

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# 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 و تابلوسازی برق صنعتی  
نام استاندارد مهارتی مبنا: برقکار صنعتی درجه (۲)

کد استاندارد متولی: ۴/۲/۱۵/۵۵ - ۸

خدادادی، شهرام

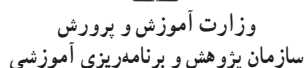
مبانی الکتریسیته/مؤلف: شهرام خدادادی - تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران  
ص: ۳۶۶. مصور - شاخه کاردانش

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

ج ۵۶۱ ش ۱



نام کتاب :

یہ دید آورنده :

مدیریت برنامه ریزی درسی و تألیف :

### شناسه افزوده برنامه ریزی و تألیف :

مدیریت آماده‌سازی هنری :

### شناسه افزوده آماده سازی :

### نشانی سازمان :

### نشانی سازمان :

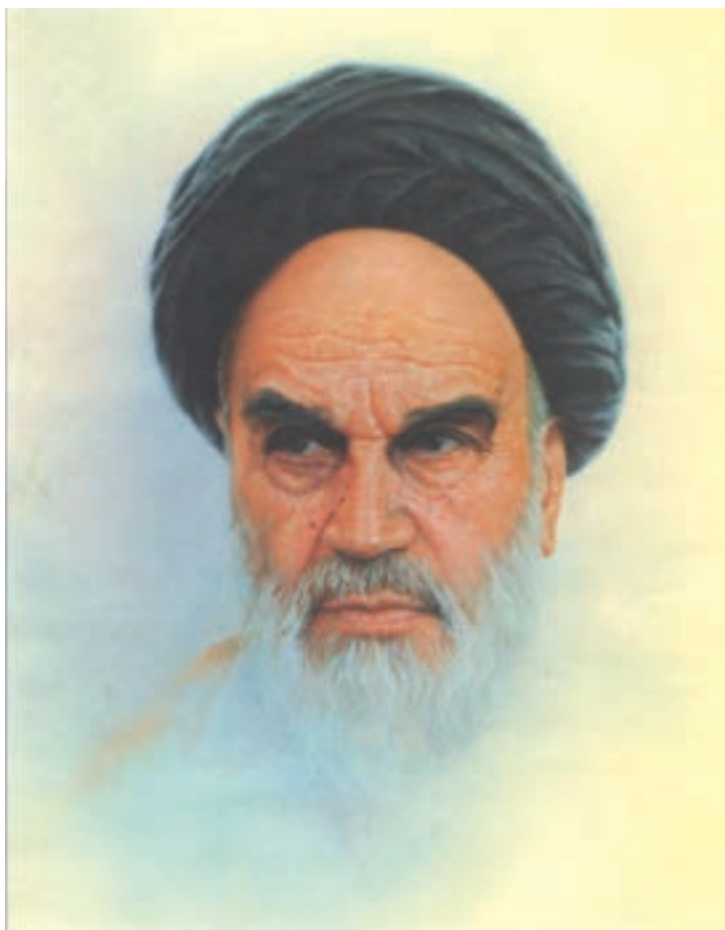
ناشر :

### حایخانه :

سال انتشار و نوبت چاپ :

ISBN 964-05-1203-6 شابک ۹۶۴-۰۵-۱۲۰۳-۶





شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آیید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتکای به اجانب پرهیزید.

امام خمینی «قُدَسَ سِرُّهُ»

**همکاران محترم:**

**پیشنهادها و نظریات خود را درباره محتوای این کتاب به نشانی:**

**تهران - صندوق پستی شماره ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتابهای درسی**

**فنی و حرفه‌ای و کاردانش ارسال فرمایند.**

[tvoccd@roshd.ir](mailto:tvoccd@roshd.ir)

پیام‌نگار (ایمیل)

[www.tvoccd.medu.ir](http://www.tvoccd.medu.ir)

وب‌گاه (وب‌سایت)

محتوای این کتاب در سال ۱۳۸۹ برای انطباق با استاندارد مهارت برق‌کار صنعتی درجه ۲  
کد ۴/۲/۱۵/۵۵-۸ توسط کمیسیون برنامه‌ریزی رشته الکتروتکنیک مورد بازنگری قرار گرفت.

# فهرست

VIII

مقدمه

X

پودمان شماره (۱)

۲

پیش آزمون (۱)

۳

۱- تاریخچه

۳

۱-۱- ساختمان ماده

۶

۱-۱-۱- ویژگی های اتم و ذرات آن

۷

۱-۲- چگونگی ایجاد جریان الکتریکی

۸

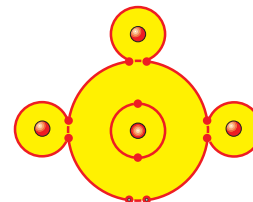
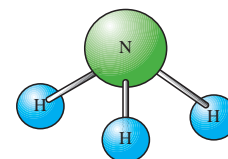
آزمون پایانی (۱)

۱۰

خودآزمایی عملی

فصل اول آشنایی  
با الکتریسیته

۱



فصل دوم  
هادی ها، عایق ها،  
نیمه هادی ها

۱۳

۱۳

پیش آزمون (۲)

۱۴

۲- هادی ها، عایق ها و نیمه هادی ها

۱۴

۲-۱- هادی ها

۱۵

۲-۲- عایق ها

۱۵

۲-۳- نیمه هادی ها

۱۷

۲-۴- بار الکتریکی و اتم باردار

۱۸

۲-۵- قانون کولن

۱۹

۲-۶- میدان الکتریکی

۲۰

۲-۷- میدان الکتریکی یکنواخت

۲۲

آزمون پایانی (۲)

۲۴

خودآزمایی عملی



فصل سوم  
آشنایی با قطعات  
و کمیت های  
الکتریکی

۲۶

۲۶

پیش آزمون (۳)

۲۷

۳- کمیت های الکتریکی

۲۷

۳-۱- شدت جریان

۳۰

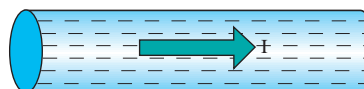
۳-۲- اختلاف سطح الکتریکی و چگونگی ایجاد آن به وسیله انرژی های مختلف

