

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰى مُحَمَّدٍ وَّ اٰلِ مُحَمَّدٍ وَّ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ



مبانی الکتریسیته

پایه دهم

دوره دوم متوسطه

شاخه کاردانش

زمینه صنعت

گروه تحصیلی برق و رایانه

رشته‌های مهارتی: برق ساختمان – برق صنعتی – نصب و سرویس آسانسور –

ماشین‌های الکتریکی – تعمیر لوازم خانگی برقی – تابلوسازی برق صنعتی

نام استاندارد مهارتی مبنا: برقکار صنعتی درجه (۲)

کد استاندارد متولی: ۵۵/۱۵/۲/۴ – ۸

خدادادی، شهرام

مبانی الکتریسیته / مؤلف: شهرام خدادادی – تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران

ص: ۳۴۰. مصور – شاخه کاردانش

متون درسی شاخه کاردانش، زمینه صنعت، گروه تحصیلی برق و رایانه، رشته‌های مهارتی برق ساختمان – برق صنعتی – نصب

و سرویس آسانسور – ماشین‌های الکتریکی – تعمیر لوازم خانگی برقی – تابلوسازی برق صنعتی

برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ۱. برق. الف. ایران. وزارت

آموزش و پرورش. دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش. ب. عنوان.

۶۵۷

ح ۵۶۱ ش /



www.Daneshchi.iR





وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



نام کتاب: مبانی الکترونیسته - ۳۱۰۱۵۳
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: شهرام خدادادی (مؤلف) - سید محمود صموتی (ویراستار فنی) - معصومه سلطان رضوانفر (ویراستار ادبی)
مدیریت آماده‌سازی هنری: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: جواد صفری (مدیر هنری) - سورش سعادت‌مندی (صفحه‌آرا) - محمد سیاحی و مسعود مرادخانی (رسم و گرافیک رایانه‌ای) - مریم کیوان (طراح جلد)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی) تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹
دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب‌گاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (دارو پخش)
تلفن: ۵ - ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ - ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ هشتم ۱۴۰۲

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



ملت شریف ما اگر در این انقلاب بخواهد پیروز شود باید دست از آستین برآرد
و به کار پردازد. از متن دانشگاه‌ها تا بازارها و کارخانه‌ها و مزارع و باغستان‌ها تا
آنجا که خودکفا شود و روی پای خود بایستد.

امام خمینی «قَدِسَ سِرُّهُ»

..... مقدمه ۳

..... فصل اول: آشنایی با الکتریسیته ۳

۴	پیش‌آزمون (۱).....
۵	۱- تاریخچه.....
۵	۱-۱- ساختمان ماده.....
۸	۱-۱-۱- ویژگی‌های اتم و ذرات آن.....
۸	۱-۲- چگونگی ایجاد جریان الکتریکی.....
۹	آزمون پایانی (۱).....
۱۰	خودآزمایی عملی.....

..... فصل دوم: هادی‌ها، عایق‌ها، نیمه‌هادی‌ها ۱۳

۱۴	پیش‌آزمون (۲).....
۱۵	۲- هادی‌ها، عایق‌ها و نیمه‌هادی‌ها.....
۱۵	۲-۱- هادی‌ها.....
۱۵	۲-۲- عایق‌ها.....
۱۶	۲-۳- نیمه‌هادی‌ها.....
۱۸	۲-۴- بار الکتریکی و اتم باردار.....
۱۹	۲-۵- قانون کولن.....
۲۰	۲-۶- میدان الکتریکی.....
۲۱	۲-۷- میدان الکتریکی یکنواخت.....
۲۲	آزمون پایانی (۲).....
۲۴	خودآزمایی عملی.....

پیش‌آزمون (۳).....	۲۶
۳- کمیت‌های الکتریکی	۲۷
۳-۱- شدت جریان	۲۷
۳-۲- اختلاف سطح الکتریکی و چگونگی ایجاد آن به وسیله انرژی‌های مختلف	۲۹
۳-۳- روش‌های تولید و مصرف الکتریسیته	۳۱
۳-۳-۱- تولید الکتریسیته	۳۱
۳-۳-۲- مصرف الکتریسیته	۳۴
۳-۳-۳- هدایت و مقاومت مخصوص	۳۵
۳-۴- مقاومت الکتریکی	۳۶
۳-۴-۱- عوامل فیزیکی مؤثر در مقدار مقاومت الکتریکی سیم	۳۶
۳-۴-۲- عوامل الکتریکی مؤثر در مقاومت	۳۸
۳-۴-۳- چگونگی تبدیل واحدها به یکدیگر	۳۹
۳-۵- انواع مقاومت‌ها	۴۱
۳-۵-۱- مقاومت‌های ثابت	۴۱
۳-۵-۲- مقاومت‌های متغیر	۴۱
۳-۵-۳- مقاومت وابسته به حرارت (ترمیستور)	۴۳
۳-۵-۴- اثر حرارت بر مقاومت الکتریکی	۴۳
۳-۵-۵- مقاومت وابسته به نور (فتورزیستور)	۴۵
۳-۵-۶- مقاومت وابسته به ولتاژ (واریستور)	۴۵
۳-۶- تکنیک ساخت مقاومت‌ها	۴۵
۳-۶-۱- مقاومت‌های توده کربنی (ترکیب کربن)	۴۵
۳-۶-۲- مقاومت‌های لایه‌ای	۴۶
۳-۶-۳- مقاومت‌های سیمی	۴۷
۳-۷- نحوه خواندن مقدار مقاومت‌ها	۴۷
۳-۷-۱- خواندن مقاومت‌ها با روش مستقیم	۴۷
۳-۷-۲- خواندن مقاومت‌ها به کمک نوارهای رنگی	۴۸
۳-۸- استاندارد مقاومت‌ها	۵۰
۳-۹- توان مجاز مقاومت‌ها	۵۲
آزمون پایانی (۳)	۵۳
خودآزمایی عملی	۵۶

فصل چهارم: قوانین اساسی الکتریسیته ۵۷

۵۸	پیش آزمون (۴)
۵۹	۴- مدار الکتریکی
۶۲	۴-۱- قانون اهم
۶۴	۴-۱-۱- قوانین کیرشهف
۶۵	۴-۱-۲- تعریف شاخه
۶۵	۴-۱-۳- تعریف گره
۶۵	۴-۱-۴- تعریف حلقه
۶۷	۴-۲- قانون ولتاژها (KVL)
۶۸	۴-۳- قانون جریانها (KCL)
۷۱	آزمون پایانی (۴)
۷۴	خودآزمایی عملی

فصل پنجم: اصول محاسبات مدارهای ساده مقاومتی در جریان مستقیم ۷۵

۷۶	پیش آزمون (۵)
۷۷	۵-۱- اتصالات مقاومتها
۷۷	۵-۱-۱- اتصال سری مقاومتها
۸۵	اطلاعات اولیه آزمایشگاهی
۹۶	۵-۱-۲- اتصال موازی مقاومتها
۱۰۸	۵-۱-۳- اتصال ترکیبی «سری - موازی» مقاومتها
۱۱۲	۵-۲- افت ولتاژ در هادیها
۱۱۴	۵-۳- انواع پیلها
۱۱۵	۵-۳-۱- پیلهای اولیه
۱۱۶	۵-۳-۲- پیلهای ثانویه
۱۱۷	۵-۴- اتصالات پیلها
۱۱۷	۵-۴-۱- اتصال سری پیلها
۱۲۰	۵-۴-۲- اتصال متقابل پیلها
۱۲۴	۵-۴-۳- اتصال موازی پیلها
۱۳۰	۵-۵- شدت جریان در مدارهای ترکیبی «سری - موازی»
۱۳۰	۵-۶- ولتاژ در مدارهای ترکیبی «سری - موازی»
۱۴۲	آزمون پایانی (۵)

فصل ششم: کار و توان الکتریکی ۱۴۷

پیش‌آزمون (۶)	۱۴۸
۱-۶- کار الکتریکی	۱۴۹
۲-۶- حرارت ایجاد شده توسط الکتریسیته	۱۵۰
۳-۶- توان الکتریکی	۱۵۱
۱-۳-۶- استاندارد توان در مقاومت‌های اهمی	۱۵۷
۲-۳-۶- محاسبه هزینه برق مصرفی	۱۵۷
۴-۶- ضریب بهره (راندمان) الکتریکی	۱۵۸
آزمون پایانی (۶)	۱۶۱
خودآزمایی عملی	۱۶۲

فصل هفتم: مغناطیس و الکترومغناطیس ۱۶۳

پیش‌آزمون (۷)	۱۶۴
۱-۷- مغناطیس چیست؟	۱۶۵
۲-۷- خطوط نیروی مغناطیس و میدان مغناطیسی	۱۶۷
۳-۷- الکترومغناطیس	۱۶۸
۴-۷- قانون دست راست برای یک هادی جریان‌دار	۱۶۹
۵-۷- نیروی وارد بر دو هادی جریان‌دار	۱۷۱
۶-۷- کمیت‌های مغناطیسی	۱۷۱
۱-۶-۷- نیروی محرکه مغناطیسی	۱۷۱
۲-۶-۷- شدت میدان مغناطیسی	۱۷۲
۳-۶-۷- ضریب نفوذ مغناطیسی	۱۷۲
۴-۶-۷- مقاومت مغناطیسی	۱۷۳
۵-۶-۷- مدارهای مغناطیسی	۱۷۳
۷-۷- سلف (اندوکتانس - L)	۱۷۵
۸-۷- عوامل فیزیکی مؤثر در ضریب خودالقایی	۱۷۶
۹-۷- عملکرد سلف در جریان الکتریکی	۱۷۷
۱-۹-۷- رفتار سلف در جریان مستقیم (DC)	۱۷۷
۲-۹-۷- شارژ و دشارژ (ثابت زمانی سلفی)	۱۷۸
۱۰-۷- نیروی ضد محرکه	۱۸۲
۱۱-۷- خودالقایی از نقطه نظر انرژی	۱۸۳

۱۸۳.....	۷-۱۲- انرژی ذخیره شده در سلف
۱۸۴.....	۷-۱۳- القا متقابل
۱۸۸.....	آزمون پایانی (۷)
۱۹۲.....	خودآزمایی عملی

فصل هشتم: خازن ۱۹۷

۱۹۸.....	پیش‌آزمون (۸)
۱۹۹.....	۸-۱- میدان الکتریکی
۲۰۰.....	۸-۲- ساختمان خازن
۲۰۰.....	۸-۳- ظرفیت خازن
۲۰۱.....	۸-۴- شارژ و دشارژ خازن در جریان مستقیم
۲۰۲.....	۸-۵- عوامل مؤثر در ظرفیت خازن
۲۰۳.....	۸-۵-۱- سطح صفحات خازن (A)
۲۰۳.....	۸-۵-۲- فاصله بین صفحات خازن (d)
۲۰۳.....	۸-۵-۳- ماده عایق (دی‌الکتریک - K)
۲۰۴.....	۸-۶- عملکرد خازن در جریان الکتریکی
۲۰۴.....	۸-۶-۱- رفتار خازن در جریان مستقیم (DC)
۲۰۵.....	۸-۶-۲- شارژ و دشارژ (ثابت زمانی خازنی)
۲۰۷.....	۸-۷- خازن از نقطه نظر انرژی
۲۰۷.....	۸-۸- انرژی ذخیره شده در خازن
۲۰۸.....	۸-۹- ظرفیت نامی خازن
۲۰۸.....	۸-۱۰- انواع خازن‌ها و کدهای رنگی آنها
۲۰۸.....	۸-۱۰-۱- خازن‌های ثابت
۲۱۰.....	۸-۱۰-۲- اطلاعاتی در مورد خازن‌های الکترولیتی
۲۱۱.....	۸-۱۰-۳- خازن‌های متغیر
۲۱۲.....	۸-۱۰-۴- روش مقدار نویسی ظرفیت روی بدنه خازن‌ها
۲۱۳.....	۸-۱۱- به هم بستن خازن‌ها
۲۱۳.....	۸-۱۱-۱- اتصال سری خازن‌ها
۲۲۲.....	۸-۱۱-۲- اتصال موازی خازن‌ها
۲۳۰.....	۸-۱۱-۳- اتصال ترکیبی خازن‌ها
۲۳۶.....	آزمون پایانی (۸)

فصل نهم: جریان متناوب ۲۴۱

پیش‌آزمون (۹)	۲۴۲
۹-۱- جریان متناوب چیست؟	۲۴۴
۹-۲- مقایسه جریان مستقیم و جریان متناوب در یک سیم	۲۴۴
۹-۳- شکل موج‌ها در جریان متناوب	۲۴۵
۹-۴- تولید جریان متناوب توسط ژنراتور	۲۴۶
۹-۵- قانون دست راست در مورد ژنراتورها	۲۴۸
۹-۶- مشخصات جریان متناوب	۲۴۸
۹-۶-۱- سیکل	۲۴۸
۹-۶-۲- فرکانس (f)	۲۴۸
۹-۶-۳- زمان تناوب (T)	۲۴۹
۹-۶-۴- طول موج (λ)	۲۴۹
۹-۶-۵- سرعت زاویه‌ای (ω)	۲۴۹
۹-۶-۶- مقدار پیک یا ماکزیمم (mak - peak)	۲۵۰
۹-۶-۷- دامنه	۲۵۱
۹-۶-۸- مقدار متوسط (ave)	۲۵۱
۹-۶-۹- مقدار مؤثر (e - eff)	۲۵۱
۹-۶-۱۰- فاز	۲۵۲
۹-۶-۱۱- اختلاف فاز	۲۵۳
۹-۷- مدارهای جریان متناوب	۲۵۴
۹-۷-۱- مدارهای اهمی خالص	۲۵۴
۹-۷-۲- مدارهای خازنی خالص	۲۵۵
۹-۷-۳- مدارهای سلفی خالص	۲۵۶
۹-۷-۴- بردار	۲۵۸
۹-۷-۵- مدارهای ترکیبی جریان متناوب	۲۵۸
۹-۸- انواع توان در جریان متناوب تکفاز	۲۸۱
آزمون پایانی (۹)	۳۰۱

فصل دهم: اصول کار مولدهای جریان مستقیم ۳۰۹

پیش‌آزمون (۱۰)	۳۱۰
۱-۱۰- شناسایی اصول کار مولد جریان مستقیم	۳۱۱
آزمون پایانی (۱۰)	۳۱۵

فصل یازدهم: اصول کار آلترناتورهای سه فاز ۳۱۷

پیش‌آزمون (۱۱)	۳۱۸
۱-۱۱- اتصالات آلترناتور سه فاز	۳۱۸
۱-۱۱-۱- اتصال کلاف‌ها	۳۱۹
۱-۱۱-۲- فرکانس خروجی آلترناتور	۳۲۱
۱-۱۱-۳- جریان‌ها و ولتاژها در اتصالات ستاره و مثلث متعادل	۳۲۱
۱-۱۱-۳-۱- مقدار ولتاژ و جریان در اتصال ستاره و مثلث	۳۲۲
۱-۱۱-۳-۲- بار متعادل و نامتعادل	۳۲۳
۱-۱۱-۴- انواع توان در مدارات سه فاز	۳۲۴
آزمون پایانی (۱۱)	۳۲۶

منابع و مآخذ ۳۴۰

یک کتاب درسی هنگامی که به صورت خودآموز در اختیار فراگیر قرار می‌گیرد می‌بایستی علاوه بر یکنواخت نمودن سطح آموزش فراگیران موجب هماهنگی بین محتوای درس شود.

نظر به تقاضای مکرر هنرآموزان و هنرجویان سراسر کشور مبنی بر عدم وجود کتاب درسی خاصی در شاخه کاردانش، دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش با همکاری شرکت صنایع آموزشی درصدد برآمد تا در زمینه استانداردهای مهارتی، کتاب‌های تخصصی تهیه و تألیف نماید. براساس این تصمیم موضوع به کمیسیون‌های برنامه‌ریزی رشته‌های مختلف ارجاع داده شد. در کمیسیون‌های مربوطه ابتدا استانداردهای مهارتی به واحدهای کوچک‌تری تقسیم‌بندی و سپس واحدهای هم‌خانواده مرتبط با هم در پیمانه‌های مهارتی (پودمان) دسته‌بندی شده به‌طوری که هر پیمانه مهارتی یک کتاب درسی کاردانش را تشکیل می‌دهد.

پیمانه مبانی الکتریسیته از جمله پیمانه‌هایی است که در تمام مهارت‌های برق وجود دارد، اما از نظر سرفصل تعریف شده در استانداردها، با یکدیگر تفاوت‌هایی دارد.

جدول صفحه بعد ساعات این پیمانه در مهارت‌های گوناگون را نشان می‌دهد. به همین دلیل تصمیم نهایی بر آن شد که کتابی با بیشترین زمان و سرفصل درسی مشترک تهیه شود که پس از تأمین نظرات کمیسیون تخصصی رشته برق این امر محقق شد. به این ترتیب کلیه رشته‌های مندرج در جدول می‌توانند از این کتاب برای آموزش مبانی الکتریسیته استفاده کنند. در این شرایط لازم است هنرآموزان و مربیان محترم با توجه به این محتوی و تعداد ساعات رشته و استاندارد مهارتی، قسمت‌هایی از کتاب که استاندارد را پوشش می‌دهد انتخاب کرده و آموزش دهند. یادآور می‌شود ارزشیابی پایانی می‌بایست با توجه به استاندارد مهارتی که آموزش داده شده است انجام پذیرد. روند کار نگارش این کتاب بدین صورت بود که پس از تهیه جداول پیمانه‌ها مؤلف موظف شد یک فصل را مطابق استاندارد مهارتی مبنا نوشته و تحویل کمیته هماهنگی نماید. این کار انجام شد و کمیته هماهنگی براساس چک‌لیست ۲۱ ماده‌ای، کار تهیه و نگارش سایر فصل‌ها ادامه یافت تا اینکه مجموعه تکمیل و تحویل کمیسیون تخصصی دفتر تألیف شد و طی مراحل مختلف نسخه دست‌نویس کتاب مورد بررسی، اصلاحات و ویراستاری فنی و ادبی قرار گرفت و در نهایت مورد تصویب کمیسیون تخصصی نیز واقع شد.

جمع	ساعات تدریس		استاندارد مهارت و آموزش
	عملی	تئوری	
۱۵۰	۱۲	۱۳۸	برق صنعتی درجه ۲
۱۴۲	۱۲	۱۳۰	ماشین‌های الکتریکی درجه ۲
۱۵۰	۱۲	۱۳۸	برق ساختمان درجه ۲
۹۰	۱۰	۸۰	تعمیرکار لوازم خانگی برقی گردنده و حرارتی

همان‌گونه که اشاره شد چون مبنای نگارش کتاب‌ها طبق نظر کمیته هماهنگی تألیف کتاب‌های درسی شاخه‌کار دانش، استانداردهای مهارتی سازمان آموزش فنی و حرفه‌ای کشور و به روش پودمان تعیین شده بود، در این کتاب که مشتمل بر یازده فصل می‌باشد سعی شده تا این نکات رعایت شود. از آنجایی که هیچ اثری خالی از اشکال و ایراد نیست، امید است که صاحب‌نظران عزیز با ارائه پیشنهادات و انتقادهای خود برای رفع کتاب در چاپ‌های بعد، مؤلف را یاری فرمایند.

در خاتمه وظیفه خود می‌دانم از اعضای کمیسیون تخصصی برق، کمیته هماهنگی و کلیه کسانی که به طرق مختلف در شکل‌گیری این کتاب، مرا یاری و راهنمایی کرده‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

مؤلف

پودمان ۱

(M_۱)

هدف کلی پودمان:

پس از پایان این پودمان مهارتی فراگیر با:
اصول مقدماتی الکتریسیته آشنا شده و توانایی انجام محاسبات و اجرای آزمایش‌های مربوطه را کسب می‌کند.

واحد کار مبانی الکتریسیته

ساعت			عنوان توانایی	شماره توانایی	واحد کار
جمع	عملی	نظری			
۱۵۰	۱۲	۱۳۸	توانایی انجام محاسبات و آزمایش‌های مربوط به اصول مقدماتی الکتریسیته	۱۳	۸
۱۵۰	۱۲	۱۳۸	جمع کل		

فصل ۱

آشنایی با الکتریسیته

هدف کلی فصل:

آشنایی با الکتریسیته و خصوصیات آن

هدف‌های رفتاری:

در پایان این فصل انتظار می‌رود که فراگیر بتواند:

- ۱ ماده را تعریف کند و اجزای آن را نام ببرد.
- ۲ خصوصیات اجزای ماده را شرح دهد.
- ۳ نحوه ایجاد جریان الکتریکی را توضیح دهد.

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۱/۵	-	۱/۵

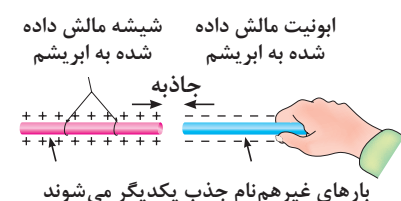
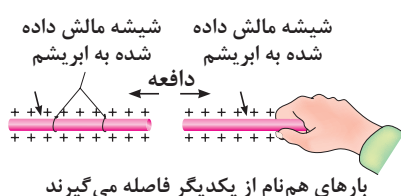
پیش آزمون (۱)

- ۱ آیا پدیده رعد و برق آسمان تولید الکتریسیته است؟
 الف) بستگی به شدت روشنایی آن دارد.
 ب) خیر
 ج) بستگی به وضعیت جغرافیایی منطقه دارد.
 د) بلی
- ۲ چرا در اثر تماس شانه به مو تکه‌های کاغذ جذب آن می‌شوند؟
 الف) چون تکه‌های کاغذ سبک هستند.
 ب) زیرا جنس شانه از پلاستیک است.
 ج) شانه دارای بار الکتریکی می‌شود.
 د) بین شانه و کاغذ الکتریسیته جاری می‌شود.
- ۳ مفهوم بار الکتریکی چیست؟
 الف) مقدار الکتریسیته موجود در یک جسم
 ب) مقدار جریانی که باید انتقال یابد.
 ج) انرژی که یک لامپ را روشن می‌کند.
 د) انرژی که یک مولد را می‌چرخاند.
- ۴ نام دیگر الکتریسیته مالشی چیست؟
 الف) الکتریسیته جاری
 ب) الکتریسیته مغناطیسی
 ج) الکتریسیته ساکن
 د) الکتریسیته متغیر
- ۵ انرژی الکتریکی موردنیاز برای روشنایی منازل از چه طریقی تأمین می‌شود؟
 الف) باتری
 ب) مالش
 ج) ژنراتور AC
 د) ژنراتور DC
- ۶ آیا تفاوتی بین الکتریسیته رعد و برق و الکتریسیته به کار رفته در یک لامپ وجود دارد؟
 الف) بلی
 ب) خیر
 ج) در برخی موارد
 د) به نوع لامپ بستگی دارد
- ۷ علت به وجود آمدن جرقه بین دست و دستگیره درب بر اثر تماس پا با موکت یا فرش چیست؟
 الف) به وجود آمدن الکتریسیته جاری
 ب) به وجود آمدن الکتریسیته ساکن
 ج) بالا بودن میزان فشار پا روی موکت
 د) زبر و ضخیم بودن کرک موکت
- ۸ چرا در ساختمان‌های مرتفع از میله‌ای به نام برقگیر استفاده می‌شود؟
 الف) دریافت و ذخیره‌سازی الکتریسیته ساکن ناشی از رعد و برق
 ب) دریافت و انتقال الکتریسیته ساکن به زمین
 ج) دریافت امواج مغناطیسی مزاحم و حذف آن
 د) به کارگیری در ارتباطات مخابراتی ماهواره‌ای
- ۹ چرا در پشت ماشین‌های نفت کش بزرگ از یک زنجیر که با زمین در ارتباط است، استفاده می‌شود؟
 الف) برای ایجاد صدا و مشخص کردن نوع ماشین با توجه به بزرگی آن
 ب) برای علامت دادن به اتومبیل‌های پشت سر به منظور دقت در رانندگی
 ج) حذف جرقه ناشی از الکتریسیته ساکن و حفاظت تانکر از آتش‌سوزی
 د) به منظور انتقال گرمای ایجاد شده در اثر سایش لاستیک‌ها با زمین
- ۱۰ کدام یک از موارد زیر درباره الکتریسیته غلط است؟
 الف) برای تولید انرژی مکانیکی استفاده می‌شود.
 ب) در اثر اصطکاک بین یک میله پلاستیکی و پارچه پشمی می‌توان نوعی از آن را به وجود آورد.
 ج) از حرکت بارهای الکتریکی الکتریسیته به وجود می‌آید.
 د) در صنعت، الکتریسیته جاری کاربرد کمی دارد.

۱- تاریخچه



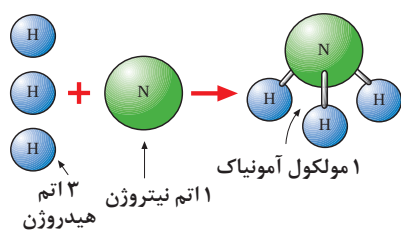
شکل ۱-۱- کهربا



شکل ۱-۲- اثر بارهای استاتیکی بر یکدیگر



شکل ۱-۳- حالت های مختلف ماده



شکل ۱-۴- ترکیب عناصر

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

الکتریسیته دو هزار سال پیش توسط یونانی‌ها کشف شد. آنها در آن زمان پی بردند وقتی یک کهربا^۱ به جسم دیگری مالش داده می‌شود، نیروی مرموز و خاصی در آن به وجود می‌آید که قادر است اجسامی مانند: برگ خشک و یا براده‌های چوب و... را جذب کند. (شکل ۱-۱) در ابتدا تمام اجسامی که مانند کهربا عمل می‌کردند «الکتریک» نام گرفتند. بعدها دریافتند که تعدادی از اجسام پس از مالش، یکدیگر را جذب و برخی دیگر یکدیگر را دفع می‌کنند. (شکل ۱-۲) فرانکلین در اواسط سال‌های ۱۷۰۰ میلادی این دو نوع الکتریسیته را که در دو جسم با جنس مختلف به وجود می‌آید، الکتریسیته «مثبت» و «منفی» نام‌گذاری کرد.

۱-۱- ساختمان ماده

به هر پدیده‌ای که فضا را اشغال نماید و جرم داشته باشد «ماده» گویند. در طبیعت ماده به سه شکل جامد، مایع و گاز وجود دارد. در شکل ۱-۳ به عنوان نمونه سه مورد آن نشان داده شده است.

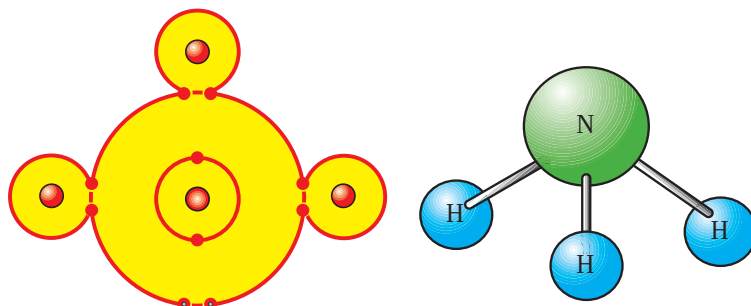
مواد به هر شکلی که باشند به صورت ساده یا مرکب هستند. موادی را که از یک عنصر تشکیل شده باشند، «مواد ساده» می‌نامند. مانند: هیدروژن و موادی را که از دو یا چند عنصر تشکیل شده‌اند، «مواد مرکب» گویند. مانند: آمونیاک. مواد مرکب با استفاده از عمل ترکیب ساخته می‌شوند. (شکل ۱-۴)

۱- کهربا: ماده‌ای زرد مایل به قهوه‌ای است که به صورت تکه‌های سخت مانند سنگ است.

کوچک‌ترین جزء یک ماده مرکب که هنوز خواص آن ماده را دارد «مولکول» می‌نامند. (شکل ۱-۵-الف) بر همین اساس به کوچک‌ترین جزء یک ماده ساده که هنوز خواص آن ماده را دارد نیز «اتم» گفته می‌شود. (شکل ۱-۵-ب).

ساختمان اتم هر عنصر از دو قسمت تشکیل شده است:

الف) هسته ب) مدارهای الکترونی



ب) اتم‌های عنصر

الف) تشکیل یک مولکول

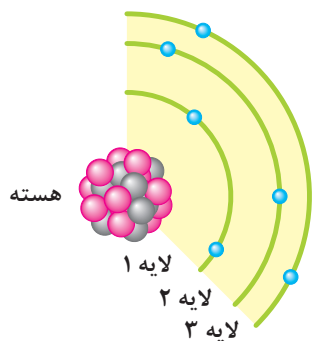
شکل ۱-۵- نحوه قرار گرفتن اتم‌ها در کنار یکدیگر



پروتون P^+
نوترون N^+

شکل ۱-۶- ذرات پروتون و نوترون

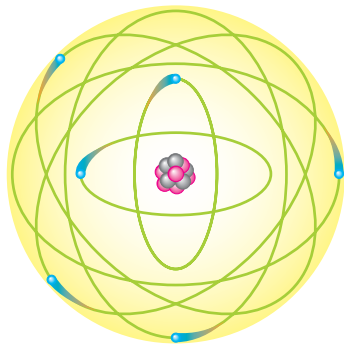
هسته هر اتم از دو ذره کوچک به نام‌های پروتون^۱ (بار مثبت P^+) و نوترون^۲ (بدون بار N^0) تشکیل شده است. (شکل ۱-۶)



شکل ۱-۷- نحوه قرار گرفتن اتم‌ها روی مدارها و پروتون و نوترون در هسته

بر روی مدارهای الکترونی ذراتی به نام الکترون^۳ (با بار منفی e^-) قرار دارند. شکل ۱-۷ قسمتی از یک اتم را نشان می‌دهد.

۱- Proton
۲- Neutron
۳- Electron



نوترون پروتون الکترون

شکل ۸-۱- مدل اتمی

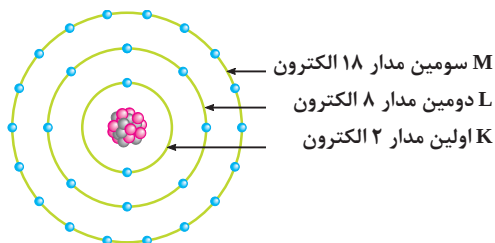
مدل اتمی عناصر مانند منظومه بسیار کوچک خورشیدی است که هسته اتم مانند خورشید و الکترون‌ها مانند سیارات بر روی مدارهایی حول هسته می‌چرخند. (شکل ۸-۱)

مدار خارجی هر اتم را «لایه والانس» و الکترون‌های روی این مدار را «الکترون‌های ظرفیت» می‌نامند. (شکل ۹-۱)

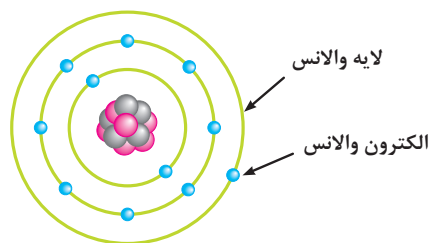
مدارهای الکترونی اتم‌ها را به ترتیب با حروف اختصاری K, L, M, N, O, ... مشخص می‌کنند. تعداد الکترون‌های روی هر مدار اتم از رابطه $(2n^2)$ محاسبه می‌شود. در این رابطه n نشان‌دهنده شماره مدار است. مثلاً برای تعیین تعداد الکترون‌های مدار اول (K) می‌توان نوشت:

$$2n^2 = 2 \times (1)^2 = 2 \text{ الکترون}$$

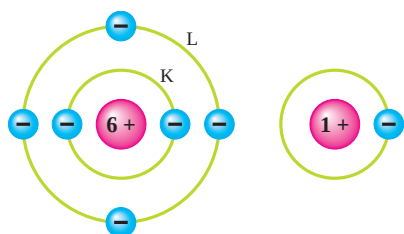
بنابراین در مدار اول تعداد دو الکترون وجود دارد. به همین ترتیب تعداد الکترون‌های مدارهای دیگر قابل محاسبه است. (شکل ۱۰-۱)



شکل ۱۰-۱- تعداد الکترون‌ها در هر مدار والانس



شکل ۹-۱- مدار والانس (ظرفیت)



الف) اتم هیدروژن با ظرفیت ۱
ب) اتم کربن با ظرفیت ۴

شکل ۱۱-۱- تعداد الکترون‌های مدار ظرفیت دو اتم مختلف

تعداد الکترون‌های مدار والانس هر اتمی همیشه بین ۱ تا ۸ الکترون است. تعداد این الکترون‌ها نشان‌دهنده ظرفیت آن اتم است. (شکل ۱۱-۱)

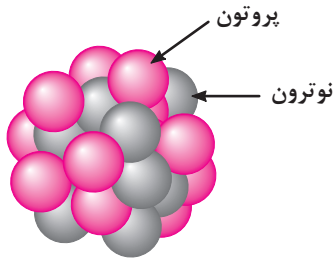
۱-۱-۱- ویژگی‌های اتم و ذرات آن

۱ جرم پروتون 1.67×10^{-27} kg مرتبه بیشتر از جرم الکترون است.

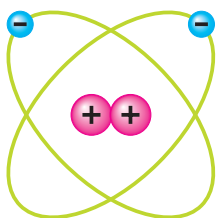
$$\left(\text{جرم الکترون} = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \text{ و } \text{جرم پروتون} = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg} \right)$$

۲ قطر پروتون $\frac{1}{3}$ قطر الکترون است.

$$\left(\text{قطر الکترون} = 1.9 \times 10^{-13} \text{ و } \text{قطر پروتون} = 5.6 \times 10^{-14} \right)$$



شکل ۱-۱۲- ساختمان هسته اتم



شکل ۱-۱۳- مدارها در اتم

۳ پروتون دارای بار مثبت و در هسته اتم قرار دارد. (شکل ۱-۱۲)

۴ نوترون بدون بار بوده و در هسته اتم قرار دارد. (شکل ۱-۱۲)

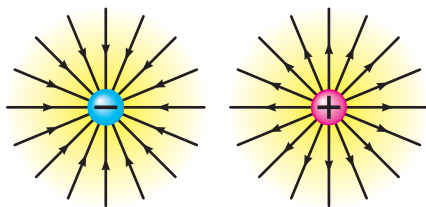
۵ الکترون دارای بار منفی است و روی مدارهای اطراف هسته می‌چرخد. (شکل ۱-۱۳)

۶ مدارهای الکترونی اطراف هسته بیضی شکل هستند. (شکل ۱-۱۳)

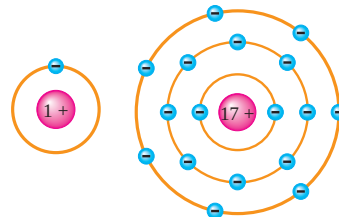
۷ در شرایط عادی تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های هر اتم با هم برابرند. (شکل ۱-۱۴)

۸ در طبیعت همه نیروهای مخالف مثبت و منفی موجود در اتم یکدیگر را خنثی می‌کنند و هیچ تأثیری روی هم ندارند. (شکل ۱-۱۴)

۹ طبق قرارداد در ذرات باردار اتم، جهت خطوط نیروی بارهای منفی به سمت داخل و جهت خطوط نیروی بارهای مثبت به سمت خارج تعیین شده است. (شکل ۱-۱۵)



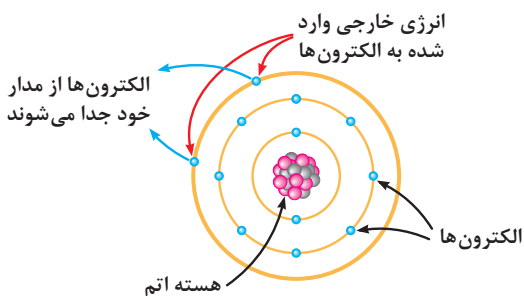
شکل ۱-۱۵- جهت خطوط نیرو در بارهای مثبت و منفی



شکل ۱-۱۴- الف) ۱۷ الکترون، ۱۷ پروتون ب) ۱ الکترون، ۱ پروتون

۱-۲- چگونگی ایجاد جریان الکتریکی

برای تولید جریان الکتریکی لازم است که الکترون‌های والانس از اتم جدا و آزاد شوند. چون الکترون‌های مدار آخر نسبت به هسته اتم دورتر هستند لذا نیروی جاذبه کمتری از طرف هسته روی آنها اثر می‌کند و بنابراین با وارد کردن مقدار کمی انرژی می‌توانند از مدار خود جدا شوند و به محل دیگری انتقال یابند. شکل ۱-۱۶ نحوه وارد شدن انرژی به الکترون‌های والانس و جدا شدن آنها از مدار خود را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۶- وضعیت قرارگیری اتم‌ها روی مدارها و چگونگی وارد شدن انرژی خارجی

آزمون پایانی (۱)

- ۱ کوچک‌ترین جزء یک ماده ساده یا عنصر را گویند.
 (الف) مرکب (ب) والانس (ج) ترکیب (د) اتم
- ۲ آمونیاک از تشکیل شده و یک است.
 (الف) هیدروژن و نیتروژن - ماده (ب) اکسیژن - ترکیب
 (ج) نیتروژن - ماده (د) هیدروژن و اکسیژن - ترکیب
- ۳ کدام یک از ذرات اتم به ترتیب از راست به چپ دارای بار منفی و مثبت هستند؟
 (الف) پروتون - الکترون (ب) نوترون - الکترون
 (ج) نوترون - پروتون (د) الکترون - پروتون
- ۴ مدار M چندمین مدار اتم است؟
 (الف) ۲ (ب) ۳ (ج) ۴ (د) ۵
- ۵ در ذرات باردار اتم، جهت خطوط نیروی بارهای در تمام جهت‌ها است و مستقیماً می‌شوند.
 (الف) خنثی - به بار وارد (ب) مثبت - از بار خارج
 (ج) مثبت - به بار وارد (د) منفی - از بار خارج
- ۶ شرط تولید جریان الکتریکی آن است که:
 (الف) مدارهای اتم بیضی شکل باشند. (ب) الکترون‌ها به اولین مدار اتم اضافه شوند.
 (ج) الکترون‌ها از اتم جدا شوند. (د) پروتون دارای بار الکتریکی مثبت باشد.
- ۷ جرم پروتون از جرم الکترون و قطر آن از قطر الکترون است.
 (الف) بیشتر - کمتر (ب) کمتر - کمتر (ج) بیشتر - بیشتر (د) کمتر - بیشتر
- ۸ در مدار ششم یک اتم حداکثر چند الکترون جای می‌گیرد؟
 (الف) ۵۰ (ب) ۳۲ (ج) ۱۸ (د) ۷۲
- ۹ جمله «اتم‌ها در طبیعت خنثی هستند» یعنی چه؟
 (الف) الکترون‌ها و پروتون‌ها بدون بار هستند.
 (ب) الکترون‌ها و نوترون‌ها بار خود را از دست داده‌اند.
 (ج) بارهای مثبت و منفی یکدیگر را خنثی می‌کنند.
 (د) در شرایط عادی تعداد الکترون‌ها بیشتر از تعداد پروتون‌ها است.
- ۱۰ اگر اتمی دارای ۳۲ الکترون باشد در مدار والانس آن چند الکترون قرار می‌گیرد؟
 (الف) ۴ (ب) ۳ (ج) ۲ (د) ۱
- ۱۱ بر روی کدام یک از مدارهای زیر حداکثر هشت الکترون جای می‌گیرد؟
 (الف) K (ب) L (ج) M (د) N

۱۲ کدام یک از گزینه‌های زیر نادرست است؟

الف) جرم پروتون بیشتر از الکترون و قطر آن کوچک‌تر از قطر الکترون است.

ب) مدارهای اطراف هسته بیضی شکل هستند و قطر الکترون بزرگ‌تر از قطر پروتون است.

ج) در شرایط عادی تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های هر اتم با هم برابرند.

د) پروتون دارای بار منفی است و روی مدارهای اطراف هسته می‌چرخد.

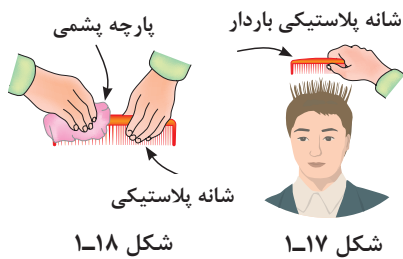
۱۳ تعداد الکترون‌های مدار والانس هر اتم نشان‌دهنده آن اتم است.

۱۴ هسته هر اتم از دو ذره کوچک به نام‌های پروتون و الکترون تشکیل شده است. ☐ صحیح ☐ غلط

۱۵ الکترون‌های هسته هر اتم را الکترون‌های والانس یا ظرفیت گویند. ☐ صحیح ☐ غلط

خودآزمایی عملی

۱ یک میله (شانه) پلاستیکی را با پارچه پشمی (یا موهای سرخود) مالش دهید. سپس موارد خواسته شده زیر را به طور جداگانه انجام داده و نتایج آن را ثبت کنید. (شکل ۱-۱۷ و ۱-۱۸)



.....

.....

.....

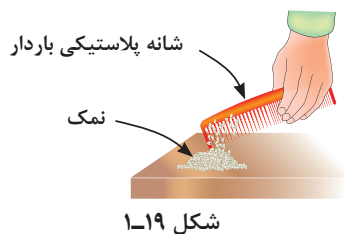
.....

نتیجه



پس از انجام هر قسمت، شانه یا میله را مجدداً به پارچه یا موی سر مالش دهید.

توجه



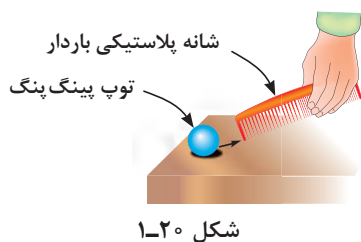
الف) شئی پلاستیکی را به ذرات نمک نزدیک کنید. (شکل ۱-۱۹)

.....

.....

.....

نتیجه



ب) شئی پلاستیکی را به توپ پینگ پنگ نزدیک کنید. (شکل ۱-۲۰)

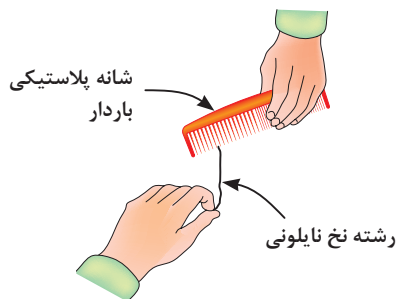
.....

.....

.....

نتیجه





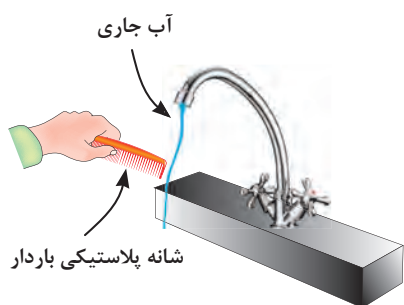
شکل ۱-۲۱

ج) شیء پلاستیکی را به یک رشته نخ نایلونی نزدیک کنید. (شکل ۱-۲۱)

نتیجه



د) شیء پلاستیکی را به آب جاری که با فشار کم از شیر آب خارج می شود نزدیک کنید. (شکل ۱-۲۲)



شکل ۱-۲۲

نتیجه



۲ از مجموعه آزمایش های فوق چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

نتیجه



مطالب مربوط به سؤالاتی را که نتوانسته اید پاسخ دهید مجدداً مطالعه و آزمون را تکرار کنید.

توجه



فصل ۲

هادی‌ها، عایق‌ها و نیمه‌هادی‌ها

هدف کلی فصل:

آشنایی با هادی‌ها، عایق‌ها، نیمه‌هادی‌های الکتریکی، قانون کولن و میدان الکتریکی

هدف‌های رفتاری:

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۲/۵	-	۲/۵

در پایان این فصل انتظار می‌رود که فراگیر بتواند:

- ۱ هادی، عایق و نیمه هادی را با ذکر نمونه‌هایی تعریف کند.
- ۲ هادی، عایق و نیمه هادی را از نظر الکترون‌های والانس مقایسه کند.
- ۳ در صورت داشتن عدد اتمی، عنصر را از نظر هدایت الکتریکی تشخیص دهد.
- ۴ قانون کولن را توضیح دهد.
- ۵ مسائل مربوط به قانون کولن را حل کند.
- ۶ میدان الکتریکی را شرح دهد.
- ۷ مسائل مربوط به میدان الکتریکی را حل کند.

پیش آزمون (۲)

۱ چرا در مدارهای روشنایی از سیم استفاده می شود؟

- الف) چون وسیله دیگری وجود ندارد.
 ب) زیرا برق را خوب هدایت می کند.
 ج) چون استقامت سیم زیاد است.
 د) زیرا قدرت تحمل سیم زیاد است.

۲ جنس سیم های نصب شده بر روی تیرهای برق خیابان ها از چیست؟

- الف) مس
 ب) آهن
 ج) فولاد
 د) روی

۳ چرا هنگام کار با برق باید از کفش لاستیکی و دستکش استفاده کرد؟

- الف) چون عایق هستند.
 ب) می توانند جریان مدار را کنترل کنند.
 ج) قدرت تحمل حرارتی زیادی دارند.
 د) می توانند برق را به زمین منتقل کنند.

۴ در مدارهای الکتریکی اگر به جای سیم مسی از رشته پلاستیکی استفاده کنیم نور لامپ ها:

- الف) کاهش می یابد.
 ب) افزایش می یابد.
 ج) تغییری نمی کند.
 د) قطع می شود.

۵ اگر جریان الکتریکی را مشابه عبور جریان آب داخل لوله در نظر بگیریم، یک سیم خوب الکتریکی را مشابه کدام یک از موارد زیر می توان دانست؟

- الف) لوله آب با قطر کم
 ب) لوله آب با قطر زیاد
 ج) نمی توان مقایسه کرد.
 د) بستگی به ولتاژ دارد.

۶ کدام یک از میله های زیر می تواند جریان برق را عبور دهد؟

- الف) چوبی
 ب) آلومینیومی
 ج) کائوچویی
 د) لاستیکی

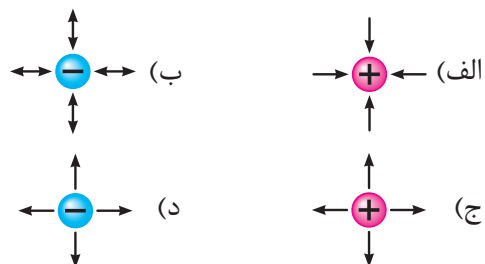
۷ چرا خاصیت هدایت الکتریکی مواد مختلف با هم تفاوت دارند؟

- الف) چون وضعیت اتم های آنها تفاوت دارند.
 ب) زیرا جریان تأمین کننده همه مواد باتری ها هستند.
 ج) چون همه مواد در برابر جریان مقاومت نمی کنند.
 د) زیرا تحت تأثیر انرژی قرار نگرفته اند.

۸ به کوچک ترین جزء یک ماده مرکب گفته می شود.

- الف) یون
 ب) والانس
 ج) اتم
 د) مولکول

۹ کدام یک از اشکال زیر صحیح است؟



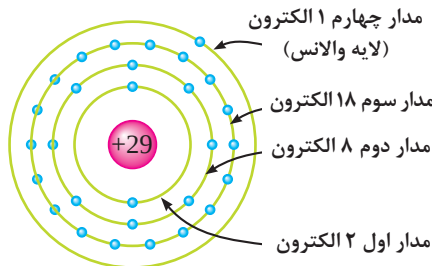
۱۰ ذره نوترون اتم قرار دارد و از نظر بار الکتریکی است.

- الف) روی مدارهای - منفی
 ب) در هسته - مثبت
 ج) در هسته - خنثی
 د) روی مدارهای - خنثی

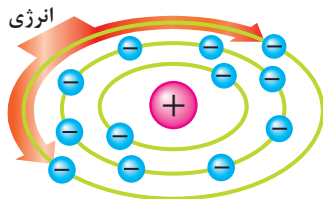
۲- هادی‌ها، عایق‌ها و نیمه‌هادی‌ها

در مباحث الکتریسیته تعداد الکترون‌های مدار والانس اتم‌ها اهمیت دارد. زیرا براساس آنها مواد را از نظر هدایت الکتریکی به سه گروه تقسیم می‌کنند.

۲-۱- هادی‌ها



شکل ۲-۱- ساختمان اتمی عنصر مس



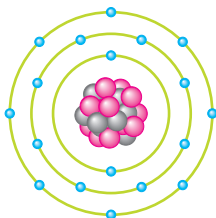
شکل ۲-۲- تقسیم انرژی بین الکترون‌های والانس

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

هرگاه به اتم‌های یک هادی انرژی داده شود، این انرژی بین الکترون‌ها تقسیم می‌شود. در این حالت چون تعداد الکترون‌های والانس کم است مقدار انرژی بیشتری به هر الکترون نسبت به حالتی که تعداد الکترون‌ها زیاد باشد می‌رسد. (شکل ۲-۲)



شکل ۲-۳- برقراری جریان الکتریکی در هادی‌ها



شکل ۲-۴- ساختمان اتمی یک عنصر عایق

در یک هادی، الکترون‌ها به راحتی از یک اتم به اتم دیگر منتقل می‌شوند. این عبارت را می‌توان به عنوان تعریف دیگری برای هادی در نظر گرفت. در شکل ۲-۳ بر اثر انتقال الکترون‌ها لامپ روشن شده است.

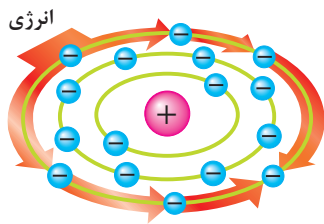
از هادی‌های خوب می‌توان نقره، مس، طلا و آلومینیوم را نام برد. در صنعت برق از سیم‌های مسی و آلومینیومی استفاده می‌شود زیرا این عناصر فراوان و مقرون به صرفه هستند.

۲-۲- عایق‌ها

به موادی که الکترون‌های مدار والانس آنها تمایل به ماندن در مدار خود را دارند و به راحتی جدا نمی‌شوند «عایق»^۱ یا «دی‌الکتریک» می‌گویند. این مواد در مدار والانس خود ۵، ۶، ۷ یا ۸ الکترون دارند. (شکل ۲-۴)

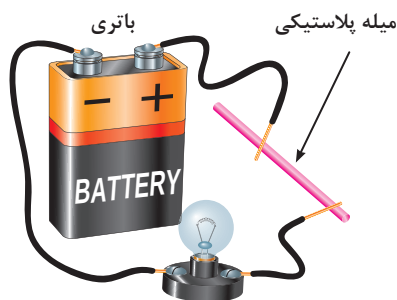
۱- Conductor

۲- Insulation



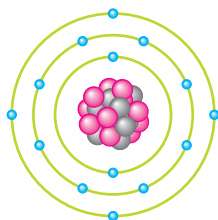
شکل ۲-۵- تقسیم انرژی بین الکترون‌های والانس هادی‌ها

در صورتی که به اتم یک دی‌الکتریک انرژی داده شود این انرژی بین الکترون‌های والانس آن تقسیم می‌شود. چون تعداد الکترون‌های والانس در عایق‌ها زیاد است، لذا مقدار انرژی که به هر الکترون می‌رسد، نسبت به هادی‌ها که تعداد الکترون والانس کمتری دارند کاهش می‌یابد. از عایق‌های خوب^۱ می‌توان شیشه، کاغذ، پلاستیک، هوا و میکا را نام برد. (شکل ۲-۵)



شکل ۲-۶- عدم انتقال الکترون‌ها در یک میلۀ پلاستیکی

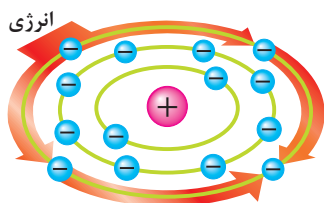
شکل ۲-۶ تصویری را نشان می‌دهد که در آن چون میلۀ پلاستیکی نمی‌تواند الکترون‌های لایه والانس خود را انتقال دهد، لامپ روشن نمی‌شود پس می‌توان نتیجه گرفت که ماده عایق نمی‌تواند جریان الکتریکی را عبور دهد.



شکل ۲-۷- ساختمان اتمی نیمه هادی‌ها

۲-۳- نیمه هادی‌ها

موادی که از نظر آزاد کردن الکترون والانس در حد فاصل عایق‌ها و هادی‌ها قرار دارند «نیمه هادی»^۲ نامیده می‌شوند. تعداد الکترون‌های والانس نیمه هادی‌ها معمولاً ۴ الکترون است. (شکل ۲-۷)

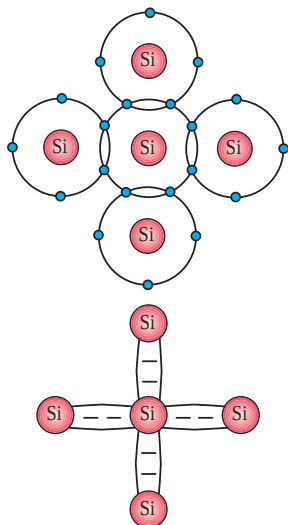


شکل ۲-۸- تقسیم انرژی بین الکترون‌های والانس در نیمه هادی‌ها

در شرایط عادی نیمه هادی‌ها تمایلی به دریافت کردن و یا از دست دادن الکترون والانس ندارند. اما در صورتی که انرژی خارجی به آن داده شود، می‌توانند الکترون آزاد کنند. (شکل ۲-۸)

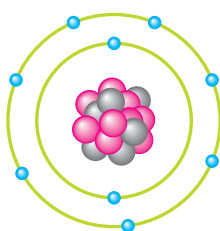
از نیمه هادی‌هایی که در الکتریسیته کاربرد دارند می‌توان ژرمانیم (Ge) و سیلیسیم (Si) را نام برد. نحوه قرار گرفتن اتم‌های نیمه هادی‌ها در کنار هم به صورت اشتراکی است. از اشتراک الکترون‌های والانس در نیمه هادی‌ها شبکه‌ای به وجود می‌آید که آن را در اصطلاح «شبکه کریستالی» گویند.

۱- عایق‌هایی که در صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند اغلب از ترکیب مواد مختلف به وجود می‌آیند.



شکل ۹-۲- شبکه اشتراکی اتم‌های نیمه‌هادی

شکل ۹-۲ شبکه کریستالی و پیوند بین اتم‌های سیلیسیم را نشان می‌دهد. نیمه‌هادی‌ها از نظر الکتریکی خنثی هستند. برای اینکه بتوانیم میزان هدایت نیمه‌هادی‌ها را افزایش دهیم باید آنها را با مواد دیگری ترکیب کنیم. عمل ترکیب نیمه‌هادی با عنصری دیگر را «ناخالص کردن» نیمه‌هادی می‌نامیم.



شکل ۱۰-۲- عدد اتمی این عنصر ۹ است
 $Z = 9$

توضیح: به تعداد الکترون‌ها یا پروتون‌های یک عنصر «عدد اتمی»^۱ می‌گویند و آن را با حرف (Z) نمایش می‌دهند. (شکل ۱۰-۲) با توجه به عدد اتمی می‌توان وضعیت هادی، عایق و نیمه‌هادی بودن جسم را تشخیص داد. مثال: عدد اتمی عنصری ۱۱ است، این عنصر از نظر هدایت الکتریکی چه وضعیتی دارد؟ حل: با استفاده از رابطه $2n^2$ می‌توان الکترون‌های این عنصر را بر روی مدارها توزیع کرد.

$$K = 2n^2 \Rightarrow K = 2(1)^2$$

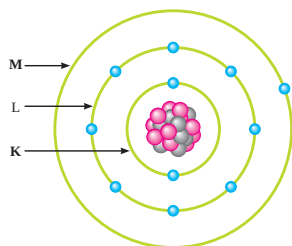
$$L = 2n^2 \Rightarrow L = 2(2)^2 = 8$$

تعداد الکترون‌های باقیمانده M (مدار سوم)

$$M = Z - (K + L) = 11 - (2 + 8)$$

$$M = 1 \text{ الکترون}$$

۱- از مجموع تعداد نوترون‌ها و پروتون‌ها جرم اتمی به دست می‌آید.

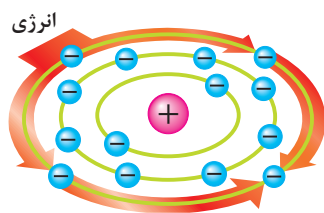


شکل ۲-۱۱- ساختمان اتمی عنصری با عدد اتمی ۱۱

چون تعداد الکترون‌های مدار آخر این عنصر کمتر از ۳ الکترون است، لذا از نظر هدایت به گروه هادی‌ها تعلق دارد. تعداد الکترون‌های هر مدار این اتم در شکل ۲-۱۱ و نحوه توزیع انرژی خارجی بین الکترون‌ها در شکل ۲-۱۲ نشان داده شده است.

۲-۴- بار الکتریکی و اتم باردار

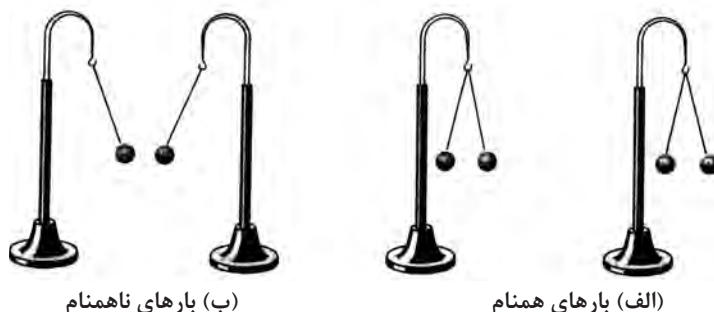
همان گونه که اشاره شد عناصر می‌توانند به واسطه وارد شدن انرژی به لایه آخرشان دارای الکترون اضافی شده و یا الکترون والانس خود را از دست بدهند.



شکل ۲-۱۲

اصطلاحاً به عنصری که الکترون‌هایی از دست داده و یا می‌گیرد «عنصر باردار» و به اتم‌های آن «اتم باردار» یا «یون» گفته می‌شود. از آنجایی که بررسی تعداد الکترون‌های دریافتی و یا از دست داده اتم‌ها در الکتریسیته کاربرد داشته دانشمندان مختلفی به بررسی اثرات ذرات باردار برهم پرداخته‌اند که از جمله آنها می‌توان به «کولن» اشاره کرد. وی تحقیقات زیادی پیرامون بارهای الکتریکی داشته به همین خاطر به احترام وی واحد بار الکتریکی (Q) برحسب کولن (C) نام‌گذاری شده است.

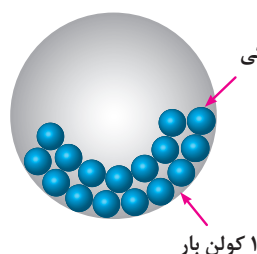
هر کولن بار الکتریکی معادل $6/28 \times 10^{18}$ الکترون است. یعنی:

$$1 \text{ کولن} = 6/28 \times 10^{18} = 6280000000000000000$$


(ب) بارهای ناهمنام

(الف) بارهای همنام

شکل ۲-۱۳- بارهای همنام همدیگر را می‌رانند و بارهای ناهمنام یکدیگر را می‌ربایند



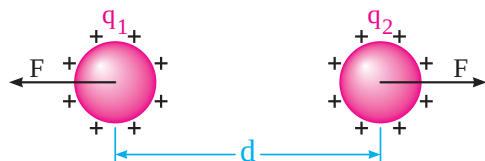
شکل ۲-۱۴

کولن نتیجه تحقیقات خود را تحت عنوان قانونی به نام «قانون کولن» بیان کرد.

۲-۵- قانون کولن

همان‌طوری که در فصول قبل اشاره شد دو جسم (دو ذره) باردار با بارهای هم‌نام یکدیگر را دفع و با بارهای غیرهم‌نام یکدیگر را جذب می‌کنند.

کولن بر پایه انجام آزمایش‌های زیاد با اجسام باردار نتیجه گرفت که نیروهای جاذبه و دافعه میان بارها از قانون خاصی پیروی می‌کنند. امروزه این قانون را به نام «قانون کولن» می‌شناسیم. این قانون بیان می‌کند: نیروی بین دو بار الکتریکی با حاصل ضرب اندازه بارها نسبت مستقیم و با مجذور فاصله میان بارها نسبت معکوس دارد. ارتباط عوامل مؤثر با نیروی بین دو بار را با رابطه (۱) می‌توان نوشت:



شکل ۲-۱۵

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{d^2} \quad (1)$$

با بهره‌گیری از یک ضریب ثابت که نشان‌دهنده خاصیت محیط در برگیرنده اجسام باردار است می‌توان رابطه قانون کولن را به صورت مقابل نوشت:

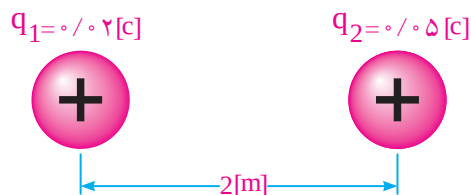
$$F = k \frac{q_1 q_2}{d^2} \quad (2)$$

q_1 و q_2 - مقدار بارهای الکتریکی بر حسب کولن [C]

d - فاصله بین دو بار بر حسب متر [m]

k - ضریب ثابت که تقریباً برابر 9×10^9 بر حسب $\left[\frac{N \cdot m^2}{C^2}\right]$

F - نیروی بین دو جسم باردار بر حسب نیوتن [N]



شکل ۲-۱۶

مثال: اندازه نیروی بین دو بار 0.02 [C] و

0.05 [C] مطابق شکل ۲-۱۶ که در فاصله ۲ متر از

یکدیگر قرار گرفته‌اند چند نیوتن است؟

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

$$F = 9 \times 10^9 \frac{0.02 \times 0.05}{(2)^2} = \frac{90 \times 10^5}{4}$$

$$F = 22.5 [N]$$

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

$$d = \sqrt{\frac{k q_1 q_2}{F}} = \sqrt{\frac{9 \times 10^9 \times 0.02 \times 0.05}{22.5}}$$

$$d = \sqrt{\frac{9 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-2} \times 4 \times 10^{-2}}{22.5}} = \sqrt{\frac{180}{22.5}} \times 10^4$$

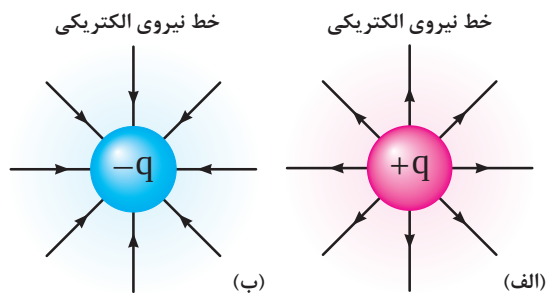
$$d = \sqrt{8 \times 10^4} = 2.83 \times 10^2 [m]$$

مثال: هرگاه نیروی بین دو جسم باردار 0.04 و

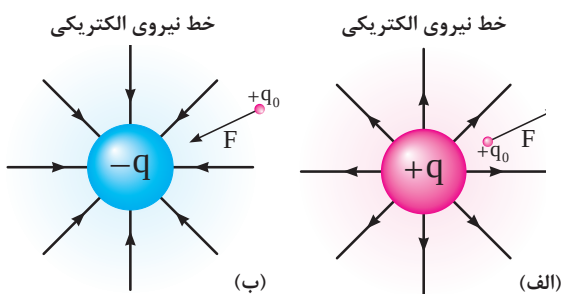
0.05 کولنی برابر ۵ نیوتن باشد فاصله بین این دو بار

چند متر است؟

۲-۶- میدان الکتریکی



شکل ۲-۱۷- میدان الکتریکی اطراف یک کره باردار مثبت و یک کره باردار منفی در فضا



شکل ۲-۱۸- وضعیت خطوط نیروی کره باردار بر بار آزمون

هرگاه یک جسم باردار در فضای اطراف یک جسم باردار قرار گیرد طبق قانون کولن به آن نیرو وارد می‌شود این ناحیه که چنین خاصیتی دارد یک «میدان الکتریکی» است. بنابراین در یک ناحیه از فضا وقتی می‌توان گفت میدان الکتریکی وجود دارد که به بار الکتریکی واقع در آن ناحیه یک نیروی الکتریکی وارد شود. شکل (۲-۱۷)

برای سنجش وجود میدان الکتریکی و تعیین اندازه آن از یک بار مثبت و کوچک به نام «بار آزمون - q_0 » استفاده می‌شود که مقدار آن برابر واحد (یک) است. در شکل‌های ۲-۱۸ الف و ب وضعیت خطوط نیروی وارد به بار آزمون برای هر دو بار هم‌نام و همچنین دو بار غیرهم‌نام نشان داده شده است. هر خط نیرو نشان‌دهنده مسیری است که بار آزمون واقع در میدان الکتریکی تحت اثر نیروی ناشی از میدان طی می‌کند.

بنا به تعریف، نیروی وارد بر بار الکتریکی آزمون (مثبت) در هر نقطه از میدان را شدت میدان الکتریکی در آن نقطه می‌نامیم و مقدار آن به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$E = \frac{F}{q_0}$$

F - نیروی وارد بر بار آزمون بر حسب نیوتن $[N]$

q_0 - اندازه بار آزمون بر حسب کولن $[C]$ (مقدار آن می‌تواند غیر یک هم باشد)

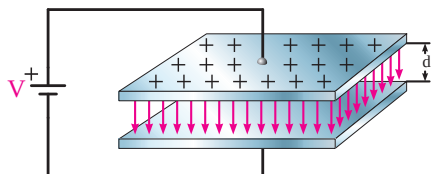
E - شدت میدان الکتریکی بر حسب نیوتن بر کولن $\left[\frac{N}{C}\right]$

مثال: بار الکتریکی ۴ کولنی در یک میدان الکتریکی تحت تأثیر نیروی ۱۶ نیوتن قرار می‌گیرد اندازه شدت میدان الکتریکی آن چقدر است؟

$$E = \frac{F}{q} \Rightarrow E = \frac{16}{4} = 4 \left[\frac{N}{C} \right]$$

۲-۷- میدان الکتریکی یکنواخت

در صورتی که نیاز به ایجاد میدان الکتریکی باشد می‌توانیم دو صفحه فلزی را که مطابق شکل (۲-۱۹) مقابل یکدیگر قرار گرفته‌اند به دو قطب یک باتری متصل کرد. میدان الکتریکی که تحت این شرایط به وجود می‌آید چون دارای اندازه و جهت ثابت است «میدان الکتریکی یکنواخت» گفته می‌شود. اندازه شدت میدان الکتریکی یکنواخت را از رابطه مقابل می‌توان به دست آورد:



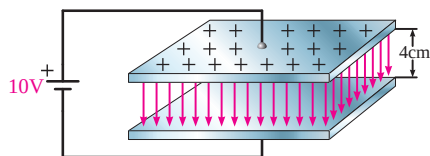
شکل ۲-۱۹

$$E = \frac{V}{d}$$

V - ولتاژ باتری اتصال داده به دو صفحه بر حسب ولت [v]

d - فاصله بین دو صفحه بر حسب متر [m]

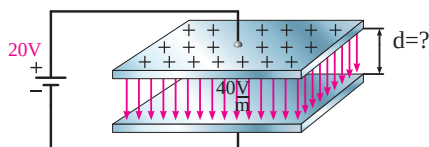
E - شدت میدان الکتریکی بر حسب $\frac{\text{ولت}}{\text{متر}}$ [$\frac{v}{m}$]



شکل ۲-۲۰

مثال: شدت میدان الکتریکی بین دو صفحه موازی که با فاصله ۴ سانتی‌متر از یکدیگر قرار گرفته‌اند و مشابه شکل (۲-۲۰) به ولتاژ ۱۰ ولت متصل شده‌اند چقدر است؟

$$E = \frac{V}{d} = \frac{10}{4 \times 10^{-2}} = \frac{10^2}{4} = 250 \left[\frac{v}{m} \right]$$



شکل ۲-۲۱

مثال: مطابق شکل ۲-۲۱ فاصله بین دو صفحه موازی که به ولتاژ ۲۰ ولت وصل شده‌اند چند متر باشد تا شدت میدان الکتریکی بین دو صفحه ۴۰ ولت بر متر شود.

$$E = \frac{V}{d} \Rightarrow d = \frac{V}{E}$$

$$d = \frac{20}{40} = \frac{1}{2} = 0.5 [m]$$

آزمون پایانی (۲)

- ۱ لایه والانس هر اتم با چند الکترون تکمیل می‌شود؟
الف) ۲ (ب) ۸ (ج) ۱۸ (د) ۳۲
- ۲ جسمی که در آن الکترون‌های والانس به آسانی از یک اتم به اتم دیگر منتقل شود نامیده می‌شود.
الف) عایق (ب) نیمه هادی (ج) ظرفیتی (د) هادی
- ۳ سهم انرژی الکترون‌های والانس در هادی‌ها نسبت به عایق‌ها چگونه است؟
الف) زیاد (ب) کم (ج) متوسط (د) نمی‌توان تعیین کرد.
- ۴ علت استفاده از مس در صنعت برق چیست؟
الف) در طبیعت فراوان است. (ب) الکترون والانس را راحت آزاد می‌کند. (ج) مقرون به صرفه است. (د) همه موارد
- ۵ کدام گزینه در مورد تعداد الکترون‌های مدار والانس عایق‌ها صحیح است؟
الف) ۴ < تعداد الکترون‌ها (ب) ۴ > تعداد الکترون‌ها (ج) ۳ < تعداد الکترون‌ها (د) ۸ > تعداد الکترون‌ها
- ۶ الکترون‌های والانس در عایق‌ها از مدار خود جدا می‌شوند.
الف) به آسانی (ب) به سختی (ج) بدون انرژی (د) با کمی انرژی
- ۷ اصطلاح «دی الکتریک» برای کدام گروه از موارد به کار می‌رود؟
الف) هادی‌ها (ب) عایق‌ها (ج) نیمه هادی‌ها (د) فلزات
- ۸ «میکا» از نظر هدایت الکتریکی در ردیف کدام یک از گروه‌ها قرار دارد؟
الف) عایق‌ها (ب) هادی‌ها (ج) نیمه هادی‌ها (د) کریستال‌ها
- ۹ تعداد الکترون‌های والانس نیمه هادی‌ها چند الکترون است؟
الف) ۲ (ب) ۳ (ج) ۴ (د) ۸
- ۱۰ نحوه اتصال اتم‌ها در نیمه هادی‌ها است.
الف) به شکل دایره (ب) به صورت شبکه کریستالی (ج) به شکل بیضی (د) به صورت خطوط نیم دایره
- ۱۱ کدام گزینه در مورد نیمه هادی‌ها صدق می‌کند؟
الف) با ناخالص کردن نیمه هادی‌ها میزان تمایل آنها به آزاد کردن الکترون کاهش می‌یابد. (ب) آزاد کردن الکترون به تعداد مدارهای اتم مورد نظر بستگی دارد. (ج) نیمه هادی‌ها در شرایط عادی تمایلی به گرفتن یا دادن الکترون ندارند. (د) آزادسازی الکترون به مقدار انرژی داده شده به لایه والانس بستگی ندارد.
- ۱۲ عدد اتمی عناصر را با حروف اختصاری نشان می‌دهند.
الف) P (ب) N (ج) e (د) Z

۱۳ عدد اتمی عنصری برابر با ۳۰ است. تعداد مدارهای این عنصر چند مدار می‌باشد؟

- الف) ۴ (ب) ۵ (ج) ۶ (د) ۷

۱۴ عنصری با عدد اتمی ۶۱ از نظر هدایت الکتریکی در کدام گروه قرار دارد؟

- الف) عایق‌ها (ب) هادی‌ها (ج) نیمه هادی‌ها (د) نمک‌ها

۱۵ اگر عدد اتمی عنصری برابر با ۳۴ باشد، لایه والانس آن دارای چند الکترون است؟

- الف) ۳ (ب) ۴ (ج) ۵ (د) ۶

۱۶ تعداد الکترون‌های مدار آخر عنصری ۵ است. این عنصر از نظر هدایت الکتریکی به کدام گروه تعلق دارد؟

- الف) هادی‌ها (ب) نیمه هادی‌ها (ج) عایق‌ها (د) کریستال‌ها

۱۷ کدام یک از عناصر زیر دارای ۴ الکترون والانس است؟

- الف) شیشه (ب) مس (ج) ژرمانیم (د) نقره

۱۸ نحوه قرار گرفتن اتم‌های نیمه هادی‌ها در کنار هم به صورت است.

۱۹ در اجسام رسانا الکترون‌های لایه والانس اتم‌ها به راحتی آزاد می‌شوند. ☐ صحیح ☐ غلط

۲۰ در شرایط عادی نیمه هادی‌ها تمایلی به دریافت یا از دست دادن الکترون ندارند. ☐ صحیح ☐ غلط

۲۱ دو ذره بار الکتریکی $6\mu\text{C}$ و $8\mu\text{C}$ در فاصله 4cm از هم قرار گرفته‌اند. اندازه نیرویی که این دو ذره بر هم وارد می‌کنند چند نیوتن است؟ $(k = 9 \times 10^9)$

۲۲ اگر بار الکتریکی $2\mu\text{C}$ در نقطه‌ای از یک میدان الکتریکی به شدت $\left(2 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}\right)$ قرار گیرد چه نیرویی به این بار وارد می‌شود؟

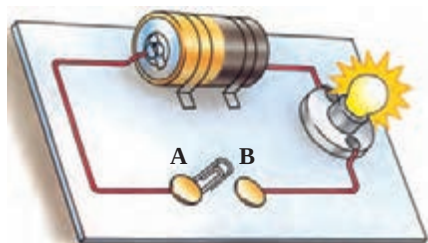
۲۳ بار الکتریکی $2\mu\text{C}$ در یک میدان الکتریکی تحت اثر نیروی 0.08N نیوتن قرار می‌گیرد. اندازه شدت این میدان چند نیوتن بر کولن است؟

۲۴ دو بار الکتریکی q_1 و q_2 که در فاصله d از یکدیگر قرار گرفته‌اند نیرویی برابر F بر هم وارد می‌کنند. اگر هر یک از بارها را نصف کنیم، فاصله بین دو بار چه تغییری باید کند تا نیروی بین دو بار همان F باشد؟

۲۵ هرگاه شدت میدان الکتریکی بین دو صفحه که در فاصله 20cm سانتی‌متر از یکدیگر قرار گرفته‌اند برابر 50V/m ولت بر متر باشد، ولتاژ اعمال شده به این صفحات چند ولت است؟

خودآزمایی عملی

۱ مدار را مطابق شکل ۲-۲۲ در نظر بگیرید و در صورت امکان عملاً ببندید. در مراحل مختلف بین دو نقطه A و B قطعات زیر را قرار دهید و وضعیت روشنایی لامپ را مشاهده و ثبت کنید.
الف) گیره کاغذ (مشابه شکل ۲-۲۲)



شکل ۲-۲۲- مدار ساده الکتریکی

- ب) مداد پاک کن
- ج) بدنه پلاستیکی خودکار
- د) یک قطعه سیم مسی
- هـ) یک قطعه میله برنجی
- و) یک تکه چوب
- ز) یک قطعه لاستیک

۲ از مجموعه مشاهدات خود چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

نتیجه



توجه



مطالب مربوط به سؤالاتی را که نتوانسته‌اید پاسخ دهید مجدداً مطالعه و آزمون را تکرار کنید.

فصل ۳

آشنایی با قطعات و کمیت‌های الکتریکی

هدف کلی فصل:

آشنایی با مقاومت‌ها و کمیت‌های الکتریکی

هدف‌های رفتاری:

در پایان این فصل انتظار می‌رود که فراگیر بتواند:

- ۱ کمیت‌های الکتریکی ولتاژ، جریان و مقاومت را با ذکر روابط و واحد توضیح دهد.
- ۲ انواع مقاومت‌های الکتریکی را نام برده و طرز کار هر یک را توضیح دهد.
- ۳ مقدار مقاومت‌های اهمی چهار رنگ، پنج رنگ را با کمک کدهای رنگ تعیین کند.

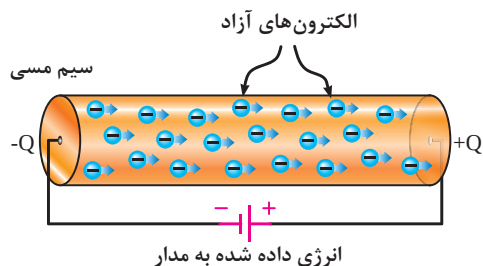
ساعت		
نظری	عملی	جمع
۶	-	۶

پیش‌آزمون (۳)

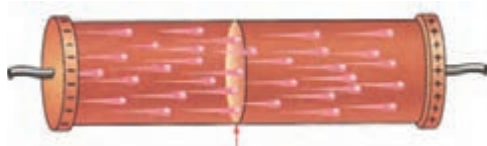
- ۱ با زدن کلید اصلی برق نیروگاه، چه مدت زمانی طول می‌کشد تا جریان برق به مصرف‌کننده برسد؟
 الف) یک دقیقه
 ب) کمتر از چند صدم ثانیه
 ج) به طول مسیر بستگی دارد.
 د) رابطه‌ای بین این دو نیست.
- ۲ آیا جریان برق قابل رؤیت است؟
 الف) بله
 ب) خیر
 ج) به نوع سیم بستگی دارد.
 د) به نوع جریان بستگی دارد.
- ۳ منظور از پتانسیل الکتریکی چیست؟
 الف) مقدار جریان عبوری از مدار
 ب) سرعت انتقال جریان
 ج) مقدار بار الکتریکی که کار را انجام دهد.
 د) کاری که بر روی ذره باردار انجام می‌شود.
- ۴ رشته حرارتی یک سماور برقی برای ایجاد گرما چه خاصیتی را از خود نشان می‌دهد؟
 الف) مقاومتی
 ب) لوله مارپیچ
 ج) سیم‌پیچی
 د) عایقی
- ۵ ولوم یک رادیو چیست؟
 الف) مقاومت متغیر
 ب) کلید گردان
 ج) کلید مرحله‌ای
 د) شیرگردان
- ۶ عامل کنترل‌کننده خودکار در روشن و خاموش کردن چراغ‌های خیابان‌ها و معابر عمومی چیست؟
 الف) مدارهای صنعتی
 ب) مقاومت تابع نور
 ج) کلیدهای قطع و وصل
 د) دیود نوردهنده
- ۷ چرا در صورت وصل کردن بعضی از مصرف‌کننده‌ها به برق و راه‌اندازی آنها سیم‌های برق گرم می‌شود؟
 الف) دمای محیط زیادتر از حد استاندارد است.
 ب) طول سیم کمتر از حد استاندارد است.
 ج) ولتاژ اعمال شده کمتر از حد نیاز است.
 د) جریان عبوری از سیم موردنظر زیاد است.
- ۸ کدام یک از مواد زیر هادی خوبی نیست؟
 الف) مس
 ب) نقره
 ج) طلا
 د) میکا
- ۹ برای افزایش میزان هدایت نیمه هادی‌ها باید آنها را کرد.
 الف) خالص
 ب) ناخالص
 ج) از هسته جدا
 د) مشترک
- ۱۰ انرژی داده شده به یک ماده دی‌الکتریک بین الکترون‌های آن تقسیم می‌شود.
 الف) اتم - مدار والانس
 ب) الکترون‌های - مدار والانس
 ج) الکترون‌های - مدار M
 د) اتم - مدار M

۳- کمیت‌های الکتریکی

۳-۱- شدت جریان الکتریکی^۱

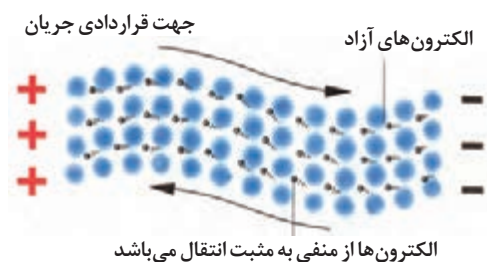


شکل ۳-۱- میزان جریان الکتریکی از مجموع انرژی الکترون‌هایی که انرژی آنها در یک جهت است، به وجود می‌آید.



شکل ۳-۲- عبور بار الکتریکی از یک نقطه سیم در طی زمان معین را جریان الکتریکی می‌نامند.

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



شکل ۳-۳- جهت حرکت اصلی و قراردادی جریان الکتریکی

$$I(A) = \frac{I(C)}{I(S)}$$

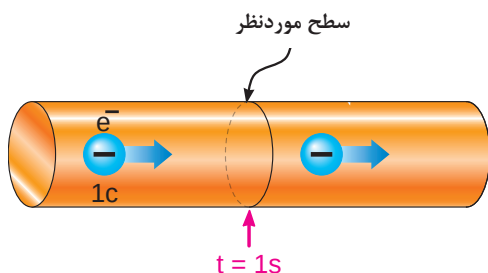
چنانچه بخواهیم از انرژی الکتریکی برای انجام کاری استفاده کنیم می‌بایست الکتریسیته تولید شده را به حرکت درآوریم و در مدار جاری کنیم. به عبارت دیگر اگر بتوانیم با دادن انرژی به مدار والانس یک اتم، الکترون‌های آن را آزاد کنیم و در یک مسیر حرکت دهیم «جریان الکتریکی» به وجود می‌آید.

انرژی الکترون‌های آزادی که در یک جهت هستند با هم جمع می‌شوند و انرژی آزاد شده بیشتری را برای انجام کار در اختیار ما قرار می‌دهند. تعداد الکترون‌هایی که انرژی هم جهت دارند میزان شدت جریان الکتریکی را تعیین می‌کنند. (شکل ۳-۱)

شدت جریان الکتریکی را با حرف (I) نشان می‌دهند. بنا به تعریف مقدار بار الکتریکی (الکترون‌های آزاد) که از یک نقطه سیم در طی مدت زمانی معین عبور می‌کند «شدت جریان الکتریکی» می‌نامند. (شکل ۳-۲)

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

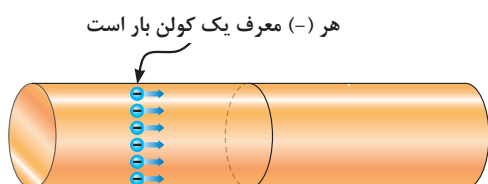
چون عامل به وجود آمدن جریان الکتریکی، حرکت الکترون‌هاست و این ذرات دارای بار منفی هستند، لذا جهت حرکت واقعی الکترون‌ها از قطب منفی به سمت قطب مثبت است ولی براساس قرارداد، جهت جریان الکتریکی را در مدارها از قطب مثبت به سمت قطب منفی در نظر می‌گیرند. شکل ۳-۳ این مطلب را نشان می‌دهد. بنا به تعریف، مثبت بودن بارها را با عنوان زیاد بودن و منفی بودن بار را با عنوان کم بودن بار در نظر می‌گیرند. در رابطه (I) اگر به جای پارامترهای (t,q) مقدار واحد را قرار دهیم تعریف یک آمپر به دست می‌آید.



شکل ۳-۴ حرکت الکترون از سطح موردنظر در یک ثانیه

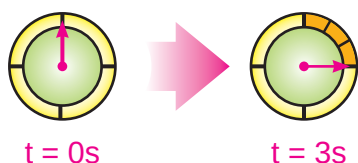
یعنی هرگاه بار الکتریکی معادل یک کولن در مدت زمان یک ثانیه از یک نقطه معین مانند شکل ۳-۴ عبور کند شدت جریانی برابر یک آمپر در سیم جاری شده است. یک کولن بار الکتریکی موجود در یک جسم برابر است با:

$$\text{الکترون } 1 = 6/28 \times 10^{18} \text{ کولن}$$



مثال: اگر باری برابر با ۶ کولن در طی مدت ۳ ثانیه از سیمی مطابق شکل ۳-۵ عبور کند، چند آمپر جریان در مدار جاری شده است؟
حل:

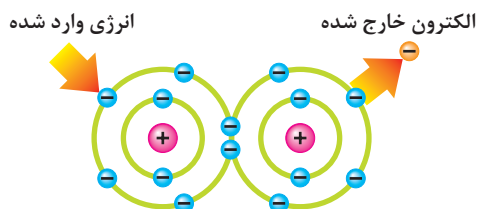
$$I = \frac{q}{t} = \frac{6}{3} = 2 [A]$$



شکل ۳-۵ تعداد الکترون‌هایی که از سطحی مشخص در طی سه ثانیه می‌گذرند.

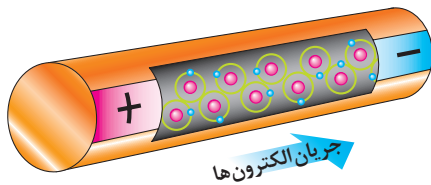


حرکت الکترون‌های آزاد در درون سیم به صورت «ضربه‌ای»^۱ صورت می‌گیرد. یعنی در مدارهای والانس، الکترون‌ها با یکدیگر برخورد می‌کنند و از اتمی به اتم دیگر منتقل می‌شوند. سرعت این ضربه‌ها در حدود سرعت سیر نور (۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه) است. (شکل ۳-۶)



شکل ۳-۷ جابه‌جایی الکترون در اثر انرژی

چون اتم‌ها خیلی به هم نزدیک هستند به محض وارد شدن الکترون آزاد جدید، آن الکترون انرژی خود را به الکترون دیگر می‌دهد و آن را دفع می‌کند و به سمت دیگر می‌راند. (شکل ۳-۷)



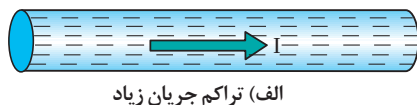
شکل ۳-۸- نمایشی از ضربه‌های انرژی به الکترون‌ها

ضربه‌های انرژی که از یک الکترون به الکترون دیگر برخورد می‌کند و باعث جابه‌جایی آن می‌شود را «جریان الکتریکی» می‌نامند. در شکل ۳-۸ ضربه‌های انرژی وارد شده به الکترون‌ها را مشاهده می‌کنید.

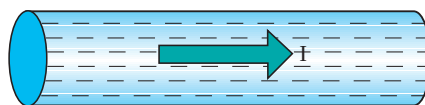


شکل ۳-۹- شکل ظاهری یک نمونه آمپر متر

در مدارهای الکتریکی برای اندازه‌گیری جریان از وسیله‌ای به نام آمپر متر که علامت اختصاری آن A است، استفاده می‌شود. شکل ۳-۹ تصویر یک نمونه آمپر متر را نشان می‌دهد. یکی از مشخصه‌هایی که در بحث جریان مطرح می‌شود «تراکم» یا «چگالی» جریان است.



(الف) تراکم جریان زیاد



(ب) تراکم جریان کم

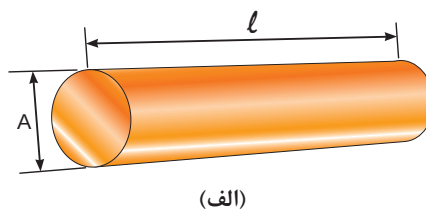
شکل ۳-۱۰- شدت جریان عبوری در هر دو سیم با هم مساوی است ولی سطح مقطع سیم (ب) بزرگ‌تر از سیم (الف) است.

طبق تعریف، مقدار معینی جریان الکتریکی که از واحد سطح مقطع سیم می‌تواند عبور کند را تراکم جریان می‌گویند. (شکل ۳-۱۰)

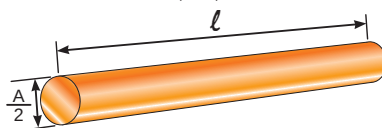
تراکم جریان از رابطه: $j = \frac{I}{A}$ و بر حسب $\frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$ آمپر بر میلی‌متر مربع محاسبه می‌شود.

$I =$ جریان عبوری از سیم بر حسب آمپر

$A =$ سطح مقطع سیم بر حسب میلی‌متر مربع



(الف)



(ب)

شکل ۳-۱۱- تصویر دو سیم با سطح مقطع‌های مختلف

از چگالی جریان در تعیین ماکزیمم جریان قابل تحمل در سیم‌ها استفاده می‌شود. به عنوان مثال اگر بخواهیم جریانی معادل ۵ آمپر را از دو سیم طبق شکل ۳-۱۱ عبور دهیم، مشاهده می‌شود که تراکم و فشردگی الکترون‌های جاری در سیم (ب) از سیم (الف) بیشتر است. زیرا سطح مقطع سیم (ب) از سیم (الف) کوچک‌تر است.

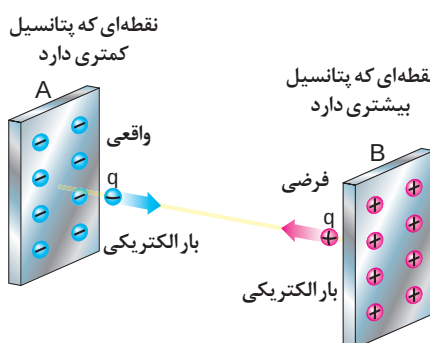
۳-۲- اختلاف سطح الکتریکی و چگونگی ایجاد آن به وسیله انرژی‌های مختلف

همان‌طوری که می‌دانید برای انجام کار باید انرژی الکتریکی در حال حرکت باشد. نیرویی را که باعث به وجود آمدن جریان الکتریکی در مدار می‌شود «نیروی محرکه الکتریکی» یا EMF^۱ می‌نامند.

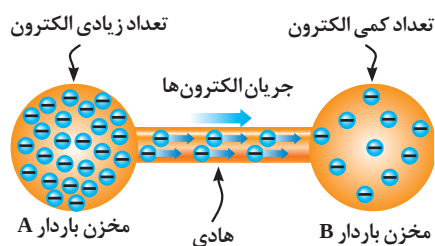
۱- EMF-Electro Motive Force



شکل ۳-۱۲



شکل ۳-۱۳ - ذره باردار q که دارای بار منفی کمتر است جذب نقطه ای که دارای بار مثبت زیادتر است، می شود.



شکل ۳-۱۴ - چگونگی حرکت الکترون ها از مخزن بار بیشتر به مخزن کمتر.

بنا به تعریف هر بار الکتریکی که بتواند بار الکتریکی دیگری را با عمل جذب یا دفع به حرکت درآورد کاری انجام می شود. لذا به نیروی محرکه ای که بتواند بار الکتریکی را به حرکت درآورد «پتانسیل الکتریکی» می گویند. (شکل ۳-۱۲)

«پتانسیل» یا «ولتاژ» به اختصار، توانایی انجام کار نیز نامیده می شود.

وقتی دو بار غیرهم نام مورد بررسی قرار می گیرند، در حقیقت اختلاف پتانسیل بین آن دو، مورد توجه است. به همین دلیل در مدارهای الکتریکی اغلب ولتاژ را تحت عنوان اختلاف پتانسیل بیان می کنند. زیرا میزان کاری که روی دو ذره باردار انجام می شود به پتانسیل اولیه آنها بستگی دارد. (شکل ۳-۱۳)

پتانسیل الکتریکی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\text{کار انجام شده (j)} = \frac{W}{q} = \frac{V}{(c)} \text{ ولتاژ (V)}$$

هرگاه کار بر حسب ژول و مقدار بار الکتریکی بر حسب کولن باشد پتانسیل الکتریکی بر حسب ولت به دست می آید.

تعریف واحد ولت:

$$1(V) = \frac{1(j)}{1(C)}$$

به همین ترتیب برای اختلاف پتانسیل^۱ بین دو نقطه A و B در شکل ۳-۱۴ می توانیم، بنویسیم:

$$V = V_A - V_B = V_{AB} \Rightarrow V_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

$W = W_A - W_B = W_{AB}$ کار انجام شده

ولتاژهایی که در کارهای روزمره با آن سروکار داریم عبارتند از:

۱/۵ ولت - ولتاژ پیل های خشک (قلمی)

۹ ولت - ولتاژ پیل های کتابی

۱۲ ولت - ولتاژ باتری های ماشین

۱- V_{AB} B,A بین دو نقطه (مخزن) اختلاف پتانسیل

۲- W_{AB} B,A بین دو نقطه (مخزن) q روی ذره باردار کاری که انجام شده



شکل ۳-۱۵ - چند نمونه پیل

۲۲۰ ولت - ولتاژ منازل مسکونی

۳۸۰ ولت - ولتاژ مراکز صنعتی

در رسم مدارها، پیل‌ها (باتری‌ها) را با علامت: + نشان می‌دهیم. در شکل ۳-۱۵ تصویر چند نوع پیل نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۶ - دو نمونه ولت‌متر

برای اندازه‌گیری ولتاژ از وسیله‌ای به نام ولت‌متر که علامت اختصاری آن به صورت V — است استفاده می‌شود. (شکل ۳-۱۶)
نیروی محرکه الکتریکی (ولتاژ) را می‌توان با استفاده از انرژی‌های مختلف تولید کرد که در اینجا به اختصار با چگونگی تولید انرژی الکتریکی از روش‌های مختلف آشنا می‌شویم.

۳-۳- روش‌های تولید و مصرف الکتریسیته

۳-۳-۱ تولید الکتریسیته

در اثر آزاد شدن الکترون‌ها از اتمشان، الکتریسیته به وجود می‌آید. چون الکترون‌های والانس بیش از سایر الکترون‌ها از هسته دورند و همچنین بالاترین سطح انرژی را دارند، به آسانی آزاد می‌شوند. انرژی داده شده به لایه والانس بین الکترون‌های آن لایه تقسیم می‌شود. در نتیجه هرچه الکترون‌های والانس موجود بیشتر باشد هر الکترون انرژی کمتری دریافت می‌کند. اگر در اتمی تعداد الکترون‌های والانس کمتری داشته باشد، الکترون‌های هر اتم مقدار انرژی بیشتری دریافت خواهد کرد و به راحتی از مدار خود خارج خواهد شد.

شکل (۳-۱۷) تصویر کلی از روش‌های تولید الکتریسیته را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۷ - روش‌های تولید الکتریسیته

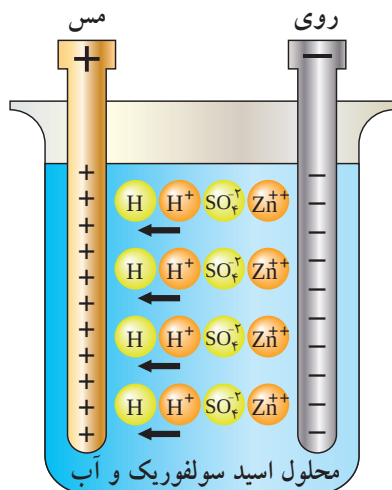
الکتریسیته حاصل از اصطکاک (مالش): هرگاه دو جسم مانند پارچه ابریشمی را با میله شیشه‌ای یا یک میله کائوچویی را به پارچه پشمی مالش دهیم، بار الکتریکی تولید می‌شود. به این بارها «الکتریسیته ساکن» می‌گویند.

الکتریسیته ساکن هنگامی به وجود می‌آید که جسمی الکترون‌هایش را به جسم دیگر منتقل کند. در سطح ماده، اتم‌هایی وجود دارد که بر خلاف سایر اتم‌های ماده نمی‌توانند با اتم‌هایی دیگر درگیر شوند. در نتیجه آنها در سطح خارجی چند الکترون آزاد دارند و به همین دلیل عایق‌هایی مانند شیشه و کائوچو می‌توانند الکتریسیته ساکن



پس از مالش دادن یک میله کائوچویی به پشم، آنها دارای بار الکتریکی می‌شوند.

شکل ۳-۱۸ - الکتریسیته مالشی (اثر تریبو الکتریک)



شکل ۱۹-۳. ساختمان یک نوع باتری تر

الکترونیتهای والانس خود را از دست داده و از طریق محلول به میله روی انتقال می‌یابد. بر اثر از دست دادن و گرفتن یون‌ها میله روی دارای بار منفی و میله مسی دارای بار مثبت می‌شود. به واقع در این حالت میله مسی کمبود الکترون و میله روی دارای ازدیاد الکترون است.

شکل (۱۹-۳) تصویری از یک باتری تر با فعل و انفعالات صورت گرفته در آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲۰-۳



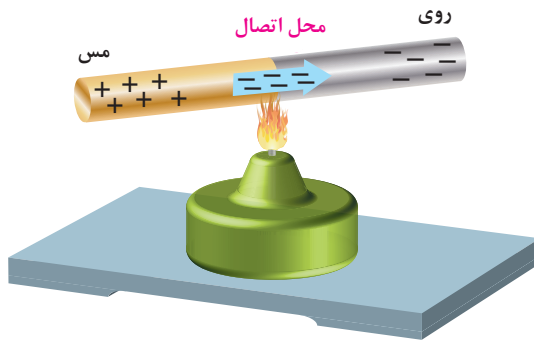
شکل ۲۱-۳

را تولید کنند. بر اثر مالش، در اتم‌های سطح خارجی برای آزاد کردن الکترون‌ها انرژی حرارتی به وجود می‌آید که به آن اثر تریبوالکتریک (TRIBOELECTRIC) نیز می‌گویند.

الکتریسیتیه حاصل از فعل و انفعالات شیمیایی: برخی مواد شیمیایی با فلزات مخصوصی ترکیب می‌شوند و واکنش‌های شیمیایی را ایجاد می‌کنند که باعث انتقال الکترون‌ها و تولید بارهای الکتریکی می‌گردد. باتری تر از جمله وسایلی است که از این راه الکتریسیتیه تولید می‌کند. این پدیده بر قوانین الکتروشیمی مبتنی است. ساختمان داخلی باتری تر از محلولی به نام اسید سولفوریک که در یک ظرف ریخته شده به عنوان الکترولیت به همراه دو میله از جنس‌های مس و روی تشکیل شده است. هنگامی که میله‌های مس و روی را در داخل محلول وارد می‌کنیم با محلول ترکیب می‌شوند و در نهایت مس

الکتریسیتیه حاصل از فشار مکانیکی: هنگامی که به بعضی اجسام فشار وارد کنیم، الکترون‌های والانس آنها از مدار خارج می‌شوند. در نتیجه الکترون‌ها یک طرف جسم را ترک و در طرف دیگر آن جمع می‌شوند بنابراین در دو طرف جسم بارهای مثبت و منفی به وجود می‌آید. در صورتی که فشار قطع شود الکترون‌ها به مدار اولیه خود باز می‌گردند. به اثر فشار برای تولید بارهای الکتریکی (الکتریسیتیه) «پیزوالکتریک» می‌گویند. شکل (۲۰-۳) پیزو یک کلمه یونانی به معنای فشار است. هرچه فشار اعمال شده بیشتر و زمان کوتاه‌تر باشد ولتاژ به وجود آمده بیشتر خواهد شد.

از جمله زمینه‌های کاربردی این روش می‌توان به کریستال‌های پیزوالکتریک که در برخی میکروفون‌ها به کار می‌رود و یا فندک‌های مورد استفاده در وسایل گازسوز امروزی را نام برد. شکل (۲۱-۳)



حرارت باعث انتقال الکترون از مس به روی می‌شود.
شکل ۳-۲۲- ترموالکتریک (الکتریسیته حرارتی)

الکتریسیته حاصل از حرارت: همان‌طوری که می‌دانید در هنگام اتصال دو جسم غیرمشابه، انتقال الکترون صورت می‌گیرد. فلزات فعال در درجه حرارت معمولی اتاق نیز می‌توانند الکترون آزاد کنند. برای مثال اگر مطابق (شکل ۳-۲۲) دو فلز مس و روی را به یکدیگر متصل کنیم، الکترون‌ها از مس خارج شده و به اتم روی وارد می‌شوند. در نتیجه فلز روی، الکترون‌های اضافی کسب کرده و دارای بار منفی می‌شود و بالعکس مس که الکترون‌های خود را از دست داده دارای بار مثبت می‌شود.



شکل ۳-۲۳

مقدار بارهایی که در درجه حرارت اتاق تولید می‌شوند کم هستند زیرا انرژی حرارتی کافی برای آزاد کردن الکترون‌های بیشتر وجود ندارد ولی اگر محل اتصال دو فلز را حرارت دهیم انرژی بیشتری تولید می‌شود و الکترون‌های بیشتری آزاد می‌گردند. به این روش «ترموالکتریک» گفته می‌شود.

هرچه حرارت داده شده بیشتر باشد بار بیشتری تولید می‌شود. به اتصال این دو فلز «ترموکوپل» گفته می‌شود. هنگامی که چندین ترموکوپل به یکدیگر متصل شوند. یک ترموپیل (باتری حرارتی) به وجود می‌آید. از ترموکوپل (شکل ۳-۲۳) برای اندازه‌گیری درجه حرارت در کوره‌ها استفاده می‌شود.

الکتریسیته حاصل از نور: نور نوعی انرژی است که از ذرات حامل انرژی به نام فوتون به وجود می‌آید. هنگامی که فوتون‌های یک شعاع نوری با جسمی برخورد می‌کنند، انرژی خود را از دست می‌دهند. در بعضی اجسام انرژی فوتون‌ها باعث آزادی الکترون‌ها می‌شود. موادی مانند پتاسیم، سدیم، ژرمانیم و سولفات سرب در مقابل نور الکترون از دست می‌دهند.

یکی از پرکاربردترین روش‌های تولید الکتریسیته حاصل از نور روشن «فتوولتیک» است.



شکل ۳-۲۴

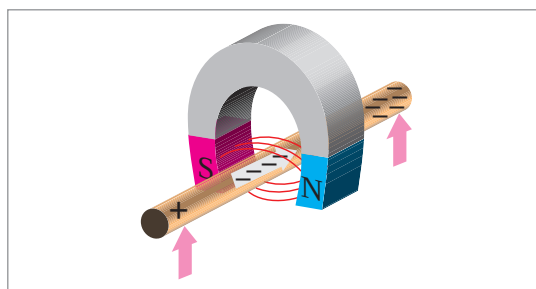
در این روش انرژی نورانی تابیده شده به یکی از دو صفحه متصل به هم باعث تخلیه الکترون از یکی به دیگری می‌شود. در نتیجه مانند باتری در دو صفحه بارهای مخالف ایجاد می‌شود.

امروزه با استفاده از نور تابیده شده خورشید بر روی صفحات (سلول‌های) خورشیدی الکتریسیته تولید می‌شود. (شکل ۳-۲۴) تصویر دو نمونه کاربرد این روش را نشان می‌دهد.

الکتریسیته حاصل از مغناطیس: همان طوری که می دانید دو آهنربا در حالتی یکدیگر را جذب و در شرایطی، یکدیگر را دفع می کنند. علت این امر آن است که میدان های حاصل از آهنرباها نیرویی دارند که بر یکدیگر اثر می کنند. با در نظر گرفتن این مقدمه حال اگر یک سیم مسی را در میدان مغناطیسی حرکت دهیم، الکترون های والانس سیم آزاد می شوند و داخل سیم در یک جهت به حرکت درمی آیند. از نیروی میدان مغناطیسی برای حرکت الکترون ها نیز می توان استفاده کرد. به این روش «الکتریسیته مغناطیسی» گفته می شود. شکل ۲۵-۳ تصویری از چگونگی اثرگذاری میدان مغناطیسی بر یک سیم و (شکل ۲۶-۳) تصویر یک مولد واقعی که براساس خاصیت الکترومغناطیسی کار می کند را نشان می دهد.



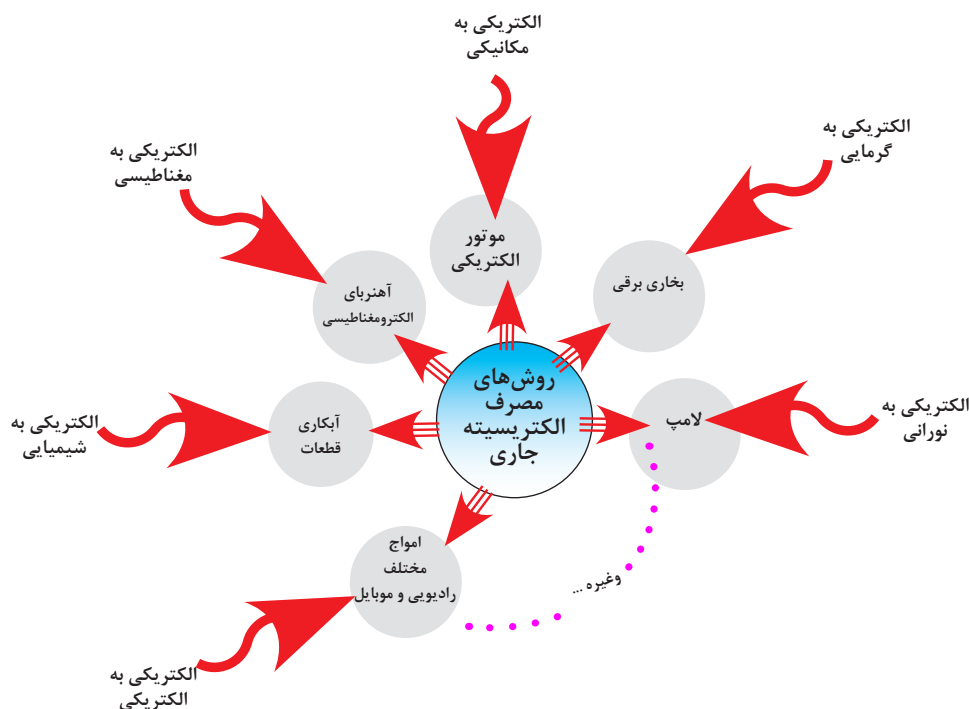
شکل ۲۶-۳ مولد واقعی کوچک



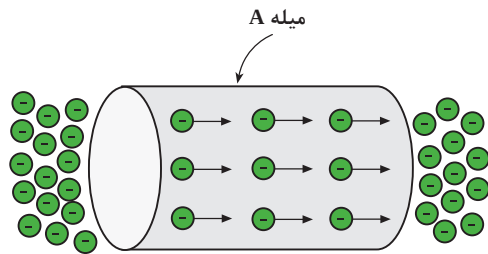
شکل ۲۵-۳ الکتریسیته مغناطیسی (الکترومغناطیس)

۲-۳-۳- مصرف الکتریسیته

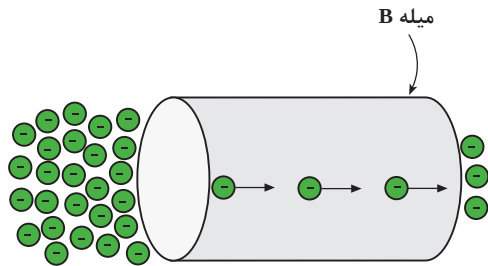
در عمل، زمینه های مصرف الکتریسیته تقریباً در تمامی علوم به نوعی وجود دارد که در شکل ۲۷-۳ به چند نمونه از آن اشاره شده است.



شکل ۲۷-۳



الف) میلۀ A الکترون‌ها را به خوبی عبور می‌دهد لذا دارای هدایت زیاد و مقاومت کم است



ب) میلۀ B الکترون‌ها را به خوبی عبور نمی‌دهد لذا دارای هدایت کم و مقاومت زیاد است

شکل ۳-۲۸- مقایسه دو هادی از نظر هدایت الکتریکی

۳-۳-۳- هدایت و مقاومت مخصوص

همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد اجسامی که در طبیعت وجود دارند نمی‌توانند جریان الکتریکی را به یک اندازه از خود عبور دهند، تعداد الکترون‌های لایه آخر مواد مختلف با هم متفاوت است. میزان هدایت اجسام را با ضریبی تحت‌عنوان «ضریب هدایت مخصوص» بیان می‌کنند. این ضریب نشان می‌دهد که یک جسم تا چه اندازه جریان الکتریکی را از خود عبور می‌دهد. ضریب هدایت را با حرف یونانی χ (کاپا) نشان می‌دهند.

ضریب دیگری که در اجسام مطرح می‌شود «ضریب مقاومت مخصوص» نام دارد. این ضریب میزان مخالفت جسم را نسبت به عبور جریان الکتریکی بیان می‌کند. ضریب مقاومت مخصوص را با حرف یونانی ρ (رو) نشان می‌دهند.

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

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

در واقع هر جسمی که قابلیت هدایت آن زیاد است مقاومت الکتریکی آن کم و هر جسمی که مقاومت الکتریکی آن زیاد باشد دارای هدایت الکتریکی کم است. در شکل ۳-۲۸ و ۳-۲۹ این مورد نشان داده شده است.



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



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

شکل ۳-۲۹

این دو ضریب بدون واحد بوده و واحد آنها بر حسب عوامل دیگر بیان می‌شود. یعنی:

$$\rho = \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\chi = \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$$

مقدار مقاومت و هدایت مخصوص سیم‌های مسی و آلومینیومی که در صنعت برق کاربرد دارند عبارت‌اند از:

$$\chi_{cu} = 56 \text{ (هدایت مخصوص مس)}$$

$$\rho_{cu} = \frac{1}{\chi} = \frac{1}{56} = 0.01785 \text{ (مقاومت مخصوص مس)}$$

$$\chi_{Al} = 37 \text{ (هدایت مخصوص آلومینیوم)}$$

$$\rho_{Al} = \frac{1}{\chi} = \frac{1}{37} = 0.027 \text{ (مقاومت مخصوص آلومینیوم)}$$



شکل ۳-۳۰- سیم‌های رابط خطوط انتقال باید دارای مقاومت کمی باشند. مقاومت این سیم‌ها از نوع مقاومت‌های مزاحم است.

در مباحث الکتریکی معمولاً میزان مقاومت یا هدایت مواد مختلف نسبت به مس سنجیده می‌شود. مثلاً اگر گفته شود نسبت مقاومت کربن ۲۰۳۰ می‌باشد، یعنی میزان مقاومت کربن ۲۰۳۰ مرتبه بیشتر از مس است.

۳-۴- مقاومت الکتریکی

«مقاومت الکتریکی» خاصیتی است که جسم در مقابل عبور جریان الکتریکی از خود مخالفت نشان می‌دهد. این مخالفت گاهی مانند مقاومت الکتریکی سیم‌های رابط به صورت ناخواسته و مزاحم در مدارهای الکتریکی وجود دارد. این مقاومت باعث ایجاد تلفات الکتریکی می‌شود. (شکل ۳-۳۰)



شکل ۳-۳۱- رشته حرارتی اتوی برقی به عنوان مقاومت الکتریکی نقش تولید حرارت و کنترل جریان را به عهده دارد.

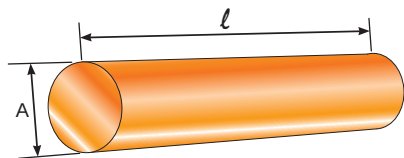
مقاومت می‌تواند به عنوان عاملی از پیش تعیین شده به صورت یک مصرف‌کننده در مدارهای الکتریکی قرار گیرد. رشته حرارتی (المنت) اتوی خشک برقی به عنوان یک مقاومت، نه تنها مزاحم نیست بلکه علاوه بر کنترل جریان الکتریکی حرارت نیز تولید می‌کند. (شکل ۳-۳۱)

مقدار مقاومت الکتریکی را بر حسب اهم (Ω) می‌سنجند. مقدار مقاومت الکتریکی به عوامل فیزیکی و الکتریکی گوناگونی بستگی دارد.

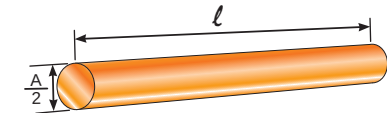
۳-۴-۱- عوامل فیزیکی مؤثر در مقدار مقاومت الکتریکی سیم

هرگاه سه قطعه سیم با مشخصات داده شده در شکل ۳-۳۲ را در اختیار داشته باشیم و به طور جداگانه مقدار مقاومت‌های هر یک از آنها را اندازه بگیریم به نتایجی می‌رسیم که نشانگر ارتباط بین عوامل مؤثر در مقاومت الکتریکی یک هادی است. برای بررسی عوامل، موارد زیر را مورد بررسی قرار می‌دهیم:

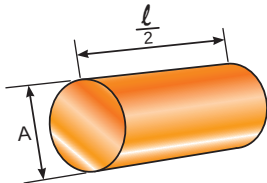
- ۱ مقاومت سیم (الف) را اندازه می‌گیریم و به عنوان مقاومت مبنا یادداشت می‌کنیم.
- ۲ سپس مقاومت سیم (ب) را اندازه می‌گیریم. در این حالت مشاهده می‌شود با وجودی که سطح مقطع سیم نصف شده است مقدار مقاومت آن دو برابر افزایش می‌یابد.
- ۳ با اندازه‌گیری مقاومت سیم در مرحله (ج) مشاهده می‌کنیم که با توجه به اینکه طول سیم در حالت (ج) نسبت به حالت (الف) نصف شده، مقدار مقاومت آن نیز به نصف مقدار در حالت (الف) کاهش یافته است.



مقاومت سیم (الف) R_1

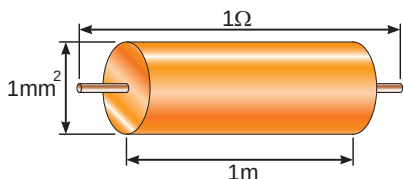


مقاومت سیم (ب) $2R_1$



مقاومت سیم (ج) $\frac{R_1}{2}$

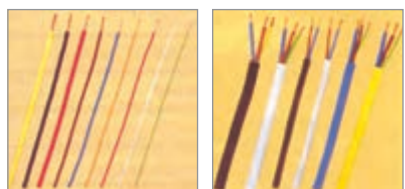
شکل ۳-۳۲ مقایسه مقاومت چند قطعه سیم با ابعاد مختلف



شکل ۳-۳۳ مشخصات سیمی با مقاومت مخصوص یک اهم

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \Rightarrow \rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$$

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



شکل ۳-۳۴ تصاویری از سیم‌های مسی یک و چند رشته با سطح مقطع $1/5 \text{ mm}^2$ و طول 20 cm

با مقایسه مراحل (الف، ب و ج) در می‌یابیم که مقاومت یک سیم با طول آن رابطه مستقیم و با سطح مقطع آن نسبت عکس دارد. مقدار مقاومت سیم را می‌توان از روابط زیر به دست آورد:

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

R - مقاومت سیم بر حسب اهم (Ω)

ℓ - طول سیم بر حسب متر (m)

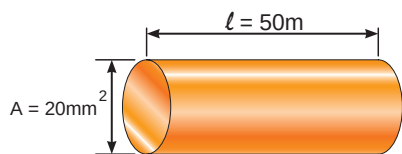
A - سطح مقطع سیم بر حسب میلی‌متر مربع (mm^2)

ρ - مقاومت مخصوص سیم بر حسب $\left(\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$

χ - هدایت مخصوص سیم بر حسب $\left(\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \right)$

$\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ که واحد مقاومت مخصوص سیم می‌باشد بیانگر آن است که مقاومت سیمی به طول یک متر و سطح مقطع یک میلی‌متر مربع برابر با یک اهم است. (شکل ۳-۳۳) این مطلب را به صورت ریاضی می‌توان چنین نوشت:

در شکل ۳-۳۴ تعدادی سیم با سطح مقطع‌های مختلف را مشاهده می‌کنید. در انتخاب سطح مقطع سیم برای سیم‌کشی مدارهای روشنایی یا صنعتی باید به طول و سطح مقطع سیم توجه داشت زیرا در صورت عدم دقت در انتخاب سطح مقطع مناسب، مقاومت سیم افزایش می‌یابد و میزان تلفات حرارتی را در سیم بالا می‌برد.



