر به یک مدار ولتاژ متناوب سینوسی اعمال گردد، در آن مدار جریان سینوسی جاری می‌شود، فقط ممکن است به‌خاطر وجود بعضی عناصر مانند سلف یا خازن، شکل جریان مدار و شکل ولتاژ مدار که هر دو سینوسی و هم فرکانس هستند روی هم منطبق نباشند، یعنی هر دو در یک لحظه با هم صفر و ماکزیمم نشوند در این صورت گوییم بین جریان و ولتاژ سینوسی اختلاف فاز وجود دارد.شکل ۷۰ دو موج سینوسی را نشان می‌دهد که با هم به اندازه φ درجه اختلاف فاز دارند. واحد اختلاف فاز معمولاً درجه یا رادیان است. در شکل ۷۱ بین دو موج A و B، ۴۵ درجه اختلاف فاز وجود دارد.

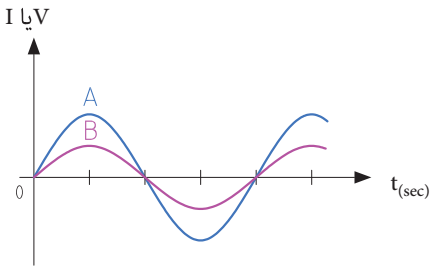


شکل ۷۰ــ دوموج سینوسی با اختلاف فاز $\varphi=۹۰^\circ$



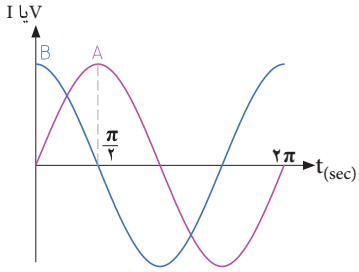
شکل ۷۱ــ بین دو موج A و B۴۵ درجه اختلاف فاز وجود دارد.

برای تعیین میزان اختلاف فاز بین دو موج هم فرکانس، دو نقطه مشابه مثلاً نقطه صفر یا ماکزیمم و یا نقطه مینیمم از شکل موج‌ها را بر حسب کمیت محور افقی با هم مقایسه می‌کنیم.در شکل ۷۲ دو موج A و B باهم، هم‌فاز هستند.

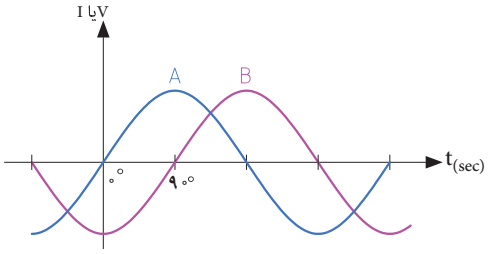


شکل ۷۲ــ دو موج هم فاز

در شکل ۷۳ موج A نسبت به موج B پس فاز است (تأخیر فاز دارد) و در شکل ۷۴ موج A نسبت به موج B پیش‌فاز است (تقدم فاز دارد).



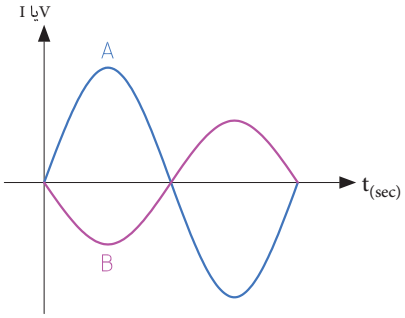
شکل ۷۳ــ موج A نسبت به موج B پس فاز است.



شکل ۷۴ــ موج A نسبت به موج B پیش فاز است.

پرسش

در شکل ۷۵ موج A نسبت به موج B به اندازه ..... درجه پیش فاز ☐ پس فاز ☐ است.



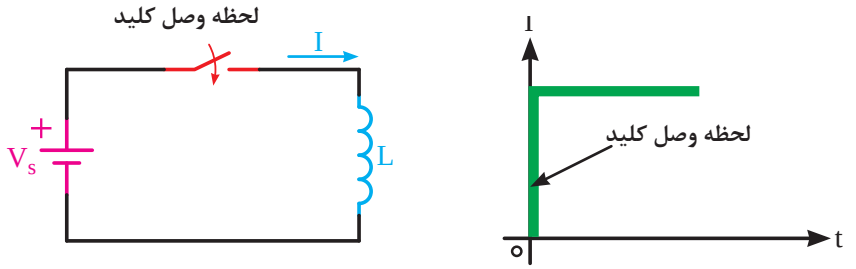
شکل ۷۵

فکر کنید

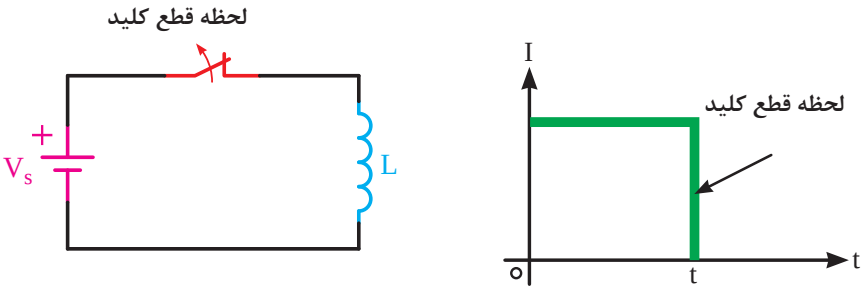
در یک مسیر، پُلی قرار دارد که سرعت مجاز در آن ۷۰ کیلومتر در ساعت است. سه خودرو A، B و C به‌ترتیب به فاصله ۳ دقیقه از یکدیگر وارد پُل اتوبان می‌شوند. درصورتی‌که رانندهٔ هر سه خودرو، مقررات راهنمایی و رانندگی را به‌طور دقیق رعایت کنند، در هر لحظه خودروی B نسبت به A چند دقیقه تأخیر دارد؟ خودروی C با چند دقیقه تأخیر نسبت به خودروی A وارد پل می‌شود؟ خودروی A نسبت به خودروی B چند دقیقه زودتر وارد پل شده است؟ آیا این موضوع را می‌توان با پیش‌فاز و پس‌فاز بودن سه موج مقایسه نمود؟

عملکرد سلف در جریان الکتریکی DC

چگونگی عملکرد و رفتار یک سلف در برابر عبور جریان الکتریکی مستقیم (DC) با جریان الکتریکی متناوب (AC) متفاوت است. در این بخش به بررسی عملکرد سلف در جریان DC می‌پردازیم.
همان‌طوری که اشاره شد خاصیت اندوکتانس (L) یک سلف زمانی بروز می‌کند که تغییرات فوران یا تغییرات جریانی در آن پدید آید. اما از آنجایی که در جریان مستقیم فقط در لحظات وصل و قطع کلید تغییرات جریان را مطابق تصاویر شکل‌های ۷۶ و ۷۷ داریم.

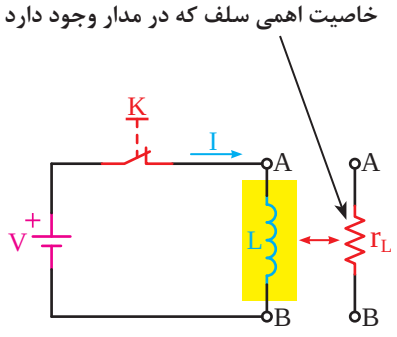


شکل ۷۶



شکل ۷۷

به‌همین دلیل در طول مدت زمانی‌که کلید مدار بسته (وصل) می‌باشد سلف دارای خاصیت خودالقایی (اندوکتانسی) نیست. اما از آنجایی که هر سیم‌پیچ از چند متر سیم تشکیل شده است. به همین خاطر در این شرایط فقط از خود خاصیت مقاومتی را نشان می‌دهد که مربوط به خاصیت مقاومت اهمی سیم است که مقدار آن را طبق رابطه r_L می‌توان به‌دست آورد (شکل ۷۸).

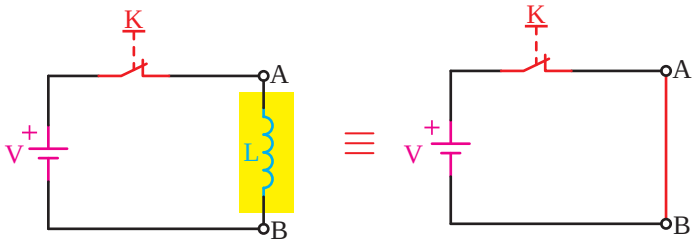


شکل ۷۸

$$r_L = \frac{V_L}{I} = \frac{V_{AB}}{I}$$

تذکر

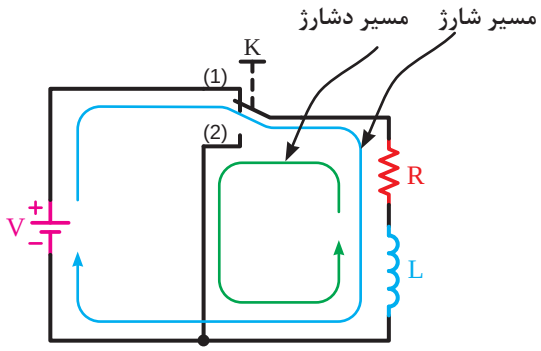
چون در سیم‌پیچی سلف‌ها سعی بر آن است تا مقدار خاصیت اهمی سیم‌پیچ‌ها کم باشد به همین دلیل در اکثر کتاب‌های تخصصی از مقاومت اهمی سیم (r_L) صرف‌نظر می‌شود و رفتار سلف در شرایط دایم کار جریان DC را مانند شکل ۷۹ به حالت اتصال کوتاه[۱] تشبیه می‌کنند و گفته می‌شود در این شرایط جریان زیادی از سلف می‌گذرد.



شکل ۷۹

شارژ و دشارژ (ثابت زمانی سلفی)

چون در یک مدار سلفی خالص تمامی این اتفاقات یعنی زیاد و کم شدن جریان مدار در یک لحظه کوتاه (آنی) اتفاق می‌افتد اگر بخواهیم مدت زمان افزایش (شارژ) و یا کاهش (دشارژ) را طولانی‌تر کنیم باید از یک مقاومت سری با سلف استفاده کنیم.

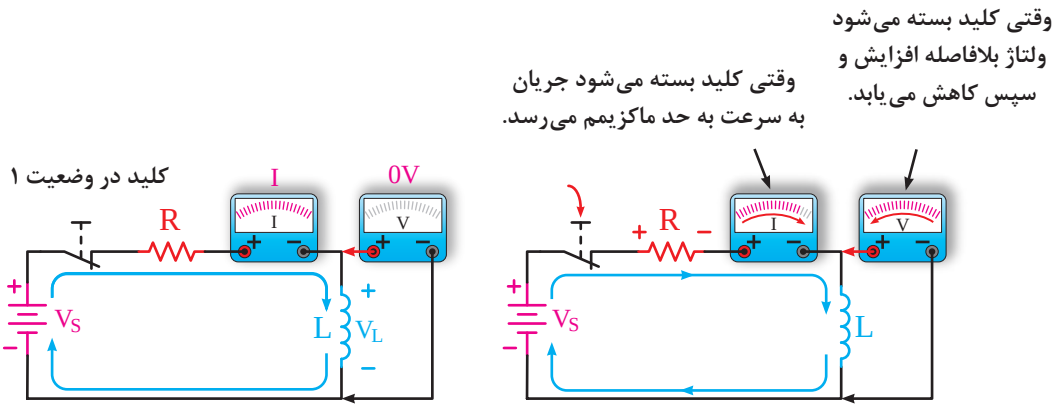


شکل ۸۰

در شکل ۸۰ حالت ۱ کلید مسیر شارژ و حالت ۲ کلید مسیر دشارژ سلف L را نشان می‌دهد.
در مدار شکل ۸۱ الف ولتاژ و جریان سلف (L) را در لحظه وصل کلید و در شکل ۸۱ ب مدار سلف را در شرایطی نشان می‌دهد که کلید مدت زمانی طولانی وصل بوده است. شرایط ولتاژ و جریان نسبت به حالت

۱ـ Short Circuit - Sc

الف برعکس شده است.

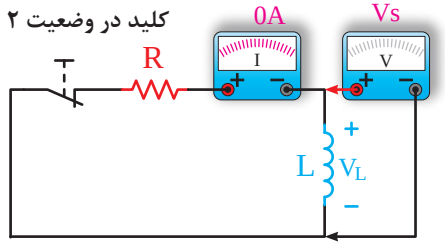


الف) در حال شارژ: رفته رفته ولتاژ سلف کاهش و جریان افزایش می‌یابد.

ب) شارژ کامل: ولتاژ سلف صفر شده و جریان مدار برابر مقدار حداکثر می‌شود.

شکل ۸۱

در صورتی که منبع تغذیه را برداشته و دو سر سلف را از طریق مقاومت اهمی R دشارژ کنیم مقدار ولتاژ و جریان سلف مطابق شکل ۸۲ طی مدت زمانی صفر خواهد شد.



شکل ۸۲

همان‌طوری که در شکل‌های ۸۱ و ۸۲ مشاهده می‌کنید در صورت استفاده از مقاومت در مسیر سلف، [چه در مسیر افزایش (شارژ) و چه در مسیر کاهش (دشارژ)] با یکسری پرش‌های جریانی روبه‌رو خواهیم شد که در طی یک بازهٔ زمانی مشخص جریان به مقدار حداکثر و حداقل خود می‌رسد.

به مدت زمانی که طول می‌کشد تا جریان سلف به اندازه ۶۳/۲٪ مقدار ماکزیمم خود افزایش یا کاهش یابد «ثابت زمانی» گفته می‌شود و آن را با حرف (τ ـ تاو) نشان می‌دهند. ثابت زمانی را بر حسب ثانیه مطابق رابطه زیر محاسبه می‌کنند.

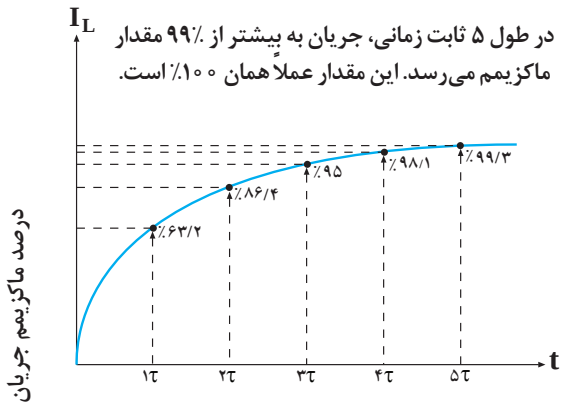
$$\tau_{[S]} = \frac{L_{[H]}}{R_{[\Omega]}}$$

براساس آزمایشات صورت گرفته مشخص شده است در هر سلف پس از گذشت ۵ ثابت زمانی جریان عبوری از آن به مقدار حداکثر (در شرایط شارژ) و به مقدار حداقل (در شرایط دشارژ) می‌رسد.

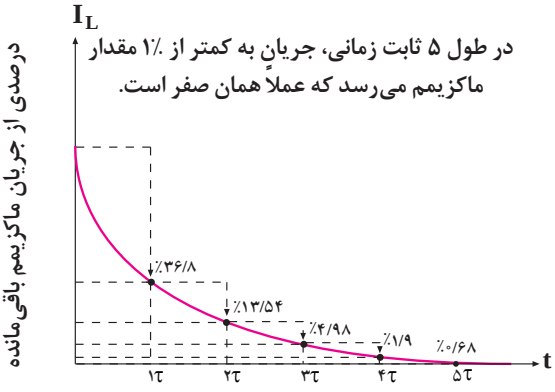
مدت زمان شارژ یا دشارژ کامل یک سلف را از رابطه مقابل می‌توان به‌دست آورد.

مدت زمان شارژ یا دشارژ کامل سلف $T = 5\tau$

شکل ۸۳ منحنی تغییرات جریان سلف در شرایط افزایش (حالت شارژ) و شکل ۸۴ منحنی تغییرات جریان سلف در شرایط کاهش (حالت دشارژ) را مشاهده می‌کنید.

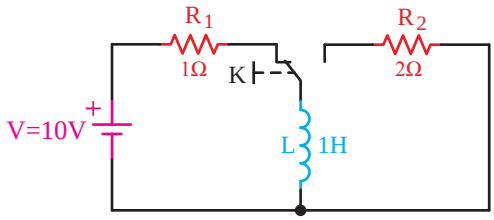


شکل ۸۳ـ منحنی شارژ



شکل ۸۴

مثال۱: مدت زمان شارژ و دشارژ کامل سلف نشان داده شده در شکل ۸۵ درصورت تغییر وضعیت کلید k چقدر است؟

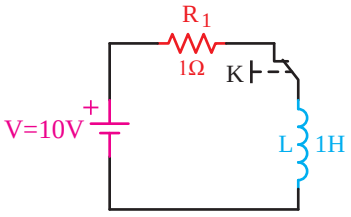


شکل ۸۵

حل: در شرایط شارژ وضعیت مدار مطابق شکل۸۶ است.

$$\tau = \frac{L}{R_1} = \frac{1}{1} = 1s$$

زمان شارژ $T = 5\tau = 5\times 1 = 5[s]$

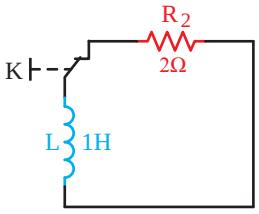


شکل ۸۶

وضعیت مدار در شرایط دشارژ مطابق شکل ۸۷ است.

$$\tau = \frac{L}{R_2} = \frac{1}{2} = 0/5[s]$$

$$T = 5\tau = 5 \times 0/5 = 2/5[s]$$



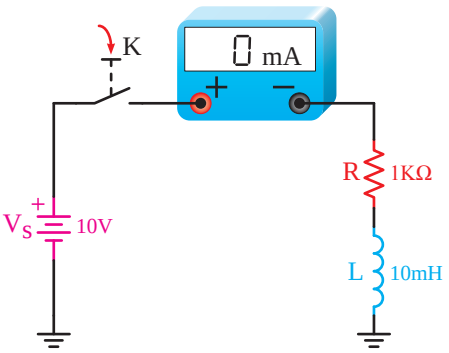
شکل ۸۷

مثال ۲: مدت زمان شارژ و مقدار جریان در هر ثابت زمانی شکل ۸۸ را به‌دست آورید.

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{10 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{3}} = 10 \times 10^{-6}s = 10[\mu s]$$

$$T = 5\tau = 5 \times 10 = 50[\mu s]$$

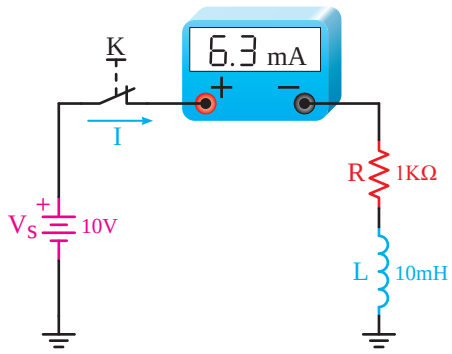
$$I = \frac{Vs}{R} = \frac{10v}{1k\Omega} = 10[mA]$$



شکل ۸۸

وضعیت مدار از نظر مقدار جریان عبوری در هر ثابت زمانی را به‌همراه محاسبات مربوطه در تصاویر الف تا هـ شکل ۸۹ مشاهده می‌کنید.

$$i_1 = \%63/2 \times 10 = 6/32[mA]$$

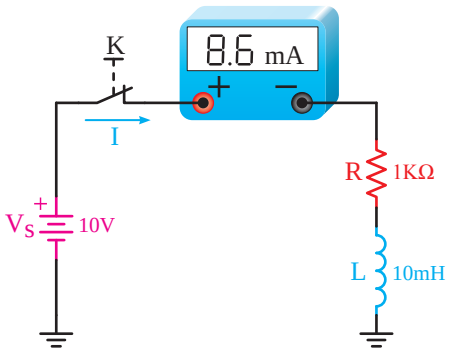


الف) جریان در ثابت زمانی اول (τ)

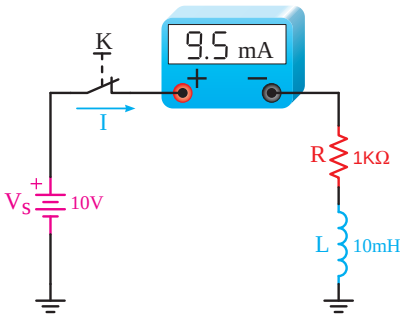
$$id = i - i_1 = 10 - 6/32 = 3/68[mA]$$

$$i' = \%63/2 \times 3/68 = 2/32[mA]$$

$$i_2 = i_1 + i' = 6/32 + 2/32 = 8/64[mA]$$

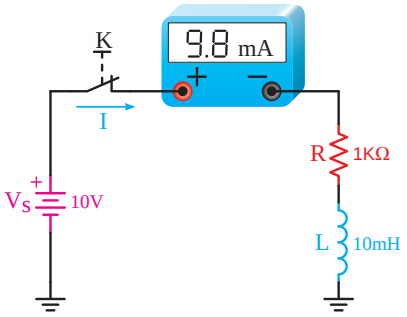


ب) جریان در ثابت زمانی دوم (τ_2)



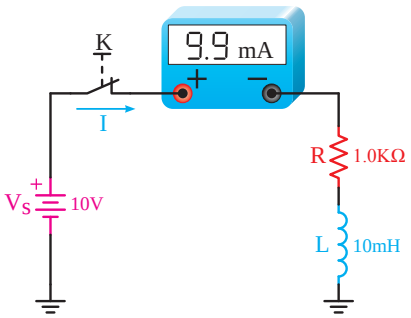
ج) جریان مدار در ثابت زمانی سوم (τ_3)

$$id = i - i_2 = 10 - 8/64 = 1/32 [mA]$$
$$i' = \%63/2 \times 1/32 = 0/85 [mA]$$
$$i_3 = i_2 + i' = 8/64 + 0/85 = 9/5 [mA]$$



د) جریان مدار در ثابت زمانی چهارم (τ_4)

$$i_d = i - i_3 = 10 - 9/5 = 0/5 [mA]$$
$$i' = \%63/2 \times 0/5 = 0/31 [mA]$$
$$i_4 = i_3 + i' = 9/5 + 0/31 = 9/81 [mA]$$



هـ) جریان مدار در ثابت زمانی پنجم (τ_5)

شکل ۸۹

$$i_d = i - i_4 = 10 - 9/81 = 0/19 [mA]$$
$$i' = \%63/2 \times 0/19 = 0/12 [mA]$$
$$i_5 = i_4 + i' = 9/81 + 0/12 = 9/93 [mA]$$

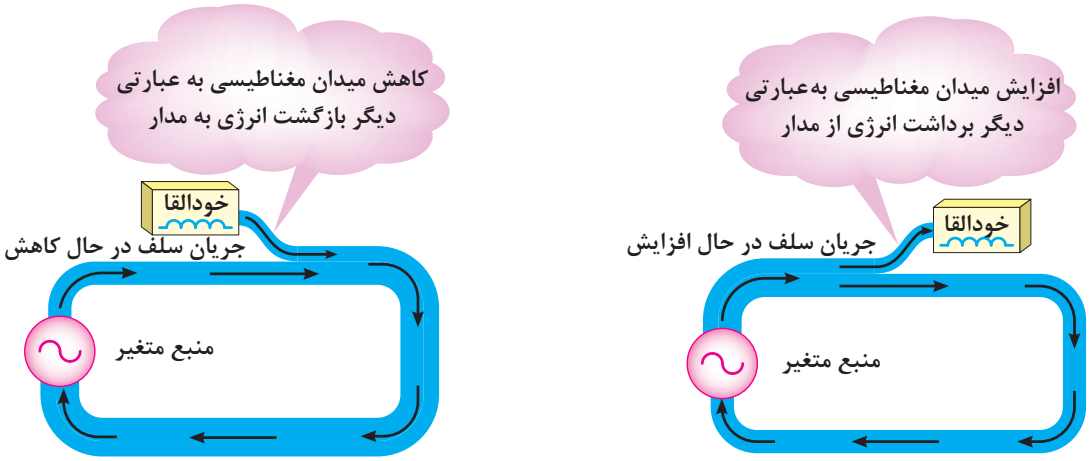
انرژی ذخیره شده در سلف

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد سلف عنصری است که در برابر تغییر جریان از خود عکس‌العمل (خاصیت خودالقایی) نشان می‌دهد.

به همین‌خاطر وقتی جریان مدار زیاد می‌شود انرژی الکتریکی مدار افزایش یافته و سبب افزایش فوران می‌گردد و درنتیجه میدان مغناطیسی قوی‌تر می‌شود. این تغییر شکل انرژی (الکتریکی به مغناطیسی) به‌صورت افت ولتاژ در دوسر سلف ظاهر می‌شود (شکل ۹۰ الف).

وقتی که افزایش جریان متوقف می‌شود میدان مغناطیسی ثابت می‌ماند و مبادله انرژی از مدار به میدان قطع می‌شود و تمام انرژی ایجاد شده به‌وسیله منبع در مدار مصرف می‌شود و میدان مغناطیسی تا هنگامی که جریان شروع به کم شدن نکرده است تمام انرژی که به آن منتقل شده ذخیره می‌کند.

هنگامی که جریان شروع به کم شدن می‌کند، میدان مغناطیسی نیز شروع به کم شدن می‌کند و انرژی ذخیره شده در خود را به مدار باز می‌گرداند که اثر آن بالا رفتن پتانسیل خودالقا است. این یعنی آنکه نیروی محرکه القایی در جهت ولتاژ منبع بوده و بنابراین با آن جمع می‌شود (شکل ۹۰ ب).



شکل ۹۰

مقدار انرژی ذخیره شده در یک سلف را از رابطه مقابل می‌توان به‌دست آورد.

$$W_L = \frac{1}{2} L.I_L^2$$

Lـ خاصیت اندوکتانسی سلف بر حسب هانری $[H]$

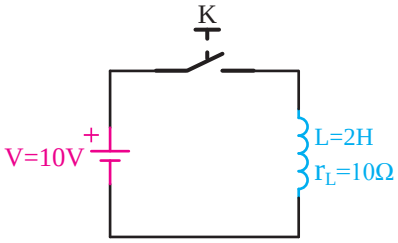
I_Lـ جریان عبوری از سلف بر حسب آمپر $[A]$

W_Lـ انرژی ذخیره شده در سلف برحسب ژول $[J]$

نکته مهم

توجه داشته باشید که به محض قطع مدار الکتریکی سلف، انرژی ذخیره شده در آن تخلیه می‌شود. هنگام تخلیه انرژی سلف، ممکن است یک جرقه در نقطه‌ای که مدار قطع می‌شود (مانند کلید قطع و وصل) به‌وجود آید. تخلیه انرژی سلف را دشارژ سلف نیز می‌گویند.

مثال: مقدار انرژی ذخیره شده در سلفی با مشخصات نشان داده شده در شکل ۹۱ را در صورتی که کلید K برای مدت زمان طولانی بسته شده باشد چند ژول است؟



شکل ۹۱

حل: در شرایط دایم کار خاصیت سلفی وجود ندارد و فقط خاصیت اهمی وجود دارد.

$$I_L = \frac{V}{r_L} = \frac{۱۰}{۱۰} = ۱\,[A]$$

$$W_L = \frac{۱}{۲}LI_L^۲ \Rightarrow W_L = \frac{۱}{۲}(۲)(۱)^۲ \Rightarrow W_L = ۱\,[j]$$

دستاوردهای ملی پس از انقلاب

دور ۳۶۰ درجه به دور کره زمین

ناوگروه ۸۶ نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران، متشکل از ناوشکن تمام ایرانی دنا و ناوبندر مَکران پس از هشت ماه دریانوردی و طی بیش از ۶۵ هزار کیلومتر مسیر دریایی که با هدف طی یک دور ۳۶۰ درجه دور کره‌زمین بود، ۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۲ با پایان مأموریت خود در بندرعباس پهلو گرفت. این ناوگروه پس از اعزام به مأموریت دور کره‌زمین از مبدأ بندرعباس، در نخستین ایستگاه در بندر بمبئی هند توقف کرد و سپس با عبور از خلیج بنگال و تنگه مالاگا در جاکارتا پایتخت اندونزی پهلوگیری کرده بود.



شکل ۹۲

عملکرد خازن در جریان الکتریکی DC

عملکرد و رفتار یک خازن در برابر جریان الکتریکی مستقیم (DC) با جریان الکتریکی متناوب (AC) متفاوت است. در این بخش به بررسی عملکرد خازن در جریان DC می‌پردازیم.

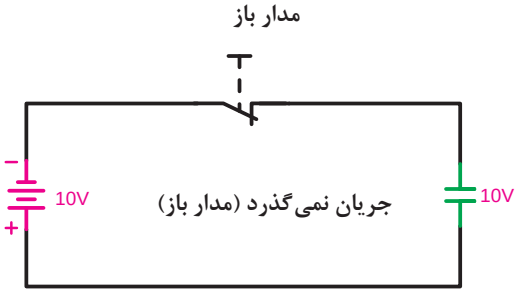
هرگاه خازنی در مدار جریان مستقیم قرار گیرد مقدار جریان الکتریکی مدار آن در تمام لحظات پس از وصل کلید یکسان نیست.

در لحظه اول که صفحات خازن خالی است به محض وصل کلید، الکترون‌های زیادی با سرعت به طرف سطح

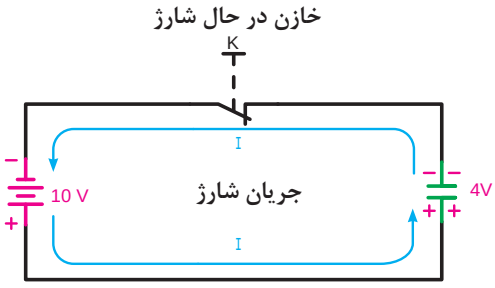
صفحات حرکت می‌کنند. (شکل ۹۳) عایق بین صفحات خازن باعث می‌شود تا الکترون‌های جمع شده در یک صفحه ارتباطی با صفحه مقابل نداشته باشد و صفحات خازن باردار شوند (شکل ۹۴ الف).

حرکت الکترون‌ها تا زمانی‌که عمل شارژ در صفحات وجود دارد، ادامه می‌یابد و رفته‌رفته مقدار جریان عبوری از مدار کم می‌شود. زیرا سطح صفحات خازن شارژ کامل شده و از عبور جریان جلوگیری می‌کنند (شکل ۹۴ ب).

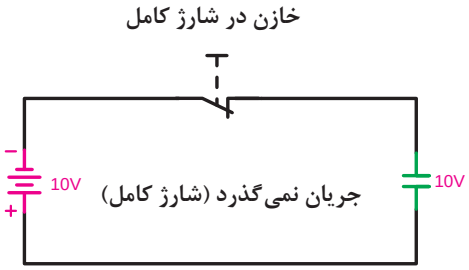
در واقع در لحظه اول ولتاژ دو سر خازن صفر بوده ولی جریان عبوری از آن زیاد است. در صورتی که چند لحظه پس از وصل کلید جریان به صفر رسیده و ولتاژ بین صفحات خازن، به مقدار حداکثر خود می‌رسد.



شکل ۹۳ـ کلید قطع و مدار خازن باز است.



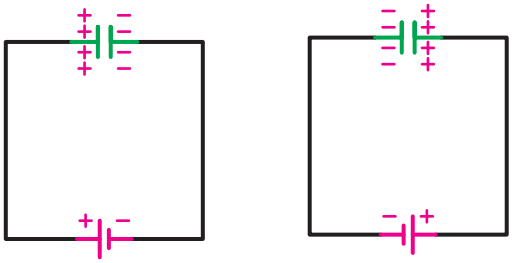
الف) کلید وصل و خازن در حال شارژ می‌باشد.



ب) کلید وصل و خازن شارژ کامل شده است.

شکل ۹۴

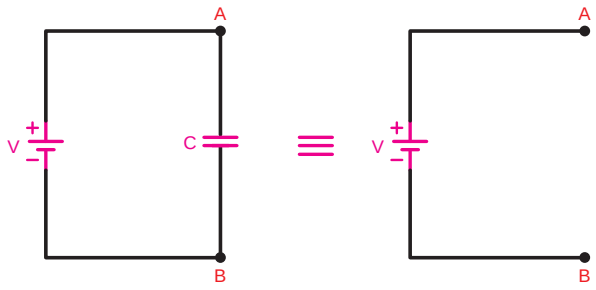
وضعیت صفحات خازن از نظر نوع بار الکتریکی ذخیره شده به نحوه اتصال پلاریته منبع تغذیه بستگی دارد. یعنی اگر جهت قطب‌های خازن را عوض کنیم نوع بارهایی که در صفحات خازن ذخیره می‌شوند، نیز تغییر خواهد کرد (شکل ۹۵).



شکل ۹۵ـ وضعیت صفحات خازن از نظر نحوه اتصال به پلاریته منبع تغذیه

تذکر

همان‌طور که اشاره شد چون صفحات خازن توسط دی‌الکتریک از یکدیگر فاصله دارند و هیچ ارتباطی بین آنها وجود ندارد و در شرایط دائم کار جریان DC صفحات خازن پر شده و هیچ جریانی از مدار نمی‌گذرد به همین دلیل در اکثر کتاب‌های تخصصی رفتار خازن در شرایط دائم کار جریان DC را به‌صورت مدار باز درنظر می‌گیرند (شکل۹۶).



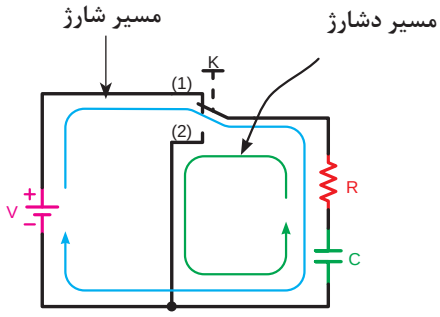
شکل ۹۶

شارژ و دشارژ خازن (ثابت زمانی خازنی)

هرگاه یک خازن را به‌صورت مستقیم به یک ولتاژ DC وصل کنیم صفحات آن در یک لحظه کوتاه (آنی) از بارهای الکتریکی پر (شارژ) می‌شود.

به همین دلیل در مدار خازن برای افزایش زمان شارژ و دشارژ از یک مقاومت سری با آن استفاده می‌شود.

در شکل ۹۷ مسیر شارژ (حالت ۱ کلید) و مسیر دشارژ (حالت ۲ کلید) خازن C را مشاهده می‌کنید.

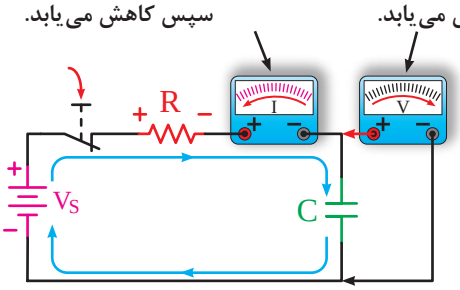


شکل ۹۷ـ مسیر شارژ و دشارژ خازن

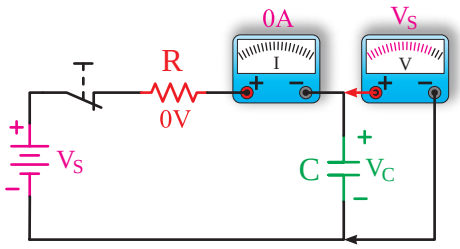
شکل (۹۸ الف) مقدار ولتاژ و جریان خازن را در لحظه وصل کلید (حالت شارژ) و در شکل ۹۸ ب مقدار ولتاژ و جریان خازن را در شرایطی نشان می‌دهد که کلید، مدت زمانی طولانی وصل بوده و ولتاژ و جریان نسبت به حالت الف عکس شده است. یعنی ولتاژ به مقدار حداکثر و جریان مدار به صفر می‌رسد.

وقتی کلید بسته می‌شود ولتاژ بلافاصله صفر می‌شود و سپس افزایش می‌یابد.

وقتی کلید بسته می‌شود جریان به سرعت به حد ماکزیمم می‌رسد و سپس کاهش می‌یابد.



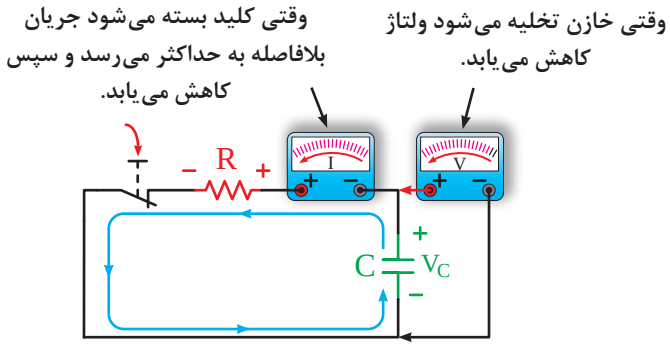
الف) در حال شارژ: با کاهش جریان و افت ولتاژ مقاومت، ولتاژ خازن افزایش می‌یابد.



ب) شارژ کامل: ولتاژ خازن با ولتاژ منبع برابر شده و جریان صفر می‌شود.

شکل ۹۸

اگر منبع تغذیه را برداشته و ولتاژ دو سر خازن را از طریق مقاومت اهمی دشارژ کنیم مقدار ولتاژ و جریان خازن مطابق شکل ۹۹ طی مدت زمانی صفر خواهد شد.



دشارژ خازن: با شروع دشارژ ولتاژ مقاومت و جریان مدار از مقدار حداکثر به‌سمت صفر کاهش می‌یابد.

شکل ۹۹

همان‌گونه که از نتایج آزمایش‌های داده شده در مورد خازن مشخص است در صورت استفاده از مقاومت در مسیر آن ولتاژ خازن چه در مسیر افزایش (شارژ) و چه در مسیر کاهش (دشارژ) با یکسری پرش‌های ولتاژی و در طی یک بازهٔ مشخصی به مقدار حداکثر و حداقل خود می‌رسد. به مدت زمانی که طول می‌کشد تا ولتاژ خازن به اندازه ٪۶۳/۲ مقدار ماکزیمم خود افزایش یا کاهش یابد «ثابت زمانی» گفته می‌شود و آن را با حرف (τ ـ تاو) نشان می‌دهند و برحسب ثانیه مطابق رابطه مقابل محاسبه می‌کنند.

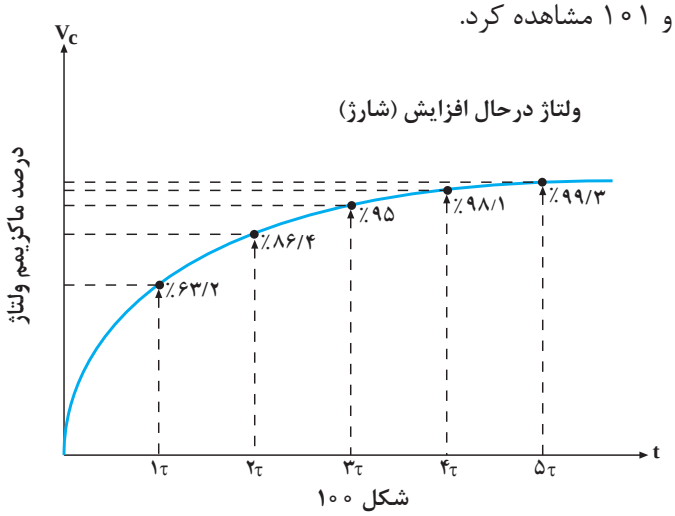
$$\tau = R.C \quad [s] \quad [\Omega] \quad [f]$$

بر پایه آزمایش‌های انجام شده روی یک خازن مشخص گردیده پس از گذشت ۵ ثابت زمانی ولتاژ دو سر آن به مقدار حداکثر (در شرایط شارژ) و به مقدار حداقل (در شرایط دشارژ) می‌رسد.

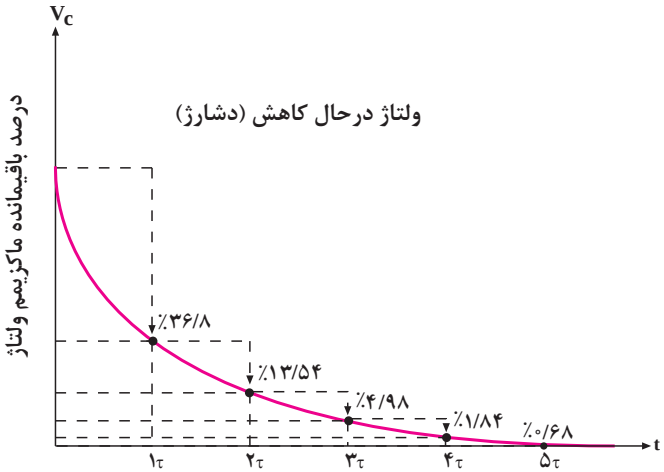
مدت زمان شارژ یا دشارژ کامل یک خازن را مطابق رابطه مقابل می‌توان چنین محاسبه کرد.

مدت زمان شارژ یا دشارژ کامل خازن $T = 5\tau$

براساس این مطالب می‌توان منحنی‌های شارژ و دشارژ یک خازن را به همراه جداول شارژ و دشارژ به ترتیب مطابق شکل‌های ۱۰۰ و ۱۰۱ مشاهده کرد.