۳۲

۳-۳- روش های تولید و مصرف الکتریسیته

۳۲

۳-۳-۱- تولید الکتریسیته



فصل سوم  
آشنایی با قطعات  
و کمیت های  
الکتریکی

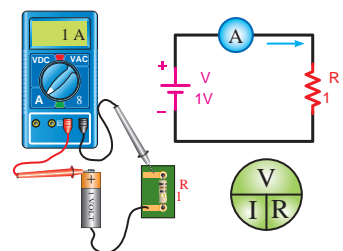
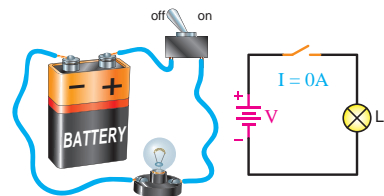


- ۳۶ ۳-۳-۲ مصرف الکتریسیته
- ۳۷ ۳-۳-۳ هدایت و مقاومت مخصوص
- ۳۸ ۳-۴-۱ مقاومت الکتریکی
- ۳۸ ۳-۴-۱ عوامل فیزیکی مؤثر در مقدار مقاومت الکتریکی
- ۴۱ ۳-۴-۲ عوامل الکتریکی مؤثر در مقاومت
- ۴۱ ۳-۴-۳ چگونگی تبدیل واحدها به یکدیگر
- ۴۳ ۳-۵-۱ انواع مقاومت ها
- ۴۴ ۳-۵-۱ مقاومت های ثابت
- ۴۴ ۳-۵-۲ مقاومت های متغیر
- ۴۶ ۳-۵-۳ مقاومت وابسته به حرارت
- ۴۸ ۳-۵-۴ مقاومت وابسته به نور
- ۴۹ ۳-۶-۱ تکنیک ساخت مقاومت ها
- ۴۹ ۳-۶-۱ مقاومت های توده کربنی (ترکیب کربن)
- ۵۰ ۳-۶-۲ مقاومت های لایه ای
- ۵۱ ۳-۶-۳ مقاومت های سیمی
- ۵۱ ۳-۷-۱ نحوه خواندن مقدار مقاومت ها
- ۵۲ ۳-۷-۱ خواندن مقاومت ها با روش مستقیم
- ۵۳ ۳-۷-۲ خواندن مقاومت ها به کمک نوارهای رنگی
- ۵۵ ۳-۸-۱ استاندارد مقاومت ها
- ۵۷ ۳-۹-۱ توان مجاز مقاومت ها
- ۵۸ آزمون پایانی (۳)
- ۶۱ خودآزمایی عملی

فصل چهارم  
قوانین اساسی  
الکتریسیته

۶۲

- ۶۳ پیش آزمون
- ۶۵ ۴-۱ مدار الکتریکی
- ۶۸ ۴-۱-۱ قانون اهم
- ۷۰ ۴-۱-۱ قوانین کیرشهف
- ۷۱ ۴-۱-۲ تعریف شاخه
- ۷۱ ۴-۱-۳ تعریف گره
- ۷۱ ۴-۱-۴ تعریف حلقه
- ۷۳ ۴-۲ قانون ولتاژها (KVL)
- ۷۴ ۴-۳ قانون جریان ها (KCL)



۷۷	آزمون پایانی (۴)
۸۰	خودآزمایی عملی

۸۲	پیش آزمون (۵)
۸۴	۵-۱ اتصال مقاومت ها
۸۴	۵-۱-۱ اتصال سری مقاومت ها
۹۳	اطلاعات اولیه آزمایشگاهی
۱۰۶	۲- ۱- ۵ - اتصال موازی مقاومت ها:
۱۱۹	۳- ۱- ۵ - اتصال ترکیبی (سری - موازی) مقاومت ها
۱۲۴	۲- ۵- افت ولتاژ در هادی ها
۱۲۷	۳- ۵- انواع پیل ها
۱۲۷	۱- ۳- ۵- پیل های اولیه
۱۲۸	۲- ۳- ۵- پیل های ثانویه
۱۲۹	۴- ۵- اتصالات پیل ها
۱۲۹	۱- ۴- ۵ - اتصال سری پیل ها
۱۳۲	۲- ۴- ۵ - اتصال متقابل پیل ها
۱۳۷	۳- ۴- ۵ - اتصال موازی پیل ها
۱۴۴	۵- ۵- شدت جریان در مدارهای ترکیبی «سری - موازی»
۱۴۵	۶- ۵- ولتاژ در مدارهای ترکیبی «سری - موازی»
۱۵۵	آزمون پایانی (۵)

فصل پنجم:  
اصول محاسبات  
مدارهای ساده  
مقاومتی در  
جریان مستقیم

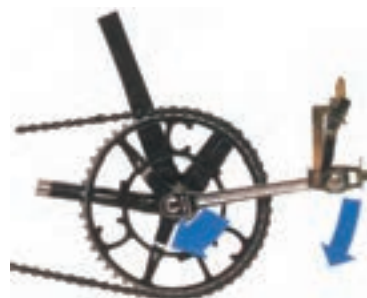
۸۱



۱۶۱	پیش آزمون (۶)
۱۶۳	۱- ۶- کار الکتریکی
۱۶۴	۲- ۶- حرارت ایجاد شده توسط الکتریسیته
۱۶۵	۳- ۶- توان الکتریکی
۱۷۱	۱- ۳- ۶- استاندارد توان در مقاومت های اهمی
۱۷۱	۲- ۳- ۶- محاسبه هزینه برق مصرفی
۱۷۳	۴- ۶- ضریب بهره (راندمان) الکتریکی
۱۷۶	آزمون پایانی (۶)
۱۷۸	خودآزمایی عملی

