

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## دانش فنی تخصصی

رشته الکترونیک و مخابرات دریایی  
گروه تحصیلی برق و رایانه  
شاخه فنی و حرفه‌ای  
پایه دوازدهم دوره دوم متوسطه



وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



نام کتاب: دانش فنی تخصصی (رشته الکترونیک و مخابرات دریایی) - ۲۱۲۲۸۱

پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

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

شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: محمدرضا پالوج، مصطفی ربیعی، علی سلیمان اوغلی، محمدعلی علی‌نژاد و غلامرضا ناطقیان (اعضای شورای برنامه‌ریزی)

مدیریت آماده‌سازی هنری: محمدرضا پالوج، محمد خواجه‌وی، مصطفی ربیعی، علی سلیمان اوغلی، محمدعلی علی‌نژاد و غلامرضا ناطقیان (اعضای گروه تألیف) - عزت‌الله خیرالله (ویراستار ادبی)، سیدعباس کاظمی (ویراستار ادبی زبان) اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

شناسه افزوده آماده‌سازی: جواد صفری (مدیر هنری) - خدیجه محمدی (صفحه‌آرا)

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

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

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

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

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

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

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ دوم ۱۳۹۸

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به صورت 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.



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 (قَدَسَ سِرّه الشَّرِیف)

۱	پودمان ۱- بررسی اصول مخابرات دریایی
۲	■ واحد یادگیری ۱- بررسی اصول مخابرات دریایی
۴۷	■ ارزشیابی شایستگی بررسی اصول مخابرات دریایی
۴۹	پودمان ۲- تحلیل مدارهای الکتریکی
۵۰	■ واحد یادگیری ۲- تحلیل مدارهای الکتریکی
۱۰۴	■ ارزشیابی شایستگی تحلیل مدارهای الکتریکی
۱۰۵	پودمان ۳- تحلیل مدارهای الکترونیکی
۱۰۶	■ واحد یادگیری ۳- تحلیل مدارهای دیودی
۱۲۹	■ ارزشیابی شایستگی تحلیل مدارهای دیودی
۱۳۰	■ واحد یادگیری ۴- تحلیل مدارهای ترانزیستوری
۱۵۵	■ ارزشیابی شایستگی تحلیل مدارهای ترانزیستوری
۱۵۷	پودمان ۴- کاربری ماشین‌های الکتریکی دریایی
۱۵۸	■ واحد یادگیری ۵- بررسی کمیت‌های مغناطیسی
۱۷۳	■ ارزشیابی شایستگی بررسی کمیت‌های مغناطیسی
۱۷۴	■ واحد یادگیری ۶- بررسی ماشین‌های الکتریکی
۲۰۰	■ ارزشیابی شایستگی کاربری ماشین‌های الکتریکی دریایی
۲۰۱	پودمان ۵- کسب اطلاعات فنی
۲۰۲	■ واحد یادگیری ۷- کسب اطلاعات فنی
۲۲۷	■ ارزشیابی شایستگی کسب اطلاعات فنی
۲۲۸	منابع



## سخنی با هنرآموزان گرامی

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران و تغییرات سریع عصر فناوری و نیازهای متغیر جامعه بشری و دنیای کار و مشاغل، برنامه درسی رشته الکترونیک و مخابرات دریایی بازطراحی و براساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. این کتاب و درس از خوشهٔ دروس شایستگی‌های فنی می‌باشد که در سبد درسی هنرجویان برای سال دوازدهم تدوین و تألیف شده است و مانند سایر دروس شایستگی و کارگاهی دارای ۵ پودمان می‌باشد. کتاب دانش فنی تخصصی مباحث نظری و تفکیک‌شده دروس کارگاهی و سایر شایستگی‌های رشته را تشکیل نمی‌دهد بلکه پیش‌نیازی برای شایستگی‌های لازم در سطوح بالاتر صلاحیت حرفه‌ای - تحصیلی می‌باشد. هدف کلی کتاب دانش فنی تخصصی آماده‌سازی هنرجویان برای ورود به مقاطع تحصیلی بالاتر و تأمین نیازهای آنان را در راستای محتوای دانش نظری است. یکی از پودمان این کتاب با عنوان «کسب اطلاعات فنی» با هدف یادگیری مادام‌العمر و توسعه شایستگی‌های هنرجویان بعد از دنیای آموزش و ورود به بازار کار، سازماندهی محتوایی شده است. این امر با آموزش چگونگی استخراج اطلاعات فنی موردنیاز از متون فنی غیر فارسی و جداول، راهنمای ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی، دستگاه‌های اداری، خانگی و تجاری و درک مطلب آنها در راستای توسعه شایستگی‌های حرفه‌ای محقق خواهد شد. تدریس کتاب در کلاس درس به صورت تعاملی و با محوریت هنرآموز و هنرجو فعالی صورت می‌گیرد.

به مانند سایر دروس هنرآموزان گرامی برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد و نمره هر پودمان از دو بخش ارزشیابی پایانی و مستمر تشکیل می‌شود. این کتاب مانند سایر کتاب‌ها جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ برخی از فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید. رعایت ایمنی و بهداشت، شایستگی‌های غیرفنی و سایر مراحل کلیدی براساس استاندارد عملکرد از ملزومات کسب شایستگی‌های فنی و غیرفنی می‌باشند.

کتاب دانش فنی تخصصی شامل پودمان‌هایی به شرح زیر است:

- پودمان اول: بررسی اصول مخابرات دریایی؛
- پودمان دوم: تحلیل مدارهای الکتریکی؛
- پودمان سوم: تحلیل مدارهای الکترونیکی؛
- پودمان چهارم: کاربری ماشین‌های الکتریکی؛
- پودمان پنجم: کسب اطلاعات فنی.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعه پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامه تغییرات پایه‌های قبلی 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 درسی تغییر رویکرد آموزشی، آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی، توانایی انجام کار در محیط واقعی براساس استاندارد عملکرد تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشته تحصیلی - حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی در نظر گرفته شده است:

۱ شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند کار بروی دستگاه‌های مخابراتی شناورها؛

۲ شایستگی‌های غیرفنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند مسئولیت‌پذیری، نوآوری و مصرف بهینه انرژی؛

۳ شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم‌افزارها و انواع شبیه‌سازها؛

۴ شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر. براین اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی و حرفه‌ای را تدوین نموده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف برای هر یک از کتاب‌های درسی در هر رشته است.

درس دانش فنی تخصصی، از خوشه دروس شایستگی‌های فنی می‌باشد که ویژه رشته الکترونیک و مخابرات دریایی برای پایه ۱۲ تألیف شده است. کسب شایستگی‌های فنی و غیرفنی این کتاب برای موفقیت آینده شغلی و توسعه آن براساس جدول توسعه حرفه‌ای بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی نمایید؛ تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب را کسب و در فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.

این کتاب نیز شامل پنج پودمان است. هنرجویان عزیز پس از طی فرایند یاددهی - یادگیری هر پودمان می‌توانند شایستگی‌های مربوط به آن را کسب کنند. در پودمان «کسب اطلاعات فنی» هدف توسعه شایستگی‌های حرفه‌ای شما بعد از اتمام دوره تحصیلی در مقطع کنونی است تا بتوانید با درک مطالب از منابع غیرفارسی در راستای یادگیری در تمام طول عمر گام بردارید. و در دنیای متغیر و متحول کار و فناوری اطلاعات خود را به‌روزرسانی کنید. هنرآموز محترم شما مانند سایر دروس این خوشه برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت

نمرات منظور می‌نماید. نمره قبولی حداقل ۱۲ می‌باشد. در صورت احراز نشدن شایستگی پس از ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی مجدد تا آخر سال تحصیلی وجود دارد. در کارنامه شما این درس شامل ۵ پودمان درج شده که هر پودمان از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی تشکیل می‌شود. و چنانچه در یکی از پودمان‌ها نمره قبولی را کسب نکردید، لازم است در همان پودمان‌ها مورد ارزشیابی قرار گیرید. همچنین این درس دارای ضریب ۴ بوده و در معدل کل شما تأثیر می‌گذارد.

همچنین در کتاب همراه هنرجو واژگان پرکاربرد تخصصی در رشته تحصیلی - حرفه‌ای شما آورده شده است. کتاب همراه هنرجوی خود را هنگام آزمون و ارزشیابی حتماً همراه داشته باشید. در این درس نیز مانند سایر دروس اجزایی دیگر از بسته آموزشی در نظر گرفته شده است و شما می‌توانید با مراجعه به وبگاه رشته خود با نشانی [www.tvoccd.orep.ir](http://www.tvoccd.orep.ir) از عناوین آنها مطلع شوید.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی مانند مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط‌زیست و شایستگی‌های یادگیری مادام‌العمر و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی‌های فنی طراحی و در کتاب درسی و بسته 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 به کار گیرید.

رعایت نکات ایمنی، بهداشتی و حفاظتی از اصول انجام کار است لذا توصیه‌های هنرآموز محترمتان را در ارتباط با رعایت مواردی که در کتاب آمده است، در انجام کارها جدی بگیرید. امید است با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی، گام‌های مؤثری در جهت سربلندی، استقلال و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی میهن اسلامی برداشته شود.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش





## پودمان ۱

### بررسی اصول مخابرات دریایی



## بررسی اصول مخابرات دریایی

### آیا تاکنون پی برده‌اید؟

- هر سیستم مخابراتی دارای چه اجزایی است؟
- عوامل تأثیرگذار در سیستم مخابراتی کدام‌اند؟
- مهم‌ترین باندهای فرکانسی در مخابرات رادیویی، تلویزیونی و تلفن همراه کدام‌اند و چگونه عمل می‌کنند؟
- تجزیه و تحلیل انواع آنتن‌های مخابراتی چگونه است؟
- نحوه انتشار صوت در هوا چگونه است؟
- تجزیه و تحلیل نحوه انجام مدولاسیون به‌طور عمومی و کلی چگونه می‌باشد؟
- تجزیه و تحلیل انواع مدولاسیون‌ها چگونه صورت می‌گیرد؟

### استاندارد عملکرد

بعد از پایان این پودمان انتظار می‌رود هنرجو بتواند اصول مبانی مخابرات دریایی را بررسی نماید. همچنین بتواند فرکانس‌ها، طیف‌های فرکانسی و انتشار امواج همراه با انواع آنتن‌ها را دسته‌بندی نموده و عملکرد مدولاسیون و نویز را بررسی کند.

### مبانی مخابرات

یکی از ساده‌ترین سیستم‌های مخابراتی، ارسال و دریافت صدای انسان است که فرستنده، دهان انسان؛ کانال ارتباطی، هوا و گیرنده، گوش انسان است.  
هر سیستم مخابراتی دارای اجزایی به شرح زیر است:

- الف) فرستنده (Transmitter)؛
- ب) کانال ارتباطی (channel)؛
- ج) گیرنده (Receiver)؛

برای اجزای هر سیستم مخابراتی در شناور مثالی ارائه نمایید.

کار در کلاس



در یک سیستم مخابراتی، فرستنده از طریق آنتن (Antenna) امواج را در فضا پخش می‌کند. آنتن، گیرنده امواج رادیویی منتشر شده از فرستنده را از فضا دریافت می‌کند. کانال ارتباطی در این سیستم، فضای بین فرستنده و گیرنده است. کانال ارتباطی معمولاً تحت تأثیر عوامل خارجی قرار می‌گیرد (شکل ۱).



شکل ۱- سیستم ارتباط رادیویی

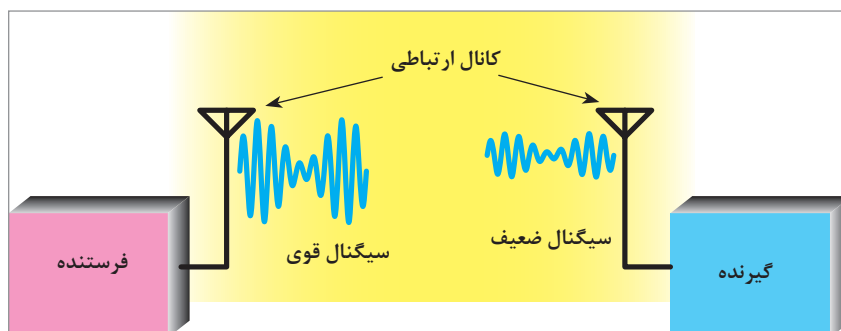
هرگونه عامل خارجی یا داخلی را که موجب اختلال در سیستم شود، نویز (Noise) یا اغتشاش می‌نامند. یادآوری می‌شود که امواج ارسالی از آنتن فرستنده از نوع امواجی است که رفتاری مشابه امواج نورانی دارد و با سرعت سیری تقریباً برابر با سرعت نور در فضا حرکت می‌کند.

#### عوامل تأثیرگذار در سیستم مخابراتی

سیگنال‌های مخابراتی در فرایند تولید، ارسال، انتقال و دریافت تحت تأثیر عوامل نامطلوب مختلفی قرار می‌گیرند. این عوامل، تغییراتی در سیگنال به وجود می‌آورند که عبارت‌اند از:

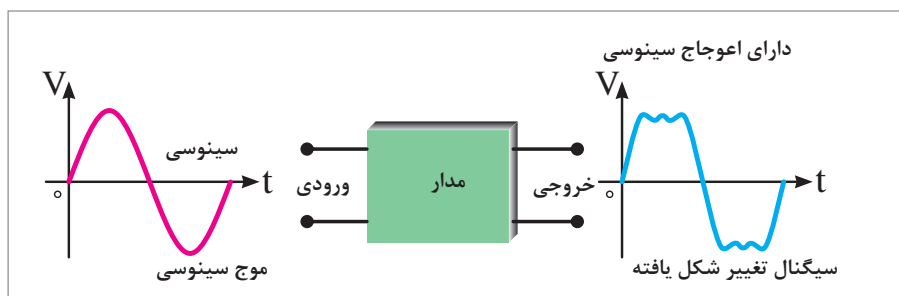
##### الف) تضعیف یا افت قدرت (Power Attenuation یا Power Loss)

قدرت سیگنال خروجی فرستنده، پس از عبور از کانال انتقال، افت پیدا می‌کند. این افت قدرت در کانال نباید از حدی بیشتر شود، زیرا توان بیش از حد کاهش یابد، گیرنده قادر به اجرا و دریافت فرایند مربوط به بازسازی سیگنال نیست.



شکل ۲- تضعیف سیگنال

ب) اعوجاج (Distortion): به تغییر شکل نامطلوب سیگنال، اعوجاج گفته می‌شود. هنگامی که سیگنال از یک مدار یا کانال ارتباطی عبور کند دچار تغییر شکل می‌شود (شکل ۳).

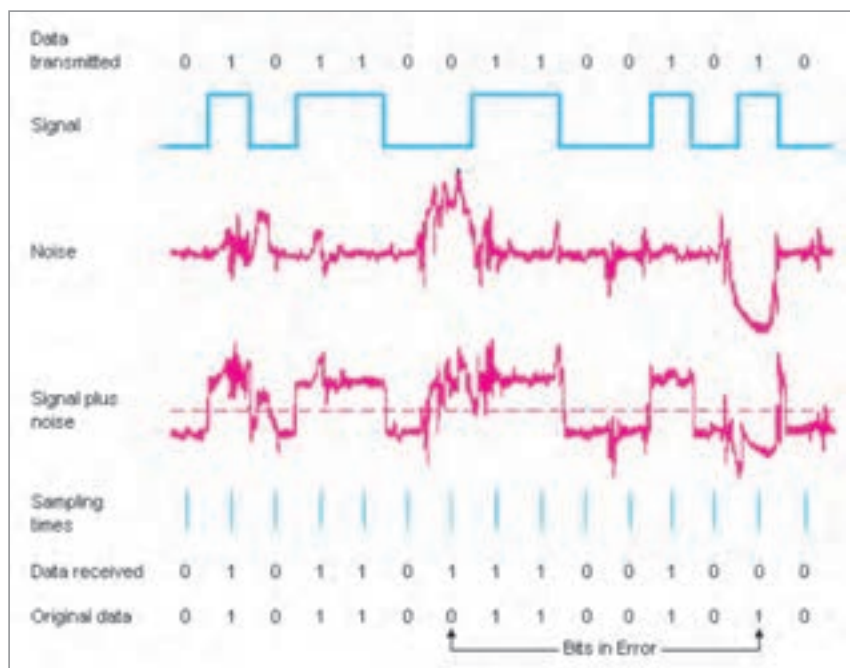


شکل ۳- در این مدار، شکل موج سینوسی دچار اعوجاج شده است.

این تغییر شکل ممکن است جزئی یا کلی باشد، قابل جبران با همسان سازی (equalizing) است. در صورتی که تغییر شکل سیگنال خیلی زیاد باشد، اصلاح سیگنال قابل جبران نخواهد بود؛ در این حالت می گویند اعوجاج سیگنال زیاد است.

**ج) نویز یا پارازیت (Noise):** نویز عبارت است از سیگنال های ناخواسته معین یا تصادفی که در داخل یا خارج سیستم تولید می شوند و روی آن اثر می گذارند. از منابع نویز خارجی می توان منابع انسانی، فرستنده های دیگر، مدارهای کلیدزنی و جرقه زنی خطوط ولتاژ قوی برق شهر و... را نام برد.

**د) تداخل (Interference):** تداخل به معنی تأثیرگذاری فرکانس های ناخواسته منابع نویز قوی یا فرکانس های رادیویی مختلف روی یکدیگر در سیستم های مخابراتی است. سیگنال های رادیویی می تواند مربوط به دو ایستگاه رادیویی یا یک ایستگاه رادیویی یا یک منبع نویز قوی باشد. اصطلاحاً منبع نویز قوی را پارازیت می نامند. در شکل ۴، تداخل سیگنال های ایستگاه رادیویی و منبع نویز قوی نشان داده شده است.



شکل ۴- اثر نویز روی سیگنال





در مورد عناصر سیستم مخابراتی و تأثیر منبع نویز و فرکانس سایر ایستگاه‌های رادیویی روی قسمت‌های مختلف آن تحقیق کرده و نتیجه را در کلاس ارائه نمایید.

### دسته‌بندی عمومی فرکانس‌ها

تنوع تقسیم‌بندی فرکانس بسیار زیاد است. در جدول ۱ تقسیم‌بندی عمومی حدود فرکانس‌های مختلف آمده است:

جدول ۱- تقسیم‌بندی باندهای فرکانسی

ردیف	محدوده فرکانس	نام باند	نماد(علامت)	نام باند به زبان اصلی
۱	۳-۳۰ Hz	بی نهایت کم	ELF	Extremely Low Frequency
۲	۳۰-۳۰۰ Hz	فوق العاده کم	SLF	Supper Low Frequency
۳	۳۰۰-۳۰۰۰ Hz	خیلی خیلی کم	ULF	Ultra Low Frequency
۴	۳-۳۰ kHz	خیلی کم	VLF	Very Low Frequency
۵	۳۰-۳۰۰ kHz	کم	LF	Low Frequency
۶	۳۰۰ KHz - ۳MHz	متوسط	MF	Medium Frequency
۷	۳-۳۰ MHz	زیاد	HF	High Frequency
۸	۳۰-۳۰۰MHz	خیلی زیاد	VHF	Very High Frequency
۹	۳۰۰MHz - ۳GHz	خیلی خیلی زیاد	UHF	Ultra High Frequency
۱۰	۳GHz - ۳۰GHz	فوق العاده زیاد	SHF	Supper High Frequency
۱۱	۳۰-۳۰۰ GHz	بی نهایت زیاد	EHF	Extra High Frequency



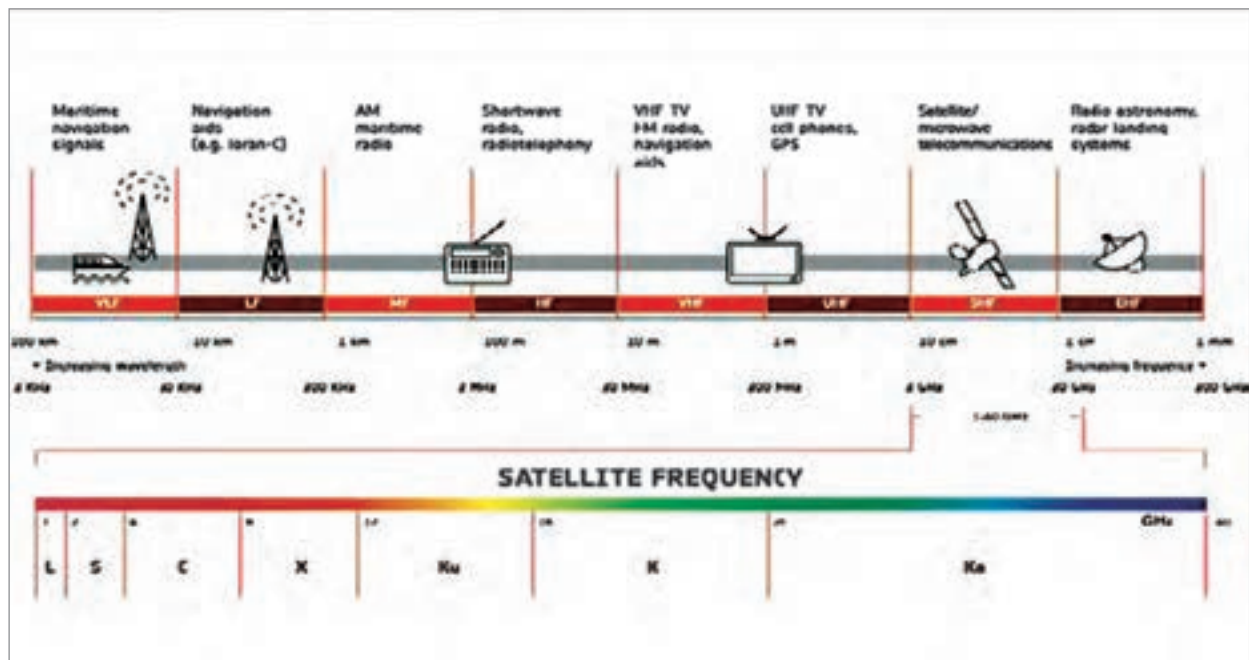
جدول زیر را کامل کنید.

ردیف	محدوده فرکانس	موارد کاربرد	موارد کاربرد در زبان انگلیسی
۱	صفر	ولتاژ و جریان Dc	Dc voltage and current
۲	۱ KHz - ۱۰ Hz	.....	.....
۳	۲۰ KHz - ۲۰ Hz	شنوایی	Audio
۴	۲۰ KHz - ۲ MHz	.....	.....
۵	۳ MHz - ۳۰۰ GHz	رادیو	Radio
۶	۵۰ Hz - ۵ MHz	.....	.....
۷	۱ THz - ۴۳۰ THz	اشعه مادون قرمز	Infrared
۸	۴۳۰ THz - ۱۰۰۰ THz	.....	.....
۹	۱۰۰۰ THz - $6 \times 10^4$ THz	اشعه ماورای بنفش	Ultra Violet
۱۰	$6 \times 10^4$ THz - $3 \times 10^7$ THz	.....	.....
۱۱	$3 \times 10^7$ THz - $5 \times 10^8$ THz	اشعه گاما	Gam a Ray
۱۲	$5 \times 10^8$ THz - $8 \times 10^9$ THz	.....	.....



با استفاده از منابع مختلف، اینترنت و شکل های زیر، در مورد کاربرد انواع باندهای فرکانسی بررسی کرده و نتایج را در کلاس به صورت پرده نگار به نمایش در آورید.





شکل ۵

### خلاقیت مخابرات جنگال (جنگ الکترونیک)



شهید مهدی نریمی

یکی از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین بخش‌های جنگ الکترونیک در دوران دفاع مقدس، مخابرات بود. شاید یکی از بهترین تعبیرها برای این واحد، «سلسله اعصاب» باشد چرا که از طریق این واحد، پیوند ارتباطی از عالی‌ترین سطوح تا پایین‌ترین رده‌ها شکل می‌گرفت. تنوع تجهیزات مخابراتی دشمن و لزوم مقابله با آن یکی از تخصصی‌ترین و علمی‌ترین بخش‌ها در زمینه مخابرات جنگال شکل گرفت.

این واحد، کار خود را با بی‌سیم غنیمتی شروع کرد و فعالیت‌ها و تحرکات دشمن در خط مقدم را از طریق استراق سمع مکالمات دشمن رصد می‌کرد. این واحد در چند نوبت، کارایی خود را به

اثبات رساند. بعد از آن با استفاده از تجهیزات به دست آمده از ساختمان‌های ساواک و سفارت آمریکا و همچنین تجهیزات ارتش و امکانات موجود در مخابرات کشور، کار خود را توسعه داد.

آموزش تخصصی و پیچیده نیروها در مدت زمان کوتاهی انجام می‌پذیرفت. استقرار دستگاه‌ها در موقعیت‌های مناسب محل دقیق فرستنده‌های دشمن را مشخص می‌کرد.

اهمیت این واحد به اندازه‌ای بود که فرماندهی ارتش بعث عراق مقرر کرده بود نیروهای شنود پس از اسارت، برای بازجویی ویژه در اختیار استخبارات قرار دهند.

یکی از ابتکارات واحد شنود، ساخت دستگاه کوچکی بود که به دستگاه بی‌سیم وصل می‌شد و با گرفتن شماره دو رقمی، همه رمزهای دریافتی را کشف می‌کرد. نیروهای بعث معمولاً از بی‌سیم‌های کددار راکال انگلیسی با

قدرت شناسایی دو میلیون فرکانس استفاده می کردند. فرکانس های ارسالی و دریافتی برای گیرنده های دیگر در طول مسیر قابل شناسایی نبودند و تنها در مقصد صاف می شدند. تعدادی نوار از صداهاى مبهم دشمن ضبط شد و در اختیار نیروهای فنی و دانشگاهی قرار گرفت. با همکاری این گروه، دستگاهی ساخته شد که امکان دستیابی و رمزگشایی تمام فرکانس ها فراهم شد. با پیشرفت دستگاه های ارتباطی دشمن، نفوذ به خطوط مخابراتی و تقلید صدای فرماندهان بعثی توسط دستگاه های غنیمتی از ابتکارات دیگر رزمندگان بود. در ابتدا باید مشخصات و کدهای تمام واحدها، صداها، اسامی واقعی و مستعار افسران و درجه داران دشمن به دست می آمد.

یک سیستم قدرتمند ساخته شده که صدای سیستم های عراقی را قطع می کرد و آنها هرچه فرکانس خود را تغییر می دادند، این سیستم آن را پیدا می کرد. در نهایت سیستم دیگری به نام تامسون می توانست صدای باند HF را تا هر جای دنیا ارسال کند و نیروهای دشمن را هدایت کند. مثلاً در جریان عملیات فتح المبین، نیروهای خودی با استفاده از ترفندهای جنگ الکترونیک با دادن مسیر اشتباه، یک گردان تانک دشمن را به باتلاق کشاندند.

جهت شارژ تجهیزات مخابراتی از انواع روش ها مانند سری کردن باتری خودرو و حتی سلول خورشیدی استفاده می شد.

یکی از شهدای این عرصه، شهید مهدی نریمی بود. وی جهت جلوگیری از شنود بی سیم های خودی، ارتباط تلفنی باسیم را در دورترین مناطق نیز راه اندازی نمود (مرکز تلفن ليله القدر در جزایر مجنون). این امر در سخت ترین شرایط و حتی در زیر آب با روش های خلاقانه ای انجام پذیرفت. شکل ۶ تعدادی از تجهیزات جنگال را نشان می دهد.



شکل ۶- دستگاه های بی سیم و استفاده از آنها در جریان عملیات های دفاع مقدس

### دستگاه طیف نما (Spectrum Analyzer)

دستگاه طیف نما وسیله ای است که توسط آن می توان طیف فرکانسی یا مجموعه ای از فرکانس ها را مشاهده و اندازه گیری کرد. در شکل ۷ تصویر ظاهری یک دستگاه طیف نما ملاحظه می شود.



پودمان ۱: بررسی اصول مخابرات دریایی



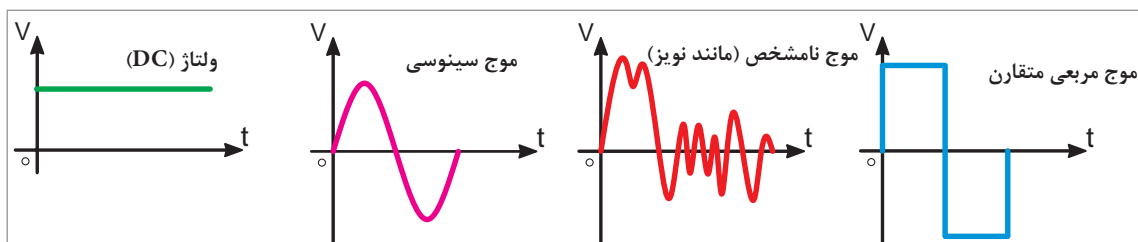
شکل ۷- تصویر واقعی و نرم افزاری دستگاه طیف‌نما

اصول کار دستگاه طیف‌نما را بررسی نمایید.

کار در کلاس

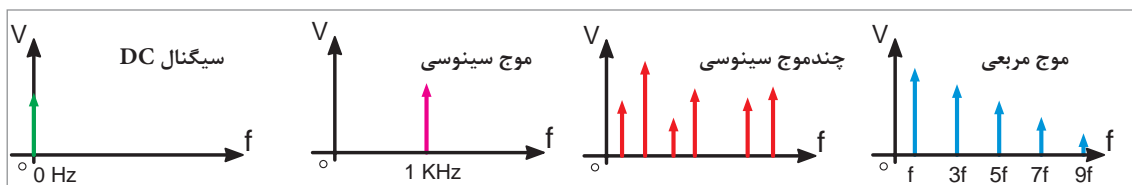


**سیگنال حوزه زمان:** سیگنال حوزه زمان، تغییرات دامنه موج را برحسب زمان نشان می‌دهد. در حوزه زمان محور افقی برحسب زمان و محور قائم برحسب دامنه است (شکل ۸).



شکل ۸- امواج در حوزه زمان

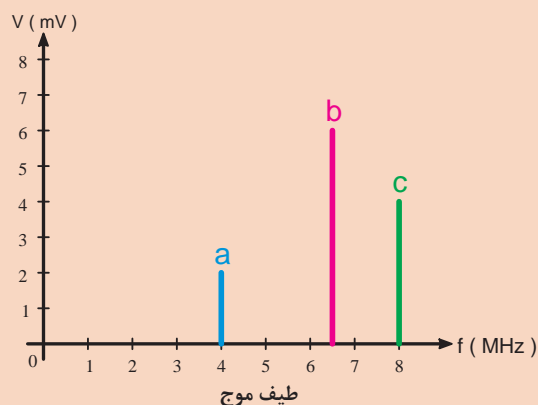
**سیگنال حوزه فرکانس:** در صورتی که بخواهیم چند سیگنال سینوسی را روی یک دستگاه محورهای مختصات نشان دهیم، از حوزه فرکانس استفاده می‌کنیم. در حوزه فرکانس، محور افقی برحسب فرکانس و محور عمودی برحسب دامنه درجه‌بندی می‌شود. در شکل ۹ چهار سیگنال متفاوت در حوزه فرکانس نشان داده شده است. ارتفاع هر خط قائم نشان دهنده دامنه سیگنال و تقاطع هر خط قائم با محور افقی فرکانس آن را نشان می‌دهد.



شکل ۹- حوزه فرکانس



یک دستگاه طیف‌نما مطابق شکل زیر اطلاعاتی را به ما نشان می‌دهد. با توجه به آن، موارد زیر را انجام دهید.



- الف) تعداد سیگنال‌های سینوسی و مقادیر فرکانس آنها را معین نمایید.  
 ب) کدام سیگنال سینوسی دارای بیشترین دامنه است ؟  
 پ) کدام سیگنال سینوسی دارای کمترین دامنه است ؟



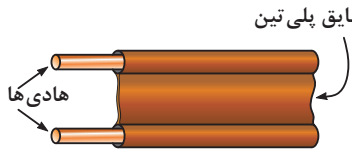

جدول زیر را کامل کنید.

ردیف	طیف فرکانسی صوت	تشریح
۱	موج	.....
۲	صوت	صوت مجموعه‌ای از ارتعاشات مکانیکی است.
۳	بلندی صوت	.....
۴	انرژی صوت	.....
۵	شدت صوت	مقدار توان صوتی در واحد سطح را شدت صوت می‌گویند. شدت صوت بر حسب میکرووات بر مترمربع یا وات بر سانتی‌مترمربع سنجیده می‌شود.
۶	ارتفاع یا آهنگ صوت	.....
۷	طنین صوت	.....
۸	محدوده فرکانس صوتی و طیف آن	.....

### خطوط انتقال مخابراتی و انواع آنها (Transmission Lines)

در فرستنده‌ها و گیرنده‌های رادیویی برای انتقال امواج رادیویی از فرستنده به گیرنده یا اتصال آنتن به دستگاه فرستنده یا گیرنده‌های رادیویی از خطوط انتقال استفاده می‌شود. خطوط انتقال در انواع خط انتقال دو سیمه (متعادل)، خط انتقال هم‌محور (کابل کواکسیال) موج بر و فیبر نوری استفاده می‌شود.

جدول زیر را کامل کنید.

ردیف	انواع خط انتقال	شرح	شکل
۱	خط انتقال دو سیمه Parallel wire (balanced line)	.....	
۲	خط انتقال هم‌محور (coaxial)	.....	

کار در کلاس



در مورد انواع کابل‌های کواکسیال و مشخصات آنها تحقیق نموده و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

تحقیق کنید



**فیبر نوری (Optical Fiber):** امروزه فیبر نوری به عنوان یک محیط انتقال برای ارسال داده‌ها و پیام‌های اطلاعاتی در صنعت مخابرات، تحول زیادی را به وجود آورده است. یک نگاه گذرا به فناوری فیبر نوری در دو دهه اخیر نشان می‌دهد که به کارگیری و تحقیقات مرتبط با آن در سطوح مختلف صنایع نوین به ویژه مخابرات، بی سابقه بوده است؛ به طوری که سهم اطلاع‌رسانی را از چند صد ارتباط در شبکه‌های مرسوم، به مرز میلیونی در شبکه‌های نوری رسانده است.

فیلم مربوط به فیبر نوری را مشاهده کنید.

فیلم

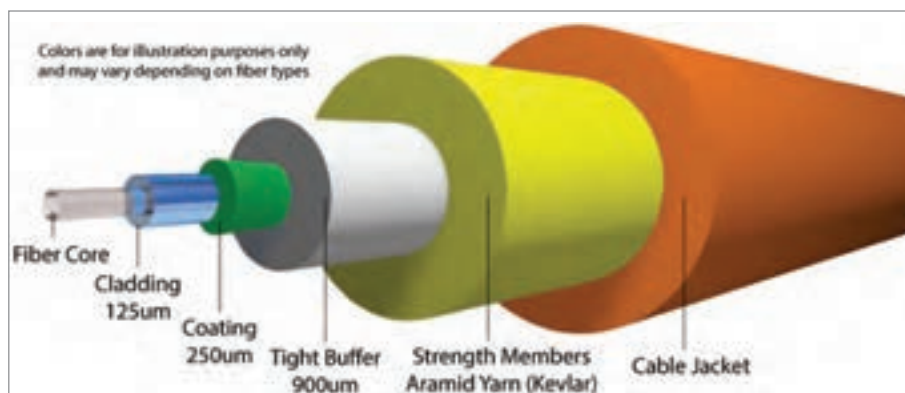


اساس یک سیستم ارتباط فیبر نوری: به طور کلی یک سیستم فیبر نوری دارای یک فرستنده، محیط انتقال (فیبر نوری) و یک گیرنده است.



شکل ۱۰- اساس یک سیستم فیبر نوری

فرستنده، یک چشمه نوری مانند LED یا دیود لیزری است. گیرنده یک نوع فتودیود یا فتوترانزیستور است. ساختمان فیبر نوری: امروزه تقریباً کلیه فیبرهای مورد استفاده در مخابرات از جنس شیشه یا پلاستیک اند. در شکل ۱۱، ساختمان یک فیبر نوری نشان داده شده است. فیبر نوری از یک قسمت اصلی شامل مغزی و غلاف (عایق) و یک قسمت پوششی شامل پوشش میانی و خارجی تشکیل شده است.



شکل ۱۱- ساختمان فیبر نوری

با توجه به شکل ۱۱، اجزای مختلف یک فیبر نوری را تشریح و مزایای استفاده از آن را نسبت به سایر خطوط انتقال بررسی کنید.

کار در کلاس



با مراجعه به منابع مختلف اطلاعاتی، تصاویر مربوط به فیبر نوری را تهیه و با پرده‌نگار در کلاس نشان دهید.

تحقیق کنید



فیلم مربوط به آنتن‌ها را مشاهده کنید.

فیلم





### آنتن

آنتن وسیله‌ای است که برای دریافت یا انتشار امواج الکترومغناطیسی به کار می‌رود. خواص آنتن در حالت فرستنده و گیرنده شبیه به هم است و از قضیه هم پاسخی تبعیت می‌کند (شکل ۱۲).



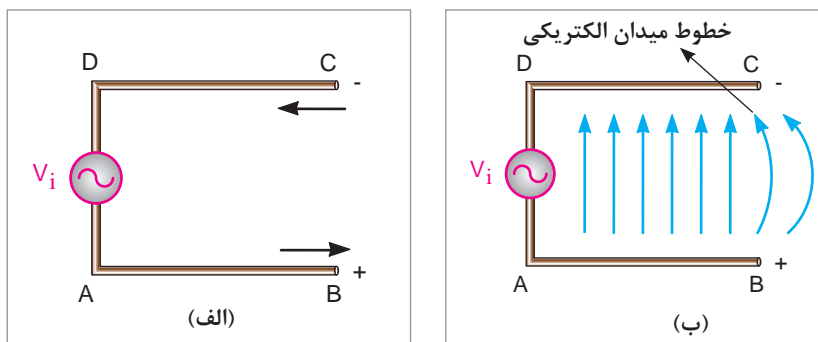
شکل ۱۲- انواع آنتن‌ها بر روی یک شناور

### قضیه هم پاسخی

هم پاسخی (Reciprocity) به معنی پاسخ همگن یک مدار از نظر ورودی و خروجی است. یعنی اگر به ورودی یک مدار، ولتاژ  $V$  داده شود و از خروجی آن، جریان  $I$  دریافت شود، در صورت اعمال ولتاژ  $V$  به خروجی آن، جریان  $I$  هم باید از ورودی عبور کند. چنین مداری از قضیه هم پاسخی تبعیت می‌کند. مثالی ساده برای مدارهای هم پاسخی، ترانسفورماتور متقارن ایده‌آل یک به یک است.

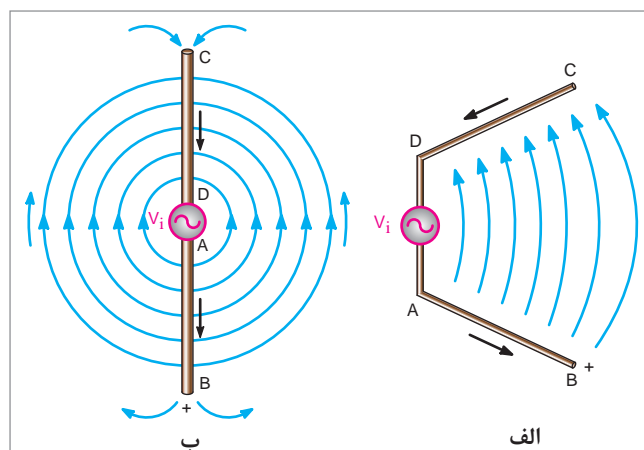
### میدان الکتریکی آنتن

فرستنده رادیویی را به صورت منبع سینوس  $V_i$  و آنتن را به صورت دو میله هادی یا دو سیم موازی که به دو سر منبع  $V_i$  اتصال دارند، در نظر می‌گیریم (شکل ۱۳- الف). هنگامی که سیگنال ورودی، نیم سیکل منفی را طی می‌کند، میله بالایی دارای بار منفی و میله پایینی دارای بار مثبت می‌شود (شکل ۱۳- ب). در این حالت می‌توان دو میله را مشابه دو جوشن یک خازن در نظر گرفت که از طریق دی الکتریک هوا از یکدیگر جدا شده‌اند. خطوط میدان الکترواستاتیک بین دو جوشن خازن، از جوشن مثبت به سمت جوشن منفی رسم شده است. جهت جریان سیگنال در جهت خطوط میدان الکتریکی است که در شکل به صورت ABCD مشخص شده است.



شکل ۱۳- خطوط میدان الکتریکی آنتن

اگر فاصله دو انتهای باز میله آنتن را به تدریج زیاد کنیم، خطوط میدان الکتریکی به سمت خارج آنتن خم می‌شوند و پس از طی مسیر منحنی، وارد میله منفی می‌شوند (شکل ۱۴- الف). اگر میله آنتن را در یک امتداد قرار دهیم، خطوط میدان الکتریکی به صورت دایره متحدالمرکز، میله مثبت را ترک کرده و وارد میله منفی می‌شوند. جهت خطوط میدان الکتریکی برای حالتی که میله‌ها باز است در شکل ۱۴- ب نشان داده شده است. اگر دو قطب سیگنال  $V_i$  وارونه شوند میله AB منفی و میله CD مثبت خواهد بود. در این حالت، خطوط میدان الکتریکی نیز معکوس می‌شوند و جهت جریان سیگنال در مسیر DCBA برقرار خواهد شد.



الف شکل ۱۴- خطوط میدان الکتریکی آنتن

### میدان مغناطیسی در آنتن

هنگامی که جریان از میله‌های آنتن عبور می‌کند، در اطراف میله‌ها میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود.

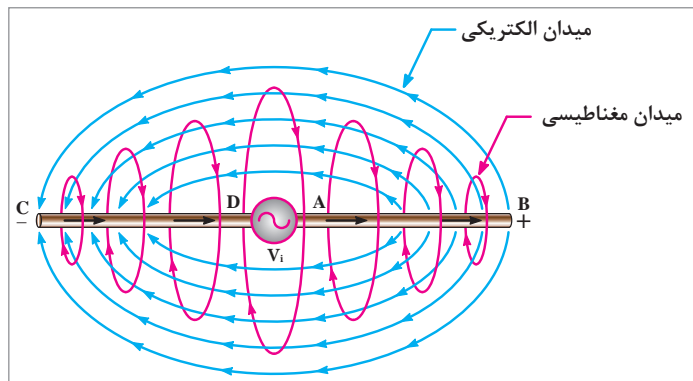
جهت خطوط میدان‌های مغناطیسی را به کمک چه قانونی می‌توان به دست آورد؟

کار در کلاس



### میدان الکترومغناطیسی در آنتن

به میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در آنتن توجه کنید. جهت این دو میدان همواره به یکدیگر عمود است. ترکیب میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را میدان الکترومغناطیسی در آنتن می‌گویند (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- میدان الکترومغناطیسی در آنتن

جدول زیر را که مربوط به مشخصه‌های آنتن می‌باشد، تکمیل کنید.

کار در کلاس



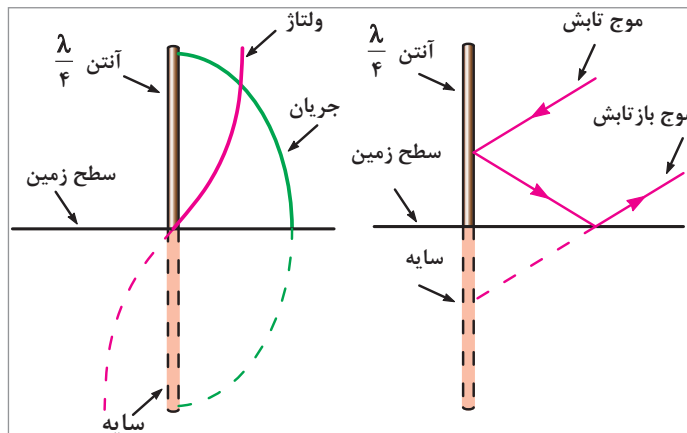
شرح	اصطلاح انگلیسی	مشخصه‌های آنتن
آنتن در فرکانس کار خود به صورت یک مقاومت $R_r$ در مدار ظاهر می‌شود که به آن، مقاومت تابشی آنتن گفته می‌شود.	Antenna Radiation Resistance	مقاومت تابشی آنتن
اگر جریان عبوری آنتن $I$ و مقاومت تابشی آن $R_r$ باشد، توان تابشی از رابطه $P = R_r \times I^2$ به دست می‌آید.	Antenna Radiation Power	توان تابشی آنتن
.....	Antenna Gain	بهره آنتن
.....	Antenna Impedance	امپدانس آنتن

### انواع آنتن

**آنتن مارکونی (Marconi Antenna):** آنتن مارکونی، یک آنتن تک قطبی با طول  $\frac{\lambda}{4}$  است که به طور عمودی بر روی زمین نصب می‌شود. زمین، انرژی تابیده شده بر خود را بازتاب می‌کند. در اثر این بازتاب امواج، تصویر آنتن  $\frac{\lambda}{4}$  در زمین ظاهر می‌شود و تمام آن را به عنوان یک آنتن فرضی در نظر می‌گیریم که قرینه آنتن اصلی نسبت به سطح زمین است. این آنتن فرضی را سایه آنتن اصلی می‌نامند. در شکل ۱۶-الف، چگونگی تشکیل سایه آنتن  $\frac{\lambda}{4}$  و در شکل ۱۶-ب، منحنی‌های توزیع ولتاژ و جریان و در شکل ۱۶-ج، یک نمونه آنتن اتومبیل نشان داده شده است.



ج) تصویری از آنتن اتومبیل



الف) تشکیل سایه در آنتن  $\frac{\lambda}{4}$  ب) منحنی‌های توزیع ولتاژ و جریان در آنتن  $\frac{\lambda}{4}$

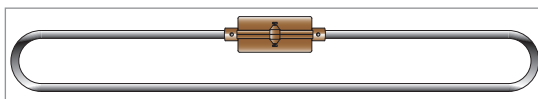
شکل ۱۶- یک نمونه آنتن اتومبیل

آنتن رادیوی اتومبیل از کدام نوع آنتن است و عملکرد آن چگونه است؟

کار در کلاس



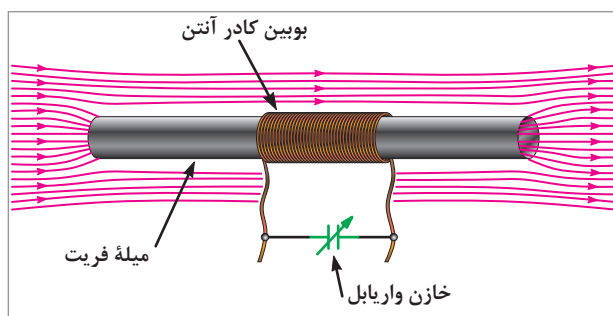
حدود ۳۰۰ اهم است. از این آنتن برای تطبیق خط انتقال دو سیمه ۳۰۰ اهمی در تلویزیون سیاه و سفید استفاده می‌شود.



شکل ۱۷- تصویر آنتن دیپل نیم موج خمیده

آنتن دیپل نیم موج خمیده (Folded Dipole): آنتن دیپل خمیده یا تا شده از یک میله به طول  $\lambda$  تشکیل شده است که پس از خم شدن آنتن، طول  $\frac{\lambda}{4}$  را تشکیل می‌دهد (شکل ۱۷). در وسط آنتن بریدگی کوچکی که در مقایسه با طول آنتن ناچیز است، وجود دارد. امپدانس آنتن دیپل خمیده در

آنتن با میله فریت: آنتن با میله فریت در تمام گیرنده‌های رادیویی MW و SW به کار می‌رود. فریت (Ferrite) ماده‌ای با قابلیت نفوذ مغناطیسی زیاد است. آنتن با میله فریت آنتن کوچکی است که در داخل گیرنده‌های رادیویی جای می‌گیرد. استفاده از بوبین با هسته فریت، دریافت امواج الکترومغناطیسی را آسان می‌کند (شکل ۱۸). دریافت امواج الکترومغناطیسی زمانی حداکثر است که میله فریت و میدان مغناطیسی در یک جهت قرار گیرند.



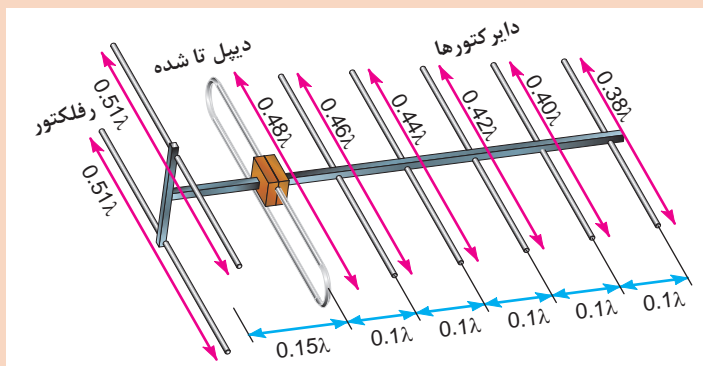
شکل ۱۸- آنتن با میله فریت

آنتن یاگی (Yagi Antenna): در شکل ۱۹، میله خم شده را که روی آنتن قرار دارد، دیپل تاشده (Folded Dipole) می‌نامند. همچنین به میله‌هایی که در پشت دیپل قرار دارند و طول آنها بزرگ‌تر است، رفلکتور یا منعکس‌کننده (Reflector) و میله‌هایی که در جلوی دیپل تاشده قرار دارند و طول آنها از دیپل تاشده کوچک‌تر است، دایرکتور گویند. قرار دادن این اجزا باعث می‌شود آنتن جهت‌دار شود. از آنتن یاگی برای دریافت امواج VHF و UHF تلویزیونی استفاده می‌شود.



شکل ۱۹- تصویر آنتن یاگی

در مورد شکل زیر و همچنین اجزای آنتن یاگی بحث و تبادل نظر کنید.



کار در کلاس



با مراجعه به منابع مختلف، تعداد کارخانه‌های داخلی را که آنتن تولید می‌کنند، شناسایی کنید و مشخصات محصولات آنان به خصوص انواع آنتن یاگی را بیابید.

تحقیق کنید



آنتن‌های بشقابی (Dish Antennas): آنتن گیرنده‌ها و فرستنده‌هایی که در طیف میکروویو و ماکروویو کار می‌کنند (محدوده فرکانسی ۱ تا ۱۰۰ گیگاهرتز) آنتن‌های جهت‌دار می‌گویند. یکی از انواع این آنتن‌ها، آنتن‌های بشقابی است.



به چه دلایلی آنتن‌های بشقابی را معمولاً به صورت برش سهمی یا کره می‌سازند؟

در شکل ۲۰، نمونه‌هایی از آنتن بشقابی را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲۰- آنتن‌های بشقابی



در مورد آنتن‌های منعکس‌کننده سهموی و ساختمان آنها تحقیق کنید و نتیجه را به صورت پرده‌نگار در کلاس نمایش دهید.

**تبدیل فرکانس در آنتن بشقابی:** امواجی را که طول موج آنها در محدوده متر، سانتی‌متر و میلی‌متر قرار دارد، را امواج مایکروویو و میکروویو می‌نامند. پس از دریافت این امواج و تمرکز آنها در کانون سهمی لازم است امواج به محدوده فرکانس پایین‌تری تبدیل شوند تا بتوان آنها را برای موارد خاص مانند تلویزیون مورد استفاده قرار داد. برای این منظور، از یک مدار مبدل استفاده می‌کنند. این مبدل‌ها را اصطلاحاً LNB می‌نامند.



LNB از اول حروف چه کلماتی است و مفهوم آن چیست و شامل چند بخش می‌باشد؟

در شکل ۲۱، بلوک دیاگرام LNB به اختصار رسم شده است.



شکل ۲۱- بلوک دیاگرام ساده LNB



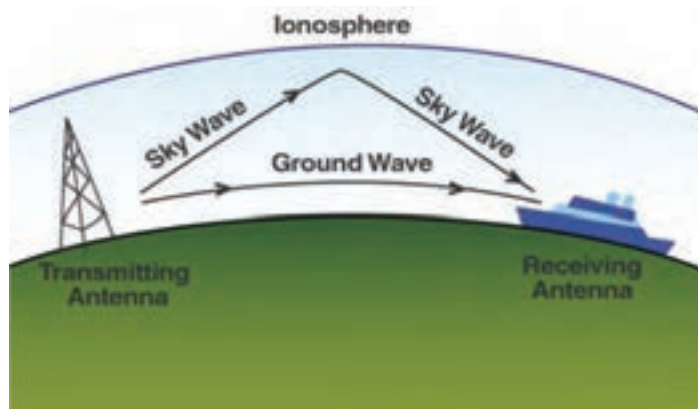
در شکل ۲۲ چند نمونه LNB را ملاحظه می کنید.



شکل ۲۲ - LNB و اتصالات آن

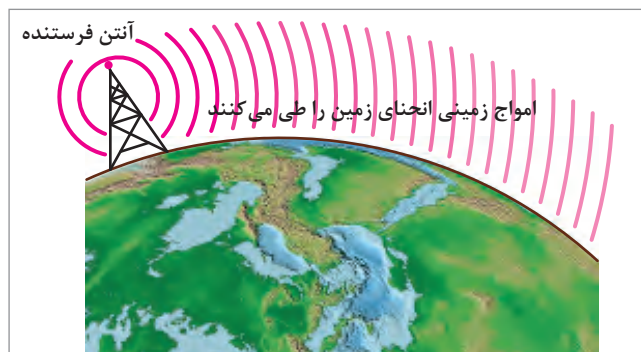
### انتشار امواج رادیویی

امواج رادیویی، فاصله بین فرستنده و گیرنده را از مسیرهای متفاوتی طی می کنند که مهم ترین آنها عبارت اند از: امواج زمینی، امواج آسمانی و امواج فضایی (شکل ۲۳).



شکل ۲۳- انتشار امواج رادیویی

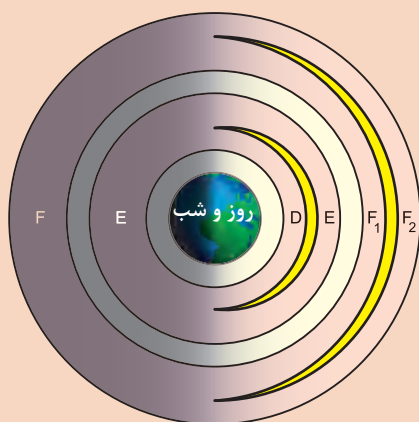
**امواج زمینی (Ground wave):** امواج زمینی، امواجی هستند که مسیر حرکتشان در سطح زمین است و انحنای زمین را طی می کنند. این امواج به امواج سطحی نیز معروف اند. امواج زمینی موقعی وجود دارند که آنتن های گیرنده و فرستنده، نزدیک سطح زمین باشند (شکل ۲۴). چون فرکانس این امواج کم است آن را LF می نامند. امواج LF به علت اتلاف زیاد انرژی در سطح زمین، برای ارسال در مسافت کوتاه به کار می روند. در سطوحی مانند آب دریا، به دلیل وجود مقاومت الکتریکی، تلفات انرژی کمتر شده و امواج LF مسافت بیشتری را طی می کند لذا این امواج در مخابرات دریایی کاربرد دارد.



شکل ۲۴- امواج زمینی

**امواج آسمانی (Sky Wave):** انتشار امواج آسمانی به نوعی انتشار اطلاق می گردد که امواج رادیویی منتشر شده در فضا، بعد از برخورد با لایه های یونیزه جو (یونسفر) مجدداً به طرف زمین منعکس می شوند. ناحیه یونیزه جو از ۵۰ کیلومتری سطح زمین شروع می شود و تا ارتفاع ۴۰۰ کیلومتری ادامه دارد.

با توجه به شکل روبه رو لایه های یونسفر را بررسی کنید.

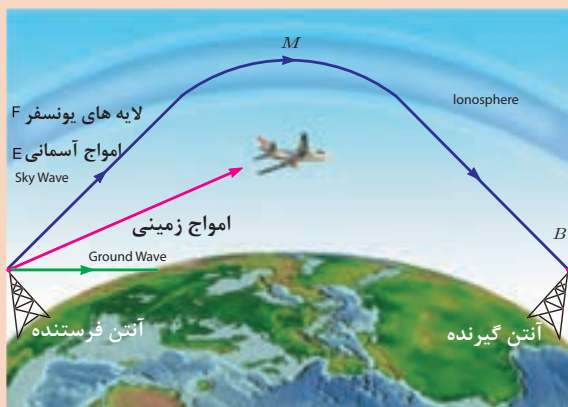


کار در کلاس

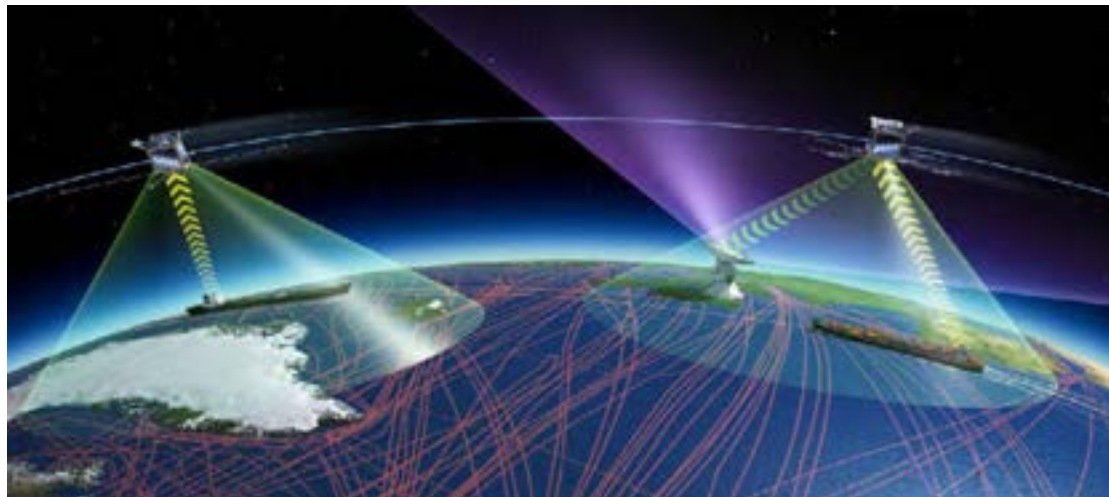


با توجه به شکل روبه رو، انعکاس امواج به چه صورت انجام می گیرد؟

تحقیق کنید



**امواج فضایی (Space Wave):** امواج فضایی به امواجی گفته می‌شود که فاصله بین فرستنده و گیرنده را در ناحیه تروپوسفر زمین طی می‌کنند. تروپوسفر به ناحیه‌ای از آتمسفر گفته می‌شود که از سطح زمین تا ارتفاع ۱۶ کیلومتری آن قرار دارد (شکل ۲۵).



شکل ۲۵- انتشار امواج فضایی

### پدیده فدینگ (Fading) یا محو شدن

اگر امواج زمینی و آسمانی که از یک مرکز فرستنده منتشر می‌شوند هم‌زمان به گیرنده رادیویی برسند، ممکن است در صورت هم فاز بودن، باعث زیاد شدن صدای بلندگو شوند. این امواج اگر در فاز مخالف باشند باعث ضعیف شدن یا قطع شدن صدای بلندگو می‌شوند. این پدیده به فدینگ معروف است.

در مورد محدوده فرکانسی امواج رادیویی و نوع انتشار آنها بحث و تبادل نظر کنید.

کار در کلاس



بررسی کنید که ارتباط رادیویی بین کشتی‌ها در سطح دریا با چه روش‌هایی صورت می‌گیرد؟

تحقیق کنید



### فریب امواج مخابراتی در جنگ تحمیلی



**خلاقیت در ساخت سازه منحرف کننده موشک:** هواپیمای سوپراتاندارد، از پیشرفته‌ترین و مدرن‌ترین هواپیماهای اروپایی است که به دلیل کارایی و قدرت بالای آن در اختیار نیروهای ناتو بود و بیشترین شهرت آن در غرق کردن چند رزمناو در جنگ آرژانتین و انگلیس است. همچنین دقت در هدف‌گیری

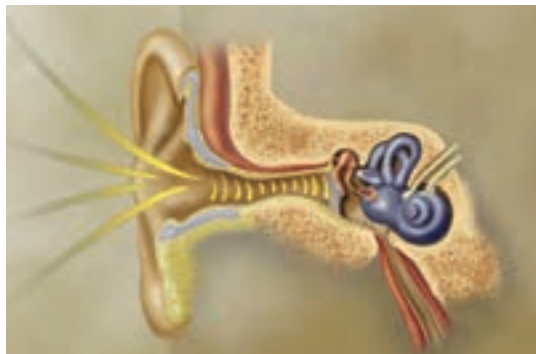
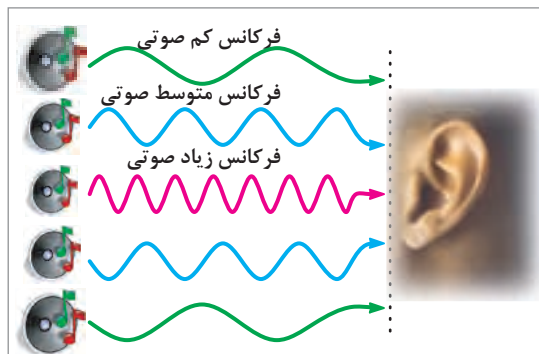
و قدرت انهدام بالای آن با استفاده از موشک‌های اگزوست (برگرفته از کلمه فرانسوی به معنای ماهی پرنده) در شهرت این جنگ‌افزار بی‌تأثیر نبوده است. اگزوست با برد ۱۱ کیلومتری خود به خلبان اجازه می‌داد بدون کمترین خطری، شناورها و کشتی‌ها را هدف قرار دهد. همچنین پس از شلیک، بر روی هدف قفل می‌کند و آن را تعقیب و منهدم می‌سازد.

دشمنان ایران با تبلیغات فراوان این سلاح را در اختیار صدام قرار دادند تا ایران را وادار به پذیرش خواسته‌های نامعقول خود نمایند. در این مقطع هوش و ذکاوت رزمندگان به نبرد با فناوری‌های نوین و پیشرفته غرب می‌رود. در بین طرح‌های ارائه شده، ایده شهید حسین قاسمی با توجه به هزینه کم و سادگی آن پذیرفته شد. در این طرح به منظور فریب امواج رادیویی منتشره از رادار موشک، با استفاده از مقدار زیادی میل گرد، صفحات بزرگ فلزی و یونالیت شناوری را طراحی و با نام خارپشت در نزدیکی کشتی‌ها و شناورهای ایرانی به آب انداختند. در اولین آزمایش، امواج فریب می‌خورند و موشک به یکی از همین خارپشت‌های شناور اصابت می‌کند. مهندسان جهاد با تکمیل طرح، برای منحرف کردن رادار این موشک‌ها، صفحه‌های عمود بر هم فلزی نیز طراحی کردند که امواج فرستاده شده از طرف موشک را به سمت خود موشک بازتاب می‌داد و موشک را در انتخاب هدف به اشتباه می‌انداخت و به جای کشتی‌ها به این صفحات اصابت می‌کرد. این طرح در گستره وسیعی به کار گرفته شد و هواپیمای سوپراتاندارد فرانسوی در مواجهه با نبوغ و ابتکار ایرانی در عرصه جنگ دریایی اعتبار خود را از دست داد و ناکام شد.

### سیگنال صوتی و نحوه انتقال آن

یکی از مهم‌ترین موج‌هایی که ما در زندگی روزمره با آن سروکار داریم امواج صوتی است. از طریق این موج‌هاست که با هم گفت‌وگو می‌کنیم و یا با به صدا درآوردن بوق کشتی‌ها خروج از اسکله را اعلام می‌نماییم. امواج صوتی در محدوده فرکانسی ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز قرار دارند. شکل ۲۶ امواج صوتی با فرکانس‌های کم، متوسط و زیاد را نشان می‌دهد که گوش قادر به شنیدن آنهاست.

برای انتشار امواج صوتی نیاز به محیطی مادی مانند هوا داریم. در واقع امواج صوتی، ارتعاشات مکانیکی‌اند که از طریق ارتعاش ملکول‌های هوا از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل می‌شوند. نوسان ملکول‌های هوا از طریق حفره گوش به پرده گوش برخورد می‌کند و صدا شنیده می‌شود. هر قدر شدت صوت بیشتر باشد ارتعاشات هوا قوی‌تر و صدا بلندتر است.



شکل ۲۶- امواج صوتی با فرکانس‌های مختلف

### سرعت صوت

سرعت انتشار امواج در یک محیط، به ویژگی‌های محیط انتشار موج بستگی دارد. سرعت صوت نیز به ویژگی‌های فیزیکی محیطی که صوت در آن منتشر می‌شود وابسته است. صوت علاوه بر گازها، در مایعات و جامدات نیز منتشر می‌شود.

انتشار صوت در هوا را می‌توان به انتشار امواج در آب تشبیه کرد.

طول موج برای امواج صوتی از رابطه  $\lambda = \frac{V}{F}$  به دست می‌آید. در این رابطه،  $V$  سرعت سیر صوت است که در هوا حدود ۳۴۰ متر در ثانیه در نظر گرفته می‌شود.  $F$  فرکانس صوت برحسب هرتز است.

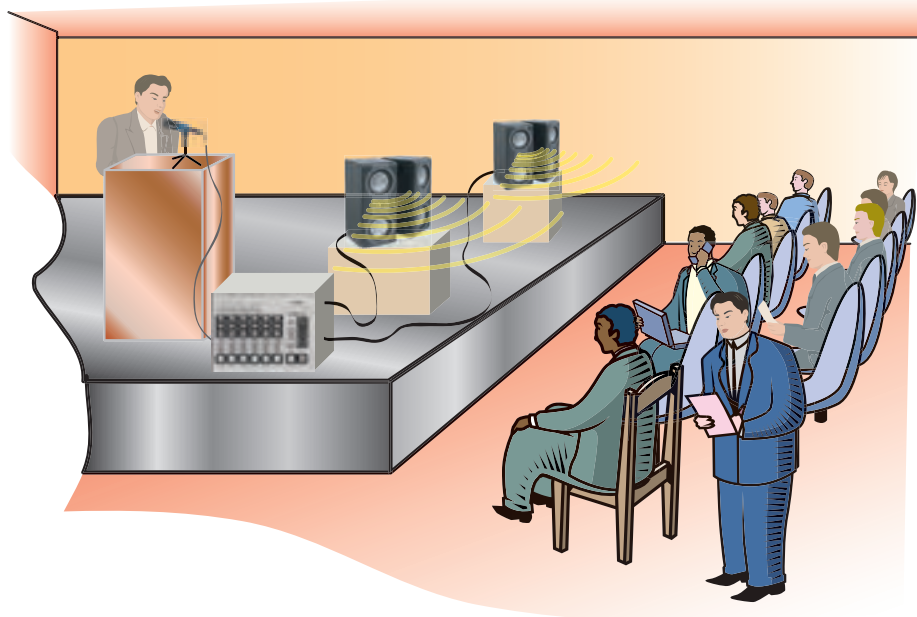
کار در کلاس



برای کمترین و بیشترین فرکانس صوتی (AF)، طول موج را محاسبه کنید.

### انتقال صوت به فاصله‌های دور توسط سیم یا کابل

فیزیولوژی حنجره انسان به گونه‌ای است که نمی‌تواند دامنه حاصل از تارهای صوتی را از حد معینی افزایش دهد. این محدودیت باعث می‌شود که انسان برای انتقال صوت خود به فاصله‌های دور (حدوداً تا ۵۰۰ متری) از دستگاه‌های تقویت کننده (آمپلی فایر) استفاده کند. برای انتقال صوت از دستگاه آمپلی فایر به بلندگو به خط انتقال نیاز داریم. خط انتقالی که برای این منظور به کار می‌رود سیم یا کابل است (شکل ۲۷). استفاده از سیم یا کابل برای انتقال صوت به فاصله‌های دور، موجب افت ولتاژ و توان در مسیر می‌شود. از طرف دیگر به دلایل متعدد، کاربرد این سیستم مقرون به صرفه نیست و در پاره‌ای از موارد ناممکن است.



شکل ۲۷- انتشار صوت از طریق دستگاه تقویت کننده، کابل و بلندگو برای فاصله‌های دور



چرا سیگنال‌های صوتی را نمی‌توان به فاصله‌های خیلی دور (بین دو شهر) منتقل کرد؟

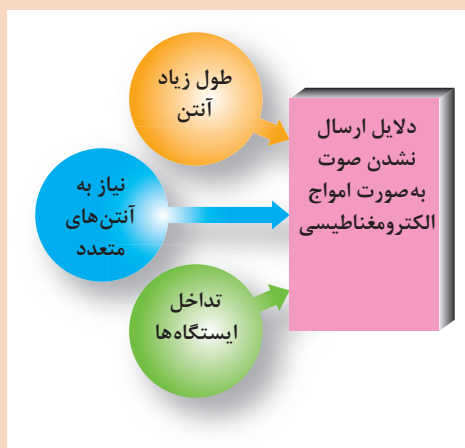
**انتقال سیگنال‌های صوتی به فاصله‌های دور توسط امواج الکترومغناطیسی**  
ساده‌ترین روش برای انتقال سیگنال‌های صوتی به فاصله‌های دور، تبدیل آنها به امواج الکترومغناطیسی و انتشار آن از طریق آنتن می‌باشد.



شکل ۲۸- تبدیل امواج صوتی به امواج الکترومغناطیسی



با توجه به شکل زیر، پیرامون دلایلی که مانع ارسال امواج الکترومغناطیسی به فاصله‌های دور دست می‌شوند بحث و تبادل نظر نمایید.



در صورتی که بخواهیم یک سیگنال صوتی با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز را با استفاده از آنتن  $\frac{\lambda}{4}$  منتشر کنیم، طول آنتن چقدر باید باشد؟



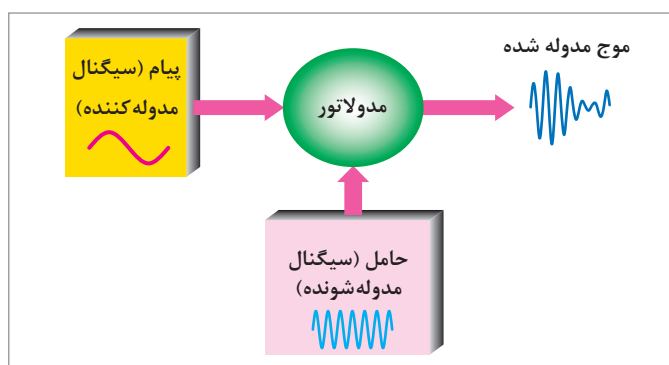




با توجه به اینکه نمی‌توان سیگنال صوتی را به‌طور مستقیم در فضا انتشار داد؛ پس برای انتقال آن چه باید کرد؟ در این مورد تحقیق کنید.

### مدولاسیون

اگر سیگنال صوتی (سیگنال پیام) را روی سیگنال دیگری که فرکانس بالایی دارد سوار کنیم، می‌توانیم آن را به صورت امواج الکترومغناطیس در فضا پخش کنیم. به این عمل در اصطلاح عمومی، مدولاسیون (Modulation) می‌گویند. سیگنال پیام را سیگنال مدوله کننده (Modulating Signal) و سیگنالی را که پیام روی آن سوار می‌شود سیگنال حامل (carrier) یا سیگنال مدوله شونده (Modulation Signal) می‌نامند. به مدار یا دستگاهی که این عمل را انجام می‌دهد مدولاتور (Modulator) می‌گویند. شکل ۲۹ نحوه انجام مدولاسیون را به صورت بلوکی نشان می‌دهد.



شکل ۲۹- بلوک دیاگرام نحوه انجام مدولاسیون



اگر صوت به صورت امواج الکترومغناطیس در فضا انتشار یابد، مسافت ۶۰۰ Km را در چه زمانی طی می‌کند؟



در صورتی که فرکانس حامل، برابر با ۱۰۰ مگاهرتز باشد، طول آنتن  $\frac{\lambda}{4}$  را به دست آورید.

در جدول صفحه بعد، مزایای استفاده از سیگنال RF به عنوان حامل، در مقایسه با انتشار مستقیم پیام آمده است.

انتشار مستقیم	انتشار با استفاده از سیگنال RF
۱- به سبب کم بودن فرکانس سیگنال صوتی، نیاز به آنتن طویل است.	۱- به سبب زیاد بودن فرکانس، طول آنتن به شدت کاهش می‌یابد.
۲- به علت تعدد فرکانس‌های صوتی و وسیع بودن محدوده فرکانس صوتی، آنتن‌های زیادی لازم است.	۲- استفاده از سیگنال RF به عنوان عامل اصلی انتشار، وابستگی طول آنتن به فرکانس‌های صوتی را از بین می‌برد.
۳- به سبب مشابه بودن باند فرکانس صوتی، نمی‌توان بیش از یک ایستگاه رادیویی در منطقه داشت.	۳- با استفاده از سیگنال‌های حامل متفاوت، می‌توان چندین ایستگاه رادیویی را در یک منطقه دایر کرد.

در صورتی که فرکانس حامل برابر با ۱۲۰۰ کیلوهرتز باشد، طول آنتن  $\frac{\lambda}{4}$  را به دست آورید.

کار در کلاس



تحقیق کنید



چند مثال دیگر برای محاسبه طول آنتن در محدوده باند فرکانس FM طراحی و حل کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

### چگونگی عمل مدولاسیون (Modulation)

در مدولاسیون، همواره شکل سیگنال ارسالی با سیگنال حامل و پیام کاملاً متفاوت است؛ به عبارت دیگر، در هنگام انجام مدولاسیون یکی از مشخصه‌های سیگنال حامل متناسب با پیام تغییر می‌کند.