شکل ۳-۳۵ سیم مسی به همراه مشخصات

مثال: مقاومت سیم مسی با مشخصات داده شده در شکل ۳-۳۵ را به دست آورید. ($\chi = 56$)

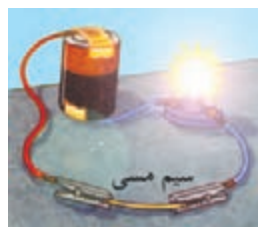
$$R = \frac{\ell}{\chi \cdot A}$$

$$R = \frac{50}{56 \times 20} \Rightarrow R = 0.44 \Omega$$

عکس مقاومت الکتریکی را «هدایت الکتریکی» می نامند و آن را با حرف (G) نمایش می دهند. واحد هدایت الکتریکی را برحسب مو (mho) بیان می کنند. $\left(1 \text{ mho} = \frac{1}{\Omega}\right)$



(ب) سیم تنگستن در بین دو گیره سوسماری



(الف) سیم مسی در بین دو گیره سوسماری

شکل ۳-۳۶

تصاویر الف و ب شکل ۳-۳۶ نشان می دهند که زیاد یا کم بودن مقدار ضریب هدایت یک سیم چقدر در میزان روشنایی لامپ مؤثر است.

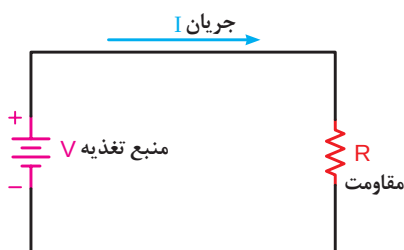
در تصویر (الف) چون سیم به کار رفته در محل اتصال مسی است مقاومت آن کم و به عبارت دیگر میزان هدایت آن زیاد است در این حالت نور لامپ زیاد می باشد. در شکل (ب) سیمی از جنس تنگستن استفاده شده است. چون مقدار هدایت سیم تنگستن کم است به همین خاطر نور لامپ کم می شود. هدایت الکتریکی را می توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$G = \frac{1}{R}$$

عوامل فیزیکی دیگری مانند دمای محیط، درصد مواد تشکیل دهنده و... در مقدار مقاومت ها مؤثر هستند که از طرح چنین مواردی خودداری می شود.

۲-۴-۳ عوامل الکتریکی مؤثر در مقاومت

هرگاه مقاومت الکتریکی در مدار به عنوان مصرف کننده مطرح باشد عوامل الکتریکی مختلفی در تعیین مقدار آن مؤثر است. از جمله می توان ولتاژ مدار و جریان قابل تحمل مقاومت را نام برد. برای مشخص نمودن مقدار مقاومت از روابط خاصی استفاده می شود که در بحث قوانین اساسی برق با آن آشنا خواهید شد. علامت اختصاری مقاومت در مدارهای الکتریکی به صورت $\text{---}\text{R}\text{---}$ یا $\text{---}\text{R}\text{---}$ است. (شکل ۳-۳۷)



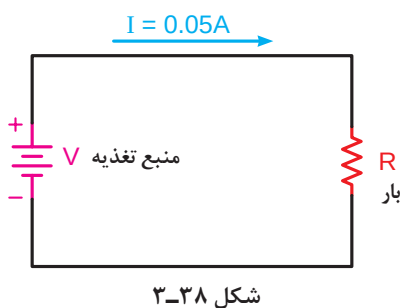
شکل ۳-۳۷

۳-۴-۳- چگونگی تبدیل واحدها به یکدیگر

همان‌گونه که اشاره شد کمیت‌های الکتریکی جریان (I)، ولتاژ (V) و مقاومت (R) به ترتیب دارای واحدهای آمپر (A)، ولت (V) و اهم (Ω) هستند. در مدارهای الکتریکی این واحدها در مقیاس‌های کوچک‌تر یا بزرگ‌تر از واحد اصلی خود نیز به کار می‌روند. جدول ۳-۱ نحوه تبدیل این واحدها را به یکدیگر نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱- اجزاء و اضعاف واحدهای اصلی الکتریکی

چگونگی تبدیل ضرایب	حرف اختصاری	نام ضریب	شکل نمایی ضریب	مقدار ضریب
از واحدهای بزرگ‌تر به واحدهای کوچک‌تر در ضرایب دارای توان مثبت ضرب می‌کنیم. ↓	T	ترا	10^{12}	۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰
	G	گیگا	10^9	۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰
	M	مگا	10^6	۱۰۰۰۰۰۰۰
	K	کیلو	10^3	۱۰۰۰
	H	هکتو	10^2	۱۰۰
	da	دکا	10	۱۰
		واحد اصلی	10^0	۱
	d	دسی	10^{-1}	۰/۱
	c	سانتی	10^{-2}	۰/۰۱
	m	میلی	10^{-3}	۰/۰۰۱
از واحدهای کوچک‌تر به واحدهای بزرگ‌تر در ضرایب دارای توان منفی ضرب می‌کنیم. ↑	μ	میکرو	10^{-6}	۰/۰۰۰۰۰۱
	n	نانو	10^{-9}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱
	p	پیکو	10^{-12}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱

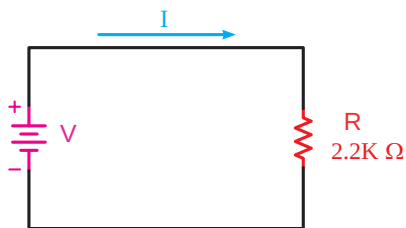


توضیح: ضرابی که با رنگ قرمز مشخص شده‌اند در مباحث الکتریسته کاربرد دارند.

مثال: شدت جریان عبوری از مدار شکل ۳-۳۸ معادل چند میلی‌آمپر است؟

$$I = 0.05 \times 10^2 = 5 \times 10^{-2} \times 10^2$$

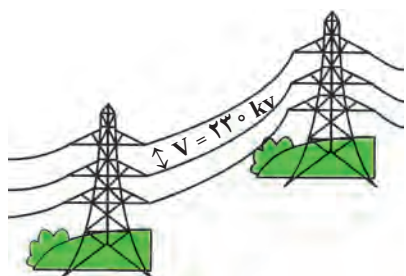
$$I = 50 \text{ mA}$$



شکل ۳-۳۹- منبع تغذیه

مثال: مقاومت R مدار شکل ۳-۳۹ معادل چند اهم است؟

$$R = 2/2 \times 10^3 = 2200 \Omega$$



شکل ۳-۴۰

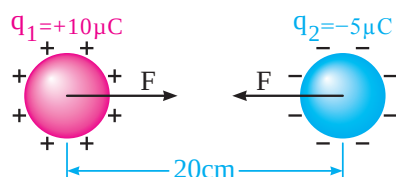
مثال: ولتاژ نشان داده شده در بین دو سیم شکل ۳-۴۰ معادل چند میلی‌ولت است؟

$$V = 230 \times 10^3 = 230000$$

$$V = 230000 \div 10^3 = 230000 \times 10^{-3}$$

$$= 23 \times 10^4 \times 10^{-3} = 23 \times 10^1$$

$$V = 230000000 \text{ mV}$$



مثال: اندازه نیروی بین دو ذره باردار $Q_1 = 10 \mu\text{C}$ و $Q_2 = -5 \mu\text{C}$ که مطابق شکل در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از هم قرار گرفته‌اند چند نیوتن است؟ ($k = 9 \times 10^9$)

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

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{10 \times 10^{-6} \times -5 \times 10^{-6}}{(20 \times 10^{-2})^2}$$

$$F = \frac{-450 \times 10^9 \times 10^{-12}}{400 \times 10^{-4}} = \frac{-450 \times 10^{-3}}{400 \times 10^{-4}}$$

$$F = \frac{-450 \times 10^{-3} \times 10^4}{400} = -11250 = -11.25 \text{ N}$$

مثال: بار الکتریکی $q = 2 \mu\text{C}$ در یک نقطه از میدان بر بار Q ، نیروی ۶ میلی نیوتن وارد می‌شود. اندازه

میدان الکتریکی در این نقطه چند $\frac{\text{N}}{\text{C}}$ است؟

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

$$E = \frac{6 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-6}} = \frac{6 \times 10^{-3} \times 10^6}{2}$$

$$E = 3 \times 10^3 = 3000 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

۳-۵- انواع مقاومت‌ها

مقاومت‌های الکتریکی به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

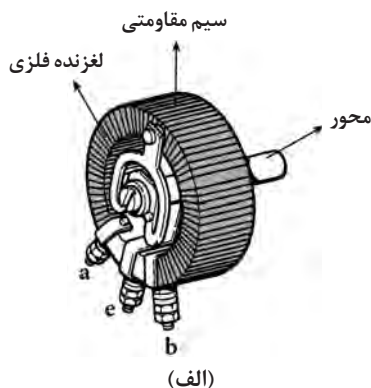
انواع مقاومت‌ها

۱ مقاومت‌های ثابت

۲ مقاومت‌های متغیر:

الف) با تنظیم دستی (ب) تابع عوامل فیزیکی

در شکل ۳-۴۱ نمونه‌هایی از مقاومت‌های ثابت و متغیر را مشاهده می‌کنید.



(الف)

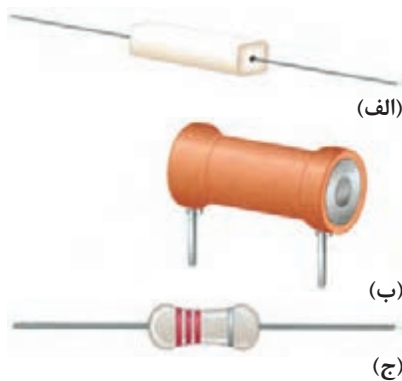


(ب)

شکل ۳-۴۱- مقاومت‌های ثابت و متغیر

۳-۵-۱- مقاومت‌های ثابت

به آن گروه از مقاومت‌ها که مقدار آنها را با دست نمی‌توان تغییر داد «مقاومت‌های ثابت» می‌گویند. این مقاومت‌ها در انواع مختلف ساخته می‌شوند که شکل ۳-۴۲ نمونه‌هایی از آن را نشان می‌دهد.



(الف)

(ب)

(ج)

شکل ۳-۴۲- مقاومت‌های ثابت

۳-۵-۲- مقاومت‌های متغیر

گروهی از مقاومت‌ها هستند که امکان تغییر مقدار در آنها به کمک دست و عوامل فیزیکی وجود دارد. این مقاومت‌ها را «مقاومت متغیر» می‌گویند.

مقاومت‌های متغیر دارای دو پایه ثابت و یک پایه متغیر هستند مقاومت‌های متغیر به دو صورت «تنظیم دستی» و «تابع عوامل فیزیکی» ساخته می‌شوند.

در نوع دستی، مقدار مقاومت را می‌توان با یک اهرم (لغزنده) و یا چرخاندن پیچ گوشتی به کمک دست تغییر داد. در شکل ۳-۴۳ تصویر ظاهری انواع مقاومت‌های متغیر با تنظیم دستی را مشاهده می‌کنید.

مقاومت‌های متغیر با تنظیم دستی به دو صورت در مدارها به کار می‌روند.

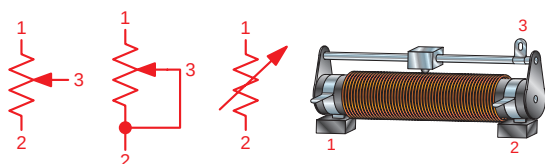


(ب) مقدار مقاومت با چرخاندن ولوم به کمک دست تغییر می‌کند.

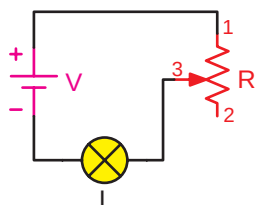


(الف) مقدار مقاومت با چرخاندن ولوم به وسیله پیچ گوشتی تغییر می‌کند.

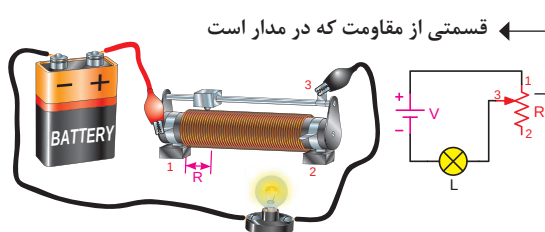
شکل ۳-۴۳- انواع مقاومت‌های متغیر با تنظیم دستی



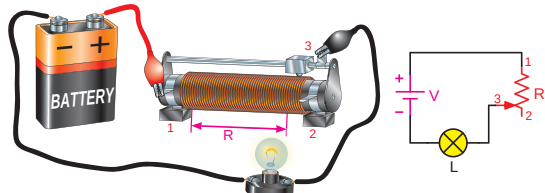
شکل ۳-۴۴- تصویر ظاهری و علائم اختصاری مقاومت متغیر



شکل ۳-۴۵- نحوه اتصال مقاومت متغیر در حالت رئوستایی

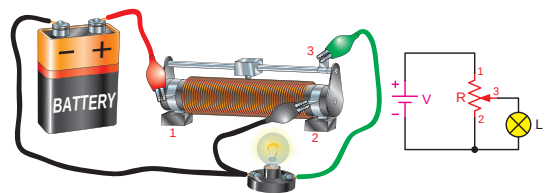


الف) مقاومت رئوستا کم و لامپ پر نور است.



ب) مقاومت رئوستا زیاد و لامپ کم نور است.

شکل ۳-۴۶



شکل ۳-۴۷

■ **حالت‌های رئوستایی:** هرگاه از یک پایه ثابت و پایه متغیر استفاده شود در اصطلاح گفته می‌شود که مقاومت متغیر در حالت رئوستایی قرار گرفته است. شکل ۳-۴۴ پایه‌های ثابت و متغیر مقاومت را به همراه علامت اختصاری آن نشان می‌دهد.

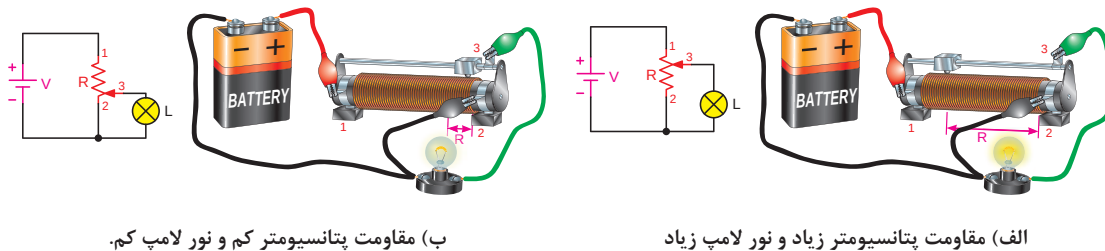
از مقاومت متغیر در حالت رئوستایی برای کنترل جریان مصرف‌کننده استفاده می‌شود. یعنی به واسطه تغییر در مقدار مقاومت می‌توانیم جریان مدار را کم یا زیاد کنیم. شکل ۳-۴۵ نحوه اتصال مقاومت متغیر به حالت رئوستایی در مدار را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در شکل ۳-۴۶ الف مشاهده می‌کنید با حرکت دادن پایه متحرک (۳) به سمت پایه ثابت (۱) مقدار مقاومت موجود در مسیر لامپ کاهش می‌یابد و جریان عبوری زیاد می‌شود و لامپ را پر نورتر می‌کند.

در صورت حرکت دادن پایه متحرک (۳) به طرف پایه ثابت (۲) مقدار مقاومتی که در مسیر لامپ قرار می‌گیرد افزایش یافته و جریان عبوری از لامپ را کاهش می‌دهد و لامپ را کم نور می‌کند.

■ **حالت‌های پتانسیومتری:** اگر از هر سه پایه ثابت و یک پایه متغیر (یک مقاومت متغیر) استفاده شود در اصطلاح گفته می‌شود که مقاومت متغیر در حالت پتانسیومتری بسته شده است. از این حالت اتصال مقاومت‌های متغیر در مدارها برای کنترل ولتاژ مصرف‌کننده استفاده می‌شود. یعنی با تغییر در مقدار مقاومت می‌توان ولتاژ مصرف‌کننده را کم‌و‌زیاد کرد. شکل ۳-۴۷ نحوه اتصال مقاومت در حالت پتانسیومتری را نشان می‌دهد.

در مدار شکل ۳-۴۸ الف هرگاه پایه متحرک (۳) را به پایه ثابت (۱) نزدیک کنیم مقدار مقاومت پتانسیومتر که به دو سر لامپ اتصال دارد، افزایش می‌یابد و نور لامپ زیاد می‌شود. در صورتی که پایه متحرک (۳) را به پایه ثابت (۲) نزدیک کنیم مقدار مقاومت متصل شده به دو سر لامپ کاهش می‌یابد و نور لامپ کم می‌شود. (شکل ۳-۴۸ ب)



ب) مقاومت پتانسیومتر کم و نور لامپ کم.

الف) مقاومت پتانسیومتر زیاد و نور لامپ زیاد

شکل ۳-۴۸

۳-۵-۳ مقاومت وابسته به حرارت (ترمیستور)^۱

این مقاومت‌ها تابع حرارت هستند و تغییرات دما روی مقدار مقاومت آنها اثر می‌گذارد. این نوع مقاومت‌ها در دو نوع NTC و PTC وجود دارند.

■ **مقاومت حرارتی NTC:** ترمیستورهایی هستند که در اثر افزایش دما مقدار مقاومت آنها کاهش می‌یابد. (شکل ۳-۴۹)



الف) شکل ظاهری

ب) علامت اختصاری

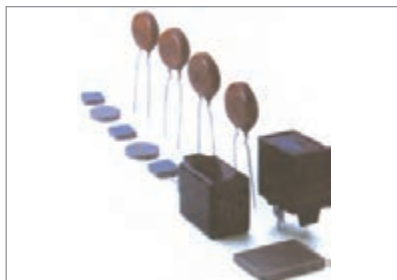
شکل ۳-۴۹ انواع مقاومت‌های NTC و علامت اختصاری آن

■ **مقاومت حرارتی PTC:** ترمیستورهایی هستند که در اثر افزایش دما مقدار مقاومتشان افزایش می‌یابد. (شکل ۳-۵۰)

۳-۵-۴ اثر حرارت بر مقاومت الکتریکی

یکی از عوامل فیزیکی که بر روی مقدار مقاومت‌ها تأثیر بسزایی داشته و زمینه کاربردی زیادی را نیز دارد اثر حرارت بر مقدار مقاومت الکتریکی است. هر مقاومت الکتریکی در مقابل افزایش حرارت از خود واکنش خاصی را نشان می‌دهند.

اصطلاحاً به تغییرات مقدار مقاومت به ازای یک درجه سانتی‌گراد «ضریب حرارتی» می‌گویند که به (α) نمایش می‌دهند.



الف) شکل ظاهری

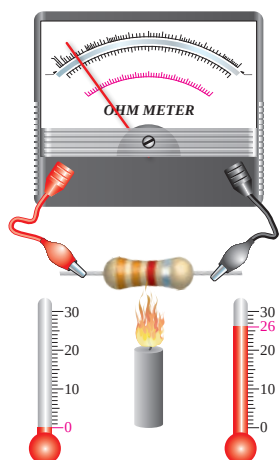
ب) علامت اختصاری

شکل ۳-۵۰ انواع مقاومت‌های PTC و علامت اختصاری آن

۱- Termistor

۲- NTC- Negative Temperature coefficient

۳- PTC-Positive Temperature Coefficient



شکل ۳-۵۱

همان گونه که اشاره شد مقاومت های تابع حرارت (ترمیستورها) در دو نوع PTC و NTC وجود دارند. در واقع مقاومت های PTC دارای ضریب حرارتی مثبت $(+\alpha)$ و مشخصه ای به صورت شکل (۳-۵۲) و مقاومت های NTC دارای ضریب حرارتی منفی $(-\alpha)$ و مشخصه ای به صورت شکل (۳-۵۳) است.

برای محاسبه مقدار مقاومت در اثر افزایش درجه حرارت از رابطه مقابل می توان استفاده کرد.

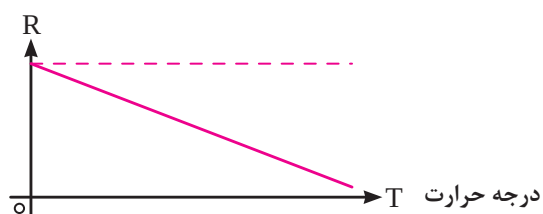
$$R_t = R_o (1 + \alpha t)$$

R_o - مقدار مقاومت در دمای صفر درجه بر حسب اهم $[\Omega]$

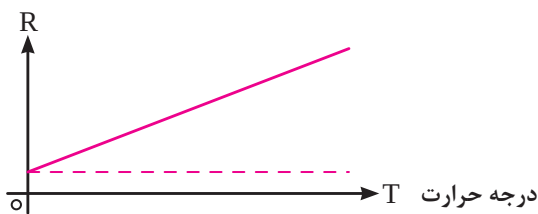
α - ضریب حرارتی بر حسب $\left[\frac{1}{C^0}\right]$

t - مقدار دمای افزایش یافته نسبت به صفر درجه سانتی گراد.

R_t - مقاومت در دمای t درجه سانتی گراد بر حسب اهم $[\Omega]$



شکل ۳-۵۳



شکل ۳-۵۲

مثال: مقاومت الکتریکی سیمی در صفر درجه سانتی گراد 50Ω است. اگر دمای سیم به 150 درجه سانتی گراد برسد؛ مقاومت الکتریکی سیم چند اهم می شود؟ $\left(\alpha = 0.005 \frac{1}{C}\right)$

$$R_t = R_o (1 + \alpha t)$$

$$R_t = 50 (1 + 0.005 \times 150)$$

$$R_t = 87.5 \Omega$$

اگر مقاومت المنت یک سماور برقی در صفر درجه سانتی گراد 100Ω بوده و در ضمن کار کردن به 160Ω برسد چه مقدار درجه حرارت المنت افزایش یافته است؟ $(\alpha = 0.004)$

الف) ۱۰۰

ب) ۱۲۰

ج) ۸۰

د) ۱۵۰

تمرین



۳-۵-۵- مقاومت وابسته به نور (فتورزیستور)^۱

مقدار مقاومت تابع نور (LDR)^۲ وابسته به شدت نور تابیده شده به آن می‌باشد. هر قدر شدت نور بیشتر شود مقدار مقاومت فتورزیستور کاهش می‌یابد. (شکل ۳-۵۴)

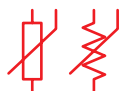


الف) شکل ظاهری ب) علامت اختصاری

شکل ۳-۵۴- تصویر ظاهری و علامت اختصاری مقاومت LDR

۳-۵-۶- مقاومت وابسته به ولتاژ (واریستور)^۳

مقاومت‌های متغیری هستند که مقدار مقاومت آنها به‌ازای ولتاژهای مختلف ثابت نیست و تغییر می‌کند. در این نوع مقاومت‌ها که به (VDR)^۴ معروف هستند، هر قدر ولتاژ داده شده بیشتر شود، مقدار مقاومت کاهش می‌یابد. (شکل ۳-۵۵)



الف) شکل ظاهری ب) علامت اختصاری

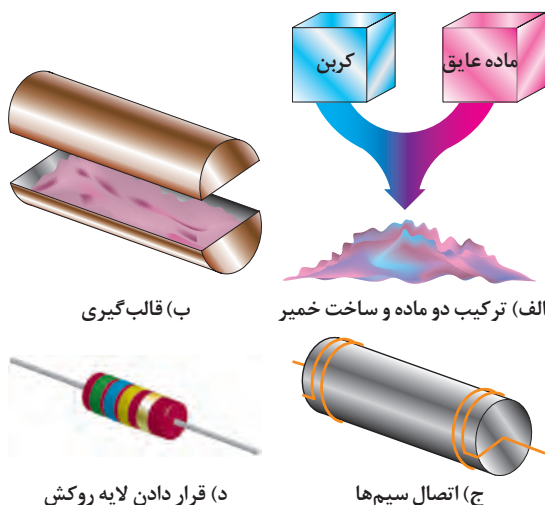
شکل ۳-۵۵- تصویر مقاومت وابسته به ولتاژ و علامت اختصاری آن

۳-۶- تکنیک ساخت مقاومت‌ها

مقاومت‌های الکتریکی را از نظر تکنولوژی ساخت به سه گروه می‌توان تقسیم کرد:

۳-۶-۱- مقاومت‌های توده کربنی (ترکیب کربن)^۵

مقاومت‌های توده کربنی از مخلوط کردن پودر نرم کربن یا گرافیت با پودر عایق ساخته می‌شوند. به مخلوط فوق یک نوع چسب اضافه شده تا به صورت خمیر درآیند و درون یک قالب استوانه‌ای با ابعاد خاص فشرده می‌شوند. سپس سیم‌های اتصال را در درون خمیر فرو می‌برند و مجموعه را درون کوره می‌پزند تا سخت شود. در انتها برای محافظت در مقابل رطوبت و عایق کردن مقاومت، روی آن را یک لایه لاک محکم می‌کشند. (شکل ۳-۵۶)



الف) ترکیب دو ماده و ساخت خمیر ب) قالب‌گیری

د) قرار دادن لایه روکش

ج) اتصال سیم‌ها

شکل ۳-۵۶- مراحل ساخت مقاومت توده کربنی

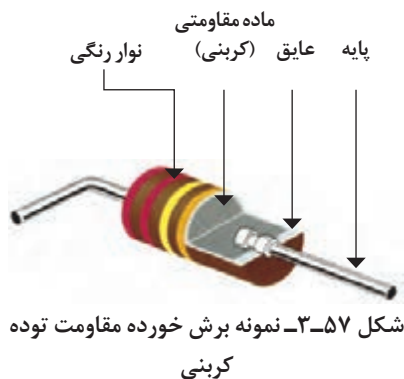
۱- Photo Resistor

۲- LDR- Light Dependent Resistor

۳- Varistor

۴- VDR- Voltage Dependent Resistor

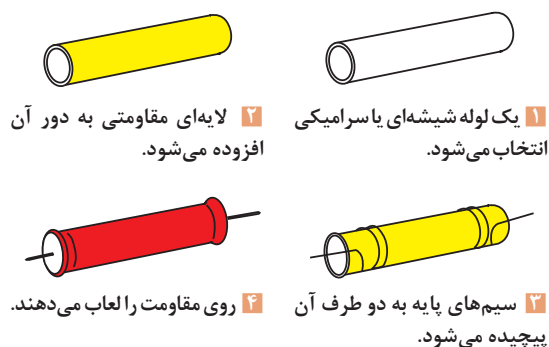
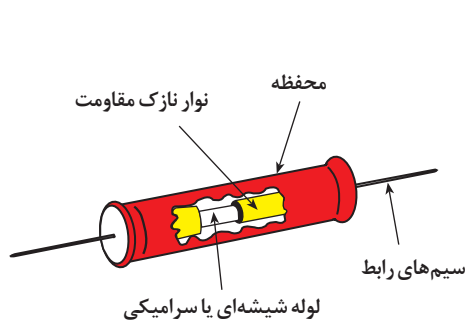
۵- Carbon Composition Resistor



شکل ۳-۵۷ نمونه برش خورده ای از این مقاومت ها را نشان می دهد.

۳-۶-۲- مقاومت های لایه ای^۱

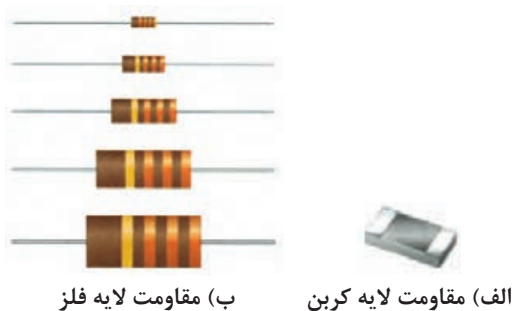
مقاومت لایه ای را معمولاً به وسیله رسوب دادن (لعب دادن) نوار نازکی از ماده مقاومتی بر روی یک لوله سرامیکی یا شیشه ای می سازند. دو درپوش کوچک و دو سیم رابط را به انتهای پوشش (لعب) مقاومتی وصل می کنند. سپس آن را با یک نوع ماده عایقی روکش می کنند. شکل ۳-۵۸ مراحل ساخت این نوع مقاومت ها را نشان می دهد.



ب) نمای برش خورده مقاومت لایه ای

الف) مراحل ساخت مقاومت لایه ای

شکل ۳-۵۸



لایه مقاومتی را که در روی میله سرامیکی لعب داده می شود از ترکیبات متفاوتی می سازند. نام مقاومت لایه ای متناسب با نوع ماده استفاده شده انتخاب می شود.

مقاومت های لایه ای در سه نوع:

«مقاومت لایه کربنی»^۲، «مقاومت لایه فلز»^۳ و «مقاومت لایه اکسید فلز»^۴ ساخته می شوند. (شکل ۳-۵۹)

۱- Film Resistor
۲- Carbon. Film Resistor
۳- Metal Film Resistor
۴- Metal Film Resistor



شکل ۳-۶۰ یک نوع مقاومت سیمی

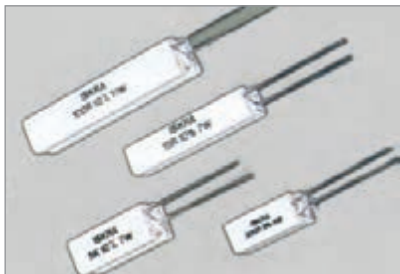


(الف)



(ب)

شکل ۳-۶۱ نمونه‌هایی از مقاومت‌های سیمی و کربنی



شکل ۳-۶۲

۳-۶-۳ مقاومت‌های سیمی^۱

در این نوع مقاومت یک سیم مقاومت‌دار را که معمولاً از جنس کرم - نیکل است با طول و سطح مقطع معین به دور یک هسته عایق (سرامیکی) می‌پیچند و سپس سر سیم‌ها به کلاهک‌های مخصوصی متصل می‌شوند. در خاتمه نیز سطح مقاومت را با یک روکش سرامیکی، پلاستیکی یا سیلیکونی می‌پوشانند. (شکل ۳-۶۰)

۳-۷ نحوه خواندن مقدار مقاومت‌ها

مقدار مقاومت‌ها را روی بدنه آنها می‌نویسند (مانند: مقاومت‌های سیمی) و یا به کمک نوارهای رنگی مشخص می‌کنند (مانند مقاومت‌های کربنی و لایه‌ای) شکل ۳-۶۱ نمونه‌هایی از این مقاومت‌ها را نشان می‌دهد. از مشخصات مهم مقاومت‌ها می‌توان به سه عامل زیر اشاره کرد:

۱ مقدار مقاومت: میزان خاصیت اهمی مقاومت را مقدار مقاومت می‌نامند و آن را با اهم مشخص می‌کنند.

۲ میزان خطا (تولرانس): مقدار حداقل و حداکثر خطایی که ممکن است در حین ساخت بر روی مقدار مقاومت به وجود آید، «خطا یا تولرانس» مقاومت می‌نامند. مقدار خطا را به صورت مثبت و منفی درصد ($\pm\%$) می‌نویسند.

۳ توان مجاز مقاومت: حداکثر قدرت تحمل مقاومت در مقابل عبور جریان الکتریکی را «توان مجاز» می‌نامند.

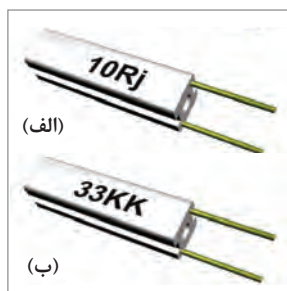
۳-۷-۱ خواندن مقاومت‌ها با روش مستقیم

در این روش مقدار مقاومت همراه با میزان تولرانس روی بدنه آن نوشته می‌شود. شکل ۳-۶۲. یا از حروف اختصاری برای مشخص کردن مقدار تولرانس مقاومت استفاده می‌کنند. در این شرایط اگر مقدار مقاومت عدد صحیح باشد آن عدد عیناً نوشته می‌شود و در این حالت واحد مقاومت را با حروف R برای اهم، K برای کیلو اهم و M برای مگا اهم مشخص می‌کنند. در صورتی که مقدار مقاومت عدد اعشاری باشد از حروف مربوط به واحدها به عنوان ممیز استفاده می‌کنند. در این روش تولرانس طبق جدول ۳-۲ بیان می‌شود.

جدول ۳-۲ حروف اختصاری تولرانس مقاومت‌های سیمی

حروف اختصاری	J	K	M
مقدار تولرانس	($\pm 5\%$)	($\pm 10\%$)	($\pm 20\%$)

۱- Wire-Wound Resistor



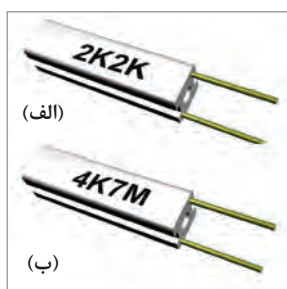
شکل ۳-۶۳- دو نمونه مقاومت سیمی

برای آشنایی بیشتر با این روش به ذکر چند مثال می پردازیم:
مثال: مقدار اهم و تفرانس مقاومت های نشان داده شده در شکل ۳-۶۳ چقدر است؟

حل: با توجه به جدول حروف رمز داریم که:

(الف) $10Rj = 10\Omega \pm 5\%$

(ب) $33KK = 33K\Omega \pm 10\%$



شکل ۳-۶۴

مثال: روی بدنه مقاومت هایی با مقدار اهم و تفرانس زیر از چه حروفی استفاده می شود؟

(الف) $R = 2/2K\Omega \pm 10\%$

(ب) $R = 4/7K\Omega \pm 20\%$

حل: براساس جدول، حروف رمز مقاومت ها به صورت شکل ۳-۶۴ خواهد شد.

۳-۷-۲- خواندن مقاومت ها به کمک نوارهای رنگی

در این روش برای تعیین مقدار اهم و تفرانس مقاومت های اهمی از چهار و یا پنج حلقه (نوار) رنگی بر روی بدنه مقاومت ها استفاده می شود.

■ روش چهار نوازی: در مقاومت هایی که با چهار نوار رنگی مشخص می شوند مفهوم نوارهای رنگی مطابق شکل ۳-۶۵ است.

در این روش حلقه های رنگی اول و دوم معرف ارقام اول و دوم مقدار مقاومت، حلقه سوم نشان دهنده ضریب مقاومت و حلقه چهارم بیان کننده تفرانس مقاومت است.

توضیح: اگر حلقه رنگی چهارم وجود نداشته باشد (بدون رنگ) مقدار تفرانس درصد خطا را 20% در نظر می گیریم.

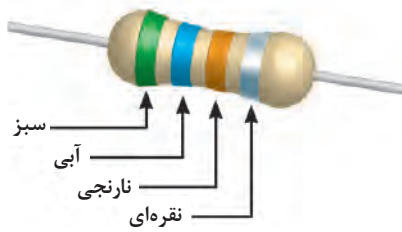
	حلقه اول	حلقه دوم	حلقه سوم	حلقه چهارم
سیاه	0	0	—	
قهوه ای	1	1	0	
قرمز	2	2	00	
نارنجی	3	3	000	
زرد	4	4	0000	
سبز	5	5	00000	
آبی	6	6	000000	
بنفش	7	7		
خاکستری	8	8	$\div 10$	$\pm 5\%$
سفید	9	9	$\div 100$	$\pm 10\%$

شکل ۳-۶۵- مقاومت های دارای ۴ حلقه رنگی

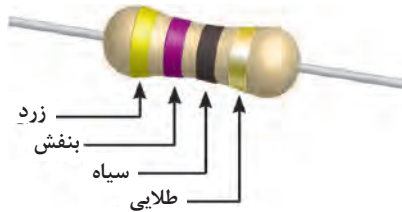
هیچ گاه نوار رنگی سیاه به عنوان حلقه اول به کار نمی رود. ضمناً نوار رنگی سیاه در حلقه چهارم از هیچ گونه ارزش رقمی برخوردار نیست.

توجه

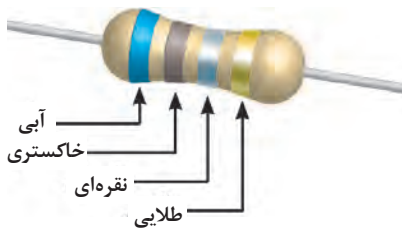




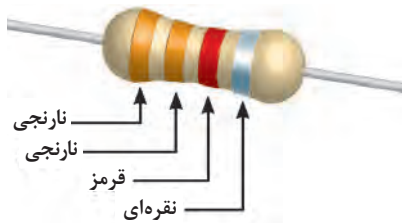
شکل ۳-۶۶



شکل ۳-۶۷



شکل ۳-۶۸



شکل ۳-۶۹

برای آشنایی بیشتر با این روش به ذکر چند مثال می‌پردازیم:
مثال: نوارهای رنگی مقاومتی مطابق شکل ۳-۶۶ است مقدار مقاومت و تolerانس آن چقدر است؟
حل:

نقره‌ای - نارنجی - آبی - سبز

۵ ۶ ۰۰۰ %۱۰

$$۵۶۰۰۰\Omega = ۵۶ \times ۱۰^3 \Omega \pm ۱\%$$

مثال: مقدار مقاومت و تolerانس شکل ۳-۶۷ را مشخص کنید.

حل: با توجه به جدول نوارهای رنگی می‌توان نوشت:

طلایی - سیاه - بنفش - زرد

۴ ۷ - %۵

$$۴۷\Omega \pm ۵\%$$

مثال: مقدار اهم و میزان تolerانس مقاومت شکل ۳-۶۸ چقدر است؟

طلایی - نقره‌ای - خاکستری - آبی

۶ ۸ ۰/۰۱ %۵

$$۶۸ \times ۰/۰۱ = ۰/۶۸ \pm ۵\%$$

مثال: نوارهای رنگی مقاومت $۳/۳K\Omega \pm ۱\%$ را تعیین کنید.
حل: با کمک جدول برای حلقه‌های اول تا چهارم رنگ آنها را مشخص می‌کنیم.

حلقه پنجم	حلقه چهارم	حلقه سوم	حلقه دوم	حلقه اول	
سیاه	۰	۰	۰	۰	
قهوه‌ای	۱	۱	۱	۱	۱%
قرمز	۲	۲	۲	۲	۲%
نارنجی	۳	۳	۳	۳	۰۰۰
زرد	۴	۴	۴	۴	۰۰۰۰
سبز	۵	۵	۵	۵	۰۰۰۰۰ ۰.۵%
آبی	۶	۶	۶	۶	۰۰۰۰۰۰ ۰.۲۵%
بنفش	۷	۷	۷	۷	۰.۱%
خاکستری	۸	۸	۸	۸	÷ ۱۰ طلایی
سفید	۹	۹	۹	۹	÷ ۱۰۰ نقره‌ای

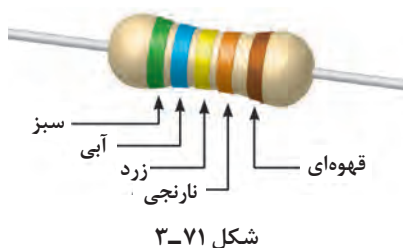
شکل ۳-۷۰ مقاومت‌های دارای ۵ حلقه رنگی

روش پنج نوازی: در این روش سه نوار اول، دوم و سوم نشان‌دهنده ارقام اول، دوم و سوم مقدار مقاومت، نوار چهارم معرف ضریب و حلقه پنجم تعیین‌کننده میزان تolerانس مقاومت است.
شکل ۳-۷۰ مفهوم نوارهای رنگی در مقاومت‌هایی را که دارای پنج نوار رنگی هستند، نشان می‌دهد.
توضیح: در صورتی که حلقه رنگی پنجم وجود نداشته باشد (بی‌رنگ باشد) مقدار تolerانس ۲۰% است.

هیچ‌گاه نوار رنگی سیاه به‌عنوان حلقه اول به کار نمی‌رود. ضمناً نوار رنگی سیاه در حلقه چهارم از هیچ‌گونه ارزش رقمی برخوردار نیست.

توجه





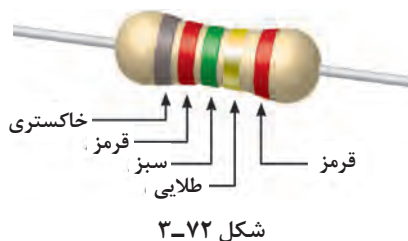
مثال: نوارهای رنگی مقاومتی مطابق شکل ۳-۷۱ است، مقدار مقاومت تفرانس آن چقدر است؟

حل: با توجه به جدول نوارهای رنگی می‌توان نوشت:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{قهوه‌ای} & - & \text{نارنجی} & - & \text{زرد} & - & \text{آبی} & - & \text{سبز} \\ 5 & 6 & 4 & 000 & \%1 \\ 564000 = 564 \times 10^3 \Omega \pm \%1 \end{array}$$

مثال: مقدار مقاومت و تفرانس شکل ۳-۷۲ را مشخص کنید.

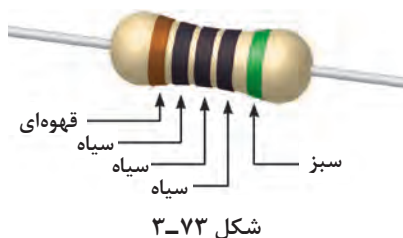
حل:



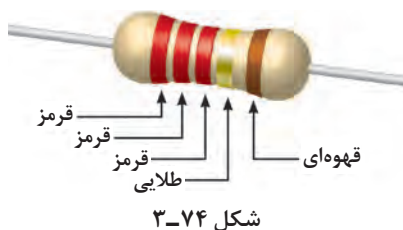
$$\begin{array}{ccccccc} \text{قرمز} & - & \text{طلایی} & - & \text{سبز} & - & \text{خاکستری} \\ 8 & 2 & 5 & 0/1 & \%2 \\ 825 \times 0/1 = 82/5 \Omega \pm \%2 \end{array}$$

مثال: مقدار اهم و میزان تفرانس مقاومت شکل ۳-۷۳ چقدر است؟

حل:



$$\begin{array}{ccccccc} \text{سبز} & - & \text{سیاه} & - & \text{سیاه} & - & \text{قهوه‌ای} \\ 1 & 0 & 0 & - & \%0/5 \\ 100 \Omega \pm \%0/5 \end{array}$$



مثال: نوارهای رنگی مقاومت $22/2 \Omega \pm \%1$ را تعیین کنید.

حل: با کمک جدول برای حلقه‌های اول تا پنجم رنگ آنها را مطابق شکل ۳-۷۴ مشخص می‌کنیم.

۳-۸ استاندارد مقاومت‌ها

از آنجایی که مقاومت‌های الکتریکی دارای مقداری ثابت و درصد معینی تفرانس است، بنابراین هر مقاومت اهمی محدوده مشخصی را می‌پوشاند (شکل ۳-۷۵).

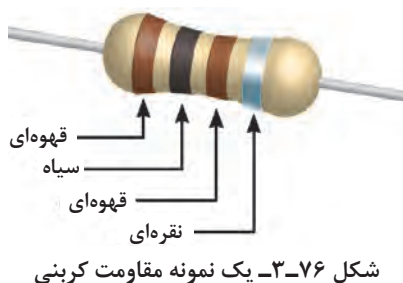
مثال: محدوده اهمی مقاومت شکل ۳-۷۶ را محاسبه کنید.

$$\text{مقدار تفرانس مقاومت} = (\pm \%10) \times 100 = \left(\pm \frac{10}{100} \right) \times 100 = \pm 10 \Omega$$

$$R_1 = 100 - 10 = 90$$

$$R_2 = 100 + 10 = 110$$

بنابراین مقدار مقاومت بین ۹۰ و ۱۱۰ اهم قرار دارد.



بر همین اساس در ساخت مقاومت‌ها سعی شده است که مقادیر مقاومتی طوری انتخاب شوند که محدوده مقاومت‌ها روی یکدیگر هم‌پوشانی نداشته باشند. بنابراین برای تولید مقاومت‌های اهمی اعداد پایه‌ای را تحت عناوین سری مقاومت‌های استاندارد تعریف می‌کنند. این سری‌ها را E6، E12، E24، E48 و E96 می‌نامند. در جدول ۳-۳ سه سری از استانداردهای مقاومت‌ها نشان داده شده است.

جدول ۳-۳- جدول سری‌های استاندارد مقاومت

IEC-Series	E6	$\sqrt[6]{10}$	1.0				1.5				2.2				3.3				4.7				6.8			
	E12	$\sqrt[12]{10}$	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2	10	12	15	18	22	27	33	39	47	56	68	82
	E24	$\sqrt[24]{10}$	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1

با داشتن اعداد پایه داخل جدول و ضرب آنها در اعداد ۰/۰۱، ۰/۱، ۱، ۱۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰، ۱۰۰۰۰ می‌توان مقدار اهم مقاومت‌های موجود و استاندارد را به دست آورد. به عنوان مثال با انتخاب عدد ۱/۶ از سری E24 و ضرب آن در ضرایب نام برده شده فوق می‌توان مقاومت‌های اهمی استاندارد موجود را با روش مقابل به دست آورد.

$$1/6 \times 0.01 = 0.016\Omega$$

$$1/6 \times 0.1 = 0.16\Omega$$

$$1/6 \times 1 = 1/6\Omega$$

$$1/6 \times 10 = 16\Omega$$

$$1/6 \times 10^2 = 160\Omega$$

$$1/6 \times 10^3 = 1600\Omega = 1.6k\Omega$$

$$1/6 \times 10^4 = 16000\Omega = 16k\Omega$$

$$1/6 \times 10^5 = 160000\Omega = 160k\Omega$$

$$1/6 \times 10^6 = 1600000\Omega = 1.6M\Omega$$

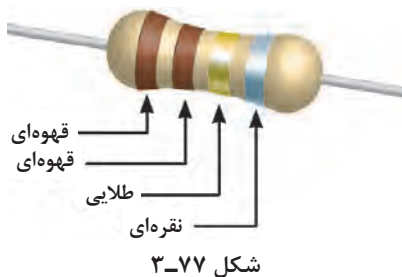
جدول ۳-۴- سری استاندارد درصد خطا

سری استاندارد	درصد خطا
E6	$\pm 20\%$
E12	$\pm 10\%$
E24	$\pm 5\%$

میزان تolerانس برای مقاومت‌های تولیدی در سری‌های استاندارد E6، E12 و E24 مطابق جدول ۳-۴ است. با کمی دقت در جدول سری‌های استاندارد مقاومتی مشاهده می‌کنیم برخی از اعداد پایه سری E12 مانند:

۱/۲، ۱/۸، ۲/۷، ۳/۹، ۵/۶، ۸/۲ در سری E6 وجود ندارند. همچنین اعداد پایه:

۱/۱، ۱/۳، ۱/۶، ۲، ۲/۴، ۳، ۳/۶، ۴/۳، ۵/۱، ۶/۲، ۷/۵ و ۹/۱ از سری E24 در سری E12 وجود ندارند.

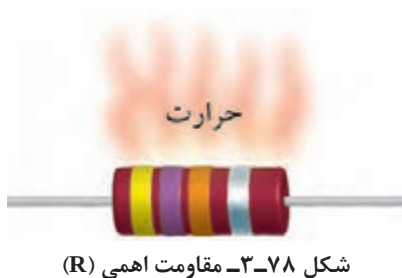


با در نظر گرفتن جدول ۳-۳ متوجه می‌شویم که اگر ما مقاومتی با عدد پایه ۱/۱ و تolerانس ۱۰٪ یا ۲۰٪ بخواهیم در عمل وجود ندارد. (شکل ۳-۷۷)

این مقاومت‌ها استاندارد نبوده و در بازار یافت نمی‌شوند.

$$\left. \begin{aligned} & 11\Omega \pm 10\% \text{ (ضریب } 10 \times 10^0 \text{ عدد پایه)} \\ & 11\Omega \pm 20\% \end{aligned} \right\} \text{ یا}$$

۳-۹- توان مجاز مقاومت‌ها



همان گونه که اشاره شد یکی دیگر از عوامل مهم انتخاب مقاومت‌های اهمی «توان مجاز» است. این توان اغلب به صورت حرارت در اطراف مقاومت اهمی هدر می‌رود. شکل ۳-۷۸ در اصطلاح به ماکزیمم قدرت تحمل مقاومت‌ها در برابر عبور جریان الکتریکی «توان مجاز» می‌گویند.

ماکزیمم مقدار توان مجاز به عوامل گوناگونی مانند ولتاژ، جریان و دمای محیط بستگی دارد. در فصل ششم با چگونگی محاسبه این توان و همچنین مقادیر استاندارد آن در مقاومت‌های اهمی آشنا خواهید شد.

آزمون پایانی (۳)

۱ کدام گزینه تعریف جریان الکتریکی است؟

- الف) تعداد الکترون‌های والانس در لایه خارجی یک هادی
 ب) مقدار انرژی که به مدار والانس وارد می‌شود.
 ج) کاری که روی اتم‌ها انجام می‌شود.
 د) الکترون‌های آزاد که در یک مسیر حرکت می‌کنند.

۲ چند کولن بار می‌تواند در مدت ۲ میلی ثانیه جریانی برابر با ۵ آمپر را به وجود آورد؟

- الف) ۰/۰۱ (ب) ۲/۵ (ج) ۱۰ (د) ۰/۰۰۰۴

۳ سرعت جریان الکتریکی برابر با کدام گزینه است؟

- الف) سرعت صوت (ب) سرعت نور
 ج) $6/28 \times 10^{18} \text{ km/s}$ (د) 1 c/m

۴ کدام یک از موارد زیر واحد چگالی جریان است؟

- الف) $\frac{\text{mm}^2}{\text{A}}$ (ب) j
 ج) $\frac{\text{A}}{\text{c}}$ (د) $\frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$

۵ تراکم جریان در کدام سیم بیشتر است؟



۶ توانایی انجام کار روی ذره‌ی باردار را گویند.

- الف) جریان (ب) پتانسیل (ج) چگالی (د) ضریب هدایت مخصوص

۷ کدام گزینه رابطه صحیح ولتاژ را نشان می‌دهد؟

- الف) $v = \frac{q}{w}$ (ب) $v = \frac{t}{q}$ (ج) $v = \frac{q}{t}$ (د) $v = \frac{w}{q}$

۸ ولتاژ باتری‌های کتابی کوچک برابر با چند ولت است؟

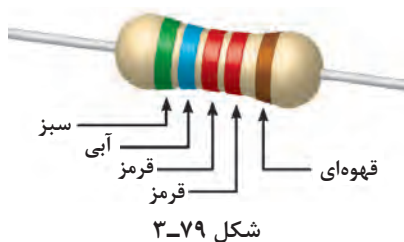
- الف) ۱/۵ (ب) ۶ (ج) ۹ (د) ۱۲

۹ جسمی که ضریب مقاومت مخصوص آن زیاد باشد مقدار هدایت الکتریکی آن است.

- الف) کم (ب) زیاد (ج) با توجه به مدار والانس کم (د) با توجه به مدار والانس زیاد

۱۰ مقدار هدایت مخصوص سیم‌های آلومینیومی چند مو (mho) است؟

- الف) ۲۸۶% (ب) ۵۶ (ج) ۱۷۸۵% (د) ۳۷



۱۱ کدام گزینه مقدار اهم و تolerانس مقاومت شکل ۳-۷۹ را نشان می‌دهد؟

الف) $56/2 \Omega \pm 2\%$ (ب) $6/84 \Omega \pm 10\%$

ج) $56/2 k\Omega \pm 1\%$ (د) $6/84 k\Omega \pm 1\%$

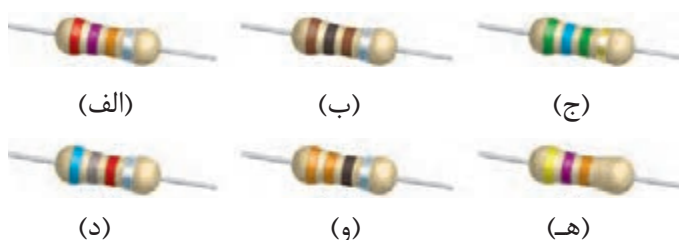
۱۲ اگر روی بدنه مقاومتی « $3M9$ » نوشته شده باشد مقدار مقاومت و تolerانس آن چقدر است؟

الف) $39\Omega \pm 5\%$ (ب) $3/9 M\Omega \pm 5\%$ (ج) $3/9 M\Omega \pm 1\%$ (د) $39M\Omega \pm 5\%$

۱۳ مقدار اهم و تolerانس مقاومت‌های شکل ۳-۸۰ را بنویسید.

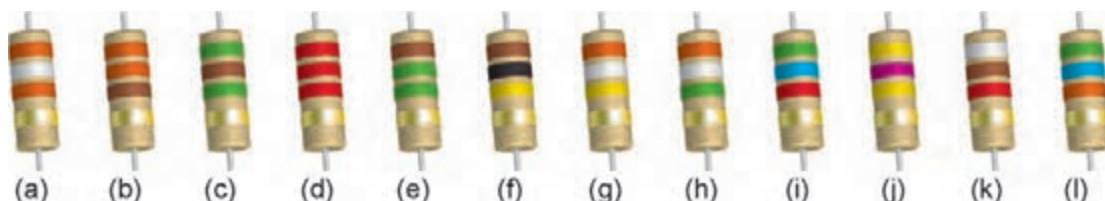
حلقه	حلقه چهارم	حلقه سوم	حلقه دوم	حلقه اول	سیاه
پنجم	0	1	1	0	0
1%	00	2	2	2	1
2%	000	3	3	3	2
	0000	4	4	4	3
0.5%	00000	5	5	5	4
0.25%	000000	6	6	6	5
0.1%		7	7	7	6
	÷ 10 طلایی	8	8	8	7
	÷ 100 نقره‌ای	9	9	9	8
					9

شکل ۳-۸۰- جدول رنگی (راهنمایی)



۱۴ از بین مقاومت‌های نشان داده شده در شکل ۳-۸۱ مقاومت‌های زیر را مشخص کنید.

الف) 330Ω (ب) $2/2 k\Omega$ (ج) $56 k\Omega$ (د) $100 k\Omega$ (هـ) $39 k\Omega$



شکل ۳-۸۱

۱۵ حرکت الکترون‌های آزاد برای برقراری جریان در درون سیم به چه صورت است؟
الف) متوالی (ب) ضربه‌ای (ج) دورانی (د) بیضی

۱۶ کدام یک از روابط زیر رابطه صحیح مقاومت است؟

الف) $R = \frac{l}{\rho \cdot A}$ (الف) ب) $R = \frac{\chi \cdot l}{A}$ (ب) ج) $R = A \frac{l}{\rho}$ (ج) د) $R = \rho \frac{l}{A}$ (د)

۱۷ کدام یک از موارد زیر صحیح است؟

- الف) مقاومت با سطح مقطع رابطه مستقیم دارد. (الف)
 ب) مقاومت با طول رابطه معکوس دارد. (ب)
 ج) هدایت مخصوص با سطح مقطع رابطه معکوس دارد. (ج)
 د) مقاومت با طول رابطه مستقیم دارد. (د)

۱۸ اگر در یک مدار فقط از دو پایه مقاومت متغیری (یک پایه ثابت و دیگری متغیر) استفاده شود، در این صورت مقاومت در حالت وصل شده است.

۱۹ ترمیستوری را که با افزایش دما نسبت مستقیم دارد، گویند.

۲۰ در صورتی که مقدار اهم مقاومتی با افزایش ولتاژ کاهش یابد آن مقاومت را نامند.

۲۱ در ساخت مقاومت‌های سیمی معمولاً از یک سیم مقاومت‌دار از جنس استفاده می‌شود.

۲۲ نوارهای رنگی یک مقاومت $5\% \pm 5/6 \Omega$ به ترتیب است.

۲۳ مقاومت‌های لایه‌ای معمولاً از ترکیبات اکسیدفلزی و ساخته می‌شود.

۲۴ از چگالی جریان در تعیین حداقل جریان قابل تحمل سیم‌ها استفاده می‌شود. ☐ صحیح ☐ غلط

۲۵ نیرویی که باعث انجام کار روی ذره باردار می‌شود EMF نام دارد. ☐ صحیح ☐ غلط

۲۶ ضریب هدایت مخصوص نشان می‌دهد که میزان مخالفت جسم در برابر عبور جریان چه اندازه است.

☐ صحیح ☐ غلط

۲۷ مقاومت مخصوص سیم‌های آلومینیومی بیشتر از سیم‌های مسی است. ☐ صحیح ☐ غلط

۲۸ مقاومت‌هایی که در اثر افزایش دما مقدار مقاومتشان کاهش می‌یابد NTC نام دارند.

☐ صحیح ☐ غلط

۲۹ واحد بار الکتریکی کولن بر ثانیه است. ☐ صحیح ☐ غلط

۳۰ تolerانس مقاومت‌های سری E۱۲ برابر $\pm 1\%$ است. ☐ صحیح ☐ غلط

خودآزمایی عملی



شکل ۳-۸۲

۱ ده مقاومت با نوارهای رنگی را انتخاب کرده و مقادیر آنها را قرائت کنید.

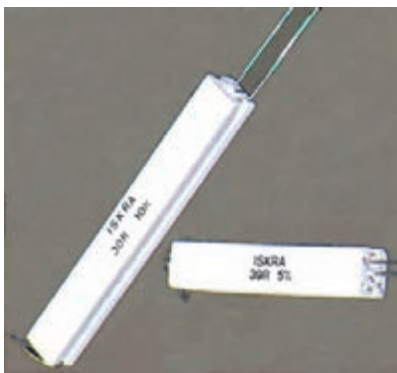
.....

.....

.....

.....

نتیجه



شکل ۳-۸۳

۲ پنج مقاومت سیمی را که مشخصات روی بدنه آن نوشته شده است انتخاب کنید و مقادیر آنها را بنویسید. (شکل ۳-۸۳)

.....

.....

.....

.....

نتیجه



شکل ۳-۸۴

۳ دو متر از سیم یا کابل موجود در منزل را که مشخصات سطح مقطع روی آن نوشته شده است، انتخاب کنید و مقدار مقاومت آن را به دست آورید. (شکل ۳-۸۴)

.....

.....

.....

.....

نتیجه



مطالب مربوط به سؤالاتی را که نتوانسته‌اید پاسخ دهید مجدداً مطالعه و آزمون را تکرار کنید.

توجه



فصل ۴

قوانین اساسی الکتریسیته

هدف کلی فصل

شناسایی قوانین اهم و کیرشهف

هدف های رفتاری:

در پایان این فصل انتظار می رود که فراگیر بتواند:

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۶	-	۶

- ۱ مدار الکتریکی را تعریف کند و اجزای آن را نام ببرد.
- ۲ مفاهیم مدار بسته، مدار باز، اتصال کوتاه و اتصال زمین را در یک مدار الکتریکی توضیح دهد.
- ۳ قوانین اهم و کیرشهف (KVL و KCL) را توضیح دهد.
- ۴ مسائل ساده مربوط به قوانین اهم و کیرشهف (KVL و KCL) را حل کند.

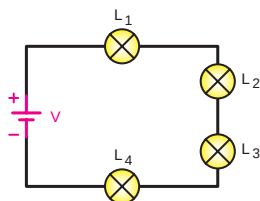
پیش آزمون (۴)

- ۱ وقتی یک باتری، لامپی را روشن می کند در لامپ کدام یک از موارد زیر رخ می دهد؟
 الف) تبدیل انرژی الکتریکی به شیمیایی
 ب) تبدیل انرژی شیمیایی به الکتریکی
 ج) تبدیل انرژی الکتریکی به نورانی
 د) تبدیل انرژی شیمیایی به حرارتی

- ۲ فیوزی که در مسیر کنتور منزل شما قرار دارد در چه زمانی مدار را قطع می کند؟
 الف) در صورت قطع برق از محل تولید
 ب) وقتی جریان از شبکه کشیده نشود.
 ج) سیم های حامل جریان به هم وصل شوند.
 د) سیم در داخل ساختمان قطع شود.

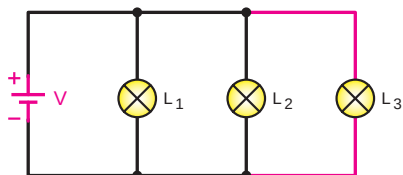
- ۳ کدام مورد در یک مدار الکتریکی عامل خاموش بودن لامپ نیست؟
 الف) وصل بودن کلید
 ب) قطع شدن قسمتی از مدار چایی
 ج) سوختن لامپ
 د) قطع شدن فیوز

- ۴ در مدار شکل ۴-۱ اگر دو سر لامپ L_4 را توسط سیمی اتصال کوتاه کنیم نور سایر لامپ ها چه تغییری می کند؟ (مشخصات لامپ ها با هم مساوی است)
 الف) کمی کاهش می یابد.
 ب) افزایش می یابد.
 ج) تغییر نمی کند.
 د) به شدت کاهش می یابد.



شکل ۴-۱

- ۵ در مدار شکل ۴-۲ اگر لامپ L_3 به مدار اضافه شود نور سایر لامپ ها چه تغییری می کند؟
 الف) افزایش می یابد.
 ب) کمی کاهش می یابد.
 ج) تغییری نمی کند.
 د) بسیار کم می شود.



شکل ۴-۲

- ۶ کدام یک از موارد زیر نشان دهنده واحد جریان الکتریکی است؟

الف) $\frac{S}{C}$

ب) $\frac{q}{t}$

ج) $\frac{A}{S}$

د) $\frac{C}{S}$

- ۷ کدام یک از روابط زیر غلط است؟

الف) $\rho = \frac{1}{\chi}$

ب) $q = I.t$

ج) $R = \frac{A}{I.\chi}$

د) $j = \frac{I}{A}$

- ۸ چهار میلی آمپر معادل چند آمپر است؟

الف) ۴۰۰۰

ب) ۰/۰۰۴

ج) ۰/۰۴

د) ۰/۴

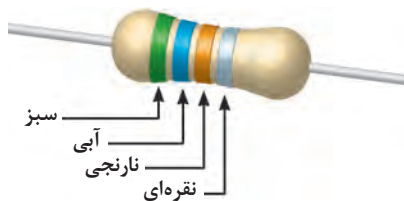
- ۹ در مقاومت LDR هر قدر شدت نور بیشتر شود مقدار مقاومت

الف) افزایش می یابد.

ب) منفی می شود.

ج) تغییر نمی کند.

د) کاهش می یابد.



شکل ۴-۳

۱۰ مقدار اهم و تolerانس مقاومت نشان داده شده در شکل ۴-۳ کدام

گزینه است؟

(الف) $5.6\text{ k}\Omega \pm 2\%$

(ب) $562\text{ k}\Omega \pm 10\%$

(ج) $65/2\text{ k}\Omega \pm 10\%$

(د) $56/2\text{ k}\Omega \pm 20\%$

۱۱ تolerانس مقاومتی با مشخصات $3\text{ k}\Omega$ کدام یک از گزینه‌های زیر است؟

(الف) $\pm 5\%$

(ب) $\pm 10\%$

(ج) $\pm 2\%$

(د) $\pm 20\%$

۱۲ مقاومت‌های VDR با تغییرات ولتاژ رابطه دارند.

(الف) مستقیم

(ب) معکوس

(ج) مجذوری

(د) رادیکالی

۴- مدار الکتریکی

مقدمه

قبل از اینکه به بررسی قوانین اساسی برق بپردازیم لازم است با برخی از تعاریف پایه‌ای و تعدادی از اجزای مدارهای الکتریکی آشنا شویم.

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

(الف) منبع تغذیه (مولد)

(ب) سیم‌های رابط

(ج) مصرف‌کننده (بار)

منبع تغذیه در یک مدار نقش تولیدکننده انرژی الکتریکی را دارد و می‌تواند باتری یا ژنراتور باشد. (شکل ۴-۴)

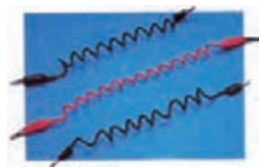
مصرف‌کننده (بار)، وسیله‌ای است که انرژی الکتریکی را به انرژی موردنیاز تبدیل می‌کند. (شکل ۴-۵)



شکل ۴-۵ چند مصرف‌کننده



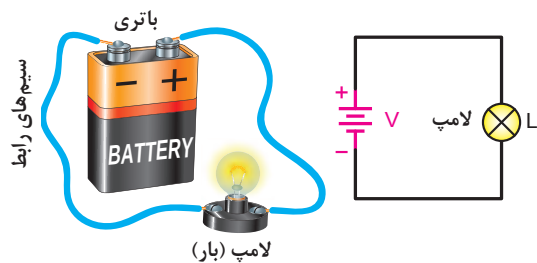
شکل ۴-۴ چند نمونه باتری



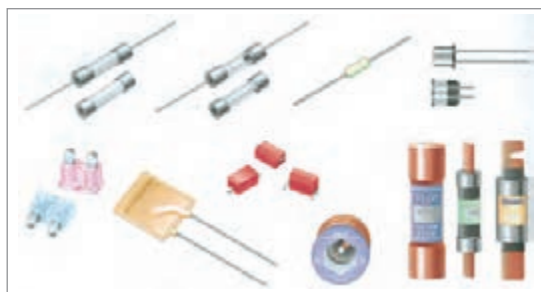
شکل ۴-۶ سیم‌های رابط

وظیفه سیم‌های رابط، انتقال انرژی الکتریکی از منبع تغذیه به مصرف‌کننده است.

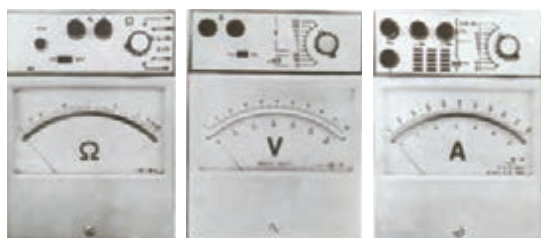
(شکل ۴-۶)



الف) شکل مدار تصویر مقابل (ب) مدار الکتریکی ساده
شکل ۴-۷



شکل ۴-۸



شکل ۴-۹

در شکل ۴-۷ تصویر یک مدار الکتریکی را ملاحظه می کنید.

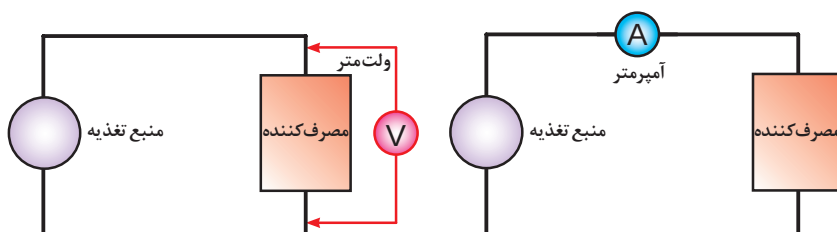
در مدارهای الکتریکی علاوه بر سه عامل اصلی فوق از اجزای دیگری نیز استفاده می شود. از جمله این اجزا می توان کلید، فیوز و وسایل اندازه گیری را نام برد. اگر اجزای فوق در مدار الکتریکی وجود نداشته باشد ایرادی در کار مدار پیش نمی آید ولی اصولاً مدار فاقد کنترل و حفاظت خواهد بود اما عدم وجود یکی از اجزای اصلی کار طبیعی مدار را دچار مشکل می کند. به همین دلیل در برخی از کتاب ها به سایر اجزای مدار «اجزای فرعی» نیز می گویند.

فیوز وسیله ای است که مدارهای الکتریکی را در مقابل اتصال کوتاه^۱ حفاظت می کند. نمونه هایی از انواع فیوزها را در شکل ۴-۸ مشاهده می کنید. فیوز را در مدارها با علامت اختصاری $\text{---}\text{||}\text{---}$ یا $\text{---}\text{||}\text{---}$ نشان می دهند.

دستگاه های اندازه گیری برای سنجش کمیت های گوناگون الکتریکی مانند جریان، ولتاژ و مقاومت به کار می روند. برای اندازه گیری جریان از آمپر متر، ولتاژ از ولت متر و مقاومت از اهم متر استفاده می شود. در شکل ۴-۹ تصویر یک نمونه از این دستگاه های اندازه گیری نشان داده شده است.

برای اندازه گیری جریان هر جزء مدار باید آمپر متر را طبق شکل ۴-۱۰ الف در مسیر آن جزء قرار داد. در اصطلاح به این نوع اتصال «سری» گفته می شود.

برای اندازه گیری ولتاژ هر یک از اجزای مدار باید ولت متر را به دو سر آن جزء از مدار وصل کرد. در اصطلاح این نوع اتصال را «موازی» می نامیم. شکل ۴-۱۰ ب نحوه اتصال ولت متر را نشان می دهد.



ب) نحوه اتصال ولت متر در مدار

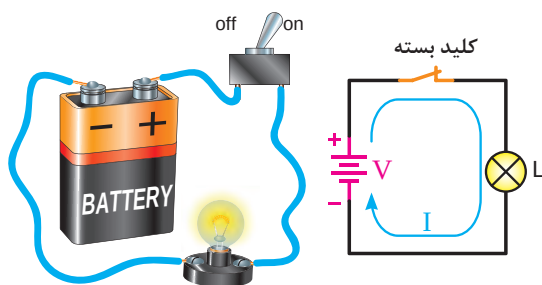
الف) نحوه اتصال آمپر متر در مدار

شکل ۴-۱۰ نحوه اتصال آمپر متر و ولت متر



شکل ۴-۱۱

کلید در مدارهای الکتریکی به عنوان قطع و وصل کننده جریان (کنترل مدار) به کار می رود. در شکل ۴-۱۱ چند نمونه از کلیدها نشان داده شده است.



الف) مدار کامل با کلید
(مدار واقعی)

ب) مدار کامل با کلید
(شکل مداری)

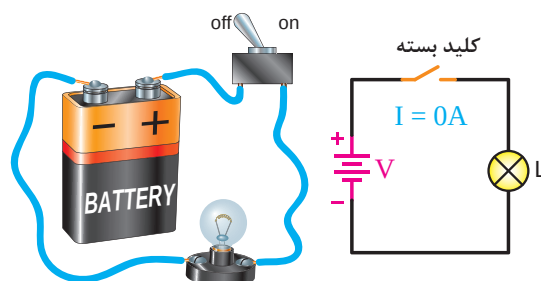
شکل ۴-۱۲- نمونه هایی از مدار کامل

اگر برای عبور جریان الکتریکی مسیر کاملی از طریق قطب مثبت باتری، سیم های رابط و مصرف کننده به قطب منفی وجود داشته باشد آن مدار را «مدار بسته» یا «مدار کامل» می گویند. در شکل ۴-۱۲ نمونه ای از یک مدار الکتریکی بسته (کامل) را مشاهده می کنید.

در صورتی که مسیر عبور جریان به دلایلی از قبیل قطع شدن سیم های رابط، سوختن فیوز، قطع مصرف کننده یا قطع شدن کلید، مسیر کامل نباشد مدار را «مدار باز» یا «مدار ناقص» می گویند. شکل ۴-۱۳ نمونه هایی از مدار باز را نشان می دهد.



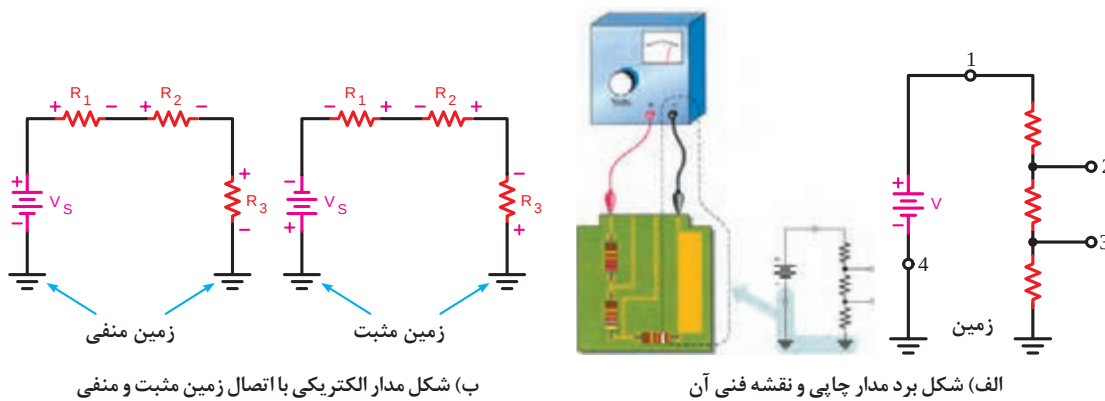
الف) مدار باز بدون کلید (شکل واقعی)



ب) مدار باز با کلید (شکل مداری)

شکل ۴-۱۳

توضیح: در برخی موارد برای ساده‌تر رسم کردن مدارهای الکتریکی یکی از قطب‌های منبع تغذیه (+ یا -) را مشترک در نظر می‌گیرند و آن را زمین می‌نامند و از سیم زمین به‌عنوان یکی از سیم‌های رابط مدار استفاده می‌شود. به این ترتیب معمولاً یک طرف مصرف‌کننده‌ها نیز به زمین وصل می‌شود. در این حالت جریان از طریق اتصال زمین (مشترک) صورت می‌گیرد. علامت اختصاری زمین به صورت ||| یا ⏏ یا ⏚ یا ⏏ است. شکل ۴-۱۴ تصویر مدارهایی را نشان می‌دهد که در آن سیم زمین یا مشترک در نظر گرفته شده است. در قسمت الف صفحه مدار چاپی^۱ و نقشه فنی آن را ملاحظه می‌کنید. در شکل ب اتصال زمین مثبت و منفی نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۴

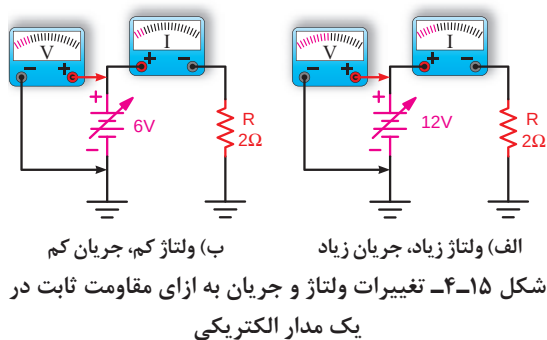
۴-۱ قانون اهم

جرج سیمون اهم در سال ۱۸۲۸ براساس تجربیات و آزمایش‌های فراوان توانست ارتباط بین ولتاژ (V)، جریان (I) و مقاومت (R) را در یک مدار به دست آورد. اهم به این نتیجه رسید که اگر مقاومت یک مدار را ثابت نگه‌داریم و ولتاژ منبع تغذیه را افزایش دهیم شدت جریان افزایش می‌یابد. (شکل ۴-۱۵)

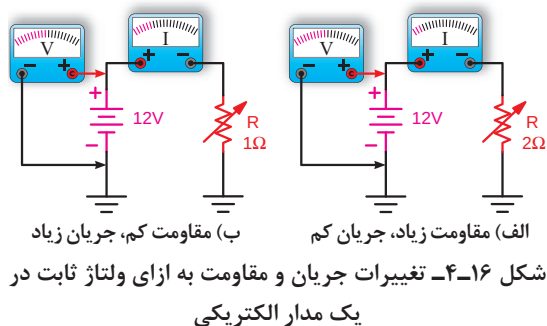
$$I \propto V$$

او همچنین دریافت که اگر ولتاژ منبع تغذیه را ثابت نگه‌داریم و مقدار مقاومت مدار را افزایش دهیم جریان مدار کاهش می‌یابد. (شکل ۴-۱۶)

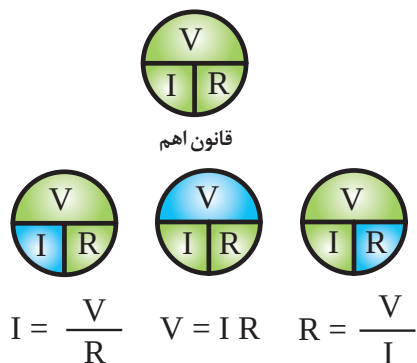
$$I \propto \frac{1}{R}$$



شکل ۴-۱۵- تغییرات ولتاژ و جریان به ازای مقاومت ثابت در یک مدار الکتریکی
(الف) ولتاژ زیاد، جریان زیاد
(ب) ولتاژ کم، جریان کم



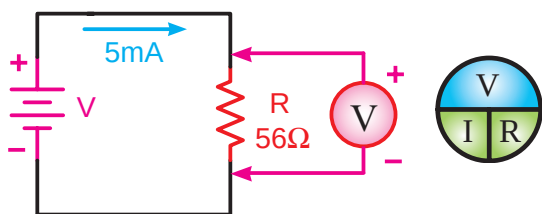
شکل ۴-۱۶- تغییرات جریان و مقاومت به ازای ولتاژ ثابت در یک مدار الکتریکی
(الف) مقاومت زیاد، جریان کم
(ب) مقاومت کم، جریان زیاد



شکل ۴-۱۷- نمودار دایره‌های قانون اهم در حالت‌های مختلف

نتایج آزمایش‌های اهم به نام قانون اهم شناخته شده که رابطه قانونی اهم را به سه صورت شکل ۴-۱۷ می‌توانیم بنویسیم.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود اگر دو جزء از معادله معلوم باشد (کمیت‌های سبز رنگ) می‌توان به آسانی جزء سوم (کمیت آبی رنگ) را به دست آورد.



شکل ۴-۱۸

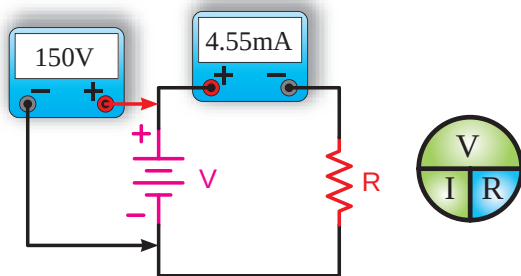
مثال: در مدار شکل ۴-۱۸ ولت‌متری که در دو سر مقاومت قرار دارد چه ولتاژی را نشان می‌دهد؟
حل:

$$V = R \cdot I$$

$$V = (5\text{mA})(56\Omega)$$

$$V = (5 \times 10^{-3} \text{A})(56\Omega) = 280 \times 10^{-3} \text{V}$$

$$V = 280 \text{mV}$$

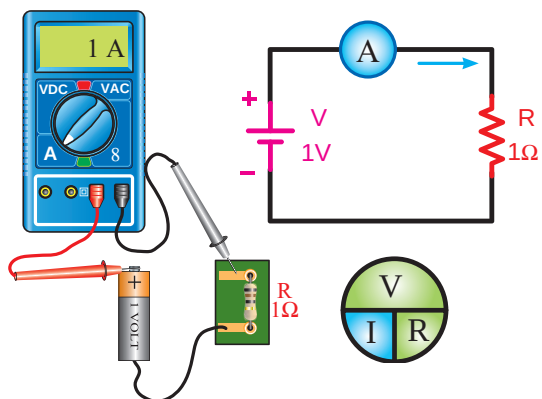


شکل ۴-۱۹

مثال: در مدار شکل ۴-۱۹ مقدار مقاومت چند کیلو اهم است؟
حل:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{150\text{V}}{4/55\text{mA}}$$

$$R = \frac{150\text{V}}{4/55 \times 10^{-3} \text{A}} = 33 \times 10^3 \Omega = 33 \text{k}\Omega$$



شکل ۴-۲۰

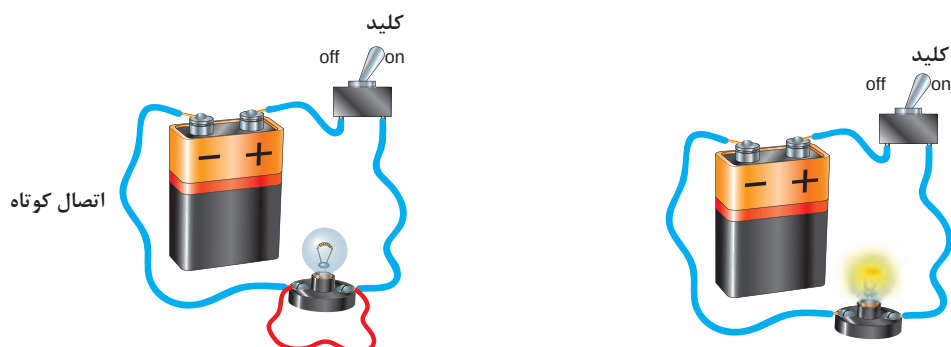
مثال: جریان عبوری از مقاومت مدار شکل ۴-۲۰ چند میلی آمپر است؟
حل:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1\text{V}}{1\Omega} = 1\text{A}$$

$$I = 1 \times 10^3 = 1000 \text{mA}$$



یکی از حالات خطرناکی که ممکن است در مدار الکتریکی به وجود آید حالت «اتصال کوتاه» است. حالت اتصال کوتاه در مدار به شرایطی گفته می‌شود که مقاومت مصرف‌کننده (بار) به صفر برسد. در صورت وقوع چنین حالتی جریان بسیار زیادی از مدار خواهد گذشت. (شکل ۴-۲۱-ب)

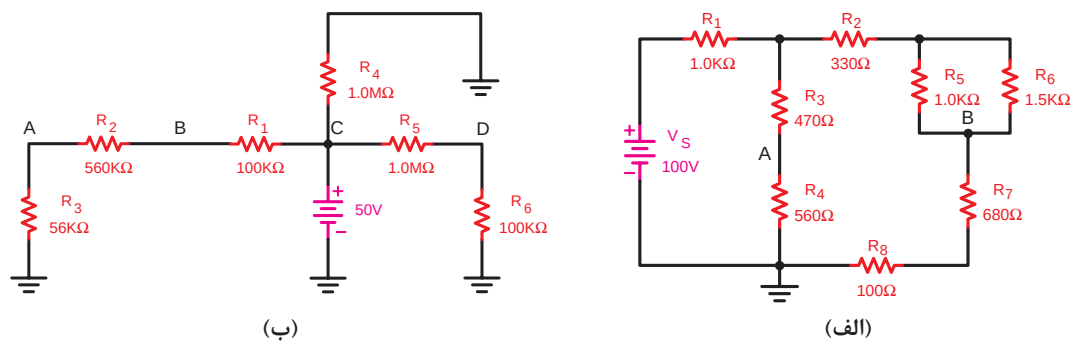


الف) مدار در حالت عادی (لامپ روشن) ب) مدار در حالت اتصال کوتاه (لامپ خاموش) عبور جریان بسیار زیاد است.

شکل ۴-۲۱

۴-۱-۱- قوانین کیرشهف^۱

در برخی موارد برای حل مدارهای الکتریکی پیچیده‌ای مانند شکل ۴-۲۲ استفاده از قانون اهم به تنهایی کافی نیست و به کارگیری روش‌ها و قوانین دیگری نیز لازم است. در سال ۱۸۵۷ 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.

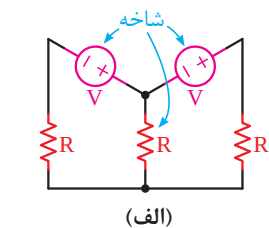


شکل ۴-۲۲- نمونه‌هایی از مدارهای پیچیده

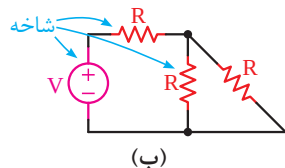
^۱ - Kirchhoffs Laws

۴-۱-۲- تعریف شاخه

اصطلاحاً به هر یک عناصر به کار رفته در مدارهای الکتریکی یک «شاخه» گفته می‌شود. در شکل ۴-۲۳ نمونه‌هایی برای شاخه نشان داده شده است.



(الف)

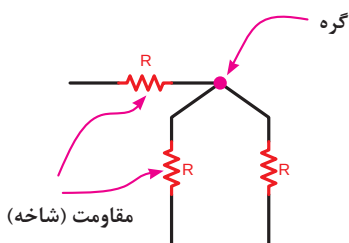


(ب)

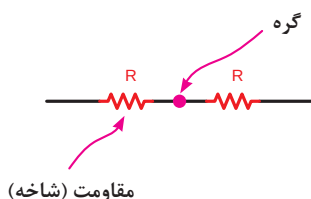
شکل ۴-۲۳

۴-۱-۳- تعریف گره

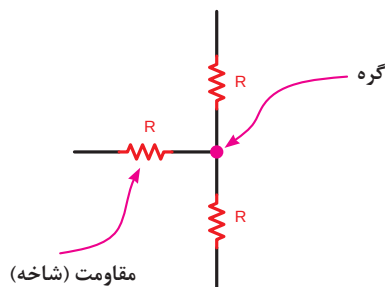
محل اتصال دو یا چند شاخه در یک مدار الکتریکی را «گره» می‌نامند. شکل ۴-۲۴ نمونه‌هایی از گره‌های مختلف را نشان می‌دهد.



(ج)



(ب)

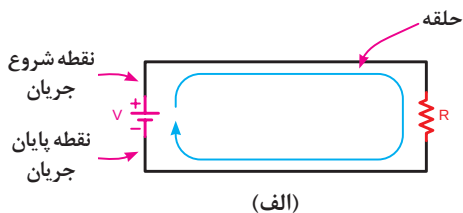


(الف)

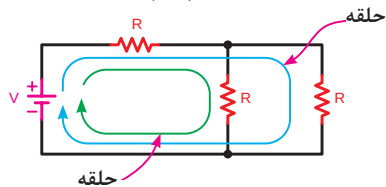
شکل ۴-۲۴

۴-۱-۴- تعریف حلقه

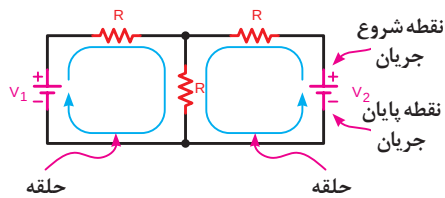
هرگاه در مدار نقطه‌ای که محل شروع حرکت جریان است نقطه پایان جریان نیز باشد آن را «مدار کامل» یا «حلقه» می‌نامند. در شکل ۴-۲۵ نمونه‌هایی از حلقه‌های مختلف را مشاهده می‌کنید.



(الف)



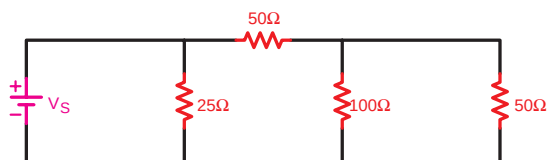
(ب)



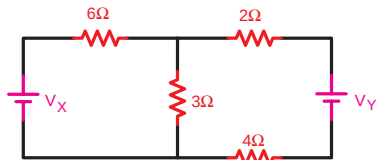
(ج)

شکل ۴-۲۵

مثال: تعداد گره‌های موجود در تصاویر شکل ۴-۲۶ را مشخص کنید.



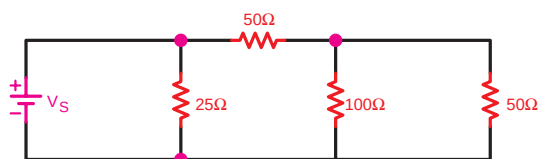
(ب)



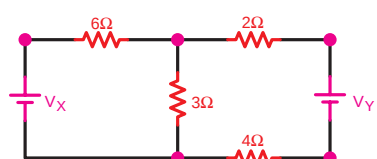
(الف)

شکل ۴-۲۶

حل: با توجه به تعریف گره می‌توان گره‌های موجود در مدارهای الف و ب را مطابق شکل ۴-۲۷ مشخص کرد. تعداد گره‌های مدار الف برابر ۵ گره و مدار ب برابر ۳ گره است.



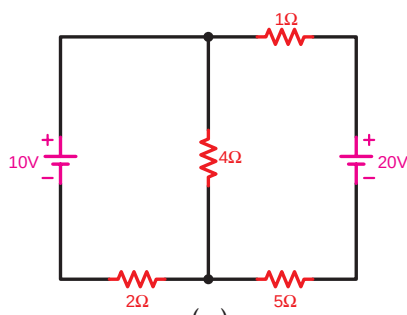
(ب) تعداد گره‌های مدار ۳ گره است



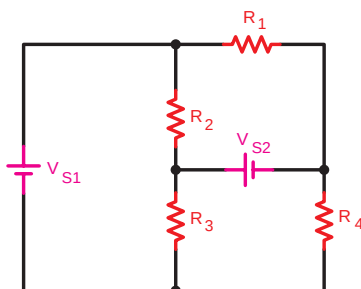
(الف) تعداد گره‌های مدار ۵ گره است

شکل ۴-۲۷

مثال: تعداد (حلقه) مسیرهای عبور جریان در تصاویر ۴-۲۸ را مشخص کنید.



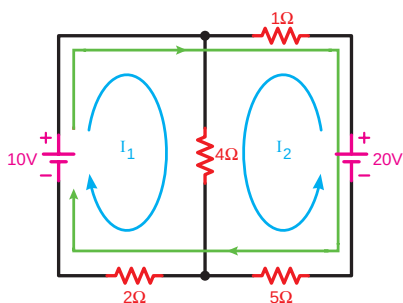
(ب)



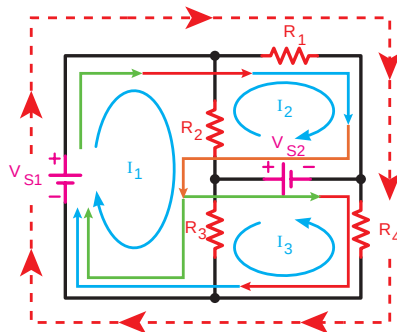
(الف)

شکل ۴-۲۸

حل: برای مشخص کردن تعداد حلقه‌های هر مداری باید از تعریف حلقه متوجه شویم که در این صورت و مطابق شکل ۴-۲۹ تعداد حلقه‌های مدار الف برابر ۶ و مدار ب معادل ۳ می‌باشد.

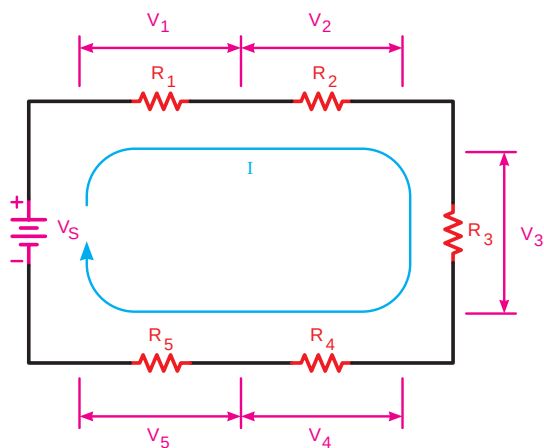


(ب)



(الف)

شکل ۴-۲۹



شکل ۴-۳۰

۴-۲ قانون ولتاژها (KVL)^۱

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

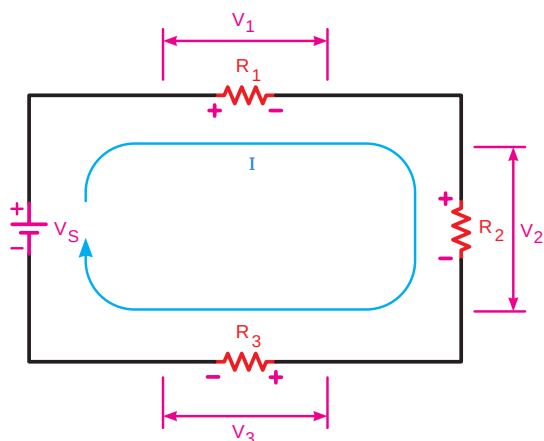
$$\sum V = \sum R.I$$

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

$$\sum V = 0$$

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

توجه



شکل ۴-۳۱

شکل ۴-۳۱ یک مدار با سه مقاومت 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

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

مثال: مقدار ولتاژ V_r شکل ۴-۳۲ چند ولت است
حل:

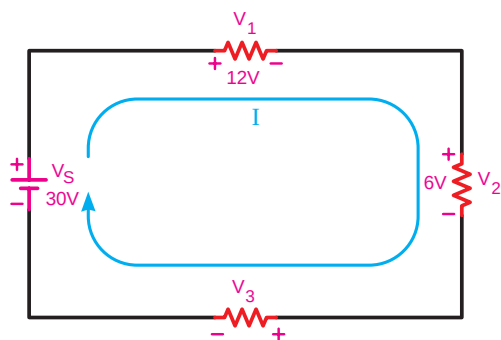
$$V_1 + V_r + V_3 - V_s = 0$$

$$V_1 + V_r + V_3 = V_s$$

$$V_r = V_s - (V_1 + V_3)$$

$$V_r = 30 - (12 + 6)$$

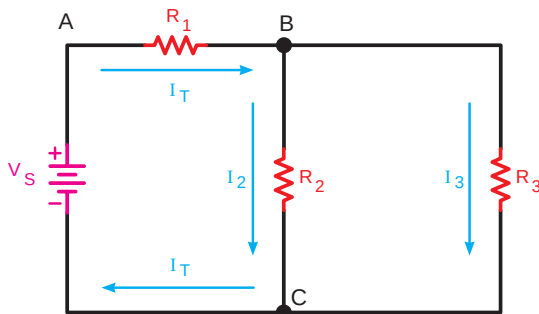
$$V_r = 12V$$



شکل ۴-۳۲

^۱ KVL- Kirchhoff's Voltage Law

^۲ علامت $\sum$ (زیگما) حرف یونانی است که به معنی مجموع است.



شکل ۴-۳۳ قانون جریان‌ها برای گره‌های B و C

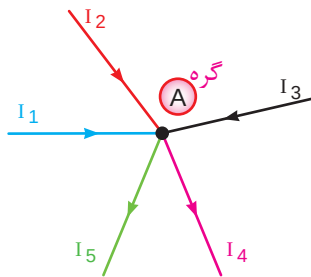
۴-۳ قانون جریان‌ها (KCL)^۱

براساس قانون جریان‌ها در هر گره یک مدار الکتریکی مجموع جریان‌های وارد شده به گره برابر با مجموع جریان‌های خارج شده از گره است (شکل ۴-۳۳)

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

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

$$\sum I = 0$$



شکل ۴-۳۴ قانون جریان‌ها برای گره‌ها

در شکل ۴-۳۴ وضعیت گره A از نظر جریان‌های ورودی و خروجی مشخص شده است. معادله KCL را برای گره A چنین می‌توان نوشت:

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

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

یا

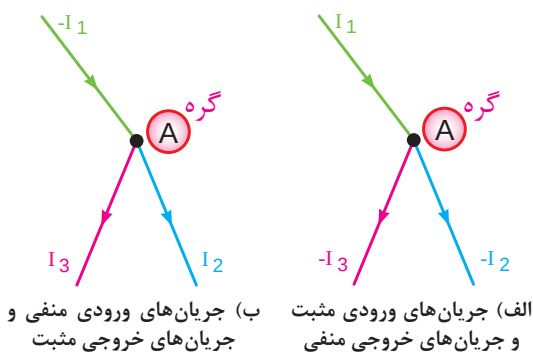
$$\sum I = 0$$

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

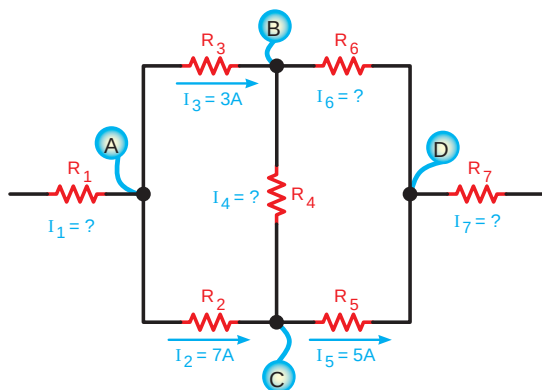
توجه



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. یعنی همه جریان‌های ورودی مثبت یا منفی باشد، نمی‌توانید یکی از جریان‌های ورودی به گره را مثبت و دیگری را منفی بگیرید (شکل ۴-۳۵).



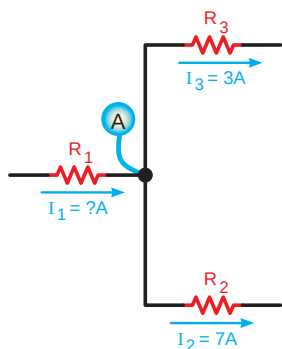
شکل ۴-۳۵ قانون جریان‌ها برای گره‌ها



شکل ۴-۳۶

مثال: مقدار و جهت جریان در هر یک از مقاومت‌های شکل ۴-۳۶ را 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.

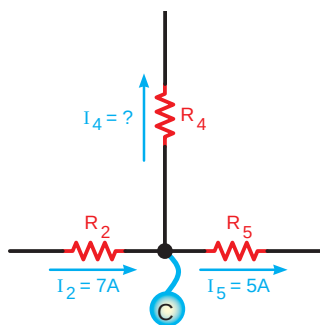


شکل ۴-۳۷

در گره A دو جریان I_3 و I_2 خارج می‌شود.^۱ لذا جریان I_1 بر آن وارد می‌شود در شکل ۴-۳۷ با نوشتن معادله KCL جریان I_1 قابل محاسبه است:

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

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



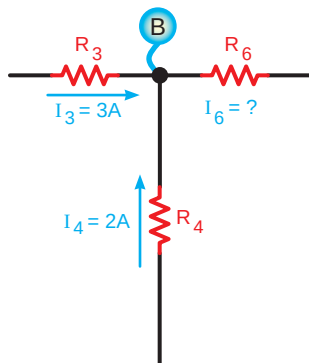
شکل ۴-۳۸

در گره C چون جریان I_5 کوچک‌تر از I_2 است لذا جریان I_4 باید از گره خارج شود تا تعادل جریان برقرار شود. شکل ۴-۳۸ پس معادله KCL را فقط برای حالتی می‌توان نوشت که جریان I_4 از گره خارج می‌شود:

$$I_2 = I_4 + I_5 \Rightarrow I_4 = I_2 - I_5 = 7 - 2$$

$$I_4 = 5 \text{ A}$$

۱- در یک گره همه جریان‌ها نمی‌توانند وارد و یا خارج شوند.

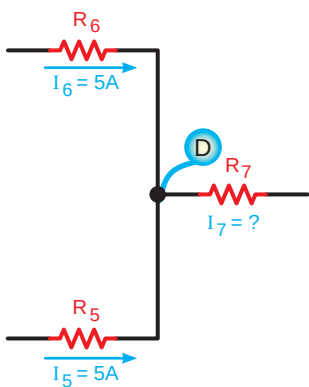


شکل ۴-۳۹

در گره B شکل ۴-۳۹ چون جریان‌های I_3 و I_4 وارد می‌شوند. بنابر قاعده KCL جریان I_6 باید از نقطه B خارج شود. مقدار I_6 برابر خواهد شد با:

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

$$I_6 = 5A$$

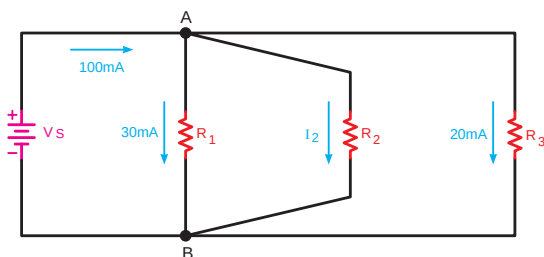


شکل ۴-۴۰

همان‌طوری که در شکل ۴-۴۰ 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:

$$I_7 = I_5 + I_6 = 5 + 5 = 10A$$

$$I_7 = 10A$$



شکل ۴-۴۱

مثال: جریان مقاومت R_2 در شکل ۴-۴۱ چند میلی‌آمپر به دست می‌آید:
با نوشتن معادله KCL گره A مقدار جریان I_2 به دست می‌آید:

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

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

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

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

$$I_2 = 50mA$$

آزمون پایانی (۴)

۱ کدام گزینه اجزای اصلی یک مدار را بیان می کند؟

- الف) منبع تغذیه، فیوز، سیم‌های رابط
 ب) منبع تغذیه، کلید، فیوز
 ج) سیم‌های رابط، بار، منبع تغذیه
 د) سیم‌های رابط، کلید، بار

۲ نقش اصلی فیوز در مدارهای الکتریکی است.

- الف) حفاظت مدار در مقابل قطع برق
 ب) حفاظت مدار در مقابل اتصال کوتاه
 ج) هدایت جریان الکتریکی
 د) برقراری تعادل بین اجزای مدار

۳ نقش اتصال زمین (مشترک) در مدارهای الکتریکی چیست؟

- الف) ایجاد حفاظت در مدار
 ب) برقراری مسیر اتصال کوتاه
 ج) کنترل و محدود کردن جریان در مدار
 د) ساده تر رسم کردن مدار

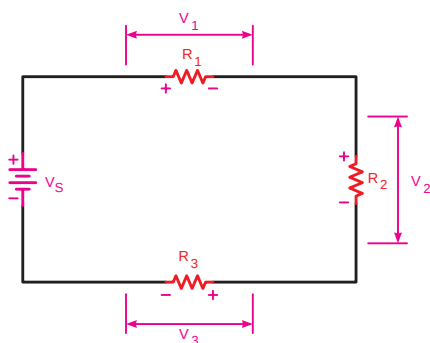
۴ با توجه به قانون اهم، ولتاژ یک مدار با جریان مدار رابطه دارد.

- الف) معکوس
 ب) مجذوری
 ج) مستقیم
 د) نمایی

۵ اگر ولتاژ ۵۰ ولت به دو سر یک مقاومت $5k\Omega$ اتصال داده شود، چه جریانی از آن می گذرد؟

- الف) $75mA$
 ب) $15A$
 ج) $2A$
 د) $10mA$

۶ کدام یک از معادلات زیر برای شکل ۴-۴۲ صحیح است؟



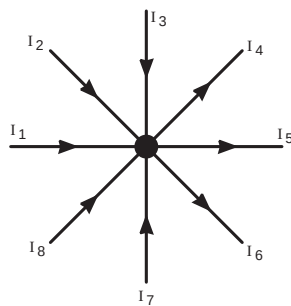
شکل ۴-۴۲

الف) $V_1 - V_r - V_r - V_S = 0$

ب) $-V_S + V_1 + V_r + V_r = 0$

ج) $V_1 + V_r = V_S + V_r$

د) $-V_1 - V_r + V_r + V_S = 0$



شکل ۴-۴۳

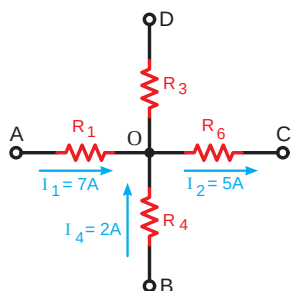
۷ کدام معادله برای شکل ۴-۴۳ صحیح است؟

الف) $I_1 + I_r + I_\delta + I_v = I_r + I_r + I_r + I_\lambda$

ب) $I_1 - I_r + I_r - I_r + I_\delta - I_r + I_v - I_\lambda = 0$

ج) $I_1 + I_r + I_r + I_v + I_\lambda = I_r + I_\delta + I_r$

د) $-I_1 - I_r - I_r - I_r - I_\delta + I_r + I_v + I_\lambda = 0$



شکل ۴-۴۴

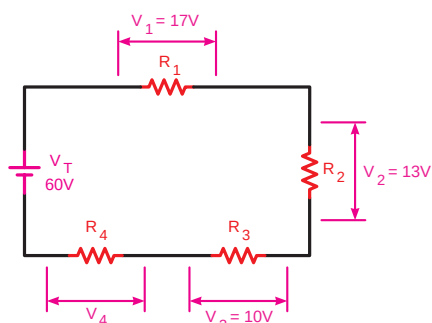
۸ کدام گزینه در مورد مقدار و جهت جریان مقاومت R_3 شکل ۴-۴۴ صحیح است؟

(ب) 10 A ، از D به O

(د) 10 A ، از O به D

(الف) 4 A ، از O به D

(ج) 4 A ، از D به O



شکل ۴-۴۵

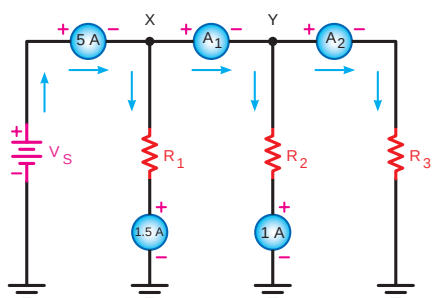
۹ با توجه به شکل ۴-۴۵ ولتاژ دوسر مقاومت R_4 چند ولت است؟

(ب) 40

(د) 20

(الف) 50

(ج) 30



شکل ۴-۴۶

۱۰ در مدار شکل ۴-۴۶ آمپرمترهای A_1 و A_2 به ترتیب از

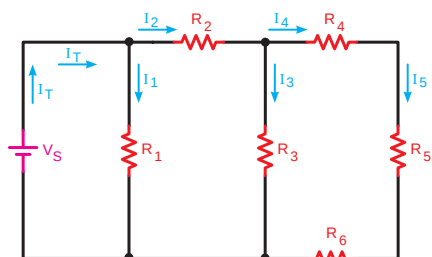
راست به چپ چند آمپر را نشان می‌دهد؟

(ب) $3/5-6/5$

(د) $3/5-7/5$

(الف) $2/5-3/5$

(ج) $4/5-3/5$



شکل ۴-۴۷

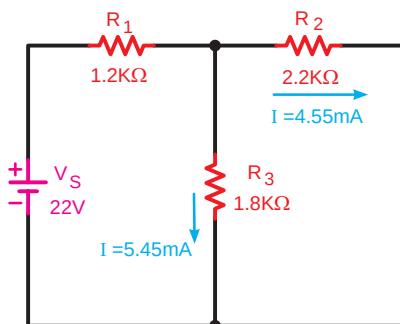
۱۱ با توجه به شکل ۴-۴۷ کدام یک از روابط زیر صحیح است؟

(ب) $I_1 + I_2 = I_3$

(د) $I_1 - I_2 = I_3$

(الف) $I_1 + I_2 + I_5 = I_3 + I_4$

(ج) $I_1 + I_2 = I_4 + I_5$



شکل ۴-۴۸

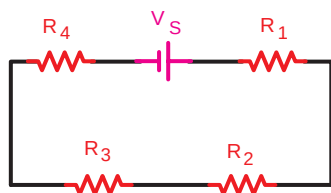
۱۲ افت ولتاژ دو سر مقاومت R_1 در شکل ۴-۴۸ چند ولت است؟

الف) ۷/۸

ب) ۱۰

ج) ۵/۴۶

۱۳ در مدارهای الکتریکی نیروی محرکه لازم توسط تأمین می‌شود.



شکل ۴-۴۹

۱۴ طرف دوم معادله نوشته شده برای شکل ۴-۴۹ را تکمیل کنید.

$$V_S - R_4 I - R_1 I =$$

۱۵ براساس قانون جمع جبری افت ولتاژها و نیروهای محرکه موجود در هر حلقه بسته مساوی صفر است.

۱۶ برای حفاظت مدارها در مقابل اتصال کوتاه از وسیله‌ای به نام استفاده می‌شود.

۱۷ اگر مقاومت یک مدار ثابت باشد، تغییرات جریان با تغییرات ولتاژ منبع رابطه دارد.

۱۸ در حالت اتصال کوتاه مقاومت جریان در مدار الکتریکی افزایش پیدا می‌کند. ☐ صحیح ☐ غلط

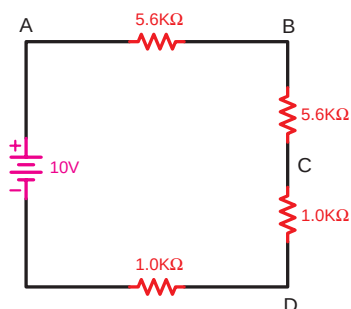
۱۹ انتقال جریان الکتریکی از منبع تغذیه به مصرف‌کننده وظیفه بار الکتریکی است. ☐ صحیح ☐ غلط

۲۰ در یک مدار الکتریکی ساده برای محاسبه جریان از رابطه $I = \frac{V}{R}$ استفاده می‌شود. ☐ صحیح ☐ غلط

خودآزمایی عملی

۱ شمای فنی یک مدار الکتریکی ساده را که مصرف‌کننده آن لامپ باشد، رسم کنید.

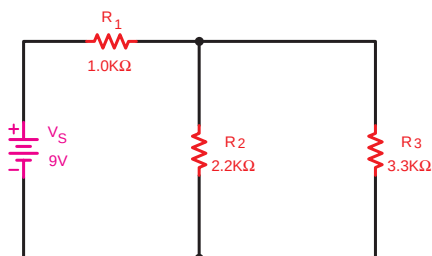
۲ شمای فنی مداری را که از سه مقاومت $1\text{ k}\Omega$ که به صورت متوالی به یکدیگر متصل شده‌اند، در حالت اتصال زمین منفی رسم کنید و سپس پلاریته (علامت‌های مثبت و منفی) دو سر مقاومت‌ها را تعیین کنید.



شکل ۴-۵۰

۳ اگر در مداری مطابق شکل ۴-۵۰ بخواهیم ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌ها را به دست آوریم نحوه اتصال ولت‌متر برای هر مقاومت را رسم کنید.

۴ مدار ساده الکتریکی را رسم کنید که با ثابت در نظر گرفتن مقدار مقاومت بتوان ارتباط بین ولتاژ و جریان را مشاهده و اندازه‌گیری کرد.



شکل ۴-۵۱

۵ اگر در مدار شکل ۴-۵۱ جریان عبوری در هر یک از مقاومت‌ها را بخواهیم اندازه‌گیری کنیم محل قرار گرفتن آمپرمترها را رسم کنید.

توجه



مطالب مربوط به سؤالاتی را که نتوانسته‌اید پاسخ دهید مجدداً مطالعه و آزمون را تکرار کنید.

فصل ۵

اصول محاسبات مدارهای ساده مقاومتی در جریان مستقیم

هدف کلی فصل:

توانایی انجام محاسبات و تحلیل مدارهای الکتریکی ساده مقاومتی

هدف‌های رفتاری:

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۶	-	۶

در پایان این فصل انتظار می‌رود که فراگیر بتواند:

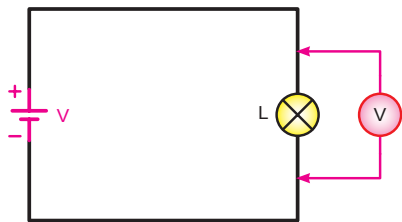
- ۱ مدارهای مقاومتی، سری، موازی و ترکیبی را تعریف کند.
- ۲ مدارهای ساده سری، موازی و ترکیبی را از نظر جریان، ولتاژ و مقاومت معادل توضیح دهد.
- ۳ مسائل مربوط به مدارهای سری، موازی و ترکیبی را حل کند.
- ۴ آزمایش‌های مربوط به مدارهای سری، موازی و ترکیبی را انجام دهد.
- ۵ انواع پیل‌های الکتریکی و مفهوم افت ولتاژ در هادی‌های یک مولد را توضیح دهد.
- ۶ اتصال‌های سری، متقابل و موازی باتری‌ها را با رسم شکل و ذکر روابط مربوطه توضیح دهد.
- ۷ آزمایش‌های مربوط به اتصال سری، متقابل و موازی باتری‌ها را انجام دهد.

پیش آزمون ۵

۱ از یک مداری که در آن چند لامپ به صورت سری بسته شده‌اند، چه زمانی استفاده می‌شود؟
 الف) به دست آوردن نور بیشتر و مصرف کمتر
 ب) کسب توان زیادتر و بازدهی بیشتر
 ج) ایجاد ولتاژ ثابت و توزیع آن
 د) روشن کردن لامپ‌ها با ولتاژ کار کم

۲ در کدام یک از مدارهای الکتریکی هر دو قانون کیرشهف استفاده می‌شود؟
 الف) سری
 ب) موازی
 ج) سری - موازی
 د) تک حلقه‌ای

۳ اتصال لامپ‌های ریشه‌ای که در مراسم‌ها استفاده می‌شود، به صورت است.
 الف) سری
 ب) موازی
 ج) سری - موازی
 د) یک حلقه‌ای



شکل ۵-۱

۴ ولت‌متر متصل شده به دو سر لامپ شکل ۵-۱ ولتاژی کمتر از ولتاژ باتری را نشان می‌دهد، علت چیست؟
 الف) ولت‌متر خراب است.
 ب) افت ولتاژ لامپ به ولتاژ باتری اضافه می‌شود.
 ج) به خاطر مقاومت سیم‌های رابط و باتری
 د) بستگی به لامپ به کار رفته دارد و ممکن است صفر باشد.

۵ آیا براساس مشخصات مصرف‌کننده‌ها می‌توان مشخصات مولد موردنیاز را تعیین کرد؟
 الف) بلی
 ب) خیر
 ج) در صورت داشتن موقعیت محل
 د) اگر فاصله مصرف‌کننده کم باشد.

۶ باتری‌های ساعت از چه نوع هستند؟
 الف) اکسید نقره
 ب) قلیایی
 ج) لیتیوم
 د) نیکل کادمیوم

۷ معمولاً باتری‌های یک چراغ قوه به چه صورت به یکدیگر اتصال دارند؟
 الف) دنبال هم
 ب) در کنار هم
 ج) ترکیبی
 د) مقابل هم

۸ در یک مدار الکتریکی در صورتی که مقاومت ثابت نگه داشته شود و ولتاژ افزایش یابد جریان مدار می‌یابد.
 الف) افزایش
 ب) کاهش
 ج) اول کاهش سپس افزایش
 د) اول افزایش سپس کاهش

۹ کدام یک از موارد زیر غلط است؟
 الف) $I = \frac{R}{V}$
 ب) $R = \frac{V}{I}$
 ج) $V = R.I$
 د) $I = \frac{V}{R}$

۱۰ در حالت اتصال کوتاه مقاومت مدار به می‌رسد.
 الف) بی‌نهایت
 ب) نصف
 ج) حداکثر
 د) صفر

۱۱ در یک حلقه (مدار بسته) اگر افت ولتاژهای دو سر عناصر به ترتیب ۸، ۱۲ و ۵ ولت باشد منبع تغذیه این مدار چند ولت است؟

الف) ۹ (ب) ۱ (ج) ۲۵ (د) ۱۵

۱۲ علت استفاده از اتصال زمین مشترک در رسم مدارهای الکتریکی عبارت است از:

الف) ساده تر رسم کردن مدارها
ب) مسیر برگشت جریان از طریق اتصال زمین
ج) هر دو مورد الف و ب
د) صرفه جویی در قطعات اصلی مدار

۱۳ شدت جریان عبوری از مقاومت $1k\Omega$ در یک مدار با منبع تغذیه $100V$ چند آمپر است؟

الف) ۱ (ب) $0/1$ (ج) ۱۰ (د) $0/01$

۱۴ از قانون جریان‌های کیرشهف برای بررسی مجموع در یک استفاده می‌شود.

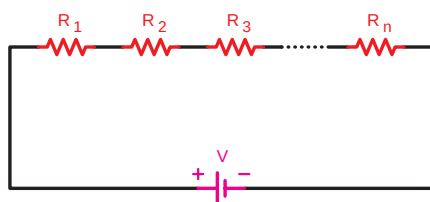
الف) جریان‌ها - حلقه (ب) ولتاژها - حلقه (ج) ولتاژها - گره (د) جریان‌ها - گره

۱۵ ولت‌متر در مدار به صورت و آمپر به صورت اتصال داده می‌شود.

الف) موازی - موازی (ب) سری - سری (ج) موازی - سری (د) سری - موازی

۵-۱- اتصالات مقاومت‌ها

۵-۱-۱- اتصال سری مقاومت‌ها



شکل ۵-۲- نقشه فنی مدار سری

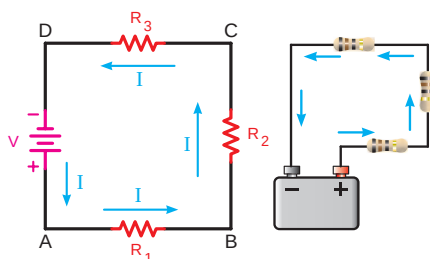


شکل ۵-۳- مدار واقعی دو لامپ به صورت سری

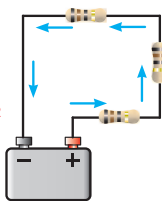
هرگاه دو یا چند مقاومت (n مقاومت) به صورت متوالی (دنبال هم - پشت سرهم) به یکدیگر اتصال داده شوند، مدار را «سری» گویند.

در این مدار مقاومت‌ها طوری به هم متصل می‌شوند که انتهای عنصر اول به ابتدای عنصر دوم و انتهای عنصر دوم به ابتدای عنصر سوم وصل شده باشد اگر به همین ترتیب تا آخرین عنصر ادامه یابد می‌گوییم مدار به صورت سری بسته شده است.