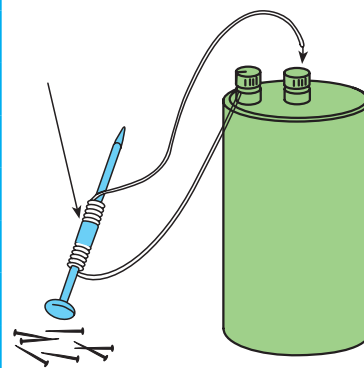
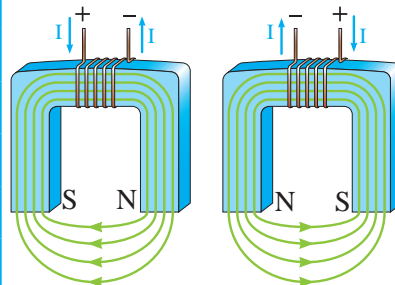
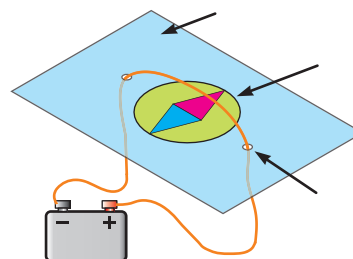
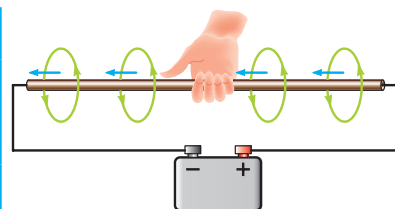
فصل ششم: کار و  
توان الکتریکی

۱۶۰



فصل هفتم:  
مغناطیس و  
لکترومغناطیس

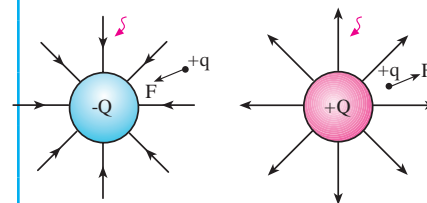
۱۷۹



- پیش آزمون (۷)
- ۱۸۰
- ۱۸۲ ۷-۱- مغناطیس چیست؟
- ۱۸۴ ۷-۲- خطوط نیروی مغناطیس و میدان مغناطیسی
- ۱۸۶ ۷-۳- الکترومغناطیس
- ۱۸۶ ۷-۴- قانون دست راست برای یک هادی جریان دار
- ۱۸۹ ۷-۵- نیروی وارد بر دو هادی جریان دار
- ۱۸۹ ۷-۶- کمیت های مغناطیسی
- ۱۸۹ ۷-۶-۱- نیروی محرکه مغناطیسی
- ۱۹۰ ۷-۶-۲- شدت میدان مغناطیسی
- ۱۹۰ ۷-۶-۳- ضریب نفوذ مغناطیسی
- ۱۹۱ ۷-۶-۴- مقاومت مغناطیسی
- ۱۹۲ ۷-۶-۵- مدارهای مغناطیسی
- ۱۹۴ ۷-۷- سلف (اندوکتانس  $L$ )
- ۱۹۶ ۷-۸- عوامل فیزیکی مؤثر در ضریب خودالقایی
- ۱۹۶ ۷-۹- عملکرد سلف در جریان الکتریکی
- ۱۹۷ ۷-۹-۱- رفتار سلف در جریان مستقیم (CD)
- ۱۹۸ ۷-۹-۲- شارژ و دشارژ (ثابت زمانی سلفی)
- ۲۰۲ ۷-۱۰- نیروی ضد محرکه
- ۲۰۲ ۷-۱۱- خودالقایی از نقطه نظر انرژی
- ۲۰۳ ۷-۱۲- انرژی ذخیره شده در سلف
- ۲۰۴ ۷-۱۳- القا متقابل
- ۲۰۸ آزمون پایانی (۷)
- ۲۱۲ خودآزمایی عملی

فصل هشتم:  
خازن

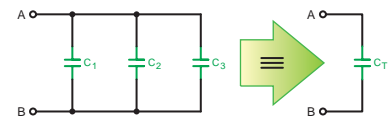
۲۱۶



- پیش آزمون (۸)
- ۲۱۷
- ۲۱۹ ۸-۱- میدان الکتریکی
- ۲۲۰ ۸-۲- ساختمان خازن
- ۲۲۰ ۸-۳- ظرفیت خازن
- ۲۲۲ ۸-۴- شارژ و دشارژ خازن در جریان مستقیم
- ۲۲۳ ۸-۵- عوامل مؤثر در ظرفیت خازن
- ۲۲۳ ۸-۵-۱- سطح صفحات خازن (A)
- ۲۲۴ ۸-۵-۲- فاصله بین صفحات خازن (d)

فصل هشتم:  
خازن

- ۲۲۴ ۸-۵-۳- ماده عایق (دی الکتریک - K)
- ۲۲۴ ۸-۶- عملکرد خازن در جریان الکتریکی
- ۲۲۴ ۸-۶-۱- رفتار خازن در جریان مستقیم (DC)
- ۲۲۵ ۸-۶-۲- شارژ و دشارژ (ثابت زمانی خازنی)
- ۲۲۸ ۸-۷- خازن از نقطه نظر انرژی
- ۲۲۸ ۸-۸- انرژی ذخیره شده در خازن
- ۲۲۹ ۸-۹- ظرفیت نامی خازن
- ۲۲۹ ۸-۱۰- انواع خازن ها و کدهای رنگی آن ها
- ۲۲۹ ۸-۱۰-۱- خازن های ثابت
- ۲۳۲ ۸-۱۰-۲- اطلاعاتی در مورد خازن های الکترولیتی
- ۲۳۳ ۸-۱۰-۳- خازن های متغیر
- ۲۳۴ ۸-۱۰-۴- روش مقدار نویسی ظرفیت روی بدنه خازن ها
- ۲۳۵ ۸-۱۰-۵- روش نوارهای رنگی روی بدنه خازن ها
- ۲۳۸ ۸-۱۱- به هم بستن خازن ها
- ۲۳۸ ۸-۱۱-۱- اتصال سری خازن ها
- ۲۴۷ ۸-۱۱-۲- اتصال موازی خازن ها
- ۲۵۴ ۸-۱۱-۳- اتصال ترکیبی خازن ها
- ۲۶۰ آزمون پایانی (۸)