#### مشخصه‌های سیگنال حامل

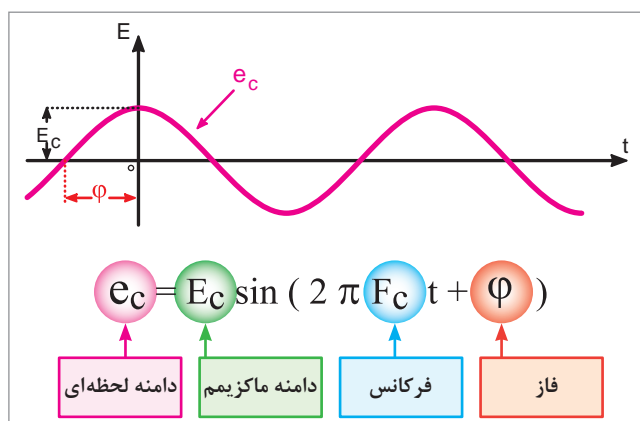
سیگنال حامل معمولاً به دو صورت مربعی یا سینوسی تولید می‌شود. در فرستنده‌های محلی معمولاً از سیگنال سینوسی به عنوان حامل استفاده می‌کنند. بنابراین، بحث ما بیشتر درباره حامل سینوسی خواهد بود. می‌دانیم که هر سیگنال سینوسی دارای سه مشخصه اصلی به شرح زیر است:

۱ دامنه (Amplitude)

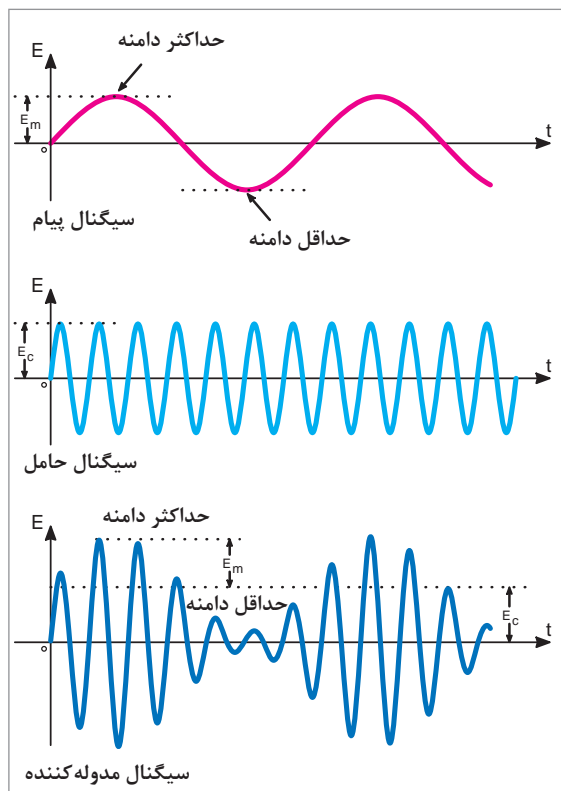
۲ فرکانس (Frequency)

۳ فاز (Phase)

در شکل ۳، سیگنال حامل را با ذکر معادله موج و مشخصه‌های اصلی آن مشاهده می‌کنید.



شکل ۳- مشخصه‌های اصلی سیگنال حامل و معادله موج



شکل ۳۱- سیگنال AM

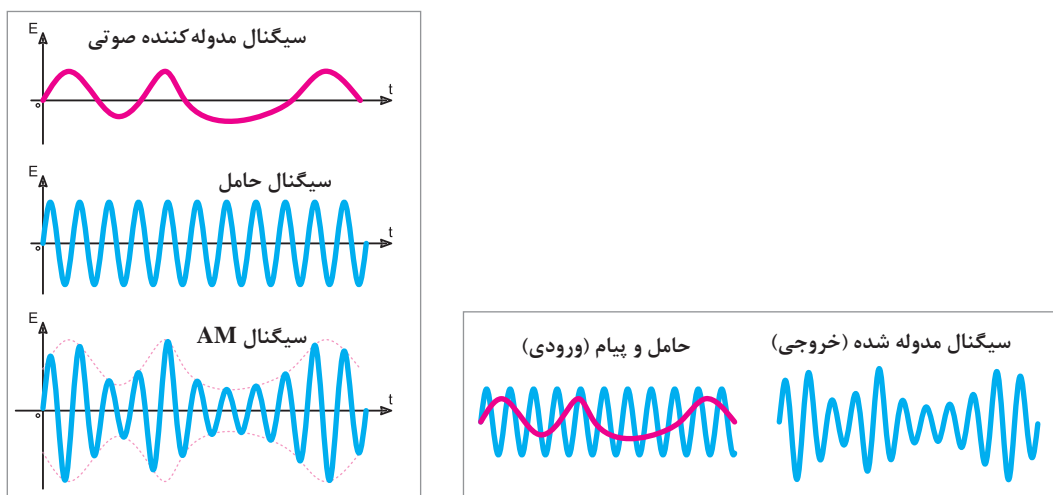
### تعریف مدولاسیون

مدولاسیون عبارت است از کنترل یکی از مشخصه‌های اصلی حامل توسط پیام، به طوری که گیرنده بتواند اطلاعات ارسال شده از قبیل صوت، موسیقی و... را مجدداً بازسازی کند. چون سیگنال حامل، یک سیگنال سینوسی با فرکانس بالاست، بنابراین می‌توان سه مشخصه دامنه، فاز و فرکانس را با سیگنال پیام، تحت کنترل درآورد و در صورت نیاز آن را بازسازی کرد. بنابراین، سه نوع مدولاسیون دامنه، فاز و فرکانس شکل می‌گیرد.

### مدولاسیون دامنه

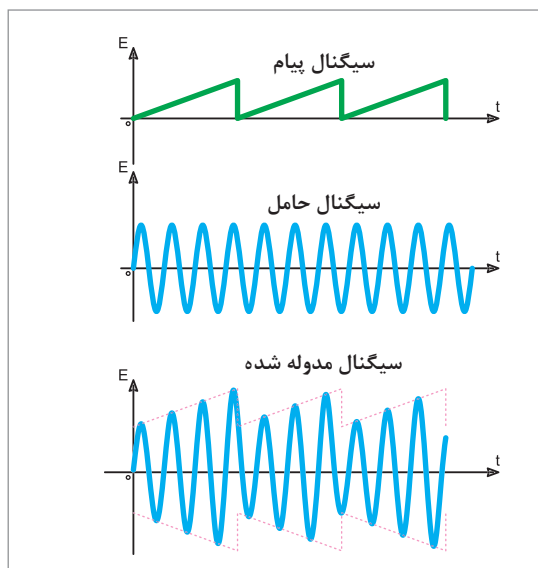
در مدولاسیون دامنه (Amplitude Modulation)، فرکانس موج حامل (و دامنه حامل متناسب با دامنه پیام) و موج مدوله کننده تغییر می‌کنند. سرعت تکرار تغییرات دامنه حامل، متناسب با فرکانس پیام خواهد بود. مدولاسیون دامنه را به اختصار به صورت AM می‌نویسند. در شکل ۳۱ سیگنال پیام سینوسی، سیگنال حامل سینوسی و سیگنال مدوله شده AM را مشاهده می‌کنید.

در شکل‌های ۳۲، دو نوع پیام غیرسینوسی و حامل سینوسی و موج مدوله شده AM مربوط به آن‌ها را مشاهده می‌کنید.

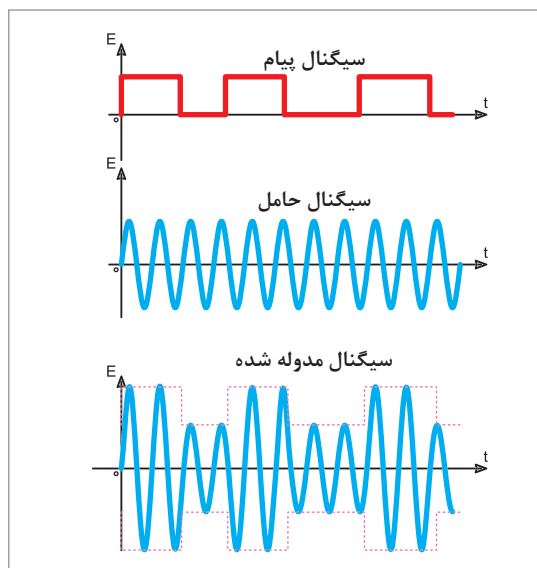


شکل ۳۲- مدولاسیون AM با سیگنال غیر سینوسی و ترکیب آنها

در شکل‌های ۳۳ و ۳۴، پیام‌های مربعی و دندانه‌اره‌ای که به صورت AM روی حامل سینوسی مدوله شده‌اند، نشان داده شده است.

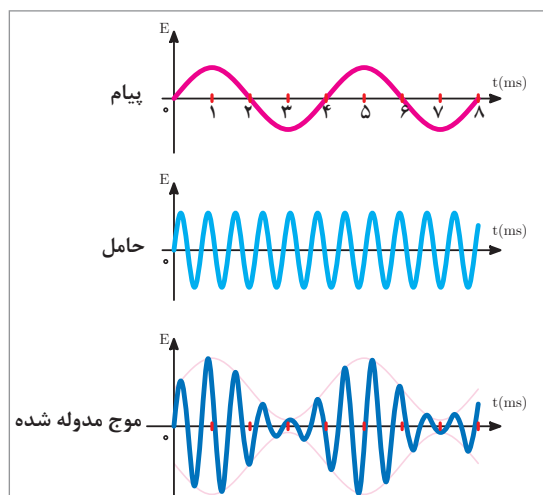


شکل ۳۴- مدولاسیون AM با سیگنال دندانه‌اره‌ای

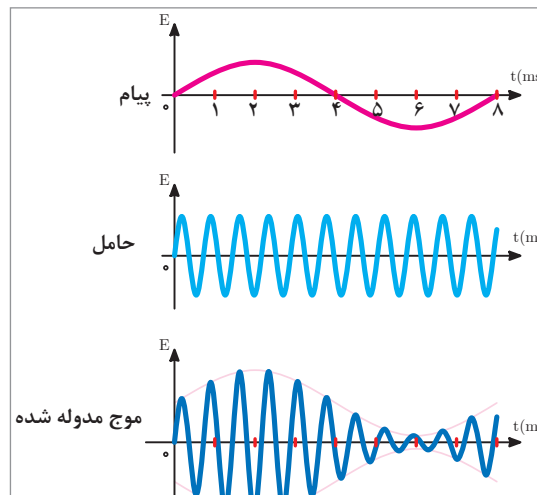


شکل ۳۳- مدولاسیون AM با سیگنال مربعی

شکل‌های ۳۵ الف و ب، نشان می‌دهند که سرعت تغییرات دامنه حامل، به فرکانس پیام بستگی دارد. شکل (الف) موج پیام را با پریود ۸ میلی ثانیه (فرکانس ۱۲۵ هرتز) نشان می‌دهد که روی حامل سینوسی به صورت AM مدوله شده است. شکل (ب) پیام را با پریود ۴ میلی ثانیه (فرکانس ۲۵۰ هرتز) نشان می‌دهد که روی حامل سینوسی به صورت AM مدوله شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود سرعت تغییرات دامنه موج حامل در شکل ۳۵ ب، دو برابر سرعت تغییرات دامنه موج حامل در شکل ۳۵ الف می‌باشد.



(ب) فرکانس پیام ۲۵۰ هرتز



(الف) فرکانس پیام ۱۲۵ هرتز

شکل ۳۵

## معادله موج AM

اگر پیام و حامل را به صورت موج سینوسی در نظر بگیریم، معادله پیام و حامل به صورت معادله های زیر است:

$$em = E_m \sin \omega_m t \quad (\text{پیام})$$

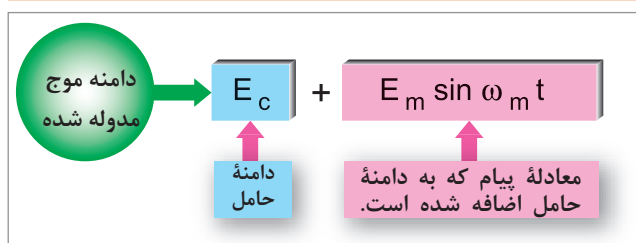
$$ec = E_c \sin \omega_c t \quad (\text{حامل})$$

فعالیت کلاسی



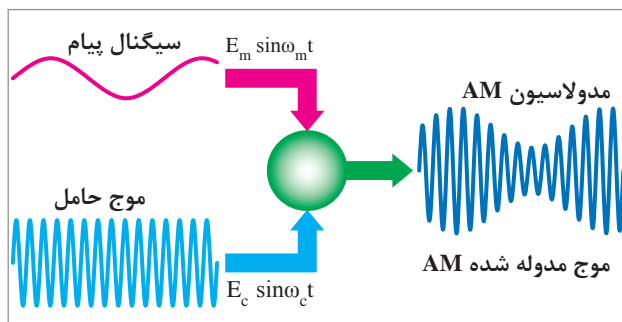
چگونگی به دست آمدن معادله موج مدوله شده زیر را بررسی کنید.

$$e_{\text{mod}} = (E_c + E_m \sin \omega_m t) \cdot \sin \omega_c t$$



در شکل ۳۶، نمودار معادله موج مدوله شده نشان داده شده است.

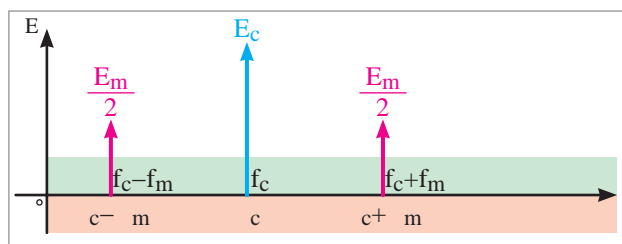
شکل ۳۶- نمودار معادله موج مدوله شده



در شکل ۳۷، سیگنال پیام، سیگنال حامل و موج مدوله شده را مشاهده می کنید.

شکل ۳۷- سیگنال های پیام، حامل و موج مدوله شده

معادله هر یک از سیگنال ها در مقابل آنها نوشته شده است. مشاهده می شود دامنه سیگنال حامل دقیقاً با پیام تغییر کرده است. به طور کلی به این نتیجه می رسیم که طیف موج مدوله شده AM با سیگنال سینوسی خالص، شامل فرکانس های حامل، مجموع فرکانس حامل و پیام و تفاضل آن دو می باشد. لذا طیف فرکانس موج AM با پیام سینوسی خالص به صورت شکل ۳۸ خواهد بود که با استفاده از دستگاه طیف نما می توان این طیف فرکانسی را مشاهده کرد.



فرکانس مجموع حامل و پیام  
 $f_e + f_m =$  (فرکانس کناری بالا)

فرکانس تفاضل حامل و پیام  
 $f_e - f_m =$  (فرکانس کناری پایین)

شکل ۳۸- طیف موج مدوله شده AM

### شاخص مدولاسیون (Modulation Index)

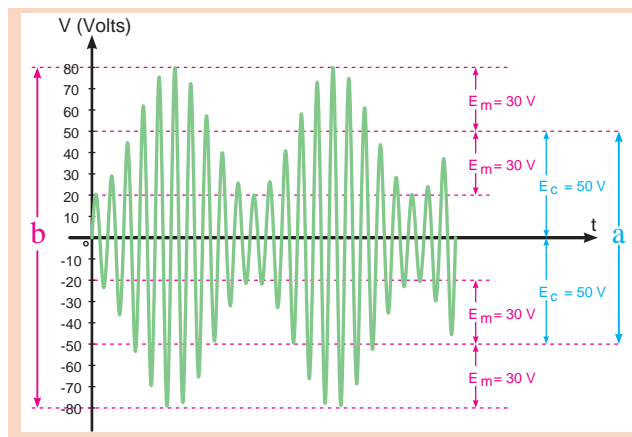
نسبت دامنه سیگنال پیام به سیگنال حامل را شاخص مدولاسیون یا ضریب مدولاسیون می نامند. اگر دامنه ماکزیمم حامل  $E_c$  و دامنه ماکزیمم پیام  $E_m$  باشد، شاخص مدولاسیون برابر است با:

$$m = \frac{E_m}{E_c} = \frac{\text{دامنه پیام}}{\text{دامنه حامل}} = \text{شاخص مدولاسیون}$$

### درصد مدولاسیون (Percent of Modulation)

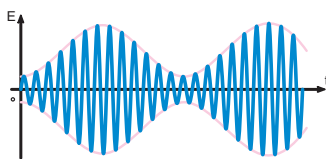
چون ضریب مدولاسیون در عمل کوچک تر از واحد انتخاب می شود، برای سادگی در محاسبات معمولاً آن را بر حسب درصد مدولاسیون بیان می کنند. درصد مدولاسیون را با  $M$  یا  $m_p$  و به شکل زیر نشان می دهند:

$$M = m_p = \frac{E_m}{E_c} \times 100$$



ضریب و درصد مدولاسیون را با توجه به شکل روبه رو به دست آورید.

کار در کلاس



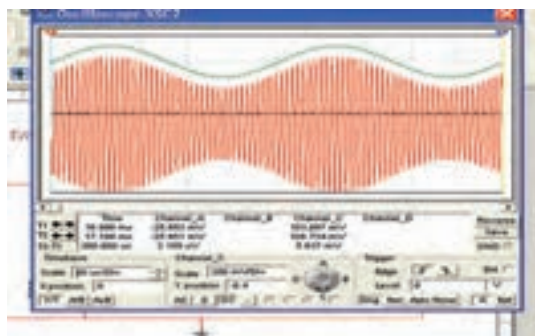
### درجه بندی مدولاسیون

در صورتی که علاوه بر سیگنال پیام، سیگنال دیگری روی موج حامل سوار شود، حالت مدولاسیون تداخلی (Inter Modulation) رخ می دهد که برای سیگنال مدوله شده اشکال به وجود می آورد. به طور کلی برای مدولاسیون سه درجه بندی به شرح زیر تعریف می شود:

#### ۱- مدولاسیون کمتر از صد درصد

(Less than Hundred percent Modulation):

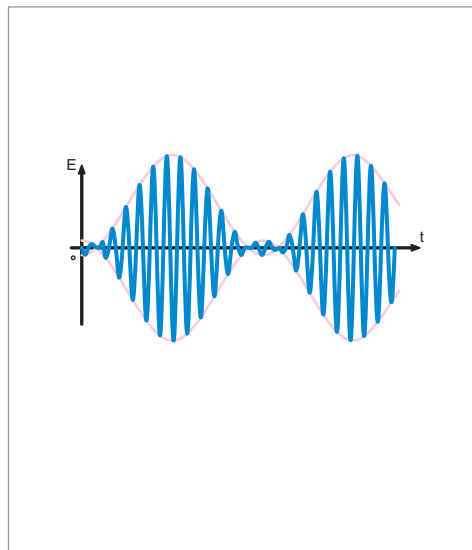
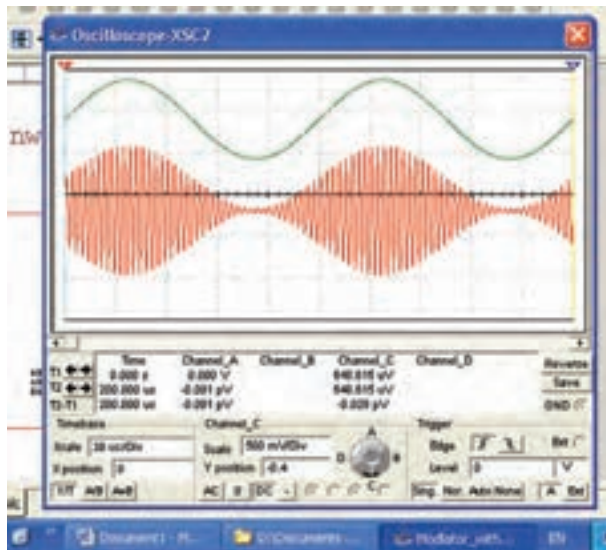
در این نوع مدولاسیون، دامنه حامل هرگز به صفر نمی رسد. به عبارت دیگر دامنه پیام کمتر از حامل است (شکل ۳۹).



شکل ۳۹- مدولاسیون کمتر از ۱۰۰٪

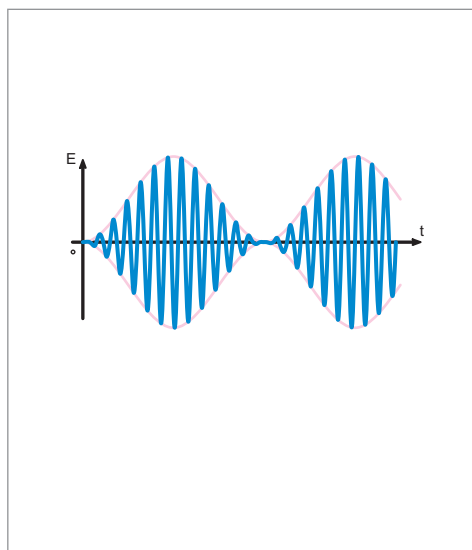
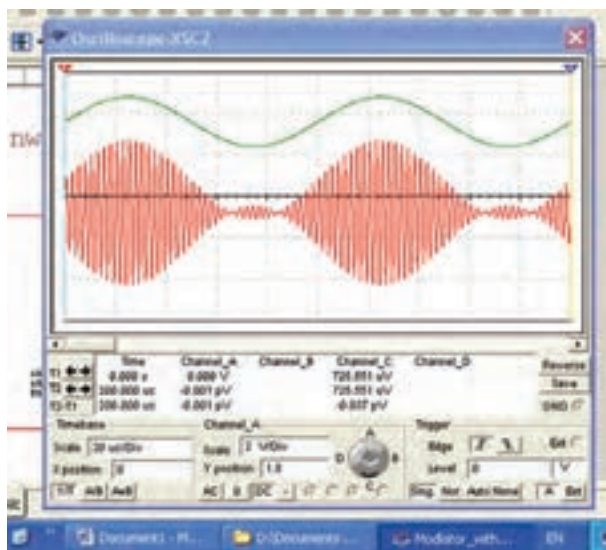
پودمان ۱: بررسی اصول مخابرات دریایی

۲- مدولاسیون صددرصد (One hundred Percent modulation): در این درجه‌بندی از مدولاسیون، دامنه سیگنال حامل در یک لحظه کوتاه به صفر می‌رسد (شکل ۴۰). این شرایط هنگامی پدید می‌آید که دامنه حامل و دامنه پیام با هم برابر باشند.



شکل ۴۰- مدولاسیون ۱۰۰٪

۳- مدولاسیون بیشتر از صددرصد (More than hundred percent modulation): در صورتی که دامنه پیام بیشتر از دامنه حامل باشد، مدولاسیون بیشتر از صددرصد حاصل خواهد شد (شکل ۴۱). این نوع مدولاسیون عملاً قابل قبول نیست، زیرا هنگام بازسازی سیگنال پیام درگیرنده، قسمتی از آن حذف می‌شود. به عبارت دیگر، در سیگنال پیام، اعوجاج یا پارازیت به وجود می‌آید.



شکل ۴۱- مدولاسیون بیشتر از ۱۰۰٪

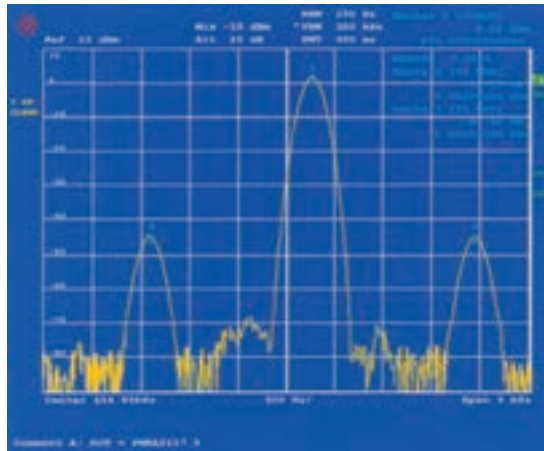


### طیف فرکانسی سیگنال AM

در صورتی که یک سیگنال AM با فرکانس حامل  $F_C$  و پیام به صورت  $\sin$  صوتی با فرکانس  $F_m$  و ضریب مدولاسیون  $m$  را به ورودی دستگاه طیف نما متصل کنیم، روی صفحه دستگاه طیف نما فرکانس هایی به شرح زیر ظاهر می شود:

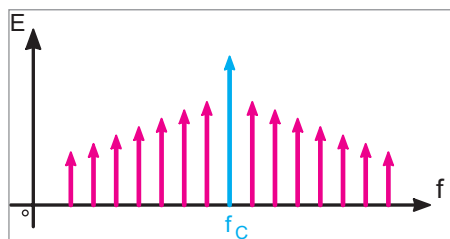
$F_C$	فرکانس حامل
$F_C + F_m$	مجموع فرکانس های حامل و پیام
$F_C - F_m$	تفاضل فرکانس های حامل و پیام

مجموع فرکانس های فوق را طیف فرکانسی سیگنال AM می نامند. در طیف فرکانسی، دامنه سیگنال حامل برابر با  $E_C$  و دامنه فرکانس های  $F_C + F_m$  و  $F_C - F_m$  هر کدام برابر با  $\frac{mE_C}{2}$  است. شکل ۴۲ طیف فرکانسی سیگنال AM را نشان می دهد.



شکل ۴۲- طیف فرکانسی AM

همان طور که مشاهده می شود، فرکانس های مجموع  $(F_C + F_m)$  و تفاضل  $(F_C - F_m)$  در دو طرف فرکانس حامل قرار دارند. فرکانس مجموع را فرکانس کناری بالا (Upper Side Frequency) USF و فرکانس تفاضل را فرکانس کناری پایین (Lower Side Frequency) LSF می نامند. در صورتی که پیام از چند سیگنال سینوسی جداگانه تشکیل شده باشد، برای هر سیگنال سینوسی، فرکانس های کناری بالا و پایین مستقلی به وجود می آید. در این حالت مجموعه ای از طیف فرکانسی پدید می آید. شکل ۴۳ مجموعه طیف فرکانسی را نشان می دهد.



شکل ۴۳- مجموعه طیف فرکانسی



یک سیگنال حامل با فرکانس ۷۵۰ کیلوهرتز توسط یک موج سینوسی خالص با فرکانس ۳ کیلوهرتز مدوله می‌شود. مقادیر فرکانس‌های موجود در طیف فرکانسی را به دست آورید. کدام فرکانس، فرکانس کناری بالا و کدام فرکانس، فرکانس کناری پایین است؟



**مثال:** سیگنال یک پیام شامل فرکانس‌های  $F_{m1}=3\text{ KHz}$ ,  $F_{m2}=1\text{ KHz}$  و  $F_{m3}=2\text{ KHz}$  است. در صورتی که این سیگنال‌ها را روی حامل  $F_c = 500\text{ KHz}$  مدوله کنیم و سیگنال مدوله شده را به دستگاه طیف نما بدهیم چه فرکانس‌هایی روی صفحه دستگاه ظاهر می‌شود؟ فرکانس‌های کناری بالا و فرکانس‌های کناری پایین کدام‌اند؟ دامنه طیف فرکانسی بستگی به چه عواملی دارد؟

$$F_1 = F_c + F_{m1} = 500 + 3 = 503\text{ KHz}$$

$$F_2 = F_c + F_{m2} = 500 + 1 = 501\text{ KHz}$$

$$F_3 = F_c - F_{m1} = 500 - 3 = 497\text{ KHz}$$

$$F_4 = F_c - F_{m2} = 500 - 1 = 499\text{ KHz}$$

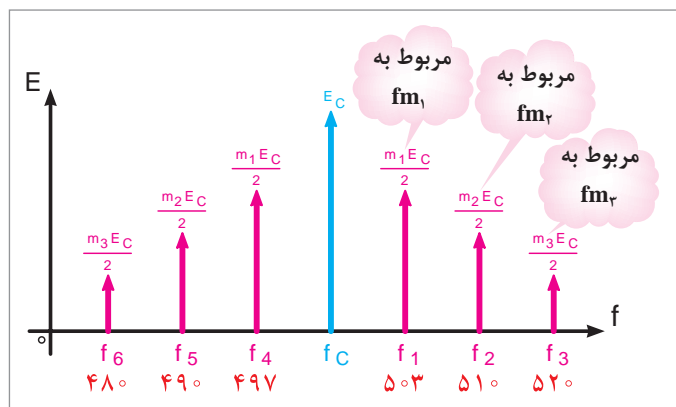
$$F_5 = F_c - F_{m3} = 500 - 2 = 498\text{ KHz}$$

$$F_6 = F_c - F_{m3} = 500 - 2 = 498\text{ KHz}$$

دامنه فرکانس‌های کنار، بستگی به ضریب مدولاسیون  $m$  و  $E_c$  دارد، طیف سیگنال مدوله شده، حاوی هفت فرکانس به شرح زیر است:

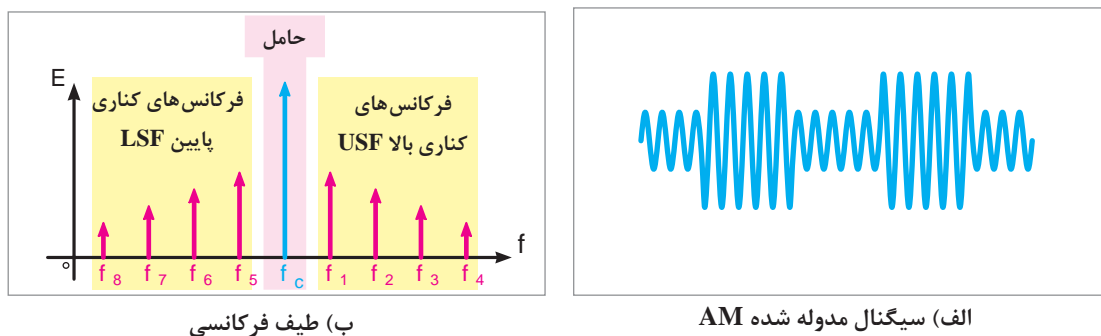
$F_c \Rightarrow$	فرکانس حامل
$F_1, F_2, F_3 \Rightarrow$	فرکانس‌های کناری بالا
$F_4, F_5, F_6 \Rightarrow$	فرکانس‌های کناری پایین

در شکل ۴۴، یک طیف فرکانسی نشان داده شده است.



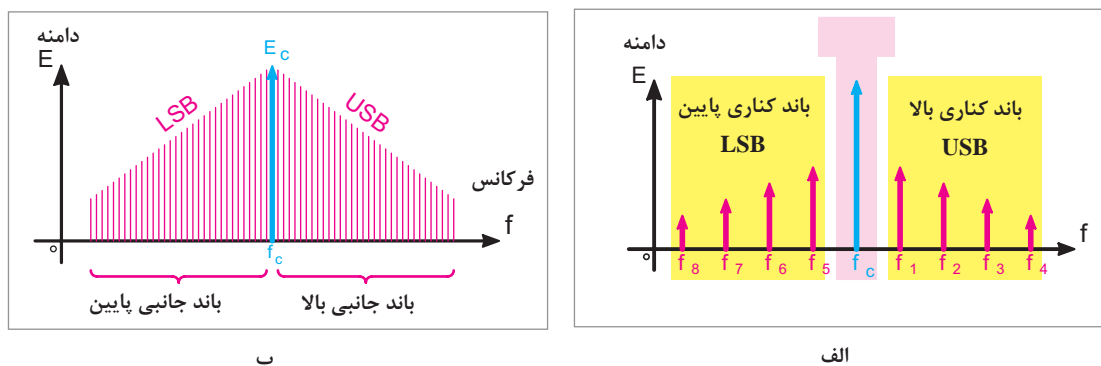
شکل ۴۴- طیف فرکانسی حاصل از سیگنال پیام مرکب

اگر سیگنال پیام، یک سیگنال غیرسینوسی مثلاً مربعی باشد، در این حالت در باندهای کناری بالا و پایین مجموعه‌هایی از طیف فرکانسی را خواهیم داشت که از ترکیب هماهنگ موج غیرسینوسی به وجود می‌آیند. در شکل ۴۵ طیف فرکانسی یک موج مدوله شده را که پیام آن یک سیگنال مربعی است، مشاهده می‌کنید.



باندهای کناری سیگنال AM: در صورتی که سیگنال مدوله کننده (پیام) از چند سیگنال سینوسی تشکیل شده باشد، در صورت انجام مدولاسیون، هریک از سیگنال‌ها به تنهایی یک طیف فرکانسی را به وجود می‌آورد. در این حالت، تعداد فرکانس‌های کناری بالا و پایین بیشتر از یک فرکانس می‌شوند و باند فرکانسی را تشکیل می‌دهند. از مجموع فرکانس‌های پیام و حامل، باند کناری بالا (USB) یا (Upper Side Band) و از تفاضل فرکانس‌های پیام و حامل، باند کناری پایین (LSB) یا (Lower Side Band) شکل می‌گیرد (شکل ۴۶- الف).

اگر تعداد فرکانس‌های پیام آنقدر زیاد شود که مؤلفه‌های فرکانس‌های کناری بالا و پایین به هم بچسبند، باند فرکانسی پیوسته تشکیل می‌شود. (شکل ۴۶- ب)



پهنای باند (Band Width) سیگنال مدوله شده: پهنای باند عبارت است از محدوده فرکانس‌هایی که در فاصله بین کمترین فرکانس کناری پایین و بیشترین فرکانس کناری بالا قرار می‌گیرد. پهنای باند از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$BW = F_{USB} - F_{LSB}$$

که در آن:

پهنای باند برحسب هرتز، کیلوهرتز یا مگاهرتز  $BW =$

بالا ترین فرکانس باند کناری بالا  $F_{USB} =$

پایین ترین فرکانس باند کناری پایین  $F_{LSB} =$

طرز به دست آوردن رابطه دیگر پهنای باند  $(BW = 2 F_m \max)$  را بررسی کنید.

فعالیت کلاسی



کار در کلاس



با توجه به رابطه  $BW = 2 F_m \max$  در می یابیم که پهنای باند ..... بیشترین فرکانس پیام است. به عبارت دیگر، در سیگنال AM پهنای باند ..... فرکانس پیام است. در فرستنده های AM تجارتی پهنای باند را ده کیلوهرتز در نظر می گیرند. بنابراین، سیگنال پیام نباید از ۵ کیلوهرتز بیشتر شود. بدین ترتیب بیشترین فرکانس پیام در فرستنده های AM برابر ..... است.

کار در کلاس

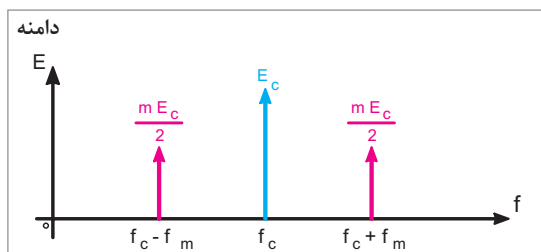


اگر فرکانس سیگنال حامل در یک فرستنده رادیویی ۱۰ مگاهرتز باشد و بخواهیم آن را با فرکانس ۵ کیلوهرتز مدوله کنیم، پهنای باند سیگنال AM ارسالی چقدر خواهد شد؟

تحقیق کنید



در سیگنال مدوله شده AM، درصد توان در سیگنال حامل و باندهای کناری به چه میزان می باشد؟



شکل ۴۷- طیف موج مدوله شده AM

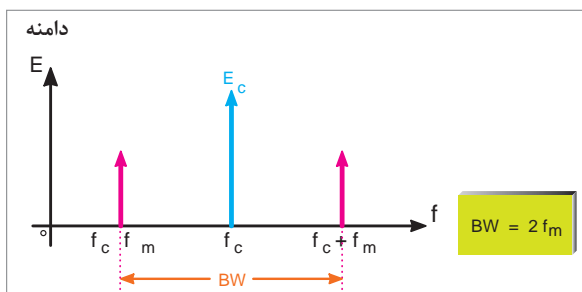
### انواع روش های ارسال در مدولاسیون AM

به طور کلی در تولید موج AM با سیگنال سینوسی خالص، فرکانس حامل و فرکانس جانبی ایجاد می شود. شکل ۴۷ طیف موج مدوله شده AM را نشان می دهد.

در صورتی که هنگام ارسال موج مدوله شده قسمت هایی از سیگنال های موجود در سیگنال AM، مثلاً فرکانس حامل حذف شود، پنج روش ارسال به شرح زیر به وجود می آید:

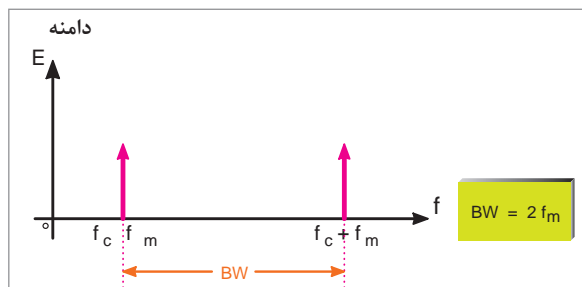
۱- ارسال مدولاسیون دامنه به صورت کامل (Amplitude Modulation – Full Carrier) AM-FC: در این روش، هر دو فرکانس جانبی بالا و پایین و سیگنال حامل ارسال می شود. این روش مدولاسیون در فرستنده

رادیویی تجارتي به کار می‌رود. پهنای باند در این روش  $2F_m$  است. شکل ۴۸، فرکانس حامل و فرکانس‌های جانبی بالا و پایین و پهنای باند را در روش ارسال به صورت DSBFC نشان می‌دهد.



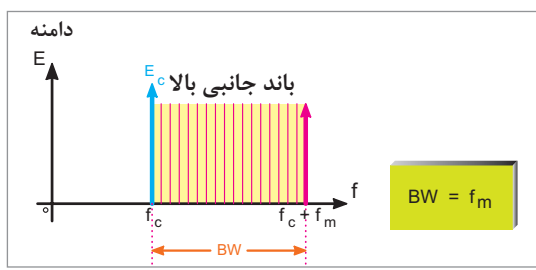
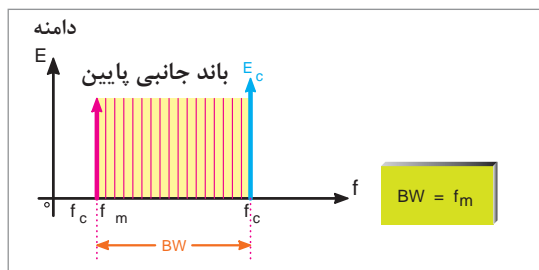
شکل ۴۸- طیف موج مدوله شده به روش AM-FC

۲- ارسال مدولاسیون دامنه به روش دو باند کناری AM-SC یا DSB با حذف سیگنال حامل (Amplitude Modulation-Suppressed Carrier Double side Band): در این روش فقط باندهای کناری بالا و پایین ارسال می‌گردد و سیگنال حامل حذف می‌شود. پهنای باند در این روش نیز برابر با  $2F_m$  است. شکل ۴۹ طیف فرکانس در این روش را نشان می‌دهد.



شکل ۴۹- طیف موج مدوله شده به روش DSB

۳- ارسال مدولاسیون دامنه به روش یک باند کناری SSB (Single Side Band): چون در هر یک از باندهای جانبی بالا و پایین کلیه اطلاعات وجود دارند، برای صرفه جویی در توان، افزایش راندمان و کاهش پهنای باند می‌توان فقط یکی از باندهای جانبی و حامل را ارسال نمود. این روش ارسال مدولاسیون را به اختصار SSB می‌نامند. شکل‌های ۵۰ و ۵۱ یکی از باندهای جانبی را در روش ارسال مدولاسیون به صورت SSB نشان می‌دهد.

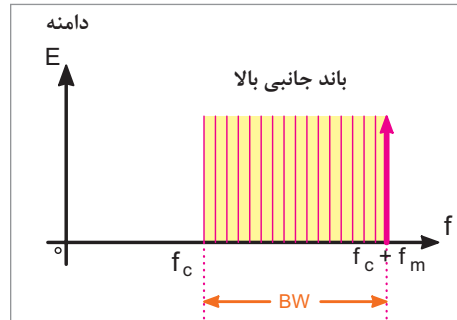


شکل ۵۰- باند جانبی بالا به روش SSB در طیف موج مدوله شده شکل ۵۱- باند جانبی پایین در طیف موج مدوله شده به روش SSB

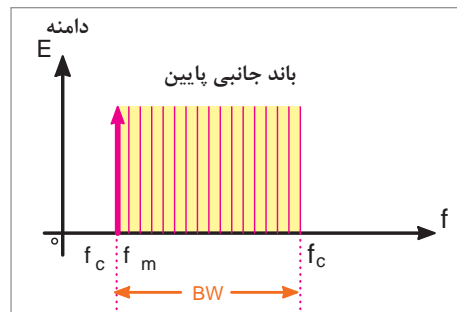
$$BW = F_m$$

در مدولاسیون SSB پهنای باند موج مدوله شده برابر با  $F_m$  است.

۴- ارسال مدولاسیون AM با باند کناری مستقل (Independent – Side Band) ISB: در این روش ارسال مدولاسیون، فقط یکی از باندهای جانبی بالا یا پایین را ارسال می‌نمایند و سیگنال حامل را حذف می‌کنند. شکل‌های ۵۲ و ۵۳ طیف این روش ارسال را نشان می‌دهند. پهنای باند در این روش نیز برابر است.

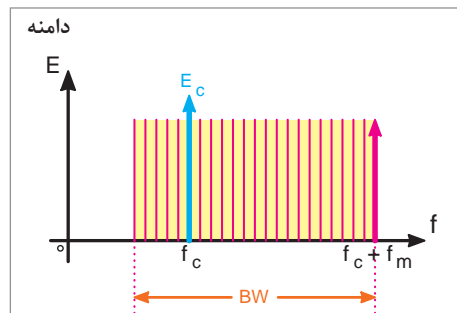


شکل ۵۲- باند جانبی بالا بدون حامل



شکل ۵۳- باند جانبی پایین بدون حامل

۵- ارسال مدولاسیون AM به روش (Vestigial – Side Band) VSB: در این روش ارسال، تمام باند جانبی بالا و قسمتی از باند جانبی پایین را ارسال می‌کنند. شکل ۵۴ طیف موج مدوله شده به صورت VSB را نشان می‌دهد.



شکل ۵۴- طیف موج مدوله شده به روش VSB

از این روش ارسال مدولاسیون، در ارسال تصاویر تلویزیونی استفاده می‌شود. پهنای باند در این روش، اندکی بیشتر از  $F_m$  است.



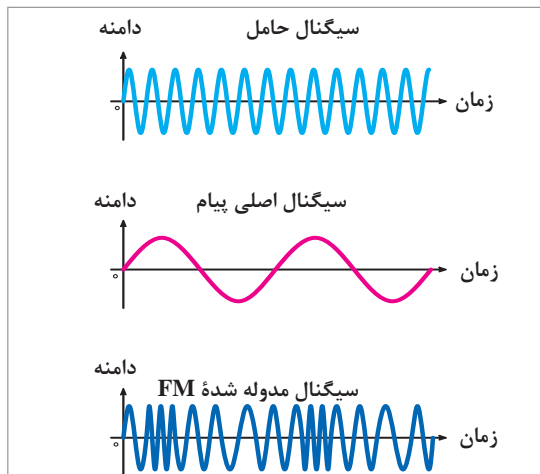
جدول زیر را کامل کنید:

نوع مدولاسیون AM	طیف موج مدوله شده	پهنای باند BW	کاربرد
		$2f_m$	فرستنده‌های رادیویی محلی
		$2f_m$	در مواردی که برای تولید انرژی در فرستنده، محدودیت وجود دارد؛ مانند بی سیم پلیس.
		$f_m$	در مواردی که محدودیت پهنای باند وجود دارد. مانند ارتباطات ناوبری دریایی، رادیو آماتوری و نظامی
		$f_m$	در مواردی که در توان و پهنای باند، محدودیت وجود دارد؛ مانند مخابرات نقطه به نقطه و رادیوی تلفنی.
		اندکی بیشتر از $f_m$	در فرستنده تلویزیونی

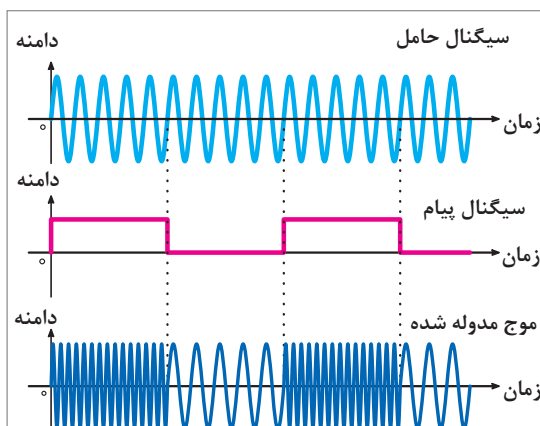
### مدولاسیون فرکانس (Frequency Modulation)

در صورتی که فرکانس سیگنال حامل، متناسب با تغییرات دامنه پیام تغییر کند، مدولاسیون فرکانس ایجاد می‌شود. در این حالت سرعت تکرار تغییرات فرکانس موج حامل متناسب با فرکانس پیام خواهد بود و مدولاسیون فرکانس را با FM نشان می‌دهند. در شکل ۵۵ مدولاسیون FM با پیام سینوسی نشان داده شده

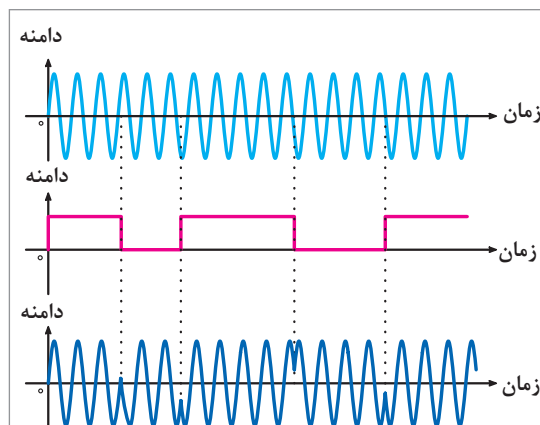




شکل ۵۵- سیگنال مدوله شده FM با پیام سینوسی



شکل ۵۶- سیگنال مدوله شده FM با پیام مربعی



شکل ۵۷- مدولاسیون فاز

است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، هنگامی که دامنهٔ پیام صفر است، فرکانس موج مدوله شده برابر با موج حامل می‌شود. با افزایش دامنهٔ سیگنال پیام، فرکانس حامل افزایش می‌یابد (فشرده می‌شود) و با کاهش دامنهٔ پیام، فرکانس حامل کم می‌شود.

شکل ۵۶، پیام مربعی را که روی سیگنال حامل سینوسی که به صورت FM مدوله شده است، نشان می‌دهد.

### مدولاسیون فاز (Phase Modulation)

اگر فاز سیگنال حامل، متناسب با دامنهٔ سیگنال پیام تغییر کند مدولاسیون فاز به وجود می‌آید. در این حالت، سرعت تکرار تغییرات فاز برابر با فرکانس پیام خواهد بود. مدولاسیون فاز از پاره‌ای جهات مشابه مدولاسیون FM است. شکل ۵۷، مدولاسیون فاز (PM) را نشان می‌دهد.

### مدولاسیون‌های پالس و دیجیتال (Pulse and Digital Modulation)

در روش‌های جدید مدولاسیون، از مدولاسیون پالس و مدولاسیون دیجیتال استفاده می‌شود. در این نوع مدولاسیون‌ها، سیگنال‌های آنالوگ پیام به نوعی از سیگنال‌های پالسی یا دیجیتالی که منشأ آن موج‌های حامل یا کریر است تبدیل می‌شود. این نوع مدولاسیون‌ها انواع متنوع و گسترده‌ای دارند که در این قسمت به تشریح اختصاری و اجمالی آنها می‌پردازیم.

اگر سیگنال کریر (حامل) به صورت پالس (منفصل) باشد، در این صورت، مدولاسیون‌های پالسی شکل می‌گیرند مدولاسیون‌های پالسی به دو دسته تقسیم می‌شوند.

**الف) مدولاسیون‌های منفصل:** این نوع مدولاسیون‌ها به صورت PAM، PPM و PWM (PDM) هستند که کاربردهای مخابراتی و صنعتی دارند. از کاربردهای مخابراتی می‌توان کاربرد PPM را در اندازه‌گیری‌های رادار نام برد. از کاربردهای صنعتی این نوع مدولاسیون می‌توان کنترل دور و سرعت موتور را با روش‌های PWM نام برد.

تحقیق کنید

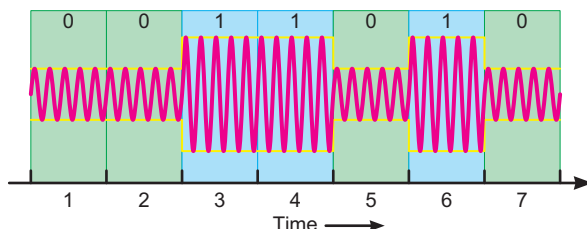


در مورد مدولاسیون پالسی کد شده PCM تحقیق کنید و نتیجه را به صورت پرده‌نگار در کلاس به نمایش درآورید.

**ب) مدولاسیون‌های دیجیتال:** این نوع مدولاسیون بسیار متداول است؛ مثلاً برای ارسال علائم صفر و یک منطقی (PCM) به منظور کاهش پهنای باند بهتر است از سیگنال سینوسی استفاده کنیم. در ادامه به شرح این نوع مدولاسیون‌ها (ASK، PSK و FSK) می‌پردازیم. سیگنال مورد استفاده در این نوع مدولاسیون‌ها را سیگنال حامل اولیه می‌نامند.

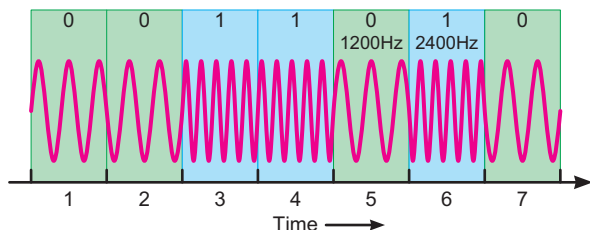
### مدولاسیون ASK (Amplitude Shift Keying)

در مدولاسیون ASK برای نمایش صفر یا یک باینری، دامنه سیگنال حامل تغییر می‌کند و فرکانس و فاز حامل ثابت می‌مانند. مقدار دامنه کاریر در مقادیر صفر و یک باینری به عهده طراحان سیستم است. شکل ۵۸، یک نمونه سیگنال مدوله شده ASK را نشان می‌دهد. ASK بسیار نویزپذیر است؛ زیرا نویز می‌تواند روی دامنه قرار گیرد و ۰ را به ۱ و ۱ را به ۰ تبدیل کند.



شکل ۵۸- مدولاسیون ASK

### مدولاسیون FSK (Frequency Shift Keying)

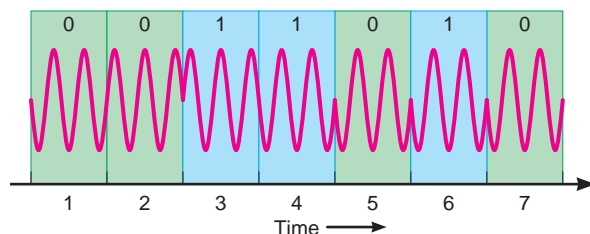


شکل ۵۹- مدولاسیون FSK

در مدولاسیون FSK برای نمایش صفر یا یک باینری، فرکانس سیگنال حامل تغییر داده می‌شود و دامنه و فاز حامل ثابت باقی می‌ماند. فرکانس حامل در فاصله زمانی هر بیت مقدار ثابتی است. شکل ۵۹ مدولاسیون FSK را نشان می‌دهد. FSK نسبت به نویز مقاوم‌تر از ASK است.

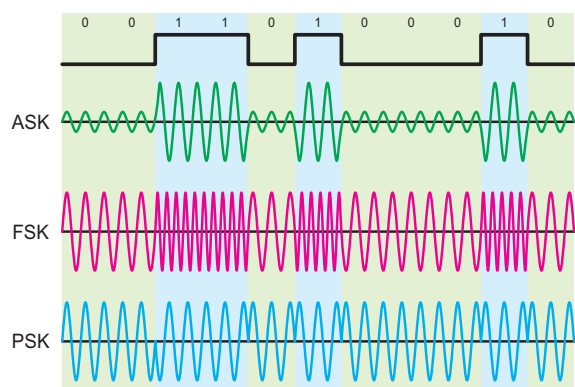
### مدولاسیون PSK (Phase Shift Keying)

بیت	اختلاف فاز
1	$0^\circ$
0	$180^\circ$



شکل ۶۰- مدولاسیون PSK

در مدولاسیون PSK فاز سیگنال سینوسی را برای نمایش باینری صفر و یک تغییر می‌دهند. در این حالت دامنه و فرکانس حامل ثابت است. به عنوان مثال اگر برای نمایش عدد باینری (۱)، سیگنال حامل با فاز صفر درجه شروع شود، می‌توان فاز سیگنال حامل را  $180^\circ$  درجه تغییر داد تا عدد باینری (۰) را ارسال نمود. فاز سیگنال حامل در طول هر بیت باینری ثابت است. در شکل ۶۰ مدولاسیون PSK برای یک نمونه سیگنال دیجیتالی رسم شده است.



شکل ۶۱- سیگنال دیجیتالی و سه نوع مدولاسیون ASK، FSK و PSK

در شکل ۶۱، یک نمونه سیگنال دیجیتالی و سه نوع مدولاسیون ASK، FSK و PSK حاصل از آن را مشاهده می‌کنید.

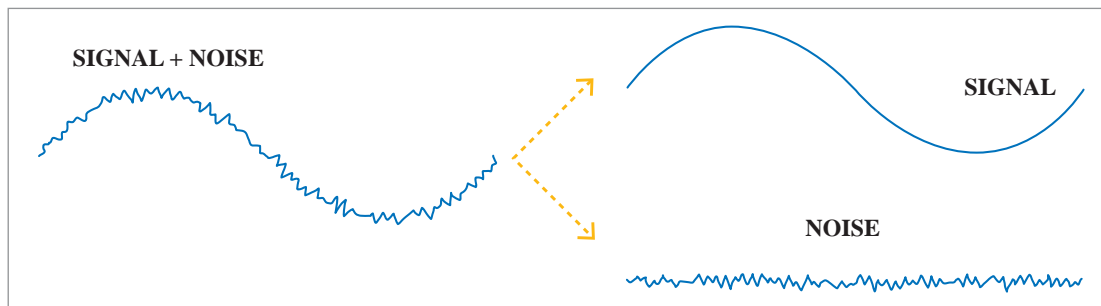
در مورد سایر انواع مدولاسیون پالس تحقیق کرده و نتیجه را در کلاس ارائه نمایید.

تحقیق کنید



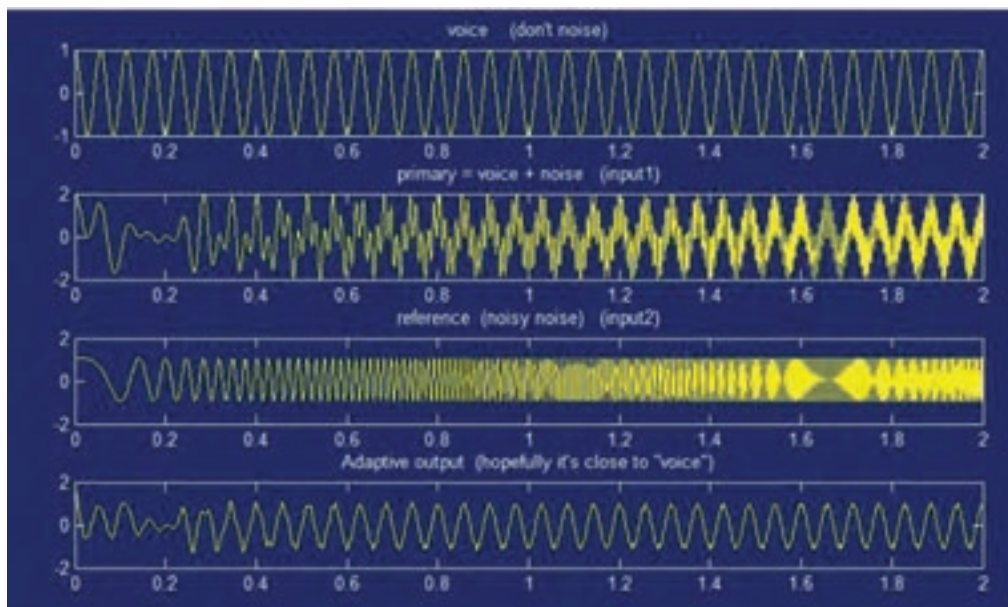
## نویز و منابع آن

به طور کلی یکی از منابع ایجاد اختلال در سیستم‌های مخابراتی، نویز است. نویز ممکن است از منابع مختلفی تولید شود. بعضی از این منابع طبیعی و بعضی مصنوعی هستند. نویز حاصل از رعد و برق نویز طبیعی و نویز ناشی از سیستم‌های جرقه زنی در اتومبیل و موتورهای الکتریکی نویز مصنوعی است. (شکل ۶۲).



شکل ۶۲- نویز و منابع آن

نسبت سیگنال به نویز: نسبت توان سیگنال مورد نظر به توان نویز را  $\text{Signal to Noise Ratio (SNR)}$  گویند و به صورت  $S/N$  نشان می‌دهند. هر قدر نسبت  $S/N$  بیشتر باشد، سیستم مخابراتی از نظر تأثیر نویز مقاوم‌تر است. لذا  $S/N$  یک شاخص مهم برای سیستم‌های مخابراتی محسوب می‌شود. برای کاهش نویز در طبقات تقویت‌کننده، از فیلتر استفاده می‌شود. این فیلترها را حذف‌کننده نویز یا noise canceller می‌گویند (شکل ۶۳).



شکل ۶۳- حذف‌کننده‌های نویز



ولتاژ خروجی یک تقویت کننده RF برابر ۵/۰ ولت و دامنه نویز خروجی آن ده میلی ولت است. اگر مقاومت بار خروجی برابر  $R_L$  باشد، نسبت سیگنال به نویز را محاسبه کنید.

$$\frac{S}{N} = \frac{(V_S)^2 / R_L}{(V_n)^2 / R_L} = \frac{V_S^2}{V_n^2}$$

$$\frac{S}{N} = \frac{0.25}{(10 \times 10^{-3})^2}$$

$$\rightarrow \frac{S}{N} = 2500$$

### ضریب تقویت یا گین (GAIN)

نسبت ولتاژ، جریان یا توان خروجی به ولتاژ، جریان یا توان ورودی را در تقویت کننده‌ها ضریب تقویت یا گین ولتاژ، جریان یا توان می‌نامند. در زیر رابطه ضریب تقویت ولتاژ، جریان و توان، نشان داده شده است.

$$G_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_r}{V_l}$$

$$G_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_r}{I_l}$$

$$G_P = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_r}{P_l}$$

ضریب بهره تقویت کننده چند طبقه: در تقویت کننده‌های زنجیره‌ای، ضریب بهره از حاصل ضرب گین طبقات در یکدیگر به دست می‌آید. در زیر رابطه ضریب تقویت ولتاژ، ضریب تقویت جریان و ضریب تقویت توان آمده است. در این روابط،  $G_{VT}$  (Gain Voltage total) ضریب بهره ولتاژ کل،  $G_{IT}$  (Gain Intensity total) ضریب بهره جریان کل و  $G_{PT}$  (Gain Power total) ضریب بهره توان کل است.

$$G_{VT} = G_{V1} \cdot G_{V2} \cdot G_{V3} \cdot \dots \cdot G_{VN}$$

$$G_{IT} = G_{I1} \cdot G_{I2} \cdot G_{I3} \cdot \dots \cdot G_{IN}$$

$$G_{PT} = G_{P1} \cdot G_{P2} \cdot G_{P3} \cdot \dots \cdot G_{PN}$$



یک تقویت کننده سه طبقه، دارای ضریب تقویت توان  $G_{P1}=100$ ،  $G_{P2}=50$  و  $G_{P3}=10$  است. گین توان کلی سیستم چقدر است؟

$$G_{PT} = G_{P1} \cdot G_{P2} \cdot G_{P3}$$

$$G_T = 100 \times 50 \times 10$$

$$G_T = 50000$$

مشاهده می‌شود که عدد به دست آمده، عدد نسبتاً بزرگی است.

**افت توان (Power Loss):** در خطوط انتقال، خطوط تلفنی و مواردی از این قبیل، هنگامی که انرژی از نقطه‌ای به نقطه دیگر انتقال می‌یابد، به دلیل عواملی مانند مقاومت‌های موجود در خط انتقال، مقداری از توان کاهش می‌یابد. این کاهش توان را افت توان Power Loss می‌نامند.

در این شرایط، در صورتی که تقویت کننده‌ای در مسیر نباشد عملاً هیچ‌گونه تقویتی در مسیر انتقال صورت نمی‌گیرد و سیگنال، تضعیف (Attenuation) می‌شود.

**ضریب تضعیف (Attenuation Factor):** اگر توان خروجی از توان ورودی کمتر باشد، نسبت توان ورودی به خروجی، ضریب تضعیف نامیده می‌شود. ضریب تضعیف برای فیلترها، خطوط انتقال و... مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ مثلاً اگر ضریب تضعیف ولتاژ مداری برابر ۱۰۰۰ باشد معنی آن این است که ولتاژ خروجی مدار به اندازه ۱۰۰۰ برابر تضعیف شده است. به عبارت دیگر ولتاژ خروجی  $\frac{1}{1000}$  ولتاژ ورودی است.

نشان دادن ضریب تقویت و ضریب تضعیف، با توجه به اینکه اعداد بزرگی هستند مشکلاتی را در محاسبات

مثال



در صورتی که توان صوتی تولید شده در یک خط تلفنی برابر با ۰/۰۰۰۱ وات باشد و در صورت انتقال این توان به فاصله ۱۶ کیلومتری، مقدار آن به ۰/۰۰۰۰۰۱ وات کاهش یابد، ضریب تضعیف مدار را به دست آورید.

$$\text{ضریب تضعیف} = \frac{\text{توان ابتدای خط}}{\text{توان انتهای خط}}$$

$$\text{ضریب تضعیف} = \frac{0/0001}{0/000001}$$

یعنی توان در انتهای خط به نسبت ۱۰۰ برابر کاهش یافته است.  $\text{ضریب تضعیف} = 100$

به وجود می‌آورند. برای غلبه بر این مشکلات از واحدهای دیگری از قبیل بل (Bell) و دسی بل (decibel) استفاده می‌کنند.

کار در کلاس



اگر توان صوت در ابتدای یک خط تلفنی به طول ۱۰ کیلومتر برابر با ۲۰ میلی‌وات و در انتهای خط ۰/۰۰۰۲ وات باشد، ضریب تضعیف خط کدام است؟

## ارزشیابی

- ۱ اصطلاحات Transmitter و Message، Channel، VMS و SMS، MMS را معنی کنید و برای هر یک مثالی بزنید؟
- ۲ محدوده فرکانس های صوتی چقدر است؟
- ۳ نمودارهای روی دستگاه طیف نما چه پارامترهایی را نشان می دهد؟
- ۴ محدوده فرکانسی گویش و شنوایی انسان چقدر است؟
- ۵ خطوط انتقال نامتعادل و متعادل را توضیح دهید.
- ۶ مزایای استفاده از فیبر نوری را بنویسید؟
- ۷ مشخصه های مهم آنتن را بررسی کنید؟
- ۸ آنتن های بشقابی در چه فرکانس هایی کار می کنند؟
- ۹ ساختمان آنتن سهموی (بشقابی) را رسم کنید و اجزای آن را نام ببرید.
- ۱۰ امواج FM دارای چه پخشی هستند؟
- ۱۱ برای کمترین و بیشترین فرکانس صوتی (AF) طول موج را محاسبه کنید.
- ۱۲ طول موج صوت با سرعت  $340 \text{ m/sec}$  و فرکانس  $8/5 \text{ KHZ}$  چند سانتی متر است؟
- ۱۳ اگر صوت به صورت امواج الکترومغناطیس در فضا انتشار یابد، مسافت  $600 \text{ km}$  را در چه مدتی طی می کند؟
- ۱۴ در صورتی که فرکانس تن صوتی برابر با  $3$  کیلوهرتز باشد طول آنتن  $\frac{\lambda}{4}$  برای انتشار آن چقدر است؟
- ۱۵ چند مثال دیگر برای محاسبه طول آنتن در محدوده باند فرکانس FM طراحی و حل کنید.
- ۱۶ به چه دلیل از مدولاسیون بیشتر از  $100\%$  نمی توان استفاده کرد؟
- ۱۷ در صورتی که  $F_C = 600 \text{ KH}$ ،  $E_C = 10 \text{ V}$ ،  $m = 0/3$  باشد، مقدار دامنه فرکانس های کناری بالا و پایین، در صورتی که  $F_m = 2 \text{ KHz}$  باشد، برابر با چند کیلوهرتز است؟
- ۱۸ پهنای باند روش های مختلف مدولاسیون AM را با هم مقایسه کنید.
- ۱۹ در فاصله  $600$  کیلوهرتز تا  $1800$  کیلوهرتز چند ایستگاه رادیویی می توان جای داد؟ (بدون باند محافظ)
- ۲۰ اگر توان صوتی در ابتدای خط تلفنی برابر با  $20$  میلی وات و در انتهای خط به طول  $10 \text{ Km}$  برابر  $0/002$  وات باشد ضریب تضعیف خط کدام است؟



### جدول ارزشیابی پودمان بررسی اصول مخابرات دریایی

عنوان پودمان (فصل)	تکالیف عملکردی (شایستگی ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص ها، داوری، نمره دهی)	نمره
بررسی اصول مخابرات دریایی	شناسایی اجزای سیستم های مخابراتی	بررسی مبانی مخابراتی و کاربرد آنها در آنتن ها و عملکرد انواع مدولاسیون ها	بالاتر از حد انتظار	۱- اجزای یک سیستم مخابراتی را تجزیه و تحلیل نماید. ۲- انواع آنتن های مخابراتی را تجزیه و تحلیل نماید. ۳- نحوه انجام مدولاسیون و انواع آنها را به طور عمومی و کلی تجزیه و تحلیل نماید. ■ هنرجو، توانایی بررسی همه شاخص های بالا را داشته باشد.	۳
	عملکرد سیستم های مخابراتی			۱- اجزای یک سیستم مخابراتی را تجزیه و تحلیل نماید. ۲- انواع آنتن های مخابراتی را تجزیه و تحلیل نماید. ۳- نحوه انجام مدولاسیون و انواع آنها را به طور عمومی و کلی تجزیه و تحلیل نماید. ■ هنرجو، توانایی بررسی دو مورد از شاخص های بالا را داشته باشد.	۲
				۱- اجزای یک سیستم مخابراتی را تجزیه و تحلیل نماید. ۲- انواع آنتن های مخابراتی را تجزیه و تحلیل نماید. ۳- نحوه انجام مدولاسیون و انواع آنها را به طور عمومی و کلی تجزیه و تحلیل نماید. ■ هنرجو، توانایی بررسی یک مورد از شاخص های بالا را داشته باشد.	۱
نمره مستمر از ۵					
نمره شایستگی پودمان از ۳					
نمره پودمان از ۲۰					

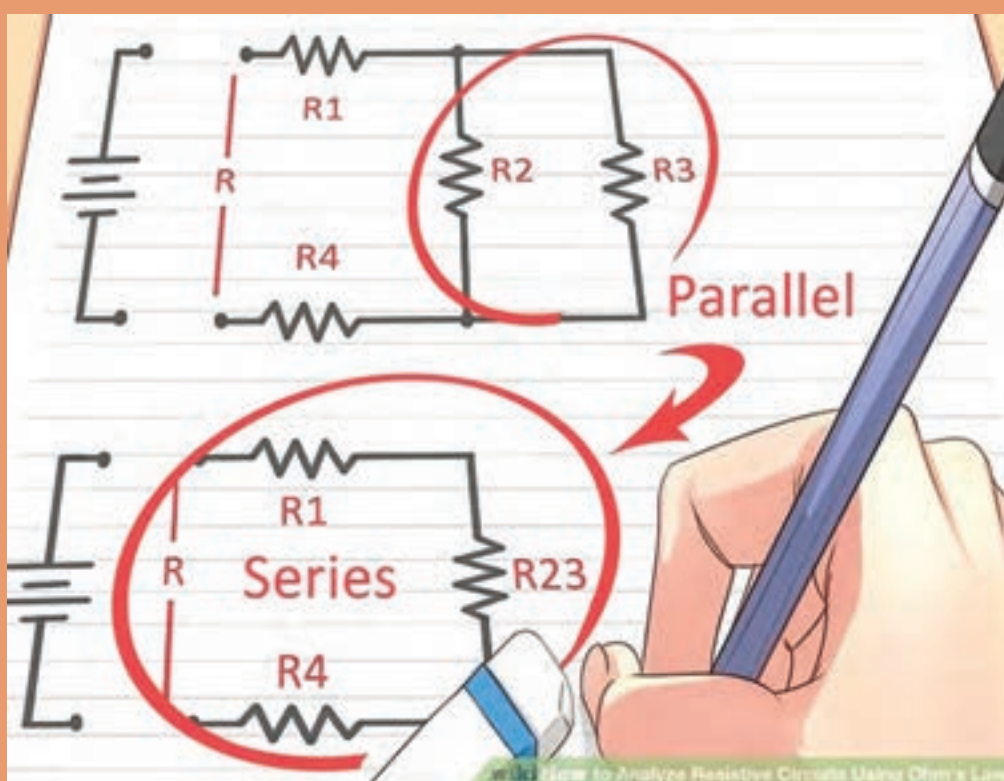
## ارزشیابی شایستگی بررسی اصول مخابرات دریایی

<p><b>۱- شرح کار:</b></p> <p>اجزای یک سیستم مخابراتی را بررسی نماید.</p> <p>انواع آنتن‌های مخابراتی را بررسی نماید.</p> <p>نحوه انجام مدولاسیون را بررسی نماید.</p> <p>انواع مدولاسیون‌ها را تجزیه و تحلیل نماید.</p> <p><b>۲- استاندارد عملکرد</b></p> <p>بررسی و تجزیه و تحلیل کردن اصول مخابرات دریایی.</p> <p><b>۳- شاخص‌ها</b></p> <p>تشریح کامل از مدارهای مخابراتی</p>																															
<p><b>۴- شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات</b></p> <p>شرایط: کلاس مناسب همراه با پرده‌نگار باشد.</p> <p><b>ابزار و تجهیزات</b></p>																															
<p><b>۵- معیار شایستگی:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ردیف</th><th>مرحله کار</th><th>حداقل نمره قبولی از ۳</th><th>نمره هنرجو</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>۱</td><td>اجزای یک سیستم مخابراتی را تجزیه و تحلیل نماید.</td><td>۲</td><td></td></tr> <tr> <td>۲</td><td>انواع آنتن‌های مخابراتی را تجزیه و تحلیل نماید.</td><td>۱</td><td></td></tr> <tr> <td>۳</td><td>نحوه انجام مدولاسیون را بررسی نماید.</td><td>۲</td><td></td></tr> <tr> <td>۴</td><td>انواع مدولاسیون‌ها را بررسی نماید.</td><td>۱</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="2"> <b>شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشتی و توجهات زیست‌محیطی:</b> <p>۱- رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها؛</p> <p>۲- دقت و تمرکز در اجرای کار؛</p> <p>۳- شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر؛</p> <p>۴- اخلاق حرفه‌ای.</p> </td><td>۲</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="2"> <b>میانگین نمرات</b> </td><td></td><td>*</td></tr> </tbody> </table> <p>* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.</p>				ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو	۱	اجزای یک سیستم مخابراتی را تجزیه و تحلیل نماید.	۲		۲	انواع آنتن‌های مخابراتی را تجزیه و تحلیل نماید.	۱		۳	نحوه انجام مدولاسیون را بررسی نماید.	۲		۴	انواع مدولاسیون‌ها را بررسی نماید.	۱		<b>شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشتی و توجهات زیست‌محیطی:</b> <p>۱- رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها؛</p> <p>۲- دقت و تمرکز در اجرای کار؛</p> <p>۳- شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر؛</p> <p>۴- اخلاق حرفه‌ای.</p>		۲		<b>میانگین نمرات</b>			*
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو																												
۱	اجزای یک سیستم مخابراتی را تجزیه و تحلیل نماید.	۲																													
۲	انواع آنتن‌های مخابراتی را تجزیه و تحلیل نماید.	۱																													
۳	نحوه انجام مدولاسیون را بررسی نماید.	۲																													
۴	انواع مدولاسیون‌ها را بررسی نماید.	۱																													
<b>شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشتی و توجهات زیست‌محیطی:</b> <p>۱- رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها؛</p> <p>۲- دقت و تمرکز در اجرای کار؛</p> <p>۳- شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر؛</p> <p>۴- اخلاق حرفه‌ای.</p>		۲																													
<b>میانگین نمرات</b>			*																												



## پودمان ۲

### تحلیل مدارهای الکتریکی



## تحلیل مدارهای الکتریکی

### آیا تا کنون پی برده‌اید

- طبق قانون اهم چه رابطه‌ای بین مقاومت و ولتاژ وجود دارد؟
- مدارهای سری و موازی مقاومت‌ها چه مشخصاتی دارند؟
- قوانین کیرشهف در مدارهای الکتریکی چه کاربردی دارند؟
- عناصر فعال و غیرفعال در مدارهای الکتریکی چه نقشی دارند؟
- مدارهای جریان مستقیم با چه روش‌هایی تحلیل می‌شوند؟
- منابع ولتاژ و جریان به چه صورت به یکدیگر تبدیل می‌شوند؟
- معادل تونن و نورتن مدارهای جریان مستقیم چگونه به دست می‌آید؟

### استاندارد عملکرد

در پایان این پودمان، هنرجو با چگونگی کاربرد قوانین اهم، ولتاژ و جریان‌های کیرشهف در مدارهای الکتریکی آشنا شده و می‌تواند مدارهایی را که شامل چند حلقه باشند و در هر حلقه چند منبع تغذیه وجود داشته باشد، با روش‌های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد.

**قانون اهم:** همان‌طور که در کتاب‌های سال‌های گذشته خوانده‌اید براساس قانون اهم، مقدار مقاومت با ولتاژ نسبت مستقیم و با جریان نسبت معکوس دارد. قانون اهم را مطابق شکل ۱ می‌توانیم به سه حالت نشان دهیم.

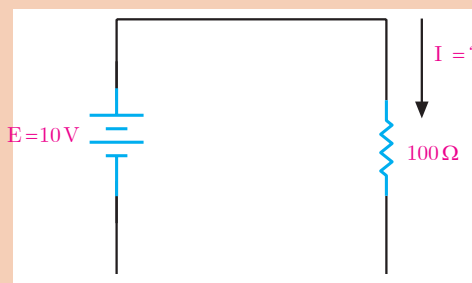
$$I = \frac{U}{R}$$

$$U = IR$$

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



شکل ۱- قانون اهم



به دو سر یک مقاومت  $100\Omega$ ، ولتاژی برابر با ۱۰ ولت وارد می‌کنیم (مطابق شکل روبه‌رو)، جریان گذرنده از مدار چند میلی‌آمپر است؟

کار در کلاس





**اتصال سری مقاومت‌ها:** همان‌طور که قبلاً با اتصال سری و مقاومت‌ها آشنا شده‌اید، مدار سری را می‌توان مشابه حرکت شناورها در شکل ۲ دانست.

شکل ۲- حرکت شناورها

آیا حرکت شناورها با هم به صورت سری می‌باشد؟ توضیح دهید.

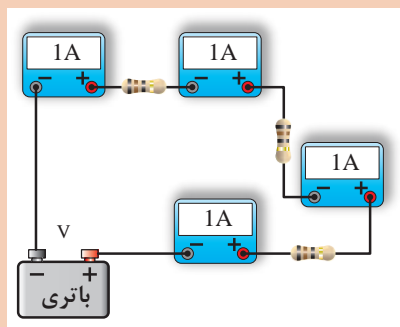
یکی از حالات خطرناکی که ممکن است در مدار الکتریکی به وجود آید، حالت «اتصال کوتاه» است. حالت اتصال کوتاه در مدار به شرایطی گفته می‌شود که مقاومت مصرف‌کننده (بار) به صفر برسد. در صورت وقوع چنین حالتی، جریان بسیار زیادی از مدار خواهد گذشت.

نکته



## جریان، ولتاژ و مقاومت معادل در مدار سری

با توجه به آموخته‌های خود دربارهٔ مدار سری، مدار موجود در شکل زیر را بررسی و دربارهٔ آن بحث کنید.