شکل ۵-۲ نقشه فنی مدارهای سری و شکل ۵-۳ یک نمونه واقعی مدار سری را که در آن دو لامپ اتصال دارد، نشان می‌دهد.



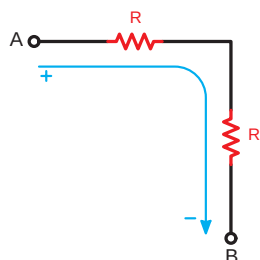
ب) شکل مداری



الف) شکل واقعی

در مدار سری همواره فقط یک مسیر برای عبور جریان الکتریکی وجود دارد. (شکل ۵-۴)

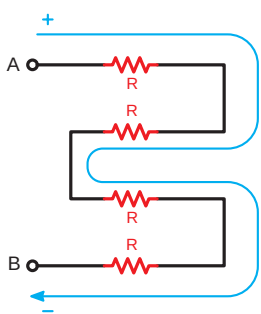
شکل ۵-۴- اتصالات سه مقاومت به صورت سری



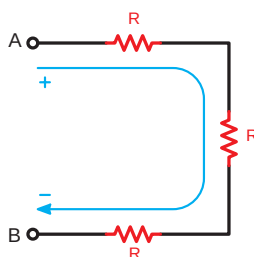
(الف)

در مدارهای سری نحوه قرار گرفتن عناصر به صورت عمودی یا افقی و ترتیب اتصال آن از نظر اول یا آخر بودن اهمیتی ندارد و تأثیری روی رفتار مدار نمی‌گذارد. شکل ۵-۵ حالت‌های مختلف اتصال مقاومت‌ها را به صورت سری نشان می‌دهد.

■ سه مقاومت به صورت سری، جریان در یک مسیر ■ چهار مقاومت به صورت سری، جریان در یک مسیر

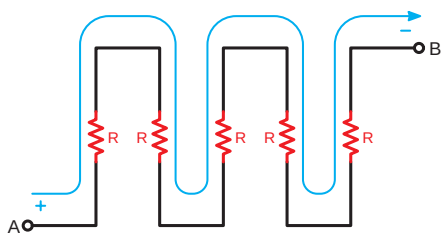


(ج)

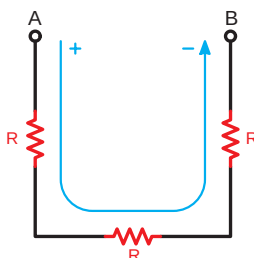


(ب)

■ سه مقاومت به صورت سری، جریان در یک مسیر ■ پنج مقاومت به صورت سری، جریان در یک مسیر



(هـ)



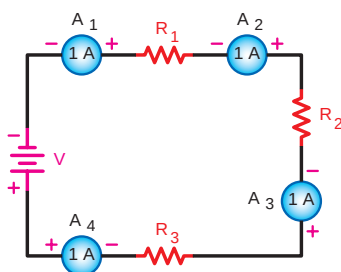
(د)

شکل ۵-۵ حالت‌های مختلف اتصال سری مقاومت‌ها

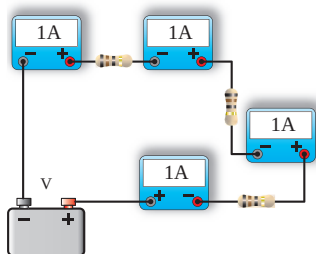
■ عامل مشترک در مدار سری

چنانچه مداری را مطابق شکل ۵-۶ اتصال دهید مشاهده می‌کنید که هریک از آمپرمترها جریان‌های مساوی (مثلاً یک آمپر) نشان می‌دهند.

چون در مدار سری یک مسیر برای عبور جریان الکتریکی وجود دارد در نتیجه جریان در تمام مقاومت‌ها مساوی و ثابت است. به همین دلیل در مدارهای سری جریان را می‌توان به عنوان یک عامل مشترک برای تمام عناصر موجود در مدار دانست.

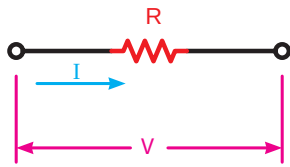


(ب) شکل مداری



(الف) مدار واقعی

شکل ۵-۶ جریان در مدار سری همواره ثابت است.



شکل ۵-۷- افت ولتاژ دو سر مقاومت در یک مدار سری

برای جریان در مدار سری می‌توان رابطه زیر را نوشت:

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

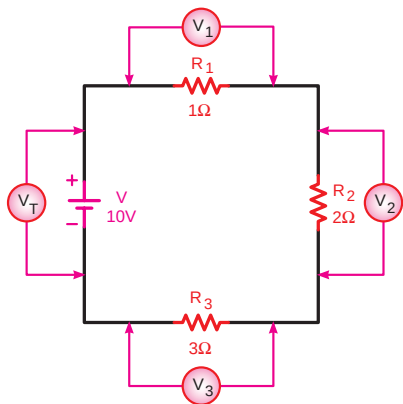
یعنی

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

عامل غیرمشتک در مدار سری

بر اثر عبور جریان از هر مقاومت الکتریکی مانند شکل ۵-۷ در دو سر آن افت ولتاژی به وجود می‌آید که مقدار آن را براساس قانون اهم از رابطه $V = I.R$ می‌توان محاسبه کرد. چون جریان در مدار سری ثابت است لذا مقدار افت ولتاژ در دوسر مقاومت با مقدار اهم آن رابطه مستقیم دارد. یعنی در صورت افزایش مقاومت (R) مقدار ولتاژ (V) نیز افزایش می‌یابد.

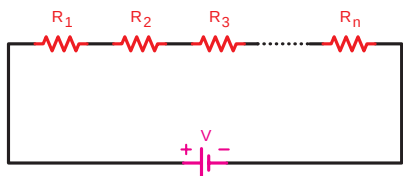
به عنوان مثال اگر مداری را مطابق شکل ۵-۸ ببندیم ولت‌مترها مقادیر ولتاژی متفاوتی را در دو سر مقاومت‌ها نشان می‌دهند. ولت‌مترهای V_1 ، V_2 و V_3 مقادیر ولتاژ دو سر مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_3 و ولت‌متر V_T مقدار ولتاژ کل مدار را نشان می‌دهد. طبق قانون KVL در حلقه بسته شکل ۵-۸ ولتاژ کل منبع تغذیه به نسبت مقدار مقاومت‌ها بین مقاومت‌های مدار تقسیم می‌شود بنابراین می‌توانیم بنویسیم:



شکل ۵-۸- بررسی ولتاژها در مدار سری (توجه داشته باشید که ولتاژ در دو سر هر مقاومت متناسب با مقدار مقاومت تغییر می‌کند)

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_T = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3}$$

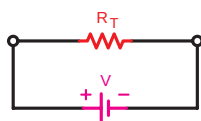


با توجه به موارد فوق می‌توانیم نتیجه بگیریم اگر مقدار افت ولتاژ دو سر همه مقاومت‌های مدار سری مساوی نباشد پس می‌توان ولتاژ را به عنوان یک عامل غیرمشتک در مدار سری در نظر گرفت.

مقاومت معادل^۱ در مدار سری

مقاومت کل^۲ یا «مقاومت معادل» به مقاومتی گفته می‌شود که بتواند به تنهایی اثر همه مقاومت‌های موجود در مدار را داشته باشد و جایگزین آنها شود.

در شکل ۵-۹ مقاومت R_T می‌تواند معادل تمام مقاومت‌های موجود در مدار باشد و جایگزین آنها شود.



شکل ۵-۹- مقاومت معادل در مدار سری

۱- Equivalent Resistor — Req

۲- Total Resistor — RT

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

$$\begin{cases} I_T = I_{R_1} = I_{R_2} = I_{R_3} = \dots = I_{R_n} & (1) \\ V = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3} + \dots + V_{R_n} & (2) \end{cases}$$

خصوصیات مدار سری

براساس قانون اهم برای هر مقاومت و ولتاژ کل می‌توانیم روابط زیر را بنویسیم:

$$V_1 = R_1 I_1 \quad \text{ولتاژ دو سر مقاومت } R_1$$

$$V_2 = R_2 I_2 \quad \text{ولتاژ دو سر مقاومت } R_2$$

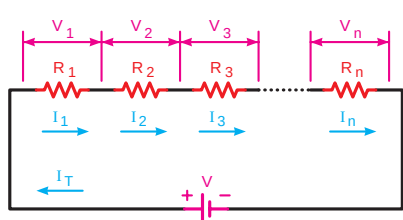
$$V_3 = R_3 I_3 \quad \text{ولتاژ دو سر مقاومت } R_3$$

$$V_n = R_n I_n \quad \text{ولتاژ دو سر مقاومت } R_n$$

$$V_T = R_T I_T \quad \text{ولتاژ کل مدار}$$

مقادیر فوق را در معادله (۲) قرار می‌دهیم:

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



چون جریان در مدار سری شکل ۵-۱۰ ثابت است. بنابراین داریم:

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

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

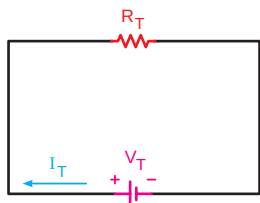
$$R_T I_T = R_1 I_T + R_2 I_T + R_3 I_T + \dots + R_n I_T$$

شکل ۵-۱۰- جریان‌ها و ولتاژها در مدار سری

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

$$R_T \cancel{I_T} = \cancel{I_T} (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$



شکل ۵-۱۱- مدار معادل شکل قبل

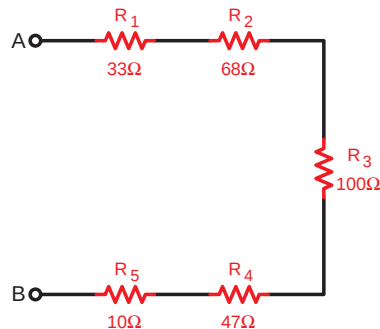
مقاومت معادل مدار شکل فوق را در شکل ۵-۱۱ مشاهده می‌کنید.

مثال: مقاومت معادل در شکل ۵-۱۲ چند اهم است؟
حل:

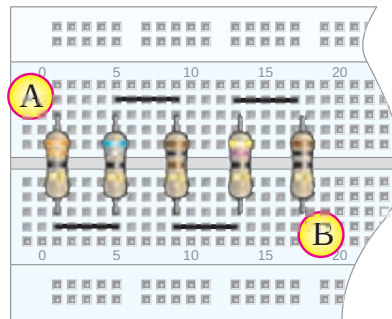
$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

$$R_T = 33 + 68 + 100 + 47 + 10$$

$$R_T = 258\Omega$$



(ب) نقشه فنی



(الف) مقاومت‌های نصب شده روی بردبرد

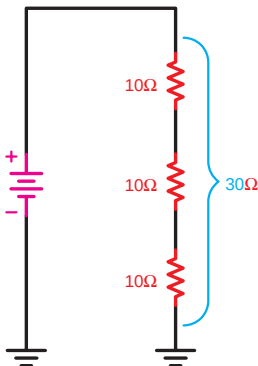
شکل ۵-۱۲ - پنج مقاومت سری

حالات خاص در مدارهای سری مقاومتی

منظور از حالات خاص مواردی است که به لحاظ شباهت‌های گوناگون می‌توان روابط اصلی را در شکل ساده‌تر و با سرعت عمل بیشتری مورد استفاده قرار داد. دو حالت عمده از حالات خاص در مدار سری به شرح زیر است:

■ هرگاه چند مقاومت مساوی به صورت سری به یکدیگر اتصال یابند مقدار مقاومت معادل از حاصل ضرب تعداد مقاومت‌ها در مقدار یک مقاومت به دست می‌آید. (شکل ۵-۱۳)

$$R_T = n.R$$



شکل ۵-۱۳ - اتصال سه مقاومت سری مساوی به یکدیگر

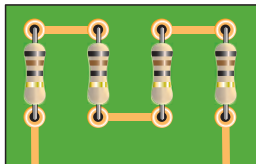
R - مقدار اهم یک مقاومت

n - تعداد مقاومت‌ها

مثال: در صورتی که چهار مقاومت ۳۳ اهمی مطابق شکل ۵-۱۴ به هم اتصال یابند مقدار مقاومت معادل چند اهم خواهد شد؟

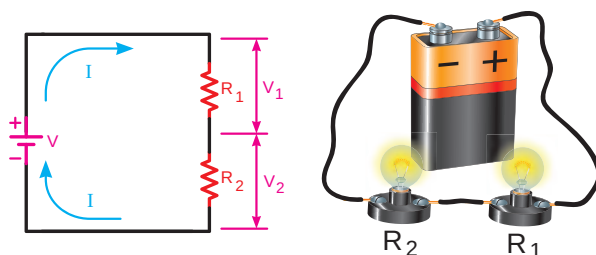
حل: مدار به صورت سری است و مقاومت‌ها نیز مساوی هستند پس:

$$R_T = n.R = 4 \times 33 = 132\Omega$$



شکل ۵-۱۴ - اتصال چهار مقاومت مساوی به صورت سری روی برد مدار چاپی

■ اگر دو مقاومت طبق شکل ۵-۱۵ به صورت سری بسته شوند، مقدار ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌ها را از روابط زیر می‌توان محاسبه کرد:



شکل ۵-۱۵- محاسبه ولتاژ دو سر مقاومت‌ها در مدار سری شامل دو مقاومت

$$V_1 = R_1 I$$

می‌دانیم:

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

با جایگذاری معادل I در معادله فوق داریم:

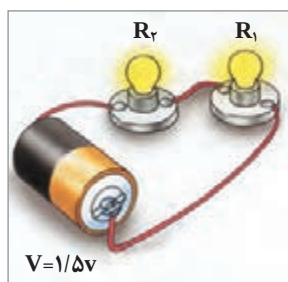
$$V_1 = V \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

بر همین اساس برای محاسبه ولتاژ V_2 می‌توانیم بنویسیم:

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

مثال: در صورتی که دو لامپ با مقاومت داخلی 4Ω مطابق شکل ۵-۱۶ به صورت سری و به باتری $1/5$ ولت اتصال یابند افت ولتاژ در سر هر لامپ چند ولت است؟

حل:



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

$$V_1 = 1/5 \times \frac{4}{4+4} \Rightarrow V_1 = \frac{6}{8} = 0/75V$$

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

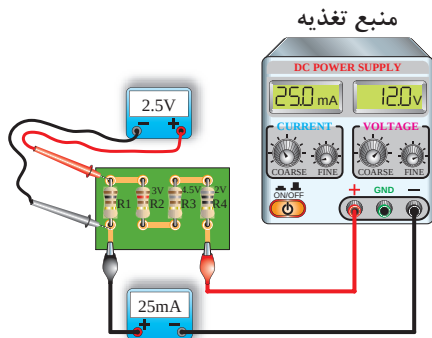
$$V_2 = 1/5 \times \frac{4}{4+4} \Rightarrow V_2 = \frac{6}{8} = 0/75V$$

شکل ۵-۱۶- اتصال دو لامپ سری به یک باتری

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

تذکر





شکل ۵-۱۷- محاسبه مقادیر مقاومت ها در مدار سری

مثال: با توجه به شکل ۵-۱۷ مقدار اهم هر یک از مقاومت ها را حساب کنید.

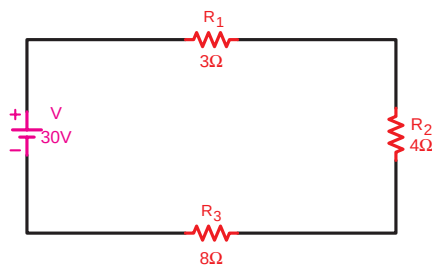
حل: چون جریان در کل مدار ثابت است پس طبق قانون اهم داریم.

$$R_1 = \frac{V_1}{I} = \frac{2.5V}{25mA} = 100\Omega$$

$$R_2 = \frac{V_2}{I} = \frac{3V}{25mA} = 120\Omega$$

$$R_3 = \frac{V_3}{I} = \frac{4.5V}{25mA} = 180\Omega$$

$$R_4 = \frac{V_4}{I} = \frac{2V}{25mA} = 80\Omega$$



شکل ۵-۱۸- محاسبه مقادیر در مدار سری و تحقیق قانون KVL

مثال: در مدار شکل ۵-۱۸ مطلوب است محاسبه:

الف) جریان مدار

ب) ولتاژ در دو سر هر مقاومت

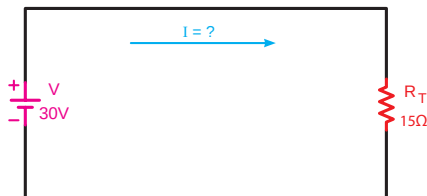
ج) تحقیق درباره قانون KVL

حل:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = 3 + 4 + 8 = 15\Omega$$

شکل ۵-۱۹ مدار ساده شده را نشان می دهد.



شکل ۵-۱۹

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{30}{15} = 2A \quad \text{الف)}$$

$$V_{R_1} = R_1 I = 3 \times 2 = 6V \quad \text{ب)}$$

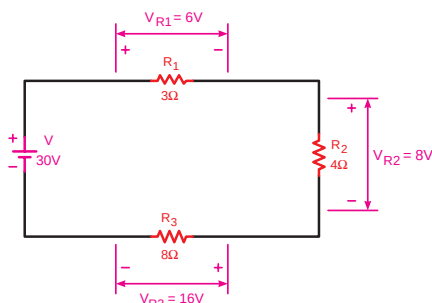
$$V_{R_2} = R_2 I = 4 \times 2 = 8V$$

$$V_{R_3} = R_3 I = 8 \times 2 = 16V$$

ج) براساس قانون KVL داریم:

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

$$30 = 6 + 8 + 16 \Rightarrow 30 = 30$$



شکل ۵-۲۰- محاسبه افت ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت های مدار

توضیح



در صورتی که در مدار سری به خاطر هریک از دلایل زیر مسیر عبور جریان قطع شود جریان مدار صفر خواهد شد.

- ۱ قطع منبع تغذیه (خالی شدن باتری)
- ۲ قطع شدن سیم‌های رابط (پارگی سیم)
- ۳ قطع شدن مقاومت مصرف‌کننده از داخل مقاومت



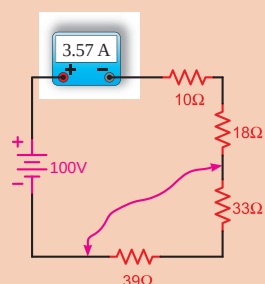
شکل ۲۱-۵ یک نمونه از حالات فوق را نشان می‌دهد.

شکل ۲۱-۵- قطع لامپ موجب قطع شدن مدار سری می‌شود.

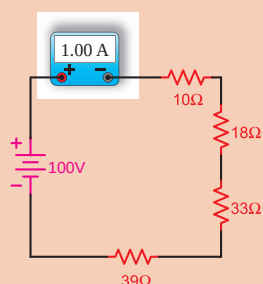
توضیح



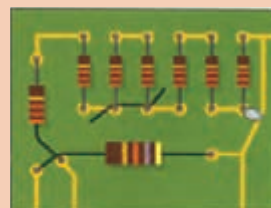
در صورتی که در یک مدار سری اتصال کوتاه رخ دهد جریان مدار متناسب با تعداد (مقدار) مقاومت‌های اتصال کوتاه شده افزایش می‌یابد. شکل ۲۲-۵ این نکته را نشان می‌دهد.



ج) جریان مدار در حالت عادی



ب) جریان مدار در حالت اتصال کوتاه



الف) حالت‌های مختلف اتصال کوتاه روی برد مدار چاپی

شکل ۲۲-۵- وضعیت مدار در حالت عادی و اتصال کوتاه

اطلاعات اولیه آزمایشگاهی

منبع تغذیه

در مدارهای الکتریکی جهت تأمین ولتاژ dc موردنیاز از منابع تغذیه الکترونیکی مشابه شکل ۵-۲۳ استفاده می‌شود.



شکل ۵-۲۳ - یک نمونه منبع تغذیه

آمپر متر

در مدارها از آمپر متر برای اندازه‌گیری جریان استفاده می‌شود. آمپر متر به صورت سری در مدار قرار می‌گیرد. شکل ۵-۲۴ یک نمونه آمپر متر آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۴ - یک نمونه آمپر متر آزمایشگاهی

ولت متر

در مدارها از ولت متر برای اندازه‌گیری ولتاژ استفاده می‌شود. ولت متر به صورت موازی در مدار قرار می‌گیرد. شکل ۵-۲۵ یک نمونه ولت متر آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۵ - یک نمونه ولت متر آزمایشگاهی

اهم متر

در مدارها از اهم متر برای اندازه‌گیری مقاومت استفاده می‌شود. مقاومت مجهول در مدار اهم متر به صورت سری یا موازی قرار می‌گیرد. شکل ۵-۲۶ یک نمونه اهم متر آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۶ - یک نمونه اهم متر آزمایشگاهی



عقربه‌ای دیجیتالی

شکل ۵-۲۷



هر ردیف پنج تایی سوراخ‌ها به وسیله یک نوار مشترک از پشت به هم وصل شده‌اند.
شکل ۵-۲۸- صفحه آزمایش یا بردبرد



شکل ۵-۲۹- یک نمونه LC متر



شکل ۵-۳۰- یک نمونه آوومتر دیجیتالی با رنج ظرفیت سنج



شکل ۵-۳۱

مولتی متر

در اغلب آزمایشگاه‌ها و کارگاه‌ها از وسیله‌ای به نام «مولتی متر»^۱ یا «آوومتر» استفاده می‌شود. این وسیله قادر به اندازه‌گیری کمیت‌های ولتاژ، جریان، مقاومت و... است. شکل ۵-۲۷ دو نمونه مولتی متر عقربه‌ای و دیجیتالی را نشان می‌دهد.

بردبرد^۲

از جمله وسایل موردنیاز برای انجام آزمایش‌ها استفاده از صفحات مشبک است. این صفحات «بردبرد» نام دارد. در شکل ۵-۲۸ تصویر یک نمونه بردبرد را مشاهده می‌کنید. سوراخ‌های تعبیه شده روی بردبرد برای نصب قطعات مدار روی آن است. سوراخ‌های هر ستون طبق شکل ۵-۲۸- الف با یکدیگر ارتباط دارند. این شرایط برای سوراخ‌هایی که در یک سطر قرار دارند نیز وجود دارد. شکل ۵-۲۸- ب تصویری از پشت بردبرد را نشان می‌دهد که در آن اتصالات سوراخ‌ها به هم نشان داده شده است.

امروزه از وسایل دیجیتالی به نام LC متر جهت سنجش اندوکتانس و ظرفیت خازنی^۳ استفاده می‌شود. (شکل ۵-۲۹)

در برخی از آوومترهای دیجیتالی و عقربه‌ای نیز قسمتی برای اندازه‌گیری ظرفیت خازن وجود دارد. شکل ۵-۳۰ تصویر یک نمونه از این آوومترها را نشان می‌دهد.

پیل الکتریکی

شکل ۵-۳۱ تصویر دو نمونه پیل قلمی - کتابی را نشان می‌دهد. پیل‌های الکتریکی در مدارها به عنوان منابع تغذیه dc به کار می‌روند.

۱- Multimeter به معنی چند اندازه‌گیر است و به دستگاه‌هایی اطلاق می‌شود که چند کمیت را می‌توانند اندازه بگیرند.

۲- شکل بزرگ شده بردبرد در بخش ضمیمه کتاب آمده است.

۳- درباره ایجاد ظرفیت خازنی و اندوکتانس بوبین‌ها متعاقباً صحبت خواهیم کرد.



شکل ۵-۳۲

سیگنال ژنراتور

سیگنال ژنراتور - دستگاهی است که قادر است شکل موج‌های مختلف سینوسی، مربعی، مثلثی و... را با دامنه‌ها و فرکانس‌های مختلف تولید کند. شکل ۵-۳۲ دو نمونه سیگنال ژنراتور را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳۳

اسیلوسکوپ

وسیله‌ای که در آزمایشگاه برای مشاهده شکل موج به کار می‌رود، اسیلوسکوپ است. در شکل ۵-۳۳ یک نمونه اسیلوسکوپ را مشاهده می‌کنید.



شکل ۵-۳۴ - یک نمونه میز آزمایشگاهی

میز آزمایشگاهی

در اختیار داشتن یک میز آزمایشگاهی مناسب برای انجام آزمایش‌ها سرعت و دقت انجام کار را افزایش می‌دهد. در شکل ۵-۳۴ یک نمونه میز آزمایشگاهی نشان داده شده است.



(ب)



(الف)

جعبه ابزار

در هر میز آزمایشگاهی لازم است یکسری وسایل از قبیل سیم‌چین، انبردست، سیم‌لخت‌کن، هویه، سیم لحیم و... نیز وجود داشته باشد. زیرا در برخی مواقع به آنها نیاز داریم. در شکل ۵-۳۵ دو نمونه جعبه ابزار نشان داده شده است.

شکل ۵-۳۵ - دو نمونه جعبه ابزار



- ۱ مدارهای کامل شده را فقط با اجازه و نظارت مربی به برق وصل کنید.
- ۲ قبل از وصل کردن برق مدار، یک بار دیگر آن را بررسی کنید.
- ۳ در زمان وصل کردن مدارها روی برد برد مسیرها را بررسی کنید تا پایه‌ها و سیم‌های رابط درست متصل شده باشند.
- ۴ هنگام خارج کردن قطعات از مدار یا اتصال کوتاه کردن آنها منبع تغذیه را حتماً قطع کنید.
- ۵ هنگام اتصال منابع تغذیه (باتری‌ها) به پلاریته آنها دقت کنید.
- ۶ اگر از منابع تغذیه الکترونیکی dc استفاده می‌کنید توجه داشته باشید که سیم‌های خروجی دستگاه هیچ‌وقت به هم متصل نشوند. زیرا ممکن است منبع تغذیه شما در مقابل اتصال کوتاه شدن حفاظت نشده باشد و صدمه ببیند.
- ۷ هنگام استفاده از منابع تغذیه الکترونیکی به میزان جریان دهی آنها توجه کنید.
- ۸ هنگام انتخاب مقاومت‌های اهمی موردنیاز به توان مجاز و کد رنگی یا حروف رمزی آنها دقت کنید.
- ۹ هنگام استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری به مقادیر مجاز و نحوه استفاده از آنها دقت کنید.



هدف: آشنایی با وسایل و تجهیزات آزمایشگاهی

وسایل و تجهیزات مورد نیاز (برای هر گروه کار)

ساعت		
نظری	عملی	جمع
-	۰/۵	۰/۵

- ۱ منبع تغذیه dc (الکترونیکی)
- ۲ باتری قلمی و کتابی
- ۳ اسیلوسکوپ دو کاناله‌ای
- ۴ آوومتر دیجیتالی و عقربه‌ای
- ۵ برد برد
- ۶ LC متر
- ۷ میز آزمایشگاهی
- ۸ سیم چین
- ۹ سیم لخت کن
- ۱۰ سیم تلفنی
- ۱۱ سیگنال ژنراتور
- ۱۲ آمپر متر، ولت متر، اهم متر آزمایشگاهی
- ۱ دستگاه
- از هر کدام یک عدد
- ۱ دستگاه
- از هر کدام یک عدد
- ۱ دستگاه
- از هر کدام یک عدد
- ۱ دستگاه
- از هر کدام یک عدد
- ۱ دستگاه
- از هر کدام یک عدد
- ۱ دستگاه
- از هر کدام یک عدد
- ۱ دستگاه
- از هر کدام یک عدد

توضیح



برای انجام آزمایش‌های پیش‌بینی شده عملیات کارگاهی توصیه می‌شود. در صورت عدم دسترسی به قطعات، وسایل یا میز آزمایشگاهی الکترونیکی مناسب می‌توانید به جای مقاومت‌های لازم برای مدارهای سری، موازی و سری - موازی از لامپ‌های رشته‌ای ۲۵ ولت با مشخصات زیر استفاده کنید.

مقاومت $R_1 = 1k\Omega$	معادل لامپی آن	لامپ $L_1 = 100W$
مقاومت $R_2 = 3/3k\Omega$	معادل لامپی آن	لامپ $L_2 = 60W$
مقاومت $R_3 = 4/7k\Omega$	معادل لامپی آن	لامپ $L_3 = 40W$
مقاومت $R_4 = 5/6k\Omega$	معادل لامپی آن	لامپ $L_4 = 200W$

تذکر



خطر برق گرفتگی: در مراحل مختلف آزمایش‌های پیش‌بینی شده اگر لامپ‌های رشته‌ای را جایگزین مقاومت‌های الکتریکی کرده‌اید هیچ‌گاه آزمایش اتصال کوتاه را انجام ندهید. زیرا به خاطر بالا بودن مقدار ولتاژ شبکه، در حالت اتصال کوتاه جرقه‌های شدیدی به وجود می‌آید که احتمال برق گرفتگی و آتش‌سوزی دارد.

کار عملی
۲



هدف: بررسی مدارهای مقاومتی سری در جریان مستقیم

ساعت		
نظری	عملی	جمع
-	۱	۱

وسایل و تجهیزات مورد نیاز (برای هر گروه کار)

- ۱ منبع تغذیه dc (الکترونیکی)
- ۲ پیل ۱/۵ ولتی
- ۳ بردبرد
- ۴ آوومتر دیجیتالی
- ۵ آوومتر عقربه‌ای
- ۶ میز آزمایشگاهی
- ۷ سیم‌چین
- ۸ سیم لخت‌کن
- ۹ گیره سوسماری
- ۱۰ سیم تلفنی
- ۱۱ مقاومت‌های اهمی
- ۱ وات $R_1 = 1k\Omega$
- ۱ وات $R_2 = 3/3k\Omega$
- ۱ وات $R_3 = 4/7k\Omega$
- ۱ وات $R_4 = 5/6k\Omega$
- ۱ دستگاه
- ۴ عدد
- ۱ عدد
- ۱ عدد
- ۱ عدد
- ۱ دستگاه
- ۱ عدد
- ۱ عدد
- ۶ عدد
- ۵/۰ متر
- ۵ عدد
- ۱ عدد
- ۱ عدد
- ۱ عدد

تذکر



قبل از شروع کار عملی کلیه نکات ایمنی که در ابتدای کار عملی ۱ فرا گرفته‌اید را به دقت مطالعه کرده و به کار ببرید.

الف) اندازه‌گیری و محاسبه مقاومت در مدار سری

مراحل اجرای آزمایش

۱ مقدار اهم و درصد خطای مقاومت‌های R_1 تا R_4 را با توجه به نوارهای رنگی بخوانید و مقادیر آنها را در جدول ۵-۱ بنویسید.

۲ به کمک آوومتر مقدار اهم هر یک از مقاومت‌ها را اندازه بگیرید و در جدول ۵-۱ بنویسید.

جدول ۵-۱

مقاومت	نوارهای رنگی	مقدار اهم و تolerانس خوانده شده	مقدار اندازه‌گیری شده
R_1			
R_2			
R_3			
R_4			

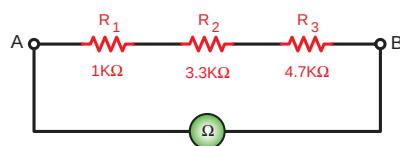
تذکر



۱ در اتصال مقاومت‌ها روی بردبرد توجه داشته باشید تا از ردیف‌های مرتبط با هم به شکل صحیح استفاده کنید تا مقاومت‌ها اتصال کوتاه نشوند.

۲ سیم‌های رابطی را که جهت اتصال مقاومت‌ها به یکدیگر استفاده می‌کنید به اندازه لازم به کار ببرید (شکل ۵-۳۶).

۳ مقاومت‌های R_1 و R_2 و R_3 را مطابق شکل ۵-۳۶ روی بردبرد به صورت سری اتصال دهید.



(ب) شکل مدار

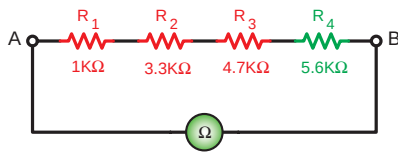


الف) تصویر واقعی مدار

شکل ۵-۳۶

۴ کلید رنج اهم‌متر را روی ضریب $R \times 1k$ قرار دهید و مقاومت بین دو نقطه A و B را در شکل ۵-۳۶ اندازه‌گیری کنید.

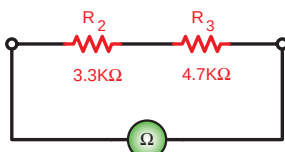
$$R_{AB_1} = \dots \Omega$$



شکل ۵-۳۶

۵ مقاومت R_4 را مطابق شکل ۵-۳۷ به مدار اضافه کنید و سپس به کمک یک اهم‌متر (کلید روی ضریب $R \times 1k$) مقاومت مدار را بین نقطه A و B اندازه‌گیری کنید.

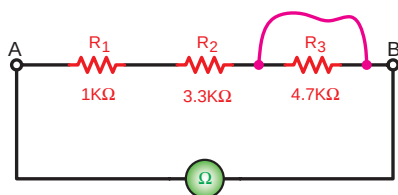
$$R_{AB_2} = \dots \Omega$$



شکل ۵-۳۷

۶ مطابق شکل ۵-۳۸ دو مقاومت R_1 و R_4 را از مدار خارج کنید و سپس با استفاده از اهم‌متر مقاومت معادل بین دو نقطه A و B را اندازه بگیرید.

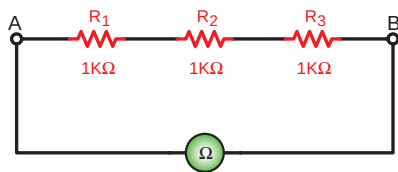
$$R_{AB_3} = \dots \Omega$$



شکل ۵-۳۸

۷ مداری را مطابق شکل ۵-۳۹ اتصال دهید. سپس با استفاده از یک قطعه سیم دو طرف مقاومت R_4 را به یکدیگر وصل (اتصال کوتاه) کنید. در این حالت مقدار مقاومت معادل بین دو نقطه A و B را اندازه بگیرید.

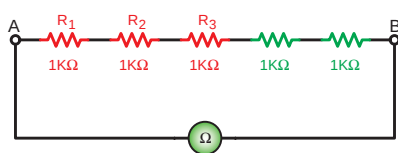
$$R_{AB_4} = \dots \Omega$$



شکل ۵-۳۹

۸ سه مقاومت $1k\Omega$ مطابق شکل ۵-۴۰ به صورت سری اتصال دهید و توسط اهم‌متر مقاومت معادل بین دو نقطه A و B را اندازه‌گیری کنید.

$$R_{AB_5} = \dots \Omega$$



شکل ۵-۴۰

۹ به مدار شکل ۵-۴۰ مطابق شکل ۵-۴۱ دو مقاومت $1k\Omega$ را به صورت سری اضافه کنید و مجدداً با استفاده از اهم‌متر مقاومت معادل بین دو نقطه A و B را اندازه بگیرید.

$$R_{AB_6} = \dots \Omega$$

۱۰ مقادیر به دست آمده در مدارهای شکل ۵-۴۰ و شکل ۵-۴۱ را با هم مقایسه کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ توضیح دهید.

پاسخ



۱۱ با اضافه کردن مقاومت R_f به شکل ۵-۳۷ یا برداشتن مقاومت‌های R_1 و R_f در شکل ۵-۳۸ مقاومت معادل بین دو نقطه A و B در حالات مختلف چه تغییری کرده‌اند؟ چرا؟ شرح دهید.

پاسخ



۱۲ در صورت اتصال کوتاه شدن یکی از مصرف‌کننده‌های مدار سری، مقاومت معادل مدار چه تغییری می‌کند؟ چرا؟ شرح دهید.

پاسخ



۱۳ آیا نتایج به دست آمده از مراحل مختلف آزمایش با مطالب تئوری و روابط مطابقت دارد؟ با ذکر نمونه شرح دهید.

پاسخ



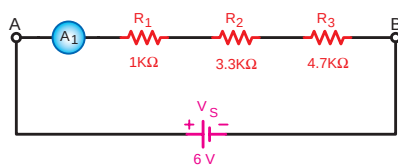
در صورتی که پس از انجام آزمایش نتیجه مورد نظر به دست نیامد یا پاسخ‌ها صحیح نبودند، قطعات، وسایل اندازه‌گیری و مدار اتصال داده شده را بررسی کنید و مراحل آزمایش را مجدداً تکرار کنید.

توجه



ب) اندازه‌گیری و محاسبه شدت جریان در مدار سری

۱ مدار شکل ۵-۴۲ را روی بردبرد ببندید.



ب) تصویر مدار



الف) تصویر واقعی مدار

شکل ۵-۴۲

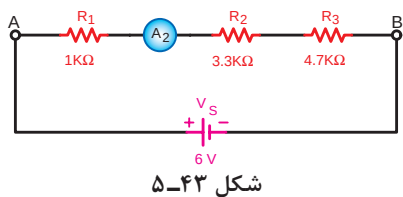
تذکر



دقت کنید که آمپرتر به صورت سری در مدار قرار گیرد و حداقل رنج انتخاب شده برای ۱mA باشد.

۲ منبع تغذیه dc را وصل کنید و جریان عبوری از مقاومت R_1 را اندازه بگیرید.

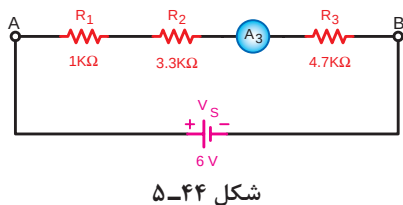
$$I_{R_1} = \dots A$$



۳ منبع تغذیه را خاموش کنید و محل قرار گرفتن آمپرتر را مطابق شکل ۵-۴۳ تغییر دهید.

۴ کلید منبع تغذیه را وصل کنید و جریان عبوری از مقاومت R_2 را اندازه بگیرید.

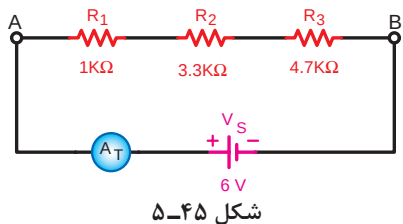
$$I_{R_2} = \dots A$$



۵ منبع تغذیه را خاموش کنید و محل قرار گرفتن آمپرتر را مطابق شکل ۵-۴۴ تغییر دهید.

۶ کلید منبع تغذیه را وصل کنید و جریان عبوری از مقاومت R_3 را اندازه بگیرید.

$$I_{R_3} = \dots A$$



۷ در آخرین مرحله، آمپرتر را در مسیر ورودی جریان به مدار قرار دهید و جریان کل مدار را اندازه بگیرید. (شکل ۵-۴۵)

$$I_T = \dots A$$

۸ از مقایسه جریان‌های به دست آمده با یکدیگر چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ توضیح دهید.

پاسخ



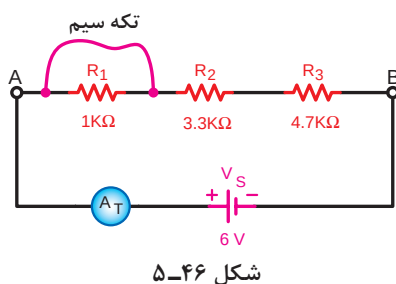
۹ آیا نتایج به دست آمده در این آزمایش با مطالب تئوری و روابط توضیح داده شده مطابقت دارد؟ شرح دهید.

پاسخ



۱۰ آیا براساس نتایج به دست آمده در این آزمایش می توان مقاومت کل مدار را به دست آورد؟ در صورتی که امکان دارد محاسبه کنید.

پاسخ



۱۱ مدار شکل ۵-۴۶ را اتصال دهید. در شرایطی که منبع تغذیه خاموش است با تکه سیمی دو سر مقاومت R_1 را اتصال کوتاه کنید. حداقل رنج آمپر متر باید روی عدد 2mA باشد.

پاسخ



۱۲ منبع تغذیه را وصل نموده و جریان مدار را در این حالت اندازه بگیرید. (جریان در حالتی که R_1 اتصال کوتاه است)

$$I_{TSC} = \dots$$

پاسخ



۱۳ از مقدار به دست آمده I_{TSC} (جریان اتصال کوتاه مدار در حالتی که R_1 اتصال کوتاه است) چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

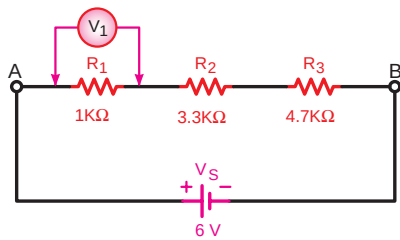
پاسخ



۱۴ برای حفاظت مدار ۵-۴۶ در مقابل اتصال کوتاه چه قطعه ای را پیشنهاد می کنید؟

پاسخ





شکل ۵-۴۷

پ) اندازه‌گیری و محاسبه ولتاژ در مدار سری

۱ مدار شکل ۵-۴۷ را روی بردبرد ببندید.

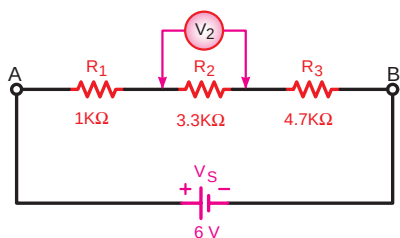
دقت کنید که ولت‌متر دو سر مصرف‌کننده به صورت موازی قرار گیرد و حداقل رنج انتخاب شده برای آن ۵V باشد.

تذکر



۲ با وصل منبع تغذیه افت ولتاژ دو سر مقاومت R_1 را اندازه بگیرید.

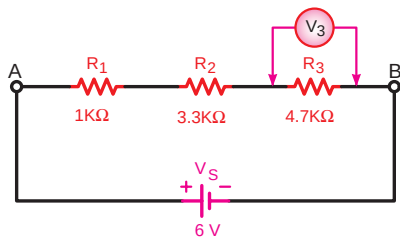
$$V_{R_1} = \dots V$$



شکل ۵-۴۸

۳ منبع تغذیه را خاموش کنید و محل قرار گرفتن ولت‌متر را مطابق شکل ۵-۴۸ تغییر دهید و ولتاژ دو سر مقاومت R_2 را اندازه بگیرید.

$$V_{R_2} = \dots V$$



شکل ۵-۴۹

۴ بار دیگر مطابق شکل ۵-۴۹ برای به‌دست آوردن ولتاژ دو سر مقاومت ولت‌متر را در مدار قرار دهید.

$$V_{R_3} = \dots V$$

۵ ولت‌متر را به دو سر منبع تغذیه اتصال داده و ولتاژ خروجی آن را اندازه‌گیری کنید.

$$V_S = \dots V$$

۶ از مقایسه مقادیر ولتاژهای به‌دست آمده در مراحل ۲ تا ۶ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ

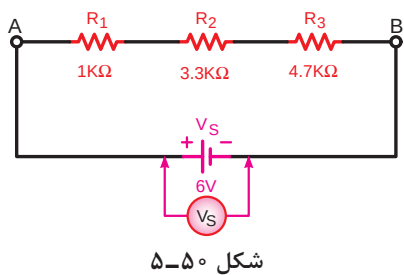


۷ آیا نتایج به‌دست آمده با مطالب تئوری و روابط مربوط به آن مطابقت دارد؟ با ذکر دلیل شرح دهید.

پاسخ



۸ آیا براساس نتایج آزمایش‌ها می‌توان جریان کل مدار و جریان هر یک از مقاومت‌ها را به‌دست آورد؟



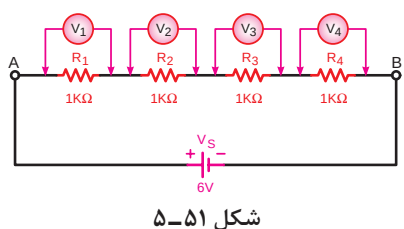
۹ مدار شکل مقابل را روی بردبرد اتصال دهید و طی مراحل مختلف و با انتقال ولت‌متر ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌ها را اندازه‌گیری کنید. توجه داشته باشید که کلید رنج ولت‌متر حداقل روی ۵ ولت باشد.

$$V_{R_1} = \dots V$$

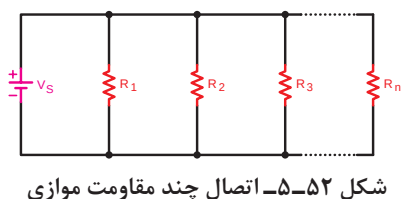
$$V_{R_3} = \dots V$$

$$V_{R_2} = \dots V$$

$$V_{R_4} = \dots V$$



۱۰ از مقادیر به دست آمده در مدار شکل ۵-۵۱ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.



۵-۱-۲ اتصال موازی مقاومت‌ها

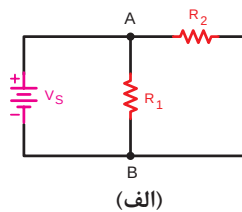
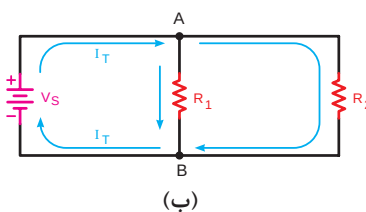
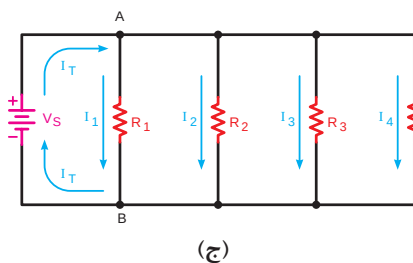
اگر دو یا چند مقاومت (n مقاومت) به ترتیبی اتصال داده شوند که یک طرف هر یک از آنها به یکدیگر و طرف دیگر آنها نیز به یکدیگر متصل شوند این اتصال را «موازی»^۱ می‌گویند. شکل ۵-۵۲ تصویر چهار مقاومت را که به صورت موازی اتصال دارند نشان می‌دهد.



شکل ۵-۵۳ اتصال سه لامپ به صورت موازی

در شکل ۵-۵۳ سه لامپ را که به صورت موازی بسته شده‌اند مشاهده می‌کنید. در شکل ۵-۵۴ نمونه‌های دیگری از مدارهای موازی را مشاهده می‌کنید.

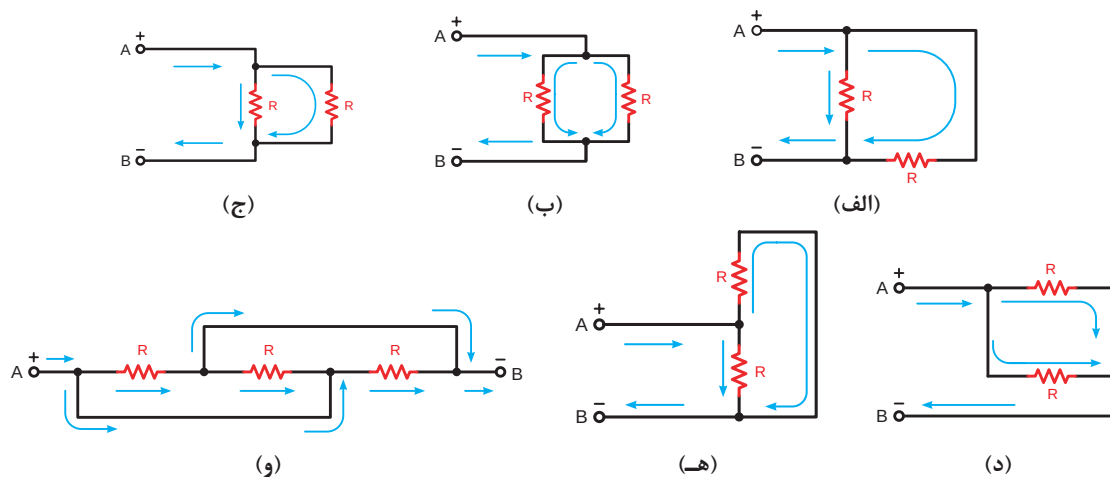
در این مدارها یک طرف مقاومت‌ها در نقطه A و طرف دیگر مقاومت‌ها در نقطه B به هم وصل شده‌اند. بین دو نقطه A و B قطب‌های (+) و (-) باتری اتصال داده شده است.



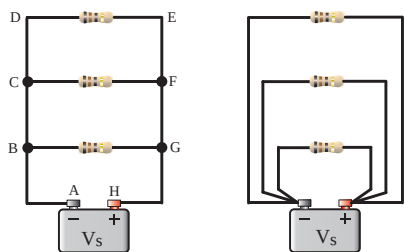
شکل ۵-۵۴ چند نمونه از مدارهای موازی

آرایش مقاومت‌های موازی می‌تواند به شکل‌های گوناگون باشد. برای تشخیص موازی بودن مقاومت‌ها باید به نقاط ابتدا و انتهای آنها توجه کنید.

در تصاویر (الف) تا (و) از شکل (۵-۵۵) دو یا سه مقاومت را می‌توان مشاهده کرد که به صورت موازی اتصال داده شده‌اند. در نتیجه دو یا سه مسیر عبور جریان وجود دارند.



شکل ۵-۵۵- آرایش‌های مختلف مدارهای موازی



الف) شکل واقعی مقاومت‌ها

برای تحلیل مدارهای موازی می‌توانیم به ترتیب زیر عمل کنیم:

عامل مشترک در مدار موازی

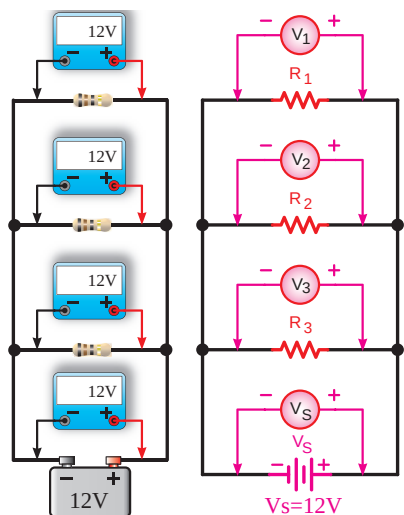
در مدارهای موازی چون دو سر هر مقاومت مستقیماً به دو سر باتری متصل است بنابراین ولتاژ دو سر همه مقاومت‌ها با هم مساوی است. مساوی بودن ولتاژ در مدار موازی به عنوان عامل مشترک مدار در نظر گرفته می‌شود. با اتصال مداری طبق شکل ۵-۵۶ مطلب فوق تأیید می‌شود.

سپس برای مدارهای موازی می‌توان رابطه زیر را نوشت:

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_s$$

یعنی

$$V_{R1} = V_{R2} = V_{R3} = \dots = V_s$$

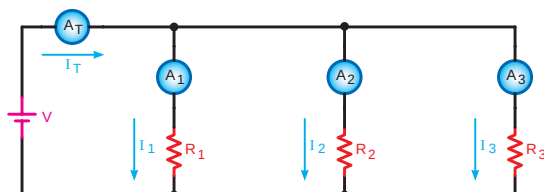


ب) شکل مداری با وسایل اندازه‌گیری

شکل ۵-۵۶- مدار با چهار مقاومت موازی و وسایل اندازه‌گیری

■ عامل غیرمشتک در مدار موازی

عاملی که در مدارهای موازی دارای مقدار ثابتی برای تمام عناصر مدار نیست را «عامل غیرمشتک» می‌نامیم. جریان در هر شاخه یک مدار موازی به نسبت عکس مقدار مقاومت‌های هر شاخه تقسیم می‌شود. زیرا طبق قانون اهم $I = \frac{V}{R}$ است.



شکل ۵-۵۷- بررسی جریان‌های هر شاخه و جریان کل در مدار موازی

با اتصال مداری مطابق شکل ۵-۵۷ هر یک از آمپرمترهای A_1 ، A_2 ، A_3 و A_T جریانی مشخص را نشان می‌دهند.

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

$$I_{A_T} = I_{A_1} + I_{A_2} + I_{A_3}$$

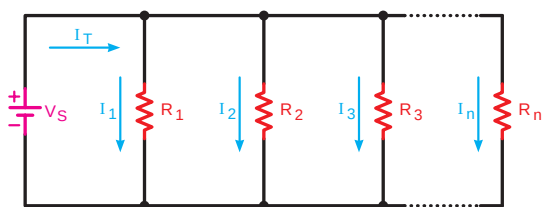
یعنی

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

■ مقاومت معادل در مدار موازی

برای محاسبه مقاومت معادل در مدار موازی شکل ۵-۵۸ می‌توان از رابطه نهایی R_T زیر استفاده کرد:

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



شکل ۵-۵۸- بررسی مقاومت معادل در مدار موازی

نحوه به‌دست‌آوردن رابطه مقاومت معادل به شرح زیر است:

$$\begin{cases} V = V_{R_1} = V_{R_2} = V_{R_3} = \dots = V_{R_n} & (1) \\ I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n & (2) \end{cases} \quad \text{خصوصیات مدار موازی}$$

با توجه به قانون اهم برای هر مقاومت چنین می‌توان نوشت:

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

جریان عبوری از مقاومت R_1

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

جریان عبوری از مقاومت R_2

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

جریان عبوری از مقاومت R_3

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

جریان عبوری از مقاومت R_n

$$I_T = \frac{V}{R_T}$$

جریان عبوری از کل مدار

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

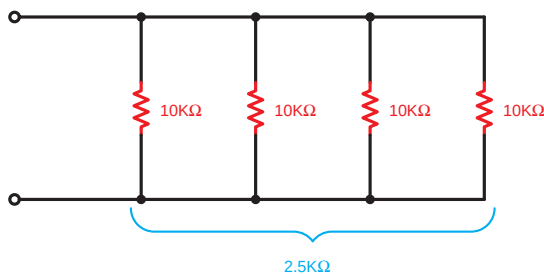
$$\frac{V}{R_T} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} + \dots + \frac{V}{R_n}$$

از V در طرف دوم فاکتور می‌گیریم.

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

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

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



شکل ۵-۵۹ - چهار مقاومت مساوی موازی

حالات خاص در مدارهای موازی مقاومتی

اگر چند مقاومت مساوی طبق شکل ۵-۵۹ به طور موازی به یکدیگر اتصال داده شوند مقدار مقاومت معادل از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

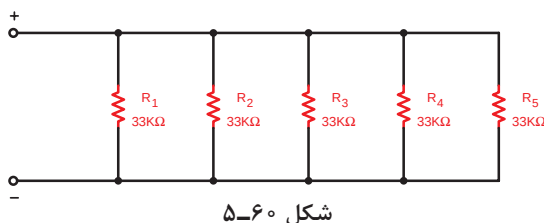
که در این رابطه:

R - مقدار یک مقاومت و

n - تعداد مقاومت‌ها می‌باشد.

$$R_T = \frac{10}{4} = 2.5 \text{ k}\Omega$$

مثال: مقدار مقاومت معادل مدار شکل ۵-۶۰ چند کیلو اهم است؟

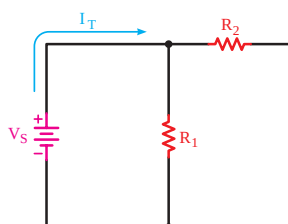


شکل ۵-۶۰

$$R_T = \frac{33}{5} = 6.6 \text{ k}\Omega$$

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

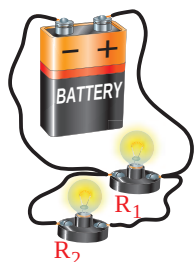
نکته



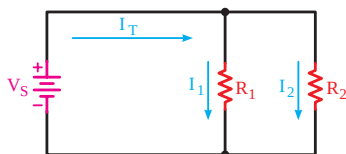
شکل ۵-۶۱

اگر دو مقاومت را به صورت موازی اتصال دهیم مقدار مقاومت معادل با استفاده از رابطه اصلی (R_T) به صورت زیر خلاصه می‌شود:

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



ب) شکل واقعی



الف) شکل مداری

شکل ۵-۶۲- دو مقاومت موازی

■ جریان‌های هر شاخه را در دو مقاومت موازی شکل ۵-۶۲ با استفاده از جریان کل (I_T) می‌توان محاسبه کرد:

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

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



شکل ۵-۶۳- اتصال دو لامپ به صورت موازی

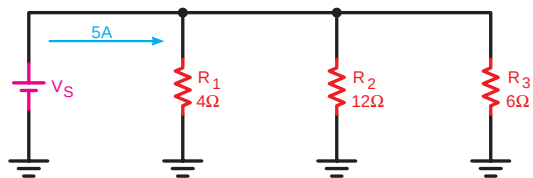
مثال: دو لامپ با مقاومت داخلی 4Ω مطابق شکل ۵-۶۳ با هم موازی می‌شوند و به باتری $1/5$ ولتی اتصال می‌یابند و در صورتی که جریان کل عبوری از مدار $1/5$ A باشد جریان هر یک از لامپ‌ها چقدر است؟

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow I_1 = 1/5 \times \frac{4}{4 + 4} = 0.125 \text{ A}$$

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2} \Rightarrow I_2 = 1/5 \times \frac{4}{4 + 4} = 0.125 \text{ A}$$

در دو شاخه موازی، جریان هر شاخه از حاصل ضرب جریان کل در مقدار مقاومت شاخه‌ای که جریان آن موردنظر نیست تقسیم بر مجموع دو مقاومت به دست می‌آید.

نکته



شکل ۵-۶۴

مثال: مقاومت معادل و ولتاژ کل را در شکل ۵-۶۴ به دست آورید.

حل:

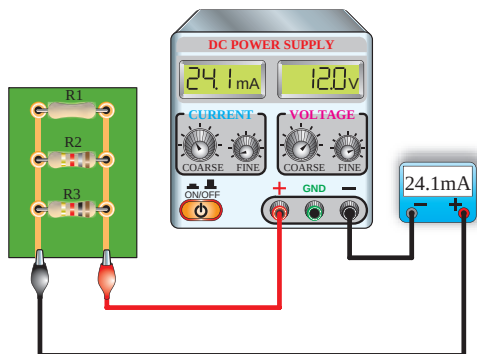
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} + \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{1}{R_T} = \frac{2+1+3}{12} = \frac{6}{12}$$

$$R_T = \frac{12}{6} = 2\Omega$$

$$V_S = R_T \cdot I_T \Rightarrow V_S = 5 \times 2$$

$$V_S = 10 \text{ V}$$



شکل ۵-۶۵

مثال: مقدار مقاومت R_1 شکل ۵-۶۵ را به دست آورید.

حل:

$$(R_T = 1k\Omega, R_T = 1/8K\Omega)$$

$$R_T = \frac{V}{I_T} = \frac{12V}{24.1mA} = 498\Omega$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_T} + \frac{1}{R_T} \Rightarrow \frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_T} - \left(\frac{1}{R_T} + \frac{1}{R_T} \right)$$

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{498\Omega} - \left(\frac{1}{1/8k\Omega} + \frac{1}{1k\Omega} \right)$$

$$R_1 = 2/21k\Omega$$

ساعت		
نظری	عملی	جمع
-	۱	۱

هدف: بررسی مدارهای مقاومتی موازی در جریان مستقیم

وسایل و تجهیزات مورد نیاز (برای هر گروه کار)

- ۱ منبع تغذیه dc (الکترونیکی)
- ۲ پیل ۱/۵ ولتی
- ۳ بردبرد
- ۴ آوومتر دیجیتالی
- ۵ آوومتر عقربه‌ای
- ۶ میز آزمایشگاهی
- ۷ سیم چین
- ۸ سیم لخت کن
- ۹ گیره سوسماری
- ۱۰ سیم تلفنی
- ۱۱ مقاومت‌های اهمی
- ۱ وات $R_1 = 1k\Omega$
- ۱ وات $R_T = 3/3k\Omega$
- ۱ وات $R_T = 4/7k\Omega$
- ۱ وات $R_T = 5/6k\Omega$
- ۱ دستگاه
- ۴ عدد
- ۱ عدد
- ۱ عدد
- ۱ دستگاه
- ۱ عدد
- ۱ عدد
- ۶ عدد
- ۵/۵ متر
- ۵ عدد
- ۱ عدد
- ۱ عدد
- ۱ عدد

کار عملی
۳



قبل از شروع کار عملی کلیه موارد ایمنی که در ابتدای کار عملی ۱ فرا گرفته‌اید را به دقت مطالعه کرده و به کار ببرید.

تذکر



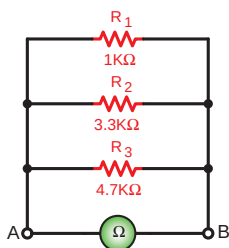
الف) اندازه‌گیری و محاسبه مقاومت در مدار موازی

مراحل اجرای آزمایش

- مقدار اهم و درصد خطای مقاومت‌های R_1 تا R_4 را با توجه به نوارهای رنگی به‌دست آورید و در جدول ۵-۲ یادداشت کنید.

جدول ۵-۲

مقدار اندازه‌گیری شده	مقدار و تolerانس خوانده شده	نوارهای رنگی	مقاومت
			R_1
			R_2
			R_3
			R_4



ب) شکل مداری



الف) شکل واقعی مدار

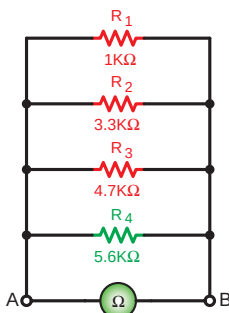
شکل ۵-۶۶

- حوزه کار اهم‌متر را روی $R \times 1k$ قرار دهید و اهم هر یک از مقاومت‌ها را اندازه بگیرید و در جدول ۵-۲ ثبت کنید.

- مقاومت‌های R_1 و R_2 و R_3 را مطابق شکل ۵-۶۶ روی بردبرد به‌صورت موازی اتصال دهید.

- کلید رنج اهم‌متر را روی ضریب $R \times 1k$ قرار دهید و مقاومت بین دو نقطه A و B را در شکل ۵-۶۶ اندازه‌گیری کنید.

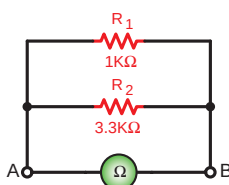
$$R_{AB_1} = \dots \Omega$$



شکل ۵-۶۷

- مقاومت R_4 را مطابق شکل ۵-۶۷ به مدار اضافه کنید و کلید اهم‌متر را روی ضریب $R \times 1k$ قرار دهید. مقاومت مدار را بین نقطه A و B اندازه‌گیری کنید.

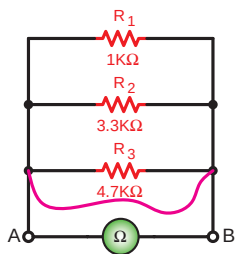
$$R_{AB_2} = \dots \Omega$$



شکل ۵-۶۸

- مطابق شکل ۵-۶۸ دو مقاومت R_3 و R_4 را از مدار خارج کنید به وسیله اهم‌متر مقاومت معادل مدار را بین دو نقطه A و B اندازه‌گیری کنید.

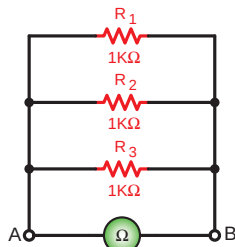
$$R_{AB_3} = \dots \Omega$$



شکل ۵-۶۹

۷ مدار را مطابق شکل ۵-۶۹ اتصال دهید و با یک قطعه سیم دو طرف مقاومت R_3 را به یکدیگر وصل (اتصال کوتاه) کنید. مقدار مقاومت معادل بین دو نقطه A و B را اندازه بگیرید.

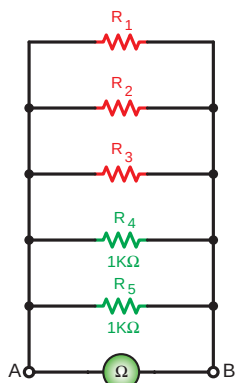
$$R_{AB_f} = \dots \Omega$$



شکل ۵-۷۰

۸ سه مقاومت $1k\Omega$ را مطابق شکل ۵-۷۰ به صورت موازی اتصال دهید و با اهم‌تر مقاومت معادل بین دو نقطه A و B را اندازه‌گیری کنید.

$$R_{AB_\delta} = \dots \Omega$$



ب) شکل مداری



الف) شکل واقعی مدار

شکل ۵-۷۱

۹ به مدار شکل ۵-۷۰ دو مقاومت $1k\Omega$ را به صورت موازی طبق شکل ۵-۷۱ اضافه کنید. با اهم‌تر مقاومت معادل بین دو نقطه A و B را اندازه بگیرید.

$$R_{AB_\epsilon} = \dots \Omega$$

۱۰ از مقادیر به دست آمده R_{AB_δ} در مرحله ۸ و R_{AB_ϵ} در مرحله ۹ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



۱۱ با اضافه کردن مقاومت R_f به شکل ۵-۶۶ یا کم کردن مقاومت‌های R_3 و R_f طبق شکل ۵-۶۸ مقاومت معادل مدار بین دو نقطه A و B چگونه تغییر کرده است؟ چرا؟ شرح دهید.

پاسخ



۱۲ در صورت اتصال کوتاه شدن یکی از مصرف‌کننده‌های مدار موازی، مقاومت معادل مدار چه تغییری می‌کند؟ چرا؟ شرح دهید.

پاسخ



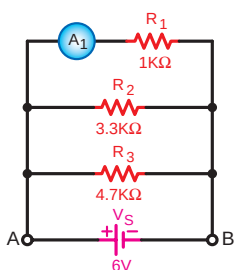
۱۳ آیا نتایج به دست آمده از مراحل مختلف آزمایش با مطالب تئوری و روابط مربوط به مدار موازی مطابقت دارد؟ شرح دهید. (با ذکر دلیل)

پاسخ



۱۴ در صورتی که پس از انجام آزمایش نتیجه‌ای قابل قبول به دست نیامد، یا پاسخ‌ها صحیح نبود، قطعات، وسایل اندازه‌گیری و مدار را بررسی کنید و مراحل آزمایش را مجدداً انجام دهید.

پاسخ



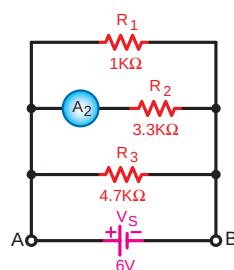
شکل ۵-۷۲

ب) اندازه‌گیری و محاسبه شدت جریان در مدار موازی

۱ مدار شکل ۵-۷۲ را روی بردبرد ببندید.

دقت کنید که آمپرتر در مدار سری بسته شود و حداقل رنج انتخاب شده برای آن 10mA باشد.

تذکر

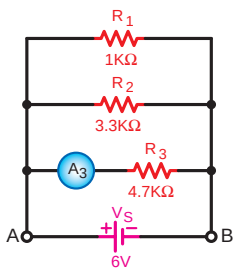


شکل ۵-۷۳

۲ منبع تغذیه dc را وصل کنید و جریان عبوری از مقاومت R_1 را اندازه بگیرید.

$$I_{R_1} = \dots A$$

۳ منبع تغذیه را خاموش کنید و محل قرار گرفتن آمپرتر را مطابق شکل ۵-۷۳ تغییر دهید.



ب) شکل مداری



الف) شکل واقعی مدار

شکل ۵-۷۴

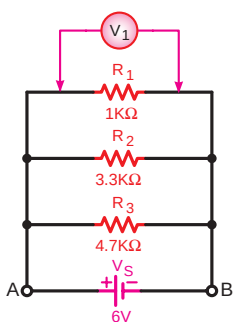
۴ کلید منبع تغذیه را وصل کنید و جریان عبوری از مقاومت R_3 را اندازه بگیرید.

$$I_{R_3} = \dots A$$

۵ منبع تغذیه را خاموش کنید و محل قرار گرفتن آمپر متر را مطابق شکل ۵-۷۴ تغییر دهید.

۶ کلید منبع تغذیه را وصل کنید و جریان مقاومت R_3 را اندازه بگیرید.

$$I_{R_3} = \dots A$$



ب) شکل مداری



الف) شکل واقعی مدار

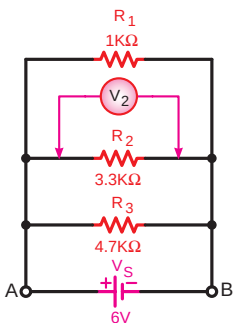
شکل ۵-۷۵

پ) اندازه گیری و محاسبه ولتاژ در مدار موازی

۱ مدار شکل ۵-۷۵ را روی بردبرد ببندید.

دقت کنید که ولت متر باید به صورت موازی در دو سر مصرف کننده قرار گیرد و حداقل رنج را برای ولت متر ۱۰V انتخاب کنید.

تذکر



شکل ۵-۷۶

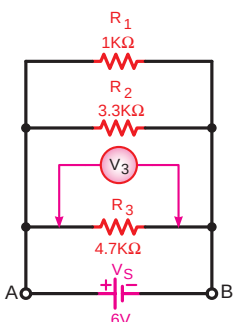
۲ کلید منبع تغذیه را وصل کنید و افت ولتاژ دو سر مقاومت R_1 را قرائت نمایید.

$$V_{R_1} = \dots V$$

۳ منبع تغذیه را خاموش کنید و محل قرار گرفتن ولت متر را مطابق شکل ۵-۷۶ برای به دست آوردن ولتاژ مقاومت R_3 تغییر دهید.

۴ منبع تغذیه را روشن کنید و ولتاژ دو سر مقاومت R_3 را اندازه بگیرید.

$$V_{R_3} = \dots V$$

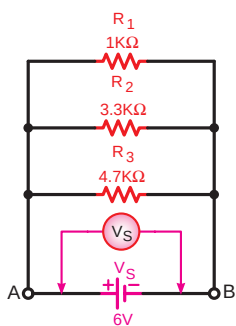


شکل ۵-۷۷

۵ منبع تغذیه را خاموش کنید و ولت متر را برای به دست آوردن ولتاژ دو سر مقاومت R_3 مطابق شکل ۵-۷۷ وصل کنید.

۶ منبع تغذیه را روشن کنید و ولتاژ دو سر مقاومت R_3 را اندازه بگیرید.

$$V_{R_3} = \dots V$$



شکل ۵-۷۸

۷ ولت‌متر مطابق شکل ۵-۷۸ را به دو سر منبع تغذیه اتصال داده و ولتاژ باتری را اندازه بگیرید.

$$V_S = \dots V$$

۸ از مقایسه مقادیر ولتاژهای به دست آمده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



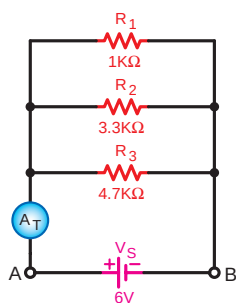
۹ آیا نتایج به دست آمده با مطالب تئوری و روابط مربوط به آن مطابقت دارد؟

پاسخ



۱۰ آیا براساس نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها، جریان کل و جریان هر یک از مقاومت‌ها را می‌توان به دست آورد؟

پاسخ



شکل ۵-۷۹

۱۱ در آخرین مرحله، آمپرتر را در مسیر ورودی جریان به مدار قرار دهید و طبق شکل ۵-۷۹ جریان کل مدار را اندازه بگیرید. در این حالت باید کلید رنج آمپرتر حداقل ۱۰۰mA باشد.

$$I_T = \dots A$$

۱۲ از مقایسه جریان‌های اندازه‌گیری شده با یکدیگر چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



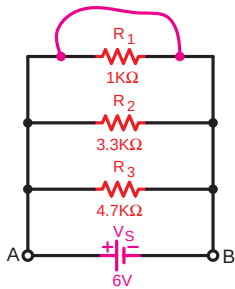
۱۳ آیا نتایج به دست آمده از آزمایش با مطالب تئوری و روابط مربوط به آن مطابقت دارد؟ شرح دهید.

پاسخ



۱۴ آیا براساس نتایج به دست آمده از آزمایش مرحله ۱۰ می توان مقاومت کل مدار را به دست آورد؟ محاسبه کنید.

پاسخ



شکل ۵-۸۰

۱۵ در شرایطی که منبع تغذیه خاموش است مدار شکل ۵-۸۰ را اتصال دهید و با یک قطعه سیم دو سر مقاومت R_1 را اتصال کوتاه کنید.

هیچ گاه منبع تغذیه را در این حالت وصل نکنید.

توجه



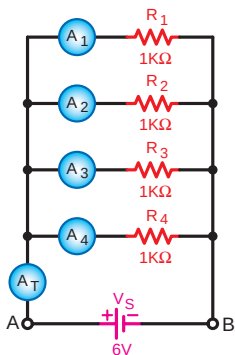
۱۶ چرا در حالت اتصال کوتاه مدار موازی، منبع تغذیه را نباید وصل کرد؟ شرح دهید.

پاسخ



۱۷ برای حفاظت مدار شکل ۵-۸۰ در مقابل اتصال کوتاه چه قطعه ای را پیشنهاد می کنید؟

پاسخ



شکل ۵-۸۱

۱۸ مدار شکل ۵-۸۱ را روی بردبرد اتصال دهید و در مراحل جداگانه جریان هر یک از مقاومت ها را اندازه گیری کنید. (کلید رنج آمپر متر حداقل روی 1mA باشد).

$$I_{R_1} = \dots \text{ A}$$

$$I_{R_2} = \dots \text{ A}$$

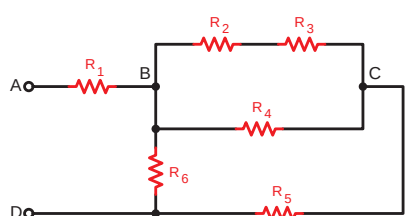
$$I_{R_3} = \dots \text{ A}$$

$$I_{R_4} = \dots \text{ A}$$

$$I_T = \dots \text{ A}$$



۱۹ از مقادیر به دست آمده در مدار شکل ۵-۸۱ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.



شکل ۵-۸۲

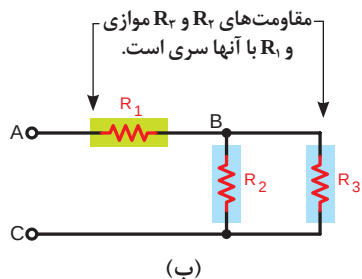
۳-۵-۱- اتصال ترکیبی: «سری - موازی» مقاومت‌ها

مدارهای «سری - موازی» به مدارهایی گفته می‌شود که برخی از عناصر موجود در آن به صورت سری و تعدادی دیگر به صورت موازی قرار گیرند. شکل ۵-۸۲ نمونه‌ای از این نوع مدارها را نشان می‌دهد.

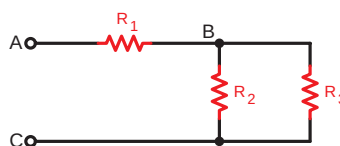
در محاسبه مقاومت معادل این گونه مدارها باید به نکات زیر توجه کنید.

۱ برای ساده کردن مدار باید از انتهای مدار، یعنی نقاطی که منبع تغذیه وجود ندارد یا نقاط باز مشخص شده در مدار هستند آغاز کنیم.

۲ برای محاسبه R_T در هر قسمت مدار، لازم است از روابط مقاومت معادل در مدارهای سری و مدارهای موازی استفاده کنیم. (شکل‌های ۵-۸۳ و ۵-۸۴)



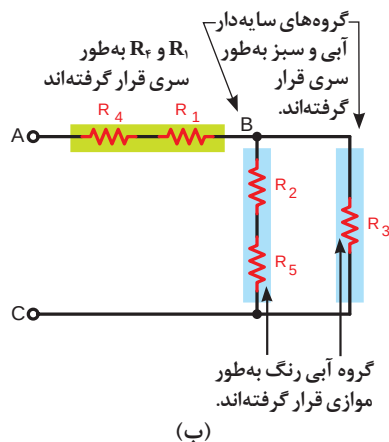
(ب)



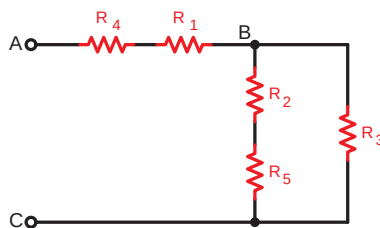
(الف)

شکل ۵-۸۳

نمونه‌هایی از مدارهای ترکیبی سری - موازی به همراه نحوه قرار گرفتن مقاومت‌ها را در کنار هم نشان می‌دهند. برای آشنایی بیشتر با این مدارها به ذکر مثال‌هایی می‌پردازیم:

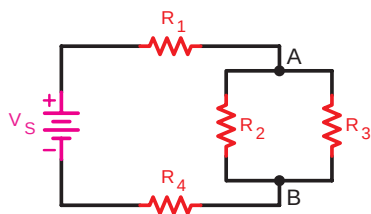


(ب)



(الف)

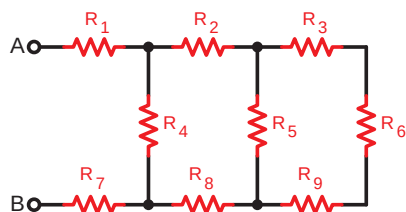
شکل ۵-۸۴



شکل ۵-۸۵

مثال: رابطه کلی محاسبه R_T را برای شکل ۵-۸۵ بنویسید.
حل: همان گونه که مشاهده می شود مقاومت های R_2 و R_3 به صورت موازی بسته شده اند. مقاومت معادل این دو مقاومت با دو مقاومت R_1 و R_4 به صورت سری قرار دارد. پس می توان نوشت:

$$R_T = R_1 + (R_2 \parallel R_3) + R_4$$



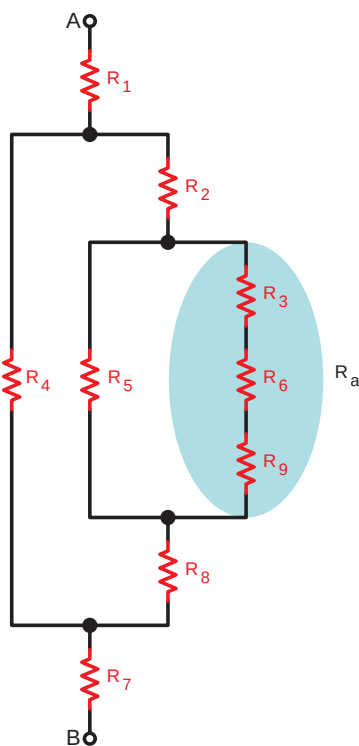
شکل ۵-۸۶

مثال: نحوه محاسبه مقاومت معادل مدار شکل ۵-۸۶ را به ترتیب بنویسید و مدار را در هر یک از حالت رسم کنید.

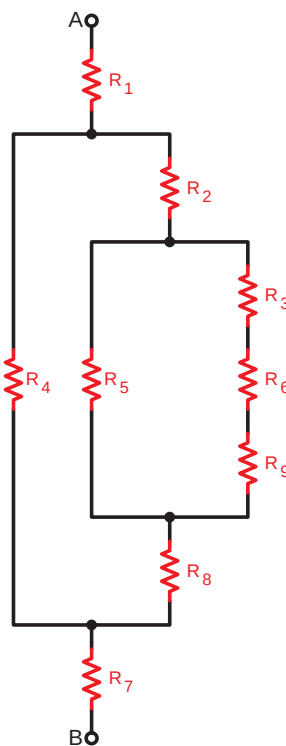
حل:

◀ مرحله ۱: شکل ۵-۸۷ را به صورت ساده تر رسم می کنیم تا مفهوم سری - موازی در مدار مورد نظر بهتر مشخص شود.

◀ مرحله ۲: مقاومت معادل سه مقاومت R_3 ، R_6 و R_9 را که به صورت سری قرار گرفته اند R_a می نامیم و مقدار مقاومت معادل آن را چنین به دست می آوریم.
(شکل ۵-۸۸) $R_a = R_3 + R_6 + R_9$



شکل ۵-۸۸



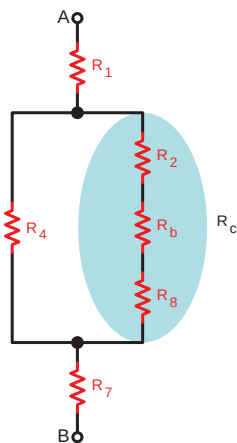
شکل ۵-۸۷

۱- در برخی موارد برای خلاصه نویسی از علامت (۱۱) برای مشخص کردن مقاومت های موازی و از علامت (+) برای مشخص کردن مقاومت های سری استفاده می شود.

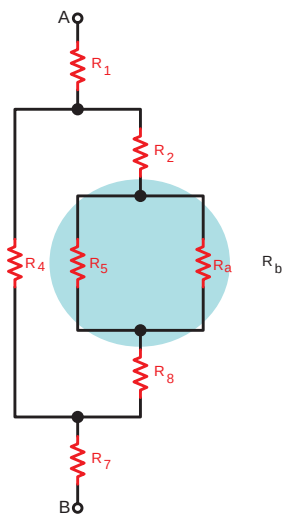
◀ **مرحله ۳:** مقاومت معادل دو مقاومت R_a و R_b که به صورت موازی قرار گرفته‌اند را R_b می‌نامیم و معادل آن را به دست می‌آوریم. (شکل ۵-۸۹)

$$R_b = \frac{R_a \times R_b}{R_a + R_b}$$

$$R_c = R_r + R_b + R_a$$



شکل ۵-۹۰

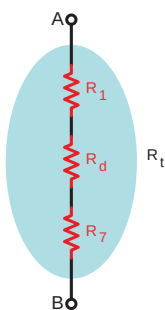


شکل ۵-۸۹

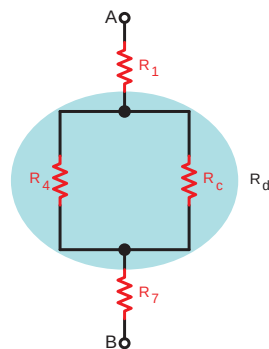
◀ **مرحله ۵:** مقاومت معادل R_c در این مرحله با مقاومت R_f به صورت موازی قرار می‌گیرد. مقاومت معادل آنها را R_d می‌نامیم و مقدار آن را محاسبه می‌کنیم. (شکل ۵-۹۱)

$$R_d = \frac{R_f \times R_c}{R_f + R_c}$$

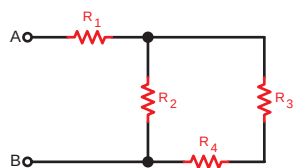
$$R_{AB} = R_t = R_1 + R_d + R_7$$



شکل ۵-۹۲

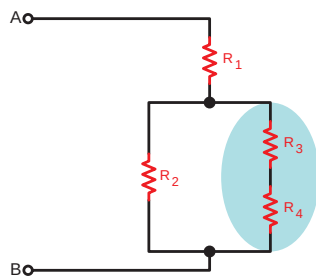


شکل ۵-۹۱



شکل ۵-۹۳

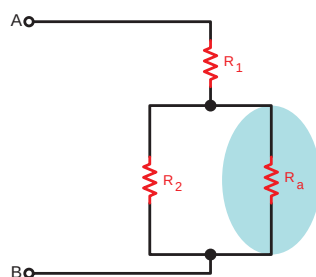
مثال: مقدار مقاومت معادل شکل ۵-۹۳ را در صورتی که $R_1 = 12\Omega$, $R_2 = 4\Omega$, $R_3 = 2\Omega$ و $R_4 = 10\Omega$ است را حساب کنید.



(الف)

حل: ابتدا مدار را به صورت شکل ساده شده (۵-۹۴-الف) در می آوریم و معادل دو مقاومت سری R_p و R_f را محاسبه می کنیم.

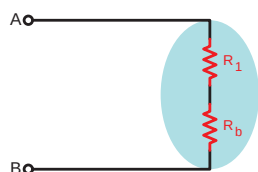
$$R_a = R_p + R_f = 10 + 2 = 12\Omega$$



(ب)

مقاومت معادل مقاومت های R_p و R_a را که به صورت موازی هستند و مقدار آنها نیز مساوی است حساب می کنیم.

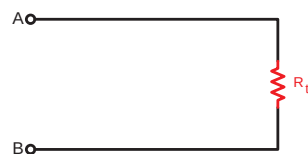
$$R_b = \frac{R_a}{2} = \frac{4 \times 12}{4 + 12} = 3\Omega$$



(ج)

مقاومت های معادل به دست آمده مرحله قبل (R_b) را با مقاومت R_1 به صورت سری در نظر می گیریم و مقاومت معادل آن برابر خواهد شد با:

$$R_c = R_1 + R_b = 3 + 12 = 15\Omega$$



(د)

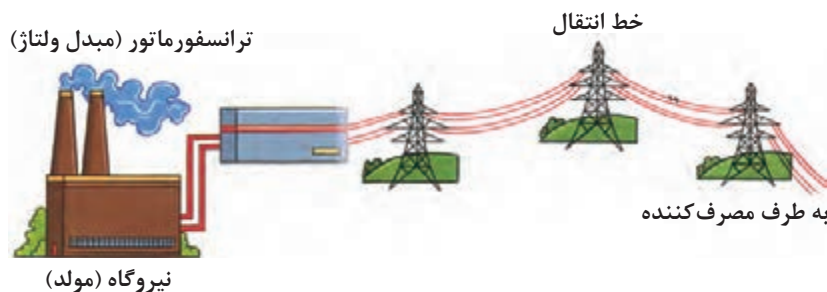
مقاومت به دست آمده برابر با مقاومت معادل کل مدار است، (شکل ۵-۹۴-د)

$$R_c = R_t = 15\Omega$$

شکل ۵-۹۴

۵-۲- افت ولتاژ در هادی‌ها

همان‌طوری که می‌دانید سیم‌های رابط دارای مقاومت الکتریکی هستند. همچنین طبق قانون اهم با عبور جریان الکتریکی از یک مقاومت ولتاژی در دو سر آن به وجود می‌آید. هر قدر فاصله بین منبع تغذیه (مولد) و مصرف‌کننده بیشتر باشد، مقدار مقاومت سیم‌های رابط بیشتر می‌شود و افت ولتاژ در طول مسیر نیز زیادتر خواهد شد. شکل ۵-۹۵ شبکه‌ای را نشان می‌دهد که بین تولیدکننده (نیروگاه) و مصرف‌کننده فاصله زیاد است.



شکل ۵-۹۵



چون این ولتاژ به صورت ناخواسته در مدار به وجود می‌آید لذا باعث کاهش ولتاژ منبع تغذیه اصلی (V_S) می‌شود و ولتاژ کمتری برای مصرف‌کننده (V_L) جهت انجام کار فرستاده می‌شود. لذا ولتاژ تلف شده در مسیر بین مولد و مصرف‌کننده را «افت ولتاژ» می‌نامند و آن را با ΔV نشان می‌دهند. شکل ۵-۹۶ نمونه‌ای از تلف شدن ولتاژ در سیم را نشان می‌دهد. طبق شکل ۵-۹۶ اگر فاصله بین منبع تغذیه و مصرف‌کننده L متر باشد، افت ولتاژ مسیر از رابطه زیر به دست می‌آید.

ولتاژ مصرف‌کننده - ولتاژ تولیدکننده = افت ولتاژ مسیر

$$\Delta V = V_S - V_L$$

مقدار ΔV با استفاده از مقدار مقاومت سیم‌های رابط نیز قابل محاسبه است. چون هر مسیر از دو سیم تشکیل می‌شود لذا رابطه دقیق برای ΔV به صورت مقابل درمی‌آید.

$$\Delta V = 2RI$$

که در این رابطه:

R - مقاومت یک رشته سیم در طول مسیر

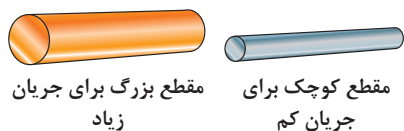
I - جریان عبوری از سیم

افت ولتاژ مجاز معمولاً برحسب درصدی از ولتاژ منبع تغذیه بیان می‌شود. برای اینکه مقدار افت ولتاژ در مدارهای روشنایی و صنعتی بیش از حد قابل قبول نشود آن را به صورت استاندارد طبق جدول ۵-۳ تعریف می‌کنند. برای محاسبه ΔV برحسب درصد از رابطه زیر می‌توان استفاده کرد. در این رابطه ΔV مقدار افت ولتاژ مدار و V مقدار ولتاژ شبکه است.

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} \times 100$$

جدول ۵-۳

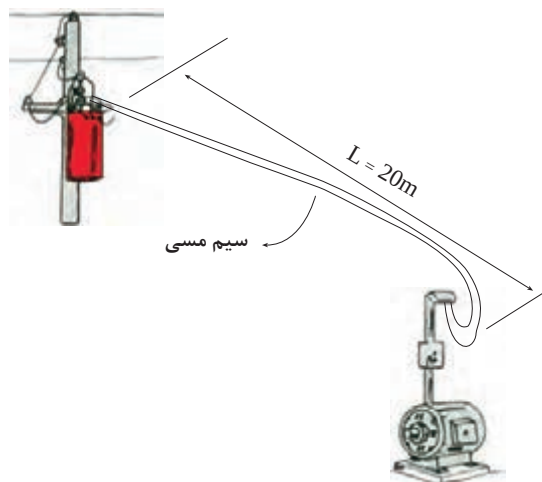
محل مورد نظر	استاندارد	شرح
مصارف روشنایی (لامپ‌ها)	%۱/۵	$\% \Delta V = \frac{1/5}{100} \times VS$
مصارف صنعتی (موتورها)	%۳	$\% \Delta V = \frac{3}{100} \times VS$



شکل ۵-۹۷

برای کاهش افت ولتاژ ΔV در طول مسیر باید متناسب با نوع مصرف‌کننده و مقدار جریان عبوری، سیمی با سطح مقطع مناسب انتخاب کرد. (سطح مقطع کوچک برای جریان کم و سطح مقطع بزرگ برای جریان زیاد). (شکل ۵-۹۷)

مثال: یک موتور الکتریکی با جریان مصرفی 10 A در فاصله 20 متری از منبع تغذیه 200 ولتی قرار دارد. اگر بخواهیم با استفاده از سیم مسی ($\chi_{\text{cu}} = 56$) به آن برق‌رسانی کنیم، سطح مقطع سیم مناسب را حساب کنید. حل: چون مصرف‌کننده موتور است با توجه به جدول ۵-۳ درصد ΔV را برابر با 3% در نظر می‌گیریم و مقدار آن را محاسبه می‌کنیم.



شکل ۵-۹۸- محاسبه افت ولتاژ در خط

$$\Delta V = \frac{3}{100} \times 200 = 6\text{ V}$$

پس از به دست آوردن ΔV مقدار R را تعیین می‌کنیم:

$$\Delta V = 2RI$$

$$R = \frac{\Delta V}{2I} = \frac{6}{2 \times 10} = \frac{6}{20} = 0.3\Omega$$

با استفاده از رابطه $R = \frac{L}{\chi \cdot A}$ مقدار A را به دست می‌آوریم:

$$A = \frac{L}{\chi \cdot R}$$

$$A = \frac{20}{56 \times 0.3} = 1.19\text{ mm}^2$$

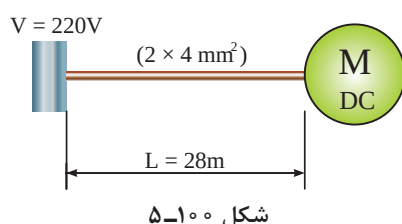


شکل ۵-۹۹- بخاری برقی

مثال: برای یک بخاری برقی با جریان نامی 10 آمپر که در فاصله 20 متری از منبع تغذیه قرار گرفته و با ولتاژ 220 ولت کار می‌کند، سطح مقطع سیم مناسب از جنس مس چقدر است؟ حل: چون مصرف‌کننده موتوری نیست و محل قرارگرفتن آن بعد از کنتور می‌باشد لذا طبق جدول ۵-۳ برای مقدار ΔV داریم:

$$\% \Delta V = \% 1/5 \Rightarrow \% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} \times 100 \Rightarrow \Delta V = \frac{\% \Delta V \times V}{100} = \frac{1/5 \times 220}{100} = 3/2 V$$

$$\Delta V = rRI = r \frac{L}{\chi \cdot A} \cdot I \Rightarrow A = \frac{rLI}{\chi \cdot \Delta V} = \frac{2 \times 20 \times 10}{56 \times 3/2} = \frac{400}{184/8} = 2/16 \text{ mm}^2$$



مثال: یک موتور جریان dc به وسیله کابل مسی دو رشته به سطح مقطع 4 mm^2 در فاصله ۲۸ متری از شبکه ۲۲۰ ولت نصب شده و جریان مصرفی آن ۲۳ آمپر می باشد حساب کنید:

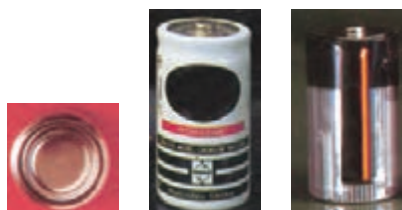
الف) افت ولتاژ
ب) درصد افت ولتاژ
ج) بررسی کنید که آیا سطح مقطع انتخاب شده مناسب است و درصد افت ولتاژ در حد مجاز می باشد؟
حل:

$$\Delta V = rRI = \frac{rLI}{\chi \cdot A} \Rightarrow \Delta V = \frac{2 \times 28 \times 23}{56 \times 4} = 5/75 V \quad \text{الف)}$$

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} \times 100 \Rightarrow \% \Delta V = \frac{5/75}{220} \times 100 = \% 2/6 \quad \text{ب)}$$

ج) چون افت ولتاژ به دست آمده کمتر از حد مجاز برای موتورها (۳٪) است لذا می توان سطح مقطع کابل انتخاب شده را مناسب دانست.

۵-۳- انواع پیل ها



شکل ۵-۱۰۱

قبل از معرفی انواع پیل ها لازم است با دو مفهوم زیر آشنا شویم:

الف) پیل الکتروشیمیایی: مجموعه ای است که می تواند انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل کند. مانند باتری اتومبیل.

ب) باتری: از کنار هم قرار گرفتن چند پیل الکتروشیمیایی یک باتری تشکیل می شود. در بین عامه به اشتباه از اصطلاح باتری به جای پیل استفاده می شود.

پیل ها به دو دسته «پیل های اولیه^۲» و «پیل های ثانویه^۳» تقسیم می شوند.

۱- Electrochemical Cell

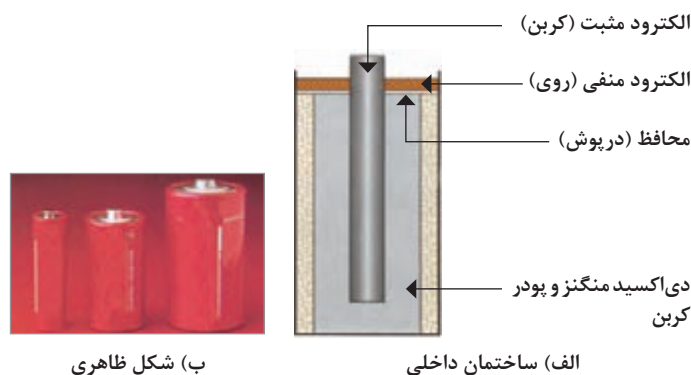
۲- Primary Cell

۳- Secondry Cell

۵-۳-۱ پیل‌های اولیه

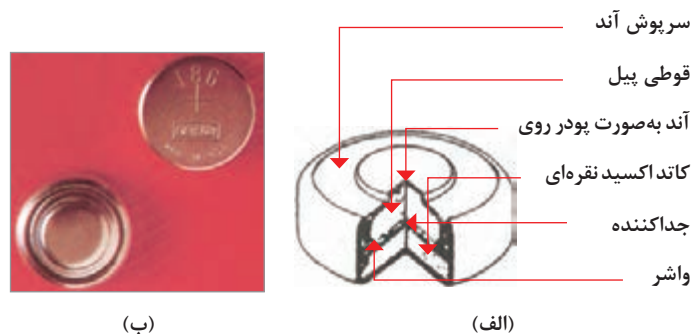
پیل‌هایی هستند که پس از تخلیه نمی‌توان آنها را مجدداً استفاده کرد زیرا قابل پر کردن (شارژ) نیستند. این پیل‌ها در صنعت اصطلاحاً تحت عنوان «پیل‌های خشک» معروف هستند. مهم‌ترین آنها به شرح زیر است:

■ **پیل روی - کربن:** پایه مثبت این پیل از یک میله کربنی و پایه منفی آن از یک ظرف استوانه‌ای از جنس روی تشکیل می‌شود. پایه مثبت در درون ظرف قرار دارد و فضای بین آنها توسط محلولی (الکتrolیت) از جنس پودر کربن و موادی دیگر که به صورت خمیر است پر می‌شود. ولتاژ این پیل‌ها در حدود $1/5$ ولت است و دارای عمر نسبتاً طولانی هستند ساختمان داخلی و شکل ظاهری یک نمونه از این پیل را در شکل ۵-۱۰۲ مشاهده می‌کنید.



شکل ۵-۱۰۲

■ **پیل اکسید نقره:** الکتروود مثبت این نوع پیل از جنس روی و الکتروود منفی آن از جنس اکسید نقره و محلول الکتrolیت آن هیدروکسید پتاسیم یا هیدروکسید سدیم است. ابعاد پیل اکسید نقره کوچک است و ولتاژی در حدود $1/5$ ولت دارد. این پیل در انواع ماشین حساب‌ها، ساعت‌های مچی و... مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۵-۱۰۳ این نوع باتری‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۰۳



شکل ۵-۱۰۴

■ **پیل قلیایی:** این نوع پیل از نظر ساختمان و طرز کار شبیه پیل روی - کربن است. الکتروود مثبت آن از جنس دی‌اکسید منگنز و الکتروود منفی آن از جنس روی است. الکتروولت پیل قلیایی از جنس هیدروکسید پتاسیم است. ولتاژ کار این نوع پیل در حدود ۱/۵ ولت می‌باشد. داشتن قابلیت جریان دهی بالا و عمر زیاد را می‌توان از خصوصیات این قبیل پیل‌ها ذکر کرد. این پیل را در شکل ۵-۱۰۴ مشاهده می‌کنید.



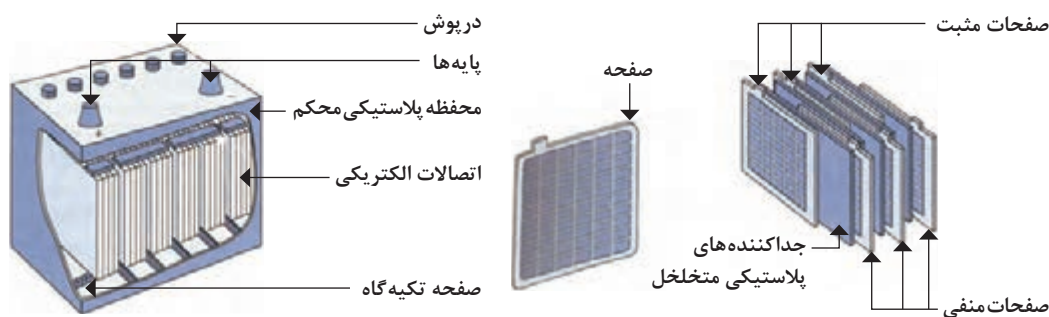
شکل ۵-۱۰۵

■ **پیل لیتیوم:** این پیل‌ها دارای ولتاژی در حدود ۱/۵ ولت هستند. داشتن طول عمر زیاد و تنوع ساخت در شکل‌های مختلف از جمله خصوصیات آنها است. (شکل ۵-۱۰۵)

۲-۳-۵- پیل‌های ثانویه

پیل‌هایی هستند که قابلیت پر شدن (شارژ) و خالی شدن (دشارژ) مکرر را دارند. از انواع این نوع پیل‌ها می‌توان پیل‌های سرب - اسید و نیکل - کادمیوم را نام برد.

■ **پیل سرب - اسید:** از این نوع پیل‌ها در باتری‌های اتومبیل استفاده می‌شود. الکتروود مثبت پیل سرب - اسید از جنس سرب اسفنجی و الکتروود منفی آن از جنس سرب است. محلول آب و اسید سولفوریک به عنوان الکتروولت در این پیل به کار می‌رود. ولتاژ هر پیل سرب - اسید حدود ۲ ولت است. چون باتری اتومبیل معمولاً ۶ خانه دارد لذا ولتاژ این باتری‌ها برابر با ۱۲ ولت خواهد شد. تصویر ظاهری و اجزای تشکیل‌دهنده پیل سرب - اسید در شکل ۵-۱۰۶ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۰۶- ساختمان باتری سرب - اسید



شکل ۵-۱۰۷- پیل نیکل کادمیوم

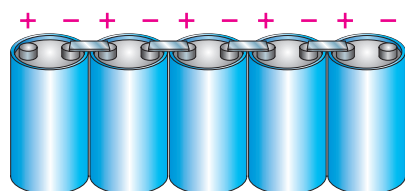
■ **پیل نیکل - کادمیوم:** در این پیل الکتروود مثبت از جنس هیدروکسید نیکل و الکتروود منفی از جنس کادمیوم است. در پیل نیکل کادمیوم از ترکیب هیدروکسید پتاسیم به عنوان الکتروولت استفاده می‌شود. ولتاژ پیل نیکل کادمیوم در حدود ۱/۲ تا ۱/۳ ولت است. شکل ۵-۱۰۷ این پیل‌ها را نشان می‌دهد.

از مجموعه مطالب ارائه شده در خصوص هریک از انواع پیل ها می توان جمع بندی را به صورت جدول ۵-۴ استخراج کرد^۱.

جدول ۵-۴

انواع پیل ها	روی - کربن	اکسید نقره	قلیایی	سرب - اسید	نیکل - کادمیوم
الکترو د مثبت	میله کربن	روی	دی اکسید منگنز	سرب اسفنجی	هیدرواکسید نیکل
الکترو د منفی	استوانه روی	اکسید نقره	روی	سرب معمولی	کادمیوم
الکترو لیت	پودر کربن و خمیر نشادر	هیدرواکسید پتاسیم یا سدیم	هیدرواکسید پتاسیم	اسید سولفوریک	ترکیب هیدرواکسید نیکل
ولتاژ کار	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۲	۱/۲ تا ۱/۳
مشخصه	عمر خوب	حجم کم	جریان دهی بالا	قابل شارژ (ثانویه)	قابل شارژ (ثانویه)

۵-۴-۵-۴ اتصالات پیل ها



شکل ۵-۱۰۸- اتصال سری پیل ها

۵-۴-۱-۵-۴ اتصال سری پیل ها

اگر (n) پیل را طوری اتصال دهیم که قطب منفی پیل اول به قطب مثبت پیل دوم اتصال داشته باشد و این کار تا آخرین پیل (پیل n ام) ادامه یابد این نوع اتصال را «سری» گویند. (شکل ۵-۱۰۸). از این نوع اتصال پیل ها زمانی استفاده می شود که ولتاژ مورد نیاز بیشتر از مقدار ولتاژ یک پیل باشد.

در شکل ۵-۱۰۹ مشاهده می شود با اضافه شدن تعداد پیل ها نور لامپ افزایش می یابد.



شکل ۵-۱۰۹



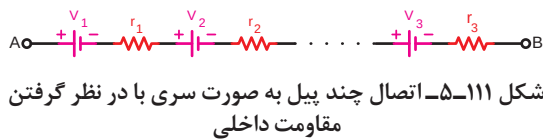
در اتصال سری مساوی بودن ولتاژ باتری ها ضرورتی ندارد و می توانند با هم متفاوت باشند. جریان عبوری از مدار چند پیل که با هم به طور سری قرار گرفته اند برای همه پیل ها یکسان است. (شکل ۵-۱۱۰) ولتاژ کل (ولتاژ ابتدا نسبت به انتها) در این نوع اتصال به صورت زیر محاسبه می شود.

$$V_{AB} = V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

۱- توضیحات در جدول به عنوان اطلاعات کلی داده شده و از مطالب آن در طرح سؤال امتحانی نمی بایست استفاده شود.

در صورتی که ولتاژ پیل‌ها مساوی باشند ولتاژ کل برابر است با:

$$V_{AB} = V_T = n.V$$



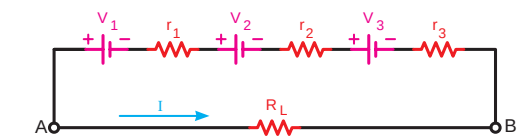
شکل ۵-۱۱۱- اتصال چند پیل به صورت سری با در نظر گرفتن مقاومت داخلی

که در آن n تعداد پیل‌ها و V ولتاژ هر پیل است. اگر پیل‌های سری شده را به صورت واقعی در نظر بگیریم یعنی دارای مقاومت داخلی (r) باشند، اثر مقاومت پیل‌ها در مدار مانند چند مقاومت سری ظاهر می‌شود. مقدار این مقاومت‌ها از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$r_{AB} = r_T = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n$$

در صورتی که مقدار مقاومت باتری‌ها مساوی باشند، می‌توانیم بنویسیم:

$$r_{AB} = r_T = n.r$$



شکل ۵-۱۱۲- اتصال مقاومت بار به سه پیل که به صورت سری بسته شده‌اند.

در شکل ۵-۱۱۲ اگر بخواهیم جریان مقاومت R_L را طبق قانون اهم و توضیحات فوق محاسبه کنیم، می‌توانیم بنویسیم:

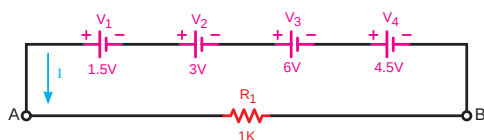
$$V_{AB} = V_1 + V_2 + V_3 = n.V$$

$$r_{AB} = r_1 + r_2 + r_3 = n.r$$

$$V_{RL} = V_{AB}$$

$$nV = I(nr + R_L)$$

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



شکل ۵-۱۱۳- اتصال چهار باتری به صورت سری

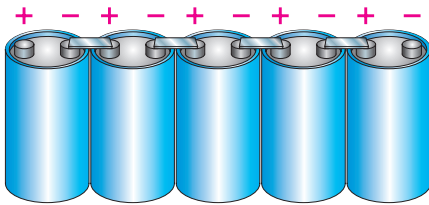
مثال: هرگاه چهار پیل مطابق شکل ۵-۱۱۳ به صورت سری اتصال داده شوند ولتاژ کل مدار چند ولت خواهد شد؟

حل: برای محاسبه ولتاژ کل باید ولتاژ همه باتری‌ها را با یکدیگر جمع کنیم.

$$V_{AB} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

$$V_{AB} = 1.5 + 3 + 6 + 4.5$$

$$V_{AB} = V_T = 15V$$



شکل ۵-۱۱۴

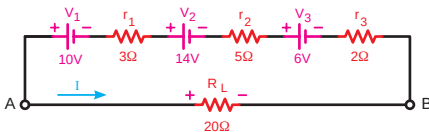
مثال: اگر پنج پیل ۱/۵ ولتی مطابق شکل ۵-۱۱۴ به هم متصل شوند ولتاژ کل مدار چند ولت است؟

حل: چون ولتاژ باتری‌ها برابر هستند، لذا می‌توان نوشت:

$$V_T = n.v$$

$$V_T = 5 \times 1/5$$

$$V_T = 1 \text{ V}$$



شکل ۵-۱۱۵

مثال: در مدار شکل ۵-۱۱۵ مطلوب است:

الف) ولتاژ کل مدار

ب) مقاومت داخلی کل پیل‌ها

ج) جریان عبوری از مقاومت R_L

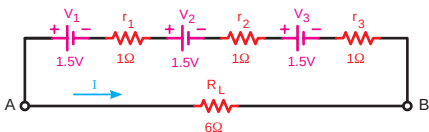
حل: برای محاسبه ولتاژ و مقاومت داخلی کل باید هریک را مستقل حساب کنیم:

$$V_T = V_{AB} = V_1 + V_r + V_r$$

$$V_T = 10 + 14 + 6 \Rightarrow V_T = 30 \text{ V}$$

$$r_T = r_1 + r_r + r_r \Rightarrow r_T = 3 + 5 + 2 \Rightarrow r_T = 10 \Omega$$

$$I_L = \frac{V_{AB}}{r_T + R_L} \Rightarrow I_L = \frac{30}{10 + 20} \Rightarrow I_L = 1 \text{ A}$$



شکل ۵-۱۱۶

مثال: با توجه به مدار شکل ۵-۱۱۶ مطلوب است:

الف) ولتاژ کل مدار

ب) مقاومت داخلی کل باتری‌ها

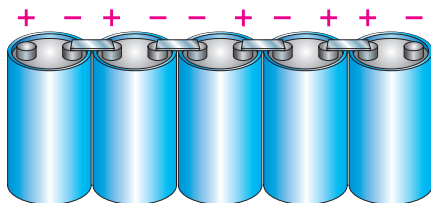
ج) جریان عبوری از مقاومت R_L

حل: چون مقدار ولتاژ مقاومت داخلی هر سه باتری مشابه یکدیگر است، لذا می‌توان طبق روابط مقابل نوشت:

$$V_T = n.v \Rightarrow V_T = 3 \times 1/5 \Rightarrow V_T = 3/5 \text{ V}$$

$$r_T = n.r \Rightarrow r_T = 3 \times 1 \Rightarrow r_T = 3 \Omega$$

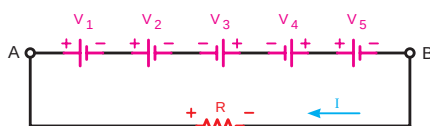
$$I = \frac{n.v}{n.r + R_L} = \frac{V_T}{r_T + R_L} \Rightarrow I = \frac{3/5}{3 + 6} = \frac{3/5}{9} \Rightarrow I = 1/15 \text{ A}$$



شکل ۵-۱۱۷



شکل ۵-۱۱۸



شکل ۵-۱۱۹- پنج باتری که به صورت متقابل وصل شده‌اند.

۲-۴-۵- اتصال متقابل پیل‌ها

یکی دیگر از روش‌هایی که می‌توان پیل‌ها را به صورت سری به هم اتصال داد، حالت اتصال متقابل است. در این روش نحوه اتصال پلاریته‌های مثبت و منفی پیل‌ها ترتیب خاصی ندارد و ممکن است قطب‌های هم‌نام موافق یا قطب‌های غیرهم‌نام به یکدیگر اتصال داده شوند. (شکل ۵-۱۱۷)

در این نوع اتصال شکل ۵-۱۱۸ مساوی بودن ولتاژ پیل‌ها ضرورتی ندارد. برای محاسبه ولتاژ کل مدار ابتدا پلاریته‌های مثبت و منفی پیل‌ها و دو سر مقاومت بار را مشخص می‌کنیم و سپس یک جهت فرضی را برای جریان مدار در نظر می‌گیریم و طبق آن در حلقه بسته حرکت می‌کنیم.

اگر جهت فلش جریان به قطب مثبت پیل وارد شود آن را مثبت و اگر به قطب منفی پیل وارد شود آن را منفی در نظر می‌گیریم. هرگاه مداری مطابق شکل ۵-۱۱۹ داشته باشیم و بخواهیم جریان مدار را به دست آوریم با در نظر گرفتن مطلب فوق و نوشتن معادله KVL مدار به صورت $\sum V - \sum RI = 0$ می‌توانیم جریان عبوری از مدار شکل ۵-۱۱۹ را چنین به دست آوریم:

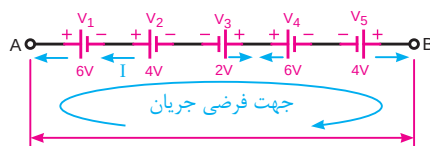
$$V_1 + V_2 - V_3 - V_4 + V_5 - R.I = 0 \quad \text{معادله K.V.L}$$

$$I = \frac{V_1 + V_2 - V_3 - V_4 + V_5}{R} \quad \text{جریان مدار}$$



شکل ۵-۱۲۰- اتصال پنج پیل به صورت متقابل

مثال: ولتاژ خروجی (ولتاژ کل) شکل ۵-۱۲۰ چند ولت است؟



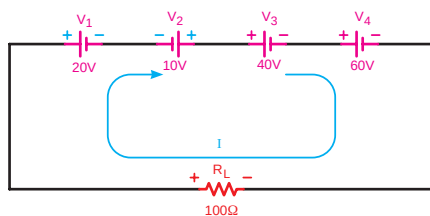
شکل ۵-۱۲۱- جهت فرضی جریان I

حل: ابتدا مطابق شکل ۵-۱۲۱ پلاریته پیل‌ها را تعیین می‌کنیم. سپس یک جهت فرضی برای عبور جریان در نظر می‌گیریم (مثلاً از نقطه A به B) و بعد در جهت حرکت فلش پیش می‌رویم و به هر پلاریته که رسیدیم مقدار ولتاژ آن پیل را با همان علامت می‌نویسیم:

$$V_{AB} = +V_1 + V_2 - V_3 + V_4 - V_5$$

$$V_{AB} = V_T = 6 + 4 - 2 + 6 - 4$$

$$V_{AB} = V_T = 10V$$



مثال: جریان عبوری از مقاومت R_L شکل (۵-۱۲۲) چند آمپر است؟

حل: برای محاسبه جریان مدار ابتدا معادله KVL حلقه را می‌نویسیم و سپس براساس آن جریان را به دست می‌آوریم:

شکل ۵-۱۲۲- اتصال چهار پیل به صورت متقابل

$$+V_1 - V_2 + V_3 + V_4 - R_L I = 0$$

$$I = \frac{+V_1 - V_2 + V_3 + V_4}{R_L} \Rightarrow I = \frac{20 - 10 + 40 + 60}{100} = \frac{110 - 10}{100} \Rightarrow I = 1/1 \text{ A}$$

کار عملی
۴



هدف: بررسی اتصال منابع به صورت سری

وسایل و تجهیزات مورد نیاز (برای هر گروه کار)

ساعت		
جمع	عملی	نظری
۱	۱	-

- ۱ منبع تغذیه dc (الکترونیکی)
 - ۲ پیل ۱/۵ ولتی
 - ۳ بردبرد
 - ۴ آوومتر دیجیتالی
 - ۵ میز آزمایشگاهی
 - ۶ مقاومت اهمی $R_L = 1k\Omega 1w$
 - ۷ سیم چین
 - ۸ سیم لخت کن
 - ۹ گیره سوسماری
 - ۱۰ سیم تلفنی
- ۱ دستگاه
۵ عدد
۱ عدد
۱ عدد
۱ دستگاه
۱ عدد
۱ عدد
۱ عدد
۶ عدد
۰/۵ متر

قبل از شروع کار عملی کلیه موارد ایمنی که در ابتدای کار عملی ۱ فرا گرفته‌اید را به دقت مطالعه کرده و به کار ببرید.

تذکر



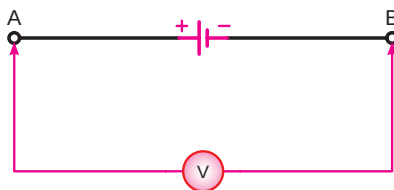
اتصال سری پیل ها

مراحل اجرای آزمایش

توجه



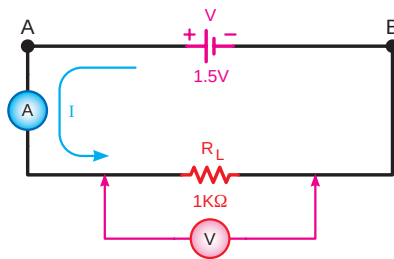
برای سری کردن چند منبع dc می‌توانید از خروجی‌های مختلف یک منبع تغذیه الکترونیکی dc و یا از پیل‌های ۱/۵ ولتی استفاده کنید. اتصال پیل‌ها به یکدیگر و یا اتصال به مقاومت‌ها را با کمک گیره‌های سوسماری انجام دهید.