فصل نهم: جریان  
متناوب

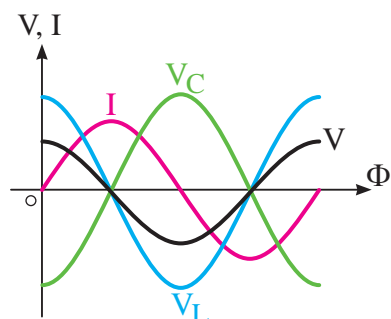
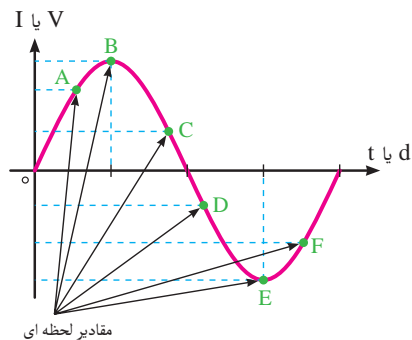
- ۲۶۵ پیش آزمون (۹)
- ۲۶۷ ۹-۱- جریان متناوب چیست؟
- ۲۶۷ ۹-۲- مقایسه جریان مستقیم و جریان متناوب در یک سیم
- ۲۶۸ ۹-۳- شکل موج ها در جریان متناوب
- ۲۶۹ ۹-۴- تولید جریان متناوب توسط ژنراتور
- ۲۷۱ ۹-۵- قانون دست راست در مورد ژنراتور
- ۲۷۱ ۹-۶- مشخصات جریان متناوب
- ۲۷۱ ۹-۶-۱- سیکل
- ۲۷۲ ۹-۶-۲- فرکانس (f)
- ۲۷۲ ۹-۶-۳- زمان تناوب (T)
- ۲۷۲ ۹-۶-۴- طول موج (λ)

۲۶۴



۲۷۳	۵-۶-۹- سرعت زاویه‌ای ( $\omega$ )
۲۷۳	۶-۶-۹- مقدار پیک یا ماکزیمم
۲۷۴	۷-۶-۹- دامنه
۲۷۴	۸-۶-۹- مقدار متوسط (ave)
۲۷۵	۹-۶-۹- مقدار مؤثر
۲۷۶	۱۰-۶-۹- فاز
۲۷۶	۱۱-۶-۹- اختلاف فاز
۲۷۷	۷-۹- مدارهای جریان متناوب
۲۷۷	۱-۷-۹- مدارهای اهمی خالص
۲۷۸	۲-۷-۹- مدارهای خازنی خالص
۲۷۸	۳-۷-۹- مدارهای سلفی خالص
۲۸۱	۴-۷-۹- بردار
۲۸۱	۵-۷-۹- مدارهای ترکیبی جریان متناوب
۳۰۵	۸-۹- انواع توان در جریان متناوب تکفاز
۳۲۷	آزمون پایانی (۹)

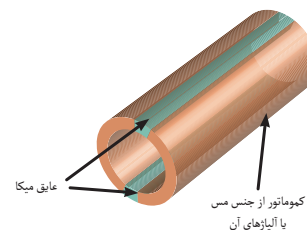
## فصل نهم: جریان متناوب



۳۳۵	پیش‌آزمون (۱۰)
۳۳۷	۱-۱۰- شناسایی اصول کار مولد جریان مستقیم
۳۴۱	آزمون پایانی (۱۰)

## فصل دهم: اصول کار مولدهای جریان مستقیم

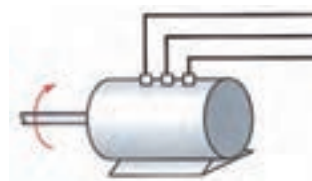
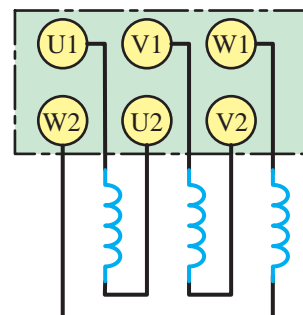
۳۳۴



۳۴۴	پیش‌آزمون (۱۱)
۳۴۵	۱-۱۱- اتصالات آلترناتور سه فاز
۳۴۶	۱-۱۱-۱- اتصال کلاف‌ها: کلاف‌ها به دو صورت به هم اتصال داده می‌شوند.
۳۴۷	۲-۱۱- فرکانس خروجی آلترناتور
۳۴۸	۳-۱۱- جریان‌ها و ولتاژها در اتصالات ستاره و مثلث متعادل
۳۴۸	۱-۳-۱۱- مقدار ولتاژ و جریان در اتصال ستاره و مثلث
۳۵۰	۲-۳-۱۱- بار متعادل و نامتعادل
۳۵۰	۴-۱۱- انواع توان در مدارات سه فاز
۳۵۲	آزمون پایانی (۱۱)
۳۶۶	منابع و مآخذ

## فصل یازدهم: اصول کار آلترناتورهای سه‌فاز

۳۴۳







## مقدمه

یک کتاب درسی هنگامی که به صورت خودآموز در اختیار فراگیر قرار می گیرد می بایستی 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 برنامه ریزی و تألیف آموزش های فنی و حرفه ای و کاردانش با همکاری شرکت صنایع آموزشی درصد برآمد تا در زمینه استانداردهای مهارتی، کتاب های تخصصی تهیه و تألیف نماید. براساس این تصمیم موضوع به کمیسیون های برنامه ریزی رشته های مختلف ارجاع داده شد. در کمیسیون های مربوطه ابتدا استانداردهای مهارتی

به واحدهای کوچک تری تقسیم بندی و سپس واحدهای هم خانواده مرتبط با هم در پیمانه های مهارتی (پودمان) دسته بندی شده به طوری که هر پیمانه مهارتی یک کتاب درسی کاردانش را تشکیل می دهد.

پیمانه مبانی الکتریسیته از جمله پیمانه هایی است که در تمام مهارت های برق وجود دارد، اما از نظر سرفصل تعریف شده در استانداردها، با یکدیگر تفاوت هایی دارد.

جدول زیر ساعات این پیمانه در مهارت های گوناگون را نشان می دهد. 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 رشته های مندرج در جدول می توانند 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، قسمت هایی از کتاب که استاندارد را پوشش می دهد انتخاب کرده و آموزش دهند. یادآور می شود ارزشیابی پایانی می بایست 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 پیمانه ها مؤلف موظف شد یک فصل را مطابق استاندارد



مهارتی مبنا نوشته و تحویل کمیته هماهنگی نماید. این کار انجام شد و کمیته هماهنگی براساس چک لیست 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 در نهایت مورد تصویب کمیسیون تخصصی نیز واقع شد.