شکل ۱۰۰



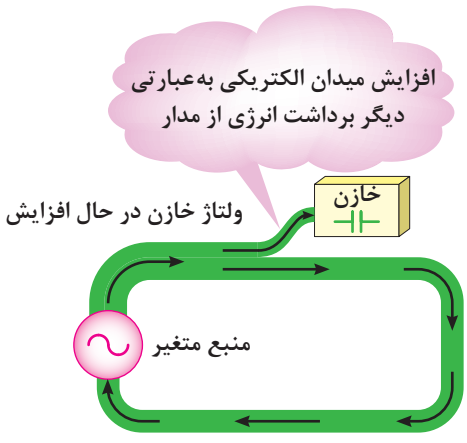
شکل ۱۰۱

توضیح: نحوه محاسبه مقدار ولتاژ دو سر خازن در هر ثابت زمانی مشابه روش محاسبه جریان سلف در هر ثابت زمانی است (مثال حل شده).

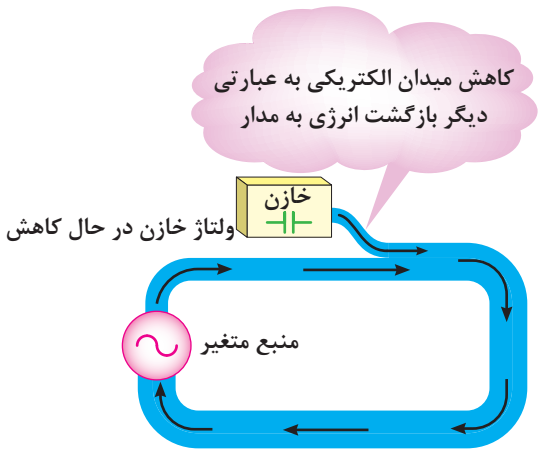
انرژی ذخیره شده در خازن

خازن‌ها نیز مشابه سلف‌ها هرگاه به جریان متغیری متصل شوند به‌طوری که ولتاژ دو سر آنها تغییر کند دائماً در حال تبادل انرژی خواهند بود.

انرژی ذخیره شده در یک خازن به‌صورت ذخیره‌سازی بارهای الکترواستاتیکی در سطح صفحات آن صورت می‌گیرد. یک خازن در لحظاتی که ولتاژ دو سر آن در حال افزایش است یعنی در شرایط دریافت و ذخیره‌سازی انرژی مطابق شکل ۱۰۲ است. هنگامی که ولتاژ خازن شروع به کاهش کند بارهای الکترواستاتیکی شروع به کم شدن کرده و انرژی ذخیره شده را مطابق شکل ۱۰۳ به مدار باز می‌گرداند.



شکل ۱۰۲



شکل ۱۰۳

مقدار انرژی ذخیره شده در یک خازن را از رابطهٔ مقابل می‌توان به‌دست آورد.

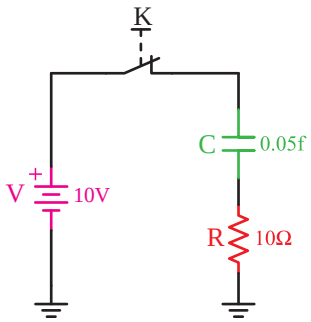
$$W_c = \frac{1}{2}C.V_c^2$$

C ـ ظرفیت خازن بر حسب فاراد [f]

Vc ـ ولتاژ دو سر خازن بر حسب ولت [v]

Wc ـ انرژی ذخیره شده در خازن بر حسب ژول [j]

مثال: مقدار انرژی ذخیره شده در خازنی با مشخصات داده شده در شکل ۱۰۴ را در صورتی که کلید K برای مدت زمان طولانی بسته شده باشد چند ژول است؟



شکل ۱۰۴

حل: در شرایط دائم کار خاصیت خازنی وجود ندارد و خازن را به‌صورت مدار باز درنظر می‌گیریم و ولتاژ منبع در دو سر خازن قرار می‌گیرد.

$$V_C = V = 10V$$

$$W_C = \frac{1}{2}C.V_C^2 = \frac{1}{2}\times 0/05\times (10)^2 = 2/5[j]$$

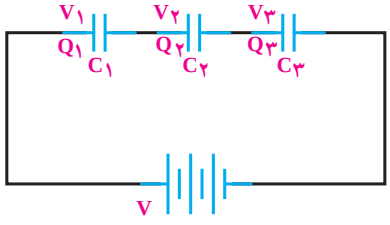
پژوهش

در مورد خازن و نقش آن در فلاشرهای عکاسی و دستگاه‌های شوک الکتریکی پژوهش کنید و نتیجه آن را درکلاس ارائه نمائید.

اتصال خازن‌ها در مدارهای DC

خازن را بسته به نوع استفاده از آنها می‌توان به سه طریق سری، موازی و مختلط به هم متصل کرد.

الف) اتصال سری خازن‌ها: در شکل ۱۰۵طرز به هم بستن سری خازن‌ها را مشاهده می‌کنید. در اتصال سری، فاصله مؤثر بین صفحات بیشتر می‌شود و ظرفیت معادل مجموعه خازن‌ها کاهش می‌یابد. همان‌گونه که در شکل می‌بینید، تنها دو صفحه ابتدا و انتهای مجموعه خازنی که به مولد بسته شده است، از مولد، بار الکتریکی دریافت می‌کنند و صفحات دیگر از طریق القاء دارای بار الکتریکی می‌شوند. بنابراین، اندازه بار الکتریکی همه خازن‌ها یکی است ولی اختلاف پتانسیل دو سر مجموعه برابر با حاصل جمع اختلاف پتانسیل‌های دوسر خازن‌هاست. یعنی:



$$Q=Q_1=Q_2=Q_3$$

$$V=V_1+V_2+V_3$$

شکل ۱۰۵ـ چگونگی اتصال سری خازن‌ها

مقدار ظرفیت خازن معادل مدار سری از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$\frac{۱}{C_t}=\frac{۱}{C_۱}+\frac{۱}{C_۲}+\frac{۱}{C_۳}$$

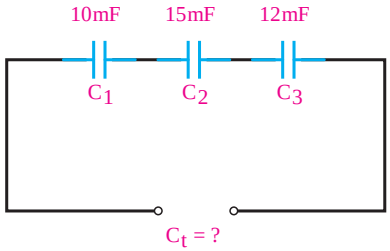
در صورتی‌که خازن‌ها با هم مساوی باشند، رابطه ظرفیت خازن معادل برای n خازن چنین است:

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

پژوهش

رابطه محاسبه ظرفیت معادل در خازن‌ها به صورت سری را اثبات کنید.

مثال۱: ظرفیت معادل مدار شکل‌های ۱۰۶ را به‌دست آورید.



شکل ۱۰۶ــ مدار اتصال سری سه خازن

راه‌حل:

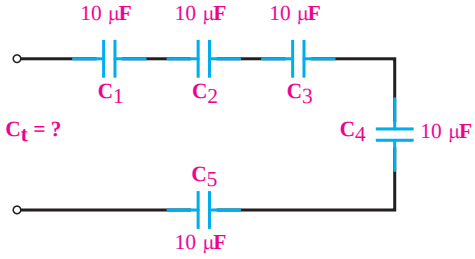
$$\frac{۱}{C_t}=\frac{۱}{C_۱}+\frac{۱}{C_۲}+\frac{۱}{C_۳}$$

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

$$C_t=\frac{۶۰}{۱۵}=۴[\mu F]$$

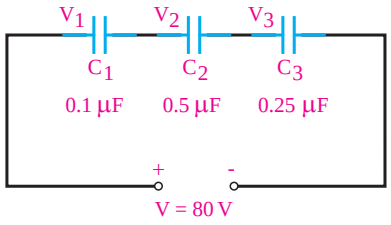
تمرین: ظرفیت معادل مدار شکل‌های ۱۰۷ را به‌دست آورید.

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



شکل ۱۰۷ــ مدار اتصال سری پنج خازن

مثال۲: در مدار شکل ۱۰۸ در صورتی‌که همه خازن‌ها شارژ کامل باشند، ولتاژ دو سر خازن را محاسبه کنید.



شکل ۱۰۸

راه‌حل:

$$\frac{۱}{C_t}=\frac{۱}{۰/۱}+\frac{۱}{۰/۵}+\frac{۱}{۰/۲۵}=\frac{۵+۱+۲}{۰/۵}=\frac{۸}{۰/۵}$$

$$C_t=\frac{۰/۵}{۸}[\mu F]$$

در مدارسری مقدار بار خازن‌های یکسان برابر است با

$$Q=Q_۱=Q_۲=Q_۳=Q_t$$

$$Q_۱=\frac{۰/۵\times ۸۰}{۸}=۵[\mu C]$$

با استفاده از رابطه $V=\frac{Q}{C}$ مقدار ولتاژ دو سر هر خازن را به دست می‌آوریم.

$$V_۱=\frac{Q_۱}{C_۱}=\frac{۵}{۰/۱}=۵۰[V]$$

$$V_۱=\frac{Q_۲}{C_۲}=\frac{۵}{۰/۵}=۱۰[V]$$

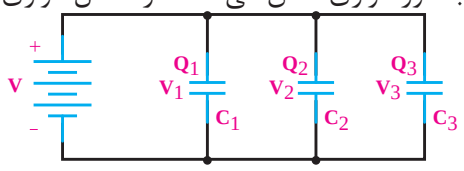
$$V_۱=\frac{Q_۳}{C_۳}=\frac{۵}{۰/۲۵}=۲۰[V]$$

$$V=V_۱+V_۲+V_۳$$
$$V=۵۰+۱۰+۲۰=۸۰[V]$$

نتیجه: خازن $C_۱$ که ظرفیت کمتری دارد، شارژ (ولتاژ) بیشتری را به خود گرفته است (۵۰ ولت).

تمرین: در مدارهای شکل ۱۰۸ و ۱۰۹ اگر ولتاژ تغذیه ۶۰ ولت باشد، مقدار ولتاژ هر یک از خازن‌ها را محاسبه کنید.

ب) اتصال موازی خازن‌ها: شکل ۱۰۹ اتّصال چند خازن را به‌طور موازی نشان می‌دهد. در اتصال موازی خازن‌ها سطح مؤثر صفحات زیادتر می‌شود و ظرفیت معادل مجموعه خازن‌ها افزایش می‌یابد و اختلاف پتانسیل بین دو صفحه همه آنها برابر ولتاژ منبع است ولی بار الکتریکی ذخیره شده در هر خازن با ظرفیت آن متناسب است.



شکل ۱۰۹ــ اتصال موازی خازن‌ها

$V=V_1=V_2=V_3$

$Q=Q_1+Q_2+Q_3$

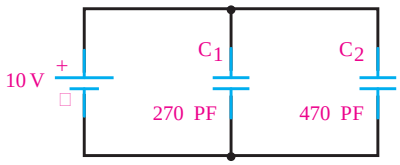
$C_T=C_1+C_2+C_3$

مقدار ظرفیت خازن معادل در مدار موازی از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

پژوهش

رابطه ظرفیت خازن معادل در مدار موازی را اثبات کنید.

مثال ۳: در مدار شکل ۱۱۰ ظرفیت کل، ولتاژ و بار دو سر هر خازن را محاسبه کنید.



شکل ۱۱۰

راه‌حل: ظرفیت معادل برابر است با

$C_T=C_1+C_2=270+470=740[PF]$

$V=V_1=V_2=10[V]$

مقدار بار هر خازن از رابطه $Q=CV$ محاسبه می‌شود.

$Q_1=C_1V=270\times10^{-12}\times10=2/7\times10^{-9}$ کولن

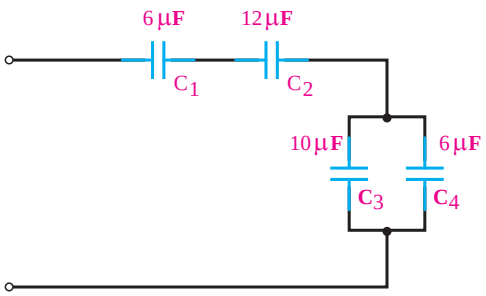
$Q_2=C_2V=470\times10^{-12}\times10=4/7\times10^{-9}$ کولن

تمرین: ظرفیت معادل ۱۵ خازن ۱۰۰۰ میکروفارادی را که به طور موازی بسته شده‌اند، محاسبه کنید.

ج) اتصال مختلط خازن‌ها: در اتصال مختلط خازن‌ها از قوانین مربوط به اتصال سری و موازی استفاده می‌کنیم. یعنی، ابتدا کل مجموعه را به مجموعه‌های جزء سری و موازی تقسیم می‌کنیم، آن‌گاه معادل مجموعه‌های جزء را به دست می‌آوریم و سپس قوانین سری و موازی را درباره آنها اجرا می‌کنیم.

مثال ۴: ظرفیت کل مدار شکل ۱۱۱ را محاسبه کنید.

راه‌حل: در این مدار C_1 و C_2 سری است که روابط سری را درباره این دو عمل می‌کنیم. در نهایت، مجموعه C_1 و C_2 با مجموعه C_3 و C_4 سری هستند



شکل ۱۱۱

و از قوانین سری پیروی می‌کنند. بنابراین، می‌توان نوشت:

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

$$C_{۳,۴}=C_۳+C_۴=۱۰+۶=۱۶[\mu F]$$

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

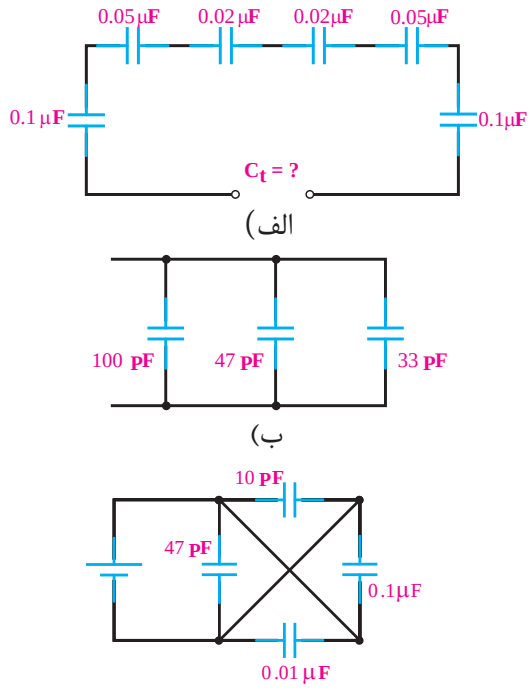
البته می‌توانستیم ابتدا ظرفیت $C_{۳,۴}$ را حساب کنیم و سپس ظرفیت معادل را به صورت مجموعه سه خازن سری به‌دست آوریم.

جمع‌بندی ویژگی‌ها و قوانین سری و موازی در مدارهای DC

مدار سری	ـ بار ذخیره شده در هر خازن با بار کل برابر است. ـ ولتاژ کل با مجموع ولتاژهای جزء برابر است. ـ ظرفیت کل کاهش می‌یابد.
مدار موازی	ـ ولتاژ کل با ولتاژ دو سر هر خازن برابر است. ـ بار کل با مجموع بارهای جزء برابر است. ـ ظرفیت کل افزایش می‌یابد.

الگوی پرسش (ارزشیابی از پودمان سوم)

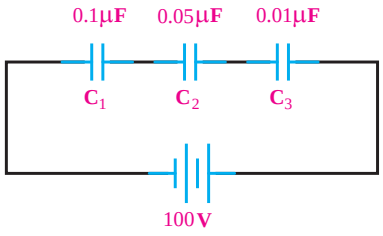
۱ شارژ و دشارژ در خازن را تعریف کنید.
۲ میدان الکترواستاتیکی چگونه پدید می‌آید؟
۳ ظرفیت خازن به چه عواملی بستگی دارد؟
۴ چرا دی‌الکتریک را در خازن به کار می‌بریم؟
۵ منظور از قابلیت تحمّل دی‌الکتریک یک ماده را توضیح دهید.
۶ ثابت زمانی یک مدار RC را توضیح دهید و رابطه آن را بنویسید.
۷ ویژگی‌های مدار سری و موازی را با یکدیگر مقایسه کنید.
۸ در مدار شکل‌های ۱۱۲ مقدار C_t را حساب کنید.
(جواب: پ) ۱۱۰۰۵۷PF ب) ۱۸۰pF الف) ۶/۲۵ nF



شکل ۱۱۲

۹ ولتاژ دو سر هر خازن مدار شکل ۱۱۳ در صورت شارژبودن همه آنها چه قدر است؟

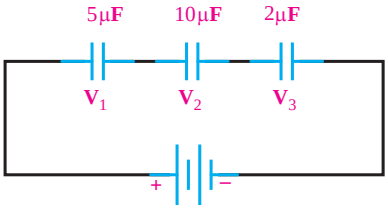
(جواب: $V_1=\frac{۱۰۰}{۱۳}[V], V_۲=\frac{۱۰۰۰}{۶۵}[V], V_۳=\frac{۱۰۰۰}{۱۳}[V]$)



شکل ۱۱۳

۱۰ در مدار شکل ۱۱۴ اگر مقدار بار ذخیره شده در مجموعه خازن‌ها ۱۰۰میکروکولن باشد، ولتاژ دو سر هر خازن را محاسبه کنید.

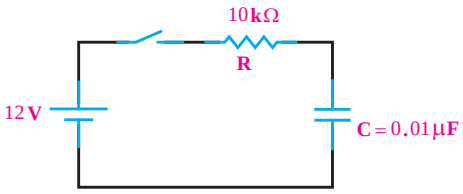
(جواب: $V_۱=۲۰[V], V_۲=۱۰[V], V_۳=۵۰[V]$)



شکل ۱۱۴

۱۱ در مدار شکل ۱۱۵ اگر خازن خالی باشد و کلید را به مدت ۲۰ میلی‌ثانیه ببندیم، خازن چقدر شارژ می‌شود؟

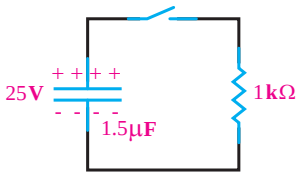
(جواب: شارژ کامل ۱۲ ولت)



شکل ۱۱۵

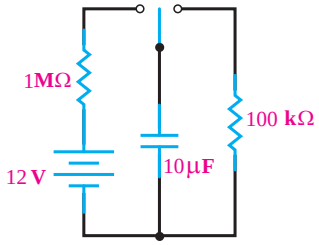
۱۲ در مدار شکل ۱۱۶ خازن دارای شارژ کامل است. کلید را به مدّت ۳ میلی‌ثانیه می‌بندیم. چه ولتاژی از خازن خالی می‌شود؟

(جواب : ۲۱/۶ ولت)



شکل ۱۱۶

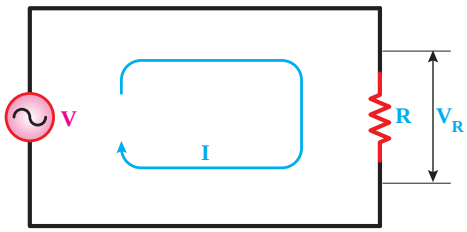
۱۳ در مدار شکل ۱۱۷ با بستن کلید، خازن پس از چه مدت شارژ می‌شود؟ پس از شارژ خازن در صورت جابه‌جایی کلید و اتصال آن به دوسر مقاومت ۱۰۰ kΩ، خازن پس از چه مدت تخلیه خواهد شد؟



شکل ۱۱۷

مقاومت در جریان متناوب

مدارهایی که مشابه شکل ۱۱۸ فقط از مقاومت اهمی تشکیل شده باشند را مدارهای «اهمی خالص» گویند.



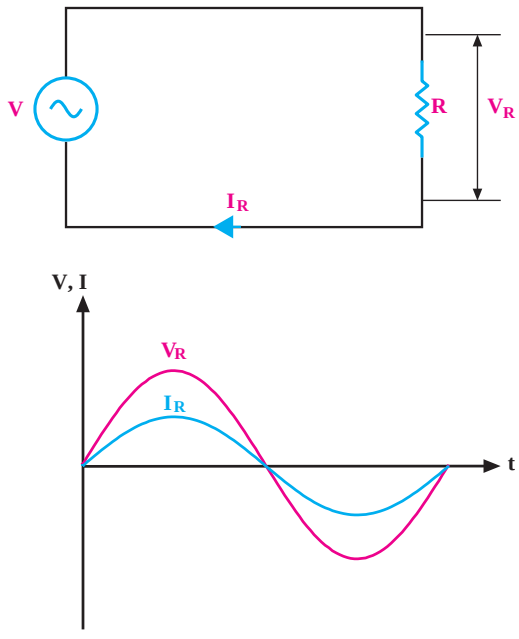
شکل ۱۱۸

رفتار مقاومت در جریان متناوب با رفتار آن در جریان مستقیم تفاوتی ندارد.

مقاومت در برابر مقدار جریان عبوری از مدار مخالفت ایجاد می‌کند و تمام انرژی الکتریکی دریافتی را به انرژی (کار) مفید تبدیل می‌کند و انرژی را در خود ذخیره نمی‌کند.

منحنی تغییرات جریان و ولتاژ مقاومت در جریان متناوب

چون مقاومت هیچ انرژی را در خود ذخیره نمی‌کند لذا اثری روی زاویه فاز بین ولتاژ و جریان مدار به‌وجود نمی‌آورد. به‌عبارت دیگر جریان نسبت به ولتاژ هیچ اختلاف فازی ندارد و باهم «هم‌فاز» هستند. (شکل ۱۱۹)



الف) منحنی تغییرات ولتاژ و جریان مقاومت



ب) جریان با ولتاژ هم‌فاز است.

شکل ۱۱۹ــ اختلاف فاز بین ولتاژ جریان مقاومت

سلف در جریان متناوب

مدارهایی مشابه شکل ۱۲۰ که فقط از سلف تشکیل شده باشند را مدارهای «سلفی خالص» گویند.

اگر مداری تنها شامل اندوکتانس باشد، مقدار جریان جاری در مدار به نیروی ضدّ محرکه ایجاد شده بستگی دارد، که با عبور جریان مخالفت می‌کند. اما چون نیروی ضدّمحرکه (Cemf) برحسب ولت بیان می‌شود، نمی‌توان آن را به‌جای اهم قرار داد و جریان را به‌دست آورد.

لذا تأثیر نیروی ضدّمحرکه بر مدار را می‌توان برحسب اهم به‌دست آورد.

به مقاومتی که سلف در جریان متناوب از خود نشان می‌دهد «مقاومت القایی» یا «راکتانس سلفی» می‌گویند و با X_L نشان می‌دهند.

مقدار آن از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$X_L = 2\pi f L = \omega . L$$

X_L ـ راکتانس سلفی برحسب [Ω]

f ـ فرکانس منبع مولد [Hz]

L ـ اندوکتانس (ضریب خودالقایی) سلف [H]

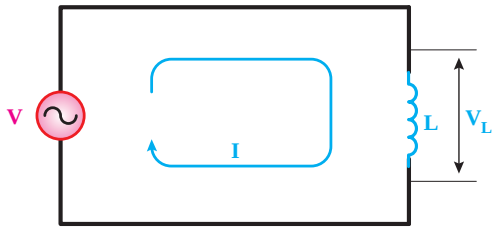
ω ـ سرعت زاویه‌ای [Rad/s]

مقدار مقاومت القایی با فرکانس و اندوکتانس سلف رابطه مستقیم دارد یعنی افزایش یا کاهش این دو عامل باعث افزایش یا کاهش راکتانس سلفی می‌شود.

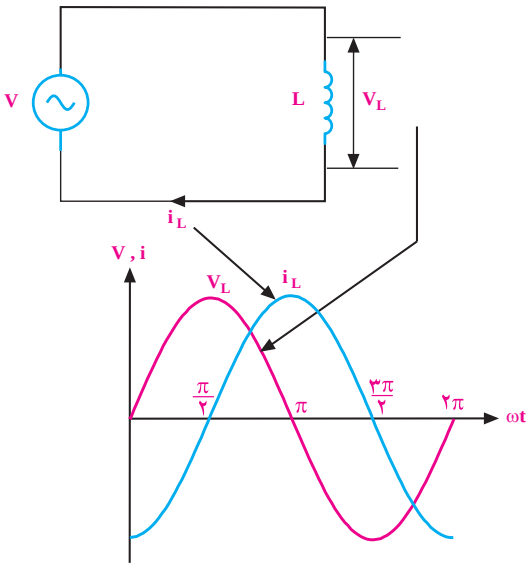
منحنی تغییرات جریان و ولتاژ سلف در جریان متناوب

اگر مداری مانند شکل ۱۲۱ داشته باشیم به‌واسطه نیروی ضدمحرکه ایجاد شده توسط اندوکتانس بین ولتاژ مدار (V) و جریان عبوری (I) از سلف اختلاف فاز ۹۰° پدیده می‌آید.

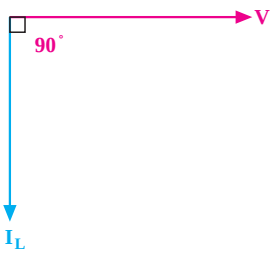
درواقع در لحظاتی که ولتاژ حداکثر است جریان مدار صفر و زمان‌هایی که جریان حداکثر است ولتاژ دو سر سلف صفر خواهد شد. به‌عبارتی دیگر جریان نسبت به ولتاژ ۹۰° عقب‌تر (پس‌فاز) است.



شکل ۱۲۰ـ مدار سلفی خالص



الف) تغییرات جریان و ولتاژ سلف

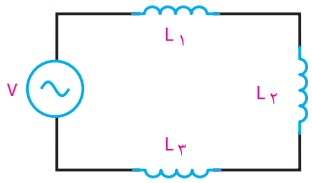


ب) جریان نسبت به ولتاژ ۹۰° پس‌فاز است

شکل ۱۲۱ـ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ سلف

اتصال سلف‌ها (بوبین)

برای دستیابی به اندوکتانس یا راکتانس سلفی مناسب اغلب مجبوریم بوبین‌ها را به صورت سری یا موازی ببندیم. در چنین مواردی بدون درنظر گرفتن اثر میدان سلف‌ها بر یکدیگر، راکتانس و اندوکتانس کل عیناً شبیه مقاومت معادل در مدارهای سری و موازی به‌دست می‌آید.



شکل ۱۲۲ـ اتصال سری بوبین‌ها

الف) اتصال سری بوبین‌ها: با اتصال پی‌درپی (متوالی) بوبین‌ها، (شکل ۱۲۲) راکتانس کل برابر مجموع تک تک راکتانس‌های موجود در مدار است که از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2} + X_{L_3} + \ldots + X_{L_n}$$

با توجه به اینکه $X_{LT} = 2\pi f L = \omega . L$ است پس با جای‌گذاری به‌جای هریک از آنها می‌توان رابطه اندوکتانس کل را به‌دست آورد:

$$L_T.\omega = L_1.\omega + L_2.\omega + L_3.\omega$$

$$L_T.\not{\omega} = \not{\omega}(L_1 + L_2 + L_3)$$

$L_T = L_1 + L_2 + L_3$ اندوکتانس کل

نکته

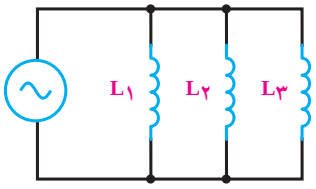
۱ درصورت مساوی بودن مقادیر n سلف سری مقدار اندوکتانس و راکتانس کل را چنین می‌توان به‌دست آورد.

$X_{L_T} = n.X_L$ و $L_T = n.L$

۲ چند سلف سری از نظر ولتاژی و جریانی مشابه مقاومت‌های سری هستند یعنی جریان در مدار ثابت و ولتاژ دو سر هر سلف به نسبت راکتانس‌های هر سلف تقسیم می‌شود.

ب) اتصال موازی بوبین‌ها: در اتصال موازی بوبین‌ها شکل ۱۲۳ راکتانس کل از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

راکتانس کل $\frac{1}{X_{L_T}} = \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + \frac{1}{X_{L_3}} + \ldots + \frac{1}{X_{L_n}}$



شکل ۱۲۳ـ اتصال موازی بوبین‌ها

برای به‌دست آوردن X_{L_T} می‌بایست مقدار به‌دست آمده $\frac{۱}{X_{L_T}}$ را معکوس کرد. برای محاسبه اندوکتانس کل سلف‌های موازی می‌توان از رابطه نهایی زیر استفاده نمود.

$$\frac{۱}{L_T}=\frac{۱}{L_۱}+\frac{۱}{L_۲}+\frac{۱}{L_۳}+...+\frac{۱}{L_n}$$

تحقیق کنید



رابطه X_{LT} را در مدار موازی اثبات کنید.

نکته



در صورت مساوی بودن مقادیر n سلف موازی اندوکتانس و راکتانس کل را چنین می‌توان به‌دست آورد.

$$L_T=\frac{L_۱}{n} \quad و \quad X_{L_T}=\frac{X_{L_۱}}{n}$$

توضیح: چند سلف موازی از نظر ولتاژی و جریانی مشابه مقاومت‌های موازی هستند یعنی ولتاژ در مدار ثابت و جریان در هر سلف به نسبت عکس راکتانس‌های هر سلف تقسیم می‌شود.

نکته



۱ اگر فقط دو سلف به‌صورت موازی بسته شده باشند مقدار اندوکتانس و راکتانس کل را از رابطه خلاصه شده زیر می‌توان محاسبه کرد.

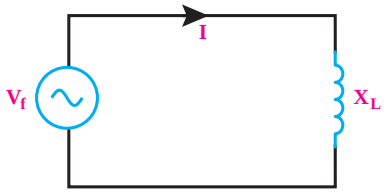
$$X_{L_T}=\frac{X_{L_۱}\cdot X_{L_۲}}{X_{L_۱}+X_{L_۲}}$$

$$L_T=\frac{L_۱.L_۲}{L_۱+L_۲}$$

۲ در هریک از اتصالات سری یا موازی بوبین‌ها مقاومت القایی کل را می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد:

$$X_{L_T}=\omega.L_T=۲\pi f.L_T$$

هرگاه سلفی مطابق شکل ۱۲۴ در مداری قرار گرفته باشد.



شکل ۱۲۴

طبق قانون اهم برای محاسبه جریان آن می‌توان نوشت:

$$I_L = \frac{V}{X_L}$$

مثال۱: سه بوبین با اندوکتانس‌های ۱۵، ۶ و ۱۰ میلی‌هانری یک بار به‌صورت سری و یک‌بار به‌صورت موازی در مداری با فرکانس ۵۰ هرتز بسته شده‌اند: اندوکتانس و راکتانس کل را در هر دو حالت سری و موازی محاسبه کنید.

◄ اتصال سری:

$$L_T = L_۱ + L_۲ + L_۳$$
$$L_T = ۱۵ + ۶ + ۱۰ = ۳۱ mH$$

$$X_{L_T} = \omega . L_T = ۲\pi f . L_T$$
$$X_{L_T} = ۲ \times ۳/۱۴ \times ۵۰ \times ۳۱ \times ۱۰^{-۳} = ۹/۷۳ [\Omega]$$

◄ اتصال موازی:

$$\frac{۱}{L_T} = \frac{۱}{L_۱} + \frac{۱}{L_۲} + \frac{۱}{L_۳} = \frac{۱}{۱۰} + \frac{۱}{۶} + \frac{۱}{۱۵}$$
$$\frac{۱}{L_T} = \frac{۲ + ۵ + ۳}{۳۰} = \frac{۱۰}{۳۰} (mH)$$
$$L_T = \frac{۳۰}{۱۰} = ۳ (mH)$$
$$X_{L_T} = \omega . L_T = ۲\pi f . L_T$$
$$X_{L_T} = ۲ \times ۳/۱۴ \times ۵۰ \times ۳ \times ۱۰^{-۳} = ۰/۹۴۲ [\Omega]$$

مثال ۲: اگر در مثال ۱ ولتاژ داده شده به مدار دارای مقدار ماکزیمم ۷ ولت باشد جریان کل مدار در هر حالت چقدر است؟ ($\sqrt{۲} = ۱/۴$ درنظر بگیرید).

$$V_m = ۷_v$$
$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = \frac{۷}{۱/۴} = ۵ [v]$$

◄ **اتصال سری**

$$I_T = \frac{V_e}{X_{L_T}} = \frac{۵}{۹/۷۳} = ۰/۵۱[A]$$

◄ **اتصال موازی**

$$I_T = \frac{V_e}{X_{L_T}} = \frac{۵}{۰/۹۴۲} = ۵/۳[A]$$

پژوهش

اگر اندوکتانس سلفی را ۴ برابر افزایش و فرکانس مدار را نصف حالت قبل آن کنیم آیا راکتانس آن تغییری می‌کند؟

فیلم

با جست‌وجو در اینترنت فیلم رفتار مقاومت و سیم‌پیچ در جریان متناوب را ببینید.

نرم‌افزار: با استفاده از نرم‌افزاری که در اختیار دارید اتصال بوبین‌ها به صورت سری و موازی و بوبین در جریان متناوب را تجربه کنید.

الگوی پرسش (ارزشیابی)

۱ اثرات جریان DC و AC را بر سیم‌پیچ با یکدیگر مقایسه کنید.

۲ القاء متقابل را شرح دهید و برای آن مثالی بزنید.

۳ اثرات جریان DC در القای متقابل را شرح دهید.

۴ اثر مقاومت القایی را در جریان متناوب توضیح دهید.

۵ دلیل سری یا موازی بستن سیم‌پیچ‌ها را بیان کنید.

۶ رابطه فازی بین ولتاژ و جریان یک بوبین را با رسم نمودار شرح دهید.

۷ دو بوبین با ضریب خودالقای ۱۰۰ میلی‌هانری را یک بار به طور سری و باردیگر به‌طور موازی به هم وصل می‌کنیم. ضریب خودالقایی کل را در هر دو حالت محاسبه کنید. (**جواب:** ۲۰۰ و ۵۰ میلی هانری)

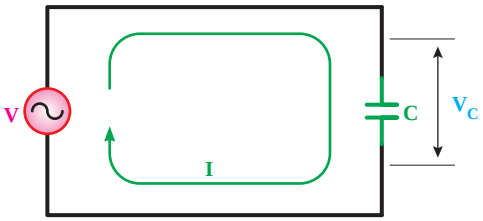
۸ ضریب خودالقایی سیم‌پیچ ۲۰mH و جریان عبوری از آن ۱۰ آمپر است چه مقدار انرژی در سیم‌پیچ ذخیره می‌شود؟ (**جواب:** ژول ۱=W)

۹ چهار بوبین با ضریب خودالقاء ۵۰، ۲۵،۱۰۰ و۲۵ میلی‌هانری را یک‌بار سری و یک‌بار موازی ببندید. ضریب خودالقای کل را در هر حالت به دست آورید.
(**جواب:** ۲۰۰ و۹ میلی‌هانری)

۱۰ از یک بوبین با ضریب خودالقایی ۱۰mH جریان متناوبی با فرکانس ۵۰ هرتز عبور می‌کند. مقاومت القایی بوبین چنداهم است؟ اگر فرکانس به ۱ کیلو هرتز تغییر یابد، مقاومت القایی بوبین را محاسبه کنید.
(**جواب:** ۳/۱۴ و ۶۲/۸)

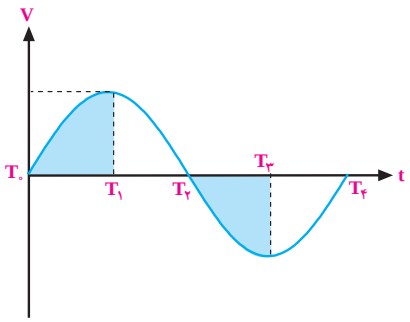
خازن در جریان متناوب

مدارهایی که مانند شکل (۱۲۵) فقط از یک خازن تشکیل شده باشد را «مدارهای خازنی» گویند.



شکل ۱۲۵ـ مدار خازنی خالص

با وصل یک منبع جریان متناوب سینوسی به دو سر خازن، جریان متناوب سینوسی از خازن عبور می‌کند.
با عبور جریان متناوب سینوسی از خازن در نیم سیکل‌های مثبت و منفی به‌صورت مداوم و تکراری در حال شارژ و دشارژ خواهد بود (شکل ۱۲۶).
در فاصله‌های زمانی T_0 تا T_1 و T_2 تا T_3 که ولتاژ مدار درحال افزایش است خازن شارژ و در فواصل زمانی T_1 تا T_2 و T_3 تا T_4 که ولتاژ درحال کاهش است خازن دشارژ می‌شود.



شکل ۱۲۶

خازن عنصری است که در مقابل تغییرات ولتاژ دوسرش از خود عکس‌العمل نشان می‌دهد.
به مقاومتی که خازن در جریان متناوب از خود نشان می‌دهد «مقاومت خازنی» یا «راکتانس خازنی» می‌گویند و با X_C نشان می‌دهند.
مقدار آن از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

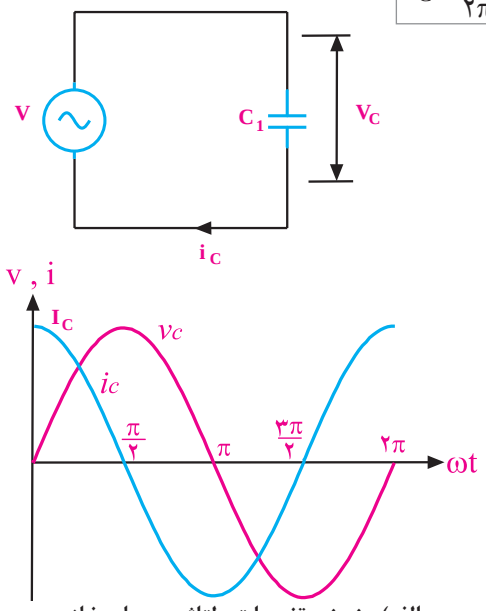
$$x_C = \frac{1}{2\pi f.C} = \frac{1}{\omega.C}$$

X_C ـ راکتانس خازنی برحسب [Ω]
f ـ فرکانس منبع مولد [Hz]
C ـ ظرفیت خازن [f]
ω ـ سرعت زاویه‌ای [Rad/s]

مقدار مقاومت خازنی با فرکانس و ظرفیت خازن رابطه عکس دارد یعنی افزایش این دو عامل باعث کاهش راکتانس خازنی یا کاهش این دو عامل موجب افزایش راکتانس خازنی می‌شود.

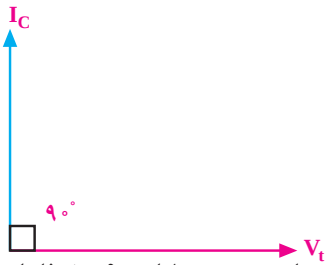
منحنی تغییرات جریان و ولتاژ خازن در جریان متناوب

اگر مداری مانند شکل۱۲۷ داشته باشیم به‌خاطر شارژ و دشارژهای به‌وجود آمده در خازن بین ولتاژ(V) و جریان عبوری (I) از خازن اختلاف فاز ۹۰° به‌وجود می‌آید.
درواقع در لحظاتی که ولتاژ حداکثر است جریان مدار



الف) منحنی تغییرات ولتاژ و جریان خازن

صفر و زمان‌هایی که جریان حداکثر است ولتاژ دو سر خازن صفر خواهد بود. یا به‌عبارتی دیگر جریان نسبت به ولتاژ ۹۰° جلوتر (پیش‌فاز) است.



ب) جریان نسبت به ولتاژ ۹۰° پیش‌فاز است

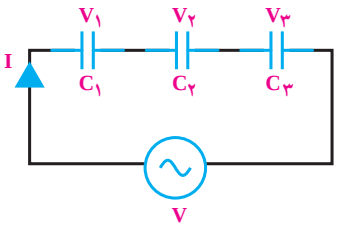
شکل ۱۲۷ـ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ دو سر خازن

اتصال خازن‌ها

در مدارهای خازنی نیز مشابه مدارهای سلفی برای دستیابی به ظرفیت یا راکتانس خازنی مناسب اغلب مجبوریم خازن‌ها را به‌صورت سری یا موازی ببندیم.

محاسبه راکتانس خازنی کل مشابه مقاومت معادل مدارهای سری و موازی است اما ظرفیت کل عکس حالت مقاومت‌ها محاسبه می‌شود.

الف) اتصال سری خازن‌ها: هرگاه دو یا چند خازن مشابه شکل ۱۲۸ به‌صورت سری بسته شده باشند، راکتانس و ظرفیت کل مدار به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.



شکل ۱۲۸

راکتانس کل $x_{C_T} = x_{C_1} + x_{C_2} + x_{C_3} + \ldots + x_{C_n}$

با توجه به اینکه $x_C = \frac{1}{2\pi f.C} = \frac{1}{\omega.C}$ است پس می‌توان به رابطه نهایی ظرفیت کل دست یافت.

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots + \frac{1}{C_n}$$

نکته ۱

در صورت مساوی بودن مقادیر n خازن سری ظرفیت و راکتانس کل را چنین می‌توان به‌دست آورد.