شکل ۵-۱۲۳

۱ با ولت‌متر دیجیتالی ولتاژ دو سر منبع تغذیه را اندازه‌گیری کنید. (شکل ۵-۱۲۳)

$$V = \dots V$$



شکل ۵-۱۲۴

۲ مدار شکل ۵-۱۲۴ را اتصال دهید و به کمک آمپر متر و ولت‌متر جریان و ولتاژ دو سر مقاومت را اندازه‌گیری کنید.

$$I_{R_L} = \dots A$$

$$V_{R_L} = \dots V$$

۳ در صورتی که مقادیر ولتاژهای اندازه‌گیری شده در مراحل ۱ و ۲ با یکدیگر مساوی بودند نشان می‌دهد که مقاومت داخلی منبع تغذیه صفر است و جریان عبوری از مقاومت R_L را طبق قانون اهم به صورت:

$$I_L = \frac{V_{R_L}}{R_L} = \frac{V}{R_L}$$

۴ اگر مقادیر ولتاژهای اندازه‌گیری شده در مراحل ۱ و ۲ با یکدیگر مساوی نبودند نشان می‌دهد که منبع تغذیه، دارای مقاومت داخلی است که مقدار آن را طبق قانون اهم و بحث مقاومت‌های اهمی سری به صورت مقابل محاسبه می‌کنیم.

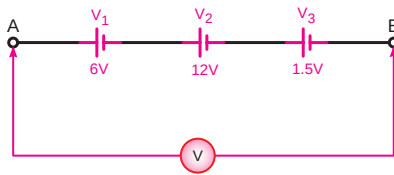
$$R_T = \frac{V - V_{R_L}}{I_{R_L}} \rightarrow R_T = R_L + r \rightarrow r = R_T - R_L$$

۵ آیا مقادیر اندازه‌گیری شده در مراحل آزمایشگاهی با مطالب تئوری مطابقت دارد؟ شرح دهید.

پاسخ



فصل پنجم: اصول محاسبات مدارهای ساده مقاومتی در جریان مستقیم



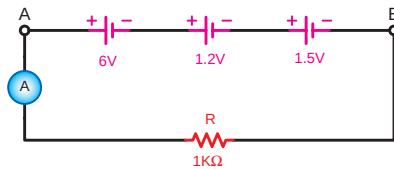
شکل ۵-۱۲۵

۶ سه منبع ولتاژ dc، ۶v، ۱۲v، ۱/۵v را مطابق شکل ۵-۱۲۵ به صورت سری به هم اتصال دهید. با ولت متر dc ولتاژ دو نقطه A و B را اندازه بگیرید.

$$V_{AB} = \dots V$$

۷ از مقدار به دست آمده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

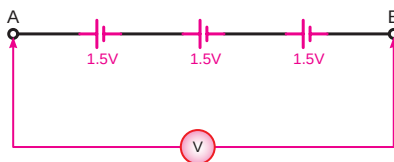
پاسخ



شکل ۵-۱۲۶

۸ یک مقاومت $1k\Omega$ را طبق شکل ۵-۱۲۶ در مدار اضافه کنید و جریان عبوری از مدار را اندازه بگیرید.

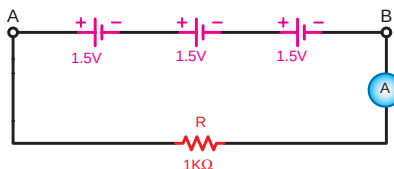
$$I = \dots A$$



شکل ۵-۱۲۷

۹ سه منبع ولتاژ ۱/۵ ولتی را مطابق شکل ۵-۱۲۷ اتصال دهید و ولتاژ مدار را اندازه بگیرید.

$$V_{AB} = \dots V$$



شکل ۵-۱۲۸

۱۰ یک مقاومت $1k\Omega$ را مطابق شکل ۵-۱۲۸ به مدار اضافه کنید و جریان مدار را اندازه بگیرید.

$$I = \dots A$$

۱۱ از مقادیر آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



۱۲ آیا مقادیر به دست آمده با مطالب تئوری مطابقت دارد؟ شرح دهید.

پاسخ

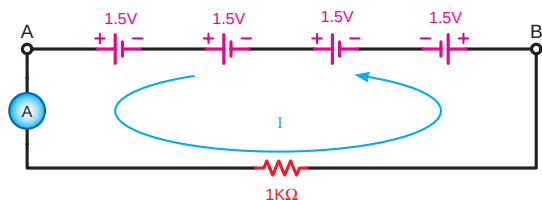




شکل ۵-۱۲۹

۱۳ مدار شکل ۵-۱۲۹ را اتصال دهید و با ولت‌متر دیجیتالی ولتاژ بین دو نقطه A و B را اندازه‌گیری نمایید.

$$V_{AB} = \dots V$$



شکل ۵-۱۳۰

۱۴ یک مقاومت $1k\Omega$ را بین دو نقطه A و B قرار دهید و جریان مدار را طبق شکل ۵-۱۳۰ اندازه بگیرید.

$$I = \dots A$$

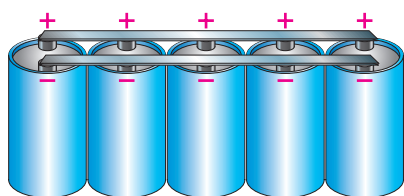
۱۵ از مقادیر به دست آمده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ آیا این نتایج با مطالب تئوری مطابقت دارد؟ شرح دهید.

پاسخ



۱۶ آیا در عمل از اتصال چند پیل به صورت سری استفاده می‌شود؟ چرا؟ شرح دهید.

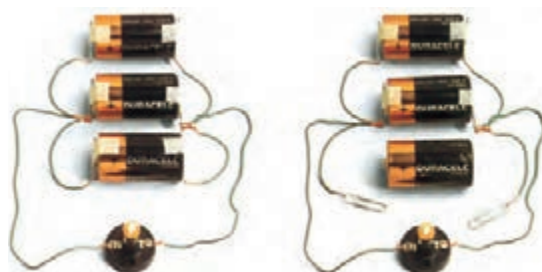
پاسخ



شکل ۵-۱۳۱

۳-۴-۵- اتصال موازی پیل‌ها

هرگاه n پیل را طوری اتصال دهیم که قطب مثبت همه پیل‌ها به یکدیگر و قطب منفی آنها نیز به هم متصل شوند و این روش تا آخرین پیل (پیل n ام) ادامه یابد این نوع اتصال را «موازی» گویند. (شکل ۵-۱۳۱)



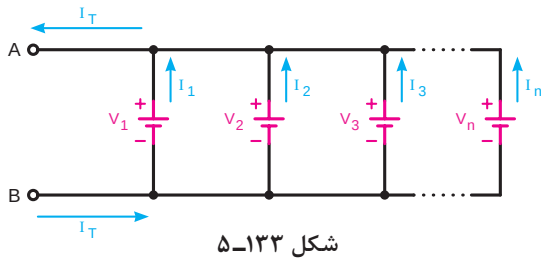
(الف)

(ب)

شکل ۵-۱۳۲

از اتصال موازی پیل‌ها زمانی استفاده می‌شود که جریان مورد نیاز بیشتر از میزان جریان‌دهی یک پیل باشد. در اتصال موازی پیل‌ها ولتاژ دو سر مدار همواره ثابت است. شکل ۵-۱۳۲ الف اتصال موازی سه پیل و یک لامپ را نشان می‌دهد. در این حالت نور لامپ زیاد است. در شکل ۵-۱۳۲ ب یک پیل از مدار خارج شده است. با خارج شدن یک پیل از مدار و با وجود ثابت ماندن ولتاژ، نور لامپ کاهش می‌یابد.

فصل پنجم: اصول محاسبات مدارهای ساده مقاومتی در جریان مستقیم



در واقع میزان جریانی که لامپ برای تولید نور کامل نیاز دارد بیشتر از مقدار جریان دهی دو پیل به صورت موازی است. در اتصال موازی پیل ها مساوی بودن ولتاژ برای همه پیل ها ضروری است. (شکل ۵-۱۳۳) روابط زیر را برای این نوع اتصال می توانیم بنویسیم:

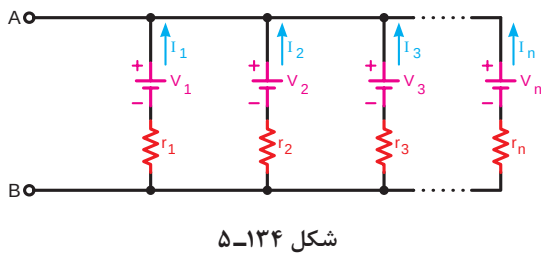
ولتاژ مدار $V_{AB} = V_T = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$
جریان دهی کل پیل ها $I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$

از طرفی چون پیل ها یکسان هستند پس می توانیم بنویسیم:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \Rightarrow I_T = n.I$$

n - تعداد پیل ها

I - جریان دهی هر پیل



اگر هر پیل را به صورت واقعی در نظر بگیریم دارای مقاومت داخلی خواهد بود. در این حالت مقاومت معادل پیل ها با هم مشابه حالت مقاومت ها به صورت موازی است. (شکل ۵-۱۳۴)

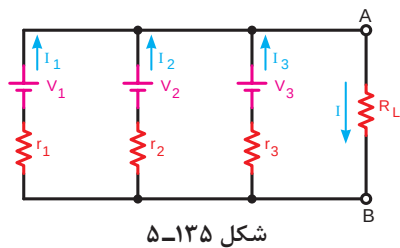
$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n}$$

چون پیل ها مساوی هستند پس برای محاسبه مقاومت معادل مدار می توانیم بنویسیم:

$$r_{AB} = r_T = \frac{r}{n}$$

n - تعداد پیل ها

r - مقاومت داخلی هر پیل



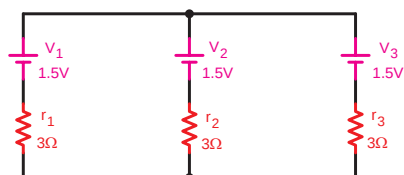
جریان مقاومت برای (R_L) در شکل ۵-۱۳۵ را به صورت زیر می توان محاسبه کرد:

$$I_{R_L} = I = I_1 + I_2 + I_3 = n.I$$

$$r_{AB} = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}} = \frac{r}{n}$$

$$V_{R_L} = V_{AB} = V$$

$$I_{R_L} = \frac{V_{R_L}}{R_T} \Rightarrow I = \frac{V}{\frac{r}{n} + R_L}$$



شکل ۵-۱۳۶

مثال: در مدار شکل ۵-۱۳۶ مطلوب است:

الف) ولتاژ کل

ب) مقاومت داخلی کل پیل‌ها

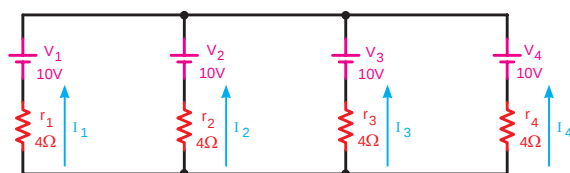
حل: در اتصال موازی ولتاژ کل پیل‌ها برابر ولتاژ یک پیل است یعنی:

$$V_T = 1.5V$$

مقاومت معادل پیل‌ها را نیز به صورت مقابل محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = \frac{1+1+1}{3} = \frac{3}{3} \Rightarrow r_T = \frac{3}{3} = 1\Omega$$



شکل ۵-۱۳۷

مثال: مقدار جریان‌دهی هر پیل و مقاومت معادل

پیل‌ها در شکل ۵-۱۳۷ چقدر است؟

حل: مقدار جریان‌دهی هر پیل را متناسب با مقاومت داخلی آن به صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$I_1 = \frac{V_1}{r_1} = \frac{10}{4} = 2.5A$$

$$I_2 = \frac{V_2}{r_2} = \frac{10}{4} = 2.5A$$

$$I_3 = \frac{V_3}{r_3} = \frac{10}{4} = 2.5A$$

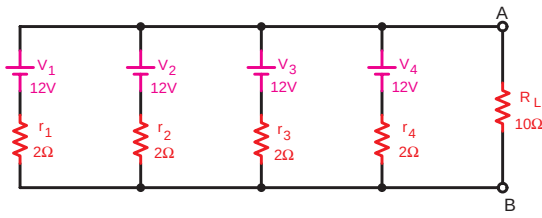
$$I_4 = \frac{V_4}{r_4} = \frac{10}{4} = 2.5A$$

چون مقدار مقاومت داخلی پیل‌ها با یکدیگر مساوی نیست، لذا برای محاسبه مقاومت معادل پیل‌ها به صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \quad \text{یا} \quad r_T = \frac{r}{n}$$

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \quad \text{یا} \quad r_T = \frac{4}{4}$$

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1+1+1+1}{4} = \frac{4}{4} \Rightarrow r_T = 1\Omega$$



شکل ۵-۱۳۸

مثال: با توجه به مدار شکل ۵-۱۳۸ مطلوب است:

الف) مقاومت معادل پیل‌ها

ب) جریان مصرف‌کننده (بار)

حل: چون تمام مشخصات پیل‌ها با یکدیگر مساوی است لذا به صورت مقابل محاسبه می‌کنیم:

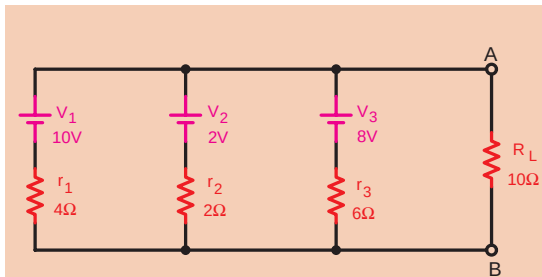
$$r_T = \frac{r}{n} = \frac{2}{4} \Rightarrow r_T = 0.5 \Omega$$

برای محاسبه جریان نیز از رابطه مقابل استفاده می‌کنیم.

$$V_{AB} = V = 12V$$

$$I_L = \frac{\sum V}{\sum R} = \frac{V_{AB}}{\frac{r}{n} + R_L} \Rightarrow I_L = \frac{12}{0.5 + 10} = \frac{12}{10.5} = 1.14A$$

نکات ایمنی



شکل ۵-۱۳۹

مثال: در مدار شکل ۵-۱۳۹ ولتاژ جریان بار چقدر است؟

حل: در مدار شکل ۵-۱۳۹ چون ولتاژ پیل‌ها مساوی نمی‌باشند، لذا اتصال چنین مداری اشتباه است به همین خاطر مقادیر ولتاژ و جریان بار را نمی‌توان محاسبه کرد.

کار عملی
۵



هدف: بررسی اتصال منابع به صورت موازی

وسایل و تجهیزات مورد نیاز (برای هر گروه کار)

ساعت		
نظری	عملی	جمع
-	۱	۱

۱ دستگاه

۵ عدد

۱ عدد

۱ عدد

۱ دستگاه

۱ عدد

۱ عدد

۱ عدد

۶ عدد

۰/۵ متر

۱ منبع تغذیه dc (الکترونیکی)

۲ پیل ۱/۵ ولتی

۳ بردبرد

۴ آومتر دیجیتالی

۵ میز آزمایشگاهی

۶ مقاومت اهمی $R_L = 1k\Omega 1W$

۷ سیم چین

۸ سیم لخت کن

۹ گیره سوسماری

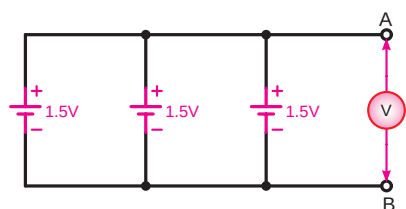
۱۰ سیم تلفنی



قبل از شروع کار عملی کلیه موارد ایمنی که در ابتدای کار عملی ۱ فراگرفته‌اید را به دقت مطالعه کرده و به کار ببرید.

اتصال موازی پیل‌ها

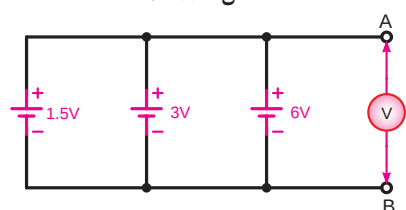
مراحل اجرای آزمایش



شکل ۵-۱۴۰

۱ مدار شکل ۵-۱۴۰ را اتصال دهید و توسط ولت‌متر دیجیتالی ولتاژ بین دو نقطه A و B را اندازه بگیرید و یادداشت نمایید.

$$V_{AB} = \dots \text{ V}$$

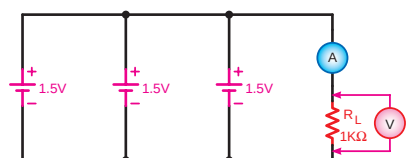


شکل ۵-۱۴۱

۲ مدار شکل ۵-۱۴۱ را اتصال دهید و توسط ولت‌متر دیجیتالی ولتاژ دو نقطه A, B را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{AB} = \dots \text{ V}$$

۳ از مقایسه مقادیر به دست آمده در مراحل ۱ و ۲ در این آزمایش چه نتیجه‌ای حاصل می‌شود؟ توضیح دهید.



شکل ۵-۱۴۲

۴ آیا مقادیر اندازه‌گیری شده با مطالب تئوری مطابقت دارد؟ شرح دهید.

پاسخ



۵ مدار شکل ۵-۱۴۲ را اتصال دهید و با قرار دادن یک آمپر متر و یک ولت‌متر در مدار مقدار ولتاژ و جریان عبوری از مقاومت را اندازه بگیرید.

$$I_L = \dots \text{ A}$$

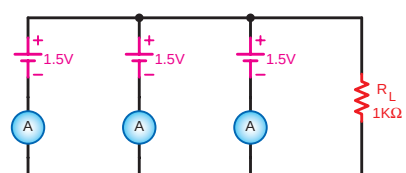
$$V_L = \dots \text{ V}$$

۶ آمپر متر را در مسیر هر یک از منابع قرار دهید و جریان هر یک از پیل‌ها را اندازه بگیرید.

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

$$I_2 = \dots \text{ A}$$

$$I_3 = \dots \text{ A}$$

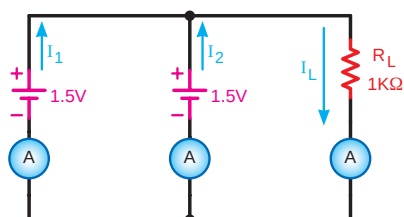


شکل ۵-۱۴۳

۷ در صورت وجود اختلاف بین جریان‌های وارد شده به مدار جریان‌های خارج شده از مدار را با استفاده از مقدار ولتاژ دو سر بار و ولتاژ منابع در حالت بی‌باری مقدار مقاومت داخلی هریک از پیل‌ها را به دست آورید. (شکل ۵-۱۴۳)

۸ آیا مقادیر اندازه‌گیری شده با مطالب تئوری مطابقت دارد؟ توضیح دهید.

پاسخ



شکل ۵-۱۴۴

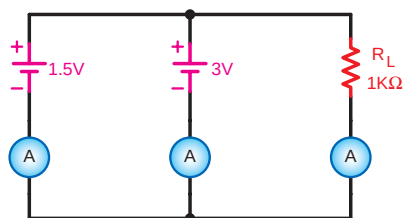
۹ مدار شکل ۵-۱۴۴ را اتصال دهید و جریان هریک از منابع و جریان بار را اندازه‌گیری کنید.

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

$$I_r = \dots \text{ A}$$

$$I_r = \dots \text{ A}$$

۱۰ از مقایسه نتایج این آزمایش و آزمایش شکل ۵-۱۳۹ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.



شکل ۵-۱۴۵

۱۱ با اتصال مدار شکل ۵-۱۴۵ جریان بار و جریان هریک از پیل‌ها را اندازه‌گیری کنید.

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

$$I_r = \dots \text{ A}$$

$$I_r = \dots \text{ A}$$

۱۲ آیا نتایج به‌دست آمده قابل قبول و تأمین‌کننده جریان بار است؟

پاسخ



۱۳ آیا اتصال موازی منابع با ولتاژهای نامساوی کاربردی دارد؟ چرا؟ شرح دهید.

پاسخ

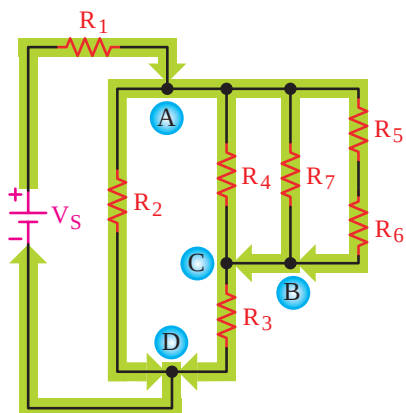


۱۴ آیا پیل‌ها را می‌توان به صورت موازی متقابل اتصال داد؟ چرا؟ شرح دهید.

پاسخ



۵-۵- شدت جریان در مدارهای ترکیبی «سری - موازی»

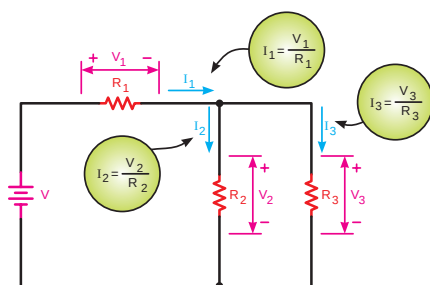


شکل ۵-۱۴۶- جریان در مدارهای ترکیبی (سری - موازی)

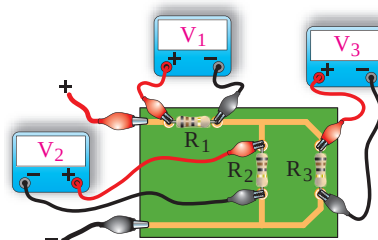
در مدارهای ترکیبی سری - موازی شدت جریان متناسب با شکل مدار و مقادیر مقاومت‌های هر قسمت از مدار عبور می‌کند. به عبارت دیگر در مسیرهایی که دارای مقاومت‌های موازی می‌باشند جریان کل در بین شاخه‌های موازی به نسبت مقاومت‌ها تقسیم می‌شود و در مسیرهایی که مقاومت‌ها سری هستند جریان عبوری از آن مقاومت‌ها یکسان است.

طبق شکل ۵-۱۴۶ برای محاسبه جریان در هر یک از مقاومت‌های ترکیبی مدار (سری - موازی) لازم است مقدار ولتاژ و مقدار اهم هر یک از مقاومت‌ها را بدانیم.

در شکل ۵-۱۴۷ این شرایط نشان داده شده است.

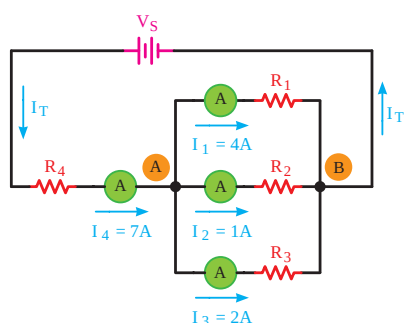


ب) نقشه فنی (شکل مداری)



الف) مدار عملی (شکل واقعی)

شکل ۵-۱۴۷



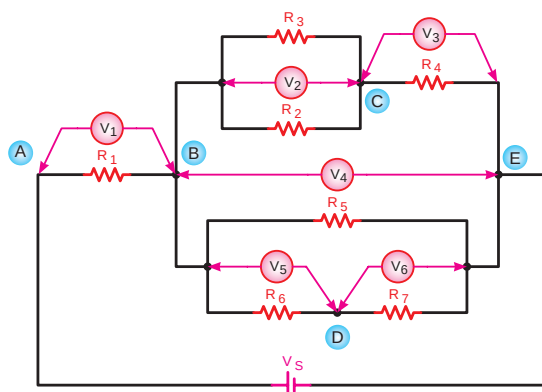
شکل ۵-۱۴۸- تقسیم جریان در مدارهای ترکیبی

شکل ۵-۱۴۸ را مورد بررسی قرار دهید. در این شکل جریان کل مدار (I_T) در گره (A) به سه شاخه تقسیم شده است و در سمت دیگر در گره B جریان‌ها مجدداً با هم جمع می‌شوند و به صورت I_T به منبع تغذیه باز می‌گردند.^۱

۵-۶- ولتاژ در مدارهای ترکیبی «سری - موازی»

در مدارهای ترکیبی «سری - موازی» ولتاژ به نسبت مقاومت‌های سری تقسیم می‌شود و نحوه تقسیم ولتاژ بستگی به حالت مدار دارد.

۱- برای اندازه‌گیری جریان، آمپرتر در مسیر مصرف‌کننده و به صورت سری بسته می‌شود.



شکل ۵-۱۴۹- بررسی ولتاژها در مدار سری - موازی

زیرا در قسمت‌هایی که مدار موازی است ولتاژ مقاومت‌ها مساوی و در بخش‌هایی که مقاومت‌ها سری هستند ولتاژ ورودی به نسبت مقاومت‌ها بین آنها تقسیم می‌شود. شکل ۵-۱۴۹ یک نمونه مدار ترکیبی سری - موازی را نشان می‌دهد.

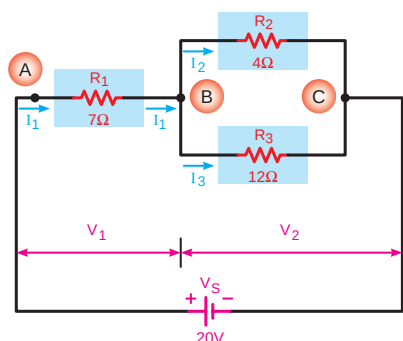
با توجه به توصیحات فوق روابط زیر را می‌توانیم بنویسیم:

$$\begin{aligned} V_{BE} &= V_{BC} + V_{CE} \\ V_{BE} &= V_{BD} + V_{DE} \\ V_S &= V_{AB} + V_{BE} \end{aligned}$$

همچنین برای این مدار می‌توان جدول ۵-۵ را نیز تشکیل داد.

جدول ۵-۵

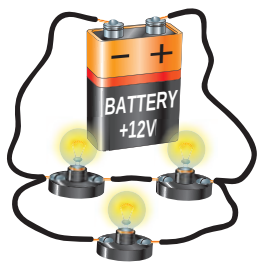
ولت متر	V_1	V_r	V_r	V_f	V_d	V_f
ولتاژ گره‌ها	V_{AB}	V_{BC}	V_{CE}	V_{BE}	V_{BD}	V_{DE}
ولتاژ مقاومت	V_{R_1}	V_{R_r} V_{R_r}	V_{R_f}	V_{R_d}	V_{R_f}	V_{R_y}



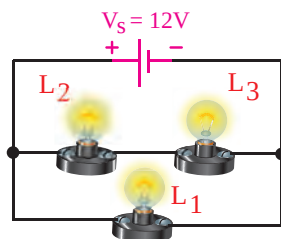
شکل ۵-۱۵۰- تقسیم ولتاژ در مدارهای سری - موازی

در شکل ۵-۱۵۰ مثال دیگری از مدارهای ترکیبی (سری - موازی) با مقادیر مقاومت‌ها آمده است که با توجه به قواعد مدارهای سری و مدارهای موازی می‌توانیم روابط زیر را بنویسیم:

$$\begin{aligned} V_S &= V_1 + V_r \\ V_1 &= V_{AB} = V_{R_1} = I_1 \cdot R_1 \\ V_r &= V_{BC} = V_{R_r} = I_r \cdot R_r \\ V_r &= V_{BC} = V_{R_r} = I_r \cdot R_r \end{aligned}$$



(الف)



(ب)

شکل ۵-۱۵۱

مثال: سه لامپ با مقاومت داخلی 6Ω مانند شکل ۵-۱۵۱ به یکدیگر اتصال یافته‌اند. مطلوب است جریان و ولتاژ دو سر هر یک از لامپ‌ها را به دست آورید.

حل: با دقت در شکل ۵-۱۵۱ مشاهده می‌شود که دو لامپ L_2 و L_3 با هم به صورت سری و لامپ L_1 با مجموع آنها به صورت موازی قرار می‌گیرد. برای محاسبه مقادیر مجهول ابتدا مقاومت معادل و جریان کل را به دست می‌آوریم و سپس براساس مقادیر به دست آمده جریان هر شاخه و افت ولتاژ دو سر هر مقاومت را محاسبه می‌کنیم.

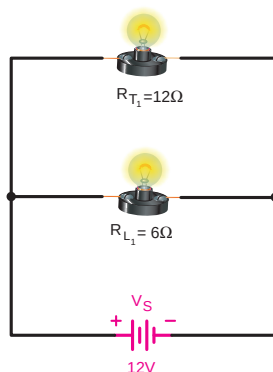
(به صورت سری)

$$R_{T_1} = 2 \times 6 = 12\Omega$$

$$R_{T_1} = n.R$$

$$R_{T_1} = R_{L_2} + R_{L_3}$$

مقاومت معادل دو مقاومت سری در شکل ۵-۱۵۲ نشان داده شده است.

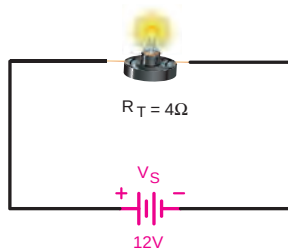


شکل ۵-۱۵۲

$$R_T = \frac{R_{T_1} \cdot R_{L_1}}{R_{T_1} + R_{L_1}} = \frac{12 \times 6}{12 + 6}$$

$$R_T = 4\Omega$$

مقاومت معادل کل در شکل ۵-۱۵۳ نشان داده شده است. و براساس آن جریان کل مدار محاسبه می‌شود.



شکل ۵-۱۵۳

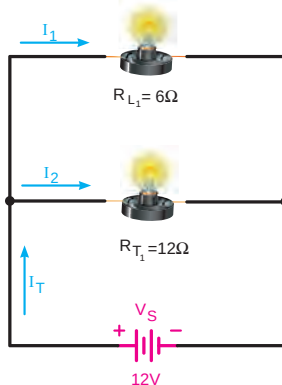
$$I_T = \frac{V_s}{R_T}$$

$$I_T = \frac{12}{4} \Rightarrow I_T = 3A$$

برای محاسبه جریان هر شاخه از رابطه تقسیم جریان دو مقاومت موازی و یا رابطه قانون اهم می‌توانیم استفاده کنیم:

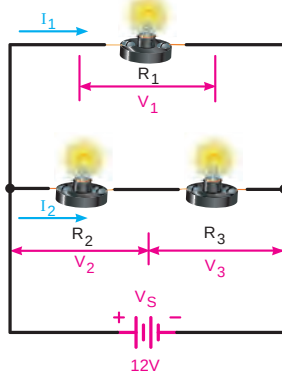
$$I_r = \frac{V_s}{R_{T_1}} = \frac{12}{12} \Rightarrow I_r = 1A$$

$$I_l = \frac{V_s}{R_{L_1}} = \frac{12}{6} \Rightarrow I_l = 2A$$



شکل ۵-۱۵۴

چون دو مقاومت R_r و R_l با هم سری هستند لذا جریان I_r که مربوط به آن شاخه است برای هر دو یکی است. (شکل ۵-۱۵۴)



شکل ۵-۱۵۵

ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌ها را براساس جریان عبوری هر یک و به کمک رابطه $V = R \cdot I$ (قانون اهم) چنین به دست می‌آوریم.

$$V_{R_1} = R_1 \cdot I_1 \Rightarrow V_{R_1} = 6 \times 2 \Rightarrow V_{R_1} = 12V$$

$$V_{R_2} = R_2 \cdot I_r \Rightarrow V_{R_2} = 6 \times 1 \Rightarrow V_{R_2} = 6V$$

$$V_{R_3} = R_3 \cdot I_r \Rightarrow V_{R_3} = 6 \times 1 \Rightarrow V_{R_3} = 6V$$

مثال: در مدار شکل ۵-۱۵۶ مطلوب است: (مقاومت هر لامپ ۳ اهم)

الف) جریان کل مدار

ب) جریان هر یک از لامپ‌ها

ج) ولتاژ دو سر هر کدام از لامپ‌ها

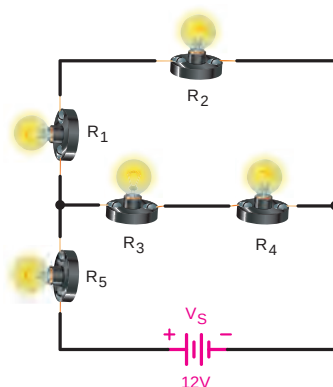
حل: برای به دست آوردن مقادیر مجهول مشابه روش به کار رفته در مثال قبل عمل می‌کنیم:

$$(مقاومت معادل تا مرحله اول) R_{T_1} = R_{L_1} + R_{L_r} \Rightarrow R_{T_1} = 3 \times 2 \Rightarrow R_{T_1} = 6\Omega$$

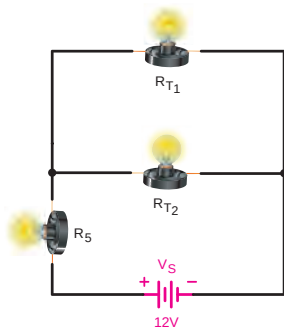
$$I_{R_{T_1}} = R.n$$

$$(مقاومت معادل تا مرحله دوم) R_{T_r} = R_{L_r} + R_{L_r}$$

$$I_{R_{T_r}} = R.n \Rightarrow R_{T_r} = 3 \times 2 \Rightarrow R_{T_r} = 6\Omega$$



شکل ۵-۱۵۶

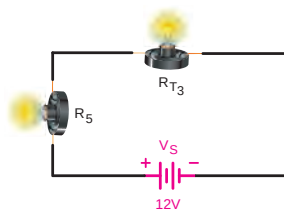


شکل ۵-۱۵۷

مقاومت معادل تا این مرحله در شکل ۵-۱۵۷ نشان داده شده است. چون دو مقاومت موازی مساوی هستند پس می‌توان از تقسیم مقدار یکی بر تعداد معادل آن را به دست آورد:

$$R_{T_r} = R_{T_1} \parallel R_{T_2} \quad (\text{مقاومت معادل تا مرحله سوم})$$

$$\text{یا } R_{T_r} = \frac{R}{n} \Rightarrow R_{T_r} = \frac{6}{2} \Rightarrow R_{T_r} = 3\Omega$$



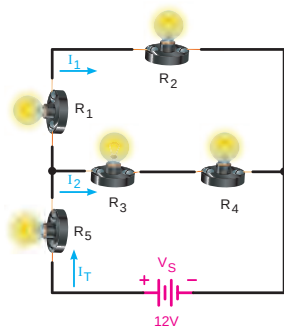
شکل ۵-۱۵۸

مقدار مقاومت کل مدار برابر است با:

$$R_T = R_{T_r} + R_5$$

$$R_T = 3 + 3 \Rightarrow R_T = 6\Omega$$

طبق قانون اهم جریان کل را بدین صورت محاسبه می‌کنیم:



شکل ۵-۱۵۹

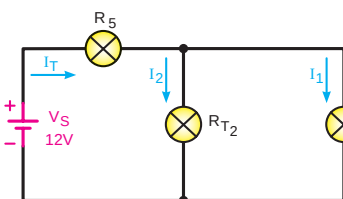
$$I_T = \frac{V_s}{R_T} \Rightarrow I_T = \frac{12}{6} \Rightarrow I_T = 2A$$

$$I_{L_3} = I_T$$

$$I_{L_1} = I_{L_r} \quad \text{چون دو لامپ سری هستند.}$$

$$I_{L_r} = I_{L_r} \quad \text{چون دو لامپ سری هستند.}$$

جریان هر شاخه را از تقسیم جریان به دست می‌آوریم:

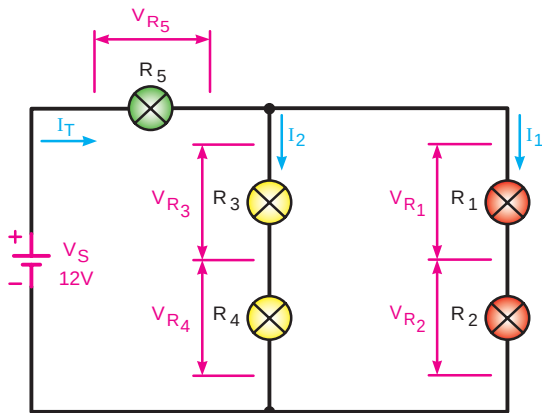


شکل ۵-۱۶۰

$$I_{L_1} = I_T \frac{R_{T_r}}{R_{T_1} + R_{T_r}} \Rightarrow I_{L_1} = 2 \frac{6}{6+6} = \frac{12}{12} \Rightarrow I_{L_1} = 1A$$

$$I_{L_r} = I_T \frac{R_{T_1}}{R_{T_1} + R_{T_r}} \Rightarrow I_{L_r} = 2 \frac{6}{6+6} = \frac{12}{12} \Rightarrow I_{L_r} = 1A$$

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



شکل ۱۶۱-۵

$$V_{R_5} = R_5 \cdot I_T \Rightarrow V_{R_5} = 3 \times 2 \Rightarrow V_{R_5} = 6V$$

$$V_{R_1} = R_1 \cdot I_1 \Rightarrow V_{R_1} = 3 \times 1 \Rightarrow V_{R_1} = 3V$$

$$V_{R_2} = R_2 \cdot I_1 \Rightarrow V_{R_2} = 3 \times 1 \Rightarrow V_{R_2} = 3V$$

$$V_{R_3} = R_3 \cdot I_2 \Rightarrow V_{R_3} = 3 \times 1 \Rightarrow V_{R_3} = 3V$$

$$V_{R_4} = R_4 \cdot I_2 \Rightarrow V_{R_4} = 3 \times 1 \Rightarrow V_{R_4} = 3V$$

کار عملی
۶



هدف: بررسی مدارهای مقاومتی سری - موازی در جریان مستقیم

وسایل و تجهیزات مورد نیاز (برای هر گروه کار)

ساعت		
نظری	عملی	جمع
-	۱	۱

۱ دستگاه

۶ عدد

۱ عدد

۱ عدد

۱ عدد

۱ دستگاه

۱ عدد

۱ عدد

۶ عدد

۱ متر

۵ عدد

۱ عدد

۱ عدد

۱ عدد

۱ منبع تغذیه dc (الکترونیکی)

۲ پیل ۱/۵ ولتی

۳ بردبرد

۴ آوومتر دیجیتالی

۵ آوومتر عقربه‌ای

۶ میز آزمایشگاهی

۷ سیم چین

۸ سیم لخت کن

۹ گیره سوسماری

۱۰ سیم تلفنی

۱۱ مقاومت‌های اهمی

۱ وات $R_1 = 1/2k\Omega$

۱ وات $R_2 = 1/5k\Omega$

۱ وات $R_3 = 3/9k\Omega$

۱ وات $R_4 = 5/6k\Omega$



قبل از شروع کار عملی کلیه موارد ایمنی که در ابتدای کار عملی ۱ فرا گرفته‌اید را به دقت مطالعه کرده و به کار ببرید.

الف) اندازه‌گیری و محاسبه مقاومت در مدارهای ترکیبی «سری – موازی»

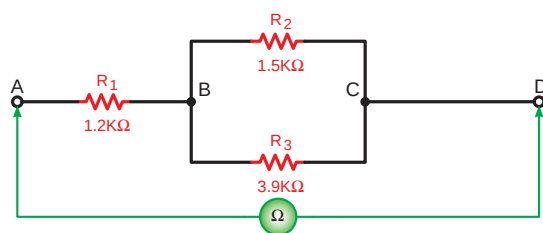
مراحل اجرای آزمایش

۱ مقدار اهم و درصد خطای مقاومت‌های R_1 تا R_4 را با توجه به نوارهای رنگی به دست آورید و در جدول ۵-۶ یادداشت کنید.

۲ به کمک مولتی‌متر مقدار اهم هر یک از مقاومت‌ها را اندازه بگیرید (رنج اهم‌متر را روی $R \times 1k$ قرار دهید.) و در جدول ۵-۶ یادداشت کنید.

جدول ۵-۶

مقاومت	نوارهای رنگی	مقدار اهم و تolerانس خوانده شده	مقدار اندازه‌گیری شده
R_1			
R_2			
R_3			
R_4			

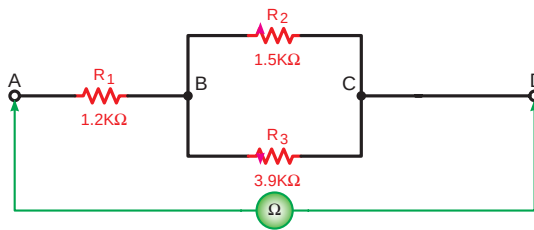


ب) شکل مداری



الف) شکل واقعی مدار

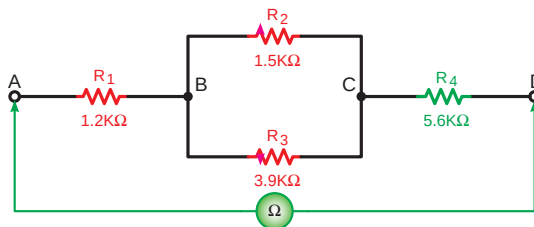
شکل ۵-۱۶۲



شکل ۵-۱۶۳

۳ مدار شکل ۵-۱۶۳ را روی بردبرد اتصال دهید و با استفاده از اهم‌متر مقاومت معادل مدار را از دو نقطه A و D اندازه بگیرید.

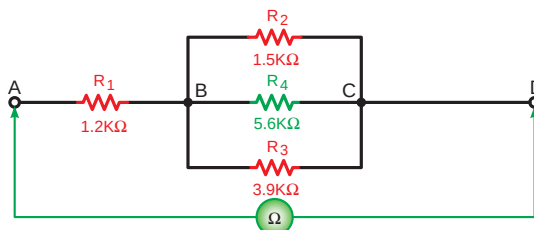
$$R_{AD_1} = \dots \Omega$$



شکل ۵-۱۶۴

۴ طبق شکل ۵-۱۶۴ یک مقاومت $5.6k\Omega$ را بین دو نقطه C و D قرار دهید و مقاومت معادل مدار را از دو نقطه A و D با استفاده از اهم‌متر اندازه بگیرید.

$$R_{AD_2} = \dots \Omega$$



شکل ۵-۱۶۵

۵ مقاومت $5.6k\Omega$ را بین دو نقطه B و C طبق شکل ۵-۱۶۵ قرار دهید و مقاومت معادل بین دو نقطه A و D را مجدداً اندازه‌گیری کنید.

$$R_{AD_3} = \dots \Omega$$

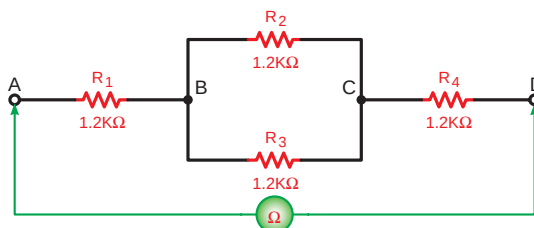
۶ با توجه به نتایج به دست آمده در مراحل ۴ و ۵ اضافه شدن مقاومت $5.6k\Omega$ به مدارهای شکل ۵-۱۶۴ و ۵-۱۶۵ چه تأثیری روی مقاومت معادل بین دو نقطه A و D می‌گذارد؟ چرا؟ شرح دهید.

پاسخ



۷ آیا مقادیر به دست آمده در مراحل عملی با مطالب تئوری مطابقت دارد؟ شرح دهید.

پاسخ



شکل ۵-۱۶۶

۸ چهار مقاومت $1.2k\Omega$ را طبق شکل ۵-۱۶۶ اتصال دهید و سپس با اهم‌متر مقاومت معادل بین دو نقطه A و D را اندازه‌گیری کنید.

$$R_{AD_4} = \dots \Omega$$

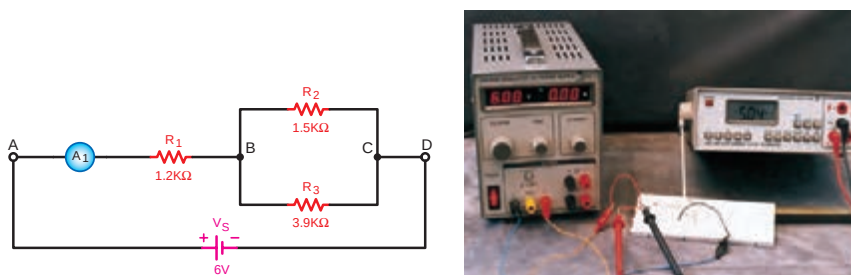
۹ با توجه به مقدار اندازه‌گیری شده آیا می‌توان با استفاده از نتیجه‌گیری‌های به‌دست آمده رابطه کلی را نوشت؟ چرا؟

پاسخ



ب) اندازه‌گیری و محاسبه شدت جریان در مدارهای ترکیبی «سری – موازی»

۱ مدار شکل ۵-۱۶۷ را روی بردبرد اتصال دهید.



ب) شکل مداری

الف) شکل واقعی مدار

شکل ۵-۱۶۷- اندازه‌گیری جریان در مدار ترکیبی

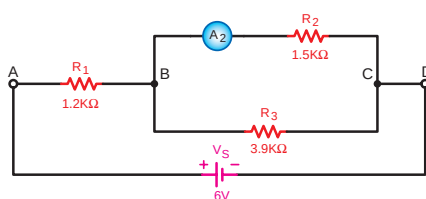
دقت کنید که آمپرتر در مدار مربوط به هر مقاومت به صورت سری قرار گیرد و حداقل حوزه کاری که انتخاب می‌شود، برابر 10 mA باشد.

تذکر



۲ منبع تغذیه dc را وصل کنید و جریان عبوری از مقاومت R_1 را اندازه بگیرید.

$$I_{R_1} = \dots \text{ A}$$



شکل ۵-۱۶۸- اندازه‌گیری جریان در شاخه‌های مختلف مدارهای ترکیبی

۳ منبع تغذیه را خاموش کرده و آمپرتر را یک‌بار در مسیر مقاومت R_2 مانند شکل ۵-۱۶۸ و بار دیگر در مسیر مقاومت R_3 قرار داده و جریان هر یک را قرائت کنید.

$$I_{R_2} = \dots \text{ A}$$

$$I_{R_3} = \dots \text{ A}$$

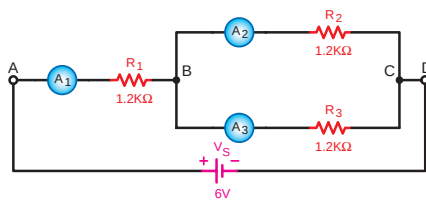
۴ از مقایسه جریان‌های اندازه‌گیری شده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟
شرح دهید.

۵ مداری را مطابق شکل ۵-۱۶۹ اتصال دهید و جریان عبوری از هر یک از مقاومت‌ها را به تفکیک اندازه بگیرید.

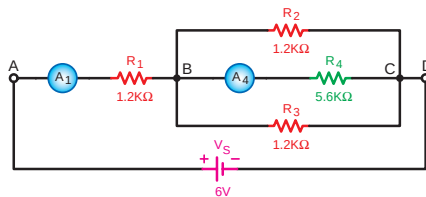
$$I_{R_1} = \dots \text{ A}$$

$$I_{R_2} = \dots \text{ A}$$

$$I_{R_3} = \dots \text{ A}$$



شکل ۵-۱۶۹- اندازه‌گیری جریان از شاخه‌های مختلف مدار ترکیبی



۶ یک مقاومت $5/6k\Omega$ در بین دو نقطه B و C طبق شکل ۵-۱۷۰ اضافه کنید و جریان عبوری از مقاومت‌های R_1 و R_2 را اندازه بگیرید.

$$I_{R_1} = \dots A$$

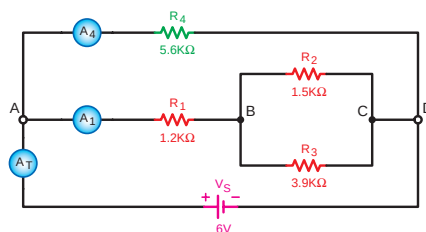
$$I_{R_2} = \dots A$$

شکل ۵-۱۷۰- بررسی اثر تغییر مکان مقاومت روی مدار ترکیبی

۷ یک مقاومت $1/2k\Omega$ بین دو نقطه B و C اضافه کنید و جریان کل مدار را اندازه بگیرید. جریان کل مدار چه تغییری داشته است؟ چرا؟ شرح دهید.

$$I_T = \dots A$$

پاسخ



۸ مدار شکل ۵-۱۷۱ را روی بردبرد اتصال دهید و جریان عبوری از مقاومت‌های R_1 و R_2 و R_3 و R_4 را اندازه بگیرید.

$$I_{R_1} = \dots A$$

$$I_{R_2} = \dots A$$

$$I_T = \dots A$$

شکل ۵-۱۷۱- بررسی اثر اضافه کردن مقاومت به صورت موازی در مدار ترکیبی

۹ وقتی مقاومت R_2 را بین دو نقطه A و D قرار می‌دهید جریان کل مدار چه تغییری می‌کند؟ چرا؟ شرح دهید.

پاسخ



۱۰ از مقایسه جریان‌های به دست آمده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



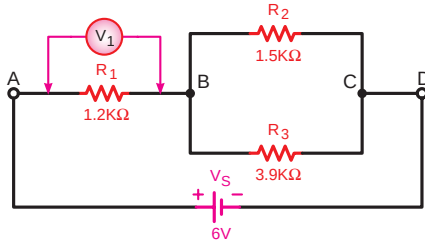
۱۱ آیا رابطه‌ای بین مقدار جریان کل مدار و محل قرار گرفتن مقاومت جدید R_2 وجود دارد؟ شرح دهید.

پاسخ



پ) اندازه‌گیری و محاسبه ولتاژ در مدارهای ترکیبی «سری – موازی»

۱ مدار شکل ۵-۱۷۲ را روی بردبرد اتصال دهید.



شکل ۵-۱۷۲- اتصال مدار ترکیبی (سری – موازی)

تذکر



دقت کنید که ولت‌متر در دو سر هر مقاومت به صورت موازی قرار گیرد و دارای حداقل رنج ۶V باشد.

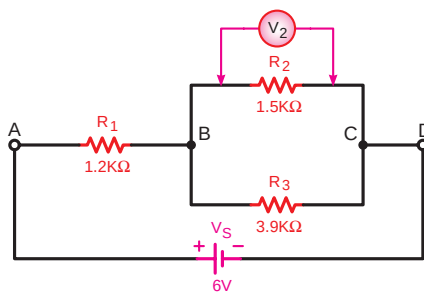
۲ منبع تغذیه dc را وصل کنید و ولتاژ دو سر مقاومت R_1 را اندازه بگیرید.

$$V_{R_1} = \dots V$$

۳ ولت‌متر را یک‌بار در دو سر مقاومت R_2 و بار دیگر در دو سر مقاومت R_3 قرار دهید و ولتاژ هر یک از مقاومت‌ها را اندازه بگیرید.

$$V_{R_2} = \dots V$$

$$V_{R_3} = \dots V$$



ب) شکل مداری



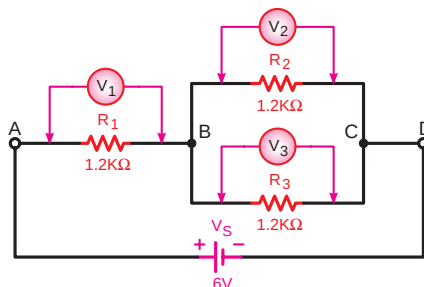
الف) شکل واقعی مدار

شکل ۵-۱۷۳- اندازه‌گیری ولتاژ در مدار ترکیبی (سری – موازی)

۴ از مقایسه ولتاژهای اندازه‌گیری شده با ولتاژ منبع تغذیه چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ





شکل ۵-۱۷۴

۵ مداری را مطابق شکل ۵-۱۷۴ اتصال دهید و ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌ها را به تفکیک اندازه بگیرید.

$$V_{R_1} = \dots V$$

$$V_{R_2} = \dots V$$

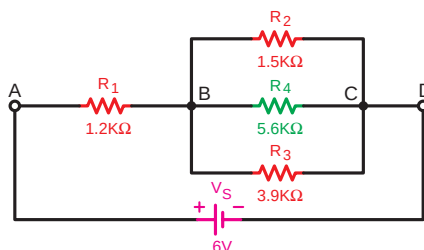
$$V_{R_3} = \dots V$$

۶ از مقایسه ولتاژهای به دست آمده با یکدیگر چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



۷ یک مقاومت $5/6k\Omega$ را طبق شکل ۵-۱۷۵ بین دو نقطه B و C اضافه کنید و ولتاژهای دو سر هر مقاومت را مجدداً اندازه‌گیری کنید.



شکل ۵-۱۷۵

$$V_{R_1} = \dots V$$

$$V_{R_2} = \dots V$$

$$V_{R_3} = \dots V$$

$$V_{R_4} = \dots V$$

۸ از نتایج به دست آمده در این مرحله آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



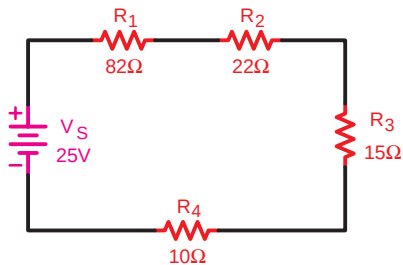
۹ آیا مقادیر به دست آمده با مطالب تئوری و رابطه آن مطابقت دارد؟ شرح دهید.

پاسخ



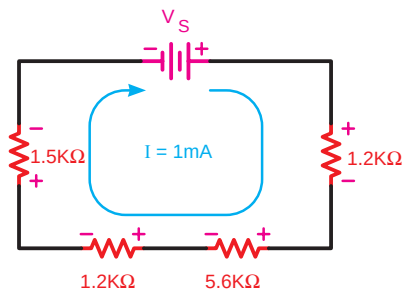
آزمون پایانی (۵)

- ۱ یک آمپر متر در مداری به صورت سری قرار گرفته است. این آمپر متر پس از وصل منبع تغذیه عدد صفر را نشان می دهد. کدام یک از موارد زیر را باید مورد بررسی قرار داد؟
 الف) بازرسی سیم های رابط مدار
 ب) بررسی اتصال کوتاه شدن مقاومت ها
 ج) بررسی مقاومت ها از نظر قطع شدن
 د) گزینه های الف و ج



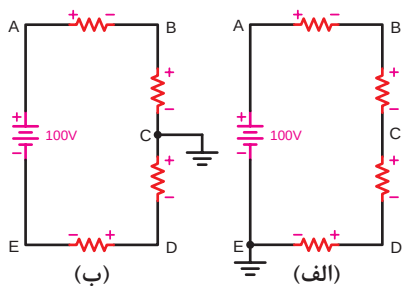
شکل ۵-۱۷۶

- ۲ جریان عبوری از مدار شکل ۵-۱۷۶ چند میلی آمپر است؟
 الف) ۱۹۴ ب) ۴/۸ ج) ۶/۲ د) ۵/۶



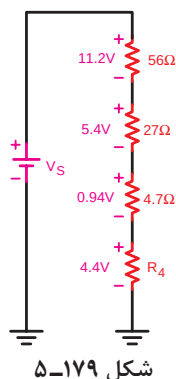
شکل ۵-۱۷۷

- ۳ در مدار شکل ۵-۱۷۷ ولتاژ V_S چند ولت است؟
 الف) ۹/۵ ب) ۰/۹۵ ج) ۹۵ د) ۰/۰۹۵



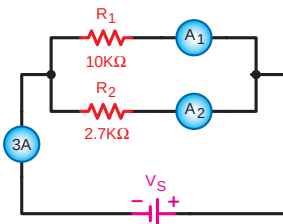
شکل ۵-۱۷۸

- ۴ در شکل ۵-۱۷۸ اگر افت ولتاژ در دو سر هر مقاومت برابر ۲۵ ولت باشد در شکل های (الف) و (ب) ولتاژ نقطه B نسبت به زمین به ترتیب از راست به چپ چند ولت است؟
 الف) ۷۵ و ۵۰ ب) ۷۵ و ۲۵ ج) ۵۰ و ۲۵ د) ۱۰۰ و ۲۵



شکل ۵-۱۷۹

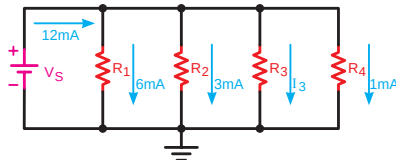
- ۵ مقدار مقاومت R_4 در شکل ۵-۱۷۹ چند اهم است؟
 الف) ۰/۸۸ ب) ۲/۲ ج) ۲۲۰ د) ۲۲
- ۶ مقدار مقاومت معادل سه مقاومت ۳۳۰Ω ، ۲۷۰Ω و ۶۸Ω که به صورت موازی بسته شده اند چند اهم است؟
 الف) ۶۶۸ ب) ۴۷ ج) ۶۸ د) ۲۲



شکل ۵-۱۸۰

۷ در شکل ۵-۱۸۰ آمپرمترهای A_1 و A_2 به ترتیب از راست به چپ چند آمپر را نشان می‌دهند؟

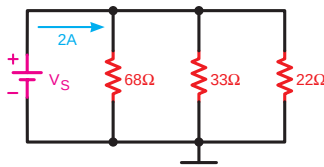
- الف) $0/64$ و $2/36$ (ب) $0/56$ و $1/36$
ج) $1/36$ و $1/64$ (د) $2/36$ و $0/64$



شکل ۵-۱۸۱

۸ در شکل ۵-۱۸۱ و در صورتی که مقدار مقاومت $R_T = 2k\Omega$ باشد مقدار مقاومت R_2 چند کیلو اهم است؟

- الف) ۱۲ (ب) ۲ (ج) ۹ (د) ۱۰

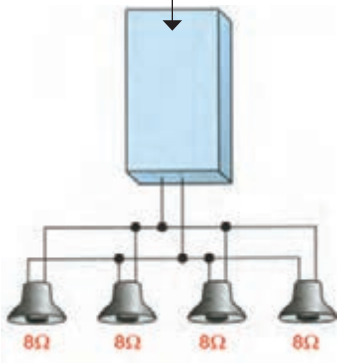


شکل ۵-۱۸۲

۹ در مدار شکل ۵-۱۸۲ ولتاژ کل چند ولت است؟

- الف) $14/9$ (ب) $7/25$ (ج) $22/1$ (د) $44/6$

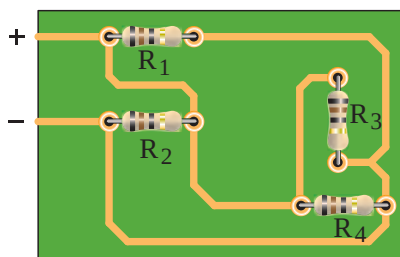
تقویت‌کننده استریو



شکل ۵-۱۸۳

۱۰ خروجی یک تقویت‌کننده استریو به چهار بلندگو طبق شکل ۵-۱۸۳ اتصال دارد. مقاومت معادل خروجی بلندگوها چند اهم است؟

- الف) ۸ (ب) ۲ (ج) ۶۴ (د) ۳۲



شکل ۵-۱۸۴

۱۱ با توجه به شکل ۵-۱۸۴ بررسی کنید نحوه اتصال مقاومت‌ها نسبت به یکدیگر چگونه است؟

- الف) سری (ب) موازی (ج) سری - موازی (د) مختلط

۱۲ اگر فاصله کنتور تا داخل یک ساختمان مسکونی ۲۵ متر، جریان مصرفی ۱۶ آمپر و ولتاژ کار ۲۲۰ ولت باشد، به ترتیب از راست به چپ مقدار افت ولتاژ مسیر چند ولت و سطح مقطع سیم مسی مورد نیاز برای مصارف روشنایی چند میلی‌متر مربع است؟ ($X_{cu} = 56$)

- الف) $3/3$ و $4/3$ (ب) $4/3$ و ۳ (ج) ۳ و ۵ (د) $3/3$ و $5/2$

۱۳ در باتری‌های اتومبیل از کدام نوع پیل استفاده شده است؟

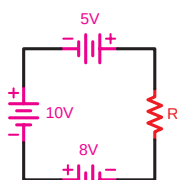
(الف) لیتیوم (ب) نیکل - کادمیوم (ج) سرب - اسید (د) قلیائی

۱۴ ولتاژ هر پیل نیکل - کادمیوم حدود چند ولت است؟

(الف) ۱/۵ (ب) ۱/۳ (ج) ۲ (د) ۱/۳۵

۱۵ ولتاژ دو سر مقاومت در مدار شکل ۵-۱۸۵ چند ولت است؟

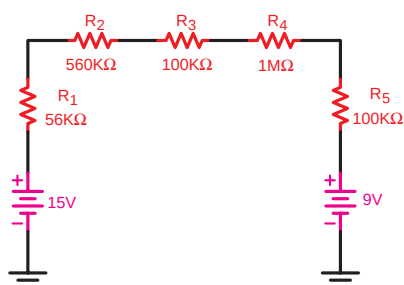
(الف) ۷ (ب) ۱۳ (ج) ۱۸ (د) ۲۳



شکل ۵-۱۸۵

۱۶ جریان در مدار شکل ۵-۱۸۶ چند میکروآمپر است؟

(الف) ۳/۳ (ب) ۰/۰۲ (ج) ۰/۰۴۵ (د) ۱۰



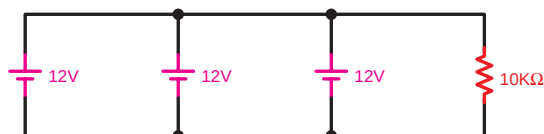
شکل ۵-۱۸۶

۱۷ در مدار شکل ۵-۱۸۷ مقدار جریانی که هر یک از

باتری‌ها در اختیار مقاومت $10\text{K}\Omega$ قرار می‌دهند چقدر است؟

(الف) $1/2\text{mA}$ (ب) $0/4\text{mA}$

(ج) $0/012\text{A}$ (د) $0/04\text{A}$



شکل ۵-۱۸۷

۱۸ در مدار شکل ۵-۱۸۸ اندازه مقاومت R_V ، ولتاژ دوسر مقاومت

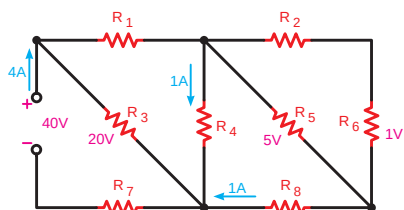
R_V و جریان عبوری از R_V چقدر است؟

(الف) 10Ω ، 4V ، 2A

(ب) 5Ω ، 4V ، 2A

(ج) 5Ω ، 2V ، 1A

(د) 10Ω ، 2V ، 1A



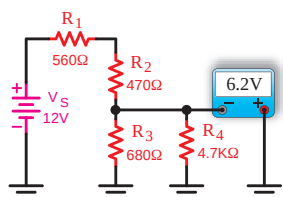
شکل ۵-۱۸۸

۱۹ در شکل ۵-۱۸۹ آیا مقدار نشان داده شده توسط دستگاه

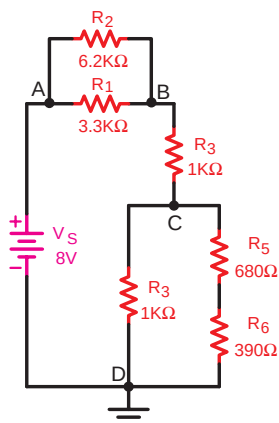
اندازه‌گیری صحیح است؟

(در صورتی که صحیح نیست، چه عددی را باید نشان دهد؟)

(الف) بلی (ب) ۴/۳ (ج) ۶/۸ (د) ۸/۲



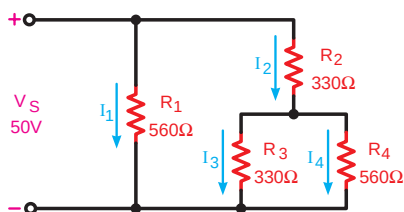
شکل ۵-۱۸۹



شکل ۵-۱۹۰

۲۰ در مدار شکل ۵-۱۹۰ ولتاژ بین دو نقطه C و D (V_{CD}) چند ولت است؟

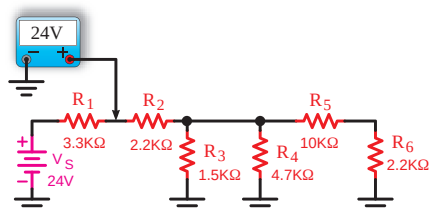
- الف) ۴/۶۹ (ب) ۲/۱۸ (ج) ۳/۶۷ (د) ۱/۱۳



شکل ۵-۱۹۱

۲۱ در شکل ۵-۱۹۱ جریان I_4 چند میلی آمپر است؟

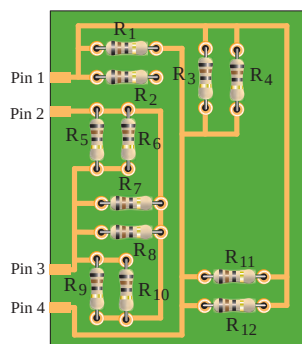
- الف) ۹۳ (ب) ۲۰ (ج) ۳۴/۵ (د) ۵۳۸



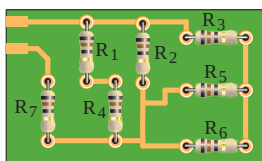
شکل ۵-۱۹۲

۲۲ عددی که ولت متر در شکل ۵-۱۹۲ نشان می دهد صحیح است یا خیر؟ چرا؟ توضیح دهید.

۲۳ با توجه به تصاویر شکل ۵-۱۹۳ وضعیت قرار گرفتن مقاومت ها (نوع مدار) را تشخیص دهید و شکل مدار را رسم کنید.



(ب)



(الف)

شکل ۵-۱۹۳

- ۲۴ اگر مقاومت داخلی مصرف‌کننده در مدار قطع شود، مقدار جریان در مدار الکتریکی خواهد شد.
- ۲۵ در مدار سری از تقسیم ولتاژ کل مدار بر جریان، مقدار به دست می‌آید.
- ۲۶ برای سنجش مقاومت در مدار الکتریکی از وسیله‌ای به نام استفاده می‌شود.
- ۲۷ در یک مدار سری جریان عبوری از آمپرتر اول (در ابتدای مدار) با جریان عبوری از آمپرتر آخر (در انتهای مدار) یکسان است.

☐ غلط ☐ صحیح

۲۸ در یک مدار موازی در صورت ثابت بودن ولتاژ جریان هر شاخه با مقاومت آن رابطه مستقیم دارد.

☐ غلط ☐ صحیح

۲۹ با توجه به روابط مدارهای سری، جمع جبری جریان‌های وارد شده و خارج شده در یک گره برابر صفر است.

☐ غلط ☐ صحیح

مطالب مربوط به سؤالاتی را که نتوانسته‌اید پاسخ دهید مجدداً مطالعه و آزمون را تکرار کنید.

توجه



فصل ۶

کار و توان الکتریکی

هدف کلی فصل:

توانایی محاسبه کار و توان مصرف‌کننده‌های الکتریکی و شناسایی توان مقاومت‌ها

هدف‌های رفتاری:

در پایان این فصل انتظار می‌رود که فراگیر بتواند:

- ۱ کار، توان و راندمان الکتریکی را با ذکر رابطه آنها تعریف کند.
- ۲ حرارت ایجاد شده توسط الکتریسیته در یک مقاومت را محاسبه کند.
- ۳ توان مصرفی مدار و هزینه برق مصرفی را محاسبه کند.
- ۴ استاندارد مقاومتی را از نظر مقدار مقاومت و مقدار توان بیان کند.

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۴	-	۴

پیش آزمون (۶)

- ۱ زمانی که به یک چرخ دستی نیرو وارد کنیم و آن را به حرکت درآوریم چه اتفاقی می افتد؟
 الف) انرژی هدر رفته است. (ب) کار انجام شده است.
 ج) حرکت منفی صورت گرفته است. (د) نیروی عمودی وارد کرده ایم.
- ۲ میزان گرمایی که توسط سماور برقی ایجاد می شود به چه عاملی بستگی دارد؟
 الف) میزان آب داخل سماور (ب) نوع سیم رابط (ج) مقاومت المنت سماور (د) دمای محیط
- ۳ کوچک و بزرگ بودن ابعاد مقاومت ها روی چه عاملی اثر می گذارد؟
 الف) مقدار مقاومت (ب) توان مقاومت (ج) ولتاژ کار مقاومت (د) خطای ساخت مقاومت
- ۴ نقش کنتور در یک مدار الکتریکی چیست؟
 الف) اندازه گیری توان (ب) محاسبه پول برق
 ج) اندازه گیری انرژی (د) تعیین نوع مصرف کننده
- ۵ در نیروگاه ها تمام انرژی ورودی تولید شده توسط آب به انرژی برق تبدیل چرا که در این فرایند بخشی از انرژی می شود.
 الف) می شود - تبدیل (ب) نمی شود - تلف (ج) نمی شود - تبدیل (د) می شود - تلف
- ۶ میزان انرژی مصرفی در یک منزل مسکونی را می توان از انرژی ها به دست آورد.
 الف) حاصل جمع (ب) حاصل تقسیم (ج) حاصل تفریق (د) حاصل ضرب
- ۷ در یک آسیاب آبی چه عاملی باعث گردش چرخ می شود؟
 الف) حرکت محور (ب) گردش موتور (ج) جریان آب (د) حرکت چرخ اصلی
- ۸ با کدام یک از روش های اتصال پیل ها به یکدیگر می توان میزان جریان دهی منبع را افزایش داد؟
 الف) سری (ب) متقابل (ج) موازی (د) ترکیبی متقابل
- ۹ در یک اتوی برقی چه عاملی باعث گرم شدن اتو می شود؟
 الف) عبور جریان از داخل المنت (ب) سطح تماس
 ج) حرکت روی پارچه (د) جنس پارچه
- ۱۰ برای محدود کردن جریان الکتریکی در یک مدار مناسب ترین راه کدام است؟
 الف) قرار دادن کلید (ب) افزایش سطح مقطع سیم
 ج) استفاده از ماده عایق (د) سری کردن مقاومت مناسب
- ۱۱ مقدار مقاومت های الکتریکی با جنس آنها رابطه
 الف) ندارد. (ب) مستقیم دارد. (ج) معکوس دارد. (د) پایدار دارد.
- ۱۲ کدام یک از روابط زیر شکل صحیح مقاومت معادل بین دو مقاومت موازی است؟
 الف) $R_T = R_1 + R_2$ (ب) $R_T = R_1 \cdot R_2$
 ج) $R_T = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$ (د) $R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

۱۳ در یک شبکه ۲۲۰ ولتی حداکثر افت ولتاژ مجاز برای مصارف روشنایی چند ولت است؟

الف) ۶/۶ (ب) ۳/۳ (ج) ۱/۵ (د) ۳

۱۴ آیا می‌توان در یک کارگاه صنعتی میزان انرژی الکتریکی مصرفی را اندازه‌گیری کرد؟

الف) بستگی به قدرت دارد. (ب) خیر

(ج) بله (د) در برخی از موارد امکان دارد.

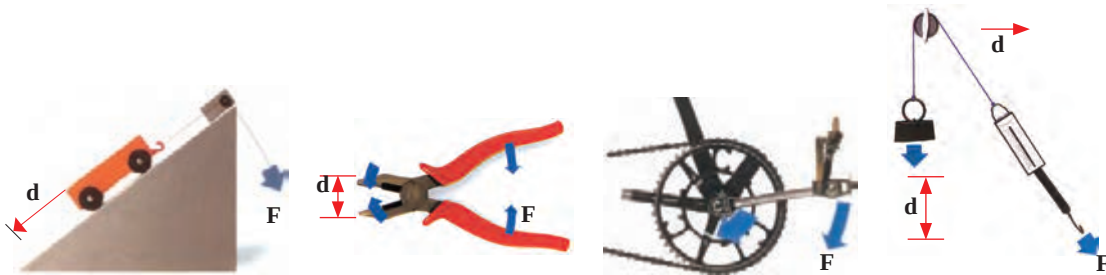
۱۵ میزان مصرف انرژی الکتریکی در منازل مسکونی با کدام یک از موارد زیر رابطه مستقیم دارد؟

الف) قطر سیم مصرفی (ب) تعداد وسایل

(ج) فاصله تولیدکننده تا مصرف‌کننده (د) سطح مقطع سیم مصرفی

۱-۶ کار الکتریکی

هرگاه جسمی حرکت کند یا تغییر حالت دهد می‌گوییم کار انجام شده است. نمونه‌هایی از انجام کار را در شکل ۱-۶ مشاهده می‌کنید.



شکل ۱-۶

برای محاسبه کار مکانیکی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$W = F \cdot d \quad (1)$$

F- نیروی وارد شده بر حسب نیوتن (N)

d- میزان جابه‌جایی جسم بر حسب متر (m)

W- کار انجام شده بر حسب نیوتن متر یا ژول (J)



شکل ۲-۶

در الکتریسیته تعریف کار بر حسب ولتاژ الکتریکی به صورت زیر است: اگر اختلاف پتانسیل V ولت در دو سر یک هادی قرار گیرد به طوری که q کولن بار از آن عبور کند، کاری معادل W ژول انجام می‌شد (شکل ۲-۶). کار الکتریکی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$V = \frac{W}{q} \Rightarrow W = V \cdot q \quad (2)$$

V- اختلاف پتانسیل بر حسب ولت

q- مقدار بار الکتریکی جابه‌جا شده بر حسب کولن

W- کار انجام شده بر حسب وات ثانیه یا ژول



شکل ۳-۶- مصرف کننده های الکتریکی

در رابطه W اگر به جای مقادیر q و V مقدار یک (واحد) قرار داده شود، تعریف واحد یعنی ۱ ژول به دست می آید. رابطه (۱) یک رابطه کلی برای کار الکتریکی است که کمتر در مدارهای الکتریکی کاربرد دارد. زیرا در مدارهای الکتریکی معمولاً با کمیت های V و I سروکار داریم. به همین دلیل برای به دست آوردن رابطه کار بر حسب V و I یک بار به جای q و بار دیگر به جای V معادله آنها را قرار می دهیم:

$$q = I.t \Rightarrow W = V.I.t \quad (۳)$$

$$V = R.I \Rightarrow W = (R.I).(I.t)$$

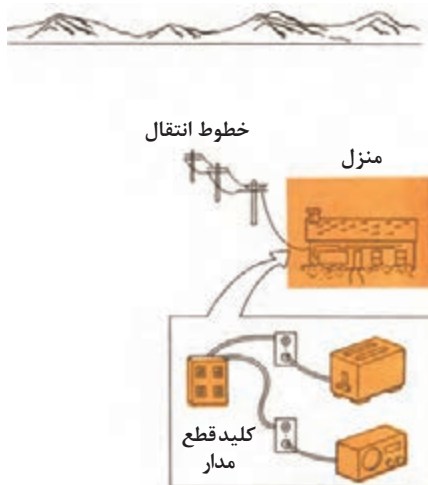
$$W = R.I^2.t \quad (۴)$$

در رابطه (۳) واحدها به صورت زیر است:

$$[J] = [V][A][S]$$

ثانیه $\times$ آمپر $\times$ ولت = ژول

۲-۶- حرارت ایجاد شده توسط الکتریسیته



شکل ۴-۶- خطوط انتقال انرژی

هنگام جاری شدن جریان الکتریکی در یک جسم حداکثر اصطکاک ناشی از حرکت الکترون های آزاد با اتم های جسمی که در مسیر حرکت الکترون ها قرار دارند، حرارت تولید می شود. در انتقال نیروی برق این انرژی گرمایی در طول سیم هدر می رود که آن را «تلفات خط» یا «تلفات گرمایی» می نامند. (شکل ۴-۶) جمیز ژول اولین بار با تحقیقاتی که انجام داد به اثر گرمایی جریان برق پی برد.

براساس قانون ژول، اندازه گرمایی که در یک سیم بر اثر عبور جریان برق تولید می شود با کمیت های زیر متناسب است. (شکل ۵-۶)

الف) مجذور جریان

ب) مقاومت سیم

ج) زمان عبور جریان

با توجه به کمیت های بالا می توانیم رابطه زیر را بنویسیم:

$$Q = K.R.I^2.t \quad \text{یا} \quad Q = K.W$$



شکل ۵-۶

I - جریان عبوری از سیم بر حسب آمپر

t - زمان عبور جریان بر حسب ثانیه

Q - مقدار گرمای تولیدی بر حسب کالری

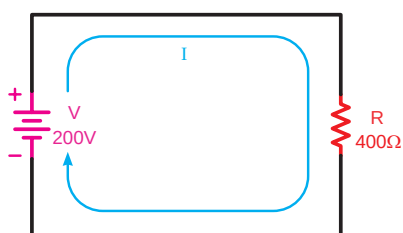
R - مقاومت سیم بر حسب اهم

K - ضریب ثابت برابر $0.24 = \frac{1}{4.18}$ بر حسب کالری بر ژول



شکل ۶-۶- سماور برقی

تعاریف یک ژول و یک کالری بر حسب کمیت‌های الکتریکی به صورت زیر است:
 یک ژول: هرگاه نیروی محرکه الکتریکی برابر یک ولت باعث جابه‌جایی یک کولن بار در مداری شود گوییم یک ژول کار الکتریکی انجام شده است.
 یک کالری: اگر جریانی برابر یک آمپر در مدت زمان یک ثانیه از سیمی به مقاومت یک اهم عبور کند می‌گوییم حرارتی برابر یک کالری در اطراف سیم به وجود می‌آید.



شکل ۶-۷

مثال: در شکل ۶-۷ اگر R نشان‌دهنده مقاومت المنت یک سماور برقی باشد، این مقاومت در مدت زمان 10 دقیقه چند کالری گرما تولید می‌کند؟
 حل:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{200}{400} = 0.5 [A]$$

$$t = 10 \times 60 = 600 [S]$$

$$Q = K.R.I^2.t = 0.24 \times 400 \times (0.5)^2 \times 600 = 14400 [Cal]$$

۳-۶- توان الکتریکی

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

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

W - مقدار کار انجام شده بر حسب ژول (J)

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

P - توان (قدرت) بر حسب ژول بر ثانیه $\left(\frac{J}{s}\right)$ یا وات (W)

واحد توان به احترام جیمز وات^۲ بر حسب وات (W) نام‌گذاری شده است. در صنعت از واحدهای کوچک‌تر و بزرگ‌تر وات نیز استفاده می‌شود که عبارت‌اند از:

(وات) $\mu W = 10^{-6} W$ (میکرووات)

(وات) $mW = 10^{-3} W$ (میلی‌وات)

(وات) $kW = 10^3 W$ (کیلووات)

(وات) $MW = 10^6 W$ (مگاوات)

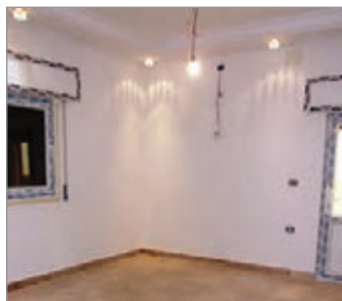
در انتخاب مصرف‌کننده‌های الکتریکی برای انجام کاری مشخص می‌بایست به توان نوشته شده روی بدنه آنها توجه خاص شود. (شکل ۸-۶)

۱- Power

۲- James watt



(ب)



(الف)

شکل ۸-۶- توان مصرف شده برای انجام کار (روشنایی اتاق - حرکت دورانی موتور کولر)

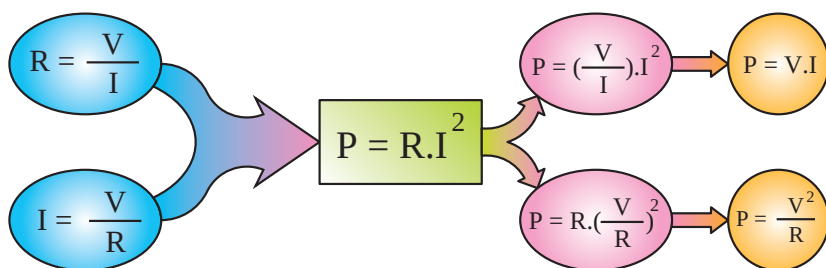
به عنوان مثال هرگاه هدف تأمین روشنایی یک اتاق باشد باید با توجه به ابعاد و رنگ اتاق، لامپی را انتخاب کرد که توان نوشته شده روی حباب آن مناسب باشد و یا اگر هدف انتخاب کولر برای ایجاد هوای خنک در یک فضای بسته باشد، باید ابعاد و توان الکتریکی موتوری که در کولر به کار رفته است مورد توجه قرار گیرد. با توجه به مقدار توان و ولتاژ کار هر وسیله الکتریکی می توان سایر مشخصات آن مانند مقاومت (R) و جریان (I) را نیز حساب کرد.

بنابراین توجه به برچسب انرژی وسایل و لامپ های کم مصرف موجب صرفه جویی در انرژی مصرفی خواهد شد.

توجه



تصویر زیر چگونگی به دست آوردن دو رابطه دیگر توان الکتریکی را نشان می دهد.



توان الکتریکی را با واحد دیگری به نام «اسب بخار^۱ - hp» نیز بیان می کنند. این واحد در سیستم های انگلیسی و آمریکایی به صورت متقابل تعریف شده است.

$1\text{ hp} = 736\text{ W}$ (یک اسب بخار در سیستم انگلیسی)
 $1\text{ hp} = 746\text{ W}$ (یک اسب بخار در سیستم آمریکایی)

۱- hp-Horse Power

اگر توان هر فرد را تقریباً برابر 90 W در نظر بگیریم یک موتور الکتریکی یک اسب بخار قدرتی معادل هشت نفر را دارد. (شکل ۶-۹)



شکل ۶-۹- مقایسه قدرت موتور یک اسب بخار با توان انسان.

مثال: مقدار جریان و انرژی مصرفی یک موتور الکتریکی شکل ۶-۱۰ با قدرت 1 hp (انگلیسی)، که در شبکه 220 V ولتی به مدت 20 دقیقه کار می‌کند، حساب کنید.

حل:



شکل ۶-۱۰- موتور الکتریکی

$$P = 1\text{ hp} = 1 \times 736 = 736\text{ [W]}$$

$$P = V.I \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{736}{220} = 3.34\text{ [A]}$$

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

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P.t = 736 \times 1200 = 883200\text{ [J]}$$

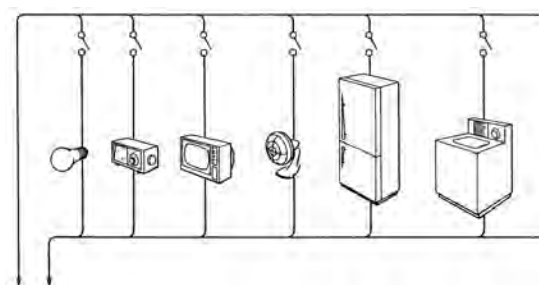


شکل ۶-۱۱

مقدار توان مصرفی در مدارهای الکتریکی را با وسیله‌ای به نام «وات‌متر» اندازه‌گیری می‌کنند. علامت اختصاری این وسیله به صورت W است و تصویر واقعی یک نمونه وات‌متر را در شکل ۶-۱۱ مشاهده می‌کنید. توان مصرفی کل یک مدار الکتریکی که از چند جزء تشکیل شده است از حاصل جمع توان‌های تک‌تک عناصر مدار به دست می‌آید.

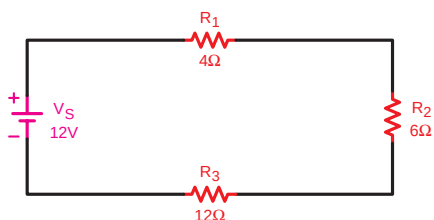
$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

برای محاسبه توان هریک از عناصر لازم است دو کمیت از سه کمیت V و I و R معلوم باشد تا بتوان یکی از روابط P را به کار برد. مثلاً توان مصرفی کل شکل ۶-۱۲ برابر با مجموع توان‌های مصرفی لامپ، رادیو، تلویزیون، پنکه و ماشین لباس‌شویی است.



به طرف مولد الکتریسیته

شکل ۶-۱۲



شکل ۶-۱۳

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \Rightarrow R_T = 4 + 6 + 12 = 22\Omega$$

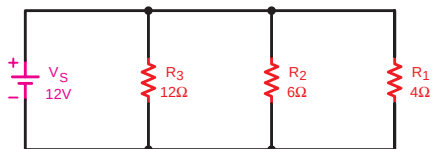
$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{12}{22} = 0.54A$$

$$P_1 = R_1 I^2 \Rightarrow P_1 = 4 \times (0.54)^2 = 1.17W$$

$$P_2 = R_2 I^2 \Rightarrow P_2 = 6 \times (0.54)^2 = 1.74W$$

$$P_3 = R_3 I^2 \Rightarrow P_3 = 12 \times (0.54)^2 = 3.49W$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \Rightarrow P_T = 1.16 + 1.74 + 3.49 = 6.39W$$



شکل ۶-۱۴

$$P_1 = \frac{V_r^2}{R_1} = \frac{(12)^2}{4} = 36W$$

$$P_2 = \frac{V_r^2}{R_2} = \frac{(12)^2}{6} = 24W$$

$$P_3 = \frac{V_r^2}{R_3} = \frac{(12)^2}{12} = 12W$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \Rightarrow P_T = 36 + 24 + 12 = 72W$$

در صورتی که مقادیر دو کمیت از کمیت‌های V و I و R مدار معلوم باشد توان کل مصرفی در یک مدار را از روابط زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$P_T = R_T \cdot I_T^2$$

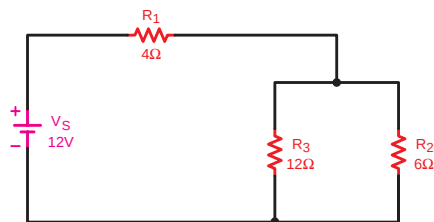
$$P_T = V_T \cdot I_T$$

$$P_T = \frac{V_T^2}{R_T}$$

مثال: در مدار شکل ۶-۱۳ توان مصرفی مقاومت‌های R_1 و R_2 و R_3 و توان کل مدار را به دست آورید. حل: ابتدا جریان کل مدار را به دست می‌آوریم و سپس با کمک آن توان‌های هریک از مقاومت‌ها را به صورت مقابل محاسبه می‌کنیم.

مثال: توان مصرفی هر یک از مقاومت‌ها و توان کل مدار شکل ۶-۱۴ را محاسبه کنید.

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



شکل ۶-۱۵

مثال: در مدار شکل ۶-۱۵ مطلوب است:

الف) توان هر یک از مقاومت‌ها

ب) توان کل مدار

حل:

$$R_T = \frac{R_r \times R_r}{R_r + R_r} + R_i \Rightarrow R_T = \frac{6 \times 12}{6 + 12} + 4 = 8\Omega$$

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{12}{8} = 1.5A$$

$$I_r = I_T \frac{R_r}{R_r + R_r} = 1.5A \times \frac{12}{6 + 12} = 1A \Rightarrow I_r = I_T \frac{R_r}{R_r + R_r} = 1.5A \times \frac{12}{6 + 12} = 0.5A$$

$$P_i = R_i \cdot I_i^2 = 4 \times (1.5)^2 = 9W \quad P_r = R_r \cdot I_r^2 = 6 \times (1)^2 = 6W \quad P_r = R_r \cdot I_r^2 = 12 \times (0.5)^2 = 3W$$

$$P_T = P_i + P_r + P_r = 9 + 6 + 3 = 18W$$

و یا توان کل را به صورت زیر می‌توان به دست آورد:

$$P_T = R_T \cdot I_T^2 = 8 \times (1.5)^2 = 18W$$

سؤال: از مقایسه مقادیر به دست آمده برای توان کل و توان هر یک از مقاومت‌ها در اشکال ۶-۱۳، ۶-۱۴ و ۶-۱۵ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

حل: نتیجه می‌شود که در محاسبه توان هر یک از مقاومت‌ها و یا توان کل مدار علاوه بر مقدار مقاومت، جریان عبوری و افت ولتاژ دو سر آنها شکل مدار و محل قرار گرفتن مقاومت مهم است. به همین دلیل است حتی با وجود مساوی بودن مقدار مقاومت‌ها نتایج یکسانی برای توان‌ها به دست نیامده است.

مثال: ابتدا مقدار جریان را در هر یک از مدارهای شکل ۶-۱۶ به دست آورید. سپس با توجه به توان مجاز هر مقاومت جریان عبوری از آن را محاسبه کنید. از مقایسه مقادیر به دست آمده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۶-۱۶- بررسی جریان مصرف‌کننده براساس توان مجاز

حل الف: به طور کلی براساس قانون اهم جریان این مدار برابر است با:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{5}{10} = 0.5A$$

در صورتی که با توجه به توان مجاز مقاومت ($\frac{1}{4}$ وات) ماکزیمم جریان عبوری از مقاومت می تواند برابر با مقدار زیر باشد.

$$P_{\max} = R.I_{\max}^2 \Rightarrow I_{\max} = \sqrt{\frac{P_{\max}}{R}} = \sqrt{\frac{0.25}{10}} = 0.5A$$

نتیجه



نتیجه شکل الف: در صورتی که از این مقاومت ($\frac{1}{4}$ وات) در مدار استفاده کنیم با عبور جریان 0.5 آمپری مقاومت می سوزد زیرا توان تلف شده در آن بیشتر از توان قابل تحمل مقاومت است.

$$P = R.I^2 \Rightarrow P = 10 \times (0.5)^2 = 2.5W$$

حل ب: مقدار جریان مدار در این حالت نیز برابر 0.5 آمپر است در صورتی که مقدار جریان عبوری از مقاومت برابر:

$$P_{\max} = R.I_{\max}^2 \Rightarrow I_{\max} = \sqrt{\frac{P_{\max}}{R}} = \sqrt{\frac{0.5}{10}} = 0.22A$$

$$P = R.I^2 = 2.5W \quad 2.5W > 0.5W$$

نتیجه



نتیجه شکل ب: از مقایسه جریان مدار با ماکزیمم جریان قابل تحمل مقاومت نتیجه می شود که با قرار دادن مقاومت $10\Omega - \frac{1}{4}W$ نیز مقاومت می سوزد چرا که توان تلف شده مقاومت در این شرایط نیز بیشتر از توان قابل تحمل مقاومت است.

حل ج: در این شرایط جریان مدار نیز 0.5 آمپر است ولی ماکزیمم جریان قابل تحمل مقاومت برابر است با:

$$P_{\max} = R.I_{\max}^2 \Rightarrow I_{\max} = \sqrt{\frac{P_{\max}}{R}} = \sqrt{\frac{1}{10}} = 0.316A$$

نتیجه



نتیجه شکل ج: در این شرایط نیز چون مقدار جریان عبوری از مدار بیشتر از جریان قابل تحمل مقاومت است نتیجه می شود با قرار دادن مقاومت $10\Omega - 1W$ نیز مقاومت می سوزد.

نتیجه



نتیجه گیری کلی: از مشاهده و مقایسه جریان های به دست آمده می توان نتیجه گرفت که در انتخاب اجزای مختلف یک مدار مانند: فیوز، کلید، سیم های رابط، مصرف کننده و... می بایست علاوه بر جریان به توان آنها نیز توجه داشت زیرا هرچه توان مصرف کننده بیشتر باشد، مقدار جریان دریافتی از شبکه بیشتر بوده و میزان تحمل آن نیز زیاده تر است.

۱-۳-۶- استاندارد توان در مقاومت‌های اهمی

از آنجایی که هر مقاومت الکتریکی قدرت تحمل یک جریان الکتریکی معین را دارد طبق رابطه: $P = R.I^2$ نتیجه می‌گیریم هر مقاومت الکتریکی دارای یک قدرت مجاز ثابت است.

کارخانجات سازنده، مقاومت‌های الکتریکی را در توان‌های استاندارد تولید می‌کنند. معمولاً مقاومت‌های کربنی در توان‌های $\frac{1}{4}W, \frac{1}{2}W, 1W, 2W$ مقاومت‌های سیمی در توان‌های بیشتر از $2W$ ساخته می‌شوند.

با افزایش توان مجاز (توان قابل تحمل) مقاومت‌ها اندازه فیزیکی آنها نیز بزرگ‌تر می‌شود (شکل ۱۷-۶) تصاویری از انواع مقاومت‌های اهمی را در توان‌های مختلف با توجه به ابعاد آنها نشان می‌دهد.

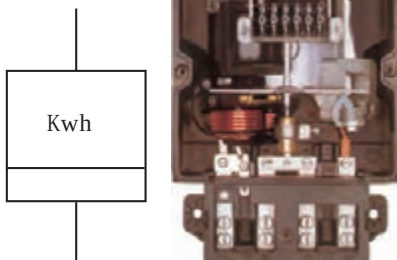


شکل ۱۷-۶- استانداردهای توان در مقاومت‌ها

۲-۳-۶- محاسبه هزینه برق مصرفی

کار الکتریکی به وسیله دستگاهی به نام «کنتور» اندازه‌گیری می‌شود. تصویری از این وسیله را به همراه علامت اختصاری آن در شکل ۱۸-۶ مشاهده می‌کنید. کار الکتریکی را از رابطه زیر می‌توان محاسبه کرد:

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



شکل ۱۸-۶

در رابطه کار الکتریکی اگر P بر حسب وات و t بر حسب ثانیه باشد W بر حسب وات ثانیه یا ژول به دست می‌آید. چون وات ثانیه یا ژول واحد کوچکی است، لذا برای محاسبه هزینه برق مصرفی منازل و کارخانجات از واحدهای بزرگ‌تر استفاده می‌شود. در مقیاس تجارتي توان را بر حسب کیلووات (kW) و زمان را بر حسب ساعت (h) در نظر می‌گیرند. به همین دلیل مبنای محاسبه قیمت برق مصرفی بر حسب کیلووات ساعت (kWh) سنجیده می‌شود.

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

$$C_k = C.W$$

C - قیمت یک کیلووات ساعت برق

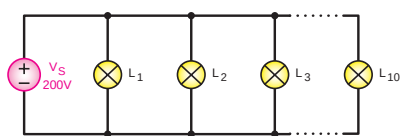
W - انرژی (کار الکتریکی) مصرفی بر حسب کیلووات ساعت

C_K - قیمت کل برق مصرفی



شکل ۶-۱۹

همان گونه که از روابط (W) و (C_K) مشخص است هر قدر توان مصرف کننده و یا زمان استفاده از آن بیشتر باشد، کار الکتریکی و هزینه برق مصرفی بیشتر خواهد شد. (شکل ۶-۱۹)



شکل ۶-۲۰

مثال: اگر ده لامپ ۱۰۰ واتی طبق شکل ۶-۲۰ به مدت ۲ ساعت روشن باشد هزینه برق مصرفی آنها چقدر است؟ در صورتی که قیمت هر کیلووات ساعت ۵۰ ریال در نظر گرفته شود.

حل:

$$P = 10 \times 100W = 1000W = 1kW$$

$$t = 2h$$

$$W = p.t = 1 \times 2 = 2kWh$$

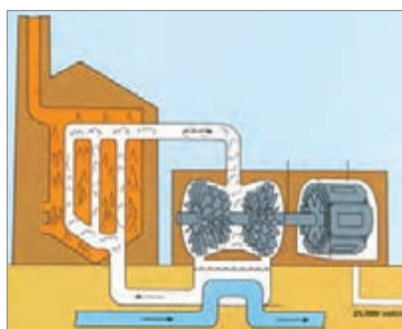
$$C_K = C.W = 50 \times 2 = 100$$

توان مصرفی کل

زمان روشن بودن لامپها

انرژی مصرفی کل

هزینه برق مصرفی



شکل ۶-۲۱- چگونه تبدیل انرژی گرمایی به انرژی الکتریکی

۶-۴- ضریب بهره (راندمان الکتریکی)

طبق اصل «بقای انرژی» انرژی هیچ گاه از بین نمی رود و فقط از نوعی به نوع دیگر تبدیل می شود. شکل ۶-۲۱ در هنگام تبدیل انرژی ها به یکدیگر، مقداری از انرژی به مصرف مفید نمی رسد و به نوعی دیگر از انرژی تبدیل می شود که مورد نظر ما نیست. این انرژی را «انرژی تلف شده» می نامند.



شکل ۶-۲۲- موتور الکتریکی

مثلاً در یک موتور الکتریکی که انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی تبدیل می شود بخشی از انرژی الکتریکی موتور به صورت های زیر تلف می شود:

(الف) اصطکاک قسمت های مکانیکی گردنده

(ب) حرارت در سیم های حامل جریان

(ج) حرارت در سیم پیچی و هسته

در عمل تمام انرژی الکتریکی دریافتی از شبکه به انرژی مکانیکی تبدیل نخواهد شد. با توجه به توضیحات بالا می‌توان نتیجه گرفت که انرژی یا توان داده شده به هر وسیله‌ای از انرژی یا توان دریافت شده از آن بیشتر است. از طرف دیگر مقدار توان تلف شده در همه دستگاه‌ها یکسان نیست، لذا لازم است تا با عاملی میزان کارآیی هر وسیله را بیان کنیم که معمولاً از اصطلاح «کارآیی» یا «راندمان» استفاده می‌شود. شکل ۲۳-۶ وضعیت مصرف‌کننده‌ها را از نظر ورودی و خروجی نشان می‌دهد.



شکل ۲۳-۶- بلوک دیاگرام توان‌ها



شکل ۲۴-۶- مقدار کار انجام شده در شکل ب بیشتر است. به همین خاطر راندمان کاری شکل ب بیشتر از شکل الف است.

به‌طور کلی نسبت توان گرفته شده (خروجی) به توان داده شده (ورودی) را بازده یا «راندمان» می‌گویند. ضریب بهره که معرف مقدار عددی راندمان است همیشه برحسب درصد بیان می‌شود. هر قدر عدد راندمان بیشتر باشد نشان‌دهنده آن است که کیفیت کاری دستگاه بهتر است. اگر توان ورودی را با (P_1) و توان خروجی را با (P_2) و ضریب بهره را با $(\eta - \text{اِتا})$ نشان دهیم رابطه آن به‌صورت زیر خواهد شد:

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

اگر به جای P_1 و P_2 معادل آنها را قرار دهیم رابطه دیگری برای راندمان به دست می‌آید که بر حسب انرژی‌های ورودی و خروجی است.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{W_2}{t}}{\frac{W_1}{t}} \Rightarrow \eta = \frac{W_2}{W_1} \times 100$$

مثال: مولدی با قدرت مکانیکی ورودی ۵KW (شکل ۲۵-۶) حداکثر می‌تواند انرژی الکتریکی ۴۴ لامپ ۲۲۰ ولتی ۵/۰ آمپری را تأمین کند. حساب کنید راندمان آن چند درصد است؟

$$P = V.I = 220 \times 0.5 = 110W \quad \text{توان یک لامپ}$$

$$P_2 = n \times P = 44 \times 110 = 4840W \quad \text{توان همه لامپ}$$

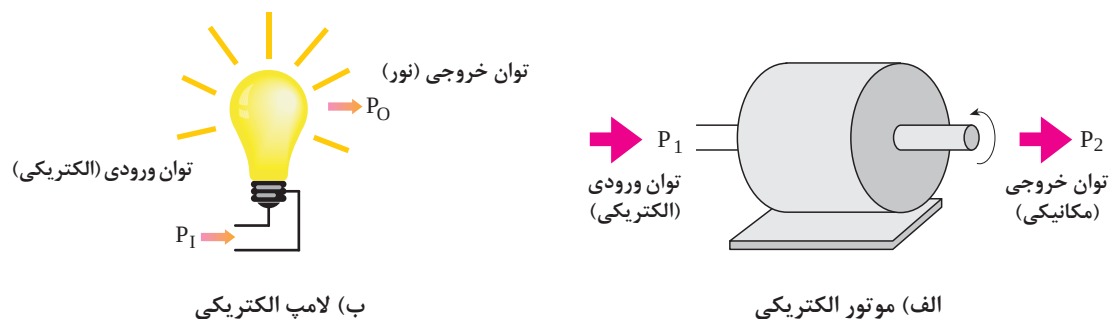
$$P_1 = 5kW = 5 \times 1000 = 5000W$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 = \frac{4840}{5000} \times 100 = 96.8\%$$



شکل ۲۵-۶- مولد جریان متناوب

در محاسبه میزان راندمان یک وسیله الکتریکی باید به نوع توان یا انرژی ورودی و خروجی آن توجه کرد و در محاسبه مقدار راندمان یا کارایی آن را در نظر داشت. مثلاً همان طوری که در شکل ۶-۲۶ مشاهده می‌شود، در یک موتور الکتریکی توان ورودی آن (P_1) از نوع انرژی الکتریکی است در صورتی که توان خروجی آن (P_2) از نوع انرژی مکانیکی می‌باشد. همچنین در یک لامپ توان ورودی (P_1) انرژی الکتریکی است و توان خروجی (P_2) از نوع انرژی نورانی می‌باشد.



شکل ۶-۲۶- مصرف‌کننده‌های الکتریکی با توان‌های خروجی متفاوت

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

توجه



آزمون پایانی (۶)

۱ عامل اصلی جهت کار انجام شده در الکتریسیته چیست؟

- (الف) حرکت جسم
(ب) اعمال پتانسیلی برابر V ولت
(ج) عبور q کولن بار
(د) داشتن حرکت دورانی

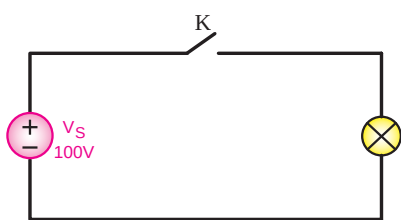
۲ کدام یک از روابط زیر صحیح است؟

- (الف) $W = \frac{V.I}{t}$ (ب) $W = \frac{F}{d}$ (ج) $W = \frac{V}{q}$ (د) $W = R.I^2.t$

۳ علت به وجود آمدن حرارت در هنگام جاری شدن جریان در سیم چیست؟

- (الف) سرعت زیاد الکترون‌های آزاد
(ب) داشتن حرکت ضربانی
(ج) اصطکاک ناشی از حرکت الکترون‌های آزاد
(د) کوچک بودن سطح مقطع سیم

۴ اگر کلید K مدار شکل ۶-۲۷ به مدت ۵ دقیقه بسته باشد در

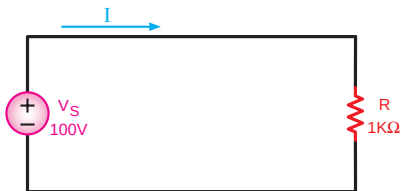


شکل ۶-۲۷

اطراف لامپ به ترتیب چند کالری
گرم و چند ژول کار انجام شده است؟

- (الف) ۱۲۵۰۰ و ۲۵۰۰۰
(ب) ۱۲۵۰۰ و ۲۵۰۰۰
(ج) ۴۳۲۰ و ۱۸۰۰۰
(د) ۴۳۲۰ و ۱۸۰۰۰

۵ مقدار جریان I و توان مقاومت R مدار شکل ۶-۲۸ به ترتیب از



شکل ۶-۲۸

راست به چپ چقدر است؟

- (الف) ۱۰۰ و ۰/۱
(ب) ۱۰ و ۰/۱
(ج) ۱۰ و ۰/۱
(د) ۱۰۰ و ۰/۱

۶ جراثیمی با نیروی ۴۰۰۰ نیوتن طی ۲ دقیقه باری را ۲/۵ متر جابه‌جا کرده است. توان این ماشین چند

وات است؟

- (الف) ۱۲۰۰ (ب) ۸۳/۳ (ج) ۵۶/۱ (د) ۴۲/۸

۷ توان ۰/۰۴۵ وات معادل کدام یک از موارد زیر است؟

- (الف) ۴۵kw (ب) ۴۵mw (ج) ۴/۵W (د) ۰/۰۰۰۴۵ mw

۸ ضریب بهره منبع تغذیه‌ای با قدرت دریافتی ۰/۶W و توان خروجی معادل ۰/۵W چند درصد است؟

- (الف) ۵۰/۵ (ب) ۶۰/۲ (ج) ۸۳/۳ (د) ۸۶/۶

۹ در صورتی که قیمت هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی ۵۰ ریال باشد، هزینه برق مصرفی یک المنت

بخاری برقی با مشخصات ۵A و ۲۰۰V در مدت ۵ ساعت کار چند ریال است؟

- (الف) ۳۵۰ (ب) ۲۵۰ (ج) ۴۵۰ (د) ۵۰۰

پلاک موتور
 $V = 220 \text{ [V]}$
 $I = 5 \text{ [A]}$
 $\eta = 90\%$

شکل ۶-۲۹

۱۰ توان خروجی یک موتور DC با مشخصات پلاک نشان داده شده در شکل ۶-۲۹ چند وات است؟

الف) ۹۹۰

ج) ۱۲۲۲/۲

ب) ۱۱۵۰

د) ۴۴

۱۱ انرژی گرمایی که در اثر عبور جریان الکتریکی در سیم هدر می‌رود، نام دارد.

۱۲ برای اندازه‌گیری توان مصرفی در مدارهای الکتریکی از وسیله‌ای به نام استفاده می‌شود.

۱۳ هرچه توان مصرف‌کننده بیشتر باشد مقدار جریان دریافتی آن از شبکه است.

☐ غلط ☐ صحیح

۱۴ مبنای محاسبه برق مصرفی بر حسب کیلووات ساعت است.

☐ غلط ☐ صحیح

۱۵ برای بیان میزان کارایی هر وسیله از اصطلاح توان خروجی استفاده می‌شود.

توجه



مطالب مربوط به سؤالاتی را که نتوانسته‌اید پاسخ دهید مجدداً مطالعه و آزمون را تکرار کنید.

خودآزمایی عملی



شکل ۶-۳۰

۱ مشخصات چند نمونه اتو را یادداشت کنید (نمونه‌ای از این وسیله در شکل ۶-۳۰ نشان داده شده است) و مقدار گرمایی را که در مدت یک دقیقه ایجاد می‌کند، بر حسب کیلوکالری به دست آورید.

۲ مشخصات کلیه وسایل الکتریکی موجود در منزل را به همراه مدت زمان استفاده از آنها یادداشت کنید (نمونه‌هایی از این وسایل در شکل ۶-۳۱ آمده است) سپس هزینه برق مصرفی را در طی دو ماه با فرض این که قیمت هر کیلووات ساعت ۴۰ ریال باشد، به دست آورید.



شکل ۶-۳۱

فصل ۷

مغناطیس و الکترومغناطیس

هدف کلی فصل:

آشنایی با خواص مغناطیس و مدارهای الکترومغناطیس

هدف های رفتاری:

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۴	-	۴

در پایان این فصل انتظار می رود که فراگیر بتواند:

- ۱ مغناطیس، میدان مغناطیسی، فلوی مغناطیسی، چگالی میدان مغناطیسی و خاصیت الکترومغناطیسی را تعریف کند.
- ۲ نحوه تشخیص قطب های N و S یک آهنربا را شرح دهد.
- ۳ علت به وجود آمدن خاصیت مغناطیسی در مدار را توضیح دهد.
- ۴ قانون دست راست برای یک سیم حامل جریان و یک سیم پیچ را توضیح دهد.
- ۵ اثر میدان های مغناطیسی و میدان های مغناطیسی دو سیم حامل جریان بر یکدیگر را توضیح دهد.
- ۶ نیروی محرکه مغناطیسی، شدت میدان مغناطیسی، ضریب نفوذ مغناطیسی، مقاومت مغناطیسی را با ذکر رابطه آنها توضیح دهد.
- ۷ مسائل مربوط به محاسبه کمیت های مدار مغناطیسی را حل کند.

پیش آزمون (۷)

- ۱ وقتی یک آهن، آهنربا می شود چه اتفاقی می افتد؟
 الف) الکترون های آزاد از اطراف قطب جنوب و شمال دور می شوند.
 ب) اتم های آهن دارای بار الکتریکی می شوند و الکترون های آزاد از اطراف قطب شمال و جنوب دور می شوند.
 ج) ذرات مغناطیسی موجود در آهن تنظیم می شوند.
 د) ساختمان مولکولی آن را بر هم می زند.
- ۲ آهنربا کدام گروه از موارد زیر را جذب می کند؟
 الف) آهن، آلومینیوم، برنج ب) فولاد، کبالت، مس ج) فولاد، مس، نیکل د) نیکل، کبالت، آهن
- ۳ با کدام وسیله می توان به وجود میدان مغناطیسی پی برد؟
 الف) با کمک حس لامسه ب) براده های آهن ج) از طریق مشاهده د) خاک اره
- ۴ کدام یک از موارد زیر برای از بین بردن خاصیت مغناطیسی جسم مناسب نیست؟
 الف) ضربه زدن ب) حرارت دادن ج) اتصال به جریان متناوب د) باردار کردن
- ۵ نیرویی را که در یک جسم (هسته آهنی) براساس پدیده الکترومغناطیس به وجود می آید می گویند.
 الف) EMF ب) E ج) MMF د) F
- ۶ اساس کار قطب نما چیست؟
 الف) جذب و دفع میدان های الکترواستاتیکی ب) جذب و دفع میدان های مغناطیسی
 ج) جذب و دفع نیروی جاذبه زمین د) جذب و دفع بار یون ها بر هم
- ۷ در جرثقیل های سقفی کارخانجات ذوب آهن برای انتقال ضایعات آهنی از نقطه ای به نقطه دیگر از کدام ویژگی بهره گرفته اند؟
 الف) باردار کردن ذرات آهن ب) فشردن حجم آهن آلات
 ج) استفاده از آهنربای مغناطیسی د) ایجاد میدان های الکترواستاتیکی اطراف آهن
- ۸ وقتی عقربه قطب نما در راستای شمال و جنوب جغرافیایی قرار می گیرد کدام قطب مغناطیسی عقربه مقابل قطب شمال است؟
 الف) N ب) N-S ج) S د) هیچ کدام
- ۹ آیا آهنربا کردن یک میله آهنی با طول آن رابطه ای دارد؟
 الف) بله ب) خیر
 ج) در برخی موارد د) با توجه به سطح مقطع پاسخ مثبت است.
- ۱۰ اگر یک آهنربای تخت را از وسط نصف کنیم چه اتفاقی می افتد؟
 الف) فقط بارهای منفی را جذب می کند. ب) فقط بارهای مثبت را جذب می کند.
 ج) خاصیت آهنربایی آن بسیار کم می شود. د) تبدیل به دو آهنربای مستقل می شود.
- ۱۱ راندمان یک موتور به قدرت ۱ hp (انگلیسی) که با ولتاژ ۲۲۰ ولت کار می کند و جریان ۳/۵ آمپر از شبکه دریافت می کند چقدر است؟
 الف) ۶۰٪ ب) ۷۰٪ ج) ۸۴٪ د) ۹۵٪

۱۲ کدام یک از روابط زیر شکل صحیح رابطه جریان مجاز مقاومت را نشان می دهد؟

(د) $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$

(ج) $I = \frac{R}{P}$

(ب) $I = \sqrt{\frac{R}{P}}$

(الف) $I = \frac{P}{R}$

۱۳ «ژول» معادل کدام یک از واحدهای زیر است؟

(د) کالری

(ج) اسب بخار

(ب) کیلووات ساعت

(الف) وات ثانیه

۱۴ بر اثر عبور ماکزیمم جریان از یک مقاومت 10Ω با توان $\frac{1}{4} W$ در مدت زمان ۱ دقیقه چند کالری گرما در اطراف آن به وجود می آید؟

(د) $14/4$

(ج) $7/2$

(ب) ۵

(الف) $6/4$

۱۵ کدام وسیله برای اندازه گیری کار الکتریکی استفاده می شود؟

(د) ولت متر

(ج) نیروسنج

(ب) کنتور

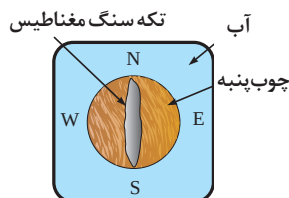
(الف) وات متر

۷-۱- مغناطیس چیست؟



شکل ۷-۱- سنگ مغناطیس طبیعی

تقریباً از شش قرن پیش از میلاد مسیح یونانیان می دانستند یک نوع سنگ طبیعی وجود دارد که تکه های کوچکی را می رباید. (شکل ۷-۱) بعدها دریانوردان با قرار دادن قطعه ای از سنگ طبیعی روی یک تکه تخته کوچک و شناور کردن آن روی سطح آب درون یک ظرف برای خود قطب نماهای ساده ای ساختند.



شکل ۷-۲- نحوه ساخت قطب نماهای اولیه

چون اولین بار این سنگ در منطقه ای به نام ماگنزی^۱ در آسیای صغیر پیدا شد، آن را «ماگنتیت»^۲ یا «مغناطیس» نام گذاری کرده اند. (شکل ۷-۲)



شکل ۷-۳- سنگ آهن طبیعی که براده های آهن به آن چسبیده است.

شکل ۷-۳ یک قطعه سنگ آهن ربای طبیعی را نشان می دهد که براده های آهن به آن چسبیده است. براده ها بیشتر به دو سر آن می چسبند و در قسمت میانی براده های کمتری جذب می شود. این نکته نشان می دهد که در هر آهنربا مکان هایی وجود دارد که در آنها اثر نیروی جاذبه مغناطیسی بیشتر از نقاط دیگر ظاهر می شود. این مکان ها را «قطب های آهنربا» می گویند.

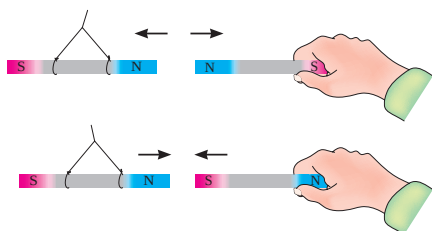
۱- Magnesia

۲- Magnetite



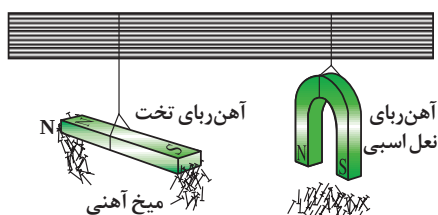
هرگاه یک آهنربای تیغه‌ای با نخ آویخته شود به طوری که بتواند آزادانه در یک سطح افقی به هر طرف بچرخد پس از چند نوسان در راستای تقریبی شمال و جنوب جغرافیایی قرار می‌گیرد. در این وضعیت قطبی از آهنربا که به سوی شمال متمایل است قطب شمال N^1 و قطبی را که به سوی جنوب می‌ایستد، قطب جنوب S^2 گویند. (شکل ۷-۴)

شکل ۷-۴- آهنربای آویخته با نخ



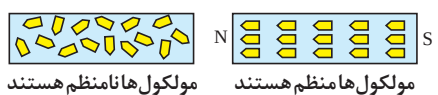
شکل ۷-۵- اثر قطب‌ها بر یکدیگر

برای تشخیص قطب‌های یک آهنربا هر یک از قطب‌های آن را به ترتیب به قطب‌های مشخص یک آهنربای دیگر که آویزان است، نزدیک کنید. اگر دو قطب همدیگر را دفع کردند، «هم‌نام» و اگر دو قطب یکدیگر را جذب کردند، «غیرهم‌نام» هستند. (شکل ۷-۵)



شکل ۷-۶- اثر قطب‌های آهنربا روی میخ آهنی و برنجی

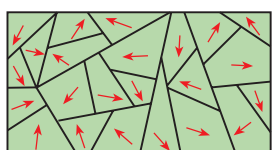
سه عنصر آهن، نیکل و کبالت و بعضی از آلیاژهای آنها که به شدت جذب آهنربا می‌شوند، «مواد مغناطیسی» یا «فرومغناطیک»^۳ می‌نامند. موادی مانند مس، برنج، شیشه و... که جذب آهنربا نمی‌شوند مواد «غیرمغناطیسی» نام دارند. (شکل ۷-۶)



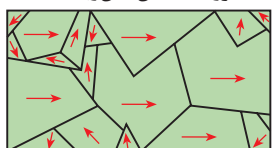
شکل ۷-۷- وضعیت مولکول‌های مواد مغناطیسی و غیرمغناطیسی

مواد مغناطیسی وقتی در کنار یک آهنربا قرار می‌گیرند مولکول‌های آنها منظم شده و خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کنند. (شکل ۷-۷)

مواد مغناطیسی که در وسایل الکتریکی به کار می‌روند به دو دسته: الف) نرم ب) سخت



ماده فرومغناطیس آهنربا نشده

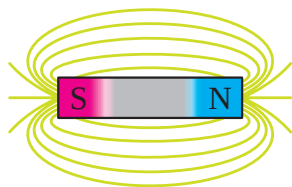


ماده فرومغناطیس آهنربا شده

شکل ۷-۸- وضعیت مولکول‌ها در مواد مغناطیسی مختلف

تقسیم می‌شوند. مواد مغناطیسی نرم موادی مانند آهن هستند که خاصیت مغناطیسی ایجاد شده را خیلی زود و آسان از دست می‌دهند. مواد مغناطیسی سخت موادی مانند فولاد هستند که خاصیت مغناطیسی تقریباً دائم پیدا می‌کنند و به راحتی آن را از دست نمی‌دهند. هر دو دسته این مواد دارای اهمیت خاصی در صنایع هستند.