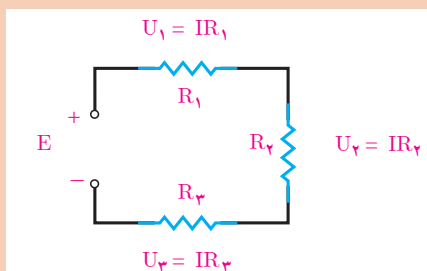


کار در کلاس

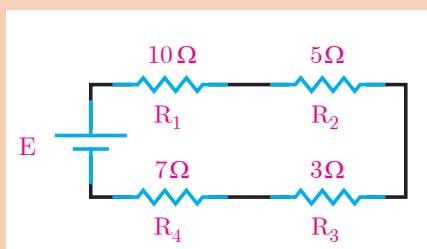


### مقاومت معادل در مدار سری

به جای چند مقاومت سری می‌توان مقاومتی را انتخاب کرد که مقدار آن با مجموع مقاومت‌های سری برابر باشد. در مدار سری اگر یک یا چند مقاومت را به مدار اضافه کنیم، شدت جریان مدار کم می‌شود. لذا برای ثابت نگه داشتن جریان در حد قبلی، باید مقدار نیروی محرکهٔ مدار را افزایش دهیم. بنابراین در مدار سری با اضافه کردن تعداد مقاومت‌ها و ثابت بودن ولتاژ منبع، شدت جریان کم می‌شود و این نشان می‌دهد که مقاومت معادل یا مقاومت کل مدار، افزایش یافته است.



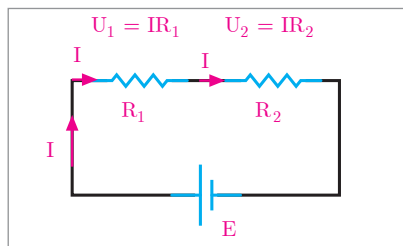
در شکل روبه‌رو، مقاومت معادل را اثبات کنید.



مقاومت معادل را در مدار شکل روبه‌رو به دست آورید.

### تقسیم ولتاژ بین دو مقاومت سری

می‌دانیم که در یک مدار سری، ولتاژ کل به نسبت مستقیم بین مقاومت‌های مدار تقسیم می‌شود، یعنی، هرچه مقدار مقاومت کمتر باشد، افت ولتاژ دوسر آن کوچک‌تر و هرچه مقدار مقاومت زیاده‌تر باشد، افت ولتاژ دوسر آن بزرگ‌تر است. برای محاسبه افت ولتاژ در مقاومت‌های یک مدار سری، مدار شکل ۳ را در نظر می‌گیریم.



ولتاژ دوسر  $R_1$  برابر است با مقدار جریان ضربدر مقدار مقاومت  $R_1$ .

$$U_1 = IR_1 \quad (1)$$

جریان کل مدار برابر است با:

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

شکل ۳

رابطه ۲ را در رابطه ۱ قرار می‌دهیم. اکنون  $U_1$  را می‌توان به صورت رابطه ۳ نوشت:

$$U_1 = E \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

رابطه ۳، ولتاژ دوسر مقاومت  $R_1$  را نسبت به ولتاژ کل در مدار سری مشخص می‌کند:

$$U_1 = \frac{E}{R_1 + R_2} \times R_1$$



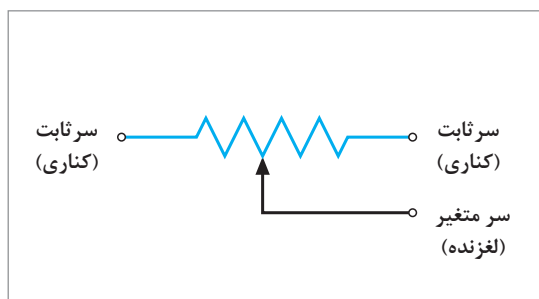


ولتاژ دو سر مقاومت  $R_p$  از چه رابطه‌ای به دست می‌آید؟

### کاربرد بستن مقاومت‌ها به صورت سری

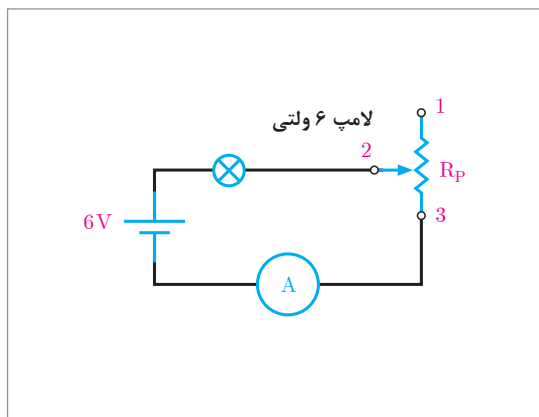


فیلم کاربرد رئوستا و پتانسیومتر را ببینید.



شکل ۴- مقاومت متغیر

برای تقسیم ولتاژ و به دست آوردن ولتاژ دلخواه می‌توانیم از مقاومت‌های ثابت استفاده کنیم. در عمل، از مقاومت‌های متغیر، بیشتر استفاده می‌شود که به وسیله 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 می‌شوند. شکل ۴ شمای فنی یک مقاومت متغیر را نشان می‌دهد.



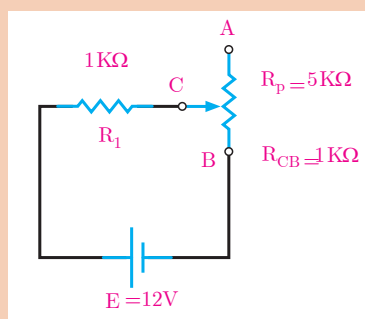
شکل ۵- اتصال رئوستا

سر لغزنده یا متغیر سری است که 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 به صورت 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: رئوستا برای کنترل شدت جریان مدار به کار می‌رود و در مدار به صورت سری بسته می‌شود. شکل ۵ 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  $R_p$  به حداقل و شدت جریان به حداکثر مقدار خود می‌رسد.



در صورتی که سر لغزنده شماره ۲ در شکل ۵ را به پایه یک نزدیک کنیم، چه اتفاقی در مدار می افتد؟



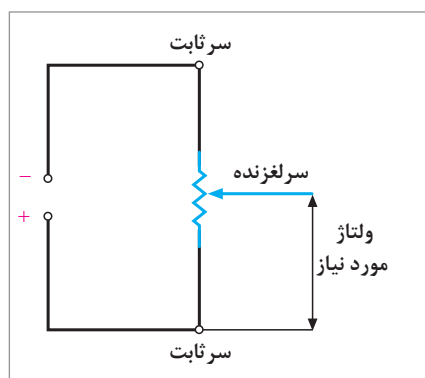
شدت جریان مدار شکل مقابل را در حالت های زیر به دست آورید:

- ۱ سر لغزنده C در نقطه A قرار دارد.
- ۲ سر لغزنده C در نقطه B قرار دارد.
- ۳ سر لغزنده بین A و B قرار دارد و آن را به دو قسمت می کند.

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

### پتانسیومتر

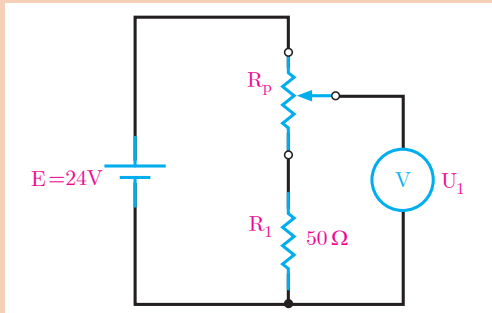
پتانسیومتر را برای دریافت ولتاژهای کمتر از ولتاژ منبع به کار می برند. شکل ۶ اتصال پتانسیومتر را به مدار نشان می دهد.



شکل ۶- اتصال پتانسیومتر

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 می کنیم. پتانسیومتر در مدار به صورت موازی بسته می شود و مقدار ولتاژ مورد نیاز مصرف کننده را تأمین می کند.

## پودمان ۲: تحلیل مدارهای الکتریکی



در شکل ۸ برای دریافت ولتاژ از ۶ تا ۲۴ ولت، چه پتانسیومتری را در مدار قرار می‌دهید؟

کار در کلاس



کاربردهای مقاومت‌های متغیر را بررسی کنید.

تحقیق کنید



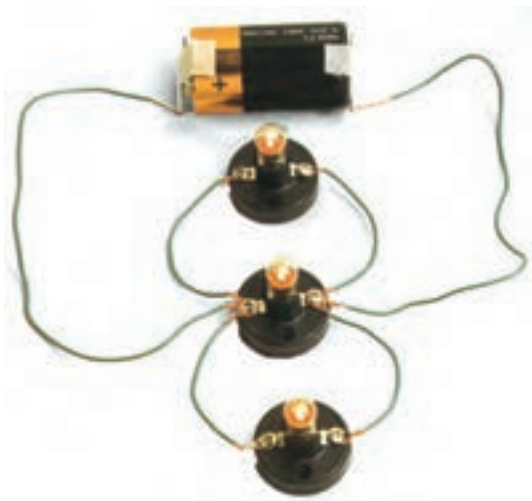
ویژگی‌های مدارهای سری را بنویسید و در کلاس به بحث بگذارید.

کار در کلاس



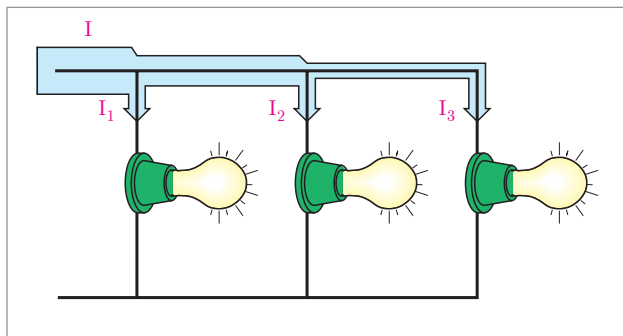
فیلم مدارهای موازی را ببینید.

فیلم



اتصال مقاومت‌ها به طور موازی: اگر بخواهند چند مصرف‌کننده با ولتاژ مساوی را همزمان به یک منبع ولتاژ اتصال دهند، آنها را به صورت موازی به دو سر منبع ولتاژ متصل می‌کنند (شکل ۷).

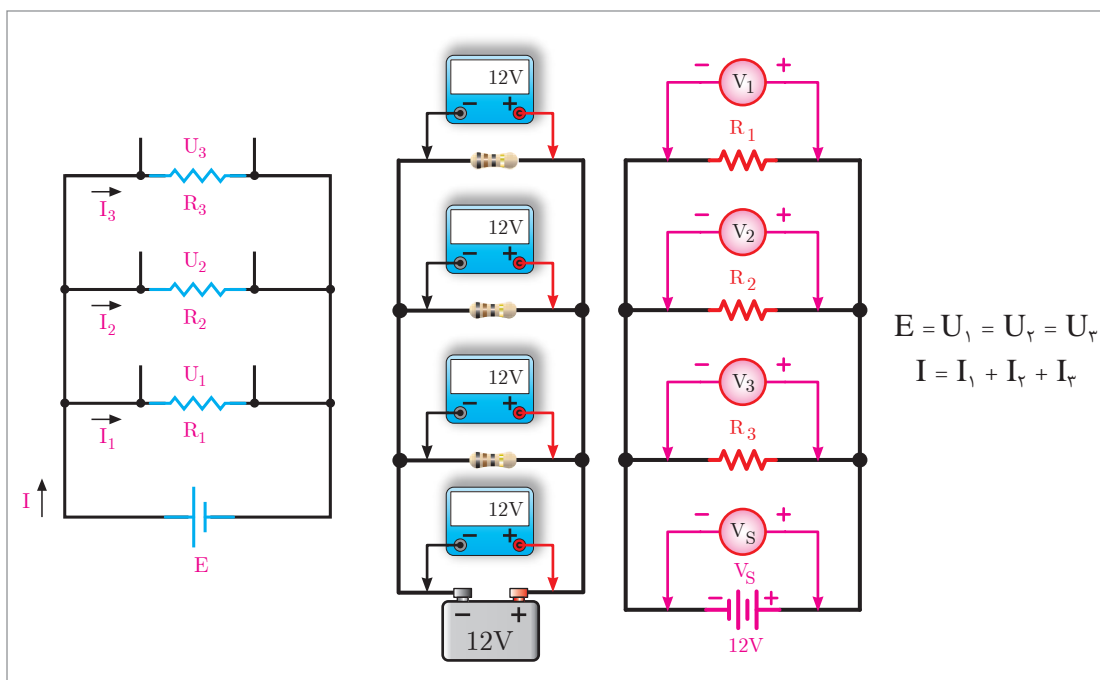
شکل ۷- اتصال لامپ‌ها به باتری به طور موازی



ولتاژ و جریان در مدار موازی: در مدار موازی، شدت جریان کل با مجموع شدت جریان شاخه‌های موازی برابر است؛ در صورتی که ولتاژ دو سر هر شاخه با ولتاژ دو سر شاخه‌های دیگر مساوی و برابر با ولتاژ دو سر منبع است (شکل ۸).

شکل ۸- مسیر جریان و اندازه آنها

مقاومت معادل در مدار موازی: مقاومت کل (معادل) در مدار موازی، مقاومتی است که به جای مقاومت‌های موازی قرار می‌گیرد و شدت جریان کل مدار را تغییر نمی‌دهد. در مدار موازی، با افزایش شاخه‌های مدار، تعداد مسیرهای جریان زیادتر می‌شود و شدت جریان کل افزایش می‌یابد (شکل ۹).



شکل ۹- مدارهای موازی

در شکل ۱۱ مقاومت معادل را اثبات کنید.

کار در کلاس

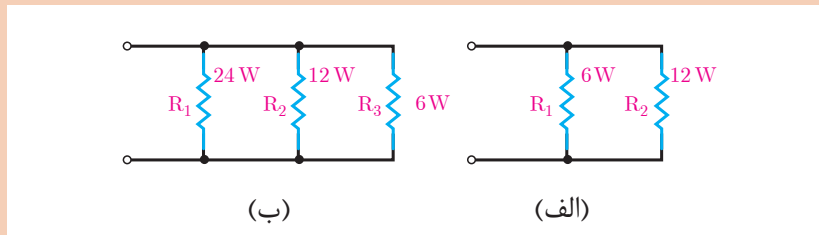




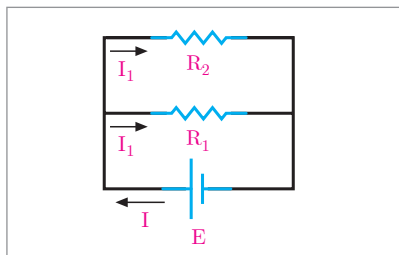
حالات خاص مقاومت معادل بین دو مقاومت موازی را بنویسید.



مقاومت معادل مدارهای شکل زیر را به دست آورید.



تقسیم جریان بین دو مقاومت موازی: با توجه به مدار شکل زیر و به کارگیری قانون اهم برای هر شاخه، به نتایج زیر می‌رسیم:



$$E = I_1 R_1$$

رابطه (۱)

$$E = I_1 R_2$$

رابطه (۲)

$$E = I R_1$$

رابطه (۳)

مقاومت کل، مقاومت معادل مدار شکل فوق برابر است با

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

(۴) از رابطه ۱، جریان  $I_1$  را به دست می‌آوریم.

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

(۵) رابطه ۴ را در رابطه ۳ قرار می‌دهیم.

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

حال اگر مقدار  $E$  را در رابطه ۵ جایگزین کنیم، خواهیم داشت:

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

$$I_1 = I \frac{R_1 R_2}{R_1 (R_1 + R_2)} \Rightarrow I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

نتیجه: جریان کل در شاخه‌های موازی به نسبت عکس مقاومت‌های شاخه‌ها تقسیم می‌شود.

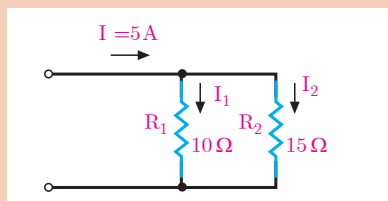
تحقیق کنید



با توجه به روش به دست آوردن جریان  $I_2$  بر حسب  $I$  و مقادیر مقاومت  $R_1$  و  $R_2$ ، اثبات کنید که:

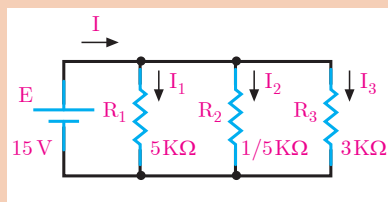
$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

کار در کلاس



شدت جریان هر شاخه از مدار شکل روبه‌رو را به دست آورید.

کار در کلاس



در مدار شکل زیر شدت جریان هر شاخه و شدت جریان کل را به دست آورید.

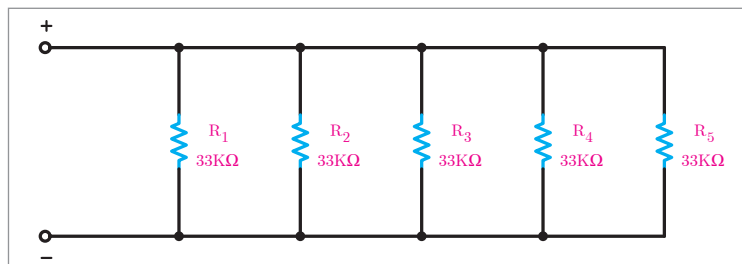
تحقیق کنید



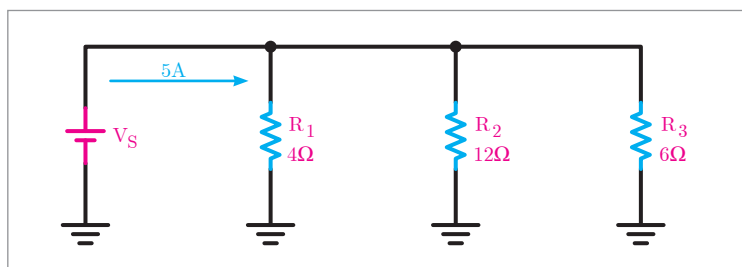
ویژگی‌های مدارهای موازی را بنویسید و در کلاس به بحث بگذارید.

## ارزشیابی ۱

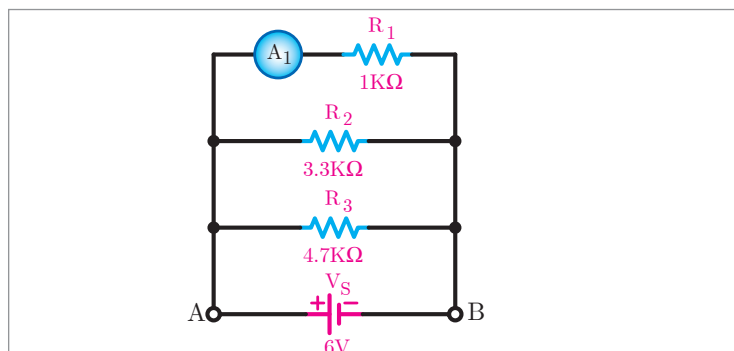
۱ مقاومت معادل را در شکل زیر به دست آورید.



۲ با توجه به مدار شکل زیر، مقدار ولتاژ منبع تغذیه و ولتاژ هر یک از مقاومت‌ها را محاسبه کنید.

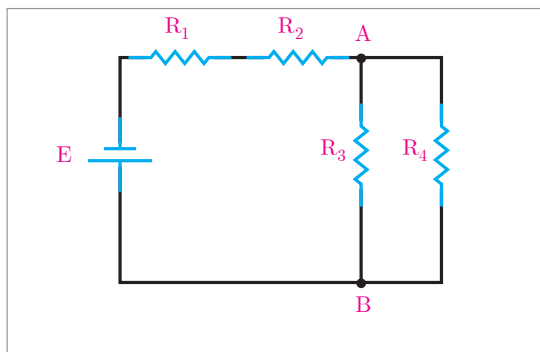


۳ جریان هر یک از مقاومت‌های شکل زیر را به دست آورید.



۴ دو لامپ با مقاومت داخلی ۴ اهم مطابق شکل زیر با هم موازی و به باتری ۱/۵ ولتی متصل شده‌اند. در صورتی که جریان کل عبوری از مدار، ۱/۵ آمپر باشد، جریان هر یک از لامپ‌ها چقدر است؟



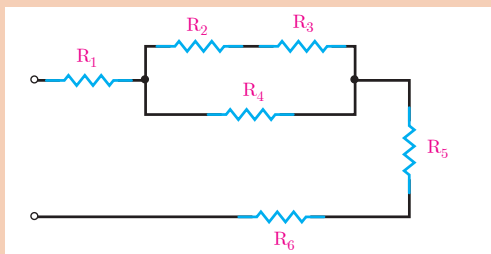


### مدارهای ترکیبی (سری - موازی)

مدار ترکیبی «سری موازی» به مداری گفته می‌شود که در آن ترکیبی از مقاومت‌های سری و موازی وجود داشته باشد. در شکل ۱۰ نقشه فنی مدار «سری موازی» اهمی را مشاهده می‌کنید.

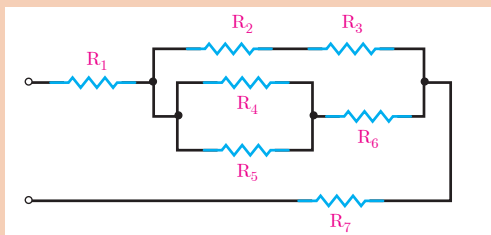
شکل ۱۰- مدارهای ترکیبی

مدارهای «سری موازی» از قوانین مربوط به مدار سری و موازی تبعیت می‌کنند. مثلاً در شکل ۱۲ مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  به طور سری و مقاومت‌های  $R_3$  و  $R_4$  به طور موازی بسته شده‌اند.



در مدار شکل روبه‌رو مشخص کنید که کدام مقاومت‌ها با هم سری و کدام مقاومت‌ها با هم موازی هستند؟

کار در کلاس



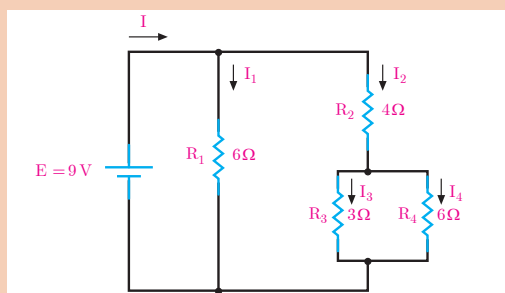
در مدار شکل روبه‌رو مقاومت‌های سری و موازی را با استفاده از نمادهای تعریف شده بنویسید.

کار در کلاس



موارد کاربرد مدارهای ترکیبی را در دستگاه‌های الکترونیکی بیابید.

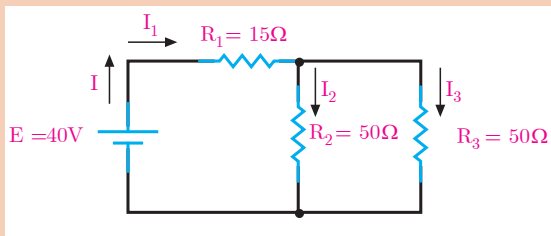
تحقیق کنید



مقاومت معادل، جریان کل و جریان هر شاخه از مدار شکل روبه‌رو را به دست آورید.

کار در کلاس



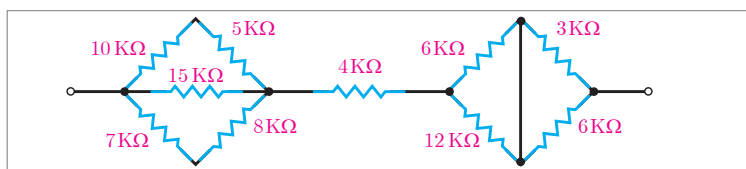


افت ولتاژ دوسر  $R_1$  و  $R_2$  را در مدار شکل روبه‌رو حساب کنید.

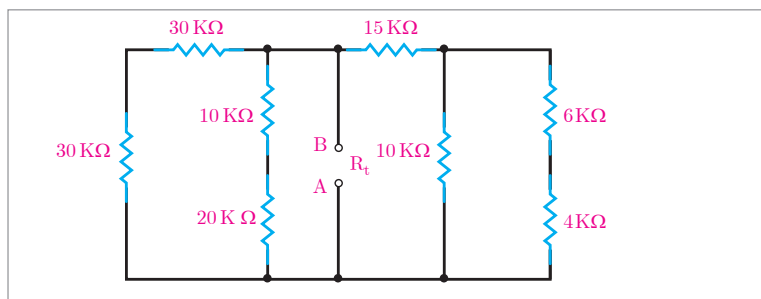
نرم‌افزار: با استفاده از نرم‌افزاری که در اختیار دارید، مدارهای ترکیبی، سری و موازی را تمرین کنید.

## ارزشیابی ۲

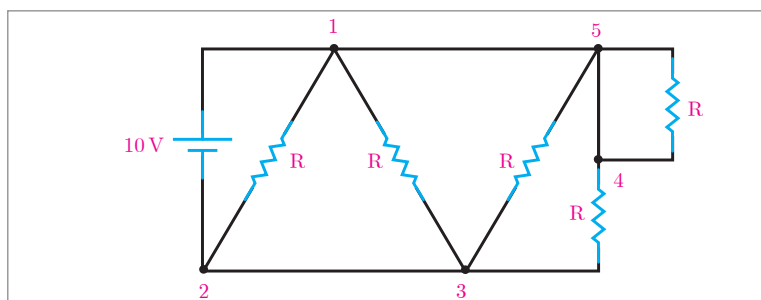
۱ مقاومت معادل مدار شکل زیر را محاسبه کنید.



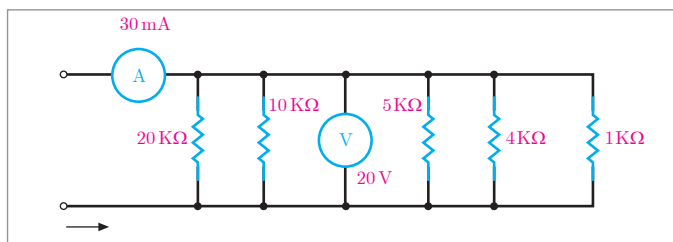
۲ مقاومت معادل مدار  $R_{at}$  بین دو نقطه A و B در مدار شکل زیر را محاسبه کنید. اگر بین دو نقطه A و B، منبع ولتاژ ۱۰۰ ولتی وصل شود، جریان کل عبوری از مدار چند میلی‌آمپر است؟



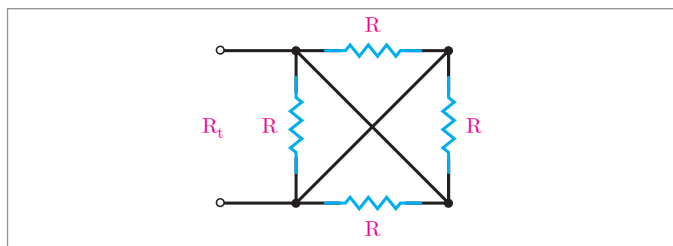
۳ در شکل زیر اختلاف پتانسیل‌های  $U_{12}$ ،  $U_{13}$ ،  $U_{53}$ ،  $U_{54}$ ،  $U_{43}$ ،  $U_{23}$  و  $U_{15}$  را محاسبه کنید.



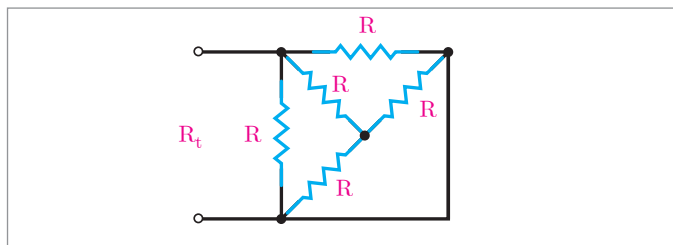
۴ در مدار شکل زیر کدام مقاومت باز شود (از مدار جدا شود) تا دستگاه‌های اندازه‌گیری، مقدار داده شده در شکل را نشان دهند؟ فرایند محاسبات را با ذکر دلیل بنویسید.



۵ در شکل زیر مقدار  $R_t$  را محاسبه کنید.



۶ مقاومت معادل شکل زیر را محاسبه کنید.



### نرم افزار

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

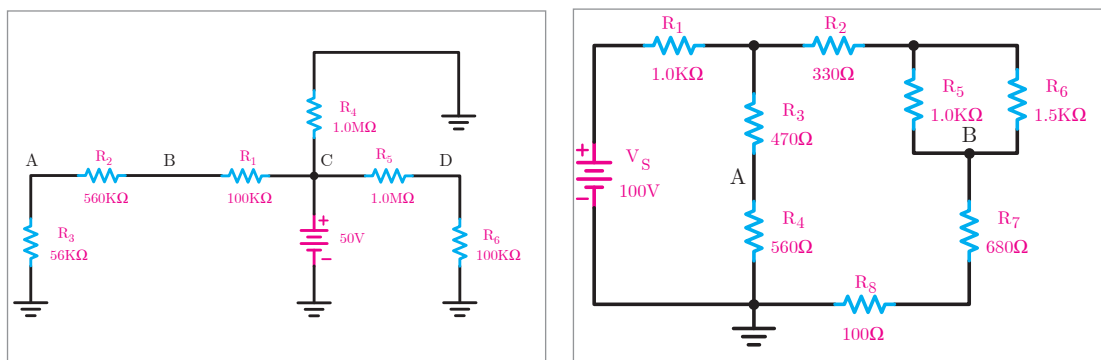
## قوانین حاکم بر مدارهای الکتریکی

در برخی از موارد برای حل مدارهای الکتریکی پیچیده‌ای مانند شکل ۱۱ استفاده از قانون اهم به تنهایی کافی نیست و به کارگیری روش‌ها و قوانین دیگری مربوط به الکتریسیته نیز لازم است.

### قوانین کیرشهف

در سال ۱۸۷۵ میلادی کیرشهف براساس آزمایش‌ها و تحقیقاتی که انجام داد، نظریات خود را در قالب دو قانون بیان داشت.

پیش از بررسی قوانین کیرشهف باید با تعاریف شاخه، گره و حلقه آشنا شویم.



(ب)

(الف)

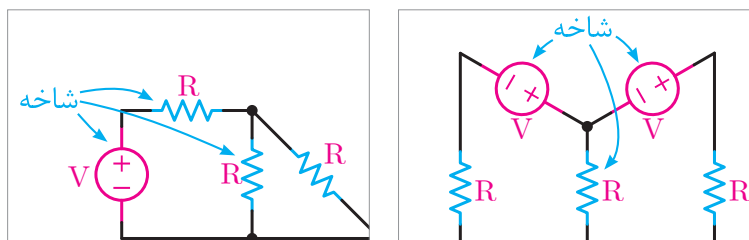
شکل ۱۱- مدارهای الکتریکی پیچیده

فیلم مربوط به قوانین کیرشهف را ببینید.

فیلم



تعریف شاخه: اصطلاحاً در مدارهای الکتریکی، مسیری را که بین دو گره قرار می‌گیرد یک «شاخه» می‌نامند (شکل ۱۲). معمولاً در هر شاخه یک قطعه یا چند قطعه به صورت سری قرار می‌گیرد.

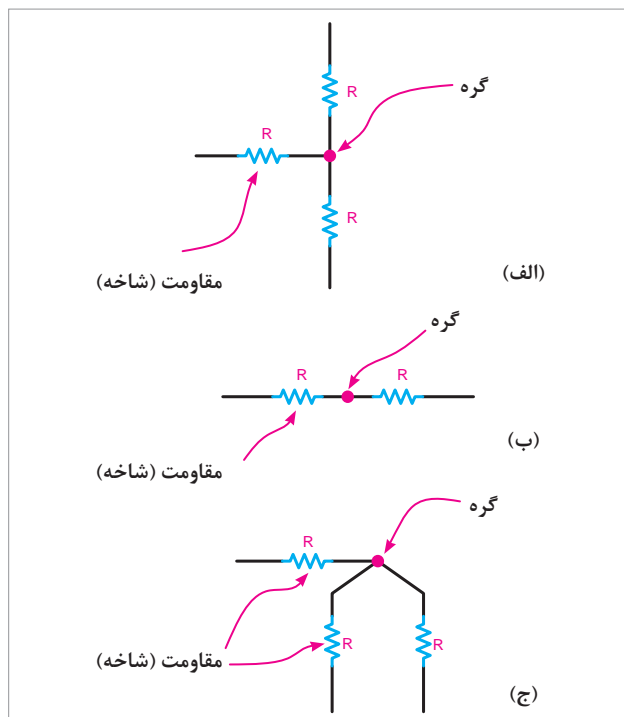


(ب)

(الف)

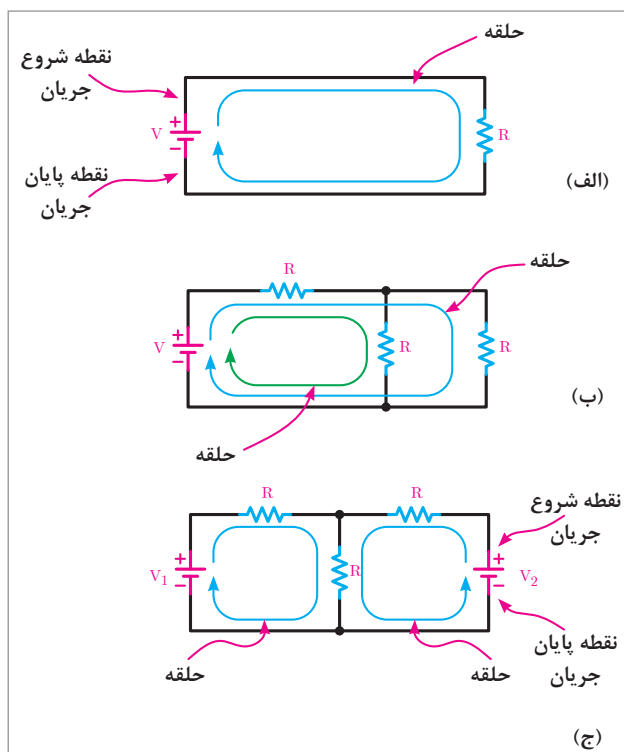
شکل ۱۲

تعریف گره: محل اتصال بیش از دو شاخه در یک مدار الکتریکی را «گره» می‌نامند. شکل ۱۳ نمونه‌هایی از گره‌های مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳

تعریف حلقه: هرگاه در یک مدار از نقطه‌ای در مسیر جریان شروع به حرکت کنیم و دوباره به آن نقطه برسیم، مسیر طی شده را «مدار کامل» یا «حلقه» می‌نامند. در شکل ۱۴ سه نمونه از انواع حلقه‌های مختلف را مشاهده می‌کنید.

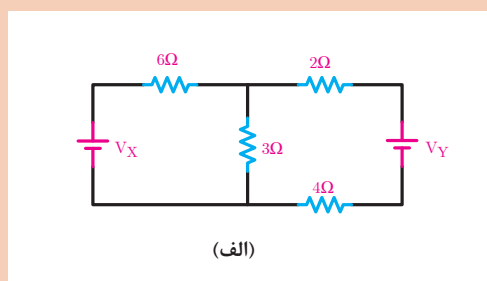
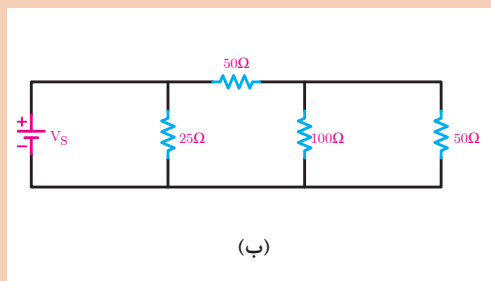


شکل ۱۴

مثال



تعداد گره‌های موجود در تصاویر شکل زیر را مشخص کنید.



حل: تعداد گره‌های مدار «الف»، ۵ گره و مدار «ب» برابر ۳ گره است.

نکته

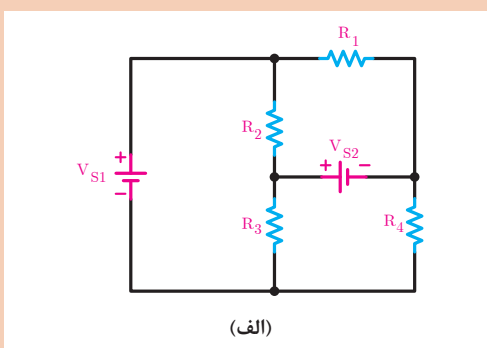
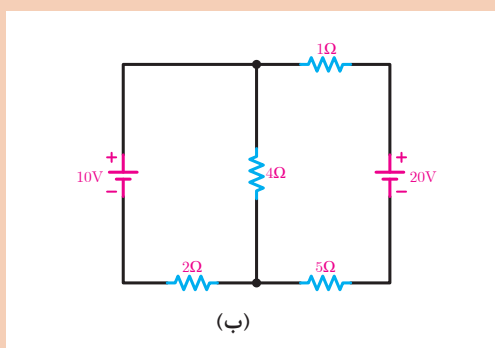


توجه داشته باشید که محل اتصال منبع به مدار یا قطعه یک گره محسوب می‌شود.

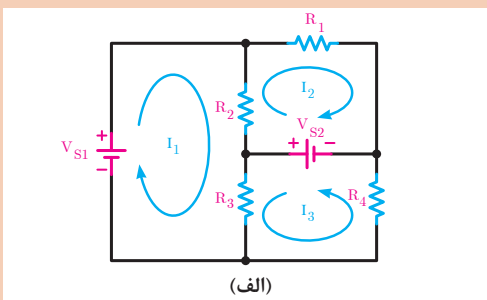
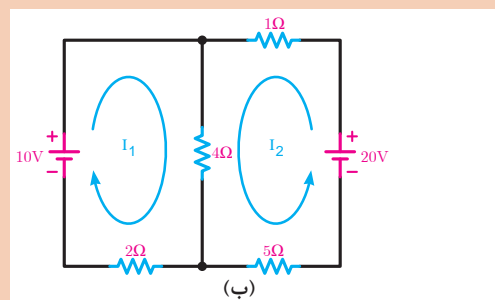
مثال



تعداد مسیرهای عبور جریان (حلقه‌ها) را در تصاویر زیر مشخص کنید.



حل: برای مشخص کردن تعداد حلقه‌های هر مداری باید به تعریف حلقه توجه شود. که در این صورت و مطابق شکل زیر، تعداد حلقه‌های مدار «الف» برابر ۶ و مدار «ب» معادل ۳ می‌باشد.

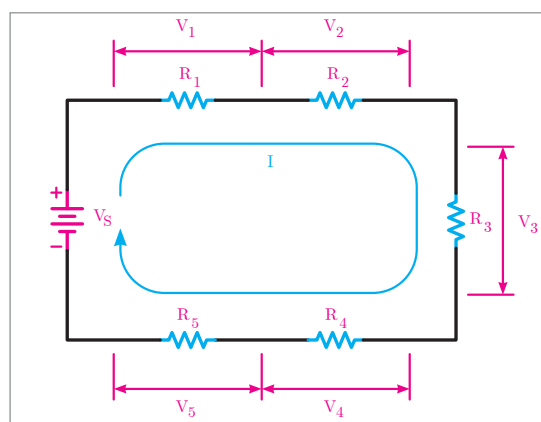




با توجه به تعریف حلقه، در هر مدار می‌توانیم تعدادی حلقه اصلی و تعدادی حلقه مرتبط داشته باشیم. در شکل صفحه قبل الف و ب تعداد حلقه‌های اصلی نشان داده شده است.

در مدارهای شکل صفحه قبل سایر حلقه‌ها را مشخص و درباره آنها بحث کنید.

### قانون ولتاژها (KVL)

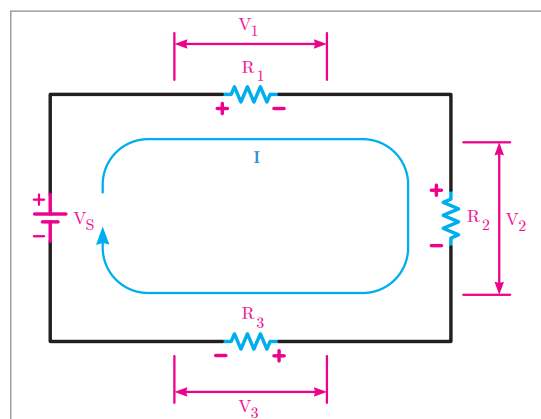


شکل ۱۵

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

به عبارت دیگر، مجموع جبری نیروهای محرکه و افت ولتاژهای موجود در هر حلقه بسته، مساوی با صفر است (شکل ۱۵).

$$\sum V = \sum R.I \quad \sum V = 0$$



شکل ۱۶

شکل ۱۶، یک مدار الکتریکی با سه مقاومت را نشان می‌دهد. در این مدار معادله KVL را می‌نویسیم:

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

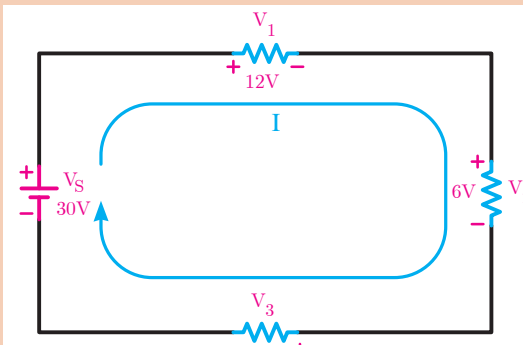
$$V = R_1 I + R_2 I + R_3 I$$

یا

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



## پودمان ۲: تحلیل مدارهای الکتریکی



مقدار ولتاژ  $V_3$  در شکل روبه‌رو چند ولت است؟

کار در کلاس



تحقیق کنید



بررسی کنید که آیا دو رابطه روبه‌رو مشابه یکدیگرند؟

$$V_1 + V_2 + V_3 - V_S = 0 \quad ۱-$$

$$V_S - V_1 - V_2 - V_3 = 0 \quad ۲-$$

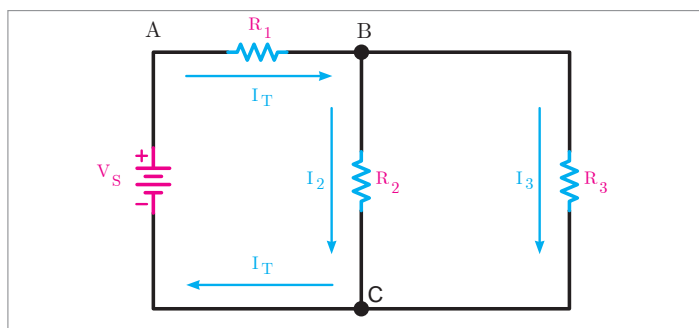
## قانون جریان‌ها (KCL)

براساس قانون جریان‌ها، در هر یک از گره‌های موجود در مدارهای الکتریکی، مجموع جریان‌های وارد شده به گره برابر با مجموع جریان‌های خارج شده از گره است.

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

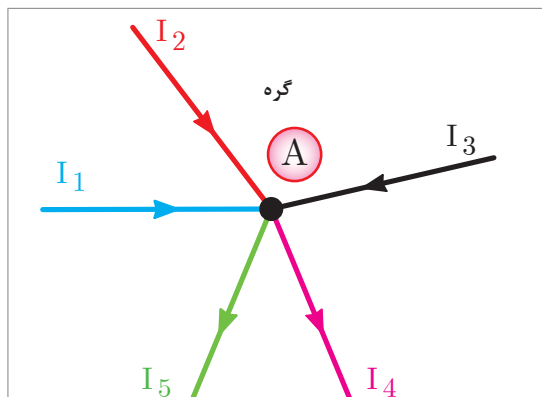
به عبارت دیگر، مجموع جبری جریان‌های وارد شده به گره و جریان‌های خارج شده از آن، برابر با صفر است (شکل ۱۷).

$$\sum I = 0$$



شکل ۱۷

در شکل ۱۸ وضعیت گره A از نظر جریان‌های ورودی و خروجی مشخص شده‌است. معادله KCL برای گره A به صورت زیر نوشته می‌شود:



شکل ۱۸

مجموع جریان‌های خروجی = مجموع جریان‌های ورودی

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

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$$

یا

$$\sum I = 0$$

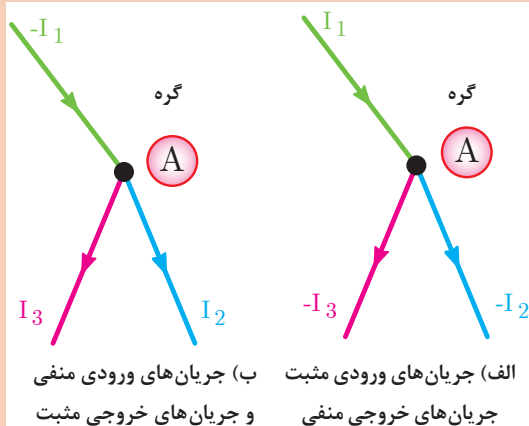
$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

آیا در یک گره جریان، همهٔ جریان‌ها می‌توانند وارد گره شوند؟

تحقیق کنید



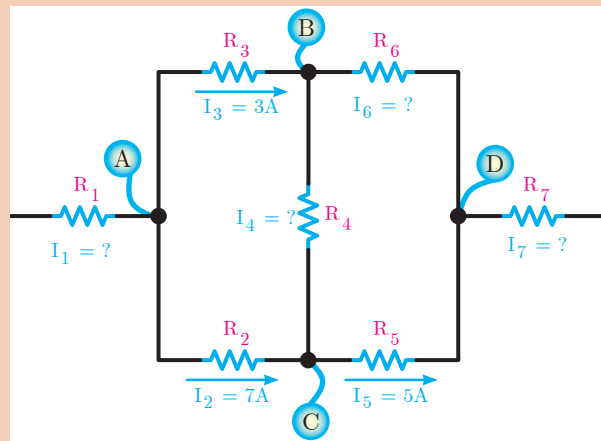
توجه



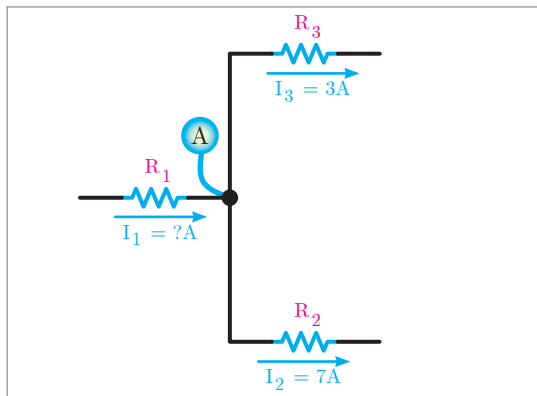
انتخاب علامت مثبت یا منفی برای جریان‌های وارد شده و خارج شده به یک گره قراردادی است و هیچ‌گونه محدودیتی ندارد. اما باید توجه داشته باشید برای یک گره جریان باید از یک قانون تبعیت کنید (شکل روبه‌رو). یعنی همه جریان‌های ورودی مثبت یا منفی باشد. نمی‌توانید یکی از جریان‌های ورودی به گره را مثبت و دیگری را منفی بگیرید.



مقدار و جهت جریان را در هریک از مقاومت‌های شکل زیر به دست آورید.



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

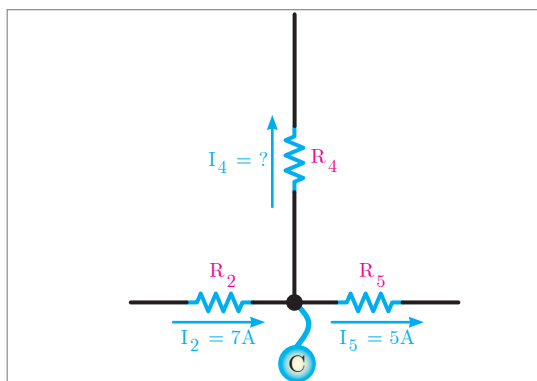


شکل ۱۹

از گره A دو جریان  $I_2$  و  $I_3$  خارج می‌شود؛ لذا جریان  $I_1$  بر آن وارد می‌شود (در یک گره همه جریان‌ها نمی‌توانند وارد یا خارج شوند). در شکل ۱۹ با نوشتن معادله KCL، جریان  $I_1$  به شکل زیر قابل محاسبه است:

$$I_1 = I_2 + I_3 = 7 + 3$$

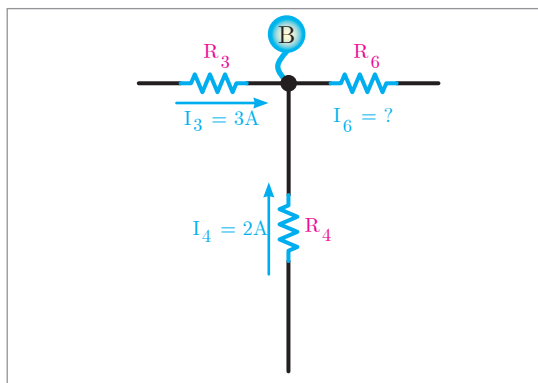
$$I_1 = 10 \text{ A}$$



شکل ۲۰

شکل ۲۰ جهت جریان‌ها را برای گره C نشان می‌دهد، پس معادله KCL را فقط برای حالتی در گره می‌توان نوشت که جریان  $I_4$  از گره خارج می‌شود.

$$I_2 = I_4 + I_5 \Rightarrow I_4 = I_2 - I_5 = 7 - 5 = 2 \text{ A}$$

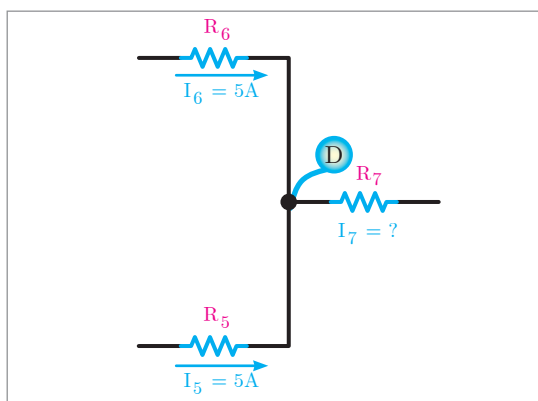


شکل ۲۱

در گره B شکل ۲۱ چون جریان‌های  $I_3$  و  $I_4$  وارد می‌شوند، بنابر قاعده KCL، جریان  $I_6$  باید از نقطه B خارج شود. پس مقدار  $I_6$  برابر است با:

$$I_6 = I_3 + I_4 = 3 + 2 = 5A$$

$$I_6 = 5A$$



شکل ۲۲

همان طوری که در شکل ۲۲ مشاهده می‌شود، جریان‌های  $I_5$  و  $I_6$  به گره D وارد می‌شوند. بنابراین با نوشتن KCL برای گره D معلوم می‌شود که جهت جریان  $I_7$  باید به گونه‌ای باشد که از گره خارج شود، بنابراین داریم:

$$I_5 + I_6 = I_7$$

$$I_7 = 5 + 5 = 10A$$

## نرم‌افزار

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

مثال



از جریان مقاومت  $R_2$  در شکل زیر چند میلی‌آمپر به دست می‌آید؟  
جواب: با نوشتن معادله KCL در گره A، مقدار جریان  $I_2$  محاسبه می‌شود.

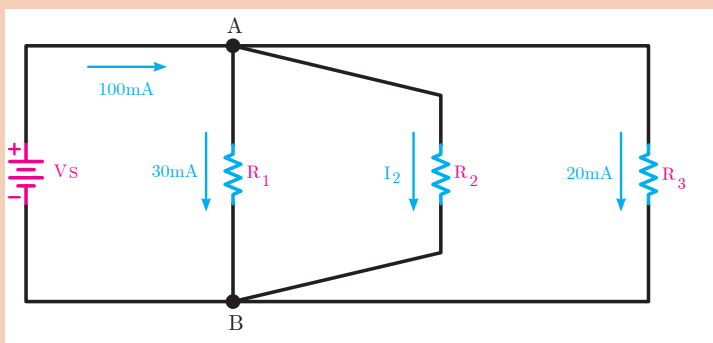
$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_2 = I_T - (I_1 + I_3)$$

$$I_2 = 100 - (30 + 20)$$

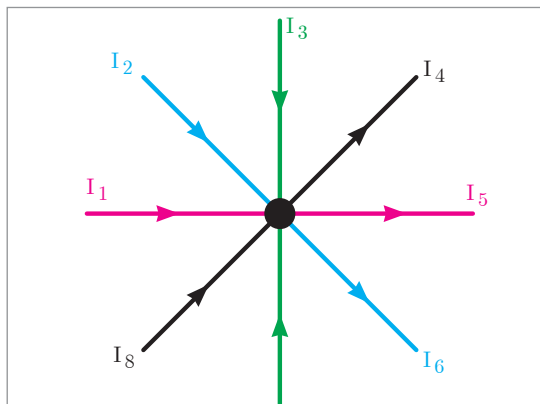
$$I_2 = 50mA$$



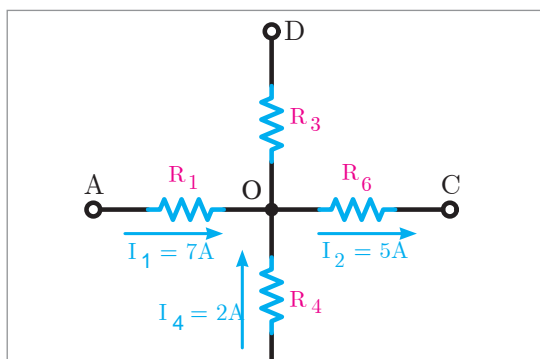
## پودمان ۲: تحلیل مدارهای الکتریکی

### ارزشیابی ۳

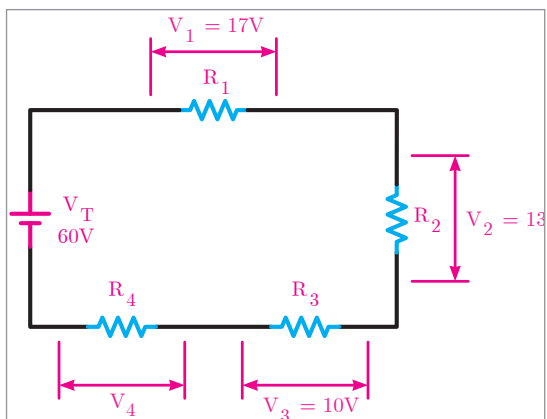
۱ معادلهٔ جریان را برای شکل روبه‌رو به‌دست آورید.

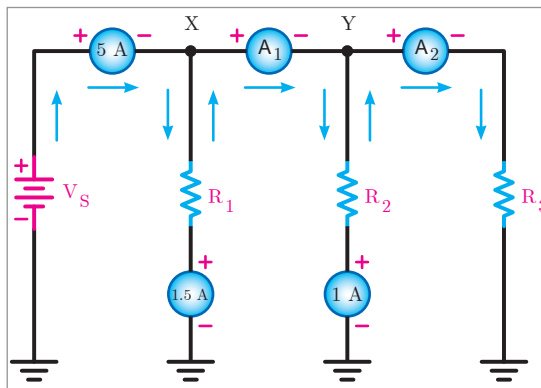


۲ مقدار و جهت جریان در مقاومت  $R_3$  شکل روبه‌رو را به‌دست آورید.

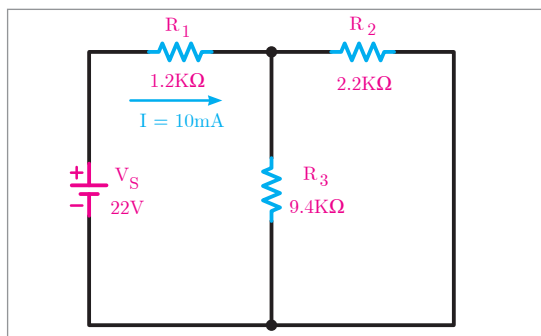


۳ با توجه به شکل روبه‌رو، ولتاژ دو سر مقاومت  $R_4$  چند ولت است؟





۴ در مدار شکل روبه‌رو آمپرمترهای  $A_1$  و  $A_2$  چند آمپر را نشان می‌دهند؟



۵ افت ولتاژ دو سر مقاومت  $R_1$  در شکل روبه‌رو چند ولت است؟

### تجزیه و تحلیل مدارها

در این قسمت، مدارهایی را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهیم که دارای منابع و حلقه‌های متعدد باشند. برای این کار می‌توانیم از روش‌های مختلفی استفاده کنیم که عبارت‌اند از:

الف) جریان حلقه؛

ب) پتانسیل گره؛

پ) اصل جمع آثار؛

ت) معادل‌سازی تونن و نورتن مدار.

**عناصر مدار:** به‌طور کلی عناصر مدار را می‌توان به دو گروه عناصر فعال و غیرفعال تقسیم کرد.

**عناصر غیرفعال:** عناصری هستند که انرژی الکتریکی را مصرف (به‌عبارت دیگر تبدیل) می‌کنند یا آن را در

خود ذخیره می‌سازند. این عناصر عبارت‌اند از: مقاومت اهمی، سلف‌ها و خازن‌ها

**مقاومت اهمی:** عنصری است که جریان آن با ولتاژ دو سر آن متناسب است.

**سلف:** عنصری است که ولتاژ دو سر آن، با تغییرات جریان نسبت به زمان در آن، متناسب است.

**خازن:** عنصری است که جریان آن با تغییرات ولتاژ دو سرش نسبت به زمان، متناسب است. البته با توجه به

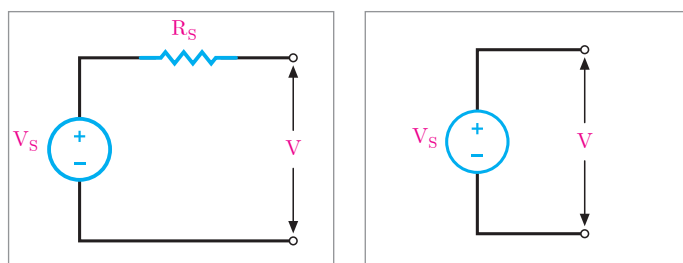
اینکه سلف در جریان مستقیم، اتصال کوتاه و خازن در جریان مستقیم به‌صورت یک مدار باز عمل می‌کند،

مدارهایی که در این فصل مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند بیشتر دارای مقاومت‌های اهمی هستند.

**عناصر فعال:** به‌عناصری گفته می‌شود که انرژی مدار را تأمین می‌کند. این عناصر عبارت‌اند از: منابع ولتاژ و

منابع جریان. هر یک از این عناصر فعال به دو گروه ایده‌آل و حقیقی تقسیم می‌شوند.

**منبع ولتاژ ایده‌آل:** منبعی است که در بارهای مختلف ولتاژ ثابتی به مدار می‌دهد.  
**منبع ولتاژ حقیقی:** منبعی است که با افزایش جریان بار (کاهش مقاومت مدار)، ولتاژ خروجی آن کاهش می‌یابد. منبع ولتاژ حقیقی را می‌توان منبع ولتاژ ایده‌آلی دانست که یک مقاومت اهمی کوچک با آن سری شده است. منابع تغذیه در صنعت، منابع ولتاژ حقیقی هستند و منابع ایده‌آل وجود خارجی ندارند ولی با تقریب می‌توان منابع ولتاژ با انرژی بسیار بزرگ را ایده‌آل فرض کرد (شکل ۲۳).

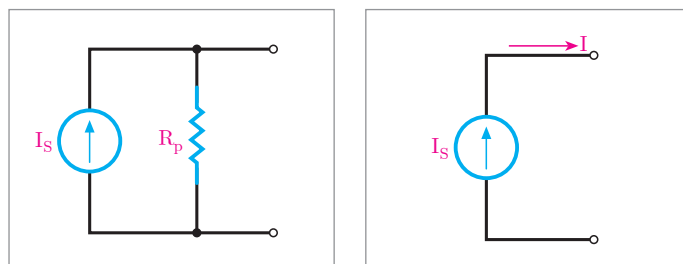


ب) منبع ولتاژ واقعی

الف) منبع ولتاژ ایده‌آل

شکل ۲۳

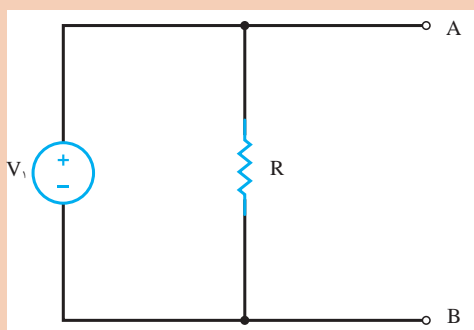
**منبع جریان ایده‌آل:** منبعی هستند که در بارهای مختلف، جریان ثابتی به مدار می‌دهند. به عبارت دیگر، اگر مقاومت بار تغییر کند ولتاژ آن هم تغییر می‌کند ولی جریان آن ثابت می‌ماند. منابع جریان، بیشتر در مدارهای الکترونیکی دیده می‌شوند و به صورت ایده‌آل وجود ندارند.  
**منابع جریان واقعی:** منابع جریان ایده‌آلی هستند که با یک مقاومت بزرگ اهمی به صورت موازی قرار دارند. در نتیجه، در صورت تغییر بار با توجه به ثابت بودن جریان منبع، جریان در مصرف کننده قدری تغییر می‌کند (شکل ۲۴).



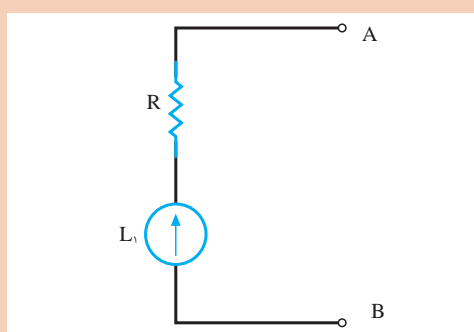
ب) منبع جریان حقیقی

الف) منبع جریان ایده‌آل

شکل ۲۴



شکل الف



شکل ب

از آنجا که منابع ولتاژ و جریان ایده‌آل به ترتیب مقادیر ولتاژ و جریان ثابتی به مدار می‌دهند، به همین خاطر حضور یک مقاومت موازی با منابع ولتاژ (شکل الف) و همچنین اتصال یک مقاومت سری با منبع جریان، اثری در خروجی این منابع ندارند (شکل ب).

### تحلیل مدار به روش حلقه

برای تحلیل مدار به روش حلقه، از قانون ولتاژهای کیرشهف (K.V.L) استفاده می‌شود. بدین منظور، مراحل زیر را طی می‌کنیم.

**مرحله ۱:** در صورت نیاز و به‌طوری‌که پارامترهای مجهول مدار از بین نروند، ابتدا مدار را تا حد ممکن ساده می‌کنیم.  
**مرحله ۲:** برای هر حلقه یک جریان در جهت دلخواه منظور می‌کنیم. برای سادگی کار و کمتر شدن اشتباهات، بهتر است جریان همه حلقه‌ها را در یک جهت فرض کنیم. اما در این قسمت، جریان حلقه‌ها را در جهت حرکت عقربه‌های ساعت فرض می‌کنیم.

**مرحله ۳:** با حرکت در جریان انتخابی در هر حلقه، با استفاده از قانون ولتاژ کیرشهف (K.V.L) معادله ولتاژها را برای هر حلقه می‌نویسیم (نقطه شروع حرکت مهم نیست).

**مرحله ۴:** در هنگام حرکت در یک حلقه اگر به عنصری رسیدیم که با حلقه دیگری مشترک است، جریان آن عنصر از جمع جبری جریان دو حلقه طرفین آن به‌دست می‌آید.

**مرحله ۵:** با توجه به اینکه در مصرف‌کننده‌ها، جریان به پلاریته مثبت وارد می‌شود و ما در هنگام نوشتن معادلات در جهت جریان حرکت می‌کنیم، پس ولتاژ همه مصرف‌کننده‌ها مثبت است. در چنین حالتی، طبیعی است که ولتاژ منابع تغذیه با توجه به پلاریته آنها در معادلات نوشته می‌شود؛ یعنی اگر در جهت حرکت به مثبت منبع برسیم، ولتاژ آن را با علامت مثبت و اگر به منفی منبع برسیم، ولتاژ آن را با علامت منفی در معادله منظور می‌کنیم.



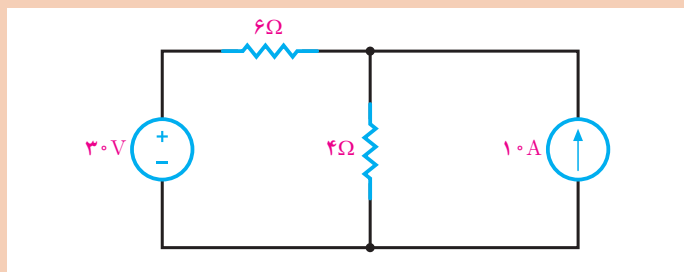
پودمان ۲: تحلیل مدارهای الکتریکی

مرحله ۶: در این روش به تعداد حلقه‌های انتخاب شده در مدار، معادله تشکیل می‌دهیم. پس  $n$  معادله با  $n$  مجهول به دست می‌آید. مجهولات، جریان‌های حلقه‌ها هستند و با حل معادله‌ها، جریان‌ها به دست می‌آید. در نتیجه، ولتاژها و توان‌های تمامی عناصر مدار، محاسبه خواهد شد.

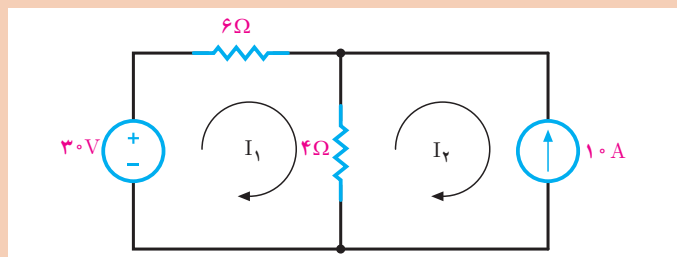
مثال



توان مصرفی در مقاومت ۴ اهم را در شکل زیر به روش جریان حلقه محاسبه کنید.



حل: الف) ابتدا جریان حلقه را طبق شکل زیر تعیین می‌کنیم



ب) سپس معادلات حلقه‌ها را می‌نویسیم. در حلقه دوم چون منبع جریان قرار دارد پس می‌توان به راحتی و بدون مشکل، معادله KVL جریان شاخه سمت راست مدار یعنی جریان حلقه دوم را برابر ۱۰ آمپر در نظر گرفت. اما چون جهت جریان فرض شده برای حلقه دوم با جهت منبع جریان، مخالف است پس باید  $I_2$  را به صورت  $I_2 = -10\text{ A}$  در نظر گرفت. بنابراین کافی است معادله KVL را برای حلقه اول بنویسیم و آن را حل کنیم تا جریان  $I_1$  را به دست آوریم.

$$\text{KVL در حلقه ۱} \quad 6I_1 + 4(I_1 - I_2) - 30 = 0 \quad I_2 = -10\text{ A}$$

$$6I_1 + 4(I_1 + 10) - 30 = 0 \rightarrow 10I_1 = -10 \rightarrow I_1 = -1\text{ A}$$

پ) جریان مقاومت  $4\Omega$  برابر است با:

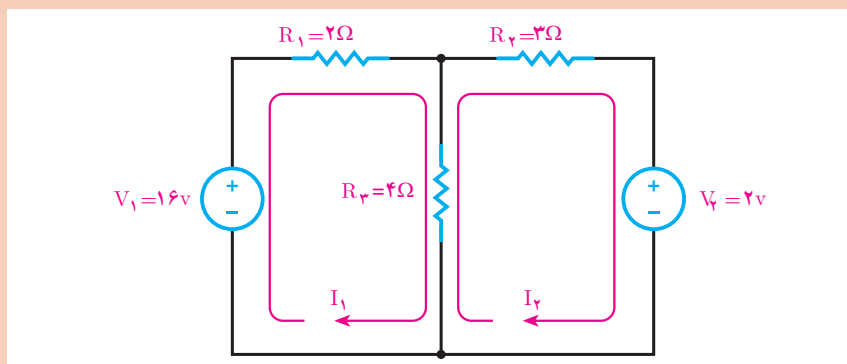
$$I_{4\Omega} = I_1 - I_2 = -1 - (-10) = 9\text{ A}$$

ت) توان در مقاومت  $4\Omega$  نیز برابر است با:

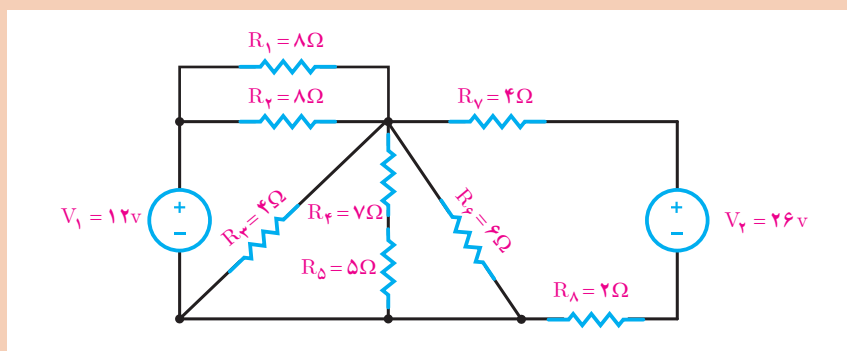
$$P_{4\Omega} = 4 \times (9)^2 = 324\text{ W}$$



در مدار شکل زیر توان هر یک از مقاومت‌های مدار را حساب کنید.



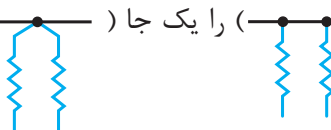
در مدار شکل زیر، توانی را که هر منبع به مدار می‌دهد حساب کنید.



### تحلیل مدار به روش پتانسیل گره

برای حل مدار به روش پتانسیل گره از قانون جریان‌های کیرشهف (K.C.L) استفاده می‌شود. بدین منظور، مراحل زیر را طی می‌کنیم.

مرحله ۱: مدار را تا حد ممکن ساده می‌کنیم؛ مثلاً مقاومت‌های موازی یا سری را به صورت معادل آنها قرار می‌دهیم یا گره‌های گسترده ( ) را یک جا ( ) رسم کنیم.



مرحله ۲: گره‌های مدار را مشخص می‌کنیم و به هر کدام یک پتانسیل نسبت می‌دهیم؛ مانند

$$V_1, V_2, \dots, V_n$$

مرحله ۳: یکی از نقاط گره را، که بهتر است پر انشعاب‌ترین آنها باشد، به عنوان گره مبنا انتخاب می‌کنیم. فرض بر این است که پتانسیل گره مبنا صفر است.

## پودمان ۲: تحلیل مدارهای الکتریکی

**مرحله ۴:** برای هر گره، معادله جریان‌های کیرشهف (K.C.L) را می‌نویسیم. برای نوشتن معادله در هر گره به جز منابع جریان (که جهت جریان مشخصی دارند)، جریان بقیه شاخه‌ها را خروجی در نظر می‌گیریم و با علامت مثبت منظور می‌کنیم. علامت جریان ورودی به گره، منفی خواهد بود.

**مرحله ۵:** برای مداری با  $n$  گره،  $n - 1$  معادله‌ای نوشته می‌شود که شامل معادله گره‌ها به جز گره مبناست. تعداد معادله‌ها با تعداد مجهولات، که پتانسیل‌های گره هستند؛ برابر است.

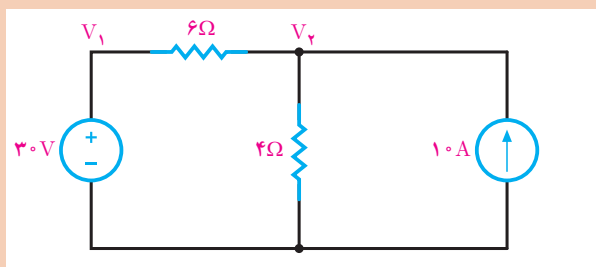
**مرحله ۶:** با حل دستگاه معادلات چند مجهولی، پتانسیل گره‌ها را به دست می‌آوریم.

**مرحله ۷:** با معلوم بودن پتانسیل گره‌ها، جریان هر شاخه به راحتی به کمک قانون اهم محاسبه می‌شود.

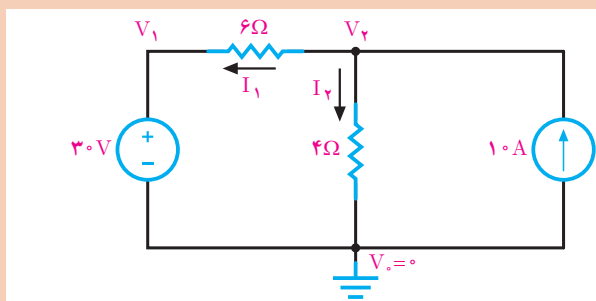
مثال



توان مصرفی مقاومت ۴ اهم را در شکل زیر به روش پتانسیل گره حساب کنید.



**حل: الف)** این مدار شکل ساده‌ای دارد و ساده‌تر نمی‌شود.  
**ب)** گره پایین را مبنا اختیار می‌کنیم و به بقیه گره‌ها ولتاژ نسبت می‌دهیم.



**پ)** اکنون معادله جریان‌ها را در گره می‌نویسیم. در این مثال، پتانسیل گره ۱ معلوم است؛ زیرا از آنجا که یک سر منبع ولتاژ به گره مبنا وصل است، پتانسیل سر دیگر آن بسته به پلاریته منبع، به اندازه اختلاف پتانسیل دو سر آن بیشتر یا کمتر از پتانسیل مبنا خواهد بود. در اینجا گره ۱ به پلاریته مثبت منبع وصل است. پس پتانسیل آن برابر ۳۰ ولت می‌شود. در نتیجه، معادله جریان‌ها را فقط برای گره ۲ به شرح زیر می‌نویسیم.

$$KCL + I_1 + I_2 - 10 = 0 + \frac{V_2 - V_1}{6} + \frac{V_2 - V_0}{4} - 10 = 0$$

۲ گره

چون جهت  $I_3$  مخالف جهت منبع جریان است برای آن علامت منفی در نظر می‌گیریم. با جاگذاری مقادیر  $V_1$  و  $V_2$  خواهیم داشت:

$$\frac{V_2 - 30}{6} + \frac{V_2}{4} = 10$$

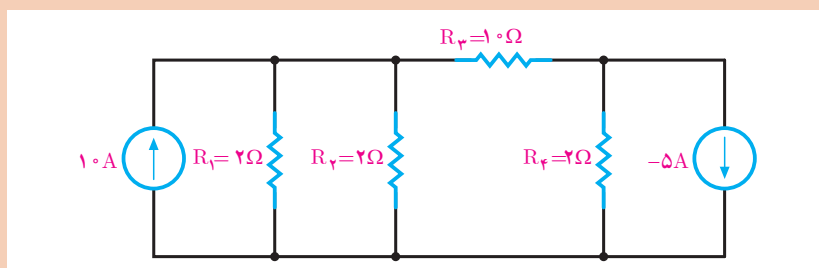
معادله بالا را حل می‌کنیم و ولتاژ  $V_2$  را به دست می‌آوریم.

$$\frac{2(V_2 - 30) - 3V_2}{12} = 10 \rightarrow 5V_2 - 60 = 120$$

$$5V_2 = 180 \rightarrow V_2 = \frac{180}{5} = 36V$$

$$P_{4\Omega} = \frac{V_2^2}{4} = \frac{36^2}{4} = 324W$$

در مدار شکل زیر، جریان را در مصرف‌کننده  $10\Omega$  اهم حساب کنید.