جمع	ساعات تدریس		استاندارد مهارت و آموزش
	عملی	تئوری	
۱۴۲	۱۲	۱۳۰	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

همان گونه که اشاره شد چون مبنای تهیه کتاب‌ها از نظر کمیته هماهنگی تألیف کتاب‌های درسی شاخه کاردانش، 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 صاحب نظران عزیز با ارائه پیشنهادها 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 شماره (۱)

(M<sub>۱</sub>)

### هدف کلی پودمان

پس از پایان این پودمان مهارتی فراگیر با:  
اصول مقدماتی الکتریسیته آشنا شده و توانایی انجام محاسبات و اجرای  
آزمایش های مربوطه را کسب می کند.

### 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		

# واحد کار مبانی الکتریسیته

## فصل اول: آشنایی با الکتریسیته

### هدف کلی

آشنایی با الکتریسیته و خصوصیات آن

**هدف های رفتاری:** در پایان این فصل انتظار می رود 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
۲	-	۲



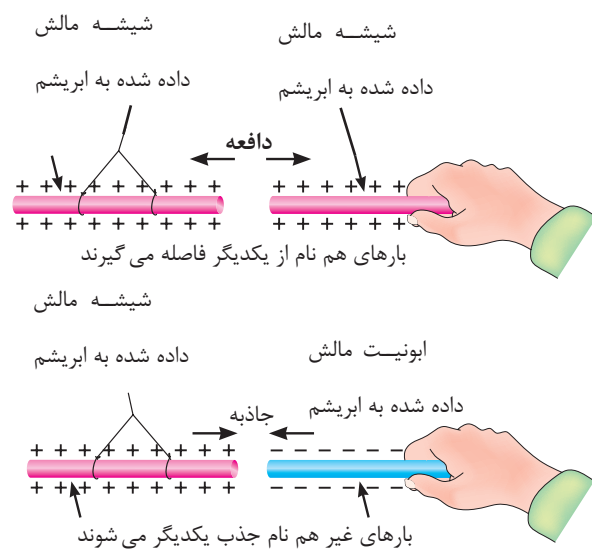
- ۱- آیا پدیده رعد و برق آسمان تولید الکتریسیته است؟  
الف - بستگی به شدت روشنایی آن دارد. ب - خیر  
ج - بستگی به وضعیت جغرافیایی منطقه دارد. د - بلی
- ۲- چرا در اثر تماس شانه مو تکه های کاغذ جذب آن می شوند؟  
الف - چون تکه های کاغذ سبک هستند. ب - زیرا جنس شانه از پلاستیک است.  
ج - شانه دارای بار الکتریکی می شود. د - بین شانه و کاغذ الکتریسیته جاری می شود.
- ۳- مفهوم بار الکتریکی چیست؟  
الف - مقدار الکتریسیته موجود در یک جسم ب - مقدار جریانی که باید انتقال یابد.  
ج - انرژی یک لامپ را روشن می کند. د - انرژی که یک مولد را می چرخاند.
- ۴- نام دیگر الکتریسیته مالشی چیست؟  
الف - الکتریسیته جاری ب - الکتریسیته مغناطیسی ج - الکتریسیته ساکن د - الکتریسیته متغیر
- ۵- انرژی الکتریکی مورد نیاز برای روشنایی منازل از چه طریقی تأمین می شود؟  
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 ساختمان های مرتفع از میله ای به نام برقگیر استفاده می شود.  
الف - دریافت و ذخیره سازی 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 ماهواره ای
- ۹- چرا در پشت ماشین های نفت کش بزرگ از یک زنجیر که با زمین در ارتباط است، استفاده می شود؟  
الف - برای ایجاد صدا و مشخص کردن نوع ماشین با توجه به بزرگی آن  
ب - برای علامت دادن به اتومبیل های پشت سر به منظور دقت در رانندگی  
ج - حذف جرقه ناشی از الکتریسیته ساکن و حفاظت تانکر از آتش سوزی  
د - به منظور انتقال گرمای ایجاد شده در اثر سایش لاستیک ها با زمین
- ۱۰- کدام یک از موارد زیر درباره الکتریسیته غلط است؟  
الف - برای تولید انرژی مکانیکی استفاده می شود.  
ب - در اثر اصطکاک بین یک میله پلاستیکی و پارچه پشمی می توان نوعی از آن را به وجود آورد.  
ج - از حرکت بارهای الکتریکی الکتریسیته به وجود می آید.  
د - در صنعت، الکتریسیته جاری کاربرد کمی دارد.



## ۱- تاریخچه



شکل ۱-۱- کهربا



شکل ۱-۲- اثر بارهای استاتیکی بر یکدیگر

الکتریسیته پدیده‌ای است که دیده نمی‌شود. ولی قادر است پدیده‌های فیزیکی بسیاری مانند: حرارت، روشنایی، حرکت، مغناطیس و ... را به وجود می‌آورد. الکتریسیته دو هزار سال پیش توسط یونانی‌ها کشف شد. آن‌ها در آن زمان پی بردند وقتی یک کهربا<sup>۱</sup> 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.

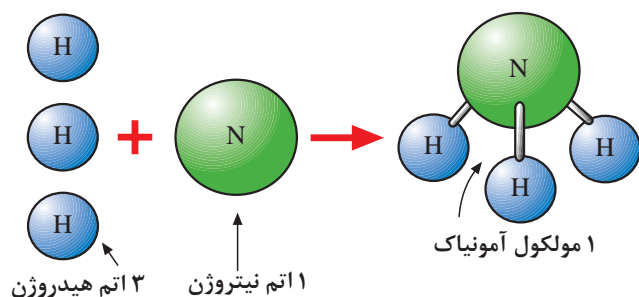


شکل ۱-۳- حالت‌های مختلف ماده

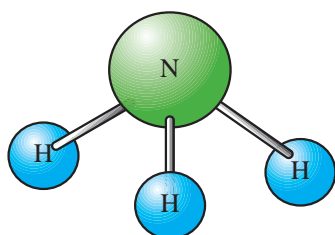
## ۱-۱- ساختمان ماده

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. (شکل ۱-۳)

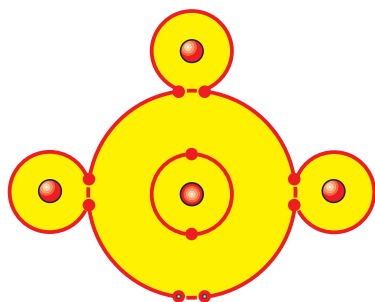
۱- کهربا: ماده‌ای زرد مایل به قهوه‌ای است که به صورت تکه‌های سخت مانند سنگ است.