۷-۲- خطوط نیروی مغناطیس و میدان مغناطیسی



شکل ۷-۹- نیروی میدان اطراف یک جسم مغناطیسی

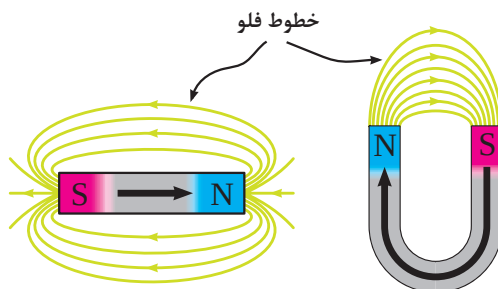
یک آهنربا می‌تواند بدون اینکه با یک قطعه آهن تماس داشته باشد آن را جذب کند یا از یک فاصله بر روی آهنربای دیگر اثر کند. دلیل این که یک آهنربا از فاصله‌های کم به آهنربای دیگر نیرو وارد می‌کند وجود «میدان مغناطیسی»^۱ در اطراف آن است. پس می‌توان میدان مغناطیسی را به صورت زیر تعریف کرد: فضایی از اطراف جسم مغناطیسی که می‌تواند روی اجسام مغناطیسی دیگر اثر بگذارد، «میدان مغناطیسی» می‌گویند. (شکل ۷-۹)

میدان مغناطیسی را می‌توان با خطوطی به نام «خطوط شار مغناطیسی»،

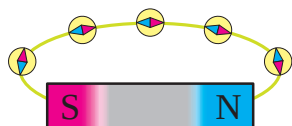
«خطوط نیروی میدان مغناطیسی»، «فلوی مغناطیسی» یا «فوران مغناطیسی» نشان داد.

فلوی مغناطیسی عبارت است از کلیه خطوط میدان مغناطیسی که از آهنربا خارج می‌شود. فلوی مغناطیسی را با حرف « Φ - فی» نمایش می‌دهند و واحد آن برحسب «wb - وبر»^۲ است. یک وبر برابر با 10^8 خط شار مغناطیسی می‌باشد. در اصطلاح به هر وبر یک ماکسول نیز می‌گویند.

جهت این خطوط در خارج آهنربا از قطب N به سمت قطب S و در داخل آهنربا از قطب S به طرف قطب N است. (شکل ۷-۱۰)



شکل ۷-۱۰- میدان‌های مغناطیسی آهنرباها



طرح میدان مغناطیسی آهنرباها

شکل ۷-۱۱- وضعیت عقربه مغناطیسی در فضای اطراف آهنربا

اگر یک عقربه مغناطیسی در اختیار داشته باشیم با چرخاندن آن در فضای اطراف یک آهنربا می‌توان قطب‌های آهنربا و جهت فلوی مغناطیسی را مشخص کرد. (شکل ۷-۱۱)



آهنربای میله‌ای

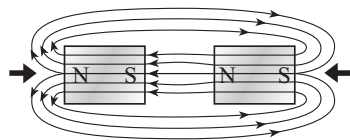
عقربه مغناطیسی

شکل ۷-۱۲- وضعیت عقربه مغناطیسی در کنار آهنربا

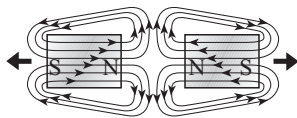
جهتی که عقربه مغناطیسی می‌ایستد قطب مخالف آهنربا را مشخص می‌کند زیرا قطب‌های غیرهم‌نام یکدیگر را جذب می‌کنند. (شکل ۷-۱۲)

۱- Magnetic Field

۲- Wb-Weber



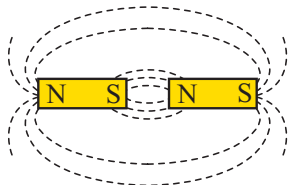
الف) اثر جاذبه قطب‌ها



ب) اثر دافعه قطب‌ها

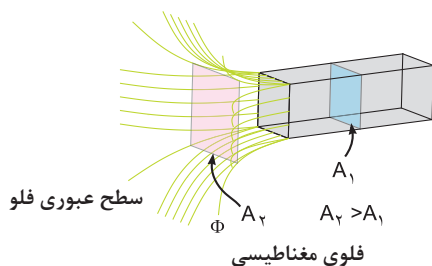
شکل ۷-۱۳ اثر قطب‌های مغناطیسی بر یکدیگر

اثر جاذبه و دافعه میدان‌های مغناطیسی دو آهنربا را در شکل ۷-۱۳ مشاهده می‌کنید. در شکل الف قطب‌های غیرهم‌نام یکدیگر را جذب و در شکل ب قطب‌های هم‌نام یکدیگر را دفع نموده‌اند.



شکل ۷-۱۴

اگر یک آهنربا از وسط نصف شود در دو لبه آن مجدداً دو قطب N و S پدید می‌آید. (شکل ۷-۱۴)



شکل ۷-۱۵

تراکم یا چگالی میدان مغناطیسی به سطحی که فلو از آن عبور می‌کند، بستگی دارد. در اصطلاح به تعداد خطوط فلو مغناطیسی که از واحد سطح می‌گذرد «چگالی میدان مغناطیسی» یا «اندوکسیون مغناطیسی» می‌گویند. (شکل ۷-۱۵)

مقدار اندوکسیون مغناطیسی را از رابطه زیر و بر حسب

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

و بر بر متر مربع $\left(\frac{wb}{m^2}\right)$ می‌توان به دست آورد.

در اصطلاح به واحد $\left(\frac{wb}{m^2}\right)$ تسلا (T) نیز گفته می‌شود. اندوکسیون مغناطیسی را با واحد کوچک‌تر به نام

$$\begin{aligned} \text{گوس} \quad 1 &= 10^{-4} \text{ تسلا} \\ 1 \text{ (G)} &= 10^{-4} \text{ (T)} \end{aligned}$$

گوس نیز بیان می‌کنند. یک گوس برابر است با:

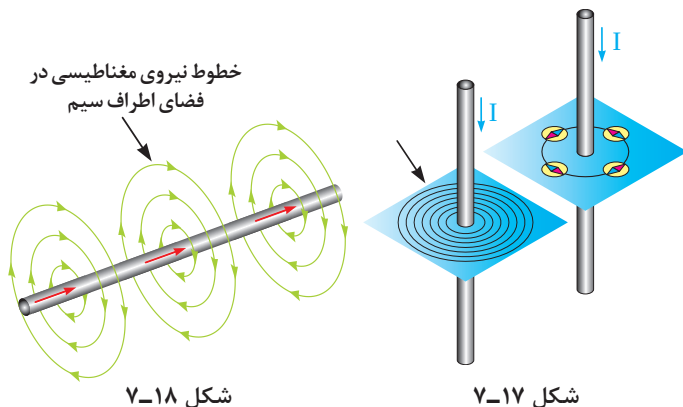
۷-۳ الکترومغناطیس



شکل ۷-۱۶- اُورستد

در سال ۱۸۲۰ میلادی اُورستد^۱ (شکل ۷-۱۶) کشف کرد که اگر یک عقربه مغناطیسی در مجاورت یک سیم حامل جریان DC قرار گیرد از راستای خود منحرف می‌شود. همچنین اگر روی صفحه‌ای در فضای اطراف سیم براده آهن بریزیم مشاهده می‌کنیم که براده‌ها به دور سیم حلقه می‌زنند.

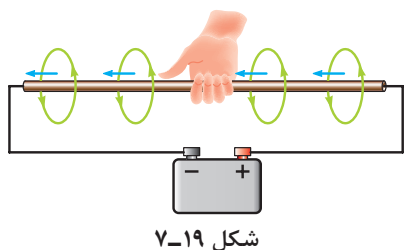
^۱ Hans christian oersted



این مطلب نشان می‌دهد که در فضای اطراف سیم، میدان مغناطیسی وجود دارد. (شکل ۷-۱۷)

هر قدر مقدار جریان عبوری از سیم بیشتر باشد میدان مغناطیسی قوی‌تر می‌شود و فلوی مغناطیسی افزایش می‌یابد. به میدان مغناطیسی که در اثر جریان عبوری از سیم و در فضای اطراف آن به وجود می‌آید «میدان الکترومغناطیسی» می‌گویند. (شکل ۷-۱۸)

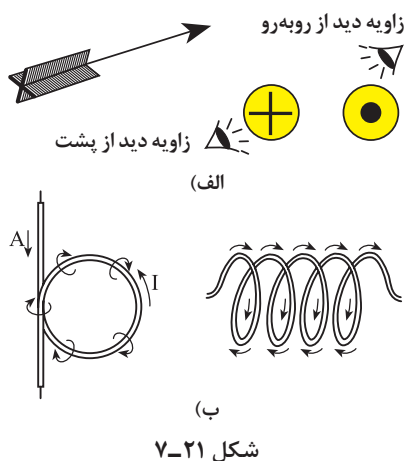
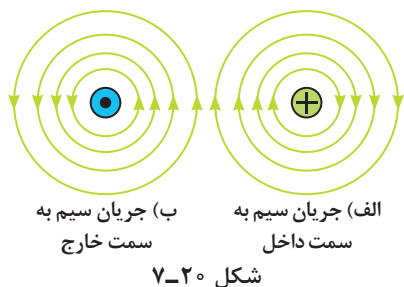
۷-۴- قانون دست راست برای یک هادی جریان دار



جهت میدان الکترومغناطیسی را به کمک قانون دست راست می‌توان تعیین کرد.

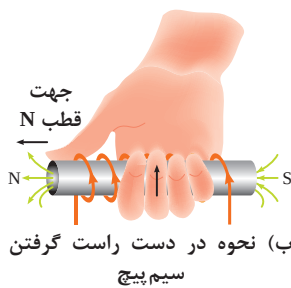
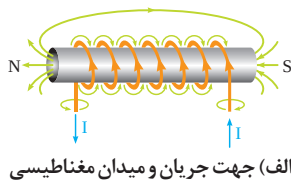
هرگاه سیم حامل جریان را طوری در دست راست بگیریم که انگشت شست جهت جریان را نشان دهد جهت بسته شدن چهار انگشت دیگر جهت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد. (شکل ۷-۱۹)

یادآوری می‌شود این قانون برای جهت قراردادی جریان صادق است. در برخی موارد برای خلاصه‌نویسی وضعیت جریان و میدان مغناطیسی سیم حامل جریان را با شکل‌های ۷-۲۰ نشان می‌دهند.



علامت $\otimes$ نشان‌دهنده وارد شدن جریان به صفحه و علامت $\odot$ بیان‌کننده خارج شدن جریان از صفحه است که مانند یک فلش (پیکان) است. (شکل ۷-۲۱ الف)

نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که اگر رشته سیم مستقیمی را به صورت یک حلقه و یا چند حلقه درآوریم میدان مغناطیسی اطراف هر حلقه با هم جمع می‌شوند و تراکم میدان مغناطیسی B افزایش می‌یابد. (شکل ۷-۲۱ ب)



شکل ۷-۲۲

جهت میدان مغناطیسی اطراف یک سیم پیچ نیز با «قانون دست راست» قابل تعیین است.

هرگاه سیم پیچ حامل جریانی را طوری در دست راست خود بگیریم که جهت پیچیدن چهار انگشت جهت جریان را نشان دهد انگشت شست جهت قطب N میدان مغناطیسی اطراف سیم پیچ را نشان می دهد. (شکل ۷-۲۲)

این جهت میدان با توجه به جهت قراردادی جریان تعیین می شود. برای افزایش چگالی میدان مغناطیسی علاوه بر تغییر شکل رشته سیم به سیم پیچ می توان موارد زیر را اجرا کرد.

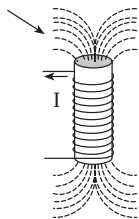
(الف) افزایش تعداد دور سیم پیچ

(ب) افزایش جریان عبوری از سیم

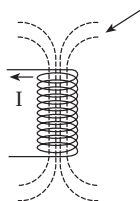
(ج) استفاده از هسته آهنی در داخل سیم پیچ

(د) کاهش فاصله بین حلقه های سیم پیچ

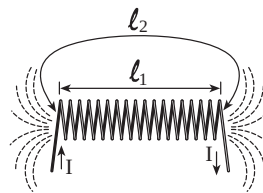
موارد فوق را در تصاویر شکل ۷-۲۳ مشاهده می کنید.



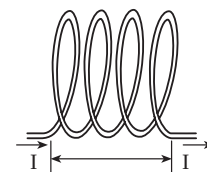
(د) سیم پیچ با هسته آهنی



(ج) سیم پیچ بدون هسته



(ب) ۱۸ دور



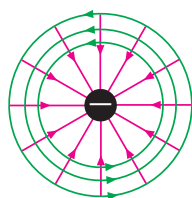
(الف) ۴ دور

شکل ۷-۲۳

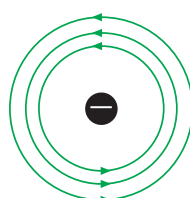
همان طور که در فصل اول فراگرفتید هر ذره باردار ساکن (بارالکترواستاتیکی) در فضای اطراف خود خاصیت یا میدانی را با جهت فرضی دارد (مثلاً بار منفی که جهت میدان آن به سمت داخل است) اصطلاحاً به آن میدان الکتریکی گویند. (شکل ۷-۲۴ الف)

حال نیز با این مطلب آشنا شدیم، الکترون که دارای بار منفی است هرگاه در حرکت باشد (مانند حرکت وضعی)، در اطراف خود میدانی را تولید می کند که به آن «میدان مغناطیسی» می گویند. معمولاً این میدان را به صورت دوایر متحدالمرکز در دور ذره باردار (الکترون) رسم می کنند. (شکل ۷-۲۴ ب)

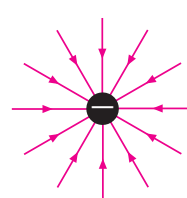
در هر نقطه خطوط میدان الکتریکی و خطوط میدان مغناطیسی بر یکدیگر عمودند. (شکل ۷-۲۴ ج) اصطلاحاً به ترکیب این دو میدان «میدان الکترومغناطیسی» می گویند. در تصاویر شکل (۷-۲۴) وضعیت این میدان ها در فضای اطراف یک الکترون نشان داده شده است.



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۷-۲۴

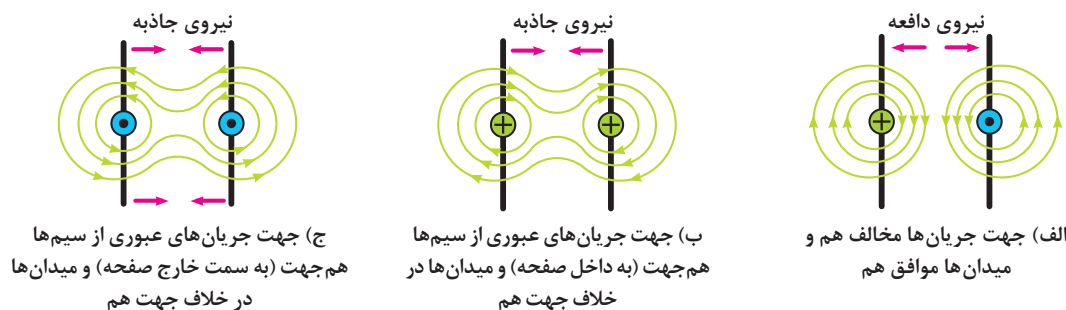


شکل ۷-۲۵

از کاربردهای میدان الکترومغناطیسی می‌توان آهن‌رباهای صنعتی را نام برد. (شکل ۷-۲۵)

۷-۵- نیروی وارد بر دو هادی جریان دار

هرگاه دو سیم حامل جریان در مقابل یکدیگر قرار گیرند متناسب با جهت و مقدار جریان عبوری از آنها بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند. اگر جهت میدان‌های مغناطیسی دو سیم با هم موافق باشند میدان‌های دو سیم با هم جمع شده و یکدیگر را جذب می‌کنند. در صورتی که میدان‌های مغناطیسی دو سیم مخالف هم باشند میدان‌های دو سیم در مقابل یکدیگر قرار می‌گیرند و یکدیگر را دفع می‌کنند. تصاویر الف، ب و ج شکل ۷-۲۶ گویای این مطلب است.



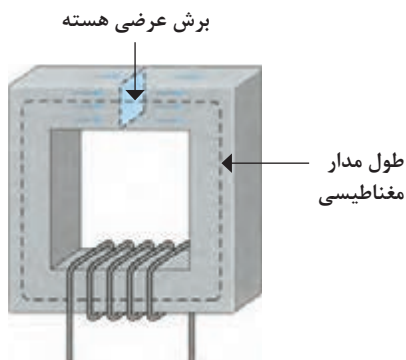
شکل ۷-۲۶- وضعیت میدان‌های مغناطیسی دو سیم حامل جریان در کنار هم

۷-۶- کمیت‌های مغناطیسی

۷-۶-۱- نیروی محرکه مغناطیسی

همان‌طوری که اشاره شد در مدارهای الکتریکی نیروی باتری سبب جاری شدن الکترون‌ها در مدار می‌شود. در مدارهای مغناطیسی نیز برای جاری شدن فوران مغناطیسی به‌طور مشابه نیاز به نیرویی است. نیرویی که باعث جاری شدن فلو در مدارهای مغناطیسی می‌شود «نیروی محرکه مغناطیسی» می‌نامند.

این نیرو را از رابطه زیر می‌توان به دست آورد. (شکل ۷-۲۷)



شکل ۷-۲۷- مدار مغناطیسی

$$F_m = \theta = N.I$$

که در آن:

I - شدت جریان سیم پیچ بر حسب آمپر (I)

N - تعداد دور سیم پیچ

Fm - نیروی محرکه مغناطیسی بر حسب (A)

۷-۶-۲- شدت میدان مغناطیسی

مقدار نیروی محرکه مغناطیسی که به واحد طول سیم پیچ وارد می شود، «شدت میدان مغناطیسی» می گویند.

مقدار نیروی محرکه مغناطیسی از رابطه زیر به دست می آید:

$$H = \frac{F_m}{\ell} = \frac{\theta}{\ell} = \frac{N \cdot I}{\ell}$$

که در آن:

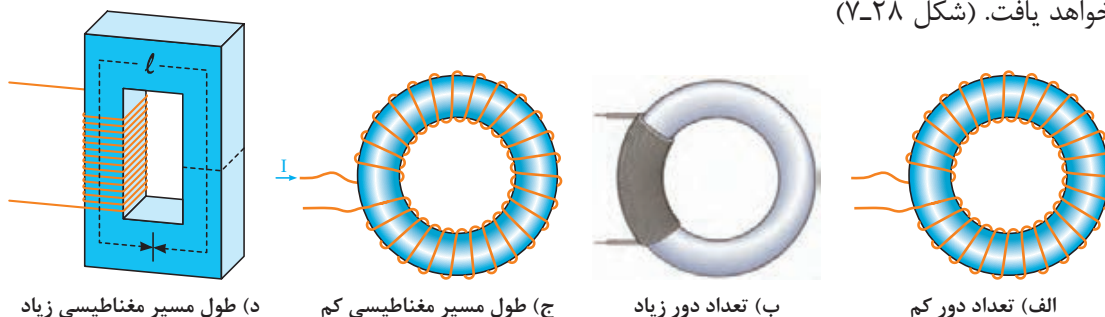
θ - نیروی محرکه مغناطیسی بر حسب آمپر (A)

ℓ - طول متوسط مسیر مغناطیسی بر حسب متر (m)

H - شدت میدان مغناطیسی بر حسب آمپر متر $\left[\frac{A}{m} \right]$

رابطه (H) نشان می دهد هر قدر طول مسیر مغناطیسی بیشتر باشد شدت میدان مغناطیسی کمتری در هسته به وجود می آید.

به عبارت دیگر اگر تعداد دور یا جریان عبوری از سیم پیچ افزایش یابد، نیروی محرکه مغناطیسی نیز افزایش خواهد یافت. (شکل ۷-۲۸)



شکل ۷-۲۸- مدارهای مغناطیسی با طول متوسط و تعداد دورهای مختلف

۷-۶-۳- ضریب نفوذ مغناطیسی

میزان نفوذپذیری مغناطیسی در اجسام مختلف با هم متفاوت است و به جنس جسم بستگی دارد. ضریب نفوذپذیری را با (μ - مو) نشان می دهند و از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\mu = \frac{B}{H}$$

ضریب نفوذپذیری هوا را با (μ_0) نشان می دهند و مقدار آن برابر است با:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

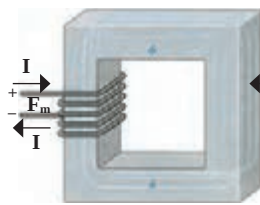
که در آن:

B- چگالی مغناطیسی بر حسب وبر (wb)

H- شدت میدان مغناطیسی بر حسب آمپر متر $\left[\frac{A}{m}\right]$

μ - ضریب نفوذ مغناطیسی جسم بر حسب وبر بر آمپر متر $\left[\frac{wb}{A.m}\right]$

۷-۶-۴- مقاومت مغناطیسی



شکل ۷-۲۹

مقدار مخالفتی که اجسام مغناطیسی در برابر عبور فلوی مغناطیسی از خود نشان می‌دهند، «مقاومت مغناطیسی» یا «رلوکتانس»^۱ گویند. (شکل ۷-۲۹) مقاومت مغناطیسی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R_m = \frac{\ell}{\mu A}$$

R_m - مقاومت مغناطیسی بر حسب آمپر بر وبر $\left[\frac{A}{wb}\right]$

مقدار (μ) معمولاً بر حسب پارامتری به نام «ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی» بیان می‌شود که آن را چنین تعریف می‌کنند: نسبت ضریب نفوذ مغناطیسی هر جسم (μ) به ضریب نفوذ مغناطیسی هوا (μ_0) را ضریب

نفوذ مغناطیسی نسبی (μ_r) می‌گویند و از رابطه مقابل محاسبه می‌شود.

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

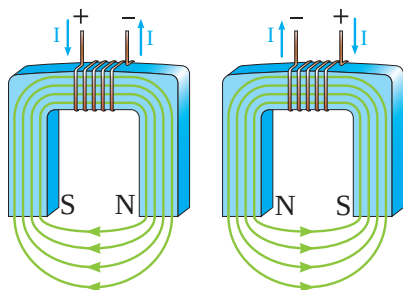
$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

بر پایه رابطه μ_r می‌توان نوشت:

$$R_m = \frac{\ell}{\mu_r \cdot \mu_0 A}$$

بر همین اساس رابطه رلوکتانس را چنین می‌توان در نظر گرفت:

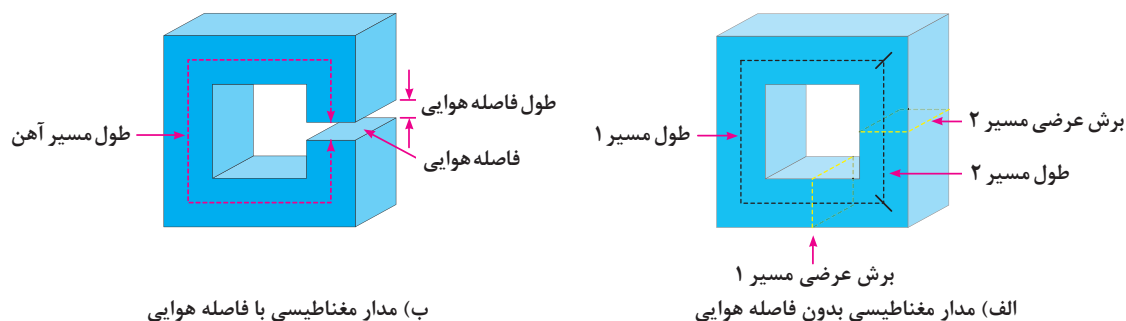
۷-۶-۵- مدارهای مغناطیسی



شکل ۷-۳۰- اثر تعویض جهت جریان روی جهت میدان مغناطیسی

مدارهای مغناطیسی از جنس آهن نرم یا آهن سخت هستند. در صورتی که جهت جریان سیم‌پیچ مدارهای مغناطیسی عوض شود جهت فلوی مغناطیسی (قطب‌های N و S) عوض خواهد شد. (شکل ۷-۳۰) اثر تعویض پلاریته‌های منبع تغذیه بر جهت میدان مغناطیسی هسته را نشان می‌دهد.

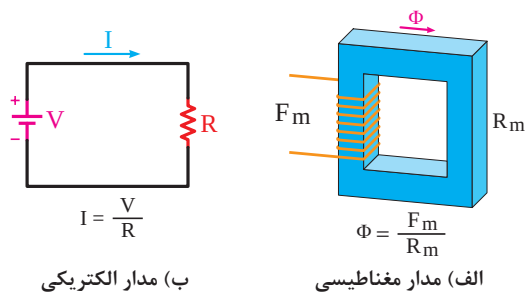
اگر در طول مسیر مدارهای مغناطیسی فاصله هوایی وجود داشته باشد، محیط عبور فلوی مغناطیسی تغییر می‌کند. در این حالت فلوی مغناطیسی با ماده‌ای روبه‌رو می‌شود که ضریب نفوذ مغناطیسی آن کمتر از آهن است. این امر سبب می‌شود که مقاومت مغناطیسی کل هسته افزایش یابد و در نتیجه کل فوران مغناطیسی کم شود. (شکل ۷-۳۱)



شکل ۷-۳۱

کمیت‌های مدار مغناطیسی مشابه مدار الکتریکی است و می‌توانیم این کمیت‌ها را با هم مقایسه کنیم. (جدول زیر)

θ یا F_m (نیروی محرکه مغناطیسی)	مشابه $\rightarrow$	V (پتانسیل الکتریکی)
Φ (فلو)	مشابه $\rightarrow$	I (جریان الکتریکی)
R_m (رلوکتانس)	مشابه $\rightarrow$	R (مقاومت الکتریکی)



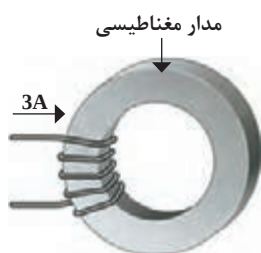
شکل ۷-۳۲

بر همین اساس می‌توان روابط ساده الکتریکی، مانند قانون اهم را نیز برای مدارهای مغناطیسی نوشت. به عنوان مثال برای محاسبه مقاومت مغناطیسی (شکل ۷-۳۳) می‌توانیم رابطه دیگری را به صورت زیر بنویسیم:

$$R = \frac{V}{I} \Rightarrow R_m = \frac{\theta}{\Phi}$$

مثال: در مدار مغناطیسی شکل (۷-۳۳) اگر مقاومت مدار مغناطیسی برابر $3 \times 10^3 \left(\frac{A}{Wb} \right)$ باشد فوران عبوری از هسته چقدر است؟

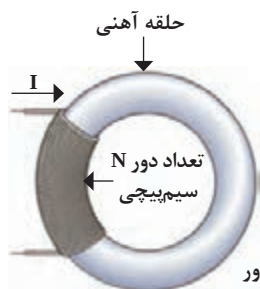
حل:



شکل ۷-۳۳- مدار مغناطیسی به صورت حلقه با تعداد دور کم

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m} = \frac{N.I}{R_m}$$

$$\Phi = \frac{5 \times 3}{30 \times 10^3} = \frac{15}{30 \times 10^3} = 0.5 \times 10^{-3} \text{ wb} = 0.5 \text{ mwb}$$



حلقه آهنی
تعداد دور $N=3000$
جریان عبوری $I=0.1\text{ A}$
طول مدار مغناطیسی $\ell=15\text{ cm}$
چگالی لازم در هسته 0.5 wb/m^2
سطح مقطع هسته $A=4\text{ m}^2$

شکل ۷-۳۴

مثال: با توجه به مشخصات (شکل ۷-۳۴) مطلوب است:

(الف) شدت میدان مغناطیسی

(ب) فوران جاری در هسته

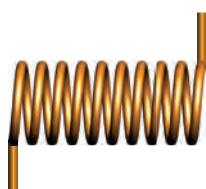
حل:

$$H = \frac{N.I}{\ell} = \frac{3000 \times 0.1}{15 \times 10^{-2}} = 2000 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$$B = \frac{\Phi}{A} \Rightarrow \Phi = BA = 0.5 \times 4 \times 10^{-4}$$

$$\Phi = 2 \times 10^{-4} \text{ wb} = 0.2 \text{ mwb}$$

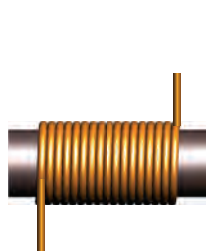
۷-۷- سلف (اندوکتانس - L)



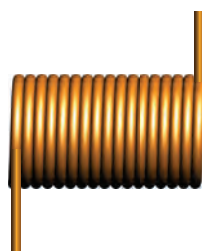
شکل ۷-۳۵

از پیچیدن چند دور سیم به صورت شکل (۷-۳۵) یک سیم پیچ یا سلف ساخته می شود. یک سلف را با اسامی دیگر، مانند خودالقا و چوک نام گذاری می کنند.

یک سلف ممکن است دارای هسته و یا بدون هسته باشد پس به طور کلی می توان گفت اجزاء یک اندوکتانس از دو قسمت کلی (الف) سیم پیچ (ب) هسته تشکیل شده است. تصاویر شکل های ۷-۳۶ و ۷-۳۷ سلف های بدون هسته و با هسته را نشان می دهد.



شکل ۷-۳۷



شکل ۷-۳۶

هسته سلف ها از دو جنس مختلف با زمینه های کاربردی متفاوت ساخته می شود.

(الف) سلف با هسته فریت (ب) سلف با هسته آهنی

در شکل ۷-۳۸ تصویری از این دو نوع هسته نشان داده شده است.

همان طوری که اشاره شد با عبور جریان از داخل سیم های سیم پیچ

میدان مغناطیسی در فضای اطراف آن پدید می آید.

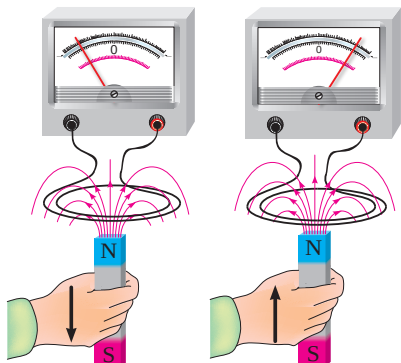


(ب)



(الف)

شکل ۷-۳۸



شکل ۷-۳۹- جریان القایی در جهتی است که با حرکت آهنربا به طرف پیچه مخالفت می‌کند.

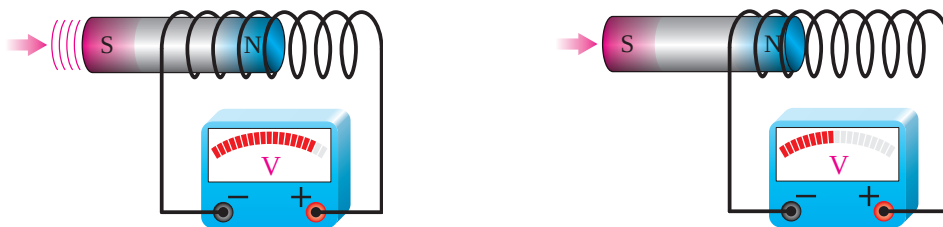
وجود هسته در داخل سیم‌پیچ باعث می‌شود تا فوران مغناطیسی پراکنده نشده و خاصیت سلفی افزایش یابد. در سال ۱۸۳۱ میلادی مایکل فارادی دانشمند انگلیسی و تقریباً هم‌زمان با او جوزف هانری دانشمند آمریکایی با انجام دادن آزمایش‌هایی مشابه شکل (۷-۳۹) دریافتند که با دور و نزدیک کردن آهنربا به سیم‌پیچ، عقربه گالوانومتر (میکرو آمپرسنج) منحرف شده و عبور جریان را نشان می‌دهد مانند وقتی که در یک مدار مولد وجود داشته باشد. در واقع با حرکت آهنربا نسبت به سیم‌پیچ یک جریان الکتریکی در مدار القا می‌شود. این پدیده را القای الکترومغناطیسی و جریان تولید شده را جریان الکتریکی القایی می‌نامند.

فارادی و لنز از جمله فیزیکدانانی بودند که پدیده القای الکترومغناطیسی را به صورت فرمول‌هایی بیان کردند. بر پایه این قوانین خاصیت خودالقایی را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد.

$$E_{\text{mmf}} = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad \text{رابطه فارادی}$$

$$E_{\text{mmf}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad \text{رابطه لنز}$$

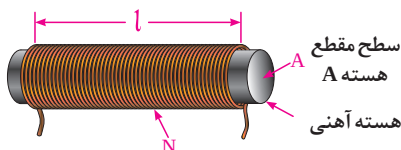
به خاصیتی از سیم‌پیچ که به ازای تغییر جریان، تغییر فوران در آن حاصل شده و باعث القای یک نیروی محرکه مغناطیسی در سیم‌پیچ می‌شود «خاصیت خودالقایی» و به مقدار آن «ضریب خودالقایی» یا «اندوکتانس -L» گفته می‌شود و واحد آن برحسب هانری بیان می‌شود.



الف) هسته در حال ورود به سیم‌پیچ و در نتیجه افزایش نیروی محرکه (ب) هسته بیشتر در داخل سیم‌پیچ قرار گرفته و نیروی محرکه القایی افزایش یافته است.

شکل ۷-۴۰- تغییر محل هسته موجب تغییر نیروی محرکه می‌شود.

۷-۸- عوامل فیزیکی مؤثر در ضریب خودالقایی



شکل ۷-۴۱

با بهره‌گیری از تعاریف مغناطیسی و همچنین رابطه فارادی می‌توان به یک رابطه دیگر دست یافت که براساس آن می‌توان خاصیت خودالقایی سیم‌پیچی را بر پایه عوامل فیزیکی مطابق رابطه مقابل به دست آورد.

این رابطه نشان می‌دهد که ضریب خودالقایی از مشخصه‌های یک سیم‌پیچی است و فقط به تغییرات فوران یا جریان وابسته نیست.

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

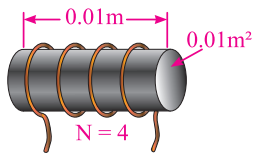
در این رابطه:

μ - ضریب نفوذ مغناطیسی هسته سیم‌پیچ بر حسب وبر بر آمپر متر $\left[\frac{\text{wb}}{\text{A.m}} \right]$

N - تعداد دور سیم‌پیچ

A - سطح مقطع سیم‌پیچ بر حسب مترمربع $[\text{m}^2]$

ℓ - طول سیم سیم‌پیچ بر حسب متر $[\text{m}]$

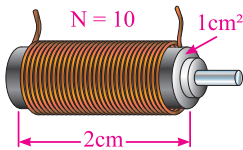


شکل ۷-۴۲

مثال: اندازه ضریب خودالقایی سیم‌پیچ نشان داده شده در شکل (۷-۴۲) چند میلی‌هائری است. در صورتی که ضریب نفوذ مغناطیسی هسته 0.25×10^{-3} باشد.

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

$$L = \frac{0.25 \times 10^{-3} \times (4)^2 \times 0.01}{0.01} = 40 \text{ mH}$$



شکل ۷-۴۳

مثال: اندازه ضریب خودالقایی سلفی با مشخصات نشان داده شده در شکل (۷-۴۳) چقدر است؟ در صورتی که ضریب نفوذ نسبی مغناطیسی هسته آن ۵۰۰۰ باشد. (مقدار $\pi=3$ فرض شود).

$$L = \mu \frac{N^2 \cdot A}{\ell} = \mu_r \mu_0 \frac{N^2 \cdot A}{\ell}$$

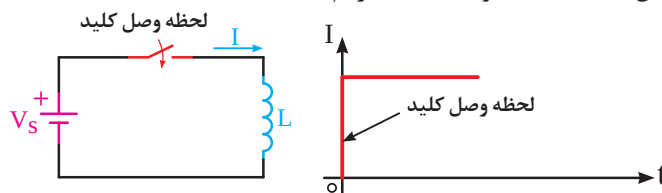
$$L = \frac{5 \times 10^3 \times 4 \pi \times 10^{-7} \times (10)^2 \times 1 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-2}} = 30 \times 10^{-4} \text{ H} = 3 \text{ mH}$$

۷-۹- عملکرد سلف در جریان الکتریکی

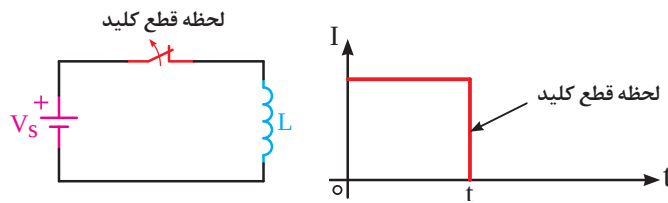
چگونگی عملکرد و رفتار یک سلف در برابر عبور جریان الکتریکی مستقیم (DC) با جریان الکتریکی متناوب (AC) متفاوت است. در این فصل فقط به بررسی رفتار سلف در مدارهای DC می‌پردازیم و خصوصیات AC آن در فصل نهم بررسی خواهد شد.

۷-۹-۱- رفتار سلف در جریان مستقیم (DC)

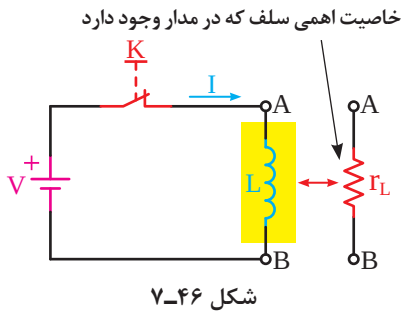
همان‌طوری که اشاره شد خاصیت اندوکتانس (L) یک سلف زمانی بروز می‌کند که تغییرات فوران یا تغییرات جریانی در آن پدید آید. اما از آنجایی که در جریان مستقیم فقط در لحظات وصل و قطع کلید تغییرات جریان را مطابق تصاویر شکل‌های (۷-۴۴) و (۷-۴۵) داریم.



شکل ۷-۴۴



شکل ۷-۴۵

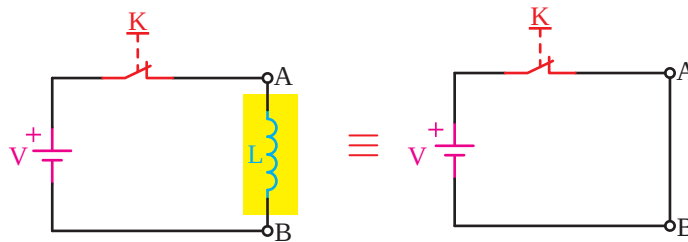


شکل ۷-۴۶

به همین دلیل در طول مدت زمانی که کلید مدار بسته (وصل) می‌باشد سلف دارای خاصیت خودالقایی (اندوکتانسی) نیست. اما از آنجایی که هر سیم پیچ از چند متر سیم تشکیل شده است. به همین خاطر در این شرایط فقط از خود خاصیت مقاومتی را نشان می‌دهد که مربوط به خاصیت مقاومت اهمی سیم است که مقدار آن را طبق رابطه R_L می‌توان به دست آورد.

$$R_L = \frac{V_L}{I} = \frac{V_{AB}}{I}$$

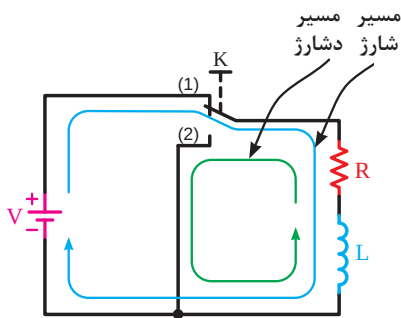
چون در سیم پیچی سلف‌ها سعی بر آن است تا مقدار خاصیت اهمی سیم پیچ‌ها کم باشد به همین دلیل در اکثر کتاب‌های تخصصی از مقاومت اهمی سیم (R_L) صرف نظر می‌شود و رفتار سلف در شرایط دایم کار جریان DC را مانند شکل ۷-۴۷ به حالت اتصال کوتاه^۱ تشبیه می‌کنند و گفته می‌شود در این شرایط جریان زیادی از سلف می‌گذرد.



شکل ۷-۴۷

۷-۹-۲ شارژ و دشارژ (ثابت زمانی سلفی)

چون در یک مدار سلفی خالص تمامی این اتفاقات یعنی زیاد و کم شدن جریان مدار در یک لحظه کوتاه (آنی) اتفاق می‌افتد اگر بخواهیم مدت زمان افزایش (شارژ) و یا کاهش (دشارژ) را طولانی‌تر کنیم باید از یک مقاومت سری با سلف استفاده کنیم. در شکل ۷-۴۸ حالت ۱ کلید مسیر شارژ و حالت ۲ کلید مسیر دشارژ سلف L را نشان می‌دهد.



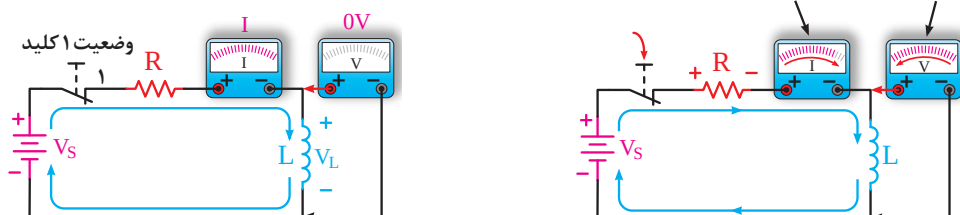
شکل ۷-۴۸

تذکر



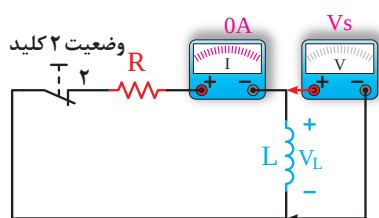
شکل ۷-۴۹- الف مدار سلفی را در لحظه وصل کلید از نظر ولتاژ و جریان نشان می‌دهد.
شکل ۷-۴۹- ب مدار سلفی را در شرایطی نشان می‌دهد که کلید مدت زمانی طولانی وصل بوده است. شرایط ولتاژ و جریان نسبت به حالت الف برعکس شده است.

وقتی کلید خاموش می‌شود
ولتاژ بلافاصله افزایش می‌یابد وقتی کلید بسته می‌شود جریان به
و سپس کاهش می‌یابد. سرعت به حد ماکزیمم می‌رسد.



الف) در حال شارژ: رفته رفته ولتاژ سلف کاهش و جریان افزایش می‌یابد. ب) شارژ کامل: ولتاژ سلف صفر شده و جریان مدار برابر مقدار حداکثر می‌شود.

شکل ۷-۴۹



شکل ۷-۵۰

در صورتی که منبع تغذیه را برداشته و دو سر سلف را از طریق مقاومت اهمی R دشارژ کنیم مقدار ولتاژ و جریان سلف مطابق شکل ۷-۵۰ خواهد شد. همان‌طوری که در تصاویر شکل‌های ۷-۴۹ و ۷-۵۰ مشاهده می‌کنیم در صورت استفاده از مقاومت در مسیر سلف، جریان سلف چه در مسیر افزایش (شارژ) و چه در مسیر کاهش (دشارژ) با یکسری پرش‌های

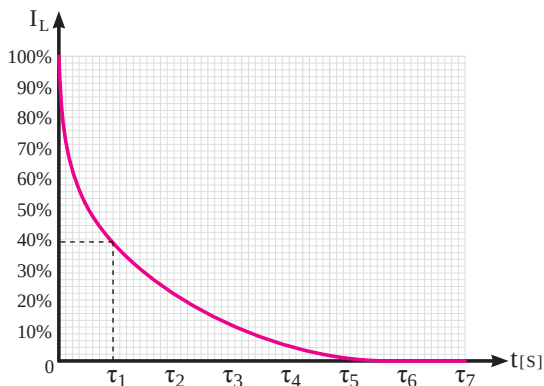
جریانی و در طی یک بازه زمانی مشخص به مقدار حداکثر و حداقل خود می‌رسد. اصطلاحاً به مدت زمانی که طول می‌کشد تا جریان سلف به اندازه ۶۳/۲٪ مقدار ماکزیمم خود افزایش یا کاهش یابد «ثابت زمانی» گفته می‌شود و با حرف (τ - تاو) و بر حسب ثانیه مطابق رابطه مقابل محاسبه می‌کنند.

$$\tau = \frac{L \text{ [هنری-h]}}{R \text{ [اهم-}\Omega\text{]}} \quad \tau \text{ [ثانیه-s]}$$

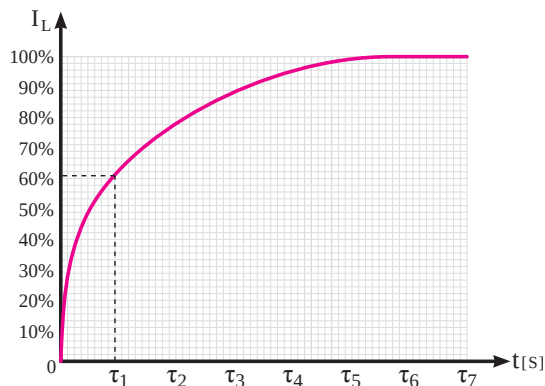
براساس آزمایشات صورت گرفته مشخص شده است در هر سلف پس از گذشت ۵ ثابت زمانی جریان عبوری از آن مقدار به حداکثر (در شرایط شارژ) و به مقدار حداقل (در شرایط دشارژ) می‌رسد. مدت زمان شارژ یا دشارژ کامل یک سلف را مطابق رابطه مقابل می‌توان چنین به دست آورد.

$$T = 5\tau \quad \text{مدت زمان شارژ یا دشارژ کامل سلف}$$

بر پایه این مطالب پس می‌توان منحنی‌های شارژ و دشارژ یک سلف را به صورت کلی مطابق شکل‌های ۷-۵۱ و ۷-۵۲ رسم کرد.

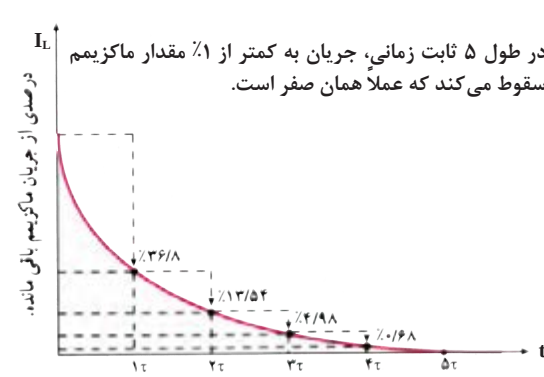


شکل ۷-۵۲

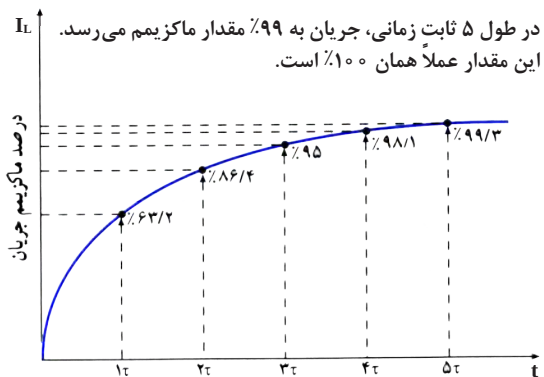


شکل ۷-۵۱

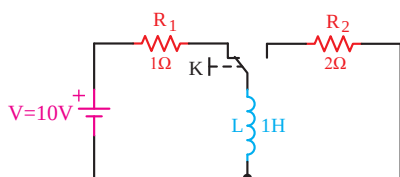
شکل (۷-۵۳) منحنی تغییرات جریان سلف را در شرایط افزایش (حالت شارژ) به صورت دقیق نشان می‌دهد. همچنین منحنی تغییرات جریان سلف در شرایط کاهش (حالت دشارژ) به صورت دقیق مطابق شکل (۷-۵۴) است.



شکل ۷-۵۴

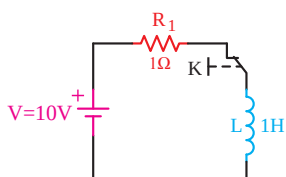


شکل ۷-۵۳ - منحنی شارژ



شکل ۷-۵۵

مثال: مدت زمان شارژ و دشارژ کامل سلف نشان داده شده در شکل (۷-۵۵) در صورت تغییر وضعیت کلید k چقدر است؟

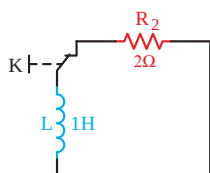


شکل ۷-۵۶

حل: در شرایط شارژ وضعیت مدار مطابق شکل (۷-۵۶) است.

$$\tau = \frac{L}{R_1} = \frac{1}{1} = 1s$$

$$T = 5\tau = 5 \times 1 = 5s$$

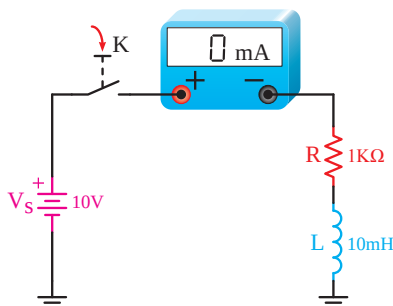


شکل ۷-۵۷

وضعیت مدار در شرایط دشارژ مطابق شکل (۷-۵۷) است.

$$\tau = \frac{L}{R_r} = \frac{1}{2} = 0.5 \text{ s}$$

$$T = 5\tau = 5 \times 0.5 = 2.5 \text{ s}$$



شکل ۷-۵۸

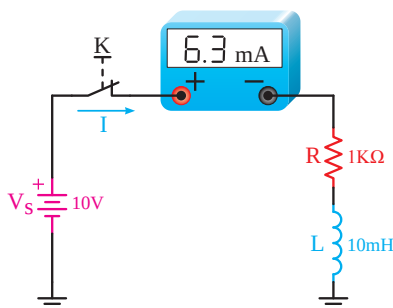
با توجه به توضیحات داده شده پس برای مداری مانند شکل ۷-۵۸ می توان مطابق روشی که مشاهده می کنید مقدار ثابت زمانی، مدت زمان شارژ و مقدار جریان در هر ثابت زمانی را تعیین کرد.

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{10 \times 10^{-3}}{1 \times 10^3} = 10 \times 10^{-6} \text{ s} = 10 \mu\text{s}$$

$$T = 5\tau = 5 \times 10 = 50 \mu\text{s}$$

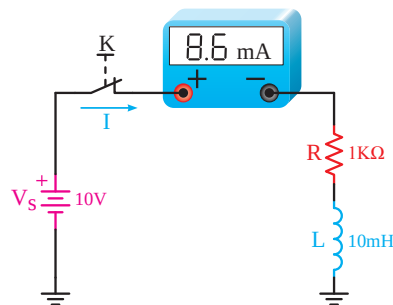
$$I = \frac{V_s}{R} = \frac{10 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 10 \text{ mA}$$

وضعیت مدار از نظر مقدار جریان عبوری در هر ثابت زمانی را به همراه محاسبات مربوطه در تصاویر الف تا ه شکل ۷-۵۹ مشاهده می کنید.



الف) جریان در ثابت زمانی اول (τ)

$$i_1 = \%63 / 2 \times 10 = 6.3 \text{ mA}$$

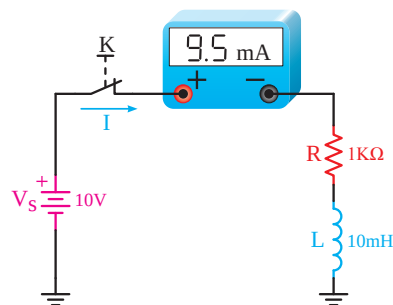


ب) جریان در ثابت زمانی دوم (τ_2)

$$i_d = i - i_1 = 10 - 6.3 = 3.7 \text{ mA}$$

$$i' = \%63 / 2 \times 3.7 = 2.3 \text{ mA}$$

$$i_r = i_1 + i' = 6.3 + 2.3 = 8.6 \text{ mA}$$

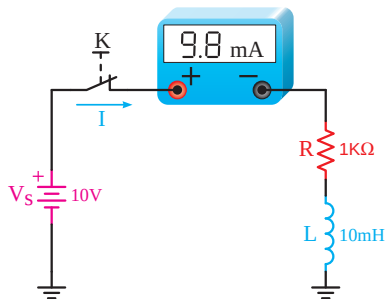


ج) جریان مدار در ثابت زمانی سوم (τ_3)

$$i_d = i - i_r = 10 - 8.6 = 1.4 \text{ mA}$$

$$i' = \%63 / 2 \times 1.4 = 0.4 \text{ mA}$$

$$i_r = i_r + i' = 8.6 + 0.4 = 9.0 \text{ mA}$$

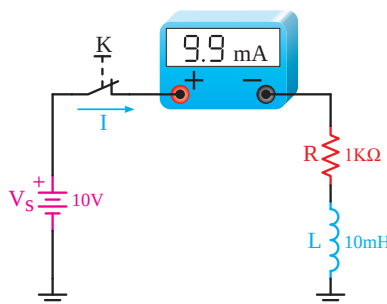


(د) جریان مدار در ثابت زمانی چهارم (τ_f)

$$i_d = i - i_r = 10 - 9/5 = 0/5 \text{ mA}$$

$$i' = \%63 / 2 \times 0/5 = 0/3 \text{ mA}$$

$$i_r = i_r + i' = 9/5 + 0/3 = 9/8 \text{ mA}$$



(هـ) جریان مدار در ثابت زمانی پنجم (τ_δ)

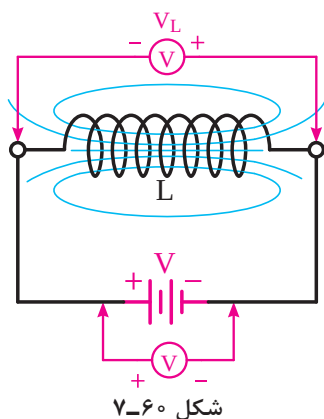
شکل ۷-۵۹

$$i_d = i - i_r = 10 - 9/8 = 0/2 \text{ mA}$$

$$i' = \%63 / 2 \times 0/2 = 0/1 \text{ mA}$$

$$i_\delta = i_r + i' = 9/8 + 0/1 = 9/9 \text{ mA}$$

۷-۱۰- نیروی ضد محرکه



شکل ۷-۶۰

اچ.اف.آی. لنز فیزیکدان آلمانی تحقیقات تکمیلی را در مورد خاصیت القایی و نیروی محرکه القایی یک سیم‌پیچ انجام داد و دریافت اندازه این نیروی محرکه اولاً به تغییرات جریان جاری در سلف و ثانیاً خاصیت اندوکتانسی سلف و ثالثاً جهت این نیروی محرکه القایی (پلاریته دو سر سلف) با جهت نیروی محرکه (ولتاژ) اعمال شده به سلف مخالف است. به همین خاطر لنز در رابطه نهایی خود از یک علامت منفی برای بیان این مطلب استفاده کرد.^۱

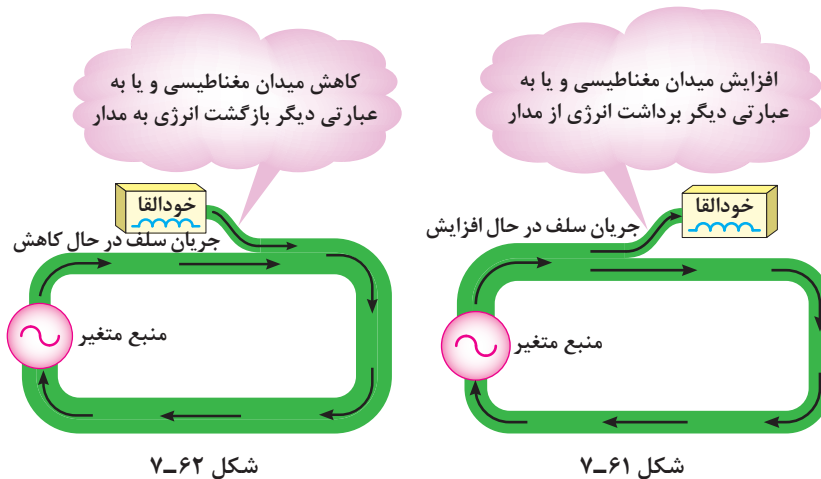
$$V_L = \text{Cemf} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

- ← تغییرات جریان نسبت به زمان در سلف
- ← خاصیت اندوکتانس سلف
- ← علامت نیروی ضد محرکه سلف

۱- در برخی کتاب‌ها این نیروی محرکه القایی با عنوان نیروی ضد محرکه و حرف Cemf نیز معرفی شده است.

۷-۱۱- خودالقایی از نقطه نظر انرژی

پدیده خودالقایی از نقطه نظر انرژی نیز قابل توصیف است. هنگامی که این عمل اتفاق می‌افتد ممکن است فرض کرد که میدان مغناطیسی اطراف هادی حامل جریان با مدار مبادله انرژی می‌کند. وقتی که جریان مدار زیاد می‌شود انرژی از مدار خارج شده و در میدان مغناطیسی مطابق شکل ۷-۶۱ در اطراف آن ذخیره می‌شود. همین امر باعث قوی‌تر شدن میدان مغناطیسی می‌گردد. این انتقال انرژی از مدار به صورت افت پتانسیل در دو سر سلف نمایان می‌شود که منطبق با همان نیروی ضدمحرکه القایی است. وقتی که افزایش جریان متوقف می‌شود میدان مغناطیسی ثابت می‌ماند و مبادله انرژی از مدار به میدان قطع می‌شود و تمام انرژی ایجاد شده به وسیله منبع در مدار مصرف می‌شود و میدان مغناطیسی تا هنگامی که جریان شروع به کم شدن نکرده است تمام انرژی را که به آن منتقل شده ذخیره می‌کند. هنگامی که جریان شروع به کم شدن می‌کند، میدان مغناطیسی شروع به کم شدن می‌کند و انرژی ذخیره شده در خود را به مدار باز می‌گرداند. و اثر آن بالا رفتن پتانسیل و خودالقاست. این یعنی آنکه نیروی محرکه القایی در جهت ولتاژ منبع بوده و بنابراین با آن جمع می‌شود. (شکل ۷-۶۲)



شکل ۷-۶۲

شکل ۷-۶۱

از نقطه نظر انرژی، خودالقایی یعنی تبادل انرژی از یک مدار هنگامی که جریان زیاد می‌شود و بازگشت انرژی به مدار هنگامی که جریان کم می‌شود.

توجه



۷-۱۲- انرژی ذخیره شده در سلف

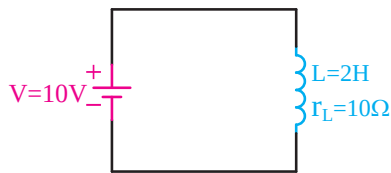
مقدار انرژی ذخیره شده در یک سلف را از رابطه مقابل می‌توان به دست آورد.

$$W_L = \frac{1}{2} L I_L^2$$

L - خاصیت اندوکتانسی سلف بر حسب هانری [h]

I_L - جریان عبوری از سلف بر حسب آمپر [A]

W_L - انرژی ذخیره شده در سلف بر حسب ژول [J]



شکل ۷-۶۳

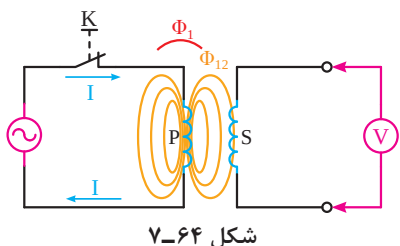
مثال: مقدار انرژی ذخیره شده در سلفی با مشخصات نشان داده شده در شکل ۷-۶۳ را در صورتی که کلید K برای مدت زمان طولانی بسته شده باشد چند ژول است؟

حل: در شرایط دایم کار خاصیت سلفی وجود ندارد و فقط خاصیت اهمی وجود دارد.

$$I_L = \frac{V}{r_L} = \frac{10}{10} = 1 [A]$$

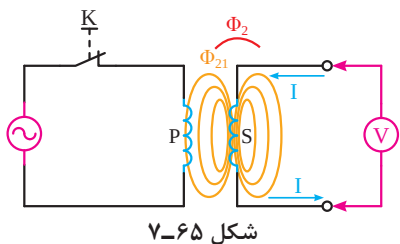
$$W_L = \frac{1}{2} L I_L^2 \Rightarrow W_L = \frac{1}{2} (2) (1)^2 \Rightarrow W_L = 1 [J]$$

۷-۱۳ القا متقابل



شکل ۷-۶۴

هرگاه مانند شکل ۷-۶۴ سیم پیچ P به یک منبع ولتاژ متغیری (متناوب) متصل شده باشد و در مقابل آن یک سیم پیچ دیگر (مانند سیم پیچ S) قرار گیرد به طوری که به دو سر سیم پیچ یک ولت متر متصل شده باشد مشاهده خواهیم کرد که هرگاه کلید K وصل شده و جریان در سیم پیچ (P) جاری شود ولت متری که در طرف دیگر به سیم پیچ (S) متصل است مقداری را نشان می دهد.



شکل ۷-۶۵

این آزمایش نشان دهنده آن است که هر چند بین سیم پیچ (S) و سیم پیچ (P) ارتباط الکتریکی مداری برقرار نیست اما به ازای تغییر جریانی که در سیم پیچ اول ایجاد شده ولتاژ در سیم پیچ دوم القا شده است. همان گونه که در شکل ۷-۶۵ مشاهده می شود چون مدار سیم پیچ (S) از طریق ولت متر بسته شده است.

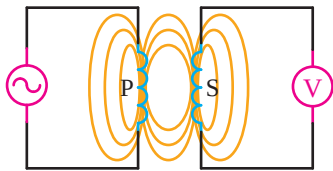
لذا جریانی از سیم پیچی آن عبور کرده و فورانی در فضای اطراف بوبین (S) به وجود می آید که روی سیم پیچ اول اثر مخالف می گذارد. بر همین اساس در مباحث الکتریکی به این پدیده القا متقابل می گویند. به بیانی دقیق تر القا متقابل را می توان به منزله مقدار یا درجه القایی که دو سیم پیچ بر یکدیگر اعمال می کنند در نظر گرفت. القا متقابل دو بوبین بر همدیگر به چگونگی اتصال خطوط قوای بین دو بوبین که به نوبه خود بستگی به وضعیت نسبی دو بوبین دارد وابسته است.

اصطلاحاً به نسبت فوران منتقل شده از سیم پیچ اول به دوم (Φ_{12}) به کل فوران به وجود آمده در سیم پیچ اول (Φ_1) و یا نسبت فوران منتقل شده از سیم پیچ دوم به اول (Φ_{21}) به کل فوران به وجود آمده در سیم پیچ دوم (Φ_2) ضریب تزویج (ضریب پیوست) گفته شده و مقدار آن را بر پایه رابطه زیر می توان محاسبه کرد.

فوران منتقل شده از سیم پیچ دوم به اول فوران منتقل شده از سیم پیچ اول به دوم

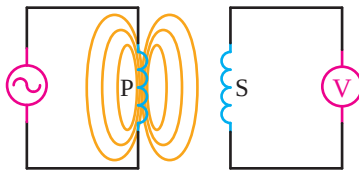
$$K = \frac{\Phi_{12}}{\Phi_1} = \frac{\Phi_{21}}{\Phi_2}$$

کل فوران سیم پیچ اول کل فوران سیم پیچ دوم



شکل ۷-۶۶

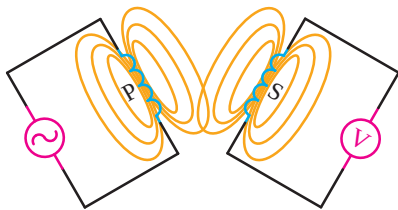
هرگاه درجه اتصال خطوط قوا مانند شکل ۷-۶۶ خوب و کامل باشد مقدار ضریب تزویج ماکزیمم ($K=1$) است.



الف) در صورتی که دو سیم پیچ با فاصله از یکدیگر قرار گیرند فوران سیم پیچ اول روی سیم پیچ دوم اثر نمی گذارد.

اگر وضعیت قرار گرفتن سیم پیچ ها مانند تصاویر الف و ب و ج شکل ۷-۶۷ دارای فاصله یا زاویه باشد و باعث شود که خطوط قوای سیم پیچ ها یکدیگر را به صورت ناقص و یا کلاً قطع نکنند مقدار ضریب تزویج کاهش خواهد یافت. محدوده تغییرات ضریب تزویج بین صفر تا یک است یعنی:

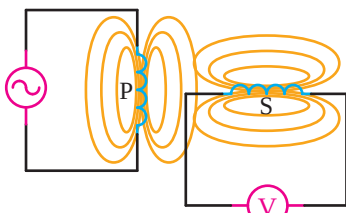
$$0 \leq K \leq 1$$



ب) اگر دو سیم پیچ نسبت به هم با زاویه قرار گیرند میزان القا و ضریب تزویج کاهش می یابد.

هرگاه اندازه ضریب القای متقابل (کوپلینگ) مابین دو سیم پیچ را بخواهیم از رابطه M می توان به دست آورد.

$$M = K\sqrt{L_1 L_2}$$



ج) مینیمم کوپلینگ وقتی دو بوبین با هم زاویه 90° درجه می سازند به وجود می آید.

L_1 - ضریب خودالقایی سیم پیچ اول بر حسب هانری [h]

L_2 - ضریب خودالقایی سیم پیچ دوم بر حسب هانری [h]

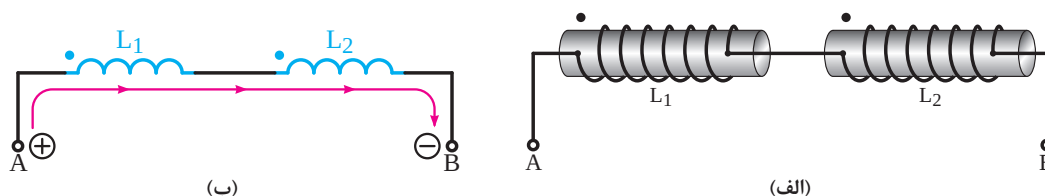
K - ضریب تزویج

M - ضریب القای متقابل بر حسب هانری [h]

معمولاً سرهای ورودی جریان یا سرهای شروع پیچش سیم ها را با علامت «نقطه» نشان می دهند.

شکل ۷-۶۷

اگر دو سلف مطابق شکل ۷-۶۸ با هم سری شده باشند به طوری که جهت پیچش هر دو بوبین یکسان باشد جهت جریان ورودی به سرهای هر دو سیم پیچ با هم موافق بوده و در نتیجه میدان‌های مغناطیسی ایجاد شده دو بوبین یکدیگر را تقویت می‌کنند.

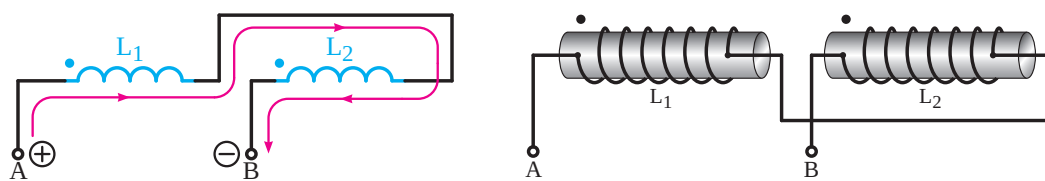


شکل ۷-۶۸- سلف‌های سری با میدان‌های موافق

اندوکتانس کل مدار در حالت تقویت دو میدان را از رابطه مقابل می‌توان به دست آورد.

$$L_T = L_1 + L_2 + 2M$$

اگر دو سلف مطابق شکل ۷-۶۹ با هم سری شده باشند به طوری که جهت پیچش هر دو بوبین مخالف هم یا جهت جریان ورودی به سرهای هر دو سیم پیچ مخالف هم باشند در نتیجه میدان‌های مغناطیسی ایجاد شده دو بوبین یکدیگر را تضعیف می‌کنند.

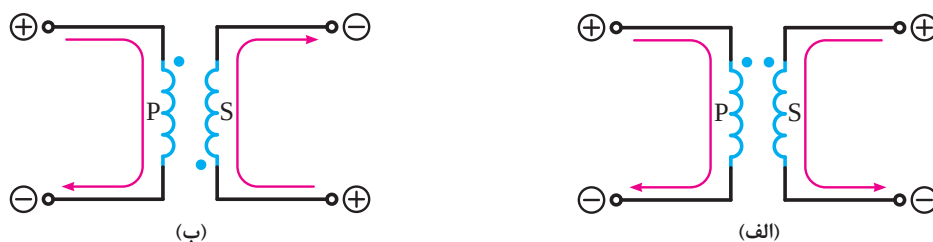


شکل ۷-۶۹- سلف‌های سری با میدان‌های مخالف

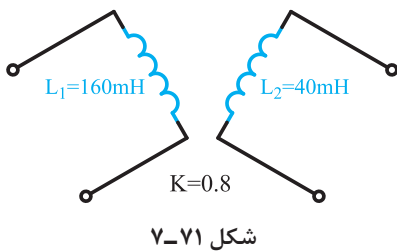
اندوکتانس کل مدار در حالت تضعیف دو میدان را از رابطه مقابل می‌توان به دست آورد.

$$L_T = L_1 + L_2 - 2M$$

چگونگی القا نیروی محرکه از یک سیم پیچ به سیم پیچ دیگر که در مقابل هم قرار گرفته‌اند و وضعیت پلاریته آنها یکی از دو حالت شکل ۷-۷۰ خواهد بود.



شکل ۷-۷۰



مثال: اندازه ضریب القا متقابل شکل ۷-۷۱ معادل چند هانری است؟

حل: با در نظر گرفتن رابطه ضریب القا متقابل مقدار آن را چنین می توان به دست آورد.

$$M = K\sqrt{L_1 L_2}$$

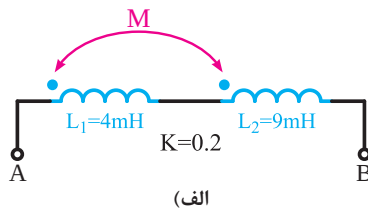
$$M = 0.8 \times \sqrt{160 \times 40}$$

$$M = 0.8 \times 80 = 64 [\text{mh}]$$

$$M = 0.064 [\text{h}]$$

مثال: اندازه اندوکتانس کل هر یک از مدارهای نشان داده شده در شکل ۷-۷۲ را به دست آورید.

حل: الف)



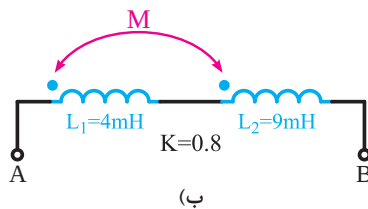
$$M = K\sqrt{L_1 L_2} = 0.2 \times \sqrt{4 \times 9}$$

$$M = 0.2 \times 6 = 1.2 [\text{mh}]$$

$$L_T = L_1 + L_2 + 2M$$

$$L_T = 4 + 9 + (2 \times 1.2) = 15.4 [\text{mh}]$$

حل: ب)



$$M = K\sqrt{L_1 L_2} = 0.8 \times \sqrt{4 \times 9}$$

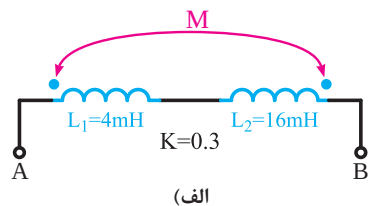
$$M = 0.8 \times 6 = 4.8 [\text{mh}]$$

$$L_T = L_1 + L_2 + 2M$$

$$L_T = 4 + 9 + (2 \times 4.8) = 22.6 [\text{mh}]$$

مثال: اندازه اندوکتانس کل هر یک از مدارهای نشان داده شده در شکل ۷-۷۳ را به دست آورید.

حل: الف)



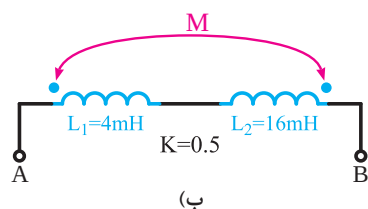
$$M = K\sqrt{L_1 L_2} = 0.3 \times \sqrt{4 \times 16}$$

$$M = 0.3 \times 8 = 2.4 [\text{mh}]$$

$$L_T = L_1 + L_2 - 2M$$

$$L_T = 4 + 16 - (2 \times 2.4) = 15.2 [\text{mh}]$$

حل: ب)



$$M = K\sqrt{L_1 L_2} = 0.5 \times \sqrt{4 \times 16}$$

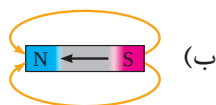
$$M = 0.5 \times 8 = 4 [\text{mh}]$$

$$L_T = L_1 + L_2 - 2M$$

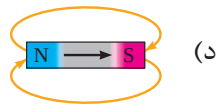
$$L_T = 4 + 16 - (2 \times 4) = 12 [\text{mh}]$$

آزمون پایانی (۷)

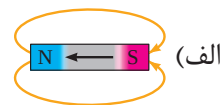
- ۱ ماگنیزیا نام کدام یک از موارد زیر است؟
 الف) سنگ مغناطیسی (ب) ماگنتیت (ج) مغناطیس (د) هر سه مورد
- ۲ اثر جاذبه مغناطیسی در کدام نقطه از یک سنگ مغناطیسی بیشتر است؟
 الف) همه جا یکسان است. (ب) در وسط سنگ (ج) در دو سر سنگ (د) به جهت سنگ بستگی دارد.
- ۳ چگونه می توان قطب های جغرافیایی را تشخیص داد؟
 الف) با آهنربای تیغه ای آویز (ب) با یک تخته چوب (ج) با سنگ آهن (د) با آهنربای نعل اسبی شکل
- ۴ اگر قطب N یک آهنربا را به قطب S آهنربای آویزی نزدیک کنیم آهنربای آویز
 الف) دفع می شود. (ب) جذب می شود. (ج) به سمت چپ می چرخد. (د) به سمت راست می چرخد.
- ۵ کدام یک از موارد زیر، مواد فرومانیتیک نیستند؟
 الف) آهن (ب) آلومینیوم (ج) نیکل (د) کبالت
- ۶ وقتی جسمی خاصیت مغناطیسی پیدا می کند، ملکول های آن
 الف) به صورت افقی منظم می شوند. (ب) نامنظم می شود. (ج) تغییر نمی کند. (د) به صورت دورانی می چرخد.
- ۷ موادی که خاصیت مغناطیسی خود را زود از دست می دهند نامند.
 الف) آهن سخت (ب) آهن نرم (ج) فولاد (د) چدن
- ۸ میدان مغناطیسی عبارت است از فضایی در اطراف جسم مغناطیسی که می تواند روی اثر بگذارد.
 الف) همه اجسام (ب) اجسام غیر مغناطیسی (ج) اجسام مغناطیسی (د) اجسام یونیزه شده
- ۹ کدام یک از اشکال زیر صحیح است؟



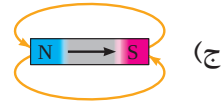
(ب)



(د)



(الف)



(ج)

- ۱۰ با یک عقربه مغناطیسی می توان مغناطیسی را مشخص نمود.
 الف) جهت فلو (ب) تعداد خطوط قوا (ج) میزان وبر فلو (د) نوع ماده

۱۱ کدام گزینه به ترتیب از راست به چپ جمله زیر را تکمیل می کند.

قطب های هم نام یکدیگر را و قطب های غیر هم نام یکدیگر را می نمایند.
 الف) جذب - جذب ب) دفع - جذب ج) جذب - دفع د) دفع - دفع

۱۲ به تعداد خطوط فلوی مغناطیسی که از واحد سطح می گذرد گویند.

الف) شدت میدان مغناطیسی ب) نیروی محرکه مغناطیسی
 ج) اندوکسیون مغناطیسی د) رلوکتانس مغناطیسی

۱۳ کدام یک از گزینه ها درباره منحرف شدن یک عقربه مغناطیسی در مجاورت یک سیم حامل جریان صحیح نیست؟

الف) وجود جریان الکتریکی ب) وجود میدان مغناطیسی
 ج) عقربه خاصیت آهنربایی پیدا می کند. د) عقربه تحت تأثیر موقعیت جغرافیایی قرار گرفته است.

۱۴ «ویر» واحد کدام یک از کمیت های مغناطیسی زیر است؟

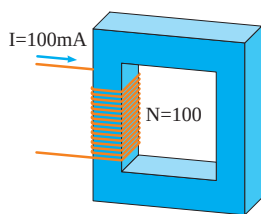
الف) اندوکسیون ب) شدت میدان ج) فوران د) نیروی محرکه

۱۵ فوران عبوری از مدار مغناطیسی شکل ۷-۷۴ چقدر است؟

$$(R_m = 675 / 5 \times 10^6 \text{ A / Wb})$$

الف) $0.57 \mu\text{wb}$ ب) $0.34 \mu\text{wb}$

ج) $0.148 \mu\text{wb}$ د) $0.79 \mu\text{wb}$



شکل ۷-۷۴

۱۶ به میدان ایجاد شده فضای اطراف یک سیم حامل جریان میدان گویند.

الف) الکتریکی ب) مغناطیسی ج) الکترومغناطیسی د) استاتیکی

۱۷ در قانون دست راست برای یک هادی جریانی دار جهت خم شدن چهار انگشت دست نشان دهنده چیست؟

الف) جهت جریان ب) جهت ولتاژ
 ج) جهت میدان مغناطیسی د) جهت اندوکسیون مغناطیسی

۱۸ کدام یک از اشکال زیر صحیح است؟



۱۹ با تبدیل کردن سیم راست به صورت حلقه، میدان مغناطیسی خواهد شد.

الف) زیاد ب) کم ج) منحرف د) منعکس

۲۰ انگشت شست در قانون دست راست برای یک سیم پیچ نشان دهنده چیست؟

الف) جهت نیروی وارد بر سیم ب) جهت جریان عبوری از سیم
 ج) قطب N مغناطیسی د) قطب S مغناطیسی

۲۱ کدام یک از عوامل زیر در افزایش چگالی میدان مغناطیسی مؤثر نیست؟

- الف) افزایش تعداد دور سیم پیچ
 ب) افزایش فاصله حلقه‌های سیم پیچ
 ج) قرار دادن هسته آهنی در سیم پیچ
 د) افزایش جریان عبوری از بوتین

۲۲ اگر جهت میدان‌های مغناطیسی دو سیم جریان دار با هم موافق باشند دو سیم یکدیگر را می‌کنند.

- الف) جذب ب) دفع ج) دفع و جذب د) جذب و دفع

۲۳ نیرویی که موجب جاری شدن فلو در مدارهای مغناطیسی می‌شود، را با مشخص می‌کنند.

- الف) B ب) H ج) θ د) R_m

۲۴ واحد «مقاومت مغناطیسی» کدام است؟

- الف) $\frac{A}{wb}$ ب) $\frac{wb}{A}$ ج) $\frac{wb}{A.m}$ د) $\frac{A.m}{wb}$

۲۵ اگر فاصله هوایی در مدار مغناطیسی وجود داشته باشد چون ضریب نفوذ مغناطیسی هوا از آهن است رلوکتانس کل هسته می‌یابد.

- الف) بیشتر - کاهش ب) بیشتر - افزایش ج) کمتر - کاهش د) کمتر - افزایش

۲۶ کدام یک از روابط زیر مشابه قانون اهم در مدارهای الکتریکی است؟

- الف) $F_m = \frac{\theta}{\Phi}$ ب) $R_m = \frac{\theta}{\Phi}$ ج) $\theta = \frac{F_m}{R_m}$ د) $\Phi = R_m . \theta$



شکل ۷-۷۵

۲۷ شدت میدان مغناطیسی شکل ۷-۷۵ را در صورتی که قطر متوسط حلقه ۱۰ cm باشد حساب کنید ($\pi=3$).

- الف) ۱۰۰۰ ب) ۱۰ ج) ۱۰۰ د) ۱

۲۸ دو قطب غیرهم‌نام یکدیگر را می‌کنند.

۲۹ موادی که خاصیت مغناطیسی القاء شده در خود را زود از دست می‌دهند، مواد گویند.

۳۰ نیرویی که موجب جاری شدن فلو در مدار مغناطیسی می‌شود نام دارد.

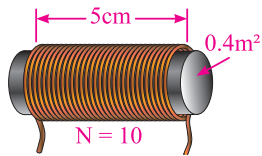
۳۱ در قانون دست راست سیم حامل جریان جهت خم شدن چهار انگشت جهت را نشان می‌دهد.

۳۲ شدت میدان مغناطیسی با مقدار طول مسیر مغناطیسی رابطه مستقیم دارد. ☐ صحیح ☐ غلط

۳۳ میزان نفوذپذیری مغناطیسی اجسام به جنس هر جسم بستگی ندارد. ☐ صحیح ☐ غلط

۳۴ وجود فاصله هوایی در مسیر مدار مغناطیسی باعث افزایش رلوکتانس می‌شود. ☐ صحیح ☐ غلط

۳۵ میزان فوران عبوری از هسته با تعداد دور سیم پیچ رابطه مستقیم دارد. ☐ صحیح ☐ غلط



شکل ۷-۷۶

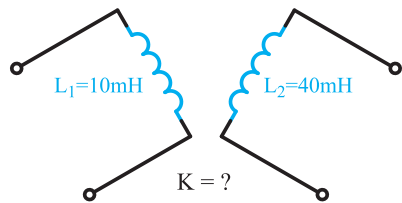
۳۶ اندوکتانس سلفی با مشخصات نشان داده شده در شکل (۷-۷۶) چقدر است؟
(هسته هوا)

۳۷ سیم‌پیچی به طول ۵۰ سانتی‌متر و سطح مقطع 0.02 مترمربع با هسته‌ای به ضریب نفوذ 2000 و دارای 1000 دور مطلوب است:

(الف) ضریب خودالقایی آن چند میلی‌هانری است؟

(ب) در صورتی که بخواهیم ضریب خودالقایی آن سه برابر شود ضریب نفوذ هسته چقدر باید شود؟

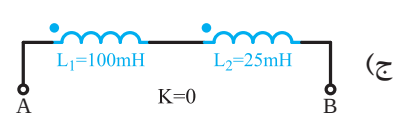
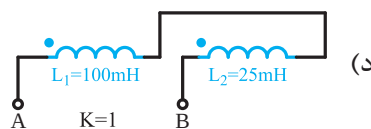
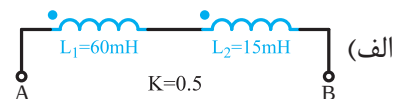
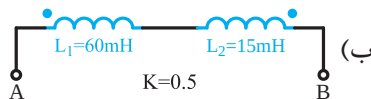
۳۸ ثابت زمانی مداری با یک مقاومت $2/2$ کیلوهم و سلفی با اندوکتانس 500 میکروهانری چند ثانیه است؟
ضمناً مدت زمان شارژ را حساب کنید.



شکل ۷-۷۷

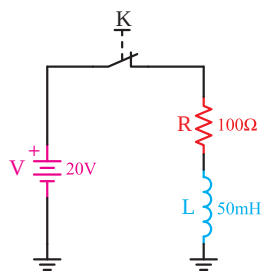
۳۹ اگر اندازه ضریب القا متقابل شکل مقابل 10mH باشد اندازه ضریب تزویجی شکل (۷-۷۷) چقدر است؟

۴۰ اندوکتانس کل هر یک از مدارهای نشان داده شده در شکل (۷-۷۸) چند میلی‌هانری است؟



شکل ۷-۷۸

۴۱ ثابت زمانی، مدت زمان شارژ و جریان عبوری از مدار شکل (۷-۷۹) را در هر ثابت زمانی حساب کنید.



شکل ۷-۷۹

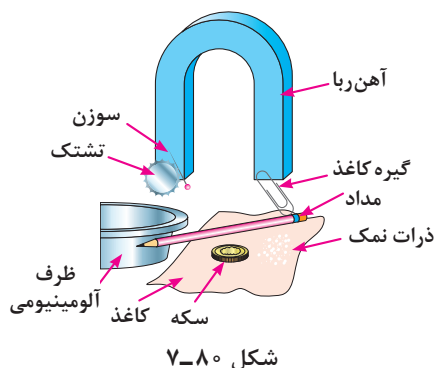
توجه



مطالب مربوط به سؤالاتی را که نتوانسته‌اید پاسخ دهید مجدداً مطالعه و آزمون را تکرار کنید.

کارهای عملی پیش‌بینی شده را می‌توانید در منزل انجام داده و از نتایج آنها در جهت بالابردن شناخت خود نسبت به مغناطیسی استفاده کنید.

توضیح



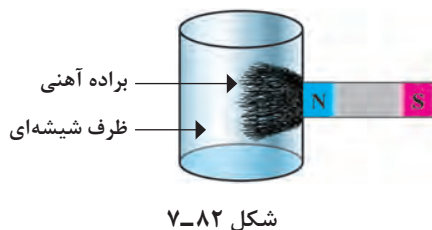
۱ یک آهنربای نعل اسبی را به قطعات شکل ۷-۸۰ نزدیک کنید. نتیجه مشاهده خود را یادداشت کرده و علت را توضیح دهید.

پاسخ



۲ یک آهنربای تخت را مطابق شکل ۷-۸۱ زیر یک صفحه شیشه‌ای قرار دهید و براده‌های آهن را به عکس آن روی سطح شیشه‌ای بریزید. از شکل به‌دست آمده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



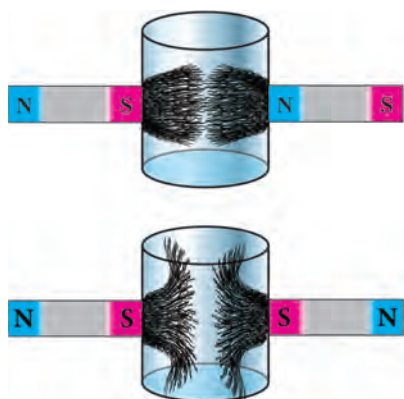
۳ در داخل یک ظرف شیشه‌ای براده‌های آهن بریزید و آهنربا را از طرفین ظرف مطابق شکل ۷-۸۲ روی سطح شیشه‌ای قرار دهید. از وضعیت‌های به‌دست آمده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



۴ مقدار ی خاک و براده آهن را مخلوط کنید و سپس آنها را از یکدیگر جدا کنید. روش به کار رفته را شرح دهید.

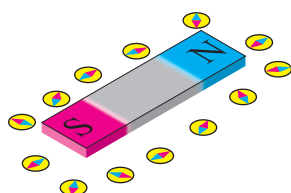
پاسخ



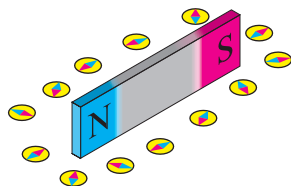
شکل ۷-۸۳

۵ مقدار ی براده آهن را در داخل آب بریزید و آن را با آهنربا جدا کنید. (شکل ۷-۸۳)

پاسخ



الف) آهنربا به صورت خوابیده



ب) آهنربا به صورت ایستاده

شکل ۷-۸۴

۶ یک عقربه مغناطیسی را مشابه شکل ۷-۸۴ در اطراف یک آهنربای تخت بخوابانید، از وضعیت‌های به دست آمده برای عقربه چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

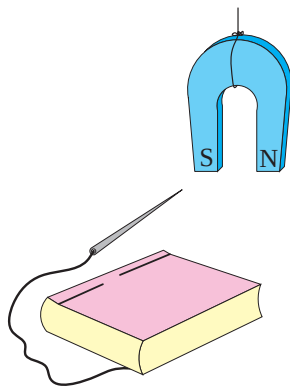
پاسخ



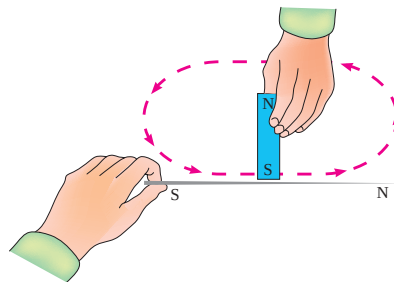
۷ یک آهنربا را طبق شکل ۷-۸۵ روی یک سوزن و در یک جهت بکشید. سپس مشابه شکل ۷-۸۶ سوزن را به یک نخ وصل کنید یکبار قطب N و بار دیگر قطب S آهنربا را به آن نزدیک کنید. از وضعیت‌های به دست آمده برای سوزن چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

پاسخ

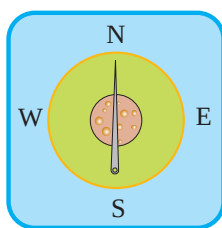




شکل ۷-۸۶



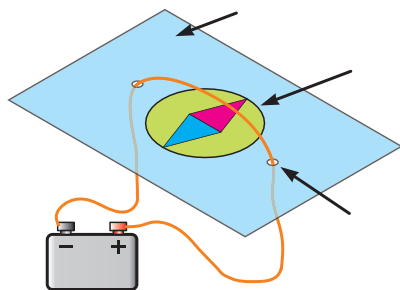
شکل ۷-۸۵



شکل ۷-۸۷

۸ سوزن را مطابق شکل ۷-۸۵ مجدداً با آهنربا مالش دهید و آن را روی یک تکه چوب پنبه که بر روی سطح آب مانند شکل ۷-۸۷ شناور است، قرار دهید. از نتایج به دست آمده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



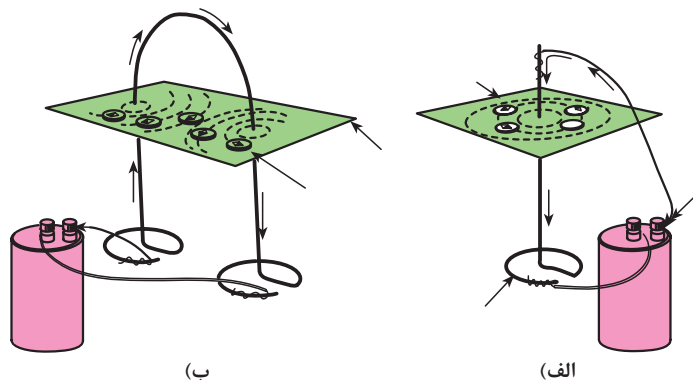
شکل ۷-۸۸

۹ دو سر سیمی را که از باتری خارج شده‌اند را از زیر یک کاغذ مقوایی طبق شکل ۷-۸۸ خارج کنید. سپس آن را از روی یک عقربه مغناطیسی عبور دهید. مدار را وصل کنید و درباره مشاهدات خود توضیح دهید.

پاسخ

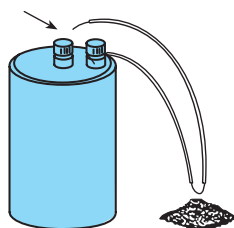


۱۰ تکه سیمی را یکبار مطابق شکل ۷-۸۹-الف به یک باتری وصل کنید و عقربه مغناطیسی را در فضای اطراف آن حرکت دهید و سپس سیم را مطابق شکل ۷-۸۹-ب به صورت انحنای درآورید و آهنربای عقربه‌ای را در فضای اطراف دو بازوی سیم بچرخانید. نتایج را شرح دهید.



شکل ۷-۸۹

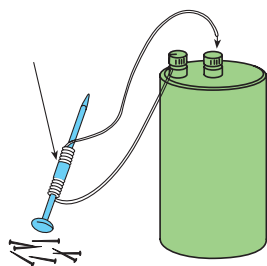
پاسخ



شکل ۷-۹۰

۱۱ تکه سیمی بدون روکش را مطابق شکل ۷-۹۰ به دو قطب یک باتری وصل کنید و به براده‌های آهن نزدیک کنید. از مشاهدات خود چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



شکل ۷-۹۱

۱۲ تکه سیم را مانند شکل ۷-۹۱ به صورت چند حلقه روی یک میخ بپیچانید. سپس میخ را به سوزن‌های نازک کوچک نزدیک کنید. از مشاهده خود چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



فصل ۸

خازن

هدف کلی فصل:

شناسایی ساختمان و اصول کار خازن‌ها و ظرفیت مدارهای خازنی و عملکرد آن

هدف‌های رفتاری:

در پایان این فصل انتظار می‌رود که فراگیر بتواند:

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۱۲	۶/۵	۱۸/۵

۱ میدان الکتریکی و میدان الکتریکی یکنواخت را توضیح دهد.

۲ ساختمان داخلی خازن را شرح دهد.

۳ رابطه ظرفیت خازن را بیان کند.

۴ مفهوم شارژ و دشارژ خازن را توضیح دهد.

۵ انواع خازن‌های ثابت و متغیر را به اختصار توضیح دهد.

۵ مشخصات مهم در انتخاب خازن را بیان کند.

۶ مشخصات خازن‌ها را با کد رنگی و رمزهای عدد بخواند.

۷ مدارهای سری، موازی و ترکیبی خازن‌ها را تعریف کند.

۸ مدارهای سری، موازی و ترکیبی خازن‌ها را از نظر ظرفیت خازن معادل، ولتاژ و بار الکتریکی توضیح دهد.

۹ آزمایش‌های ساده مربوط به مدارهای سری، موازی و ترکیبی خازن‌ها را انجام دهد.

پیش آزمون (۸)

- ۱ برای ذخیره کردن بارهای الکتریکی در مدارها از وسیله‌ای به نام استفاده می‌شود.
الف) مقاومت (ب) سلف (ج) خازن (د) موتور
- ۲ در دوربین‌های عکاسی برای ایجاد نور فلاش از چه وسیله‌ای استفاده می‌شود؟
الف) لامپ رشته‌ای (ب) پروژکتور گازی (ج) خازن (د) مقاومت
- ۳ در بعضی از موتورهای الکتریکی هنگامی که موتور به برق اتصال ندارد وقتی دو سر سیم‌های آن را برای یک لحظه کوتاه به هم اتصال می‌دهیم جرقه می‌زند. علت چیست؟
الف) اتصال بدنه در موتور (ب) اتصال داشتن سیم‌پیچ‌های موتور
ج) تخلیه ولتاژ دو سر خازن (د) خرابی کلیدهای موتور
- ۴ چرا در کنار پایه بعضی خازن‌ها علامت مثبت و منفی می‌نویسند؟
الف) برای اتصال صحیح پایه‌های خازن به مدار (ب) چون مقدار بار ذخیره شده مشخص شود.
ج) برای بررسی بارهای مثبت و منفی صفحات خازن (د) مقدار ولتاژ را اندازه‌گیری کرد.
- ۵ از خازن در مدارهای الکتریکی برای چه منظور استفاده نمی‌شود؟
الف) صافی‌ها (فیلترها) (ب) ذخیره انرژی مغناطیسی
ج) عامل به وجود آوردن اختلاف فاز (د) ذخیره انرژی الکترواستاتیکی
- ۶ در تنظیم ایستگاه و تعیین موج یک رادیو از کدام وسیله استفاده می‌شود؟
الف) خازن ثابت (ب) خازن متغیر (ج) مقاومت متغیر (د) سلف متغیر
- ۷ مواد مغناطیسی که خاصیت مغناطیسی تقریباً دائم پیدا می‌کنند را مواد می‌گویند.
الف) فرومغناطیس نرم (ب) دیامغناطیس (ج) فرومغناطیس سخت (د) پارامغناطیس
- ۸ کدام یک از روابط زیر شکل صحیح رابطه رلوکتانس است؟
الف) $R = \frac{V}{I}$ (ب) $R_m = \frac{\Phi}{\theta}$ (ج) $\theta = N.I$ (د) $R_m = \frac{l}{\mu A}$
- ۹ افزایش جریان عبوری از سیم راست موجب می‌شود.
الف) افزایش میدان مغناطیسی (ب) کاهش میدان مغناطیسی
ج) کاهش میدان الکترواستاتیکی (د) افزایش میدان الکترواستاتیکی
- ۱۰ ایجاد فاصله هوایی در مدار مغناطیسی موجب افزایش مغناطیسی می‌شود.
الف) فلوی (ب) نیروی محرکه (ج) مقاومت (د) ضریب نفوذ
- ۱۱ با حرکت دادن عقربه مغناطیسی در فضای اطراف یک آهنربا می‌توان و را مشخص کرد.
الف) قطب‌های آهنربا، جهت فلوی مغناطیسی (ب) اثر جاذبه، جهت فلوی مغناطیسی
ج) فلوی مغناطیسی، اثر جاذبه (د) مقدار شار مغناطیسی، قطب‌های آهنربا

۱۲ یک تسلا (T) برابر است با:

الف) $\frac{1\text{wb}}{1\text{m}}$ ب) $\frac{1\text{wb}}{1\text{m}^2}$ ج) $\frac{1\text{m}}{1\text{wb}}$ د) $\frac{1\text{m}^2}{1\text{wb}}$

۱۳ قطب‌های مغناطیسی عبارت‌اند از:

الف) مکان‌هایی که اثر جاذبه مغناطیسی کمی دارند. ب) نقاطی هستند که همه فلزات را جذب می‌کنند.
ج) نقاطی که همه فلزات را دفع می‌کنند. د) مکان‌هایی که اثر جاذبه مغناطیسی زیادی دارند.

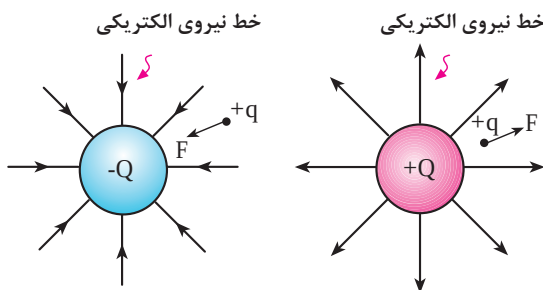
۱۴ بوبینی به طول متوسط ۱۲ سانتی‌متر ۶۰۰ حلقه سیم بر روی آن پیچیده شده است. اگر جریان ۰/۴ A از سیم پیچ عبور کند، شدت میدان مغناطیسی چند $\frac{A}{m}$ است؟

الف) ۲۰۰ ب) ۲۳۰ ج) ۱۲۰۰ د) ۲۰۰۰

۱۵ سطح مقطع بوبینی 81mm^2 است. اگر بخواهیم چگالی شار هسته ۰/۹ تسلا باشد فوران موردنیاز چند وبر (wb) است؟

الف) $72/9 \times 10^{-6}$ ب) 9×10^{-3} ج) $72/9 \times 10^{-3}$ د) 81×10^{-3}

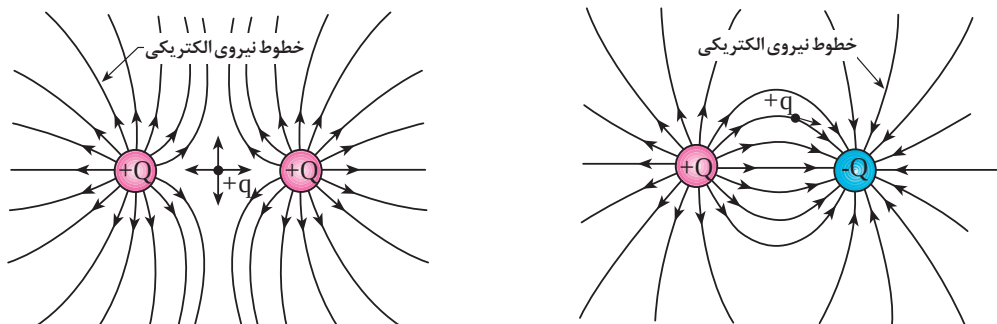
۸-۱- میدان الکتریکی



شکل ۸-۱- جهت نیروی الکتریکی در اطراف ذرات باردار

مفهوم میدان مربوط به ناحیه‌ای است در فضای اطراف یک جسم باردار (Q) که می‌تواند عملاً مورد استفاده قرار گیرد. مانند ذره باردار (-Q) در صورتی که یک جسم باردار دیگر مانند ذره (+Q) شکل ۸-۱ در این ناحیه قرار گیرد طبق قانون کولن به آن نیرویی وارد می‌شود. بنابراین در یک ناحیه از فضا وقتی می‌توان گفت میدان الکتریکی وجود دارد که به بار الکتریکی واقع در آن ناحیه یک نیرو وارد شود.

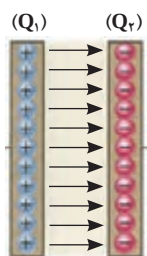
شکل ۸-۲ وضعیت میدان الکتریکی دو بار همنام و غیرهمنام را در کنار یکدیگر نشان می‌دهد. شدت و جهت خطوط میدان الکتریکی به اندازه بار هر ذره و فاصله بین آنها بستگی دارد.



ب) خط نیروی الکتریکی دو بار همنام

الف) خط نیروی الکتریکی دو بار غیرهمنام

شکل ۸-۲- اثر میدان‌های الکتریکی بارهای همنام و غیرهمنام بر یکدیگر.

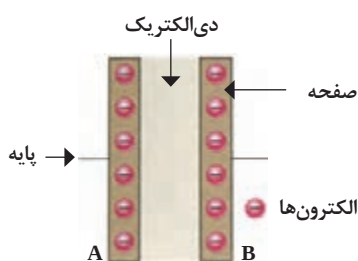


شکل ۸-۳- میدان الکتریکی
موجود بین دو صفحه

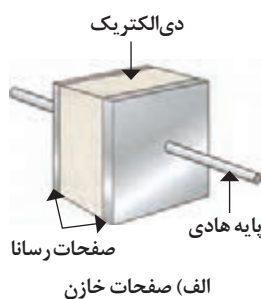
اگر دو صفحه تخت باردار را مطابق شکل ۸-۳ در مقابل یکدیگر و در حد فاصل یک ماده دی الکتریک قرار دهیم میدان الکتریکی که در بین دو صفحه به وجود می آید در تمام نقاط ثابت است. این نوع میدان را «میدان الکتریکی یکنواخت» می گویند.

۸-۲- ساختمان خازن^۱

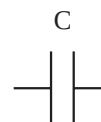
اگر دو صفحه رسانا (هادی) را توسط یک نارسنا (عایق) از هم جدا کنیم یک «خازن» شکل می گیرد. خازن برای ذخیره بار الکتریکی به کار می رود. شکل ۸-۴ تصویر ساده ای از یک نمونه خازن را نشان می دهد. همان طوری که از شکل ۸-۴ مشاهده می شود خازن از دو قسمت اصلی تشکیل شده است.



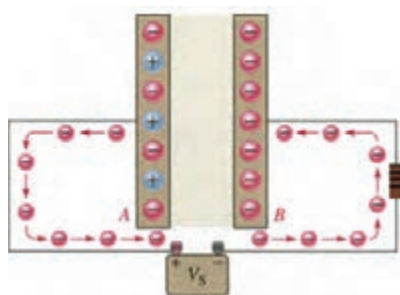
شکل ۸-۵- صفحات باردار خازن



شکل ۸-۴- اجزای داخلی خازن

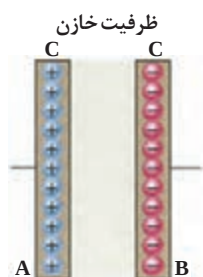


(ب) علامت اختصاری خازن



شکل ۸-۶

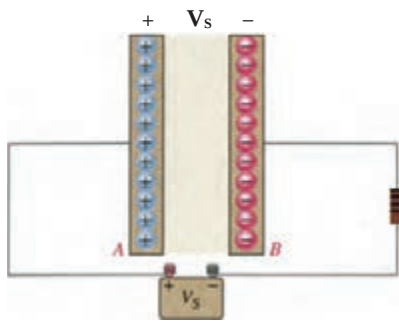
هرگاه صفحات یک خازن به ولتاژی اتصال داده شود بار الکتریکی در صفحات خازن ذخیره می شود. این شرایط تا زمانی که خازن خالی نشود باقی می ماند. به همین دلیل از خازن در مدارهای الکتریکی به منظور ذخیره انرژی الکتریکی استفاده می شود. (شکل ۸-۶) ذخیره انرژی الکتریکی به این معنی است که پس از قطع منبع ولتاژ بارهای الکتریکی همچنان باقی بمانند.



شکل ۸-۷

۸-۳- ظرفیت خازن

میزان توانایی یک خازن در ذخیره کردن بار الکتریکی را «ظرفیت خازن» می گویند و آن را با حرف C نمایش می دهند. (شکل ۸-۷)



شکل ۸-۸

اگر دو خازن را به یک منبع ولتاژ اتصال دهیم و بار الکتریکی در آنها ذخیره کنیم چنانچه بار ذخیره شده در یکی بیشتر از دیگری باشد، ظرفیت آن خازن بیشتر است. (شکل ۸-۸)
ظرفیت خازن را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

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

C - ظرفیت خازن

Q - بار الکتریکی ذخیره شده در صفحات

V - ولتاژ دو سر خازن

برای بررسی اثر افزایش یا کاهش یک عامل بر روی یکی از کمیت‌ها، می‌بایست کمیت سوم ثابت در نظر گرفته شود. مثلاً در صورت ثابت در نظر گرفتن بار Q مشاهده می‌شود که C با V رابطه عکس دارد. واحد اصلی ظرفیت خازن «فاراد» است و این در صورتی صادق است که Q بر حسب کولن و V بر حسب ولت باشد. چون فاراد واحد بسیار بزرگی است. لذا از واحدهای کوچک‌تر مانند میکروفاراد و نانوفاراد استفاده می‌شود. جدول ۸-۱ واحدهای کوچک‌تر خازن و ضرایب آنها را نشان می‌دهد.

جدول ۸-۱

واحد	حرف اختصاری	ضریب	چگونگی تبدیل
فاراد	f	واحد اصلی	برای تبدیل از واحد بزرگ‌تر به واحد کوچک‌تر در ضرایب ضرب می‌شود. 
میلی فاراد	mf	10^3	
میکروفاراد	μf	10^6	
نانوفاراد	nf	10^9	
بیکوفاراد	pf	10^{12}	

مثال: خازنی با ظرفیت ۱۰۰ نانو فاراد برابر با چند فاراد است؟

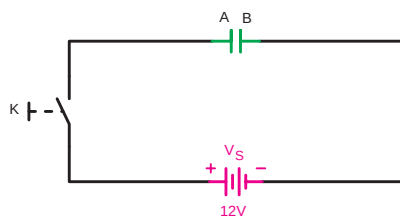
حل:

$$C = 100 \text{ nf}$$

$$C = 10^2 \div 10^9 = 10^{-7} [f]$$

در صورتی که بخواهیم از واحد کوچک‌تر به واحد بزرگ‌تر تبدیل کنیم باید بر ضرایب فوق تقسیم کنیم.

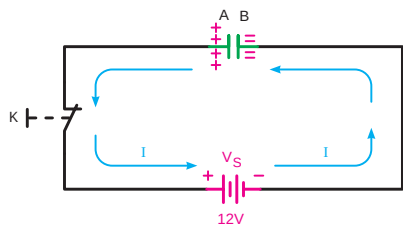
توجه



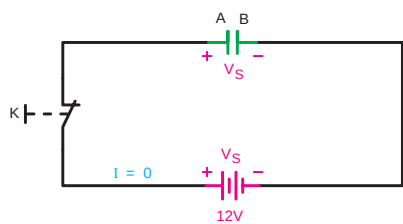
شکل ۸-۹ - خازن خالی

۸-۴ - شارژ و دشارژ خازن در جریان مستقیم

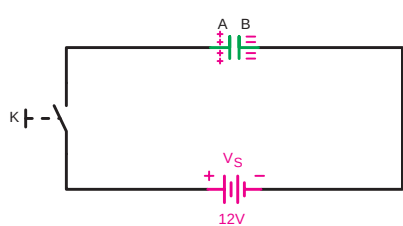
وقتی یک خازن را به ولتاژ DC وصل کنیم خازن شارژ می‌شود. شکل ۸-۹ یک خازن خالی را نشان می‌دهد. در این حالت تعداد الکترون‌های آزاد صفحات A و B با هم برابر هستند. (در صورت خالی بودن صفحات صفر است)



شکل ۸-۱۰- خازن در حال شارژ

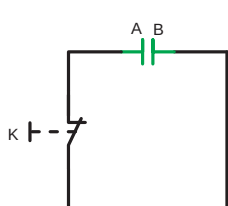


شکل ۸-۱۱- خازن شارژ کامل

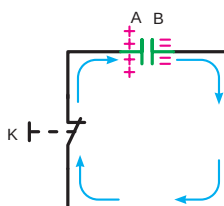


شکل ۸-۱۲- در صفحات خازن بار ذخیره شده.

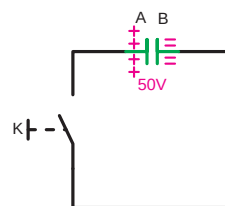
برای تخلیه بار الکتریکی صفحات خازن می‌بایست خازن را از منبع تغذیه باز کنیم و دو صفحه خازن A و B را به یکدیگر اتصال دهیم. به عنوان مثال شکل ۸-۱۳ مسیر تخلیه الکتریکی (دشارژ) خازنی را که تا ۵۰ ولت پر شده است، نشان می‌دهد.



ج) خازن دشارژ کامل

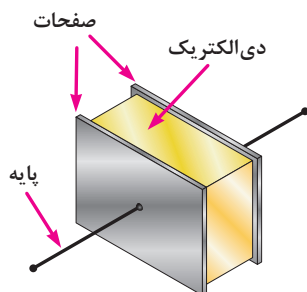


ب) خازن در حال دشارژ



الف) خازن شارژ کامل

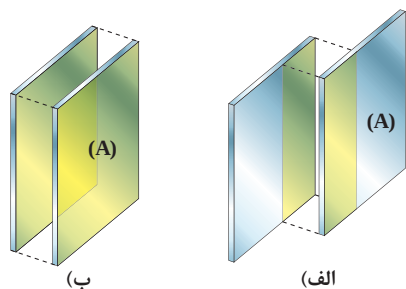
شکل ۸-۱۳- خازن شارژ در حال تخلیه



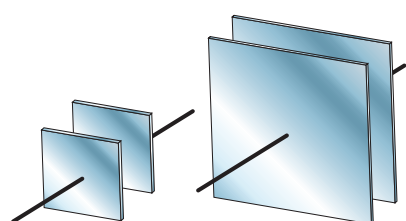
شکل ۸-۱۴- قسمت‌های مختلف یک خازن

۸-۵- عوامل مؤثر در ظرفیت خازن

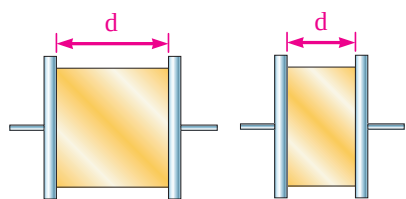
عوامل الکتریکی و فیزیکی گوناگونی در ظرفیت یک خازن مؤثر هستند که در اینجا فقط به بررسی عوامل فیزیکی می‌پردازیم. شکل ۸-۱۴ تصویر ساده‌ای از خازن را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۱۵- سطوح مؤثر صفحات خازن



شکل ۸-۱۶- خازن با سطح صفحات متفاوت



شکل ۸-۱۷- اثر تغییر فاصله بین صفحات بر روی ظرفیت

۸-۵-۱- سطح صفحات خازن (A)

منظور از سطح صفحات خازن سطح مؤثر بین دو صفحه است. زیرا اثر میدان الکتریکی بین دو صفحه زمانی وجود خواهد داشت که این دو صفحه با بارهای الکتریکی مخالف در مقابل هم قرار گیرند. (شکل ۸-۱۵)

هرچه سطح مؤثر بین صفحات بیشتر باشد ظرفیت خازن نیز افزایش می‌یابد. ظرفیت خازن نشان داده شده در شکل ۸-۱۶ الف دو برابر ظرفیت خازن شکل ۸-۱۶ ب است.

۸-۵-۲- فاصله بین صفحات خازن (d)

ظرفیت خازن با فاصله بین صفحات آن رابطه عکس دارد. چون هر چه فاصله بین صفحات افزایش می‌یابد ظرفیت خازن کم می‌شود. (شکل ۸-۱۷) دو خازن الف و ب را با هم مقایسه می‌کند. چون فاصله صفحات خازن ب دو برابر صفحات خازن الف است، بنابراین ظرفیت خازن الف دو برابر ظرفیت خازن ب می‌شود.

جدول ۸-۲

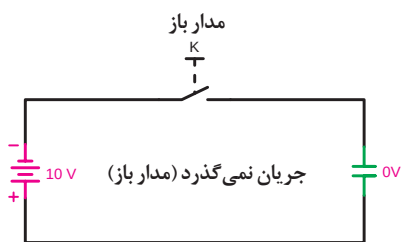
ضریب دی‌الکتریک	ماده دی‌الکتریک
۱	هوا
۴/۲	شیشه
۵-۹	میکا
۴/۵-۷/۵	باکلیت
۲/۸	لاستیک
۳/۵	کاغذ
۲/۲	پارافین

۸-۵-۳- ماده عایق (دی‌الکتریک - K)

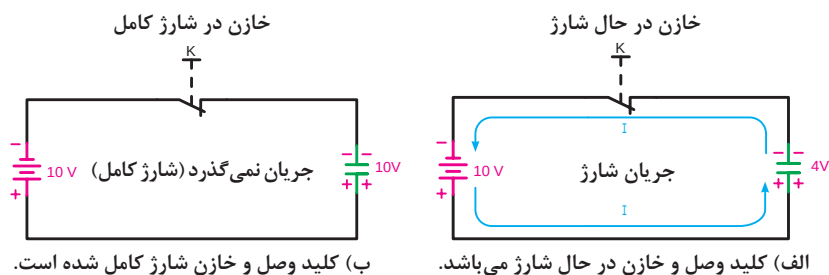
یکی دیگر از عواملی که در ظرفیت خازن تأثیر مستقیم دارد، ماده عایق (دی‌الکتریک) به کار رفته در بین دو صفحه خازن است. هر چه خاصیت عایقی ماده به کار رفته زیادتر باشد ظرفیت خازن بیشتر خواهد شد. جدول ۸-۲ خاصیت عایقی چند ماده را نشان می‌دهد. ضریب دی‌الکتریک همه مواد نسبت به هوا سنجیده می‌شوند.

۸-۶- عملکرد خازن در جریان الکتریکی

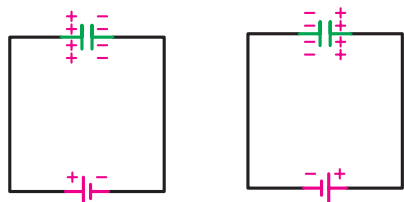
۸-۶-۱ رفتار خازن در جریان مستقیم (DC)



هرگاه خازنی در مدار جریان مستقیم قرار گیرد مقدار جریان الکتریکی مدار آن در تمام لحظات پس از وصل کلید یکسان نیست. در لحظه اول که صفحات خازن خالی است به محض وصل کلید، الکترون‌های زیادی با سرعت به طرف سطح صفحات حرکت می‌کنند. شکل ۸-۱۸ عایق بین صفحات خازن باعث می‌شود تا الکترون‌های جمع شده در یک صفحه ارتباطی با صفحه مقابل نداشته باشد و صفحات خازن باردار شوند. (شکل ۸-۱۹-الف) حرکت الکترون‌ها تا زمانی که عمل شارژ در صفحات وجود دارد، ادامه می‌یابد و رفته‌رفته مقدار جریان عبوری از مدار کم می‌شود. زیرا سطح صفحات خازن شارژ کامل شده و از عبور جریان جلوگیری می‌کنند. (شکل ۸-۱۹-ب) در واقع در لحظه اول ولتاژ دو سر خازن صفر بوده ولی جریان عبوری از آن زیاد است. در صورتی که چند لحظه پس از وصل کلید جریان به صفر رسیده و ولتاژ بین صفحات خازن، به مقدار حداکثر خود می‌رسد.