کار در کلاس



اگر در مدار تعداد حلقه‌ها زیاد ولی تعداد گره‌ها کم باشد، استفاده از روش پتانسیل گره، مناسب‌تر است، اگر تعداد حلقه‌ها کمتر از تعداد گره‌ها باشد، استفاده از روش جریان حلقه بهتر است؛ زیرا معادلات کمتری تشکیل می‌شود و حل کردن آنها ساده‌تر است.

توجه



### تحلیل مدار به روش اصل جمع آثار

در مدارهای الکتریکی که چند منبع تغذیه دارند، هریک از منابع در مدار جریانی ایجاد می‌کند و جریان هر عنصر در مدار از، جمع جبری جریان‌هایی که هر منبع در آن عنصر ایجاد می‌کند، به دست می‌آید. به عبارت دیگر، جریان عناصر مدار از مجموع جبری آثار تک تک منابع در مدار حاصل می‌شود. در تحلیل مدار به روش جمع آثار باید اثر هر یک از منابع را به طور جداگانه با بی‌اثر کردن منابع دیگر بر کمیت مجهول محاسبه کرد.

پودمان ۲: تحلیل مدارهای الکتریکی

جمع آثار در مورد ولتاژ دو سر هر عنصر نیز صادق است ولی در مورد کمیت‌هایی که با مجذور جریان یا ولتاژ متناسب هستند، صدق نمی‌کند. مثلاً توان در یک مقاومت اهمی را نمی‌توان از مجموع توان‌هایی به‌دست آورد که هر منبع به تنهایی می‌تواند در آن عنصر ایجاد کند.

وقتی منبع ولتاژ را از مدار حذف می‌کنیم، دوسر آن را اتصال کوتاه می‌کنیم ولی اگر بخواهیم منبع جریانی را از مدار حذف کنیم باید آن را باز کرده و از مدار جدا سازیم.

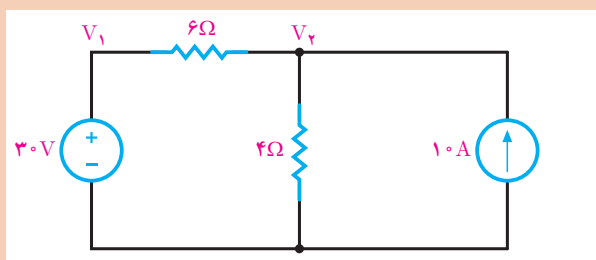
تذکر



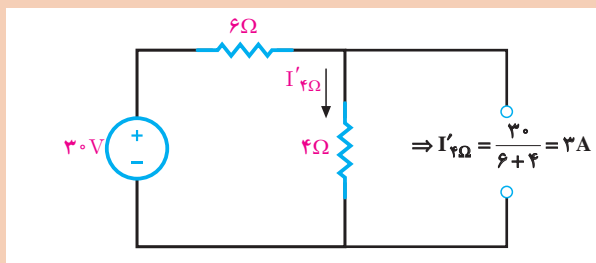
مثال



توان مصرفی در مقاومت ۴ اهم را در شکل زیر به روش اصل جمع آثار حساب کنید.

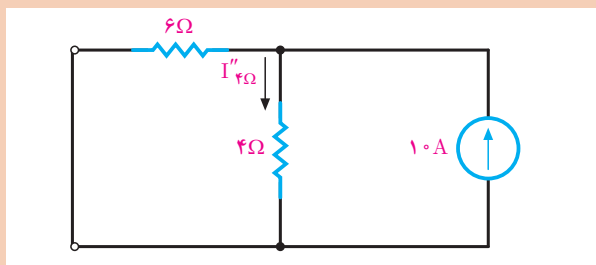


حل: الف) منبع جریان را حذف و جریان مقاومت ۴ اهم را به‌دست می‌آوریم.



ب) منبع ولتاژ را حذف می‌کنیم و مجدداً جریان مقاومت ۴ اهم را به‌دست می‌آوریم.

$$I''_{4\Omega} = 10 \times \frac{6}{6+4} = 6A$$



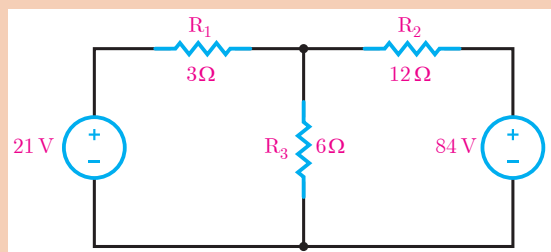
ب) اکنون با جمع آثار، جریان مقاومت ۴ اهم را در مدار اصلی به دست می‌آوریم و سپس توان آن را حساب می‌کنیم.

$$I_{f\Omega} = I'_{f\Omega} + I''_{f\Omega} = 3 + 6 = 9A$$

$$P_{f\Omega} = 4 \times 9^2 = 324W$$

همان طور که دیدید، مدار فوق را به هر سه روش اصل جمع آثار، پتانسیل گره و جریان حلقه حل کردیم و در هر سه مورد به یک پاسخ رسیدیم. پس مدارها را به روش‌های مختلف می‌توان تحلیل کرد؛ ولی باید ببینیم که در کدام روش با تعداد معادلات کمتر و ساده‌تری به نتیجه می‌رسیم.

نتیجه: در روش جمع آثار به ازای هر منبع، مدار یک‌بار تحلیل می‌شود. این روش زمانی نسبت به سایر روش‌ها ترجیح داده می‌شود که مدار ساده‌تر حل شود.



در مدار شکل روبه‌رو جریان را در مقاومت‌های  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  و توان و ولتاژ مقاومت ۶ اهم را محاسبه کنید.

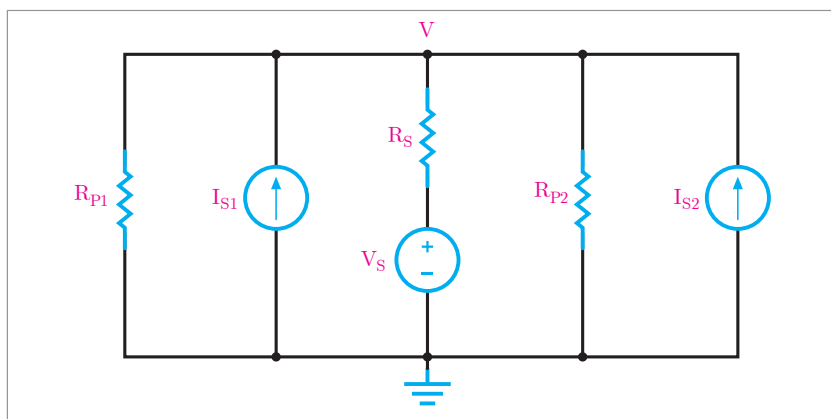
کار در کلاس



### تبدیل منابع ولتاژ و جریان به یکدیگر

در تحلیل مدارهای الکتریکی، مواردی پیش می‌آید که به نظر می‌رسد اگر به جای منبع ولتاژ، یک منبع جریان در مدار قرار داشته باشد، تحلیل مدار ساده‌تر انجام می‌گیرد. به شکل ۲۵ توجه کنید. اگر در این مدار به جای منبع واقعی  $V_s$  یک منبع جریان واقعی وجود داشت، همهٔ مقاومت‌های منابع مدار با هم موازی بودند و به راحتی با یک محاسبهٔ مقاومت معادل، استفاده از قوانین اهم و جریان‌های کیرشهف، ولتاژ  $V$  به دست می‌آمد. مطلب یاد شده این فکر را به وجود می‌آورد که چگونه می‌توان منابع ولتاژ و جریان را جایگزین یکدیگر کرد. برای این منظور، چنانچه منابع را جایگزین یکدیگر کنیم، نباید در ولتاژ و جریان مصرف‌کننده تغییری ایجاد شود. پس اگر منبع ولتاژی را جایگزین منبع جریانی کنیم بدون آنکه جریان و ولتاژ مصرف‌کننده تغییر کنند، می‌توان گفت این دو منبع، معادل هم هستند. با توجه به توضیحات فوق منابع معادل را هم به صورت زیر می‌توان محاسبه کرد.

پودمان ۲: تحلیل مدارهای الکتریکی



شکل ۲۵

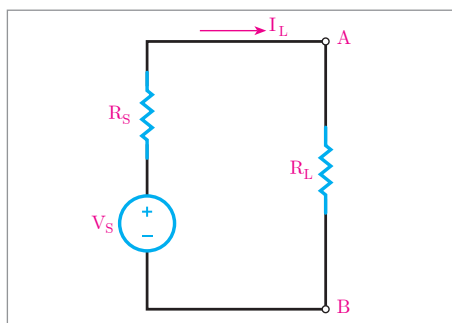
به شکل ۲۶ نگاه کنید. مصرف کننده  $R_L$  در هر دو مدار یکی است. ابتدا جریان مصرف کننده ها را در هر دو مدار حساب می کنیم.

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

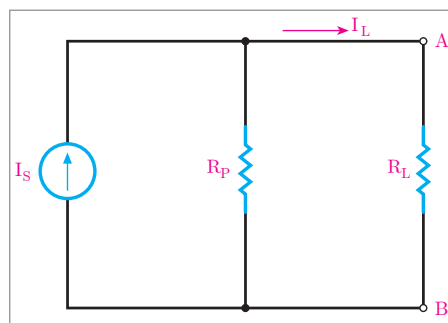
در مدار «الف» داریم:

$$I_L = \frac{V_s}{R_L + R_s}$$

در مدار «ب» داریم:



ب



الف

شکل ۲۶

اکنون برای اینکه دو منبع شکل های بالا معادل هم باشند، باید جریان  $I_L$  در هر دو حالت برابر باشند. با مساوی قرار دادن جریان ها داریم:

$$I_{LS} = I_{LP}$$

$$\frac{V_s}{R_L + R_s} = \frac{I_s R_p}{R_L + R_p}$$

در معادله قبل اگر صورت کسرها برابر باشند، زمانی تساوی برقرار می‌شود که مخرج کسرها نیز با هم برابر باشند. در این صورت می‌توان نوشت:

$$R_1 + R_s = R_1 + R_p \rightarrow R_s = R_p$$

$$V_s = I_s R_p \text{ و } I_s = \frac{V_s}{R_s}$$

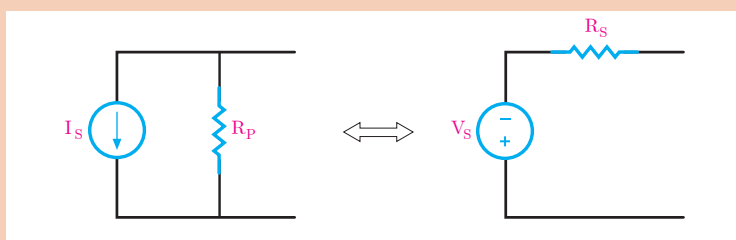
نتیجه: برای تبدیل یک منبع جریان به منبع ولتاژ باید مقدار جریان منبع را در مقاومت داخلی آن ضرب کنیم تا مقدار منبع ولتاژ معادل به دست آید. به عکس، اگر بخواهیم منبع ولتاژی را به منبع جریان تبدیل کنیم کافی است ولتاژ منبع را بر مقاومت داخلی آن تقسیم کنیم تا مقدار منبع جریان معادل به دست آید. بدیهی است که مقاومت داخلی منابع جریان و ولتاژ با هم برابر خواهد بود.

توجه



۱ اگر در مدار، اطلاعاتی از مصرف‌کننده‌ها با منابع خواسته شود تبدیل منبع در آن قسمت صحیح نمی‌باشد.

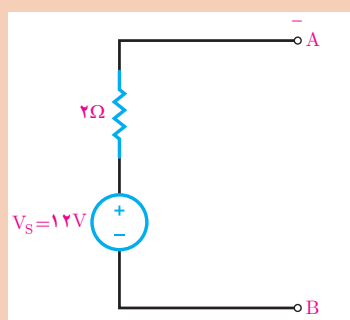
۲ در تبدیل منابع ولتاژ و جریان به یکدیگر ضرور است به جهت و علامت منابع مطابق شکل زیر توجه شود. (شکل زیر)



مثال



منبع جریان معادل و منبع ولتاژ شکل زیر را به دست آورید.

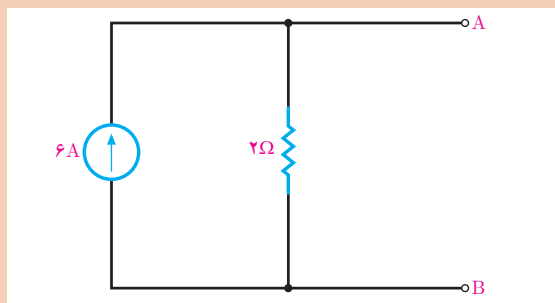


$$R_p = R_s = 2\Omega \text{ و } I_s = \frac{12}{2} = 6A$$

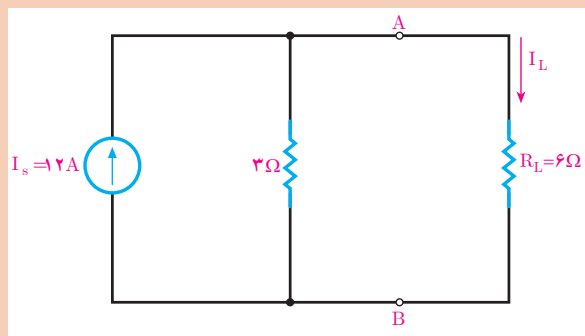
حل:



پس منبع جریان معادل به صورت شکل زیر درمی آید.



در شکل زیر ابتدا جریان مصرف کننده ( $R_L$ ) را حساب کنید. سپس منبع ولتاژ معادل و منبع جریان مدار را محاسبه کرده شکل مدار را رسم کنید و بار دیگر جریان مصرف کننده را محاسبه نمایید.



کار در کلاس



### مدار معادل تونن و نورتن مدارهای الکتریکی

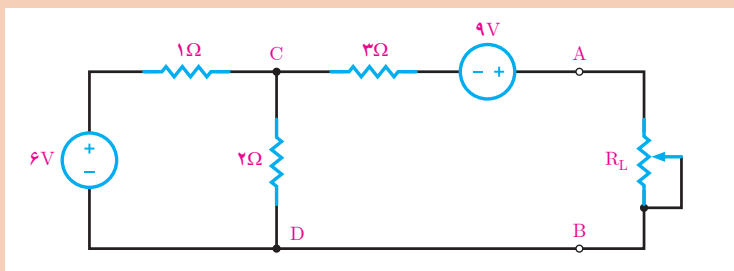
در تجزیه و تحلیل مدارهای الکتریکی به مواردی برخورد می کنیم که مدار از عناصر زیادی درست شده است و تعداد زیادی گره و حلقه دارد؛ اما هدف ما فقط بررسی یک عنصر در مدار است و می خواهیم بدانیم با تغییرات این عنصر، مثلاً جریان یا توان آن، چه تغییراتی خواهد داشت. در این مورد تحلیل تکراری مدار بسیار مشکل خواهد بود. حتی اگر از روش های رایانه ای نیز برای تحلیل استفاده کنیم، باز محاسبه های مکرر به زمان بیشتری نیاز دارد. برای از بین بردن این مشکل، راه حل هایی ارایه شده است. به این ترتیب که همیشه می توان تمامی عناصر مدار را از دو سربار یا عنصر مورد نظر به صورت یک منبع واقعی جریان یا ولتاژ، معادل سازی کرد. اگر مدار را به صورت یک منبع ولتاژ واقعی معادل سازی کنیم، مدار را (معادل تونن) گویند و اگر مدار به صورت منبع جریان واقعی معادل سازی شود، آن را (معادل نورتن) مدار گویند. در این جا با ذکر مثال هایی چگونگی محاسبه معادل تونن و نورتن مدارهای الکتریکی را بیان می کنیم. تونن و نورتن دو دانشمند بودند که در زمینه مخابرات کار می کردند.

**معادل تونن مدارهای الکتریکی:** برای به دست آوردن معادل تونن مدار، ابتدا بار یا عنصر مورد نظر را از مدار جدا می‌کنیم، سپس اختلاف پتانسیل بین دو نقطه‌ای را که بار از آن جا جدا شده است، به یکی از روش‌های تحلیل که قبلاً آموخته‌ایم محاسبه می‌کنیم. ولتاژ به دست آمده که به آن ولتاژ مدار باز ( $V_{oc} = \text{Voltage Open Circuit}$ ) گفته می‌شود همان ولتاژ تونن ( $V_{th} = \text{Voltage Thevenan}$ ) مدار است. برای به دست آوردن مقاومت معادل مدار، تمام منابع را بی‌اثر می‌کنیم (منابع جریان باز و منابع ولتاژ اتصال کوتاه). سپس با نگاه به مدار از دو نقطه‌ای که بار از آنجا باز شده، مقاومت معادل کل را به دست می‌آوریم. این مقاومت تونن مدار ( $R_{th} = \text{Resistance Thevenan}$ ) خواهد بود.

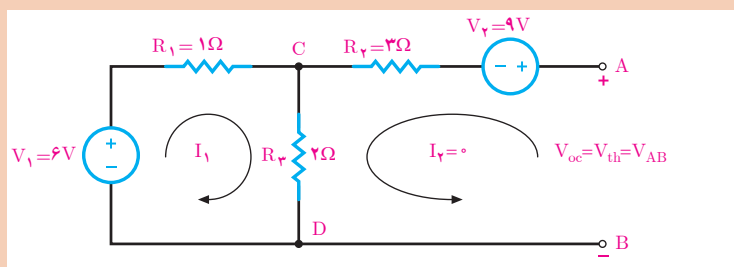
مثال



در مدار شکل زیر برای اینکه بتوانیم اثر تغییرات بار را بررسی کنیم، معادل تونن مدار را چگونه به دست می‌آوریم.



**حل:** ۱ ابتدا مطابق شکل زیر، بار را از مدار جدا کرده و سپس ولتاژ بین دو پایه A و B را محاسبه می‌کنیم.



در مدار شکل بالا بین دو نقطه A و B باز است؛ بنابراین  $I_2 = 0$  می‌شود و با اعمال (K.V.L) به حلقه داریم:

$$-V_1 + R_1 I_1 + R_2 (I_1 + I_2) = 0$$

مقادیر  $V_1$  و  $I_2$  را جایگزین می‌کنیم و  $I_1$  را به دست می‌آوریم.

$$-6 + 1 \times I_1 + 2(I_1 + 0) = 0 \Rightarrow I_1 = 2A$$

KVL در حلقه ۱

۲ با به دست آوردن  $I_1$  می توان  $V_{OC}$  را با اعمال KVL به حلقه  $I_1$  به دست آورد:

KVL در حلقه ۲

$$R_2(I_2 + I_1) - V_{OC} + V_2 + R_2 I_2 = 0$$

$$2(0 + 2) - V_{OC} + 9 + 3(0) = 0$$

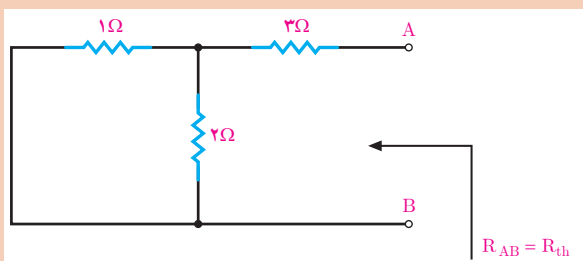
بنابراین، داریم:

$$V_{OC} = 9 + 4 = 13V$$

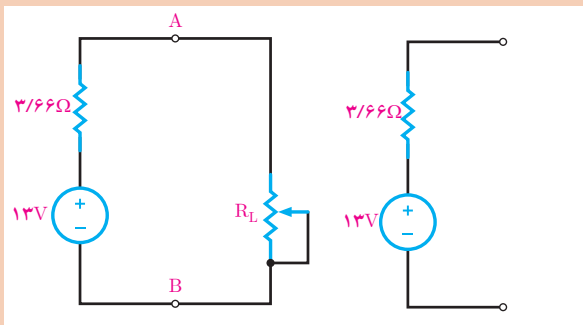
$$V_{OC} = V_{th} = 13V$$

$V_{th}$  همان  $V_{OC}$  است.

۳ اکنون منابع ولتاژ مدار را مطابق شکل زیر بی اثر می کنیم و مقاومت معادل آن را از دو پایانه A و B به دست می آوریم.



$$R_{th} = \frac{1 \times 2}{1 + 2} + 3 = 3.66 \Omega$$



۴ اکنون معادل تونن مدار به صورت

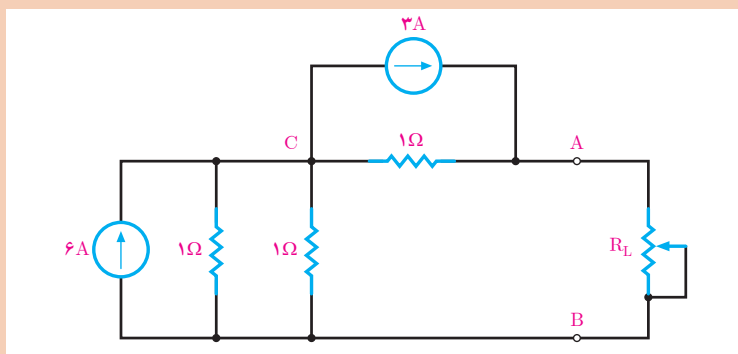
شکل زیر به دست آمده است. می توان بار را به مدار معادل وصل کرد و تحلیل لازم را انجام داد.

### معادل نورتن مدارهای الکتریکی

برای به دست آوردن معادل نورتن مدار، باز هم ابتدا بار را از مدار جدا می کنیم. برای به دست آوردن مقاومت معادل نورتن مدار ( $R_N$ ) نیز درست به همان صورتی عمل می کنیم که هنگام به دست آوردن مقاومت معادل تونن انجام دادیم. پس می توان گفت مقاومت های معادل تونن و نورتن یکی هستند ( $R_N = R_{th}$ )؛ اما برای محاسبه جریان معادل نورتن مدار، پس از باز کردن بار، دو پایانه ای را که بار از آنجا جدا شده است، اتصال کوتاه می کنیم و سپس جریان عبوری از این اتصال کوتاه را محاسبه می کنیم. این جریان که به جریان مدار اتصال کوتاه ( $I_{SC}$ ) معروف است، همان جریان معادل نورتن مدار ( $I_N$ ) می باشد.

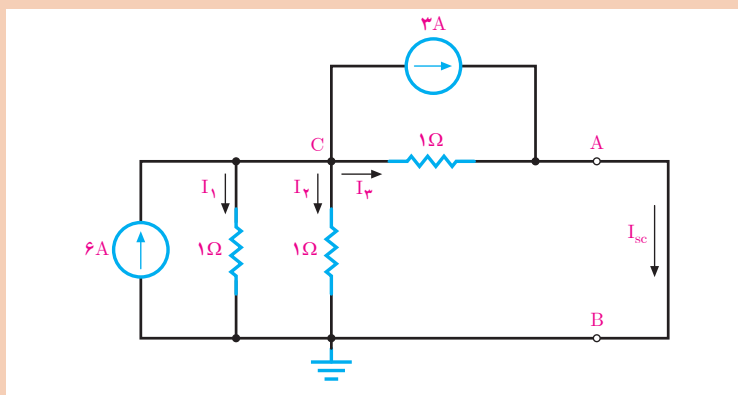


در شکل زیر معادل نورتن مدار را به دست آورید.



حل:

۱ ابتدا بار را جدا کرده و دو پایانه A و B را اتصال کوتاه می کنیم.



۲ این مدار را می توان از روش پتانسیل گره حل کرد و  $I_{SC}$  را محاسبه نمود. توجه داشته باشید که در این حالت، گره های A و B به یک گره تبدیل می شوند. پس می توان نوشت:

$$\text{KCL: } -6 + I_1 + I_2 + I_3 + 3 = 0$$

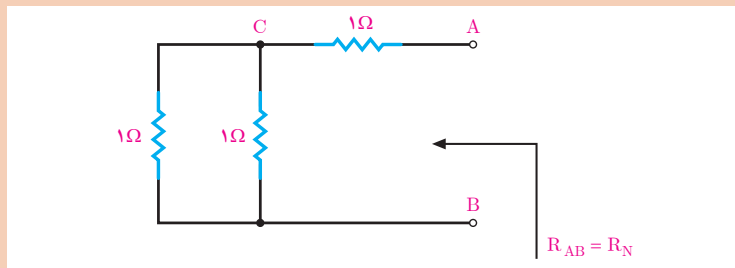
$$-6 + \frac{V_C}{1} + \frac{V_C}{1} + \frac{V_C}{1} + 3 = 0 \rightarrow V_C = 1V$$

به این ترتیب، جریان در هریک از مقاومت ها نیز یک آمپر است، و همگی از گره C خارج می شوند. جریان  $I_{SC}$  نیز از مجموع دو جریان (یکی منبع ۳ آمپری و دومی جریان  $I_2$ ) به دست می آید. پس داریم:

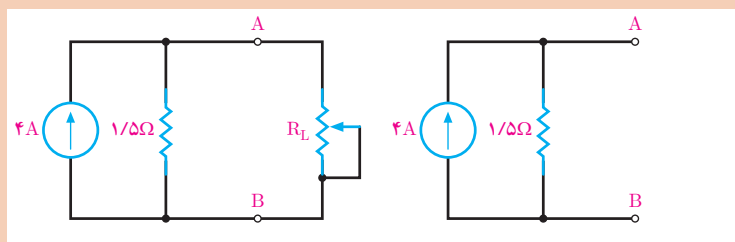
$$I_{SC} = 3 + 1 = 4A$$

۳ مقاومت معادل تونن با بی اثر کردن منابع، در حالی که مقاومت معادل بار باز شده است، به دست می آید.

$$R_N = \frac{1 \times 1}{1+1} + 1 = 1.5 \Omega$$



۴ معادل نورتن مدار و مدار کامل با بار به صورت شکل های زیر است.



گاهی ممکن است معادل تونن مداری را داشته باشیم و بخواهیم معادل نورتن همان مدار یا به عکس معادل نورتن را داشته باشیم. در این گونه موارد به راحتی می توانیم با تبدیل منابع معادل دیگر برای مدار به دست آوریم.

معادل نورتن و معادل تونن مدارها را به دست آورید.

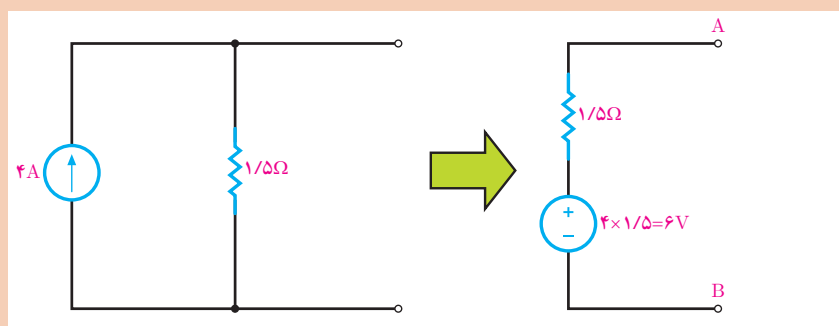
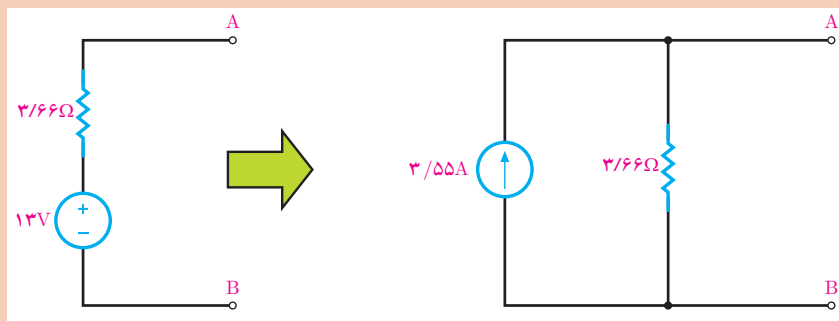
تذکره: برای جلوگیری از اشتباه و تعیین جهت صحیح جریان منابع و ولتاژهای ولتاژ آنها به جهت جریان اتصال کوتاه ( $I_{SC}$ ) و همچنین به ولتاژهای ولتاژ مدار ( $V_{OS}$ ) باز کاملاً دقت کنید.

$$R_{th} = R_N = \frac{V_{Th}}{I_{SC}} = \frac{13}{3.66} = 3.55 A$$

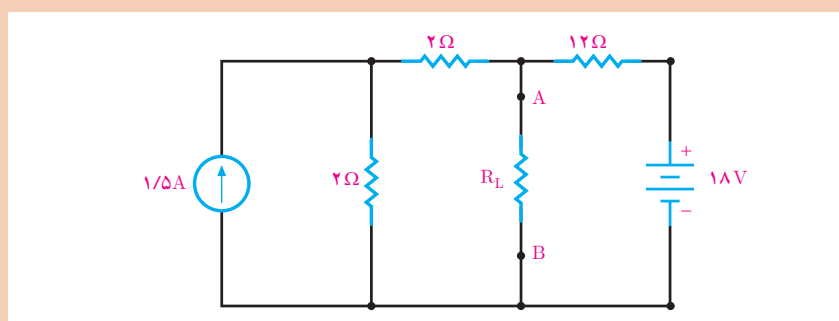
$$V_{th} = I_N \times R_N = 4 \times 1.5 = 6V$$

مثال





در مدار شکل زیر مطلوب است:



الف) محاسبه  $R_N$  و  $I_N$  از دو سر بار؛  
ب) رسم مدار معادل نورتن.

$$R_N = \frac{(2+4) \times 12}{(2+4) + 12} = 4\Omega$$

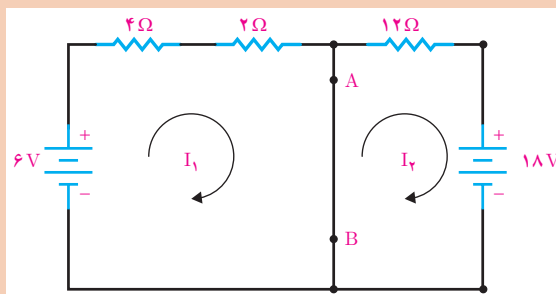
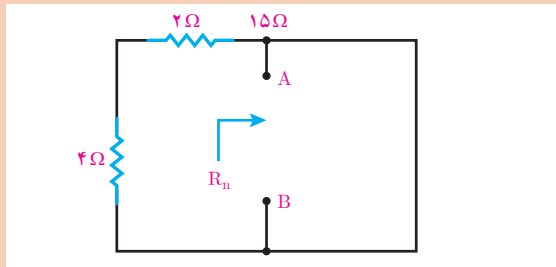
مثال



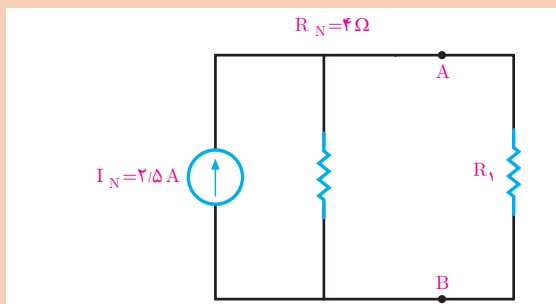
حل: الف)

$$I_1 = \frac{6}{6} = 1 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{18}{12} = 1.5 \text{ A}$$



حل: ب)



$$\rightarrow I_N = I_1 + I_2 = 2/5 \text{ A}$$

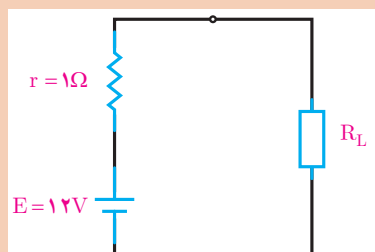
### انتقال حداکثر توان به بار

یکی از مسائلی که در مدارهای الکتریکی مطرح می‌شود این است که در چه شرایطی می‌توان حداکثر توان ممکن را به بار منتقل کرد؟ از آنجا که منابع تغذیه دارای مقاومت داخلی هستند تمامی توان را که به مدار تحویل می‌دهند به بار نمی‌رسد. انتقال حداکثر توان ممکن را به بار، تطابق می‌گویند در همه مدارها به خصوص در مدارهای الکترونیک که عناصر زیادی در مدار وجود دارد و مدار از قسمت‌ها و طبقات مختلفی درست شده است، ایجاد تطابق بین طبقات مختلف مدار و انتقال حداکثر توان از یک طبقه به طبقه دیگر مسئله مهمی است. در نتیجه همواره چگونگی انتقال حداکثر توان مورد توجه قرار می‌گیرد. اگر مقاومت بار

صفر باشد (اتصال کوتاه شود)، چون ولتاژ دوسر خروجی صفر می‌شود، پس توان آن نیز صفر خواهد بود. از طرفی اگر مقاومت بار بی‌نهایت باشد به دلیل صفر بودن جریان این بار، توان آن نیز صفر می‌شود. بدیهی است که اگر بار دارای ولتاژ و جریان باشد، دارای توان نیز خواهد بود. پس اگر مقاومت بار از صفر زیادتر شود و تا بی‌نهایت افزایش یابد (مدار باز شود) توان آن هم از صفر زیادتر می‌شود و مجدداً به صفر برمی‌گردد. در این بین، حالتی وجود دارد که توان مصرف‌کننده به بیشترین مقدار می‌رسد. محاسبه‌ها نشان می‌دهند که زمانی حداکثر توان به بار یا مصرف‌کننده منتقل می‌شود که مقاومت بار با مقاومت داخلی منبع تغذیه برابر باشد. اگر مدار دارای عناصر زیادی باشد می‌توان با به دست آوردن معادل تونن یا نورتون مدار، از دو سر بار، تمامی مدار را به صورت یک منبع ولتاژ یا جریان واقعی نشان داد. در این صورت می‌توان گفت:

زمانی حداکثر توان به بار منتقل می‌شود که مقاومت بار با مقاومت معادل تونن یا نورتون برابر باشد.  
شرط ماکزیمم شدن توان بار  $R_L = R_{th} = R_N$

مثال



یک باتری مطابق شکل زیر با مقاومت داخلی  $R = 1\Omega$ ، نیروی محرکه  $E = 12V$  را تولید می‌کند. این باتری در چه جریانی می‌تواند حداکثر توان را به بار بدهد؟ در این حال توان مصرف‌کننده چند وات است؟ اگر مقاومت بار را به ترتیب  $R_L = 3\Omega$  و  $R_L = 0.5\Omega$  در نظر بگیریم در هر مرحله، توان مصرفی چند وات می‌شود.

حل: در صورت انتقال حداکثر توان مقاومت مصرف‌کننده باید با مقاومت داخلی مولد، یعنی یک اهم، برابر باشد. پس می‌توان نوشت:

$$R_L = r = 1\Omega$$

$$I = \frac{E}{r + R_L} = \frac{12}{1 + 1} = 6\text{ A}$$

$$P_{\max 1} = R_L \times I^2 = 1 \times 6^2 = 36\text{ W}$$

$$P_{r1} = R_L \left( \frac{E}{r + R_L} \right)^2 = 3 \times \left( \frac{12}{1 + 3} \right)^2 = 27\text{ W}$$

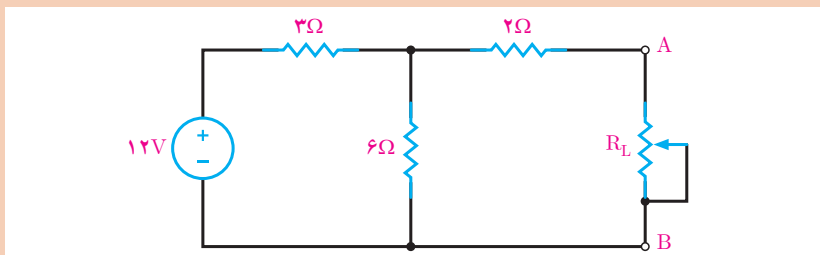
$$P_{r2} = 0.5 \times \left( \frac{12}{1 + 0.5} \right)^2 = 32\text{ W}$$

ملاحظه می‌شود که توان مصرفی در هر دو حالت فرض دوم، از حالت اول کمتر است؛ یعنی وقتی مقاومت بار از یک اهم کمتر یا بیشتر شود، توان مصرفی کوچک شده است. پس در مقاومت یک اهم، توان مصرفی در حداکثر ممکن است.





در مدار شکل زیر حداکثر توانی که می‌تواند به بار منتقل شود چند وات است و در چه مقدار از مقاومت بار حاصل می‌شود؟



حل: ابتدا مقاومت بار را از مدار جدا می‌کنیم و معادل تونن مدار را از دو نقطه A و B به دست می‌آوریم. با توجه به اینکه در صورت باز شدن  $R_L$  از مقاومت دو اهمی جریان نمی‌گذرد و ولتاژ آن صفر است پس  $V_{OC}$ ، همان ولتاژ دو سر مقاومت شش اهم است. در نتیجه می‌توان نوشت:

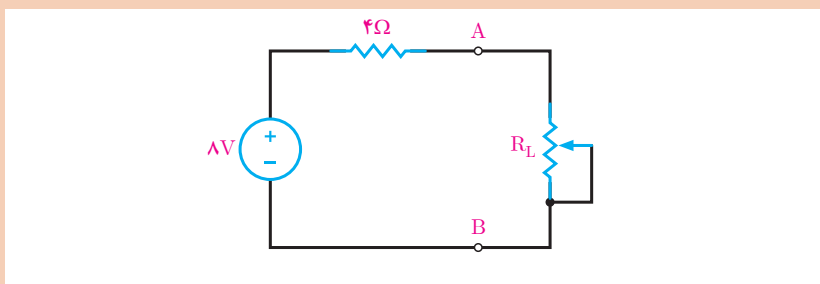
$$V_{th} = V_{OC} = V_6 \Omega = 12 \times \frac{6}{3+6} = 8V$$

$$R_{th} = \frac{3 \times 6}{3+6} + 2 = 2 + 2 = 4 \Omega$$

اکنون مدار را به صورت شکل زیر داریم:

برای انتقال حداکثر توان باید  $R_L$  مساوی چهار اهم باشد و توان حداکثر در  $R_L$  برابر است با:

$$P_{max} = \left( \frac{8}{4+4} \right)^2 \times 4 = 4W$$



نتیجه: اگر مقاومت بار با مقاومت داخلی منبع برابر باشد، حداکثر توان به بار منتقل می‌شود و اندازه حداکثر توان در معادل تونن و نورتن را می‌توان از روابط زیر به دست آورد:

$$P_{max} = \frac{V_{th}^2}{4R_{th}} \quad (\text{حداکثر توان بار بر اساس معادل تونن مدار})$$

$$P_{max} = \frac{1}{4} R_N I_N^2 \quad (\text{حداکثر توان بار بر اساس معادل نورتن مدار})$$

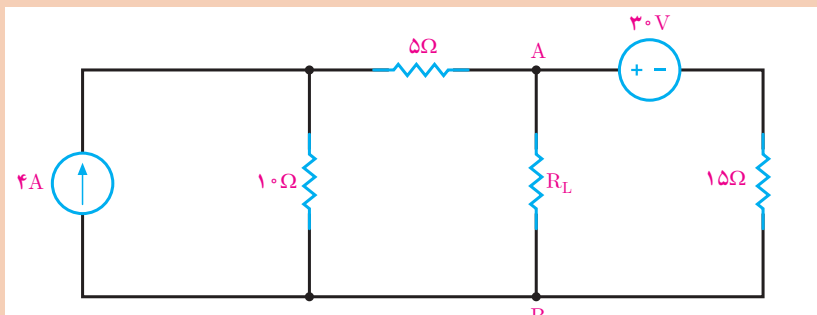


در مدار شکل مقابل مطلوب است:

الف) مقادیر  $R_{th}$  و  $V_{th}$  بین نقاط A و B؛

ب) رسم نمودن مدار معادل تونن؛

ج) تعیین مقدار  $R_L$  برای انتقال ماکزیمم توان به بار.



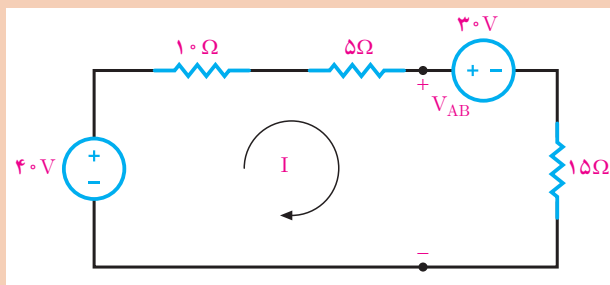
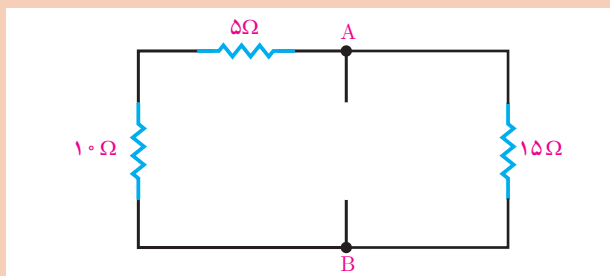
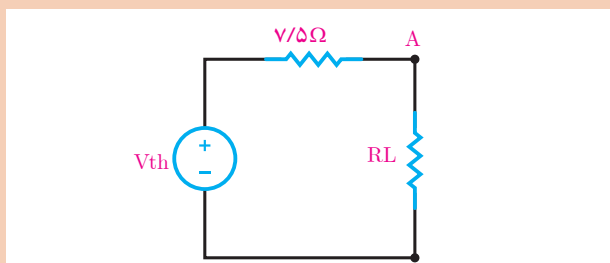
حل:

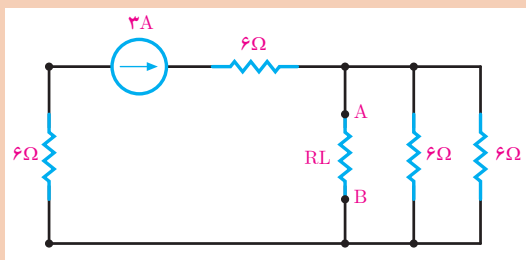
$$R_{th} = (5 + 10) \parallel 15 = 7.5 \Omega$$

$$R_L = R_{th} = 7.5 \Omega$$

$$I = \frac{40 - 30}{10 + 5 + 15} = \frac{10}{30} A$$

$$V_{AB} = 30 + 15 \times \frac{10}{30} = 35 V$$





در مدار داده شده مطلوب است:  
الف) با محاسبه  $R_N$  و  $I_N$  مدار معادل نورتن  
از دو سر بار را رسم کنید.  
ب)  $R_L$  چه مقدار انتخاب شود تا ماکزیمم  
توان به آن انتقال یابد؟

### مدارهای شامل سلف و خازن

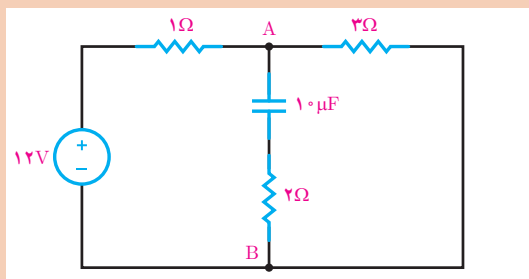
وقتی یک خازن به منبع ولتاژ جریان مستقیم وصل می‌شود، ابتدا جریان نسبتاً بزرگی در مدار جاری می‌شود و خازن رفته رفته شارژ می‌شود تا ولتاژ دو سر آن به اندازه ولتاژ منبع برسد. در همین حالت، جریان مدار هم به تدریج کاهش می‌یابد تا وقتی که خازن کاملاً شارژ شود. در این حالت جریان مدار به صفر می‌رسد. پس از این فرایند که حدود ۵ ثابت زمانی طول می‌کشد، خازن در مدار مانند یک کلید باز عمل می‌کند. وقتی ۵ ثابت زمانی سپری می‌شود در اصطلاح می‌گویند مدار به حالت پایدار یا ماندگار خود رسیده است. پس در مدارهای جریان مستقیم و در حالت ماندگار، جریان عبوری از خازن، صفر است و خازن به صورت یک کلید باز عمل می‌کند. در حالی که به اندازه ولتاژ اعمال شده به دو سر آن شارژ شده است. همچنین ملاحظه شد که سلف در مدار، با تغییرات جریان مخالف است؛ بنابراین، وقتی در یک مدار جریان مستقیم از جمله سلف، کلید مدار را وصل می‌کنیم، ابتدا سلف با ایجاد یک ولتاژ خود القایی در مخالف جهت ولتاژ اعمال شده، با برقراری جریان مخالفت می‌کند و جریان کمی در مدار جاری می‌شود؛ اما رفته رفته این مخالفت کاهش می‌یابد و از بین می‌رود به طوری که پس از گذشت ۵ ثابت زمانی، جریان مدار به حداکثر مقدار خود می‌رسد و نیروی محرکه خود القایی سلف به صفر می‌رسد. به طوری که می‌توان گفت وقتی یک مدار جریان مستقیم شامل سلف به حالت ماندگار می‌رسد، ولتاژ دو سر سلف «صفر» است و سلف به صورت یک هادی اتصال کوتاه عمل می‌کند. در واقع دیگر در مدار دیده نمی‌شود و نقشی ندارد. البته در این حالت به دلیل عبور جریان از سلف، مقداری انرژی در آن ذخیره می‌شود و در عین حال، جریان مدار، حداکثر توان خود را دارد. از زمانی که کلید مدار زده می‌شود تا زمانی که مدار به حالت پایدار خود برسد، حالت گذر گفته می‌شود. از آنجا که هنگام عمل در بسیاری از موارد به خصوص در وسایل الکترونیکی به مدارهای جریان مستقیمی برمی‌خوریم که از عناصر غیرفعال چون سلف خازن و مقاومت اهمی درست شده‌اند، به حل کردن نمونه‌هایی از این مدارها در حالت پایدار می‌پردازیم.



مدار شکل زیر در حالت ماندگار است. مطلوب است محاسبه:

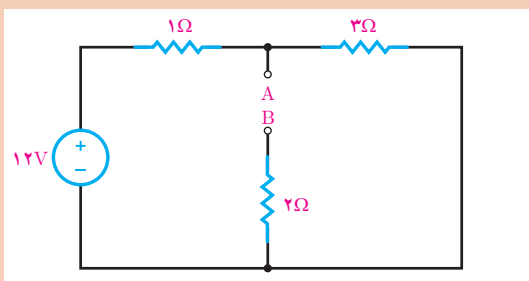
الف) جریان مقاومت ۳ اهمی؛

ب) انرژی ذخیره شده در خازن.



الف) در حالت ماندگار خازن شارژ می‌شود و مانند کلید باز عمل می‌کند. پس مدار به صورت شکل زیر درمی‌آید و جریان مقاومت ۳ اهمی برابر است با:

$$I_{3\Omega} = \frac{12}{1+3} = 3A$$



ب) اختلاف پتانسیل بین دو نقطه برابر است با:

$$V_{AB} = 3\Omega \times 3A = 9V$$

چون جریان از شاخه خازن دار جریان عبور نمی‌کند، پس افت ولتاژ دو سر مقاومت ۲ اهمی صفر و ولتاژ شارژ خازن همان  $V_C = V_{AB} = 9V$  است. در نتیجه داریم:

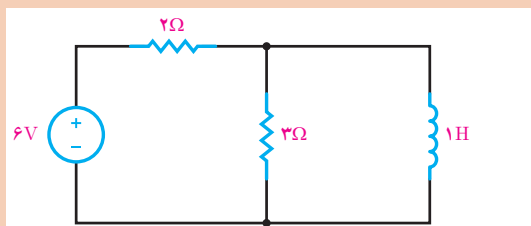
$$W_C = \frac{1}{2} C V_C^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 10^{-6} \times 9^2 = 405 \times 10^{-6}$$

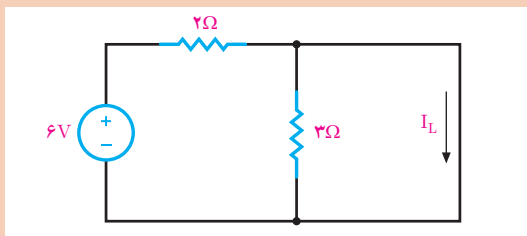
همان طور که می‌بینید با وجود اینکه جریان خازن صفر است ولی مقداری انرژی در آن ذخیره شده است.



مدار شکل زیر در حالت پایدار است. مطلوب است محاسبه:

الف) جریان مقاومت ۳ اهمی.





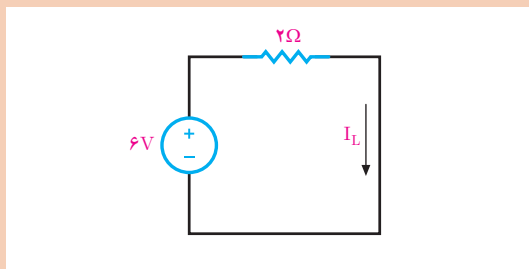
(ب) انرژی ذخیره شده در سلف.

حل: الف) در حالت ماندگار، سلف به صورت اتصال کوتاه عمل می‌کند؛ یعنی مدار به صورت شکل بالا درمی‌آید و چون دو سر مقاومت ۳ اهمی اتصال کوتاه است پس جریان از آن نمی‌گذرد و داریم:  $I_{3\Omega} = 0$   
 (ب) در حالت ماندگار مدار به صورت شکل زیر است. در نتیجه جریانی که از سلف می‌گذرد برابر است با:

$$I_L = \frac{6V}{2\Omega} = 3A$$

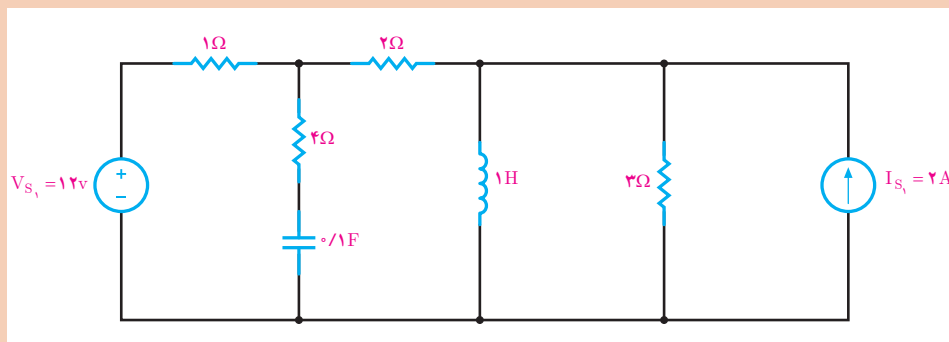
پس انرژی ذخیره شده در سلف برابر است با:

$$W_L = \frac{1}{2} L I_L^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 3^2 = 4.5 \text{ ژول}$$



مدار شکل زیر در حالت پایدار است. مطلوب است انرژی ذخیره شده در سلف و خازن و توانی که منبع ۱۲ ولتی به مدار می‌دهد.

مثال



حل: چون مدار در حالت پایدار قرار دارد، پس سلف، دارای اتصال کوتاه و خازن، دارای مدار باز است. در نتیجه، مقاومت ۳ اهم نیز اتصال کوتاه است و مدار به صورت شکل زیر درمی آید. در این حالت جریان عبوری از سلف و ولتاژ دو سر خازن به صورت زیر محاسبه می شود:

$$I_1 = \frac{12}{1+2} = 4A \quad I_2 = 2A$$

$$I_L = I_1 + I_2 = 4 + 2 = 6A$$

$$V_{1\Omega} = R_{1\Omega} \cdot I_1 = 1 \times 4 = 4V$$

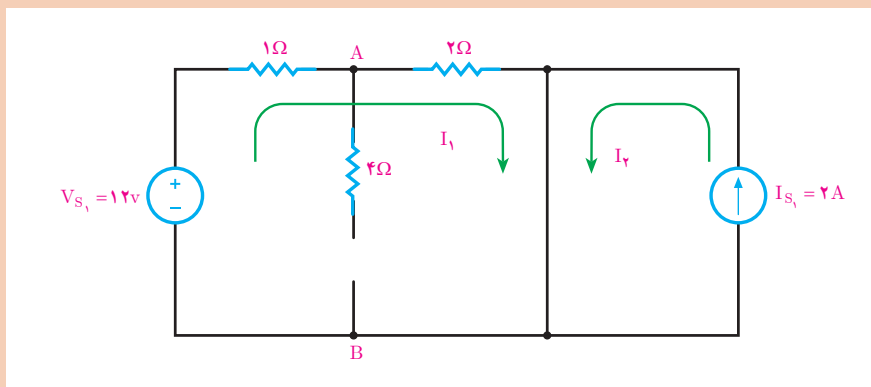
$$V_{AB} = V_C = V_{S1} - V_{1\Omega} = 12 - 4 = 8V$$

$$W_L = \frac{1}{2} L I_L^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 6^2 = 18J$$

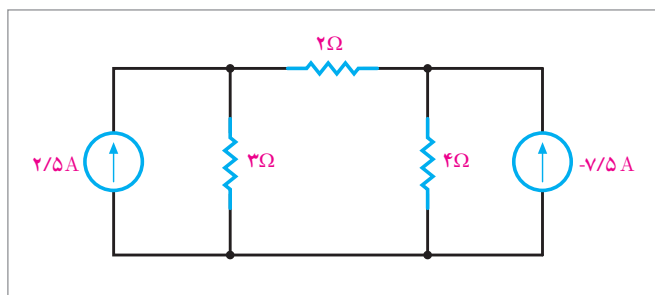
$$W_C = \frac{1}{2} C V_C^2 = \frac{1}{2} \times 0.1 \times 8^2 = 3.2J$$

توانی که منبع ۱۲ ولت به مدار تزریق می کند برابر است با:

$$P_{12V} = -12 \times 4 = -48W$$

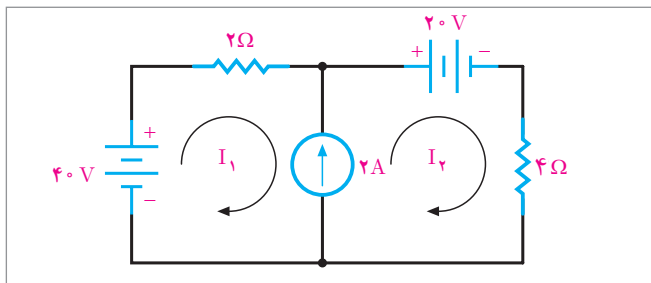


## ارزشیابی ۴

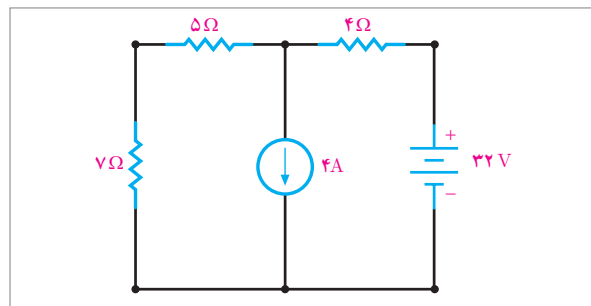


۱ با استفاده از روش پتانسیل گره توان مقاومت ۳ اهمی را حساب کنید.

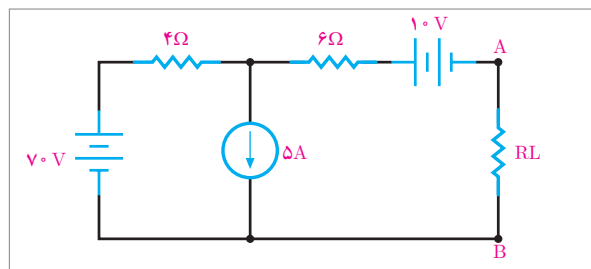
پودمان ۲: تحلیل مدارهای الکتریکی



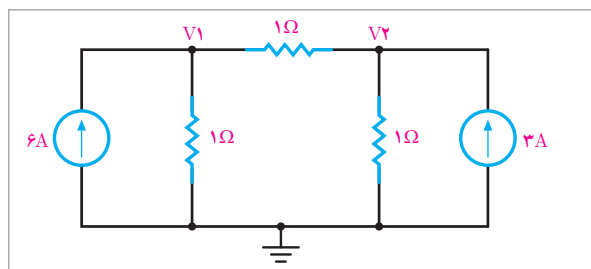
۲ در مدار شکل روبه‌رو به کمک روش جریان حلقه توان مقاومت ۴ اهمی را به‌دست آورید.



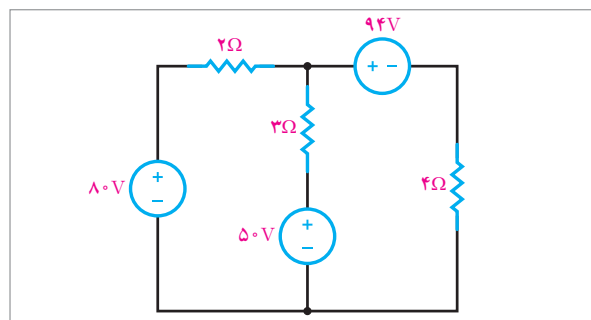
۳ در مدار شکل روبه‌رو به کمک روش جمع آثار افت ولتاژ دو سر مقاومت ۷ اهمی را محاسبه کنید.



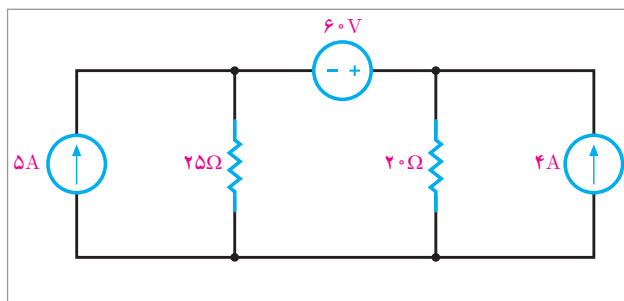
۴ در مدار شکل روبه‌رو مطلوب است:  
الف) محاسبه  $R_{th}$  و  $V_{th}$  از دو سر بار  
ب) رسم مدار معادل تونن  
ج) ماکزیمم توان قابل انتقال به بار



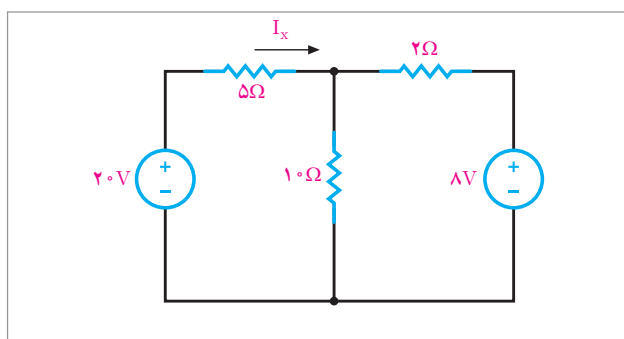
۵ در مدار شکل روبه‌رو به کمک روش پتانسیل گره، ولتاژهای  $V_1$  و  $V_2$  را به‌دست آورید.



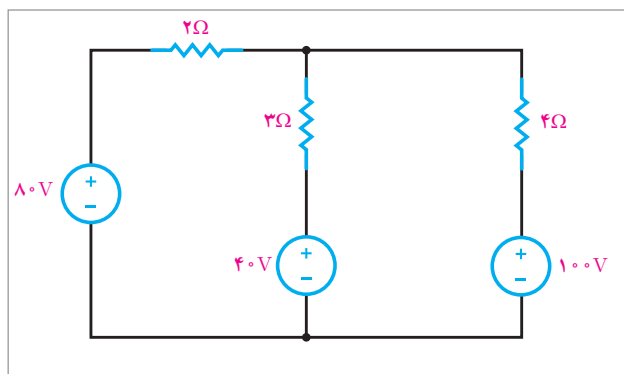
۶ در مدار شکل روبه‌رو با استفاده از روش جریان حلقه، توان مصرفی در مقاومت ۳ اهمی را حساب کنید.



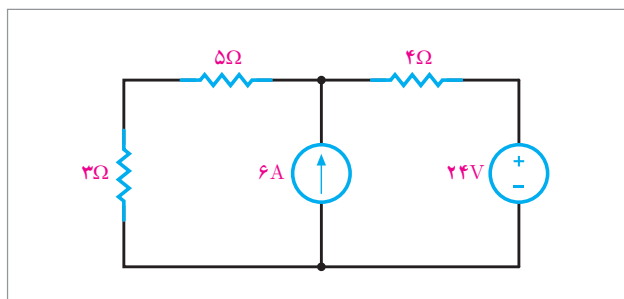
۷ در مدار شکل روبه‌رو با استفاده از روش جریان حلقه و بدون تبدیل منابع، توان منبع ولتاژ را محاسبه کنید.



۸ در مدار شکل روبه‌رو با استفاده از روش پتانسیل گره و بدون تبدیل منابع، جریان  $I_x$  را حساب کنید.



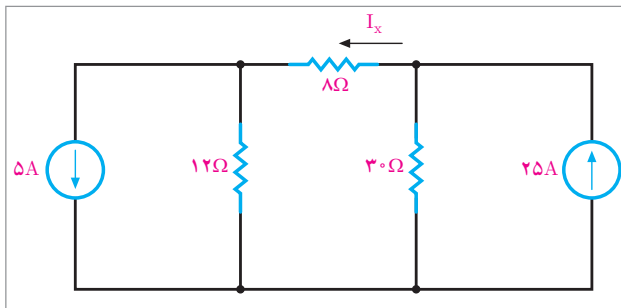
۹ در مدار شکل روبه‌رو با استفاده از روش پتانسیل گره و بدون تبدیل منابع، توان مصرفی در مقاومت ۳ اهمی را محاسبه کنید.



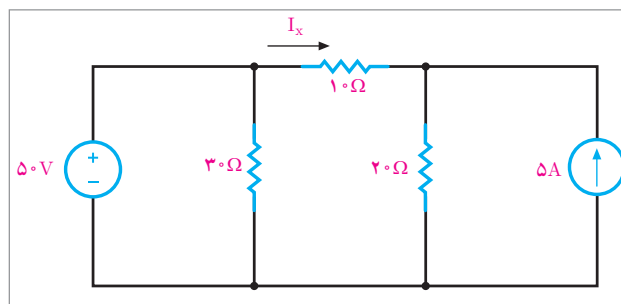
۱۰ در مدار شکل روبه‌رو با استفاده از اصل جمع آثار، توان را در مقاومت ۳ اهمی محاسبه کنید.



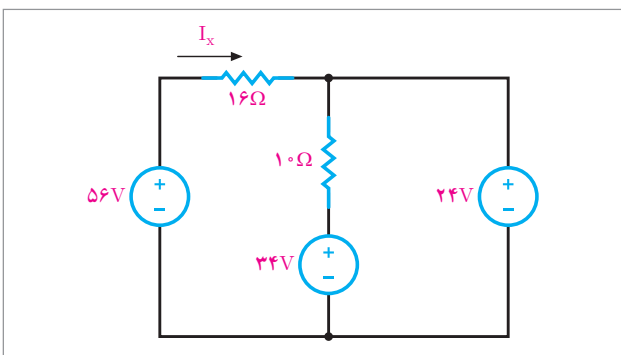
پودمان ۲: تحلیل مدارهای الکتریکی



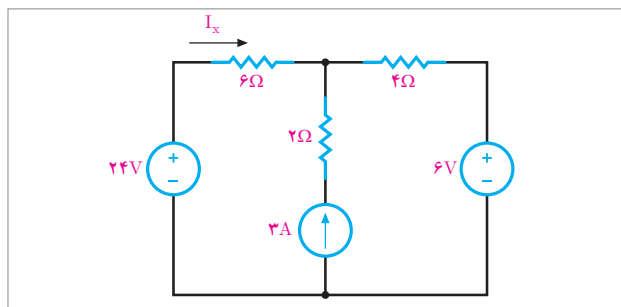
۱۱ در مدار شکل روبه‌رو با استفاده از روش جمع آثار، جریان  $I_x$  را در مدار شکل زیر حساب کنید.



۱۲ در مدار شکل روبه‌رو مطلوب است محاسبهٔ جریان  $I_x$  با استفاده از روش‌های:  
(الف) اصل جمع آثار؛  
(ب) پتانسیل گره؛  
(ب) جریان حلقه.



۱۳ در مدار شکل روبه‌رو مطلوب است:  
(الف) جریان  $I_x$ ؛  
(ب) توان مصرفی در مقاومت ۱۰ اهمی؛  
(ب) توان منبع ولتاژ ۲۴ ولتی.



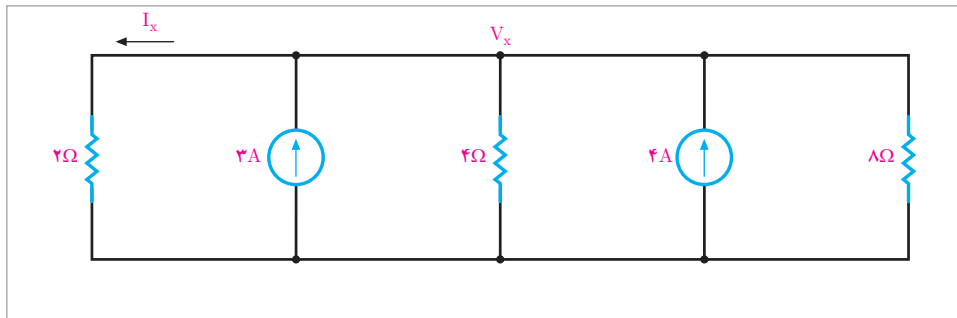
۱۴ در مدار شکل روبه‌رو جریان  $I_x$  را از طریق پتانسیل گره محاسبه کنید.

۱۵ در مدار شکل زیر مطلوب است:

الف) پتانسیل  $V_X$ ؛

ب) جریان  $I_X$ ؛

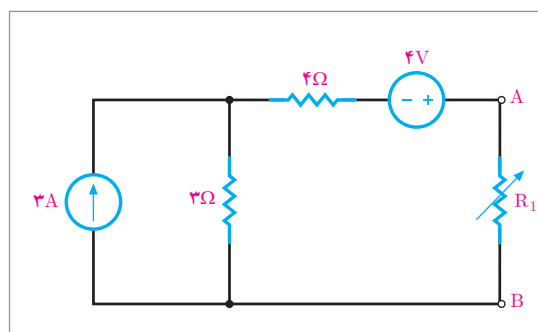
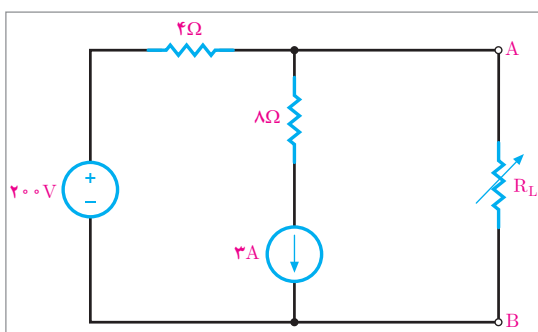
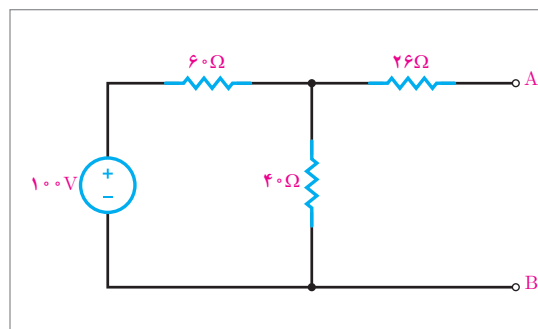
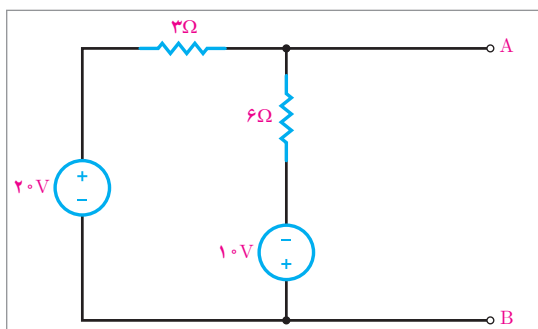
پ) توان مقاومت.



۱۶ در مدارهای زیر مطلوب است:

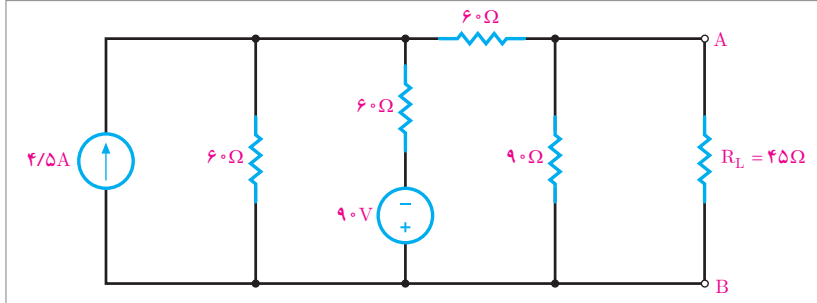
الف) معادل تونن مدار از دو پایانه A و B

ب) معادل نورتن مدار از دو پایانه A و B

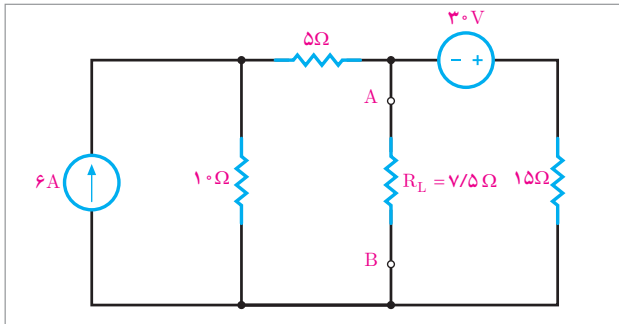


پودمان ۲: تحلیل مدارهای الکتریکی

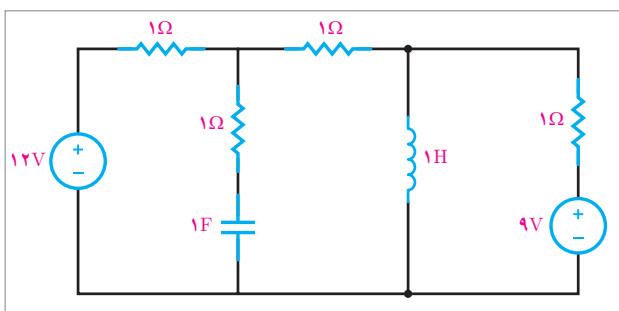
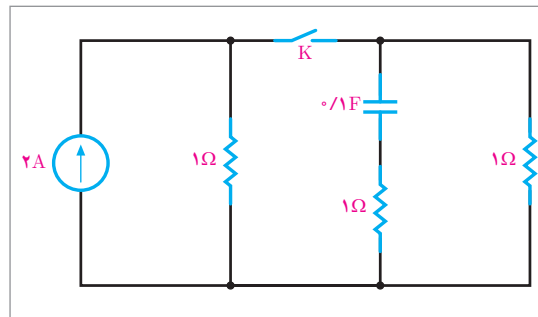
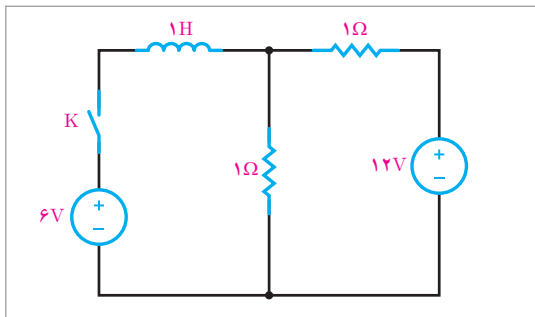
۱۷ در شکل زیر توان مقاومت بار ( $R_L$ ) را با استفاده از معادل تونن مدار به دست آورید.



۱۸ در شکل زیر جریان مقاومت بار ( $R_L$ ) را با استفاده از معادل نورتن مدار به دست آورید.



۱۹ در مدارهای زیر پس از وصل شدن کلید و سپری شدن ۵ ثابت زمانی، انرژی ذخیره شده در سلف و خازن را حساب کنید.

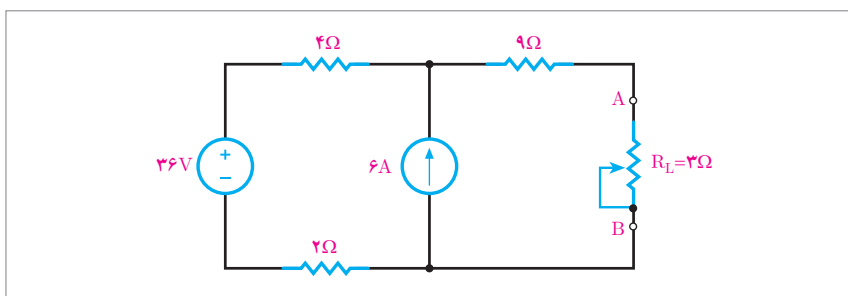
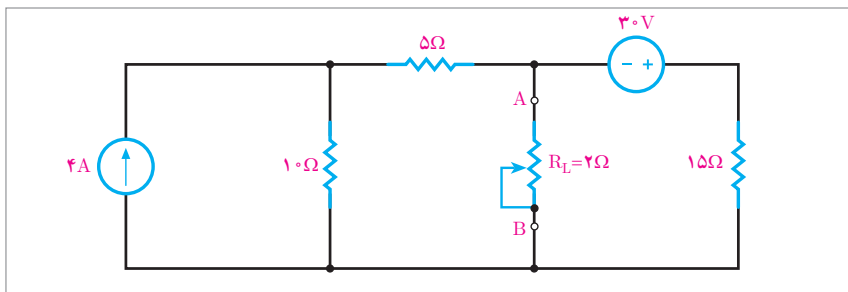


۲۰ مدار شکل روبه‌رو در حالت ماندگار است. توان هر کدام از منابع و انرژی ذخیره شده در سلف و خازن را حساب کنید.

۲۱ در مدارهای زیر با استفاده از روش نورتن مطلوب است:

الف) جریان  $R_L$  در شرایط فعلی مدار؛

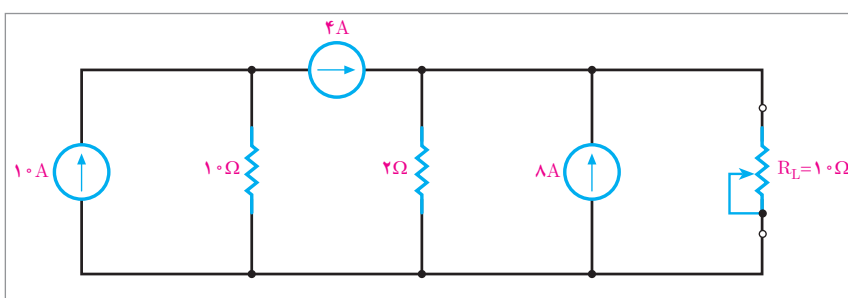
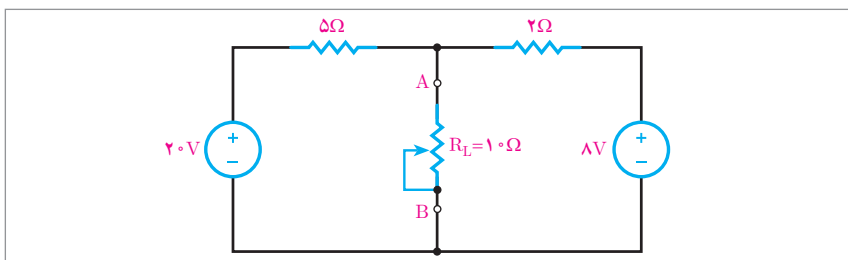
ب) ماکزیمم توان انتقالی به  $R_L$ .