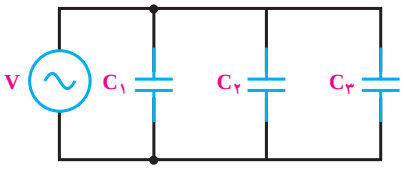
$C_T = \frac{C}{n}$ و $x_{C_T} = n.x_C$

توضیح ۱: چند خازن سری از نظر ولتاژی و جریانی مشابه مقاومت‌های سری هستند. یعنی جریان در مدار ثابت و ولتاژ دو سر هر خازن به نسبت راکتانس‌های هر خازن تقسیم می‌شود.

ب) اتصال موازی خازن‌ها:

مدار شکل ۱۲۹ اتصال چند خازن موازی را نشان می‌دهد. راکتانس کل مدار از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$\frac{۱}{x_{C_T}}=\frac{۱}{x_{C_۱}}+\frac{۱}{x_{C_۲}}+\frac{۱}{x_{C_۳}}+...+\frac{۱}{x_{C_n}}$$



شکل ۱۲۹

برای به‌دست آوردن x_{C_T} می‌بایست مقدار به‌دست آمده $\frac{۱}{x_{C_T}}$ را معکوس کرد.

ظرفیت کل خازن‌های موازی از رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

$$C_T=C_۱+C_۲+C_۳+...+C_n$$

نکته

در صورت مساوی بودن مقادیر n خازن موازی ظرفیت معادل و راکتانس کل را چنین می‌توان به‌دست آورد.

$C_T=n.C_۱$ و $x_{C_T}=\frac{x_C}{n}$

توضیح: چند خازن موازی از نظر ولتاژی و جریانی مشابه مقاومت‌های موازی هستند یعنی ولتاژ در مدار ثابت و جریان در هر خازن به نسبت عکس راکتانس‌های هر خازن تقسیم می‌شود.

نکته

۱ اگر فقط دو خازن به‌صورت موازی بسته شده باشند مقدار ظرفیت و راکتانس کل را از رابطه خلاصه شده زیر می‌توان محاسبه کرد.

$$x_{C_T}=\frac{x_{C_۱}.x_{C_۲}}{x_{C_۱}+x_{C_۲}}$$

$$C_T=C_۱+C_۲$$

۲ در هریک از اتصالات سری یا موازی خازن‌ها راکتانس خازنی کل را می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد

$$x_{C_T}=\frac{۱}{\omega.C_T}=\frac{۱}{۲\pi f.C_T}$$

مثال ۱: سه خازن با ظرفیت‌های ۴، ۶ و ۱۲ میکروفاراد یک بار به‌صورت سری و یک‌بار به‌صورت موازی در مداری با فرکانس ۵۰هرتز بسته شده‌اند، ظرفیت و راکتانس کل را در هر دو حالت سری و موازی محاسبه کنید.

حل:

اتصال سری

$$\frac{۱}{C_T}=\frac{۱}{C_۱}+\frac{۱}{C_۲}+\frac{۱}{C_۳}$$

$$\frac{۱}{C_T}=\frac{۱}{۴}+\frac{۱}{۶}+\frac{۱}{۱۲}=\frac{۳+۲+۱}{۱۲}=\frac{۶}{۱۲}$$

$$C_T=\frac{۱۲}{۶}=۲[\mu f]$$

$$x_{C_T}=\frac{۱}{\omega.C_T}=\frac{۱}{۲\pi f.C_T}$$

$$x_{C_T}=\frac{۱}{۲\times ۳/۱۴\times ۵۰\times ۲\times ۱۰^{-۶}}=\frac{۱۰^{۶}}{۶۲۸}=۱۵۹۲/۳[\Omega]$$

اتصال موازی

$$C_T=C_۱+C_۲+C_۳$$

$$C_T=۴+۶+۱۲=۲۲[\mu f]$$

$$x_{C_T}=\frac{۱}{\omega.C_T}=\frac{۱}{۲\pi f.C_T}$$

$$X_{C_T}=\frac{۱}{۲\times ۳/۱۴\times ۵۰\times ۲۲\times ۱۰^{-۶}}=\frac{۱۰^{۶}}{۶۹۰۸}۱۴۴/۷۶[\Omega]$$

مثال ۲: اگر در مثال ۱ ماکزیمم ولتاژ داده شده به مدار ۷ ولت باشد جریان کل مدار در هر حالت چقدر است؟ «($\sqrt{۲}=۱/۴$ درنظر بگیرید).»

$$V_m=V_V$$

$$V_e=\frac{V_m}{\sqrt{۲}}=\frac{۷}{۱/۴}=۵[v]$$

اتصال سری

$$I_T=\frac{V_e}{x_{C_T}}=\frac{۵}{۱۵۹۲/۳}=۰/۰۰۳[A]$$

اتصال موازی

$$I_T=\frac{V_e}{X_{C_T}}=\frac{۵}{۱۴۴/۷۶}=۰/۰۳۴[A]$$

پژوهش

۱ از مقایسه مقادیر به‌دست آمده مثال‌های صفحه ۱۵۸ مدارهای سلفی خالص با خازنی خالص چه نتیجه‌ای می‌توان گرفت؟

۲ اگر ظرفیت خازنی را ۴ برابر افزایش دهیم و فرکانس مدار را نصف کنیم آیا راکتانس آن تغییری می‌کند؟

الگوی پرسش (ارزشیابی پودمان سوم)

۱ چرا خازن از عبور جریان DC جلوگیری می‌کند؟

۲ رابطه بین جریان و ولتاژ دو سر خازن را با ولتاژ منبع در جریان AC با رسم شکل شرح دهید.

۳ فرکانس بر جریان خازن و امپدانس خازن چه تأثیری دارد؟

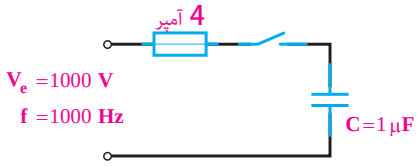
۴ رابطه X_C و واحد آن را بنویسید.

۵ راکتانس خازنی یک خازن ۷۹۰۰ اهم است. اگر ظرفیت خازن ۰/۱μF باشد. فرکانس مدار تقریباً چند هرتز است؟

الف) ۵۰ ب) ۶۰ ج) ۱۰۰ د) ۲۰۰

۶ در مدار شکل ۱۳۰ با بستن کلید چه اتفاقی می‌افتد؟

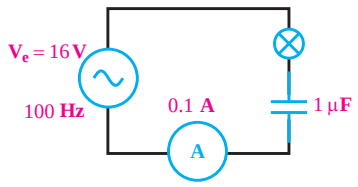
(جواب: فیوز عمل می‌کند)



شکل ۱۳۰

۷ در مدار شکل ۱۳۱ اگر ظرفیت خازن دوبرابر شود، نور لامپ چگونه تغییر می‌کند (کم می‌شود- ثابت می‌ماند- زیاد می‌شود)؟

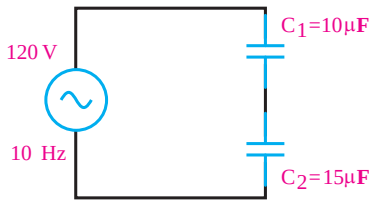
(جواب: زیاد می‌شود)



شکل ۱۳۱

۸ در مدار شکل ۱۳۲ ولتاژ دو سر هر خازن چقدر است؟

(جواب: ۶۷ V، ۳۳ V)

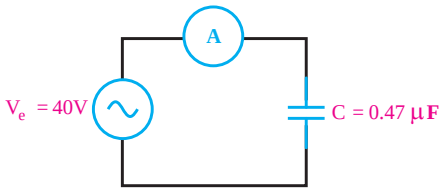


شکل ۱۳۲

۹ افت ولتاژ دو سر یک خازن ۲۰μF در فرکانس ۱kHz برابر ۵ ولت است. شدت جریان عبوری از خازن چقدر است؟

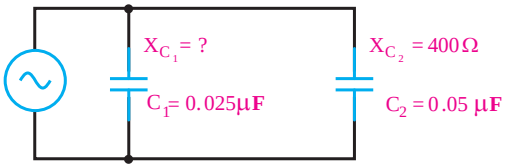
(جواب: ۰/۶۲۹ A)

۱۰ در مدار شکل ۱۳۳ آمپرمتر ۱۰۰ میلی آمپر مؤثر را نشان می دهد. فرکانس منبع چقدر است؟
(**جواب:** f=۸۴۷Hz)



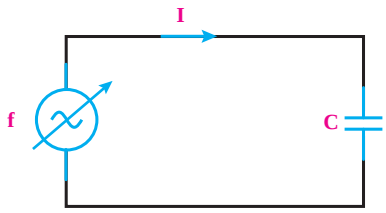
شکل ۱۳۳

۱۱ در مدار شکل ۱۳۴، X_{C_1} معادل چند اهم است؟ اگر C_2 دو برابر شود، X_{C_2} چقدر می‌شود؟چنانچه فرکانس مدار کم شود، X_{C_1} (افزایش ـ کاهش) می‌یابد.
(**جواب:** ۸۰۰۰، ۲۰۰، افزایش)
راهنمایی: از تناسب استفاده کنید.



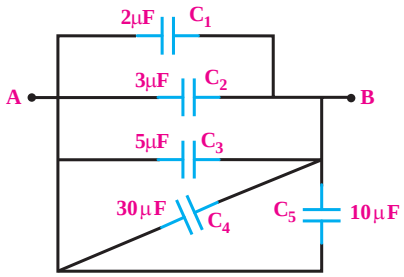
شکل ۱۳۴

۱۲ در شکل ۱۳۵ هر قدر فرکانس افزایش یابد، مقدار I..... می‌شود.
الف) کم ☐ ب) زیاد ☐



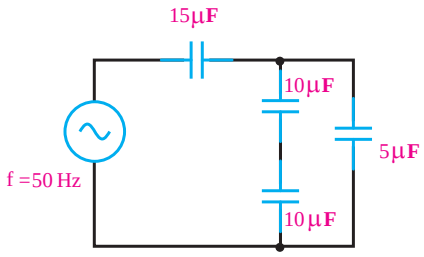
شکل ۱۳۵

۱۳ ظرفیت خازن معادل بین دو نقطه B و A در شکل۱۳۶ چند میکروفاراد است؟
الف) ۱۵۰ ب) ۵۰ ج) ۸۰ د) ۲۰



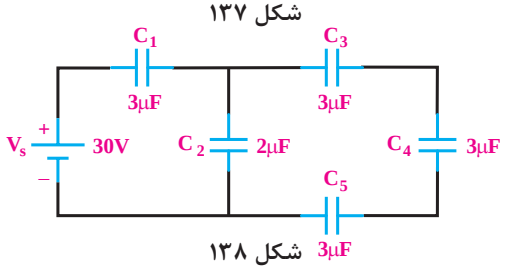
شکل ۱۳۶

۱۴ در مدار شکل ۱۳۷ مقدار X_C کل چقدر است؟
(**جواب:** ۵۳۰ Ω)



شکل ۱۳۷

۱۵ ولتاژ دو سر خازن C_2 در شکل ۱۳۸ چند ولت است؟



شکل ۱۳۸

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

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی / شایستگی/ (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقق
پودمان۳: سلف و خازن در جریان مستقیم و جریان متناوب	۱ـ تحلیل و اتصال خازن و سلف در مدارهای DC ۲ـ تحلیل و مقایسه سیگنال‌های متناوب	۱ـ تحلیل مدار ساده با خازن در جریان مستقیم ۲ـ محاسبه ظرفیت کل خازن در اتصالات مختلف ۳ـ تحلیل مدار ساده با سلف در جریان مستقیم ۴ـ محاسبه اندوکتانس کل سلف‌ها دراتصالات مختلف ۵ـ توانایی تشخیص مشخصات سیگنال متناوب (سینوسی) ۶ـ توانایی توضیح نحوه عملکرد خازن در مدار متناوب ۷ـ توانایی توضیح نحوه عملکرد سلف در مدار متناوب ۸ـ شناخت مقاومت سلف و خازن در AC و اثر آن در جریان مدار	بالاتر از حد انتظار	علاوه بر تحقق شاخص‌های در حد انتظار، انجام کلیه فعالیت‌های پودمان (مانند، تحقیق کنید، فکر کنید، پژوهش کنید، جست‌وجوکنید، بحث گروهی)
			درحدانتظار	۱ـ توضیح دهد که در خازن تا وقتی جریان برقرار است که خازن کاملاًشارژشود ومحاسبه ولتاژ نهایی دو سر خازن را انجام دهد ۲ـ توانایی محاسبه ظرفیت خازن معادل در اتصال سری و موازی خازن ها ۳ـ توضیح رفتار اولیه + محاسبه نیروی ضد محرکه القایی ۴ـ شناسایی انواع موج،رسم،تعیین مقادیر(فرکانس،دوره تناوب ودامنه) و مقایسه از نظر اختلاف فاز ۵ـ توضیح دهد که جریان متناوب در مدار خازنی برقرار است و محاسبه عکس‌العمل خازنی ۶ـ توانایی رسم نمودارولتاژ/جریان خازن در AC (تشخیص اختلاف فاز) ۷ـ توانایی محاسبه عکس العمل خازنی در اتصال سری و موازی خازن‌ها
			پایین‌تر از حد انتظار	در صورتی‌که هنرجو همه شاخص‌های درحد انتظار را محقق نسازد، پایین‌تر از حد انتظار ارزشیابی می‌شود.
نمره مستمر از ۵ (بر اساس انجام فعالیت‌های کلاسی و کارگاهی، نظم، مشارکت در فعالیت‌های آموزشی و تربیتی، ابتکار در تکالیف عملکردی درسی و... از ۱ تا ۵ نمره اختصاص پیدا خواهد کرد.)				
شایستگی پودمان (پایین‌تر از حد انتظار، در حد انتظار، بالاتر از حد انتظار)				
نمره پودمان از ۲۰				

۲ـ شایستگی های غیرفنی و عمومی (ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی):

شاخص‌ها	ضریب کیفیت عملکرد	شایستگی عملکرد هنرجو
مدیریت کیفیت ـ جمع‌آوری وگردآوری اطلاعات ـ زبان فنی 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 به‌موقع در کارگاه ـ ...	۲	

شایستگی عملکرد هنرجو در واحد یادگیری	شایستگی‌های غیرفنی و عمومی			شایستگی‌های 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:

۱ـ سطح شایستگی هنرجو در هیچ مرحله‌ای کمتر از حد انتظار نباشد.

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

توجه:

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

۲ـ اگر میانگین سطوح شایستگی ۲/۵ یا بیشتر باشد، سطح شایستگی بالاتر از حد انتظار خواهد بود.

۳ـ 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 غیرفنی و عمومی، سطح در حد انتظار کسب نشده باشد، به معنی عدم احراز شایستگی در واحد یادگیری است.

پودمان ۴

دیود و کاربردهای آن



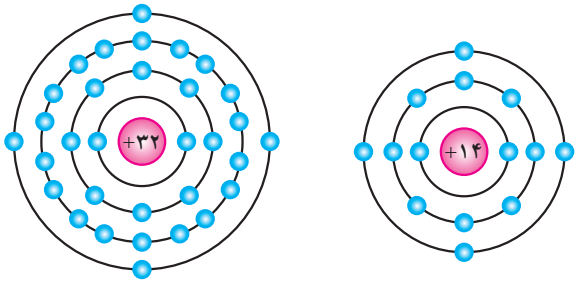
کسب شایستگی لازم در شناخت رفتار و عملکرد دیود در مدارهای الکترونیکی و استفاده از روابط مربوطه برای انجام محاسبات ساده

نیمه‌هادی‌ها

به عناصری که اتم‌های آن در مدار آخر خود چهار الکترون دارند «نیمه‌هادی» گویند. نیمه‌هادی‌ها در صفر مطلق (-۲۷۳ $^{\circ}C$) تقریباً عایق هستند. در درجه حرارت معمولی (۲۵$^{\circ}C$) انرژی حرارتی محیط باعث آزادشدن تعدادی از الکترون‌های لایه ظرفیت می‌شود و هدایت الکتریکی در جسم بالا می‌رود. البته افزودن ناخالصی هم می‌تواند هدایت الکتریکی جسم را بالا ببرد. عناصری نظیر کربن، سیلیسیم و ژرمانیوم جزء نیمه‌هادی‌ها به شمار می‌آیند. دو عنصر نیمه‌هادی سیلیسیم و ژرمانیوم در برق و الکترونیک کاربرد فراوان دارند.

ساختمان اتمی سیلیسیم و ژرمانیوم

سیلیسیم دارای عدد اتمی ۱۴ است. یعنی دارای ۱۴ پروتون و ۱۴ الکترون است. ژرمانیوم دارای عدد اتمی ۳۲ است، یعنی ۳۲ پروتون و ۳۲ الکترون دارد. در شکل ۱ ساختمان اتمی سیلیسیم (Si) و ژرمانیوم (Ge) نشان داده شده است. هر دو عنصر سیلیسیم و ژرمانیوم در لایه ظرفیت دارای چهار الکترون هستند.



الف) سیلیسیم　　ب) ژرمانیوم

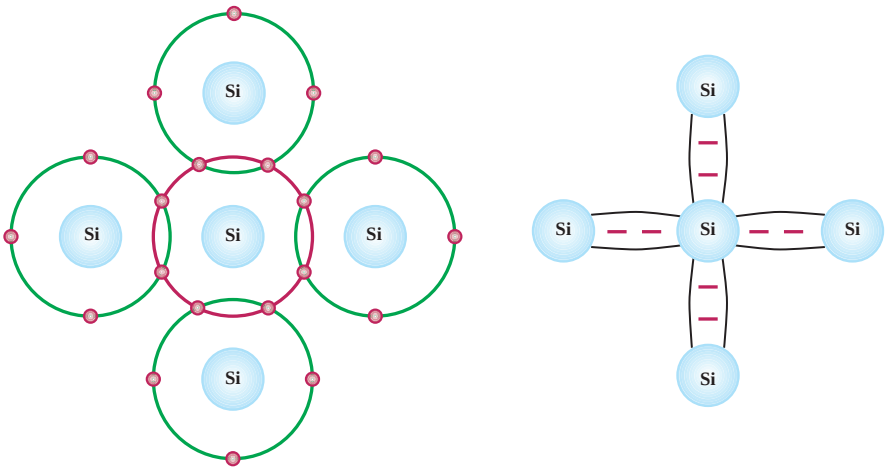
شکل ۱ــ ساختمان اتمی سیلیسیم و ژرمانیوم

پیوند اشتراکی (کووالانس) در اتم‌های سیلیسیم و ژرمانیوم

هرگاه اتمی در مدار آخر خود دارای هشت الکترون باشد مدار آن کامل بوده، از نظر شیمیایی حالت پایداری پیدا می‌کند. نیمه‌هادی‌ها و عایق‌ها تمایل به دریافت الکترون و تکمیل مدار آخر خود دارند.

چون اتم سیلیسیم و ژرمانیوم در مدار آخر خود چهار الکترون دارند، می‌خواهند مدار آخر خود را کامل کنند. برای این منظور هر اتم یک الکترون با اتم مجاور به اشتراک می‌گذارد (الکترون‌های ظرفیت هر اتم علاوه بر اینکه به دور هسته خود در گردش هستند، به دور هسته اتم مجاور هم گردش می‌کنند). این نوع پیوند بین اتم‌ها را «پیوند اشتراکی» یا «کووالانس» گویند. در شکل ۲ پیوند اشتراکی بین اتم‌های سیلیسیم را مشاهده می‌کنید.

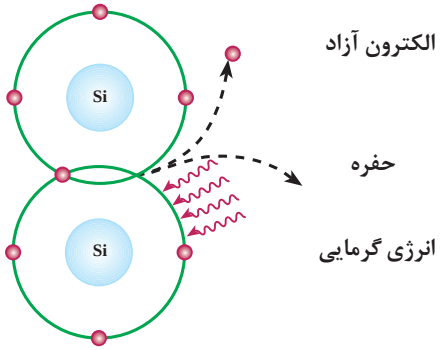
البته پیوند بین اتم‌های ژرمانیوم نیز مشابه اتم‌های سیلیسیم است. چون هر اتم در مدار آخر خود هشت الکترون دارد، دارای حالت پایدار بوده لذا در صفر مطلق کریستال سیلیسیم و ژرمانیوم الکترون آزاد ندارند و عایق هستند.



شکل ۲ـ پیوند اشتراکی بین اتم‌های سیلیسیم

ایجاد حفره (Hole)

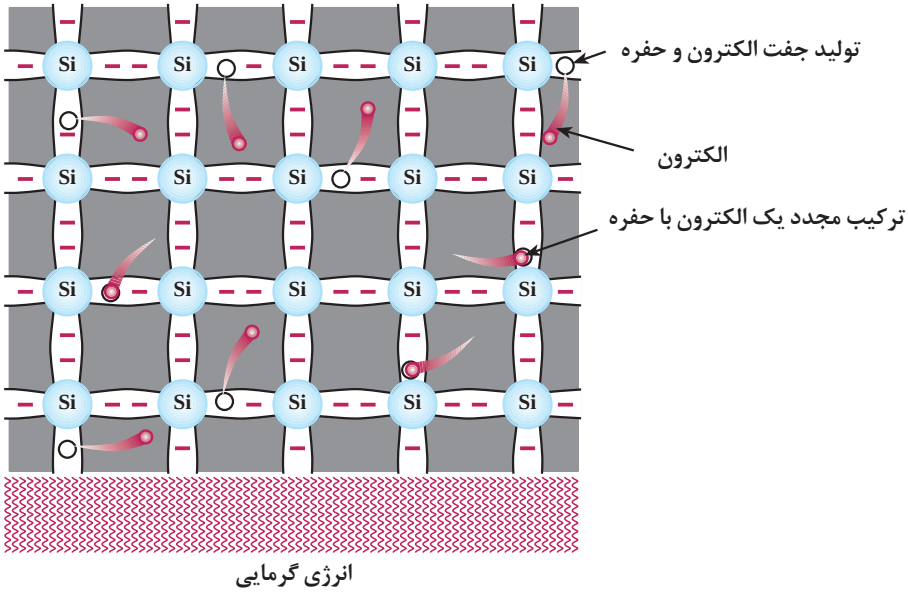
انرژی‌های خارجی نظیر حرارت می‌توانند باعث شکسته شدن پیوند شوند و در نتیجه الکترون از قید هسته آزاد گردد. آزاد شدن یک الکترون از مدار ظرفیت، یک جای خالی الکترون ایجاد می‌کند که به این جای خالی الکترون حفره می‌گویند. در شکل ۳ الکترون آزاد و محل خالی آن یعنی حفره نشان داده شده است. چون محل خالی الکترون می‌تواند یک الکترون آزاد نزدیک به خود را جذب کند، مانند یک بار مثبت عمل می‌کند.



شکل ۳ـ الکترون آزاد و محل خالی آن حفره

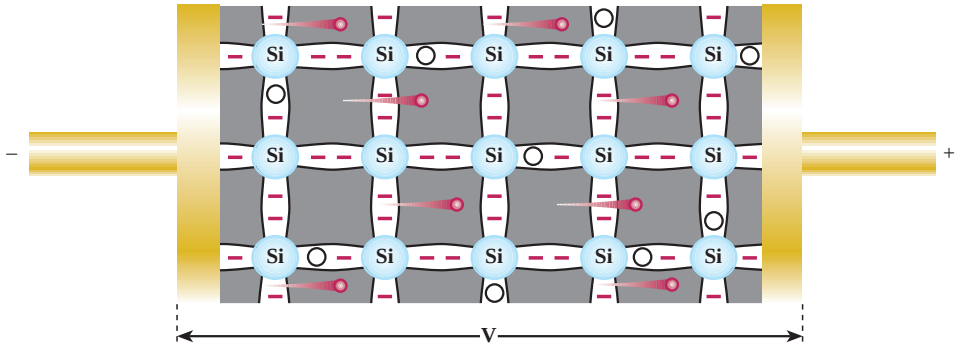
جریان الکترون‌های آزاد

الکترون‌های آزاد شده در کریستال به صورت نامنظم حرکت می‌کنند. اگر به‌صورت اتفاقی الکترونی به حفره‌ای نزدیک شود جذب حفره می‌گردد. به این ترتیب تا زمانی که نیرویی از خارج اعمال نشود، حرکت الکترون‌ها و جذب آنها به وسیله حفره‌ها در کریستال به‌طور نامنظم ادامه می‌یابد. در شکل ۴ چگونگی تولید زوج «الکترون ـ حفره» و ترکیب مجدد الکترون با حفره نشان داده شده است.



شکل ۴ـ تولید زوج «الکترون ـ حفره»

وقتی مطابق شکل ۵ ولتاژی به دوسر کریستال متصل شود، الکترون‌های آزاد به طرف قطب مثبت باتری حرکت می‌کنند و شارشی را در مدار به‌وجود می‌آورند که ناشی از حرکت الکترون‌هاست و به این شارش جریان الکترون‌ها گویند.



شکل ۵ـ جریان الکترون‌ها

جریان حفره‌ها

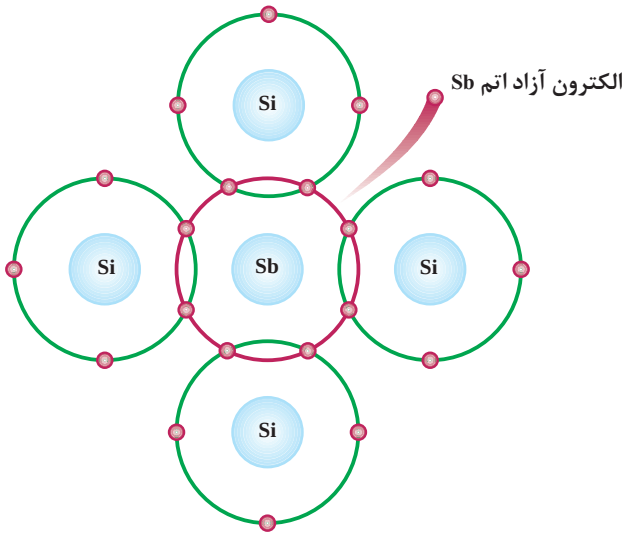
وقتی در اتم حفره‌ای وجود دارد به‌دلیل آن‌که حفره‌گرایشی به جذب الکترون دارد از اتم مجاور الکترونی را جذب می‌کند، اما جای الکترون جذب شده حفره جدیدی ایجاد می‌گردد. به این ترتیب به نظر می‌رسد وقتی الکترون از چپ به راست حرکت می‌کند حفره از راست به چپ در حرکت است. این جریان فرضی را جریان حفره‌ها می‌نامند.

افزودن ناخالصی به کریستال نیمه‌هادی

چون تعداد الکترون‌های آزاد و حفره‌های ایجاد شده در کریستال نیمه‌هادی سیلیسیم و ژرمانیوم در اثر انرژی گرمایی به اندازه کافی نیست و از این نیمه‌هادی‌ها نمی‌توان برای ساختن قطعاتی نظیر دیود یا ترانزیستور استفاده کرد. برای افزایش هدایت نیمه‌هادی به آن ناخالصی اضافه می‌کنند. ناخالص کردن نیمه‌هادی به دو شکل با اتم پنج ظرفیتی و سه ظرفیتی صورت می‌گیرد.

ناخالص کردن کریستال نیمه‌هادی با اتم پنج ظرفیتی (نیمه‌هادی نوع N)

هرگاه یک عنصر پنج ظرفیتی مانند ارسنیک (As)، آنتیموان (Sb) یا فسفر (P) را که در لایه ظرفیت خود پنج الکترون آزاد دارند، به کریستال سیلیسیم یا ژرمانیوم اضافه کنیم، اتم ناخالص با چهار اتم سیلیسیم مجاور خود تشکیل پیوند اشتراکی می‌دهد. از طرفی در لایه ظرفیت آنتیموان (Sb) یک الکترون می‌تواند به راحتی از قید هسته آزاد شود و به صورت الکترون آزاد درآید، به این ترتیب با افزودن هر اتم ناخالصی یک الکترون آزاد در کریستال ایجاد می‌شود. پس با تغییر تعداد اتم‌های ناخالصی، می‌توان تعداد الکترون‌های آزاد کریستال را کنترل کرد. علاوه بر الکترون‌های آزادی که در اثر افزودن اتم‌های ناخالصی پنج ظرفیتی به کریستال به‌وجود می‌آیند، تعداد کمی الکترون نیز در اثر انرژی گرمایی محیط از قید هسته آزاد می‌شوند و جای خالی آنها حفره ایجاد می‌گردد. در این فرایند، اتم ناخالص پنج ظرفیتی که یک الکترون آزاد به کریستال می‌دهد، به صورت یون مثبت درمی‌آید. لذا به این اتم کریستال «اهداکننده» یا «Donor» می‌گویند (شکل ۶).



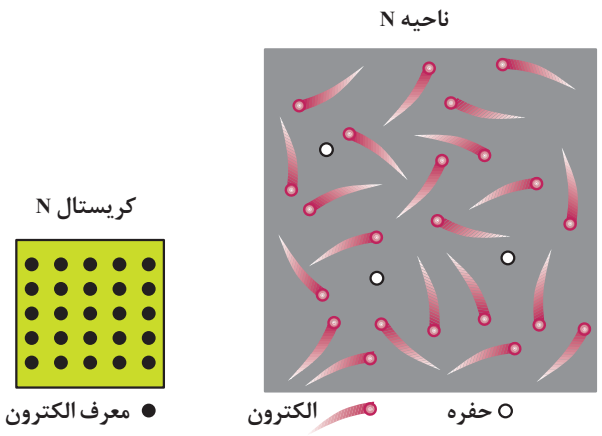
شکل ۶ـ Sb به‌عنوان اتم Donor

به این کریستال که حامل‌های اکثریت برای هدایت الکتریکی در آن الکترون‌ها هستند، کریستال نوع N می‌گویند. در شکل ۷ الکترون‌ها و حفره‌های کریستال نوع N نشان داده شده است.

یادآور می‌شود که در مجموع کریستال N از نظر بار الکتریکی خنثی است، زیرا مجموع بارهای مثبت و منفی موجود در آن با هم برابرند.

کار گروهی

با توجه به شکل ۶ و ۷ چگونگی افزودن اتم سه ظرفیتی و تشکیل کریستال نوع P را بررسی کنید و نتیجه را در کلاس به بحث بگذارید.



شکل ۷ـ الکترون‌ها و حفره‌ها در کریستال نوع N

بارش فکری

جدول ۱ را از طریق بارش فکری به بحث بگذارید.

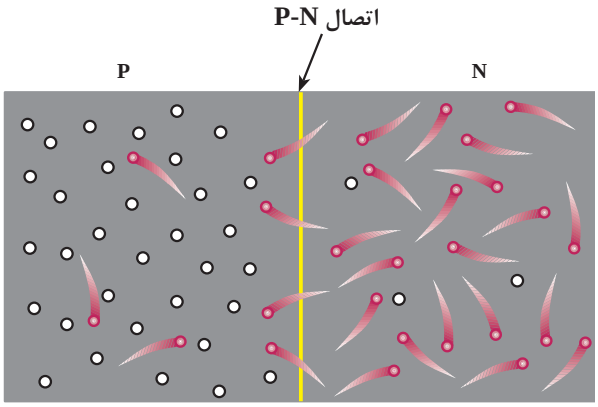
جدول ۱ـ جمع‌بندی

جمع‌بندی کریستال نوع N	جمع‌بندی کریستال نوع P
۱ـ حامل‌های اکثریت هدایت الکتریکی الکترون است و در اثر افزودن ناخالصی پنج ظرفیتی به وجود می‌آید.	۱ـ حامل‌های اکثریت هدایت الکتریکی حفره است و در اثر افزودن ناخالصی سه ظرفیتی به‌وجود می‌آید.
۲ـ حامل‌های اقلیت هدایت الکتریکی حفره است و در اثر حرارت به‌وجود می‌آید.	۲ـ حامل‌های اقلیت هدایت الکتریکی الکترون است و در اثر حرارت به‌وجود می‌آید.
در صورت اتصال ولتاژ به کریستال N یا P، جریان کل از مجموع حامل‌های اکثریت و اقلیت شکل می‌گیرد. چرا؟ به عبارت دیگر: **حامل‌های اقلیت + حامل‌های اکثریت = جریان کل** ناشی از حامل‌های اکثریت I + ناشی از حامل‌های اقلیت I = I_T	

فیلم

فیلمی از چگونگی تشکیل پیوند را ملاحظه کنید.

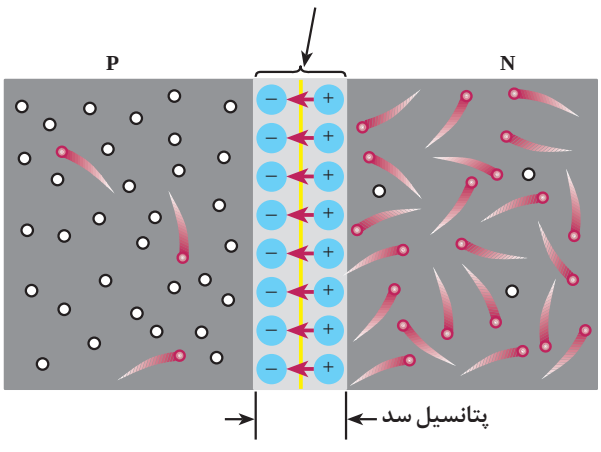
اتصال PN (دیود پیوندی ــ Junction Diode)



شکل ۸ــ پیوند PN

هرگاه دو کریستال نیمه‌هادی نوع N و P به هم اتصال یابند، الکترون‌های آزاد نیمه‌هادی نوع N که در نزدیک محل اتصال PN قرار دارند به منطقه P نفوذ کرده و با حفره‌های کریستال نوع P ترکیب می‌شوند. به این ترتیب تعدادی از حفره‌ها و الکترون‌ها از بین می‌روند و شرایط خاصی را به‌وجود می‌آورند. در شکل ۸ ترکیب الکترون‌ها با حفره‌ها نشان داده شده است.

عبور یک الکترون از محل اتصال سبب ایجاد یک جفت یون می‌شود. هنگامی که در ناحیه N یک اتم پنج ظرفیتی، الکترونی از دست می‌دهد، آن اتم به یون مثبت تبدیل می‌شود. در مقابل در ناحیه P اتم‌های سه ظرفیتی الکترون دریافت می‌کنند و تبدیل به یون منفی می‌شوند. ترکیب پی‌درپی الکترون‌ها با حفره‌ها در محل پیوند، تعداد زیادی یون مثبت و منفی را ایجاد می‌کند. این یون‌ها در کریستال ثابت هستند و نمی‌توانند مانند الکترون‌های آزاد حرکت کنند. بنابراین در محل پیوند ناحیه‌ای به‌نام لایه تخلیه به وجود می‌آید که در آن حامل‌های هدایت الکتریکی یعنی الکترون‌ها و حفره‌ها وجود ندارد. به ناحیه تخلیه، ناحیه سد هم گفته می‌شود.



شکل ۹ــ ناحیه تخلیه (سد)

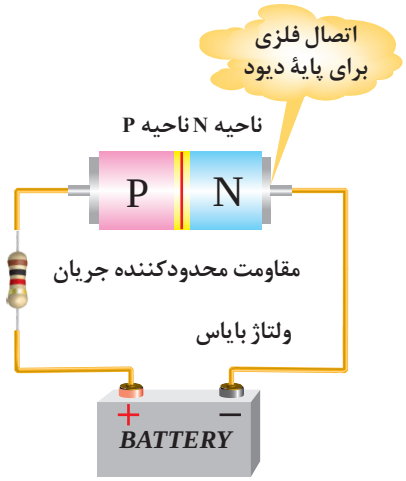
یون‌های مثبت و منفی در ناحیه تخلیه سبب ایجاد میدان الکتریکی می‌شود و نمی‌گذارد الکترون‌های آزاد از محل اتصال عبور کنند. هرگاه میدان ایجاد شده به حدی برسد که مانع عبور الکترون از محل اتصال شود، ولتاژی بین دو کریستال P و N به وجود می‌آید. ولتاژ ایجاد شده در ناحیه تخلیه، پتانسیل سد نام دارد و مقدار آن برای دیود سیلیسیمی حدود ۰/۷ ولت و برای دیود ژرمانیومی‌حدود ۰/۲ ولت است. در شکل ۹ ناحیه تخلیه و پتانسیل سد نشان داده شده است. به پیوند PN، دیود (Diode) یا دو قطبی می‌گویند زیرا هر دو حامل جریان یعنی الکترون و حفره وظیفه انتقال جریان را برعهده دارند.

ولتاژ بندی یا بایاس (Bias) دیود

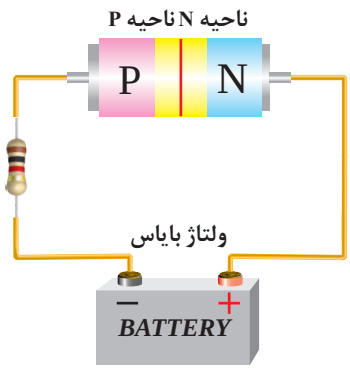
اتصال ولتاژ به دیود را ولتاژبندی یا بایاس‌کردن (Biasing) دیود می‌نامند.اتصال ولتاژ به دیود به دو صورت امکان پذیراست.

الف) دیود در بایاس مستقیم (موافق ـ Forward Bias): اگر نیمه‌هادی نوع P را به قطب مثبت باتری و نیمه‌هادی نوعN را به قطب منفی آن متصل کنیم، دیود دربایاس مستقیم قرار می‌گیرد (شکل ۱۰).

ب) دیود در بایاس معکوس (مخالف ـ Reverse Bias): در صورتی که نیمه‌هادی نوعP را به قطب منفی باتری و نیمه‌هادی نوع N را به قطب مثبت آن وصل نماییم، این حالت را بایاس معکوس می‌نامند (شکل ۱۱).



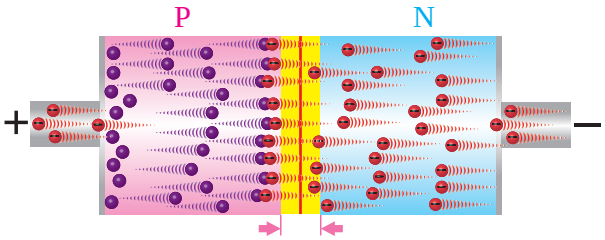
شکل ۱۰ـ پیوند PN در بایاس موافق



شکل ۱۱ـ پیوند PN در بایاس مخالف

رفتار دیود در بایاس مستقیم و معکوس

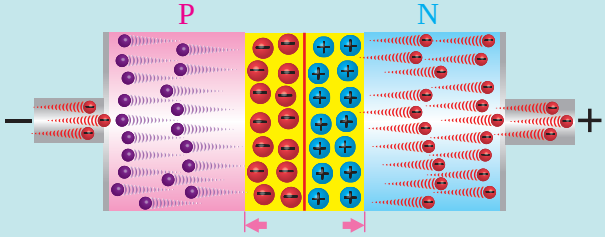
شکل ۱۲ تصویر پیوند دیود (PN) را در هنگام اتصال باتری در بایاس مستقیم نشان می‌دهد.



شکل ۱۲ـ رفتار دیود در بایاس مستقیم

کار گروهی

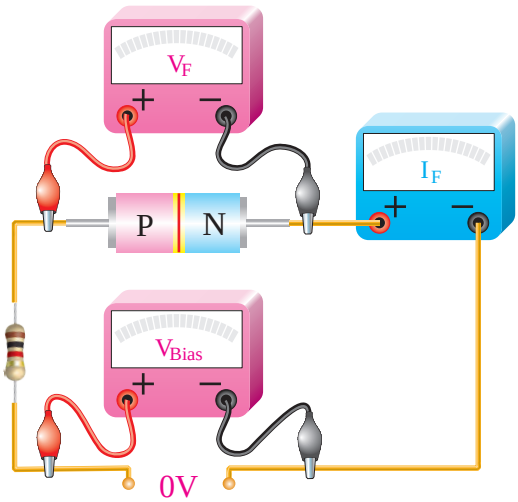
با توجه به لایه سد که در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ می‌بینید، با اعضای گروه، رفتار دیود در بایاس مستقیم و بایاس معکوس را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهید. آیا در بایاس معکوس حامل‌های اقلیت هدایت الکتریکی جریان ناچیزی را به‌نام جریان نشتی ایجاد می‌کنند؟ نتیجه را به کلاس ارائه کنید.



شکل ۱۳ـ بایاس معکوس (مخالف)

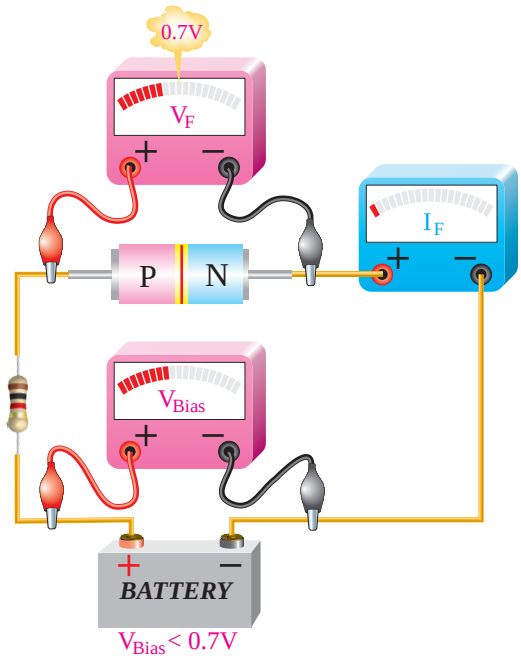
منحنی مشخصه ولت آمپر دیود در بایاس مستقیم

اگر دیودی را در بایاس مستقیم قرار دهیم و ولتاژ متصل شده به آن را به تدریج از صفر ولت افزایش دهیم و جریان عبوری از دیود را به وسیله میلی‌آمپرمتر اندازه بگیریم، در ولتاژ صفر جریان عبوری از دیود صفر است (شکل ۱۴).