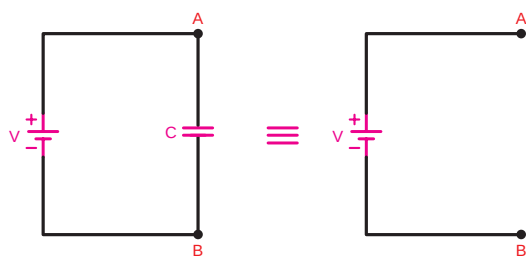


شکل ۸-۱۹



وضعیت صفحات خازن از نظر نوع بار الکتریکی ذخیره شده به نحوه اتصال پلاریته منبع تغذیه بستگی دارد. یعنی اگر جهت قطب‌های خازن را عوض کنیم نوع بارهایی که در صفحات خازن ذخیره می‌شوند، نیز تغییر خواهد کرد. (شکل ۸-۲۰)

شکل ۸-۲۰ وضعیت صفحات خازن از نظر نحوه اتصال به پلاریته منبع تغذیه



شکل ۸-۲۱

همان‌طور که اشاره شد چون صفحات خازن توسط دی‌الکتریک از یکدیگر فاصله دارند و هیچ ارتباطی بین آنها وجود ندارد و در شرایط دائم کار جریان DC صفحات خازن پر شده و هیچ جریانی از مدار نمی‌گذرد به همین دلیل در اکثر کتاب‌های تخصصی رفتار خازن در شرایط دائم کار جریان DC را به صورت مدار باز در نظر می‌گیرند. (شکل ۸-۲۱)

تذکر



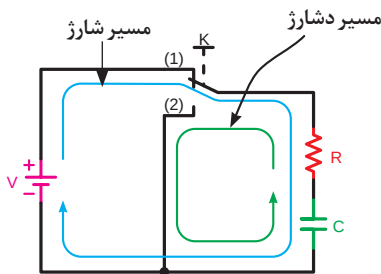
۸-۶-۲ شارژ و دشارژ (ثابت زمانی خازنی)

تمام مراحل و اتفاقات اشاره شده در یک لحظه کوتاه اتفاق می افتد. در مدار خازن ها برای افزایش زمان شارژ و دشارژ از یک مقاومت سری در مسیر خازن ها استفاده می کنیم.

در شکل ۸-۲۲ مسیر شارژ (کلید حالت ۱) و دشارژ (کلید حالت ۲) خازن C نشان داده شده است.

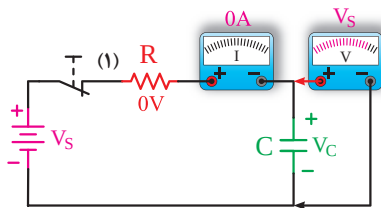
شکل ۸-۲۳ الف مدار خازنی را در لحظه وصل کلید از نظر ولتاژ و جریان نشان می دهد.

شکل ۸-۲۳ ب یک مدار خازنی را در شرایطی نشان می دهد که کلید، مدت زمانی طولانی وصل بوده و ولتاژ و جریان نسبت به حالت الف عکس شده است. یعنی ولتاژ به مقدار حداکثر و جریان مدار به صفر می رسد.

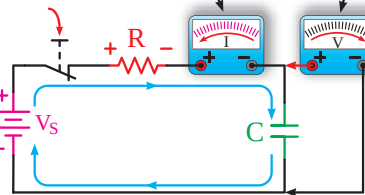


شکل ۸-۲۲ مسیر شارژ و دشارژ خازن

وقتی کلید خاموش می شود ولتاژ بلافاصله صفر می شود و سپس افزایش می یابد. وقتی کلید بسته می شود جریان به سرعت به حد ماکزیمم می رسد و سپس کاهش می یابد.



ب) شارژ کامل: ولتاژ خازن با ولتاژ منبع برابر شده و جریان صفر می شود.

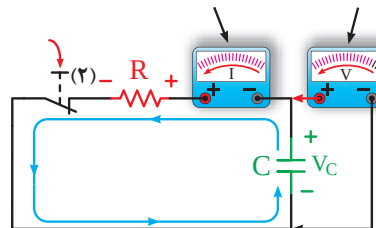


الف) در حال شارژ: ولتاژ خازن با کاهش ولتاژ مقاومت و جریان افزایش می یابد.

شکل ۸-۲۳

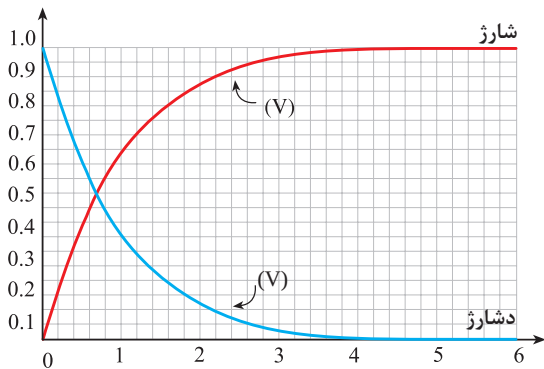
اگر منبع تغذیه را برداشته و ولتاژ دو سر خازن را از طریق مقاومت اهمی دشارژ کنیم مقدار ولتاژ و جریان خازن مطابق شکل ۸-۲۴ خواهد شد.

وقتی کلید خاموش می شود جریان بلافاصله به حداکثر می رسد و سپس کاهش می یابد. وقتی خازن تخلیه می شود ولتاژ کاهش می یابد.



تخلیه بار خازن: ولتاژ مقاومت و جریان از مقدار حداکثر اولیه کاهش می یابد. توجه داشته باشید که جریان تخلیه با جریان بار می باشد.

شکل ۸-۲۴



شکل ۸-۲۵- منحنی‌های ولتاژ خازن در حالت شارژ و دشارژ

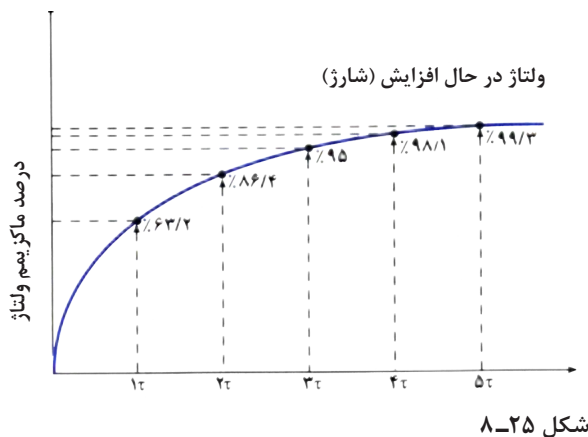
شکل ۸-۲۵ منحنی تغییرات ولتاژ خازن را در حالت شارژ و دشارژ به صورت کلی نشان می‌دهد. همان‌گونه که از منحنی‌های شارژ و دشارژ خازن مشخص است در صورت استفاده از مقاومت در مسیر آن ولتاژ خازن چه در مسیر افزایش (شارژ) و چه در مسیر کاهش (دشارژ) با یکسری پرش‌های ولتاژی و در طی یک بازه مشخصی به مقدار حداکثر و حداقل خود می‌رسد. اصطلاحاً به مدت زمانی که طول می‌کشد تا ولتاژ خازن به اندازه $63/2\%$ مقدار ماکزیمم خود افزایش یا کاهش یابد «ثابت زمانی» گفته و با حرف (τ) - تلو و برحسب ثانیه مطابق رابطه مقابل محاسبه می‌کنند.

$$\begin{aligned} &[\Omega - \text{اهم}] \\ &\downarrow \\ &[\text{فاراد} - f] \leftarrow \tau = R.C \leftarrow [\text{ثانیه} - s] \end{aligned}$$

بر پایه آزمایش‌های انجام شده روی یک خازن مشخص گردیده پس از گذشت ۵ ثابت زمانی ولتاژ دو سر آن به مقدار حداکثر (در شرایط شارژ) و به مقدار حداقل (در شرایط دشارژ) می‌رسد. مدت زمان شارژ یا دشارژ کامل یک خازن را مطابق رابطه مقابل می‌توان چنین محاسبه کرد.

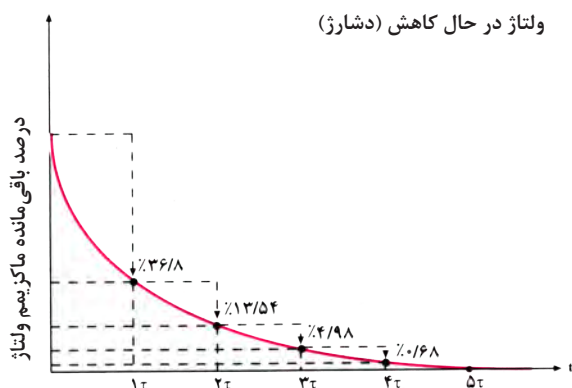
$$\text{ثابت زمانی خازنی} \leftarrow T = 5\tau \leftarrow \text{مدت زمان شارژ و دشارژ کامل خازن}$$

براساس این مطالب پس می‌توان منحنی‌های شارژ و دشارژ دقیق یک خازن را به همراه جداول شارژ و دشارژ به ترتیب مطابق شکل‌های ۸-۲۵ و ۸-۲۶ مشاهده کنید.



تعداد ثابت زمانی	درصد ماکزیمم ولتاژ شارژ
۱	۶۳
۲	۸۶
۳	۹۵
۴	۹۸
۵	۹۹
تقریباً ۱۰۰٪	

شکل ۸-۲۵

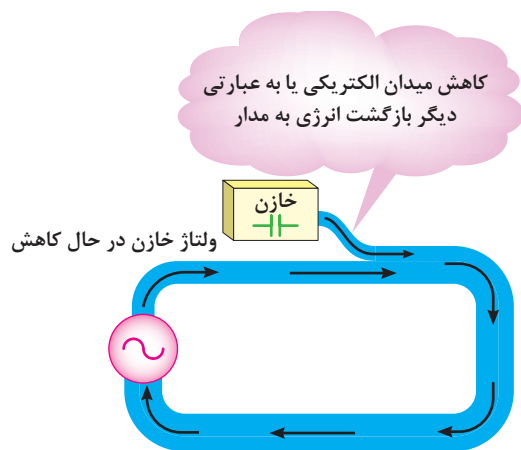


شکل ۸-۲۶

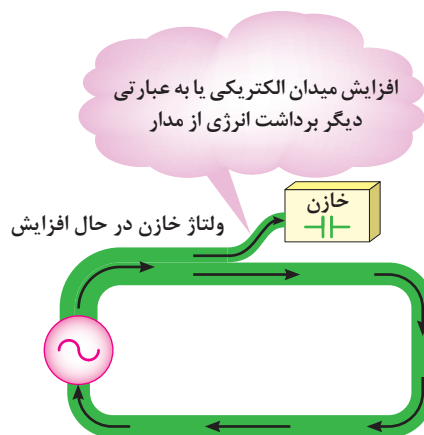
۸-۷- خازن از نقطه نظر انرژی

خازن‌ها نیز مشابه سلف‌ها هرگاه به جریان متغیری متصل شوند به طوری که ولتاژ دو سر آنها تغییر کند دائماً در حال تبادل انرژی خواهند بود.

انرژی ذخیره شده در یک خازن به صورت ذخیره‌سازی بارهای الکترواستاتیکی در سطح صفحات آن صورت می‌گیرد. یک خازن در لحظاتی که ولتاژ دو سر آن در حال افزایش است یعنی در شرایط دریافت و ذخیره‌سازی انرژی مطابق شکل ۸-۲۷ است. هنگامی که ولتاژ خازن شروع به کاهش کند بارهای الکترواستاتیکی شروع به کم شدن کرده و انرژی ذخیره شده را مطابق شکل ۸-۲۸ به مدار باز می‌گرداند.



شکل ۸-۲۸

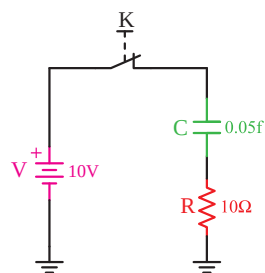


شکل ۸-۲۷

۸-۸- انرژی ذخیره شده در خازن

مقدار انرژی ذخیره شده در یک خازن را از رابطه مقابل می‌توان به دست آورد.

$$W_c = \frac{1}{2} C \cdot V_c^2$$



شکل ۸-۲۹

C - ظرفیت خازن بر حسب فاراد [f]

V_c - ولتاژ دو سر خازن بر حسب ولت [v]

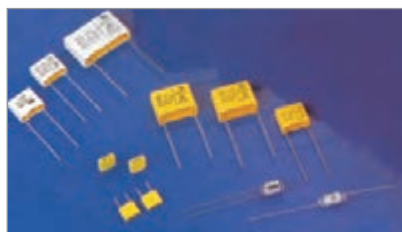
W_c - انرژی ذخیره شده در خازن بر حسب ژول [J]

مثال: مقدار انرژی ذخیره شده در خازنی با مشخصات نشان داده شده در شکل ۸-۲۹ را در صورتی که کلید K برای مدت زمان طولانی بسته شده باشد چند ژول است؟
 حل: در شرایط دائم کار خاصیت خازنی وجود ندارد و خازن را به صورت مدار باز در نظر می گیریم و همه ولتاژ منبع در دو سر خازن قرار می گیرد.

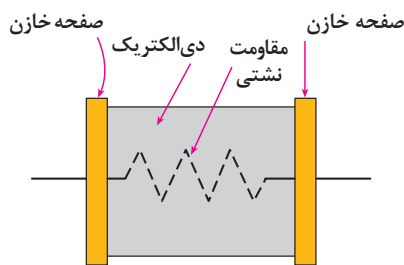
$$V_C = V = 10\text{V}$$

$$W_C = \frac{1}{2} C \cdot V_C^2 \Rightarrow W_C = \frac{1}{2} \times 0.5 \times (10)^2 = 2.5 [\text{J}]$$

۹-۸- ظرفیت نامی خازن



شکل ۸-۳۰



شکل ۸-۳۱

مقدار ظرفیتی که روی بدنه خازن ها نوشته می شود، «ظرفیت اسمی» یا «ظرفیت نامی» می نامند و مقدار ظرفیت واقعی خازن معمولاً بیشتر یا کمتر از ظرفیت اسمی آن است.
 یکی از علل این افت مربوط به مقاومت داخلی (مقاومت نشتی) بین دو صفحه خازن است.

چون در عمل ماده ای با خاصیت عایقی صددرصد وجود ندارد، مواد عایقی که بین صفحات خازن قرار می گیرند مقدار بسیار کمی جریان از خود عبور می دهند. دی الکتریک خازن دارای مقاومت زیادی است که آن را «مقاومت نشتی» گویند. هر قدر مقاومت نشتی بیشتر باشد ظرفیت خازن زیادتر می شود.
 خازن های بزرگ چون دارای سطح صفحات بزرگی هستند، لذا مقاومت نشتی آنها کم بوده و در نتیجه ظرفیت واقعی خوبی ندارند. (شکل ۸-۳۱)

۱۰-۸- انواع خازن ها و کدهای رنگی آنها

به طور کلی خازن ها به دو دسته زیر تقسیم می شوند:

۱ خازن های ثابت

۲ خازن های متغیر

۱-۱۰-۸- خازن های ثابت

ظرفیت این خازن ها ثابت است و نمی توان مقدار آنها را تغییر داد. این نوع خازن ها براساس جنس ماده دی الکتریک نام گذاری می شوند. از انواع خازن های ثابت می توان خازن های کاغذی، سرامیکی و میکایی را نام برد. (شکل ۸-۳۲) این خازن ها در ظرفیت های کم ساخته می شوند. نوع دیگری از خازن های ثابت وجود دارد که در ظرفیت های زیاد ساخته می شود. این خازن ها را «خازن های الکترولیتی» می نامند.



الف) شکل ظاهری خازن الکترولیتی



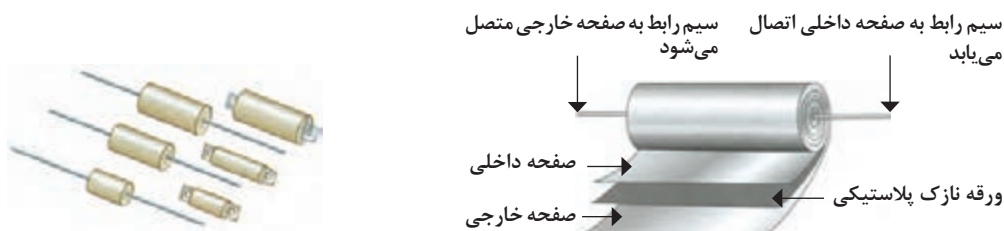
ب) شکل ظاهری خازن سرامیکی



ج) شکل ظاهری خازن

شکل ۸-۳۲- شکل ظاهری چند خازن به همراه مشخصات اسمی

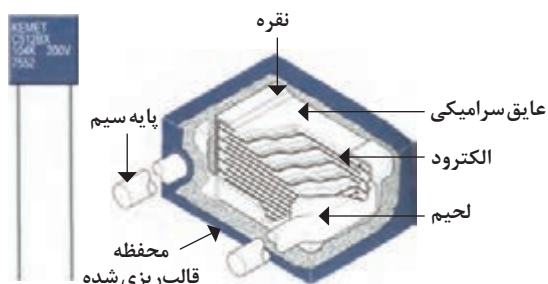
خازن‌های کاغذی: دی‌الکتریک این نوع خازن یک کاغذ مشبک آغشته به یک دی‌الکتریک مناسب است. صفحات هادی خازن از جنس آلومینیوم ساخته می‌شود. از این خازن‌ها بیشتر در ولتاژها و جریان‌های زیاد استفاده می‌شود. شکل ۸-۳۳ ساختمان داخلی و شکل ۸-۳۴ ظاهر این خازن‌ها را نشان می‌دهد.



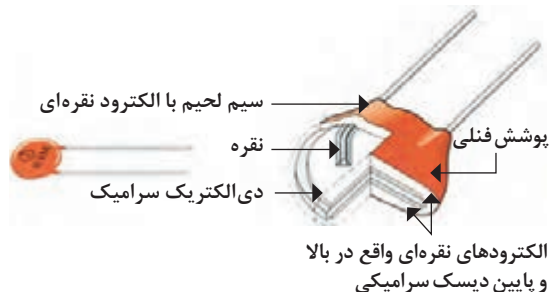
شکل ۸-۳۴

شکل ۸-۳۳ - مقاومت نشتی خازن‌ها در حد مگا اهم است.

خازن‌های سرامیکی: عایق به کار رفته در این خازن‌ها از جنس سرامیک و صفحات هادی آن آلومینیومی است. سیم‌های رابط را به صفحات آلومینیومی وصل می‌کنند. مجموع خازن سرامیکی را با محلول مومی شکلی به نام فنولیک می‌پوشانند. این خازن‌ها بیشتر در مدارهای گیرنده رادیویی به کار می‌روند. (شکل‌های ۸-۳۵ و ۸-۳۶)



شکل ۸-۳۶

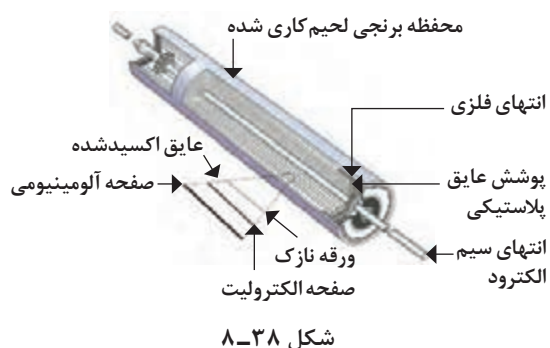


شکل ۸-۳۵



شکل ۸-۳۷

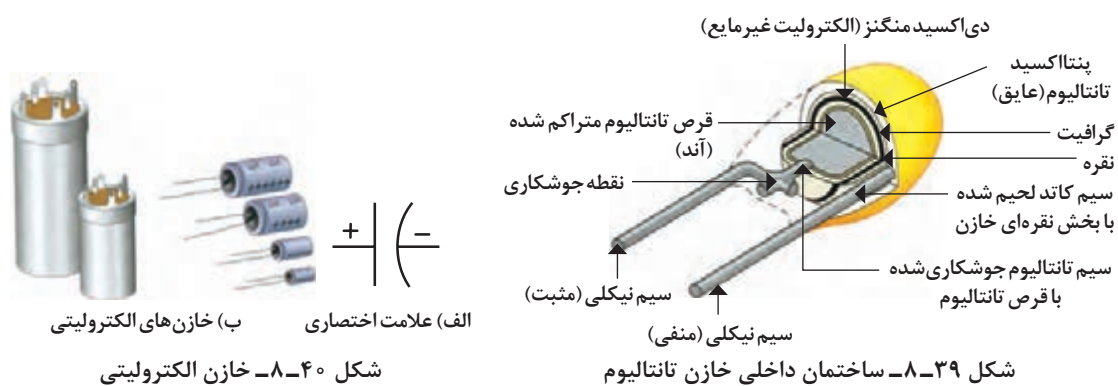
خازن‌های میکا: در این خازن‌ها عایق به کار رفته از جنس میکا و صفحات هادی از جنس نقره است که در دمای بالا روی ورقه‌های میکا را به صورت یک در میان روی یک‌دیگر قرار می‌دهند و در نهایت سرهای صفحات را با سیم به هم لحیم می‌کنند. (شکل ۸-۳۷)



شکل ۸-۳۸

خازن‌های الکترولیتی: این نوع خازن‌ها ظرفیت‌های نسبتاً بالایی دارند. صفحات آن از جنس آلومینیوم یا تانتالیوم است. اکثر خازن‌های الکترولیتی قطبی هستند یعنی قطب‌های مثبت و منفی روی پایه‌های آن مشخص شده است. چگونگی ساخت آنها بدین صورت است که در هنگام ساخت یک ورقه آلومینیومی به نام آند با یک ورقه آلومینیومی دیگر به نام کاتد به همراه دو لایه کاغذ مشبک به عنوان عایق در بین دو

ورقه آلومینیومی قرار می‌گیرند. مجموعه به صورت استوانه روی هم پیچیده می‌شود. (شکل ۸-۳۸)
از خازن‌های الکترولیتی در منابع تغذیه الکترونیکی و تایمرهای الکترونیکی استفاده می‌شود. شکل‌های ۸-۳۹ و ۸-۴۰ ساختمان داخلی و ظاهری نمونه‌هایی از این خازن‌ها را نشان می‌دهند.



شکل ۸-۳۹ ساختمان داخلی خازن تانتالیوم

شکل ۸-۴۰ خازن الکترولیتی

۲-۱۰-۸ اطلاعاتی در مورد خازن‌های الکترولیتی

خازن‌های الکترولیت در چند نوع مختلف نیز تولید می‌شوند:

۱- نوع استوانه‌ای یک طرفه^۱: در این نوع سیم‌های خازن از یک طرف بیرون می‌آید. (شکل ۸-۴۱)



شکل ۸-۴۱

۲- نوع هم‌محور^۲: سیم‌های این خازن از دو طرف آن بیرون می‌آید و روی بدنه خازن در طرف قطب مثبت فرو رفتگی دارد. (شکل ۸-۴۲)



شکل ۸-۴۲

۳- نوع غیرقطبی^۳: این خازن‌ها قطب مثبت و منفی ندارند و آنها را می‌توان از هر طرف در مدار به کار برد. روی بدنه بسیاری از این خازن‌ها در هر دو طرف فرو رفتگی وجود دارد. (شکل ۸-۴۳)



شکل ۸-۴۳

۱- Single-End or Radial

۲- Axial

۳- Non-Polar



شکل ۸-۴۴

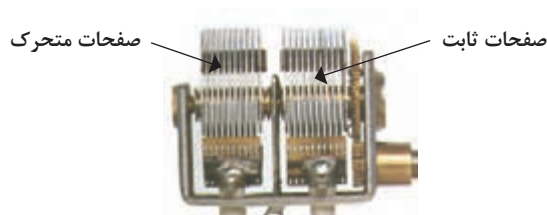
۴- نوع قوطی^۱: این خازن‌ها به شکل استوانه هستند و ترمینال‌های مربوط به قطب مثبت و منفی آنها از طرف یکی از قاعده‌های استوانه بیرون آمده است. روی بدنه خازن در آن طرف که ترمینال‌ها بیرون آمده‌اند، یک فرورفتگی وجود دارد. این خازن‌ها به وسیله بست کمربندی مخصوصی روی دستگاه نصب می‌شوند. (شکل ۸-۴۴)

۳-۱-۸- خازن‌های متغیر

به خازن‌هایی گفته می‌شود که دارای ظرفیت ثابت نیستند. ظرفیت آنها با تغییر در یکی از عوامل سطح صفحات یا فاصله بین آنها تغییر می‌کند. ماده دی‌الکتریک این خازن‌ها هوا یا پلاستیک است. از خازن‌های متغیر در گیرنده‌های رادیویی استفاده می‌شود. این خازن‌ها در دو شکل «خازن واریابل» و یا «تریمر» مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل ۸-۴۵ «خازن واریابل» و شکل ۸-۴۶ «خازن‌های تریمر» را نشان می‌دهد. ظرفیت خازن واریابل با کمک دست و با چرخاندن محور، ولی ظرفیت خازن تریمر با چرخاندن محور به وسیله پیچ‌گوشتی تغییر می‌کند.



شکل ۸-۴۶- خازن تریمر



شکل ۸-۴۵- خازن واریابل

در انتخاب یک خازن می‌بایست به مشخصه‌های مهم آن توجه داشت:

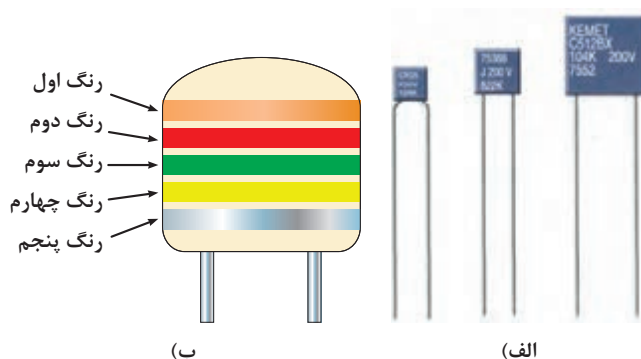
- ۱ ظرفیت: مقدار گنجایش بار الکتریکی خازن.
- ۲ ولتاژ کار: حداکثر ولتاژی که می‌توان به طور دائم به خازن اعمال کرد.
- ۳ تolerانس: حداکثر انحراف مجاز نسبت به ظرفیت اسمی خازن.
- ۴ ضریب حرارتی: حداکثر میزان تغییر ظرفیت خازن به ازای تغییر یک درجه حرارت.

برخی از موارد فوق را در شکل ۸-۴۷ مشاهده می‌کنید.



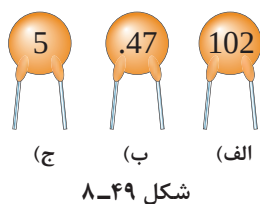
شکل ۸-۴۷

مقادیر مربوط به مشخصات فوق را در بعضی خازن‌ها روی بدنه آنها می‌نویسند و در برخی دیگر به کمک کدهای رنگی مشخص می‌کنند که در اینجا به ذکر نمونه‌هایی برای هر دو حالت می‌پردازیم. (شکل ۸-۴۸) هر یک از روش‌های نواری رنگی یا نوشتن ظرفیت خازن‌ها خود به راه‌های مختلف انجام می‌شود که باختصار به بررسی آنها می‌پردازیم.



شکل ۸-۴۸

۸-۱۰-۴- روش مقدارنویسی ظرفیت روی بدنه خازن‌ها



شکل ۸-۴۹

در برخی موارد روی بدنه خازن‌ها ظرفیت را با یک عدد اعشاری و یا یک عدد صحیح (به صورت رمز) مشخص می‌کنند. اگر عدد به صورت اعشاری باشد ظرفیت برحسب میکروفاراد و در صورتی که عدد به صورت عدد صحیح بیان شود برحسب پیکوفاراد است. به عنوان مثال اگر روی بدنه خازن‌ها مطابق شکل ۸-۴۹ نوشته شده باشد ظرفیت آنها برابر است با:

$$\begin{aligned} \text{(الف)} \quad 102 &= 100 \text{ pf} \\ \text{(ب)} \quad .47 &= 0.47 \mu\text{f} \\ \text{(ج)} \quad 5 &= 5 \text{ pf} \end{aligned}$$

جدول ۸-۳

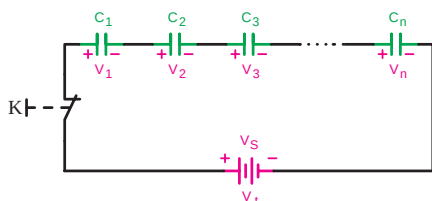
حرف اختصاری	تولرانس
B	% ۰/۱
C	% ۰/۲۵
D	% ۰/۵
F	% ۱
G	% ۲
H	% ۳
J	% ۵
K	% ۱۰
M	% ۲۰

در این روش برای بیان تولرانس خازن از حروف اختصاری مشابه جدول ۸-۳ استفاده می‌شود.

۸-۱۱- به هم بستن خازن‌ها

اگر ظرفیت خازنی مورد نیاز باشد که در محدوده ظرفیت‌های استاندارد نباشد، می‌توان با متصل کردن چند خازن به صورت سری، موازی یا ترکیبی، خازن موردنظر را به دست آورد.

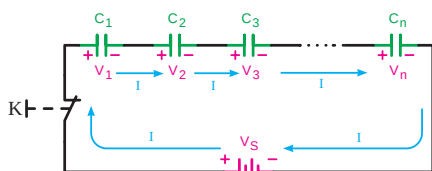
۸-۱۱-۱ اتصال سری خازن‌ها



شکل ۸-۵۰

هرگاه دو یا n خازن به صورت متوالی اتصال یابند یعنی انتهای اولی به ابتدای دومی و انتهای دومی به ابتدای سومی و این کار تا آخرین خازن ادامه داشته باشد. این نوع اتصال را «سری» گویند. (شکل ۸-۵۰) (مانند اتصال سری مقاومت‌ها) روابط حاکم بر این مدارها به صورت زیر است:

■ عامل مشترک مدار:

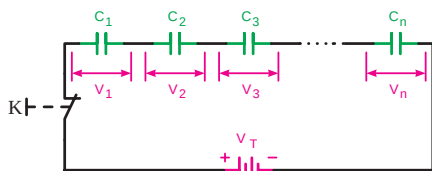


شکل ۸-۵۱

چون یک مسیر عبور جریان وجود دارد لذا جریان عبوری یا به عبارت دیگر بار الکتریکی ذخیره شده Q در همه خازن‌ها یکسان است. (شکل ۸-۵۱)

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n = Q_T$$

■ عامل غیرمشترک مدار:



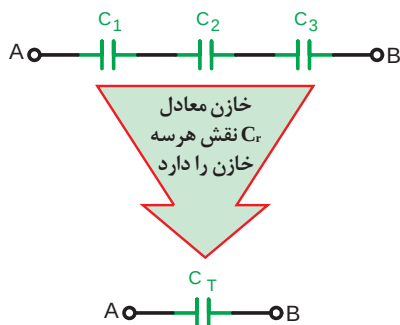
شکل ۸-۵۲

در یک مدار سری خازنی مشابه مدار سری مقاومت، ولتاژ بین اجزای مدار تقسیم می‌شود.

ولتاژ کل مدار بین عناصر مدار به نسبت عکس ظرفیت $\left(V = \frac{Q}{C}\right)$ بین خازن‌ها تقسیم می‌شود. (شکل ۸-۵۲)

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

■ ظرفیت خازن معادل مدار:



شکل ۸-۵۳

با استفاده از رابطه $V = \frac{Q}{C}$ و در نظر گرفتن رابطه تقسیم ولتاژ بین خازن‌های سری می‌توانیم بنویسیم (شکل ۸-۵۳)

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

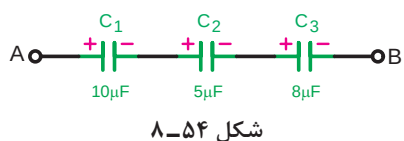
$$\frac{Q_T}{C_T} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3} + \dots + \frac{Q_n}{C_n}$$

همان گونه از رابطه نهایی مشخص است ظرفیت خازن معادل در مدارهای سری عکس رابطه مربوط به مقاومت های سری است.

نکته



مقدار ظرفیت خازن معادل از کوچک ترین ظرفیت خازن در مدار کوچک تر است.



مثال: ظرفیت خازن معادل از دو نقطه A و B در شکل ۸-۵۴ چند میکروفاراد است؟
حل: برای محاسبه خازن معادل به صورت مقابل می توان عمل نمود:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

با معکوس کردن رابطه و جایگزینی اعداد، مقدار ظرفیت معادل به دست می آید.

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{5} + \frac{1}{8}}$$

$$C_T = \frac{1}{0.425} = 2.35 \mu F$$

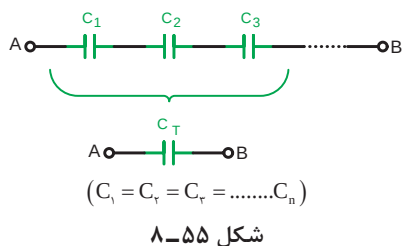
– حالات خاص در مدارهای سری خازنی:

■ اگر n خازن مساوی به طور سری قرار گیرند ظرفیت خازن از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$C_T = \frac{C}{n}$$

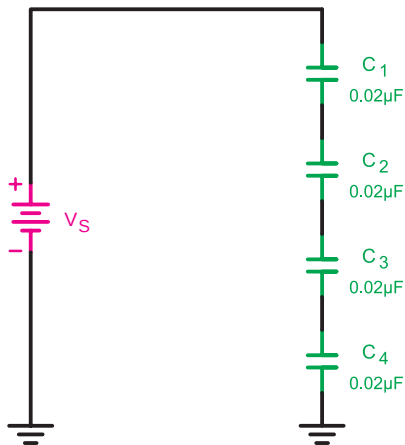
C- ظرفیت یک خازن

n- تعداد خازن ها



■ اگر دو خازن به طور سری بسته شوند می توانیم از رابطه ساده شده نهایی به صورت زیر استفاده کنیم:

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$



شکل ۸-۵۶

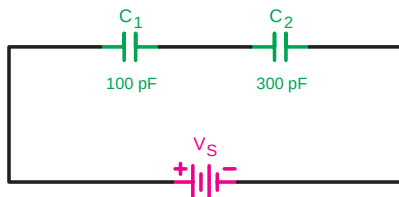
مثال: ظرفیت خازن معادل شکل ۸-۵۶ چند میکروفاراد است؟
حل: ظرفیت خازن‌ها مساوی است.

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C = 0.02$$

پس می‌توانیم بنویسیم:

$$C_T = \frac{C}{n} = \frac{0.02 \mu f}{4} = 0.005 \mu f$$

مثال: ظرفیت خازن معادل شکل ۸-۵۷ چند پیکوفاراد است؟



شکل ۸-۵۷

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{100} + \frac{1}{300} = \frac{3+1}{300} = \frac{4}{300}$$

$$C_T = \frac{300}{4} = 75 \text{ pf}$$

یا با استفاده از رابطه ساده زیر می‌توانیم بنویسیم:

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{100 \times 300}{100 + 300}$$

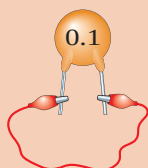
$$C_T = \frac{30000}{400} = 75 \text{ pF}$$

چون در مدار سری $Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$ است می‌توان از Q فاکتور گرفت و آن را از طرفین حذف کرد.
بنابراین رابطه ظرفیت خازن معادل براساس رابطه مقابل برابر است با:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

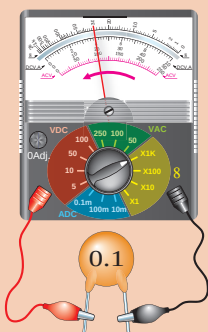


- ۱ ضروری است در آزمایش‌های مربوط به خازن علاوه بر نکات ایمنی کارهای عملی قبل به دو نکته زیر نیز توجه شود.
- ۲ در صورت به کارگیری خازن‌های الکتrolیتی در موقع اتصال آنها به قطب‌های خازن توجه کنید. ضمناً این خازن‌ها را پیش از اتصال در مدار ابتدا مطابق شکل a دشارژ (تخلیه) کنید.
- ۳ قبل از انجام آزمایش‌های مربوط به خازن‌ها مطابق تصاویر نشان داده شده از سالم بودن آنها اطمینان حاصل کنید و سپس آنها را در مدار قرار دهید. (شکل‌های الف، ب، ج، د)

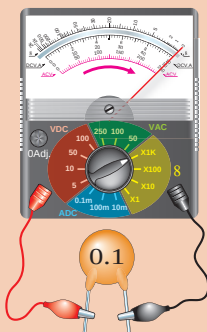


الف) دو پایه خازن را با سیمی به هم وصل کنید تا اتصال کوتاه شده و خازن

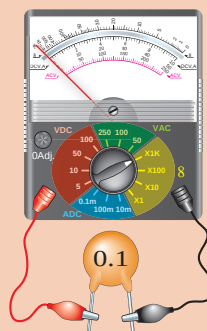
دشارژ شود (روش تخلیه خازن)



ج) اگر عقربه اهم‌متر در ابتدا روی صفر قرار گرفت و سپس به آهستگی بازگشت نشان می‌دهد خازن سالم است.



ب) اگر عقربه اهم‌متر روی عدد صفر قرار گرفت نشان می‌دهد، خازن اتصال کوتاه است.



د) اگر عقربه اهم‌متر حرکتی نداشته باشند نشان می‌دهد که خازن قطع بوده و اشکال دارد.

گاهی ممکن است خازن در تست اهمی سالم نشان دهد (عقربه اهم‌متر حرکت کند و بازگردد) ولی عملاً نشستی داشته باشد و هنگام کار درست جواب ندهد. در این حالت برای اطمینان از سلامت خازن از روش جایگزینی استفاده کنید.





هدف: بررسی مدارهای خازنی سری در جریان مستقیم

وسایل و تجهیزات مورد نیاز (برای هر گروه کار)

ساعت آموزشی		
نظری	عملی	جمع
-	۱	۱

- ۱ منبع تغذیه dc (الکترونیکی)
- ۲ باتری ۱/۵ ولتی
- ۳ بردبرد آزمایشگاهی
- ۴ آوومتر دیجیتالی
- ۵ آوومتر عقربه‌ای
- ۶ میز آزمایشگاهی
- ۷ LC متر
- ۸ سیم چین
- ۹ سیم لخت کن
- ۱۰ سیم تلفنی
- ۱۱ مقاومت $R = 1M\Omega (1W)$
- ۱۲ خازن‌ها
- ۱ عدد $C_1 = 2/2\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت
- ۳ عدد $C_2 = 10\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت
- ۱ عدد $C_3 = 4/7\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت

برای اندازه‌گیری ولتاژ و جریان عناصر مدار می‌توانید از یک آوومتر دیجیتالی یکبار به صورت ولت‌متری و بار دیگر به صورت آمپرمتري به طور جداگانه استفاده کنید.

توجه



الف) اندازه‌گیری و محاسبه ظرفیت خازن معادل

مراحل اجرای آزمایش

۱ هریک از خازن‌های C_1 و C_2 و C_3 را با توجه به مقادیری که روی آنها نوشته شده با LC متر اندازه‌گیری کنید و مقادیر را در جدول ۴-۸ بنویسید.

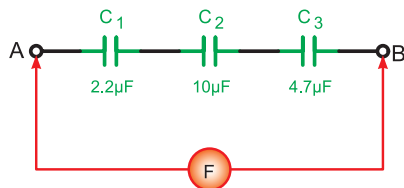
جدول ۴-۸

میزان اختلاف	مقدار اندازه‌گیری شده	مقدار نوشته شده	خازن
			C_1
			C_2
			C_3

۲ در صورتی که بین مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار نوشته شده اختلاف وجود دارد علت را توضیح دهید.

۳ سه خازن C_1 و C_2 و C_3 را مطابق شکل ۸-۵۸ روی بردبرد به صورت سری اتصال دهید و با استفاده از یک دستگاه LC متر ظرفیت خازن معادل مدار را از دو نقطه A و B اندازه بگیرید.

$C_{AB} = \dots \mu f$ (اندازه‌گیری)



ب) شکل مداری



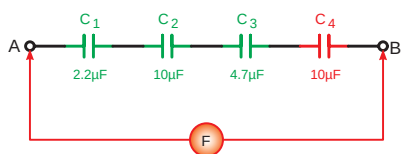
الف) شکل واقعی

شکل ۸-۵۸

۴ مقدار ظرفیت معادل را از رابطه $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$ محاسبه کنید

$C_{AB} = \dots \mu f$ (محاسبه)

۵ آیا مقدار اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با هم مطابقت دارد؟ چرا؟ شرح دهید.



شکل ۸-۵۹

۶ خازن $C_F = 10 \mu f$ را مطابق شکل ۸-۵۹ به مدار شکل ۸-۵۸ اضافه کنید و سپس ظرفیت خازن معادل را با استفاده از LC متر اندازه بگیرید.

$C_{AB} = \dots \mu f$ (اندازه‌گیری)

۷ مقدار ظرفیت معادل را از رابطه $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_F}$ محاسبه کنید.

$C_{AB} = \dots \mu f$ (محاسبه)

۸ ظرفیت خازن معادل نسبت به مرحله ۳ چه تغییری دارد؟ توضیح دهید.

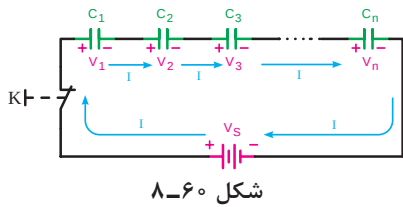
پاسخ



۹ آیا ظرفیت خازن معادل اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با هم مطابقت دارد؟ در صورتی که جواب منفی است علت را شرح دهید.

پاسخ





۱۰ سه خازن $10\ \mu\text{f}$ را مطابق شکل ۸-۶۰ به صورت سری اتصال دهید و ظرفیت خازن معادل را با LC متر اندازه گیری کنید.

$C_{AB} = \dots \mu\text{f}$ (اندازه گیری)

۱۱ مقدار ظرفیت معادل را از رابطه $C_T = \frac{C}{n}$ محاسبه کنید.

$C_{AB} = \dots \mu\text{f}$ (محاسبه)

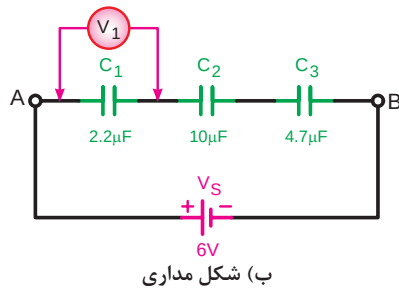
۱۲ از مقادیر به دست آمده چه نتیجه ای می گیرید؟ آیا مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر محاسبه شده مطابقت دارد؟ شرح دهید.

پاسخ



ب) اندازه گیری و محاسبه ولتاژ خازن

۱ مدار شکل ۸-۶۱ را روی برد برد ببندید.



الف) شکل واقعی

شکل ۸-۶۱

از ولت متر عقربه ای یا دیجیتالی با حوزه کار حداقل ۵ ولت استفاده کنید.

تذکر



۲ کلید منبع تغذیه را وصل کرده و پس از سپری شدن مدت زمان ده ثانیه ولتاژ دو سر خازن C_1 را اندازه بگیرید.

$$V_{C_1} = \dots V$$

۳ منبع تغذیه را خاموش کنید و سپس ولت متر را یکبار در دو سر خازن C_2 و بار دیگر در دو سر خازن C_3 اتصال دهید. سپس با وصل منبع تغذیه ولتاژ دو سر هر یک را مشابه مرحله ۲ اندازه گیری کنید.

$$V_{C_2} = \dots V$$

$$V_{C_3} = \dots V$$

۴ از مقایسه مقادیر به دست آمده با ولتاژ منبع تغذیه چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



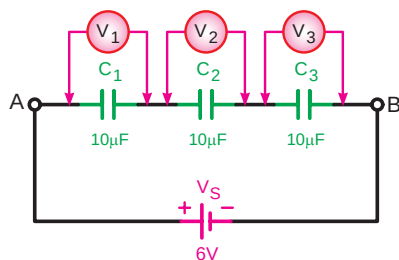
۵ مقدار ولتاژ دو سر هر یک از خازن ها را با کمک روابط $Q_T = C_T \cdot V_T$, $V = \frac{Q_T}{C}$ محاسبه کنید.

پاسخ



۶ آیا مقادیر محاسبه شده با مقادیر اندازه گیری شده مطابقت دارد؟ شرح دهید.

پاسخ



شکل ۸-۶۲

۷ سه خازن $10\mu F$ را مطابق شکل ۸-۶۲ به صورت سری اتصال دهید و ولتاژ دو سر هر یک را به طور جداگانه اندازه بگیرید.

$$V_{C_1} = \dots V$$

$$V_{C_2} = \dots V$$

$$V_{C_3} = \dots V$$

۸ از مقادیر اندازه گیری شده چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



پ) مشاهده و اندازه گیری جریان در مدارهای dc خازنی

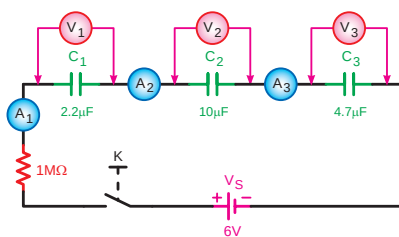
چون با وصل مستقیم ولتاژ به دو صفحه خازن صفحات آن یک مرتبه پر (شارژ) می شود و قابل مشاهده نیست لذا یک مقاومت اهمی که در حد مگا اهم باشد به صورت سری در مدار خازنی استفاده می کنیم تا بتوان جریان و ولتاژ را مشاهده و یادداشت کرد.

تذکر



۱ در ابتدا همه خازن ها را به کمک یک قطعه سیم دشارژ کنید.

۲ مدار شکل ۸-۶۳ را روی بردبرد ببندید.



ب) شکل مداری



الف) شکل واقعی

شکل ۸-۶۳

۳ پس از وصل کلید منبع تغذیه صفحه نمایش آمپرمترها و ولت‌مترهای دیجیتالی را مشاهده کنید و ولتاژ دو سر هر خازن و جریان عبوری از مدار را پس از گذشت هر ۶ ثانیه اندازه بگیرید و در جدول ۸-۵ یادداشت کنید. این کار را تا ثانیه ۴۲ برای هر خازن به طور جداگانه ادامه دهید.

جدول ۸-۵

		۶ ثانیه	۱۲ ثانیه	۱۸ ثانیه	۲۴ ثانیه	۳۰ ثانیه	۳۶ ثانیه	۴۲ ثانیه
وصل کلید K	V_1							
	A_1							
وصل کلید K	V_2							
	A_2							
وصل کلید K	V_3							
	A_3							

۴ در صورتی که موفق به انجام آزمایش به صورت کامل نشدید لازم است خازن‌ها را از مدار جدا و آنها را دشارژ کنید. سپس مجدداً مدار را اتصال دهید و مراحل آزمایش را از ابتدا تکرار کنید.

توصیه می‌شود این آزمایش را در دو مرحله انجام دهید یک بار برای خواندن مقادیر جریان‌ها و بار دیگر برای خواندن ولتاژها

نکته



۵ از مقایسه جریان آمپرمترها در لحظات مختلف چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



۶ تغییرات جریان در آمپرمترها در ابتدا و انتهای آزمایش چگونه است؟ چرا؟ شرح دهید.

پاسخ



۷ تغییرات ولتاژ در ولت‌مترها در طول انجام آزمایش چگونه بوده است؟ چرا؟ شرح دهید.

پاسخ



۸ از مقایسه مقادیر ولتاژها در حالت پایدار مدار چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



۹ آیا مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر محاسبه شده مطابقت دارد؟

پاسخ

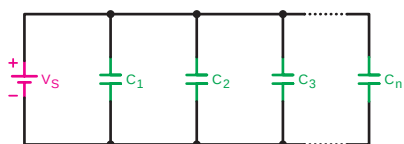


۱۰ با توجه به مقادیر ولتاژ و جریان اندازه‌گیری شده آیا می‌توانید منحنی شارژ خازن را رسم کنید؟ شرح دهید.

پاسخ



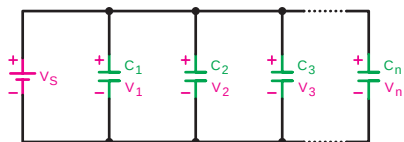
۲-۱۱-۸- اتصال موازی خازن‌ها



شکل ۸-۶۴

هرگاه دو یا n خازن مطابق شکل ۸-۶۴ به یکدیگر وصل شوند. این اتصال را «موازی» می‌گویند. نحوه اتصال موازی خازن‌ها مشابه مقاومت‌ها است.

■ عامل مشترک مدار:

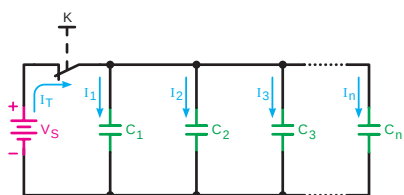


شکل ۸-۶۵

همان‌گونه که در مدارهای مقاومتی موازی بیان شد و در شکل ۸-۶۵ نیز مشاهده می‌شود، ولتاژ برای تمام عناصر در مدارهای موازی یکسان است پس برای مدارهای خازنی موازی نیز می‌توانیم بنویسیم:

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

■ عامل غیرمشترک مدار:

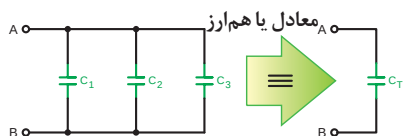


شکل ۸-۶۶

در مدار موازی شکل ۸-۶۶ جریان یا به عبارت دیگر بار الکتریکی Q به نسبت ظرفیت خازن‌ها در بین شاخه‌ها تقسیم می‌شود. بنابراین می‌توانیم بنویسیم:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

■ ظرفیت خازن معادل مدار:



شکل ۸-۶۷

خازنی را که می‌تواند جایگزین تمام خازن‌های موجود در مدار باشد، «خازن معادل» می‌گویند. شکل ۸-۶۷ و مقدار ظرفیت خازن معادل از روابط زیر قابل محاسبه است:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

مقدار بار هر خازن $Q = C.V$ در رابطه فوق قرار می‌دهیم.

$$C_T V_T = C_1 V_1 + C_2 V_2 + C_3 V_3 + \dots + C_n V_n$$

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

چون:

از ولتاژها می‌توانیم فاکتور بگیریم و رابطه را ساده کنیم.

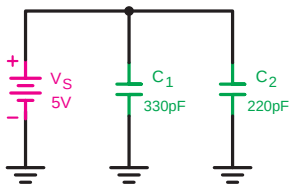
$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

رابطه نهایی ظرفیت خازن معادل در مدارهای موازی عکس مقاومت‌های موازی است.

تذکر



مقدار ظرفیت خازن معادل از ظرفیت هر یک از خازن‌های موجود در مدار بیشتر است.



شکل ۸-۶۸

مثال: ظرفیت خازن معادل شکل ۸-۶۸ چند پیکو فاراد است؟

حل:

$$V_s = V_{C1} = V_{C2} = 5V$$

$$C_T = C_1 + C_2 = 330 \text{ pF} + 220 \text{ pF} = 550 \text{ pF}$$

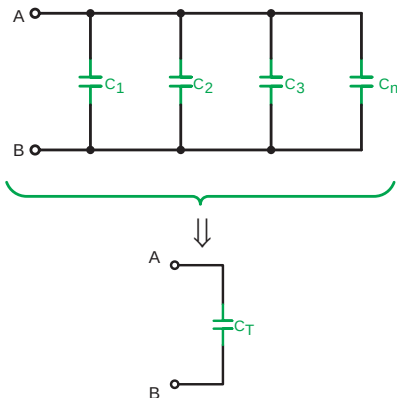
■ حالت خاص:

هرگاه (n) خازن مساوی به صورت موازی اتصال یابند شکل ۸-۶۹ ظرفیت خازن معادل از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$C_T = n.C$$

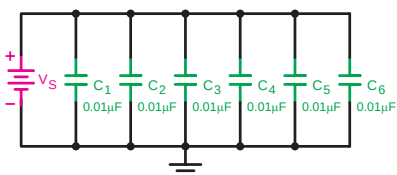
C - ظرفیت هر خازن

n - تعداد خازن‌ها



$$(C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_n)$$

شکل ۸-۶۹



شکل ۸-۷۰

مثال: ظرفیت خازن معادل شکل ۸-۷۰ چند میکرو فاراد است؟

حل: چون خازن‌ها مساوی هستند. پس:

$$C_T = n.C = (6)(0.01 \mu\text{F}) = 0.06 \mu\text{F}$$



هدف: بررسی مدارهای خازنی موازی در جریان مستقیم

وسایل و تجهیزات مورد نیاز (برای هر گروه کار)

ساعت آموزشی		
نظری	عملی	جمع
-	۱	۱

- ۱ منبع تغذیه dc (الکترونیکی)
- ۲ باتری ۱/۵ ولتی
- ۳ بردبرد آزمایشگاهی
- ۴ آوومتر دیجیتالی
- ۵ آوومتر عقربه‌ای
- ۶ میز آزمایشگاهی
- ۷ LC متر
- ۸ سیم چین
- ۹ سیم لخت کن
- ۱۰ سیم تلفنی
- ۱۱ مقاومت $R = 1M\Omega (1W)$
- ۱۲ خازن‌ها
- $C_1 = 2/2\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت
- $C_2 = 1\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت
- $C_3 = 4/7\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت

برای اندازه‌گیری ولتاژ و جریان عناصر مدار می‌توانید از یک آوومتر دیجیتالی یکبار به صورت ولت‌متری و بار دیگر به صورت آمپرمتري به طور جداگانه استفاده کنید.

توجه



الف) اندازه‌گیری و محاسبه ظرفیت خازن معادل

مراحل اجرای آزمایش

۱ هریک از خازن‌های C_1 تا C_3 را با توجه به مقادیری که روی آنها نوشته شده با LC متر اندازه‌گیری نموده و مقادیر را در جدول ۶-۸ یادداشت کنید.

جدول ۶-۸

میزان اختلاف	مقدار اندازه‌گیری شده	مقدار نوشته شده	خازن
			C_1
			C_2
			C_3

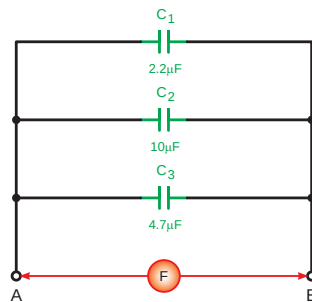
۲ در صورتی که بین مقدار اندازه گیری شده و مقدار نوشته شده اختلاف وجود دارد علت را توضیح دهید.

پاسخ



۳ سه خازن C_1 و C_2 و C_3 را مطابق شکل ۸-۷۱ روی بردبرد به صورت موازی اتصال دهید و با استفاده از یک دستگاه LC متر ظرفیت خازن معادل مدار را از دو نقطه A و B اندازه بگیرید.

$C_{AB} = \dots \mu f$ (اندازه گیری)



(ب) شکل مداری



(الف) شکل واقعی

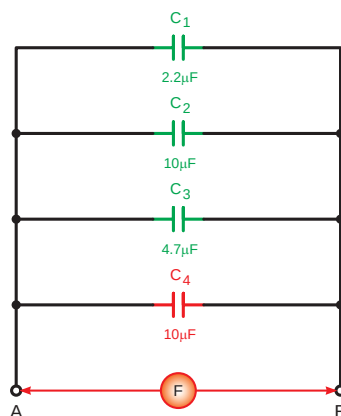
شکل ۸-۷۱

۴ مقدار ظرفیت معادل را از رابطه $C_T = C_1 + C_2 + C_3$ محاسبه کنید.

$C_{AB} = \dots \mu f$ (محاسبه)

۵ آیا مقدار اندازه گیری شده و محاسبه شده با هم مطابقت دارد؟ چرا؟ شرح دهید.

پاسخ



شکل ۸-۷۲

۶ خازن $C_4 = 10 \mu f$ را مطابق شکل ۸-۷۲ به مدار اضافه کنید و سپس ظرفیت خازن معادل را با استفاده از متر اندازه بگیرید.

$C_{AB} = \dots \mu f$ (اندازه گیری)

۷ مقدار ظرفیت معادل را از رابطه $C_T = C_1 + C_2 + C_3$ محاسبه کنید.

$C_{AB} = \dots \mu f$ (محاسبه)

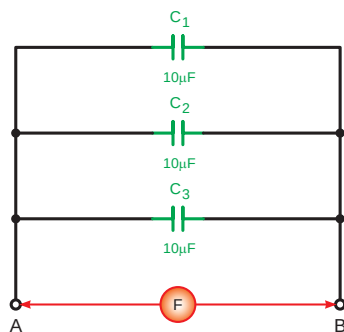
۸ ظرفیت خازن معادل نسبت به مرحله ۳ چه تغییری دارد؟ شرح دهید.

پاسخ



۹ آیا ظرفیت خازن معادل اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با هم مطابقت دارد؟ در صورتی که جواب منفی است علت را شرح دهید.

پاسخ



شکل ۸-۷۳

۱۰ سه خازن $10\ \mu\text{f}$ را مطابق شکل ۸-۷۳ به صورت موازی اتصال دهید و ظرفیت خازن معادل را با LC متر اندازه‌گیری کنید.

$C_{AB} = \dots\ \mu\text{f}$ (اندازه‌گیری)

۱۱ مقدار ظرفیت معادل را از رابطه $C_T = \frac{C}{n}$ محاسبه کنید.

$C_{AB} = \dots\ \mu\text{f}$ (محاسبه)

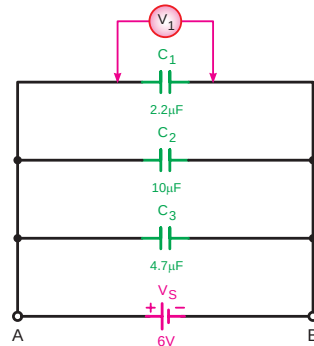
۱۲ از مقادیر به دست آمده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ آیا مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر محاسبه شده مطابقت دارد؟ شرح دهید.

پاسخ



ب) اندازه‌گیری و محاسبه ولتاژ خازن

۱ مدار شکل ۸-۷۴ را روی بردبرد ببندید.



ب) شکل مداری



الف) شکل واقعی

شکل ۸-۷۴

از ولت‌متر عقربه‌ای یا دیجیتالی با حوزه کار حداقل ۵ ولت استفاده کنید. (شکل ۸-۷۴)

تذکر



۲ کلید منبع تغذیه را وصل کرده و پس از سپری شدن مدت زمان ده ثانیه ولتاژ دو سر خازن C_1 را اندازه‌گیری کنید.

$$V_{C_1} = \dots V \quad (\text{اندازه‌گیری})$$

۳ منبع تغذیه را خاموش کنید و سپس ولت‌متر را یکبار در دو سر خازن C_2 و بار دیگر در دو سر خازن C_3 اتصال دهید سپس با وصل کلید منبع تغذیه ولتاژ دو سر هر یک را مشابه مرحله ۲ اندازه‌گیری کنید.

$$V_{C_1} = \dots V$$

$$V_{C_2} = \dots V$$

۴ از مقایسه مقادیر به دست آمده با ولتاژ منبع تغذیه چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



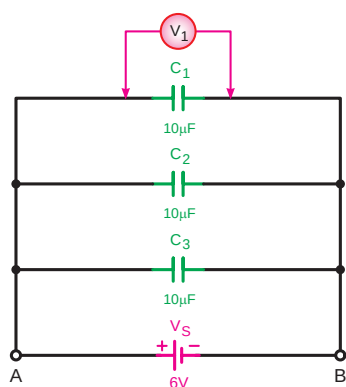
۵ با توجه به مقادیر معلوم آیا ولتاژ دو سر هر خازن را می‌توانید محاسبه کنید؟ شرح دهید.

پاسخ



۶ در صورت محاسبه ولتاژ خازن‌ها آیا مقادیر محاسبه شده با مقادیر اندازه‌گیری شده مطابقت دارد؟ شرح دهید.

پاسخ



شکل ۸-۷۵

۷ سه خازن $10\mu\text{f}$ را مطابق شکل ۸-۷۵ به صورت موازی اتصال دهید و ولتاژ دو سر هر یک را به‌طور جداگانه اندازه بگیرید.

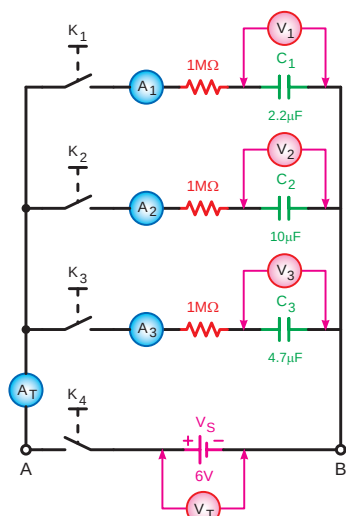
$$V_{C_1} = \dots \text{ V}$$

$$V_{C_2} = \dots \text{ V}$$

$$V_{C_3} = \dots \text{ V}$$

۸ از مقادیر اندازه‌گیری شده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



شکل ۸-۷۶

پ) مشاهده و اندازه‌گیری جریان در مدارهای dc خازنی

۱ در ابتدا همه خازن‌ها را به کمک یک قطعه سیم دشارژ کنید.

۲ مدار شکل ۸-۷۶ را روی بردبرد ببندید و کلید K_1 را در حالت وصل قرار دهید.

۳ با وصل کلید K_1 جریان عبوری و ولتاژ دو سر خازن $C_1 = 2/2\mu\text{f}$ را پس از گذشت هر ۶ ثانیه اندازه بگیرید و این مرحله را تا ۴۲ ثانیه ادامه دهید. (۷ مرحله)

۴ مقادیر ولتاژ و جریان هر مرحله را اندازه بگیرید و در جدول ۸-۷ یادداشت کنید.

جدول ۸-۷

		۶ ثانیه	۱۲ ثانیه	۱۸ ثانیه	۲۴ ثانیه	۳۰ ثانیه	۳۶ ثانیه	۴۲ ثانیه
وصل کلید K_1	V_1							
	A_1							
وصل کلید K_2	V_2							
	A_2							
وصل کلید K_3	V_3							
	A_3							
وصل کلید K_4	V_T							
	A_T							

۵ مراحل فوق را به طور جداگانه و با وصل کلیدهای K_2 و K_3 از ابتدا تکرار کنید و مقادیر اندازه‌گیری شده را در جدول ۸-۷ ثبت کنید.

۶ منبع تغذیه و همه کلیدها را قطع نموده و خازن‌ها را از مدار جدا کرده و دشارژ کنید و سپس آنها را در جای خود قرار دهید.

۷ مطابق شکل ۸-۷۶ آمپر متر A_T را در مسیر جریان کل مدار و ولت متر V_T را به دو سر منبع تغذیه وصل کنید.

۸ کلیدهای K_1 و K_2 و K_3 را در حالت وصل قرار دهید.

۹ با وصل کلید K_4 و در اختیار داشتن یک کرنومتر پس از گذشت هر ۶ ثانیه مقادیر ولتاژ کل (V_T) و جریان کل (A_T) مدار را اندازه‌گیری نموده و در جدول ۸-۷ یادداشت کنید.

۱۰ از مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

پاسخ



۱۱ مقدار بار کل مدار را از رابطه $Q_T = C_T \cdot V_T$ محاسبه کنید.

پاسخ



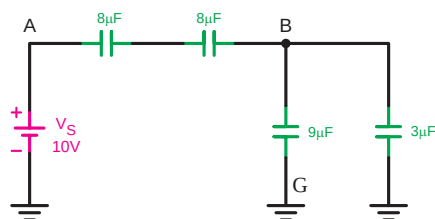
۱۲ آیا نتایج اندازه‌گیری شده با مقادیر محاسبه شده مطابقت دارد؟ شرح دهید.

پاسخ



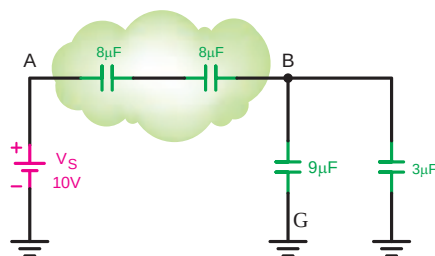
۸-۱۱-۳- اتصال ترکیبی خازن‌ها

به مدارهایی که نحوه اتصال خازن‌ها ترکیبی از اتصالات سری و موازی است مدار «ترکیبی» یا «مختلط» گفته می‌شود. برای حل این مدارها با توجه به نوع مدارها باید برای هر قسمت به طور جداگانه روابط سری یا موازی را به کار برد.



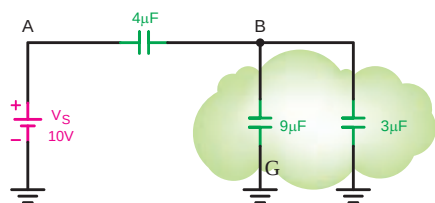
شکل ۸-۷۷

مثال: ظرفیت خازن معادل مدار شکل ۸-۷۷ را حساب کنید.
حل: خازن‌های موجود بین گره‌های A و B به صورت سری و خازن‌های بین گره‌های B و G به شکل موازی قرار دارند که در نهایت مجموعه خازن‌های بین گره‌های A و B با خازن‌های بین گره‌های B و G به صورت سری با یکدیگر قرار می‌گیرند.



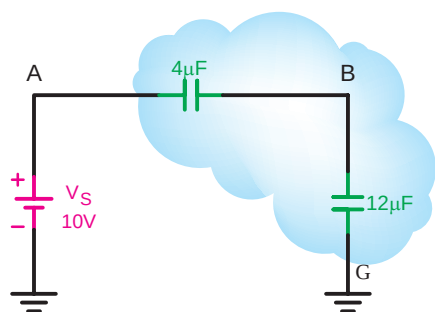
شکل ۸-۷۸

$$C_{TAB} = \frac{C}{n} = \frac{8}{2} = 4\mu f$$



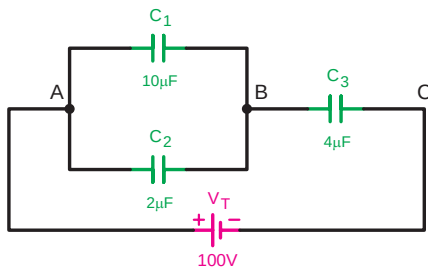
شکل ۸-۷۹

$$C_{TBG} = 9 + 3 = 12\mu f$$

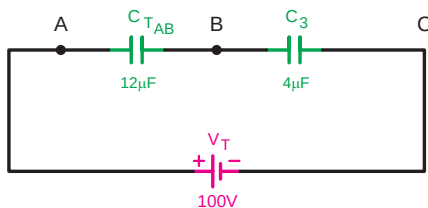


شکل ۸-۸۰

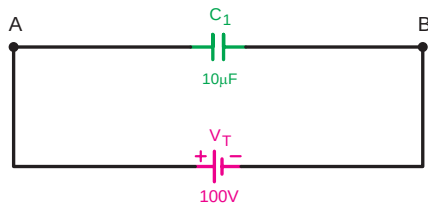
$$C_T = \frac{C_{TAB} \times C_{TBG}}{C_{TAB} + C_{TBG}} \Rightarrow C_T = \frac{4 \times 12}{4 + 12} = \frac{48}{16} = 3\mu f$$



شکل ۸-۸۱



شکل ۸-۸۲



شکل ۸-۸۳

مثال: در مدار شکل ۸-۸۱ مطلوب است:

الف) ظرفیت خازن معادل

ب) بار الکتریکی ذخیره شده در هر خازن

ج) ولتاژ دو سر هر خازن

حل:

$$C_{TAB} = 10 + 2 = 12 \mu f$$

$$C_T = \frac{C_{TAB} \times C_r}{C_{TAB} + C_r} = \frac{12 \times 4}{12 + 4} = \frac{48}{16} = 3 \mu f$$

$$Q_T = V_T \cdot C_T = 100 \times 3 = 300 \mu C$$

$$Q_T = Q_r = 300 \mu C$$

$$V_{BC} = V_r = \frac{Q_r}{C_r} = \frac{300}{4} = 75 V$$

$$V_T = V_{AB} + V_{BC} \Rightarrow V_{AB} = V_T - V_{BC}$$

$$V_{AB} = V_1 = V_r = 100 - 75 = 25 V$$

$$Q_1 = V_1 C_1 = 25 \times 10 = 250 \mu C$$

$$Q_r = V_r C_r = 75 \times 4 = 300 \mu C$$

هدف: بررسی مدارهای خازنی سری موازی در جریان مستقیم

وسایل و تجهیزات مورد نیاز (برای هر گروه کار)

- | | |
|--------------------------------|----------|
| ۱ منبع تغذیه dc (الکترونیکی) | ۱ دستگاه |
| ۲ باتری ۱/۵ ولتی | ۴ عدد |
| ۳ بردبرد آزمایشگاهی | ۱ عدد |
| ۴ آوومتر دیجیتالی | ۱ دستگاه |
| ۵ آوومتر عقربه‌ای | ۱ دستگاه |
| ۶ میز آزمایشگاهی | ۱ دستگاه |
| ۷ LC متر | ۱ عدد |
| ۸ سیم چین | ۱ عدد |
| ۹ سیم لخت کن | ۱ عدد |
| ۱۰ سیم تلفنی | ۵/۰ متر |
| ۱۱ مقاومت (۱W) $R = 1 M\Omega$ | ۱ عدد |
| ۱۲ خازن‌ها | |

$$C_1 = 2 / 2 \mu f \text{ با حداقل ولتاژ کار } 6 \text{ ولت}$$

$$C_r = 1 \mu f \text{ با حداقل ولتاژ کار } 6 \text{ ولت}$$

$$C_3 = 4 / 7 \mu f \text{ با حداقل ولتاژ کار } 6 \text{ ولت}$$

کار عملی
۹





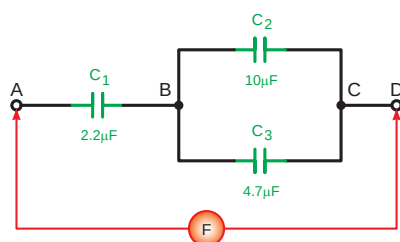
برای اندازه‌گیری ولتاژ و جریان عناصر مدار می‌توانید از یک آوومتر دیجیتالی یکبار به صورت ولت‌متری و بار دیگر به صورت آمپرمتري به طور جداگانه استفاده کنید.

الف) اندازه‌گیری و محاسبه ظرفیت خازن معادل

مراحل اجرای آزمایش

۱ مدار شکل ۸-۸۴ را روی بردبرد اتصال دهید و با استفاده از LC متر ظرفیت خازن معادل بین دو نقطه A و D را اندازه‌گیری کنید.

$$C_{AD} = \dots \mu f$$

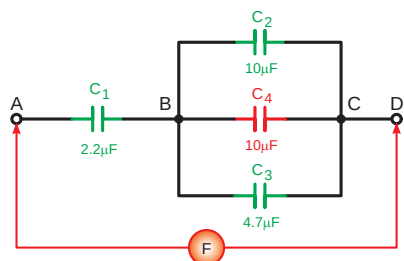


ب) شکل مداری



الف) شکل واقعی

شکل ۸-۸۴



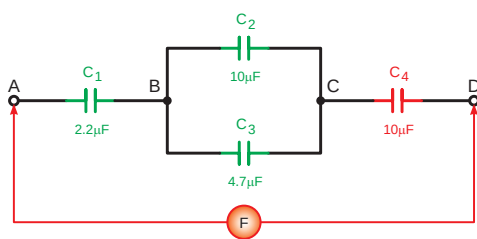
شکل ۸-۸۵

۲ خازن $C_F = 10 \mu f$ را بین دو نقطه C و B قرار دهید و ظرفیت خازن معادل بین دو نقطه A و D را اندازه‌گیری کنید. (شکل ۸-۸۵)

$$C_{AD} = \dots \mu f$$

۳ خازن $C_F = 10 \mu f$ را طبق شکل ۸-۸۶ بین دو نقطه C و D قرار دهید و ظرفیت خازن معادل دو نقطه A و D را اندازه‌گیری کنید.

$$C_{AD} = \dots \mu f$$



ب) شکل مداری



الف) شکل واقعی

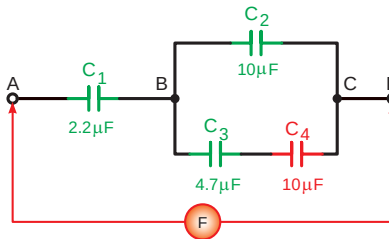
شکل ۸-۸۶

فصل هشتم: خازن

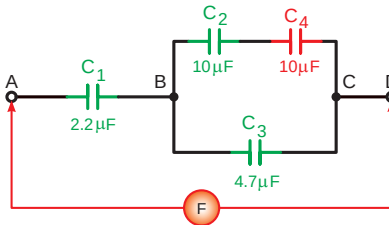
۴ خازن C_4 را یکبار سری با خازن C_2 و بار دیگر سری با خازن C_3 قرار دهید و ظرفیت خازن معادل را به تفکیک اندازه بگیرید. (شکل های ۸-۸۷ و ۸-۸۸)

$$C_{AD} = \dots \mu f$$

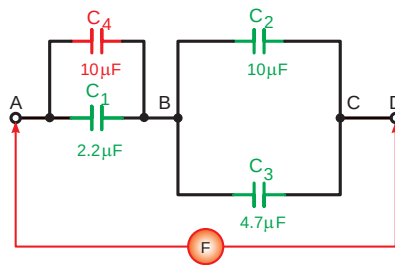
$$C_{AD} = \dots \mu f$$



شکل ۸-۸۸



شکل ۸-۸۷



شکل ۸-۸۹

۵ خازن C_4 را مطابق شکل ۸-۸۹ موازی با خازن C_1 قرار دهید و ظرفیت خازن معادل را از دو نقطه A و D اندازه بگیرید.

$$C_{AD} = \dots \mu f$$

۶ از مقادیر به دست آمده آزمایش های فوق چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



۷ ظرفیت خازن معادل از دو نقطه A و D شکل های مراحل ۲ تا ۵ را محاسبه کنید.

پاسخ



۸ آیا نتایج آزمایش ها با مقادیر محاسبه شده مطابقت دارد؟

پاسخ

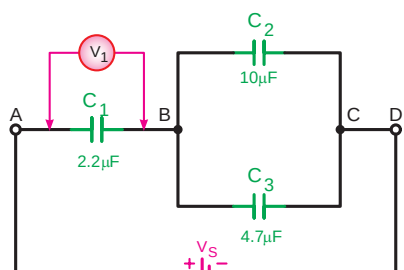


۹ آیا رابطه کلی برای تعیین ظرفیت معادل مدارهای سری - موازی خازنی می‌توان ارائه کرد؟ چرا؟

پاسخ



ب) اندازه‌گیری و محاسبه ولتاژ



شکل ۸-۹۰

۱ مدار شکل ۸-۹۰ را روی بردبرد اتصال دهید.

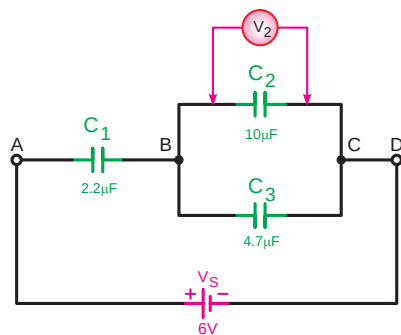
۲ به کمک یک ولت‌متر دیجیتالی که روی حداقل حوزه کار ۵ ولت قرار دارد ولتاژ دو سر خازن C_1 را مطابق شکل ۸-۹۰ اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{C_1} = \dots V$$

۳ محل قرار گرفتن ولت‌متر را مطابق شکل ۸-۹۱ به دو نقطه B و C انتقال دهید و ولتاژ دو سر خازن‌های C_2 و C_3 را اندازه‌گیری کنید.

$$V_{C_2} = \dots V$$

$$V_{C_3} = \dots V$$



ب) شکل مداری



الف) شکل واقعی

شکل ۸-۹۱

۴ مقدار ولتاژ دو سر هر یک از خازن‌ها را با کمک روابط محاسبه کنید.

پاسخ



فصل هشتم: خازن

۵ با استفاده از رابطه $Q = C.V$ مقدار بار الکتریکی ذخیره شده در هر یک از خازن‌های C_1 و C_2 و C_3 را حساب کنید.

۶ از آزمایش‌های انجام شده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

.....

.....

پاسخ



۷ آیا مقادیر به دست آمده در آزمایش‌ها با مقادیر محاسبه شده مطابقت دارد؟ تحقیق کنید.

.....

.....

پاسخ



آزمون پایانی (۸)

۱ مفهوم میدان الکتریکی برای بررسی فضای اطراف یک جسم مفید است.

الف) باردار (ب) مغناطیسی (ج) نارسانا (د) رسانا

۲ کدام یک از تصاویر زیر صحیح است؟



۳ در میدان الکتریکی یکنواخت میدان بین دو صفحه چگونه است؟

الف) در تمام جهات دوران دارد. (ب) در تمام نقاط ثابت است.
ج) به سطح صفحات بستگی دارد. (د) به فاصله بین صفحات وابسته است.

۴ از خازن برای استفاده می‌شود.

الف) ایجاد میدان مغناطیسی (ب) دفع بارهای الکتریکی
ج) ذخیره بار الکتریکی (د) جذب بارهای الکتریکی

۵ ذخیره بار الکتریکی در خازن به این معنی است که بار:

الف) در آن حرکت می‌کند. (ب) پس از قطع برق از بین می‌رود.
ج) در صفحات آن تخلیه می‌شود. (د) پس از قطع برق باقی می‌ماند.

۶ ظرفیت یک خازن عبارت است از:

الف) توانایی مقدار باری که خازن می‌تواند ذخیره کند. (ب) میزان سطح مشترک صفحات خازن.
ج) توانایی عمل مقدار ولتاژی که به خازن وصل می‌شود. (د) میزان جریانی که از خازن عبور می‌کند.

۷ کدام یک از روابط زیر صحیح می‌باشد؟

الف) $V = \frac{C}{Q}$ (ب) $Q = \frac{V}{C}$ (ج) $V = \frac{Q}{C}$ (د) $Q = \frac{C}{V}$

۸ خازن 100 pf معادل چند میکروفاراد است؟

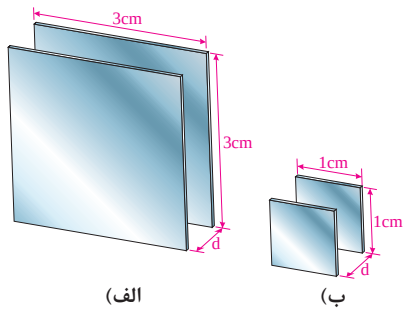
الف) 10^{-8} (ب) 10^{-5} (ج) 10^{-6} (د) 10^{-4}

۹ دشارژ کردن خازن یعنی:

الف) قطع و وصل کلید موجود در مدار خازن (ب) اتصال کوتاه کردن دو پایه خازن
ج) اعمال ولتاژ به دو سر خازن (د) تخلیه میدان مغناطیسی صفحات خازن

۱۰ اگر ولتاژ دو سر خازن با ولتاژ منبع تغذیه برابر شود یعنی خازن و جریان مدار است.

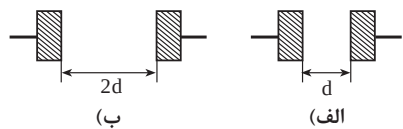
الف) شارژ شده - حداکثر (ب) دشارژ شده - حداکثر
ج) شارژ شده - صفر (د) دشارژ شده - صفر



شکل ۸-۹۲

۱۱ در شکل ۸-۹۲ ظرفیت خازن (الف) چند برابر خازن (ب) است؟

- الف) $\frac{1}{3}$
 ب) ۳
 ج) ۹
 د) $\frac{1}{2}$



شکل ۸-۹۳

۱۲ نسبت ظرفیت خازن (ب) نسبت به ظرفیت خازن (الف) شکل ۸-۹۳ در صورتی که سطح صفحات برابر و جنس دی‌الکتریک یکسان باشد چقدر است؟

- الف) ۱۶
 ب) $\frac{1}{2}$
 ج) ۴
 د) ۲

۱۳ هرچه ضریب دی‌الکتریک ماده عایق به کار رفته در خازن زیادتر باشد ظرفیت خازن

- الف) کمتر می‌شود.
 ب) زیادتر می‌شود.
 ج) تغییر نمی‌کند.
 د) با توان دو تغییر می‌کند.

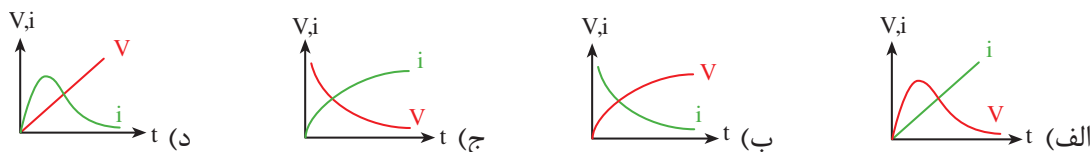
۱۴ سرعت حرکت الکترون‌ها برای مدار خازنی در لحظه اول وصل کلید می‌باشد.

- الف) سریع
 ب) آهسته
 ج) متوسط
 د) اول آهسته و سپس سریع

۱۵ علت استفاده از مقاومت سری در مسیر خازن‌ها به خاطر:

- الف) افزایش زمان تناوب
 ب) کاهش زمان لازم برای بروز خاصیت عایقی
 ج) کاهش زمان تناوب
 د) افزایش زمان شارژ و دشارژ خازن

۱۶ منحنی تغییرات ولتاژ و جریان مدار خازنی در حالت شارژ خازن کدام مورد است؟



۱۷ مقاومت نشی خازن باعث می‌شود تا:

- الف) ظرفیت واقعی خازن از ظرفیت نامی آن بیشتر باشد.
 ب) ظرفیت واقعی خازن از ظرفیت نامی آن کمتر باشد.
 ج) ظرفیت واقعی خازن با ظرفیت نامی آن برابر باشد.
 د) تحمل ولتاژ کار خازن افزایش یابد.

۱۸ از تانتالیوم در کدام یک از خازن‌های زیر استفاده می‌شود؟

- الف) کاغذی
 ب) سرامیکی
 ج) میکا
 د) الکتrolیتی

۱۹ از محلول مومی شکل فنولیک در کدام یک از خازن های زیر استفاده می شود؟

الف) کاغذی (ب) سرامیکی (ج) میکا (د) الکتrolیتی

۲۰ جنس صفحات کدام یک از خازن های زیر از جنس آلومینیومی نمی باشد؟

الف) کاغذی (ب) میکا (ج) سرامیکی (د) الکتrolیتی



شکل ۸-۹۴

۲۱ خازن های شکل ۸-۹۴ از چه نوعی است؟

الف) کاغذی

ب) میکا

ج) الکتrolیتی

د) متغیر

۲۲ خازن یک خازن متغیری است که با پیچ گوشتی ظرفیتش تغییر می کند.

الف) واریابل (ب) کاغذی (ج) میکا (د) تریمر

۲۳ حداکثر میزان تغییر ظرفیت خازن به ازای تغییر یک درجه سانتی گراد را گویند.

الف) تلرانس (ب) ظرفیت (ج) ضریب حرارتی (د) واریابل

۲۴ کدام یک از موارد زیر در انتخاب یک خازن مؤثر نیست؟

الف) شکل ظاهری (ب) ظرفیت (ج) ولتاژ کار (د) ضریب حرارتی

۲۵ ظرفیت خازن معادل سه خازن مساوی موازی ظرفیت هر یک از خازن های مدار است.

الف) $\frac{1}{3}$ (ب) ۳ برابر (ج) $\sqrt{3}$ برابر (د) $\frac{1}{\sqrt{3}}$

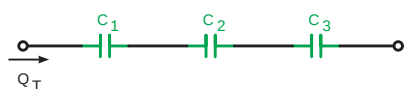


شکل ۸-۹۵

۲۶ مشخصات خازن شکل ۸-۹۵ کدام است؟

الف) $3/9 \text{ kpf} \pm 10\%$ (ب) $3/9 \text{ kpf} \pm 5\%$

ج) $390 \text{ kpf} \pm 10\%$ (د) $390 \text{ kpf} \pm 5\%$



شکل ۸-۹۶

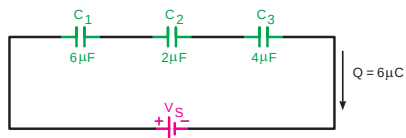
۲۷ کدام یک از روابط زیر بار الکتریکی خازن های C_1 و C_2 و C_3 را

نشان می دهد؟

الف) $Q_1 > Q_2 > Q_3$ (ب) $Q_1 < Q_2 < Q_3$

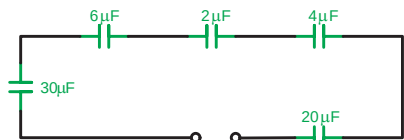
ج) $Q_1 = Q_2 = Q_3$ (د) $Q_1 > Q_2, Q_2 < Q_3$

فصل هشتم: خازن



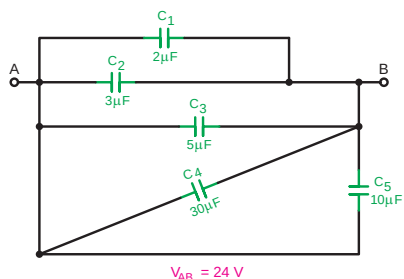
شکل ۸-۹۷

۲۸ ولتاژ دو سر خازن C_3 در مدار شکل ۸-۹۷ چند ولت است؟
الف) ۲۴ (ب) ۰/۷ (ج) ۱/۵ (د) ۱/۲



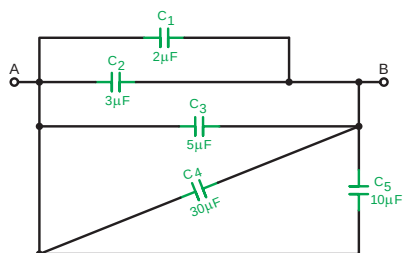
شکل ۸-۹۸

۲۹ ظرفیت خازن معادل C_T شکل ۸-۹۸ چند میکروفاراد است؟
الف) $\frac{1}{9}$ (ب) ۳ (ج) ۹۰ (د) $\frac{1}{3}$



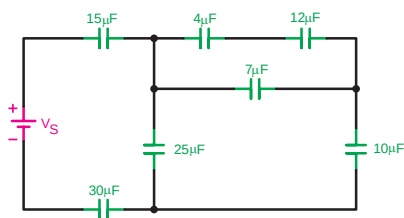
شکل ۸-۹۹

۳۰ مقدار بار الکتریکی خازن C_T در شکل ۸-۹۹ چند میکروکولن است؟
الف) ۷۲ (ب) ۰/۵ (ج) ۱۸ (د) ۲



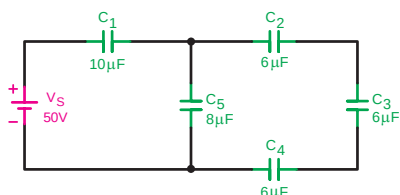
شکل ۸-۱۰۰

۳۱ ظرفیت خازن معادل دو نقطه A و B شکل ۸-۱۰۰ چند میکروفاراد است؟
الف) ۱۵۰ (ب) ۵۰ (ج) ۸۰ (د) ۲۰



شکل ۸-۱۰۱

۳۲ ظرفیت خازن معادل شکل ۸-۱۰۱ چند میکروفاراد است؟
الف) ۷/۵ (ب) ۱۵ (ج) ۳۰ (د) ۴/۵



شکل ۸-۱۰۲

۳۳ ولتاژ دو سر خازن C_2 شکل ۸-۱۰۲ چند ولت است؟

الف) ۱۴/۵ ب) ۲۵ ج) ۱۲ د) ۱۷

- ۳۴ از خازن در مدارهای الکتریکی برای ذخیره انرژی الکتریکی استفاده می‌شود. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۳۵ ظرفیت یک خازن با فاصله بین صفحات آن رابطه مستقیم دارد. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۳۶ با افزایش سطح صفحات خازن مقاومت نشی آن نیز افزایش می‌یابد. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۳۷ حداکثر ولتاژی که می‌توان به طور دائم به خازن اعمال کرد را ولتاژ ذخیره شده گویند. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۳۸ ظرفیت خازن معادل در مدار سری از ظرفیت خازن‌های موجود در مدار است.
- ۳۹ مقدار ظرفیت واقعی خازن معمولاً از ظرفیت اسمی آن است.
- ۴۰ مقدار بار الکتریکی ذخیره شده در خازن از رابطه به دست می‌آید.

توجه



مطالب مربوط به سؤالاتی را که نتوانسته‌اید پاسخ دهید مجدداً مطالعه و آزمون را تکرار کنید.

فصل ۹

جریان متناوب

هدف کلی فصل:

شناسایی خصوصیات جریان متناوب و انجام محاسبات ساده در مدارهای جریان متناوب شامل سلف، خازن و مقاومت اهمی

هدف های رفتاری:

در پایان این فصل انتظار می رود که فراگیر بتواند:

- | ساعت | | |
|------|------|-----|
| نظری | عملی | جمع |
| ۲۰ | ۱۲ | ۳۲ |
- ۱ جریان مستقیم و متناوب را تعریف کند.
 - ۲ شکل موج را تعریف کند و انواع شکل موج های ac و dc را رسم کند.
 - ۳ اجزای یک مولد ساده ac و عوامل مؤثر در ولتاژ القایی را نام ببرد.
 - ۴ نحوه تولید جریان متناوب توسط ژنراتور را شرح دهد.
 - ۵ قانون دست راست در ژنراتورها را شرح دهد.
 - ۶ چگونگی به وجود آمدن موج سینوسی را شرح دهد.
 - ۷ مشخصات یک موج سینوسی را توضیح دهد.
 - ۸ مدارهای اهمی، سلفی و خازنی خالص را از نظر رابطه فازی بین ولتاژ جریان و توان مصرفی توضیح دهد.
 - ۹ روابط اندوکتانس و راکتانس کل در مدارهای سلفی سری و موازی را به دست آورد.
 - ۱۰ بردار را تعریف کرده و نحوه نمایش کمیت های برداری در مدارهای مختلف را توضیح دهد.
 - ۱۱ مدارهای RLC, LC, RC, RL سری و موازی را از نظر امپدانس، ضرایب قدرت، ضریب کیفیت و زاویه اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان و دیاگرام های برداری تجزیه کند.
 - ۱۲ حالت رزونانس را در مدارهای LC و RLC بررسی کند.
 - ۱۳ انواع توان در جریان متناوب را با ذکر روابط توضیح دهد.

پیش آزمون (۹)

۱ ظرفیت خازن به کدام یک از عوامل زیر بستگی ندارد؟

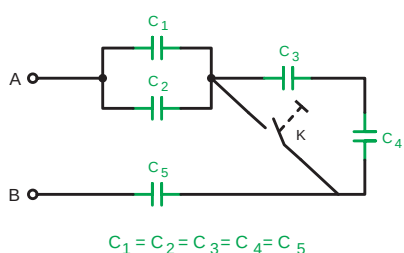
- الف) فاصله بین صفحات (ب) جنس عایق (ج) جنس صفحات (د) سطح صفحات

۲ کار یک خازن عبارت است از:

- الف) متوقف ساختن عبور جریان برق AC (ب) کمک به عبور جریان برق DC
ج) ذخیره سازی انرژی الکتریکی (د) ذخیره سازی گرمای مدار

۳ راکتانس خازنی یک خازن 7900Ω است اگر ظرفیت خازن $1 \mu f$ باشد فرکانس مدار چند Hz است؟

- الف) ۵۰ (ب) ۶۰ (ج) ۱۰۰ (د) ۲۰۰



شکل ۹-۱

۴ در شکل ۹-۱ با بسته شدن کلید K ظرفیت خازن معادل چه

- تغییری می کند؟
الف) افزایش می یابد. (ب) کاهش می یابد.
ج) نصف می شود. (د) دو برابر می شود.

۵ جریانی که در سیم های برق شهری جاری است از چه نوع جریانی است؟

- الف) DC (ب) AC (ج) DC ضرباندار (د) AC ضرباندار

۶ وضعیت جریان عبوری از مدار یک خازن در شرایط شارژ کامل چگونه است؟

- الف) حداکثر (ب) صفر (ج) دو برابر (د) حداقل

۷ ولتاژ AC بر چه اساسی به وجود می آید؟

- الف) القا (ب) مالش (ج) شیمیایی (د) حرارت

۸ جهت خطوط نیروی الکتریکی ذره باردار مثبت (+Q) کدام یک از موارد زیر است؟

- الف) (ب) (ج) (د)

۹ ظرفیت خازن شکل ۹-۲ کدام گزینه است؟

- الف) $122 \mu f$ (ب) $22 \mu f$ (ج) $1/22 Pf$ (د) $1200 Pf$

۱۰ فرکانس برق شبکه ایران چند هرتز است؟

- الف) ۵۰ (ب) ۱۰۰ (ج) ۱۰۱ (د) ۱۰۲

۱۱ ظرفیت خازن $100 \mu f$ معادل چند پیکوفاراد است؟

- الف) 10^{-3} (ب) 10^5 (ج) 10^8 (د) 10^{-8}

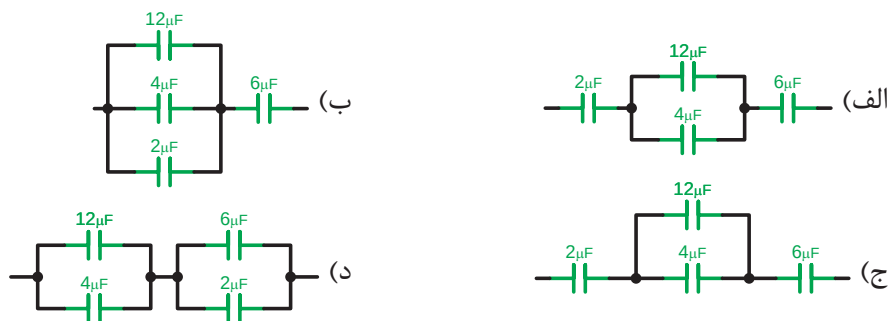


شکل ۹-۲

۱۲ اگر ده خازن 10 میکروفارادی را به صورت سری ببندیم ظرفیت معادل چند میکروفاراد است؟

- الف) ۱ (ب) ۱۰۰ (ج) ۱۰ (د) ۰/۱

۱۳ ظرفیت معادل کدام یک از اشکال زیر $1/37$ میکروفاراد است؟



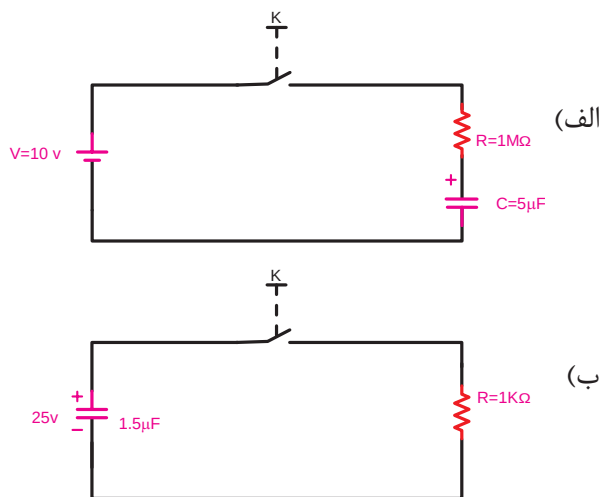
۱۴ مدار معادل سیم پیچ های یک موتور الکتریکی معادل کدام گزینه است؟



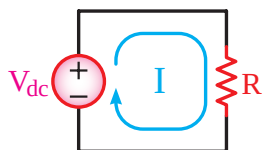
۱۵ توانی که مربوط به مصرف کننده های اهمی می باشد چه نام دارد؟

- الف) ظاهری (ب) اکتیو (ج) راکتیو (د) غیر حقیقی

۱۶ ثابت زمانی و مدت زمان شارژ و دشارژ کامل هر یک از مدارهای الف و ب چند ثانیه است؟

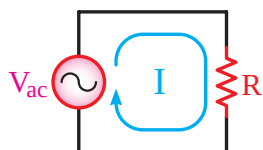


۹-۱- جریان متناوب چیست؟



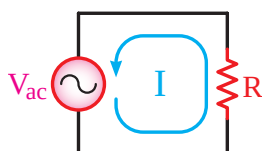
شکل ۹-۳

در هر مدار الکتریکی که ولتاژ وجود داشته باشد جریان الکتریکی نیز جاری خواهد شد. اگر قطب‌های ولتاژ مدار هرگز تغییر نکند جهت جریان ثابت می‌ماند، در این صورت به آن «جریان مستقیم یا DC»^۱ می‌گویند. (شکل ۹-۳)



(الف)

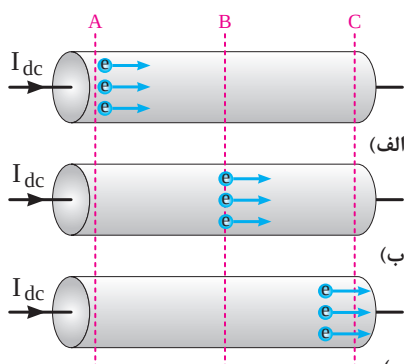
جریان الکتریکی دیگری نیز وجود دارد که همیشه در یک جهت نیست یعنی ابتدا در یک جهت جریان می‌یابد، سپس جهت خود را عوض می‌کند و در خلاف جهت حالت قبل جاری می‌شود. به این نوع جریان اصطلاحاً «جریان متناوب یا AC»^۲ می‌گویند. (شکل ۹-۴)



(ب)

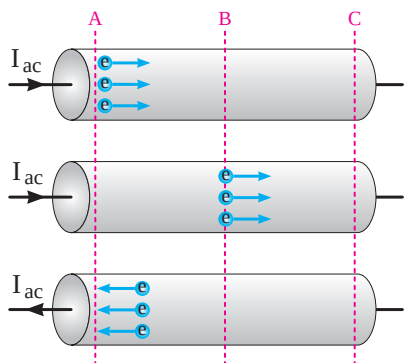
شکل ۹-۴

۹-۲- مقایسه جریان مستقیم و جریان متناوب در یک سیم



شکل ۹-۵

اگر جریان DC از قطعه سیمی عبور کند، جریان از قطب مثبت شروع شده و به قطب منفی ختم می‌شود و در این حالت یک تعداد الکترون به قطب منفی منتقل می‌شوند. (شکل ۹-۵)



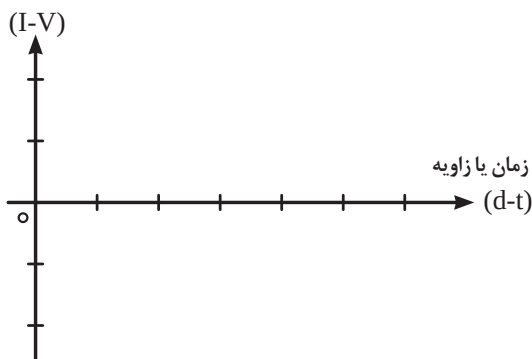
شکل ۹-۶

حال چنانچه جریان AC از قطعه سیم عبور کند در یک مدت زمان معین ابتدا جریان در یک مسیر حرکت می‌کند سپس جهت جریان عوض شده و الکترون‌ها در مسیر طی شده اول باز می‌گردند. شکل ۹-۶ نحوه حرکت الکترون‌ها را در جریان AC نشان می‌دهد.

۱- Direct Current - DC

۲- Alternative Current - AC

ولتاژ یا جریان



شکل ۹-۷



شکل ۹-۸

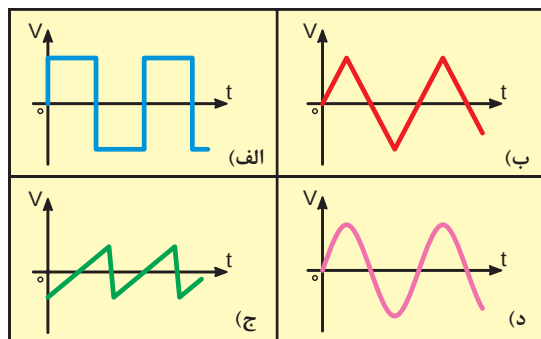
۹-۳- شکل موج‌ها در جریان متناوب

تغییرات ولتاژ یا جریان در مدارهای الکتریکی را به صورت «شکل موج»^۱ نشان می‌دهند. برای رسم شکل موج محورهای مختصاتی مطابق شکل ۹-۷ نیاز داریم. محور عمودی بیانگر اندازه ولتاژ یا جریان و محور افقی معرف زمان یا زاویه است. بالای محور افقی را قسمت مثبت موج و پایین محور افقی را قسمت منفی موج می‌گویند.

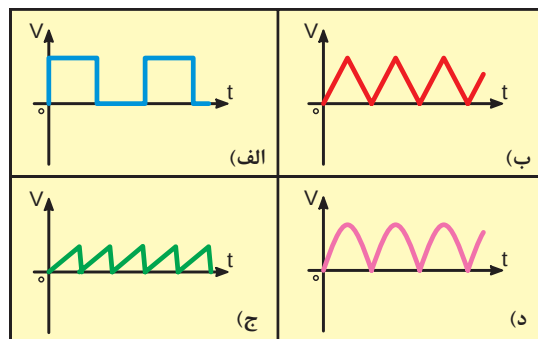
برای مشاهده و اندازه‌گیری شکل موج‌های ولتاژ و جریان از وسیله‌های به نام «اسیلوسکوپ»^۲ استفاده می‌کنند. شکل ۹-۸ دو نمونه اسیلوسکوپ را نشان می‌دهد. اسیلوسکوپ به معنای نوسان‌نما یا نشان‌دهنده شکل موج است.

از انواع شکل موج‌ها می‌توان شکل موج مربعی، مثلثی، دندانه اره‌ای و سینوسی را نام برد. در جریان متناوب معمولاً شکل موج سینوسی از سایر انواع موج‌ها متداول‌تر است. یادآوری می‌شود که همه شکل موج‌ها قابل تبدیل به شکل موج سینوسی هستند.

به‌طور کلی جریان‌های AC و DC دارای شکل موج هستند. آن دسته از شکل موج‌ها را که دارای قسمت منفی نیستند موج DC و آن گروه از شکل موج‌ها که دارای قسمت مثبت و منفی هستند را موج AC می‌گویند. شکل ۹-۹ نمونه‌هایی از امواج DC و شکل ۹-۱۰ نمونه‌هایی از امواج AC را نشان می‌دهد.



شکل ۹-۱۰- انواع شکل موج‌های AC

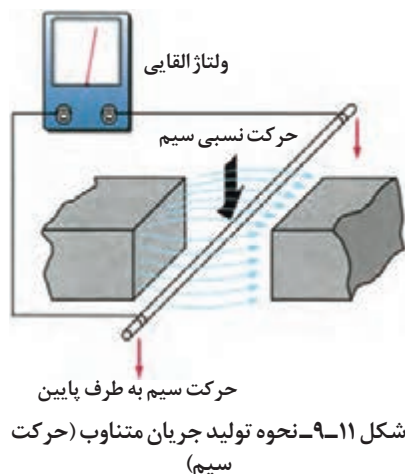


شکل ۹-۹- انواع شکل موج‌های DC

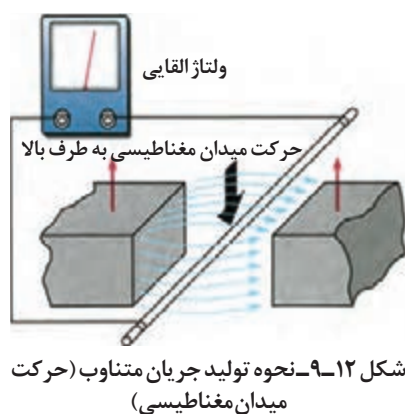
۱- Wave form

۲- Oscilloscope

۹-۴- تولید جریان متناوب توسط ژنراتور



فاراده تحقیقاتی را در زمینه تولید ولتاژ انجام داد که بعدها به عنوان قانون مطرح شد. وی دریافته بود که هرگاه سیمی در مسیر حرکت خود خطوط میدان مغناطیسی را قطع کند ولتاژی در دو سر آن به وجود می‌آید. (شکل ۹-۱۱)



همچنین در صورتی که سیم ثابت باشد و میدان مغناطیسی به گونه‌ای حرکت کند و خطوط قوای مغناطیسی توسط سیم قطع شود مانند حالت قبل ولتاژ به وجود می‌آید (شکل ۹-۱۲). به این ولتاژ در اصطلاح «ولتاژ القایی» می‌گویند.

مقدار این ولتاژ به عوامل مختلفی به شرح زیر بستگی دارد:

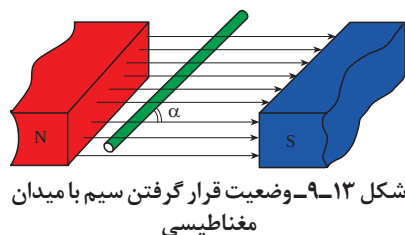
(الف) اندوکسیون میدان مغناطیسی (B)

(ب) سرعت حرکت سیم یا سرعت حرکت میدان مغناطیسی (V)

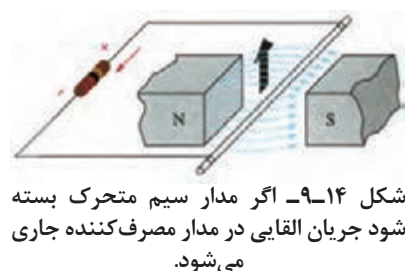
(ج) طول مؤثر سیم (طولی از سیم که در میدان مغناطیسی قرار

می‌گیرد) (L)

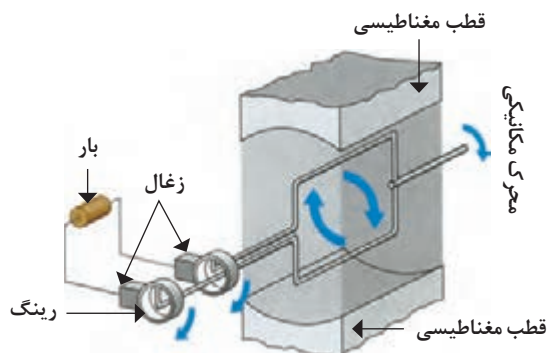
(د) زاویه سیم با میدان مغناطیسی (α)



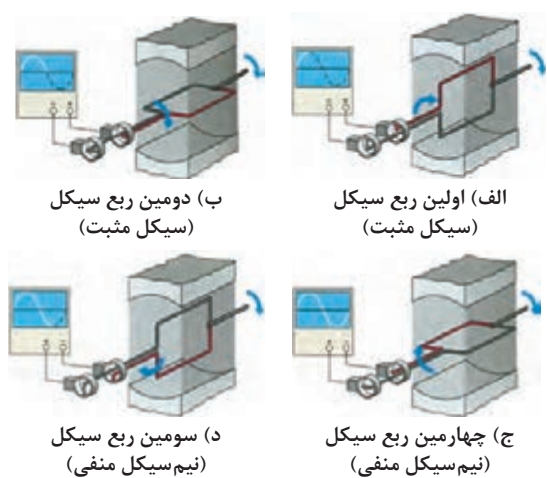
هرقدر خطوط قوا بیشتر باشد، سیم سریع‌تر حرکت کند، طول مؤثر سیم بیشتر باشد و زاویه سیم نسبت به میدان مغناطیسی عمود باشد، مقدار ولتاژ القایی بیشتر خواهد شد. (شکل ۹-۱۳)



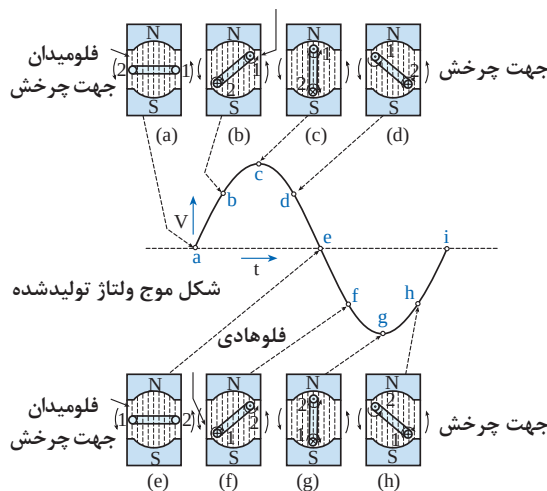
اگر مدار الکتریکی سیمی که در داخل میدان مغناطیسی حرکت می‌کند بسته شود جریان القایی در سیم جاری خواهد شد. (شکل ۹-۱۴)



شکل ۹-۱۵- شکل ساده یک مولد جریان متناوب به همراه بار



شکل ۹-۱۶- وضعیت قرار گرفتن کلاف سیم



شکل ۹-۱۷

در ژنراتورها برای اینکه تمام فضای داخلی مولد برای تولید ولتاژ مورد استفاده قرار گیرد، معمولاً به جای سیم، یک قاب سیمی یا یک کلاف سیمی که دارای چند دور است به کار می‌رود. مجموعه تولیدکننده انرژی را «مولد» می‌نامند.

اجزای یک مولد ساده ac به شرح زیر است:

۱ قطب‌های مغناطیسی

۲ کلاف سیم

۳ رینگ‌ها^۱ (حلقه‌های لغزنده)

۴ زغال‌ها^۲

شکل ۹-۱۵ ساختمان ساده‌ای از مولد ac را نشان می‌دهد. حرکت کلاف در داخل میدان مغناطیسی به صورت دایره‌ای و متناسب با سینوس زاویه کلاف با میدان مغناطیسی است لذا شکل موجی که روی صفحه اسیلوسکوپ ظاهر می‌شود به صورت سینوسی خواهد بود.

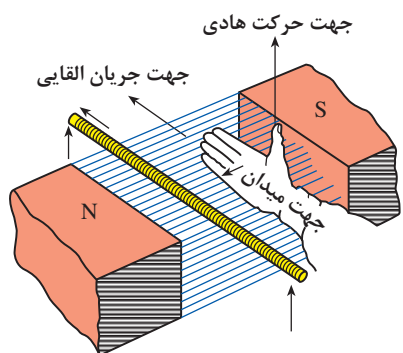
شکل ۹-۱۶ وضعیت کلاف و شکل موج خروجی را در لحظاتی که کلاف در زاویه‌های 90° ، 180° ، 270° و 360° چرخش قرار دارد، نشان می‌دهد.

وضعیت کلاف، میدان مغناطیسی و مقدار ولتاژ روی شکل موج سینوسی در لحظات مختلف روی شکل ۹-۱۷ نشان داده شده است.

۱- Slip rings

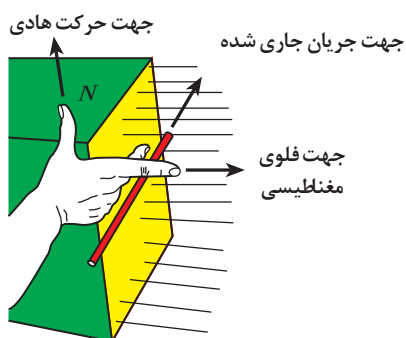
۲- Brushes

۹-۵- قانون دست راست در مورد ژنراتورها



شکل ۹-۱۸- قانون دست راست (کف دست باز)

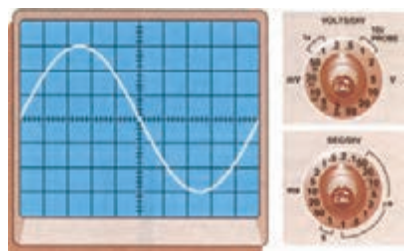
برای نشان دادن جهت جریان القایی جاری شده در سیم از قانون دست راست به دو طریق زیر می‌توانیم استفاده کنیم:
الف) هرگاه دست راست خود را طوری در داخل میدان مغناطیسی قرار دهیم که فوران مغناطیسی از قطب شمال به کف دست راست وارد شود و انگشت شست باز شده جهت حرکت هادی را نشان دهد، امتداد چهار انگشت کشیده شده جهت جریان القایی را نشان خواهد داد. (شکل ۹-۱۸)



شکل ۹-۱۹- قانون دست راست (به صورت سه انگشت)

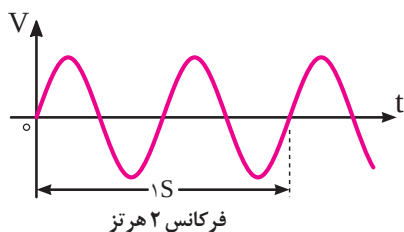
ب) اگر دست راست خود را طوری در داخل میدان مغناطیسی بگیرید که انگشت شست، سبابه (اشاره) و میانی بر هم عمود باشند در این حالت انگشت سبابه جهت فلوی مغناطیسی و انگشت شست جهت حرکت سیم را نشان دهد، انگشت میانی جهت جریان جاری شده را مشخص می‌کند. (شکل ۹-۱۹)

۹-۶- مشخصات جریان متناوب



شکل ۹-۲۰- تصویر یک سیکل روی صفحه اسیلوسکوپ

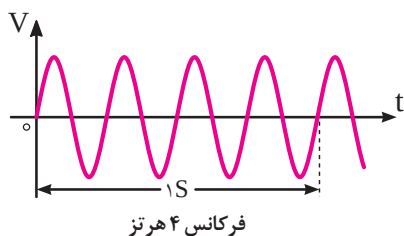
۹-۶-۱- سیکل: شکل موجی که در اثر گردش یک دور کلاف در داخل میدان مغناطیسی به وجود می‌آید را یک «سیکل» می‌گویند. (شکل ۹-۲۰)



شکل ۹-۲۱

۹-۶-۲- فرکانس (f): به تعداد سیکل‌ها (نوسانات) در مدت زمان یک ثانیه «فرکانس» می‌گویند. (شکل ۹-۲۱)

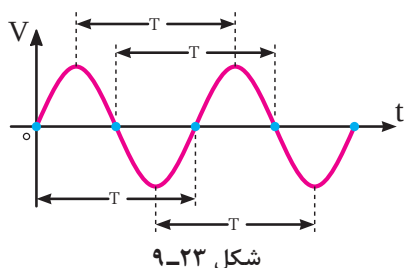
واحد فرکانس $\frac{1}{S}$ یا هرتز (Hz) است. فرکانس برق ایران ۵۰ هرتز است.



شکل ۹-۲۲

مثال: فرکانس شکل موج داده شده در شکل ۹-۲۲ چند هرتز است؟

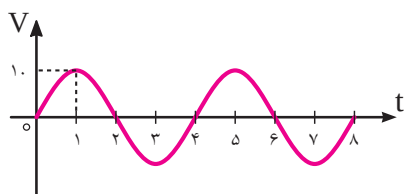
حل: چون چهار سیکل در مدت زمان یک ثانیه طی می شود پس فرکانس برابر با $f = 4\text{ Hz}$ است.



شکل ۹-۲۳

۹-۶-۳- زمان تناوب (T): مدت زمانی که طول می کشد تا یک سیکل کامل طی شود را «زمان تناوب» یا «پریود» می گویند. واحد زمان تناوب $\frac{1}{\text{Hz}}$ یا ثانیه (s) است. پریود و فرکانس عکس یکدیگرند.