۲۲ در مدارهای زیر با استفاده از روش نورتن مطلوب است:

الف) جریان  $R_L$  در شرایط فعلی مدار؛

ب) بیشینه (ماکزیمم) توان انتقالی به  $R_L$ .



### جدول ارزشیابی پودمان

عنوان پودمان (فصل)	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
تحلیل مدارهای الکتریکی	بررسی و تجزیه و تحلیل مدارهای مقاومتی	بررسی اتصال مقاومت‌ها و قوانین مربوط به آنها و تجزیه و تحلیل مدارهای مقاومتی	بالاتر از حد انتظار	۱- اتصال مربوط به مقاومت را بررسی کند. ۲- قوانین مربوط به اتصال مقاومت‌ها را بررسی کند. ۳- مدارهای مقاومتی را تجزیه و تحلیل نماید. ■ هنرجو توانایی بررسی همه شاخص‌های بالا را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱- اتصال مربوط به مقاومت را بررسی کند. ۲- قوانین مربوط به اتصال مقاومت‌ها را بررسی کند. ۳- مدارهای مقاومتی را تجزیه و تحلیل نماید. ■ هنرجو توانایی بررسی دو مورد از شاخص‌های بالا را داشته باشد.	۲
			پایین‌تر از حدانتظار	۱- اتصال مربوط به مقاومت را بررسی کند. ۲- قوانین مربوط به اتصال مقاومت‌ها را بررسی کند. ۳- مدارهای مقاومتی را تجزیه و تحلیل نماید. ■ هنرجو، توانایی بررسی یک مورد از شاخص‌های بالا را داشته باشد.	۱
نمرهٔ مستمر از ۵					
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳					
نمرهٔ پودمان از ۲۰					

## ارزشیابی شایستگی تحلیل مدارهای الکتریکی

### ۱- شرح کار:

- اتصال مربوط به مقاومت را بررسی کند.
- قوانین مربوط به اتصال مقاومت‌ها را بررسی کند.
- مدارهای مقاومتی را تجزیه و تحلیل نماید.

### ۲- استاندارد عملکرد:

- بررسی و تجزیه و تحلیل کردن مدارهای الکتریکی.

### ۳- شاخص‌ها:

تشریح کامل از مدارهای الکتریکی

### ۴- شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:

شرایط: کلاس مناسب همراه با پرده‌نگار باشد.

ابزار و تجهیزات:

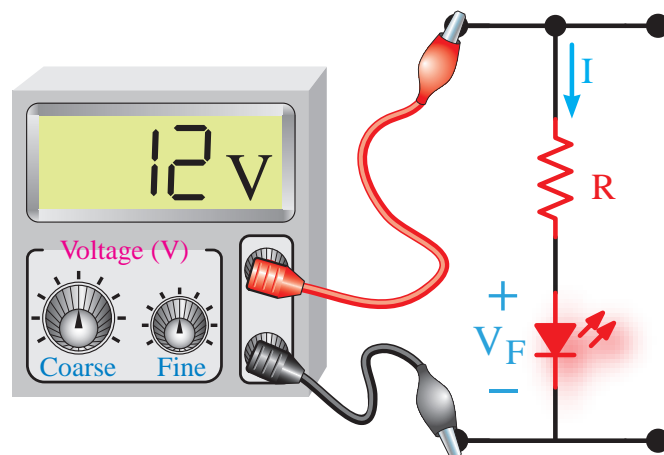
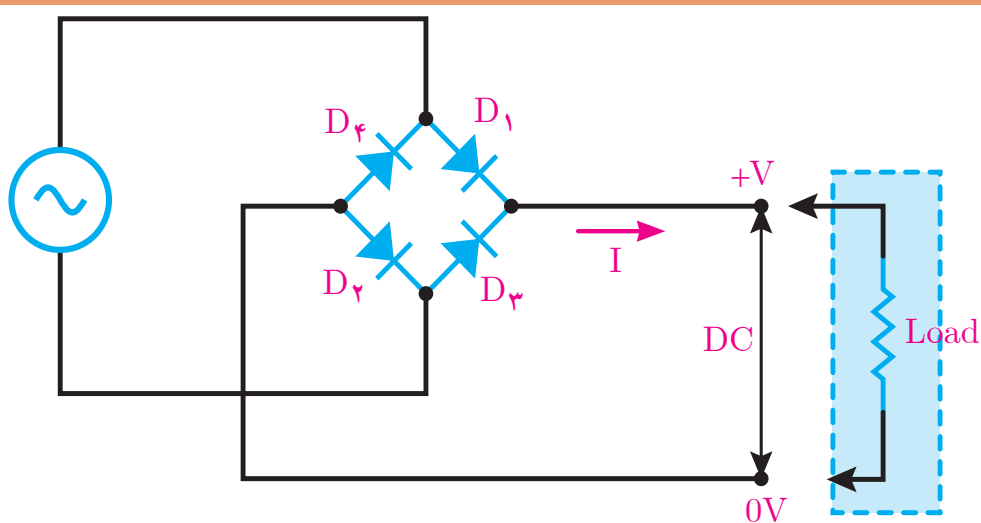
### ۴- معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	اتصال سری و موازی و ترکیبی مدارهای مقاومتی را تجزیه و تحلیل کند.	۲	
۲	قوانین مربوط به مقاومت‌ها را بررسی نماید	۱	
۳	چگونگی تجزیه و تحلیل مدارهای الکتریکی را بررسی نماید	۲	
۴	مدار معادل تونن و نورتن مدارهای مختلف را بررسی نماید.	۱	
<b>شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشتی و توجهات زیست‌محیطی:</b> ۱- رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها؛ ۲- دقت و تمرکز در اجرای کار؛ ۳- شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر؛ ۴- اخلاق حرفه‌ای.			
میانگین نمرات			*

\* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.

## پودمان ۳

# تحلیل مدارهای الکترونیکی



## تحلیل مدارهای دیودی

### آیا تاکنون پی برده اید

- هدایت الکتریکی در اجسام به چه صورت انجام می شود؟
- ناخالص کردن نیمه هادی ها چگونه انجام می شود؟
- ساختمان دیود به چه صورت است؟
- انواع دیودها در کجا استفاده می شوند؟
- نام گذاری دیودها چگونه انجام می شود؟

### استاندارد عملکرد

در پایان این واحد یادگیری، هنرجو انواع نیمه هادی ها و چگونگی ساخت دیود و تجزیه و تحلیل انواع دیودها و مدارهای دیودی را فرا می گیرد.

### هدایت در اجسام

کلیه اجسام موجود در طبیعت، از نظر هدایت الکتریکی به سه دسته کلی هادی ها (Conductors) نیمه هادی ها (Semiconductors) و عایق ها (Insulators) تقسیم می شوند.

کاربردهای هادی ها، نیمه هادی ها و عایق ها را بررسی کنید.

کار در کلاس

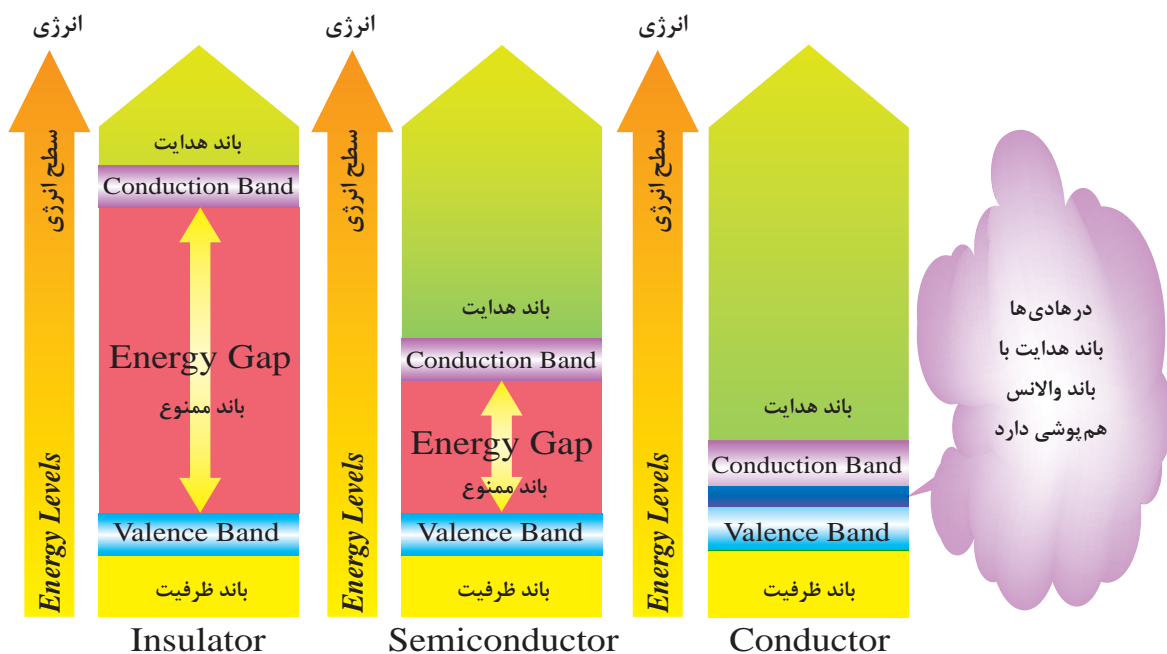


### باند های انرژی هادی ها، نیمه هادی ها و عایق ها

همان طور که می دانیم، در فعل و انفعالات شیمیایی و ترکیبات اجسام با یکدیگر، فقط الکترون های مدار آخر هر اتم، شرکت می کنند. لذا، ظرفیت هر جسم به تعداد الکترون های مدار آخر هر اتم آن بستگی دارد. پس الکترون های آخرین مدار هر اتم را، الکترون های ظرفیت می نامند. به طور کلی شرط برقراری جریان الکتریکی در یک جسم این است که جسم دارای الکترون آزاد باشد. انرژی لازم برای آزاد کردن الکترون های ظرفیت هادی ها، بسیار کم و مقدار آن در حدود  $0.01$  الکترون ولت (eV) است. در نیمه هادی ها، مقدار انرژی لازم برای آزاد کردن الکترون های ظرفیت اتم ها، از هادی بیشتر و در حدود  $0.5$  تا  $1.5$  الکترون ولت است. در عایق ها مقدار انرژی لازم برای آزاد سازی الکترون های ظرفیت، زیاد است ولی مقدار آن برای تمامی عایق ها یکسان نیست و به نوع عایق بستگی دارد. در شکل ۱ باندهای انرژی برای هادی ها، نیمه هادی ها و عایق ها نشان داده شده است.



### پودمان ۳: تحلیل مدارهای الکترونیکی



شکل ۱- باندهای انرژی تقریبی هادی‌ها، نیمه‌هادی‌ها و عایق‌ها

جدول زیر را در کلاس کامل کرده و آن را بررسی کنید.

کار در کلاس



نام باند	نام انگلیسی	شرح
باند ظرفیت	.....	در این باند الکترون‌های لایه آخر هر اتم با تحریک انرژی خارجی از مدار جدا می‌شوند.
باند ممنوع یا شکاف انرژی	.....	این باند نشان می‌دهد که چه مقدار انرژی لازم است تا الکترون‌ها از مدار آخر آزاد شوند.
باند هدایت	Conduction Band	.....

فیلم



فیلم مربوط به نیمه‌هادی‌ها را مشاهده کنید.

### انواع نیمه‌هادی‌ها

هدایت الکتریکی نیمه‌هادی‌ها از فلزها کمتر ولی از عایق‌ها بیشتر است. مدار آخر نیمه‌هادی‌ها، دارای ۴ الکترون است. جدول ۱ چند نوع نیمه‌هادی را که کاربرد بیشتری دارند، نشان می‌دهد.

### جدول ۱- انواع نیمه‌هادی‌ها

نام عنصر	علامت شیمیایی	عدد اتمی
کربن	C	۶
سیلیسیم	Si	۱۴
ژرمانیوم	Ge	۳۲
توریم	Tm	۹۰
زیرکونیوم	Zr	۴۰
هافنیوم	Hf	۷۲

بررسی کنید چرا برای مقایسه گروه نیمه‌هادی‌ها با اجسام هادی و عایق، از مقاومت مخصوص آنها استفاده می‌شود؟

تحقیق کنید



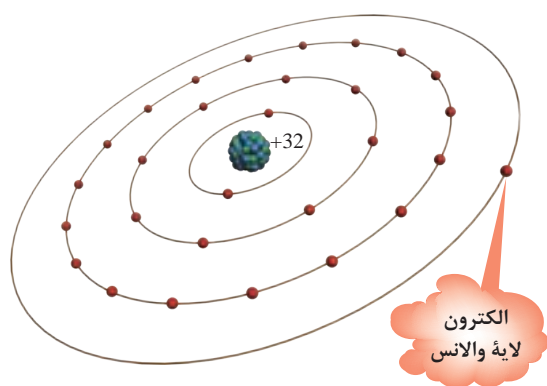
باند های انرژی نیمه‌هادی‌ها را بررسی کنید.

تحقیق کنید



الکترون‌ها در هر اتم روی لایه‌ها به صورت ..... حرکت می‌کنند و حداکثر تعداد الکترون‌های هر لایه از رابطه ..... به دست می‌آید.

کار در کلاس

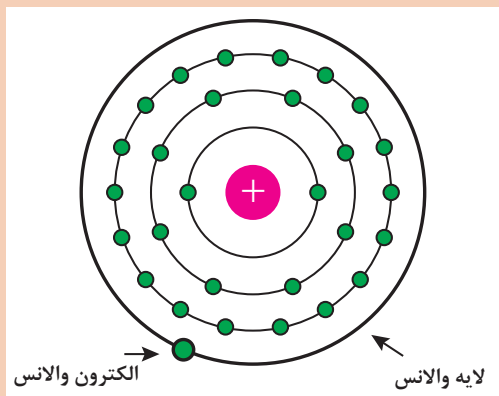


شکل ۲- اتم ژرمانیم

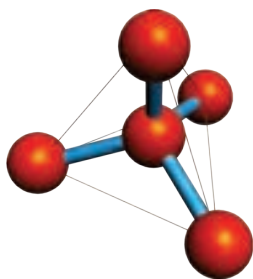
ساختمان اتمی ژرمانیم: ژرمانیم دارای عدد اتمی ۳۲ است. الکترون‌های لایه‌های آن به ترتیب عبارت‌اند از:  $K = 2, L = 8, M = 18, N = 4$ ، که تصویر آنها را در شکل ۲ مشاهده می‌کنید.



شکل زیر را تجزیه و تحلیل کنید:



شکل ۳- نمایش لایه والانس و الکترون والانس

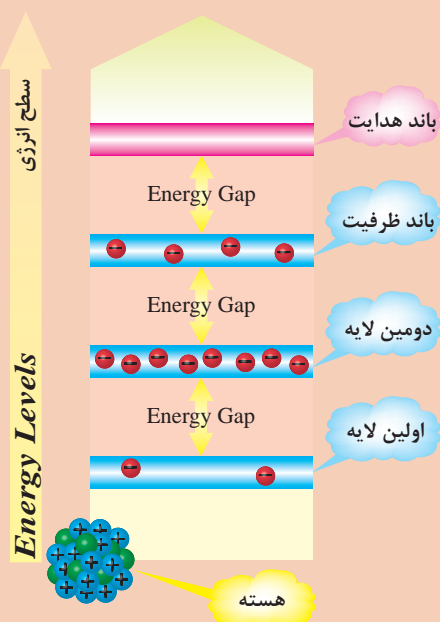


شکل ۴- ساختمان تک کریستالی ژرمانیم

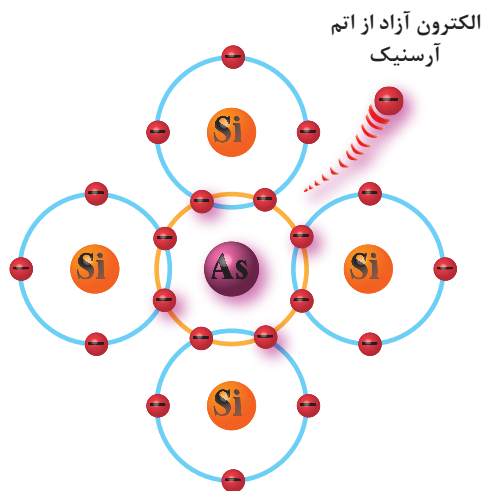
ساختمان کریستالی ژرمانیم و سیلیسیم: اتم‌های نیمه‌هادی ژرمانیم و سیلیسیم، به صورت یک بلور سه بُعدی (مطابق شکل ۴) است، که با کنار هم قرار گرفتن بلورها، شبکه کریستالی آنها پدید می‌آید.



با توجه به شکل زیر هدایت الکتریکی در سیلیسیم و ژرمانیم خالص چگونه است؟



**ناخالص کردن کریستال نیمه‌هادی:** یک کریستال نیمه‌هادی خالص، به صورت یک مقاومت اهمی معمولی عمل می‌کند. برای اینکه بتوانیم از یک نیمه‌هادی در کاربردهای ویژه‌ای (مثلاً ساخت دیود، ترانزیستور) استفاده نماییم، باید آن را ناخالص کنیم. برای ناخالص کردن کریستال نیمه‌هادی، عناصری را با اتم‌های پنج یا سه ظرفیتی را به آن می‌افزاییم. این عناصر را عناصر ناخالصی (Impurity) می‌نامند.



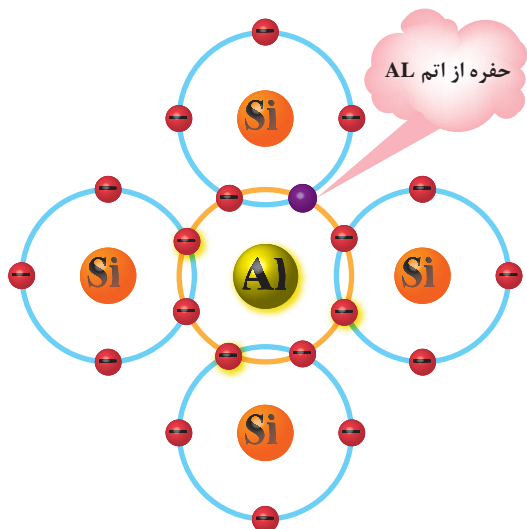
**نیمه‌هادی نوع N:** اگر یک اتم پنج ظرفیتی مانند آرسنیک یا آنتیموان را به سیلیسیم یا ژرمانیم بیفزاییم، چهار الکترون مدار آخر آرسنیک با چهار اتم مجاور سیلیسیم یا ژرمانیم تشکیل پیوند اشتراکی می‌دهند و الکترون پنجم آن، به صورت الکترون آزاد باقی می‌ماند (شکل ۵).

نیمه‌هادی‌هایی که ناخالصی آن از اتم‌های پنج ظرفیتی باشد، نیمه‌هادی نوع منفی یا Negative (N) نام دارد.

شکل ۵- ناخالص کردن با اتم پنج ظرفیتی

منظور از حامل‌های اکثریت و حامل‌های اقلیت در نیمه‌هادی نوع N چیست؟

کار در کلاس



**نیمه‌هادی نوع P:** اگر یک عنصر سه ظرفیتی، مانند آلومینیوم یا گالیوم را به سیلیسیم یا ژرمانیم خالص اضافه کنیم، سه الکترون مدار آخر آلومینیوم با سه الکترون سه اتم سیلیسیم یا ژرمانیم مجاور، پیوند اشتراکی تشکیل می‌دهند و پیوند چهارم در شرایط کمبود الکترون باقی می‌ماند. به این ترتیب می‌توان گفت که یک حفره ایجاد شده است (شکل ۶). تعداد حفره‌های ایجاد شده توسط ناخالصی سه ظرفیتی را می‌توانیم با تغییر درصد ترکیب ناخالصی، به هر مقدار که بخواهیم به وجود آوریم. نیمه‌هادی‌هایی که ناخالصی آنها از اتم‌های سه ظرفیتی باشد، نوع مثبت یا Positive (P) نام دارد.

شکل ۶- ناخالص کردن با اتم سه ظرفیتی

کار در کلاس



منظور از حامل‌های اکثریت و حامل‌های اقلیت در نیمه‌هادی نوع P چیست؟

تحقیق کنید

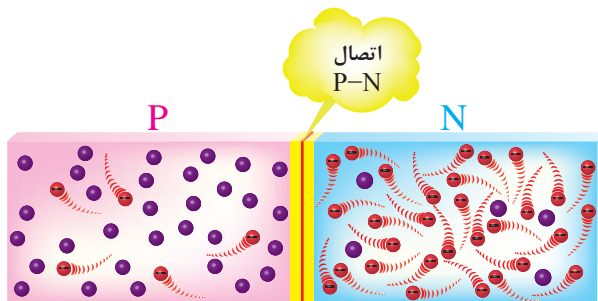


دلایل استفاده بیشتر از نیمه‌هادی سیلیسیم در مقایسه با ژرمانیم را بیان کنید.

فیلم



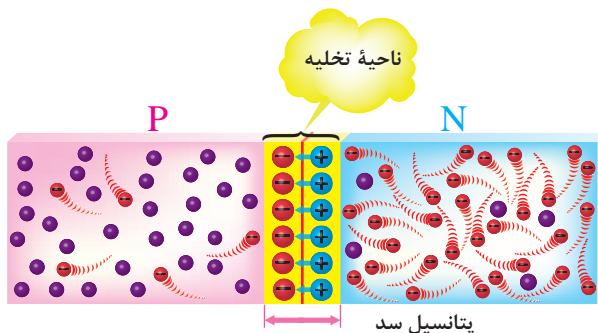
فیلم چگونگی تشکیل پیوند را ملاحظه کنید.



پیوند PN

شکل ۷- پیوند PN

**اتصال PN (PN Junction):** زمانی که دو قطعه نیمه‌هادی نوع P و N را به هم پیوند می‌دهیم، از آنجایی که الکترون‌ها و حفره‌ها قابل انتقال هستند، الکترون‌های موجود در نیمه‌هادی نوع N به سبب بار الکتریکی مثبت حفره‌ها، جذب حفره‌ها می‌گردند (شکل ۷).



شکل ۸- لایه سد

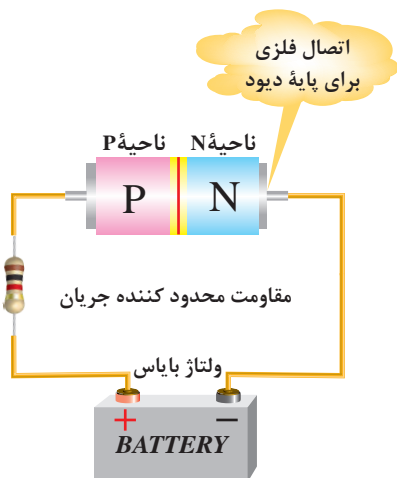
در محل اتصال نیمه‌هادی نوع P و N، نه الکترون آزاد وجود دارد و نه حفره. به این محل که در آن الکترون‌ها و حفره‌ها وجود ندارند، ناحیه تخلیه یا لایه سد (Depletion Region) می‌گویند. عرض ناحیه تخلیه، بسیار کم و گاهی حدود چند دهم میکرون است (شکل ۸).

کار در کلاس



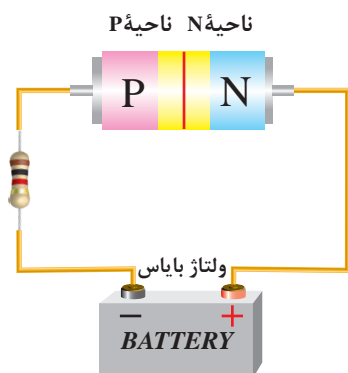
مقدار پتانسیل سد برای دیودهای سیلیسیمی و برای دیودهای ژرمانیمی حدود چند ولت است؟

دیود در بایاس مستقیم (Forward Bias) و بایاس معکوس (Reverse Bias): وصل کردن ولتاژ به دیود را بایاس کردن دیود می‌نامند. اتصال ولتاژ به دیود به دو صورت امکان‌پذیر است.



شکل ۹- پیوند PN در بایاس موافق

بایاس مستقیم: اگر نیمه‌هادی نوع P را به قطب مثبت باتری و نیمه‌هادی نوع N را به قطب منفی آن متصل کنیم، این حالت را بایاس مستقیم می‌گویند (شکل ۹).



شکل ۱۰- پیوند PN در بایاس مخالف

بایاس معکوس: در صورتی که نیمه‌هادی نوع P را به قطب منفی باتری و نیمه‌هادی نوع N را به قطب مثبت آن وصل نماییم، این حالت را بایاس معکوس می‌نامند (شکل ۱۰).

با توجه به لایه سد که در شکل‌های ۹ و ۱۰ می‌بینید، رفتار دیود در بایاس مستقیم و بایاس معکوس را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهید و نتیجه را به کلاس گزارش دهید.

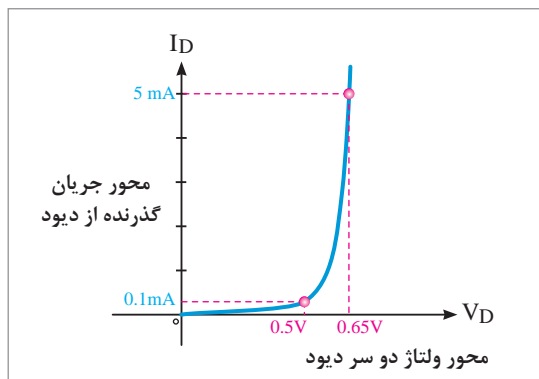
رفتار دیود در بایاس مستقیم و بایاس معکوس چه کاربردی در مدارهای الکتریکی می‌تواند داشته باشد؟

کار در کلاس



تحقیق کنید





شکل ۱۱- منحنی مشخصه دیود در بایاس مستقیم

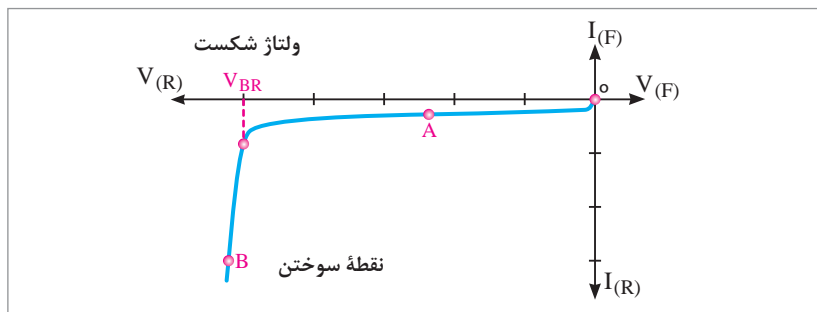
**منحنی مشخصه ولت – آمپر دیود در بایاس مستقیم:**  
اگر یک دیود در بایاس مستقیم قرار گیرد، در ولتاژ صفر، مقدار جریان عبوری از دیود صفر است. چنانچه ولتاژ تغذیه را تا ۰/۵ ولت زیاد کنیم، میلی آمپر متر تقریباً جریانی را نشان نمی دهد. زمانی که ولتاژ از ۰/۵ ولت بیشتر می شود، چون جنس دیود از سیلیسیوم است، جریان بسیار ضعیفی در مدار برقرار می گردد. نمودار به دست آمده، منحنی مشخصه ولت آمپر دیود را در بایاس مستقیم نشان می دهد (شکل ۱۱).

فیلم دیود در ولتاژ موافق و مخالف و چگونگی ترسیم منحنی دیود را ببینید.

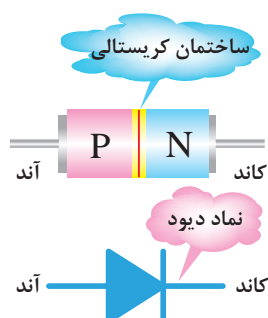
فیلم



**منحنی مشخصه ولت – آمپر دیود در بایاس معکوس:** اگر دیود را در بایاس معکوس اتصال دهیم و ولتاژ خارجی را زیاد کنیم، جریان بسیار ضعیفی از مدار می گذرد. این جریان همان جریان اشباع معکوس یا جریان نشتی دیود است.  
در شکل ۱۲ منحنی مشخصه ولت آمپر دیود معمولی در گرایش معکوس نشان داده شده است.



شکل ۱۲- منحنی مشخصه دیود در بایاس معکوس



شکل ۱۳- ساختمان کریستالی و نماد مداری دیود

**علامت اختصاری و ساختمان ظاهری دیود معمولی:**  
دیودهای معمولی، از نظر ظاهری به شکل های مختلفی ساخته می شوند ولی علامت اختصاری همه یکسان است. در شکل ۱۳ ساختمان کریستالی و نماد مداری دیود نشان داده شده است.



شکل ۱۴- شکل ظاهری چند دیود

در نماد مداری، علامت مثلث، جهت قراردادی جریان را نشان می‌دهد. نیمه‌هادی نوع P را آند و نیمه‌هادی نوع N را کاتد می‌نامند. نمای ظاهری چند نمونه دیود را در شکل ۱۴ مشاهده می‌کنید. پایه‌های آند و کاتد روی دیودها مشخص شده‌اند. معمولاً کاتد را با یک نوار یا علامت K یا سایر علائم مشخص می‌کنند و در نمونه‌هایی که پایه به بدنه اتصال دارد، کاتد بدنه است.

تحقیق کنید

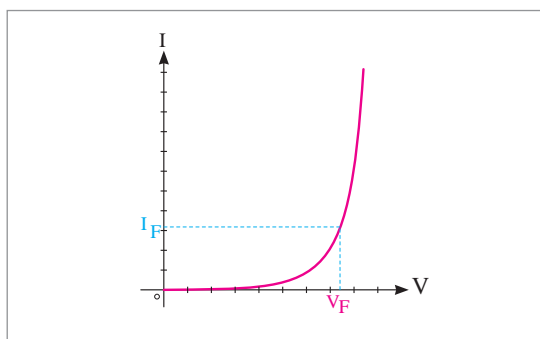


آیا از نظر شکل ظاهری، انواع دیگری از دیودها را می‌شناسید؟ نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

کار در کلاس



دیود را در حالت ایده‌آل بررسی کنید.



شکل ۱۵- نمایش مقاومت استاتیکی

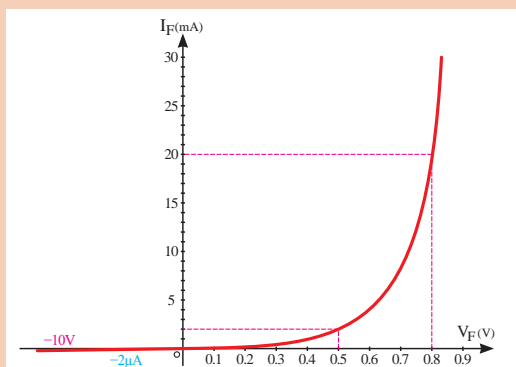
### مقاومت استاتیکی و دینامیکی دیود معمولی

**مقاومت استاتیکی:** مقاومت دیود در مقابل عبور جریان مستقیم را مقاومت استاتیکی می‌نامند و مقدار آن را از رابطه زیر به دست می‌آورند (شکل ۱۵).  
مقدار مقاومت استاتیکی یک دیود مشخص، به ازای جریان مستقیم عبوری معین از آن، ثابت است.

کار در کلاس

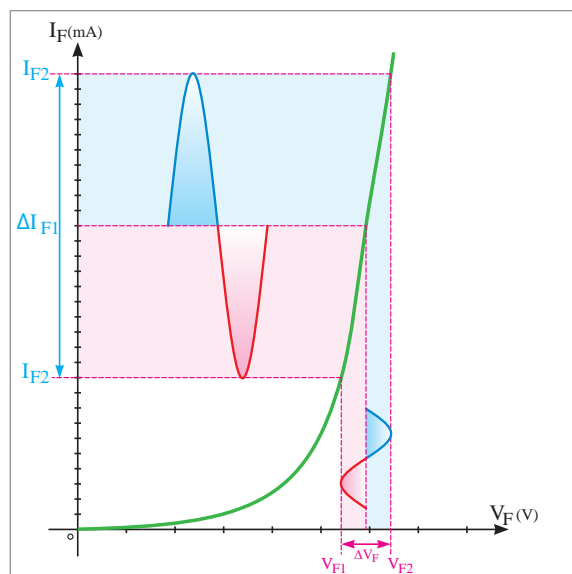


برای مشخصه شکل زیر مقاومت استاتیکی DC را در جریان‌های  $20\text{ mA}$ ،  $2\text{ mA}$ ، به دست آورید.





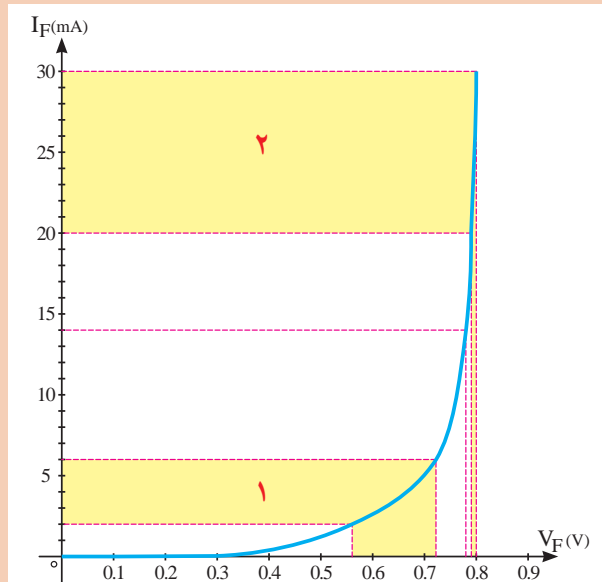
**مقاومت دینامیکی:** مقاومت دیود در مقابل جریان متناوب را مقاومت دینامیکی می‌نامند و آن را از رابطه زیر به دست می‌آورند. تغییرات ولتاژ یا جریان را با دلتا ( $\Delta$ ) نشان می‌دهند (شکل ۱۶).



شکل ۱۶- نمایش مقاومت دینامیکی

$$r_{ac} = \frac{V_{F2} - V_{F1}}{I_{F2} - I_{F1}} = \frac{\Delta V_F}{\Delta I_F}$$

مقاومت دینامیکی دیود



برای مشخصه شکل روبرو مطلوب است:

(الف) مقاومت AC برای ناحیه ۱؛

(ب) مقاومت AC برای ناحیه ۲؛

(ج) مقایسه مقاومت نواحی ۱ و ۲.

کار در کلاس



تحقیق کنید



با جست‌وجو در اینترنت، در مورد مقادیر حد در دیودها تحقیق کرده و نتیجه را به‌طور پرده‌نگار در کلاس نمایش دهید.

تحقیق کنید



منظور از کتاب اطلاعات Data Book و برگه اطلاعات Data Sheet چیست؟

فیلم



فیلم مربوط به انواع دیودها را مشاهده کنید.

### انواع دیودهای نیمه‌هادی و نمایشگرها

انواع متعددی از دیودهای پیوند PN وجود دارد که از لحاظ نوع کار، مشخصه و زمینه کاربرد با هم متفاوت‌اند. از انواع این دیودها، می‌توان دیود اتصال نقطه‌ای، دیود زنر، دیود نور دهنده LED و دیود واراكتور، فتو دیود، دیود شاتکی، دیود منتشرکننده اشعه مادون قرمز، دیود لیزری و دیود جریان ثابت نام برد.

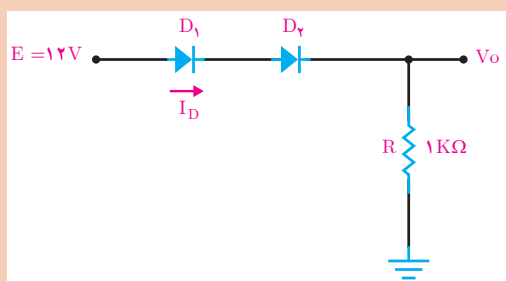
### دیود یک سوکننده معمولی (Rectifiers Diod)



این نوع دیود برای یک‌سوسازی یا یک طرفه کردن ولتاژهای متناوب (معمولاً سینوسی) به کار می‌رود و با جریان متوسط  $I_F$  حدود ۵۰mA تا ۱۰۰۰ آمپر ساخته می‌شود. دیودهای یک‌سوکننده معمولی در محدوده فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز کار می‌کنند (شکل ۱۷).

شکل ۱۷- چند نمونه دیود یک‌سوکننده معمولی

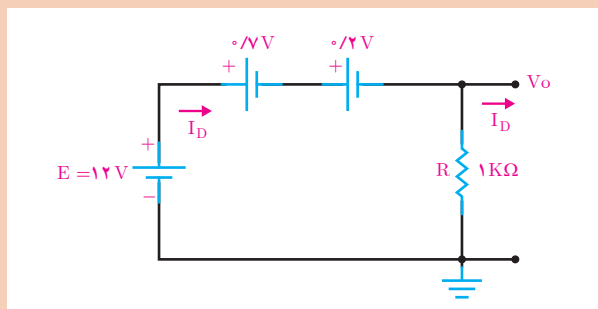
مثال



در شکل زیر اگر دیود  $D_1$  از جنس سیلیسیم و ولتاژ وصل آن ۰/۷ ولت و دیود  $D_2$  از جنس ژرمانیم و ولتاژ وصل آن ۰/۲ ولت باشد،  $I_D$  و  $V_o$  را محاسبه کنید.

### پودمان ۳: تحلیل مدارهای الکترونیکی

پاسخ: چون مثبت منبع به آند دیودها وصل است و دیودها در بایاس موافق در حال هدایت هستند، می‌توان افت ولتاژ دو سر دیودها را در مدار به صورت شکل زیر در نظر گرفت.



با نوشتن معادله KVL می‌توان  $I_D$  را محاسبه نمود.

$$-12 + 0.7 + 0.7 + I_D \cdot 1K = 0$$

$$I_D = \frac{12 - 0.7 - 0.7}{1K} = 11.1 \text{ mA}$$

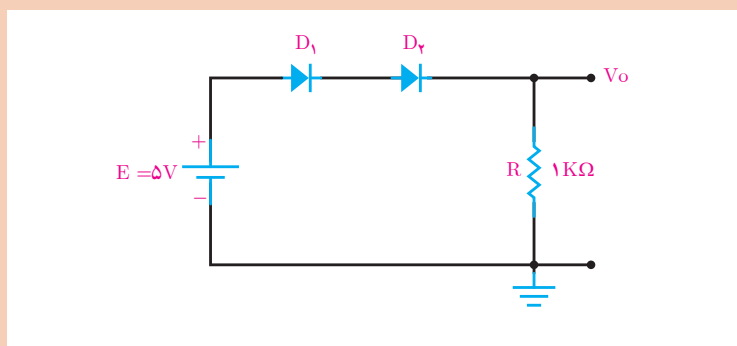
$$V_O = R I_D = (1K)(11.1 \text{ mA})$$

$$V_O = 11.1 \text{ V}$$

محاسبه  $V_O$ :

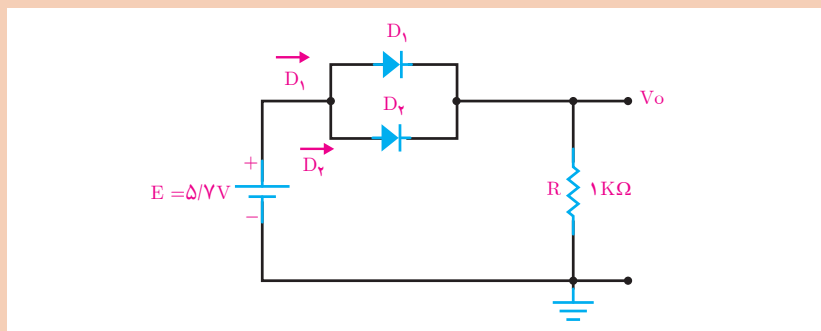
کار در کلاس

با توجه به شکل زیر جریان کل و جریان هر دیود و  $V_O$  را محاسبه کنید. هر دو دیود از جنس سیلیسیم و ولتاژ وصل آنها ۰/۷ ولت است.





با توجه به شکل زیر  $I_{D1}$ ،  $I_{D2}$  و  $V_o$  را محاسبه کنید. هر دو دیود از جنس Si و ولتاژ وصل آنها ۰/۷ ولت است. دیودها کاملاً مشابه هستند.

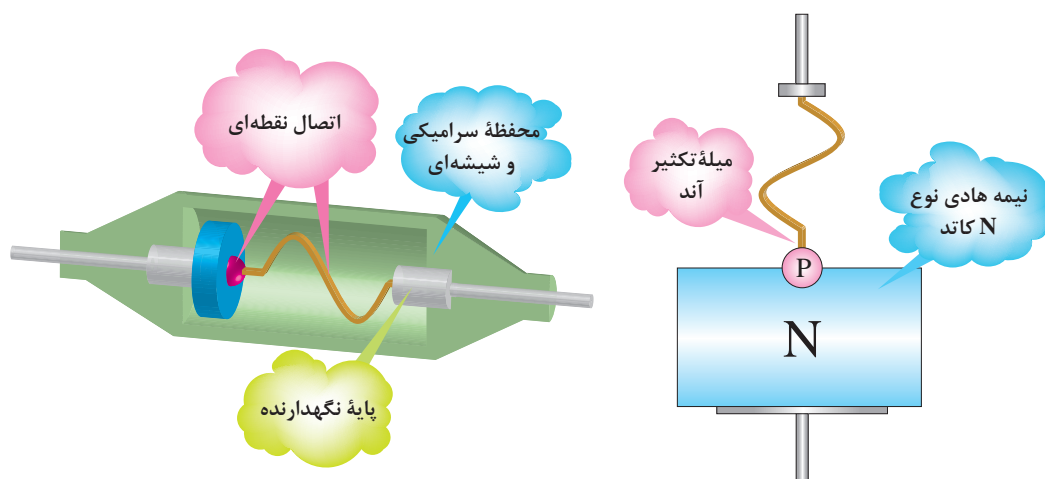


دیودهای ولتاژ زیاد (High Voltage) حداکثر دارای چه ولتاژ و جریانی هستند؟



خیابان یک طرفه، شیر یک طرفه آب گرمکن می‌توانند مثال‌هایی از رفتار دیود باشند؟ درباره آن توضیح دهید. در ضمن مثال‌های دیگری را بیابید که با دیود قابل مقایسه باشد.

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 می‌شوند (شکل ۱۸).



شکل ۱۸- نمایش دیود اتصال نقطه‌ای

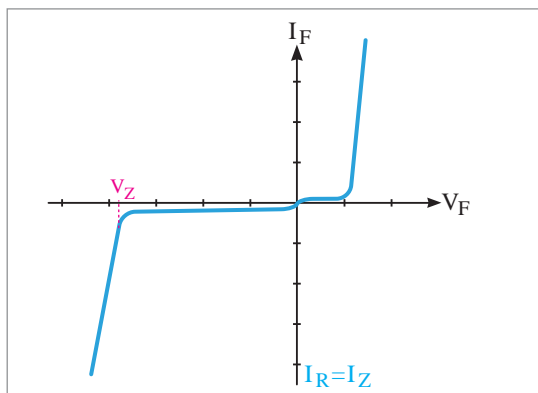
### دیود زنر (Zener Diode)

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 و سپس در یک ولتاژ خاص، دیود در بایاس معکوس را به حد ولتاژ شکست برسانیم، دیود آسیب می‌بیند. دانشمندی به نام زنر 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.

تحقیق کنید



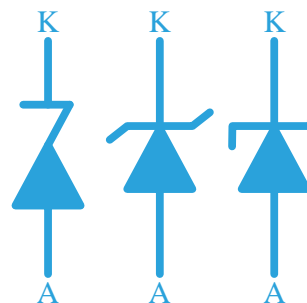
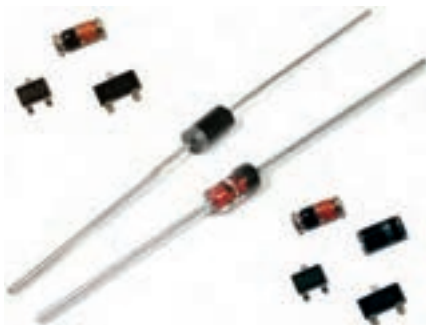
با مراجعه به اینترنت درباره زندگی‌نامه زنر تحقیق کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.



دیود زنر، در بایاس معکوس استفاده می‌شود. باتوجه به اینکه ولتاژ زنر تقریباً در جریان‌های مختلف معکوس ثابت است، از این خاصیت جالب زنر برای تثبیت ولتاژ استفاده می‌کنند. شکل ۱۹ منحنی مشخصه ولت - آمپر یک دیود زنر را نشان می‌دهد.

شکل ۱۹- منحنی مشخصه ولت آمپر دیود زنر

نمادهای مداری و چند نمونه دیود زنر در شکل ۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۲۰- نمادهای مداری و شکل چند نمونه دیود زنر

تحقیق کنید



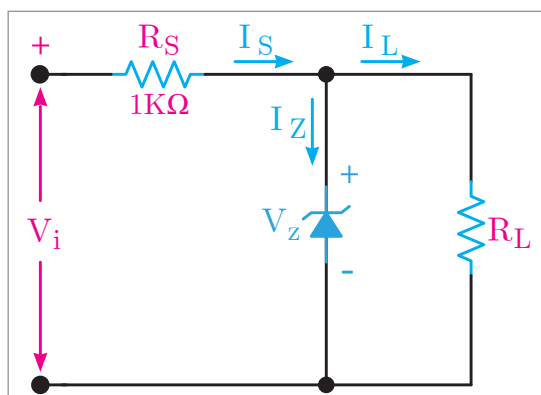
با مراجعه به فضای مجازی از جمله، سایت [rosd.ir](http://rosd.ir)، مقادیر استاندارد و ضریب حرارتی دیودهای زنر را بیابید و آنها را در کلاس ارائه دهید.

توان زنر: اگر جریانی که در بایاس معکوس، از دیود زنر عبور می‌کند، زیاد باشد، دیود می‌سوزد زیرا این جریان باعث می‌شود در محل اتصال PN، حرارت به‌وجود آید. حداکثر جریانی که دیود به ازای آن معیوب نمی‌شود، به توان دیود زنر و ولتاژ شکست زنر بستگی دارد. توان زنر طبق قانون اهم، از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$P_Z = V_Z \cdot I_Z$$

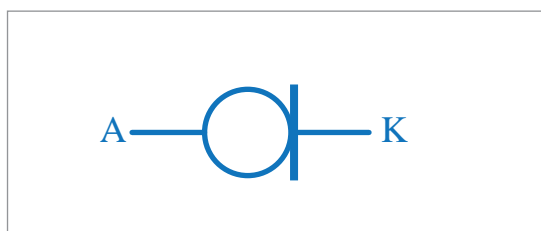
بنابراین، با مشخص بودن توان ماکزیمم زنر و ولتاژ زنر، می‌توان حداکثر جریان مجاز را از رابطه زیر به‌دست آورد:

$$I_{ZMax} = \frac{P_{ZMax}}{V_Z}$$



شکل ۲۱- تثبیت‌کننده زنری

کاربردهای دیود زنر: عادی‌ترین کاربرد دیود زنر، استفاده از آن در تولید یک ولتاژ مبنای ثابت برای مقایسه و تغذیه است. ساده‌ترین مدار که می‌تواند یک ولتاژ نسبتاً ثابتی بدهد، در شکل ۲۱ نشان داده شده است. در این مدار به ازای تغییرات بار  $R_L$  یا تغییرات ولتاژ ورودی  $V_i$  می‌توان در محدوده معینی، ولتاژ خروجی ثابت دریافت کرد.

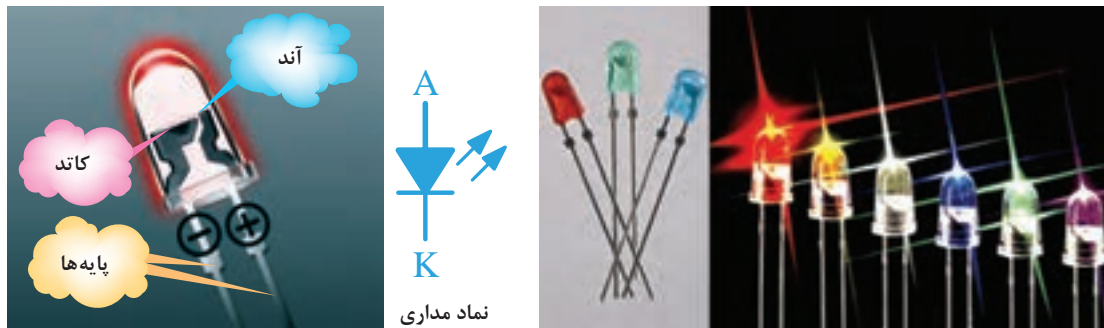


شکل ۲۲- نماد مداری دیود جریان ثابت

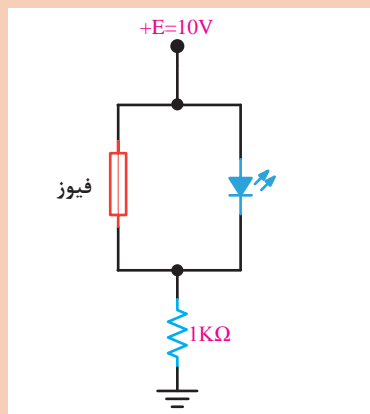
دیود جریان ثابت (Constant Current Diode): این دیود که به آن رگولاتور جریان گفته می‌شود، برعکس دیود زنر که ولتاژ دو سر آن ثابت و جریان عبوری از آن تغییر می‌کند، جریان را ثابت نگه می‌دارد. به عبارت دیگر از این دیود می‌توان به عنوان رگولاتور جریان استفاده کرد. نماد مداری این دیود در شکل ۲۲ رسم شده است.

دیود نور دهنده (Light Emitting Diode LED): همان‌طور که از نام LED پیداست، این دیود مولد نور است. دیود نور دهنده، از دو قطعه نیمه‌هادی نوع P و N 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 به‌وجود می‌آید. در شکل ۲۳ چند نمونه LED و ساختمان داخلی و نماد مداری آنها نشان داده شده است.

### پودمان ۳: تحلیل مدارهای الکترونیکی



شکل ۲۳- چند نمونه LED و نماد مداری و ساختمان داخلی آن

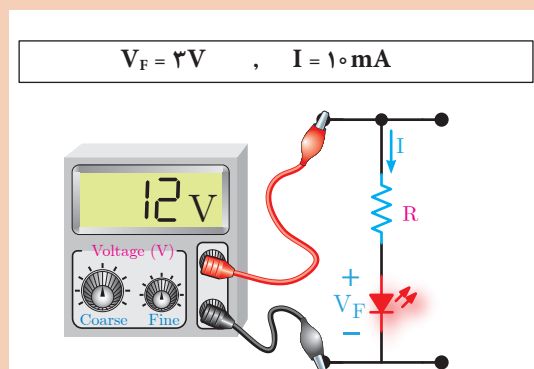


در شکل زیر، در صورتی که فیوز بسوزد یا سالم باشد، در نور LED چه تغییری به وجود می‌آید؟ شرح دهید.

کار در کلاس



در شکل زیر در صورتی که ولتاژ تغذیه  $E = 12$  ولت باشد، مقدار  $R$  را طوری محاسبه کنید که LED نور مناسب داشته باشد.



کار در کلاس



تحقیق کنید



نور تولیدی در LED به چه عواملی بستگی دارد؟

کار در کلاس



برتری‌های LED را بر لامپ معمولی بررسی کنید.

تحقیق کنید



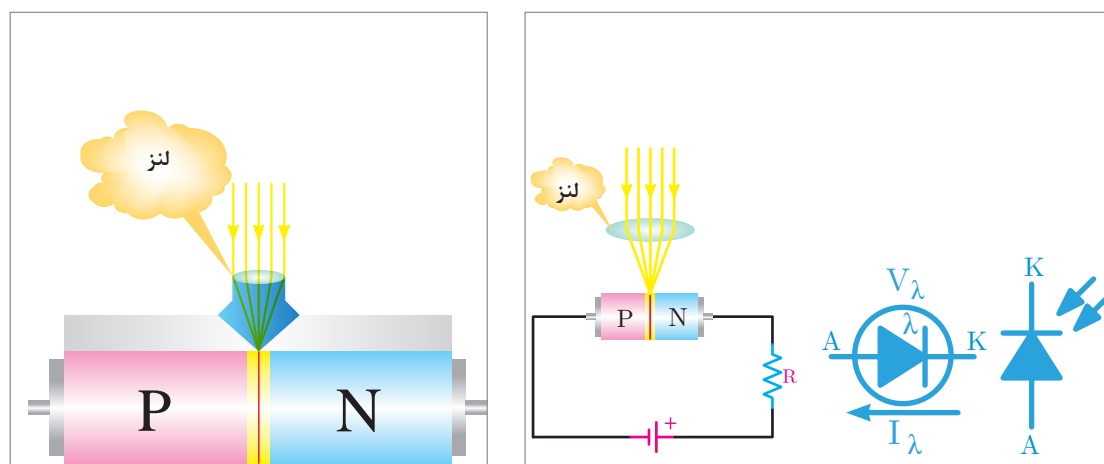
با مراجعه به اینترنت، در مورد انواع LED تحقیق کرده و نتیجه را به صورت پرده نگار در کلاس ارائه نمایید.

تحقیق کنید



با مراجعه به اینترنت، تفاوت‌های LCD و پلاسما را بررسی کنید.

**فتو دیود (Photo Diode):** ساختمان فتو دیود، مانند یک دیود معمولی با اتصال PN است، با این تفاوت که محل پیوند PN را، جهت تابانیدن 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 فتو دیودها، یک لنز بسیار کوچک نصب می‌شود تا نور تابانیده شده به آن را متمرکز کند و به محل پیوند برساند. شکل ۲۴، نماد بایاس و ساختمان این دیود را نشان می‌دهد.



شکل ۲۴- نماد، ساختمان و بایاس فتو دیود





در شکل ۲۵، چند نمونه فتو دیود نشان داده شده است. از این دیود برای تشخیص نور و همچنین سنجش نور در دستگاه‌های نورسنج، شمارش سریع یا سوئیچ کردن و موارد مشابه دیگر استفاده می‌شود.

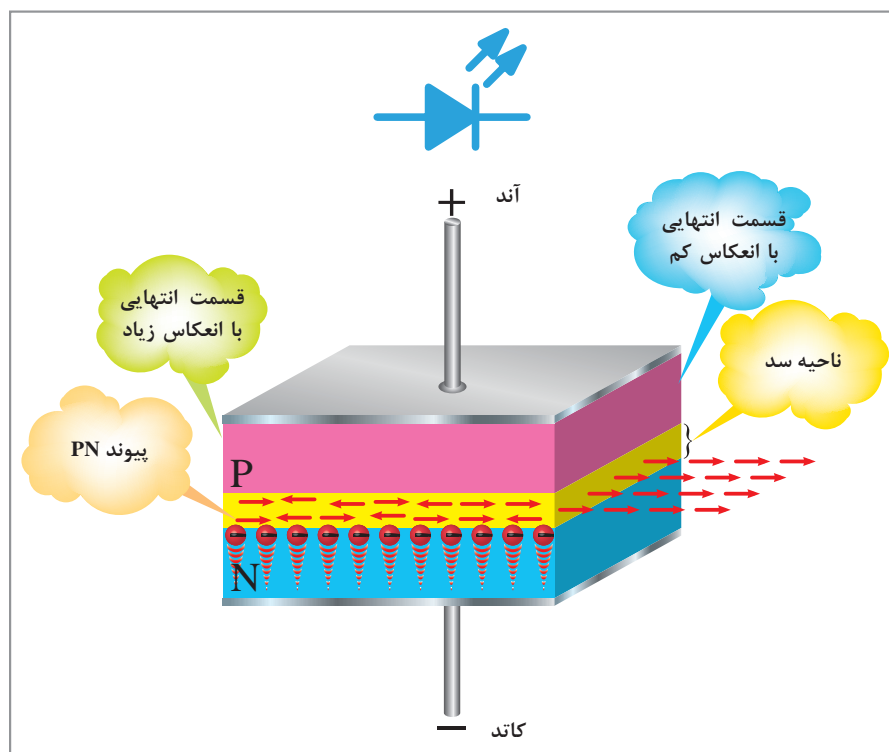
شکل ۲۵- شکل ظاهری چند نمونه فتو دیود

تفاوت‌ها و شباهت‌های فتو دیود نسبت به فتورزیستانس را بررسی کنید.

کار در کلاس

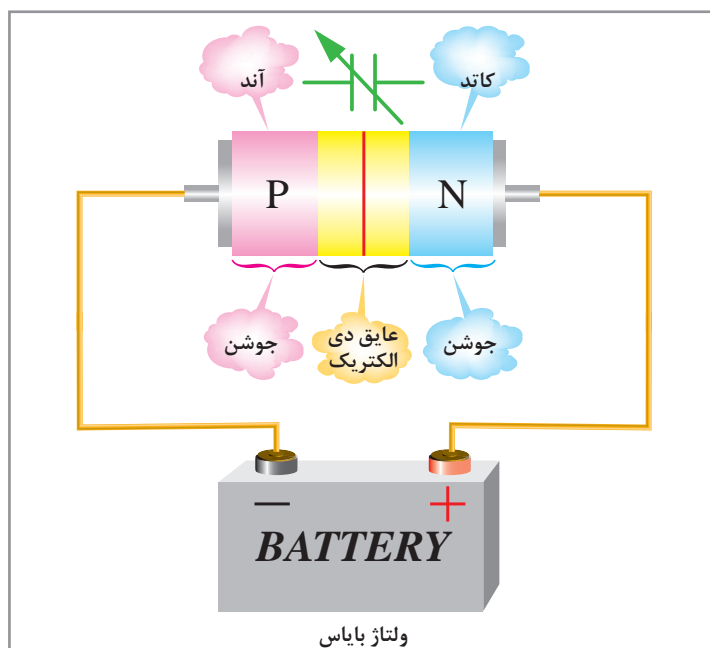


**دیود لیزری (Laser Diode):** دیود لیزری دیودی است که می‌تواند نور تک رنگ تولید کند. نور لیزر را نور ذاتی یا نور خالص نیز می‌نامند. زیرا نور پخش شده، یک نور با طول موج مشخص است. ساختمان داخلی و نماد دیود لیزری را در شکل ۲۶ مشاهده می‌کنید.



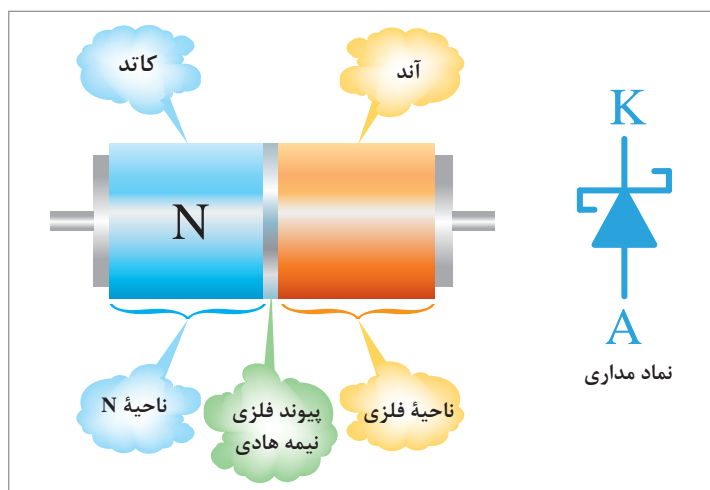
شکل ۲۶- ساختمان داخلی و نماد دیود لیزری

دیود خازنی واراكتور (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. اگر دو نیمه‌هادی  $P$  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 به وجود می‌آید. ظرفیت خازن منطقه تخلیه، حدود پیکوفاراد (PF) است (شکل ۲۷).



شکل ۲۷- ایجاد ظرفیت خازنی در دیود واراكتور

دیود شاتکی (Schottky): دیودهای معمولی اتصال  $PN$  نمی‌توانند خیلی سریع قطع و وصل شوند. برای بالا بردن سرعت قطع و وصل در یک دیود چند میلیارد بار در ثانیه، از دیود شاتکی استفاده می‌کنند. ساختار دیود شاتکی و نماد فنی آن در شکل ۲۸ نشان داده شده است.



شکل ۲۸- ساختمان و نماد دیود شاتکی



جدول زیر را کامل کنید.

نام دیود	بایاس	کاربرد
اتصال نقطه ای		
زیر		
نور دهنده LED		
فتودیود		
لیزری		
خازنی		
شاتکی		



با مراجعه به منابع مختلف موارد کاربرد انواع دیودهای انتشار نوری، نوری، اتصال نقطه‌ای، شاتکی، لیزر، زیر، واراكتور، رگولاتور جریان، قدرت و سیگنال تحقیق کنید و گزارشی به صورت پرده نگار تهیه نمایید و آن را به کلاس ارائه دهید.

### نام گذاری دیودها



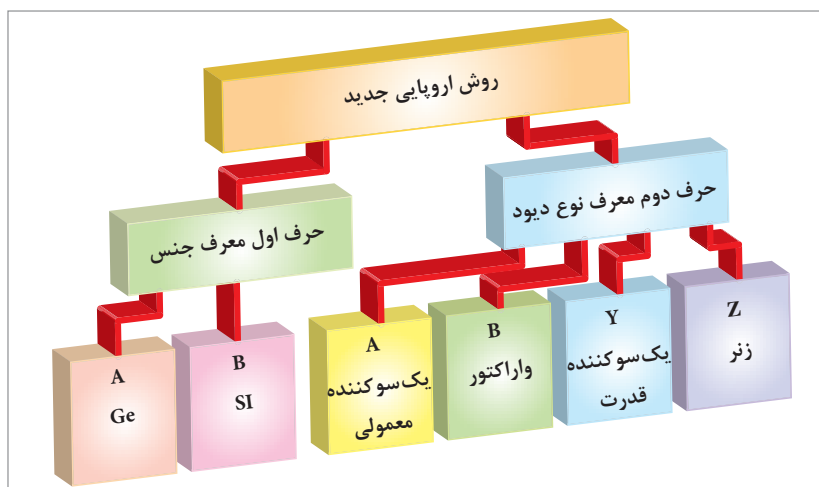
شکل ۲۹- روش های نام گذاری دیودها

برای نام گذاری دیودها، معمولاً سه روش وجود دارد. هرچند برخی از کارخانجات سازنده در گوشه و کنار دنیا از روش های دیگری برای نام گذاری استفاده می نمایند. این سه روش مطابق شکل ۲۹ عبارت اند از:

- ۱ روش ژاپنی
- ۲ روش اروپایی
- ۳ روش آمریکایی

**روش ژاپنی:** در این روش نام گذاری، از عدد ۱ و حرف S که به دنبال آن می آید، استفاده می شود و به دنبال آن، تعدادی شماره خواهد آمد که با مراجعه به جدول می توان مشخصات الکتریکی آنها را به دست آورد. در این روش، جنس و نوع دیود مشخص نیست. برای مثال، دیود  $1S\text{C}10A$  دیود زبر است (در موارد زیادی برای دیودهای زبر حرف A را در انتهای شماره ها می آورند) و دیود  $1S\text{C}10$ ، یک دیود معمولی و دیود  $1S2049$  دیود واراكتور است. **روش اروپایی:** در روش اروپایی تا سال ۱۹۶۰، تمامی دیودها را با حروف OA با تعدادی شماره به دنبال آن مشخص می کردند، که با مراجعه به جدول می توانستیم مشخصات الکتریکی آنها را به دست آوریم. مانند دیود  $OA34$  اما از سال ۱۹۶۰ به بعد این روش نام گذاری تغییر کرد. نحوه تغییر به این صورت بود: دیودهایی که بیشتر در مدارهای رادیو و تلویزیون به کار می روند، با دو حرف و سه شماره مشخص می شوند و دیودهایی که کاربرد آنها در مدارهای مخصوصی است با سه حرف و دو شماره معین می گردد.

در روش نام‌گذاری دو حرفی و سه شماره‌ای، **حرف اول**، جنس نیمه‌هادی به کار رفته در دیود را مشخص می‌کند که اگر دیود از جنس ژرمانیم باشد آن را با حرف **A** و اگر از جنس سیلیسیم باشد با حرف **B** مشخص می‌نمایند. **حرف دوم** نیز نوع دیود را مشخص می‌کند به این صورت که حرف **A**، دیود معمولی یک سو کننده، حرف **Y**، دیود یک سو کننده قدرت، حرف **B**، دیود واراكتور و حرف **Z**، دیود زنر را نشان می‌دهد. در شکل ۳۰ بعد از حروف، شماره‌هایی آورده می‌شود که می‌توان با مراجعه به جدول، مشخصات الکتریکی دیود را به دست آورد. یادآوری می‌شود که در اکثر مواقع در مورد نام‌گذاری دیود زنر، ولتاژ زنر را نیز روی آن قید می‌نمایند.



شکل ۳۰- نام گذاری دیودها به روش اروپایی جدید

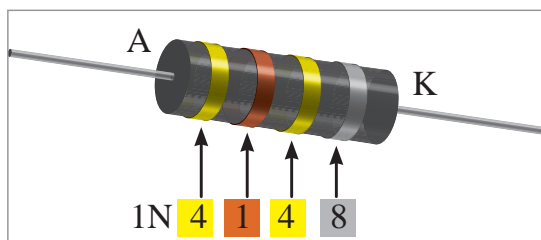
دیودهای AA۱۱۶ و BA۳۱۶ و BY۱۲۷ و BZ۱۰۰ را به روش اروپایی نام‌گذاری کنید.

کار در کلاس



**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 دیودی یکسو کننده است.

با توجه به شماره‌ای که بعد از ۱N می‌آید، می‌توان با استفاده از جدول مربوطه، مشخصات الکتریکی و نوع



شکل ۳۱- دیود ۱N۴۱۴۸ با کد رنگی

دیود را تعیین کرد. بعضی مواقع نیز به جای ارقام بعد از ۱N، از کدهای رنگی استفاده می‌شود. زمانی که از کدهای رنگی استفاده می‌شود از چاپ حرف و عدد ۱N صرف نظر می‌گردد. کدهای رنگی مانند مقاومت‌ها هستند، با این تفاوت که شماره رنگ‌ها به دنبال هم قرار می‌گیرند، مثلاً شکل ۳۱، دیود ۱N۴۱۴۸ را مشخص می‌کند.

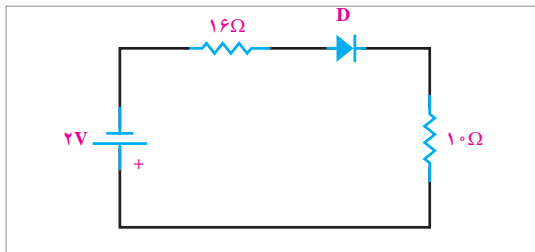
۱N۴۱۴۸ نام‌گذاری دیود با روش ..... و OA۹۰ نام‌گذاری دیود با روش ..... است.

کار در کلاس



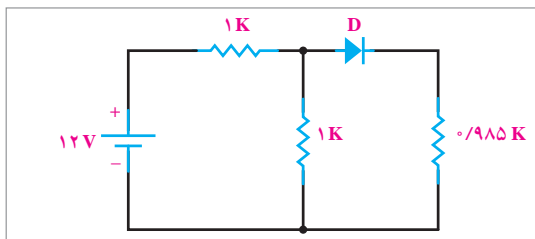
## ارزشیابی

۱ در شبکه دیودی شکل روبه‌رو جریان دیود را به‌دست آورید.

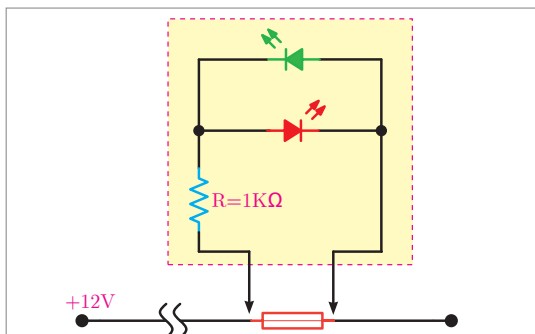


$$\begin{cases} V_D = 0.7 \\ R_F = 20 \Omega \end{cases}$$

۲ در شبکه دیود شکل روبه‌رو، دیود D از جنس سیلیس با  $R_F = 15 \Omega$  مفروض می‌باشد. مقدار جریان گذرنده از دیود چند آمپر می‌باشد؟



۳ در مدار شکل روبه‌رو اگر فیوز سوخته یا سالم باشد، در نور LED چه تغییری ایجاد می‌شود؟ دو LED که به‌طور معکوس بسته شده‌اند چه نقشی در مدار دارند؟



۴ برای نوشتن هر یک از اعداد و حروف شکل روبه‌رو کدام LED در Seven – Segment باید روشن شود؟



۵ نیمه‌هادی نوع P و N را با رسم شکل توضیح دهید.

۶ انواع دیودها را نام برده و کاربرد هر کدام را بنویسید.

۷ انواع روش‌های نام‌گذاری دیودها را نام برده و توضیح دهید.

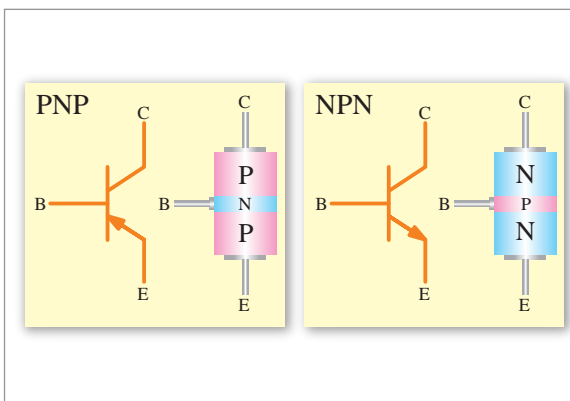
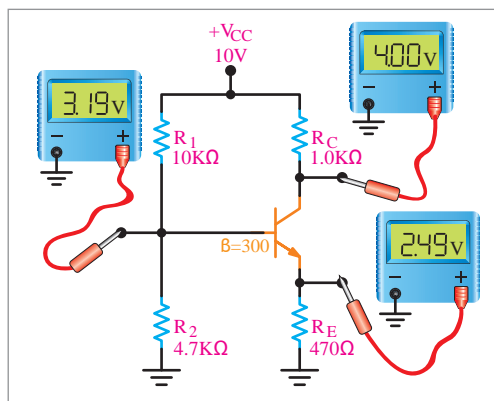
جدول ارزشیابی پودمان

عنوان پودمان (فصل)	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
تحلیل مدارهای الکترونیکی	تحلیل مدارهای دیودی	بررسی نیمه‌هادی‌ها و چگونگی تشکیل دیود همراه با انواع دیودها و نام‌گذاری آنها	حد بالاتر از حد انتظار	۱- نیمه‌هادی‌ها را تجزیه و تحلیل کند. ۲- چگونگی تشکیل دیود را بررسی کند. ۳- انواع دیودها را شناسایی و تجزیه و تحلیل و نام‌گذاری نماید. ■ هنرجو، توانایی بررسی همه شاخص‌های فوق را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱- نیمه‌هادی‌ها را تجزیه و تحلیل کند. ۲- چگونگی تشکیل دیود را بررسی کند. ۳- انواع دیودها را شناسایی و تجزیه و تحلیل و نام‌گذاری نماید. ■ هنرجو، توانایی بررسی دو مورد از شاخص‌های فوق را داشته باشد.	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	۱- نیمه‌هادی‌ها را تجزیه و تحلیل کند. ۲- چگونگی تشکیل دیود را بررسی کند. ۳- انواع دیودها را شناسایی و تجزیه و تحلیل و نام‌گذاری نماید. ■ هنرجو، توانایی بررسی یک مورد از شاخص‌های فوق را داشته باشد.	۱
نمره مستمر از ۵					
نمره شایستگی پودمان از ۳					
نمره پودمان از ۲۰					

## ارزشیابی شایستگی تحلیل مدارهای دیودی

<p><b>۱- شرح کار:</b></p> <p>■ بررسی و تجزیه و تحلیل انواع نیمه‌هادی‌ها</p> <p>■ بررسی و تجزیه و تحلیل ساختمان دیود</p> <p>■ بررسی و تجزیه و تحلیل انواع دیود</p> <p>■ بررسی انواع دیودها و تجزیه و تحلیل مدارهای دیودی.</p>			
<p><b>۲- استاندارد عملکرد:</b></p> <p>بررسی و تجزیه و تحلیل کردن ساختمان دیود و مدارهای دیودی</p> <p><b>۳- شاخص‌ها:</b></p> <p>بررسی کامل از دیود</p>			
<p><b>۴- شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:</b></p> <p>شرایط: کلاس مناسب همراه با پرده‌نگار باشد.</p> <p>ابزار و تجهیزات:</p>			
<p><b>۴- معیار شایستگی:</b></p>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	تشریح و بررسی انواع نیمه‌هادی‌ها	۲	
۲	تجزیه و تحلیل انواع دیودها	۱	
۳	نام‌گذاری انواع دیودها	۱	
	<p>شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشتی و توجهات زیست‌محیطی:</p> <p>۱- رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها؛</p> <p>۲- دقت و تمرکز در اجرای کار؛</p> <p>۳- شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر؛</p> <p>۴- اخلاق حرفه‌ای.</p>	۲	
میانگین نمرات			*
* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.			

## تحلیل مدارهای ترانزیستوری



## آیا تاکنون پی برده‌اید

- ترانزیستور چه برتری‌هایی بر لامپ‌های الکترونیکی دارد؟
- ترانزیستور از نظر نوع ساختمان به چند دسته تقسیم می‌شود؟
- جریان و ولتاژ در ترانزیستورها چگونه تجزیه و تحلیل می‌شود؟
- نواحی کار ترانزیستور و منحنی مشخصه ترانزیستور چگونه است؟
- مقاومت‌های بایاس با معلوم بودن مشخصات نقطه کار در بایاس مستقیم، اتوماتیک و سرخود چگونه محاسبه می‌شوند؟



## استاندارد عملکرد

در پایان این واحد یادگیری، هنرجو می‌تواند چگونگی ساخت ترانزیستور مدارهای ترانزیستوری را تجزیه و تحلیل نماید؛ سپس آنها را نام‌گذاری کرده و محاسبات آنها را انجام دهد.

## ترانزیستور

یکی دیگر از قطعات اساس و پُر کاربرد در الکترونیک، ترانزیستور است. ترانزیستور به عنوان سویچ، تقویت‌کننده، تثبیت‌کننده ولتاژ و... در مدارهای الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تحقیق کنید



با توجه به شکل روبه‌رو تاریخچه اختراع ترانزیستور را بررسی کنید.

ردیف	برتری ترانزیستور بر لامپ‌های الکترونی
۱	کوچک‌تر و سبک‌تر بودن
۲	احتیاج نداشتن به فیلامان و در نتیجه، نداشتن تلفات حرارتی ناشی از گرم کردن فیلامان
۳	احتیاج نداشتن به مدت زمان جهت گرم شدن فیلامان
۴	کارکردن در ولتاژهای بسیار کم
۵	داشتن تحمل جریان زیاد
۶	استحکام زیاد و داشتن عمر طولانی
۷	ساده بودن سیم‌کشی طرح‌های ترانزیستوری



در شکل ۱ شکل ظاهری یک نوع ترانزیستور و یک نوع لامپ مقایسه داده شده است.