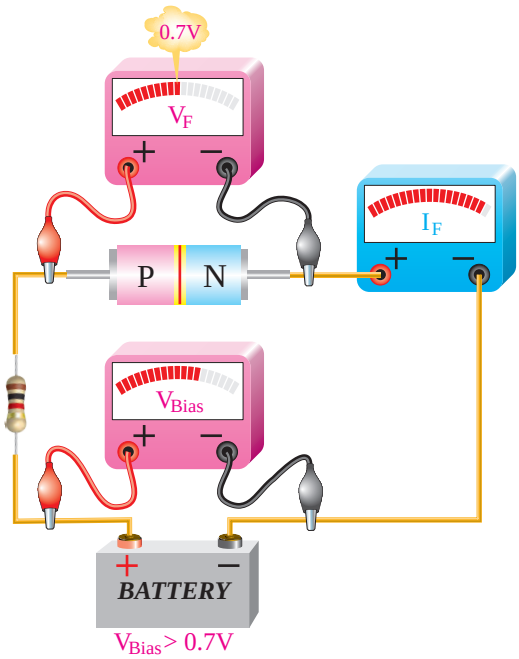
شکل ۱۴ــ ولتاژ صفر ــ جریان صفر

با افزایش ولتاژ جریان عبوری از دیود هم افزایش می‌یابد. هنگامی‌که ولتاژ بایاس برای یک دیود سیلیسیمی کمتر از ۰/۷ ولت است، جریان بسیار ناچیزی از دیود عبور می‌کند (شکل ۱۵).



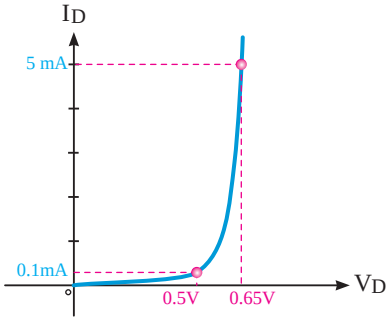
شکل ۱۵ــ ولتاژ کمتر از ۰/۷ ولت، جریان بسیار کم

اگر ولتاژ بایاس زیاد شود (یعنی پتانسیل خارجی بیشتر از ۰/۷ ولت شود)، این پتانسیل بر پتانسیل سد غلبه می‌کند و سد شکسته می‌شود و سرانجام جریان عبوری از دیود به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد. برای محدود کردن جریان عبوری از دیود لازم است مقاومتی را با آن به صورت سری ببندیم (شکل ۱۶).



شکل ۱۶ــ ولتاژ بیشتر از ۰/۷ ولت، از دیود جریان عبور می‌کند.

چنانچه در محورهای مختصات، به محور x مؤلفه ولتاژ و به محور y مؤلفه جریان را اختصاص دهیم، با استفاده از مقادیر مختلف اندازه‌گیری شده، می‌توانیم منحنی مشخصه دیود را ترسیم کنیم. شکل ۱۷ منحنی ولت‌آمپر دیود در بایاس موافق نشان داده شده است.



شکل ۱۷ــ منحنی ولت‌آمپر دیود در بایاس موافق

نرم‌افزار

با استفاده از نرم‌افزاری که در اختیار دارید، مدار بایاسینگ دیود را ببندید و آن را تجربه کنید.

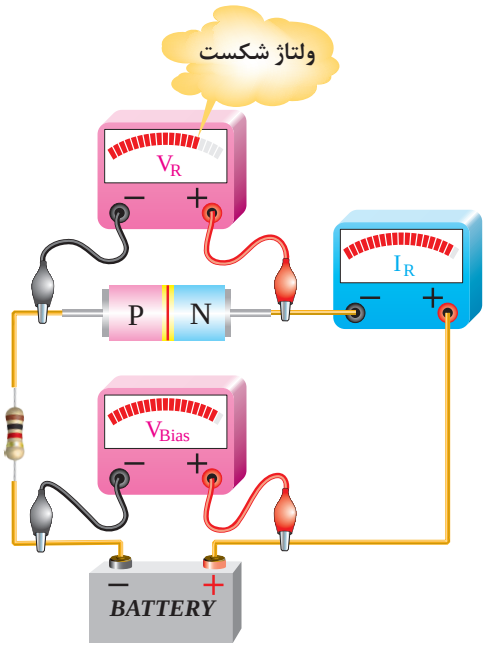
منحنی مشخصه ولت آمپر دیود در بایاس معکوس

اگر دیود را به طور معکوس بایاس کنیم جریان بسیار ناچیز نشتی از دیود می‌گذرد. با افزایش ولتاژ معکوس، در یک ولتاژ معین که «ولتاژ شکست دیود» (breakdown) نامیده می‌شود. در این حالت جریان عبوری از دیود به سرعت افزایش می‌یابد و دیود آسیب می‌بیند.

فیلم

با جستجو در اینترنت فیلمی از دیود در ولتاژ موافق و مخالف و چگونگی ترسیم منحنی مشخصه دیود را ببینید.

شکل ۱۸ حالتی را نشان می‌دهدکه ولتاژ بایاس دیود به حد ولتاژ شکست رسیده است. در این حالت جریان عبوری از دیود به شدت افزایش یافته است.

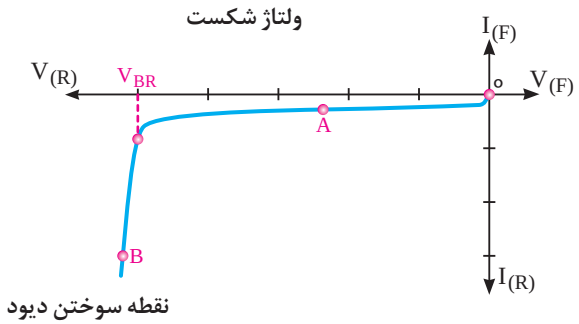


شکل ۱۸ــ ولتاژ شکست دیود در بایاس مخالف

در شکل ۱۹ منحنی مشخصه ولت آمپر دیود در گرایش معکوس نشان داده شده است.

پژوهش

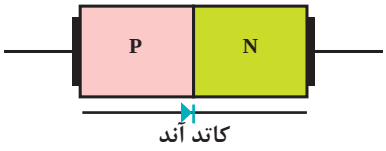
با مراجعه به منابع مختلف درباره جریان نشتی دیود پژوهش کنید و نتیجه را در کلاس به بحث بگذارید.



شکل ۱۹ــ منحنی ولت ــ آمپردیود در بایاس مخالف

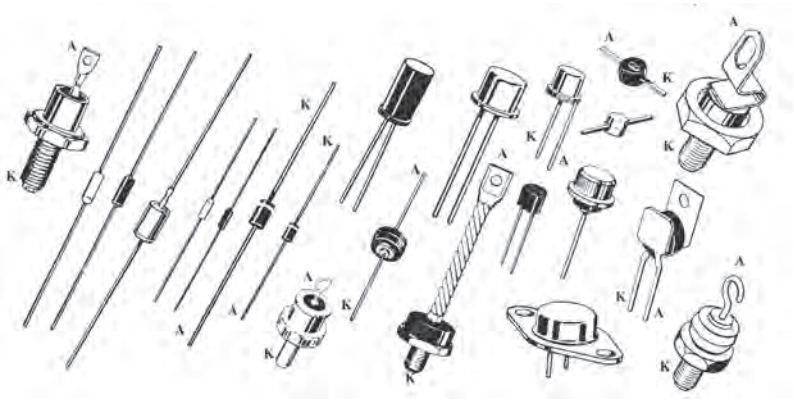
علامت اختصاری و شکل ظاهری دیود معمولی

در شکل ۲۰ ساختمان کریستالی و علامت اختصاری یک دیود معمولی نشان داده شده است.



شکل ۲۰ـ ساختمان کریستالی و علامت اختصاری دیود

نیمه‌هادی نوع P آند و نیمه‌هادی نوع N کاتد نام دارد. همان‌گونه که دیده می‌شود علامت اختصاری دیود مانند یک پیکان از سمت آند به جانب کاتد بوده که معرف این نکته است که جریان قرار دادی به راحتی از سمت آند به کاتد عبور می‌کند. در شکل ۲۱ شکل ظاهری چند نمونه دیود را مشاهده می‌کنید. در این شکل پایه‌های آند و کاتد برخی از دیودها روی شکل ظاهری آنها نشان داده شده است.



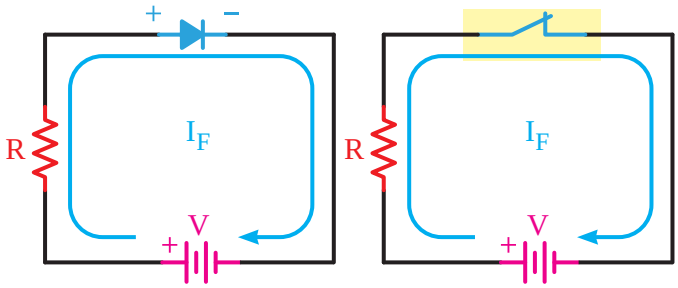
شکل ۲۱ـ شکل ظاهری چند نمونه دیود

جست‌وجو کنید

آیا از نظر شکل ظاهری انواع دیگری از دیودها وجود دارد؟ نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

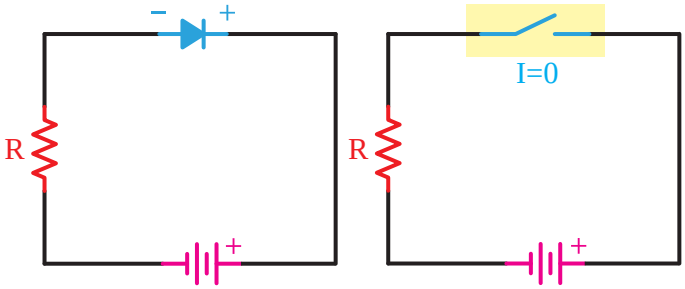
بررسی دیود در حالت ایده‌آل

چون دیود در بایاس مستقیم جریان را به‌راحتی عبور می‌دهد و در بایاس معکوس جریان بسیار ناچیز از دیود عبور می‌کند، پس در حالت ایده‌آل در بایاس مستقیم مانند هادی و در بایاس معکوس مانند عایق عمل می‌کند. عملکرد دیود را در حالت ایده‌آل در بایاس موافق می‌توان با یک کلید وصل مقایسه کرد. در بایاس معکوس یک دیود ایده‌آل مانند یک کلید باز عمل می‌کند. در شکل ۲۲ دیود ایده‌آل در بایاس موافق نشان داده شده است. مقاومت R در مدار به عنوان محدودکننده جریان به‌کاررفته است.



شکل ۲۲ـ دیود ایده‌آل در بایاس موافق

همچنین در شکل ۲۳ معادل دیود ایده‌آل در بایاس مخالف نشان داده شده است.



شکل ۲۳ـ دیود ایده‌آل در بایاس مخالف

انواع دیودهای نیمه‌هادی و نمایشگرها

انواع متعددی از دیودهای پیوند PN وجود دارند که از لحاظ نوع کار، مشخّصه و زمینه کاربرد با هم متفاوت‌اند. از انواع این دیودها، می‌توان دیود اتصال نقطه‌ای، دیود زنر، دیود نوردهنده (LED) و دیود واراکتور، فتو دیود، دیود شاتکی، دیود منتشرکننده اشعه مادون قرمز، دیود لیزری و دیود جریان ثابت را نام برد.

دیود یک‌سوکننده معمولی (Rectifier Diod)

این نوع دیود برای یک‌سوسازی یا یک طرفه کردن ولتاژهای متناوب (معمولاً سینوسی) به کار می‌رود و با جریان متوسط (I_F) حدود ۵۰ mA تا ۱۰۰۰ آمپر ساخته می‌شود. دیودهای یک‌سوکننده معمولی در محدوده فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز کار می‌کنند. لذا برای یک‌سوسازی فرکانس‌های بالاتر باید از دیودهای سریع استفاده شود. شکل ۲۴ شکل ظاهری چند نمونه از دیود یک‌سوکننده معمولی را نشان می‌دهد.



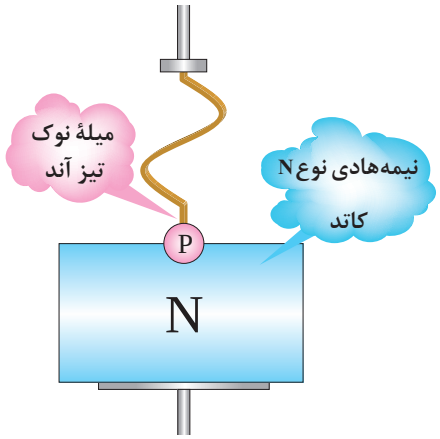
شکل ۲۴ـ چند نمونه دیود یک‌سوکننده معمولی

دیود اتصال نقطه‌ای (Point Contact Diode)

اگر بخواهیم دیودها را در فرکانس‌های بالا به کار ببریم، باید ظرفیت خازنی آنها را در بایاس مخالف کم کنیم. برای کم کردن ظرفیت خازن، ساده‌ترین راه، کم کردن سطح اتصال هادی‌ها و سطح اتصال محل پیوند است. بر این اساس دیودهای اتصال نقطه‌ای برای فرکانس‌های بالا ساخته می‌شود. شکل۲۵ ساختمان ساده یک دیود اتصال نقطه‌ای را نشان می‌دهد.

نکته

معمولاً مشخصات فنی و کاربرد دیودها را با توجه به شماره فنی آن در برگه اطلاعات دیود (data sheet) می‌نویسند. برگه‌های اطلاعات با شماره دیود از شبکه‌های مجازی از جمله سایت alldatasheet. com قابل بارگیری است.



شکل ۲۵ـ نمایش ساختمان دیود اتصال نقطه‌ای

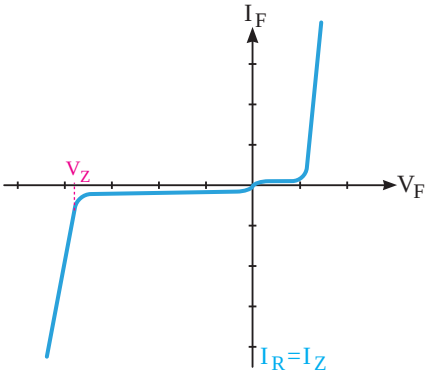
دیود زنر (Zener Diode)

ساختمان دیود زنر: دیود زنر، مانند دیود معمولی از دو نیمه‌هادی نوع P و N ساخته می‌شود. اگر یک دیود معمولی را در بایاس معکوس اتصال دهیم و ولتاژ معکوس را اضافه نماییم، در یک ولتاژ خاص، دیود در بایاس معکوس به حد ولتاژ شکست می‌رسد و دیود آسیب می‌بیند. دانشمندی به‌نام زنر (zener) اقدام به ساخت نوعی دیود نمود که می‌تواند در ولتاژ شکست کار کند و دوباره به حالت اولیه برگردد. در این دیودها ولتاژ شکست را ولتاژ «زنر» می‌نامند.

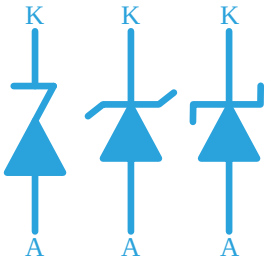
پژوهش

با مراجعه به فضای مجازی درباره زندگی‌نامه zener تحقیق کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

شکل ۲۶ منحنی مشخصه «ولت ـ آمپر» یک دیود زنر را نشان می‌دهد.



شکل ۲۶ـ منحنی مشخصه ولت‌ـآمپر



شکل ۲۷

دیود زنر، در بایاس معکوس استفاده می‌شود. با توجه به این که ولتاژ زنر تقریباً در جریان‌های مختلف معکوس ثابت است. از این خاصیت جالب زنر، برای تثبیت ولتاژ استفاده می‌کنند. نمادهای فنی دیود زنر در شکل ۲۷ و شکل ظاهری چند نمونه دیود را در شکل ۲۸ ملاحظه می‌کنید.



شکل ۲۸

پژوهش

با مراجعه به فضای مجازی از جمله سایت roshd.ir مقادیر استاندارد دیودهای زنر را بیابید و به کلاس ارائه دهید. همچنین موارد درج شده در کادر را ببینید و از صحت آن اطمینان حاصل کنید.

نکته

معمولاً مقدار تلرانس را روی بدنه دیود زنر می‌نویسند. برای تلرانس ۵ درصد از حرف C و برای تلرانس ۱۰ درصد از حرف D استفاده می‌کنند. مثلاً ولتاژ دیود زنر BZX ۳۲/C۳V۹، ۳/۹ ولت و تلرانس آن (C) ۵ درصد است. در نام‌گذاری دیود علامت V به جای ممیز به‌کار می‌رود.

توان زنر: جریانی که در بایاس معکوس، از دیود زنر عبور می‌کند اگر زیاد شود به سوختن دیود منجر می‌شود. مقدار جریان ماکزیممی‌که دیود زنر می‌تواند تحمل کند به توان دیود زنر و ولتاژ شکست زنر بستگی دارد.

$$P_Z = I_Z \times V_Z$$

معمولاً مشخصات فنی و کاربرد دیودهای زنر را با توجه به شماره فنی آن در برگه اطلاعات دیود (data sheet) می‌نویسند. این موارد شامل توان مجاز، ولتاژ موافق و مخالف است. امروزه دیودهای زنر را همراه با سایر قطعات در داخل آی‌سی رگولاتور مانند ۷۸۰۵ قرار می‌دهند، این آی‌سی می‌تواند ولتاژ ۵ ولت و جریان یک آمپر تولید کند و جایگزین دیود زنر شود.

دیود جریان ثابت (Constant Current Diode)



شکل ۲۹ـ نماد مداری دیود جریان ثابت

این دیود که به آن رگولاتور جریان گفته می‌شود برعکس دیود زنر که ولتاژ دوسر آن ثابت و جریان عبوری از آن تغییر می‌کند، جریان را ثابت نگه می‌دارد. به عبارت دیگر از این دیود می‌توان به عنوان رگولاتور جریان استفاده کرد. نماد فنی دیود در شکل۲۹ رسم شده است.

نکته

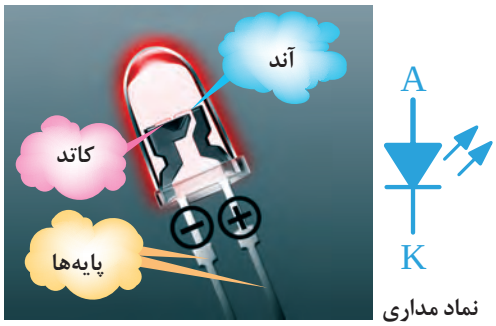
معمولاً مشخصات فنی این نوع دیود که شامل ولتاژ کار و جریان ثابت است را با توجه به شماره فنی آن در برگه اطلاعات دیود (data sheet) می‌نویسند.

جست‌وجو کنید

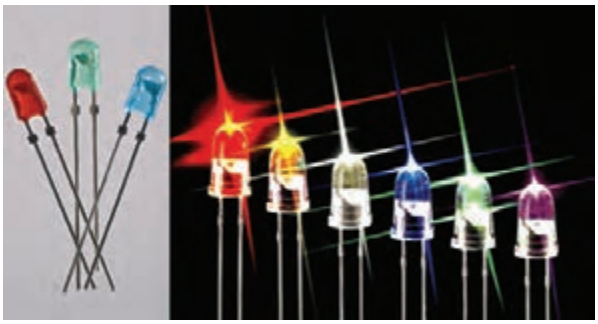
با مراجعه به فضای مجازی مشخصات دیودهای ۱N۵۳۱۴ و۱N۵۲۸۳ را پیدا کنید و به کلاس ارائه دهید.

دیود نوردهنده LED (Light Emitting Diode):

همان‌طور که از نام LED پیداست این دیود مولد نور است. دیود نوردهنده، از دو قطعه نیمه‌هادی نوع N و P تشکیل شده است. هرگاه این دیود، در بایاس مستقیم قرار گیرد و شدت جریان عبوری از آن به اندازه کافی باشد، دیود از خود نور پخش می‌کند. نور LED در محل پیوند PN به وجود می‌آید. در شکل‌های ۳۰ و۳۱ چند نمونه LED و ساختمان داخلی و نماد فنی آنها نشان داده شده است.



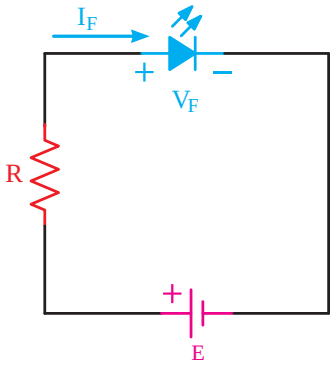
شکل ۳۰ـ نماد فنی و ساختمان داخلی LED



شکل۳۱ـ نمونه‌هایی ازانواع LED

چنانچه مطابق شکل ۳۲ LED را در بایاس مستقیم قرار دهیم، به شرط عبور جریان نامی از دیود، LED از خود نور پخش می‌کند. همواره برای محدود کردن جریان و ممانعت از سوختن دیود باید مقاومتی را با LED سری کنیم. اگر V_F ولتاژ نامی دیود و I_F جریان نامی دیود باشد، مقدار مقاومت محدود کننده جریان (R) از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$R = \frac{E - V_F}{I_F}$$



شکل ۳۲ـ نحوه بایاس نمودن LED

در شکل۳۳ چند نمونه LED نمایش داده شده است.



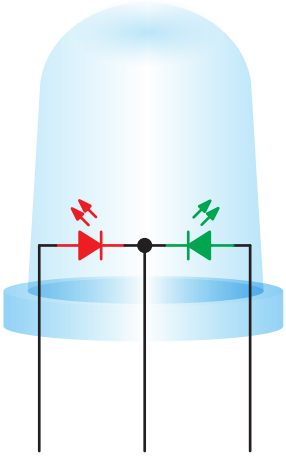
شکل ۳۳ـ چند نمونه LED

LEDها در انواع گوناگون ساخته می‌شوند که به تشریح برخی از آنها می‌پردازیم:

LEDهای دو رنگ

ساختار این نوع LEDها معمولاً ترکیبی از دو LED مجزا به رنگ‌های سبز و قرمز است که در داخل قطعه معمولی جاسازی شده است. LEDهای دو رنگ دارای سه پایه هستند یکی از پایه‌ها مشترک و دو پایه دیگر هر کدام مربوط به LED های قرمز و سبز است (شکل۳۴).

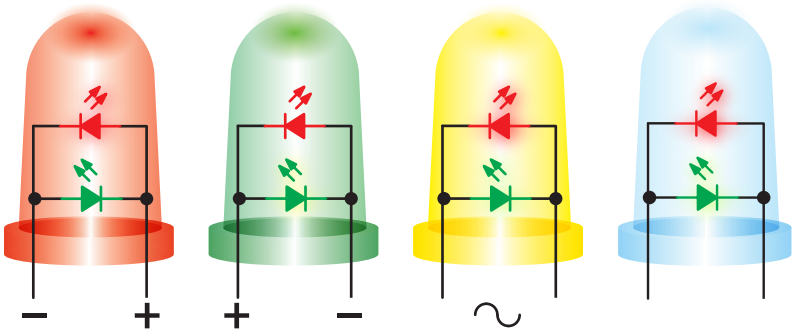
با استفاده از نرم‌افزار چند نمونه LED را ببندید و عملکرد آن را تجربه کنید.



شکل ۳۴ـ LED دو رنگ

LEDهای سه رنگ

نوع دیگری از LED وجود دارد که دارای دو پایه هستند و سه رنگ مختلف را تولید می‌کنند. شکل ۳۵ یک نمونه LED دو پایه و چگونگی اتصال ولتاژ را به آن نشان می‌دهد.



شکل۳۵ـ LED سه رنگ دو پایه

پرسش

آیا با LED شکل ۳۴ می‌توان سه رنگ تولید کرد؟

LED با نور فوق‌العاده زیاد



شکل ۳۶ـ یک نمونه LED با نور فوق‌العاده زیاد

LEDهای با نور فوق‌العاده زیاد نوع دیگری از LED است که با نام Ultra Bright LED ساخته شده است. میزان نوردهی آنها فوق‌العاده زیاد است و ده‌ها برابر یک LED معمولی نور تولید می‌کنند. این LEDها در رنگ‌های آبی، سبز، قرمز و سفید در بازار یافت می‌شود (شکل ۳۶).

استفاده از LEDهای پر نور امروزه در سطح بسیار گسترده‌ای توسعه یافته است. استفاده از ریسه‌های LED، ترمز اتومبیل، تابلوی روان و نور تزئینی، تعدادی از موارد کاربرد LEDهای پرنور است. آرایه‌های LED پرنور سفید به تدریج جایگزین لامپ‌های فلورسنت می‌شوند، زیرا این نوع LEDها به‌راحتی در هوای بد نورافشانی می‌کنند و نور آنها صد برابر بیشتر است. LEDهای پرنور سفید و رنگی به خانه‌ها، مغازه‌ها و مراکز تجاری نیز وارد شده‌اند و جای لامپ‌های کنونی را گرفته‌اند. همچنین این نوع LEDها وارد صنایع اتومبیل‌سازی نیز شده‌اند. در چراغ‌های خودروها از LEDهای پرنور استفاده می‌شود.

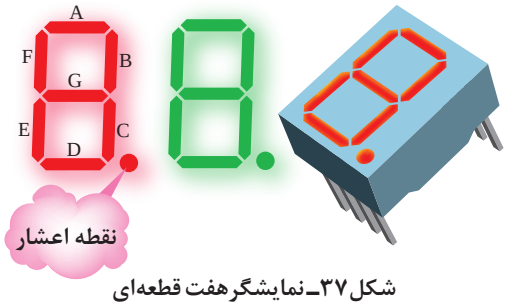
LED های ارگانیک (Organic LED (OLED

کلمه ارگانیک به معنای سازگاری با محیط و بدن انسان است. LEDهای ارگانیک از دو یا سه لایه مواد ارگانیک پلی‌مری ساخته شده‌اند که در اثر اعمال ولتاژ می‌توانند نور تولید کنند.

درصورتی که آند و پایه اصلی نیز از مواد شفاف ساخته شوند، نور از هر دو طرف پخش می‌شود. در این حالت می‌توانیم از OLEDها برای صفحات نوردهنده دوطرفه استفاده کنیم. برای ساختن OLEDها امروزه به‌راحتی می‌توان مانند پخش جوهر روی یک صفحه، OLEDها را روی یک پایه اصلی قرار داد. این تکنولوژی باعث شده است که بتوانند صفحات بزرگ نمایشگر را با لایه‌های بسیار نازک طراحی و تولید کنند.

نمایشگر هفت قطعه‌ای (7-Segment)

اگر هفت قطعه LED را به فرم خاص کنار هم قرار دهند، به شکل عدد ۸ انگلیسی در می‌آید که به وسیله آن می‌توان اعداد از ۰ تا ۹ انگلیسی و نیز برخی حروف نظیر A، B، C، D، E و F را نمایش داد. شکل ظاهری نمایشگر هفت قطعه‌ای با نقطه اعشار را در شکل ۳۷ مشاهده می‌کنید.



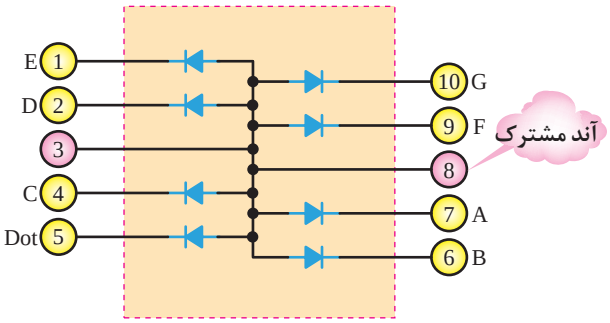
شکل ۳۷ـ نمایشگر هفت قطعه‌ای

نمایشگر هفت قطعه‌ای به دو صورت ساخته می‌شوند.

آند مشترک (CommonAnode)

کاتد مشترک(Common Cathode)

شکل ۳۸ نمایشگر هفت قطعه‌ای آند مشترک را نشان می‌دهد.



شکل۳۸ـ نمایشگر آند مشترک

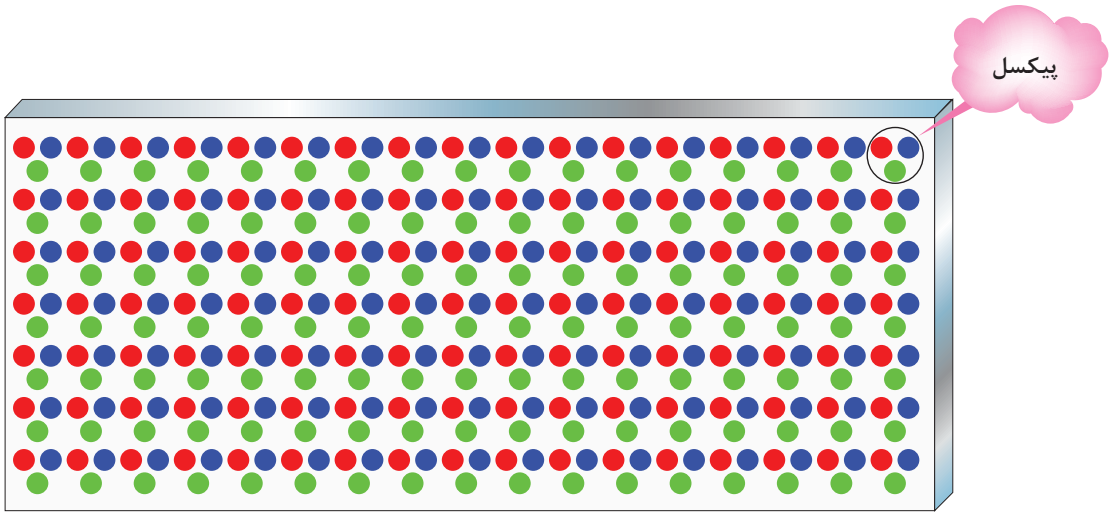
فعالیت

با توجه به نمایشگر هفت قطعه‌ای آند مشترک، نقشه مدار نمایشگرکاتد مشترک را رسم کنید.

نقشه مدار نمایشگرکاتد مشترک

نمایشگرهای ترکیبی LED

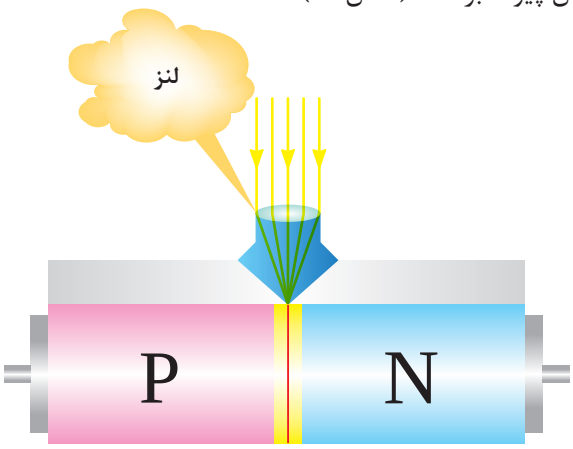
امروزه LEDها به‌طور گسترده برای نمایش پیام‌ها، علائم بزرگ و کوچک در فضاهای داخلی و خارجی و به عنوان تلویزیون صفحه بزرگ به کار می‌رود. نمایش سیگنال‌ها می‌تواند به صورت چند رنگ و تمام رنگی باشد. در نمایشگرهای تمام رنگی ازگروه‌های LED فشرده با نور زیاد که تشکیل نقطه نورانی رنگی را می‌دهند، استفاده می‌شود. این نقاط رنگی را پیکسل (Pixel) می‌گویند. پیکسل‌ها از سه رنگ قرمز (R_Red) سبز(G_Green) و آبی(B_Blue) شکل می‌گیرند که اصطلاحاً آن را RGB می‌نامند (شکل ۳۹).



شکل ۳۹ـ پیکسل‌های LED به کار رفته در صفحه نمایش

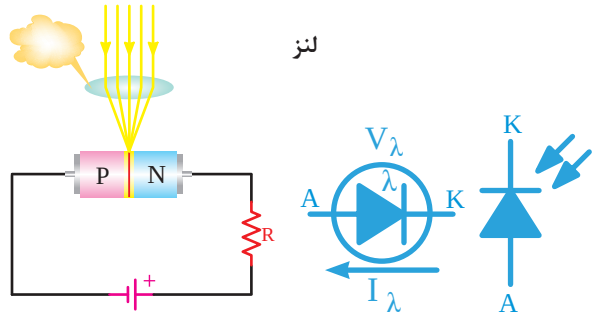
فتو دیود (Photo Diode)

ساختمان فتو دیود مانند یک دیود معمولی با پیوند PN است، با این تفاوت که محل پیوندPN را جهت تاباندن نور به آن از مواد پلاستیکی سیاه، نمی‌پوشانند. این ناحیه توسط شیشه یا پلاستیک شفاف پوشیده می‌شود تا نور بتواند به آسانی به آن بتابد. روی اکثر فتودیودها، یک لنز بسیار کوچک نصب می‌شود تا نور تابانده شده به آن را متمرکز کند و به محل پیوند برساند (شکل ۴۰).



شکل ۴۰ـ فتودیود همراه با لنز

فتو دیود همیشه در بایاس معکوس به کار می‌رود و با تابش نور به محل پیوند آن، جریان معکوس آن افزایش می‌یابد. افزایش جریان به علت شکستن پیوندها با انرژیِ نور است. شکل ۴۱ نماد فنی و چگونگی بایاس کردن دیود را نشان می‌دهد.



شکل ۴۱ـ نماد و بایاس فتو دیود



شکل ۴۲ـ شکل ظاهری چند نمونه فتو دیود

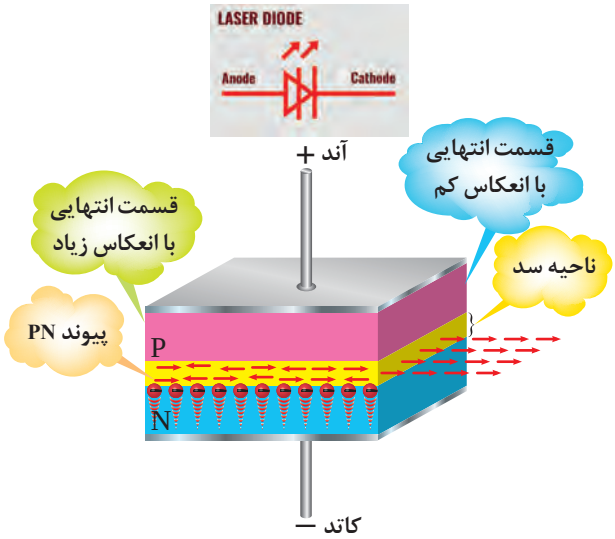
در شکل ۴۲ شکل ظاهری چند نمونه فتو دیود نشان داده شده است. از این دیود برای مواردی مانند تشخیص نور، سنجش نور در دستگاه‌های نورسنج، شمارش سریع یا سوئیچ کردن استفاده می‌شود.

نکته

مشخصات فنی و کاربرد فتو دیودها را با توجه به شماره فنی آن در برگه اطلاعات دیود (data sheet) می‌نویسند.

دیود لیزری (Laser Diode)

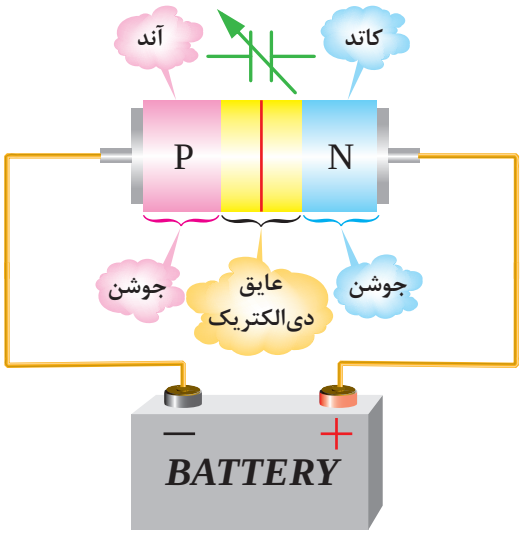
دیود لیزری دیودی است که می‌تواند نور تک رنگ تولید کند. نور لیزر را نور ذاتی یا نورخالص نیز می‌نامند. زیرا نور پخش شده یک نور با طول موج مشخص است. ساختمان داخلی و نماد فنی دیود لیزری را در شکل ۴۳ مشاهده می‌کنید.



شکل ۴۳ـ ساختمان داخلی و نماد دیود لیزری

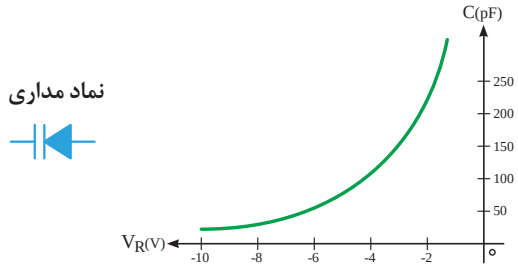
دیود خازنی (واراکتور) (Varactor)

دیود خازنی، مانند یک دیود معمولی است و از دو قطعه نیمه‌هادی نوع P و N، که معمولاً از جنس سیلیسیم است، ساخته می‌شود. همان‌طور که قبلاً یاد گرفتیم، یک دیود معمولی، بدون بایاس در محل پیوند، یک لایه سد دارد. این لایه به صورت یک عایق بین نیمه‌هادی P و N قرار می‌گیرد. اگر دو نیمه هادی P و N را به عنوان دو هادی و لایه سد را به عنوان عایق به حساب بیاوریم، این مجموعه عملاً یک خازن است که در منطقه تخلیه به‌وجود می‌آید. ظرفیت خازن منطقه تخلیه حدود پیکوفاراد (PF) است (شکل ۴۴).



شکل ۴۴ـ ایجاد ظرفیت خازنی در دیود واراکتور

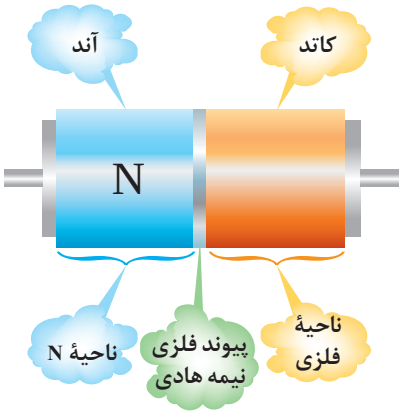
از دیودهای واراکتور، در مدارهای رادیو و تلویزیون به صورت یک خازن متغیر استفاده می‌شود، زیرا حجم بسیار کم و دوام بالایی دارند. شکل ۴۵ منحنی تقریبی ظرفیت خازن نسبت به ولتاژ معکوس و نماد دیود خازنی را نشان می‌دهد.



شکل ۴۵ـ منحنی «ظرفیت ـ ولتاژ» و نماد دیود خازنی

دیود شاتکی (Schottky)

دیودهای معمولی اتصال PN، نمی‌توانند خیلی سریع قطع و وصل شوند. برای بالا بردن سرعت قطع و وصل در یک دیود در حد چند میلیارد بار در ثانیه، از دیود شاتکی استفاده می‌کنند. ساختمان دیود شاتکی و نماد فنی آن در شکل ۴۶ نشان داده شده است.





نماد مداری

شکل ۴۶ـ ساختمان و نماد دیود شاتکی

الگوی پرسش

۱ سیلیسیم و ژرمانیوم در لایه ظرفیت (والانس) خود تعداد ..... الکترون دارند و این عناصر از نظر هدایت الکتریکی جزء ..... هستند.

۱) ۴ـ هادی
۲) ۴ـ نیمه‌هادی
۳) ۸ ـ عایق
۴) ۸ ـ نیمه‌هادی

۲ حامل‌های اقلیت هدایت الکتریکی در کریستال نوع P ..... و حامل‌های اکثریت هدایت الکتریکی در کریستال نوع N ..... هستند.

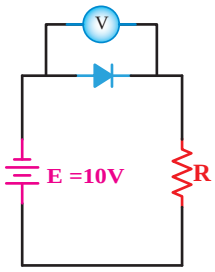
۱) الکترون ـ الکترون
۲) الکترون ـ حفره
۳) حفره ـ الکترون
۴) حفره ـ حفره

۳ ولتاژ سد در دیود از جنس سیلیسیم حدود ..... ولت و در دیود از جنس ژرمانیوم حدود ..... ولت است.

۴ یک دیود ایده‌آل در بایاس موافق مانند یک کلید ..... و در بایاس معکوس مانند یک کلید ..... عمل می‌کند.