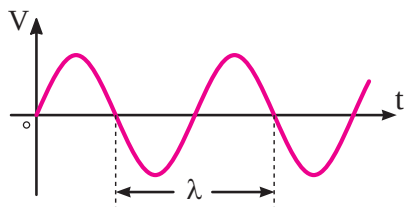
$$T = \frac{1}{f} \quad \text{یا} \quad f = \frac{1}{T}$$



شکل ۹-۲۴

مثال: زمان تناوب شکل ۹-۲۴ چه قدر است؟

حل: مدت زمان یک سیکل روی شکل برابر با: $T = 4\text{ ms}$ است زیرا برای کامل شدن سیکل ۴ میلی ثانیه طی می شود.



شکل ۹-۲۵

۹-۶-۴- طول موج (λ): مسافتی را که یک موج در یک سیکل کامل طی کند «طول موج» می نامند. واحد طول موج بر حسب متر (m) است. سرعت طول موج بستگی به محیطی که در آن منتشر می شود دارد. طول موج را از رابطه زیر می توان به دست آورد.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{\text{سرعت نور}}{\text{فرکانس}} = \frac{3000000}{f}$$

۹-۶-۵- سرعت زاویه ای (ω امگا): سرعت زاویه ای عبارت است از زاویه ای که شعاع متحرک نسبت به شعاع مبنا در یک ثانیه طی می کند (شکل ۹-۲۶). مسافتی که متحرک در یک دور چرخش مسیر دایره ای خود بر حسب رادیان می پیماید برابر 2π است لذا رابطه سرعت زاویه ای را به صورت زیر می توان نوشت:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

واحد سرعت زاویه ای طبق این رابطه رادیان بر ثانیه است. همان طور که در قسمت قبل اشاره شد زمان تناوب (T) با فرکانس (f) رابطه عکس دارد؛ بر همین اساس با جایگذاری f به جای T می توان سرعت زاویه ای را مطابق رابطه دیگری نیز محاسبه کرد:

$$\omega = 2\pi f$$

واحد سرعت زاویه ای طبق این رابطه رادیان هرتز خواهد بود.



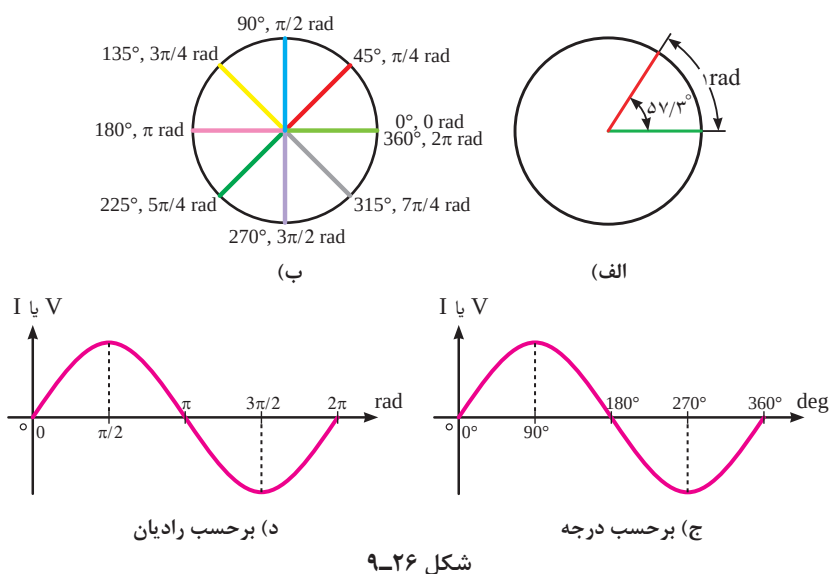
معمولاً از واحد رادیان بر ثانیه برای سرعت زاویه‌ای (ω) استفاده می‌شود.

مثال: سرعت زاویه‌ای متحرکی با فرکانس ۱۰۰ هرتز چقدر است؟

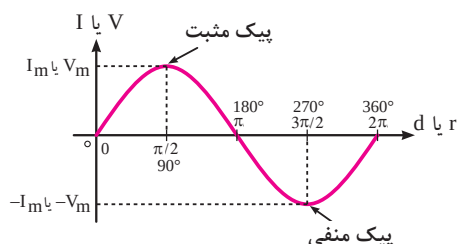
حل:

$$\omega = 2\pi f \Rightarrow 2 \times 3.14 \times 100 = 628 \text{ Rad/s}$$

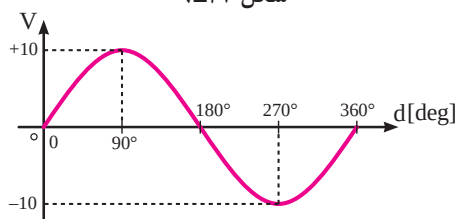
شکل‌های ۹-۲۶ ج و ۹-۲۶ د نحوه تقسیم‌بندی محور افقی شکل موج سینوسی بر حسب درجه و رادیان را نشان می‌دهند.



شکل ۹-۲۶



شکل ۹-۲۷



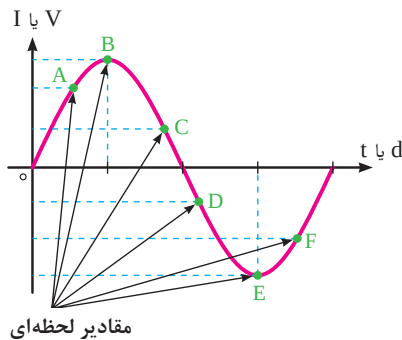
شکل ۹-۲۸

۹-۶-۶- مقدار پیک یا ماکزیمم ($\max$ -peak): حداکثر

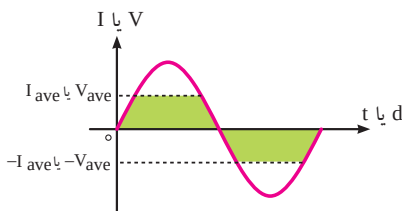
مقداری که ولتاژ یا جریان سینوسی در هر نیم سیکل دارد را مقدار ماکزیمم می‌گویند. در شکل ۹-۲۷ نقاط پیک مثبت و منفی نشان داده شده است.

مثال: مقدار پیک شکل موج ۹-۲۸ چند ولت است و در چه زاویه‌ای قرار دارد؟

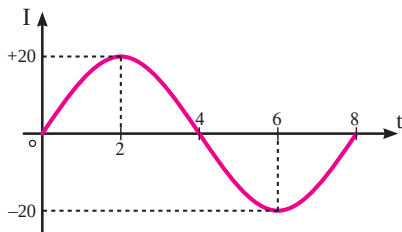
حل: مقدار ماکزیمم ۱۰ ولت و در زوایای $\theta = 90^\circ$ و $\theta = 270^\circ$ قرار دارد.



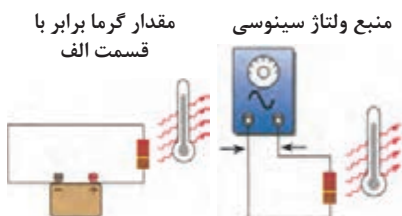
شکل ۹-۲۹



شکل ۹-۳۰



شکل ۹-۳۱



الف) مقدار جریان متناوب (ب) مقدار جریان مستقیم

شکل ۹-۳۲

۷-۶-۹- دامنه: مقدار موج در هر لحظه از زمان را اصطلاحاً

«دامنه» یا «مقدار لحظه‌ای» می‌گویند.

در شکل ۹-۲۹ دامنه لحظه‌ای در نقاط A, B, C, D, E, F نشان داده شده است.

۸-۶-۹- مقدار متوسط (ave): به میانگین مقادیر لحظه‌ای موج

سینوسی در یک نیم سیکل اصطلاحاً «متوسط موج» می‌گویند. (شکل ۹-۳۰) چون در هر نیم سیکل موج سینوسی از صفر شروع شده به مقدار حداکثر (ماکزیمم) می‌رسد و مجدداً به صفر برمی‌گردد لذا مقدار میانگین یک نیم سیکل نیز چیزی بین صفر و مقدار ماکزیمم می‌باشد. مقدار متوسط برای نیم سیکل موج سینوسی از روابط زیر قابل محاسبه است.

$$V_{ave} = \frac{2}{\pi} \times V_m = 0.637 \times V_m$$

$$I_{ave} = \frac{2}{\pi} \times I_m = 0.637 \times I_m$$

از آنجایی که هر دو نیم سیکل موج سینوسی مشابه یکدیگر هستند و فقط در علامت مثبت و منفی تفاوت دارند به همین دلیل مقدار متوسط در یک سیکل برابر صفر است.

مثال: مقدار متوسط نیم سیکل موج نشان داده شده در شکل ۹-۳۱ چند آمپر است؟

حل:

$$I_{ave} = \frac{2}{\pi} \times I_m = 0.637 \times I_m$$

$$I_{ave} = 0.637 \times 20$$

$$I_{ave} = 12.74 \text{ A}$$

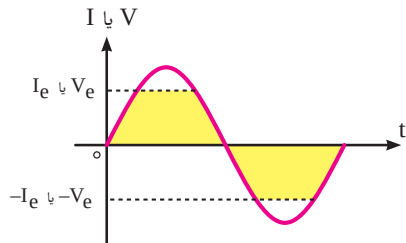
۹-۶-۹- مقدار مؤثر (e-eff): مقدار مؤثر یک ولتاژ AC برابر

با مقدار ولتاژ DC است که در یک مدار اهمی خالص (مانند اتوی برقی) همان مقدار گرما را تولید می‌کند. (شکل ۹-۳۲)

مقدار مؤثر یک موج سینوسی از روابط زیر قابل محاسبه است:

$$V_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \times V_m = 0.707 \times V_m$$

$$I_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \times I_m = 0.707 \times I_m$$

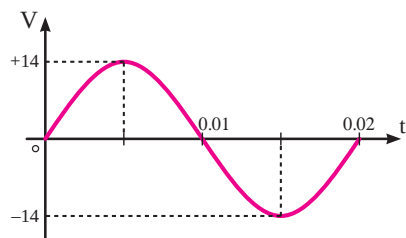


شکل ۹-۳۳

مقدار مؤثر یک موج سینوسی را با اندیس 'rms' نیز نشان می دهند.

$$V_e = V_{rms} = 0.707 \times V_m$$

$$I_e = I_{rms} = 0.707 \times I_m$$



شکل ۹-۳۴

مثال: مقدار مؤثر شکل موج ولتاژ نشان داده شده در شکل ۹-۳۴ چه قدر است؟
حل:

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 \times V_m$$

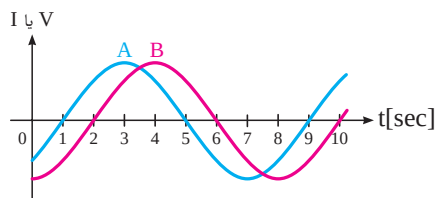
$$V_e = 0.707 \times 14$$

$$V_e = 9.898 \text{ V}$$

۱۰-۶-۹- فاز: اصطلاحی است که موقعیت مکانی یا زمانی موج را بیان می کند در واقع فاصله بین نقطه شروع موج تا مبدأ مختصات را نشان می دهد.
در مباحث محاسباتی مدارهای الکتریکی برای بیان موقعیت (فاز) هر موج از حرف (θ - تتا) استفاده می شود.
به عنوان مثال برای موج های A و B شکل ۹-۳۵ الف می توان نوشت:

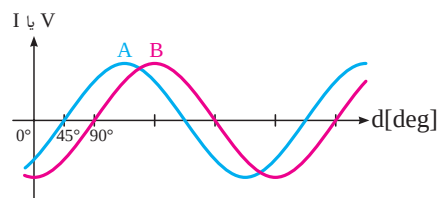
$$\theta_A = -45^\circ$$

$$\theta_B = -90^\circ$$



الف) موج A در فاز ۴۵ درجه و موج B در فاز ۹۰ درجه قرار دارد.

شکل ۹-۳۵



ب) موج A در فاز ۱ ثانیه و موج B در فاز ۲ ثانیه قرار دارد.

۱- root mean square

۲- Phase

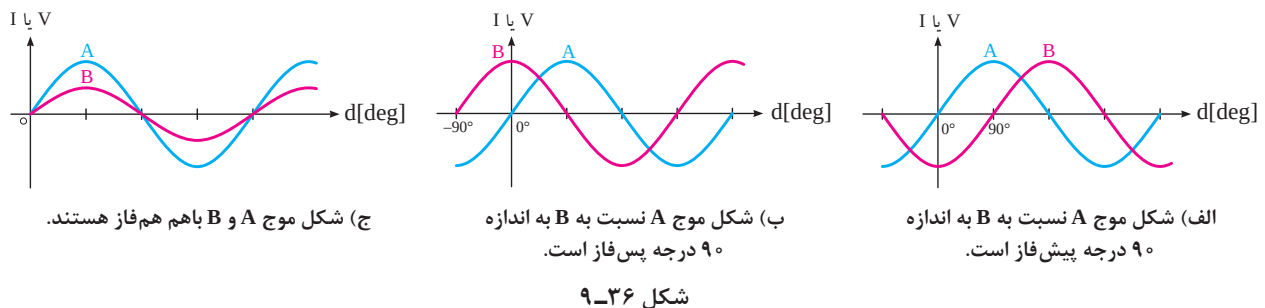


چرا علامت منفی کنار اعداد θ_A و θ_B در نظر گرفته شده است؟

۹-۶-۱۱ اختلاف فاز: برای تعیین میزان اختلاف فاز بین دو شکل موج ابتدا دو نقطه مشابه (نقطه صفر - نقطه ماکزیمم یا نقطه مینیمم) از شکل موج‌ها را بر حسب کمیت محور افقی با یکدیگر مقایسه می‌کنیم و سپس مقدار آن را به همراه پسوندهای «پیش‌فاز»، «پس‌فاز» یا «هم‌فاز» می‌نویسیم. مثلاً در صورتی که شکل موجی از موج دیگر جلوتر (زودتر) شروع شده باشد اصطلاح «پیش‌فاز»^۱ و در صورتی که عقب‌تر (دیرتر) شروع شده باشد کلمه «پس‌فاز»^۲ و چنانچه دو شکل کاملاً مشابه باشند کلمه «هم‌فاز» را به کار می‌بریم. شکل (۹-۳۶) برای تعیین میزان اختلاف فاز بین دو شکل موج از حرف (ϕ) استفاده می‌شود. در مدارهای الکتریکی برای محاسبه اندازه اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان در یک مدار از رابطه زیر استفاده می‌شود.

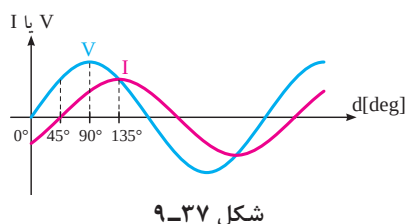
$$\phi = \theta_v - \theta_i$$

اگر حاصل تفاضل مثبت $(+\phi)$ شود یعنی ولتاژ نسبت به جریان پیش‌فاز است (شکل الف) و در صورتی که حاصل تفریق منفی $(-\phi)$ باشد نشان‌دهنده آن است که ولتاژ نسبت به جریان پس‌فاز است. (شکل ب)



مثال: ارتباط فازی بین دو شکل موج V و I در شکل ۹-۳۷ چگونه است؟

حل: با توجه به توضیحات داده شده، برای موج‌های شکل ۹-۳۷ چنین می‌توان عمل کرد.



$$\phi = \theta_v - \theta_i$$

$$\phi = 0 - (-45) = +45$$

مقدار به‌دست آمده برای ϕ بیانگر این مطلب است که ولتاژ ۴۵ درجه نسبت به جریان پیش‌فاز است یا به بیانی دیگر جریان به اندازه ۴۵ درجه نسبت به ولتاژ پس‌فاز است.

۱- Leads

۲- Lags

۹-۶-۱۲- معادله موج ولتاژ و جریان متناوب: همان گونه که اشاره شد در مولدها ولتاژ القایی جریان متناوب به سینوس زاویه کلاف سیم و میدان مغناطیسی قطبها بستگی دارد به همین دلیل از نظر ریاضی معادلات ولتاژ و جریان متناوب در شکل کلی به صورت زیر است:

$$V_t = V_m \sin(\omega t \pm \theta_v)$$

$$I_t = I_m \sin(\omega t \pm \theta_i)$$

V_m - ولتاژ ماکزیمم

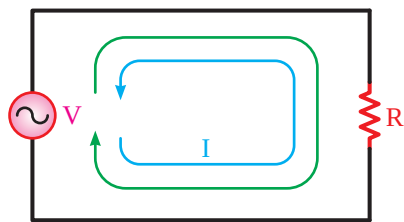
I_m - جریان ماکزیمم

ω - سرعت زاویه‌ای

θ_v - موقعیت شروع موج ولتاژ از مبدأ (فاز ولتاژ)

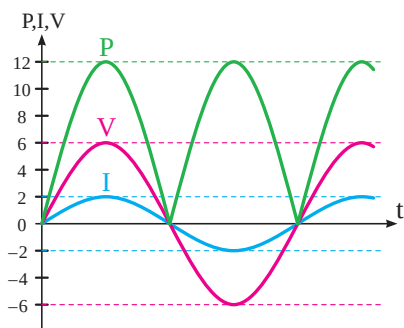
θ_i - موقعیت شروع موج جریان از مبدأ (فاز جریان)

۹-۷- مدارهای جریان متناوب



شکل ۹-۳۸

۹-۷-۱- مدارهای اهمی خالص: مدارهایی مانند شکل ۹-۳۸ را مدارهای «اهمی خالص» می‌گویند. در این نوع مدارها هیچ گونه اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان وجود ندارد و تغییراتشان مشابه یکدیگر است یعنی با هم در یک نقطه به حداقل، حداکثر و صفر می‌رسند.

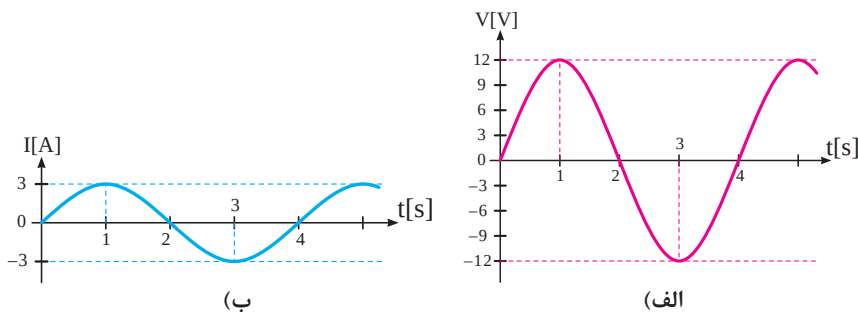


شکل ۹-۳۹

همان طوری که می‌دانید توان از رابطه $P = V \cdot I$ به دست می‌آید. شکل موج‌های ولتاژ و جریان و توان این مدارها را در شکل ۹-۳۹ مشاهده می‌کنید. در محاسبات مدارهای جریان متناوب چون با مقدار مؤثر ولتاژ و جریان سروکار داریم پس برای توان مصرفی می‌توانیم بنویسیم:

$$P = V_e \cdot I_e \quad \text{یا} \quad P = R \cdot I_e^2 \quad \text{یا} \quad P = \frac{V_e^2}{R}$$

مثال: ولتاژی با شکل موج ۹-۴۰ الف به یک مقاومت اهمی اتصال داده شده و جریانی مطابق شکل موج ۹-۴۰ ب از آن عبور می‌کند. مطلوب است توان مصرفی مقاومت را حساب کنید.



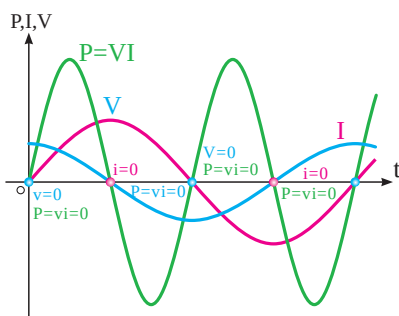
شکل ۹-۴۰

حل:

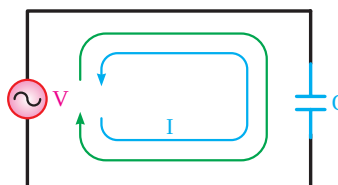
$$P = V_e \cdot I_e$$

$$P = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \times \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{12}{\sqrt{2}} \times \frac{3}{\sqrt{2}} = \frac{36}{2} = 18 \text{ W}$$

۹-۷-۲- مدارهای خازنی خالص: مدارهایی که در آنها فقط از خازن استفاده شود را مدارهای «خازنی خالص» می‌گویند شکل ۹-۴۱. در این مدارها به‌خاطر وجود خاصیت خازنی، بین ولتاژ و جریان مدار ۹۰ درجه اختلاف فاز به‌وجود می‌آید (جریان ۹۰ درجه جلوتر است). این اختلاف فاز به‌گونه‌ای است که در این مدارها در لحظاتی که جریان یا ولتاژ صفر است توان صفر خواهد شد. در زمان‌هایی که ولتاژ یا جریان منفی است توان نیز منفی است. توان منفی یا مثبت به این معنی است که در یک سیکل خازن مقداری انرژی از شبکه می‌گیرد و در خود ذخیره می‌کند و در زمانی دیگر به شبکه بازمی‌گرداند. به عبارت دیگر خازن توانی را مصرف نمی‌کند. (شکل ۹-۴۲)



شکل ۹-۴۲



شکل ۹-۴۱- مدار خازنی خالص



شکل ۹-۴۳- تصاویری از انواع خازن‌ها

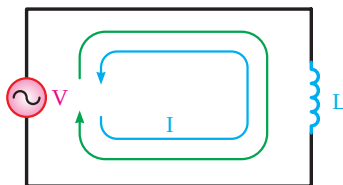
مقدار انرژی ذخیره شده در یک خازن را از رابطه زیر می‌توان به‌دست آورد.

$$W = \frac{1}{2} C \cdot V_C^2$$

خازن در جریان متناوب از خود مقاومتی را نشان می‌دهد که اصطلاحاً به آن «راکتانس خازنی» می‌گویند. واحد آن برحسب اهم است و از رابطه زیر به دست می‌آید.

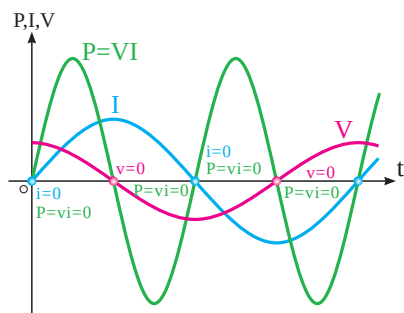
$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

خاصیت مقاومتی خازن (راکتانس) در مقابل عبور جریان از خود مخالفت نشان می‌دهد.



شکل ۹-۴۴- مدار سلفی خالص

۹-۷-۳- مدارهای سلفی خالص: مدارهایی که مشابه شکل ۹-۴۴ فقط از سیم پیچ (سلف) تشکیل شده‌اند و باعث می‌شوند تا جریان به اندازه ۹۰ درجه از ولتاژ عقب‌تر (پس‌فاز) شود.



شکل ۹-۴۵- منحنی ولتاژ و جریان و توان در مدار خازنی خالص

خاصیت سلفی (اندوکتانسی) یک سیم پیچ را با حرف L نشان می‌دهند و آن را برحسب هانری H می‌سنجند. سلف از نظر توان مصرفی مشابه خازن است چرا که مقدار انرژی دریافت‌شده و داده شده به شبکه آن در هر سیکل برابر است و در واقع عملاً سلف در شبکه متناوب توانی را مصرف نمی‌کند. (شکل ۹-۴۵) مقدار انرژی ذخیره شده یک سلف را از رابطه زیر می‌توان محاسبه کرد.

$$W = \frac{1}{2} L I_L^2$$

سلف نیز مانند خازن در جریان متناوب از خود مقاومتی نشان می‌دهد که آن را «راکتانس سلفی» می‌نامند. راکتانس سلفی را با (X_L) نمایش می‌دهند. واحد راکتانس سلفی اهم است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

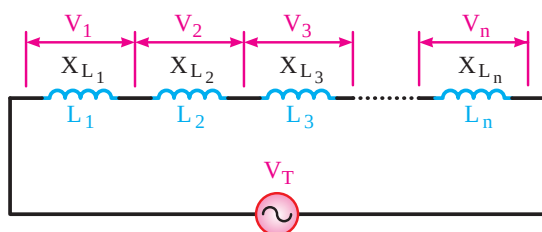


شکل ۹-۴۶- تصاویری از انواع سلف‌ها

شکل ۹-۴۶ تصاویری از انواع سلف‌ها را نشان می‌دهد. برای به دست آوردن اندوکتانس خالص در مدارها، سلف‌ها را به صورت سری و موازی به کار می‌برند. روابط حاکم بر هر یک از حالات فوق به شرح زیر است:

اتصال سری سلف‌ها

هرگاه دو یا n سلف مطابق شکل ۹-۴۷ به یکدیگر اتصال یابند سلف معادل و راکتانس معادل مانند مقاومت‌های اهمی و با استفاده از روابط زیر به دست می‌آیند:



شکل ۹-۴۷

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

$$X_T \cdot I_T = X_{L_1} \cdot I_1 + X_{L_2} \cdot I_2 + X_{L_3} \cdot I_3 + \dots + X_{L_n} \cdot I_n$$

$$X_T \cdot I_T = I_T (X_{L_1} + X_{L_2} + \dots + X_{L_n})$$

$$X_T = X_{L_1} + X_{L_2} + X_{L_3} + \dots + X_{L_n}$$

اگر به جای X_L ها مقادیر معادل آنها را قرار دهیم خواهیم داشت:

$$L_T \omega = L_1 \omega + L_2 \omega + L_3 \omega + \dots + L_n \omega$$

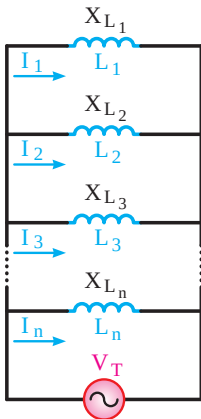
چون ω ثابت است پس:

$$L_T \cdot \omega = \omega (L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n)$$

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

اتصال موازی سلف ها

اگر دو یا n سلف مطابق شکل ۹-۴۸ به یکدیگر اتصال داده شوند، سلف معادل و راکتانس معادل مانند مقاومت های اهمی و با استفاده از روابط زیر به دست می آید.



شکل ۹-۴۸

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

$$\frac{V_T}{X_{L_T}} = \frac{V_T}{X_{L_1}} + \frac{V_T}{X_{L_2}} + \frac{V_T}{X_{L_3}} + \dots + \frac{V_T}{X_{L_n}}$$

$$\cancel{V_T} \frac{1}{X_{L_T}} = \cancel{V_T} \left(\frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + \frac{1}{X_{L_3}} + \dots + \frac{1}{X_{L_n}} \right)$$

$$\frac{1}{X_{L_T}} = \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + \frac{1}{X_{L_3}} + \dots + \frac{1}{X_{L_n}}$$

اگر به جای هر X_L مقدار معادل آن یعنی $L \cdot \omega$ را قرار دهیم آن گاه داریم:

$$\frac{1}{L_T \cdot \omega} = \frac{1}{L_1 \cdot \omega} + \frac{1}{L_2 \cdot \omega} + \frac{1}{L_3 \cdot \omega} + \dots + \frac{1}{L_n \cdot \omega}$$

$$\cancel{\omega} \cdot \frac{1}{L_T} = \cancel{\omega} \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n} \right)$$

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

حالات خاصی که برای مقاومت های سری و موازی بیان شد برای سلف ها نیز صادق است.

در شرایط مساوی بودن سلف ها $L_T = \frac{L}{n}$

در شرایطی که دو سلف نامساوی باشند. $L_T = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$

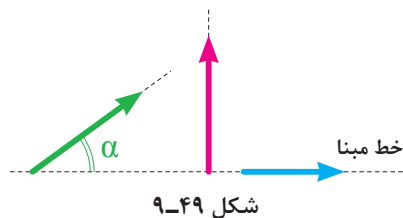
در صورتی که سلف ها به صورت سری - موازی اتصال یابند برای به دست آوردن سلف معادل می بایست هر قسمت را با توجه به شکل مدار از قواعد سری یا موازی مربوط به آن حل کنیم.

تذکر

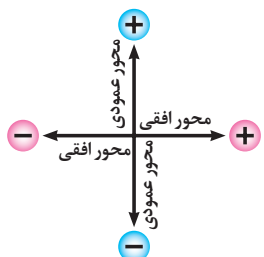


تذکر



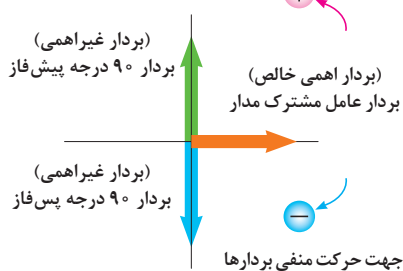


شکل ۹-۴۹

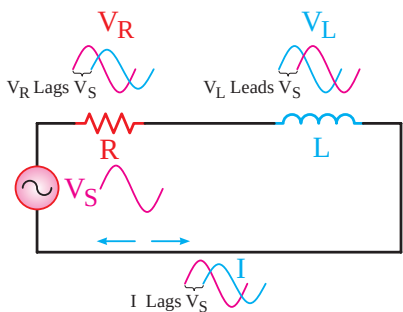


شکل ۹-۵۰

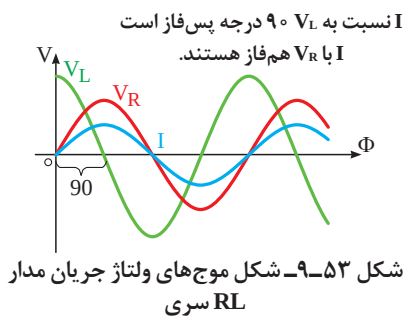
جهت حرکت مثبت بردارها



شکل ۹-۵۱



شکل ۹-۵۲ مدار RL سری



شکل ۹-۵۳ شکل موجهای ولتاژ جریان مدار RL سری

۹-۷-۴- بردار: بردار پاره خطی است که دارای اندازه (طول) و جهت (فلش) است. از بردار در مدارهای الکتریکی به عنوان وسیله‌ای جهت نمایش و محاسبه کمیت‌های مختلف الکتریکی مانند ولتاژ، جریان، مقاومت و توان استفاده می‌شود. (شکل ۹-۴۹)

در مدارهای الکتریکی برای رسم بردار مربوط به کمیت‌های الکتریکی قواعد زیر را به کار می‌برند.

■ برای رسم بردارها از محورهای مختصات استفاده می‌شود. (شکل ۹-۵۰)

■ کمیت‌های مختلف مربوط به عناصر اهمی خالص روی محور افقی و در جهت مثبت رسم می‌شوند.

■ کمیت‌های مختلف مربوط به عناصر غیراهمی خالص روی محور عمودی رسم می‌شوند.

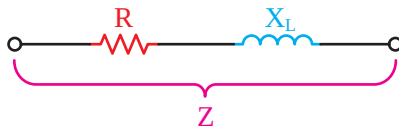
■ در مدارهای ترکیبی ac برای رسم بردارها نخست بردار عامل مشترک مدار روی محور افقی (جهت مثبت) رسم می‌شود و سپس بقیه عوامل غیرمشترک نسبت به آن رسم می‌شوند؛ مثلاً برای ترسیم ۹۰ درجه پیش فازی باید بردار روی محور عمودی مثبت یا برای ترسیم ۹۰ درجه پس فازی باید بردار روی محور عمودی منفی قرار گیرد. (شکل ۹-۵۱)

۹-۷-۵- مدارهای ترکیبی جریان متناوب

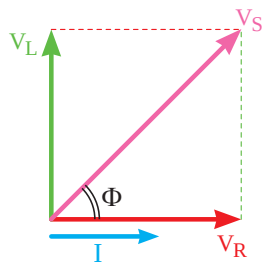
الف) مدار RL سری

این مدارها که از مقاومت اهمی و سلفی تشکیل شده‌اند دارای خاصیتی هستند که در برگیرنده هر دو عامل است. (شکل ۹-۵۲)

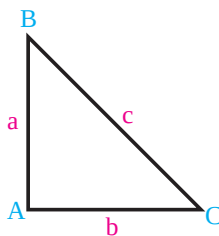
در این مدارها اختلاف فازی بین ولتاژ و جریان کل مدار وجود دارد. (شکل ۹-۵۳)



شکل ۹-۵۴- مقاومت معادل (امپدانس)



شکل ۹-۵۵



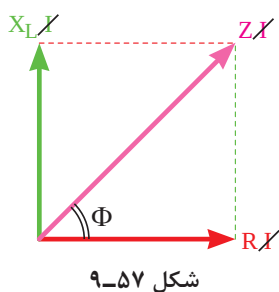
شکل ۹-۵۶- مثلث قائم الزاویه

قائم الزاویه (شکل ۹-۵۶) مجذور وتر مثلث برابر با حاصل جمع مربع دو ضلع دیگر مثلث است یعنی:

$$\begin{aligned} (\text{وتر})^2 &= (\text{ضلع عمودی})^2 + (\text{ضلع افقی})^2 \\ (BC)^2 &= (AB)^2 + (AC)^2 \\ c^2 &= a^2 + b^2 \end{aligned}$$

برهمن اساس و طبق رابطه فیثاغورث برای دیاگرام برداری ولتاژهای مدار RL سری در شکل ۹-۵۵ می توانیم بنویسیم:

$$V_S = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$



شکل ۹-۵۷

میزان زاویه اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان می تواند بین صفر تا ۹۰ درجه باشد.

به طور کلی مقاومت معادل در مدارهای جریان متناوب را «مقاومت ظاهری» یا «امپدانس»^۱ می گویند. امپدانس مدارهای RL سری ترکیبی از خاصیت اهمی و راکتانس سلفی است.

می دانیم مدار سری است و عامل مشترک مدار جریان است و از طرف دیگر ولتاژ و جریان در عناصر اهمی هم فاز و در عناصر سلفی ولتاژ به اندازه ۹۰ درجه از جریان جلوتر است. با توجه به موارد فوق دیاگرام برداری ولتاژها در این مدار مطابق شکل ۹-۵۵ ترسیم می شود.

همان گونه که در شکل ۹-۵۵ مشاهده می شود برای به دست آوردن ولتاژ کل مدار سری باید ولتاژهای دو سر مقاومت و سلف را با هم جمع کنیم. در مدارهای اهمی جمع جبری (ساده) قابل قبول است ولی در مدار ترکیبی سلف و مقاومت باید جمع برداری انجام شود. به همین خاطر شکل به دست آمده به صورت یک مثلث قائم الزاویه در آمده است.

در مباحث ریاضی سال های گذشته قضیه فیثاغورث را فرا گرفته اید. در این قضیه ارتباط بین اضلاع یک مثلث قائم الزاویه بیان می شود که خلاصه آن چنین است: بنابر قضیه فیثاغورث در هر مثلث

قائم الزاویه (شکل ۹-۵۶) مجذور وتر مثلث برابر با حاصل جمع مربع دو ضلع دیگر مثلث است یعنی:

در دیاگرام برداری ولتاژها اگر به جای ولتاژها معادل آنها را قرار دهیم و سپس عامل مشترک (جریان) را حذف کنیم. دیاگرام برداری امپدانس به دست می آید. (شکل ۹-۵۷)

امپدانس را بر حسب اهم و با استفاده از رابطه زیر می توان محاسبه کرد.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

در مثلث تشکیل شده شکل ۹-۵۷ برای زاویه Φ نسبت‌های مثلثاتی $\sin$ ، $\cos$ و $\tan$ را می‌توانیم به صورت مقابل بنویسیم:

$$\sin \Phi = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}}$$

$$\cos \Phi = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}}$$

$$\tan \Phi = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{مجاور}}$$

در مدار RL سری برای ضرایب فوق روابط مقابل را می‌توان نوشت:

$$\sin \Phi = \frac{V_L}{V_s} = \frac{X_L}{Z}$$

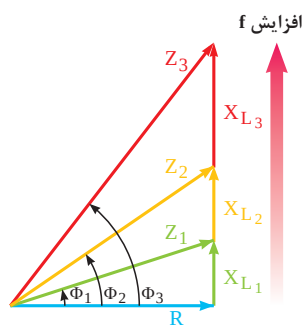
$$\cos \Phi = \frac{V_R}{V_s} = \frac{R}{Z}$$

$$\tan \Phi = \frac{V_L}{V_R} = \frac{X_L}{R}$$

نسبت‌های مثلثاتی $\sin \Phi$ و $\cos \Phi$ را تحت عناوین زیر می‌شناسیم.
 $\sin \Phi$ - ضریب قدرت دواته، غیرحقیقی، غیرمفید، غیرمؤثر
 $\cos \Phi$ - ضریب قدرت واته، حقیقی، مفید، مؤثر

در مدارهای ترکیبی جریان متناوب پارامتر دیگری تحت عنوان «ضریب کیفیت»^۱ مطرح است که با حرف Q نشان می‌دهیم. ضریب کیفیت را در حالت کلی به صورت زیر تعریف می‌کنیم.

$$Q = 2\pi \times \frac{\text{ماکزیمم انرژی ذخیره شده}}{\text{انرژی مصرفی کل در هر سیکل}}$$



شکل ۹-۵۸- دیاگرام برداری امپدانس در ازای فرکانس‌های مختلف

انرژی ذخیره شده در مدارها مربوط به عناصر سلفی و خازنی است در صورتی که انرژی مصرفی را براساس مقاومت اهمی به دست آوریم مقدار ضریب کیفیت Q در مدارهای RC و RL با مقدار $\tan \Phi$ برابر است. در مدار RL سری هر قدر فرکانس افزایش یابد، امپدانس بیشتر می‌شود. همچنین از طرف دیگر زاویه اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان کل مدار نیز افزایش می‌یابد. (شکل ۹-۵۸) تغییرات امپدانس موجب تغییر در مقدار جریان مدار می‌شود زیرا:

$$I = \frac{V_s}{Z}$$

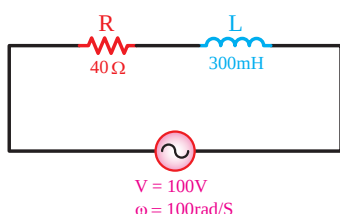
از مدار RL سری برای نشان دادن مدار معادل ترانسفورماتورها و موتورهای الکتریکی استفاده می‌شود.

مثال: در مدار شکل ۹-۵۹ مقابل مطلوب است:

(الف) امپدانس مدار

(ب) افت ولتاژ دو سر هر عنصر

(ج) ضریب کیفیت و ضریب توان واته و دواته



شکل ۹-۵۹

حل: مقادیر خواسته شده را می توان براساس روابط مدارهای RL سری به صورت زیر به دست آورد.

$$X_L = 2\pi f.L = \omega.L \Rightarrow X_L = 100 \times 300 \times 10^{-3} \Rightarrow X_L = 30\Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \Rightarrow Z = \sqrt{(40)^2 + (30)^2} \Rightarrow Z = 50\Omega$$

$$I_e = \frac{V}{Z} = \frac{100}{50} = 2A$$

$$V_R = R.I_e = 40 \times 2 = 80V$$

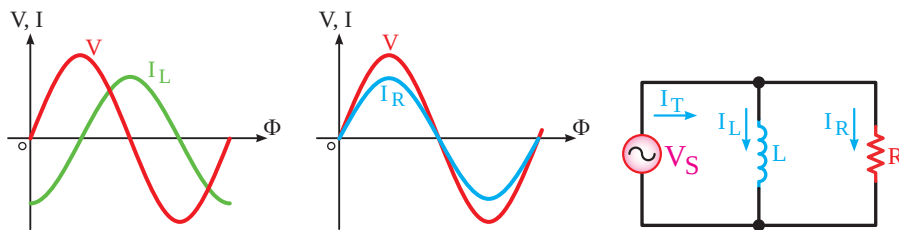
$$V_L = X_L.I_e = 30 \times 2 = 60V$$

$$\sin \Phi = \frac{X_L}{Z} = \frac{30}{50} = 0.6$$

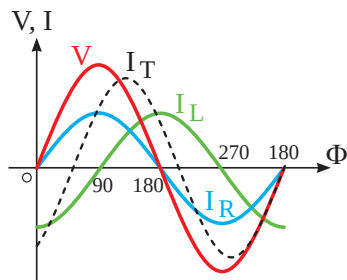
$$\cos \Phi = \frac{R}{Z} = \frac{40}{50} = 0.8$$

ب) مدار RL موازی

در این مدارها مقاومت اهمی و سلف به صورت موازی وصل شده اند. عامل مشترک در مدارهای موازی ولتاژ است و جریان بین عناصر موجود در مدار به نسبت عکس مقاومت ها تقسیم می شود. (شکل ۹-۶۰)

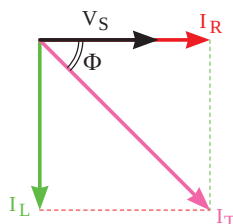


شکل ۹-۶۰- مدار RL موازی



شکل ۹-۶۱- شکل موج های ولتاژ جریان مدار RL موازی

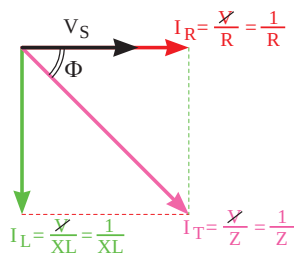
در شاخه اهمی ولتاژ و جریان با هم هم فاز است و در شاخه سلفی جریان نسبت به ولتاژ ۹۰ درجه پس فاز است. در نتیجه در این مدارها جریان کل نسبت به ولتاژ کل به اندازه Φ درجه ($0 \leq \Phi \leq 90$) پس فاز خواهند شد. (شکل ۹-۶۱)



شکل ۹-۶۲- دیاگرام برداری جریان

دیاگرام برداری جریان ها در این مدار به صورت شکل ۹-۶۲ است. براساس دیاگرام جریان ها رابطه زیر را می توانیم بنویسیم:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$



شکل ۹-۶۳- دیاگرام برداری جریان‌ها

مانند مدارهای سری اگر به جای جریان‌ها معادل آنها را قرار دهیم شکل دیگری از دیاگرام‌های مدار RL موازی را خواهیم داشت که اصطلاحاً به آن دیاگرام «ادمیتانس» یا عکس امپدانس گویند. (شکل ۹-۶۲) رابطه امپدانس مدارهای RL موازی به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{X_L}$$

و پس از ساده شدن رابطه می‌توان نوشت:

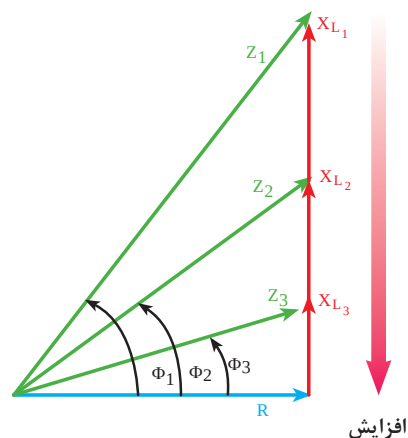
$$Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

با توجه به دیاگرام‌های برداری جریان‌ها و ادمیتانس‌ها برای ضرایب قدرت می‌توانیم بنویسیم:

$$\sin \Phi = \frac{I_L}{I_T} = \frac{\frac{1}{X_L}}{\frac{1}{Z}} = \frac{Z}{X_L}$$

$$\cos \Phi = \frac{I_R}{I_T} = \frac{\frac{1}{R}}{\frac{1}{Z}} = \frac{Z}{R}$$

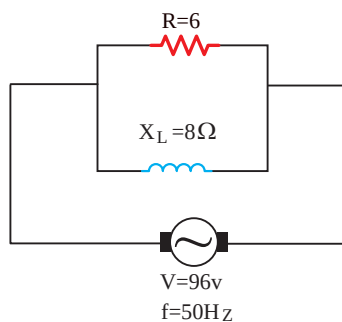
$$\tan \Phi = \frac{I_L}{I_R} = \frac{\frac{1}{X_L}}{\frac{1}{R}} = \frac{R}{X_L}$$



شکل ۹-۶۴- دیاگرام برداری امپدانس در ازای فرکانس‌های مختلف

در این مدارها با افزایش فرکانس خاصیت راکتانس سلفی افزایش می‌یابد و جریان عبوری از سلف کم می‌شود. در این حالت زاویه اختلاف فاز کم شده و مدار به سمت خاصیت اهمی میل می‌کند. در شکل ۹-۶۴ کاهش زاویه اختلاف فاز را به خوبی می‌توان مشاهده کرد.

$$(\Phi_3 < \Phi_2 < \Phi_1)$$



شکل ۹-۶۵

مثال: در مدار شکل ۹-۶۵ مطلوب است:

- الف) امپدانس مدار
- ب) جریان کل مدار
- ج) جریان هر شاخه
- د) ضریب قدرت وات

حل: مقادیر خواسته شده را به صورت مقابل محاسبه می‌کنیم:

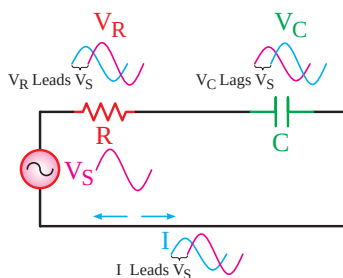
$$Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \Rightarrow Z = \frac{6 \times 8}{\sqrt{(6)^2 + (8)^2}} = \frac{48}{10} = 4.8 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{96}{4.8} = 20 A$$

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{96}{6} = 16 A$$

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{96}{8} = 12 A$$

$$\cos \Phi = \frac{Z}{R} = \frac{4.8}{6} = 0.8$$

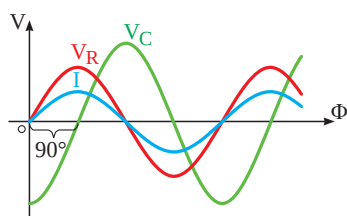


شکل ۹-۶۶ مدار RC سری

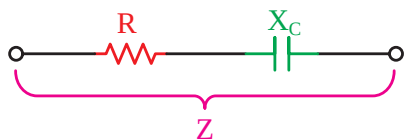
پ) مدار RC سری

شکل ۹-۶۶ نمونه‌ای از این مدارها را نشان می‌دهد. از نظر فازی رابطه‌ای که بین ولتاژ و جریان وجود دارد شامل خصوصیات هر دو عنصر مدار است.

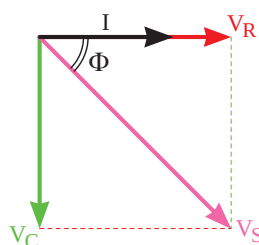
اندازه زاویه اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان کل مدار بین صفر تا ۹۰ درجه است. (شکل ۹-۶۷)



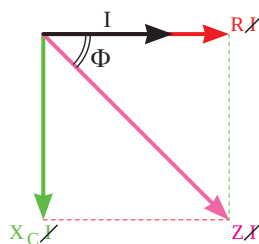
شکل ۹-۶۷ شکل موج‌های ولتاژی و جریان مدار RC سری



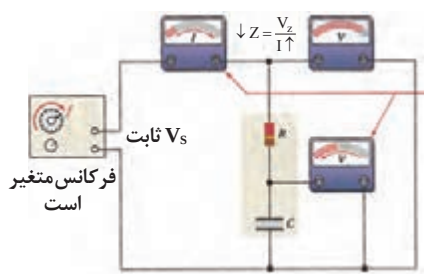
شکل ۹-۶۸- دیاگرام برداری امپدانس



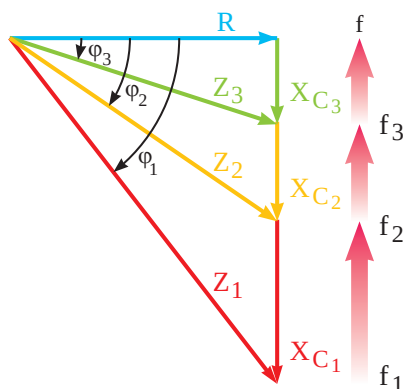
شکل ۹-۶۹- دیاگرام برداری ولتاژها



شکل ۹-۷۰- دیاگرام برداری امپدانس



شکل ۹-۷۱



شکل ۹-۷۲- دیاگرام برداری امپدانس در ازای فرکانسهای مختلف

مقاومت معادل این مدار را نیز تحت عنوان «امپدانس» می‌نامیم که در برگیرنده هر دو خاصیت اهمی و راکتانس خازنی مدار است. (شکل ۹-۶۸)

در یک مدار سری جریان تمامی عناصر یکسان است و ولتاژ بین اجزای مدار و به نسبت مقاومت‌ها تقسیم می‌شود. در مقاومت اهمی ولتاژ و جریان هم‌فاز ولی در خازن جریان به اندازه ۹۰ درجه پیش‌فاز است. بر همین اساس دیاگرام برداری ولتاژهای مدار RC سری مطابق شکل ۹-۶۹ خواهد شد. مقدار V_S از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$V_S = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

مشابه مدار RL سری اگر به‌جای ولتاژهای V_R و V_C و V_S معادل‌هایشان را قرار دهیم و بعد عامل مشترک I را حذف کنیم دیاگرام امپدانس‌ها به‌دست می‌آید. (شکل ۹-۷۰)

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

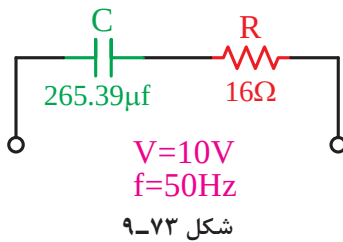
از روی دیاگرام‌های برداری ولتاژها و امپدانس می‌توان ضرایب قدرت و ضریب کیفیت را به صورت زیر نوشت:

$$\sin \Phi = \frac{V_C}{V_S} = \frac{X_C}{Z}$$

$$\cos \Phi = \frac{V_R}{V_S} = \frac{R}{Z}$$

$$\tan \Phi = \frac{V_C}{V_R} = \frac{X_C}{R}$$

با افزایش فرکانس در مدار RC سری مقدار راکتانس خازنی کاهش می‌یابد. در این حالت افت ولتاژ دو سر خازن کم می‌شود و زاویه اختلاف فاز آن کاهش می‌یابد و مدار به سمت مقاومت اهمی میل می‌نماید. شکل ۹-۷۱ وضعیت مدار و شکل ۹-۷۲ دیاگرام برداری امپدانس را در فرکانس‌های مختلف نشان می‌دهد. ($f_3 > f_2 > f_1$)



مثال: در مدار شکل ۹-۷۳ از یک مقاومت اهمی و یک خازن تشکیل شده

است مطلوب است:

الف) امپدانس مدار

ب) جریان مدار

ج) ولتاژ دو سر هر عنصر

د) مقدار ضریب قدرت و $\tan \Phi$

حل:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} \Rightarrow X_C = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 265 \times 10^{-6}} = 12 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(16)^2 + (12)^2} = 20 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{10}{20} = 0.5 A$$

$$V_R = R \cdot I = 16 \times 0.5 = 8 V$$

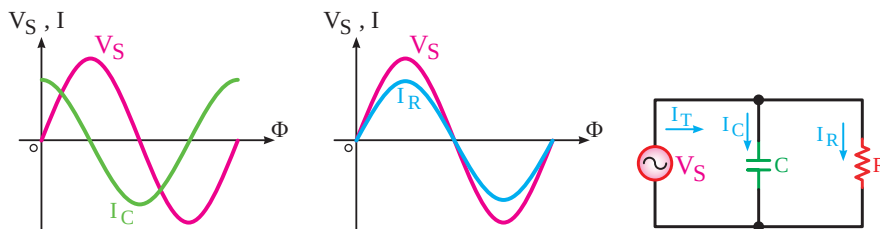
$$V_C = X_C \cdot I = 12 \times 0.5 = 6 V$$

$$\cos \Phi = \frac{R}{Z} = \frac{16}{20} = 0.8$$

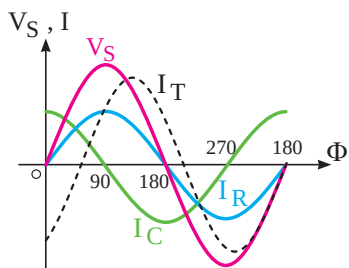
$$\tan \Phi = \frac{X_C}{R} = \frac{12}{16} = 0.75$$

ت) مدار RC موازی

در این مدارها یک مقاومت و یک خازن به صورت موازی قرار می گیرند. (شکل ۹-۷۴)
عامل مشترک در این مدارها مانند سایر مدارهای موازی، ولتاژ است در صورتی که جریان کل در بین شاخه ها به نسبت عکس مقدار مقاومت های مدار تقسیم می شود. جریان در شاخه اهمی با ولتاژ هم فاز است و جریان در شاخه خازنی به اندازه ۹۰ درجه از ولتاژ جلوتر (پیش فاز) است.

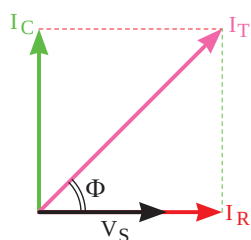


شکل ۹-۷۴ مدار RC موازی

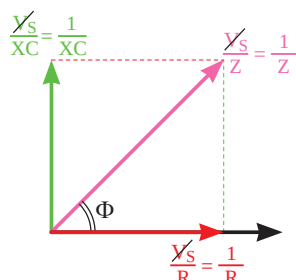


شکل ۹-۷۵ شکل موج های ولتاژ و جریان مدار RC موازی

مجموع (برآیند) زوایای اختلاف فاز ایجاد شده در دو شاخه مدار، جریان کل مدار I_T را نسبت به ولتاژ کل V_S صفر تا ۹۰ درجه پیش فاز می کند. (شکل ۹-۷۵)



شکل ۹-۷۶- دیاگرام برداری جریان‌ها



شکل ۹-۷۷- دیاگرام برداری امپدانس (ادمیتانس)

$$\sin \Phi = \frac{I_C}{I_T} = \frac{\frac{V}{X_C}}{\frac{V}{Z}} = \frac{Z}{X_C}$$

$$\cos \Phi = \frac{I_R}{I_T} = \frac{\frac{V}{R}}{\frac{V}{Z}} = \frac{Z}{R}$$

$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{I_C}{I_R} = \frac{\frac{V}{X_C}}{\frac{V}{R}} = \frac{R}{X_C}$$

دیاگرام برداری جریان‌های مدار مطابق شکل ۹-۷۶ رسم می‌شود و رابطه نهایی جریان کل به صورت زیر است:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

در صورت جایگزینی معادل جریان‌ها در دیاگرام شکل ۹-۷۶ دیاگرام برداری ادمیتانس‌ها به دست می‌آید. شکل ۹-۷۷ مقدار امپدانس که عکس ادمیتانس است با توجه به بردارهای مدار از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

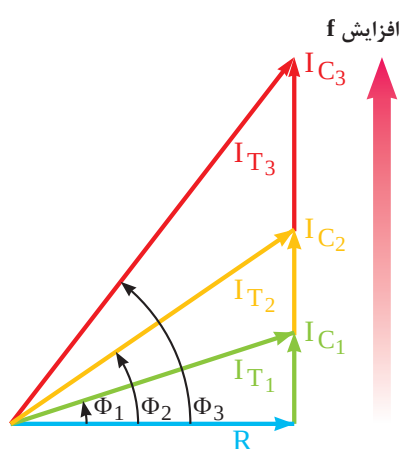
$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_C^2}$$

(طبق رابطه فیثاغورث)

پس از مخرج مشترک گرفتن و ساده کردن رابطه امپدانس چنین به دست می‌آید.

$$Z = \frac{R \cdot X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

برای محاسبه روابط ضرایب قدرت می‌توان از دیاگرام‌های برداری جریان‌ها و امپدانس‌ها استفاده کرد و روابط مقابل را به دست آورد.



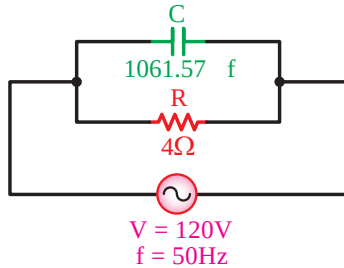
شکل ۹-۷۸- دیاگرام برداری امپدانس در ازای فرکانس‌های مختلف

افزایش فرکانس در این مدارها باعث می‌شود تا X_C کاهش یابد و جریان شاخه خازنی زیاد شود. در این حالت:

$$\downarrow X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} \Rightarrow \uparrow I_C = \frac{V_S}{X_C \downarrow}$$

خاصیت خازنی مدار بیشتر شده و در نتیجه زاویه اختلاف فاز مدار افزایش می‌یابد. (شکل ۹-۷۸)

مثال: خازنی به ظرفیت $1061/57 \mu\text{f}$ با یک مقاومت 4Ω اهمی به طور موازی به ولتاژ متناوب 120° ولتی با فرکانس 50° هرتز اتصال داده شده است. مطلوب است:



شکل ۹-۷۹- مدار RC موازی

الف) جریان هر یک از عناصر

ب) جریان کل مدار

ج) امپدانس مدار

د) ضریب قدرت وات و دواته مدار

حل: با توجه به توضیحات فوق شکل مدار را به صورت شکل ۹-۷۹ می توان رسم کرده و مقادیر خواسته شده را چنین حساب کرد:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 1061/57 \times 10^{-6}} = 3 \Omega$$

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{120}{4} = 30 \text{ A}$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{120}{3} = 40 \text{ A}$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{(30)^2 + (40)^2} = 50 \text{ A}$$

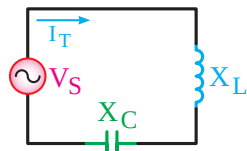
$$Z = \frac{V}{I} = \frac{120}{50} = 2.4 \Omega$$

$$\cos \phi = \frac{Z}{R} = \frac{2.4}{4} = 0.6$$

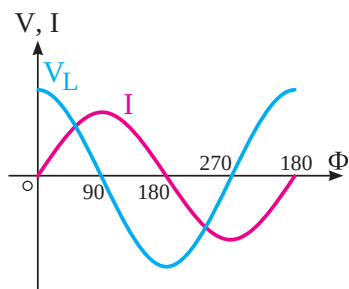
$$\sin \phi = \frac{Z}{X_C} = \frac{2.4}{3} = 0.8$$

ث) مدار LC سری

در شکل ۹-۸۰ تصویر مدار LC سری را ملاحظه می کنید. در این مدار جریان عبوری برای سلف و خازن ثابت است (عامل مشترک) ولی ولتاژ کل در بین عناصر سلفی و خازنی تقسیم می شود.

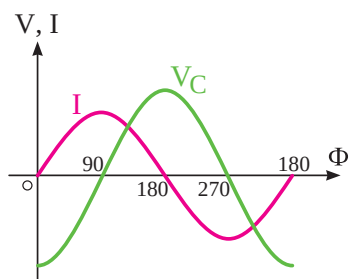


شکل ۹-۸۰- مدار LC سری



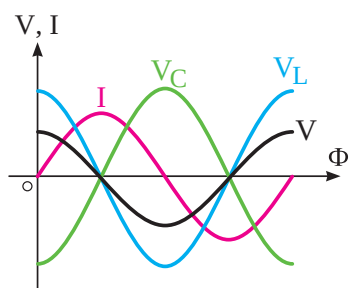
شکل ۹-۸۱- شکل موج ولتاژ و جریان سلف

شکل ۹-۸۱ رابطه فازی بین ولتاژ و جریان در سلف را نشان می دهد.



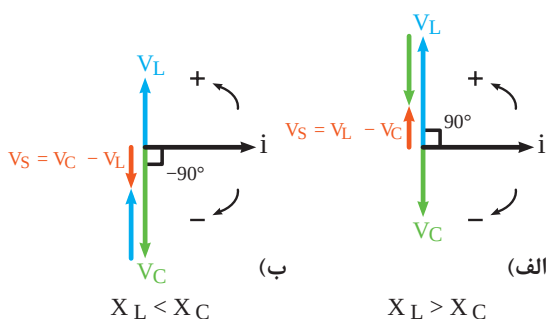
شکل ۹-۸۲- شکل موج ولتاژ و جریان خازن

در شکل ۹-۸۲ رابطه فازی بین ولتاژ و جریان خازن را مشاهده می کنید.



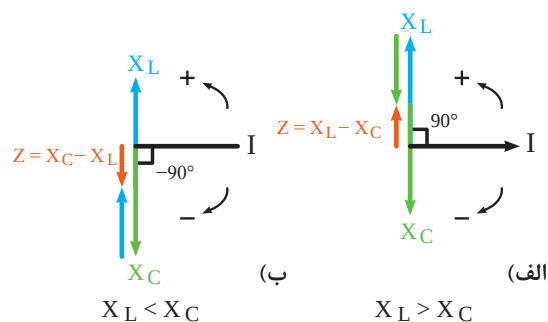
شکل ۹-۸۳- شکل موج ولتاژ و جریان مدار LC سری در حالت $X_L > X_C$

رابطه فازی بین ولتاژ و جریان در کل مدار را برای حالتی که $X_L > X_C$ است در شکل ۹-۸۳ نشان داده شده است. چون عملکرد خازن و سلف عکس یکدیگر است اثرات یکدیگر را خنثی می کنند. بنابراین در حالتی که $X_L > X_C$ است مدار دارای خاصیت سلفی می شود. در صورتی که $X_C > X_L$ باشد مدار دارای خاصیت خازنی خواهد بود.



شکل ۹-۸۴- دیاگرام برداری ولتاژها در حالت های مختلف

دیاگرام برداری ولتاژها و امپدانس در این گونه مدارها را می توان در دو حالت $X_L > X_C$ و $X_L < X_C$ رسم کرد. در شکل ۹-۸۴ دیاگرام های ولتاژ را مشاهده می کنید.



شکل ۹-۸۵- دیاگرام برداری امپدانس ها در حالت های مختلف

در شکل ۹-۸۵ دیاگرام برداری امپدانس ها در دو حالت $X_L > X_C$ و $X_C > X_L$ ترسیم شده است.

چون بردارها با هم 180° درجه اختلاف فاز دارند لذا می توان آنها به صورت خطی با هم جمع برداری (تفریق) کرد. بنابراین روابط ولتاژ کل و امپدانس به صورت زیر درمی آید.

$$\begin{aligned} V_S &= V_L - V_C & X_L > X_C \\ V_S &= V_C - V_L & \text{یا} & X_L < X_C \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= X_L - X_C & X_L > X_C \\ Z &= X_C - X_L & \text{یا} & X_L < X_C \end{aligned}$$

در مدارهای LC سری زاویه بین ولتاژ V_S و جریان I برابر با $(+90^\circ)$ درجه یا (-90°) درجه است. بنابراین در این مدارها ضرایب $\cos$ و $\tan$ را نمی توان مطرح کرد زیرا:

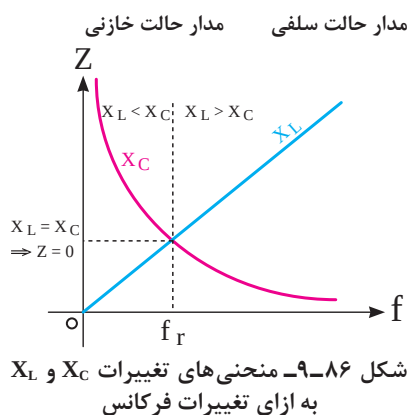
$$\begin{aligned} \cos(90^\circ) &= 0 & \cos(-90^\circ) &= 0 \\ \tan(90^\circ) &= \text{نامشخص} & \tan(-90^\circ) &= \text{نامشخص} \end{aligned}$$

ضریب $\sin\phi$ در این مدارها برابر با $(+1)$ یا (-1) است.

$$\sin(90^\circ) = 1 \quad \sin(-90^\circ) = -1$$

تغییر فرکانس بر روی هر دو عامل X_C و X_L مؤثر است، زیرا اگر f زیاد شود X_L زیاد و X_C کم می شود.

$$\uparrow X_L = 2\pi f \uparrow L \quad \downarrow X_C = \frac{1}{2\pi f \uparrow c}$$

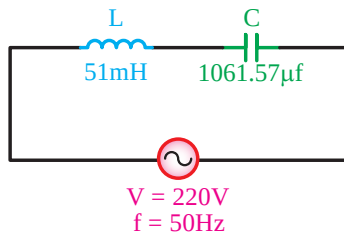


به همین دلیل در مدارهای LC نقطه خاصی وجود دارد که آن را «رزنانس»^۱ می نامند. نقطه رزنانس نقطه ای است که در آن اثر خازن موجود در مدار، اثر سلف را خنثی می کند. منحنی تغییرات امپدانس نسبت به فرکانس در این مدارها مشابه شکل ۸۶-۹ است. با توجه به شکل در نقطه ای که $X_L = X_C$ است حالت رزنانس به وجود می آید. فرکانس رزنانس از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

چون در حالت رزنانس $X_L = X_C$ است. بنابراین جریان کل مدار در حالت رزنانس خیلی زیاد (بی نهایت ∞) می شود.

مثال: جریان مدار شکل ۹-۸۷ چند آمپر است؟



شکل ۹-۸۷- مدار LC سری

حل:

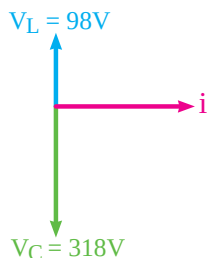
$$X_L = 2\pi f.L \Rightarrow X_L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 51 \times 10^{-3} = 16\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f.C} \Rightarrow X_C = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 1061.57 \times 10^{-6}} = 3\Omega$$

چون مقدار X_L بزرگ‌تر از مقدار X_C است و مدار خاصیت سلفی دارد لذا رابطه امپدانس را به صورت زیر به کار می‌بریم.

$$Z = X_L - X_C \Rightarrow Z = 16 - 3 = 13\Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{220}{13} = 16.9A$$



شکل ۹-۸۸- دیاگرام برداری ولتاژهای مدار LC سری

مثال: دیاگرام برداری یک مدار LC سری مطابق شکل ۹-۸۸ است در صورتی که مقدار راکتانس خازنی ۳۱۸ اهم باشد مقدار راکتانس سلف و ولتاژ کل مدار چقدر است؟

حل:

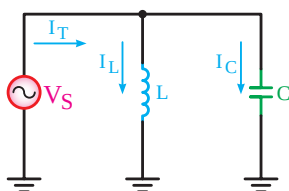
$$V_S = V_C - V_L \Rightarrow V_S = 318 - 98 = 220V$$

$$V_C = X_C.I \Rightarrow I = \frac{V_C}{X_C} = \frac{318}{318} = 1A$$

$$V_L = X_L.I \Rightarrow X_L = \frac{V_L}{I} = \frac{98}{1} = 98\Omega$$

$$X_L = 2\pi f.L \Rightarrow L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{98}{2 \times 3.14 \times 50} = 0.31h$$

ج) مدار LC موازی

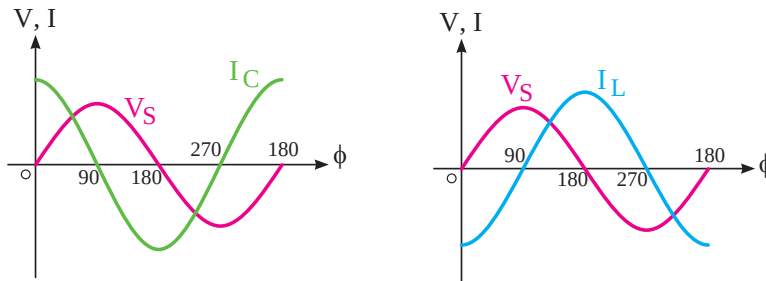


شکل ۹-۸۹- مدار LC موازی

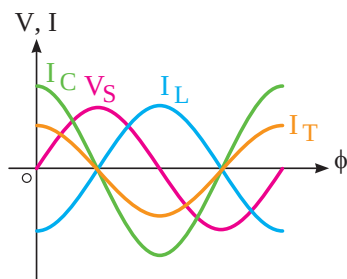
شکل ۹-۸۹ تصویر مدار LC موازی را نشان می‌دهد. ولتاژ (V_S) برای هر دو عنصر مدار یکسان است و جریان کل (I_T) در این دو شاخه به نسبت عکس راکتانس‌ها تقسیم می‌شود.

در شاخه خازنی جریان (I_C) نسبت به ولتاژ (V_S) به اندازه 90° درجه جلوتر و در شاخه سلفی جریان (I_L) نسبت به ولتاژ (V_S) به اندازه 90° درجه عقب‌تر است.

شکل ۹-۹۰ رابطه فازی جریان و ولتاژ شاخه سلفی و شکل ۹-۹۱ رابطه فازی جریان و ولتاژ شاخه خازنی را نشان می‌دهند.

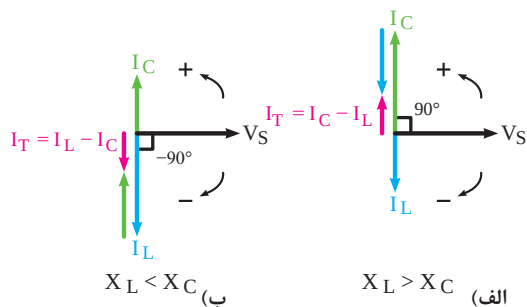


شکل ۹-۹۰- شکل موج ولتاژ و جریان سلف شکل ۹-۹۱- شکل موج ولتاژ و جریان خازن



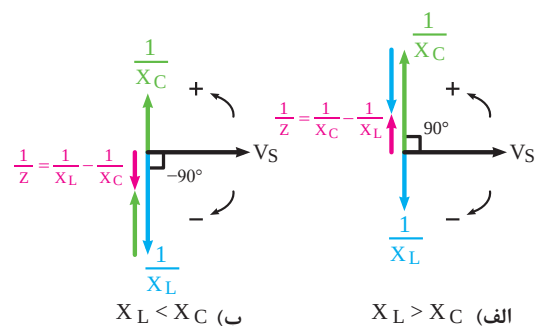
شکل ۹-۹۲- شکل موج‌های ولتاژ و جریان مدار LC موازی در حالت $X_L > X_C$

این مدار می‌تواند یکی از دو حالت $X_C > X_L$ یا $X_L > X_C$ را داشته باشد. بنابراین شکل مربوط به رابطه فازی ولتاژ و جریان را می‌توان برای هر دو حالت فوق رسم کرد. در شکل ۹-۹۲ فقط حالت $X_L > X_C$ رسم شده است.



شکل ۹-۹۳- دیاگرام برداری جریان I_L در حالت‌های مختلف

دیاگرام برداری جریان‌های مدار در دو حالت $X_C > X_L$ و $X_L > X_C$ در شکل ۹-۹۳ نشان داده شده است.



شکل ۹-۹۴- دیاگرام برداری عکس امپدانس‌ها (ادمیتانس‌ها) در حالت‌های مختلف

می‌توانیم به جای جریان‌ها از معادل آنها یعنی: $\frac{V_S}{I_C}$ و $\frac{V_S}{I_L}$ و $\frac{V_S}{I_T}$ استفاده کنیم و دیاگرام برداری $\frac{1}{Z}$ یا ادمیتانس‌ها (Y) را طبق شکل ۹-۹۴ به دست آوریم.

بردار برآیند جریان‌ها و ادمیتانس‌ها در مدار LC موازی نیز مشابه مدار LC سری به صورت جبری با هم جمع می‌شوند. یعنی:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} \quad X_L > X_C$$

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \quad X_C > X_L$$

$$I_T = I_C - I_L \quad X_L > X_C$$

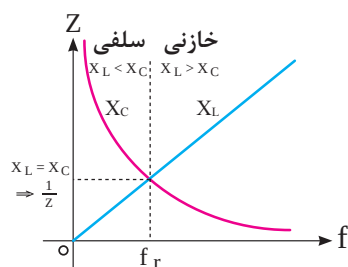
$$I_T = I_L - I_C \quad X_C > X_L$$

در مدارهای LC موازی، مشابه مدارهای سری بین ولتاژ و جریان یک اختلاف فاز ۹۰ درجه وجود دارد و ضرایب قدرت به شرح زیر است:

$$\cos(90^\circ) = 0 \quad \cos(-90^\circ) = 0$$

$$\sin(90^\circ) = 1 \quad \sin(-90^\circ) = -1$$

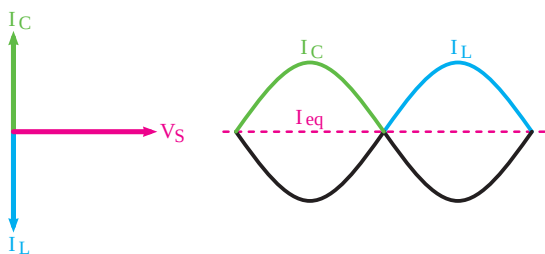
$$\text{tg}(90^\circ) = \text{نامشخص} \quad \text{tg}(-90^\circ) = \text{نامشخص}$$



متناسب با تغییرات فرکانس، مدار در یکی از حالت‌های سلفی، خازنی و یا رزونانس قرار دارد و منحنی تغییرات امپدانس نسبت به فرکانس در شکل ۹-۹۵ ترسیم شده است. مقدار فرکانس رزونانس مدار از رابطه زیر به دست می‌آید.

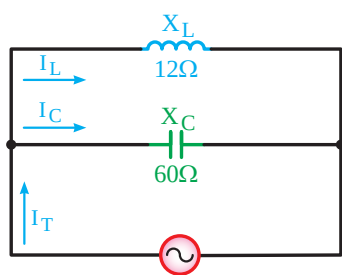
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

شکل ۹-۹۵- منحنی تغییرات X_L و X_C به ازای تغییرات فرکانس



به علت مخالفت سلف با خازن اگر I_C با I_L مساوی باشد جریان کل مدار در حالت رزونانس برابر با صفر است. (شکل ۹-۹۶)

شکل ۹-۹۶- وضعیت بردارها در حالت رزونانس



شکل ۹-۹۷- مدار LC موازی

مثال: جریان کل، جریان هر شاخه و حالت کاری مدار شکل ۹-۹۷ را به دست آورید.

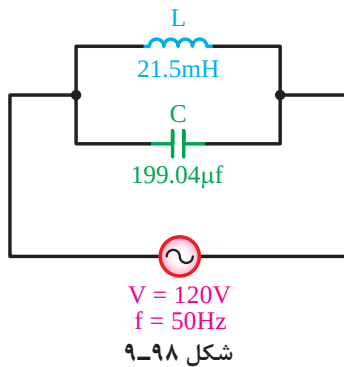
حل:

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{120}{12} = 10 \text{ A}$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{120}{60} = 2 \text{ A}$$

$$I_T = I_L - I_C = 10 - 2 = 8 \text{ A}$$

چون جریان شاخه سلفی بیشتر از شاخه خازنی است پس مدار حالت سلفی دارد.



مثال: در مدار شکل ۹-۹۸ مطلوب است:

الف) امپدانس مدار

ب) جریان کل مدار

ج) فرکانس رزونانس

حل:

$$X_L = 2\pi f L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 21.5 \times 10^{-3} = 8\Omega$$

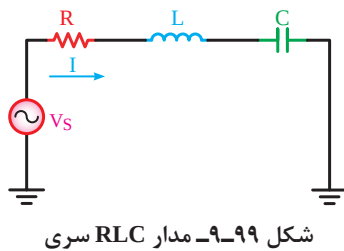
$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 199.04 \times 10^{-6}} = 16\Omega$$

$$Z = \frac{X_C \cdot X_L}{X_C - X_L} = \frac{16 \times 8}{16 - 8} = \frac{128}{8} = 16\Omega$$

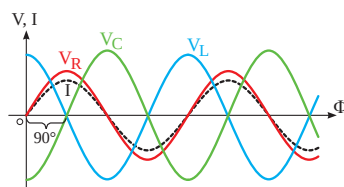
$$I = \frac{V}{Z} = \frac{120}{16} = 7.5A$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times \sqrt{21.5 \times 10^{-3} \times 199.04 \times 10^{-6}}} = 76.97Hz$$

چ) مدار RLC سری



در شکل ۹-۹۹ تصویر مدار RLC سری نشان داده شده است. در این مدار چون خازن، مقاومت و سلف با هم وجود دارد. سه نوع اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان اجزای مدار وجود دارد. در مدار سری، جریان در تمامی عناصر یکسان است و ولتاژ V_S بین اجزای مدار به نسبت مقاومت‌ها تقسیم می‌شود.



شکل ۹-۱۰۰ شکل موج‌های ولتاژ و جریان عناصر مدار RLC سری

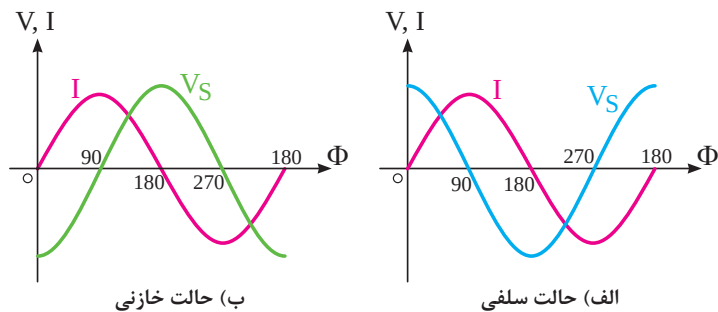
همان‌گونه که در شکل ۹-۱۰۰ مشاهده می‌شود روابط فازی بین ولتاژها و جریان کل مدار به شرح زیر است:

۱ V_L نسبت به I ، ۹۰ درجه پیش‌فاز می‌شود.

۲ V_C ۹۰ درجه نسبت به I پس‌فاز است.

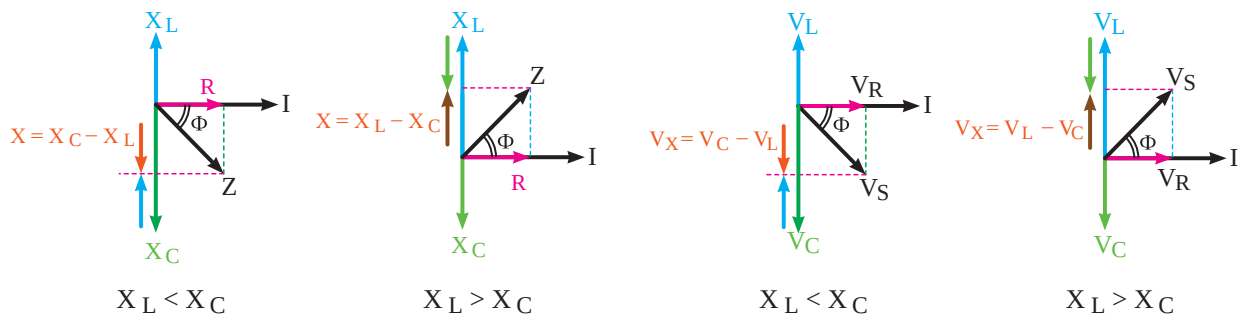
۳ V_R با جریان I هم‌فاز است.

با توجه به روابط فازی اشاره شده می‌توان نتیجه گرفت بین ولتاژ و جریان کل مدار با توجه به مقادیر مقاومت‌ها می‌تواند یک زاویه اختلاف فاز در محدوده ۹۰- تا ۹۰+ درجه به وجود آید. در ازای افزایش راکتانس سلفی مدار (X_L) مدار حالت سلفی پیدا می‌کند و اختلاف فاز به ۹۰+ درجه نزدیک می‌شود (شکل ۹-۱۰۱-الف) و چنانچه راکتانس خازنی مدار (X_C) نسبت به راکتانس سلفی (X_L) افزایش یابد مدار خاصیت خازنی پیدا می‌کند و زاویه اختلاف فاز به ۹۰- درجه نزدیک می‌شود. (شکل ۹-۱۰۱-ب)



شکل ۹-۱۰۱- شکل موج‌های ولتاژ و جریان کل مدار در حالت‌های سلفی و خازنی

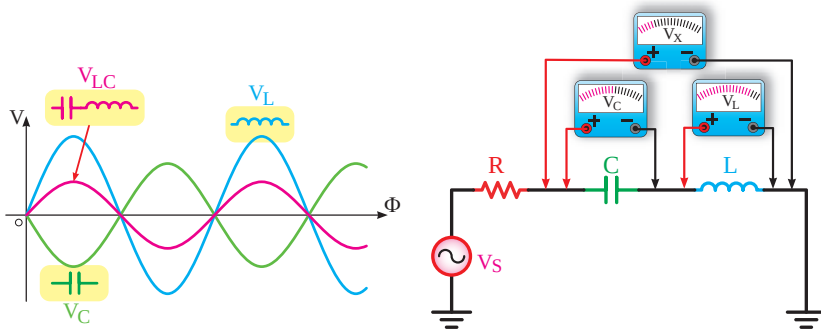
دیاگرام برداری ولتاژها را در دو حالت $X_L > X_C$ و $X_C > X_L$ می‌توان رسم کرد. شکل ۹-۱۰۲ دیاگرام برداری ولتاژها و شکل ۹-۱۰۳ دیاگرام برداری امپدانس‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۹-۱۰۳- دیاگرام برداری امپدانس‌ها در حالت‌های مختلف

شکل ۹-۱۰۲- دیاگرام برداری ولتاژها در حالت‌های مختلف

مانند مدارهای سری قبل برای مثلث‌های تشکیل شده در دیاگرام‌های برداری می‌توان رابطه فیثاغورث را به شرح زیر نوشت. شکل موج ولتاژهای دو سر سلف، خازن و ترکیب آنها را در شکل ۹-۱۰۴ مشاهده می‌کنید.



ب) شکل موج دوسر عناصر

الف) وضعیت مداری عناصر

شکل ۹-۱۰۴- شکل موج‌های ولتاژ، سلف، خازن و ترکیب آنها به همراه وضعیت مداری

$V_S = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$	$V_L > V_C$	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	$X_L > X_C$
$V_S = \sqrt{V_R^2 + (V_C - V_L)^2}$	$V_C > V_L$	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	$X_C > X_L$

ضریب قدرت و ضریب کیفیت در مدارهای RLC سری براساس روابط زیر قابل محاسبه است.

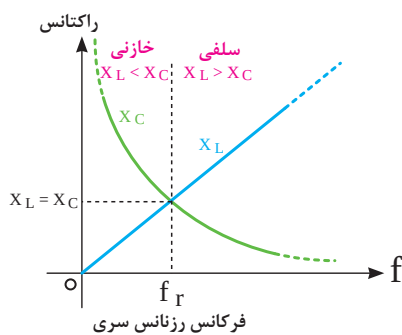
$$\cos \Phi = \frac{V_R}{V_S} = \frac{R}{Z}$$

$$\sin \Phi = \frac{V_X}{V_S} = \frac{X^{(1)}}{Z}$$

$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{V_X}{V_R} = \frac{X}{R}$$

در این مدارها افزایش فرکانس روی X_L و X_C مؤثر است به طوری که سبب افزایش X_L و کاهش X_C می شود.

زیرا: $\downarrow X_C = \frac{1}{2\pi f C} \uparrow \quad \uparrow X_L = 2\pi f L \uparrow$



شکل ۹-۱۰۵ - منحنی تغییرات X_L و X_C به ازای تغییرات فرکانس

در مدارهای RLC چون سلف و خازن وجود دارد به ازای تغییر فرکانس نقطه‌ای به وجود می آید که در آن مقدار X_L با X_C برابر می شود.

این حالت را در اصطلاح «رزنانس یا تشدید» می نامند. فرکانس رزنانس را با f_r نمایش می دهند.

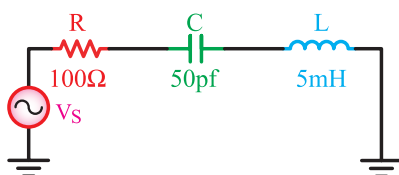
شکل ۹-۱۰۵ منحنی تغییرات X_L و X_C را نسبت به تغییر فرکانس نشان می دهد. با توجه به اینکه در لحظه رزنانس خاصیت‌های سلفی و خازنی یکدیگر را خنثی می کنند امپدانس مدار برابر $Z = R$ خواهد شد.

فرکانس رزنانس مدار را مشابه مدارهای LC به صورت زیر می توان محاسبه کرد:

در حالت رزنانس $X_L = X_C$

$$2\pi f_r L = \frac{1}{2\pi f_r C} \Rightarrow 4\pi^2 f_r^2 LC = 1 \Rightarrow f_r^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



شکل ۹-۱۰۶ - شکل موج‌های ولتاژ و جریان کل مدار در شرایط مختلف

مثال: فرکانس رزنانس مدار شکل ۹-۱۰۶ چقدر است؟

۱- منظور از X راکتانس معادل بین X_L و X_C مدار است.

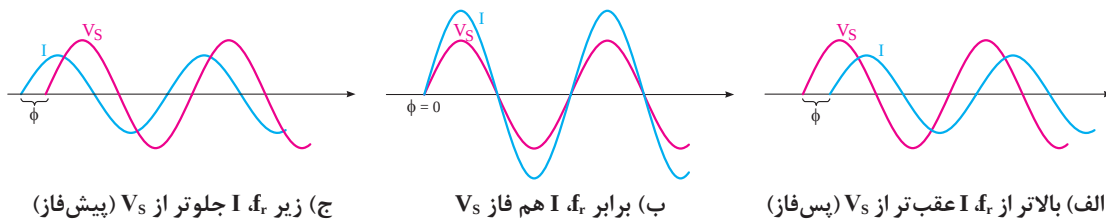
حل: با استفاده از رابطه f_r داریم:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times 3/14 \times \sqrt{(\Delta mh)(\Delta pf)}}$$

$$f_r = \frac{1}{6/28 \sqrt{5 \times 10^{-3} \times 50 \times 10^{-12}}} = \frac{1}{6/28 \sqrt{25 \times 10^{-14}}}$$

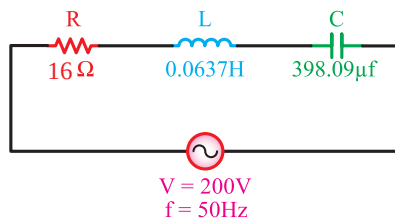
$$f_r = \frac{1}{6/28 \times 5 \times 10^{-7}} = \frac{10^7}{3/14} = 318000 \text{ Hz} \Rightarrow f_r = 318 \text{ kHz}$$

از مجموعه مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که در فرکانس‌های کمتر از فرکانس رزونانس X_C زیاد است و مدار حالت خازنی دارد به عبارت دیگر جریان مدار (I) نسبت به ولتاژ کل (V_S) به اندازه Φ درجه جلوتر است. در شرایطی که فرکانس مدار بیشتر از فرکانس رزونانس باشد مقدار (X_L) زیاده‌تر می‌شود و جریان I به اندازه Φ درجه از ولتاژ (V_S) عقب می‌ماند. بنابراین در حالت رزونانس مدار فقط خاصیت اهمی دارد و ولتاژ (V_S) با جریان I هم‌فاز است. در شکل ۹-۱۰۷ این مطلب نشان داده شده است.



شکل ۹-۱۰۷- شکل موج‌های ولتاژ و جریان کل مدار در شرایط مختلف

مثال: با در نظر گرفتن مدار شکل ۹-۱۰۸ مطلوب است:



شکل ۹-۱۰۸

(الف) امپدانس مدار

(ب) جریان مدار

(ج) ولتاژ دو سر عناصر مدار

(د) ضریب قدرت واته و دواته

(هـ) ضریب کیفیت مدار

(و) فرکانس رزونانس

حل:

$$X_L = 2\pi f.L = 2 \times 3/14 \times 50 \times 0.0637 \times 50 = 20 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f.C} = \frac{1}{2 \times 3/14 \times 50 \times 398/0.9 \times 10^{-6}} = 8 \Omega$$

چون $X_L > X_C$ است پس مدار خاصیت سلفی دارد و در نتیجه:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(16)^2 + (20 - 8)^2} = 20 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{200}{20} = 10 A$$

$$V_R = R.I = 16 \times 10 = 160 V$$

$$V_L = X_L.I = 20 \times 10 = 200 V$$

$$V_C = X_C.I = 8 \times 10 = 80 V$$

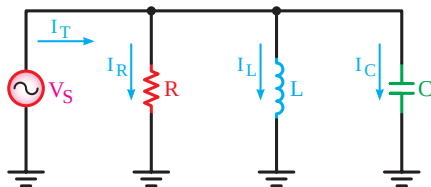
$$\cos \Phi = \frac{R}{Z} = \frac{16}{20} = 0.8$$

$$\sin \Phi = \frac{X}{Z} = \frac{20 - 8}{20} = 0.6$$

$$Q = \tan \Phi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{20 - 8}{16} = 0.75$$

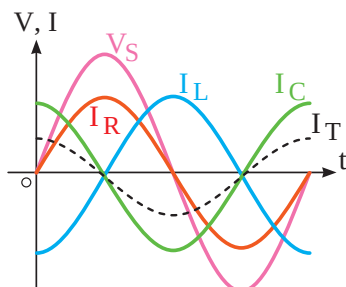
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times \sqrt{0.0637 \times 398 / 0.9 \times 10^{-6}}} = 31.62 \text{ Hz}$$

ح) مدار RLC موازی



شکل ۹-۱۰۹- مدار RLC موازی

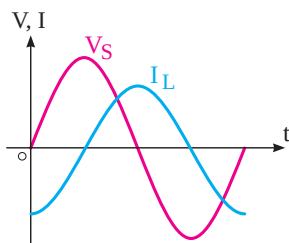
هرگاه سه عنصر مقاومت، سلف و خازن طبق شکل ۹-۱۰۹ اتصال یابند، این اتصال را اتصال موازی می‌گویند. ولتاژ در این مدارها برای همه عناصر مساوی و جریان بین شاخه‌ها به نسبت عکس مقاومت‌ها تقسیم می‌شود.



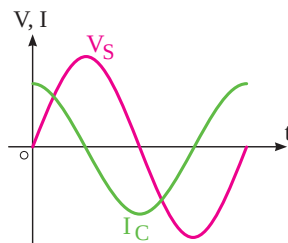
شکل ۹-۱۱۰- شکل موج‌های ولتاژ و جریان در مدار RLC موازی

روابط فازی بین ولتاژ و جریان‌ها به صورت شکل ۹-۱۱۰ است. در این مدار جریان I_C به اندازه 90° درجه از ولتاژ V_S جلوتر، جریان I_L به اندازه 90° درجه از ولتاژ V_S عقب‌تر و جریان I_R با ولتاژ V_S هم فاز است.

چون جریان شاخه خازنی 90° درجه جلوتر و جریان شاخه سلفی 90° درجه عقب‌تر از ولتاژ است لذا جریان‌های سلفی و خازنی با یکدیگر به اندازه 180° درجه اختلاف فاز دارند، بنابراین برآیند بین این دو (I_X) که در دو جهت مخالف هم هستند از تفاسیل آنها به دست می‌آید. شکل ۹-۱۱۱ و شکل ۹-۱۱۲ شکل موج‌های جریان‌های I_C و I_L را نسبت به ولتاژ نشان می‌دهد.

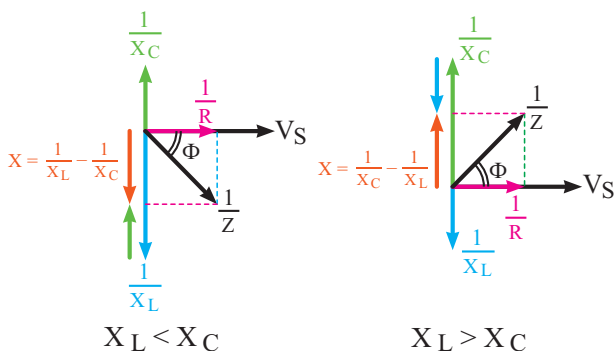


شکل ۹-۱۱۲- شکل موج ولتاژ و جریان در شاخه سلفی

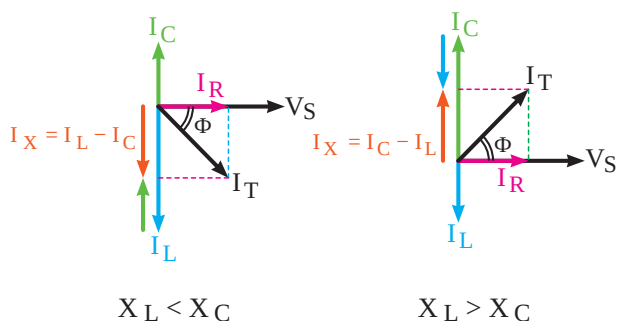


شکل ۹-۱۱۱- شکل موج ولتاژ و جریان در شاخه خازنی

در مدارهای رزنانس با اضافه شدن X_L جریان شاخه سلفی کم می‌شود و مدار خاصیت خازنی بیشتری پیدا می‌کند در این حالت زاویه اختلاف فاز بین I_T و V_S در محدوده صفر و 90° درجه در حالت خازنی قرار می‌گیرد. در صورتی که X_C افزایش یابد شرایط عکس اتفاق می‌افتد و مدار حالت سلفی می‌شود. دیاگرام‌های برداری جریان‌ها و امپدانس برای دو حالت $X_L > X_C$ و $X_C > X_L$ قابل ترسیم است. شکل ۹-۱۱۳ دیاگرام جریان‌ها را در دو حالت و شکل ۹-۱۱۴ دیاگرام عکس امپدانس‌ها را در دو حالت نشان می‌دهد.



شکل ۹-۱۱۴- دیاگرام برداری عکس امپدانس (ادمیتانس) در حالت‌های مختلف



شکل ۹-۱۱۳- دیاگرام برداری جریان‌ها در حالت‌های مختلف

با استفاده از دیاگرام‌های برداری و رابطه فیثاغورث برای جریان‌ها می‌توانیم بنویسیم:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} \quad X_C > X_L$$

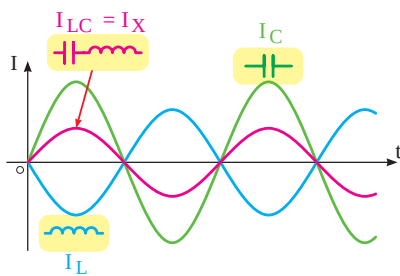
$$I_T = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2} \quad X_L > X_C$$

برای محاسبه امپدانس باید ابتدا راکتانس معادل بین سلف و خازن مدار را مانند یک مدار موازی از رابطه

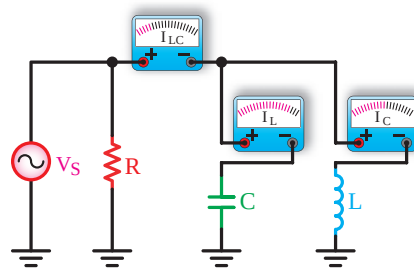
$$X = \left| \frac{X_L \cdot X_C}{X_L - X_C} \right| \quad \text{به دست آورد و سپس } Z \text{ را از روابط زیر به دست آورد. (شکل ۹-۱۱۵)}$$

$$Z = \frac{R \cdot X}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad X_C > X_L$$

$$Z = \frac{R \cdot X}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad X_L > X_C$$



ب) شکل موج دوسر عناصر



الف) وضعیت مداری عناصر

شکل ۹-۱۱۵- شکل موج‌های جریان سلف، خازن و ترکیب آنها به همراه وضعیت مداری

ضرایب قدرت و ضریب کیفیت در مدارهای RLC موازی از روابط زیر به دست می‌آید.

$$\cos \Phi = \frac{I_R}{I_T} = \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{Z}} = \frac{Z}{R}$$

$$\sin \Phi = \frac{I_X}{I_T} = \frac{\sqrt{X}}{\sqrt{Z}} = \frac{Z}{X}$$

$$\tan \Phi = \frac{I_X}{I_R} = \frac{\sqrt{X}}{\sqrt{R}} = \frac{R}{X}$$

در حالت رزونانس $\frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_C}$ (برابر شدن ادیمیتانس‌ها) می‌شود و می‌توانیم بنویسیم $X_L = X_C$ است.

چگونگی محاسبه فرکانس رزونانس (f_r) مانند مدارهای RLC سری است.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

در لحظه رزونانس امپدانس مدار برابر خواهد شد با:

$$X_L = X_C \Rightarrow Z = R$$

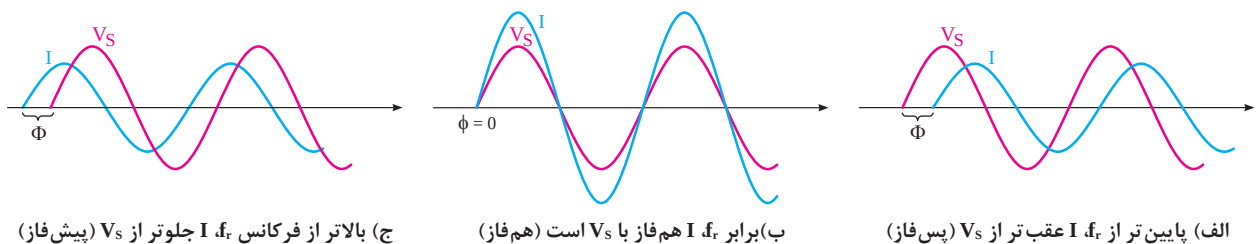
۱- منظور از X راکتانس معادل بین X_C و X_L مدار است که همیشه دارای مقدار مثبت است.

در حالت تشدید حداقل جریان از مدار عبور می‌کند.

$$I_T = \frac{V_s}{Z} \Rightarrow I = \frac{V_s}{R}$$

در صورت تغییر فرکانس، مدار در یکی از سه حالت زیر می‌تواند قرار گیرد.

- ۱ به ازای فرکانس‌های کمتر از فرکانس رزونانس (f_r) مدار دارای خاصیت سلفی می‌شود.
 - ۲ در صورت افزایش فرکانس به مقداری بیشتر از فرکانس رزونانس (f_r) مدار دارای خاصیت خازنی می‌شود.
 - ۳ در شرایط رزونانس مدار دارای خاصیت اهمی خالص است.
- شکل ۹-۱۱۶ منحنی‌های ولتاژ و جریان را در سه حالت نشان می‌دهد.

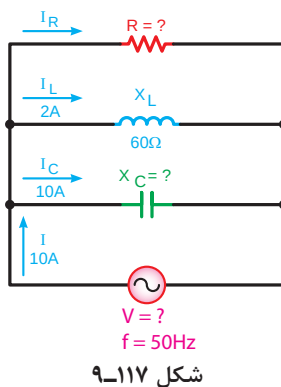


شکل ۹-۱۱۶- شکل موج‌های ولتاژ و جریان کل مدار در شرایط مختلف

شرط $X_L = X_C$ برای حالت رزونانس را فقط برای مدارهای LC و RLC سری، LC و RLC موازی می‌توان در نظر گرفت و فرکانس رزونانس را براساس آن به صورت زیر محاسبه کرد:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

تذکر



مثال: در مدار شکل ۹-۱۱۷ مطلوب است:

- (الف) جریان I_R
- (ب) ولتاژ مدار
- (ج) امپدانس
- (د) مقدار R ، X_C
- (هـ) ضریب کیفیت
- (و) فرکانس رزونانس مدار

حل: برای محاسبه مقادیر مجهول مطابق روابط مقابل می‌توان عمل کرد:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

$$I_R = \sqrt{I_T^2 - (I_C - I_L)^2} = \sqrt{(10)^2 - (10 - 2)^2} = 6A$$

$$V = V_L = V_C = V_R \Rightarrow V = X_L \cdot I_L = 60 \times 2 = 120 \text{ V}$$

$$R = \frac{V}{I_R} = \frac{120}{60} = 2 \Omega$$

$$X_C = \frac{V}{I_C} = \frac{120}{10} = 12 \Omega$$

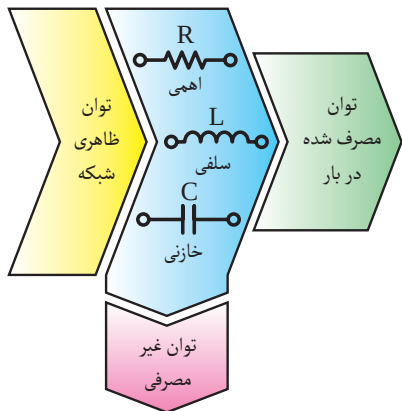
$$Z = \frac{V}{I} = \frac{120}{10} = 12 \Omega$$

$$Q = \tan \Phi = \frac{I_X}{I_R} = \frac{10 - 2}{6} = \frac{8}{6} = 1.33$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{60}{2 \times 3.14 \times 50} = 0.19 \text{ H}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f \cdot X_C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 12} = 2.65 \times 10^{-4} \text{ F}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times \sqrt{0.19 \times 2.65 \times 10^{-4}}} \Rightarrow f_r = 22.4 \text{ Hz}$$



شکل ۹-۱۱۸- بلوک دیاگرام توان‌ها در جریان متناوب

۸-۹- انواع توان در جریان متناوب تکفاز

در مدارهای جریان متناوب از عناصر اهمی - سلفی و خازنی به صورت مستقل و یا ترکیبی استفاده می‌شود. این عناصر انرژی الکتریکی دریافتی از شبکه را به صورت‌های گوناگون ظاهر می‌کنند. گروهی از عناصر توان الکتریکی را مورد مصرف قرار داده و گروهی دیگر به صورت انرژی ذخیره می‌کنند. به همین خاطر در شبکه‌های متناوب سه نوع توان خواهیم داشت. (شکل ۹-۱۱۸)

۱- توان «ظاهری» (S):

طبق تعریف به حاصل ضرب ولتاژ و جریان مؤثر توان ظاهری گفته می‌شود و به صورت زیر می‌توان به دست آورد.

$$S = V_e \cdot I_e$$

واحد توان ظاهری «ولت آمپر (V.A)» است.

۲- توان حقیقی - مفید - اکتیو^۱ (P):

توانی که از طرف بار الکتریکی مورد استفاده قرار گرفته و کار مؤثر انجام می‌دهد را توان حقیقی (اکتیو - مفید) می‌گویند. این توان مربوط به مصرف‌کننده‌های اهمی (R) بوده (شکل ۹-۱۱۹) و از روابط زیر محاسبه می‌شود. واحد توان حقیقی بر حسب (وات W) است.



شکل ۹-۱۱۹- بار اهمی خالص که توان حقیقی مصرف می‌کند.

$$P = V_e \cdot I_e \cdot \cos \Phi$$

$$P = R \cdot I_e^2$$

$$P = \frac{V_e^2}{R}$$

۳- توان غیر حقیقی - غیر مفید - راکتیو^۲ (Q):

مقدار توانی که در مقاوت‌های سلفی و خازنی ظاهر می‌شود ولی نمی‌تواند به کار مفید تبدیل گردد را توان غیر حقیقی (غیر مفید - راکتیو) می‌نامند. (شکل ۹-۱۲۰)



شکل ۹-۱۲۰

این توان به صورت تناوبی بین مصرف‌کننده و شبکه رفت و برگشت می‌شود. توان غیر مفید را بر حسب «وار - (VAR)» محاسبه می‌کنند. در محاسبات مربوط به توان راکتیو معمولاً بارهای سلفی را با علامت مثبت و بارهای خازنی را با علامت منفی در روابط نشان می‌دهند.

در روابط روبه‌رو X معرف راکتانس سلفی X_L ، خازنی X_C و یا معادل X_L و X_C مدار است.

$$Q = \pm (V_e \cdot I_e \cdot \sin \Phi)$$

$$Q = \pm (X \cdot I_e^2)$$

$$Q = \pm \left(\frac{V_e^2}{X} \right)$$

برای ترسیم دیاگرام برداری توان‌ها در جریان متناوب قواعد زیر را باید رعایت کنیم.

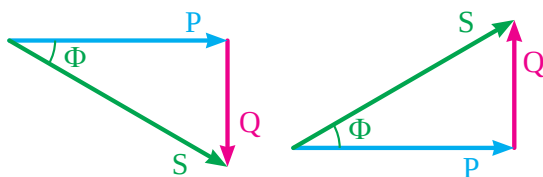
الف) بردار توان حقیقی P روی محور Xها در جهت مثبت

ب) بردار توان غیر حقیقی Q سلفی را روی محور Yها

در جهت مثبت

ج) بردار توان غیر حقیقی Q خازنی را روی محور Yها

در جهت منفی



ب) در حالت اهمی - خازنی

الف) در حالت اهمی - سلفی

شکل ۹-۱۲۱- دیاگرام برداری مثلث توان‌ها در حالت‌های مختلف

شکل ۹-۱۲۱- الف و ب وضعیت بردارها (مثلث توان‌ها)

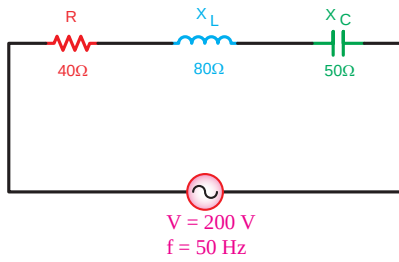
در حالات اهمی - سلفی و اهمی - خازنی را نشان می‌دهد.

۱- Active

۲- Reactive



حاصل جمع توان‌های داده شده (توان ظاهری) و گرفته شده (اکتیو و راکتیو) به صورت برداری است و از رابطه $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ محاسبه می‌شود.



شکل ۹-۱۲۲- مدار RLC سری

مثال: در شکل ۹-۱۲۲ مطلوب است:

الف) توان‌های ظاهری، اکتیو و راکتیو مدار

ب) ضریب قدرت دواته

حل:

ابتدا امپدانس را به دست می‌آوریم تا بتوان براساس آن توان‌ها و ضریب کیفیت را محاسبه کرد.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(40)^2 + (80 - 50)^2} = 50 \Omega$$

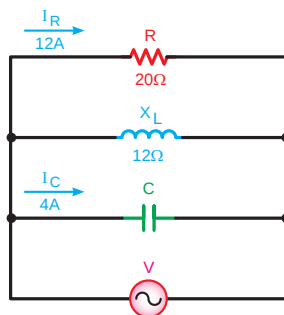
$$I = \frac{V}{Z} = \frac{200}{50} = 4 \text{ A}$$

$$S = Z.I^2 = 50 \times (4)^2 = 800 \text{ VA}$$

$$P = R.I^2 = 40 \times (4)^2 = 640 \text{ W}$$

$$Q = X.I^2 = (80 - 50) \times (4)^2 = 480 \text{ VAR}$$

$$\sin \phi = \frac{X}{Z} = \frac{80 - 50}{50} = \frac{30}{50} = 0.6$$



شکل ۹-۱۲۳- مدار RLC موازی

مثال: در مدار شکل ۹-۱۲۳ مطلوب است:

الف) ضریب قدرت واته مدار

ب) توان ظاهری مدار

ج) توان اکتیو و راکتیو مدار

حل:

$$V = I_R.R = 12 \times 20 = 240 \text{ V}$$

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{240}{12} = 20 \text{ A}$$

$$I_L = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

$$I_T = \sqrt{(12)^2 + (20-4)^2} \Rightarrow I_T = 20A$$

$$\cos \Phi = \frac{I_R}{I_T} = \frac{12}{20} = 0.6$$

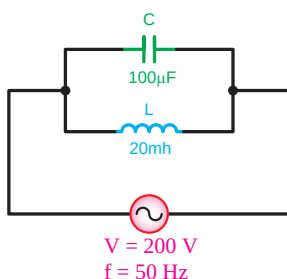
$$\sin \Phi = \frac{I_X}{I_T} = \frac{20-4}{20} = \frac{16}{20} = 0.8$$

$$S = V_e \cdot I_e = 240 \times 20 = 4800 \text{ V.A}$$

$$P = V_e \cdot I_e \cdot \cos \Phi = 4800 \times 0.6 = 2880 \text{ W}$$

$$Q = V_e \cdot I_e \cdot \sin \Phi = 4800 \times 0.8 = 3840 \text{ VAR}$$

چون جریان شاخه سلفی بیشتر از شاخه خازنی است لذا توان راکتیو سلفی است و با علامت مثبت نشان می‌دهیم.



شکل ۹-۱۲۴

مثال: یک سلف به خودالقایی ۲۰ میلی هانری با یک خازن به ظرفیت ۱۰۰ میکروفاراد مطابق شکل ۹-۱۲۴ به صورت موازی به ولتاژ مؤثر ۱۰۰ ولت با فرکانس ۵۰ هرتز متصل شده‌اند، مطلوب است:
الف) جریان مدار
ب) توان‌های اکتیو، راکتیو و ظاهری

حل: مقادیر مجهول به کمک روابط مقابل چنین به دست می‌آید.

$$X_L = 2\pi f \cdot L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 20 \times 10^{-3} = 6.28 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 100 \times 10^{-6}} = 31.8 \Omega$$

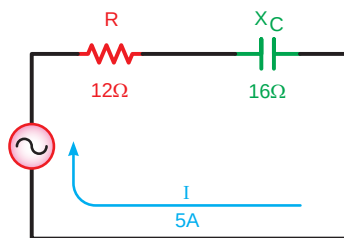
$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} = \frac{X_C - X_L}{X_L \cdot X_C}$$

$$Z = \frac{X_C \cdot X_L}{X_C - X_L} = \frac{31.8 \times 6.28}{31.8 - 6.28} = 7.82 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{100}{7.82} = 12.78 \text{ A}$$

چون مصرف کننده اهمی نداریم توان مصرفی مدار صفر است.

$$Q = S = V_e \cdot I_e = 100 \times 12.78 = 1278 \text{ VA}$$



شکل ۹-۱۲۵

مثال: در مدار شکل ۹-۱۲۵ مطلوب است:

الف) ولتاژ کل مدار

ب) ضرایب وات و دواته مدار

ج) توان اکتیو و راکتیو و ظاهری

حل: براساس روابط مدارهای RC سری مقادیر خواسته شده به صورت مقابل به دست می آید.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \Rightarrow Z = \sqrt{(12)^2 + (16)^2} = 20\Omega$$

$$V = I.Z = 5 \times 20 = 100V$$

$$\cos \Phi = \frac{R}{Z} = \frac{12}{20} = 0.6$$

$$\sin \Phi = \frac{X_C}{Z} = \frac{16}{20} = 0.8$$

$$S = V.I = 100 \times 5 = 500V.A$$

$$P = S.\cos \Phi = 500 \times 0.6 = 300W$$

$$Q = S.\sin \Phi = 500 \times 0.8 = 400VAR$$

کار عملی
۱۰



هدف: بررسی مدارهای خازنی سری در جریان متناوب

وسایل و تجهیزات مورد نیاز (برای هر گروه کار)

ساعت		
نظری	عملی	جمع
-	۱	۱

۱ دستگاه

۱ دستگاه

۱ دستگاه

عدد ۱

۵/۰ متر

عدد ۱

عدد ۱

عدد ۱

عدد ۲

عدد ۱

۱ سیگنال ژنراتور

۲ مولتی متر دیجیتالی

۳ LC متر

۴ بردبرد آزمایشگاهی

۵ سیم تلفنی

۶ سیم چین

۷ سیم لخت کن

۸ خازن ها

$C_1 = 0.22\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۱۰ ولت

$C_2 = 0.1\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۱۰ ولت

$C_3 = 0.47\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۱۰ ولت

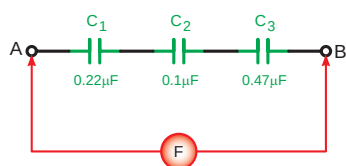


برای اندازه‌گیری ولتاژ و جریان عناصر مدار می‌توانید از یک آومتر دیجیتالی یک‌بار به‌صورت ولت‌متری و بار دیگر به‌صورت آمپرمتري به‌طور جداگانه استفاده کنید.

مراحل اجرای آزمایش

۱ سه خازن C_1 ، C_2 و C_3 را مطابق شکل ۹-۱۲۶ روی بردبرد اتصال دهید و با استفاده از دستگاه LC متر ظرفیت خازن معادل مدار در نقطه A و B را اندازه‌گیری کنید.

$$C_{AB} = \dots \mu f$$

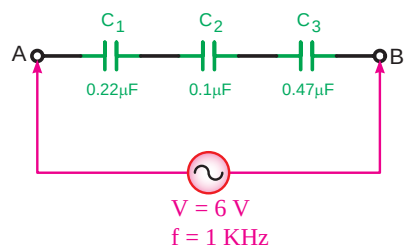


(ب) شکل مداری



(الف) شکل واقعی

شکل ۹-۱۲۶



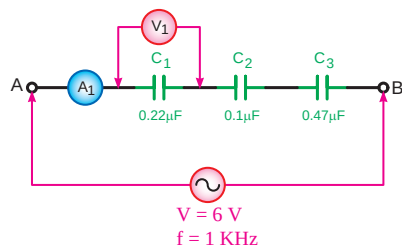
شکل ۹-۱۲۷

۲ سیگنال ژنراتور را روی ولتاژ ۶ ولت سینوسی با فرکانس ۱ کیلوهرتز (kHz) تنظیم کنید و طبق شکل ۹-۱۲۷ به دو نقطه A و B مدار وصل کنید.

۳ با استفاده از یک مولتی متر دیجیتالی جریان عبوری و ولتاژ دوسر خازن C_1 را اندازه‌گیری کنید. (شکل ۹-۱۲۸)

$$V_{C_1} = \dots V$$

$$I_{C_1} = \dots mA$$



(ب) شکل مداری



(الف) شکل واقعی

شکل ۹-۱۲۸

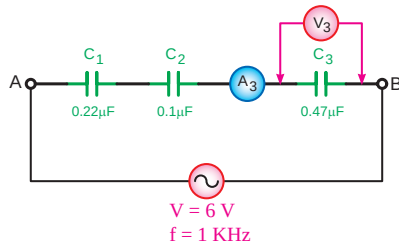
۴ به طور جداگانه جریان و ولتاژ دو سر خازن‌های C_1 و C_3 را طبق شکل‌های ۹-۱۲۹ و ۹-۱۳۰ اندازه‌گیری کنید.

$$V_{C_1} = \dots \text{ V}$$

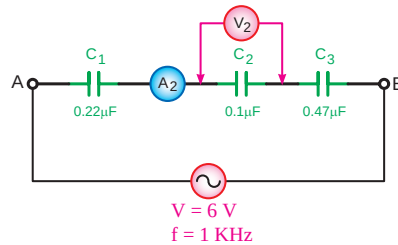
$$I_{C_1} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_3} = \dots \text{ V}$$

$$I_{C_3} = \dots \text{ mA}$$



شکل ۹-۱۳۰



شکل ۹-۱۲۹

۵ آیا آمپرمترها و ولت‌مترها مقادیر مساوی را نشان می‌دهند؟ چرا؟

پاسخ



۶ مقدار جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط: $X_{C_T} = \frac{1}{\omega C_T}$ و $I_T = \frac{V_T}{X_{C_T}}$ و $V_{C_1} = X_{C_1} \cdot I_T$ محاسبه کنید.

$$V_{C_1} = \dots \text{ V}$$

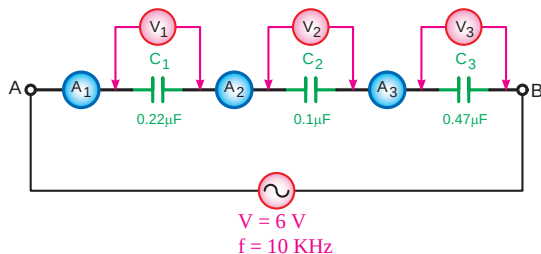
$$I_{C_1} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_2} = \dots \text{ V}$$

$$I_{C_2} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_3} = \dots \text{ V}$$

$$I_{C_3} = \dots \text{ mA}$$



شکل ۹-۱۳۱

۷ فرکانس سیگنال ژنراتور را به ۱۰ kHz تغییر دهید و سپس جریان و ولتاژ هر خازن را به طور جداگانه مطابق مراحل ۳ و ۴ اندازه‌گیری کنید.

$$V_{C_1} = \dots \text{ V}$$

$$I_{C_1} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_2} = \dots \text{ V}$$

$$I_{C_2} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_3} = \dots \text{ V}$$

$$I_{C_3} = \dots \text{ mA}$$

۸ آیا مقادیر اندازه‌گیری شده ولتاژ و جریان خازن‌ها در فرکانس ۱ kHz با فرکانس ۱۰ kHz مساوی هستند؟ چرا؟

پاسخ

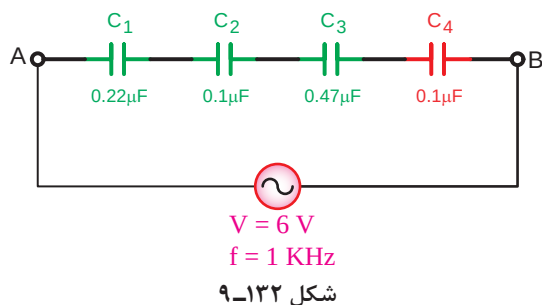


۹ مقادیر جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط: $X_{C_T} = \frac{1}{2\pi f C_T}$ و $I_T = \frac{V_T}{X_{C_T}}$ و $V_{C_1} = X_{C_1} \cdot I_T$ محاسبه کنید.