شکل ۴-۱- ترکیب عناصر



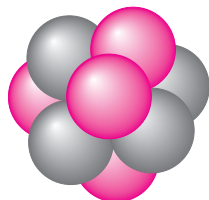
الف - تشکیل یک مولکول



ب - اتم‌های عنصر

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

پروتون  $P^+$   
نوترون  $N^0$



شکل ۶-۱- ذرات پروتون و نوترون

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 ۴-۱)

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

ساختمان اتم هر عنصر از دو قسمت تشکیل شده است:

الف - هسته

ب - مدارهای الکترونی

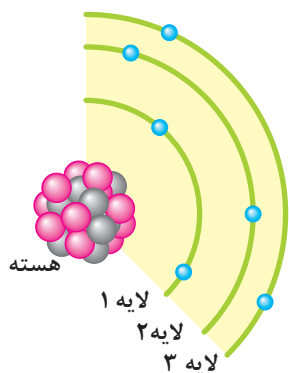
هسته هر اتم از دو ذره کوچک به نام‌های پروتون<sup>۱</sup> (بار مثبت  $P^+$ ) و نوترون<sup>۲</sup> (بدون بار  $N^0$ ) تشکیل شده است. (شکل ۶-۱)

1- Proton

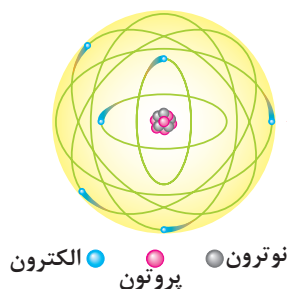
2 - Neutron



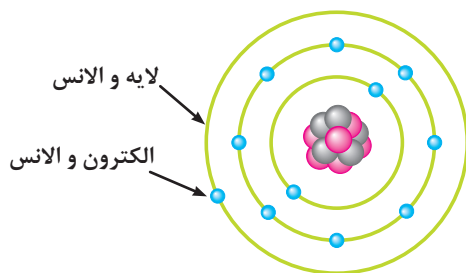
بر روی مدارهای الکترونی ذراتی به نام الکترون<sup>۱</sup> (با بار منفی  $e^-$ ) قرار دارند. شکل ۱-۷ قسمتی از یک اتم را نشان می دهد.



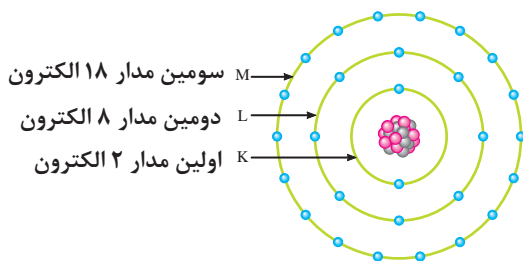
شکل ۱-۷- نحوه قرار گرفتن اتم ها روی مدارها و پروتون و نوترون در هسته



شکل ۱-۸- مدل اتمی



شکل ۱-۹- مدار و الانس (ظرفیت)



شکل ۱-۱۰- تعداد الکترون ها در هر مدار و الانس

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

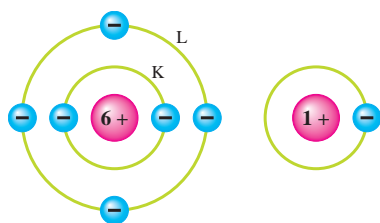
مدار خارجی هر اتم را در اصطلاح «لایه و الانس» و الکترون های روی این مدار را «الکترون های و الانس» یا «الکترون های ظرفیت» می نامند. (شکل ۱-۹)

مدارهای الکترونی اتم ها را به ترتیب با حروف اختصاری K, L, M, N, O, ... مشخص می کنند.

تعداد الکترون های روی هر مدار اتم از رابطه  $(2n^2)$  محاسبه می شود. در این رابطه  $n$  نشان دهنده شماره مدار است. مثلاً برای تعیین تعداد الکترون های مدار اول (K) می توان نوشت:

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

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



تعداد الکترون های مدار والانس هر اتمی همیشه بین ۱ تا ۸ الکترون است. تعداد این الکترون ها نشان دهنده ظرفیت آن اتم است. (شکل ۱-۱۱)

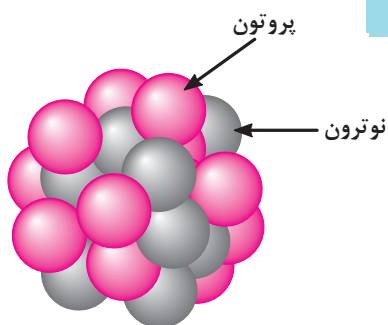
الف- اتم هیدروژن با ظرفیت ۱ ب- اتم کربن با ظرفیت ۴

شکل ۱-۱۱- تعداد الکترون های مدار ظرفیت دو اتم مختلف

## ۱-۱-۱- ویژگی های اتم و ذرات آن

۱- جرم پروتون  $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$  مرتبه بیشتر از جرم الکترون است.

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



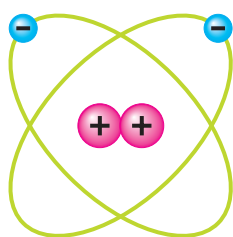
۲- قطر پروتون  $\frac{1}{3}$  قطر الکترون است.