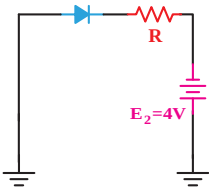
۵ کدام گزینه ولتاژ ولت‌متر را نشان می‌دهد؟ (شکل ۴۷)

۱) ۰/۷ ولت
۲) ۱۰ ولت
۳) ۹/۳ ولت
۴) ۱۰/۷ ولت

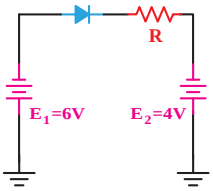


شکل ۴۷

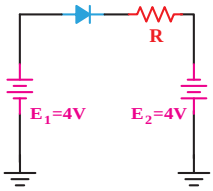
۶ در هر مدار دیود در چه بایاسی قرار دارد؟ موافق یا مخالف



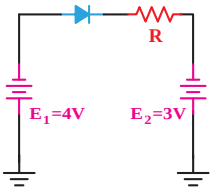
= نوع بایاس



= نوع بایاس



= نوع بایاس



= نوع بایاس

۷ کدام دیود برای سوئیچ سریع کاربرد دارد؟

۱) خازنی
۲) اتصال نقطه‌ای
۳) فتو دیود
۴) شاتکی

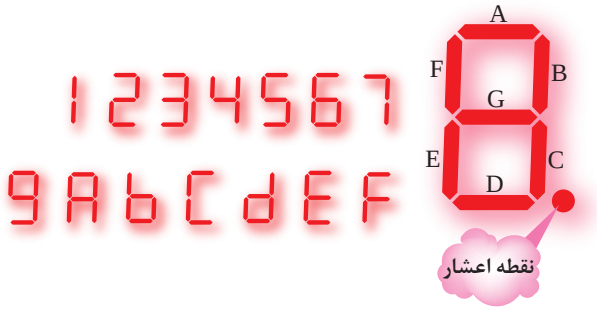
۸ دیودهای اتصال نقطه‌ای برای کار در فرکانس **بالا** کاربرد دارند.

صحیح ☐ غلط ☐

۹ خصوصیات و اصول کار دیود زنر را توضیح دهید.

۱۰ ولتاژ شکست و درصد خطای دیود زنر با شماره فنی BZX۳۲/C۳V۹ چقدر است؟

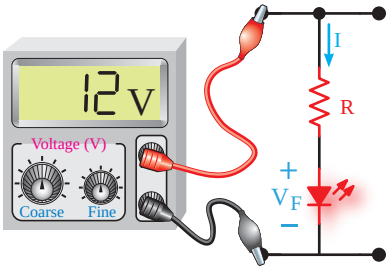
۱۱ دیود واراکتور در چه بایاسی کار می‌کند؟ عامل متغیر در دیود واراکتور را نام ببرید.
۱۲ فتو دیود در چه بایاسی کار می‌کند؟
۱۳ چه المانی می‌تواند جایگزین فتو دیود شود؟ نام ببرید.
۱۴ برای نوشتن هر یک از اعداد و حروف شکل ۴۸ کدام LEDها در هفت قطعه‌ای باید روشن شود؟



شکل ۴۸ـ روشن کردن هفت قطعه‌ای

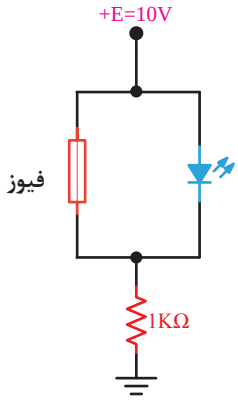
۱۵ درشکل ۴۹ درصورتی که ولتاژ تغذیه E=۱۲ ولت باشد، مقدار R را طوری محاسبه کنیدکه LED نور مناسب داشته باشد.

$V_F = ۳V$, $I = ۱۰mA$



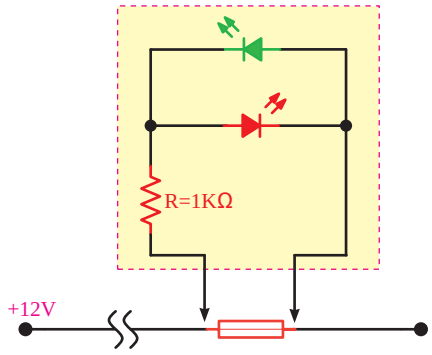
شکل ۴۹ـ محاسبه مقاومت سری با LED

۱۶ در شکل ۵۰، درصورتی که فیوز بسوزد یا سالم باشد، در نورLED چه تغییری به وجود می‌آید؟ شرح دهید.



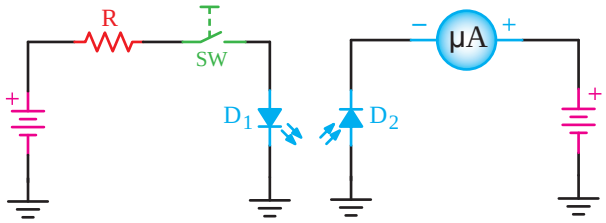
شکل ۵۰ـ فیوز موازی با LED

۱۷ درمدار شکل ۵۱ اگر فیوز سوخته یا سالم باشد، در نور LED چه تغییری ایجاد می‌شود؟ شرح دهید. دو LED که به طور معکوس بسته شده‌اند چه نقشی در مدار دارند؟



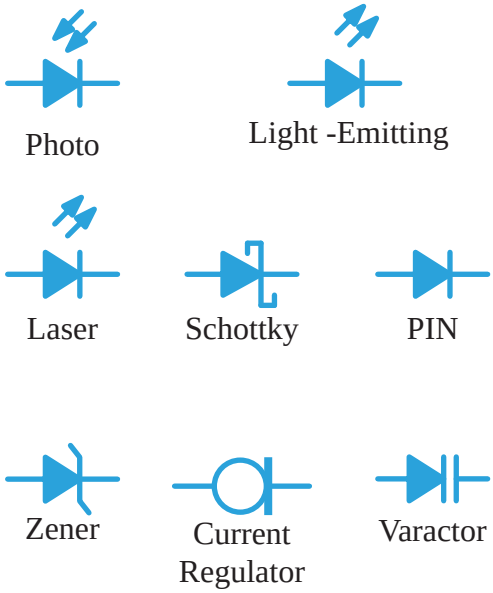
شکل ۵۱ــ تست فیوز توسط LED

۱۸ در شکل ۵۲ چنانچه کلید SW بسته شود، در صورتی که دیودهای D_1 و D_2 ازنظر نوری به هم کوپل شده باشند، چه تغییری در جریان میکروآمپرمتر رخ می‌دهد؟



شکل ۵۲ــ کوپل نوری توسط دیود

۱۹ هریک از دیودهای شکل ۵۳ درچه بایاسی می‌توانند عمل کنند موافق یا مخالف ؟



شکل ۵۳ــ تعیین نوع بایاس در دیودها

کاربرد دیودها

در مطالب گذشته به شرح ساختمان، مشخصات و معرفی انواع دیودهای نیمه‌هادی پرداختیم. در ادامه با کاربرد دیود در مدارهای مختلف، ازجمله یک‌سوکننده‌های دیودی، چندبرابرکننده‌ها و تغییردهنده‌های شکل موج آشنا خواهید شد. هرچند محدوده کاربرد دیودها زیاد است ولی اصول کار آن در زمینه‌های مختلف یکسان است.

مدارهای یک‌سوکننده دیودی: مدارهای یک‌سوکننده دیودی، مدارهایی هستندکه ولتاژ متناوب را به ولتاژ مستقیم(یک طرفه) تبدیل می‌نمایند.

فیلم

فیلمی از یک‌سوکننده‌ها و صافی‌ها را ببینید.

به طور کلی سه نوع مدار یک‌سوکننده یک فازه وجود دارد.

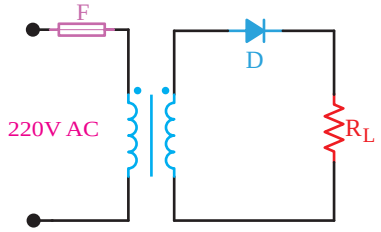
۱ مدار یک‌سوکننده نیم‌موج Half wave rectifier

۲ مدار یک‌سوکننده تمام‌موج با ترانس سر وسط full wave rectifier

۳ مدار یک‌سوکننده تمام موج‌پل Bridge rectifier

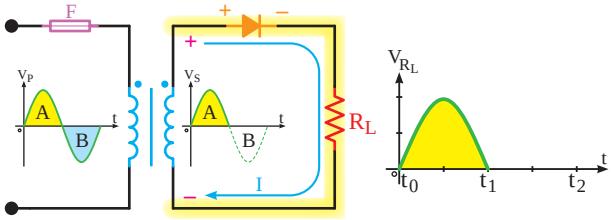
الف) مدار یک‌سوکننده نیم‌موج

یک‌سوکننده‌های نیم موج، نیم سیکل مثبت یا نیم سیکل منفی را یک‌طرفه (یک‌سو) می کنند. شکل ۵۴ مدار یک‌سوکننده نیم‌موج را نشان می‌دهد. در این مدار یک‌سوکننده و مدارات دیگر، فرض می‌شود که دیودهای به کار برده شده ایده‌آل هستند، یعنی، هیچ‌گونه افت ولتاژی در دو سر آنها به وجود نخواهد آمد، ولی در عمل حدود۰/۷ تا ۱/۵ ولت (بسته به جریان عبوری از دیود) در دو سر دیود افت می کند.



شکل ۵۴ـ یک‌سوساز نیم‌موج (دیود ایده‌آل)

در مدار شکل ۵۴، در مدت نیم سیکل مثبت ورودی، دیود در بایاس مستقیم قرار می‌گیرد و هادی است. لذا، جریان در نیم سیکل مثبت از دیود و مقاومت بار عبور می‌کند و مسیر خود را می‌بندد. بنابراین، تمام ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور در نیم سیکل مثبت دو سر بار، ظاهر خواهد شد (شکل ۵۵).



شکل ۵۵ـ در نیم سیکل مثبت دیود وصل است.

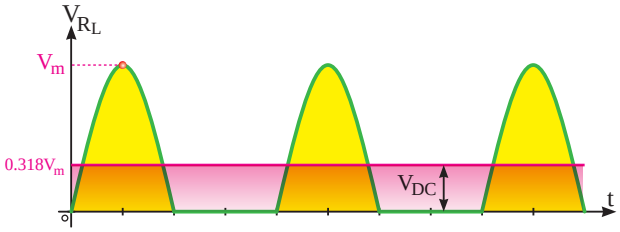
در مدت نیم سیکل منفی، دیود در بایاس معکوس قرار دارد و قطع است. لذا از مدار جریان عبور نمی‌کند. بنابراین، ولتاژ دو سر بار در نیم سیکل منفی، صفر است.

متوسط ولتاژ دو سر بار

اگر ولت‌متر جریان مستقیم (dc) را در دوسر بار قرار دهیم، ولت‌متر چه ولتاژی را نشان می‌دهد؟ همان‌طور که می‌دانیم، ولت‌متر جریان مستقیم، مقدار ولتاژ متوسط را و ولت‌متر جریان متناوب، مقدار ولتاژ مؤثر را نشان می‌دهد. چون در این مدار نوع ولتاژ مستقیم (یک طرفه) است. در این حالت ولت‌متر مقدار ولتاژ متوسط سیکل‌های یک‌سو شده را نشان خواهد داد. مقدار متوسط این ولتاژ یک طرفه، برابر است با:

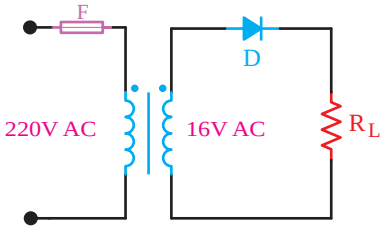
$$V_{DC} = \frac{V_m}{\pi} = ۰/۳۱۸\ V_m$$

در شکل ۵۶ مقدار ولتاژ متوسط(dc) نشان داده شده است.



شکل ۵۶ــ ولتاژ متوسط یک‌سوساز نیم‌موج

مثال: مقدار ولتاژ dc شکل ۵۷ چه‌قدر است؟ ولتاژ مؤثر ثانویه ترانسفورماتور ۱۶ ولت است و دیود نیز ایده‌آل فرض می‌شود.



شکل ۵۷ــ محاسبه ولتاژDC در یک‌سوساز نیم‌موج

$$V_{dc}=۰/۳۱۸\times V_m$$

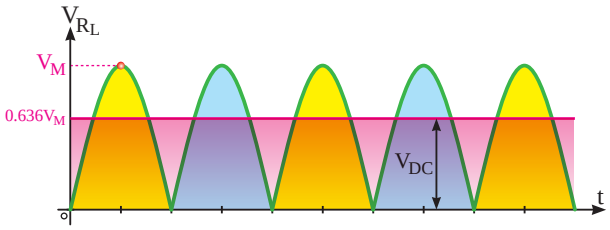
$$V_m = \sqrt{۲}\times V_e = ۱/۴۱\times ۱۶ = ۲۲/۵۶V$$

$$V_{dc}=۰/۳۱۸\times V_m=۰/۳۱۸\times ۲۲/۵۶=۷/۱۷V$$

نوع دیگری از یک‌سوسازها وجود دارند که تمام موج، یعنی نیم سیکل مثبت و منفی را یک‌سو می‌کنند. در این یک‌سوسازها معدل ولتاژ دو سر بار، (مقدار ولتاژ متوسط خروجی) دو برابر ولتاژ یک‌سو شده نیم‌موج است، یعنی:

$$V_{dc} = ۲\frac{V_m}{\pi} = ۲\times(۰/۳۱۸V_m) = ۰/۶۳۶V_m$$

شکل ۵۸ معدل ولتاژ دو سر بار را در یک‌سوساز تمام‌موج نشان می‌دهد.



شکل ۵۸ــ ولتاژ متوسط یک‌سوساز تمام‌موج

بارش فکری

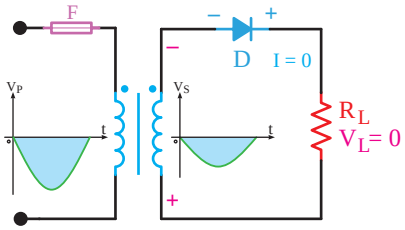
چگونگی عملکرد یک‌سوساز تمام‌موج با ترانس سر وسط را به طور اجمالی با دیدگاه ترکیب دو یک‌سوساز نیم‌موج، مورد بحث قرار دهید.

مقادیر حد در دیودها

حداکثر ولتاژ معکوس دو سر دیود (Peak Inverse Voltage =PIV)

همان‌طور که می‌دانیم، یکی از پارامترهای مهم مشخصات الکتریکی دیود، تحمل حداکثر ولتاژی است که در بایاس معکوس دوسر دیود قرار می‌گیرد. باید دید در یک‌سوکننده نیم‌موج حداکثر ولتاژی که دو سر دیود در بایاس معکوس قرار می‌گیرد تا دیود نسوزد، چقدر است؟

با توجه به شکل ۵۹ هنگامی‌که دیود در بایاس معکوس قرار دارد (در نیم سیکل منفی) جریان در مدار صفر و افت ولتاژ دو سر بار نیز صفر است. لذا، تمام ولتاژ نیم سیکل منفی در دو سردیود قرار می‌گیرد.



شکل ۵۹ــ ولتاژ دیود در بایاس معکوس

حداکثر این ولتاژ برابر با حداکثر دامنه (Vm) است. ولتاژ معکوسی که دو سر دیود قرار می‌گیرد با حروف PIV و به صورت رابطه زیر برای یک‌سوساز نیم‌موج نشان داده شده است.

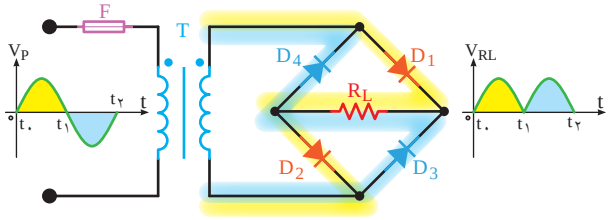
$PIV = V_{max}$

PIV = Peak Inverse Voltage

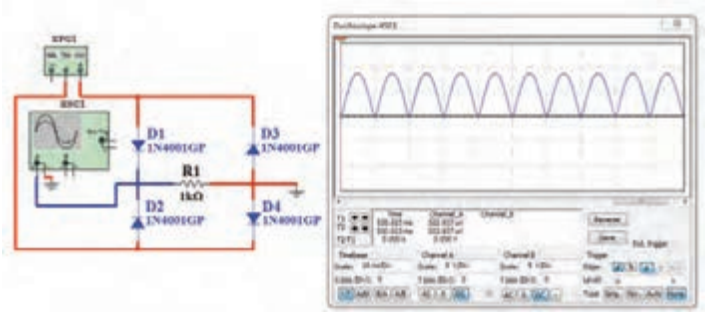
نکته

با توجه به شماره فنی دیود، در برگه اطلاعات دیود (data sheet) یکی از مشخصات فنی دیودکه مقدار ولتاژ معکوس قابل تحمل توسط دیود (PIV) است را می‌نویسند.

ب) مدار یک‌سوساز تمام‌موج پل: نوع دیگری از یک‌سوکننده تمام‌موج، یک‌سوکننده پل است. شکل ۶۰ یک مدار یک‌سوکننده پل را همراه با شکل موج یک‌سو شده، نشان می‌دهد. تصویر نرم‌افزاری این مدار را که توسط مولتی‌سیم بسته شده است، در شکل ۶۱ مشاهده می‌کنید.

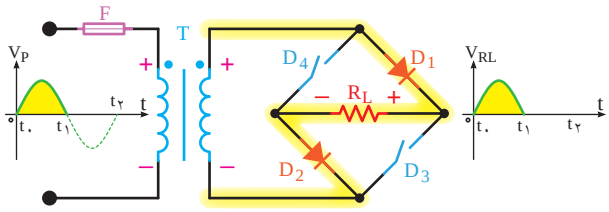


شکل ۶۰ـ یک‌سوساز تمام‌موج پل



شکل ۶۱ـ یک‌سوساز تمام‌موج پل در نرم‌افزار

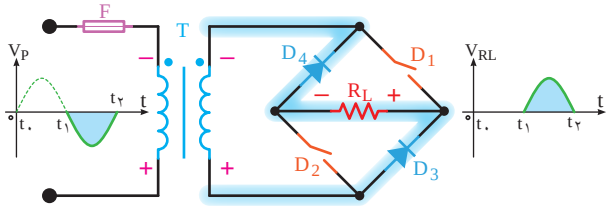
همان‌طوری که از شکل ۶۰ پیداست، در این مدار یک‌سوکننده، از چهار دیود و یک سیم‌پیچ برای ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور استفاده شده است. با توجه به شکل ۶۲، در مدت نیم سیکل مثبت، دیودهای D_1 و D_2 در بایاس مستقیم و دیودهای D_3 و D_4 در بایاس معکوس قرار دارند. بنابراین، جریان از دیود D_1 و بار R_L و دیود D_2 مسیر خود را می‌بندد. با توجه به اینکه دیودها ایده‌آل فرض شده‌اند، لذا تمام ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور در دو سر بار ظاهر می‌شود.



شکل ۶۲ـ رفتاریک‌سوساز پل دیود درنیم سیکل مثبت

کار گروهی

با توجه به شکل ۶۳ عملکرد دیود در نیم سیکل منفی را به صورت کار گروهی در کلاس به بحث بگذارید و نتایج را به کلاس ارائه کنید.



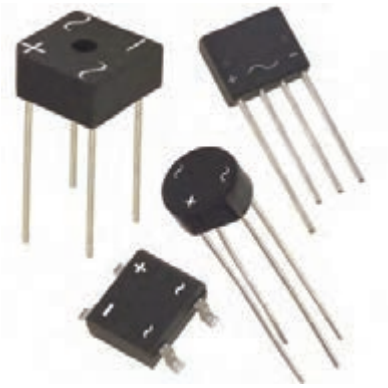
شکل ۶۳ـ رفتاریک‌سوساز پل دیود در نیم سیکل منفی

مقدار متوسط ولتاژ یک‌سوساز پل نیز برابر با یک‌سوکننده تمام‌موج با ترانس سر وسط است.

$V_{dc}=۰/۶۳۶\ V_m$

پاسخ دهید: در مدار یک‌سوکننده پل، حداکثر ولتاژی که در بایاس معکوس دو سر هر دیود قرار می‌گیرد، برابر با V_m است. چرا؟

معمولاً چهار عدد دیود مجزا از هم را که به صورت پل بسته می‌شوند، به صورت قطعه یکپارچه می‌سازند. شکل ۶۴ نمونه‌هایی از این نوع پل دیود را نشان می‌دهد. این قطعه دارای چهار پایه است، دو پایه آن را با علامت (~) مشخص می‌کنند (ولتاژ متناوب به این دو پایه وصل می‌شود). دو پایه دیگر پل، ولتاژ خروجی و یک‌سوشده را به ما می‌دهد که با علامت (+) (قطب مثبت) و (ـ) (قطب منفی) مشخص می‌شود.



شکل ۶۴ـ نمونه‌هایی از پل دیود

پژوهش

با مراجعه به فضای مجازی، برگه اطلاعات یک نمونه پل دیود را بیابید، بارگیری کنید و مشخصات مهم کاربرد آن را استخراج و به کلاس ارائه دهید.

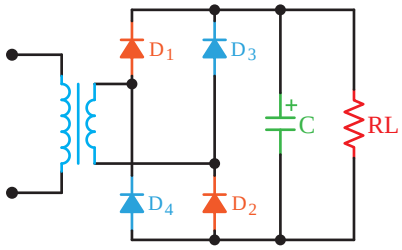
بارش فکری

یک‌سوساز نیم‌موج و پل را با هم مقایسه کنید و نتایج را در یک جدول دسته‌بندی کرده و به کلاس ارائه دهید.

صافی‌ها (Filters)

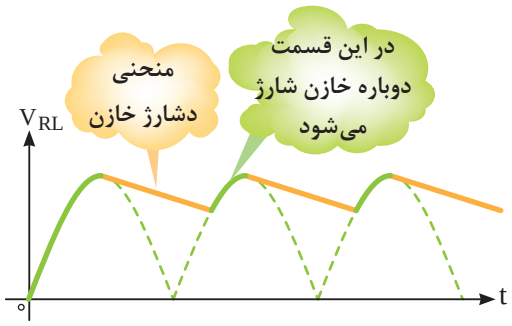
همان‌طورکه دیدیم، توسط دیودها می‌توان ولتاژ متناوب را به ولتاژ یک طرفه (dc) تبدیل نمود، اما این ولتاژ یک‌سو شده دارای نوسان‌هایی است (فرکانس ۱۰۰ هرتز در یک‌سوکننده تمام‌موج و ۵۰ هرتز در یک‌سوکننده نیم‌موج). در الکترونیک بیشتر به یک ولتاژ ثابت نیاز داریم. برای این‌که بتوانیم این ولتاژ نوسان‌دار را به یک ولتاژ ثابت تبدیل کنیم، باید از قطعاتی استفاده کنیم که بتوانند انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کنند و در زمان مناسب، انرژی ذخیره شده را به مصرف‌کننده پس بدهند. المان‌هایی که می‌توانند انرژی را در خود ذخیره کنند

سلف و خازن هستند. در توان‌های کم از خازن و در توان‌های زیاد از سلف استفاده می‌شود. ضمن این‌که در توان‌های بالا یک‌سوکننده‌های چند فازه را به‌کار می‌برند.
در مدارهای الکترونیکی، برای ثابت کردن ولتاژ یک‌سو شده، کمتر از سلف استفاده می‌شود، زیرا سلف دارای حجم، وزن و قیمت زیاد است، لذا خازن را که دارای حجم کم و قیمت ارزان‌تر است به کار می‌برند.
صافی خازنی: زمانی که خازن به‌صورت صافی به کار می‌رود به طور موازی با بار قرار می‌گیرد (شکل ۶۵).



شکل ۶۵ــ مدار یک‌سوساز پل با صافی خازن

شکل ۶۶ منحنی شارژ و دشارژ خازن را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود شکل موج دو سر بار دارای ضربان است.



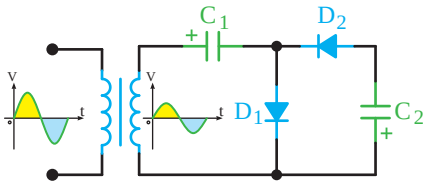
شکل ۶۶ــ منحنی شارژ و دشارژ خازن

پژوهش

برای کاهش ضربان (ریپل) موج دو سر بار چه راهکاری وجود دارد؟ در این مورد تحقیق کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

چند برابرکننده‌های ولتاژ

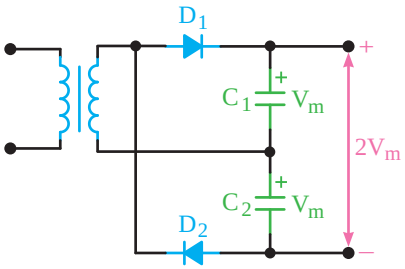
با استفاده از دیود و خازن می‌توان، ضمن یک‌سو کردن ولتاژ متناوب، آن را چند برابر نیز نمود. کاربرد چند برابرکننده‌ها، در مواردی است که جریان زیاد مورد نیاز نباشد (حدود چند صد میکروآمپر). چند برابرکننده‌ها معمولاً در ولتاژهای بسیار بالا (حدود کیلوولت) به‌کار می‌روند. مواردی مانند قسمت ولتاژ زیاد (voltage hgih) تلویزیون‌ها و مانیتورهای قدیم، دستگاه‌های پزشکی و خودرو از مواردی هستند که نیاز به ولتاژ زیاد دارند. در این دستگاه‌ها ولتاژی درحدود ۲۵ کیلو ولت مورد نیاز است. ابتدا ولتاژی حدود ۵ کیلو ولت را



شکل ۶۷ــ مدار دو برابرکننده ولتاژ

توسط ترانسفورماتور ایجاد می‌کنند، سپس آن را توسط یک مدار ۵ برابرکننده به مقدار حدود ۲۵ کیلو ولت می‌رسانند. مزایای این عمل صرفه‌جویی در حجم و قیمت ترانسفورماتور افزاینده ولتاژ است. زیرا عایق کاری ترانسفورماتور ۲۵کیلو ولت مشکل است، ضمن این‌که میدان‌های مغناطیسی زیادی را در اطراف خود تولید می‌نماید. همچنین ولتاژ معکوس در دیودهای به کار رفته در مدارهای یک‌سوکننده در مقایسه با دیودهای چند برابرکننده،کاهش می‌یابد. در این قسمت جهت آشنایی به تشریح اجمالی مدارهای ۲، ۳ و۴ برابرکننده، می‌پردازیم.

الف) دو برابر کننده‌های ولتاژ: شکل ۶۷ یک مدار دو برابرکننده ولتاژ نیم‌موج را نشان می‌دهد.



شکل ۶۸ــ نوع دیگری از مدار دو برابرکننده ولتاژ

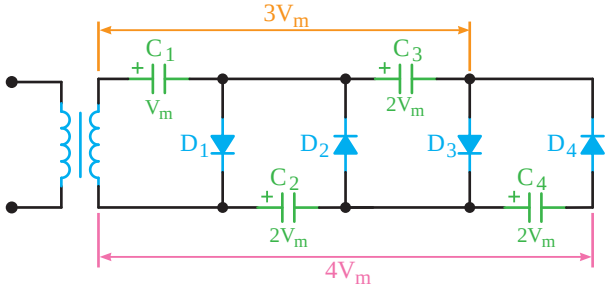
در این مدار، بعد از چند سیکل خازن C_1 تا ماکزیمم ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور(V_m) و خازن (C_2) تا $2V_m$ شارژ می‌شود.از توضیح چگونگی شارژ خازن‌ها صرف‌نظر شده است.
نوع دیگر مدار دو برابرکننده ولتاژ، درشکل ۶۸ رسم شده است.این مدار، دو برابرکننده ولتاژ تمام‌موج نام دارد.

بارش فکری

عملکرد مدار شکل ۶۸ را از طریق بارش فکری تجزیه و تحلیل کنید.

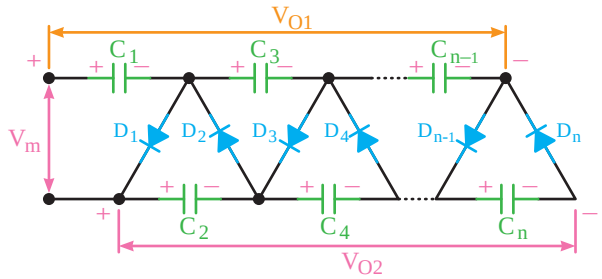
ب) مدارهای سه و چهار برابرکننده ولتاژ

در شکل ۶۹ یک مدار سه و چهار برابرکننده ولتاژ نشان داده شده است. در حقیقت این مدار، یک مدار دو برابرکننده ولتاژ است که در صفحات پیش مورد بررسی قرار گرفت. با این تفاوت که به ازای هر یک برابر افزایش ولتاژ، یک خازن و یک دیود به آن اضافه شده است. این مدار می‌تواند با اضافه شدن متوالی دیودها و خازن‌ها به عنوان مدارهای پنج و شش برابرکننده، به‌کار آید.



شکل ۶۹ــ مدار سه وچهار برابرکننده ولتاژ

شکل ۷۰، یک مدار n برابرکننده را نشان می‌دهد. خازن‌های ردیف بالا، نمایشگر ضرایب فرد مقدار شارژ، نسبت به ابتدای مدار و خازن‌های ردیف پایین، نمایشگر ضرایب زوج مقدار شارژ، نسبت به ابتدای مدار است. امروزه اغلب مدارهای چند برابرکننده را به‌صورت یکپارچه (ماژول modular) می‌سازند.



شکل ۷۰ــ مدار n برابرکننده ولتاژ

کار با نرم‌افزار

حداقل دو نمونه از مدارهای چند برابرکننده را با نرم‌افزار تجربه کنید.

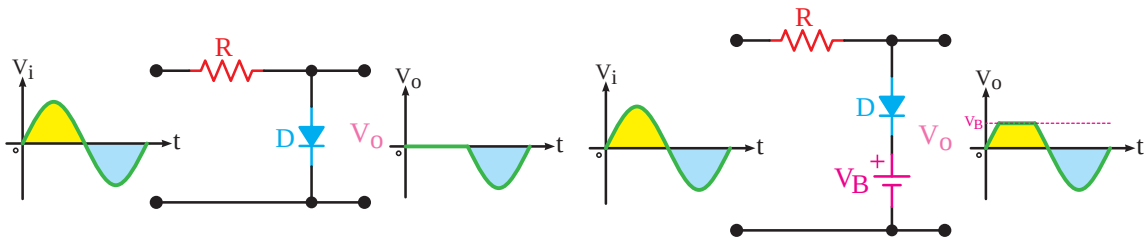
فیلم

فیلمی از مدارهای برش‌دهنده و قیچی‌کننده را ببینید.

برش‌دهنده‌ها (Clipper)

در بسیاری از موارد، از جمله در دیجیتال و کامپیوتر لازم می‌شود که دامنه سیگنال‌ها از قسمت مثبت یا منفی یا هر دو به اندازه معینی محدود شود. این عمل به وسیله مدارهای برش‌دهنده انجام می‌شود.

الف) مدار برش‌دهنده مثبت: مدار برش‌دهنده مثبت، قادر است قسمت مثبت سیکل‌ها را، به هرمقدار که لازم باشد، محدود کند. شکل (الف) و (ب) ۷۱ یک مدار برش‌دهنده مثبت را نشان می‌دهد. برای سادگی کار، دیود را ایده‌آل در نظر می‌گیریم.



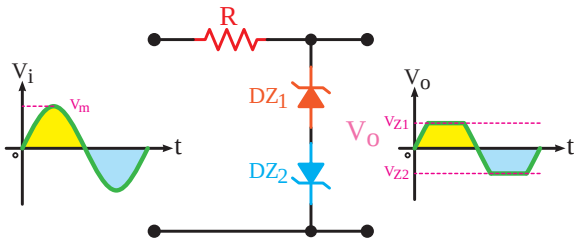
ب) مدار برش‌دهنده قسمتی از نیم سیکل مثبت

الف) مدار برش‌دهنده نیم سیکل مثبت

شکل ۷۱ــ مدارهای برش‌دهندهٔ مثبت

بارش فکری

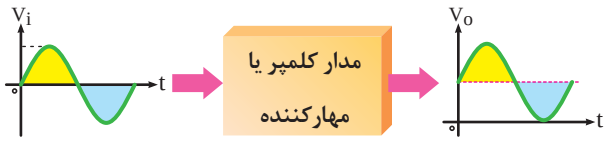
مدار شکل ۷۲ ولتاژهای دو سر دیود زنر و ولتاژ پیک ورودی را به‌دلخواه تعیین کنید و عملکرد مدار را به بحث بگذارید.



شکل ۷۲ـ برش‌دهنده با استفاده از دیود زنر

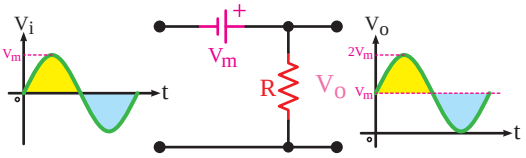
مدارهای مهارکننده (Clampers)

در مدار مهارکننده، تنها کاری که انجام می‌گیرد، اضافه شدن مؤلفه DC به سیگنال است. عمل مهارکنندگی در شکل ۷۳ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که در مهارکننده‌ها باید ولتاژ DC باتری با V_m (مقدار ماکزیمم دامنه موج AC) برابر باشد.



شکل ۷۳ـ عمل مهارکنندگی

در حقیقت مهارکننده، فقط روی سیگنال، یک تغییر مکان عمودی می‌دهد. این تغییر مکان می‌تواند به سمت بالای خط صفر(مثبت) و یا زیر خط صفر (منفی) باشد، که به‌ترتیب مهارکننده مثبت و منفی نام دارد. شکل ۷۴، مهارکننده را نشان می‌دهد.



شکل ۷۴ـ مدار مهارکننده مثبت

فعالیت

عملکرد مدار شکل ۷۴ را تحلیل کنید.

نکته

امروزه مدارهای برش‌دهنده را به صورت مدارهای مجتمع (آی سی) می‌سازند و به بازار عرضه می‌کنند.

پژوهش

در مورد کاربردهای مهارکننده پژوهش کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

نام‌گذاری دیودها



شکل ۷۵ـ روش‌های نام‌گذاری دیود

برای نام‌گذاری دیودها، معمولاً سه روش وجود دارد. هرچند، برخی از کارخانجات سازنده در گوشه و کنار دنیا از روش‌های دیگری برای نام‌گذاری استفاده می‌نمایند. این سه روش مطابق شکل ۷۵ عبارت‌اند از: ۱ـ روش ژاپنی ۲ـ روش اروپایی ۳ـ روش آمریکایی

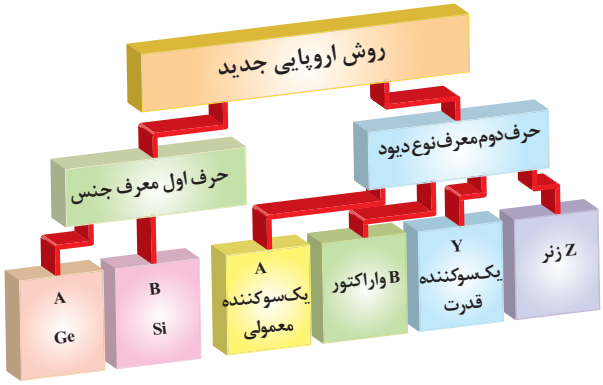
اینک چگونگی نام‌گذاری هر یک از سه روش فوق را توضیح می‌دهیم:

روش ژاپنی: در این روش نام‌گذاری از عدد ۱ و حرف S، که به دنبال آن می‌آید استفاده می‌شود و به دنبال آن تعدادی شماره خواهد آمد که با مراجعه به جدول می‌توان مشخصات الکتریکی آنها را به دست آورد. در این روش، جنس و نوع دیود مشخص نمی‌شود. برای مثال، دیود ۱SC۱۰A دیود زنر است (در موارد زیادی برای دیودهای زنر حرف A را در انتهای شماره‌ها می‌آورند) و دیود ۱S۳۱۰ یک دیود معمولی و دیود ۱S۲۰۴۹ دیود واراکتور است.

روش اروپایی: در روش اروپایی تا سال ۱۹۶۰ تمامی دیودها را با حروف OA با تعدادی شماره به دنبال آن مشخص می‌کردند، که با مراجعه به جدول می‌توانستیم مشخصات الکتریکی آنها را به‌دست آوریم. مانند دیود OA۳۴. اما از سال ۱۹۶۰ به بعد این روش نام‌گذاری تغییر کرد. نحوه تغییر به این صورت بود: دیودهایی که بیشتر در مدارات رادیو و تلویزیون به کار می‌روند، با دو حرف و سه شماره مشخص می‌شوند و دیودهایی که کاربرد آنها در مدارات مخصوصی است با سه حرف و دو شماره معین می‌گردند.

در ذیل روش نام‌گذاری دو حرفی و سه شماره‌ای را شرح می‌دهیم. **حرف اول،** جنس نیمه‌هادی به کار رفته در دیود را مشخص می‌کند، اگر دیود از جنس ژرمانیوم باشد آن را با حرف A و اگر از جنس سیلیسیم باشد با حرف B مشخص می‌نمایند. **حرف دوم** نوع دیود را مشخص می‌کند.

A ـ دیود معمولی یک‌سوکننده Y ـ دیود یک‌سوکننده قدرت B ـ دیود واراکتور Z ـ دیود زنر (شکل ۷۶).

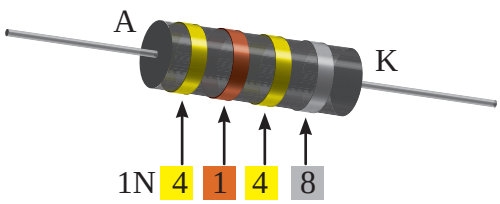


شکل ۷۶ـ نام‌گذاری دیودها به روش اروپایی

بعد از حروف، شماره‌هایی آورده می‌شود که می‌توان با مراجعه به جدول، مشخصات الکتریکی آن را به دست آورد. یادآوری می‌شود در اکثر مواقع در مورد نام‌گذاری دیود زنر، ولتاژ زنر را نیز روی آن قید می‌نمایند.

روش آمریکایی: در این روش از عدد ۱ و حرف N و تعدادی شماره، که به دنبال آن می‌آید، استفاده می‌شود. در این روش جنس و نوع دیود مشخص نیست. مانند ۱N۴۰۰۶ که یک دیود یک‌سوکننده است.

با مراجعه به شماره‌ای که بعد از ۱N می‌آید، می‌توان با مراجعه به جدول مربوطه، مشخصات الکتریکی و نوع دیود را تعیین کرد. بعضی مواقع نیز به جای ارقام بعد از ۱N، ازکدهای رنگی استفاده می‌شود. زمانی که از کدهای رنگی استفاده می‌شود از چاپ حرف و عدد ۱N صرف‌نظر می‌گردد. کدهای رنگی مانند مقاومت‌ها هستند، با این تفاوت که شماره رنگ‌ها به دنبال هم قرار می‌گیرند، مثلاً شکل ۷۷ دیود ۱N۴۱۴۸ را نشان می‌دهد.



شکل ۷۷ــ نام‌گذاری دیودها با نوار رنگی جدید

نکته مهم

معمولاً در ابتدای کتاب‌های دستینه (handbook) و کتاب‌های اطلاعات قطعات (databook) روش نام‌گذاری قطعات توسط کارخانه سازنده بیان می‌شود.

الگوی پرسش

۱ یک‌سوسازی را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.
۲ یک‌سوسازی نیم‌موج را با رسم شکل و شکل موج‌های ورودی و خروجی، توضیح دهید.
۳ حداکثر ولتاژ معکوس دو سر دیود یک‌سوساز نیم‌موج، چقدر است؟
۴ یک‌سوساز پل را توضیح دهید. شکل مدار و شکل موج‌های ورودی و خروجی آن را رسم کنید.
۵ رابطه حداکثر ولتاژ معکوس دیود در یک‌سوکننده تمام‌موج را بنویسید.
۶ صافی (فیلتر) را تعریف کنید و اثرات آن را در یک‌سوکننده‌های نیم‌موج، تمام‌موج و پل با هم مقایسه کنید.
۷ اصول کار چند برابرکننده‌های ولتاژ را توضیح دهید.
۸ مدار شکل ۶۹ را توضیح دهید.
۹ کاربرد چند برابرکننده‌های ولتاژ را نام ببرید.
۱۰ اصول کار مدارهای محدودکننده را توضیح دهید.