شکل ۱- مقایسه شکل ظاهری ترانزیستور و لامپ

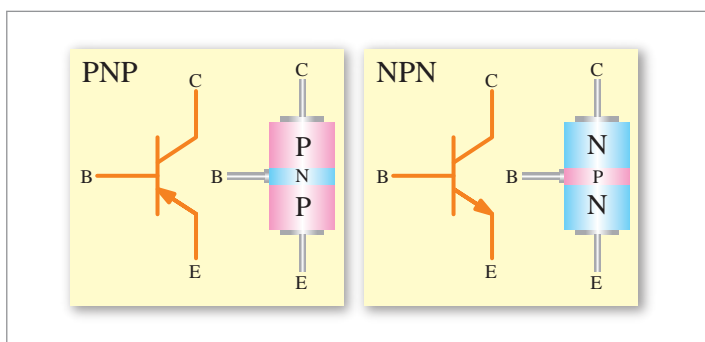
برتری‌های لامپ‌های الکترونی را بر ترانزیستور بیان کنید.

کار در کلاس



### ساختمان ترانزیستور

ترانزیستور معمولی، یک المان سه پایه است که از سه کریستال نیمه‌هادی نوع P و N که در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، تشکیل شده است. در حالت «الف» ترانزیستور را NPN و در حالت «ب» ترانزیستور را PNP می‌نامند. شکل ۲ ترتیب قرار گرفتن نیمه‌هادی‌ها را در کنار هم نشان می‌دهد.



شکل ۲- ساختمان و علامت قرار دادی ترانزیستور

پایه‌های خروجی ترانزیستور به ترتیب عبارت‌اند از :

۱- امیتر منتشرکننده (Emitter)؛

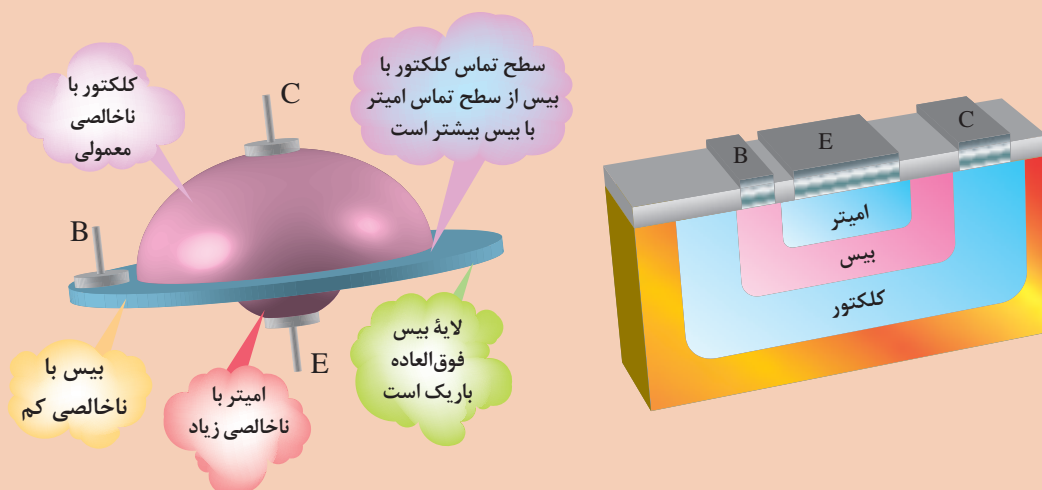
۲- پایه یا بیس (Base)

۳- کلکتور جمع‌کننده (collector).

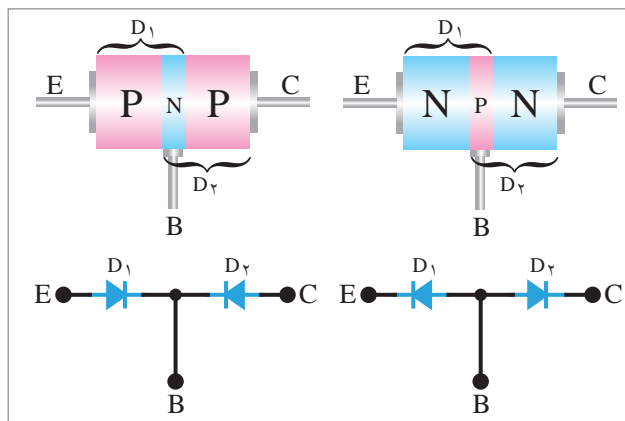
امیتر را با حرف E، پایه (بیس) را با حرف B و کلکتور را با حرف C نشان می‌دهند. این نوع ترانزیستورها را به اختصار Bipolar Junction Transist (BJT) می‌نامند.



با توجه به شکل‌های زیر، لایه‌های ترانزیستور را از نظر ناخالصی با هم مقایسه کنید.



### معادل دیودی ترانزیستور



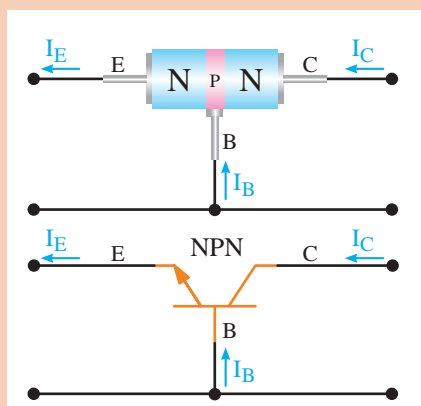
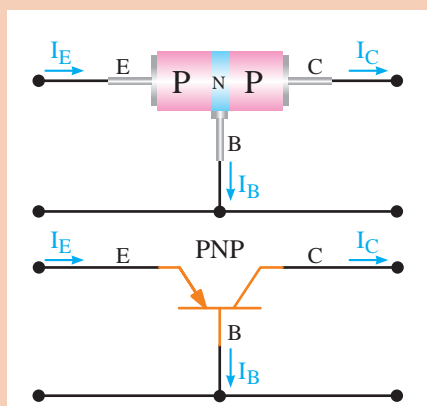
شکل ۳- معادل دیودی ترانزیستور

هر ترانزیستور، دارای سه پایه و دو پیوند است. هر پیوند را می‌توان به صورت یک دیود نشان داد. در نتیجه، معادل دیودی یک ترانزیستور به صورت دو دیود، مطابق شکل ۳ نشان داده می‌شود.

**بایاس ترانزیستور:** برای اینکه بتوان از ترانزیستور به عنوان تقویت کننده، سویچ و... استفاده نمود، ابتدا باید ترانزیستور را از نظر ولتاژ dc تغذیه کرد. عمل تغذیه ولتاژ پایه‌های ترانزیستور را بایاس ترانزیستور می‌نامند. **جهت جریان‌ها در ترانزیستور:** جریانی که از کلکتور عبور می‌کند با حرف  $I_C$ ، جریانی که از بیس عبور می‌کند با حرف  $I_B$  و جریانی که از امیتر عبور می‌کند با حرف  $I_E$  نشان داده می‌شود. به طور کلی جریانی که از امیتر عبور می‌کند، به دو بخش تقسیم می‌شود. قسمت بسیار کمی از جریان از بیس و قسمت اعظم آن از کلکتور عبور می‌کند؛ لذا جریان امیتر برابر است با جریان بیس به علاوه جریان کلکتور، یعنی:  $I_E = I_B + I_C$

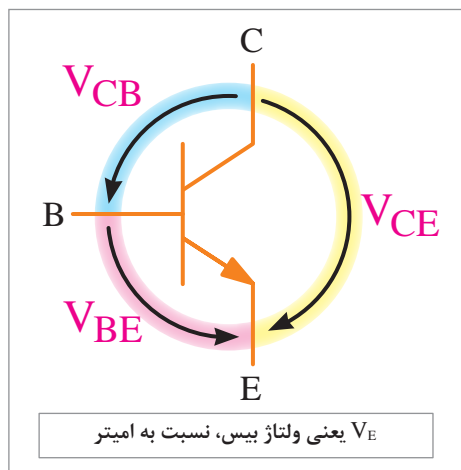


شکل‌های زیر را تجزیه و تحلیل کنید.



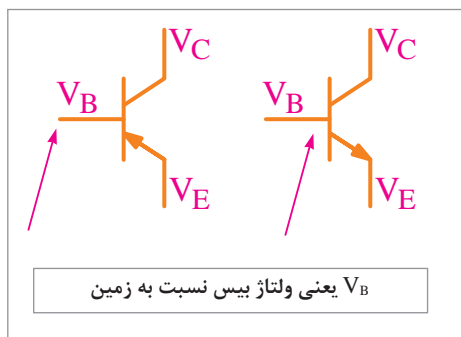
### نام‌گذاری ولتاژهای ترانزیستور

برای اینکه بتوان از ترانزیستور به عنوان تقویت کننده سیگنال‌های الکتریکی و یا دیگر کاربردهای آن استفاده نمود، آن را باید با ولتاژ dc تغذیه کرد.



شکل ۴- نام‌گذاری ولتاژ بین پایه‌ها

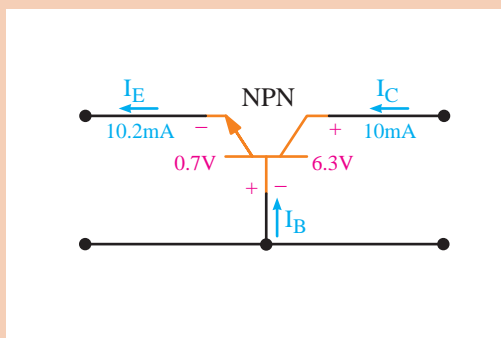
ولتاژی که بین پایه‌های بیس و امیتر قرار می‌گیرد با  $V_{BE}$ ، ولتاژی که در قسمت کلکتور و بیس قرار می‌گیرد با  $V_{CB}$ ، ولتاژی که بین کلکتور و امیتر وصل می‌شود با  $V_{CE}$ ، ولتاژ منبع تغذیه کلکتور را با  $V_{CC}$  و ولتاژی که انرژی بیس را تأمین می‌کند با  $V_{BB}$  نشان داده می‌شود. شکل ۴، ولتاژ قسمت‌های مختلف ترانزیستور را نشان می‌دهد. بین ولتاژهای ترانزیستور، رابطه  $V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$  برقرار است.



شکل ۵- ولتاژ هر پایه ترانزیستور نسبت به زمین

شکل ۵ ولتاژ هر پایه ترانزیستور را نسبت به زمین نشان می‌دهد.

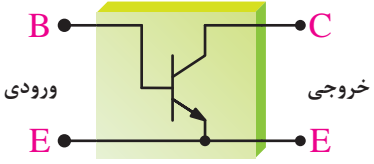
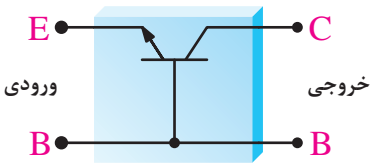
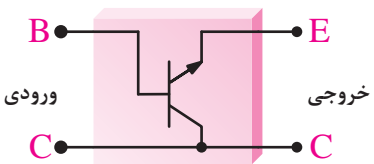
با توجه به شکل زیر،  $V_{CE}$  و  $I_B$  را محاسبه کنید.



کار در کلاس

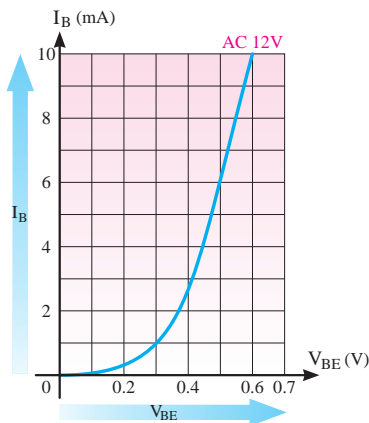


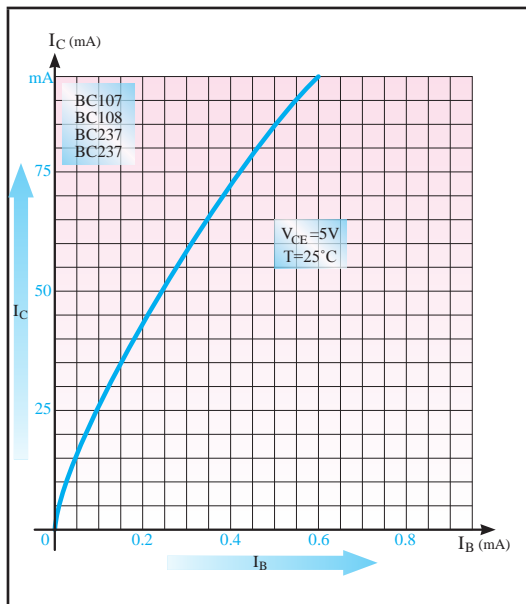
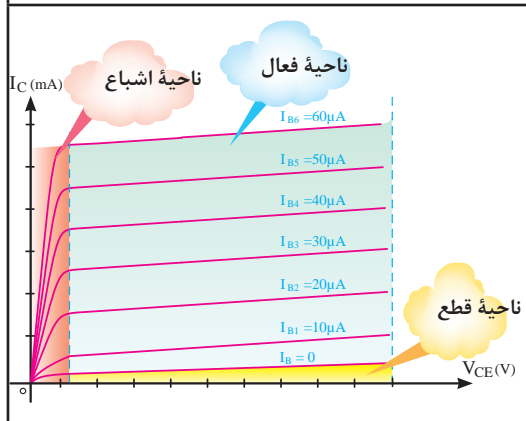
## آرایش‌های ترانزیستور

 <p>ورودی: B خروجی: C میان: E</p>	<p>در این آرایش، پایه آمیتر، بین ورودی و خروجی مدار، مشترک است. و نام‌گذاری این آرایش نیز به دلیل مشترک بودن پایه آمیتر است.</p>	<p><b>امیتر مشترک</b></p>
 <p>ورودی: E خروجی: C میان: B</p>	<p>در این آرایش چون پایه بیس، بین ورودی و خروجی مشترک است، آرایش آن را نیز بیس مشترک نامیده‌اند.</p>	<p><b>بیس مشترک</b></p>
 <p>ورودی: B خروجی: E میان: C</p>	<p>در این آرایش، پایه مشترک بین ورودی و خروجی، کلکتور است و به دلیل مشترک بودن پایه کلکتور، به آن کلکتور مشترک نیز می‌گویند.</p>	<p><b>کلکتور مشترک</b></p>

## منحنی مشخصه‌های ترانزیستور

روابط بین جریان‌ها و ولتاژها و تغییرات آنها در ترانزیستور و همچنین ضریب تقویت آنها به عامل‌هایی همچون درجه حرارت، فرکانس و غیر خطی بودن المان‌ها بستگی دارد.

 <p>Y-axis: <math>I_B</math> (mA) X-axis: <math>V_{BE}</math> (V)</p>	<p>منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور، بیان‌کننده مقدار جریان ورودی، برحسب ولتاژ ورودی است.</p>	<p><b>منحنی مشخصه ورودی</b></p>
--	---	---------------------------------

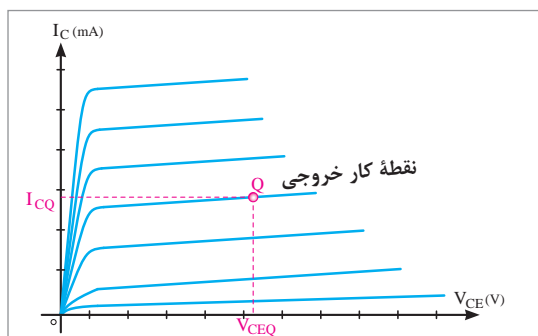
	<p>منحنی مشخصه انتقالی، رابطه بین جریان ورودی و خروجی ترانزیستور را به ازای مقادیر ثابت <math>V_{CE}</math> نشان می‌دهد.</p>	<p>منحنی مشخصه انتقالی</p>
	<p>منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور، رابطه بین جریان و ولتاژ خروجی به ازای جریان ورودی معین را نشان می‌دهد.</p>	<p>منحنی مشخصه خروجی</p>

منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور و نواحی آن را بررسی کنید.

تحقیق کنید



### نقطه کار ترانزیستور



به مقادیر dc کمیت‌های  $I_B$ ،  $I_C$  و  $V_{CE}$  و  $V_{BE}$  در شرایطی که هیچ منبع سیگنال AC دیگری به ورودی آنها متصل نباشد، نقطه کار DC ترانزیستوری گویند. در شکل ۶ نقطه کار، روی منحنی مشخصه خروجی نشان داده شده است. نقطه کار را با حرف Q نشان می‌دهند. Q کلمه Quicent Point به مفهوم نقطه کار است.

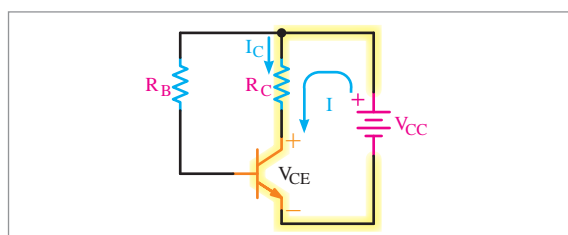
شکل ۶- نقطه کار خروجی، روی منحنی مشخصه خروجی



برای انتخاب نقطه کار، چه محدودیت‌هایی را در ترانزیستور باید در نظر گرفت؟

معادله خط بار و نحوه رسم آن: برای رسم خط بار، ابتدا باید معادله آن را نوشت. برای این منظور، با توجه به جهت جریان و جهت گردش در حلقه خروجی، از یک نقطه مثلاً قطب منفی منبع تغذیه در مدار شکل ۷، معادله KVL را به روش زیر می‌نویسیم.

$$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = 0 \quad \text{معادله خط بار}$$



شکل ۷- تقویت کننده ترانزیستوری

در معادله خط بار،  $V_{CC}$  و  $R_C$  ثابت، ولی  $I_C$  و  $V_{CE}$  متغیرند؛ لذا برای به دست آوردن حداقل دو نقطه از خط بار، یک دفعه  $I_C$  را برابر صفر فرض کرده و در معادله خروجی قرار می‌دهیم و آنگاه  $V_{CE}$  را به دست می‌آوریم (نقطه A) و بار دیگر  $V_{CE}$  را برابر صفر فرض کرده و در معادله خروجی قرار می‌دهیم و آنگاه  $I_C$  را به دست می‌آوریم (نقطه B) در پایان نقاط A و B را به هم وصل می‌کنیم تا خط بار به دست آید (شکل ۸).  
نقطه A

$$I_C = 0$$

$$-V_{CC} + 0 \times R_C + V_{CE} = 0$$

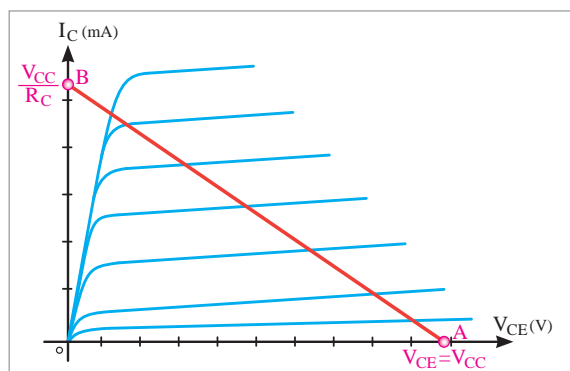
$$V_{CE} = V_{CC}$$

نقطه B

$$V_{CE} = 0$$

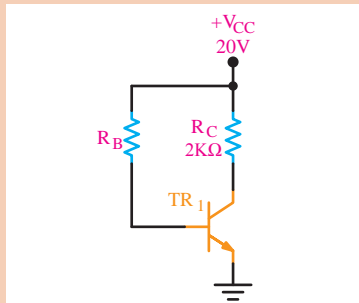
$$-V_{CC} + I_C R_C + 0 = 0$$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

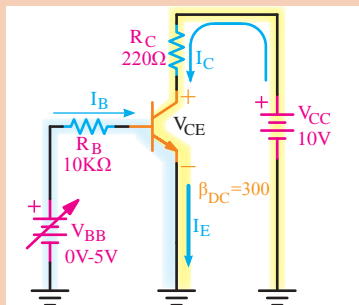


شکل ۸- نحوه ترسیم خط بار



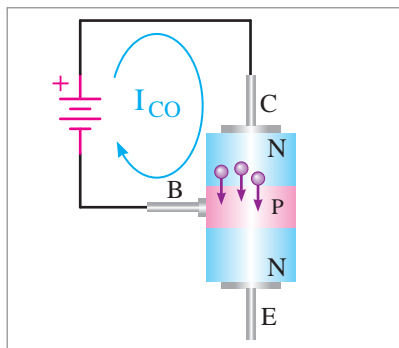


با توجه به شکل زیر، ابتدا معادله خط بار را بنویسید و سپس آن را روی منحنی مشخصه خروجی رسم کنید.



با توجه به تقویت کننده شکل زیر معادله خط بار را بنویسید و سپس آن را روی منحنی مشخصه خروجی شکل رسم کنید. نقطه کار را در وسط خط بار مشخص کنید و مختصات آن را بنویسید.  $V_{BE} = 0.7$  ولت است.

### تأثیر درجه حرارت در ترانزیستور

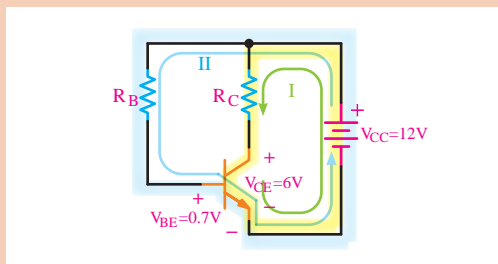


افزایش درجه حرارت، بر روی جریان معکوس کلکتور بیس، نسبت به جریان های دیگر، بیشتر اثر می گذارد. مطابق شکل ۹، با توجه به اینکه بیس کلکتور در بایاس مخالف قرار دارد، جریان بسیارضعیفی که عامل آن حامل های اقلیت (حفره ها) هستند، از کلکتور به طرف بیس جاری می شود. این جریان را جریان قطع کلکتور می نامند و با ICO نمایش می دهند.

شکل ۹- نمایش جریان ICO

### تأمین ولتاژها و جریان های مورد نیاز ترانزیستور

مقدار ولتاژی که لازم است به قسمت های مختلف ترانزیستور یا مدارهای ترانزیستوری اعمال شود، یک اندازه نیست. برای تأمین ولتاژهای مورد نیاز قسمت های مختلف یک تقویت کننده به کمک فقط یک منبع تغذیه، باید از تقسیم کننده های مقاومتی اهمی استفاده کرد. برای این منظور، مقاومت های اهمی را با قسمت های مختلف تقویت کننده سری می کنند و با ایجاد افت ولتاژ کافی، ولتاژ و جریان های DC مورد نیاز را به دست می آورند.



اگر بخواهیم مقدار ولتاژ  $V_{CE}$  در یک ترانزیستور،  
 ۶ولت و مقدار  $V_{BE}$  برابر ۰/۷ ولت و مقدار  $I_C = ۱۰\text{mA}$   
 و مقدار  $I_B = ۰/۱\text{mA}$  باشد، مقدار  
 مقاومت‌هایی را که باید با ترانزیستور سری شوند،  
 به‌دست آورید. ولتاژ منبع تغذیه ۱۲ولت است.  
 ( $U_{RC} = ۶\text{V}$ )

حل:

$$U_{RC} = R_C I_C$$

$$R_C = \frac{U_{RC}}{I_C} = \frac{۶}{۱۰\text{mA}} = ۶۰۰\Omega$$

طبق قانون ولتاژ کیرشهف (KVL) می‌توان محاسبات بالا را در حلقه I به صورت زیر نوشت:  
 معادله KVL در حلقه خروجی:

$$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$$

$$-۱۲ + R_C \times ۱۰\text{mA} + ۶ = ۰$$

محاسبه  $R_C$ :

$$R_C = \frac{۱۲ - ۶}{۱۰\text{mA}} = ۶۰۰\Omega$$

همچنین، طبق قانون ولتاژ کیرشهف (KVL) می‌توانیم معادله حلقه II را بنویسیم و مقدار  $R_B$  را نیز  
 محاسبه نماییم.

معادله KVL در حلقه ورودی:

$$-V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} = ۰$$

$$-۱۲ + R_B \times ۰/۱\text{mA} + ۰/۷ = ۰$$

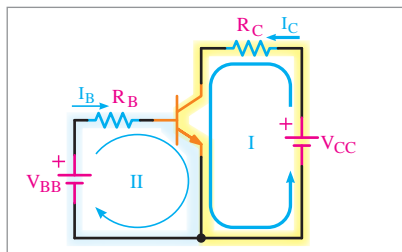
محاسبه  $R_B$ :

$$R_B = \frac{۱۲ - ۰/۷}{۰/۱\text{mA}} = ۱۱۳\text{k}\Omega$$

### تغذیه ترانزیستور

از ترانزیستور در صورتی می‌توان به‌صورت یک تقویت‌کننده استفاده کرد که ولتاژهای لازم به پایه‌های آن  
 برسد و ترانزیستور را در حالت هدایت قرار دهد. در ادامه به بررسی انواع بایاسینگ (تغذیه) که ترانزیستور را  
 در ناحیه هدایت قرار می‌دهد می‌پردازیم.

### پودمان ۳: تحلیل مدارهای الکترونیکی



بایاس با دو منبع مستقل  $V_{CC}$  و  $V_{BB}$ : اگر بخواهیم ترانزیستور در نقطه  $Q$  کار کند، باید، مطابق شکل زیر یک منبع ولتاژ را بین بیس امیتر و منبع دیگری بین کلکتور و امیتر قرار دهیم. منبع  $V_{BB}$  دیود بیس امیتر در بایاس موافق منبع  $V_{CC}$  دیود کلکتور بیس را در بایاس معکوس قرار می‌دهد (شکل ۱۰).

شکل ۱۰- تغذیه ترانزیستور با دو منبع مستقل

به منظور کنترل جریان بیس، از مقاومت  $R_B$  و برای کنترل جریان کلکتور از مقاومت استفاده شده است. با نوشتن معادله KVL در حلقه I و حلقه II می‌توان مقدار مقاومت‌های بایاس را محاسبه نمود.

$$KVL \rightarrow -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = 0$$

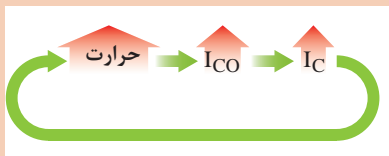
$$R_C I_C = V_{CC} - V_{CE}$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$$

با نوشتن معادله KVL در حلقه ورودی، می‌توان  $R_B$  را محاسبه کرد.

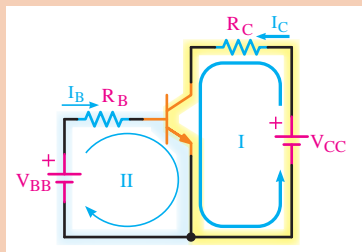
$$KVL \rightarrow -V_{BB} + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

$$R_B I_B = V_{BB} - V_{BE} \rightarrow R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_B}$$



رابطه زیر را بررسی کنید.

کار در کلاس



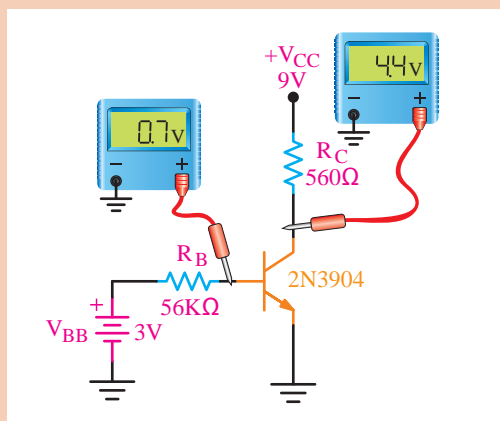
برای تقویت کننده شکل زیر، مقاومت‌های بایاس  $R_C$  و  $R_B$  را طوری محاسبه کنید که نقطه کار ترانزیستور، با مختصات  $Q$  برابر شود.

کار در کلاس



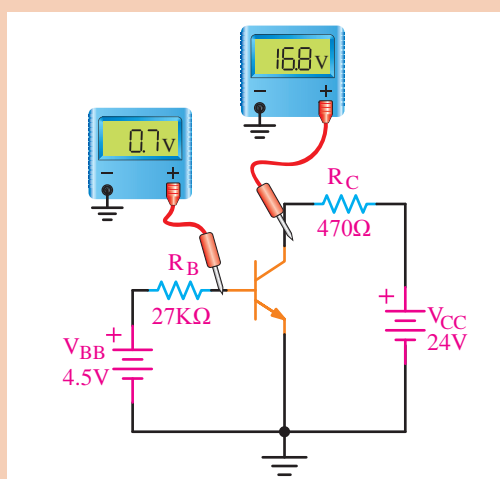
$$V_{BE} = 0.7V, V_{CE} = 6V, I_C = 5mA, I_B = 0.1mA, V_{CC} = 12V, V_{BB} = 2V$$

کار در کلاس



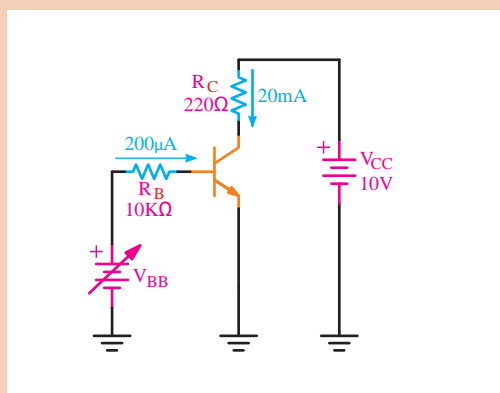
با توجه به شکل روبه‌رو  $I_C$  و  $I_B$  را ترانزیستور محاسبه کنید

کار در کلاس

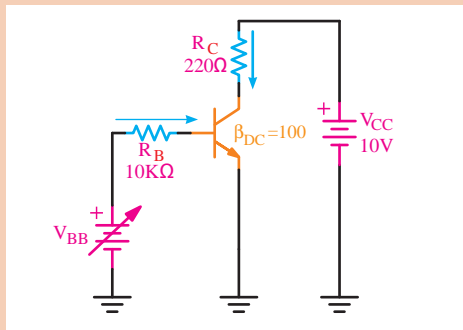


با توجه به شکل روبه‌رو  $\beta$  و  $\alpha$  را محاسبه کنید.

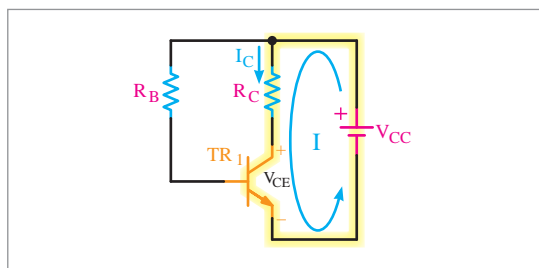
کار در کلاس



در مدار شکل روبه‌رو،  $V_{CE}$  را محاسبه کرده و بگویید مقدار منبع ولتاژ  $V_{BB}$  چه قدر است؟ ( $V_{BE} = 0.7$ )



در مدار شکل روبه‌رو اگر  $V_{BE} = 0.7V$  و  $V_{BB} = 4V$  ولت باشد،  $I_B$  و  $I_C$  و  $V_{CE}$  را محاسبه کنید.



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 ۱۱).

شکل ۱۱- بایاس بیس با یک باتری

برای محاسبه  $R_C$ ، معادله KVL در حلقه خروجی نوشته می‌شود.

$$KVL_{(I)} \rightarrow -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = 0$$

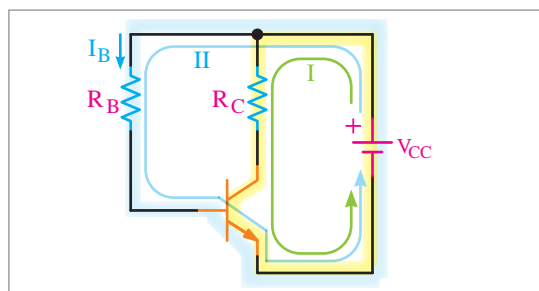
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$$

برای محاسبه  $R_B$ ، معادله KVL را در حلقه II می‌نویسیم (شکل ۱۲).

$$KVL_{(II)} \rightarrow -V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

$$R_B I_B = V_{CC} - V_{BE}$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$$



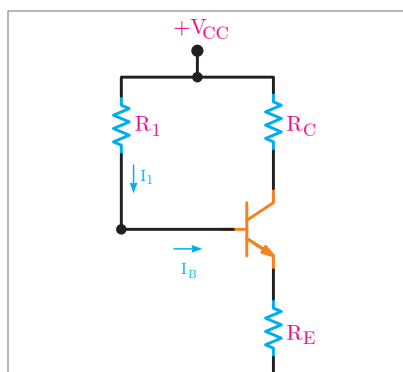
شکل ۱۲- تغذیه بیس با استفاده از یک باتری



برای نقطه کار Q با مختصات:

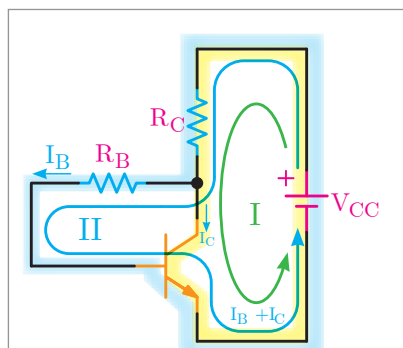
$$V_{BE} = 0.7V \quad V_{CE} = 6V \quad I_C = 5mA \quad I_B = 0.1mA$$

و با معلوم بودن  $V_{CC}$  مقدار برابر ۱۲ ولت، مقاومت‌های بایاس  $R_C$  و  $R_B$  را در تقویت‌کننده شکل ۱۲ محاسبه کنید.



بایاس با فیدبک در امیتر **Emitter Feedback Bias**: به دلیل تأثیر حرارت در نقطه کار ترانزیستور، مقاومت  $R_E$  را در امیتر ترانزیستور قرار می‌دهند. این نوع بایاس را بایاس با فیدبک در امیتر می‌گویند (شکل ۱۳).

شکل ۱۳- بایاس با فیدبک در امیتر

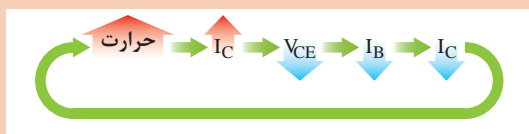


بایاس با فیدبک از کلکتور (**Collector Feedback Bias**): در صورتی که  $R_B$  را بین بیس و کلکتور قرار دهیم به این نوع تغذیه، بایاس با فیدبک ولتاژ می‌گویند. شکل ۱۴ این نوع بایاس را نشان می‌دهد.

شکل ۱۴- ترانزیستور به همراه بایاس با فیدبک از کلکتور



رابطه زیر را بررسی کنید:



محاسبه مقاومت‌های بایاس  $R_C$  و  $R_B$ : برای محاسبه مقاومت بایاس  $R_C$  معادله KVL را در حلقه I می‌نویسیم:

$$KVL (I) \rightarrow -V_{CC} + (I_C + I_B) R_C + V_{CE} = 0 \rightarrow I_E = I_C + I_B$$

$$R_C I_E = V_{CC} - V_{CE}$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_E}$$

### پودمان ۳: تحلیل مدارهای الکترونیکی

با نوشتن معادله KVL در حلقه II،  $R_B$  محاسبه می‌شود.

$$\text{KVL}_{(II)} \rightarrow -V_{CC} + R_C I_E + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

$$R_B I_B = V_{CC} - V_{BE} - R_C I_E$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - R_C I_E}{I_B}$$

می‌توان با معلوم بودن  $V_{CE}$  افت پتانسیل  $V_{CB}$  را به دست آورد، سپس  $R_B$  را ساده‌تر محاسبه نمود.

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}$$

$$R_B I_B = V_{CB}$$

$$R_B = \frac{V_{CB}}{I_B}$$

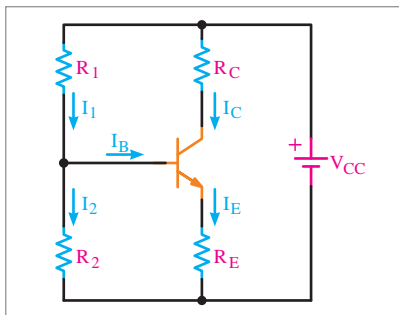
کار در کلاس



در شکل ۱۴ برای نقطه کار Q:

$$V_{BE} = 0.7V \quad V_{CE} = 5V \quad I_C = 5mA \quad I_B = 0.1mA$$

و با معلوم بودن مقدار  $V_{CC} = 12V$  ولت، مقادیر  $R_C$  و  $R_B$  را برای مدار محاسبه کنید.



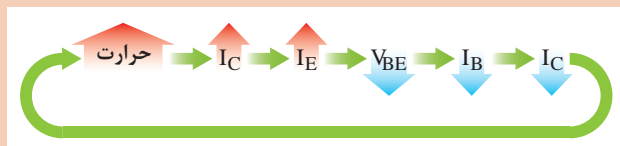
**بایاس سرخود:** روش بهتر بایاس و ثبات حرارتی، بایاس با مدار تقسیم‌کننده ولتاژ مقاومتی است که به آن بایاس سرخود نیز می‌گویند. در این روش، مطابق شکل ۱۵ یک مقاومت  $R_E$  در مسیر امیتر قرار می‌گیرد و بیس، توسط دو مقاومت  $R_1$  و  $R_2$  (به صورت مقسم ولتاژ) تغذیه می‌شود. مقاومت‌های  $R_C$  و  $R_E$  را با استفاده از معادله KVL و مفروضاتی که از تجربه به دست آمده است و با معلومات داده شده، محاسبه می‌نمایند.

شکل ۱۵- ترانزیستور با بایاس تقسیم‌کننده ولتاژ مقاومتی یا سرخود

کار در کلاس



رابطه زیر را بررسی کنید:



تحقیق کنید

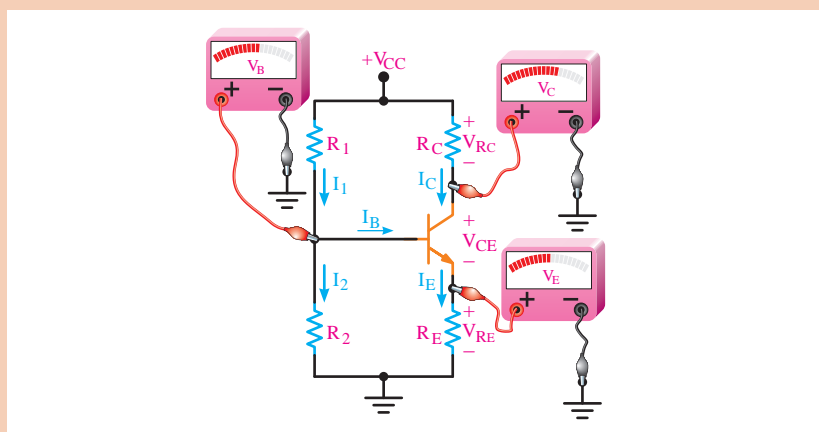


مثال



یک نمونه مدار بایاس را با نرم‌افزار، شبیه‌سازی کنید و نتیجه را با پرده نگار نمایش دهید.

در مدار شکل زیر مقادیر  $V_E$  و  $V_B$  و  $V_C$  و  $I_C$  را محاسبه کنید.  $V_{BE} = 0.7V$  ولت است.



حل:

محاسبه  $V_B$ :

$$V_B = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_B = \frac{10 \times 5 / 1}{5 / 1 + 10} = 3.37V$$

محاسبه  $V_E$ :

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

$$V_E = 3.37 - 0.7 = 2.67V$$

محاسبه  $I_E$ :

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{2.67}{510\Omega}$$

$$I_E = 5.23mA$$

$$I_C = I_E = 5.23mA$$

محاسبه  $V_C$ :

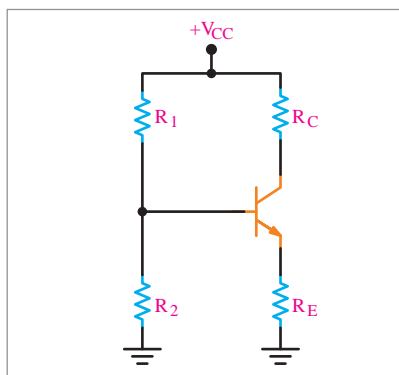
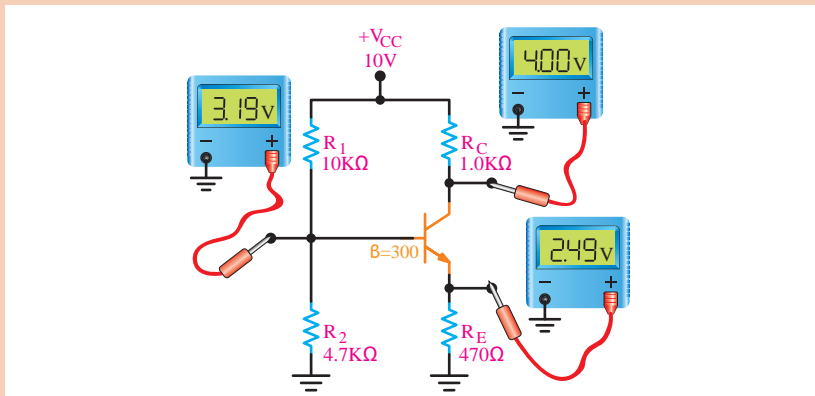
$$V_C = V_{CC} - R_C I_C$$

$$V_C = 10 - (5.23 \times 1) = 4.77V$$





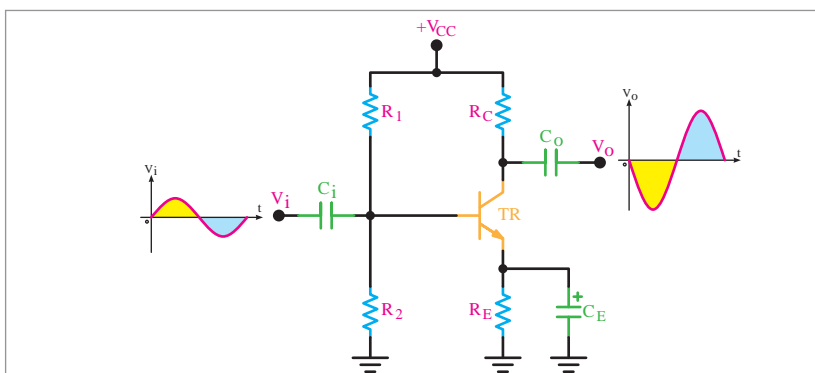
آیا مقادیری را که ولت‌مترها نشان می‌دهند، صحیح است؟ ولتاژ نقاط مشخص شده را محاسبه کنید.  
( $V_{BE} = 0.7V$  ولت است.)



اتصال سیگنال متناوب به تقویت کننده ترانزیستوری با بایاس سرخود: برای اتصال سیگنال متناوب به تقویت کننده ترانزیستوری، ابتدا باید تقویت کننده را از نظر DC در منطقه فعال، بایاس کنیم. شکل ۱۶، بایاس DC ترانزیستور را به صورت سرخود نشان می‌دهد.

شکل ۱۶- تقویت کننده به صورت بایاس سرخود

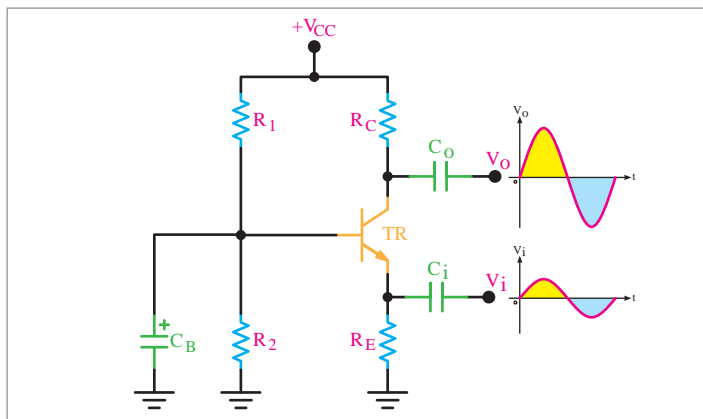
اتصال سیگنال متناوب به این تقویت کننده به سه صورت امکان پذیر است:  
**الف) آرایش امیتر مشترک:** در این آرایش، سیگنال متناوب ورودی را به بیس ترانزیستور اتصال می‌دهند و سیگنال تقویت شده از کلکتور دریافت می‌گردد.  
پایه بیس، بین ورودی و خروجی مشترک است. شکل ۱۷ این آرایش را نشان می‌دهد.



شکل ۱۷- 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.

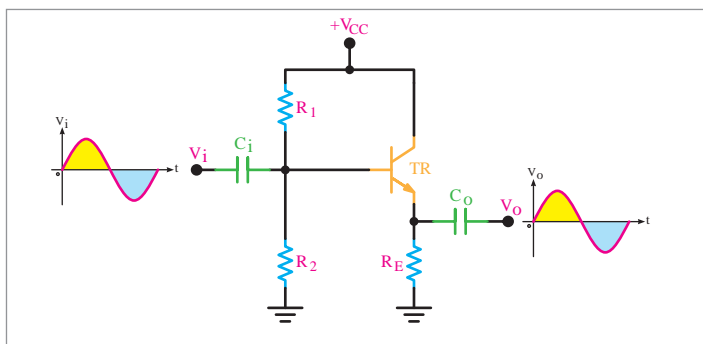
**ب) آرایش بیس مشترک:** در این آرایش، سیگنال متناوب ورودی به امیتر اتصال داده می‌شود و سیگنال خروجی از کلکتور دریافت می‌شود. پایه بیس، بین ورودی و خروجی مشترک است. شکل ۱۸ این آرایش را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸- یک نمونه تقویت کننده بیس مشترک

پایه 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 دامنه ولتاژ تقویت می‌کند.

**ج) 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 پایه کلکتور، پایه مشترک بین ورودی و خروجی است. این آرایش، سیگنال ورودی را فقط از نظر جریان تقویت می‌کند. شکل ۱۹ این آرایش را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹- یک نمونه تقویت کننده کلکتور مشترک



با جست جو در شبکه‌های مجازی و اینترنت، مشخصات آرایش‌های ترانزیستور را تحقیق کنید و نتیجه را به صورت پرده نگار نمایش دهید.

### نام گذاری ترانزیستورها



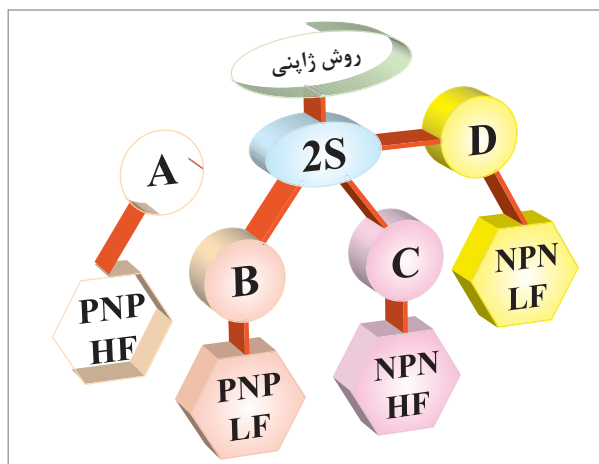
شکل ۲۰- روش‌های نام گذاری ترانزیستورها

برای نام گذاری ترانزیستورها، سه روش مشهور در دنیا وجود دارد. ولی تعدادی از کارخانجات در گوشه و کنار دنیا از سیستم نام گذاری خاصی استفاده می‌نمایند. آن سه روش، عبارت‌اند از:  
نام گذاری به روش ژاپنی؛  
نام گذاری به روش اروپایی؛  
نام گذاری به روش آمریکایی؛  
شکل ۲۰، این نام گذاری‌ها را نشان می‌دهد.

روش ژاپنی: در این سیستم، نام گذاری ترانزیستور را با عدد ۲ شروع می‌کنند و به دنبال آن، حرف S را می‌آورند. بعد از حرف و عدد ۲S، یکی از چهار حرف A, B, C, D را قرار می‌دهند که هر حرف مفهومی به شرح زیر دارد:

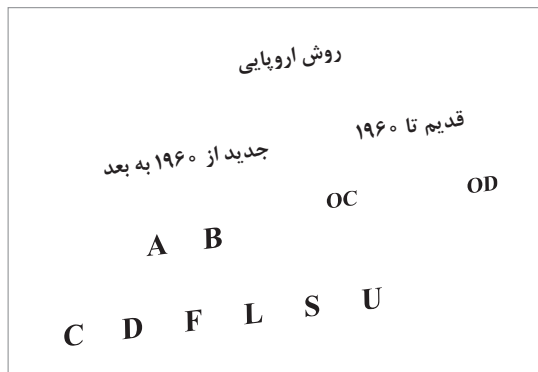
حرف A نشان دهنده ترانزیستور از نوع PNP است و در فرکانس‌های بالا نیز می‌تواند کار کند. (High Frequency) = HF  
حرف B نشان دهنده ترانزیستور از نوع PNP است و در فرکانس‌های کم می‌تواند کار کند. (Low Frequency) = LF  
حرف C نشان دهنده ترانزیستور از نوع NPN است و در فرکانس‌های بالا نیز می‌تواند کار کند.  
حرف D نشان دهنده ترانزیستور از نوع NPN است و در فرکانس‌های کم می‌تواند کار کند.  
بعد از این حروف، تعداد دو، سه، چهار عدد قرار می‌گیرد. در این سیستم، حروف روی ترانزیستور، مشخص کننده

جنس نیمه‌هادی به کار رفته ژرمانیم یا سیلیسیم و همچنین حدود قدرت آن نیست. مثلاً آلمان سه پایه به شماره ۲SC۸۲۹ نشان دهنده ترانزیستور از نوع NPN با محدوده فرکانسی بالاست. بر روی اکثر ترانزیستورها، حرف ۲S را قید نمی‌نمایند، مثلاً C۸۲۹ همان ۲SC۸۲۹ است.



شکل ۲۱- نام گذاری 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 دو، سه یا چهار عدد به دنبال آن مشخص می‌کردند، که OC برای ترانزیستورهای کم‌قدرت و OD برای ترانزیستورهای قدرت به کار می‌رفت. OC۷۲ در این روش نام‌گذاری، نوع ترانزیستور PNP - NPN یا جنس نیمه‌هادی به کار رفته یا محدودهٔ فرکانسی آن مشخص نبود.



از سال ۱۹۶۰ به بعد، سیستم نام‌گذاری ترانزیستورها تغییر کرد. به این طریق که ترانزیستورهای به کار رفته در رادیو و تلویزیون و یا در وسایل الکترونیکی عمومی بیشتر با دو حرف و سه شماره ۱ و ترانزیستورهای خاص، با سه حرف و دو شماره مشخص می‌شوند. مانند ترانزیستور شمارهٔ 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 ۲۲- نام‌گذاری ترانزیستورها به روش اروپایی

حرف اول در این روش، نشان‌دهندهٔ جنس نیمه‌هادی است که اگر از ژرمانیم باشد آن را با حرف A و اگر از 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:

**F:** ترانزیستور کم‌قدرت، فرکانس کار زیاد.

**C:** ترانزیستور کم‌قدرت، فرکانس کار کم.

**D:** ترانزیستور قدرت، فرکانس کار کم.

**S:** ترانزیستور کم‌قدرت که بصورت سوئیچ به کار می‌رود.

**L:** ترانزیستور قدرت، فرکانس کار زیاد (ترانزیستور کم‌قدرتی که به صورت سوئیچ به کار می‌رود).

**U:** ترانزیستور قدرت، به صورت سوئیچ به کار می‌رود.

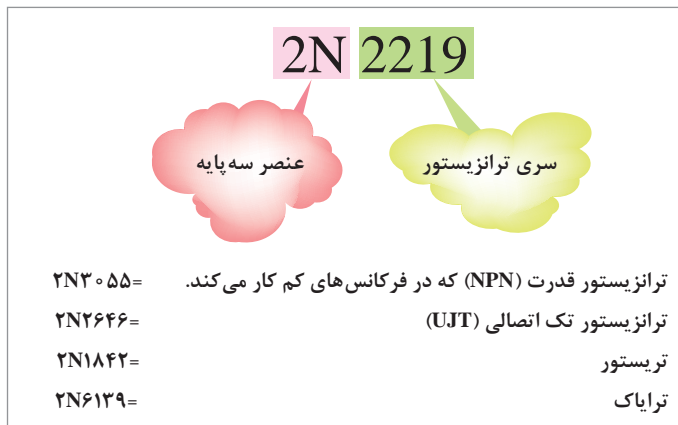
سه شمارهٔ بعد، نشان‌دهندهٔ سری ترانزیستور است که با استفاده از این سه شماره و جدول مشخصات، می‌توان مشخصات الکتریکی ترانزیستور را به دست آورد. برای مثال مشخصات ظاهری ترانزیستور BC۱۰۷ به این شرح است:



شکل ۲۳- مشخصات ظاهری ترانزیستور BC۱۰۷

با مراجعه به کتاب مشخصات ترانزیستور و پیدا کردن جدول مربوط، مشخصات الکتریکی را به دست می‌آورند. مثلاً ترانزیستور BF۴۸۰، ترانزیستوری کم‌قدرت بوده و جنس آن از سیلیسیم است و با فرکانس زیاد نیز

می‌تواند کار کند. در این سیستم نام‌گذاری، نوع ترانزیستور PNP-NPN از روی حروف ترانزیستور مشخص نیست. **نام‌گذاری به روش آمریکایی:** در این روش، ترانزیستور و المان‌های سه قطبی را با حرف و عدد ۲N مشخص



می کنند و تعدادی رقم را برای شماره سری به دنبال آن می آورند. حرف N و عدد ۲ فقط المان های سه قطبی را از المان های دو قطبی، مانند دیود مشخص می سازد. با توجه به شماره های بعدی که به دنبال آن می آورند و با توجه به جدول مشخصات المان ها، نوع المان و همچنین مشخصات الکتریکی آنها را باید به دست آورد. (شکل ۲۴).

شکل ۲۴- نام گذاری به روش آمریکایی

با توجه به حروف و اعداد نام گذاری شده برای ترانزیستورهای 2N3055, 2N2646, 2N1842, 2N6139 و AC178 چه مشخصاتی را می توانید استخراج کنید؟ شرح دهید.

کار در کلاس



کدام مشخصه الکتریکی را می توان از روی یک قطعه به شماره 2N3055 استخراج کرد؟

کار در منزل



تحقیق کنید



با جست و جو در شبکه های مجازی، اینترنت و شکل زیر، مقادیر حد در ترانزیستورها را تحقیق کنید و نتیجه را به صورت پرده نگار نمایش دهید.

مقادیر حد در ترانزیستور

$V_{CE\ MAX}$   $I_{C\ MAX}$   $P_{MAX}$   $T_J$   $F_T$   $F_g$

### مهندسی معکوس (دفاع مقدس)

یکی از فعالیت هایی که در زمینه صنایع مختلف از جمله صنعت الکترونیک موجب پیشرفت، خلاقیت و نوآوری می شود، اجرای مهندسی معکوس است. در مهندسی معکوس، برای ساخت یک دستگاه ساخته شده، آن را بررسی و اجزایش را باز می کنند و چگونگی عملکرد آن را استخراج می نمایند. در نهایت با استفاده از علوم ریاضی و فنی، محاسبات مورد نیاز را انجام می دهند و سپس اقدام به نمونه سازی اولیه می کنند. پس از نمونه سازی، در صورت دریافت نتیجه قابل قبول، شرایط تولید انبوه را برای آن مهیا می نمایند. یکی از فعالیت هایی که در دفاع مقدس صورت گرفت، مهندسی معکوس برای ساخت موشک بود. آیا می دانید اولین موشک ساخته شده از طریق مهندسی معکوس، موشک مجتمع نام داشت؟

کلمه «مجتمع» متشکل از حروف اول عبارت «موشک، جواب تجاوزات موشکی عراق» است که به ابتکار شهید

حسن طهرانی مقدم و تیم وی صورت گرفت و از این طریق توانستند با مهندسی معکوس، موشک‌هایی را بسازند که بتواند جواب موشک‌های عراقی را بدهد.

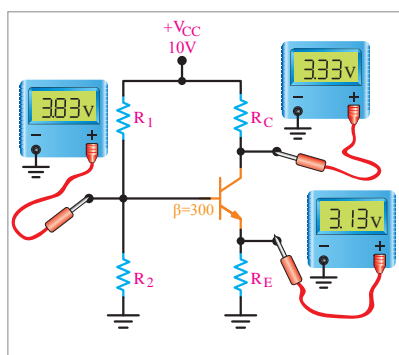


با مراجعه به رسانه‌های مختلف، بررسی کنید چرا شهید حسن طهرانی مقدم را پدر علم موشکی ایران می‌نامند؟

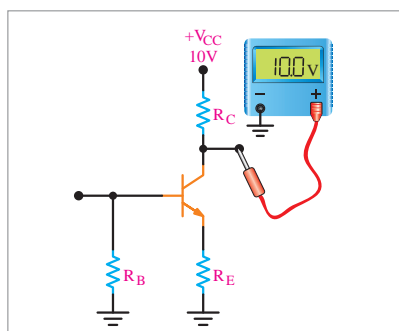
تحقیق کنید



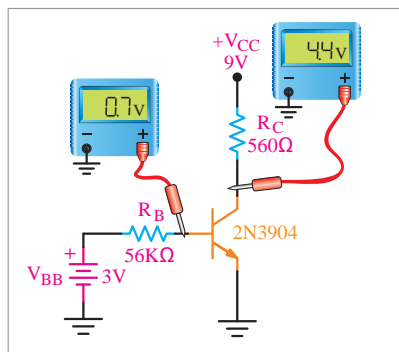
## ارزشیابی



۱ با توجه به مقادیر نشان داده شده در شکل روبه‌رو  $V_{BE}$  و  $V_{CE}$  و  $V_{CB}$  را محاسبه کنید. ناحیه کار ترانزیستور را مشخص کنید.

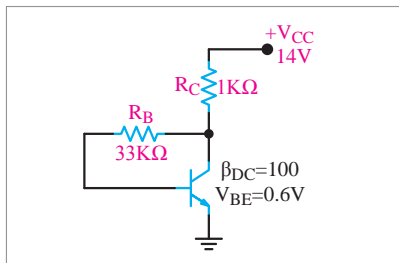


۲ با توجه به مقدار ولتاژ نشان داده شده در شکل روبه‌رو ناحیه کار ترانزیستور را مشخص کنید.

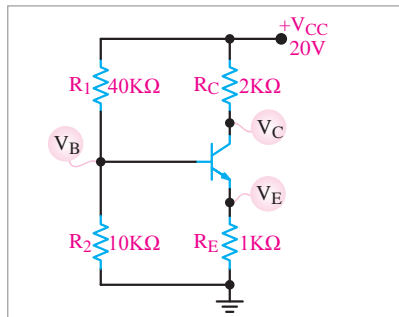


۳ با توجه به شکل روبه‌رو  $I_B$  و  $I_C$  و  $B_{DC}$  ترانزیستور را محاسبه کنید.

پودمان ۳: تحلیل مدارهای الکترونیکی

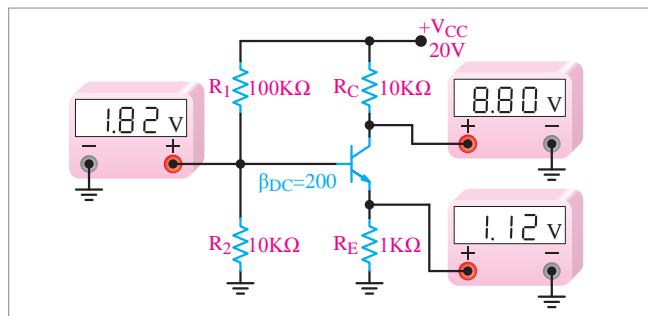


۴ با توجه به شکل روبه‌رو مقادیر داده شده در مدار،  $I_B$  و  $I_C$  و  $V_{CE}$  را محاسبه کنید.

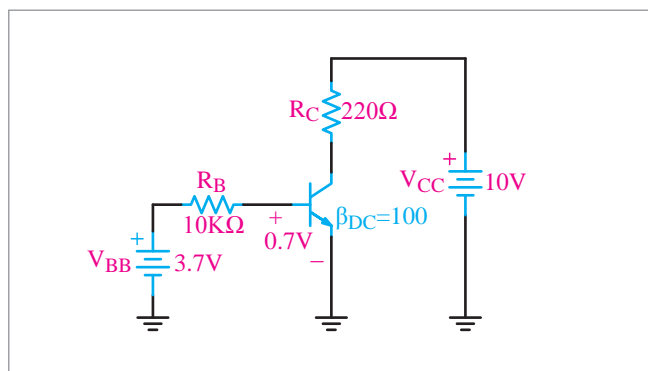


۵ در شکل روبه‌رو با فرض  $I_E = I_C$  ولتاژ پایه‌ها و جریان ترانزیستور را محاسبه کنید.  $V_{BE} = 0.7$

۶ با استفاده از روابط مربوط به بایاس سرخود اثبات کنید که مقادیر نشان داده شده توسط ولت‌مترهای شکل زیر صحیح است.  $V_{BE} = 0.7$



۷ با توجه به شکل زیر و مقادیر داده شده در مدار  $I_B$  و  $I_C$  و  $V_{CE}$  را محاسبه کنید.



### ارزشیابی شایستگی تحلیل مدارهای ترانزیستوری

عنوان پودمان (فصل)	تکالیف عملکردی (شایستگی ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص ها، دآوری، نمره دهی)	نمره
تحلیل مدارهای الکترونیکی	تحلیل مدارهای ترانزیستوری	چگونگی ساخت و عملکرد و بایاس ترانزیستورها را تجزیه و تحلیل نماید.	بالا تر از حد انتظار	۱- چگونگی ساخت و عملکرد نرانزیستورها را بررسی کند. ۲- ضرایب در ترانزیستورها و پارامترهای آنها را بررسی و تجزیه و تحلیل نماید. ۳- انواع بایاس در ترانزیستورها را تجزیه و تحلیل نماید و ترانزیستورها را نام گذاری کند. ■ <b>هنرجو توانایی بررسی همه شاخص های فوق را داشته باشد.</b>	۳
			در حد انتظار	۱- چگونگی ساخت و عملکرد نرانزیستورها را بررسی کند. ۲- ضرایب در ترانزیستورها و پارامترهای آنها را بررسی و تجزیه و تحلیل نماید. ۳- انواع بایاس در ترانزیستورها را تجزیه و تحلیل نماید و ترانزیستورها را نام گذاری کند. ■ <b>هنرجو توانایی بررسی دو مورد از شاخص های فوق را داشته باشد.</b>	۲
			پایین تر از انتظار	۱- چگونگی ساخت و عملکرد نرانزیستورها را بررسی کند. ۲- ضرایب در ترانزیستورها و پارامترهای آنها را بررسی و تجزیه و تحلیل نماید. ۳- انواع بایاس در ترانزیستورها را تجزیه و تحلیل نماید و ترانزیستورها را نام گذاری کند. ■ <b>هنرجو توانایی بررسی یک مورد از شاخص ها را داشته باشد.</b>	۱
نمره مستمر از ۵					
نمره شایستگی پودمان از ۳					
نمره پودمان از ۲۰					



## ارزشیابی شایستگی تحلیل مدارهای ترانزیستوری

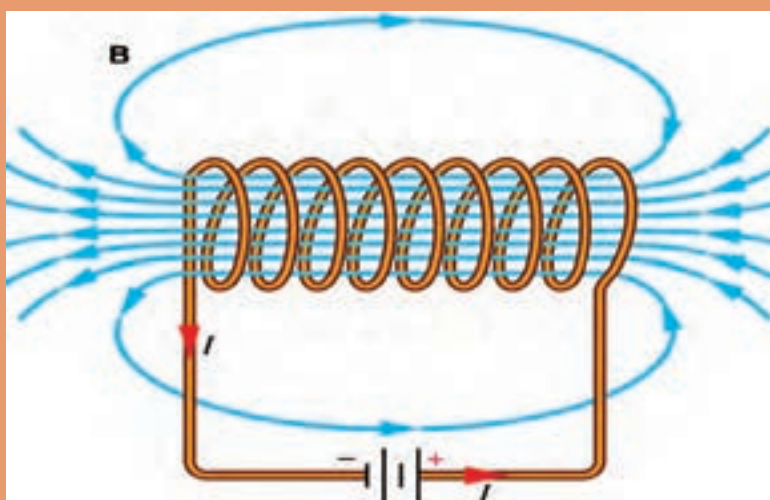
<p><b>۱- شرح کار:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>بررسی و تجزیه و تحلیل ساختمان دیود</li> <li>بررسی انواع دیودها و تجزیه و تحلیل مدارهای دیودی</li> <li>بررسی و تجزیه و تحلیل ساختمان ترانزیستور</li> <li>بررسی منحنی‌های مشخصه و ترکیب‌های ترانزیستوری</li> <li>بررسی و تجزیه و تحلیل مدارهای ترانزیستوری</li> </ul>			
<p><b>۲- استاندارد عملکرد:</b></p> <p>بررسی و تجزیه و تحلیل کردن ترانزیستوری.</p> <p><b>۳- شاخص‌ها:</b></p> <p>تشریح کامل از دیود و ترانزیستور.</p>			
<p><b>۴- شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:</b></p> <p>شرایط: کلاس مناسب همراه با پرندگار باشد.</p> <p>ابزار و تجهیزات:</p>			
<p><b>۵- معیار شایستگی:</b></p>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	چگونگی ساخت و عملکرد و چگونگی هدایت ترانزیستور BJT را بررسی کند	۲	
۲	ضرایب در ترانزیستورها و پارامترهای آنها را بررسی و تجزیه و تحلیل نماید.	۱	
۳	انواع بایاس‌ها و ترکیب‌ها در ترانزیستور BJT را تجزیه و تحلیل و ترانزیستورها را نام‌گذاری کند.	۱	
	<p><b>شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشتی و توجهات زیست‌محیطی:</b></p> <p>۱- رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها؛</p> <p>۲- دقت و تمرکز در اجرای کار؛</p> <p>۳- شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر؛</p> <p>۴- اخلاق حرفه‌ای.</p>	۲	
<b>میانگین نمرات</b>			*

\* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.



## پودمان ۴

### کاربری ماشین‌های الکتریکی دریایی



## بررسی کمیت‌های مغناطیسی

### آیا تا کنون پی برده‌اید

- میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان چگونه است؟
- کمیت‌های مغناطیسی چگونه تجزیه و تحلیل می‌شوند؟
- ضریب نفوذ مغناطیسی چگونه بررسی می‌شود؟
- مقاومت مغناطیسی یک مدار مغناطیسی بدون فاصله هوایی و با فاصله هوایی چگونه تحلیل می‌شود؟
- روابط حاکم بر مدار مغناطیسی ساده با کمک قانون نیروی محرکه مغناطیسی چگونه تحلیل می‌شود؟
- مدارهای مغناطیسی با فاصله هوایی و بدون فاصله هوایی چگونه است؟

### استاندارد عملکرد

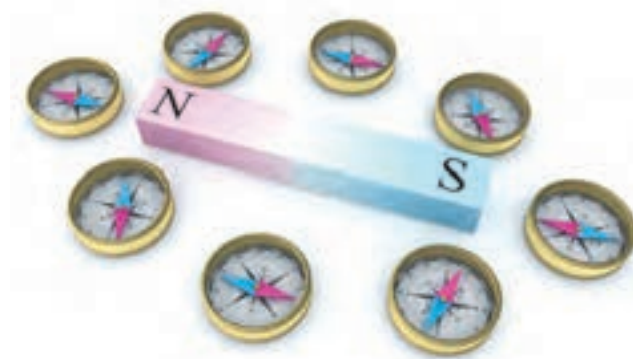
در پایان این واحد یادگیری، هنرجو باید بتواند انواع کمیت‌های مغناطیسی را بررسی کرده و مدارهای مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند.

فیلم آموزشی در مورد میدان‌های مغناطیسی را ببینید.

فیلم



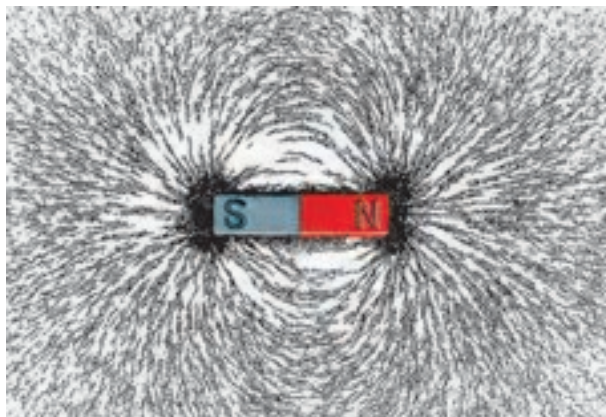
### میدان مغناطیسی



در فضای اطراف یک آهن‌ربا یا مغناطیس طبیعی خاصیتی وجود دارد که ذرات آهن را به خود جذب می‌کند؛ به این فضا، میدان مغناطیسی (Magnetic Field) می‌گویند. میدان مغناطیسی بر قطب‌نما تأثیر می‌گذارد و باعث انحراف آن می‌شود؛ پس با حرکت دادن قطب‌نما در اطراف آهن‌ربا می‌توان به وجود میدان مغناطیسی پی برد (شکل ۱).

شکل ۱

با قراردادن یک مقوا بر روی یک آهن‌ربا و پاشیدن براده‌های آهن به روی مقوا می‌توان خطوط نیروی مغناطیسی را مشاهده کرد (شکل ۲). هر خط نیروی میدان مغناطیسی را یک ماکسول (max well) [MAX] می‌گویند.



شکل ۲

خطوط نیروی میدان مغناطیسی دارای فشردگی بیشتری نسبت به سایر نقاط است این نقاط را قطب‌های مغناطیسی (Magnetic Poles) می‌نامند و با حروف N و S نشان می‌دهند.

## فوران مغناطیسی

در شکل ۲ خطوط نیروی میدان مغناطیسی اطراف یک آهن‌ربا نمایش داده شده است. به مجموع خطوط نیروی میدان مغناطیسی اطراف یک مغناطیس یا آهن‌ربا «فوران» یا «شار مغناطیسی» (Magnetic Flux) می‌گویند و آن را با  $\phi$  نشان می‌دهند. واحد فوران مغناطیسی ولت. ثانیه (V.Sec) است که به اصطلاح به آن وبر Wb می‌گویند.

تحقیق کنید یک وبر برابر چند ماکسول است.

تحقیق کنید



## چگالی فوران مغناطیسی

چگالی فوران مغناطیسی که با B نشان داده می‌شود، کمیتی است که تراکم یا فشردگی خطوط میدان مغناطیسی در سطح مقطع A را نشان می‌دهد. اگر سطح مورد نظر واحد انتخاب شود فوران عبوری از واحد سطح را «چگالی فوران مغناطیسی» تعریف می‌کنند. چگالی فوران مغناطیسی از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

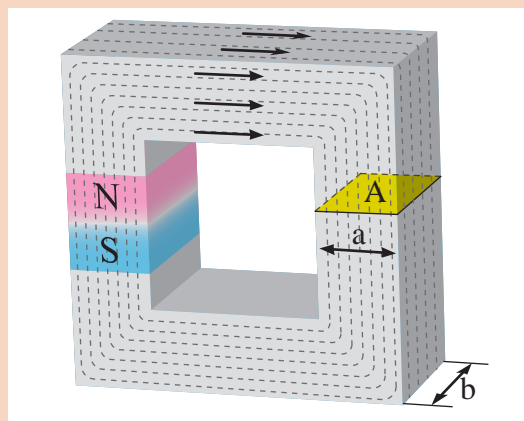
در این رابطه:

$\Phi$  فوران مغناطیسی بر حسب وبر  $Wb$ ؛

$A$  مساحت مقطعی که فوران مغناطیسی  $\Phi$  از آن می‌گذرد بر حسب مترمربع  $m^2$ ؛

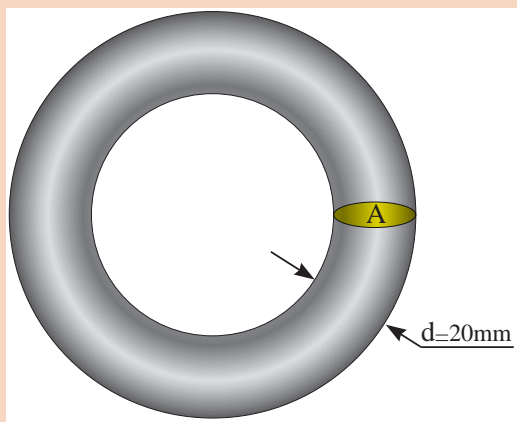
$B$  چگالی فوران مغناطیسی بر حسب وبر بر مترمربع  $\left[ \frac{wb}{m^2} \right]$  می‌باشد.

واحد چگالی فوران مغناطیسی  $B$  وبر بر مترمربع  $\left[ \frac{wb}{m^2} \right]$  است که اصطلاحاً به آن تسلا (Tesla)  $[T]$  می‌گویند.



آهن ربایی با فوران مغناطیسی  $0.2 \text{ mwb}$  مطابق شکل روبه‌رو در نظر است. چگالی فوران مغناطیسی در سطح مقطع  $A$  هسته چند گاوس می‌باشد؟ در صورتی که  $a = 10 \text{ mm}$  و  $b = 20 \text{ mm}$  باشد.

کار در کلاس



آهن ربایی با چگالی فوران مغناطیسی  $10000 \text{ G}$  مطابق شکل روبه‌رو در نظر است. فوران مغناطیسی در سطح مقطع  $A$  هسته چند میلی‌وبر است؟

کار در کلاس



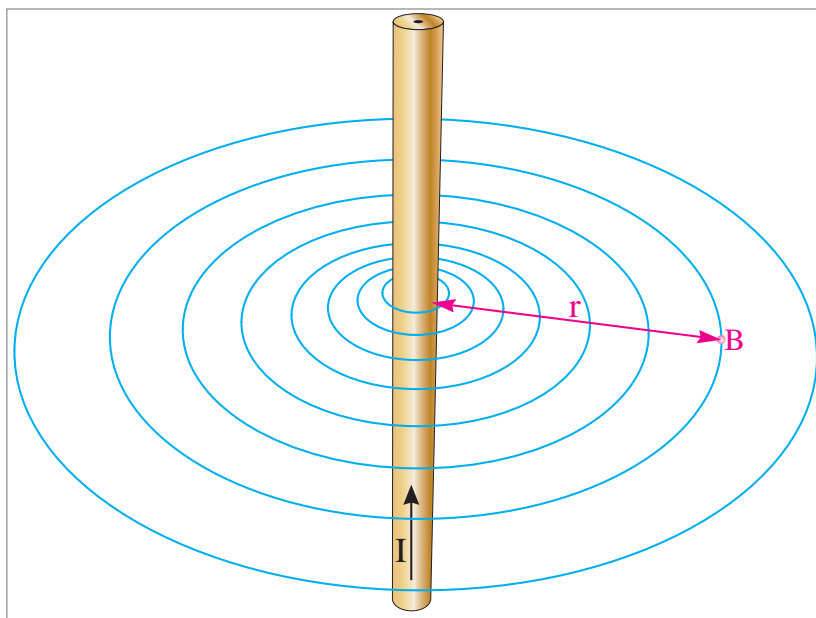
جهت میدان الکترومغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی چگونه است؟

تحقیق کنید



### مقدار چگالی فوران مغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی

آمپر (Ampere) و ماکسول دانشمندانی بودند که ثابت کردند چگالی فوران مغناطیسی  $B$  اطراف هادی حامل جریان، با شدت جریان الکتریکی هادی، نسبت مستقیم و با فاصله از هادی نسبت عکس دارد و رابطه زیر را برای تعیین مقدار چگالی فوران مغناطیسی  $B$  در نقطه‌ای به فاصله  $r$  از یک هادی حامل جریان به شدت  $I$  را براساس شکل ۳ ارائه کردند.