(قطر الکترون  $1.9 \times 10^{-13}$  و قطر پروتون  $5.6 \times 10^{-13}$ )

شکل ۱-۱۲- ساختمان هسته 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

می چرخد. (شکل ۱-۱۳)

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

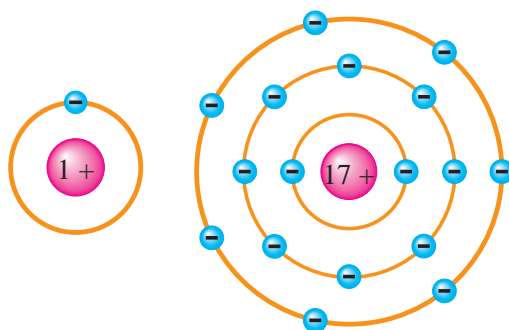
شکل ۱-۱۳- مدارها در اتم

۷- در شرایط عادی تعداد الکترون ها و پروتون های هر اتم با هم

برابرند. (شکل ۱-۱۴)

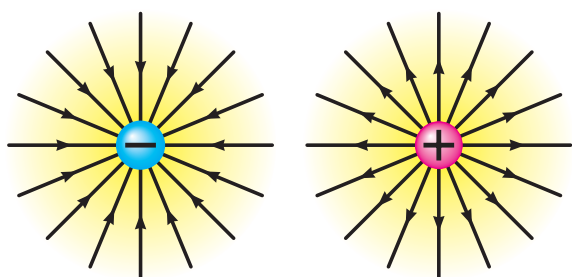
۸- در طبیعت همه نیروهای مخالف مثبت و منفی موجود در اتم

یکدیگر را خنثی می کنند و هیچ تأثیری روی هم ندارند. (شکل ۱-۱۴).



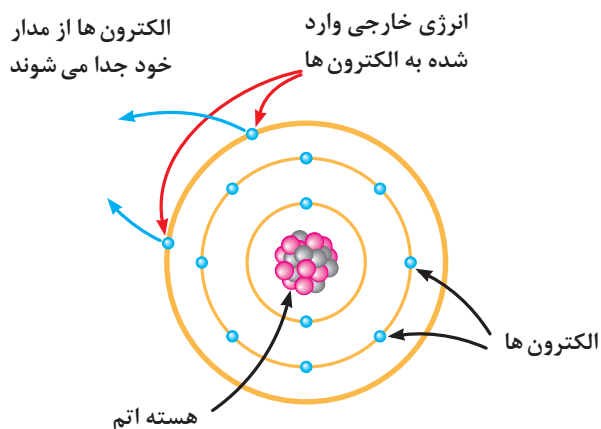
الف - ۱۷ الکترون، ۱۷ پروتون ب - ۱ الکترون، ۱ پروتون

شکل ۱-۱۴



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

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



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

## ۱-۲- چگونگی ایجاد جریان الکتریکی

برای تولید جریان الکتریکی لازم است که الکترون های والانس از اتم جدا و آزاد شوند. چون الکترون های مدار آخر نسبت به هسته اتم دورتر است لذا نیروی جاذبه کمتری از طرف هسته روی آن ها اثر می کند و بنابراین با وارد کردن مقدار کمی انرژی می توانند از مدار خود جدا شوند و به محل دیگری انتقال یابند.

شکل ۱۶-۱ نحوه وارد شدن انرژی به الکترون های والانس و جدا شدن آن ها از مدار خود را نشان می دهد.



## آزمون پایانی (۱)

۱- کوچک ترین جزء یک ماده ساده یا عنصر را ..... گویند.

الف - مرکب      ب - ماده      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 خطوط نیروی بارهای ..... در تمام جهت ها است و مستقیماً ..... می شوند.

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 - الکترون ها به اولین مدار اتم اضافه شوند.  
ج - الکترون ها 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 می گیرد؟

الف - ۵۰      ب - ۳۲      ج - ۱۸      د - ۷۲

۹- جمله «اتم ها در طبیعت خنثی هستند» یعنی چه؟

الف - الکترون ها و پروتون ها بدون بار هستند.

ب - الکترون ها و نوترون ها بار خود را از دست داده اند.

ج - بارهای مثبت و منفی یکدیگر را خنثی می کنند.

د - در شرایط عادی تعداد الکترون ها بیشتر از تعداد پروتون ها است.

۱۰- اگر اتمی دارای ۳۲ الکترون باشد در مدار والانس آن چند الکترون قرار می گیرد؟

الف - ۴      ب - ۳      ج - ۲      د - ۱

۱۱- بر روی کدام یک از مدارهای زیر حداکثر هشت الکترون جای می گیرد؟

الف - K      ب - L      ج - M      د - N

۱۲- کدامیک از گزینه های زیر نادرست است؟

الف - جرم پروتون بیشتر از الکترون و قطر آن کوچک تر از قطر الکترون است.

ب - مدارهای اطراف هسته بیضی شکل هستند و قطر الکترون بزرگ تر از قطر پروتون است.

ج - در شرایط عادی تعداد الکترون ها و پروتون های هر اتم با هم برابرند.

د - پروتون دارای بار منفی است و روی مدارهای اطراف هسته می چرخد.

۱۳- تعداد الکترون های مدار والانس هر اتم نشان دهنده ..... آن اتم است.

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

۱۵- الکترون های هسته هر اتم را الکترون های والانس یا ظرفیت گویند. ☐ صحیح ☐ غلط

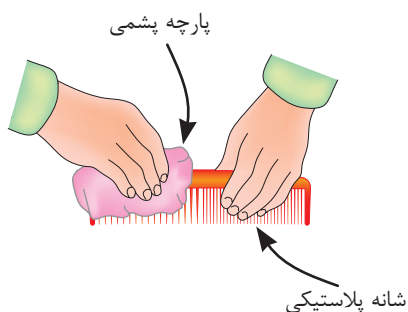


# خودآزمایی عملی

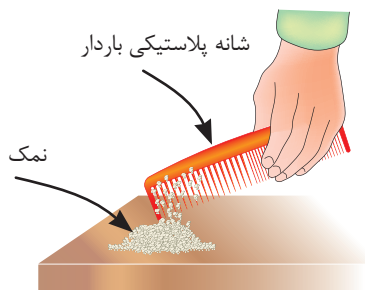
۱- یک میله (شانه) پلاستیکی را با پارچه پشمی (یا موهای سرخود) مالش دهید. سپس موارد خواسته شده زیر را به طور جداگانه انجام داده و نتایج آن را ثبت کنید. (شکل ۱-۱۷ و ۱-۱۸)