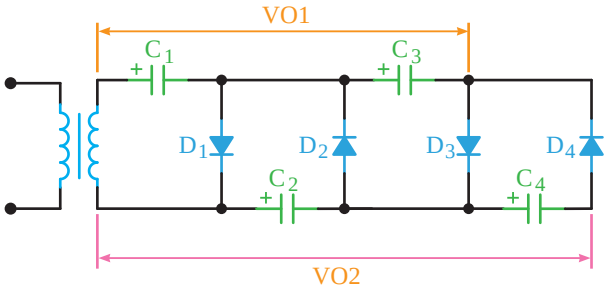
۱۱ نام مدار X در شکل ۷۸ کدام گزینه است؟

۱) یکسوکننده
۲) مهارکننده
۳) قیچی‌کننده
۴) چند برابرکننده



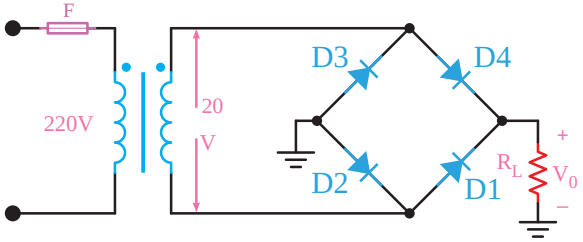
شکل ۷۸

۱۲ در مدار یک چهاربرابر کننده ولتاژ شکل ۷۹، اگر ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور ۱۰ ولت مؤثر باشد، ولتاژ VO۱ و VO۲ را محاسبه کنید. دیودها ایده‌آل هستند.



شکل ۷۹

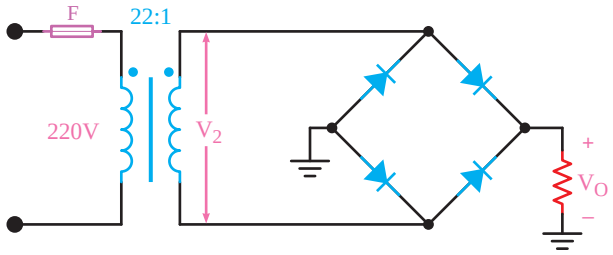
۱۳ مطلوب است: الف) رسم شکل موج دوسر بار، (موج ورودی سینوسی برق شهر)
ب) محاسبه معدل ولتاژ دوسر بار (دیودها ایده‌آل درنظر گرفته شوند)



شکل ۸۰

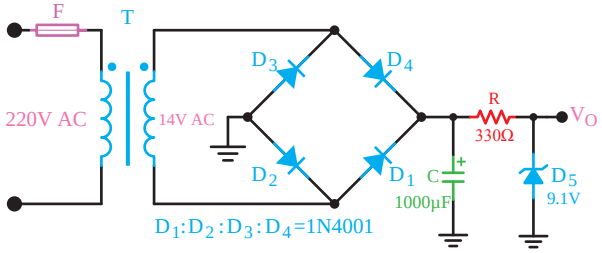
۱۴ برش‌دهنده‌های مثبت ومنفی را با رسم شکل توضیح دهید.

۱۵ با توجه به شکل ۸۱ اگر نسبت دور ترانسفورماتور ۲۲:۱ باشد میانگین ولتاژ دو سر بار و PIV هر دیود چقدر است؟ (دیودها ایده‌آل هستند).



شکل ۸۱

۱۶ با توجه به مدار شکل ۸۲ که مربوط به منبع تغذیه ۹ ولت است، در صورت ایده‌آل بودن دیودها، ولتاژ کار خازن چند ولت باشد تا آسیب نبیند؟



شکل ۸۲

۱۷ روش‌های نام‌گذاری دیود را نام ببرید.

۱۸ اطلاعاتی را که از شماره‌گذاری دیودهای زیر استخراج می‌کنید، بنویسید.

الف) AA۱۱۶ ب) BY۱۲۷ ج) ۱N۴۰۰۶

۱۹ ۱N۴۱۴۸نام‌گذاری دیود با روش ..... و OA۹۰نام‌گذاری دیود با روش .....است.

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

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی/شایستگی/ (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقق
پودمان ۴: دیود و کاربردهای آن	۱-شناخت ساختمان انواع دیود ۲-کاربردهای دیود	۱- درک چگونگی ساخت انواع دیود با نیمه هادی ها ۲- بایاس دیودها ۳-تحلیل مدارهای دیودی	بالاتر از حد انتظار	علاوه بر تحقق شاخص‌های در حد انتظار، انجام کلیه فعالیت‌های پودمان (مانند، تحقیق کنید، فکر کنید، پژوهش کنید، جست‌وجوکنید، بحث گروهی)
			در حد انتظار	۱ـ شناسایی و توضیح فرآیند ساخت دیودهای نیمه‌هادی، از جمله نوع مواد مورد استفاده و ویژگی‌های الکترونیکی آنها. ۲ـ تحلیل رفتار دیودها تحت شرایط بایاس مستقیم و معکوس. ۳ـ بررسی نحوه عملکرد مدارهای شامل دیود، از جمله مدارهای یکسوکننده و تثبیت‌کننده ولتاژ، برش‌دهنده‌ها، مهارکننده‌ها، چند برابرکننده ۴ـ تعیین مشخصات و انتخاب دیود بر اساس استانداردهای نام‌گذاری
			پایین‌تر از حد انتظار	در صورتی‌که هنرجو همه شاخص‌های درحد انتظار را محقق نسازد، پایین‌تر از حد انتظار ارزشیابی می شود.
نمره مستمر از ۵ (بر اساس انجام فعالیت‌های کلاسی و کارگاهی ، نظم، مشارکت در فعالیت‌های آموزشی و تربیتی، ابتکار در تکالیف عملکردی درسی و... از ۱ تا ۵ نمره اختصاص پیدا خواهد کرد.)				
شایستگی پودمان (پایین‌تر از حد انتظار، در حد انتظار، بالاتر از حد انتظار)				
نمره پودمان از ۲۰				

شایستگی های غیرفنی و عمومی (ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی):

شاخص‌ها	ضریب کیفیت عملکرد	شایستگی عملکرد هنرجو
مدیریت کیفیت ـ جمع‌آوری وگرد آوری اطلاعات ـ زبان فنی 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 ـ ...	۲	

شایستگی عملکرد هنرجو در واحد یادگیری	شایستگی‌های غیرفنی و عمومی			شایستگی‌های 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:

۱ـ سطح شایستگی هنرجو در هیچ مرحله‌ای کمتر از حد انتظار نباشد.

۲ـ هنرجو در شایستگی‌های غیر فنی و عمومی، شایستگی در حدانتظار یا بالاتر از حد انتظار را کسب کرده باشد.

توجه :

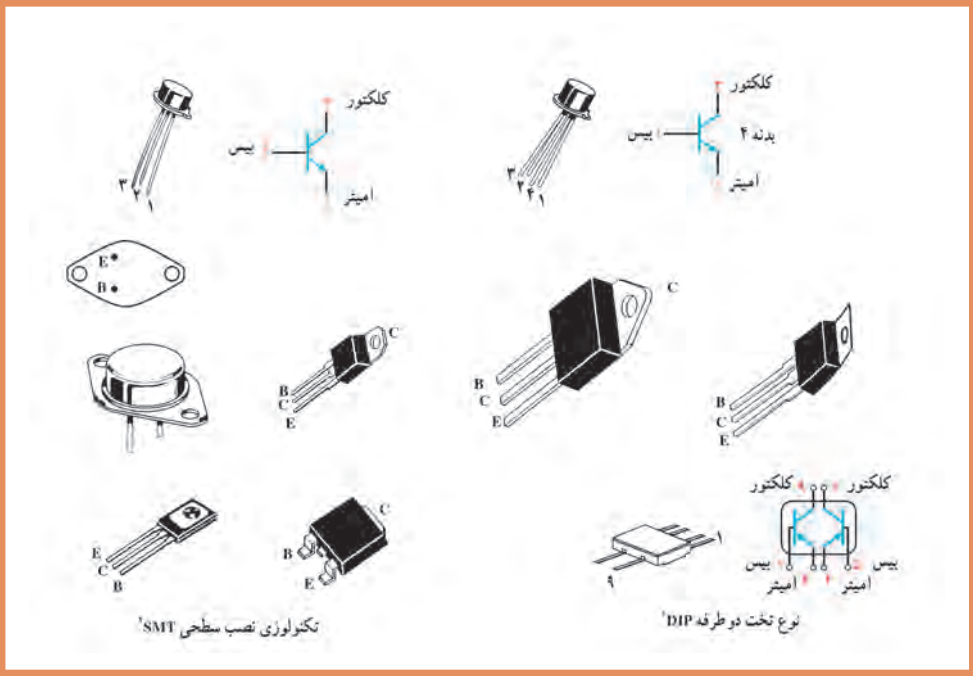
۱ـ اگر حتی در یک مرحله کاری شایستگی کمتر از حد انتظار کسب شود، منجر به عدم کسب شایستگی واحد یادگیری می شود .

۲ـ اگر میانگین سطوح شایستگی ۲/۵ یا بیشتر باشد، سطح شایستگی بالاتر از حد انتظار خواهد بود .

۳ـ با توجه به اینکه شایستگی‌های عمومی و غیرفنی از شرایط لازم برای کسب شایستگی می‌باشد؛ لذا در صورتی‌که شایستگی فنی را احراز کرده باشد اما در شایستگی غیرفنی و عمومی، سطح در حد انتظار کسب نشده باشد، به معنی عدم احراز شایستگی در واحد یادگیری است.

پودمان ۵

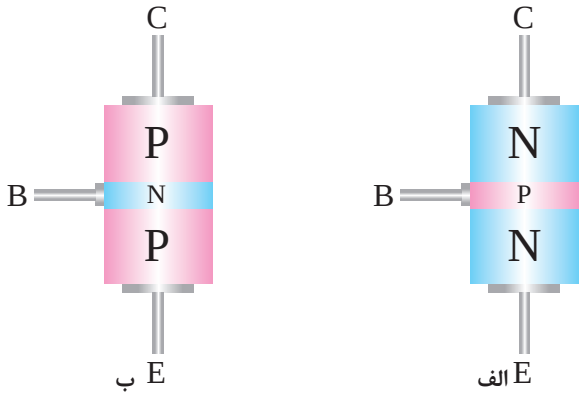
ترانزیستور و کاربردهای آن



ساختمان ترانزیستور

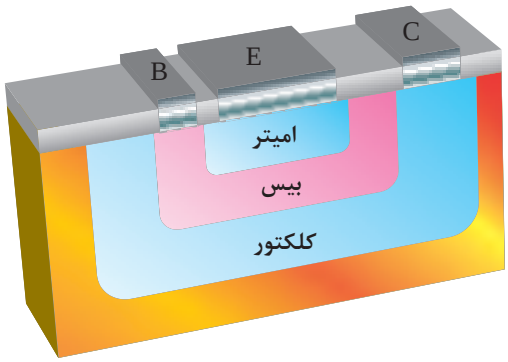
ترانزیستور معمولی یک المان سه پایه است که از سه کریستال نیمه‌هادی نوع N و P، که در کنار هم قرار دارند، تشکیل شده است. ترتیب قرار گرفتن نیمه‌هادی‌ها در کنار هم، به دو صورت انجام‌پذیر است:

الف) دو قطعه نیمه‌هادی نوع N در دو طرف و نیمه‌هادی نوع P در وسط.
ب) دو قطعه نیمه‌هادی نوع P در دو طرف و نیمه‌هادی نوع N در وسط.
درحالت (الف)، ترانزیستور را NPN و در حالت (ب)، ترانزیستور را PNP می‌نامند. شکل ۱ ترتیب قرار گرفتن نیمه هادی‌ها را کنار هم نشان می‌دهد.



شکل ۱ــ ساختمان ترانزیستور

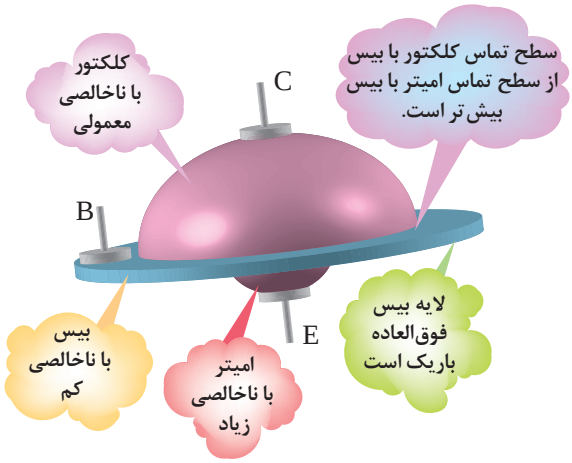
در شکل ۲ لایه‌های ترانزیستور را مشاهده می‌کنید. پایه‌های خروجی ترانزیستور را به ترتیب امیتر (منتشرکننده=Emitter)، بیس (پایه=Base) و کلکتور (جمع‌کننده =Collector) نام‌گذاری کرده‌اند. امیتر را با حرف E، بیس را با حرف B وکلکتور را با حرف C نمایش می‌دهند.



شکل ۲ــ لایه‌های ترانزیستور

نیمه‌هادی نوع P یا N که به عنوان امیتر به کار می‌رود، نسبت به لایه بیس وکلکتور، ناخالصی بیشتری دارد. ضخامت این لایه حدود چند ده میکرون است (عملاً حدود ۲۰ـ۲۰۰μm) و سطح تماس آن نیز به میزان فرکانس و قدرت ترانزیستور بستگی دارد.

لایه بیس، نسبت به کلکتور و امیتر، ناخالصی کمتری دارد و ضخامت آن نیز به مراتب از امیتر و کلکتور کمتر است و عملاً از چند میکرون تجاوز نمی‌کند.
ناخالصی لایه کلکتور از امیتر کمتر و از بیس بیشتر است. ضخامت این لایه به مراتب از امیتر بزرگ‌تر است، زیرا تقریباً تمامی تلفات حرارتی ترانزیستور در کلکتور ایجاد می‌شود. شکل ۳ تصویری از نسبت تقریبی لایه‌ها را نشان می‌دهد. سطح تماس کلکتور با بیس، حدوداً ۹ برابر سطح تماس امیتر با بیس است.



شکل ۳ـ نمایش نسبت تقریبی لایه‌های ترانزیستور

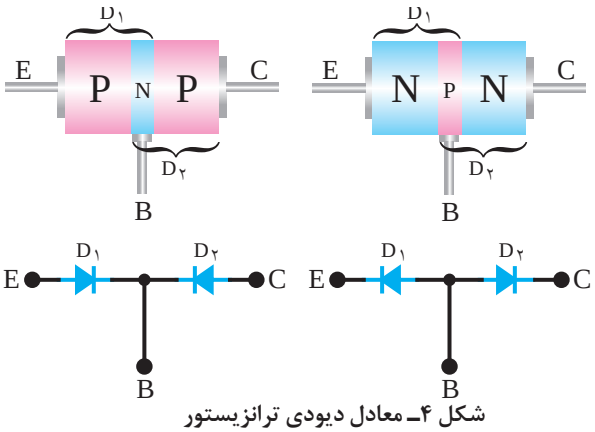
این نوع ترانزیستورها را به اختصار ترانزیستور دو قطبی تک پیوندی یا (Bipolar Junction Transistor) یا BJT می‌نامند.

پژوهش

به چه دلیل این نوع ترانزیستور را Bipolar یا دو قطبی نامیده‌اند.

معادل دیودی ترانزیستور

هرترانزیستور، دارای سه پایه و۲ پیوند است. هر پیوند را می‌توان به صورت یک دیود نشان داد. در نتیجه، معادل دیودی یک ترانزیستور به صورت شکل ۴ نشان داده می‌شود.



شکل ۴ـ معادل دیودی ترانزیستور

قطعاتی مانند مقاومت، خازن، دیود و ترانزیستور که به صورت تکی ساخته می‌شوند، را قطعات مجزا از هم یا دیسکریت (Discrete) می‌نامند. امروزه از قطعات دیسکریت کمتر استفاده می‌شود و اغلب به صورت مدار مجتمع یا آی‌سی (IC ـ Integrated Circuit) به بازار عرضه می‌گردد.

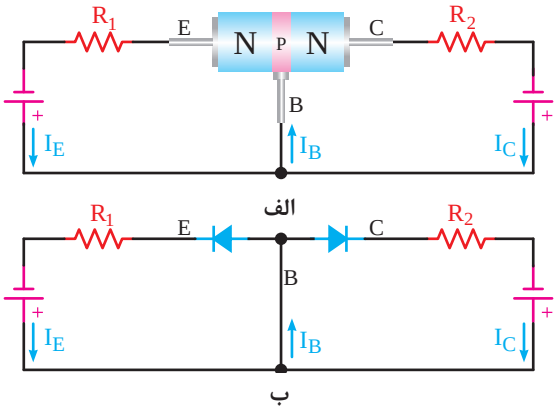
عملکرد ترانزیستور

بایاس ترانزیستور: برای اینکه بتوان از ترانزیستور به عنوان مدارهایی مانند تقویت‌کننده و سوئیچ استفاده نمود، ابتدا باید ترانزیستور را از نظر ولتاژ DC تغذیه کرد، عمل تغذیه ولتاژ پایه‌های ترانزیستور را بایاس ترانزیستور می‌نامند. با توجه به اینکه ترانزیستور دارای سه پایه مجزا است می‌توانیم یکی از پایه‌ها را پایه مشترک و دو پایه دیگر را ورودی وخروجی آن در نظر بگیریم.

اتصال ولتاژ DC به پایه‌های ترانزیستور، نحوه عملکرد آن را در مدار بیان می‌کند. نظر به اینکه تعداد پایه‌های ترانزیستور ۳ عدد است، می‌توانیم ولتاژDC را به فرم‌های مختلف به ترانزیستور متصل کنیم. در این قسمت به شرح انواع اتصال ولتاژDC به ترانزیستور می‌پردازیم. با این توضیح که در این جا بیس بین ورودی و خروجی، مشترک گرفته شده است.

الف) هر دو اتصال بیس ـ امیتر و اتصال بیس ـ کلکتور نیز در بایاس مستقیم است. شکل ۵ـ الف این نوع بایاس را نشان می‌دهد. مقاومت‌های R_1 و R_2 در این شکل برای کنترل جریان به کار رفته است.

شکل ۵ـ ب مدار معادل شکل ۵ـ الف است.

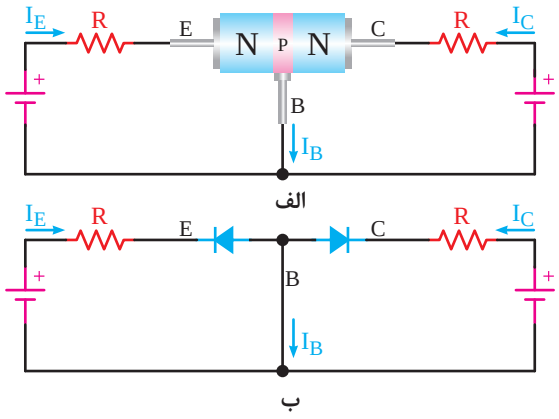


شکل ۵ـ بایاس موافق در مدار معادل دیودی

همان‌طوری که از شکل مدار معادل پیداست، در این حالت بایاس، دو جریان I_E (جریانی که از امیتر عبور می‌کند) و I_C (جریانی که از کلکتور عبور می‌کند) هر کدام مسیر جداگانه‌ای در دو حلقه طی می‌کنند، فقط در پایه بیس با یکدیگر جمع می‌شوند و دوباره تقسیم می‌گردند.

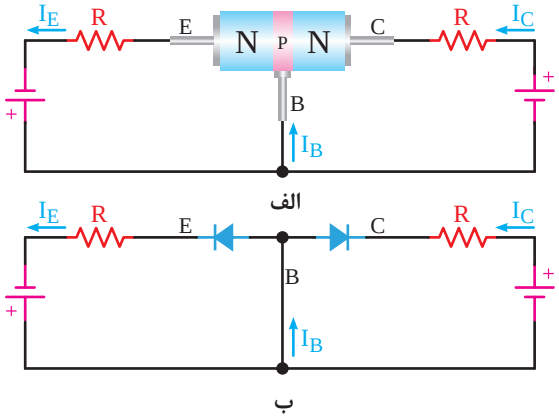
ب) هر دو اتصال بیس ـ امیتر و اتصال بیس ـ کلکتور نیز در بایاس معکوس است. این نوع اتصال در شکل۶ـ الف نشان داده شده است. شکل ۶ـ ب مدار معادل شکل ۶ـ الف است. همان‌طوری که از مدار معادل پیداست، هردو دیود در بایاس معکوس قرار گرفته و قطع‌اند. لذا جریان I_E و I_C برابرصفر است. البته جریان

بسیار ضعیفی در اثر شکستن پیوندها در دمای معمولی از مدار عبور می‌کند که از آن صرف‌نظر می‌کنیم. در این حالت نیز ترانزیستور هیچ عملی انجام نمی‌دهد.



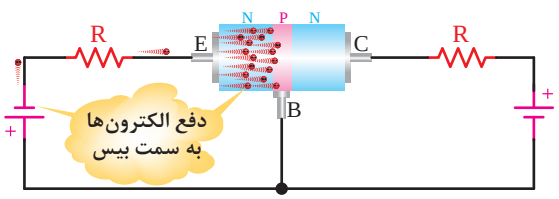
شکل ۶ـ بایاس مخالف

پ) اتصال بیس ـ امیتر در بایاس مستقیم و اتصال بیس ـ کلکتور در بایاس معکوس است. شکل ۷ـ الف و ب این حالت بایاس را نشان می‌دهد.



شکل ۷ـ بایاس موافق و مخالف

همان‌طوری که از شکل ۷ پیداست، اتصال بیس ـ امیتر در بایاس مستقیم است، لذا باید یک جریان در مدارِ بیس‌ـامیتر داشته باشیم. (در این قسمت استثنائاً جهت جریان را در جهت واقعی الکترون‌ها در نظر می‌گیریم) (شکل ۸).



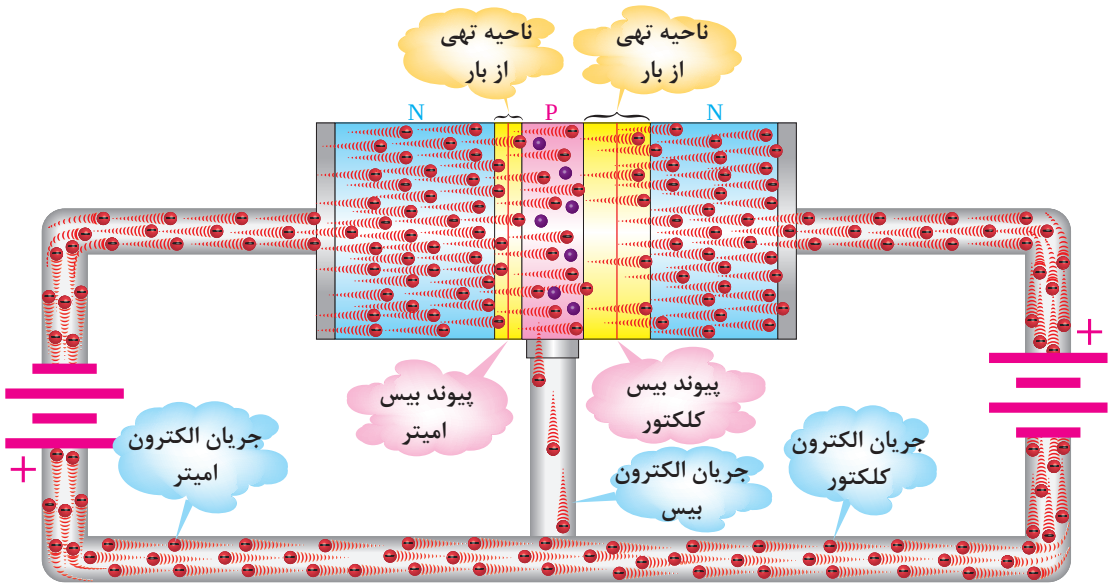
شکل ۸ـ حرکت الکترون‌ها

همان‌طوری که از شکل ۸ پیدا است، الکترون‌های نیمه‌هادی نوع N، توسط ولتاژ منفی باتری به سمت بیس رانده می‌شوند. لایه بیس نسبت به امیتر وکلکتور ناخالصی کمتری دارد و ضخامت آن نیز، نسبت به دو لایه دیگر فوق‌العاده کم است. در اینجا سؤالی پیش می‌آید که آیا این جریان الکترون‌ها مسیر خود را از طریق امیترـ بیس می‌بندد یا اتفاق دیگری می‌افتد؟ در نگاه اول چنین به نظر می‌آید که جریان الکترون‌ها مسیر خود را باید از طریق بیس ـامیتر ببندد، ولی عملاً این طور نیست و قسمت اعظم این جریان از طریق کلکتور بسته می‌شود. دلیل این عمل به شرح زیر است:

- به کلکتور ولتاژ مثبت وصل شده است و این ولتاژ قادر است، الکترون‌ها را به طرف خود جذب کند.
- لایه بیس بسیار نازک است و الکترون‌ها به محض وارد شدن به لایه بیس به دلیل کم بودن این فاصله با کلکتور جذب می‌شوند. سطح کلکتور حدود ۹ برابر بزرگ‌تر از سطح امیتر است، لذا نسبت به ورود

الکترون‌ها به لایه بیس احاطه کامل دارد و تقریباً تمام آنها را جذب می‌کند.

ناخالصی بیس کم است و الکترون‌ها با حفره‌ها کمتر ترکیب می‌شوند. لذا تقریباً بیش از ٪۹۵ الکترون‌هایی که به لایه بیس وارد می‌شوند، مدار خود را از طریق کلکتور می‌بندند. شکل ۹، نسبت تقسیم تقریبی الکترون‌ها بین کلکتور و بیس را نشان می‌دهد.



شکل ۹ــ الکترون‌های عبوری از بیس و کلکتور

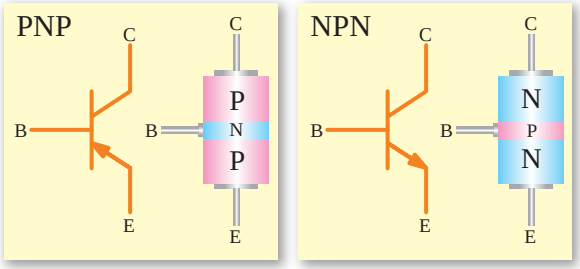
فیلم

فیلمی از ولتاژبندی ترانزیستور و روابط بین I_E، I_B و I_C را ببینید.

نماد فنی ترانزیستور

برای ساده‌تر نشان دادن ترانزیستورها در نقشه‌ها از علامت اختصاری استفاده می‌شود. شکل ۱۰، نماد فنی ترانزیستورهای PNP و NPN را نشان می‌دهد.

جهت فلش در نماد فنی ترانزیستور نشان‌دهنده جهت دیود امیتر ـ بیس است.

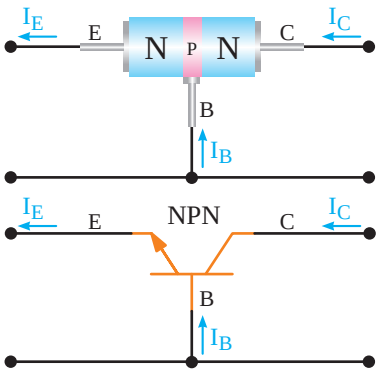


شکل ۱۰ــ علامت قرار دادی ترانزیستورهای PNP و NPN

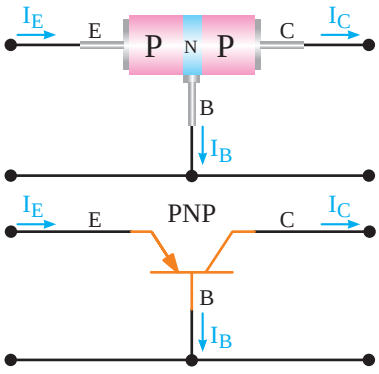
جهت جریان‌ها در ترانزیستور

جریانی که ازکلکتور عبور می‌کند با I_C، جریانی که از بیس عبور می‌کند با I_B و جریانی که از امیتر عبور می‌کند با I_E نشان داده می‌شود. همان‌طوری که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، جریانی که از امیتر عبور می‌کند به دو انشعاب تقسیم می‌شود. قسمت بسیار کمی از جریان از بیس و قسمت اعظم آن از کلکتور عبور می‌کند، لذا جریان امیتر با مجموع جریانِ بیس و جریان کلکتور برابر است. یعنی: $I_E = I_C + I_B$

برای سادگی و درک جهت جریان، معمولاً جهت قراردادی را در نظر می‌گیرند. درجهت قراردادی، جریان از قطب مثبت باتری یا منبع‌تغذیه خارج و پس از عبوراز مدارخارجی، به قطب منفی آن وارد می‌شود. در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ جهت قراردادی جریان در ترانزیستورهای NPN وPNP نشان داده شده است. جهت قراردادی جریان، همیشه با جهت دیود بیس ـ امیتر مطابقت دارد.



شکل۱۱ـ جهت قراردادی جریان در ترانزیستور NPN



شکل ۱۲ـ جهت قراردادی جریان در ترانزیستور PNP

کار گروهی

با توجه به شکل‌های ۱۱ و ۱۲ در مورد جهت واقعی و قراردادی جریان بحث کنید و شکل‌های مربوط به جهت واقعی جریان را با در نظر گرفتن قطب‌های ولتاژ ترسیم کنید.

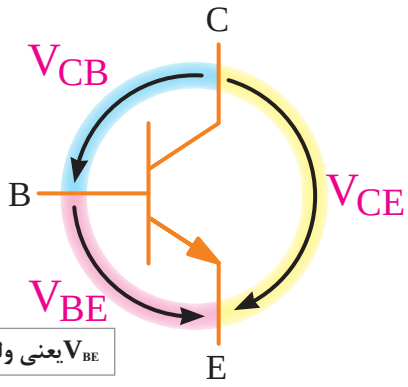
نام‌گذاری ولتاژهای ترانزیستور

برای اینکه بتوان از ترانزیستور به عنوان مداری مانند تقویت‌کننده سیگنال‌های الکتریکی استفاده کرد، باید ترانزیستور با ولتاژ DC تغذیه شود. در هر حالت، ولتاژهایی که به قسمت‌های مختلف ترانزیستور اعمال می‌شوند، با هم فرق می‌کنند در این قسمت به نام‌گذاری ولتاژ قسمت‌های مختلف می‌پردازیم.

ولتاژ که به پایه‌های بیس و امیتر وصل می‌شود با V_{BE}، ولتاژی که به پایه‌های کلکتور- بیس داده می‌شود با V_{CB}، ولتاژی که بین کلکتور - امیتر وصل می‌شود با V_{CE}، ولتاژ منبع‌تغذیه کلکتور را با V_{CC} و ولتاژی که انرژی بیس را تأمین می‌کند با V_{BB} نشان می‌دهند.

در شکل ۱۳، ولتاژهای قسمت‌های مختلف ترانزیستور را مشاهده می‌کنید. بین ولتاژهای ترانزیستور، رابطه $V_{CE}=V_{CB}+V_{BE}$ برقرار است.

$V_{CE}=V_{CB}+V_{BE}$

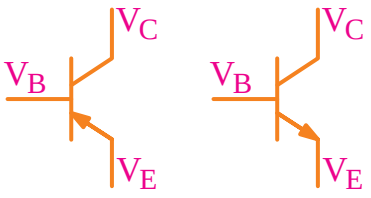


V_{BE} یعنی ولتاژ بیس، نسبت به امیتر

شکل ۱۳ــ نام‌گذاری ولتاژ بین پایه‌های ترانزیستور

توجه: ولتاژ هر پایه، را نسبت به زمین یا نسبت به هر مرجع دیگری، با حرف V و نام پایه مورد نظر نشان می‌دهند. مثلاً V_C پتانسیل (ولتاژ) پایه کلکتور نسبت به زمین است. در شکل ۱۴ ولتاژ نقاط مختلف یک ترانزیستور نسبت به زمین نشان داده شده است.

V_B یعنی ولتاژ بیس نسبت به زمین



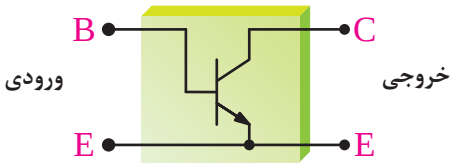
شکل۱۴ــ ولتاژ هر پایه ترانزیستور نسبت به زمین

آرایش‌های ترانزیستور

آرایش ترانزیستور در مدار، به سه صورت امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک است. در این‌جا به بررسی مختصر هر آرایش و سبب نام‌گذاری آنها می‌پردازیم.

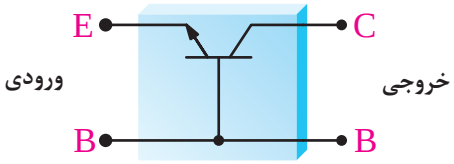
پایهٔ مشترک در ترانزیستور: در ترانزیستور، همیشه سیگنال ورودی به دو پایه از سه پایهٔ ترانزیستور داده می‌شود و سیگنال خروجی از دو پایهٔ آن گرفته می‌شود؛ به‌طوری که یکی از پایه‌ها بین ورودی و خروجی، مشترک است. لذا، با توجه به پایهٔ مشترک، نام آرایش انتخاب می‌شود.

آرایش امیترمشترک (Common Emitter): در این آرایش پایهٔ امیتر، بین ورودی و خروجی مدار مشترک است و سبب نام‌گذاری این آرایش نیز به‌دلیل مشترک بودن پایهٔ امیتر است. در هر آرایشی پایهٔ مشترک را مبنا قرار می‌دهند و ولتاژهای نقاط مختلف مدار را نسبت به آن اندازه می‌گیرند. شکل ۱۵ آرایش امیتر مشترک را بدون رسم سایر المان‌های مورد نیاز، نشان می‌دهد. آرایش امیتر مشترک، در مدارات کاربرد بیشتری دارد.



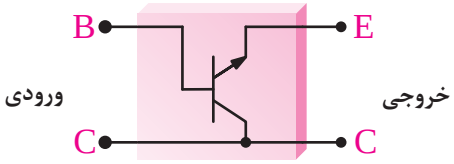
شکل ۱۵ـ آرایش امیترمشترک (CE)

آرایش بیس مشترک (Common Base) : در این آرایش، چون پایهٔ بیس بین ورودی و خروجی مشترک است. آرایش آن را نیز بیس مشترک نامیده‌اند. شکل ۱۶، این آرایش را به طور ساده نشان می‌دهد.



شکل ۱۶ـ آرایش بیس مشترک (CB)

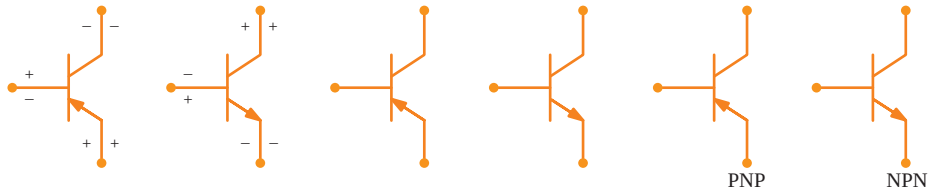
آرایش کلکتورمشترک (Common Collector): پایهٔ مشترک بین ورودی و خروجی، در این آرایش، کلکتور است و به دلیل مشترک بودن پایهٔ کلکتور نیز به آن کلکتور مشترک می‌گویند. شکل ۱۷، آرایش کلکتور مشترک را نشان می‌دهد. این آرایش را امیتر فالوور (Emitter Follower) نیز می‌گویند.



شکل ۱۷ـ آرایش کلکتور مشترک (CC)

الگوی پرسش

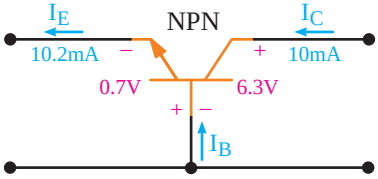
۱ انواع ترانزیستورها را از نظر ساختار کریستالی نام ببرید.
۲ ساختمان ترانزیستور را توضیح دهید.
۳ بایاس ترانزیستور را شرح دهید.
۴ شمای مداری و معادل دیودی ترانزیستور NPN و PNP را رسم کنید.
۵ پایه‌ها و جهت قراردادی جریان و ولتاژهای ترانزیستورهای شکل ۱۸ را تعیین کنید.



شکل ۱۸

۶ با شکل ساده سه نوع آرایش ترانزیستور را رسم کنید و روی شکل ورودی و خروجی آن را مشخص کنید.
۷ با توجه به شکل ۱۹ I_B و V_{CE} را محاسبه کنید.

V_{CB}=۶/۳[V]
V_{BE}=۰/۷[V]



شکل ۱۹

۸ در یک ترانزیستور I_B برابر ۴ میلی‌آمپر و I_C برابر ۵۰ میلی‌آمپر است. I_E را محاسبه کنید.
۹ در یک ترانزیستور NPN، V_{CE}=۱۲ ولت و ولتاژ V_{BE}=۰/۷ ولت است V_{CB} کدام است؟
۱) ۱۲/۷ ۲) ۱۱/۳ ۳) ۱۳/۳ ۴) ۱۰/۷

منحنی‌های مشخصهٔ ترانزیستور

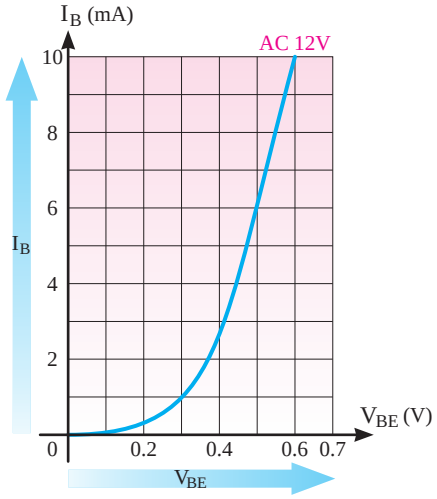
روابط بین جریان‌ها و ولتاژها و تغییرات آنها در ترانزیستور و همچنین ضریب تقویت به عامل‌هایی چون درجهٔ حرارت، فرکانس و غیرخطّی بودن المان‌ها بستگی دارد (منظور از غیرخطّی بودن، این است که نسبت تغییرات جریان‌ها و ولتاژها تابع یک معادلهٔ خطی ریاضی نیست.) لذا، معمولاً از طریق ریاضی نمی‌توان مقادیر را به درستی تعیین کرد. برای به دست آوردن این رابطه‌ها از منحنی‌هایی، که بیان‌کنندهٔ روابط بین جریان‌ها و ولتاژها (با توجه به آرایش ترانزیستور) است استفاده می‌شود. این منحنی‌ها عبارت‌اند از:

الف) منحنی مشخصهٔ ورودی
ب) منحنی مشخصهٔ انتقالی

ج) منحنی مشخصهٔ خروجی

در یک ترانزیستور، منحنی‌های مشخصهٔ دیگری نیز وجود دارند که بعداً مورد بحث قرار می‌گیرند. در ادامهٔ بحث، راجع به هر یک از سه منحنی ذکر شده در آرایش امیتر مشترک توضیحاتی داده خواهد شد.

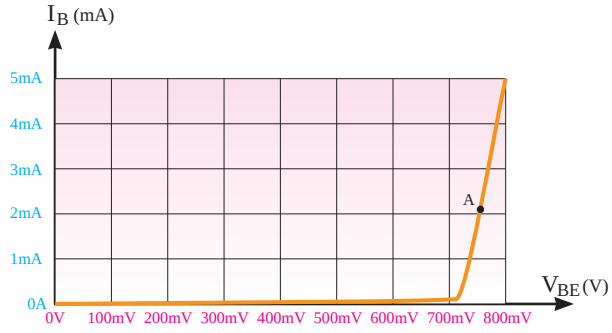
منحنی مشخصهٔ ورودی: منحنی مشخصهٔ ورودی ترانزیستور، بیان کنندهٔ مقدار جریان ورودی، برحسب ولتاژ ورودی است. همان طوری که مدار ورودی شبیه یک دیود است منحنی مشخصهٔ آن نیز شبیه منحنی مشخصهٔ ولت ـ آمپر دیود معمولی است. شکل ۲۰، منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور AC ۱۲۷ را نشان می‌دهد.



شکل ۲۰ـ منحنی مشخصهٔ ورودی ترانزیستور

این ترانزیستور از جنس ژرمانیم است، به همین دلیل، جریان بیس آن نیز نسبتاً زیاد است.

مثال ۱: در شکل ۲۱، منحنی مشخصهٔ ورودی ترانزیستوری از جنس سیلیسیم رسم شده است. مقدار جریان I_B و ولتاژ V_{BE} را در نقطه A به‌دست آورید.



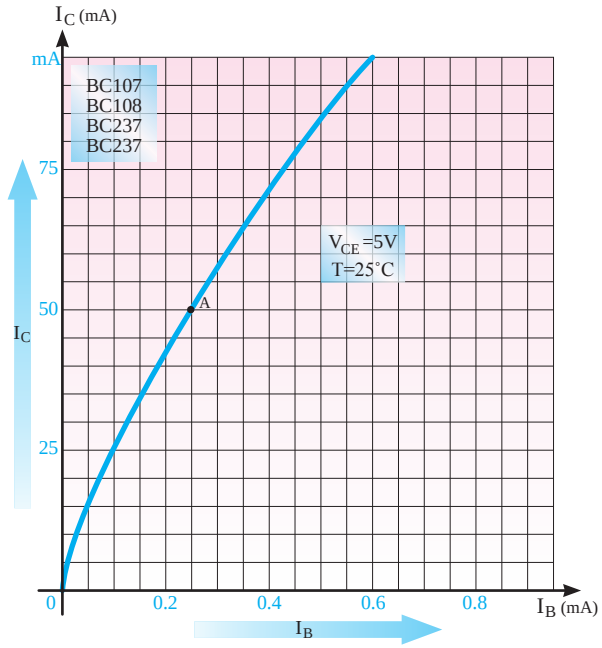
شکل ۲۱ـ منحنی مشخصهٔ ورودی ترانزیستور از جنس سیلیسیم

حل:

$I_B = ۲m[A]$

$V_{BE} = ۷۵۰ [mV]$

■ **منحنی مشخصهٔ انتقالی:** منحنی مشخصهٔ انتقالی، رابطهٔ بین جریان ورودی و خروجی ترانزیستور را به ازای مقادیر ثابت V_{CE} نشان می‌دهد، شکل ۲۲، منحنی مشخصهٔ انتقالی ترانزیستور BC۱۰۷ را به ازای V_{CE} =۵V نشان می‌دهد.