$V_{C_1} = \dots V$ $I_{C_1} = \dots mA$
 $V_{C_2} = \dots V$ $I_{C_2} = \dots mA$
 $V_{C_3} = \dots V$ $I_{C_3} = \dots mA$

۱۰ از مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده برای ولتاژ و جریان هر خازن طی مراحل ۲ تا ۹ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

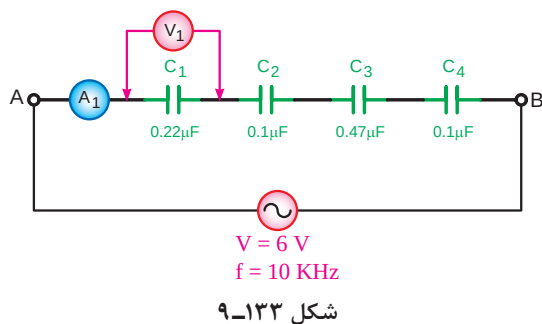
پاسخ



۱۱ یک خازن ۰/۱ μf را مطابق شکل ۹-۱۳۲ به صورت سری به مدار اضافه کنید.

۱۲ ولتاژ و فرکانس سیگنال ژنراتور را به ترتیب روی ۶ ولت و ۱ کیلوهرتز (kHz) تنظیم کنید و سپس طبق شکل ۹-۱۳۲ به مدار اتصال دهید.

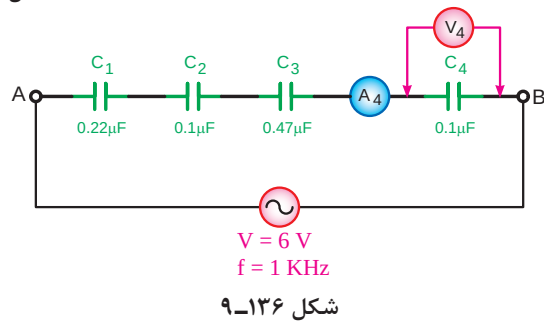
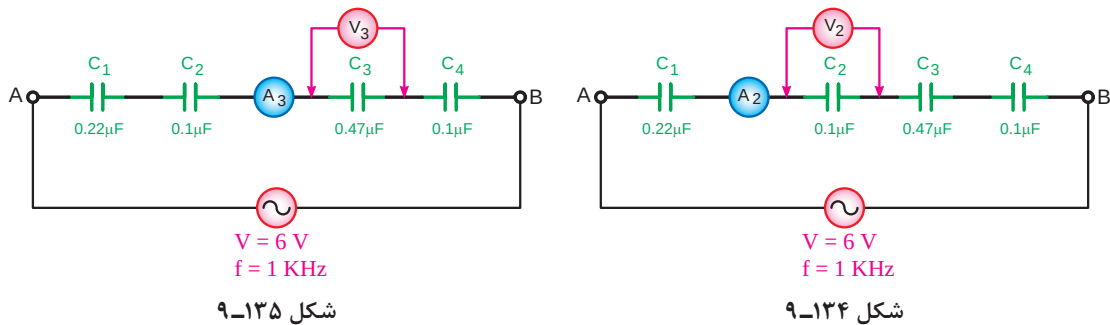
۱۳ با استفاده از یک مولتی‌متر دیجیتالی و طبق شکل ۹-۱۳۳ ولتاژ و جریان خازن C_1 را اندازه بگیرید.



$V_{C_1} = \dots V$
 $I_{C_1} = \dots mA$

۱۲ با تغییر دادن محل قرار گرفتن مولتی‌متر جریان عبوری و ولتاژ دو سر خازن‌های C_r و C_f را مطابق شکل‌های ۹-۱۳۴ و ۹-۱۳۵ و ۹-۱۳۶ اندازه‌گیری کنید.

$$\begin{array}{ll} V_{C_r} = \dots \text{ V} & I_{C_r} = \dots \text{ mA} \\ V_{C_f} = \dots \text{ V} & I_{C_f} = \dots \text{ mA} \\ V_{C_r} = \dots \text{ V} & I_{C_f} = \dots \text{ mA} \end{array}$$



۱۵ مقدار جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط: $X_{C_T} = \frac{1}{2\pi f C_T}$ و $I_T = \frac{V_T}{X_{C_T}}$ و $V_{C_i} = X_{C_i} \cdot I_T$ محاسبه کنید. $V_{C_r} = X_{C_r} \cdot I_T$ و $V_{C_f} = X_{C_f} \cdot I_T$

$$\begin{array}{ll} V_{C_1} = \dots \text{ V} & I_{C_1} = \dots \text{ mA} \\ V_{C_r} = \dots \text{ V} & I_{C_r} = \dots \text{ mA} \\ V_{C_f} = \dots \text{ V} & I_{C_f} = \dots \text{ mA} \\ V_{C_r} = \dots \text{ V} & I_{C_f} = \dots \text{ mA} \end{array}$$

۱۶ از مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده برای ولتاژ جریان هر خازن طی مراحل ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



۱۷ براساس مقادیر به دست آمده از آزمایش‌های انجام شده ظرفیت واقعی هر یک از خازن‌های C_1 تا C_4 را

به کمک روابط $X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C}$ ، $X_C = \frac{V_C}{I_C}$ محاسبه کنید.

$$X_{C_1} = \dots \Omega$$

$$C_1 = \dots \mu f$$

$$X_{C_2} = \dots \Omega$$

$$C_2 = \dots \mu f$$

$$X_{C_3} = \dots \Omega$$

$$C_3 = \dots \mu f$$

$$X_{C_4} = \dots \Omega$$

$$C_4 = \dots \mu f$$

۱۸ با در نظر گرفتن ولتاژ دو سر هر خازن و ظرفیت واقعی آنها مقدار انرژی ذخیره شده در هر خازن را طبق

رابطه $W = \frac{1}{2} CV^2$ محاسبه کنید.

$$W_{C_1} = \frac{1}{2} C_1 V_1^2 = \dots$$

$$W_{C_2} = \frac{1}{2} C_2 V_2^2 = \dots$$

$$W_{C_3} = \frac{1}{2} C_3 V_3^2 = \dots$$

$$W_{C_4} = \frac{1}{2} C_4 V_4^2 = \dots$$

۱۹ آیا نتایج به دست آمده از آزمایش، با مطالب محاسباتی مطابقت دارد؟ چرا؟ شرح دهید.

پاسخ



کار عملی
۱۱



هدف: بررسی مدارهای خازنی موازی در جریان متناوب

وسایل و تجهیزات مورد نیاز (برای هر گروه کار)

ساعت		
نظری	عملی	جمع
-	۱	۱

۱ دستگاه

۱ سیگنال ژنراتور

۱ دستگاه

۲ مولتی متر دیجیتالی

۱ دستگاه

۳ LC متر

۱ عدد

۴ بردبرد آزمایشگاهی

۵/۰ متر

۵ سیم تلفنی

۱ عدد

۶ سیم چین

۱ عدد

۷ سیم لخت کن

۸ خازن‌ها

۱ عدد

$C_1 = 0.22 \mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۱۰ ولت

۲ عدد

$C_2 = 0.1 \mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۱۰ ولت

۱ عدد

$C_3 = 0.47 \mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۱۰ ولت

توجه

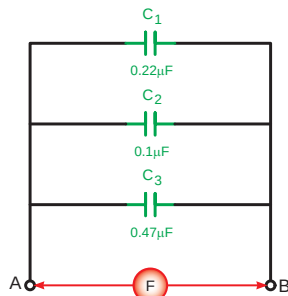


برای اندازه‌گیری ولتاژ و جریان عناصر مدار می‌توانید از یک آوومتر دیجیتالی یک‌بار به صورت ولت‌متری و بار دیگر به صورت آمپرمتري به‌طور جداگانه استفاده کنید.

مراحل اجرای آزمایش

۱ سه خازن C_1 و C_2 و C_3 را مطابق شکل ۹-۱۳۷ روی بردبرد اتصال دهید و با استفاده از دستگاه LC متر ظرفیت خازن معادل در نقطه A و B را اندازه گیری کنید.

$$C_{AB} = \dots \mu f$$

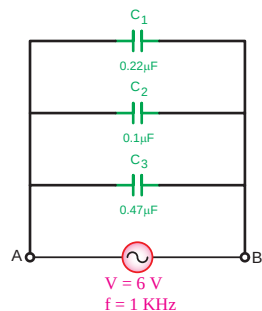


(ب) شکل مداری



(الف) شکل واقعی

شکل ۹-۱۳۷



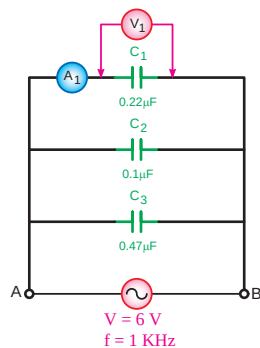
شکل ۹-۱۳۸

۲ سیگنال ژنراتور را روی ولتاژ ۶ ولت سینوسی با فرکانس ۱ کیلوهرتز (kHz) تنظیم کنید و طبق شکل ۹-۱۳۸ به دو نقطه A و B مدار وصل کنید.

۳ با استفاده از یک مولتی متر دیجیتالی جریان عبوری و ولتاژ دو سر خازن C_1 را اندازه گیری کنید. (شکل ۹-۱۳۹)

$$V_{C_1} = \dots V$$

$$I_{C_1} = \dots mA$$



(ب) شکل مداری



(الف) شکل واقعی

شکل ۹-۱۳۹

۴ به طور جداگانه جریان و ولتاژ دو سر خازن های C_1 و C_2 را طبق شکل های ۹-۱۴۰، ۹-۱۴۱ و ۹-۱۴۲ اندازه گیری کنید.

$$V_{C_1} = \dots V$$

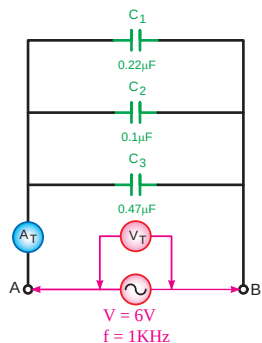
$$I_{C_1} = \dots mA$$

$$V_{C_2} = \dots V$$

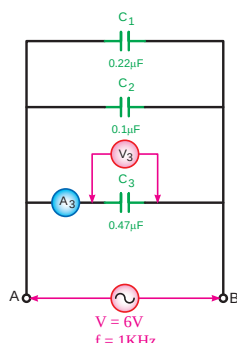
$$I_{C_2} = \dots mA$$

$$V_T = \dots V$$

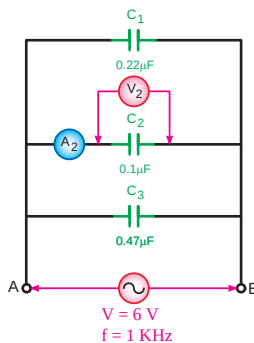
$$I_T = \dots mA$$



شکل ۹-۱۴۲



شکل ۹-۱۴۱



شکل ۹-۱۴۰

۵ آیا آمپرمترها و ولت مترها مقادیر مساوی را نشان می دهند؟ چرا؟

پاسخ



۶ مقدار جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط: $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$ و $I_C = \frac{V_C}{X_C}$ مقادیر زیر را محاسبه کنید.

$$V_{C_1} = \dots V$$

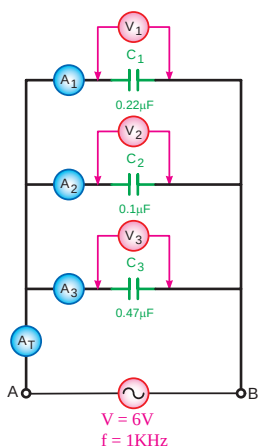
$$I_{C_1} = \dots mA$$

$$V_{C_2} = \dots V$$

$$I_{C_2} = \dots mA$$

$$V_{C_3} = \dots V$$

$$I_{C_3} = \dots mA$$



شکل ۹-۱۴۳

۷ فرکانس سیگنال ژنراتور را مطابق شکل ۹-۱۴۳ به ۱۰kHz تغییر دهید و سپس جریان و ولتاژ هر خازن را به طور جداگانه مطابق مراحل ۳ و ۴ اندازه گیری کنید.

$$V_{C_1} = \dots V$$

$$I_{C_1} = \dots mA$$

$$V_{C_2} = \dots V$$

$$I_{C_2} = \dots mA$$

$$V_{C_3} = \dots V$$

$$I_{C_3} = \dots mA$$

۸ آیا مقادیر اندازه‌گیری شده ولتاژ و جریان خازن‌ها در فرکانس ۱ kHz با فرکانس ۱۰ kHz مساوی هستند؟ چرا؟

پاسخ



۹ مقادیر جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط: $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$ و $I = \frac{V}{X_C}$ مقادیر زیر را محاسبه کنید.

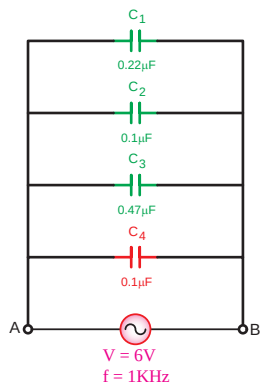
$$V_{C_1} = \dots V \quad I_{C_1} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_2} = \dots V \quad I_{C_2} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_3} = \dots V \quad I_{C_3} = \dots \text{ mA}$$

۱۰ از مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده برای ولتاژ و جریان هر خازن طی مراحل ۲ تا ۹ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

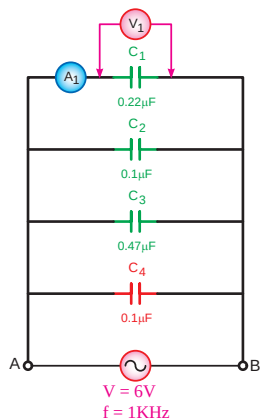
پاسخ



شکل ۹-۱۴۴

۱۱ یک خازن $0.1 \mu\text{F}$ را مطابق شکل ۹-۱۴۴ به صورت موازی به مدار اضافه کنید.

۱۲ ولتاژ و فرکانس سیگنال ژنراتور را به ترتیب روی ۶ ولت و ۱ کیلوهرتز تنظیم کنید و سپس طبق شکل ۹-۱۴۴ به مدار اتصال دهید.



شکل ۹-۱۴۵

۱۳ با استفاده از یک مولتی‌متر دیجیتالی و طبق شکل ۹-۱۴۵ ولتاژ و جریان خازن C_1 را اندازه بگیرید.

$$V_{C_1} = \dots V$$

$$I_{C_1} = \dots \text{ mA}$$

۱۴ با تغییر دادن محل قرار گرفتن مولتی متر جریان عبوری و ولتاژ دو سر خازن های C_1 و C_2 و C_3 را مطابق شکل های ۹-۱۴۶ و ۹-۱۴۷ و ۹-۱۴۸ اندازه گیری کنید.

$$V_{C_1} = \dots V$$

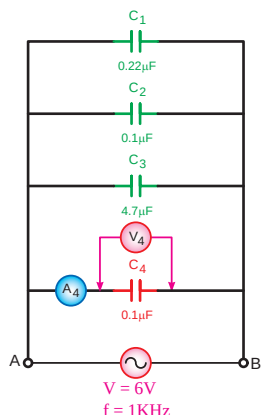
$$I_{C_1} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_2} = \dots V$$

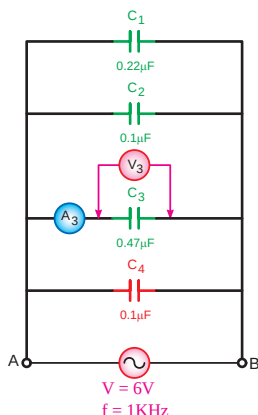
$$I_{C_2} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_3} = \dots V$$

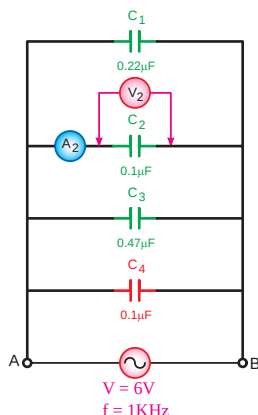
$$I_{C_3} = \dots \text{ mA}$$



شکل ۹-۱۴۸



شکل ۹-۱۴۷



شکل ۹-۱۴۶

۱۵ مقدار جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$ و $I_C = \frac{V_C}{X_C}$ و مقادیر زیر را محاسبه کنید.

$$V_{C_1} = \dots V$$

$$I_{C_1} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_2} = \dots V$$

$$I_{C_2} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_3} = \dots V$$

$$I_{C_3} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_4} = \dots V$$

$$I_{C_4} = \dots \text{ mA}$$

۱۶ از مقادیر محاسبه شده و اندازه گیری شده برای ولتاژ و جریان هر خازن طی مراحل ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



۱۷

5

$$C_f = \dots \mu f$$

اے

$$W_{C_f} = \frac{1}{\gamma} C_f V_f^T = \dots$$

19



وہ

- 

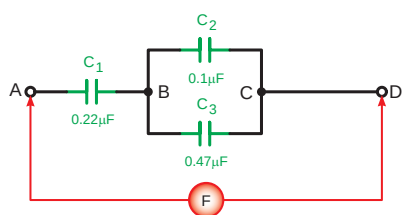


برای اندازه‌گیری ولتاژ و جریان عناصر مدار می‌توانید از یک آومتر دیجیتالی یکبار به صورت ولت متری و بار دیگر به صورت آمپر متری به‌طور جداگانه استفاده کنید.

مراحل اجرای آزمایش

۱ مدار شکل ۹-۱۴۹ را روی بردبرد اتصال دهید و با LC متر ظرفیت خازن معادل بین دو نقطه A و D را اندازه‌گیری کنید.

$$C_{TAD} = \dots \mu f$$

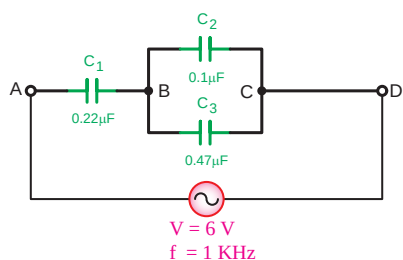


ب) شکل مداری



الف) شکل واقعی

شکل ۹-۱۴۹



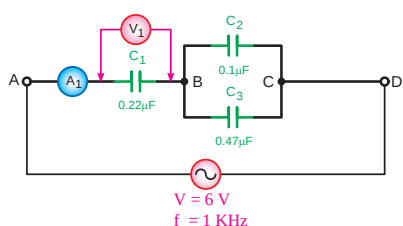
شکل ۹-۱۵۰

۲ سیگنال ژنراتور را روی ولتاژ ۶ ولت سینوسی با فرکانس ۱ کیلوهرتز تنظیم کنید و طبق شکل ۹-۱۵۰ به دو نقطه A و D مدار وصل کنید.

۳ با استفاده از یک مولتی‌متر دیجیتالی جریان عبوری و ولتاژ دو سر خازن C_1 را اندازه‌گیری کنید. (شکل ۹-۱۵۱)

$$V_{C_1} = \dots V$$

$$I_{C_1} = \dots mA$$



ب) شکل مداری



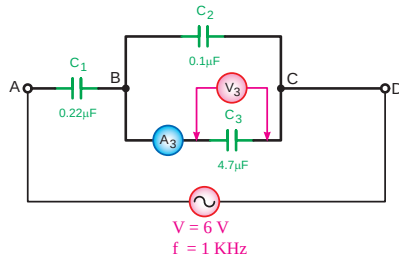
الف) شکل واقعی

شکل ۹-۱۵۱

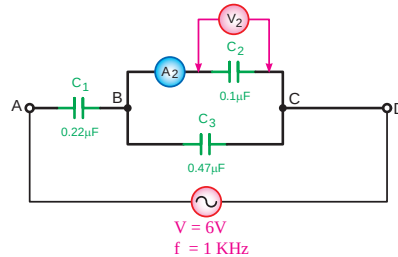
۴ به طور جداگانه جریان و ولتاژ دو سر خازن های C_2 و C_3 را طبق شکل های ۹-۱۵۲ و ۹-۱۵۳ اندازه گیری کنید.

$$V_{C_2} = \dots \text{ V} \quad I_{C_2} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_3} = \dots \text{ V} \quad I_{C_3} = \dots \text{ mA}$$



شکل ۹-۱۵۳



شکل ۹-۱۵۲

۵ آیا آمپرمترها و ولت مترها مقادیر مساوی را نشان می دهند؟ چرا؟

پاسخ



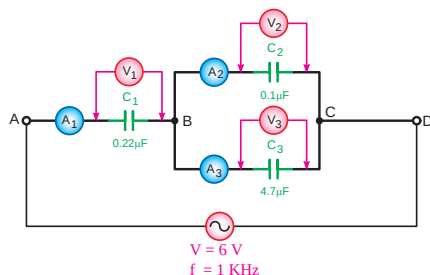
۶ مقدار جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط: $X_C = \frac{1}{\omega C}$ و $I_C = \frac{V_C}{X_C}$ محاسبه کنید.

$$V_{C_1} = \dots \text{ V} \quad I_{C_1} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_2} = \dots \text{ V} \quad I_{C_2} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_3} = \dots \text{ V} \quad I_{C_3} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_4} = \dots \text{ V} \quad I_{C_4} = \dots \text{ mA}$$



شکل ۹-۱۵۴

۷ فرکانس سیگنال ژنراتور را مطابق شکل ۹-۱۵۴ به ۱۰ KHz تغییر دهید و سپس جریان و ولتاژ هر خازن را به طور جداگانه مطابق مراحل ۳ و ۴ اندازه گیری کنید.

$$V_{C_1} = \dots \text{ V} \quad I_{C_1} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_2} = \dots \text{ V} \quad I_{C_2} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_3} = \dots \text{ V} \quad I_{C_3} = \dots \text{ mA}$$

۸ آیا مقادیر اندازه‌گیری شده ولتاژ و جریان ولتاژی در فرکانس ۱ kHz با فرکانس ۱۰ kHz مساوی هستند؟ چرا؟

پاسخ



۹ مقدار جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط: $X_{C_T} = \frac{1}{2\pi f \cdot C}$ ، $I_C = \frac{V_C}{X_C}$ و $V_C = X_C \cdot I_C$ محاسبه کنید.

$$V_{C_1} = \dots \text{ V} \quad I_{C_1} = \dots \text{ mA}$$

$$V_{C_2} = \dots \text{ V} \quad I_{C_2} = \dots \text{ mA}$$

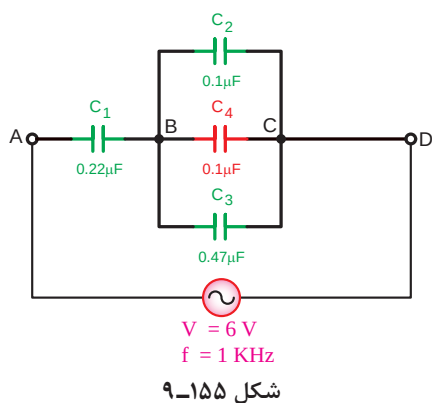
$$V_{C_3} = \dots \text{ V} \quad I_{C_3} = \dots \text{ mA}$$

۱۰ از مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده برای ولتاژ و جریان هر خازن طی مراحل ۲ تا ۹ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



۱۱ یک خازن $0.1 \mu\text{F}$ را مطابق شکل ۹-۱۵۵ بین دو نقطه B و C مدار قرار دهید.



۱۲ ولتاژ و فرکانس سیگنال ژنراتور را به ترتیب روی ۶ ولت و ۱ کیلوهرتز (kHz) تنظیم کنید و سپس طبق شکل ۹-۱۵۶ به مدار اتصال دهید.

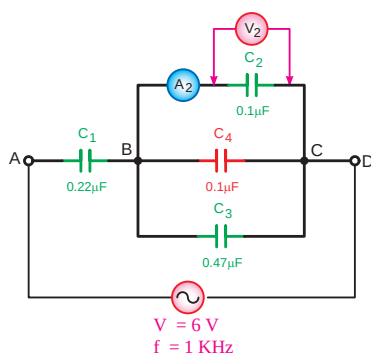
۱۳ با استفاده از یک مولتی متر دیجیتالی و طبق شکل های ۹-۱۵۶ تا ۹-۱۵۹ ولتاژ و جریان خازن C_1 تا C_4 را اندازه گیری کنید.

$$V_{C_1} = \dots V \quad I_{C_1} = \dots \text{mA}$$

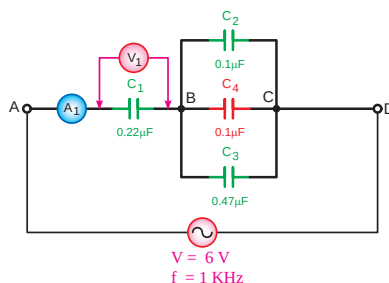
$$V_{C_2} = \dots V \quad I_{C_2} = \dots \text{mA}$$

$$V_{C_3} = \dots V \quad I_{C_3} = \dots \text{mA}$$

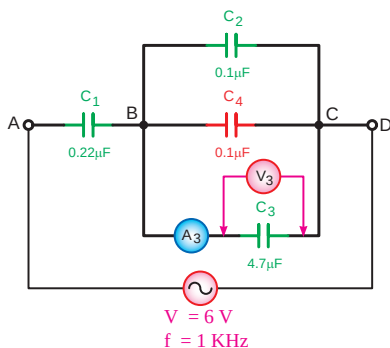
$$V_{C_4} = \dots V \quad I_{C_4} = \dots \text{mA}$$



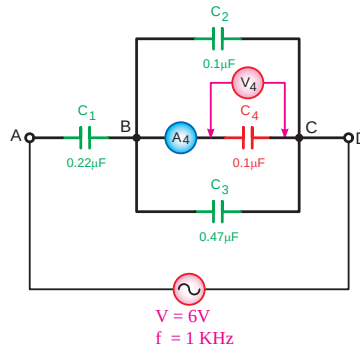
شکل ۹-۱۵۷



شکل ۹-۱۵۶



شکل ۹-۱۵۹



شکل ۹-۱۵۸

۱۴ مقدار جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط: $I_C = \frac{V_C}{X_C}$ و $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$ محاسبه کنید.

$$V_{C_1} = \dots V \quad I_{C_1} = \dots \text{mA}$$

$$V_{C_2} = \dots V \quad I_{C_2} = \dots \text{mA}$$

$$V_{C_3} = \dots V \quad I_{C_3} = \dots \text{mA}$$

$$V_{C_4} = \dots V \quad I_{C_4} = \dots \text{mA}$$

۱۵ از مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده برای ولتاژ و جریان هر خازن طی مراحل ۱۳ و ۱۴ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



۱۶ با در نظر گرفتن ولتاژ دو سر هر خازن و ظرفیت واقعی آنها مقدار انرژی ذخیره شده در هر خازن را طبق رابطه $W = \frac{1}{2} CV^2$ محاسبه کنید.

$$W_{C_1} = \frac{1}{2} C_1 V_1^2 = \dots \text{mj}$$

$$W_{C_r} = \frac{1}{2} C_r V_r^2 = \dots \text{mj}$$

$$W_{C_r} = \frac{1}{2} C_r V_r^2 = \dots \text{mj}$$

$$W_{C_f} = \frac{1}{2} C_f V_f^2 = \dots \text{mj}$$

۱۷ از مقایسه نتایج مراحل ۱۰ و ۱۵ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ



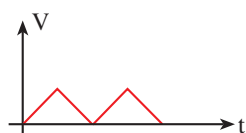
آزمون پایانی (۹)

۱ جریانی که جهت آن همیشه ثابت است چه نوع جریانی است؟

الف) متناوب (ب) مستقیم (ج) مربعی (د) سینوسی

۲ هنگام نشان دادن شکل موج، محور عمودی مختصات نشان دهنده چیست؟

الف) زاویه (ب) زمان (ج) اندازه (د) جهت



شکل ۹-۱۶۰

۳ شکل موج ۹-۱۶۰ چه ولتاژی است؟

الف) AC (ب) DC
ج) AC متغیر (د) DC متغیر

۴ هرگاه سیمی در داخل میدان مغناطیسی حرکت کند در دو سر آن به وجود می آید.

الف) ولتاژ (ب) جریان (ج) مقاومت (د) میدان مغناطیسی

۵ کدام مورد از عوامل زیر در ولتاژ القایی مؤثر نیست؟

الف) میدان مغناطیسی (ب) سطح مقطع سیم (ج) زاویه سیم (د) سرعت حرکت

۶ در چه صورت جریان القایی در سیم جاری خواهد شد؟

الف) حرکت سیم (ب) وجود میدان مغناطیسی
ج) بسته شدن مدار سیم متحرک (د) عمود بودن زاویه سیم با میدان

۷ کدام مورد از اجزای مولد AC نیست؟

الف) فلوی مغناطیسی (ب) زغال ها (ج) کموتاتور (د) سیم تحرک (کلاف)

۸ در لحظه ای که کلاف در داخل میدان مغناطیسی ۱۸۰ درجه چرخیده ولتاژ القایی چه وضعیتی دارد؟

الف) حداقل (ب) حداکثر (ج) صفر (د) نصف

۹ انگشت شست در قانون دست راست باز چه عاملی را نشان می دهد؟

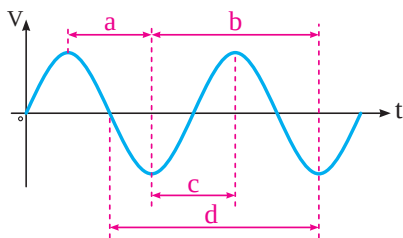
الف) جهت حرکت سیم (ب) جهت جریان القایی
ج) جهت میدان مغناطیسی (د) جهت نیروی محرکه القایی

۱۰ انگشت اشاره در قانون دست راست سه انگشت عمود بر هم نشان دهنده کدام کمیت است؟

الف) جهت حرکت میدان (ب) جهت نیروی محرکه
ج) جهت حرکت هادی (د) جهت فلوی مغناطیسی

۱۱ فرکانس عبارت است از:

الف) تعداد زمان تناوب ها در هر ثانیه (ب) تعداد سیکل های زده شده در هر ثانیه
ج) مسافت طی شده در یک ثانیه (د) مدت زمان طی شده یک سیکل



شکل ۹-۱۶۱

۱۲ در شکل ۹-۱۶۱ کدام یک از موارد زیر شکل صحیح زمان تناوب را نشان می‌دهد؟

- الف (الف) a
ب (ب) b
ج (ج) c
د (د) d

۱۳ کدام رابطه شکل صحیح فرمول طول موج را نشان می‌دهد؟

- الف (الف) $\lambda = \frac{C}{f}$
ب (ب) $\lambda = \frac{f}{C}$
ج (ج) $\lambda = \frac{C}{q}$
د (د) $\lambda = 2\pi f$

۱۴ سرعت زاویه‌ای عبارت است از:

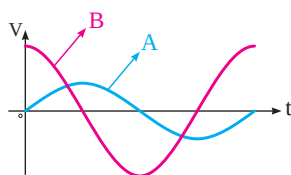
- الف) سرعت متحرک در داخل میدان مغناطیسی
ب) زاویه چرخش متحرک در مسیر دایره‌ای به شعاع 2π
ج) سرعت چرخش متحرک در مسیر دایره‌ای
د) زاویه چرخش متحرک نسبت به شعاع مبنا در عرض یک ثانیه

۱۵ کدام رابطه مقدار متوسط و مؤثر یک موج را نشان می‌دهد؟

- الف (الف) $V_{av} = 0.707 \times V_m$
ب (ب) $V_{av} = 0.637 \times V_m$
ج (ج) $V_{av} = 0.637 \times V_m$
د (د) $V_{av} = 0.707 \times V_m$
 $V_e = 0.707 \times V_m$
 $V_e = 0.637 \times V_m$

۱۶ معیار سنجش مقدار مؤثر موج متناوب چیست؟

- الف) برابری مقدار گرمای ایجاد شده در مدارات جریان مستقیم
ب) برابری مقدار گرمای ایجاد شده در مدار اهمی خالص جریان مستقیم
ج) برابری مقدار گرمای ایجاد شده در مدارات جریان متناوب
د) برابری مقدار گرمای ایجاد شده اهمی جریان متناوب

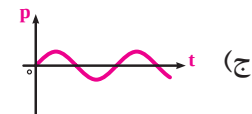
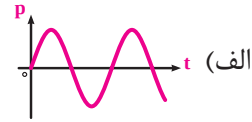
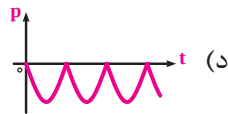
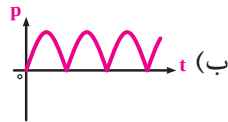


شکل ۹-۱۶۲

۱۷ با توجه به شکل ۹-۱۶۲ کدام مورد صحیح است؟

- الف) موج B نسبت به موج A پیش فاز است.
ب) موج A نسبت به موج B پیش فاز است.
ج) موج A نسبت به موج B هم فاز است.
د) دو موج ارتباطی با هم ندارند.

۱۸ شکل موج توان در مدار اهمی خالص کدام است؟



- ۱۹ جریان در یک مدار خازنی خالص نسبت به ولتاژ چگونه است؟
- (الف) ۹۰ درجه پس فاز
(ب) ۹۰ درجه پیش فاز
(ج) ۴۵ درجه پس فاز
(د) ۴۵ درجه پیش فاز

۲۰ عملکرد خازن در مدارهای جریان متناوب بدین صورت است که
(الف) از شبکه انرژی می گیرد و مصرف می کند.

(ب) از شبکه انرژی می گیرد و به حرارت تبدیل می کند.

(ج) از شبکه انرژی می گیرد و در خود ذخیره می کند.

(د) از شبکه انرژی می گیرد و در خود ذخیره و سپس باز می گرداند.

- ۲۱ جریان در یک مدار سلفی خالص نسبت به ولتاژ مدار چه وضعیتی دارد؟
- (الف) ۹۰ درجه پس فاز
(ب) ۹۰ درجه پیش فاز
(ج) هم فاز
(د) ۴۵ درجه پس فاز

۲۲ خاصیت مقاومتی سلف در جریان متناوب را سلفی گویند.

(الف) اندوکتانس (ب) راکتانس (ج) رزیستانس (د) کاپاسیتانس

۲۳ کدام یک از گزینه های زیر در مورد یک مدار سلفی سری صحیح است؟

$$\begin{cases} X_{L_T} = \frac{1}{\frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}}} \\ L_T = L_1 + L_2 \end{cases} \quad (\text{ب})$$

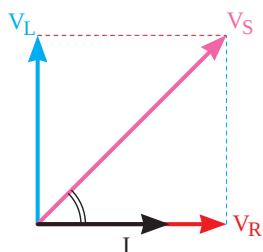
$$\begin{cases} X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2} \\ L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}} \end{cases} \quad (\text{الف})$$

$$\begin{cases} X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2} \\ L_T = L_1 + L_2 \end{cases} \quad (\text{د})$$

$$\begin{cases} X_{L_T} = \frac{1}{\frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}}} \\ L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}} \end{cases} \quad (\text{ج})$$

۲۴ بردار کمیت‌های اهمی خالص و غیراهمی خالص به ترتیب روی محورهای و رسم می‌شوند.

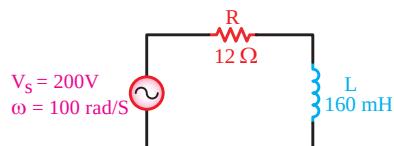
- (الف) افقی مثبت - افقی منفی
(ب) افقی منفی - عمودی مثبت و منفی
(ج) افقی مثبت - عمودی مثبت و منفی
(د) افقی منفی - عمودی منفی



شکل ۹-۱۶۳

۲۵ دیاگرام برداری شکل ۹-۱۶۳ مربوط به چه مداری است؟

- (الف) RL موازی
(ب) RL سری
(ج) RC موازی
(د) RC سری



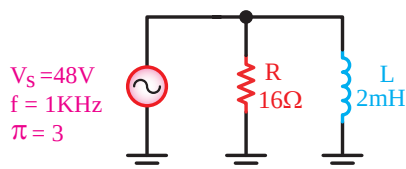
شکل ۹-۱۶۴

۲۶ در مدار شکل ۹-۱۶۴ ضریب قدرت مدار چقدر است؟

- (الف) ۰/۸
(ب) ۰/۷
(ج) ۰/۶
(د) ۰/۵

۲۷ افزایش فرکانس در مدار RL سری موجب می‌شود تا مدار خاصیت پیدا کند.

- (الف) اهمی‌تر
(ب) سلفی‌تر
(ج) اهمی و سلفی
(د) تغییر فرکانس تأثیری در مدار ندارد.



شکل ۹-۱۶۵

۲۸ جریان کل مدار شکل ۹-۱۶۵ چند آمپر است؟

- (الف) ۱۰
(ب) ۴/۸
(ج) ۳/۲
(د) ۵

۲۹ در صورت کاهش فرکانس در یک مدار RL موازی زاویه اختلاف فاز مدار

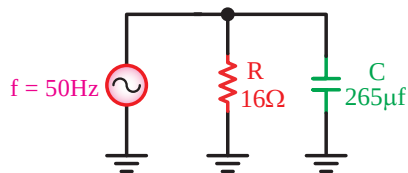
- (الف) افزایش می‌یابد.
(ب) کاهش می‌یابد.
(ج) تغییری نمی‌کند.
(د) ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

۳۰ در مدار RL سری به نسبت با مقاومت‌ها بین اجزا مدار مستقیم می‌شود.

- (الف) ولتاژها - مستقیم
(ب) ولتاژها - معکوس
(ج) جریان‌ها - مستقیم
(د) جریان‌ها - معکوس

۳۱ کدام رابطه شکل صحیح فرمول ضریب قدرت در مدارهای RC سری را نشان می‌دهد؟

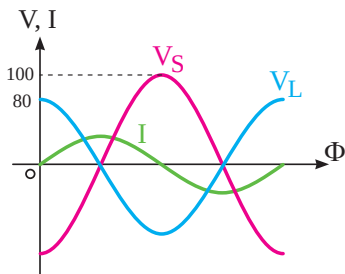
- (الف) $\frac{X_C}{R}$
(ب) $\frac{X_C}{Z}$
(ج) $\frac{R}{Z}$
(د) $\frac{Z}{R}$



شکل ۹-۱۶۶

۳۲ امیدانس مدار شکل ۹-۱۶۶ چند اهم است؟

- (الف) ۲۸
(ب) ۱۹۲
(ج) ۲۰
(د) ۹/۶



شکل ۹-۱۶۷

۳۳ مقدار ضریب قدرت غیرحقیقی مدار شکل ۹-۱۶۷ چقدر است؟

- (الف) ۰/۸
(ب) ۰/۷۵
(ج) ۰/۷
(د) ۰/۶۵

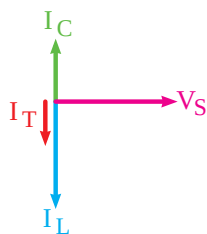
۳۴ با توجه به شکل موج‌های شکل ۹-۱۶۷ مدار در چه حالتی است؟

- (الف) $X_L < X_C$
(ب) $X_C < X_L$
(ج) $X_L = X_C$
(د) $\frac{V_m}{\sqrt{2}}$

۳۵ امیدانس در مدارهای LC سری در شرایط رزونانس چقدر است؟

(د) $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$

- (الف) $Z = 0$
(ب) $Z = Z_{max}$
(ج) $Z = R$



شکل ۹-۱۶۸

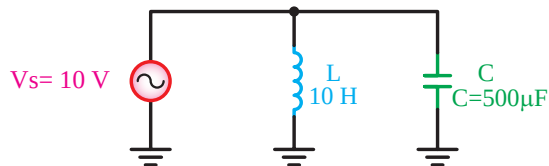
۳۶ دیاگرام برداری شکل ۹-۱۶۸ مربوط به کدام مدار و در چه

شرایطی است؟

- (الف) LC سری $X_L > X_C$
(ب) LC سری $X_C > X_L$
(ج) LC موازی $X_L > X_C$
(د) LC موازی $X_C > X_L$

۳۷ در یک مدار LC موازی اگر فرکانس مدار بیشتر از فرکانس رزونانس شود، وضعیت مدار چگونه است؟

- (الف) حالت خازنی $X_L > X_C$
(ب) حالت خازنی $X_C > X_L$
(ج) حالت سلفی $X_L > X_C$
(د) حالت سلفی $X_C > X_L$



شکل ۹-۱۶۹

۳۸ فرکانس رزونانس مدار شکل ۹-۱۶۹ چند کیلوهرتز

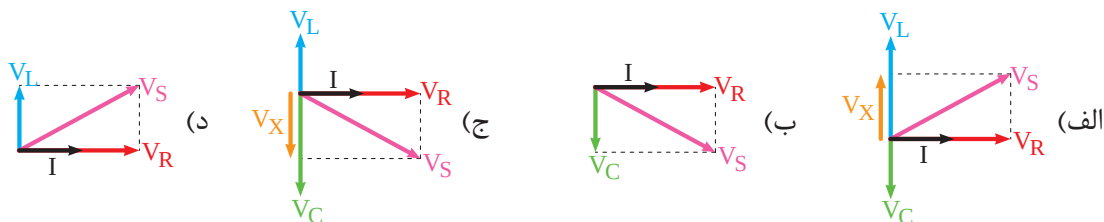
است؟

- (الف) ۳/۱
(ب) ۷/۰۷
(ج) ۲/۲
(د) ۱۴

۳۹ اگر راکتانس خازنی مدار RC سری افزایش یابد زاویه اختلاف فاز به درجه نزدیک می‌شود.

- (الف) +۹۰
(ب) -۹۰
(ج) صفر
(د) +۴۵

۴۰ کدام یک از دیاگرام‌های برداری ولتاژها در حالت مدار RLC سری را نشان می‌دهد؟



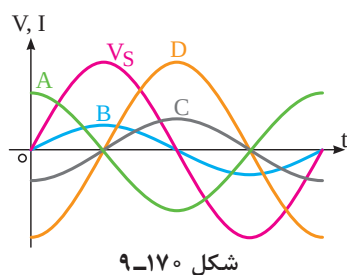
۴۱ در حالت رزونانس مدار RLC سری امپدانس مدار برابر کدام گزینه است؟

- الف (R) ب ($\frac{1}{R}$) ج (X_C) د (X_L)

۴۲ در فرکانس‌های کمتر از f_r مدارهای RLC سری جریان I از V_S است و مدار در حالت

قرار دارد.

- الف (جلوتر - سلفی) ب (عقب‌تر - خازنی) ج (جلوتر - خازنی) د (عقب‌تر - سلفی)

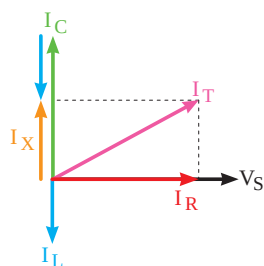


شکل ۹-۱۷۰

۴۳ در شکل ۹-۱۷۰ که مربوط به مدار RLC موازی است کدام شکل

موج نشان‌دهنده جریان I_L است؟

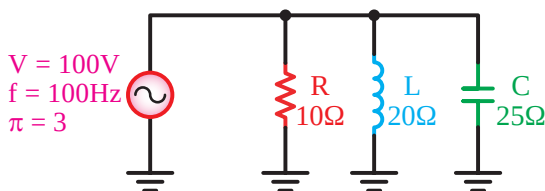
- الف (A) ب (B) ج (C) د (D)



شکل ۹-۱۷۱

۴۴ دیاگرام برداری شکل ۹-۱۷۱ مربوط به چه مداری است؟

- الف (RLC موازی) ب (RL موازی) ج (RLC سری) د (RL سری)



شکل ۹-۱۷۲

۴۵ ضریب قدرت مدار شکل ۹-۱۷۲ چقدر است؟

- الف (۰/۴) ب (۰/۹) ج (۰/۸) د (۰/۶)

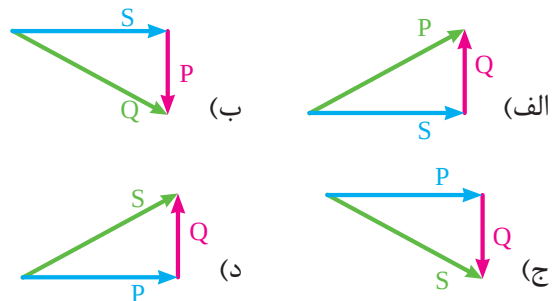
۴۶ توانی را که از طرف تولیدکننده به مدار فرستاده می‌شود را توان گویند.

الف) ظاهری (Q) ب) اکتیو (S) ج) ظاهری (S) د) اکتیو (Q)

۴۷ کدام یک از روابط زیر غلط است؟

الف) $P = \sqrt{S^2 + Q^2}$ ب) $Q = X \cdot I_e$ ج) $P = \frac{V_e^2}{R}$ د) $S = \frac{V_e}{I_e}$

۴۸ کدام یک از گزینه‌های زیر شکل صحیح مثلث توان‌ها را در حالت اهمی - سلفی نشان می‌دهد؟



۴۹ اگر شکل موجی از موج دیگر زودتر شروع شود، در اصطلاح به آن موج می‌گویند.

۵۰ مقاومتی که سلف از خود در جریان متناوب نشان می‌دهد، راکتانس سلفی نامند. ☐ صحیح ☐ غلط

۵۱ در مدارهای سلفی ولتاژ مدار نسبت به جریان ۹۰ درجه است.

۵۲ در مدارهای RLC به ازاء تغییرات فرکانس هیچ‌گاه مقادیر X_L و X_C برابر نخواهند شد. ☐ صحیح ☐ غلط

۵۳ در محاسبات توان، توان راکتیو سلفی را با علامت و توان راکتیو خازنی را با علامت نشان می‌دهند.

۵۴ در مدارهای RLC موازی و در حالت رزونانس جریان کل مدار حداکثر است. ☐ صحیح ☐ غلط

۵۵ سلف معادل چند سلف موازی از مقدار هر یک از سلف‌های مدار است.

توجه

مطالب مربوط به سؤالاتی را که نتوانسته‌اید پاسخ دهید مجدداً مطالعه و آزمون را تکرار کنید.



فصل ۱۰

اصول کار مولدهای جریان مستقیم

هدف کلی فصل:

آشنایی با ساختمان و اصول کار مولدهای جریان مستقیم

هدف‌های رفتاری:

در پایان این فصل انتظار می‌رود که فراگیر بتواند:

۱ اجزای اصلی و فرعی یک مولد DC را نام ببرد.

۲ تفاوت کموتورها در مولدهای AC و DC را بیان کند.

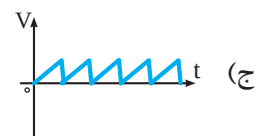
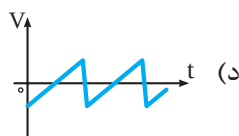
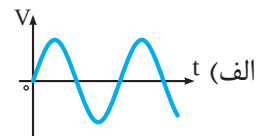
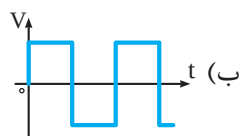
۳ اصول کار و چگونگی به وجود آمدن شکل موج خروجی مولدهای DC را با رسم شکل توضیح دهد.

۴ اثر افزایش تعداد دور و گروه کلاف‌ها و تیغه‌های کلکتور را توضیح دهد.

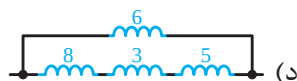
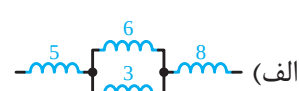
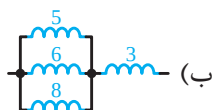
ساعت		
نظری	عملی	جمع
۴	-	۴

پیش‌آزمون (۱۰)

- ۱ در داخل دستگاه‌های جوش ممکن است کدام یک از وسایل زیر استفاده نشود؟
الف) ترانس (ب) مولد DC (ج) سیم مسی (د) الکتروود
- ۲ ولتاژ تولید شده توسط باتری قلمی مشابه کدام یک از موارد زیر نیست؟
الف) مولد AC (ب) مولد DC (ج) باتری کتابی (د) باتری ماشین
- ۳ برای شارژ باتری اتومبیل کدام یک از وسایل زیر استفاده می‌شود؟
الف) باتری (ب) دلكو (ج) آف‌تامات (د) دینام
- ۴ کدام یک از موارد زیر از اجزای یک دینام دوچرخه نیست؟
الف) آرمیچر (ب) هرزگرد (ج) آهنربا (د) سیم پیچ قطب‌های S و N
- ۵ در کدام وسیله زیر زغال (جاروبک) به کار نمی‌رود؟
الف) دریل (ب) جارو برقی (ج) همزن (د) موتور کولر
- ۶ کدام یک از امواج زیر DC است؟



- ۷ انگشت شست در قانون دست راست ژنراتورها نشان‌دهنده کدام کمیت است؟
الف) جهت حرکت هادی (ب) جهت نیروی محرکه (ج) جهت میدان مغناطیسی (د) جهت قطب‌ها
- ۸ فرکانس موجی با زمان تناوب ۵ میلی ثانیه چند هرتز است؟
الف) ۱۰۰ (ب) ۲۰۰ (ج) ۲۰ (د) ۰/۰۰۵
- ۹ مقدار مؤثر یک موج سینوسی با ماکزیمم دامنه ۱۰ ولت چقدر است؟
الف) ۱۲/۷۴ (ب) ۷/۰۷ (ج) ۱۴/۱۴ (د) ۰/۶۳۶
- ۱۰ راکتانس معادل کدام یک از اشکال زیر برابر با ۱۵Ω است؟ (مقادیر روی شکل‌ها بر حسب اهم است)



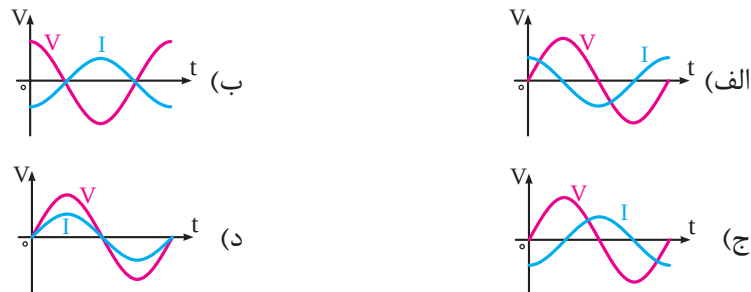
۱۱ کدام گزینه رابطه ضریب قدرت در مدار RC موازی است؟

- الف) $\frac{R}{Z}$ ب) $\frac{X_C}{R}$ ج) $\frac{Z}{X_C}$ د) $\frac{Z}{R}$

۱۲ در مدار RLC موازی با افزایش اندوکتانس، مدار حالت پیدا می کند.

- الف) اهمی - سلفی ب) اهمی - خازنی ج) سلفی د) سلفی - خازنی

۱۳ کدام مورد شکل صحیح رابطه فازی بین ولتاژ و جریان، در مدارهای سلفی خالص را نشان می دهد؟



۱۴ اگر توان ظاهری یک مصرف کننده 500 VA و توان اکتیو 400 W باشد، ضریب قدرت آن چقدر است؟

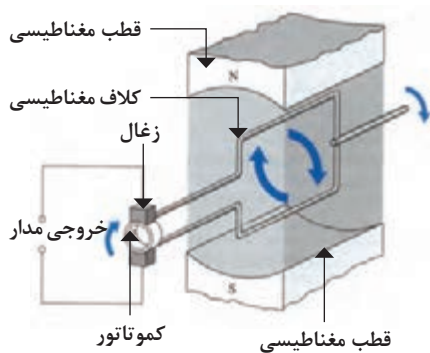
- الف) $1/25$ ب) $0/75$ ج) $0/6$ د) $0/8$

۱۵ مقدار فرکانس رزونانس یک مدار RLC سری با مشخصات $R = 100 \Omega$ ، $C = 0/4 \mu\text{f}$ ، چند هرتز است؟ ($\pi=3$)

- الف) 396 ب) 372 ج) 340 د) 335

۱-۱۰- شناسایی اصول کار مولد جریان مستقیم

یک ماشین جریان مستقیم ساده طبق شکل ۱-۱۰ از چهار قسمت اصلی تشکیل شده است.



شکل ۱-۱۰

۱ میدان مغناطیسی (قطب ها)

۲ حلقه القا شونده (کلاف سیم)

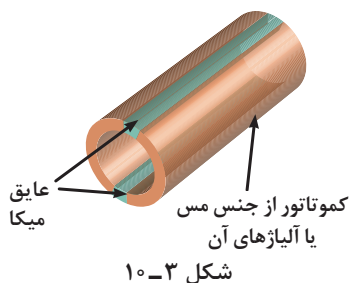
۳ کمو تاتور (حلقه های لغزنده)

۴ جاروبک ها (زغال ها)



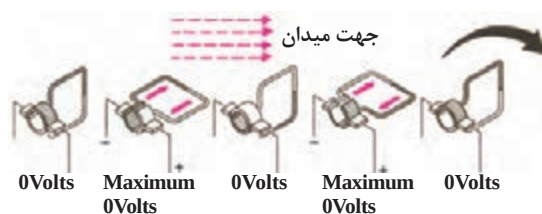
شکل ۱۰-۲

نحوه تولید ولتاژ در مولدهای DC نیز مشابه مولدهای AC است یعنی با به حرکت درآوردن کلاف در میدان مغناطیسی ولتاژی در دو سر آن القا می‌شود که از طریق حلقه‌های لغزنده به زغال‌ها و در نهایت به مصرف‌کننده انتقال می‌یابد. (شکل ۱۰-۲)



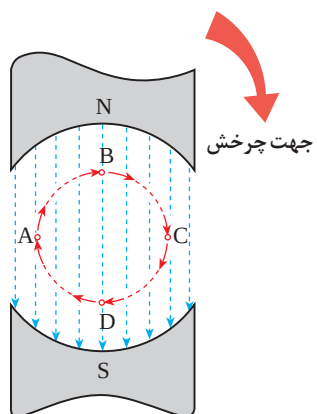
شکل ۱۰-۳

تفاوت اصلی مولدهای DC و AC در شکل کموطاتور استفاده شده در آن است. زیرا در جریان DC این حلقه‌ها دو تکه است و توسط یک عایق از یکدیگر جدا می‌شوند. (شکل ۱۰-۳)



شکل ۱۰-۴

دو تکه بودن کموطاتور سبب می‌شود تا بازویی که به آن متصل است در زمانی که کلاف نیم دور می‌زند و به زیر قطب مخالف برود. در این حالت جهت جریان در سیم عوض نمی‌شود و به همان صورت باقی بماند. (شکل ۱۰-۴)

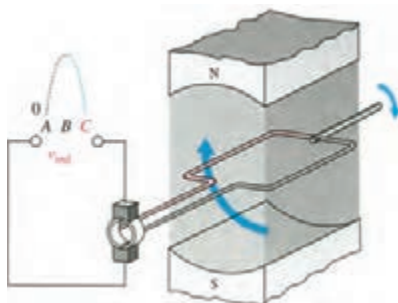


شکل ۱۰-۵

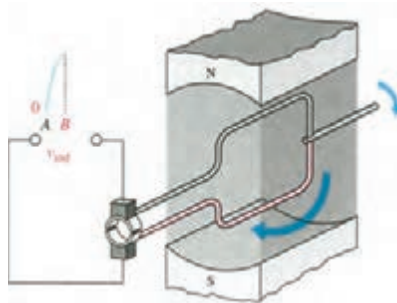
اگر فضای گردش کلاف در داخل میدان مغناطیسی را برای هر ۹۰ درجه به صورت شکل ۱۰-۵ نامگذاری کنیم با گردش کلاف در داخل میدان مغناطیسی هر ۱۸۰ درجه ولتاژ یک‌بار به حداکثر می‌رسد و مجدداً صفر می‌شود.

بنابراین در یک دور گردش کلاف در میدان مغناطیسی دو نیم سیکل سینوسی به وجود می‌آید.

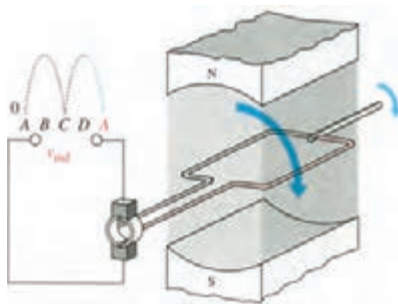
در شکل ۱۰-۶ از تصویر الف تا د مراحل مختلف و چگونگی به وجود آمدن ولتاژ را نشان می دهد. برای درک بهتر چگونگی تولید ولتاژ القایی DC در هر ۹۰ درجه چرخش به زیرنویس تصاویر توجه کنید.



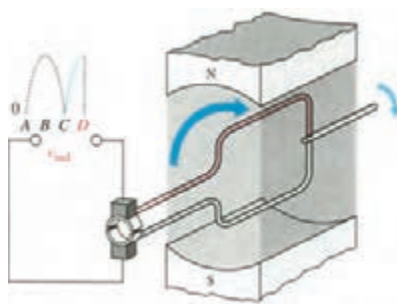
حالت (ب) حلقه به موازات خطوط شار حرکت می کند و ولتاژ صفر است.



حالت (الف) حلقه به طور عمودی به طرف خطوط شار حرکت می کند و ولتاژ حداکثر می باشد.

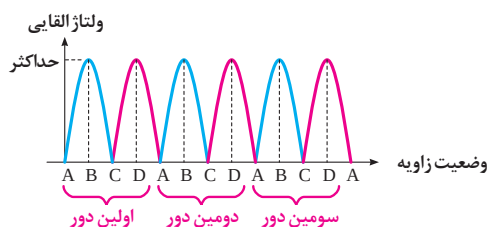


حالت (د) حلقه به موازات خطوط شار حرکت می کند و ولتاژ صفر می باشد.



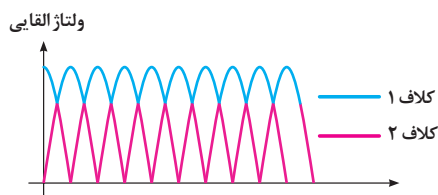
حالت (ج) حلقه به طور عمودی به طرف خطوط شار حرکت می کند و ولتاژ حداکثر می باشد.

شکل ۱۰-۶



شکل ۱۰-۷

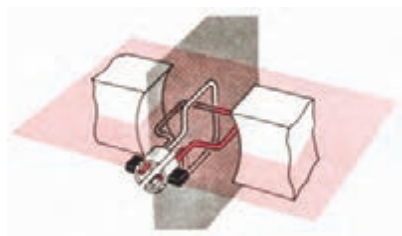
شکل موج خروجی مولد در طی چرخش های متوالی کلاف در داخل میدان به صورت شکل ۱۰-۷ می شود.



شکل ۱۰-۸

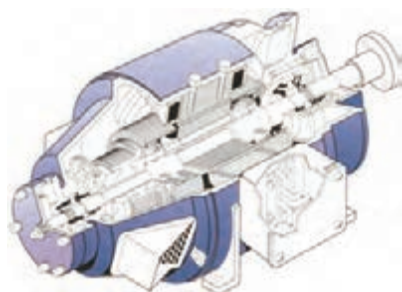
در صورتی که تعداد کلاف های موجود داخل میدان مغناطیسی را به دو کلاف یا بیشتر افزایش دهیم فاصله بین نقاط ماکزیمم ولتاژ خروجی کمتر می شود و شکل موج خروجی به صورت شکل ۱۰-۸ درمی آید.

یادآوری می‌شود که با اضافه شدن هر کلاف تعداد تیغه‌های کلکتور بیشتر می‌شود و برای سرهای اضافه شده دو تیغه جدید جهت اتصال لازم است (شکل ۱۰-۹)



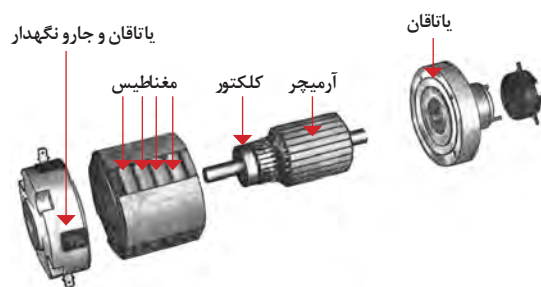
شکل ۱۰-۹

شکل ۱۰-۱۰ تصویر برش خورده یک مولد DC را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۱۰

در عمل اجزای یک مولد DC را با نام‌های دیگری معرفی می‌کنند. شکل ۱۰-۱۱ تصویری از اجزای اصلی و فرعی یک مولد DC را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۱۱

از جمله مولدهای DC ساده می‌توان دینام یک دوچرخه و یا دینام یک ماشین را نام برد. نیروی محرک این مولدها به ترتیب حرکت دوچرخه و اتومبیل است و اساس کار آنها نیز چرخش کلاف سیم در داخل میدان مغناطیسی و القای ولتاژ است. در شکل ۱۰-۱۲ تصویر یک نمونه دینام دوچرخه را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۰-۱۲

آزمون پایانی (۱۰)

۱ کموتاتور نام دیگر کدام یک از موارد زیر است؟

الف) حلقه القا شونده (ب) زغال‌ها (ج) قطب‌ها (د) حلقه‌های لغزنده

۲ ولتاژ القایی توسط کدام مورد به مصرف‌کننده اتصال می‌یابد؟

الف) جاروبک‌ها (ب) قطب‌ها (ج) سیم‌های رابط (د) حلقه القا شونده

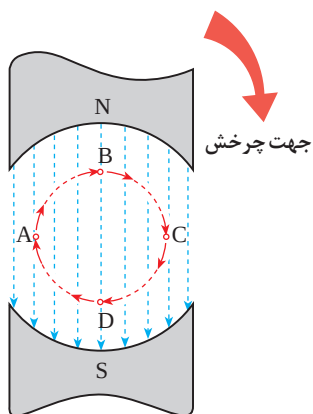
۳ نقش اصلی حلقه‌های لغزنده در مولدهای DC چیست؟

الف) چرخاندن کلاف سیم (ب) یکسوسازی جریان
ج) رساندن جریان به مصرف‌کننده (د) ارتباط بین زغال و مصرف‌کننده

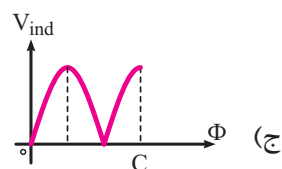
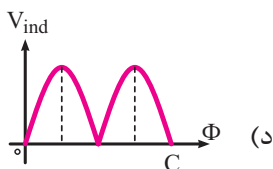
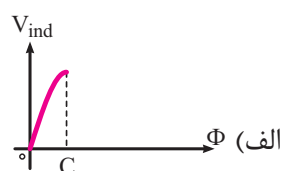
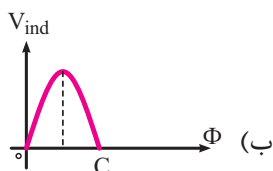
۴ در کدام یک از زوایای میدان مغناطیسی داده شده زیر ولتاژ القایی ماکزیمم است؟

الف) ۹۰ و ۱۸۰ درجه (ب) ۱۸۰ و ۳۶۰ درجه (ج) ۹۰ و ۲۷۰ درجه (د) ۰ و ۱۸۰ درجه

۵ با توجه به شکل ۱۰-۱۳ در صورتی که از نقطه A حرکت کنیم شکل موج خروجی فاصله A تا C کدام است؟



شکل ۱۰-۱۳



شکل ۱۰-۱۴

۶ شکل موج خروجی مولد دو قطب شکل ۱۴-۱۰ در فاصله A تا G به ازای چرخش چند دور کلاف در میدان مغناطیسی به دست آمده است؟

الف) $\frac{1}{2}$ (ب) $\frac{1}{2}$
ج) ۳ (د) ۶

۷ چگونه می‌توان شکل موج خروجی مولد را صاف‌تر کرد؟

الف) افزایش تعداد زغال‌ها (ب) افزایش تعداد کلاف‌ها
ج) کاهش تعداد قطب‌ها (د) کاهش سرعت محرک مکانیکی

۸ کدام یک از موارد زیر از اجزای اصلی الکتریکی یک مولد DC نیست؟

الف) جاروبک‌ها ب) حلقه‌های لغزنده ج) یاتاقان‌ها د) حلقه القا شونده

۹ در صورت افزایش تعداد کلاف‌های موجود در داخل میدان مغناطیسی فاصله بین نقاط ماکزیمم در ولتاژ خروجی بیشتر خواهد شد.

☐ غلط ☐ صحیح

۱۰ اصول کار تولید ولتاژ در مولدهای DC به حرکت درآوردن کلاف در میدان مغناطیسی است.

☐ غلط ☐ صحیح

۱۱ دو تکه بودن کموتاتور در تعویض جهت جریان در سیم مؤثر است.

☐ غلط ☐ صحیح

۱۲ در هر ۹۰ درجه گردش کلاف جریان یک بار به حداکثر رسیده و مجدداً صفر می‌شود.

☐ غلط ☐ صحیح

۱۳ تفاوت اصلی مولدهای DC با AC در استفاده شده آنها است.

۱۴ یک ماشین جریان مستقیم از قطب‌ها، کلاف سیم، کموتاتور و تشکیل شده است.

۱۵ اضافه شدن هر کلاف باعث افزایش خواهد شد.

توجه



مطالب مربوط به سؤالاتی را که نتوانسته‌اید پاسخ دهید مجدداً مطالعه و آزمون را تکرار کنید.

فصل ۱۱

اصول کار آلترناتورهای سه فاز

هدف کلی فصل:

آشنایی با ساختمان و اصول کار مولدهای متناوب سه فاز

هدف های رفتاری:

در پایان این فصل انتظار می رود که فراگیر بتواند:

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۳	-	۳

- ۱ وجود تشابه و تفاوت کار مولدهای تک فاز و سه فاز را بیان کند.
- ۲ چگونگی به وجود آمدن شکل موج سه فاز را با رسم شکل توضیح دهد.
- ۳ اتصال ستاره و مثلث در آلترناتورها را به همراه نحوه نام گذاری کلاف های سه فاز توضیح دهد.
- ۴ مقادیر خطی و فازی را تعریف کند.
- ۵ ارتباط جریان ها و ولتاژهای خطی و فازی در اتصالات ستاره و مثلث را بیان کند.
- ۶ انواع توان در مدارهای سه فاز را با ذکر روابط بیان کند.

پیش آزمون (۱۱)

- ۱ اختلاف فاز بین دو فاز در ولتاژهای سه فاز چند درجه است؟
الف) ۹۰ (ب) ۶۰ (ج) ۱۸۰ (د) ۱۲۰
- ۲ اغلب موتورهای صنعتی به کار رفته در صنایع از نوع است.
الف) یک فاز (ب) دو فاز (ج) سه فاز (د) شش فاز
- ۳ آیا از سیم نول در شبکه‌های سه فاز استفاده می‌شود؟
الف) همیشه (ب) هیچ وقت (ج) در برخی از موارد (د) فقط در اتصال مثلث
- ۴ ولتاژ بین دو فاز در شبکه سه فاز ایران چند ولت است؟
الف) ۱۱۰ (ب) ۲۳۰ (ج) ۱۸۰ (د) ۴۰۰
- ۵ آیا در شبکه‌های سه فاز تمام توان تولید شده توسط مولد در مصرف‌کننده مصرف می‌شود؟
الف) بلی (ب) خیر (ج) به نوع مولد بستگی دارد. (د) به نوع اتصال مدار بستگی دارد.
- ۶ جنس عایق بین تیغه‌های کموتاتور از چیست؟
الف) مواد نفتی (ب) لاستیک (ج) آلیاژ (د) میکا
- ۷ اگر یک مولد دارای چهار کلاف باشد چند تیغه کلکتور دارد؟
الف) ۲ (ب) ۴ (ج) ۸ (د) ۱۶
- ۸ در کدام یک از زوایای زیر ولتاژ مولد در حال افزایش است؟
الف) صفر (ب) 180° (ج) بین صفر تا 90° (د) بین 90° تا 180°
- ۹ کدام یک از موارد زیر به عنوان محرک و تأمین‌کننده انرژی در مولدهای برق به کار نمی‌رود؟
الف) آب (ب) باد (ج) خاک (د) خورشید
- ۱۰ کدام یک از حروف اختصاری زیر برای نشان دادن فازها در شبکه سه فاز به کار می‌رود؟
الف) PH (ب) L2 (ج) N (د) MP

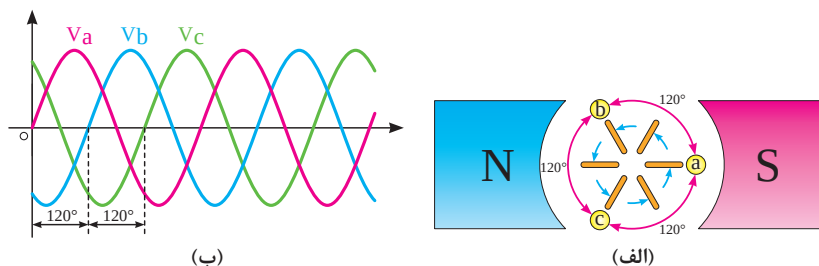
۱۱-۱- اتصالات آلترناتور سه فاز



شکل ۱-۱۱

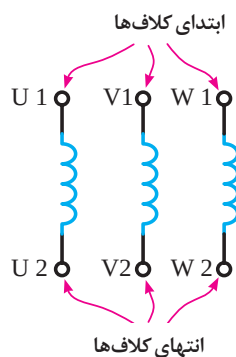
اساس کار آلترناتورهای سه فاز مشابه مولدهای تک فاز است. در این مولدها با حرکت کلاف در داخل میدان مغناطیسی یا با حرکت میدان مغناطیسی در مقابل کلاف ولتاژ القایی تولید می‌شود. شکل ۱-۱۱ تفاوت اصلی این مولدها در ساختمان داخلی آنها است.

هر مولد سه فاز دارای سه دسته سیم پیچی است که در فضای دایره‌ای شکل با زاویه مکانی 120° نسبت به هم قرار می‌گیرند. با قطع خطوط قوا توسط این سیم پیچ‌ها سه نوع جریان القایی متقارن با اختلاف فاز مکانی 120° به وجود می‌آید، به این نوع جریان «سه فاز» می‌گویند. شکل ۱۱-۲ وضعیت سیم پیچ‌های داخل میدان مغناطیسی و شکل موج‌های تولید شده توسط آنها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۲

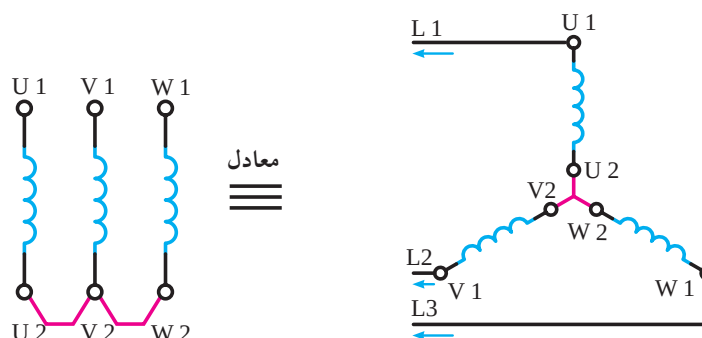
شکل ۱۱-۳ سه سیم پیچ مولد را به همراه حروف اختصاری در استاندارد IEC نشان می‌دهد که معرف سه گروه کلاف در مولدهای سه فاز است.



شکل ۱۱-۳

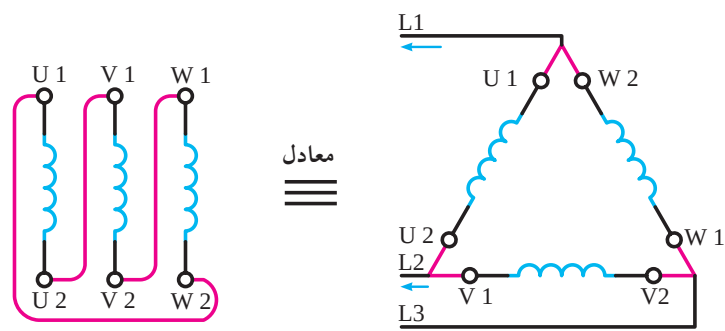
۱۱-۱-۱ اتصال کلاف‌ها: کلاف‌ها به دو صورت به هم اتصال داده می‌شوند.

■ اتصال ستاره: اگر انتهای کلاف‌های اول و دوم و سوم به یکدیگر اتصال یابند و از ابتدای کلاف جریان دریافت شود این نوع اتصال را «اتصال ستاره» می‌گویند و آن را با علامت (Y) نشان می‌دهند. در شکل ۱۱-۴ نحوه اتصال کلاف‌های مولد به حالت ستاره را مشاهده می‌کنید.

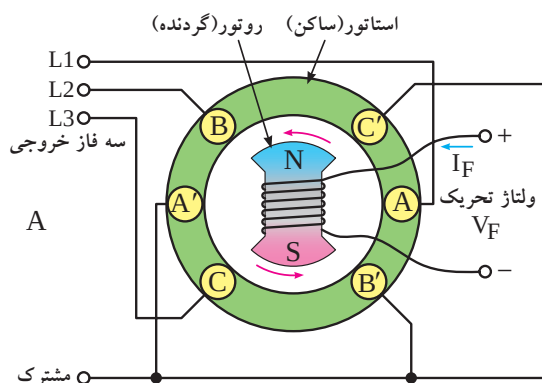


شکل ۱۱-۴

■ **اتصال مثلث:** هرگاه انتهای کلاف اول به ابتدای کلاف دوم، انتهای کلاف دوم به ابتدای کلاف سوم، انتهای کلاف سوم به ابتدای کلاف اول متصل شود و ابتدای کلاف‌ها جریان دریافت شود، این نوع اتصال را اتصال مثلث می‌گویند و آن را با علامت (Δ) نشان می‌دهند. نحوه اتصال کلاف‌های مولد به حالت مثلث در شکل ۱۱-۵ نشان داده شده است.

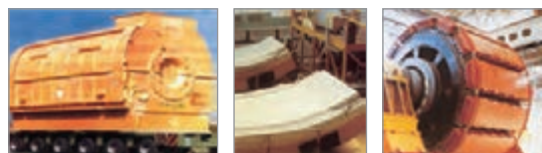


شکل ۱۱-۵



شکل ۱۱-۶

شکل (۱۱-۶) تصویر یک مولد را نشان می‌دهد که سیم پیچ‌های آن به صورت (Δ) وصل شده است. از محل اتصال انتهای کلاف‌ها در اتصال ستاره معمولاً سیمی خارج می‌شود که آن را «سیم مشترک» یا «سیم نول یا صفر» می‌نامند.



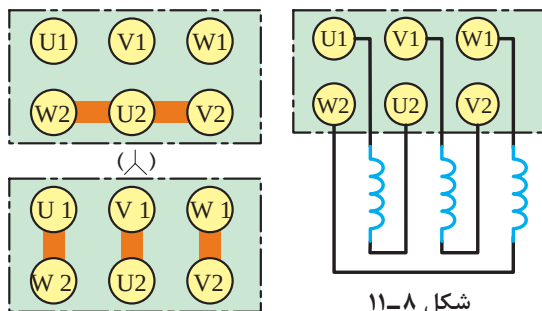
(ج)

(ب)

(الف)

شکل ۱۱-۷

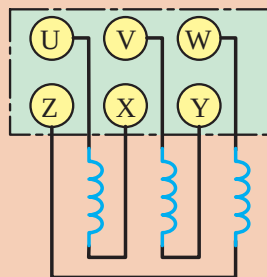
در شکل ۱۱-۷ قسمت الف تصویری از روتور، قسمت ب بخشی از سیم‌بندی استاتور و قسمت ج شکل ظاهری یک مولد AC واقعی که در نیروگاه‌ها برای تولید انرژی الکتریکی استفاده می‌شوند، نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۸

شکل ۱۱-۹

■ **ترمینال اتصال (تخته کلم):** نحوه قرار گرفتن سر و ته کلاف‌های مولد روی ترمینال اتصال (تخته کلم) جهت اتصال به مدار مطابق شکل ۱۱-۸ است. برای اتصال کلاف‌ها به صورت ستاره یا مثلث از تیغه‌های مسی در روی ترمینال اتصال استفاده می‌شود. در شکل ۱۱-۹ چگونگی اتصال تیغه‌های مسی در زیر پیچ‌های تخته کلم برای ایجاد اتصالات ستاره و مثلث نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۱۰

در برخی کتب طبق استاندارد VDE آلمان، حروف U_۱، V_۱، W_۱ به ترتیب با حروف U، V، W و حروف ته کلاف‌ها U_۲، V_۲، W_۲ به ترتیب با حروف Z، Y، X مشخص می‌شوند. در شکل ۱۱-۱۰ این مطلب نشان داده شده است.

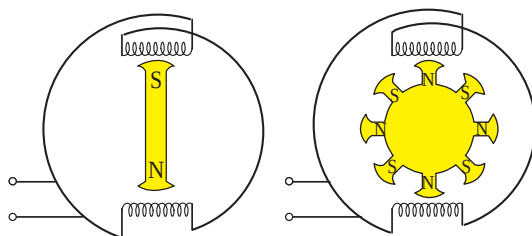
۱۱-۲- فرکانس خروجی آلترناتور

فرکانس مولدهای سه فاز از رابطه زیر به دست می‌آید:

n_s - تعداد دور روتور بر حسب دور بر دقیقه

P - تعداد زوج قطب‌های استاتور

$$f = \frac{n_s \cdot P}{60}$$



شکل ۱۱-۱۱- در صورتی که سرعت چرخش هر دو مولد مساوی باشد فرکانس مولد شکل ب چهار برابر فرکانس مولد شکل الف است.

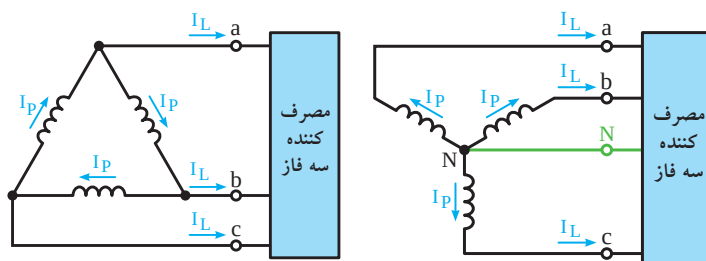
همان‌طوری که از رابطه فوق مشخص است فرکانس مولد با دو عامل دور و تعداد زوج قطب‌ها رابطه مستقیم دارد. یعنی هر قدر تعداد قطب‌ها و یا سرعت محرک مکانیکی مولد بیشتر شود فرکانس نیز افزایش می‌یابد. در هر دو حالت با چرخش یک دور روتور، تعداد قطب‌ها با فوران بیشتری قطع می‌شود. فرکانس مولدهای برق شهر ۵۰ Hz است. در شکل ۱۱-۱۱ تصویر دو مولد ۲ قطب و ۸ قطب نشان داده شده است.

۱۱-۳- جریان‌ها و ولتاژها در اتصالات ستاره و مثلث متعادل

قبل از بررسی روابط و خصوصیات اتصالات Δ و $\star$ لازم است با چهار مفهوم در مدارهای سه فاز آشنا شویم: الف) **جریان خطی** (I_L): جریانی که از خطوط خارجی مولد برای مصرف‌کننده‌ها فرستاده می‌شود، را «جریان خطی» گویند.

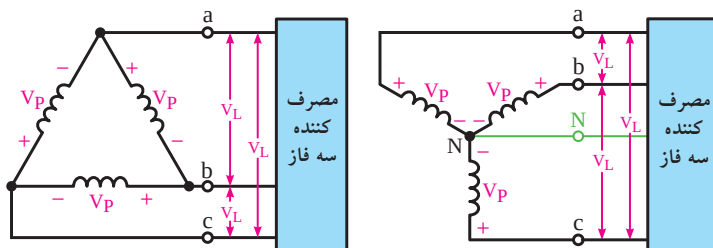
ب) **جریان فازی** (I_P): جریانی که از داخل هر یک از سیم‌پیچ‌های مولد سه فاز عبور می‌کند را «جریان فازی» می‌گویند.

شکل ۱۱-۱۲- جریان (I_L و I_P) اتصال‌های ستاره و مثلث را نشان می‌دهد.

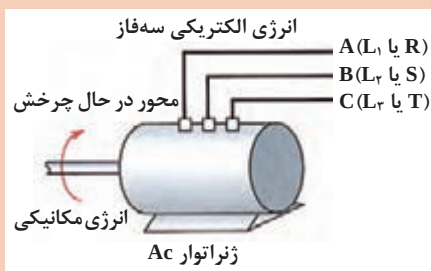


شکل ۱۱-۱۲

ج) ولتاژ خطی (V_L): ولتاژ بین دو فاز از فازهای خروجی یک مولد سه فاز را «ولتاژ خطی» گویند.
 د) ولتاژ فازی (V_P): ولتاژ در دو سر هر یک از سیم‌پیچ‌های مولد را «ولتاژ فازی» گویند.
 در شکل ۱۱-۱۳ ولتاژهای خطی و فازی اتصال‌های ستاره و مثلث نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۱۳

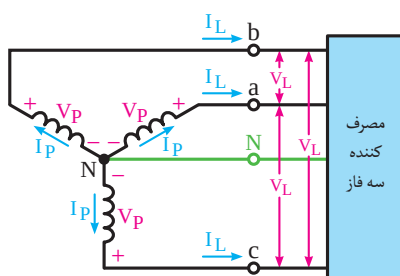


شکل ۱۱-۱۴

در مدارهای سه فاز عملی هر یک از فازها را با حروف اختصاری (L_1 یا R), (L_2 یا S), (L_3 یا T) و نشان می‌دهند. (شکل ۱۱-۱۴)

در شبکه سه فاز توزیع برق ایران، مقدار ولتاژ خطی (V_L) برابر ۴۰۰ ولت و مقدار ولتاژ فازی (V_P) برابر ۲۳۰ ولت است.

توضیح



شکل ۱۱-۱۵

۱۱-۳-۱- مقدار ولتاژ و جریان در اتصال ستاره و مثلث:

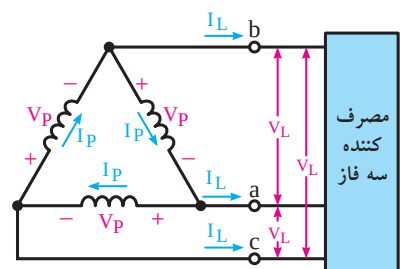
در شکل ۱۱-۱۵ وضعیت سیم‌پیچ‌ها در اتصال ستاره و مقدار ولتاژها و جریان‌های فازی و خطی را مشاهده می‌کنید. در این اتصال روابط زیر در مدار برقرار است:

$$I_L = I_P$$

$$V_L = \sqrt{3} V_P$$

از محل اتصال مشترک انتهای کلاف‌ها معمولاً سیمی خارج می‌شود که آن را «سیم نول» یا «صفر» می‌نامند.

توضیح

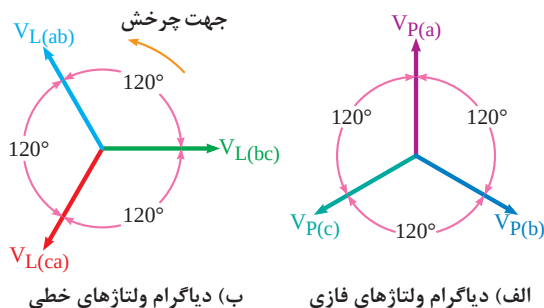


شکل ۱۱-۱۶

شکل ۱۱-۱۶ وضعیت سیم‌پیچ‌ها، ولتاژها و جریان‌های خطی و فازی مولد سه فاز را در اتصال مثلث نشان می‌دهد. در این اتصال روابط زیر برقرار است.

$$V_L = V_P$$

$$I_L = \sqrt{3} I_P$$

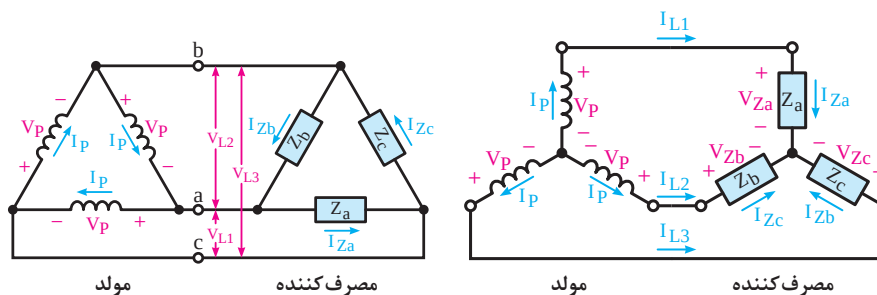


الف) دیاگرام ولتاژهای فازی
ب) دیاگرام ولتاژهای خطی
شکل ۱۱-۱۷

دیاگرام‌های برداری ولتاژهای خطی و فازی در مدارهای سه فاز به صورت شکل ۱۱-۱۷ ترسیم می‌شود.

برای اینکه مصرف کننده‌های سه فاز بتوانند از مولد سه فاز استفاده کنند، در داخل آنها مانند مولدها از سه دسته سیم پیچ استفاده شده است. نحوه اتصال سیم پیچ‌ها به صورت اتصال ستاره (Y) و یا اتصال مثلث (Δ) می‌باشد.

در شکل ۱۱-۱۸ یک مصرف کننده با اتصال ستاره (Y) و در شکل ۱۱-۱۹ مصرف کننده‌ای با اتصال مثلث (Δ) نشان داده شده که به مولدهای سه فاز با اتصال ستاره (Y) و مثلث (Δ) متصل شده‌اند.



شکل ۱۱-۱۹

شکل ۱۱-۱۸

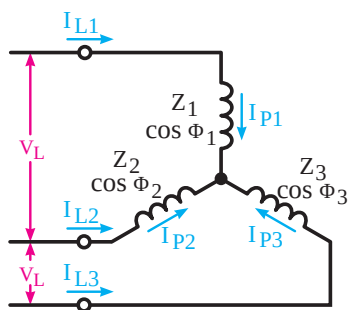


شکل ۱۱-۲۰

در شکل ۱۱-۲۰ تصویر یک نیروگاه جریان متناوب واقعی را مشاهده می‌کنید.

۲-۱۱-۳ بار متعادل و نامتعادل:

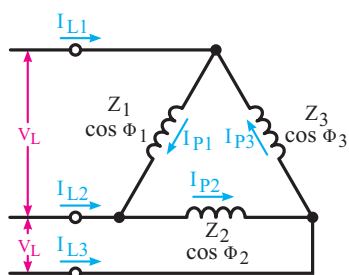
قبل از بررسی توان‌ها در مدارهای سه فاز می‌بایست با اصطلاحات متعادل و نامتعادل آشنا شویم. **الف) وضعیت متعادل:** هرگاه تمامی مشخصات سیم پیچ‌های مصرف کننده و یا مولد سه فاز از قبیل امپدانس‌ها، جریان‌ها و ولتاژهای خطی و فازی، زاویه اختلاف فاز با هم برابر باشند، آن مدار سه فاز را در «حالت متعادل» می‌گویند.



شکل ۱۱-۲۱

شکل ۱۱-۲۱ اتصال سیم پیچ‌های بار در حالت متعادل را نشان می‌دهد. در این حالت روابط زیر برقرار است:

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_2 = Z_3 \\ I_{P1} &= I_{P2} = I_{P3} \\ I_{L1} &= I_{L2} = I_{L3} \\ \cos \Phi_1 &= \cos \Phi_2 = \cos \Phi_3 \end{aligned}$$



شکل ۱۱-۲۲

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_2 = Z_3 \\ I_{P1} &= I_{P2} = I_{P3} \\ I_{L1} &= I_{L2} = I_{L3} \\ \cos \Phi_1 &= \cos \Phi_2 \neq \cos \Phi_3 \end{aligned}$$

مشابه شرایط و تعاریف فوق را برای اتصال مثلث (Δ) نیز می‌توان بیان کرد.

(ب) **وضعیت نامتعادل:** اگر یکی از مشخصه‌های مصرف‌کننده یا مولد سه فاز از قبیل امپدانس، جریان‌ها و ولتاژهای خطی و فازی، زاویه اختلاف فاز با هم برابر نباشند آن مدار سه فاز را در «حالت نامتعادل» می‌گویند. پس در این حالت رابطه تساوی بین همه مشخصه‌ها وجود ندارد. شکل ۱۱-۲۲ اتصال سیم پیچ‌های بار در یکی از حالات مثلث نامتعادل را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال مقادیر اتصال مثلث نامتعادل چنین باشد.

مشابه شرایط و تعاریف فوق را برای اتصال ستاره ($\star$) نیز می‌توان بیان کرد.

۱۱-۴ انواع توان در مدارات سه فاز

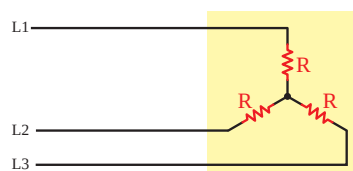
توان‌هایی که در شبکه‌های سه فاز مطرح می‌شوند مشابه مدارهای تک فاز و شامل توان ظاهری، توان اکتیو و توان راکتیو است. چگونگی محاسبه توان‌ها در شبکه سه فاز با تک فاز تفاوت دارد. روابط توان‌ها در مدارهای سه فاز به‌صورت زیر است:

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{3} V_L I_L \quad [\text{V.A}] & \text{توان ظاهری} \\ P &= \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi \quad [\text{W}] & \text{توان اکتیو} \\ Q &= \sqrt{3} V_L I_L \sin \phi \quad [\text{VAR}] & \text{توان راکتیو} \end{aligned}$$

در تصاویر شکل ۱۱-۲۳ مصرف‌کننده‌های اهمی و غیراهمی نشان داده شده است.



(الف) مصرف‌کننده اهمی خالص توان دریافتی را مصرف می‌کند.



(ب) مصرف‌کننده اهمی خالص توان دریافتی را مصرف می‌کند.



(الف)

شکل ۱۱-۲۳ بارهای سه فاز

روابط توان های ظاهری، اکتیو و راکتیو را بر حسب مقادیر فازی به صورت زیر می توان نوشت:

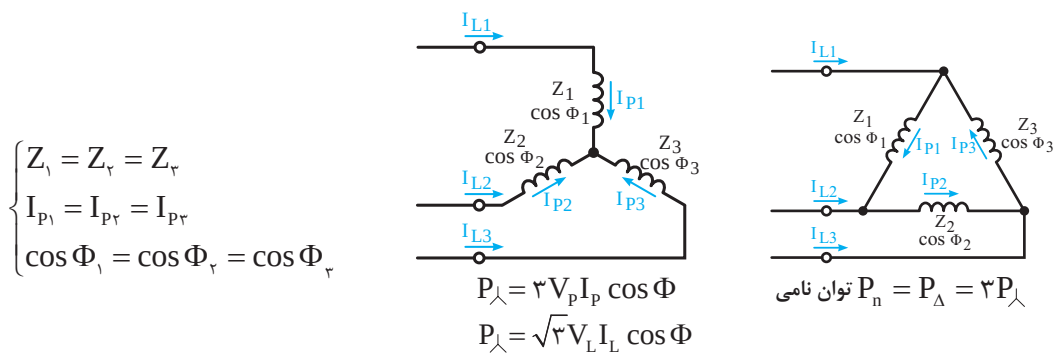
$$\begin{aligned} S &= \sqrt{3} V_p I_p & [\text{V.A}] \\ P &= \sqrt{3} V_p I_p \cos \phi & [\text{W}] \\ Q &= \sqrt{3} V_p I_p \sin \phi & [\text{VAR}] \end{aligned}$$

ϕ - زاویه اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان

اگر یک مصرف کننده سه فاز را بتوان به صورت ستاره مثلث راه اندازی کرد، توان نامی در اتصال ستاره متعادل آن $\frac{1}{\sqrt{3}}$ توان نامی در اتصال مثلث متعادل است. به همین دلیل از این اتصالات به عنوان روش راه اندازی مصرف کننده های سه فاز با قدرت زیاد استفاده می شود چرا که به خاطر کم شدن توان، جریان راه اندازی آنها کاهش می یابد.

$$P_{\Delta} = \frac{1}{\sqrt{3}} P_{\Delta}$$

در تصاویر شکل ۱۱-۲۴ اتصالات ستاره و مثلث را به همراه پارامترهای آن در حالت متعادل مشاهده می کنید.



شکل ۱۱-۲۴ اتصالات ستاره و مثلث

آزمون پایانی (۱۱)

۱ علت قرار گرفتن کلاف‌های آلترناتور با اختلاف فاز ۱۲۰° درجه چیست؟

- (الف) برای ایجاد تقارن در جریان‌ها
(ب) به علت دو قسمتی بودن هر کلاف
(ج) برای افزایش ولتاژ القایی
(د) به علت کاهش تعداد قطب‌ها

۲ انتهای گروه کلاف دوم آلترناتور سه فاز را با حرف نشان می‌دهند.

- (الف) W_2 (ب) V_2 (ج) V_1 (د) U_2

۳ برای ایجاد اتصال مثلث به ترتیب ته کلاف اول و سوم مولد را به کدام سرها باید اتصال داد؟

- (الف) $W_1 - V_1$ (ب) $W_1 - U_1$ (ج) $V_1 - U_1$ (د) $U_1 - V_1$

۴ فرکانس یک مولد شش قطب که با سرعت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه می‌چرخد چند هرتز است؟

- (الف) ۵۰ (ب) ۳۰۰ (ج) ۱۵۰ (د) ۷۵

۵ جریانی که به طرف مصرف‌کننده جاری می‌شود را با حروف نشان می‌دهند.

- (الف) I_p (ب) I_z (ج) I_L (د) I_T

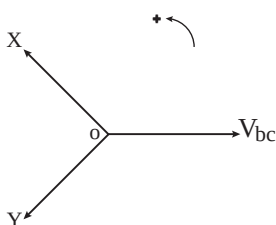
۶ کدام رابطه ولتاژی در اتصال (Δ) صحیح است؟

- (الف) $V_p = V_L$ (ب) $V_p = \sqrt{3} V_L$ (ج) $V_L = \sqrt{3} V_p$ (د) $V_L = \frac{V_p}{\sqrt{3}}$

۷ کدام یک از روابط زیر رابطه صحیح جریان‌ها در اتصال مثلث است؟

- (الف) $I_L = \frac{I_p}{\sqrt{3}}$ (ب) $I_p = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$ (ج) $I_L = I_p$ (د) $I_L = \sqrt{3} I_p$

۸ در دیاگرام برداری ولتاژهای شکل ۱۱-۲۵ بردارهای X و Y به ترتیب چه ولتاژی هستند؟



- (الف) ab و ca
(ب) cb و ca
(ج) ab و cb

شکل ۱۱-۲۵

۹ کدام یک از موارد زیر رابطه توان اکتیو را نشان می‌دهد؟

- (الف) $\sqrt{3} V_L I_L$ (ب) $\sqrt{3} V_p I_p \cos \phi$ (ج) $\sqrt{3} V_p I_p \sin \phi$ (د) $\sqrt{3} V_L I_L \sin \phi$

۱۰ کدام یک از روابط زیر صحیح است؟

- (الف) $P_\Delta = \frac{1}{3} P_\lambda$ (ب) $P_\Delta = \frac{1}{\sqrt{3}} P_\lambda$ (ج) $P_\lambda = \frac{2}{3} P_\Delta$ (د) $P_\lambda = \frac{3}{2} P_\Delta$

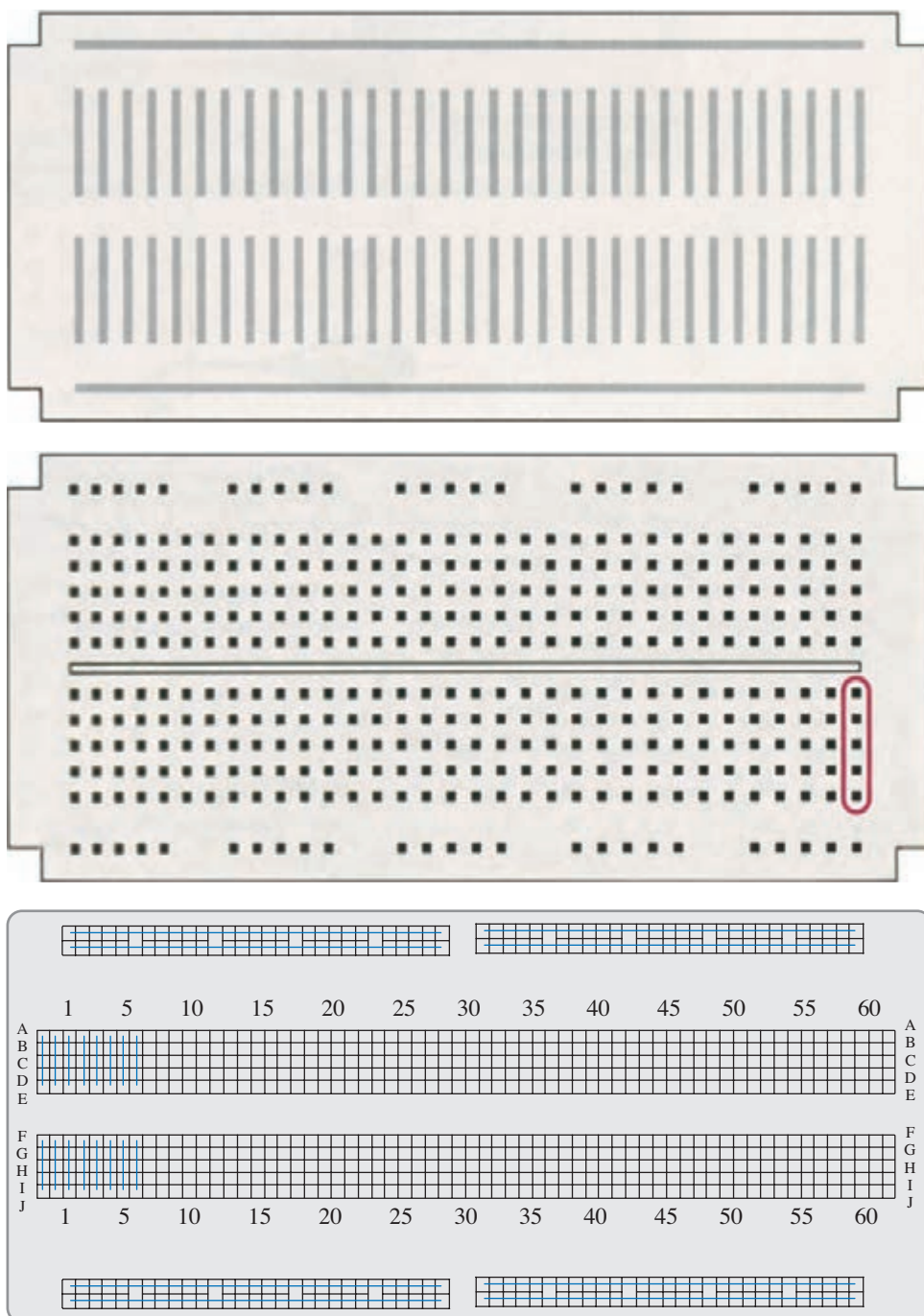
- ۱۱ در اتصال ستاره انتهای کلاف‌های اول و دوم و سوم به یکدیگر متصل است. ☐ غلط ☐ صحیح
- ۱۲ فرکانس خروجی مولد از رابطه $f = \frac{P \times 60}{n_s}$ به دست می‌آید. ☐ غلط ☐ صحیح
- ۱۳ جریانی که از خطوط خارجی مولد در مصرف‌کننده‌ها جاری می‌شود را جریان فازی می‌گویند. ☐ غلط ☐ صحیح
- ۱۴ در اتصال ستاره جریان خط $\sqrt{3}$ برابر جریان فازی است. ☐ غلط ☐ صحیح
- ۱۵ توان راکتیو یک شبکه سه فاز از رابطه محاسبه می‌شود.
- ۱۶ سیمی که از محل اتصال انتهای کلاف‌ها در اتصال ستاره یک مولد خارج می‌شود، را می‌گویند.
- ۱۷ ولتاژ دو سر هر یک از سیم پیچ‌های مولد را می‌گویند.
- ۱۸ فرکانس مولدهای سه فاز با دو عامل و رابطه مستقیم دارد.
- ۱۹ منظور از بار متعادل و نامتعادل چیست؟
- ۲۰ اتصالات ستاره و مثلث را روی تخته کلم (ترمینال اتصال) مولد براساس استاندارد IEC رسم کنید.

توجه



مطالب مربوط به سؤالاتی را که نتوانسته‌اید پاسخ دهید مجدداً مطالعه و آزمون را تکرار کنید.

تصویر واقعی و اتصالات صفحه برد بُرد



پاسخ سؤالات فصل اول

پیش آزمون ۱

۱ د	۲ الف	۵ ج	۷ ب	۹ ج
۲ ج	۴ ج	۶ الف	۸ ب	۱۰ د

آزمون پایانی ۱

۱ د	۴ ب	۷ الف	۱۰ الف	۱۳ ظرفیت
۲ الف	۵ ب	۸ د	۱۱ ب	۱۴ غلط ☒
۳ د	۶ ج	۹ ج	۱۲ د	۱۵ غلط ☒

پاسخ خودآزمایی عملی

۱

- الف) شء پلاستیکی باردار ذرات نمک را جذب می کند.
 ب) شء پلاستیکی باردار توپ پینگ پنگ را جذب می کند.
 ج) شء پلاستیکی باردار رشته نخ نایلونی را جذب می کند.
 د) شء پلاستیکی باردار آب جاری با فشار کم را جذب می کند.

۲

برخی مواد تحت تأثیر نیروی میدان حاصل از بارهای الکتریکی قرار می گیرند و در نتیجه به طرف آنها جذب و یا از آنها دور می شوند و برخی از مواد دیگر نسبت به مواد باردار هیچ عکس العملی ندارند.

پاسخ سؤالات فصل دوم

پیش آزمون ۲

ب ۱	الف ۲	ب ۵	الف ۷	ج ۹
الف ۲	د ۴	ب ۶	د ۸	ج ۱۰

آزمون پایانی ۲

ب ۱	ج ۵	ج ۹	الف ۱۲	ج ۱۷
د ۲	ب ۶	ب ۱۰	ب ۱۴	اشتراکی ۱۸
الف ۳	ب ۷	ج ۱۱	د ۱۵	✓ صحیح ۱۹
د ۴	الف ۸	د ۱۲	ج ۱۶	✓ صحیح ۲۰

پاسخ خودآزمایی عملی

۱

- الف) چون هادی است لامپ روشن می شود.
 ب) چون عایق است لامپ روشن نمی شود.
 ج) چون عایق است لامپ روشن نمی شود.
 د) چون هادی است لامپ روشن می شود.
 ه) چون هادی است لامپ روشن می شود.
 و) چون عایق است لامپ روشن نمی شود.
 ز) چون عایق است لامپ روشن نمی شود.

پاسخ سؤالات فصل سوم

پیش آزمون ۳

ب ۱	د ۳	الف ۵	د ۷	ب ۹
ب ۲	الف ۴	ب ۶	د ۸	الف ۱۰

آزمون پایانی ۳

د ۱	د ۴	د ۷	د ۱۰
الف ۲	الف ۵	ج ۸	ج ۱۱
ب ۳	ب ۶	الف ۹	ب ۱۲

سؤال تشریحی

۱۳

الف) $27\Omega \pm 10\%$	د) $6/8k\Omega \pm 10\%$
ب) $100\Omega \pm 10\%$	هـ) $33\Omega \pm 10\%$
ج) $560k\Omega \pm 5\%$	و) $47k\Omega \pm 20\%$

۱۴ الف) b (ب) d (ج) l (د) f (هـ) a

ب ۱۵	۱۹ PTC	۲۲ کربن، لایه فلز	۲۷ صحیح ✓
د ۱۶	۲۰ واریستور (VDR)	۲۴ غلط ✗	۲۸ صحیح ✓
د ۱۷	۲۱ گرم - نیکل	۲۵ غلط ✗	۲۹ غلط ✗
۱۸ رنوستا	۲۲ سبز، آبی، قرمز، طلایی	۲۶ غلط ✗	۳۰ صحیح ✓

پاسخ سؤالات فصل چهارم

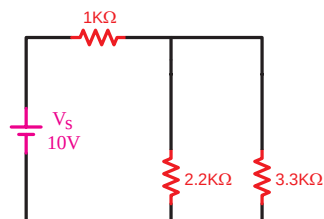
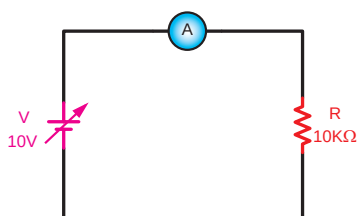
پیش آزمون ۴

ج ۱	ب ۴	ج ۷	ب ۱۰	ب ۱۳
ج ۲	ج ۵	ب ۸	الف ۱۱	د ۱۴
الف ۳	د ۶	د ۹	ب ۱۲	ج ۱۵

آزمون پایانی ۴

ج ۱	د ۵	د ۹	۱۳ منبع تغذیه	۱۷ مستقیم
ب ۲	ب ۶	الف ۱۰	۱۴ یا $I(R_1 + R_f)$ یا $R_1 I + R_f I$	۱۸ غلط
د ۳	ج ۷	د ۱۱	۱۵ KVL یا قانون ولتاژهای کیرشهف	۱۹ غلط
ج ۴	الف ۸	۱۲ منبع تغذیه	۱۶ فیوز	۲۰ صحیح

پاسخ خودآزمایی عملی



پاسخ سؤالات فصل پنجم

پیش آزمون ۵

۱ د	۴ ج	۷ الف	۱۰ د	۱۳ ب
۲ ج	۵ الف	۸ الف	۱۱ ج	۱۴ د
۳ ب	۶ الف	۹ الف	۱۲ ج	۱۵ ج

آزمون پایانی ۵

۱ د	۵ د	۹ ج	۱۳ ج	۱۷ ب	۲۱ ج
۲ الف	۶ ب	۱۰ ب	۱۴ ب	۱۸ ب	
۳ الف	۷ الف	۱۱ ب	۱۵ د	۱۹ ب	
۴ ب	۸ الف	۱۲ الف	۱۶ الف	۲۰ د	

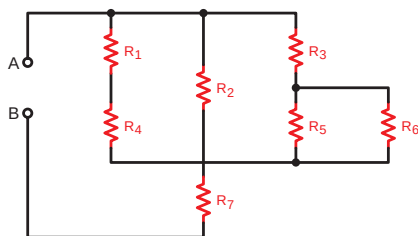
پاسخ خودآزمایی عملی

۲۲ خیر چون ولتاژ کل برابر ۲۴ ولت است پس در این شرایط می‌بایست مقاومت R_2 قطع و یا مقاومت R_1 اتصال کوتاه شده باشد تا ولت‌متر بتواند این مقدار را نشان دهد.

۲۳ الف) دوشاخه مدار موازی $pin_1 || pin_4$ (شامل مقاومت‌های R_1 و R_2 و R_3 و R_4 و R_{11} و R_{12})

$pin_2 || pin_3$ (شامل مقاومت‌های R_5 و R_6 و R_7 و R_8 و R_9 و R_{10})

ب) شکل مدار به صورت سری موازی است.



۲۸ ☐ غلط

۲۶ اهم‌متر

۲۴ صفر

۲۹ ☐ غلط

۲۷ ☒ صحیح

۲۵ مقاومت کل (مقاومت معادل)

پاسخ سؤالات فصل ششم

پیش آزمون ۶

ب ۱	ج ۴	ج ۷	د ۱۰	ب ۱۳
ج ۲	ب ۵	ج ۸	ب ۱۱	ج ۱۴
الف ۳	الف ۶	الف ۹	د ۱۲	ب ۱۵

آزمون پایانی ۶

ج ۱	د ۴	ب ۷	الف ۱۰	۱۳ زیادتیر (بیشتر)
د ۲	ب ۵	ج ۸	۱۱ توان تلف شده	۱۴ صحیح ✓
ج ۳	ب ۶	ب ۹	۱۲ وات متر	۱۵ غلط ✗

پاسخ سؤالات فصل هفتم

پیش آزمون ۷

ج ۱	د ۴	ج ۷	د ۱۰	الف ۱۳
د ۲	ج ۵	ب ۸	د ۱۱	ج ۱۴
ب ۳	ب ۶	ب ۹	د ۱۲	ب ۱۵

آزمون پایانی ۷

د ۱	ج ۸	ج ۱۵	الف ۲۲	۲۹ نرم
ج ۲	الف ۹	ج ۱۶	ج ۲۳	۳۰ نیروی محرکه مغناطیسی
الف ۳	الف ۱۰	ج ۱۷	الف ۲۴	۳۱ میدان مغناطیسی
ب ۴	ب ۱۱	د ۱۸	د ۲۵	۳۲ غلط ☐
ب ۵	ج ۱۲	الف ۱۹	ب ۲۶	۳۳ غلط ☐
الف ۶	د ۱۳	ج ۲۰	ج ۲۷	۳۴ صحیح ☒
ب ۷	ج ۱۴	ب ۲۱	جذب ۲۸	۳۵ صحیح ☒

پاسخ سوالات فصل هشتم

پیش آزمون ۸

ج ۱	۴ الف	۷ ج	۱۰ ج	۱۳ د
ج ۲	۵ ب	۸ د	۱۱ الف	۱۴ د
ب ۳	۶ ب	۹ الف	۱۲ ب	۱۵ الف

آزمون پایانی ۸

الف ۱	۹ ب	۱۷ الف	۲۵ ب	۳۳ ب
د ۲	۱۰ ج	۱۸ د	۲۶ ب	۳۴ ☒ صحیح
ب ۳	۱۱ ب	۱۹ ج	۲۷ ج	۳۵ ☐ غلط
ج ۴	۱۲ ب	۲۰ ب	۲۸ ج	۳۶ ☐ غلط
د ۵	۱۳ ب	۲۱ ج	۲۹ ب	۳۷ ☐ غلط
۶ الف	۱۴ الف	۲۲ د	۳۰ الف	۳۸ کمتر
ج ۷	۱۵ د	۲۳ ج	۳۱ ب	۳۹ بیشتر یا کمتر
د ۸	۱۶ ب	۲۴ الف	۳۲ الف	۴۰ $Q = C.V$

پاسخ سوالات فصل نهم

پیش آزمون ۹

ج ۱	الف ۴	الف ۷	الف ۱۰	ب ۱۳
ج ۲	ب ۵	الف ۸	ج ۱۱	د ۱۴
د ۳	د ۶	د ۹	الف ۱۲	ب ۱۵

آزمون پایانی ۹

ب ۱	ب ۱۲	د ۲۳	الف ۳۴	ب ۴۵
ج ۲	الف ۱۳	ج ۲۴	الف ۳۵	ج ۴۶
د ۳	د ۱۴	ب ۲۵	د ۳۶	الف ۴۷
الف ۴	ج ۱۵	ج ۲۶	الف ۳۷	د ۴۸
ب ۵	ب ۱۶	ب ۲۷	ج ۳۸	پیش فاز ۴۹
ج ۶	الف ۱۷	د ۲۸	ب ۳۹	راکتانس سلفی ۵۰
الف ۷	ب ۱۸	الف ۲۹	الف ۴۰	جلوتر ۵۱
ج ۸	ب ۱۹	الف ۳۰	الف ۴۱	غلط ۵۲
الف ۹	د ۲۰	ج ۳۱	ج ۴۲	مثبت - منفی ۵۳
د ۱۰	الف ۲۱	د ۳۲	د ۴۳	غلط ۵۴
ب ۱۱	ب ۲۲	الف ۳۳	الف ۴۴	کوچک تر (کمتر) ۵۵

پاسخ سؤالات فصل دهم

پیش آزمون ۱۰

۱ د	۴ الف	۷ الف	۱۰ الف	۱۳ ب
۲ الف	۵ ب	۸ الف	۱۱ ج	۱۴ د
۳ د	۶ د	۹ د	۱۲ الف	۱۵ ب

آزمون پایانی ۱۰

۱ د	۴ ج	۷ ب	۱۰ ☒ صحیح	۱۳ حلقه‌های لغزنده
۲ الف	۵ ج	۸ ج	۱۱ ☐ غلط	۱۴ جاروبک‌ها یا زغال‌ها
۳ ب	۶ الف	۹ ☐ غلط	۱۲ ☐ غلط	۱۵ تعداد تیغه‌های کلکتور

پاسخ سؤالات فصل یازدهم

پیش آزمون ۱۱

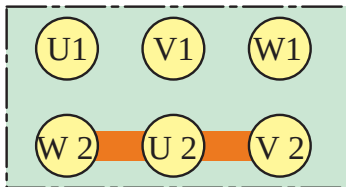
- | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|------|
| ۱ د | ۳ ج | ۵ ب | ۷ ج | ۹ ج |
| ۲ الف | ۴ د | ۶ د | ۸ ج | ۱۰ ب |

آزمون پایانی ۱۱

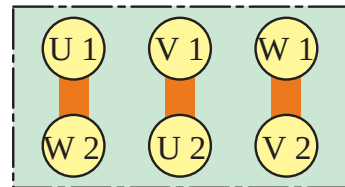
- | | | | | |
|-------|-------|---|---------------------------------|------------------------|
| ۱ الف | ۵ ج | ۹ ب | ۱۲ ☐ غلط | ۱۷ ولتاژ فازی |
| ۲ ب | ۶ ج | ۱۰ الف | ۱۴ ☐ غلط | ۱۸ دور - تعداد زوج قطب |
| ۳ د | ۷ ب | ۱۱ ☒ صحیح | ۱۵ $\sqrt{3} V_L I_L \sin \phi$ | |
| ۴ د | ۸ الف | ۱۲ ☐ غلط | ۱۶ سیم نول | |

۱۹ هرگاه تمام مشخصات سیم پیچی‌های مصرف‌کننده و یا مولد سه فاز از قبیل امپدانس‌ها، جریان‌ها، ولتاژهای خطی، فازی و زاویه اختلاف فاز با هم برابر باشند آن مدار را متعادل گویند.

۲۰



اتصال (Y)



اتصال مثلث (Δ)

- 1 Principles Of Electric Circuits by: Thomasl.Floyd
- 2 Electric Circuits by: David.Bell
- 3 Safe and Simple Electrical Experiments by:Rudolff.Graf
- 4 Click Flash Buzz Whirr by:Simon Schvster

- ۵ موتورهای الکتریکی ترجمه: مهندس عین‌الله احمدی - مهندس حسین مظفری
- ۶ الکترونیک کاربردی مؤلفین: مهندس شهرام نصیری سواد کوهی - مهندس شهرام خدادادی
- ۷ مبانی برق ترجمه: مهندس عین‌الله احمدی - مهندس حسین مظفری - مهندس فریدون قیطرانی
- ۸ اصول مقدماتی الکتریسیته مؤلف: مهندس غلامعلی سرابی
- ۹ الکتروتکنیک آزمایشگاهی ترجمه: مهندس محمود ربیع زاده
- ۱۰ کاتالوگ‌های مختلف برق و الکترونیک