شکل ۳

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

در این رابطه :

$B$  چگالی فوران مغناطیسی بر حسب  $\left[ \frac{\text{wb}}{\text{m}^2} \right]$ ؛

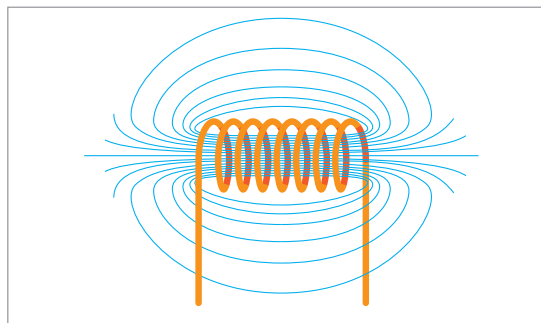
$K$  ضریبی است که به محیط اطراف هادی بستگی دارد و برای هوا مقدار آن  $2 \times 10^7$  بر حسب  $\left[ \frac{\text{wb}}{\text{A.m}} \right]$  است.  $I$  شدت جریان الکتریکی هادی بر حسب  $[A]$ ؛ و  $r$  فاصله از هادی بر حسب  $[m]$  می‌باشد.

چگالی فوران میدان مغناطیسی در نقطه‌ای به فاصله  $1 \text{ cm}$  از هادی حامل جریان  $10 \text{ A}$  چند گاوس است؟

کار در کلاس

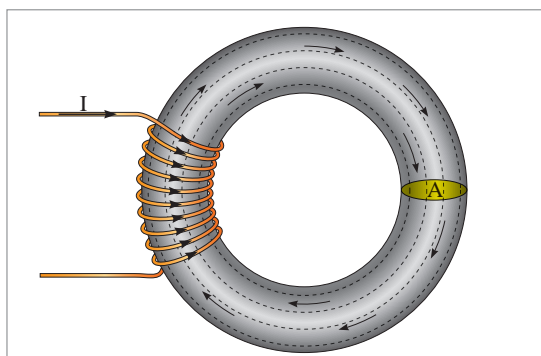


### میدان مغناطیسی سیم پیچ حامل جریان الکتریکی



شکل ۴

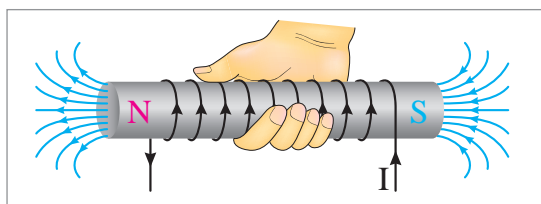
میدان مغناطیسی حامل جریان الکتریکی در سرتاسر دو طرف هادی توزیع می‌شود و متمرکز نیست و مقدار چگالی فوران مغناطیسی (B) در هر نقطه از اطراف هادی، متغیر و کم است. اگر هادی حامل جریان الکتریکی به صورت سیم پیچ (Winding) در آورده شود، ضمن اینکه میدان الکترومغناطیسی در درون سیم پیچ متمرکز می‌شود چگالی فوران مغناطیسی B نیز افزایش می‌یابد (شکل ۴).



شکل ۵

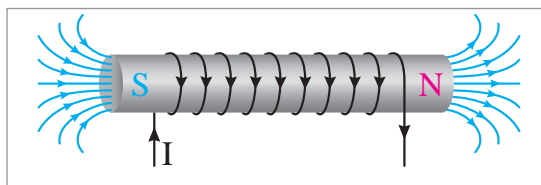
با قرار دادن سیم پیچ بر روی یک هسته از جنس مواد فرو مغناطیس مطابق شکل ۵ و عبور جریان الکتریکی از آن، میدان الکترومغناطیسی با چگالی B بیشتری نسبت به سیم پیچ با هسته هوا ایجاد می‌شود. هسته فرومغناطیس باعث می‌شود میدان الکترومغناطیسی درون سیم پیچ متمرکزتر شود؛ لذا چگالی فوران مغناطیسی افزایش می‌یابد.

### جهت میدان الکترومغناطیسی سیم پیچ حامل جریان الکتریکی



شکل ۶

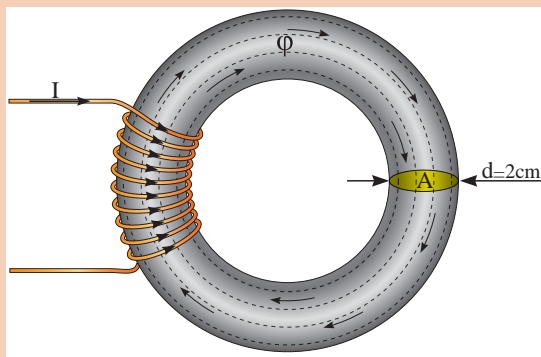
جهت میدان الکترومغناطیسی سیم پیچ حامل جریان الکتریکی از قاعده دست راست (Right Hand Rule) تعیین می‌شود. بدین منظور مطابق شکل ۶ اگر انگشتان دست راست در جهت جریان الکتریکی سیم پیچ قرار گیرد، انگشت شست جهت میدان الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد. با تعیین جهت میدان الکترومغناطیسی، محل قطب‌های N و S مشخص می‌شود. طبق قرارداد، محل خروج فوران مغناطیسی را با حرف N و محل ورود آن را با حرف S نشان می‌دهند.



شکل ۷

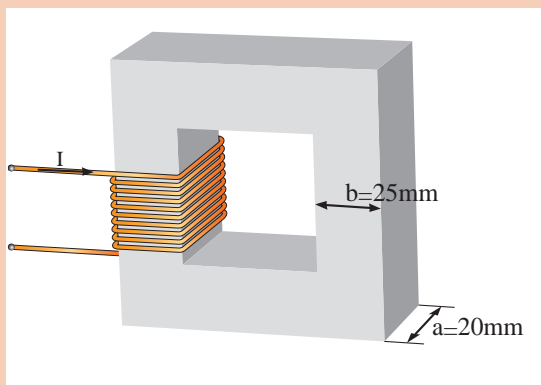
جهت میدان مغناطیسی سیم پیچ نیز تابع جهت جریان سیم پیچ است و با تغییر جهت جریان، جهت میدان مغناطیسی تغییر می‌کند (شکل ۷).





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

کار در کلاس



سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی شکل روبه‌رو، چگالی فوران مغناطیسی ۱ تسلا را در هسته ایجاد کرده است. فوران مغناطیسی هسته چند میلی‌وبر است؟

کار در کلاس



### نیروی محرکه مغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی

حاصل ضرب شدت جریان الکتریکی در تعداد حلقه‌های سیم پیچ را نیروی محرکه مغناطیسی گویند و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\theta = NI$$

$\theta$ : نیروی محرکه مغناطیسی بر حسب آمپر دور  $[A.T]$ ؛

$N$ : تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ بر حسب دور  $[T]$ ؛

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

بنابراین، مقدار نیروی محرکه مغناطیسی، تابع شدت جریان الکتریکی سیم‌پیچ و تعداد حلقه‌های آن است.

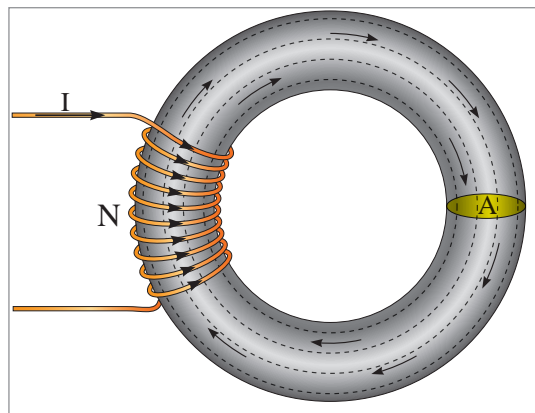
از یک سیم‌پیچ با ۵۰۰۰ دور، جریان الکتریکی ۱/۰ آمپر می‌گذرد. نیروی محرکه مغناطیسی آن چند آمپر است؟

کار در کلاس



## شدت میدان مغناطیسی

فوران میدان مغناطیسی یک سیم پیچ حامل جریان، از تمام نقاط سطح مقطع هسته می‌گذرد. خطوط نیروی میدان مغناطیسی به موازات یکدیگر طول مسیر هسته را طی می‌کنند و یکدیگر را قطع نمی‌کنند (شکل ۸).



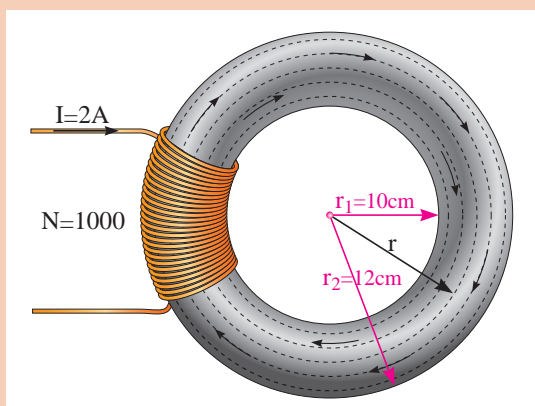
شکل ۸

نسبت نیروی محرکه مغناطیسی  $\theta$  به طول متوسط هسته  $L_C$  را «شدت میدان مغناطیسی» گویند و آن را با  $H$  نمایش می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$H = \frac{\theta}{L_C} = \frac{NI}{L_C}$$

در این رابطه:

$H$ : شدت میدان مغناطیسی بر حسب آمپر دور بر متر  $\left[ \frac{AT}{M} \right]$   
 $N$ : تعداد حلقه‌های سیم پیچ  
 $L$ : طول متوسط هسته بر حسب متر  $[M]$  می‌باشد.



شدت میدان مغناطیسی شکل روبه‌رو را به دست آورید؟

کار در کلاس





شدت میدان مغناطیسی در هسته به طول ۲۰ cm برابر  $\left[ \frac{AT}{m} \right]$  ۲۰۰۰ است. اگر سیم‌پیچ این هسته دارای ۴۰۰۰ دور باشد، شدت جریان الکتریکی آن چند آمپر است؟

### ضریب نفوذ مغناطیسی

نسبت چگالی فوران مغناطیسی  $B$  به شدت میدان مغناطیسی  $H$  را ضریب نفوذ مغناطیسی (Permeability) تعریف می‌کنند و آن را با  $\mu$  نمایش می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\mu = \frac{B}{H}$$

در این رابطه :

$\mu$  : ضریب نفوذ مغناطیسی بر حسب وبر بر آمپر دورمتر  $\left[ \frac{Wb}{A.T.m} \right]$   
 $B$  : چگالی فوران مغناطیسی بر حسب وبر بر مترمربع  $\left[ \frac{Wb}{m^2} \right]$   
 $H$  : شدت میدان مغناطیسی بر حسب آمپر دور بر متر  $\left[ \frac{A.T}{m} \right]$  می‌باشد.



واحد ضریب نفوذ مغناطیسی  $\mu$  چگونه به دست می‌آید؟

### ضریب نفوذ مغناطیسی سیم‌پیچ بدون هسته در خلأ

نسبت چگالی فوران مغناطیسی  $B$  به شدت میدان مغناطیسی  $H$  را « $B$  ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ» گویند و آن را با « $\mu$ » نشان می‌دهند و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\mu_0 = \frac{B_0}{H_0}$$

در این رابطه :

$B_0$  : چگالی فوران مغناطیسی در خلأ؛

$H_0$  : شدت میدان مغناطیسی در خلأ؛

$\mu_0$  : ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ می‌باشد.

ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ همواره مقداری ثابت دارد و برابر است با :

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \left[ \frac{wb}{A.T.M} \right]$$



در مورد ضریب نفوذ مغناطیسی در خلأ تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.



سیم پیچی بدون هسته در خلأ دارای ۱۰۰۰ حلقه و طول متوسط ۱۰ سانتی متر در شکل روبه رو نشان داده شده است. چگالی فوران مغناطیسی درون این سیم پیچ در خلأ ۰/۶ و بر بر متر مربع اندازه گیری شده است. جریان الکتریکی سیم پیچ چند آمپر است؟

### ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی

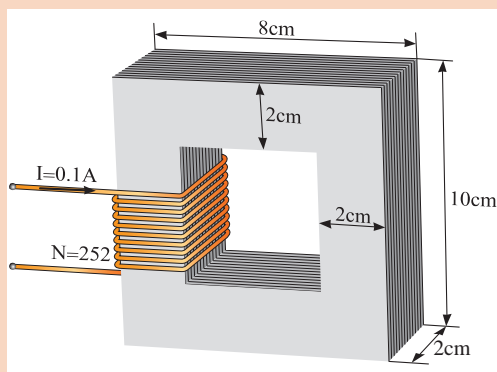
ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \left[ \frac{\text{wb}}{\text{A.T.M}} \right]$  می باشد و مقدار آن ثابت است؛ لذا به عنوان شاخص انتخاب شده است و نفوذپذیری مغناطیسی مواد با نفوذپذیری مغناطیسی خلأ مقایسه و نسبت به آن سنجیده می شود.

نسبت ضریب نفوذ مغناطیسی  $\mu$  به ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ  $\mu_0$  را «ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی» (Relative Permeability) گویند و آن را با  $\mu_r$  نمایش می دهند که از رابطه زیر به دست می آید.

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



مواد براساس ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی به چند گروه دسته بندی می شوند؟ بررسی کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.



ضریب نفوذ مغناطیسی  $\mu$  هسته شکل روبه رو را که از جنس فولاد ورق است به دست آورید.

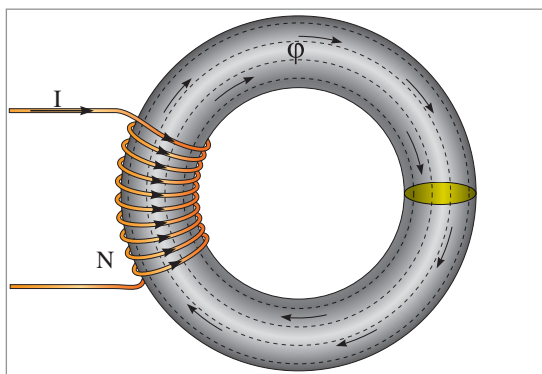


هسته فرومغناطیسی با ضریب نفوذ مغناطیسی  $\frac{\text{Wb}}{\text{AT.m}} / 5^\circ$  و طول ۲۰ Cm در نظر است. اگر روی این هسته، سیم پیچ ۲۰۰۰ دوری با شدت جریان الکتریکی ۲۰ mA قرار داده باشد، چگالی شار هسته چند تسلا خواهد شد؟



خصوصیات میدان ناشی از ولتاژ AC و DC را بررسی کنید.

### مدارهای مغناطیسی



شکل ۹

در شکل ۹، شدت جریان الکتریکی  $I$  به سیم‌پیچی در هسته فرومغناطیس فوران مغناطیسی  $\Phi$  را جاری می‌کند.

این پدیده از بعضی جهات مشابه جریان الکتریکی است که یک باتری در هادی جاری می‌کند.

همان‌طور که اتصال هادی به باتری، مسیر بسته‌ای برای جاری شدن جریان فراهم می‌کند و آن را «مدار الکتریکی» می‌نامند، مسیر بسته‌ای که فوران مغناطیسی در آن برقرار می‌شود نیز «مدار مغناطیسی» نامیده می‌شود.

قانون اهم بین کمیت‌های ولتاژ، جریان و مقاومت در یک مدار الکتریکی، رابطه زیر را ارائه کرده است:

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

باتوجه به شباهت‌های میان کمیت‌های الکتریکی و مغناطیسی می‌توان قانون اهم را برای یک مدار مغناطیسی به صورت رابطه زیر نوشت:

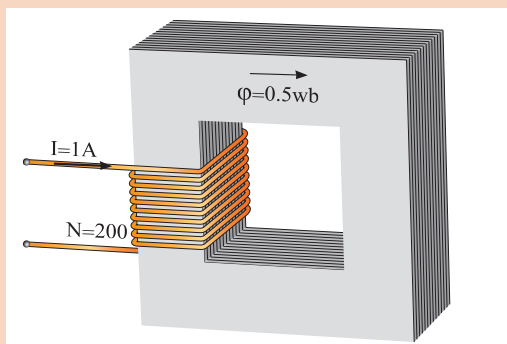
$$R = \frac{\theta}{\Phi}$$

در این رابطه:

$\theta$  نیروی محرکه مغناطیس سیم‌پیچ بر حسب  $\{A \cdot T\}$   
 $\Phi$  فوران مغناطیسی هسته بر حسب  $\{wb\}$

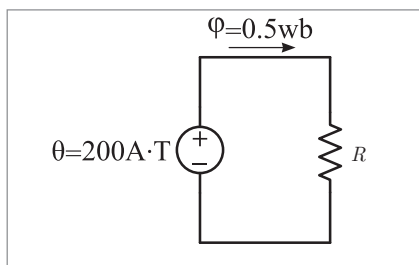
و  $R$  مقاومت مغناطیسی هسته بر حسب  $\left[ \frac{A \cdot T}{wb} \right]$  می‌باشد.

مثال



فوران مغناطیسی در هسته شکل روبه‌رو برابر  $0.5 \text{ wb}$  است. مقاومت مغناطیسی هسته چقدر می‌باشد؟

$$\theta = N \times I = 200 \times 1 = 200 \text{ A} \cdot T$$



مدار الکتریکی معادل با درج مقادیر مغناطیسی بر روی آن به صورت شکل روبه‌رو است. مقاومت مغناطیسی از رابطه زیر برابر است با:

$$R = \frac{\theta}{\Phi} = \frac{200}{0.5} = 400 \frac{\text{A}\cdot\text{T}}{\text{wb}}$$

مقاومت مغناطیسی هسته: مقاومت مغناطیسی هسته از رابطه زیر به دست می‌آید:

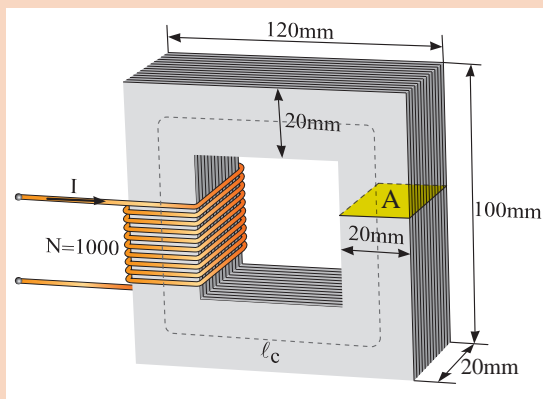
$$R = \frac{\ell_c}{\mu_0 \mu_r}$$

در این رابطه:

$\ell_c$ : طول متوسط هسته بر حسب [M]؛

$\mu_0$ : ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ بر حسب  $\left[ \frac{\text{Wb}}{\text{A}\cdot\text{T}\cdot\text{m}} \right]$ ؛  
 $\mu_r$ : سطح مقطع هسته بر حسب  $[\text{m}^2]$ ؛

R: مقاومت مغناطیسی هسته بر حسب  $\left[ \frac{\text{A}\cdot\text{T}}{\text{wb}} \right]$  می‌باشد.

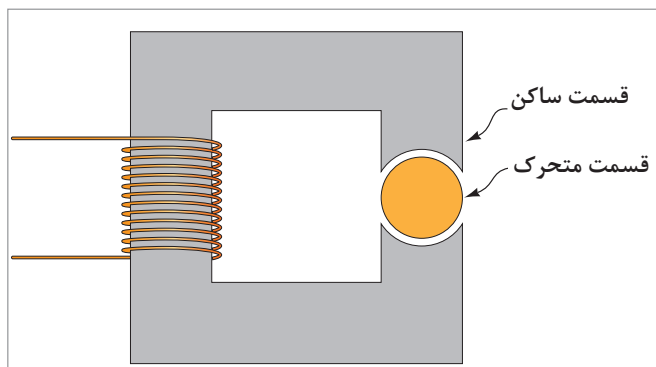


اگر فوران مغناطیسی در مدار مغناطیسی شکل روبه‌رو برابر با  $4 \text{ mwb}$  باشد، جریان سیم‌پیچ چند آمپرتر است؟ در صورتی که  $\pi=3$  و  $\mu_r=6000$  باشد.

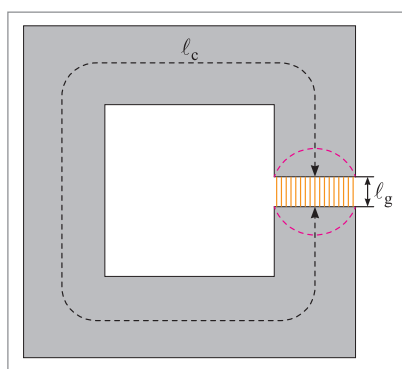
کار در کلاس



مدار مغناطیسی با شکاف هوایی: مدارهای مغناطیسی، مقدمه تحلیل ماشین‌های الکتریکی اعم از ترانسفورمر و وسایل تبدیل انرژی از قبیل ژنراتورها و موتورهای الکتریکی می‌باشند.



شکل ۱۰

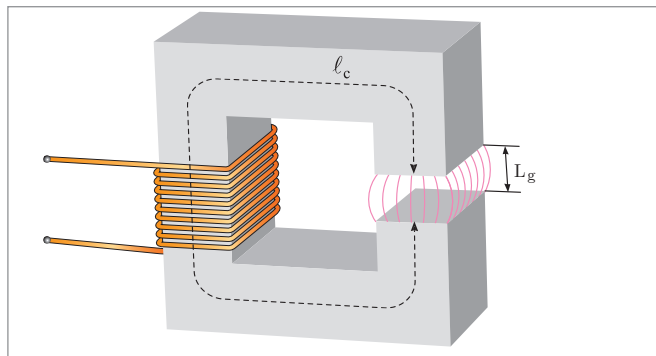


شکل ۱۱

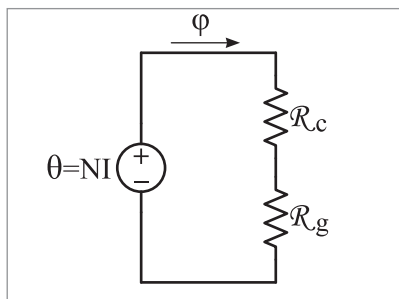
ترانسفورماتورها ساختمانی شبیه هسته فرومغناطیسی شکل ۱۰ دارند. وسایل تبدیل انرژی مانند ژنراتورها و موتورهای الکتریکی که دارای اجزای متحرک می‌باشند، بین قسمت متحرک و ساکن در هسته فرومغناطیس «شکاف هوایی» ایجاد می‌کنند. اگر قسمت متحرک به دو نیمه متحرک تقسیم شود و هر یک از این نیمه‌ها به سمت ساکن سوق داده شود، شکل ۱۱ به دست می‌آید.

این شکل، یک مدار مغناطیسی با شکاف هوایی را نشان می‌دهد که فوران مغناطیسی  $\Phi$  مسیر هسته و شکاف هوایی را طی می‌کند. اگر در مدار مغناطیسی طول شکاف هوایی  $L_g$  از ابعاد سطح مقطع هسته مغناطیسی بسیار کوچک‌تر باشد، می‌توان با روش مدار الکتریکی، معادل آن را تحلیل کرد. هرگاه که طول شکاف هوایی  $L_g$  از ابعاد سطح مقطع هسته مغناطیسی مطابق شکل ۱۱ به بیرون نشت کند و سطح مقطع مؤثر شکاف هوایی بزرگ‌تر از سطح مقطع هسته مغناطیسی دو طرف آن شود، در این صورت نمی‌توان با روش مدار الکتریکی معادل آن را تحلیل کرد.

اکنون با فرض اینکه طول شکاف هوایی  $L_g$  در شکل ۱۱ به حد کافی کوچک است و چگالی فوران مغناطیسی  $B$  هسته نیز یکنواخت می‌باشد، می‌توان مدار الکتریکی معادل شکل ۱۲ را برای تحلیل آن در نظر گرفت. از



شکل ۱۲



شکل ۱۳

آنجایی که فوران مغناطیسی، مسیر هسته و شکاف هوایی را طی می‌کند، لذا مقاومت مغناطیسی آنها در مدار الکتریکی معادل با هم سری می‌شوند.

در شکل ۱۳، مقاومت مغناطیسی هسته  $R_C$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_C = \frac{L_C}{\mu_0 \mu_r A}$$

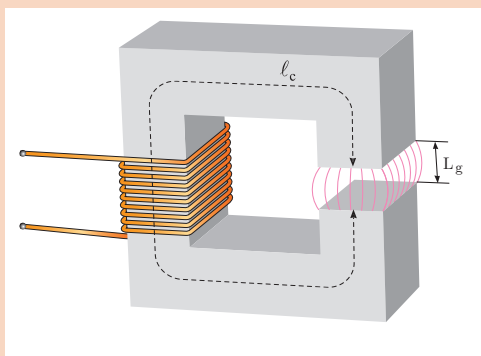
مقاومت مغناطیسی شکاف هوایی  $R_g$  نیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_g = \frac{L_g}{\mu_0 \mu_r A}$$

در این رابطه:  $L_g$  طول شکاف هوایی بر حسب [m] ؛

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \left[ \frac{\text{wb}}{\text{A.T.m}} \right]$  ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ بر حسب ؛  
 $\mu_r$  ضریب نفوذ نسبی هوا؛  
 $A$  سطح مقطع هسته بر حسب  $[\text{m}^2]$ ؛

و  $R_g$  مقاومت مغناطیسی بر حسب  $\left[ \frac{\text{A.T}}{\text{wb}} \right]$  می‌باشد.



در مدار مغناطیسی شکل روبه‌رو، شکاف هوایی به طول  $0.48 \text{ mm}$  ایجاد شده است.  
 با فرض اینکه طول متوسط هسته تغییر نکرده است،  
 برای داشتن فوران مغناطیسی  $4 \text{ mwb}$ ، جریان سیم‌پیچ  
 چند آمپر است؟

کار در کلاس



تحقیق کنید



چرا با ایجاد شکاف هوایی، جریان سیم‌پیچ افزایش می‌یابد؟

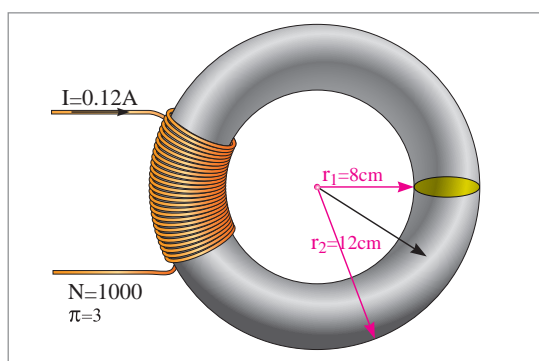


## ارزشیابی

۱ چگالی فوران مغناطیسی در فاصله ۲ cm از یک هادی حامل جریان ۳ T است. جریان الکتریکی هادی چند آمپر است؟

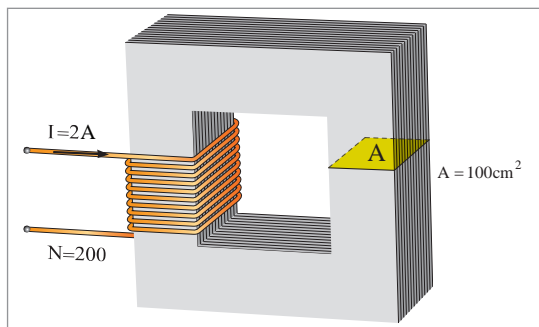
۲ نیروی محرکه مغناطیسی یک سیم‌پیچ ۱۰۰۰ دوری، {A.turn} ۲۰۰ است. شدت جریان الکتریکی سیم‌پیچ چند آمپر است؟

۳ هسته فرومغناطیسی با ضریب نفوذ مغناطیسی  $\frac{5}{\text{A.T.M}} \text{wb}$  و طول ۳۰ سانتی‌متر در نظر است. اگر روی این هسته سیم‌پیچ ۱۰۰۰ دوری با شدت جریان الکتریکی ۲۰ mA قرار داده شده باشد، چگالی شار هسته چند تسلا خواهد شد؟



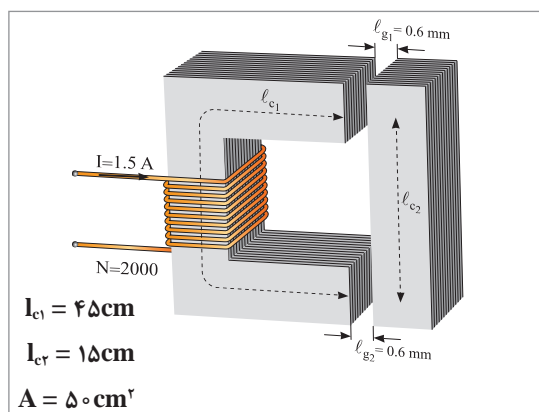
۴ ضریب نفوذ مغناطیسی  $\mu$  هسته شکل روبه‌رو که از جنس فولاد ورق است را به دست آورید.

۵ مقاومت و فوران مغناطیسی در هسته یک مدار مغناطیسی به ترتیب  $\frac{AT}{WB}$  ۵۰ و ۱۰ mwb می‌باشد. اگر جریان سیم‌پیچ روی هسته ۲۰ mA باشد تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ را به دست آورید.



۶ در مدار مغناطیسی شکل روبه‌رو فوران مغناطیسی هسته ۱۰ mwb است؛ مطلوب است:

الف) مقاومت مغناطیسی هسته  
ب) اگر یک فاصله هوایی ۱/۲ mm در هسته ایجاد شود و بخواهیم فوران هسته همان مقدار قبلی بماند، جریان سیم‌پیچ را چند آمپر باید افزایش دهیم ( $\pi=3$ )



۷ در مدار مغناطیسی شکل روبه‌رو مطلوب است محاسبه:

الف) مقاومت مغناطیسی در صورتی که فوران مغناطیسی هسته ۱۲ mwb باشد.  
ب) ضریب نفوذ نسبی هسته.

### جدول ارزشیابی بررسی کمیت‌های مغناطیسی

عنوان پودمان (فصل)	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
کاربری ماشین‌های الکتریکی دریایی	بررسی کمیت‌های مغناطیسی	تجزیه و تحلیل کمیت‌های مغناطیسی در مدارهای با فاصله هوایی و بدون فاصله هوایی	بالتر از حد انتظار	۱- میدان‌های مغناطیسی و کمیت‌های مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند. ۲- ضریب نفوذ مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند. ۳- مدارهای مغناطیسی با فاصله هوایی و بدون فاصله هوایی را تجزیه و تحلیل نماید. ■ هنرجو توانایی بررسی همه شاخص‌های بالا را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱- میدان‌های مغناطیسی و کمیت‌های مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند. ۲- ضریب نفوذ مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند. ۳- مدارهای مغناطیسی با فاصله هوایی و بدون فاصله هوایی را تجزیه و تحلیل نماید. ■ هنرجو توانایی بررسی دو مورد از شاخص‌های بالا را داشته باشد.	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	۱- میدان‌های مغناطیسی و کمیت‌های مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند. ۲- ضریب نفوذ مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند. ۳- مدارهای مغناطیسی با فاصله هوایی و بدون فاصله هوایی را تجزیه و تحلیل نماید. ■ هنرجو توانایی بررسی یک مورد از شاخص‌های بالا را داشته باشد.	۱
نمره مستمر از ۵					
نمره شایستگی پودمان از ۳					
نمره پودمان از ۲۰					

## ارزشیابی شایستگی بررسی کمیت‌های مغناطیسی

### ۱- شرح کار:

- میدان‌های مغناطیسی و کمیت‌های مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند.
- ضریب نفوذ مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند.
- مدارهای مغناطیسی با فاصله‌ی هوایی و بدون فاصله‌ی هوایی را تجزیه و تحلیل نماید.

### ۲- استاندارد عملکرد:

بررسی و تجزیه و تحلیل کردن مدارهای مغناطیسی

### ۳- شاخص‌ها:

تشریح کامل از میدان‌های مغناطیسی و ماشین‌های الکتریکی

### ۴- شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:

شرایط: کلاس مناسب همراه پرده‌نگار باشد.

ابزار و تجهیزات:

### ۴- معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	میدان‌های مغناطیسی را بررسی و تحلیل کند.	۲	
۲	کمیت‌های مغناطیسی را بررسی و تحلیل کند.	۱	
۳	ضریب نفوذ مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند.	۱	
۴	مدارهای مغناطیسی با فاصله‌ی هوایی و بدون فاصله‌ی هوایی را تجزیه و تحلیل نماید.	۱	
شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشتی و توجهات زیست‌محیطی،			
۱- رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها؛			
۲- دقت و تمرکز در اجرای کار؛			
۳- شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر؛			
۴- اخلاق حرفه‌ای.			
میانگین نمرات			*

\* حداقل میانگین نمرات هنجار برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.



### آیا تا کنون پی برده‌اید

- ساختمان ماشین‌های القایی و اساس کار آنها چگونه است؟
- مفاهیم آسنکرون و سنکرون و اصول کار آنها چگونه است؟
- دیاگرام توازن قدرت در موتورهای آسنکرون چگونه رسم می‌شود؟
- روابط توان، تلفات و بازده چگونه بررسی می‌شود؟
- ساختمان ظاهری و داخلی ماشین سنکرون چگونه است؟
- ساختمان داخلی موتورهای القایی تک‌فاز چگونه است؟
- انواع موتورهای القایی تک‌فاز چگونه بررسی می‌شود؟

## استاندارد عملکرد

انتظار می‌رود در پایان این واحد یادگیری هنرجو انواع ماشین‌های سه فاز سنکرون و آسنکرون را شناسایی کرده و انواع موتورهای تک‌فاز را تحلیل نماید.

## ماشین‌های القایی سه فاز

با گسترش شبکه‌های جریان متناوب و استفاده از برق سه فاز به عنوان برق صنعتی، امروزه قسمت عمده‌ای از موتورهای الکتریکی از نوع جریان متناوب سه فاز هستند. اصولاً موتورهای جریان متناوب نسبت به موتورهای جریان مستقیم دارای ساختمان ساده‌تر، عمر مفید بیشتر و تعمیر و نگهداری راحت‌تری هستند که موجب برتری اقتصادی این موتورها بر موتورهای DC می‌شوند.

فیلم مربوط به عملکرد ماشین‌های سه فاز را مشاهده کنید.

فیلم



چگونگی تولید میدان مغناطیسی دوار در ماشین‌های جریان متناوب را بررسی کنید.

کار در کلاس



ماشین‌های القایی سه فاز از لحاظ کارکرد به دو دسته سنکرون و آسنکرون تقسیم می‌شوند. موتورهای آسنکرون سه فاز القایی، بخش اعظم انرژی مکانیکی کارخانه‌ها و کارگاه‌های تولیدی را تأمین می‌کنند. بالابرها، آسیاب‌ها، تسمه نقاله‌ها، فن‌ها و نظایر اینها از این دسته‌اند، الکتروموتورها از دو جزء اصلی ساکن (استاتور) و متحرک (روتور) تشکیل می‌شوند. این الکتروموتورها براساس تولید حوزه دوار مغناطیسی در سطح استاتور و القای جریان الکتریکی، در مفتول‌های روتور، توسط حوزه دوار ایجاد شده با برق سه فاز، کار می‌کنند. در این الکتروموتورها جریان مفتول‌ها از طریق القای الکترومغناطیسی تأمین می‌شود، به این علت به آنها موتورهای القایی گفته می‌شود. برای تأمین جریان لازم است گردش روتور کمی به تأخیر افتد، تا تغییر شار مغناطیسی در مفتول‌ها امکان‌پذیر شود. لذا سرعت روتور کمی از سرعت حوزه دوار عقب می‌افتد. به این علت به این الکتروموتورها، الکتروموتورهای آسنکرون (غیر هم زمان) گفته می‌شود.



شکل ۱- انواع موتورهای الکتریکی و کاربردهای آنها در صنعت

### ساختمان داخلی موتورهای آسنکرون

به طور کلی هر ماشین القایی (موتور یا مولد القایی) از دو بخش استاتور و رتور تشکیل شده است. قسمت متحرک یا رتور با یک فاصله هوایی کم توسط در پوش‌ها و یاتاقان‌ها در درون قسمت ثابت یا استاتور نصب می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲- ساختمان یک موتور آسنکرون



## استاتور

استاتور از ورقه‌های آهن سیلیس‌دار ساخته می‌شود (اصطلاحاً به این نوع ورق‌ها دیناموبلش گفته می‌شود) این ورقه‌ها وقتی روی هم قرار می‌گیرند، شیارهایی را پدید می‌آورند (شکل ۳).



شکل ۳- استاتور موتورهای سه فاز

چرا هسته استاتور ماشین‌های القایی را به صورت ورقه ورقه و با پسماند کم می‌سازند؟

تحقیق کنید



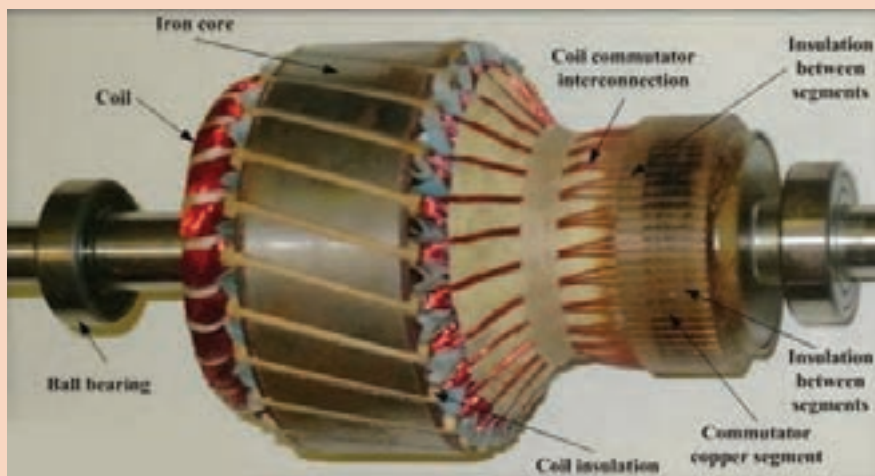
## رُتور

رُتور موتورهای القایی از میله‌ها یا کلاف‌هایی از جنس مس یا آلومینیوم تشکیل می‌شود. این میله‌ها یا کلاف‌ها در داخل شیارهای ایجاد شده با ورقه‌های دیناموبلش، قرار می‌گیرند. رتورهای موتورهای القایی آسنکرون به صورت یکپارچه (رُتور قفسی) یا رُتور سیم‌پیچی شده (رُتور رینگی) ساخته می‌شوند.

	<p>این نوع رُتور، از تعدادی میله‌های مسی یا آلومینیومی تشکیل شده است که آنها را در داخل شیارهای ورقه مغناطیسی رُتور تعبیه کرده‌اند. این میله‌ها از هر دو طرف توسط دو حلقه هم جنس با میله‌ها (آلومینیوم یا مس) به هم متصل شده‌اند.</p>	<p><b>رُتور قفسی</b></p>
	<p>بر روی این نوع رُتور، سه دسته سیم‌پیچ با اختلاف مکانی ۱۲۰ درجه مانند استاتور ماشین‌های القایی سه فاز با همان تعداد قطب، پیچیده می‌شود. این سیم‌پیچ‌ها نسبت به بدنه رُتور، عایق شده‌اند.</p>	<p><b>رُتور سیم‌پیچی شده</b></p>



اصطلاحات انگلیسی شکل زیر را ترجمه کنید.

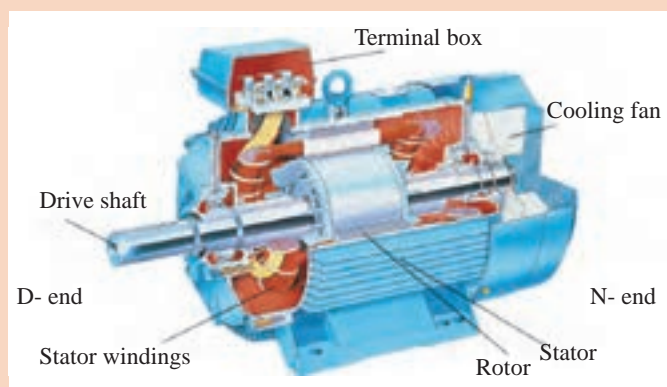


### مقایسه موتورهای رتور قفسی و رتور سیم پیچی

مزایا	معایب
موتور رتور قفسی در یک توان مشخص، مقاومت اهمی کمتری داشته و لذا تلفات مسی رتور در آن کمتر است.	گشتاور راه اندازی کمتر، نسبت به موتور رتور سیم پیچی
موتور رتور سیم پیچی، نیاز به حلقه های لغزان، جاروبک و سیم پیچی رتور دارد، در نتیجه گران تر از یک موتور رتور قفسی است.	ضریب قدرت کم در هنگام راه اندازی
موتور رتور قفسی به دلیل نداشتن جاروبک و حلقه های لغزان، هزینه تعمیر و نگهداری کمتری دارد.	



اصطلاحات انگلیسی شکل زیر را ترجمه کنید.







در مورد چگونگی ایجاد میدان دوار مغناطیسی در استاتور موتورهای سه فاز آسنکرون تحقیق کرده و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

### سرعت میدان دوار (سرعت سنکرون)

در صورتی که میدان دوار استاتور از طریق سه سیم پیچ که نسبت به یکدیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز دارند تولید شده باشد، سرعت میدان دوار برابر فرکانس شبکه خواهد بود. سرعت میدان مغناطیسی دوار تابع فرکانس شبکه و تعداد قطب‌های سیم پیچی است و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\frac{\times 60}{\text{}} \quad \text{از این رابطه:}$$

$N_s$ : سرعت سنکرون بر حسب دور بر دقیقه؛  
 $F$ : فرکانس شبکه برق بر حسب هرتز؛  
 $P$ : تعداد نصف قطب‌ها (تعداد زوج قطب) می‌باشد.



استاتور موتور سه فاز آسنکرون ۶ قطب دارد. سرعت سنکرون آن در فرکانس‌های ۵۰ و ۶۰ هرتز چند دور در دقیقه است؟



سرعت میدان دوار مولدهای نیروگاه آبی کارون سه در استان خوزستان ۱۸۷/۵ rpm است. این مولد نیروگاهی چند قطب دارد؟

### سرعت لغزش

در ماشین‌های القایی، سرعت حرکت رتور با سرعت میدان دوار اختلاف دارد و این اختلاف باعث القای جریان در مدار رتور می‌شود. مقدار این اختلاف سرعت حوزه دوار ( $N_s$ ) با سرعت رتور ( $N_r$ ) را سرعت لغزش می‌گویند و با  $\Delta n$  نشان می‌دهند.

$$\Delta n = N_s - N_r$$

### لغزش

نسبت سرعت لغزش به سرعت سنکرون را لغزش یا ضریب لنگی می‌گویند و آن را با  $S$  نشان داده و بر حسب درصد بیان می‌کنند.

$$\%S = \frac{\Delta n}{N_s} \times 100 = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100$$

مثال



رتور موتور القایی چهار قطب در فرکانس  $50\text{ Hz}$  با سرعت  $1450\text{ RPM}$  می چرخد مطلوب است سرعت لغزش و لغزش این موتور القایی:

$$n_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500\text{ RPM}$$

$$\Delta n = n_s - n_r = 1500 - 1450 = 50\text{ RPM}$$

$$S = \frac{\Delta n}{n_s} = \frac{50}{1500} = 0.033$$

$$0.033 \times 100 = 3\%$$

کار در کلاس



یک موتور القایی دو قطب در هر دقیقه  $2850$  دور می زند. لغزش موتور در فرکانس  $50$  هرتز شبکه، چند درصد است؟ در لغزش  $8$  درصد، سرعت رتور چند دور در دقیقه خواهد شد؟

کار در کلاس



یک موتور القایی شش قطب با فرکانس  $50$  هرتز، به شبکه متصل و در بار نامی، دارای لغزش  $5$  درصد است. سرعت حرکت رتور چقدر است؟

فیلم



فیلم مربوط به اساس کار موتورهای آسنکرون را مشاهده کنید.

## اساس کار موتورهای آسنکرون

تصور کنید یک صفحه آلومینیومی قادر است حول محور خود گردش کند. این صفحه در داخل دو قطب مغناطیسی مطابق شکل ۴ قرار داده شده و قطبها به گردش درآورده می شوند. مشاهده می شود صفحه آلومینیومی نیز به دنبال قطبها، ولی با سرعتی کمتر از سرعت قطبها به گردش می آید.

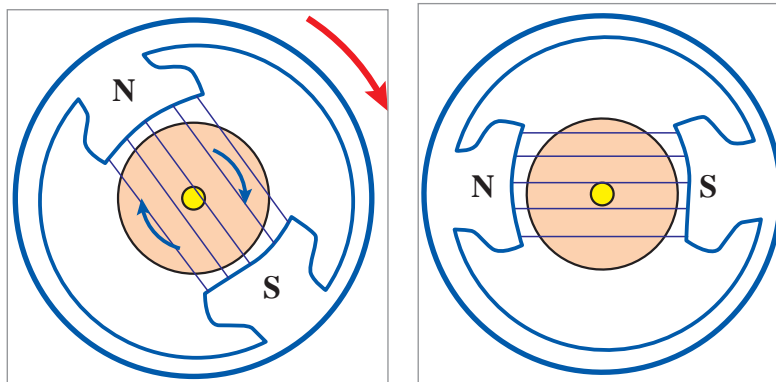
سرعت کم صفحه آلومینیومی باعث می شود تا صفحه آلومینیومی با تغییر شار مغناطیسی مواجه شده و در آن، جریان القا شود. جریان القا شده در صفحه آلومینیومی در میدان حوزه دوار گشتاور ایجاد نموده و صفحه، حول محور خود به گردش درمی آید. پس می توان نتیجه گرفت:

۱ جریان داخل صفحه آلومینیومی از طریق القای مغناطیسی تأمین می شود و به همین دلیل این موتورها را، موتورهای القایی می گویند.

۲ صفحه آلومینیومی لازم است اندکی از حوزه دوار عقب بیفتد تا با تغییر شار مواجه شده و در آن، جریان

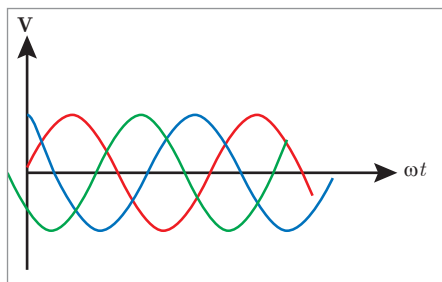
پودمان ۴: کاربری ماشین‌های الکتریکی دریایی

القا شود. بنابراین، سرعت صفحه آلومینیومی با سرعت حوزه دوار برابر نیست به این نوع موتورهای آسنکرون (غیرهم‌زمان) می‌گویند. (شکل ۴)



شکل ۴- صفحه آلومینیومی

در موتورهای صنعتی، جریان متناوب سه فاز به سه سیم پیچ سه فاز متصل می‌شود و یک حوزه دوار در سطح استاتور با سرعت سنکرون  $\frac{\times 60}{\text{}} \times 60$  به وجود می‌آید. این میدان مغناطیسی دوار مفتول‌های رتور را قطع کرده و در آنها جریان القا می‌کند و مفتول‌های جریان‌دار، در میدان دوار ایجاد گشتاور نموده و مجموعه رتور را حول محورش به گردش درمی‌آورند و رتور نیز با سرعت  $Nr$  به گردش درمی‌آید (شکل ۵).



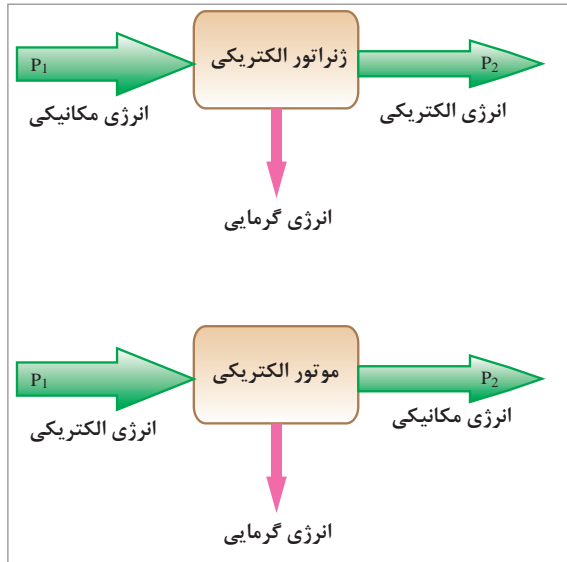
شکل ۵- حوزه دوار در سطح استاتور

تغییرات لغزش ( $S$ ) و سرعت لغزش ( $\Delta n$ ) به چه عاملی بستگی دارد؟

فعالیت



## رفتار ژنراتوری ماشین القایی



شکل ۶- نمایش ژنراتور و موتور الکتریکی از نقطه نظر انرژی

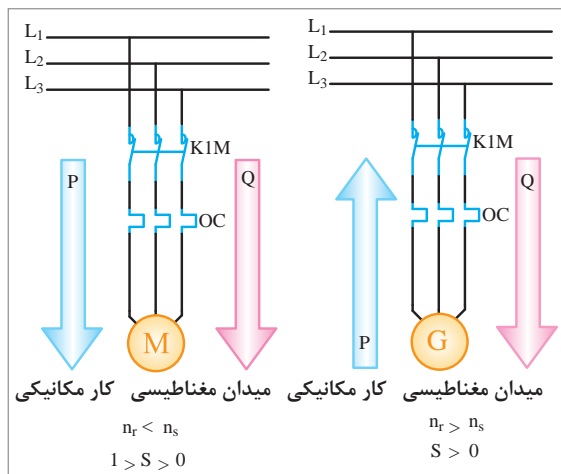
ماشین الکتریکی به عنوان موتور، انرژی الکتریکی را از طریق میدان مغناطیسی به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. همچنین به ماشینی که انرژی مکانیکی را با کمک میدان مغناطیسی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند ژنراتور می‌گویند. بنابراین عملکرد ژنراتور دقیقاً عکس حالت موتور الکتریکی تعریف می‌شود. تعاریف ژنراتور و موتور به صورت طرح واره در شکل ۶ نشان داده شده‌اند.

ماشین القایی می‌تواند هم به صورت ژنراتور و هم به عنوان موتور استفاده شود. ماشین القایی در حالت موتوری از شبکه برق، توان اکتیو (P) و توان راکتیو (Q) را جذب می‌کند که توان اکتیو (P) را جهت غلبه بر بار مکانیکی به مصرف خروجی می‌رساند و البته بخشی از آن نیز تلف می‌شود. توان راکتیو را موتور القایی برای ایجاد میدان دوار مغناطیسی نیاز دارد.

تحقیق کنید



در مورد توان اکتیو و راکتیو تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.



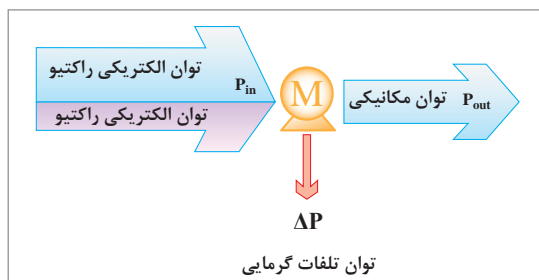
شکل ۷- موتور و ژنراتور القایی متصل به شبکه برق

شکل ۷ این واقعیت را نمایش می‌دهد. البته سمت انتقال توان اکتیو و راکتیو (P و Q) در موتورها از شبکه برق به طرف موتور می‌باشد. اما در حالتی که ماشین القایی به عنوان ژنراتور استفاده شود، قدرت مکانیکی (ورودی) به محور ماشین القایی مطابق شکل ۷ به صورت توان اکتیو (P) به شبکه برق تحویل می‌شود، البته به شرطی که توان راکتیو (Q) مورد نیاز ماشین تأمین شود.



در مورد چگونگی اتصال ژنراتور القایی به شبکه برق تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

### تلفات و راندمان



شکل ۸- دیگرام توان در موتورهای القایی سه فاز

از آنجا که ماشین‌های القایی بیشتر به عنوان موتور استفاده می‌شوند، در این بخش تلفات و راندمان موتور القایی مورد بحث قرار می‌گیرد. موتور القایی توان الکتریکی را از شبکه دریافت می‌نماید و توان مکانیکی را به خروجی تحویل می‌دهد. نمودار دریافت توان الکتریکی و تحویل توان مکانیکی در شکل ۸ نشان داده شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بخشی از توان دریافتی از شبکه برق، مطابق (شکل ۸)، توان راکتیو است. این بخش از توان برای تولید میدان دوار، وارد ماشین می‌شود و چون مجدداً به شبکه برمی‌گردد، در محاسبات تلفات و راندمان ماشین به حساب نمی‌آید. بخش دیگری از توان ورودی به موتور القایی، توان اکتیو است. این توان در موتورهای سه فاز از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$P_{in} = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi$$

در این رابطه :

$U_L$ : ولتاژ خط بر حسب ولت؛

$I_L$ : جریان خط بر حسب آمپر؛

و  $\cos \varphi$  ضریب قدرت موتور می‌باشد.

حداکثر توانی را که موتور می‌تواند به بار تحویل دهد، توان نامی موتور می‌نامند و آن را بر روی پلاک موتور درج می‌کنند، همچنین در برگه مشخصات فنی موتور نیز ارائه می‌گردد. راندمان: راندمان موتور القایی را مانند دیگر ماشین‌ها براساس نسبت توان خروجی به توان ورودی مطابق رابطه زیر می‌توان محاسبه نمود.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

بازده (راندمان) را می‌توان به صورت درصد یا نسبت به واحد هم می‌توان محاسبه کرد.

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

$$\eta = \frac{P_{out}}{\sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi}$$

فیلم مربوط به عملکرد ماشین‌های سنکرون را مشاهده کنید.

فیلم



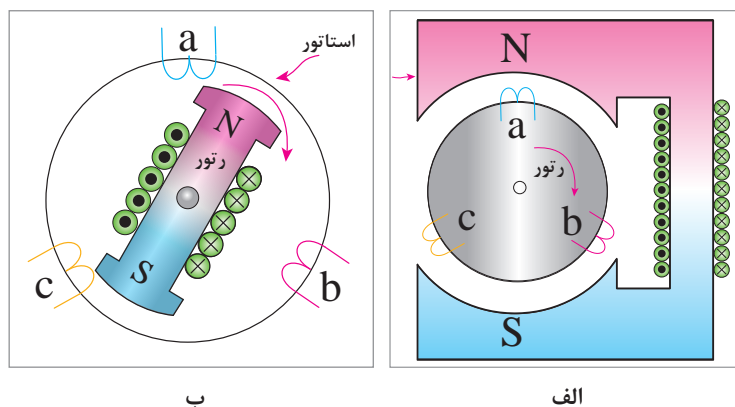
## ماشین‌های سنکرون

ماشین سنکرون ماشینی است که سرعت رتور با سرعت میدان دوار آن برابر است. ماشین سنکرون به عنوان ژنراتور سنکرون به منظور تولید انرژی الکتریکی و یا موتور سنکرون قابل استفاده می‌باشد.

ژنراتور سنکرون سه فاز، به دو روش انرژی الکتریکی تولید می‌کند:

الف) به کمک میدان مغناطیسی ساکن: در این حالت، میدان مغناطیسی ساکن به وسیله سیم پیچ تحریک درون استاتور به وجود می‌آید و سه سیم پیچ مشابه با اختلاف فاز مکانی  $120^\circ$  روی رتور قرار داده می‌شود و در داخل میدان مغناطیسی ساکن استاتور چرخانده می‌شود. مطابق شکل (۹-الف).

ب) به کمک میدان مغناطیسی دوار: در این حالت، میدان مغناطیسی به وسیله سیم پیچ تحریک بر روی رتور به وجود می‌آید و با چرخش رتور میدان مغناطیسی دوار فراهم می‌شود و سیم پیچ مشابه، درون استاتور با اختلاف فاز مکانی  $120^\circ$  قرار داده می‌شود (مطابق شکل ۹-ب).



شکل ۹- روش‌های تولید انرژی الکتریکی در ژنراتورهای سنکرون سه فاز

در ماشین‌های سنکرون، سیم پیچ تولیدکننده میدان مغناطیسی را «سیم پیچ تحریک» و جریان عبوری از آن را «جریان تحریک» می‌گویند.

به چه دلایلی القاگر بودن رتور (چرخش میدان مغناطیسی توسط رتور) و دریافت انرژی الکتریکی از سیم پیچ‌های استاتور، مزیت بیشتری نسبت به حالت عکس آن دارد.

کار در کلاس

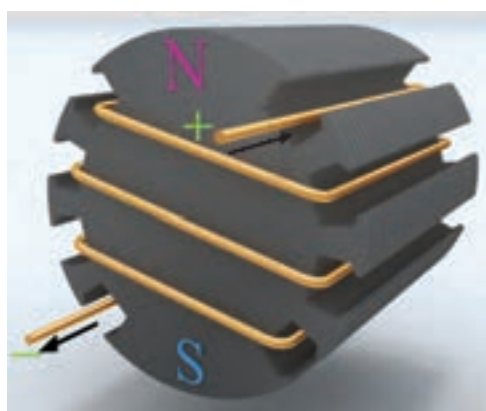


## ساختمان ژنراتورهای سنکرون

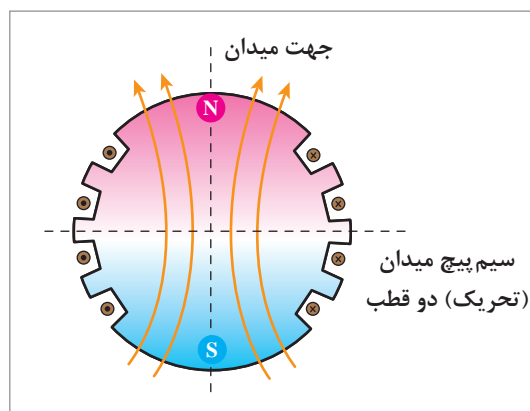
ژنراتورهای سنکرون از دو قسمت اصلی استاتور و رتور تشکیل شده‌اند.

استاتور: استاتور ژنراتور سنکرون شبیه استاتور ماشین‌های القایی است و به صورت سه فاز، سیم پیچی می‌شود که سیم پیچ‌های هر فاز نسبت به یکدیگر  $120^\circ$  الکتریکی اختلاف فاز مکانی دارند. به طور کلی اگر رتور این ژنراتور دو قطبی یک دور کامل بزند، بر روی سیم پیچ هر فاز، نیروی محرکه‌ای به شکل سینوسی القا خواهد شد.

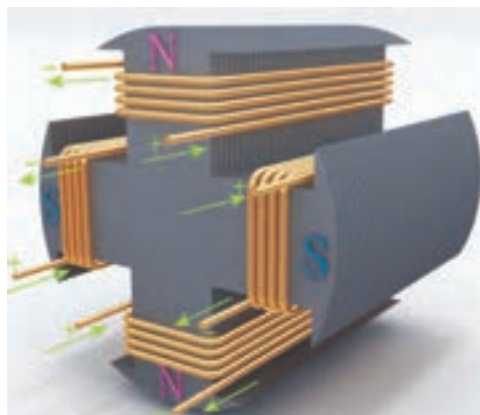
**رتور:** در رتور ژنراتور سنکرون با جاری شدن جریان در سیم پیچ تحریک، میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود تا با چرخش رتور، میدان دوار تولید شود. (شکل ۱۰)، طرح واره ایجاد میدان مغناطیسی دوقطبی و چهار قطبی را با سیم‌پیچ‌های رتور ماشین سنکرون نشان می‌دهد. در رتور ماشین سنکرون برای داشتن هسته مغناطیسی، ورقه‌های آهنی سیلیس‌دار را روی هم قرار می‌دهند تا هسته مناسبی برای عبور میدان مغناطیسی ایجاد شود. سپس با قرار دادن سیم‌پیچ‌ها در این هسته و اتصال آنها به منبع جریان مستقیم، رتور ماشین، الکترومغناطیس می‌شود. اتصال سیم‌پیچ‌های میدان (تحریک) به منبع جریان مستقیم از طریق دو عدد رینگ و جاروبک صورت می‌گیرد.



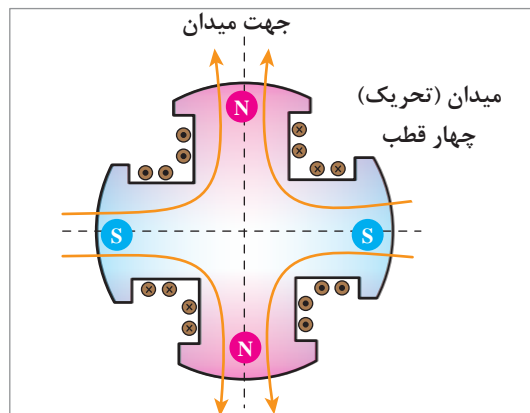
ب



الف



د



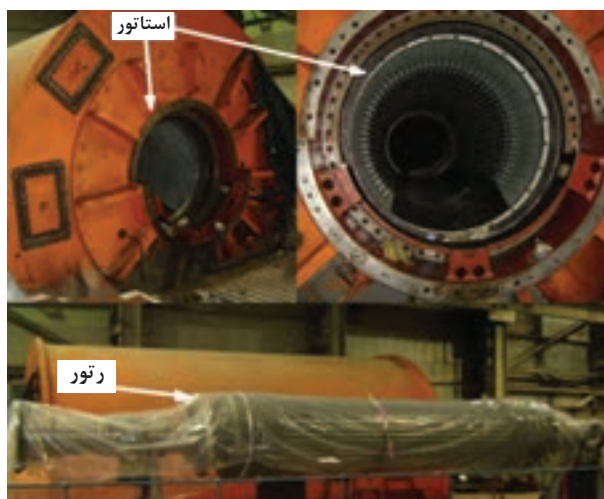
ج

شکل ۱۰- طرح واره رتور دو قطبی و چهار قطبی ماشین سنکرون

### انواع رتور ماشین‌های سنکرون

**الف) رتور با قطب صاف یا استوانه‌ای:** این رتورها مانند (شکل ۱۰- الف و ب) به صورت استوانه‌هایی ساخته می‌شوند و به آن، رتور با قطب صاف گفته می‌شود. غالباً رتورهای دو قطب به صورت قطب صاف ساخته می‌شوند. رتورهای با قطب صاف در ژنراتورهای با سرعت‌های زیاد استفاده می‌شوند. طول این رتورها نسبت به قطر آن بیشتر و متناسب با سرعت زیاد ساخته می‌شود. سیم‌پیچ‌های تحریک در سطح خارجی استوانه و

به موازات محور ماشین در داخل شیارهای رتور تعبیه شده و بر روی استوانه رتور قرار می‌گیرند. شکل ۱۱ تصویر استاتور و رتور یک توربو ژنراتور را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- رتور و استاتور یک توربو ژنراتور



محل سیم‌پیچ تحریک بر روی هر یک از قطب‌ها کاملاً مشخص است

شکل ۱۲- رتور قطب برجسته

ب) رتور با قطب برجسته: رتور ژنراتورهای با تعداد قطب زیاد و سرعت کم معمولاً از نوع قطب برجسته هستند. طول این رتورها به نسبت قطر آن کمتر است و متناسب با سرعت‌های کم ساخته می‌شود. ساختمان رتور قطب برجسته و چگونگی قرارگیری سیم‌پیچ‌های تحریک بر روی آن در شکل ۱۲ نشان داده شده است. رتور ژنراتور نیروگاه‌های آبی و دیزل ژنراتورها این گونه ساخته می‌شوند.



شکل ۱۳- رتور نیروگاه آبی سد شهید عباسپور در حال قرارگیری در استاتور

در شکل ۱۳ رتور ژنراتور نیروگاه‌های آبی در حال قرارگیری در استاتور نشان داده شده است.



**فرکانس ژنراتور سنکرون:** فرکانس ولتاژ ژنراتور سنکرون به عوامل زیر بستگی دارد:

(الف) تعداد قطب‌های سیم‌پیچی؛

(ب) سرعت رتور.

در قسمت قبل، رابطه سرعت سنکرون ماشین‌های القایی بیان شد. در اینجا، رابطه برحسب فرکانس نوشته می‌شود:

$$n_s = \frac{60 \times f}{p}$$

$$f = \frac{n_s \times p}{120}$$

در این رابطه :

$n_s$  سرعت گردش رتور ژنراتور سنکرون بر حسب دور در دقیقه (RPM)؛

$P$  تعداد جفت قطب؛

$f$  فرکانس بر حسب (Hz) می‌باشد.

مثال



رتور یک ژنراتور دو قطبی با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه بچرخد، در نتیجه، فرکانس ولتاژ تولید شده ۵۰ هرتز خواهد شد، یعنی:

$$f = \frac{n_s \times p}{120}$$

$$f = \frac{3000 \times 2}{120} = 50 \text{ Hz}$$

رابطه، همان رابطه سرعت سنکرون در ماشین‌های القایی است که در اینجا بر حسب فرکانس بیان شده است.

کار در کلاس



می‌خواهیم فرکانس ولتاژ ژنراتوری ۵۰ هرتز باشد :

(الف) اگر رتور این ماشین چهار قطبی باشد، محور ژنراتور را با چه سرعتی بچرخانیم؟

(ب) اگر سرعت رتور (محور ژنراتور)، ۷۵۰ RPM باشد، از ژنراتور چند قطبی باید استفاده کرد؟

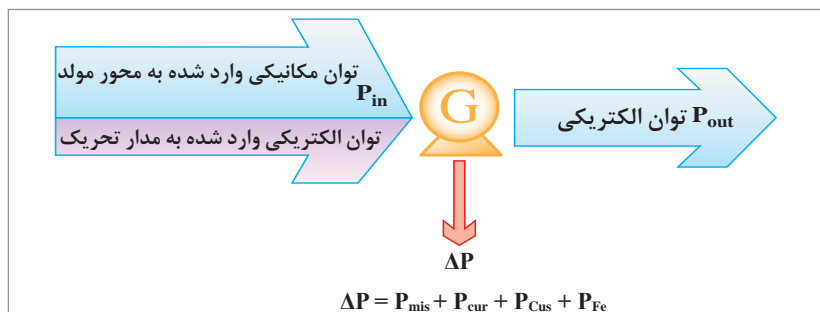
### تلفات و راندمان در ژنراتورهای سنکرون

به دلیل تفاوت ساختمان ژنراتورهای سنکرون نسبت به دیگر ماشین‌ها (ژنراتورها)، لازم است در محاسبه راندمان بیشتر دقت شود. چرا که توان ورودی ژنراتور سنکرون از دو بخش تأمین می‌شود:

بخش اول، توان الکتریکی (DC) مربوط به مدار تحریک ( $P_{dc}$ )؛

بخش دوم، توان مکانیکی ( $P_{mec}$ ) ورودی.

برای آشنایی بیشتر به دیاگرام شکل ۱۴ توجه شود.



شکل ۱۴- دیاگرام توازن توان ژنراتور سنکرون

اگر توان ورودی و خروجی از رابطه‌های زیر به دست آید:

$$P_{in} = P_{mec} + P_{dc}$$

$$P_{out} = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi$$

در این رابطه :

$U_L$ : ولتاژ خط بر حسب ولت؛

$I_L$ : جریان خط بر حسب آمپر

و  $\cos \varphi$  ضریب قدرت شبکه می‌باشد.

با توجه به دیاگرام توان (شکل ۱۴) داریم :

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

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \Delta P}$$

$\Delta P$  یا مجموع تلفات ژنراتور سنکرون، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta P = \Delta P_{mis} + \Delta P_{Cur} + \Delta P_{Cus} + \Delta P_{Fe}$$

در این رابطه :

$\Delta P_{mis}$ : تلفات مکانیکی رتور بر حسب وات؛

$\Delta P_{Cur}$ : تلفات مسی رتور بر حسب وات؛

$\Delta P_{Cus}$ : تلفات مسی استاتور بر حسب وات؛

و  $\Delta P_{Fe}$ : تلفات آهنی ماشین بر حسب وات می‌باشد.

که  $\Delta P_{Cur}$  و  $\Delta P_{Cus}$  از رابطه‌های زیر به دست می‌آید:

$$\Delta P_{cur} = R_f I_f^2$$

$$\Delta P_{cus} = 3 R_s I_{ph}^2$$

که در رابطه‌های صفحه قبل  
 $R_f$  مقاومت تحریک بر حسب اهم؛  
 $I_f$  جریان تحریک بر حسب آمپر؛  
 $R_s$  مقاومت هر فاز سیم پیچ استاتور؛  
 $I_{ph}$  جریان عبوری از هر فاز سیم پیچ استاتور می‌باشد.

یک ژنراتور سنکرون ۴۰۰ ولت با اتصال ستاره، باری با جریان ۸۰ آمپر و ضریب قدرت ۰/۷ را تأمین می‌کند. اگر از تلفات مسی رتور صرف نظر کنیم و تلفات هسته، ۴۰۰ وات و تلفات مکانیکی، ۶۰۰ وات و مقاومت هر فاز استاتور ۰/۰۴ اهم باشد، راندمان ژنراتور را محاسبه کنید.

کار در کلاس



مزایای استفاده از چند ژنراتور سنکرون به جای یک ژنراتور بسیار بزرگ را بنویسید.

تحقیق کنید



### ساختمان موتور سنکرون

ساختمان موتورهای سنکرون سه‌فاز مشابه ژنراتورهای سنکرون است البته تفاوت‌های جزئی بین آنها وجود دارد؛ به عنوان نمونه رتور موتورهای سنکرون غالباً از نوع قطب برجسته است. در صورتی که در ژنراتورها چنین نیست همچنین در ساختمان رتور موتورهای سنکرون از میله‌های قفس سنجابی استفاده می‌شود.

### اصول کار موتور سنکرون

اگر سیم پیچ‌های سه فاز استاتور موتور سنکرون را به شبکه سه فاز متصل کنیم، مطابق آنچه که در موتورهای القایی گفته شد، میدان دَوّاری با سرعت  $n_s$  طبق رابطه زیر در داخل موتور ایجاد می‌گردد.

$$n_s = \frac{60 \times f}{p}$$

به چه دلیل موتورهای سنکرون هنگام راه‌اندازی نیاز به یک راه‌انداز کمکی دارند؟

کار در کلاس



در مورد روش‌های راه‌اندازی موتور سنکرون تحقیق کنید و نتیجه را به صورت پرده‌نگار نمایش دهید.

تحقیق کنید



## کاربرد موتور سنکرون

با توجه به جدول زیر و مقایسه ویژگی‌های دو موتور القایی (آسنکرون) و سنکرون، از موتور سنکرون می‌توان جهت اصلاح ضریب قدرت شبکه استفاده نمود. به همین علت به موتور سنکرون، خازن سنکرون هم می‌گویند. از دیگر کاربردهای این موتور استفاده از آن در بارهایی می‌باشد که نیاز به سرعت ثابت دارند. موتورهای سنکرون به دلیل پیچیدگی ساختمان در مقایسه با موتورهای القایی بسیار گران‌ترند، ولی استفاده از موتورهای سنکرون در توان‌های خیلی زیاد به صرفه‌تر است.

موتور سنکرون	موتور القایی (آسنکرون)
گشتاور راه اندازی ندارد (به یک سیستم راه اندازی نیاز دارد).	دارای گشتاور راه اندازی می‌باشد.
در تمام بارهای ممکن با سرعت سنکرون می‌چرخد.	سرعت آن با افزایش بارافت می‌کند و هرگز در سرعت سنکرون نمی‌چرخد.
به تحریک DC نیاز دارد.	به تحریک DC نیاز ندارد.
می‌تواند در ضریب قدرت‌های متفاوت پس فاز، یا پیش فاز و یا واحد کار کند.	ضریب قدرت این موتور همواره پس فاز است.
هم برای گردش بارهای مکانیکی و هم به عنوان اصلاح گر ضریب قدرت می‌تواند در شبکه استفاده شود.	برای گردش بارهای مکانیکی به کار گرفته می‌شود.

## خلاقیت ایرانی، فاتح جنگ آب

حادثه عظیم دفاع مقدس پر از ماجراهای باشکوه و صحنه خلاقیت و ابتکار رزمندگان جوان ایرانی بود. یکی از این جنبه‌ها جنگ آب بود که در ابتدا نه ایران و نه عراق شناخت کاملی از آن نداشتند. به مرور و با تجربه عملیات مختلف، استفاده از موانع طبیعی از جمله دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، کانال‌های آب و باتلاق‌ها در دستور کار قرار گرفت. یکی از برتری‌های نظامی عراق استفاده از ادوات نظامی سنگین مانند تانک بود و باید با راهکاری این کمبود جبران می‌شد. به طور مثال با غرقاب ساختن منطقه وسیعی از زمین به منظور ایجاد مانع آبی گسترده و صعب‌العبور می‌توانست ماشین جنگی رژیم بعثی را از کار انداخت.

استفاده از پمپ‌های آب خاص می‌توانست یکی از ده‌ها راهکار جنگ آب باشد. در آن هنگام، بزرگ‌ترین



شهید داود جابری

پمپ‌های ساخت کشور از انواع سانتریفیوژ، توربینی و شناور بود که با شرایط متغیر و طبیعی مورد نیاز در صحنه‌های عملیات، منطبق نبود. پشتیبانی و مهندسی جنگ جهاد سازندگی پس از بررسی‌های فراوان و پس از عدم توانایی در ساخت کارخانه‌های پمپ‌سازی آن روز کشور، پمپ‌های خندق را طراحی کردند و آن را ساختند. شهید داوود جابری از چهره‌های شاخص در این طرح خلاقانه بود.

این نوع پمپ مخصوص حجم زیاد و ارتفاع کم بود. ظرفیت و بازده این پمپ در مقایسه با دستگاه پمپ برقی ساخت داخل، بسیار بالاتر بود به طوری که ظرفیت آن از ۱۲۵ لیتر در ثانیه به ۳۶۰ لیتر در ثانیه رسید و آزمایش‌ها نشان داد که بازده این پمپ ۸۶ درصد است. (در مقابل پمپ‌های قبلی که بازده آنها ۴۵ تا ۵۰ درصد بود).

موتورهای برقی ۳۰۰ تا ۴۵۰ کیلوولت آمپر برای این نوع پمپ استفاده شد و ظرفیتی باورنکردنی برای پمپاژ مقادیر عظیمی آب و راه‌اندازی رودخانه‌های بزرگ مصنوعی ایجاد شد. فناوری این پمپ، از نوع شعاعی و با پره‌های خاصی بود که آجر، شن و ماسه، گل‌ولای، تخته‌پاره و طناب‌های سرگردان در آب‌های منطقه عملیاتی را به راحتی پمپ می‌کرد.