شکل ۲۲ـ منحنی مشخصهٔ انتقالی ترانزیستور

چون ضریب تقویت جریان، برابر نسبت جریان خروجی به جریان ورودی است، لذا از این منحنی می‌توان ضریب تقویت جریان را به‌دست آورد. ضریب تقویت جریان را با β نشان می‌دهند. مقدار β بستگی به مشخصات فیزیکی و ساخت ترانزیستور دارد.

$$\text{بهره جریان } \beta_{DC} = \frac{\text{جریان خروجی}}{\text{جریان ورودی}} = \frac{I_C}{I_B}$$

مثال ۲: در نقطه A، β ترانزیستور را به‌دست آورید.

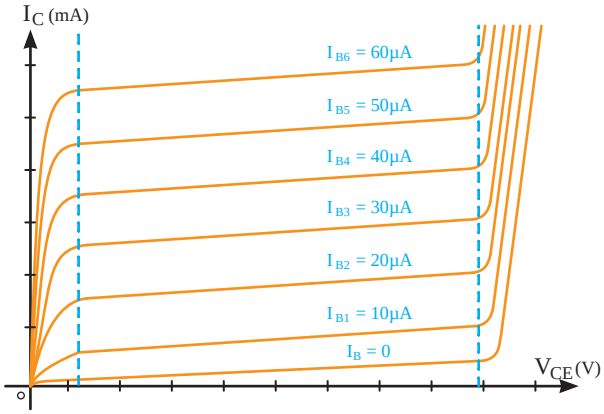
حل:

I_C = ۵۰mA

I_B= ۰/۲۵mA

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{۵۰}{۰/۲۵} = ۲۰۰ \text{ مرتبه}$$

■ **منحنی مشخصهٔ خروجی:** منحنی مشخصهٔ خروجی ترانزیستور، رابطهٔ بین جریان و ولتاژ خروجی به ازای جریان ورودی معیّن را نشان می‌دهد. اگر تقویت کننده امیتر مشترک باشد(تقویت کنندهٔ امیتر مشترک بعداً توضیح داده خواهد شد). جریان ورودی I_B، جریان خروجی I_c و ولتاژ خروجی V_{CE} خواهد بود. (تقریباً تمام کارخانه‌های سازندهٔ ترانزیستور، منحنی مشخصهٔ ترانزیستور را در حالت امیتر مشترک ارائه می‌دهند.) شکل ۲۳، منحنی مشخصه‌های خروجی ترانزیستور را به ازای جریان‌های I_B ثابت، نشان می‌دهد.



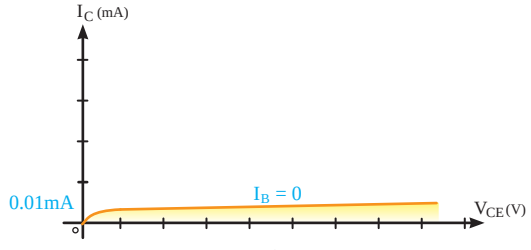
شکل ۲۳ـ منحنی مشخصهٔ خروجی ترانزیستور

مقدار جریان خروجی I_C تابع دو عامل I_B و V_{CE} است. یعنی با کم و زیاد شدن I_B جریان خروجی I_C نیز کم یا زیاد می‌شود. این مطلب در مورد V_{CE} نیز صادق است، لیکن تأثیر تغییرات V_{CE} بر I_C ناچیز و در مواردی غیر قابل توجّه است. از طرفی جریان I_B هم به V_{BE} بستگی دارد. منحنی مشخصهٔ خروجی ترانزیستور، شامل سه ناحیهٔ قطع، فعال و اشباع است.

الف) ناحیهٔ قطع (Cut off): ناحیه‌ای است که جریان بیس، صفر و ترانزیستور هنوز به آستانهٔ هدایت نرسیده است. لذا دارای مشخصّات زیر است:

$$\text{ناحیهٔ قطع} \begin{cases} I_B = 0 \\ I_C = 0 \\ V_{CE} \approx V_{CC} \end{cases}$$

شکل ۲۴ ناحیهٔ قطع را روی منحنی مشخصهٔ خروجی نشان می‌دهد.

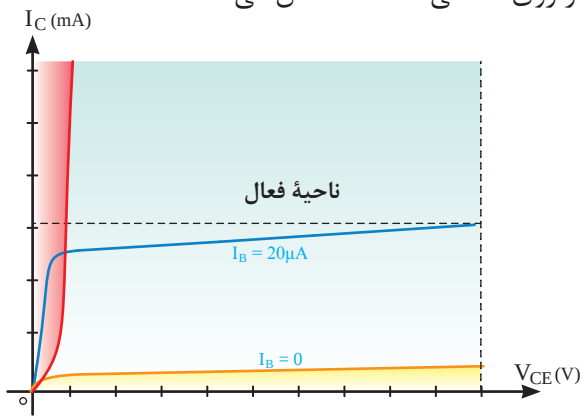


شکل ۲۴ـ ناحیهٔ قطع ترانزیستور

ب) ناحیهٔ فعّال (Active): در این ناحیه، ترانزیستور در حال هدایت است و با تغییرات زیاد V_{CE} تغییرات جریان کلکتور کم است (ثابت I_B=). لذا این ناحیه دارای مشخصات زیر است.

$$\text{ناحیهٔ فعّال} \begin{cases} I_B \neq 0 \\ I_C \neq 0 \\ V_{CE} \neq 0 \end{cases}$$

شکل ۲۵، ناحیهٔ فعال را در روی منحنی مشخصه نشان می‌دهد.

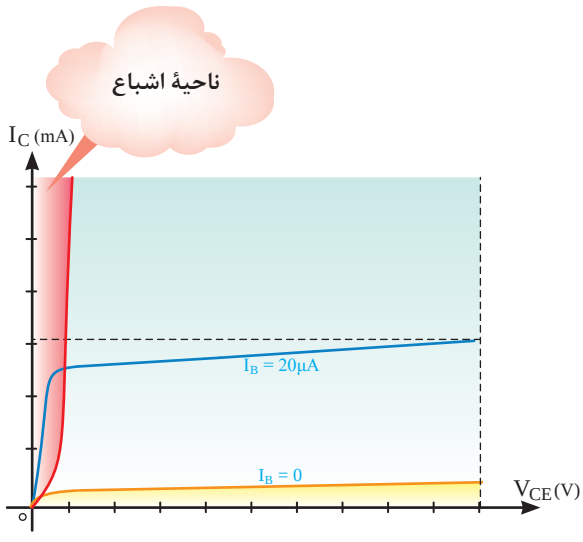


شکل ۲۵ـ ناحیهٔ فعال روی منحنی مشخصهٔ خروجی

ج) ناحیهٔ اشباع (Saturation): ناحیه‌ای است که ترانزیستور در حال هدایت است، ولی با تغییر جزئی V_{CE} (کسری از ولت) تغییرات بسیار زیادی در جریان کلکتور مشاهده می‌شود. لذا دارای مشخصات زیر است.

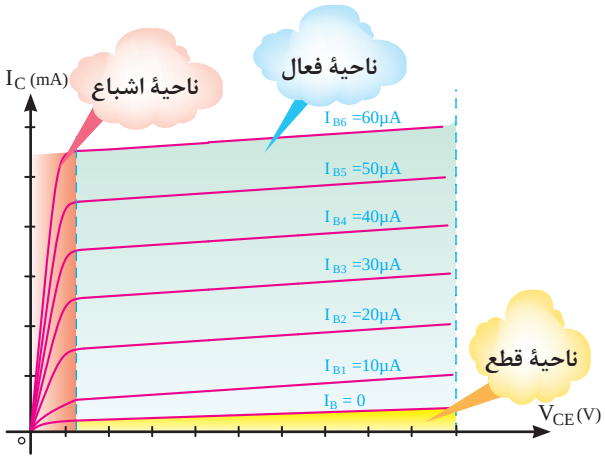
ناحیهٔ اشباع	$I_B \neq 0$	تقریباً حداکثر
	$I_C \neq 0$	تقریباً حداکثر
	$V_{CE} \cong 0/2V$	تقریباً حداقل

در شکل ۲۶ ناحیهٔ اشباع روی منحنی مشخصه، خروجی نشان داده شده است.



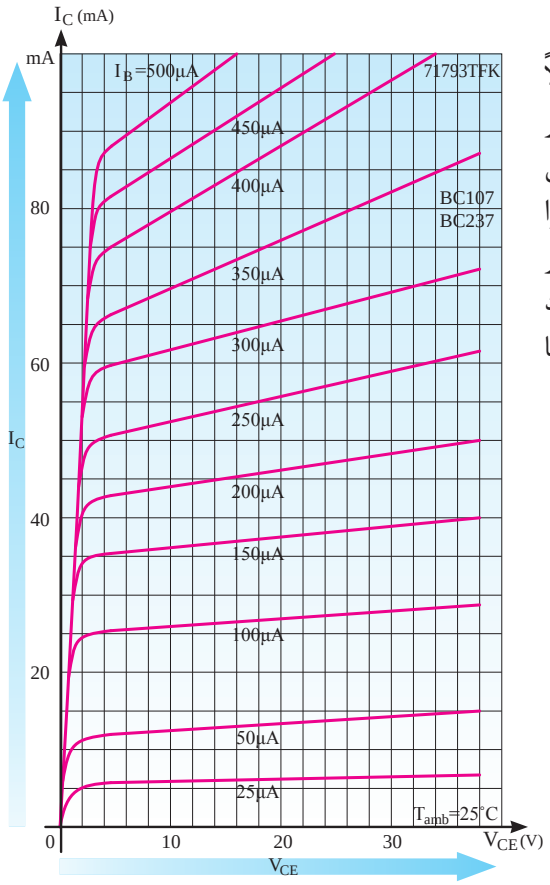
شکل ۲۶ـ ناحیهٔ اشباع در منحنی مشخصهٔ خروجی ترانزیستور

در شکل ۲۷ منحنی مشخصهٔ خروجی ترانزیستور را، که سه ناحیهٔ کار ترانزیستور روی آن مشخص شده است مشاهده می‌کنید.



شکل ۲۷ـ منحنی مشخصهٔ خروجی و سه ناحیهٔ کار

کارخانه‌های سازنده قطعات الکترونیکی، معمولاً منحنی مشخصهٔ خروجی را به ازای چندین مقدار I_B در اختیار مصرف کنندگان قرار می‌دهند. شکل ۲۸ منحنی مشخصهٔ خروجی ترانزیستور BC۱۰۷ را به ازای چندین I_B مختلف نشان می‌دهد. ترانزیستور BC۱۰۷ یک ترانزیستور معمولی و برای کاربرد عمومی است که به سادگی می‌توان سایر ترانزیستورها را جایگزین آن کرد.



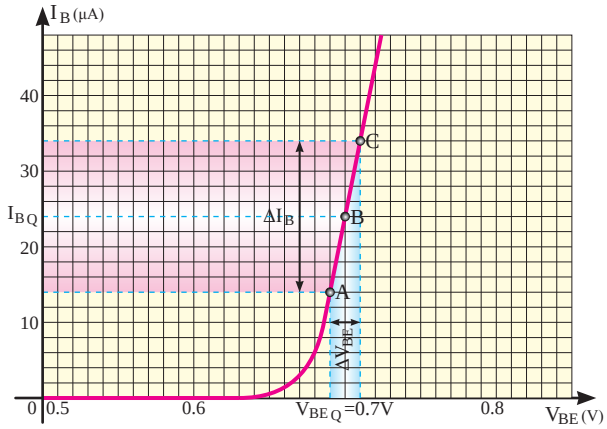
شکل ۲۸ـ منحنی مشخصهٔ‌خروجی ترانزیستور BC۱۰۷

الگوی پرسش

۱ روابط بین جریان‌ها و ولتاژها و تغییرات آنها در ترانزیستور به چه عواملی بستگی دارد؟ نام ببرید.

۲ منحنی‌های مشخصهٔ ترانزیستور را نام ببرید. این منحنی‌های مشخصه معمولاً در چه آرایشی توسط کارخانهٔ سازنده رسم می‌شوند؟

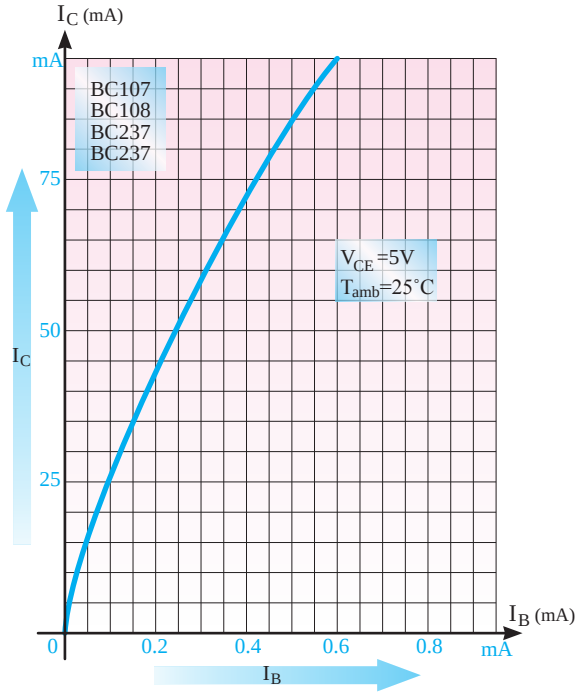
۳ با توجه به منحنی مشخصهٔ ورودی شکل ۲۹ V_{BE} و I_B را در سه نقطه A، B و C محاسبه کنید.



شکل ۲۹ـ منحنی مشخصهٔ ورودی ترانزیستور

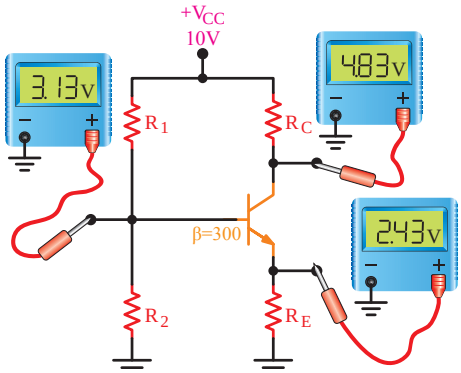
۴ ناحیهٔ فعال و قطع را تعریف کنید و مشخصات نقطهٔ کار را در این ناحیه‌ها بنویسید.

۵ به ازای I_B =۰/۲mA و I_B =۰/۴mA و با توجه به شکل ۳۰، β_{DC} را در هر حالت محاسبه کنید.



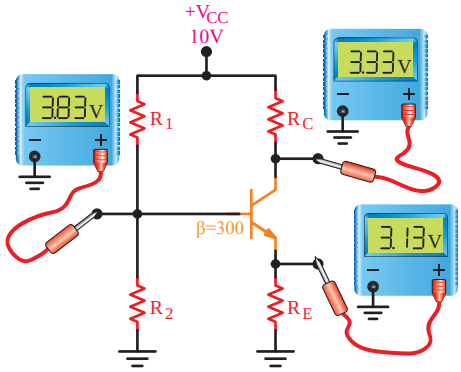
شکل ۳۰ـ منحنی مشخصهٔ انتقالی ترانزیستور

۶ با توجه به مقادیر نشان داده شده در شکل ۳۱، V_{BE} و V_{CE} را محاسبه کنید. سپس ناحیهٔ کار ترانزیستور را مشخص کنید.



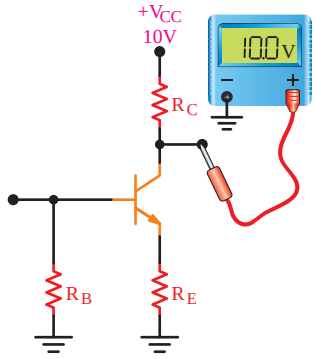
شکل ۳۱ـ ولتاژ پایه‌های یک نمونه تقویت کننده بایاس سرخود

۷ با توجه به مقادیر نشان داده شده در شکل ۳۲، V_{BE} و V_{CE} و V_{CB} را محاسبه کنید. ناحیهٔ کار ترانزیستور را مشخص کنید.



شکل ۳۲ـ ولتاژ پایه‌های یک نمونه تقویت کننده بایاس سرخود

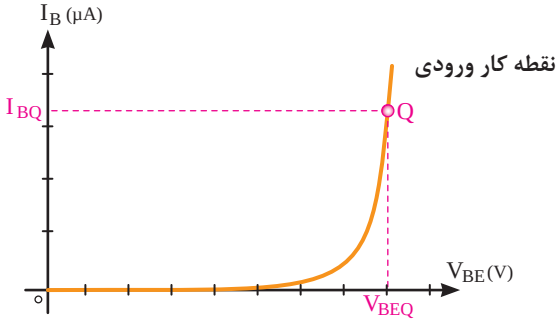
۸ با توجه به مقدار ولتاژ نشان داده شده در شکل ۳۳ ناحیهٔ کار ترانزیستور را مشخص کنید.



شکل ۳۳ـ تعیین ناحیهٔ کار ترانزیستور

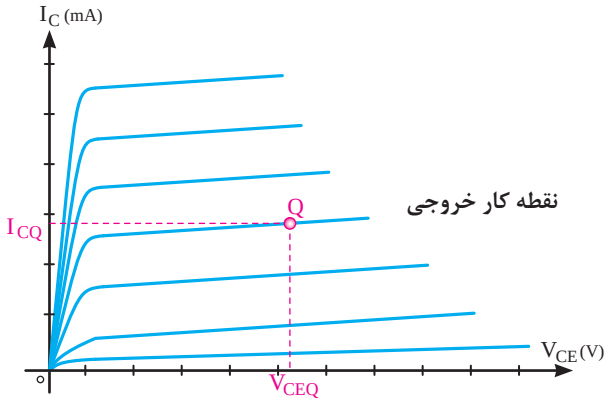
نقطهٔ کار ترانزیستور

الف) تعریف نقطهٔ کار: به مقادیر dc کمیّت‌های V_{BE}-V_{CE}-I_B-I_C در شرایطی که هیچ منبع سیگنال AC به ورودی آن متصل نباشد، نقطهٔ کار DC ترانزیستور گویند. شکل ۳۴ نقطهٔ کار را روی منحنی مشخصهٔ ورودی نشان می‌دهد.



شکل ۳۴ــ نقطهٔ کار ورودی روی منحنی مشخصهٔورودی

در شکل ۳۵ نقطهٔ کار روی منحنی مشخصهٔ خروجی نشان داده شده است.



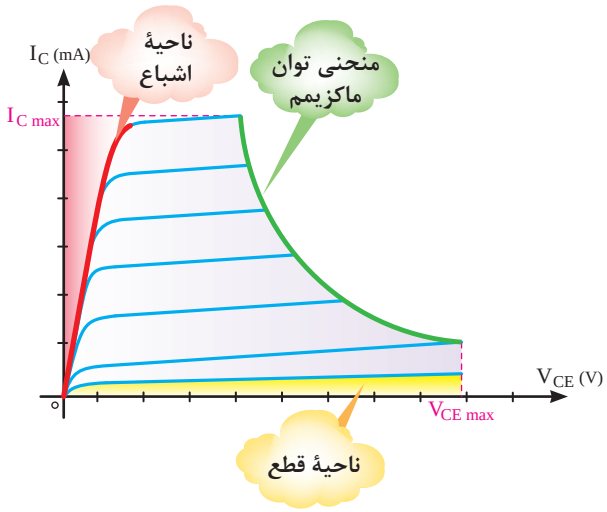
شکل ۳۵ــ نقطهٔ کار خروجی روی منحنی مشخصهٔ خروجی

نقطهٔ کار را با حرف Q نشان می‌دهند. Q حرف اول کلمهٔ Quicent Point به مفهوم نقطه کار است.

ب) انتخاب نقطهٔ کار: برای انتخاب نقطهٔ کار، ابتدا باید محدودیت‌های ترانزیستور را در نظر گرفت. از جمله محدودیت‌ها، تحمّل توان تلف شده در ترانزیستور، حداکثر جریان کلکتور و حداکثر ولتاژ بین کلکتور و امیتر است که در پایان این پودمان راجع به مقادیر ماکزیمم توضیحاتی داده خواهد شد. نظر به این که تلفات توان توسط ترانزیستور برابر $P_T = V_{CE}.I_C + V_{BE}.I_B$ است، یادآور می‌شود که مقدار $V_{BE}.I_B$ کم است و معمولاً از آن صرف‌نظر می‌کنند.

نقطهٔ کار باید در محلی قرار گیرد که حاصل‌ضرب $V_{CE}.I_C$ با ماکزیمم توان قابل تحمّل ترانزیستور مساوی یا کمتر باشد. رسم مشخصّهٔ $V_{CE}.I_C$ در شکل ۳۶ آمده است. همچنین، محل نقطهٔ کار نباید در محل $I_B = ۰$

(منطقهٔ قطع) باشد (منطقهٔ قطع منطقه‌ای است که جریان ورودی ترانزیستور برابر صفر است). در ضمن نقطهٔ کار باید در محلی قرار گیرد که بتواند سیگنال را از دو طرف به یک اندازه تقویت کند. شکل ۳۶، منطقهٔ قطع، اشباع و منحنی توان ماکزیمم را نشان می‌دهد.



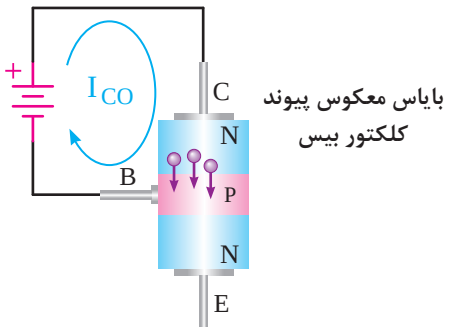
شکل ۳۶ـ منحنی توان ماکزیمم روی منحنی مشخصهٔ خروجی

الگوی پرسش

۱ نقطهٔ کار DC را تعریف کنید.
۲ برای انتخاب نقطهٔ کار چه محدودیت‌هایی را در ترانزیستور باید در نظر گرفت؟
۳ محل مناسب نقطهٔ کار در روی منحنی مشخصهٔ خروجی کجا است؟ شرح دهید.

تأثیر درجهٔ حرارت در ترانزیستور

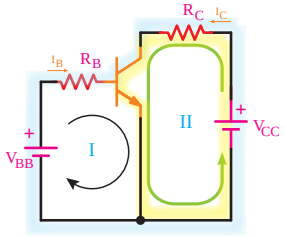
افزایش درجهٔ حرارت، بیشتر بر روی جریان معکوس کلکتور بیس، نسبت به جریان‌های دیگر، اثر می‌گذارد. مطابق شکل ۳۷، با توجه به این که بیس ـ کلکتور در بایاس مخالف قرار دارد، جریان بسیار ضعیفی، که عامل آن حامل‌های اقلیت (حفره‌ها) هستند، از کلکتور به طرف بیس جاری می‌شود. این جریان را جریان قطع کلکتور می‌نامند و با I_{CO} نمایش می‌دهند. افزایش حرارت I_{CO} را افزایش می‌دهد.



شکل ۳۷ـ نمایش جریان I_{CO}

مدارهای تغذیهٔ ترانزیستور

از ترانزیستور، در صورتی می‌توان به صورت یک تقویت‌کننده استفاده کرد که ولتاژهای لازم به پایه‌های آن برسد و ترانزیستور را در حالت هدایت قرار دهد. انواع بایاس (تغذیه) که ترانزیستور را در ناحیه هدایت قرار می‌دهد پنج نوع است که به شرح هر یک می‌پردازیم.



شکل ۳۸ـ تغذیهٔ ترانزیستور با دو منبع مستقل

بایاس با دو منبع مستقل V_{CC} و V_{BB}: اگر بخواهیم ترانزیستور در نقطهٔ کار Q کار کند، باید مطابق شکل ۳۸ یک منبع ولتاژ بین بیس امیتر و منبع دیگری بین کلکتور و امیتر قرار دهیم. منبع V_{BB} دیود بیس امیتر را در بایاس موافق و منبع V_{CC} دیود کلکتور بیس را در بایاس معکوس قرار می‌دهد.

به منظور کنترل جریان بیس از مقاومت R_B و برای محدودکردن جریان کلکتور از مقاومت R_C استفاده شده است.

با نوشتن KVL در حلقه I می‌توان مقدار جریان I_B را محاسبه نمود.

$$KVL \Rightarrow -V_{BB} + R_B I_B + V_{BE} = ۰$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

با توجه به رابطه ضریب تقویت جریان (β) می‌توان جریان I_C را به‌دست آورد:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow I_C = \beta . I_B$$

با نوشتن KVL در حلقه II می‌توان مقدار ولتاژ V_{CE} را محاسبه کرد:

$$KVL \Rightarrow -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$$

مثال ۳: در مدار شکل ۳۸ اگر V_{BB}=۲V، V_{CC}=۱۲V، R_B=۱۳KΩ، R_C=۱/۲KΩ باشد، نقطه کار ترانزیستور (I_C،V_{CE}) را به‌دست آورید. مقدار V_{BE} را برابر با ۰/۷V و مقدار β ترانزیستور را برابر با ۵۰ درنظر بگیرید.

حل: ابتدا جریان I_B را به‌دست می‌آوریم:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{۲ - ۰/۷}{۱۳K} = \frac{۱/۳}{۱۳K} = ۰/۱mA$$

با استفاده از رابطه $I_C = \beta I_B$ مقدار جریان کلکتور را محاسبه می‌کنیم:

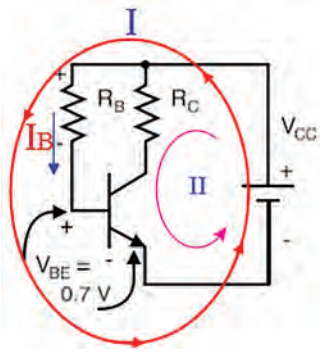
$$I_C = \beta \times I_B = ۵۰ \times ۰/۱m = ۵mA$$

حال ولتاژ V_{CE} را محاسبه می‌کنیم:

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = ۱۲ - (۱/۲k)(۵m)$$
$$V_{CE} = ۱۲ - ۶ = ۶V$$

بایاس بیس با یک منبع ولتاژ (Base Bias): برای صرفه‌جویی به جای دو باتری تنها از یک باتری V_{CC} استفاده می‌کنیم. این نوع بایاس را بایاس بیس با یک باتری می‌نامند. (شکل ۳۹)

با نوشتن KVL در حلقه I می‌توان مقدار جریان I_B را محاسبه نمود:



شکل ۳۹ـ بایاس بیس با یک باتری

$$KVL \Rightarrow -V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} = ۰$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

با استفاده از رابطه ضریب تقویت جریان (β) مقدار جریان کلکتور (I_C) را به‌دست می‌آوریم:

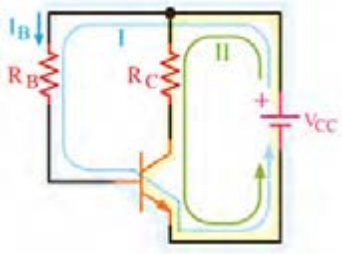
$$I_C = \beta \cdot I_B$$

با نوشتن KVL در حلقه II می‌توان مقدار ولتاژ V_{CE} را محاسبه نمود:

$$KVL \Rightarrow -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$$

مثال ۴: در مدار شکل ۴۰ اگر V_{CC}=۱۲V، R_B=۱۱۳KΩ و R_C=۱/۲KΩ باشد، نقطه کار ترانزیستور (I_C،V_{CE}) را به دست آورید. (مقدار V_{BE} را برابر با ۰/۷V و مقدار β ترانزیستور را ۵۰ درنظر بگیرید).



شکل ۴۰ـ تغذیهٔ بیس با استفاده از یک باتری

حل: ابتدا جریان I_B را به‌دست می‌آوریم:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{۱۲ - ۰/۷}{۱۱۳k} = ۰/۱mA$$

به کمک رابطه $I_C = \beta \cdot I_B$ مقدار جریان کلکتور را محاسبه می‌کنیم:

$$I_C = \beta I_B = ۵۰ \times ۰/۱m = ۵mA$$

حال ولتاژ V_{CE} را به‌دست می‌آوریم:

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$$
$$V_{CE} = ۱۲ - (۱/۲k)(۵m) = ۶V$$

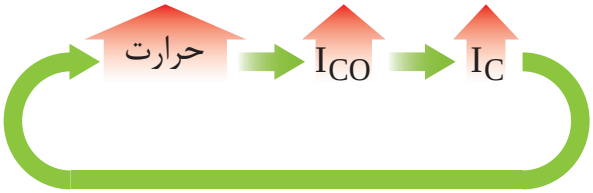
باید توجه داشت که در این مدار در اثر حرارت، جریان ناخواستهٔ I_{CO} (جریان نشتی) در ترانزیستور به وجود می‌آید. جریان نشتی در حرارت‌های کم ناچیز است و از آن صرف نظر می‌شود، ولی در حرارت‌های بالا I_{CO} به‌شدت افزایش می‌یابد و به ناچار از بیس ترانزیستور عبور می‌کند. از طرفی، می‌دانیم که هر جریانی که وارد بیس شود β برابر آن از کلکتور می‌گذرد، لذا جریان نشتی که از کلکتور عبور می‌کند برابر است با جریان نشتی اولیه به علاوهٔ جریان نشتی تقویت شده، یعنی:

$$I_{CO} + \beta I_{CO} = (1 + \beta) I_{CO}$$

در نتیجه، اگر جریان I_C واقعی را بخواهیم، باید جریان نشتی را نیز به آن بیفزاییم.

$$I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CO}$$

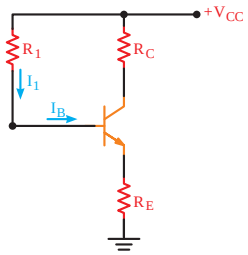
چنانچه برای پیش‌گیری از افزایش I_{CO}، اقدامی نشود، ترانزیستور از نقطهٔ کار Q خارج می‌گردد و ثبات حرارتی نخواهد داشت، زیرا با افزایش درجهٔ حرارت، I_{CO} زیاد می‌شود. زیاد شدن I_{CO} نیز حرارت اولیه را زیادتر می‌کند. حرارت بیشتر، مجدداً I_{CO} را افزایش می‌دهد و همین‌طور این سیکل افزایش I_{CO} و افزایش حرارت، ادامه پیدا می‌کند تا این که ترانزیستور کاملاً از نقطهٔ کار خارج شده یا می‌سوزد.



بنابراین، از این نوع بایاس باید در مواردی که حرارت کم و ثابت است، استفاده کرد چون این امر کاملاً امکان‌پذیر نیست باید چارهٔ دیگری اندیشید.

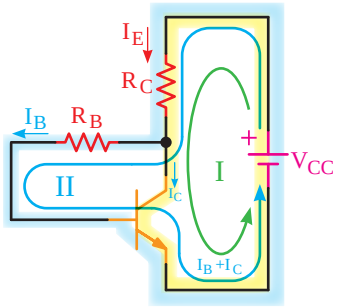
■ **بایاس با فیدبک در امیتر (Emitter Feedback Bias):** به دلیل تأثیر حرارت در نقطهٔ کار ترانزیستور، مقاومت R_E را در امیتر ترانزیستور قرار می‌دهند.

این نوع بایاس را بایاس با فیدبک در امیتر می‌گویند (شکل ۴۱).



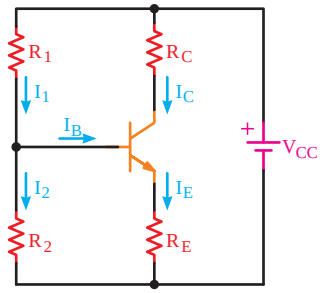
شکل ۴۱ـ بایاس با فیدبک در امیتر

بایاس با فیدبک از کلکتور (Bias Collector Feedback):
یکی از راه حل‌های مشکل فوق، قرار دادن R_B بین بیس کلکتور است که به این نوع تغذیه، بایاس بافیدبک ولتاژ هم می‌گویند. شکل ۴۲ این نوع بایاس را نشان می‌دهد.
این مدار، جریان کلکتور را به‌طور اتوماتیک کنترل می‌کند و از افزایش I_{CO} جلوگیری می‌کند.



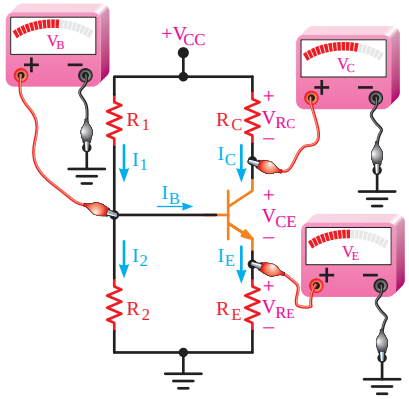
شکل ۴۲ــ ترانزیستور با بایاس بافیدبک از کلکتور

بایاس با مدار تقسیم‌کننده ولتاژ مقاومتی (Voltage divider Bias): روش بهتر بایاس و ثبات حرارتی، بایاس با مدار تقسیم کننده ولتاژ مقاومتی است که به آن بایاس سرخود نیز می‌گویند. در این روش (مطابق شکل ۴۳) یک مقاومت (R_E) سر راه امیتر قرار می‌گیرد و بیس، توسط دو مقاومت (R_1 و R_2) به صورت مقسم ولتاژ، تغذیه می‌شود.
مقاومت‌های R_E، R_C، R_1 و R_2 را با استفاده از KVL و مفروضاتی که از تجربه به دست آمده است و با معلومات داده شده محاسبه می‌نمایند. در این‌جا از محاسبات مقاومت‌های بایاس R_E، R_C، R_1 و R_2 صرف‌نظر می‌شود، در مورد محاسبه این مقاومت‌ها در آینده به تفصیل بحث خواهد شد.
در این مدار نیز جریان کلکتور به‌طور خودکار، کنترل می‌شود.



شکل ۴۳ــ ترانزیستور با بایاس تقسیم کننده ولتاژ مقاومتی یا سرخود

محاسبه جریان پایه‌ها و ولتاژ پایه‌های ترانزیستور در بایاس سر خود: در شکل ۴۴ جریان پایه‌ها و ولتاژ پایه‌های ترانزیستور در بایاس سرخود نشان داده شده است. با معلوم بودن مقادیر مقاومت‌ها می‌توان به طریق زیر ولتاژ پایه‌ها و جریان پایه‌ها را محاسبه نمود.



شکل ۴۴ــ مدار بایاس تقسیم کننده ولتاژ مقاومتی

چنانچه از I_B در مقابل I_2 صرف‌نظر شود مقاومت‌های R_1 و R_2 را به‌صورت سری در نظر می‌گیریم، می‌توانیم بنویسیم:

$$V_B = V_{R_2} = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

جریانی که از پایهٔ امیتر ترانزیستور خارج می‌شود برابر است با:

$$I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

با کمی تقریب می‌توان نوشت:

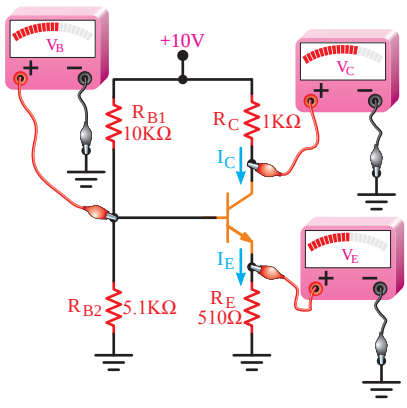
$$I_C \cong I_E$$

با معلوم بودن I_C ولتاژ کلکتور ترانزیستور یعنی V_C از رابطهٔ

$$V_C = V_{CC} - R_C I_C$$

محاسبه می‌شود.

مثال ۵: در مدار شکل ۴۵ مقادیر V_B، V_E، V_C و I_C را محاسبه کنید. $V_{BE} = ۰/۷$ ولت است.



شکل ۴۵ـ مدار بایاس تقسیم‌کننده ولتاژ مقاومتی

حل:

محاسبهٔ V_B

$$V_B = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_B = \frac{۱۰ \times ۵/۱}{۵/۱ + ۱۰} = ۳/۳۷ [V]$$

محاسبهٔ V_E

$$V_E = V_B - V_{BE}$$
$$V_E = ۳/۳۷ - ۰/۷ = ۲/۶۷[V]$$

محاسبهٔ I_E

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{۲/۶۷}{۵۱۰\Omega}$$
$$I_E = ۵/۲۳[mA]$$
$$I_C = I_E = ۵/۲۳[mA]$$

محاسبهٔ V_C

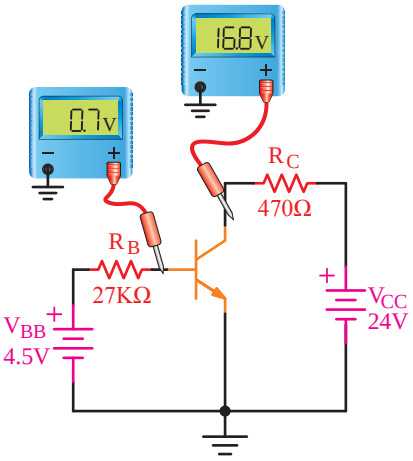
$$V_C = V_{CC} - R_C I_C$$
$$V_C = ۱۰ - (۵/۲۳ \times ۱) = ۴/۷۷[V]$$

کار در منزل

مدار مثال ۵ را شبیه‌سازی نموده و نقطه کار ترانزیستور را به کمک نرم‌افزار به دست آورید.

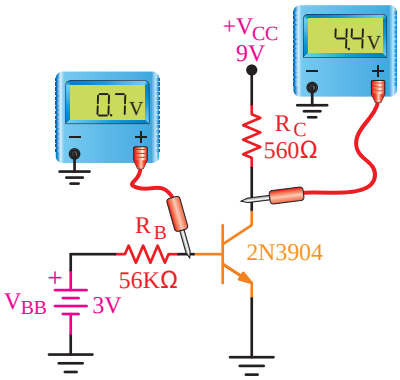
الگوی پرسش

۱ مدار بایاس با استفاده از دو باتری و یک باتری را رسم کنید.
۲ عیب بایاس با دو منبع مستقل راتوضیح دهید.
۳ با توجه به شکل ۴۶ β_{DC} را محاسبه کنید.



شکل ۴۶ـ بایاس ترانزیستور و ولتاژ پایه‌های آن

۴ با توجه به شکل ۴۷، I_B و I_C و β_{DC} ترانزیستور را محاسبه کنید.



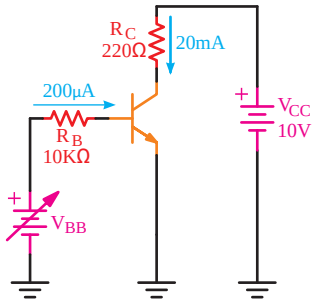
شکل ۴۷ـ بایاس ترانزیستور و ولتاژ پایه‌های آن

۵ با توجه به شکل ۴۸:

الف) مقدار β_{DC} چه‌قدر است؟

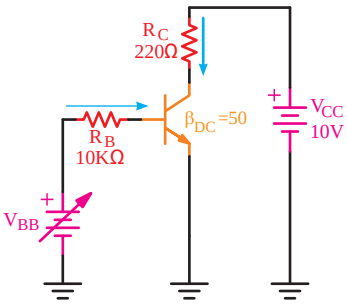
ب) V_{CE} را محاسبه کنید.

ج) مقدار منبع ولتاژ V_{BB} چه‌قدر است؟ (مقدار V_{BE} برابر ۰/۷ ولت است.)



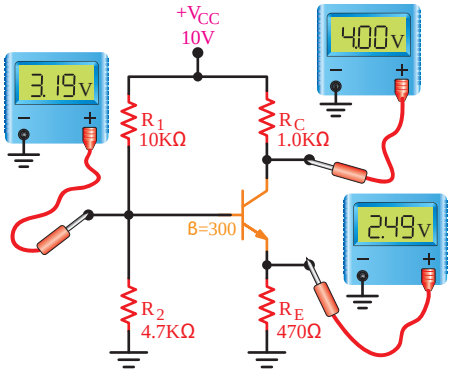
شکل ۴۸ـ مدار بایاس ترانزیستور

۶ اگر V_{BB} = ۴/۷ ولت و V_{BE} = ۰/۷ ولت باشد I_B و I_C و V_{CE} را محاسبه کنید (شکل ۴۹).



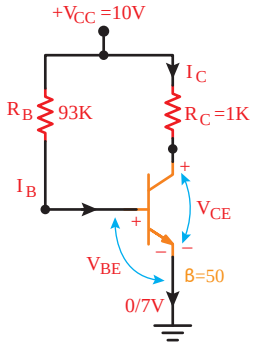
شکل ۴۹ـ مدار بایاس ترانزیستور

۷ آیا مقادیری را که ولت‌مترهای شکل ۵۰ نشان می‌دهند صحیح است؟ (V_{BE} برابر ۰/۷ ولت است). ولتاژ نقاط مشخص شده را محاسبه کنید.



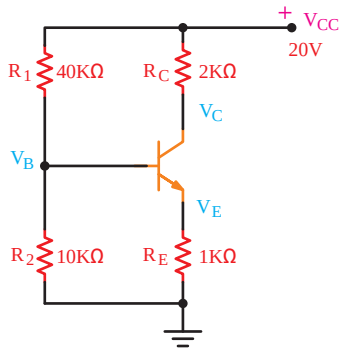
شکل ۵۰ــ مدار بایاس تقسیم‌کنندهٔ ولتاژ مقاومتی و ولتاژ پایه‌های ترانزیستور

۸ در شکل ۵۱ I_B و I_C و V_{CE} را محاسبه کنید.



شکل ۵۱

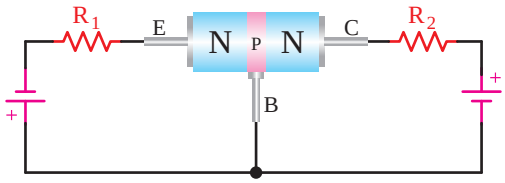
۹ در شکل ۵۲ ولتاژ پایه‌های ترانزیستور را محاسبه کنید. V_{BE}= ۰/۷ ولت است.



شکل ۵۲

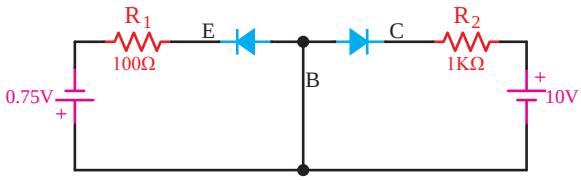
چگونگی عمل تقویت‌کنندگی در ترانزیستور

برای تقویت یک سیگنال الکتریکی توسط ترانزیستور، باید سیگنال را به ورودی ترانزیستور داد و از خروجی آن، سیگنال تقویت شده را دریافت نمود، در شکل ۵۳ پایهٔ بیس پایهٔ مشترک بین ورودی و خروجی وامیتر ـ بیس ورودی ترانزیستور و کلکتور ـ بیس خروجی آن در نظر گرفته شده است. اتصال بیس ـ امیتر در بایاس مستقیم و اتصال بیس ـ کلکتور در بایاس معکوس است.



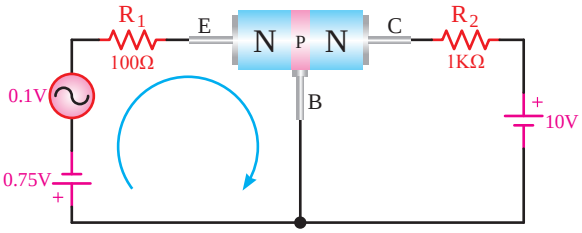
شکل ۵۳ــ ترانزیستور بایاس شده

نظر به این‌که اتصال بیس ـ امیتر در بایاس مستقیم است، مقاومت آن کم است و اتصال بیس ـ کلکتور در بایاس معکوس و در نتیجه مقاومت آن زیاد است. حال یک مقاومت، مثلاً ۱۰۰ اهم، را جهت کنترل جریان در ورودی ترانزیستور با اتصال بیس ـ امیتر سری می‌نماییم. از آن‌جایی که اتصال کلکتور ـ بیس در بایاس معکوس است، سری کردن یک مقاومت زیاد، مثلاً ۱ کیلو اهم، اثر چندانی روی ترانزیستور ندارد. شکل ۵۴ معادل دیودی ترانزیستور را که در حالت DC بایاس شده است، نشان می‌دهد.



شکل ۵۴ــ بایاس DC ترانزیستور

ولتاژ بایاس امیتر ـ بیس را حدود ۰/۷ ولت (زیرا ۰/۷ ولت، دیود امیتر ـ بیس را کاملاً هادی می‌سازد.) و ولتاژ باتری تغذیه‌کننده کلکتور ـ بیس را ۱۰ ولت انتخاب می‌نماییم (مطابق شکل ۵۵).



شکل ۵۵ــ اتصال سیگنال متناوب به مدار

یک سیگنال متناوب با دامنهٔ مثلاً ۰/۱ ولت را به ورودی ترانزیستور اعمال می‌کنیم. می‌خواهیم ببینیم آیا این سیگنال تقویت خواهد شد یا نه؟

اگر مقاومت دینامیکی دیود امیتر ـ بیس را به هنگام اعمال سیگنال، معادل ۲۰ Ω فرض کنیم در حلقهٔ ورودی، جریان ناشی از سیگنال متناوب برابر است با:

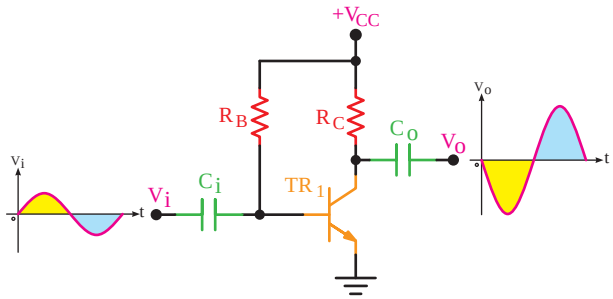
$$I = \frac{۰/۱V}{۱۰۰+۲۰} = ۰/۰۰۰۸۳A = ۰/۸۳mA$$

همان‌گونه که بیان شد، قسمت اعظم جریان امیتر از طریق کلکتور مسیر خود را می‌بندد. از این رو، این جریان تقریباً از مقاومت $R_2=1K\Omega$، که با کلکتور سری شده است، عبور می‌کند و در دو سر مقاومت $1K\ \Omega$ افت ولتاژ متناوبی با دامنهٔ $U_{R2} = ۰/۸۳mA \times 1K\Omega = ۰/۸۳V$ ایجاد می‌کند. افت ولتاژ متناوب دو سر R_2 به مراتب از ولتاژ متناوب ورودی بیشتر است. در نتیجه ولتاژ ورودی تقویت می‌شود. اگر ضریب تقویت ولتاژ را با A_V نشان دهیم، رابطه و مقدار A_V برابر است با:

$$A_V = \frac{\text{دامنهٔ سیگنال خروجی}}{\text{دامنهٔ سیگنال ورودی}} = \frac{۰/۸۳}{۰/۱} = ۸/۳ \text{ مرتبه}$$

پس سیگنال متناوب ورودی ۸/۳ مرتبه تقویت شده است. با طراحی مدارات ترانزیستوری و با تغییر مقدار مقاومت‌ها می‌توان دامنهٔ سیگنال خروجی را روی مقدار مورد نظر تنظیم نمود. همان‌گونه که مشاهده شد، جریانی که از مقاومت R_1 می‌گذرد تقریباً همهٔ این مقدار جریان از مقاومت R_2 هم عبور می‌کند. این عمل تنها به وسیلهٔ ترانزیستور صورت گرفته است. به این ترتیب، می‌توان گفت ترانزیستور عمل انتقال مقاومت را انجام داده است. نام ترانزیستور هم از همین عمل انتخاب شده است. Transistor از ترکیب دو کلمهٔ Transfer of Resistor انتخاب شده است.

بررسی مدار عملی یک تقویت کننده و نحوهٔ تقویت سیگنال متناوب: برای این که بتوانیم یک سیگنال الکتریکی را از لحاظ دامنه ولتاژ یا جریان تقویت نماییم، باید ابتدا تقویت کننده (AMP=Amplifier) را از نظر ولتاژ DC (یکی از انواع بایاس) تغذیه نماییم، سپس سیگنال را به ورودی وصل کنیم و از خروجی تقویت کننده، سیگنال تقویت شده را دریافت نماییم. شکل ۵۶ مدار یک تقویت‌کنندهٔ ساده را نشان می‌دهد.



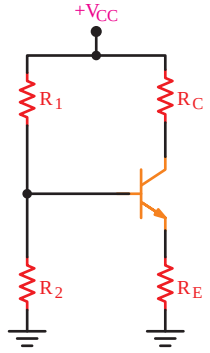
شکل ۵۶ــ مدار عملی یک تقویت کننده

در این مدار C_i که خازن کوپلاژ نام دارد، مانع عبور سیگنال DC است و فقط سیگنال AC ورودی را به بیس ترانزیستور اعمال می‌کند.

Co نیز خازن کوپلاژ است و مانع عبور سیگنال DC به بار می‌شود و فقط سیگنال AC از آن عبور می‌نماید.

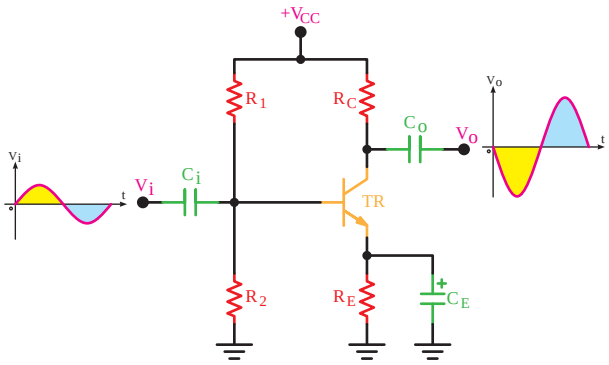
اتصال سیگنال متناوب به تقویت کننده ترانزیستوری با بایاس سرخود

برای اتصال سیگنال متناوب به تقویت کنندهٔ ترانزیستوری، ابتدا باید تقویت کننده را از نظر DCدر منطقهٔ فعال بایاس کنیم.
شکل ۵۷، بایاس DC ترانزیستور را به صورت سرخود نشان می‌دهد.
اتصال سیگنال متناوب به این تقویت کننده به سه صورت امکان‌پذیر است.



شکل ۵۷ــ تقویت کننده به صورت بایاس سرخود

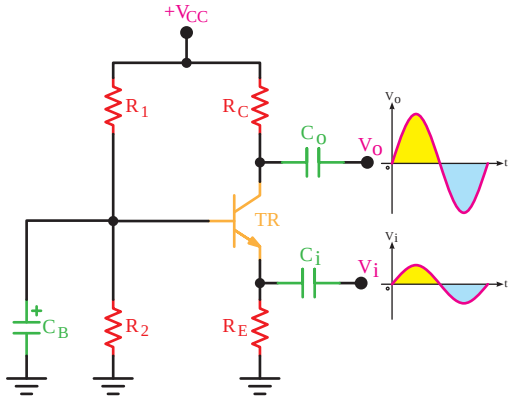
■ **آرایش امیتر مشترک:** در این آرایش سیگنال متناوب ورودی را به بیس ترانزیستور اتصال می‌دهند و سیگنال تقویت شده از کلکتور دریافت می‌گردد.
پایهٔ بیس بین ورودی و خروجی مشترک است. شکل ۵۸، این آرایش را نشان می‌دهد.



شکل ۵۸ــ یک نمونه تقویت کننده امیتر مشترک

خازن‌های C_i و C_O خازن‌های کوپلاژ نام دارند و مانع عبور سیگنال DC می‌شوند ولی سیگنال متناوب را از خود عبور می‌دهند.
خازن C_E خازن بای پاس نام دارد. این خازن R_E را از نظر سیگنال متناوب، اتصال کوتاه می‌کند. این آرایش، سیگنال ورودی را از نظر ولتاژ و جریان تقویت می‌نماید.

آرایش بیس مشترک: در این آرایش سیگنال متناوب ورودی به امیتر اتصال داده می‌شود و سیگنال خروجی از کلکتور دریافت می‌شود. پایهٔ بیس بین ورودی و خروجی مشترک است شکل ۵۹ این آرایش را نشان می‌دهد.

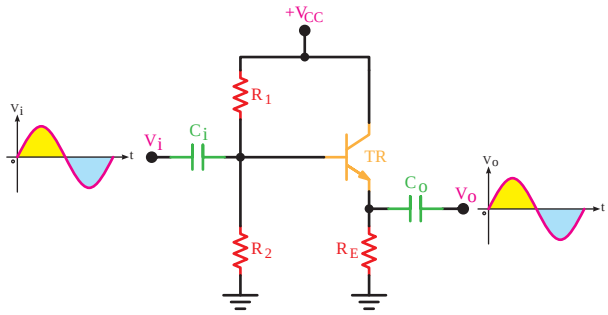


شکل ۵۹ــ یک نمونه تقویت کنندهٔ بیس مشترک، پایهٔ بیس از نظر سیگنال AC به زمین وصل و بین ورودی و خروجی مشترک است.

C_i و C_O خازن‌های کوپلاژ و C_B خازن بای پاس است. این آرایش سیگنال ورودی را فقط از نظر دامنهٔ ولتاژ تقویت می‌کند.

آرایش کلکتور مشترک: در این آرایش سیگنال متناوب ورودی به بیس اتصال داده می‌شود و سیگنال خروجی از امیتر دریافت می‌شود.

چون منبع تغذیه به طور ایده‌آل مقاومت داخلی ندارد لذا کلکتور از نظر سیگنال AC از طریق خازن منبع تغذیه به زمین وصل است. به این ترتیب پایهٔ کلکتور پایهٔ مشترک بین ورودی و خروجی است. شکل ۶۰ این آرایش را نشان می‌دهد.



شکل ۶۰ــ یک نمونه تقویت کنندهٔ کلکتور مشترک، پایهٔ کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک و از نظر AC از طریق خازن منبع تغذیه به زمین وصل است.

این آرایش، سیگنال ورودی را فقط از نظر جریان تقویت می‌کند. سایر مشخصات این سه نوع آرایش از قبیل مقاومت ورودی، مقاومت خروجی و اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی، بهرهٔ توان و پاسخ فرکانسی با هم متفاوت هستند که در پایه تحصیلی بالاتر راجع به آنها بحث خواهد شد.

در جدول ۱ بهرهٔ ولتاژ و بهرهٔ جریان این سه نوع آرایش با ترانزیستورهای مشابه و در شرایط یکسان بایاس با هم مقایسه شده‌اند.

جدول ۱
مقایسهٔ برخی از مشخصات آرایش‌های ترانزیستور

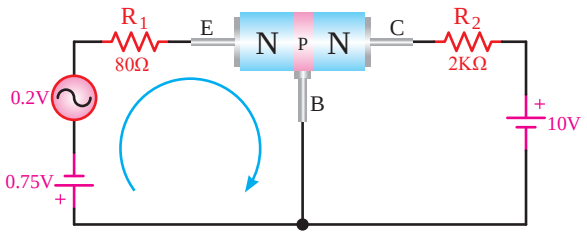
نوع آرایش	بهرهٔ ولتاژ A_V	بهرهٔ‌جریان A_I
امیتر مشترک CE	متوسط	متوسط
بیس مشترک CB	زیاد	کم و کوچک‌تر از ۱
کلکتور مشترک CC	کم و کوچک‌تر از ۱	زیاد

توجه

در صورتی که بخواهیم به جای ترانزیستور NPN، ترانزیستور PNP را جایگزین کنیم، کافی است جهت فلش ترانزیستور را تغییر دهیم و قطب‌های منبع تغذیه و خازن‌ها را عوض نماییم.

الگوی پرسش

۱ اگر مقاومت دینامیکی دیود بیس ـ امیتر به هنگام اعمال سیگنال متناوب معادل 20Ω فرض شود، ضریب تقویت ولتاژ مدار را محاسبه کنید (شکل ۶۱).



شکل ۶۱ـ اعمال سیگنال متناوب به ورودی یک ترانزیستور NPN در منطقهٔ فعال بایاس شده

۲ در یک ترانزیستور نسبت $\frac{I_E}{I_B}$ برابر ۱۰۰ است، β را محاسبه کنید.

۳ یک تقویت کننده به صورت بایاس سرخود را رسم کنید. برای آرایش‌های امیتر مشترک و بیس مشترک سیگنال متناوب ورودی را به تقویت کننده اتصال دهید و خروجی تقویت کننده را برای دریافت سیگنال متناوب مشخص کنید.

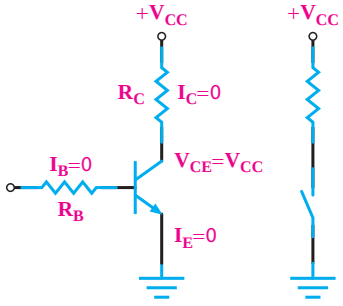
۴ در جدولی مشخصات سه نوع آرایش را، از نظر بهرهٔ ولتاژ و بهره جریان، تعیین کنید.

فیلم

فیلمی از حالات مختلف عملکرد ترانزیستور را ببینید.

ترانزیستور درحالت قطع

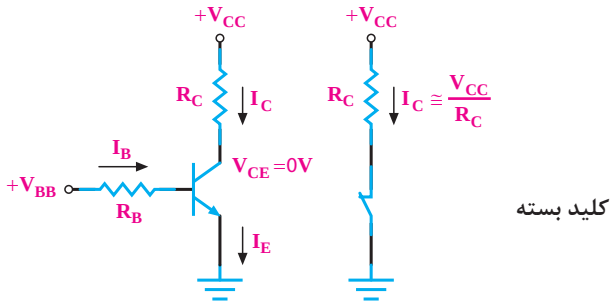
در شکل ۶۲ یک ترانزیستور در حالت قطع نشان داده شده است. بیس در این حالت بایاس نشده است، از این‌رو $I_B=0$ بوده، در نتیجه I_C هم صفر است. در دو سر R_C هیچ افت ولتاژی نداریم و همه ولتاژ منبع یعنی V_{CC} در دو سر کلکتور ـ امیتر ترانزیستور افت می‌کند. دراین حالت ترانزیستور درحالت ایده‌آل مانند یک کلید باز است.



شکل ۶۲ـ ترانزیستور در حالت قطع

ترانزیستور در حالت اشباع

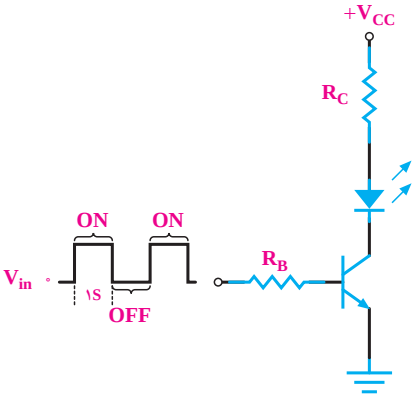
وقتی بیس امیتر ترانزیستور را بایاس موافق کنیم و I_B را افزایش دهیم، I_C هم افزایش می‌یابد، هرگاه I_C به حداکثر مقدار خود برسد، $(I_{C\max}=\frac{V_{CC}}{R_C})$ ولتاژ کلکتور امیتر صفر و ترانزیستور در حالت اشباع است. ترانزیستور در حالت اشباع به طور ایده‌آل مانند یک کلید بسته عمل می‌کند (شکل ۶۳).



شکل ۶۳ ـ ترانزیستور در حالت اشباع

کاربرد ساده ترانزیستور به عنوان کلید

در شکل ۶۴ کاربرد ساده ترانزیستور به عنوان کلید نشان داده شده است. به بیس ترانزیستور موجی مربعی با زمان تناوب ۲ ثانیه اعمال شده است. در نیم پریودی که موج ورودی صفر و ترانزیستور قطع است، جریان کلکتور صفر و LED خاموش است. زمانی که موج مربعی دارای ولتاژ زیاد است، ترانزیستور وصل و در حالت اشباع قرار می‌گیرد. در این شرایط جریان کلکتور از LED عبور نموده، آن را روشن می‌کند. بدین ترتیب، LED یک ثانیه روشن و یک ثانیه خاموش بوده و چشمک می‌زند.



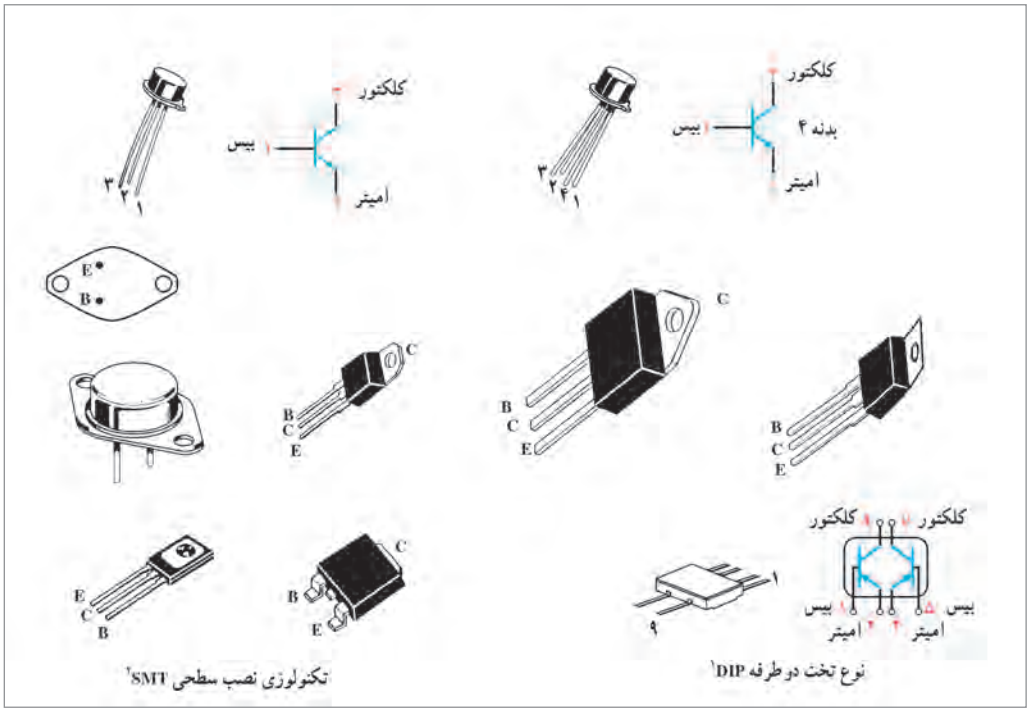
شکل ۶۴ــ کاربرد ترانزیستور به عنوان کلید

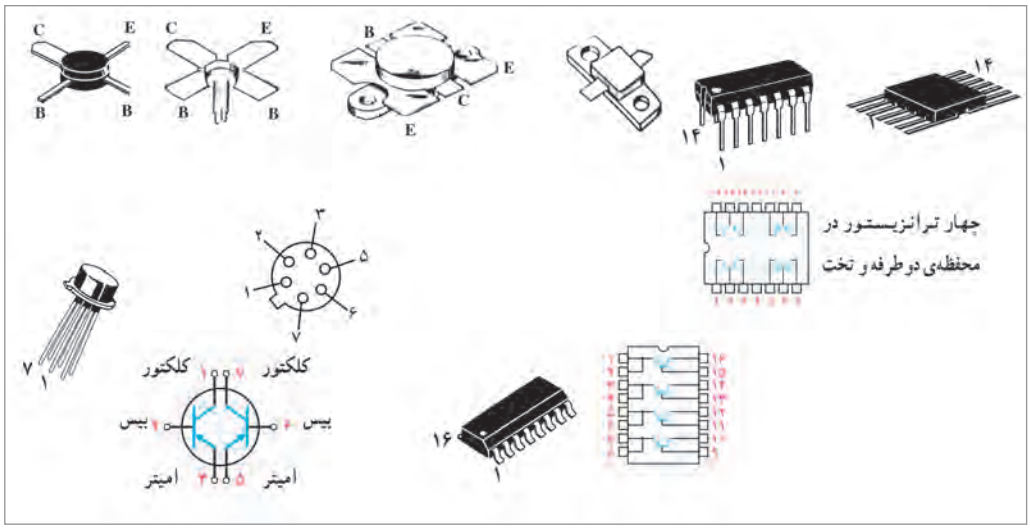
کار در منزل

مدار یک نمونه چشمک‌زن ساده با استفاده از ترانزیستور به عنوان سوئیچ را در نرم‌افزار تجربه کنید.

شکل ظاهری چند نمونه ترانزیستور و پایه‌های آن

در شکل‌های ۶۵ انواع ترانزیستور و پایه‌های آن را مشاهده می‌کنید. مانند سایر قطعات الکترونیکی مشخصات فنی ترانزیستور را نیز در برگه اطلاعات (Data Sheet) می‌نویسند. این اطلاعات قابل دسترسی در فضای مجازی است.





شکل ۶۵ــ انواع ترانزیستور

نام‌گذاری ترانزیستورها

برای نام‌گذاری ترانزیستورها، سه روش مشهور در دنیا وجود دارد. گرچه تعدادی از کارخانجات در گوشه وکنار دنیا از نام‌گذاری خاصی استفاده می‌نمایند.

این سه روش، عبارت‌اند از :

- نام‌گذاری به روش ژاپنی
- نام‌گذاری به روش اروپایی
- نام‌گذاری به روش امریکایی

شکل ۶۶ نموداری از نام‌گذاری‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۶۶ــ روش‌های نام‌گذاری ترانزیستورها

فرایند نام‌گذاری قطعات مانند ترانزیستورها و آی‌سی‌ها در کتاب اطلاعات (Data Book) درج می‌شود و هنرجویان باید قادر باشند این اطلاعات را از منابع مربوطه استخراج کنند.

نام‌گذاری به روش ژاپنی

نام‌گذاری ترانزیستورها با روش ژاپنی با عدد ۲ شروع می‌شود و به‌دنبال آن حرف S می‌آید. بعد از ۲S، یکی از چهار حرف A، B، C وD قرار می‌گیرد، که با توجه به کتاب اطلاعات مفاهیمی‌به شرح زیر دارد:

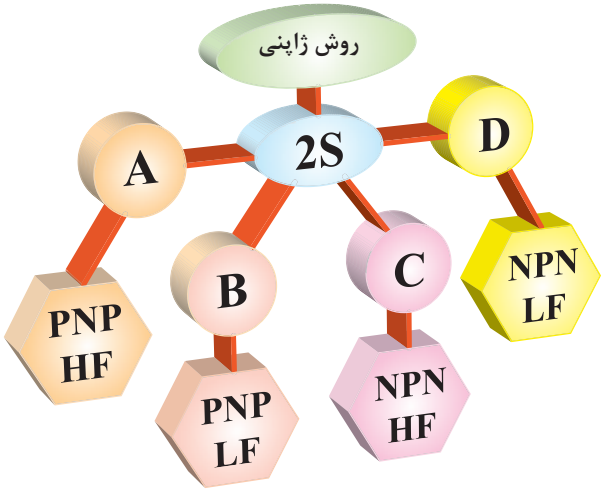
۱ حرف A نشان‌دهنده ترانزیستور از نوع PNP است و در فرکانس‌های بالا، نیز می‌تواند کار کند.
(High frequency=HF)

۲ حرف B نشان‌دهنده ترانزیستور از نوع PNP است و در فرکانس‌های کم می‌تواند کار کند.
(Low frequency=LF)

۳ حرف C نشان‌دهنده ترانزیستور از نوع NPN است و در فرکانس‌های بالا، نیز می‌تواند کار کند.

۴ حرف D نشان‌دهنده ترانزیستور از نوع NPN است و در فرکانس‌های کم نیز می‌تواند کار کند.

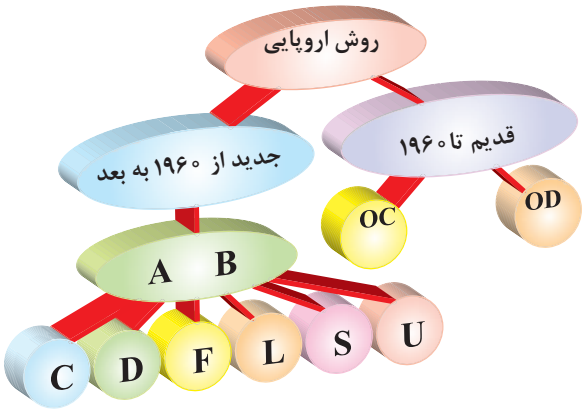
بعد از این حروف تعداد ۲، ۳ یا ۴ رقم عدد قرار می‌گیرد که با مراجعه به جدول می‌توان مقادیر مشخصه‌های الکتریکی آن را به دست آورد. در این سیستم حروف روی ترانزیستور، مشخص‌کننده جنس نیمه‌هادی به کار رفته (ژرمانیوم یا سیلیسیم) و همچنین حدود قدرت آن نیست. مثلاً المان سه پایه به شماره ۲SC۸۲۹ نشان‌دهنده ترانزیستور از نوع NPN با محدوده فرکانسی بالا است. بر روی اکثر ترانزیستورها، حرف ۲S را قید نمی‌نمایند، مثلاً C۸۲۹ همان ۲SC۸۲۹ است (شکل ۶۷).



شکل ۶۷ــ نام‌گذاری ترانزیستورها به روش ژاپنی

نام‌گذاری به روش اروپایی

در نام‌گذاری به روش اروپایی تا سال ۱۹۶۰ ترانزیستور را با حرف OC و OD و با ۳،۲ یا ۴ عدد به‌دنبال آن مشخص می‌کردند که OC برای ترانزیستورهای کم قدرت و OD برای ترانزیستورهای پرقدرت به کار می‌رفت. مانند OC۷۲ در این روش نام‌گذاری، نوع ترانزیستور (NPN-PNP) یا جنس نیمه‌هادی به کار رفته یا محدوده فرکانسی آن مشخص نبود.



شکل ۶۸ــ نام‌گذاری ترانزیستورها به روش اروپایی

از سال ۱۹۶۰ به بعد، سیستم نام‌گذاری ترانزیستورها تغییر کرد. به این طریق که ترانزیستورهای به کار رفته در رادیو وتلویزیون و یا در وسایل الکترونیکی عمومی بیشتر با دو حرف و سه شماره و ترانزیستورهای خاص، با سه حرف و دو شماره مشخص می‌شوند، مانند ترانزیستور شماره BUX۳۸ که این ترانزیستور در فرکانس‌های رادیویی با جریان و ولتاژ زیاد به کار برده می‌شود. در این مبحث روش نام‌گذاری با دو حرف و سه شماره گفته خواهد شد (شکل ۶۸).

معمولاً مفاهیم مربوط به هر یک از حروف و اعداد را در جایگاه خود در کتاب اطلاعات ترانزیستور می‌نویسند و برای استخراج آن باید به منابع مربوطه مراجعه کنید.

حرف اول در این روش، نشان‌دهنده جنس نیمه‌هادی است که اگر ژرمانیوم باشد آن را با حرف A و اگر سیلیسیم باشد با حرف B مشخص می‌نمایند.
حرف دوم را از حروف C، D، F، L، S، یا U استفاده می‌نمایند که معانی هر یک از این حروف به شرح زیر است:
C: ترانزیستور کم قدرت ـ فرکانس کارکم.
D: ترانزیستورقدرت ـ فرکانس کارکم.
F: ترانزیستور کم قدرت ـ فرکانس کارزیاد.
L: ترانزیستور قدرت ـ فرکانس کارزیاد.
S: ترانزیستور کم قدرت که به صورت سوئیچ به کار می‌رود.
U: ترانزیستور قدرت، به صورت سوئیچ به کار می‌رود.
سه شماره بعد، نشان‌دهنده سری ترانزیستور است که با استفاده از این سه شماره و جدول مشخصات می‌توان مشخصات الکتریکی ترانزیستور را به دست آورد. برای مثال مشخصات ترانزیستور BC۱۰۷ در شکل ۶۹ نشان داده شده است.
همچنین برخی از مشخصات فنی ترانزیستور BF۴۸۰ ترانزیستور کم‌قدرت بوده و جنس آن از سیلیسیم است و با فرکانس زیاد (۱GHZ) نیز می‌تواند کار کند. در این سیستم نام‌گذاری نوع ترانزیستور (PNP-NPN) از روی حروف ترانزیستور مشخص نیست.



شکل ۶۹ـ مشخصات ترانزیستور BC۱۰۷

نام‌گذاری به روش آمریکایی

دراین روش نام‌گذاری، ترانزیستور و المان‌های ۳ قطبی را با حرف و عدد ۲N مشخص می‌کنند و تعدادی رقم را برای شماره سری به دنبال آن می‌آورند. حرف N و عدد۲ فقط المان‌های ۳ قطبی را از المان‌های ۲ قطبی (مانند دیود) مشخص می‌سازد. با توجه به شماره‌های بعدی که به‌دنبال آن می‌آورند و با توجه به جدول مشخصات المان‌ها، نوع المان و همچنین مشخصات الکتریکی آنها را باید به دست آورد. برای مثال مشخصات ترانزیستور ۲N۲۲۱۹ و چند المان سه قطبی را در شکل ۷۰ مشاهده می‌کنید.

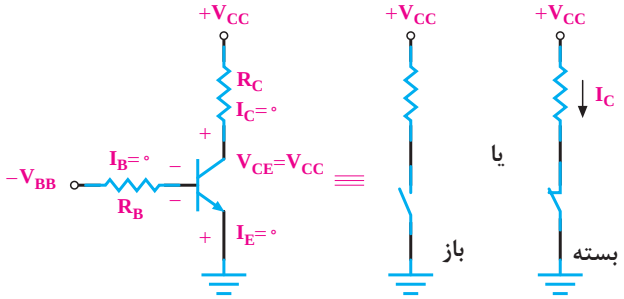


ترانزیستور قدرت (NPN) = ۲N۳۰۵۵
که در فرکانس‌های کم کار می‌کند.
ترانزیستور تک اتصالی(UJT) = ۲N۲۶۴۶
ترانزیستور = ۲N۱۸۴۲
ترایاک = ۲N۶۱۳۹

شکل ۷۰ـ مشخصات ظاهری چندالمان سه قطبی

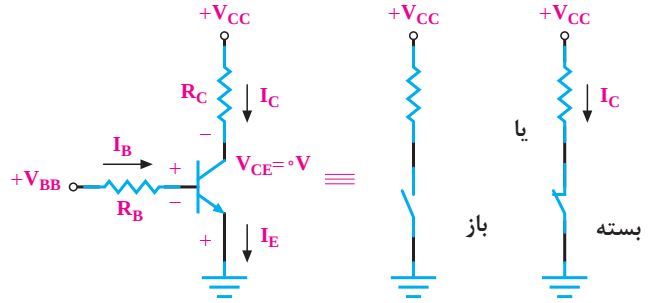
الگوی پرسش

۱ ترانزیستور شکل ۷۱ آیا معادل یک کلید باز است یا کلید بسته؟



شکل ۷۱

۲ ترانزیستور شکل ۷۲ معادل یک کلید باز است یا بسته؟



شکل ۷۲

۳ مشخصات هر یک از ترانزیستورهای زیر را بنویسید.

الف) BD۱۳۷ ب) D۸۹۶ پ) BF۱۹۹

۴ کدام گزینه در مورد ترانزیستور با شماره فنی BD۱۳۵ صحیح است؟

۱) قدرت ـ فرکانس کار زیاد.

۲) کم‌قدرت ـ فرکانس کار کم.

۳) قدرت ـ فرکانس کار کم.

۴) کم‌قدرت ـ فرکانس کار زیاد.

۵ اطلاعاتی را که از شماره‌گذاری ترانزیستورهای زیر استخراج می‌کنید، بنویسید.

الف) BC۱۰۷ ب) BF۴۸۰

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

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی/ شایستگی/ (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد	نتایج مورد انتظار	شاخص تحقق
پودمان ۵: ترانزیستور و کاربردهای آن	۱-شناخت ساختمان انواع ترانزیستور ۲-کاربردهای ترانزیستور	۱ـ شناخت ساختار و اصول عملکرد ترانزیستور BJT ۲-تحلیل نواحی کار ترانزیستور (قطع، فعال، اشباع) ۳ـبررسی بهره جریان (β)ترانزیستور ۴ـ تحلیل تقویت‌کنندگی در آرایش‌های مختلف ترانزیستور ۵ـ کاربرد ترانزیستور به عنوان کلید الکترونیکی	بالاتر از حد انتظار	علاوه بر تحقق شاخص‌های در حد انتظار، انجام کلیه فعالیت‌های پودمان (مانند، تحقیق کنید، فکر کنید، پژوهش کنید، جست‌وجوکنید، بحث گروهی)
			در حد انتظار	۱ـ تشخیص پایه‌های امیتر، بیس و کلکتور و نحوه انتقال حامل‌های بار. ۲ـ بررسی مشخصات الکتریکی ترانزیستور BJT از طریق تحلیل منحنی مشخصه جریان ـ ولتاژ ۳ـ شناسایی ولتاژهای کاری و جریان‌های متناظر در هر ناحیه کار. ۴ـ محاسبه ضریب بهره جریان (β) و تحلیل تأثیر آن به همراه اثر افزایش دما بر عملکرد تقویت‌کنندگی ترانزیستور. ۵ـ بررسی مدارهای تقویت‌کننده ولتاژ با استفاده از پیکربندی امیترمشترک. ۶ـ مقایسه بهره ولتاژ و جریان در آرایش‌های ترانزیستور ۷ـ تحلیل عملکرد ترانزیستور به‌عنوان کلید الکترونیکی. ۸ـ تعیین مشخصات و انتخاب ترانزیستور بر اساس استانداردهای نام‌گذاری
			پایین‌تر از حد انتظار	در صورتی که هنرجو همه شاخص‌های درحد انتظار را محقق نسازد، پایین‌تر از حد انتظار ارزشیابی می‌شود.
نمره مستمر از ۵ (بر اساس انجام فعالیت‌های کلاسی و کارگاهی، نظم، مشارکت در فعالیت‌های آموزشی و تربیتی، ابتکار در تکالیف عملکردی درسی و... از ۱ تا ۵ نمره اختصاص پیدا خواهد کرد.)				
شایستگی پودمان(پایین‌تر از حد انتظار، در حد انتظار، بالاتر از حد انتظار)				

شاخص‌ها	ضریب کیفیت عملکرد	شایستگی عملکرد هنرجو
مدیریت کیفیت ـ جمع‌آوری و گرد آوری اطلاعات ـ زبان فنی 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 ـ ...	۲	

شایستگی عملکرد هنرجو در واحد یادگیری	شایستگی‌های غیرفنی و عمومی			شایستگی‌های 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:

۱ـ سطح شایستگی هنرجو در هیچ مرحله‌ای کمتر از حد انتظار نباشد.

۲ـ هنرجو در شایستگی های غیر فنی و عمومی، شایستگی در حدانتظار یا بالاتر از حد انتظار را کسب کرده باشد.

توجه:

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

۲ـ اگر میانگین سطوح شایستگی ۲/۵ یا بیشتر باشد، سطح شایستگی بالاتر از حد انتظار خواهد بود.

۳ـ با توجه به اینکه شایستگی‌های عمومی و غیر فنی از شرایط لازم برای کسب شایستگی می باشد؛ لذا در صورتی که شایستگی فنی را احراز کرده باشد اما در شایستگی غیرفنی و عمومی، سطح در حد انتظار کسب نشده باشد، به معنی عدم احراز شایستگی در واحد یادگیری است.

منابع

۱ برنامه درسی دانش فنی پایه رشته الکترونیک ــ دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی وحرفه‌ای و کاردانش ــ ۱۴۰۳

۲ مبانی الکتریسیته، کد ۶۰۴/۷، مؤلف شهرام خدادادی، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران ــ ۱۳۹۴

۳ الکترونیک عمومی، مؤلفان ابوالقاسم جاریانی ـ فتح‌اله نظریان ـ محمود همتایی ـ سید محمود صموتی ـ شهرام نصیری سوادکوهی، ۱۳۹۴

۴ آزمایشگاه مجازی ۱، کد ۳۵۸/۳، مؤلفان مهین ظریفیان جولایی ــ سید محمود صموتی ـ محمود شبانی ـ سیدعلی صموتی، ۱۳۹۴، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران

۵ آزمایشگاه مجازی ۲، کد ۴۶۶/۶، مؤلفان مهین ظریفیان جولایی ـ سید محمود صموتی ـ سید علی صموتی ـ محمود شبانی، ۱۳۹۴، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران

۶ الکترونیک پایه، کد ۶۰۹/۱۷، مؤلفان فتح‌اله نظریان ـ سید محمود صموتی ــ شهرام نصیری سوادکوهی ـ فرشته داودی لعل‌آبادی ـ سهیلا ذوالفقاری، ۱۳۹۴، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران

۷ الکترونیک عمومی، کد ۴۹۰/۵، مؤلفان سید محمود صموتی ـ شهرام نصیری سوادکوهی ـ یداله رضازاده ـ غلامحسین نصری ــ فتح‌اله نظریان، ۱۳۹۴، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران

۸ دانش فنی پایه ۲۱۰۲۷۵، مؤلفان سید محمود صموتی ـ شهرام نصیری سوادکوهی ـ مهین ظریفیان‌جولایی ـ ۱۴۰۳، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران ـ

Www.IranEstekhdam.Ir

«لینک‌های مفید و مرتبط»

دانلود منابع آزمون استخدامی هنرآموز الکترونیک

خرید و دانلود

دانلود نمونه سوالات آزمون استخدامی هنرآموز الکترونیک

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