هر پمپ می‌توانست دو لوله ۳۵ سانتی‌متری را با فشار تغذیه کند. قالب‌ها و نقشه‌های این پمپ، بعد از جنگ به کارخانه «پمپیران» در تبریز داده شد و این کارخانه، پمپ مزبور را تولید و روانه بازار ایران نمود. شکل ۱۵ و ۱۶ استفاده از این پمپ را در دفاع مقدس نشان می‌دهد.



شکل ۱۵ و ۱۶- استفاده از پمپ در دفاع مقدس

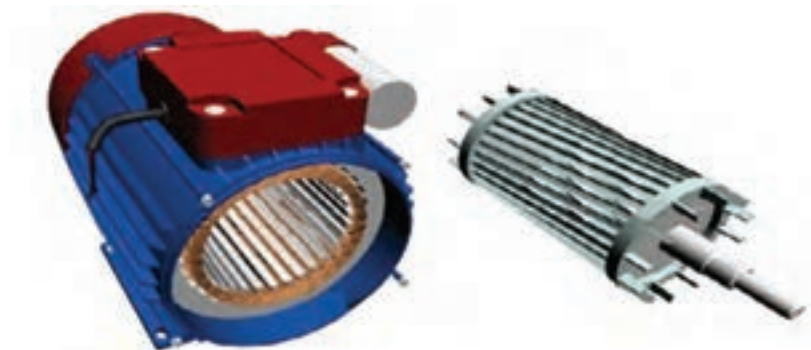
فیلم مربوط به موتورهای تک فاز را مشاهده کنید.

فیلم



### موتورهای تک فاز

اصول کار موتور تک فاز اغلب براساس اصول القای جریان در رتور می‌باشد. میدان دوار مورد نیاز برای راه‌اندازی و چرخش از روش‌های مختلفی ساخته می‌شوند. درشناورها نیز همانند صنایع مختلف، موتورهای تک فاز کاربردهای فراوانی دارند از جمله برای پمپ‌های آب شیرین برخی از پمپ‌های تخلیه، پمپ‌های تهویه هوا و موارد متعدد دیگر از این موتورها استفاده می‌شود (شکل ۱۷).



شکل ۱۷- رتور و استاتور موتور تک فاز



شکل ۱۸- رتور و استاتور موتور تک فاز

به طور کلی انواع موتورهای الکتریکی که در شبکه های برق تک فاز جریان متناوب استفاده می شوند، جزء ماشین های مخصوص به حساب می آیند.

از آنجا که موتورهای الکتریکی تک فاز بسیار متنوع هستند، لذا هر یک بنا بر ویژگی های خود در جایی کاربرد دارند. این موتورها معمولاً در قدرت های کم تا ۴ کیلو وات ساخته می شوند.

علاوه بر دسترسی ساده به برق تک فاز در هر مکان، سازندگان لوازم خانگی، دلیل اصلی استفاده از موتورهای الکتریکی تک فاز را قیمت ارزان و مشخصه گشتاور - دور خاص این موتورها می دانند (شکل ۱۸).

به طور کلی موتورهای تک فاز به سه دسته کلی تقسیم می شوند:

الف) موتور القایی تک فاز؛

ب) موتور یونیورسال؛

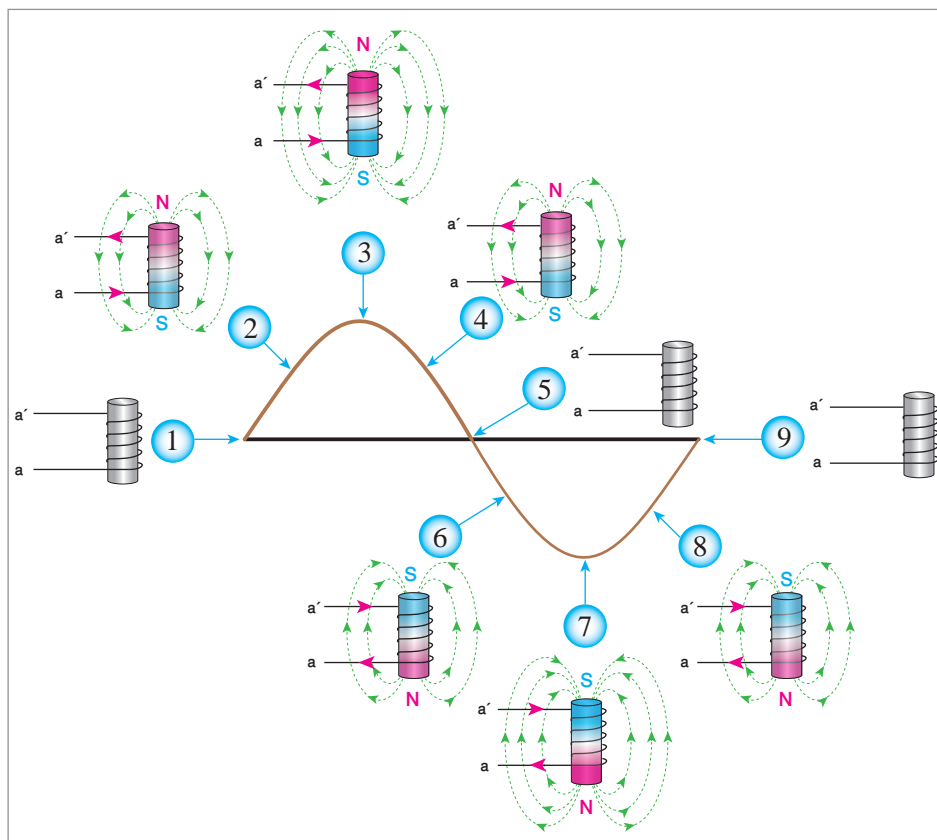
ج) موتور سنکرون تک فاز.

### موتورهای القایی تک فاز

به طور کلی عامل ایجاد چرخش در موتورهای القایی سه فاز، ایجاد میدان دوار در داخل استاتور می باشد. در صورتی که با عبور جریان AC تک فاز از یک سیم پیچ، میدان ضربانی ایجاد می شود.

برای ساختن موتور القایی تک فاز، باید بتوان با ابتکاری خاص، میدان دوار ایجاد نمود. هر چند طرح های ارائه شده در جهت ایجاد میدان دوار دارای نواقصی است، اما برای چرخش موتورهای با توان کم، کافی می باشد.

در واقع چگونگی القای ولتاژ در هادی های رتور و چرخش آن در موتورهای سه فاز و تک فاز شبیه یکدیگر است. از این رو به دلیل سادگی ساختمان موتورهای القایی تک فاز، رتور همه آنها را از نوع قفسه سنجابی می سازند (شکل ۱۹).

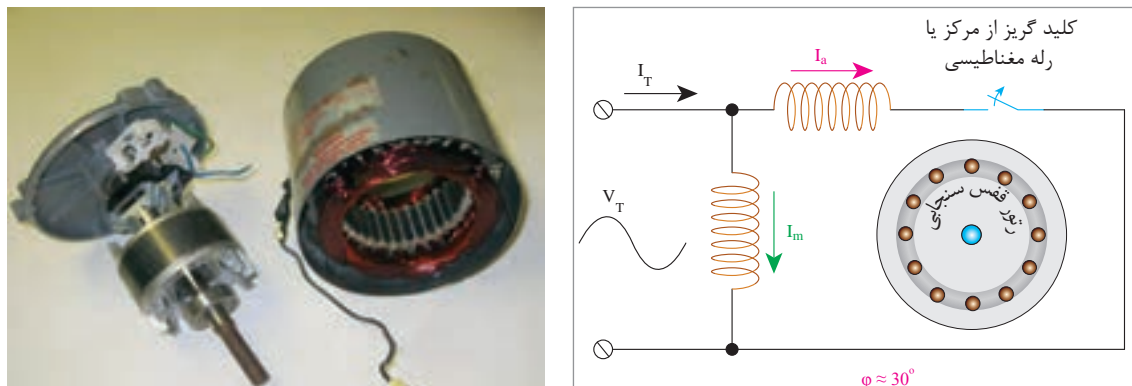


شکل ۱۹-ولتاژ و جریان تک‌فاز در یک سیم پیچ میدان ضربانی ایجاد می‌کند.

موتورهای تک فاز القایی براساس انتخاب المان ایجادکنندهٔ اختلاف فاز به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

- موتورهای القایی تک‌فاز با فاز شکسته؛
- موتورهای القایی با خازن راه‌انداز؛
- موتور القایی با خازن دائم کار؛
- موتورهای القایی دو خازنی (خازن راه‌انداز و دائم کار)؛
- موتور القایی قطب چاک‌دار.

**موتورهای القایی تک فاز با فازشکسته:** در این موتورها برای ایجاد اختلاف فاز بین جریان سیم‌پیچ اصلی و راه‌انداز، نسبت مقاومت اهمی به القایی، سیم‌پیچ راه‌انداز را بیشتر از سیم پیچ اصلی اختیار می‌کنند. از آنجا که مقاومت اهمی سیم‌پیچ راه‌انداز زیاد می‌باشد، در صورت ادامه کار موتور، تلفات حرارتی در سیم‌پیچ راه‌انداز باعث افزایش دمایی سیم‌پیچ و سوختن آن می‌شود. به همین خاطر باید پس از راه‌اندازی موتور و زمانی که سرعت آن حدوداً به ۷۵ درصد سرعت نامی رسید، سیم‌پیچ راه‌انداز از مدار خارج گردد. برای این کار در بعضی موتورها مانند موتور کولر آبی از کلید گریز از مرکز و در برخی دیگر مانند یخچال و فریزر از رلهٔ مغناطیسی استفاده می‌شود (شکل ۲۰).



شکل ۲۰- موتور القایی تک فاز، فاز شکسته

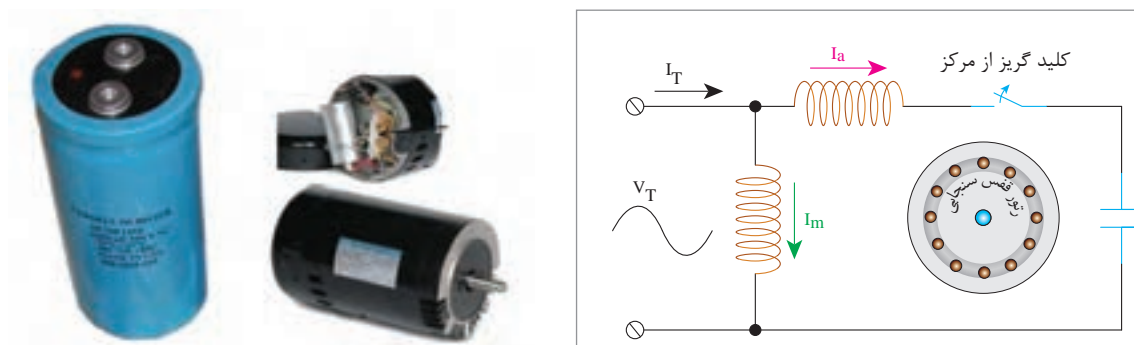
تحقیق کنید



در مورد کلید گریز از مرکز در موتورهای تک فاز تحقیق کرده و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

**موتورهای القایی با خازن راه انداز:** شکل ۲۱ ایجاد اختلاف فاز جریان سیم پیچ اصلی و راه انداز را به کمک یک خازن سری شده با سیم پیچ راه انداز نشان می دهد. با محاسبه مقدار مناسب ظرفیت خازن می توان اختلاف زاویه بین دو جریان را در زمان راه اندازی به  $90^\circ$  رساند. در نتیجه، گشتاور راه اندازی چنین موتوری بسیار خوب می باشد. زیرا بیشترین مقدار گشتاور در موتور القایی تک فاز با ایجاد این زاویه به دست می آید. بعد از راه اندازی موتور، عبور جریان زیاد از خازن باعث سوختن آن می شود به همین خاطر باید خازن را توسط کلید گریز از مرکز از مدار خارج کرد.

موتورهای القایی با خازن راه انداز مشخصه راه اندازی خوبی داشته و به طور کلی در وسایلی همچون کمپرسورها، دستگاه های چند کاره نجاری و... کاربرد دارند.



شکل ۲۱- موتور القایی با خازن راه انداز

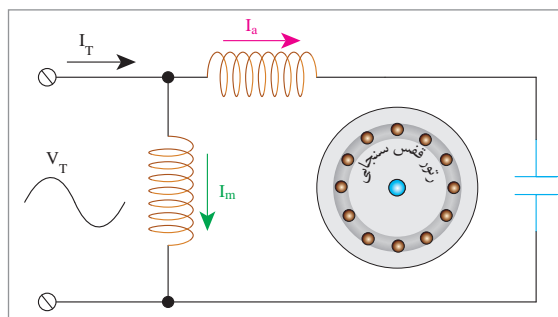
بحث کلاسی



دلیل استفاده از خازن راه انداز در موتورهای القایی با خازن راه انداز را بررسی کنید.



**موتور القایی با خازن دائم کار:** اگر مطابق شکل ۲۲ خازن سری شده با سیم‌پیچ راه‌انداز طوری محاسبه گردد تا در موقع راه‌اندازی اختلاف فاز اندک ولی در زمان کار اختلاف فاز تقریباً  $90^\circ$  شود، می‌توان خازن را در مدار نگه داشت. در این صورت مقدار ظرفیت خازن دائم کار نسبت به خازن راه‌انداز کمتر است و در زمان



شکل ۲۲- موتور القایی با خازن دائم کار

راه‌اندازی جریان کمتری از آن عبور می‌کند. از طرفی چون خازن دائم کار باید مدت زمان بیشتری در مدار بماند، بنابراین، خازن الکترولیت برای آن مناسب نیست. لذا خازن این موتورها از نوع روغنی انتخاب می‌شود که قیمت آنها گران‌تر از خازن‌های الکترولیت است.

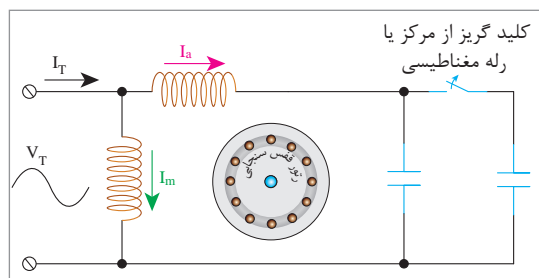
بازده (راندمان)، ضریب قدرت و گشتاور کار این موتورها در حالت کار، بسیار خوب است.

به چه دلایلی موتور القایی با خازن دائم کار را در وسایل خانگی استفاده می‌کنند؟

تحقیق کنید



**موتورهای القایی دو خازنی (خازن راه‌انداز و دائم کار):** اگر در موتور القایی از هر دو خازن دائم کار و راه‌انداز مطابق (شکل ۲۳) هم‌زمان استفاده شود، موتور را دوخازنی می‌گویند.



شکل ۲۳- موتور القایی دو خازنی (خازن راه‌انداز و دائم کار)

خازن راه‌انداز، از نوع الکترولیتی و با ظرفیت زیاد می‌باشد در حالی که خازن دائم کار از نوع روغنی و دارای ظرفیت کم است.

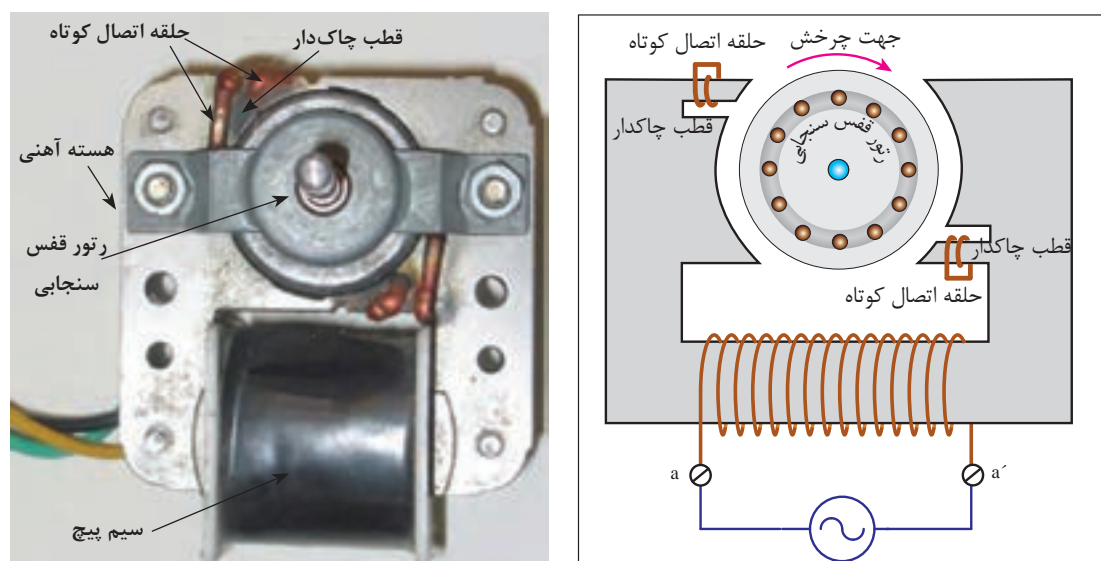
در ابتدای راه‌اندازی موتور، هر دو خازن با هم موازی بوده و با سیم‌پیچ راه‌انداز به‌طور سری در مدار قرار می‌گیرند ولی پس از رسیدن دور موتور به ۷۵ درصد دور نامی، به‌وسیله کلید گریز از مرکز خازن راه‌انداز از مدار خارج می‌شود و تنها خازن، روغنی در مدار باقی می‌ماند. به دلیل وجود این دو خازن، این نوع موتورها هم دارای مشخصه گشتاور راه‌اندازی خوب می‌باشند و هم در زمان کار، آرام و بی‌صدا کار می‌کنند. در این موتورها، سیم‌پیچ اصلی و راه‌انداز، شبیه یکدیگر در نظر گرفته می‌شود.

این موتورها غالباً جزء موتورهای صنعتی محسوب می‌شوند و در وسایلی مانند ماشین لباسشویی صنعتی، یخچال‌های صنعتی، موتورهای بالابر و... کاربرد دارند.



در ابتدای راه اندازی موتورهای القایی دو خازنی، دو خازن به چه صورت در مدار قرار می گیرند؟

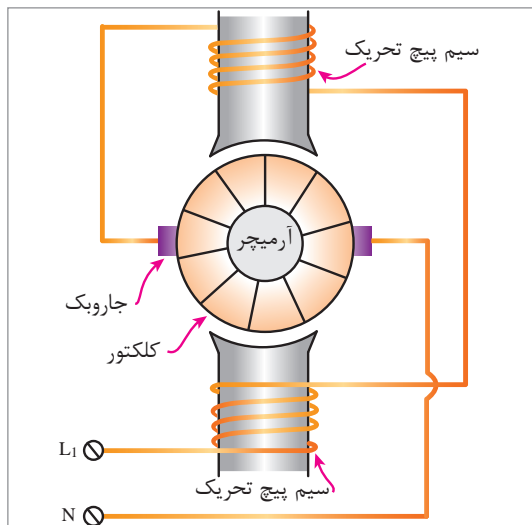
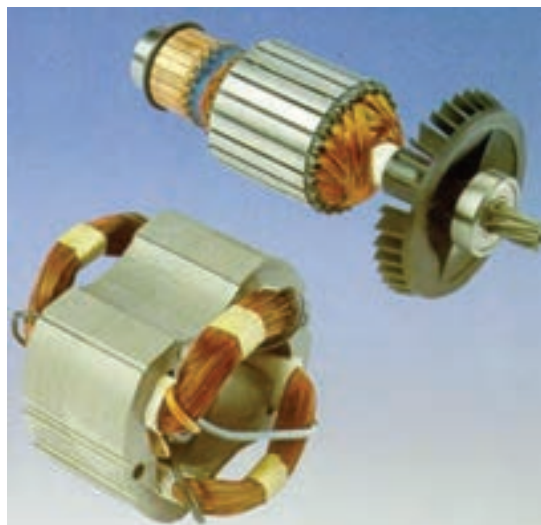
**موتور القایی قطب چاک دار:** اگر بر روی قطب های برجسته موتور، شیارهایی تعبیه گردد و یک یا چند حلقه هادی اتصال کوتاه شده مطابق شکل ۲۴ داخل آن قرار داده شود، در این صورت به این نوع موتور القایی، موتور قطب چاک دار می گویند. گشتاور راه اندازی و ضریب بهره این موتورها بسیار کم است و در توان های کمتر از ۱۵۰ وات ساخته می شوند. معمولاً مزیت اصلی این موتورها سادگی ساختمان آنها می باشد. پمپ آب کولر، فن های کوچک آشپزخانه و... وسایلی هستند که از این موتورها در ساخت آنها استفاده می شود.



شکل ۲۴- موتور القایی قطب چاک دار (به جهت چرخش و قطب ها توجه شود)

### موتور یونیورسال

با تغییر جهت جریان آرمیچر، مقدار گشتاور یا نیروی وارد شده به محور منفی نمی شود. بنابراین جهت گشتاور، همواره مثبت بوده و عوض نمی گردد. از آنجایی که تغییر جهت جریان، تنها بر اساس تغییر پلاریته ولتاژ اعمالی بر موتور امکان پذیر است، بنابراین با اتصال منبع تغذیه جریان متناوب به موتور سری، این موتور با رفتار مشابهی که در جریان مستقیم دارد، می تواند استفاده شود. البته بدیهی است برای عملکرد بدون آسیب موتور، باید اندازه ولتاژ مؤثر منبع تغذیه متناوب، معادل مقدار ولتاژ منبع تغذیه جریان مستقیم باشد. از آنجا که این موتورها می توانند با هر دو نوع جریان متناوب و یا مستقیم کار کنند، موتورهای یونیورسال نامیده می شوند (شکل ۲۵).



شکل ۲۵- شکل ظاهری موتور یونیورسال

در کدام یک از لوازم خانگی از موتور یونیورسال استفاده می‌شود؟

کار در کلاس



انواع موتورهای القایی تک‌فاز را از نظر ساختمان و کاربرد با یکدیگر مقایسه کرده و نتیجه را به صورت پرده‌نگار در کلاس ارائه نمایید.

تحقیق کنید



### استفاده از موتورهای سه فاز در شبکه برق تک فاز

الکتروموتورهای سه فاز را می‌توان با جریان تک فاز راه‌اندازی نمود. در راه‌اندازی الکتروموتورهای سه فاز با جریان تک فاز، از یک خازن استفاده می‌کنند (در الکتروموتورهای با قدرت زیاد اغلب از دو خازن که به دلیل زیاد شدن ظرفیت، موازی بسته شده‌اند نیز استفاده می‌شود) که خازن، با سیم‌پیچی سری یا موازی می‌شود و جریان در شاخه‌ای که با آن سری شده است جلو افتاده و اختلاف فاز به وجود می‌آورد و باعث گردش موتور می‌شود. جهت گردش موتور بستگی به روش اتصال خازن دارد. قدرت الکتروموتور نیز به روش اتصال پلاک موتور (ستاره یا مثلث) و انتخاب نوع خازن (تعیین ظرفیت) بستگی دارد که معمولاً با انتخاب دقیق می‌توان حداکثر قدرت در حالت تک‌فاز را به ۷۰ تا ۷۵ درصد در حالت سه فاز رساند. مقدار ظرفیت خازن به ازای هر کیلو وات قدرت با ولتاژهای مختلف شبکه (طرز اتصال کلاف‌ها) به شرح زیر می‌باشد:

- شبکه ۱۱۰ ولتی ظرفیت خازن ۲۵۰ میکروفاراد؛
- شبکه ۲۲۰ ولتی ظرفیت خازن ۷۰ میکروفاراد؛
- شبکه ۳۸۰ ولتی ظرفیت خازن ۲۲ میکروفاراد.



دلیل اتصال ستاره در موتور سه فاز با ولتاژ ۲۲۰/۱۲۵ هنگام استفاده در شبکه برق تک فاز چیست؟

## ارزشیابی

- ۱ آیا می توان با جریان مستقیم میدان دوار ایجاد کرد؟
- ۲ چرا در ماشین های القایی هر چقدر تعداد قطب ها بیشتر باشد سرعت میدان دوار کمتر می شود؟
- ۳ سرعت میدان دوار ماشین القایی  $1000 \text{ RPM}$  و فرکانس شبکه  $50 \text{ Hz}$  می باشد. تعداد قطب های ماشین را به دست آورید.
- ۴ سرعت چرخش رتور موتور القایی ۴ قطب در شبکه  $50 \text{ Hz}$  برابر با  $1425 \text{ RPM}$  می باشد لغزش آن را به اعشار و درصد محاسبه کنید.
- ۵ لغزش موتور القایی که محور آن با سرعت  $2500 \text{ RPM}$  می گردد برابر با  $1/5$  - می باشد. سرعت میدان دوار آن چقدر است؟
- ۶ منظور از تلفات ثابت و متغیر در ماشین القایی چیست؟
- ۷ چرا در ماشین های القایی تلفات هسته و تلفات مکانیکی را در تمام مراحل کاری ثابت فرض می کنند؟
- ۸ یک ماشین القایی شش قطب،  $60 \text{ HZ}$  با سرعت  $880 \text{ RPM}$  می چرخد، به دست آورید:  
الف) سرعت میدان دوار ب) سرعت لغزش ج) مقدار لغزش
- ۹ یک موتور القایی  $400$  ولت، در بار نامی  $350$  آمپر از شبکه دریافت می کند. چنانچه مجموع تلفات  $20$  کیلووات و ضریب قدرت آن  $83/0$  باشد، به دست آورید:  
الف) توان دریافتی از شبکه ب) توان خروجی ج) راندمان موتور
- ۱۰ چرا به موتورهای تک فاز AC نیاز داریم؟
- ۱۱ انواع موتورهای تک فاز القایی را نام برده و نحوه عملکرد آن را شرح دهید.
- ۱۲ در ابزارهای دستی از چه نوع موتور تک فازی استفاده می شود و چرا؟
- ۱۳ تفاوت های عملکردی موتور یونیورسال را در جریان DC و AC توضیح دهید.
- ۱۴ مقدار خازن مورد نیاز جهت راه اندازی یک موتور سه فاز  $1/5 \text{ kW}$  به صورت تک فاز چقدر باید باشد؟

### جدول ارزشیابی بررسی ماشین‌های الکتریکی

عنوان پودمان (فصل)	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
کاربری ماشین‌های الکتریکی دریایی	بررسی ماشین‌های الکتریکی	تجزیه و تحلیل ماشین‌های القایی سه فاز و تک فاز و کاربری آن‌ها	بالتر از حد انتظار	۱- ماشین‌های القایی سه فاز را تجزیه و تحلیل کند. ۲- دیاگرام توان و تلفات را در ماشین‌ها تجزیه و تحلیل نماید. ۳- ماشین‌های الکتریکی تک‌فاز را تجزیه و تحلیل کند. ■ هنرجو توانایی بررسی همه شاخص‌ها را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱- ماشین‌های القایی سه فاز را تجزیه و تحلیل کند. ۲- دیاگرام توان و تلفات را در ماشین‌ها تجزیه و تحلیل نماید. ۳- ماشین‌های الکتریکی تک‌فاز را تجزیه و تحلیل کند. ■ هنرجو توانایی بررسی دو مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	۱- ماشین‌های القایی سه فاز را تجزیه و تحلیل کند. ۲- دیاگرام توان و تلفات را در ماشین‌ها تجزیه و تحلیل نماید. ۳- ماشین‌های الکتریکی تک‌فاز را تجزیه و تحلیل کند. ■ هنرجو توانایی بررسی یک مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۱
نمره مستمر از ۵					
نمره شایستگی پودمان از ۳					
نمره پودمان از ۲۰					

## ارزشیابی شایستگی کاربری ماشین‌های الکتریکی دریایی

### ۱- شرح کار:

- ماشین‌های القایی سه فاز را تجزیه و تحلیل کند.
- دیاگرام توان و تلفات را در ماشین‌ها تجزیه و تحلیل نماید.
- ماشین‌های الکتریکی تک‌فاز را تجزیه و تحلیل کند.

### ۲- استاندارد عملکرد

بررسی و تجزیه و تحلیل کردن ماشین‌های الکتریکی

### ۳- شاخص‌ها

تشریح کامل از ماشین‌های الکتریکی

### ۴- شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:

شرایط: کلاس مناسب همراه پرده‌نگار باشد.

ابزار و تجهیزات:

### ۵- معیار شایستگی

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	ماشین‌های القایی سه فاز را تجزیه و تحلیل کند.	۲	
۲	دیاگرام توان و تلفات را در ماشین‌ها تجزیه و تحلیل نماید.	۱	
۳	ماشین‌های الکتریکی تک‌فاز را تجزیه و تحلیل کند.	۱	
شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشتی و توجهات زیست‌محیطی:			
۱- رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها؛			
۲- دقت و تمرکز در اجرای کار؛			
۳- شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر؛			
۴- اخلاق حرفه‌ای.			
میانگین نمرات			*

\* حداقل میانگین نمرات هنجار برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.

## پودمان ۵

### کسب اطلاعات فنی



## کسب اطلاعات فنی

کسب اطلاعات فنی، شایستگی درک و دریافت دانش از منابع مختلف فارسی و غیر آن می‌باشد. با پیشرفت و گسترش و تنوع منابع، ضروری است که برای تحقق اهداف و توسعه شایستگی‌های خود به منابع و مراجع غیرفارسی نیز مراجعه کنیم. در این راستا پودمان حاضر به همین منظور در کتاب دانش فنی تخصصی طراحی و تألیف شده است.

برقراری ارتباط بین افراد شاغل در رشته‌هایی که به دلیل ماهیت‌شان نیازمند به تبادل اطلاعات هستند، اهمیت ویژه‌ای بیش از سایر رشته‌ها دارد.

با توجه به گستردگی علوم و فنون دریایی، توسعه روزافزون حمل‌ونقل و تجارت دریایی، فراگیری زبان انگلیسی به صورت عمومی و تخصصی برای دریانوردان ضروری می‌باشد. در کنار این موارد حضور کارکنان با ملیت و زبان‌های مختلف و همچنین ارتباط شناورها با یکدیگر در هنگام عملیات راهبری و هدایت کشتی، تخلیه و بارگیری و نیاز به برقراری ارتباط با پرسنلی که به زبان‌های مختلف سخن می‌گویند، سبب شده که «سازمان بین‌المللی دریانوردی» زبان انگلیسی را به عنوان زبان استاندارد رشته‌های دریایی انتخاب و تصویب نماید.

با توجه به اهمیت موضوع، هنرجویان پس از آشنایی با اصطلاحات مهم این رشته‌ها در این پودمان قادر خواهند بود مفاهیم بیان شده را (چه به صورت نوشتار و چه به صورت گفتار) به درستی درک کرده و مفاهیم اولیه مورد نظر خود را به زبان انگلیسی بیان کنند.

بدیهی است هدف از ارائه این پودمان، تدریس زبان انگلیسی نمی‌باشد بلکه کسب مهم‌ترین اطلاعات فنی گذشته تخصصی، حرفه‌ای خود می‌باشد. از طریق خواندن منابع ذکر شده می‌توان به این هدف دست یافت. البته برای پشتیبانی این امر در کتاب همراه هنرجو، که خود نیز عملاً یک دانشنامه ویژه بیشتر به خواندن درست لغات، جملات و درک مطالب ارائه شده در کاتالوگ‌ها، بروشور و کتاب‌های راهنمای کاربردی تأکید دارد.

پودمان ذکر شده حاوی یک لوح فشرده (CD) آموزشی نیز می‌باشد. در این لوح مطالب ارائه شده در درس به زبان اصلی بیان می‌شود تا راهنمایی در خواندن و گفتار باشد.

## پروژه پایانی

هر گروه درباره یکی از موضوعات تخصصی پودمان، یک سخنرانی ۱۰ دقیقه‌ای (به زبان انگلیسی) انجام داده و ۵ دقیقه نیز به پرسش و پاسخ کلاسی اختصاص یابد.



## Unit 1

### ELECTRICAL SAFETY

Before attempting any electrical work, there are some basic safety precautions you must keep in mind. The possible dangers arising from the misuse of electrical equipment are well known. Electric shock and fire can cause loss of life and damage to equipment.



Figure 1 - sign of danger

There are some Regulations to control construction, installation, operation and maintenance of electrical equipment so that danger is eliminated as far as possible. Minimum acceptable standards of safety are issued by various bodies including national governments, international governmental conventions, national and international standards association (e.g. BSS and IES), etc. Dangers are usually caused by accidents, neglects or safety violations. Students must operate equipment in a safe manner and maintain it in a safe condition at all times. They should keep in mind an essential list of DO's and DONT's when working with electrical equipment.



Figure 2- use of proper devices

DO get to know the electrical system and equipment. Study laboratory instructions and shop diagrams to pinpoint the location of switches and protection devices. Write down this information in a notebook. Note the normal indications on switchboard instruments so that abnormal operations can be quickly detected.



**Figure 3 - check of covers, doors and all bolts**

DO operate equipment according to manufactures' recommendations.

DO maintain equipment according to manufacturers' recommendations or service manual maintenance procedures.

DO ensure that all guards, covers and doors are securely fitted and that all bolts and fixings are fitted and tight.

DO inform the teacher before shutting down equipment for operation.

DO switch off and lock off supplies, remove fuses, and display warning notices before removing covers of equipment for maintenance.

DO confirm that circuits are DEAD (by using a voltage tester) before touching conductors and terminals.

DON'T touch live conductors under any pretext.

DON'T touch rotating parts.

DON'T leave live conductor or rotating parts exposed.

DON'T overload equipment.

You should think of 'safety' at all times and so develop a safety conscious attitude. This may well save your life and lives of others. Most accidents occur due to a momentary loss of concentration or attempts to short-circuit standard safety procedures. DO NOT let this happen to you.

### **Electric shock**

Nearly everyone has experienced an electric shock at some time. At best, it is an unpleasant experience, at worst, it is fatal. Anyone who has access to live electrical equipment must be fully aware of first aid and safety procedures related to electric shock as described in relevant safety

acts. Copies of these safety procedures should be displayed on board.



Figure 4- Electric shock

Electric shock is due to the flow of current through your body. This is often from hand to hand or from hand to foot. A shock current as low as 15mA AC or DC may be fatal. Obviously, the size of shock current is related to the applied voltage and your body resistance. Unfortunately, your body resistance goes down as the applied voltage goes up. This means that the shock current is further increased at high voltages. The size of your body resistance also depends on other factors such as your state of health, the degree of contact with live wires and the perspiration or dampness on your skin. Typical dry full contact body resistance is about 5000  $\Omega$  at 25 V falling to about 2000  $\Omega$  at 250V.

## EXERCISES

**A. Read each statement carefully and decide whether it is true or false. Write “T” for true statement and “F” for false ones.**

- 1 ..... In any electrical work, there are some basic safety precautions.
- 2 ..... Electrical shock and fire can cause loss of life and damage to equipment.
- 3 ..... With control and regulations, danger can be eliminated as far as possible.
- 4 ..... Each student must operate equipment in a safe manner and maintain it in a safe condition at all times.
- 5 ..... “Safety” should be thought of at all times. This may well save your life.
- 6 ..... An electric shock at best is an fatal experience, at worst, it is unpleasant.
- 7 ..... Electric shock is due to the flow of current through equipment.
- 8 ..... Unfortunately, your body resistance goes down as the applied voltage goes up.

**B. Match the items in column A with their appropriate equivalent in column B Insert a, b, c... in the parentheses provided.**

A		B	
1 attempt	( )	a The use of sth in the wrong way	
2 misuse	( )	b Try to do sth.	
3 case	( )	c c. reason	
4 quickly	( )	d discover	
5 detect	( )	d excessive use	
6 abuse	( )	e rapidly	
7 neglect	( )	f like	
8 such as	( )	d giving not enough care to	

**C. Definitions and word study:**

- 1 Resistance: unit of ohms with the symbol of R. A device, component, or circuit, which has opposition to flow.
- 2 Semiconductor: A general name given to transistors, diodes, and similar devices that use semiconducting materials.
- 3 Short circuit: low resistance that bypasses the flow of current.
- 4 Component: small electronic parts.

## Unit 2

### RECTIFYING CIRCUITS

Although mains supplies are normally AC, for many applications a DC supply is required where it is uneconomical or impractical to use batteries. The mains AC supply must be converted into DC. We will examine here three rectifying circuits for converting single phase AC supplies into direct current. Figure 5 shows a half-wave rectifier. It incorporates a single diode. The direction of the arrow on the diode symbol indicates the conventional flow of current through the diode.

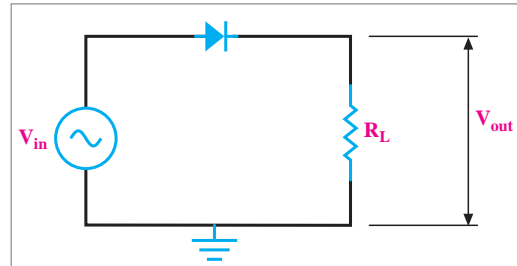


Figure 5- a half-wave rectifier

$R_L$  is the resistance of the load and  $V_L$  the voltage across the load. An alternating current changes from positive to negative in each cycle. This cycle is repeated 50 or 60 times per second in most AC systems. The resultant waveform is sinusoidal.

Figure 6 shows what happens to the AC sine wave in half wave rectification. In the first half of each cycle, the applied voltage is positive and the diode conducts, allowing current to pass through the load. In the second half, the applied voltage is negative and is blocked by the high resistance of the diode to reverse voltage. Time form of rectification has only light current applications. It is not economical in that half the supply wave form is not utilized.

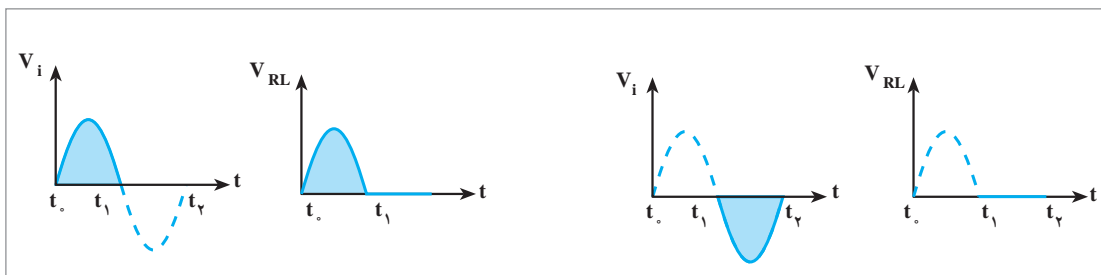
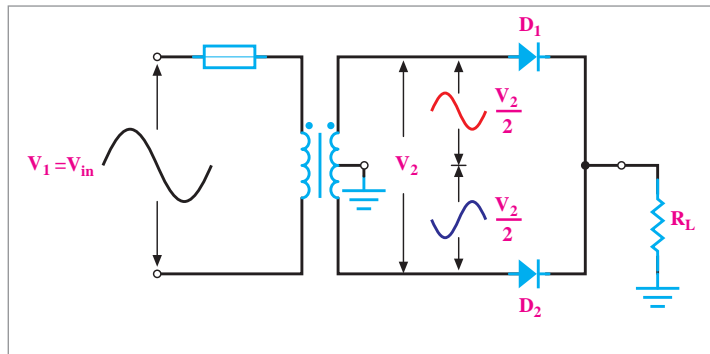


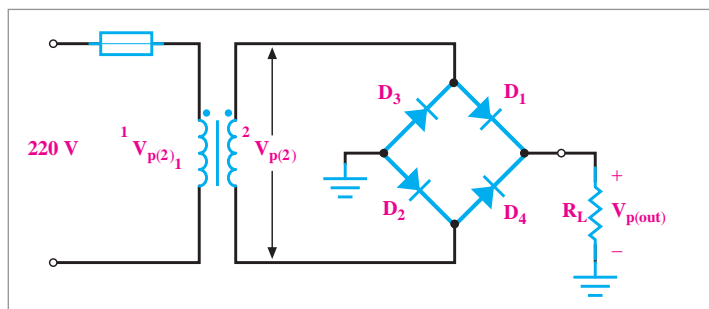
Figure 6- waveform of half-wave rectifier

The circuit in Figure 7 provides full-wave rectification. It requires a transformer with a center-tapped secondary and two diodes. The EMFs in both halves of the secondary are equal but are of opposite polarity at any instant. Thus when A is positive with respect to B, D1 conducts and the current passes through the load back to B. Similarly when C is positive with respect to B, D2 conducts. Only half the secondary winding time is utilized at any single time.



**Figure 7- full-wave rectification transformer with a center-tapped secondary**

The bridge circuit shown in Figure 8 contains four diodes wired as shown to form a bridge. This circuit also provides full-wave rectification but it is more efficient in that all the output of the secondary is utilized.



**Figure 8- full-wave rectification**

In addition, having four diodes, the peak inverse voltage which any single diode has to withstand is half that of the circuit shown in Figure 5-3. In the first half of any cycle, A is positive with respect to B and D2 and D4 conduct. D1 and D3 conduct in the second half of the cycle. Bridge circuits have many applications and are to be found in the power supplies of much mains operated electronic equipment. Another common use is in providing low-power DC motor drives.

## EXERCISES

**A. Read each statement carefully and decide whether it is true or false. Write «T» for true statements and «F» for false ones.**

- 1 ..... A half-wave rectifier incorporates a single diode.
- 2 ..... An alternating current changes from positive to negative in each cycle.
- 3 ..... A full-wave rectification requires a transformer with a centre-tapped secondary and two diodes.
- 4 ..... The EMFs in both halves of the secondary are equal but are of opposite polarity at any instant.
- 5 ..... Bridge circuits have no applications in the power supplies of much mains operated electronic equipment.

**B. Match the items in column A with their appropriate equivalent in column B. Insert a, b, c, ... in the parentheses provided.**

A		B	
1	utilize ( )	a	moment
2	equipment ( )	b	usually; typically
3	normally ( )	c	device; apparatus
4	reverse ( )	d	use
5	instant ( )	e	contrary or opposite

**C. Word study and definitions:**

- |                           |  |
|---------------------------|--|
| 1 Diode                   | A two-element electronic device. The most common application is converting AC to DC Rectification. |
| 2 Emitter                 | One of the three legs of a bipolar transistor.   |
| 3 Collector               | One of the three leads of a bipolar transistor.  |
| 4 Direct Current (DC)     | Current that flows only in one direction. A battery Is a source of direct current.                 |
| 5 Half-wave Rectification | A single diode that converts AC to DC voltage.   |

## Unit 3

### MOTOR THEORY

The DC motor has two basic parts: the rotating part that is called the armature, and the stationary part that includes coils of wire called the field coils. The stationary part is also called the stator. Fig. 9 shows a picture of a typical DC motor.



Figure 9- A typical DC motor

Fig. 10 shows a picture of a DC armature, and Fig 11 shows a picture of a typical stator.



Figure 10 - Armature of a DC motor



Figure 11- Stator of a DC motor

From the picture in Fig. 12 you can see the armature is made of coils of wire wrapped around the core, and the core has an extended shaft that rotates on bearings. You should also notice that the ends of each coil of wire on the armature are terminated along the end of the armature. As Figure shows the termination points are called the commutator, and this is where the brushes make electrical contact to bring electrical current from the stationary part to the rotating part of the machine.

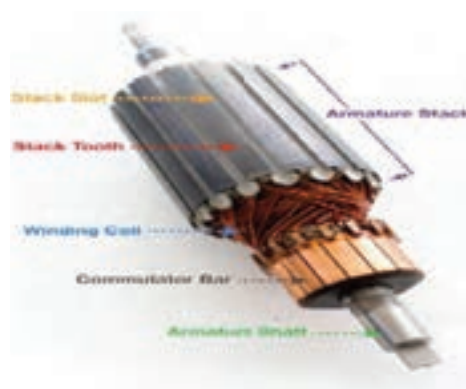


Figure 12 - Commutator DC Motor



It will be easier to understand the operation of the DC motor from a basic diagram that shows the magnetic interaction between the rotating armature and the stationary Held coils. Fig. 13 shows three diagrams that explain the DC motor's operation in terms of the magnetic interaction.

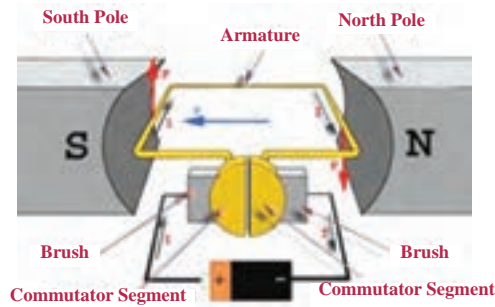


Figure 13- (a)

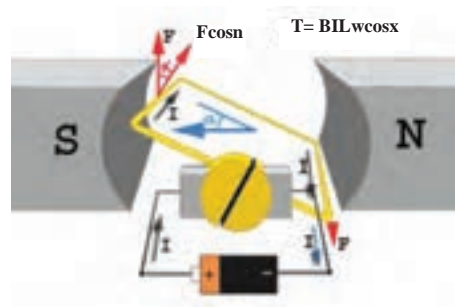


Figure 13- (b)

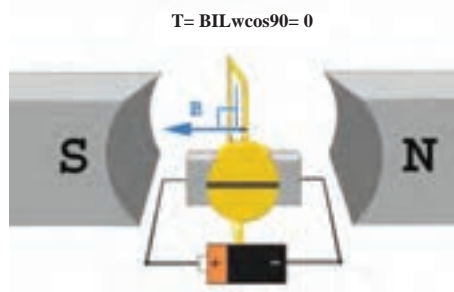


Figure 13- (c)

Figure 13- three diagrams of the DC motor's operation

Figure 13- (a) Magnetic diagram that explains the operation of a DC motor. The rotating magnet moves clockwise because like poles repel. (b) The rotating magnet is being attracted because the poles are unlike. (c) The rotating magnet is now shown as the armature coil, and its polarity is determined by the brushes and commutator segments.

In Figure 13 (b) you can see that a bar magnet has been mounted on a shaft so that it can spin. The field winding is one long coil of wire that has been separated into two sections. The top section is connected to the positive pole of the battery and the bottom section is connected to the negative pole of the battery. It is important to understand that the battery represents a source of voltage for this winding. In the actual industrial-type motor, this voltage will come from the DC voltage source for the motor. The current flow in this direction makes the top coil the north pole of the magnet and the bottom coil the south pole of the magnet.

The bar magnet represents the armature and the coil of wire represents the field. The arrow shows the direction of the armature's rotation. Notice that the arrow shows the armature starting to rotate in the clockwise direction. The north pole of the field coil is repelling the north pole of the armature, and the south pole of the field coil is repelling the south pole of the armature.

## AC MOTORS

Today AC motors are more widely used in industrial applications than DC motors. They are available to operate on single-phase or three-phase supply voltage systems. This allows the motor control designer to choose the type of motor to fit the application. Most single-phase motors are less than 3 HP; although some larger ones are available, they are not as common. Three-phase motors are available up to several thousand horsepower, although most of the motors that you will be working with will be less than 50 HP.

The AC motor provides several advantages over DC motors. One advantage the AC motor has is that its design eliminates the need for brushes and commutators. The second advantage is that its rotating member is made of laminated steel rather than wire that is pressed on a core, which reduces maintenance. The AC motor does not need brushes and commutators since it creates the flux lines in its rotating member by induction. The induction process that is used to get the current into the rotating member is similar to the induction that occurs between the primary and secondary windings of a transformer. This is possible in an AC motor because supply voltage is sinusoidal.

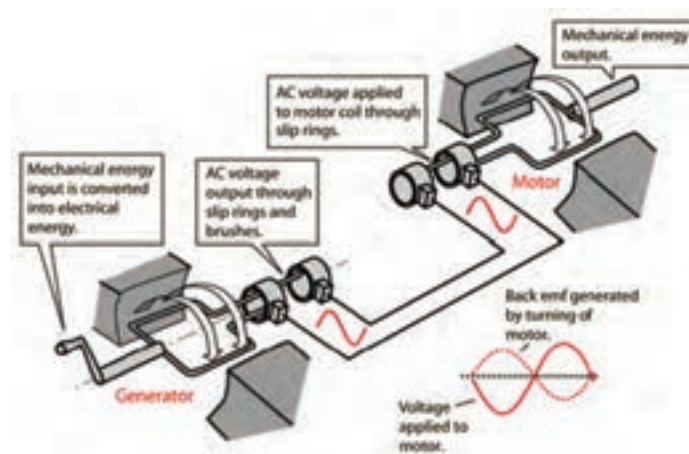


Figure 14 - Structure of AC motor

The rotating field in the AC motor is called the rotor, and the stationary field is called the stator. The design of the rotor is different from the rotating armature in the DC motor because it is made completely of laminated steel rather than having copper coils pressed on a laminated steel core. This allows the AC motor to operate longer than the DC motor with less periodic maintenance, which means that more AC motors are used in industry than DC motors. You need to be aware that the main reason DC motors were used in industry in the 1940s through the 1960s is that their speed could be controlled more easily than controlling the speed of AC motors. With the advent of variable-frequency drives, the speed of all AC motors can be adjusted more easily than DC motors, and the AC motor requires less maintenance since it does not have brushes.

## EXERCISES

**A. Read each statement carefully and decide whether it is true or false. Write «T» for true statements and «F» for false ones.**

- 1..... The DC motor has two basic parts: the rotating part and stationary part.
- 2..... The three types of DC motors are the series-motor, the shunt motor and the compound motor.
- 3..... When laminated steel sections are pressed together to make the core the eddy-currents can flow from one laminated segment to another.
- 4..... The direction of rotation of a series motor can be changed by changing the polarity of either the armature or field winding.

**B: Match the words in column «A» with their synonyms in column «B».**

A		B	
1 Stator	( )	a Rotating part of the motor	
2 Armature	( )	b Squirrel cage induction	
3 Induction Motor	( )	c Revolutions per minute	
4 R.P.M	( )	d Stationary part of the motor	
5 F.L.A	( )	e Full load amperage	
6 Commutator	( )	f The magnetic current that circulate in core	
7 Eddy current	( )	g Magnetic losses	
8 Flux losses	( )	h The termination points	

**C: Word study and definitions:**

- 1 Magnetic      The magnetic phono cartridge has a moving Vane between the coil assemblies. The output Voltage is very low and must have a Preamplifier stage ahead of it, unlike the Crystal cartridge.
- 2 Magnetic Field      The force that surrounds the magnet and produces magnetic lines.
- 3 Stator      Fixed plates in a variable capacitor.
- 4 Troubleshooting      The method of determining the failure of An electrical or electronic breakdown.

## Unit 4

### GPS

People have been trying to find out a reliable way to tell where they are and to help guide them to where they are going. Cavemen probably used stones and twigs to mark a trail when they set out hunting for food. The earliest mariners followed the coast closely to keep from getting lost. When navigators first sailed into the open ocean, they discovered they could chart their course by following the stars. The ancient Phoenicians used the North Star to journey from Egypt and Crete. The next major developments in the quest for the perfect method of navigation were the magnetic compasses.

About 50 years ago, when the space technology was born, it was actually giving birth to an entirely new method of tracking and guiding, employing man made stars, now known as Satellite Navigation Systems and Global Positioning Systems are the latest of its outcome. The Global Positioning System (GPS) is a worldwide radio-navigation system formed from a constellation of 24 satellites and their ground stations. Global Positioning System consists of three interacting segments:

- The Space Segment -- satellites orbiting the earth
- The Control Segment -- the control and monitoring stations
- The User Segment -- the GPS signal receivers owned by users.

The space segment consists of a constellation of 24 active satellites orbiting the earth every 12 hours. There are six orbital planes (with nominally four SVs in each), equally spaced (60 degrees apart), and inclined at about fifty-five degrees with respect to the equatorial plane. Four satellites are located in each of six orbits. The orbits are distributed evenly around the earth. The satellites orbit at an altitude of about 20,200 km at a velocity of 26.61 km per second. Satellites are positioned so that we can receive signals from six of them nearly 100 percent of the time at any point on Earth.

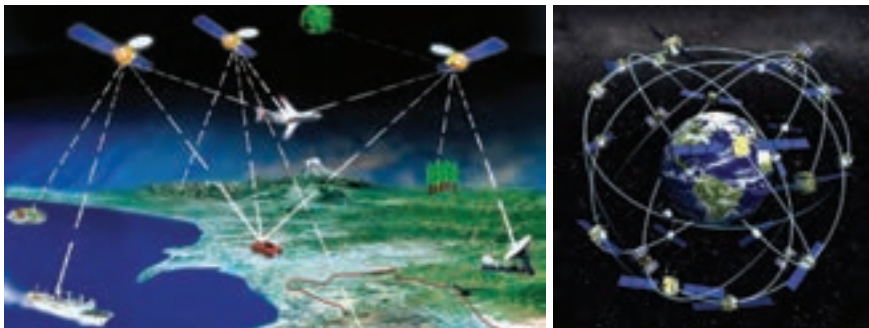


Figure 15 - The Earth Satellites Orbiting

You need that many signals to get the best position information. This constellation provides the user with between five to eight SVs visible from any point on the earth. These satellites are equipped with very precise clocks that keep accurate time to three nanoseconds. This precision timing is important because the receiver must know exactly how long it takes for its signal to get to each satellite and return. By knowing the exact amount of time the signal has taken to get back from each satellite, it can calculate its position.

The GPS control, or ground segment consists of unmanned monitor stations located around the world. These stations track and monitor the GPS satellites.

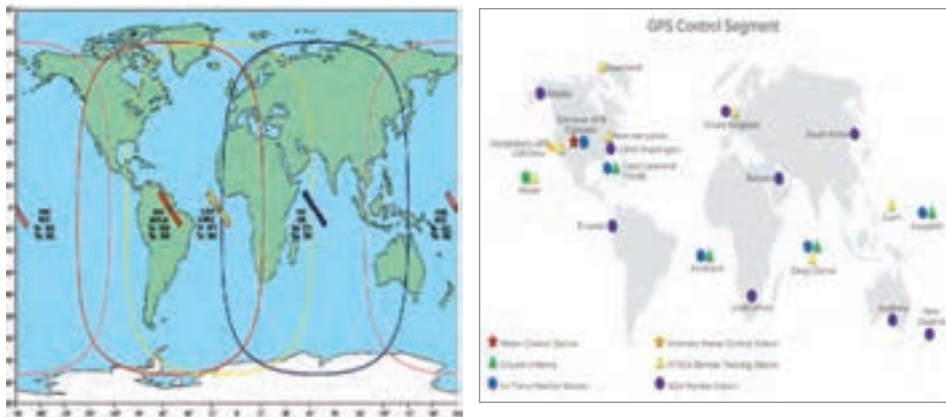


Figure 16- the control and monitoring stations

The Master Control station uploads orbital data and clock data to the satellites. The satellites then send subsets of the orbital data to GPS receivers over radio signals.

The GPS User Segment consists of the GPS receivers and the user community. GPS receivers convert satellites signals into position, velocity, and time estimates. Four satellites are required to compute the four dimensions of X, Y, Z (position) and Time. GPS receivers are used for navigation, positioning, time dissemination, and other research. Astronomical observatories, telecommunications facilities, and laboratory standards can be set to precise time signals or controlled to accurate frequencies by special purpose GPS receivers.



Figure 17- Usage

The satellites transmit two microwave carrier signals. The L1 frequency (1575,42 MHz) carries the navigation message and the SPS code signals. The L2 frequency (1227,60 MHz) is used to measure the ionospheric delay by PPS equipped receivers.

GPS has become important for nearly all military operations and weapons systems. They were carried by foot soldiers and attached to vehicles, helicopters, and aircraft instrument panels. GPS is also helping to save lives. Many police, fire, and emergency medical service units are using GPS receivers to determine the police car, fire truck, or ambulance nearest to an emergency, enabling the quickest possible response in life-or-death situations.

## EXERCISES

**A: Read each statement carefully and decide whether it is true or false. Write «T» for true statements and «F» for false ones.**

- 1 ..... There are six satellites in each orbital plane.
- 2 ..... The orbital plane of each satellite is inclined at an angle of  $55^\circ$  to the plane of the equator.
- 3 ..... In the time that the Earth takes to complete one revolution, each satellite makes two orbits around the Earth.
- 4 ..... Global Positioning System consists of three interacting segments.
- 5 ..... The accuracy of a position obtained by GPS is independent of the geometry of the satellites used.
- 6 ..... We have to find out the relationship between the user's clock and the satellite's clock to measure the range between the satellite and the user.

**B: Word study and definitions:**

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1 User segment :           | The component of the GPS system that Include receivers.  |
| 2 Channel :                | A channel of a GPS receiver consists of the radio frequency, circuitry, and software necessary to tune the signal from a signal GPS satellite. |
| 3 Data message :           | A 1500 bit message included in the GPS signal which reports the satellite's location, clock corrections, and health.                           |
| 4 Ionospheric refraction : | The change in the propagation speed of a signal as it passes through the ionosphere.   |

## Unit 5

### RADAR

Radar is an object-detection system that uses radio waves to determine the range, angle, or velocity of objects. It can be used to detect aircraft, ships, spacecraft, guided missiles, motor vehicles, weather formations, and terrain. A radar system consists of a transmitter producing electromagnetic waves in the radio or microwaves domain, a transmitting antenna, a receiving antenna (often the same antenna is used for transmitting and receiving) and a receiver and processor to determine properties of the object(s). Radio waves (pulsed or continuous) from the transmitter reflect off the object and return to the receiver, giving information about the object's location and speed.

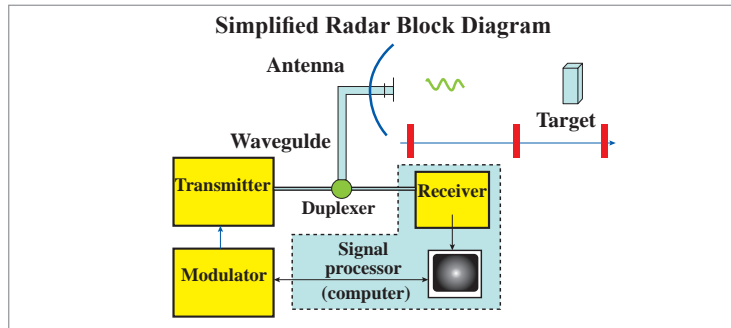


Figure 18– simplified radar block diagram

Radar was developed secretly for military use by several nations in the period before and during World War II. The term RADAR is an acronym for Radio Detection and Ranging or Radio Direction and Ranging. The term radar has since entered English and other languages as a common noun, losing all capitalization.

A practical radar system requires seven basic components as illustrated below:

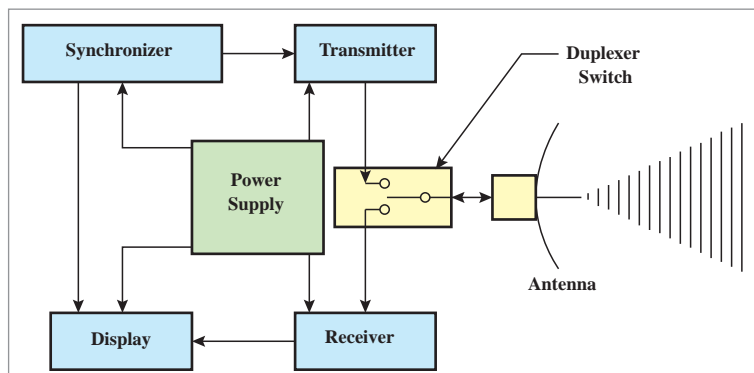


Figure 19– practical radar system

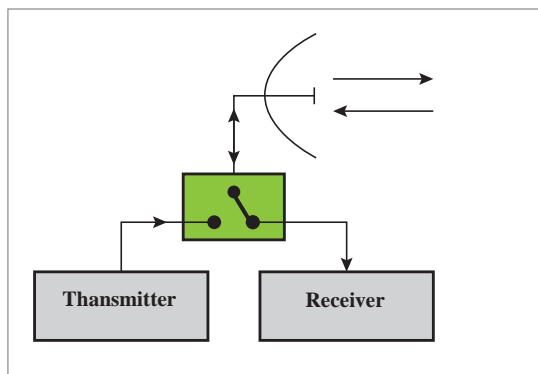


**Transmitter:** The transmitter creates the radio wave to be sent and modulates it to form the pulse train. The transmitter must also amplify the signal to a high power level to provide adequate range.

**Receiver:** The receiver is sensitive to the range of frequencies being transmitted and provides amplification of the returned signal. In order to provide the greatest range, the receiver must be very sensitive without introducing excessive noise.

**Power Supply:** The power supply provides the electrical power for all the components. The largest consumer of power is the transmitter which may require several kW of average power. The actual power transmitted in the pulse may be much greater than 1 kW. The power supply only needs to be able to provide the average amount of power consumed, not the high power level during the actual pulse transmission.

**Duplexer:** This is a switch which alternately connects the transmitter or receiver to the antenna. Its purpose is to protect the receiver from the high power output of the transmitter. During the transmission of an outgoing pulse, the duplexer will be aligned to the transmitter for the duration of the pulse, PW. After the pulse has been sent, the duplexer will align the antenna to the receiver. When the next pulse is sent, the duplexer will shift back to the transmitter. A duplexer is not required if the transmitted power is low.



**Figure 20– Duplexer (Tx/Rx switch)**

**Antenna:** The antenna takes the radar pulse from the transmitter and puts it into the air. Furthermore, the antenna must focus the energy into a well-defined beam which increases the power and permits a determination of the direction of the target.



**Figure 21– practicalAntenna**



**Display:** The display unit may take a variety of forms but in general is designed to present the received information to an operator.



Figure 22– Display of Radar

A radar system has a transmitter that emits radio waves called radar signals in predetermined directions. When these come into contact with an object they are usually reflected or scattered in many directions. But some of them absorb and penetrate into the target to some degree. Radar signals are reflected especially well by materials of considerable electrical conductivity—especially by most metals, by seawater and by wet ground. The radar signals that are reflected back towards the transmitter are the desirable ones that make radar work. If the object is moving either toward or away from the transmitter, there is a slight equivalent change in the frequency of the radio waves, caused by the Doppler Effect.

Although the reflected radar signals captured by the receiving antenna are usually very weak, they can be strengthened by electronic amplifiers. The weak absorption of radio waves by the medium through which it passes is what enables radar sets to detect objects at relatively long ranges. Such weather phenomena as fog, clouds, rain, falling snow, and sleet that block visible light are usually transparent to radio waves. Certain radio frequencies that are absorbed or scattered by water vapor, raindrops, or atmospheric gases (especially oxygen) are avoided in designing radars, except when their detection is intended.

## EXERCISES

**A: Read each statement carefully and decide whether it is true or false. Write «T» for true statements and «F» for false ones.**

- 1..... Another word for radio detection and ranging is radar.
- 2..... A radar is an instrument to determine the range and the direction of targets.
- 3..... A radar doesn't have a transmitter sending radio wave pulses.

4..... An antenna can server both for transmitting as well as for receiving.

5..... The duplexer makes it possible for the same antenna to be used for transmitting and receiving.

**B: Match the items in column A with their appropriate equivalent in column B. Insert a, b, c, ... in the parentheses provided.**

A		B
1 detection	( )	a. the return of a signal after it has been reflected
2 echo	( )	b. discovering or locating an object
3 curious	( )	c. rule; basic
4 principle	( )	d. eager
5 as well as	( )	e. and
6 since	( )	f. because; due to
7 that is	( )	g. namely; which is to say
8 common	( )	h. normal; usual
9 adjust	( )	i .regulate
10 appear	( )	j. become visible; be seen

**C: Word study and definitions:**

1 Duplexer:	A device to isolate the transmitter from the receiver during radar operation
2 Indicator:	A device to show a desired kind of information
3 Plan-Position Indicator (PPI):	An instrument used in radar directly to indicate the range and direction of a target
4 Range:	The distance between the instrument and a target or the distance capability of a radar
5 Target:	The object whose position is to be determined

## Unit 6

### HOW RADIO WORKS

#### Radio Waves:

Radio transmitters work by supplying a rapidly changing electrical current to an aerial (antenna), to create a changing electromagnetic field. The speed at which these currents change controls the speed at which the electromagnetic field around the aerial changes. This is measured in hertz (Hz).

1Hz 1 hertz 1 cycle per second

1 kHz 1 kilohertz 1 thousand cycles per second

1MHz 1 megahertz 1 million cycles per second

1GHz 1 gigahertz 1 billion cycles per second

Consider the image of a pebble dropped into a pond, with the pebble representing the transmitter. The radiating ripples represent the fluctuating electromagnetic fields. These fields are called radio waves, and they radiate out from the aerial at the speed of light. Marine VHF radio operates at a frequency of approximately 156MHz, while MF/HF (single sideband or SSB) radios operate at frequencies from about 2MHz to 22MHz. The different frequencies have different characteristics for specific purposes, and are subdivided into bands:

#### Frequency range Band classification

10–30 kHz Very low frequency VLF

30–300 kHz Low frequency LF

300–3000 kHz (3MHz) Medium frequency MF

3–30 MHz High frequency HF

30–300 MHz Very high frequency VHF

300–3000 MHz (3GHz) Ultra-high frequency UHF

3GHz–30GHz Super-high frequency SHF.

#### Receiving Messages

It is frequently necessary to know how well the other station is receiving you, especially when the point in continuing to transmit if the other station can hardly hear you, or make out your message. Equally, you may need to inform the other station that you can hear him only with difficulty. Ability to make out the message is called readability, from the verb to read, meaning

«to receive sufficiently well to make out the message». Information about the readability of a signal is reported by a simple code of numbers from 0 (unusable) to 5 (excellent). The overall readability of the received transmission is reported by use of the Readability Code:

One = unusable

Two = poor

Three = fair

Four = good

Five = excellent

Example:

- «How do you read me?»

- «I read you three.»



Figure 23– Practical Radio

## Making Contact

An initial call is the transmission by which a station starts or re-establishes an exchange.

### 1 Address

This is the identification of the station being called and will normally consist of one or more of the following:

a. name

⇒ not more than three times

b. call sign

If the name or call sign are not known, the address will consist of one or more of the following, given in order of effectiveness, and preceded by the phrase ...« All ships ... calling unknown ship ...»

c. ship description

d. position

e. course and speed

The address is to be repeated once when making the initial call. It is not necessary to repeat it when addressing at other stages of the exchange.

### 2 Identify

This is the identification of the station making the call, preceded by the phrase → «This is ...»

It will normally consist of name and call sign, ship description, position, course and speed. The identification is to be repeated once when making the initial call.

3 State VHF channel on which call is being made. This must be included in the initial call as most ships and shore stations listen to more than one VHF channel at the same time. e.g. ⇒  
- «On VHF channel one-six.»

4 Over

The word «over» is to be used whenever a transmission is finished and a reply expected. It indicates to the other stations that you have finished talking and are about to release the transmit switch, thus making it possible for him to reply. Example of an initial call:

{ Rose Maru, Juliette Alfa Alfa Alfa.  
Rose Maru, Juliette Alfa Alfa Alfa.  
This is Rattler, Golf xray xray xray;  
Rattler, Golf xray xray xray;  
On VHF channel one-six.  
Over.

To respond to call, the same procedure should be followed. e.g.

{ Rattle, Golf Xray Xray Xray.  
This is Rose Mary, Juliette Alfa Alfa Alfa.  
Over.

### Agree or Disagree with VHF channel:

If possible the other station must agree with the controlling station's choice of working VHF channel. If it is not possible to agree, the other station must then make a disagree VHF channel transmission. If the controlling station neglects to state the working VHF channel, the other station must then make and ask VHF channel transmission.

#### Example:

- Rattler. This is Rose Maru. Agree VHF channel zero-six. Over.  
- Rattler. This is Rose Maru. VHF channel zero- six unable. VHF channels available are zero-eight through one-zero, and seven-zero. Over.

Question:

- Rattler. This is Rose Maru. Which VHF channel?  
Over.



Figure 24– VHF Channel Radio

## When to Use Distress, Urgency and Safety Procedure:

### 1 Distress

When a ship or an aircraft is threatened by grave and imminent danger, and request immediate assistance, must use the word «Mayday» as a prefix of her message. Example:

Mayday Mayday Mayday. This is Rattler Rattler Rattler. Rattler Xray Xray Xray. My position is five-zero degrees three-zero minutes North, zero-three-nine degrees two-zero minutes West. I have collided with an iceberg. I am sinking. I require immediate assistance. Over.



Figure 25– Radio Room

### 2 Urgency

This type of procedure is used when a station has to transmit a message concerning the safety of a ship, an aircraft, or other vessels, or the safety of a person. Example:

Pan-Pan Pan-Pan Pan-Pan. This is Vega Vega Vega, Pan-Pan Vega seven Victor Alfa Tango. My Position is Zero-nine-zero degrees true, from Ras Sarkan, one-five miles. I have lost my propeller. I require tow. Over.

Safety (say-cure-e-tay)

This is the transmission by which the station sending it has a message to transmit an important navigational or meteorological warning. The transmission will be prefaced with the safety marker «securite» pronounced say-cure-e-tay. It must be conducted on a working VHF channel unless it is impossible to do so. This message is only to be made with the authorization of the Master or person responsible for the ship or aircraft. Example:

Securite Securite Securite. All ships. This is Arcadia Arcadia Arcadia. Securite. Arcadia, Charlie Alfa AlfaAlfa. Deca warning. Switch to VHF channel zero-six. Over.

## EXERCISES

**A: Read each statement carefully and decide whether it is true or false. Write «T» for true statements and «F» for false ones.**

- 1 ... Electromagnetic fields are called sound waves.
- 2 ... Ability to make out the message is called readability.
- 3 ... The word «over» is to be used whenever a transmission is finished and a reply expected.
- 4 .... In urgency messages we must use the word «Mayday» as a prefix of his message.
- 5 ..... Safety messages must be conducted on a working HF channel.

**B. Match the items in column A with their appropriate equivalent in column B . Insert a, b, c, ... in the parentheses provided.**

	A	B
1	function ( )	a play a great role
2	besides ( )	b surrounding
3	course ( )	c if
4	whether ( )	d not moving ; stationary
5	fixed ( )	e in addition to
6	vicinity ( )	f direction
7	special ( )	g particular

**C: Word study and definitions:**

Frequency	The number of recurring alternations in an electrical wave, such as AC, radio waves, etc.
hertz (Hz)	Cycles per second (cps), the unit of frequency.
noise	Any unwanted signal that is unrelated to the desired signal.
UHF	Ultra-high-frequency radio and TV frequencies above 300 MHz.

ارزشیابی مرحله ای کسب اطلاعات فنی

نمره	استاندارد (شاخص ها، داوری، نمره دهی)	نتایج ممکن	استاندارد عملکرد (کیفیت)	تکالیف عملکردی (شایستگی ها)	عنوان پودمان فصل
۳	۱- کاربرد اصطلاحات تخصصی را بداند. ۲- توانایی نقشه خوانی، کاتالوگ خوانی و استفاده از برگه اطلاعات را داشته باشد. ۳- توانایی استخراج و کسب اطلاعات از منابع به روز را داشته باشد. * هنرجو توانایی انجام همه شاخص ها را داشته باشد.	بالاتر از حد انتظار	به کارگیری اطلاعات فنی در حوزه تخصصی	توانایی کسب اطلاعات فنی	کسب اطلاعات فنی
۲	۱- کاربرد اصطلاحات تخصصی را بداند. ۲- توانایی نقشه خوانی، کاتالوگ خوانی و استفاده از برگه اطلاعات را داشته باشد. ۳- توانایی استخراج و کسب اطلاعات از منابع به روز را داشته باشد. * هنرجو توانایی انجام دو مورد از شاخص ها را داشته باشد.	در حد انتظار			
۱	۱- کاربرد اصطلاحات تخصصی را بداند. ۲- توانایی نقشه خوانی، کاتالوگ خوانی و استفاده از برگه اطلاعات را داشته باشد. ۳- توانایی استخراج و کسب اطلاعات از منابع به روز را داشته باشد. * هنرجو توانایی انجام یک مورد از شاخص ها را داشته باشد.	پایین تر از حد انتظار			
	نمره مستمر از ۵				
	نمره شایستگی پودمان از ۳				
	نمره پودمان از ۲۰				



## ارزشیابی شایستگی کسب اطلاعات فنی

<p><b>شرح کار:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- پاسخگویی به کلیه فعالیت‌های پودمان</li> <li>- شرکت در بحث‌های کلاسی</li> <li>- ارائه سخنرانی با موضوع دلخواه</li> </ul> <p><b>استاندارد عملکرد:</b></p> <p>به‌کارگیری اطلاعات فنی در حوزه تخصصی</p> <p><b>شاخص‌ها:</b></p> <p>توانایی خواندن، نوشتن و بیان اطلاعات فنی</p>			
<p><b>شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:</b></p> <p><b>شرایط:</b> کلاس درس مجهز به پرده‌نگار باشد.</p> <p><b>ابزار و تجهیزات:</b> در کلاس امکان نمایش فایل‌های صوتی و تصویری وجود داشته باشد.</p>			
<p><b>معیار شایستگی:</b></p>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	توانایی کاربرد اصطلاحات تخصصی	۲	
۲	توانایی استخراج و بیان اطلاعات فنی از منابع مختلف	۱	
	<p><b>شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشتی، توجهات زیست‌محیطی</b></p> <p>۱- رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها</p> <p>۲- دقت و تمرکز در اجرای کار</p> <p>۳- شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر</p> <p>۴- اخلاق حرفه‌ای</p>	۲	
	<b>میانگین نمرات</b>		*

\* حداقل میانگین نمرات هنجار برای قبولی و کسب شایستگی (۲) می‌باشد.

- ۱ ماشین‌های الکتریکی DC، امیرحسین ترکمانی. دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ۱۳۹۲.
- ۲ ماشین‌های الکتریکی AC، محمد علی مددی. دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ۱۳۹۲.
- ۲ مدارهای الکتریکی، علی عراقی، فریدون علومی. دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ۱۳۹۲.
- ۴ مبانی مخابرات و رادیو، سید محمود صموتی، یدالله رضازاده، شهرام نصیری سواد کوهی و محمود شبانی، ۱۳۹۱.
- ۵ الکترونیک عمومی، سید محمود صموتی، شهرام نصیری سواد کوهی، ۱۳۹۱.
- ۶ برنامه درسی رشته الکترونیک و مخابرات دریایی. (۱۳۹۳). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.
- ۷ استاندارد شایستگی حرفه رشته الکترونیک و مخابرات دریایی. (۱۳۹۲). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.
- ۸ استاندارد ارزشیابی حرفه رشته الکترونیک و مخابرات دریایی. (۱۳۹۲). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.
- ۹ شیوه نامه نحوه ارزشیابی دروس شایستگی‌های فنی و غیرفنی شاخه‌های فنی و حرفه‌ای
- ۱۰ برنامه درسی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۱.

#### ارگان‌ها و مؤسساتی که در فرایند اعتبارسنجی این کتاب مشارکت داشته‌اند:

- ۱ اداره کل امور دریایی و سازمان‌های تخصصی بین‌المللی سازمان بنادر و دریانوردی؛
- ۲ مؤسسه آموزشی کشتیرانی جمهوری اسلامی ایران؛
- ۲ نیروی دریایی راهبردی ارتش جمهوری اسلامی ایران؛
- ۴ نیروی دریایی سپاه پاسداران انقلاب اسلامی ایران؛
- ۵ مرزبانی نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران؛
- ۶ دبیرخانه کشوری هنرستان‌های علوم و فنون دریایی.