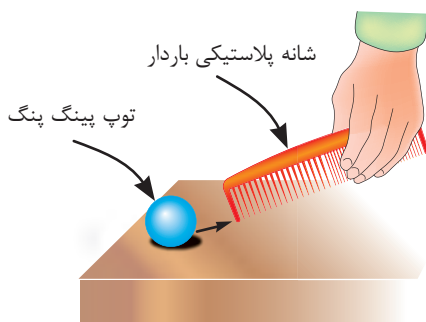
شکل ۱-۱۷



شکل ۱-۱۸



شکل ۱-۱۹



شکل ۱-۲۰



توجه

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

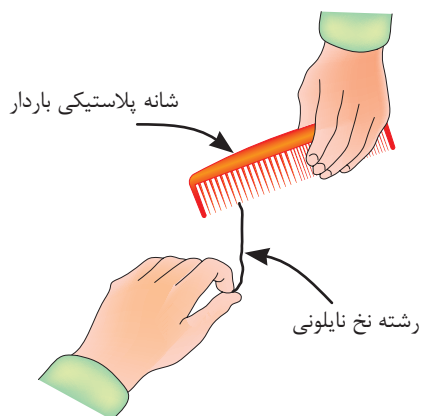
الف - شیء پلاستیکی را به ذرات نمک نزدیک کنید. (شکل ۱-۱۹)



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



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

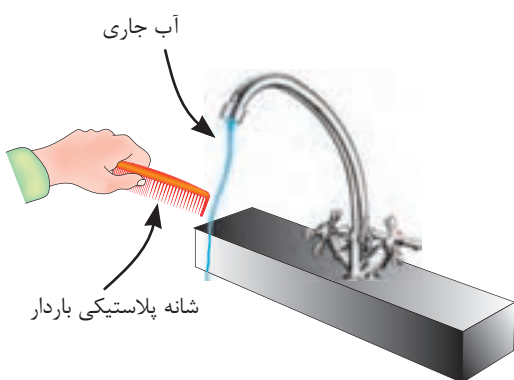


شکل ۱-۲۱

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.

## واحد کار مبانی الکتریسیته

### فصل دوم: هادی ها، عایق ها، نیمه هادی ها

#### هدف کلی

آشنایی با هادی ها، عایق ها و نیمه هادی های الکتریکی

**هدف های رفتاری:** در پایان این فصل انتظار می رود که فراگیر بتواند:

- ۱- هادی، عایق و نیمه هادی را با ذکر نمونه هایی تعریف کند.
- ۲- هادی، عایق و نیمه هادی را از نظر الکترون های والانس مقایسه کند.
- ۳- در صورت داشتن عدد اتمی عنصری، نوع ماده را تشخیص دهد.

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۲	-	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 از 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 مواد زیر می تواند جریان برق را عبور دهد؟
  - الف - میله چوبی      ب - میله آلومینیومی      ج - میله کائوچویی      د - میله لاستیکی
- ۷- چرا خاصیت هدایت الکتریکی مواد مختلف با هم تفاوت دارند؟
  - الف - وضعیت اتم های آنها تفاوت دارند.      ب - چون جریان تأمین کننده همه مواد باتری ها هستند.
  - ج - همه مواد در برابر جریان مقاومت نمی کنند.      د - چون تحت تأثیر انرژی قرار نگرفته اند.
- ۸- به کوچک ترین جزء یک ماده مرکب ..... گفته می شود.
  - الف - یون      ب - والانس      ج - اتم      د - ملکول
- ۹- کدام یک از اشکال زیر صحیح است؟
 

الف -

ب -

ج -

د -



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

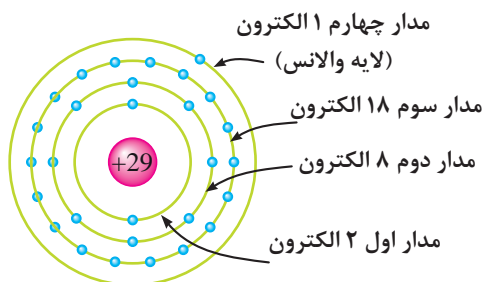
- الف - روی مدارهای - منفی      ب - در هسته - مثبت
- ج - در هسته - منفی      د - روی مدارهای - خنثی

## ۲- هادی‌ها، عایق‌ها و نیمه هادی‌ها

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

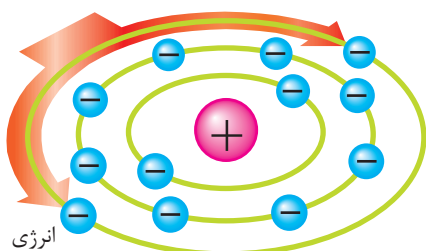
### ۲-۱- هادی‌ها

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



شکل ۲-۱- ساختمان اتمی عنصر مس

هرگاه به اتم‌های یک هادی انرژی داده شود 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 ۲-۲- تقسیم انرژی بین الکترون‌های والانس

در یک هادی، الکترون‌ها به راحتی از یک اتم به اتم دیگر منتقل می‌شود. 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.

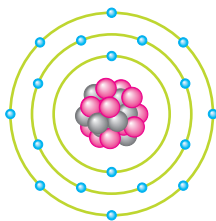
از هادی‌های خوب می‌توان نقره، مس، طلا و آلومینیوم را نام برد. در صنعت برق از سیم‌های مسی و آلومینیومی استفاده می‌شود زیرا این عناصر فراوان و مقرون به صرفه هستند.



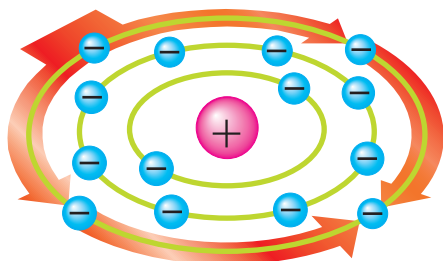
شکل ۲-۳- برقراری جریان الکتریکی در هادی‌ها

## ۲-۲- عایق ها

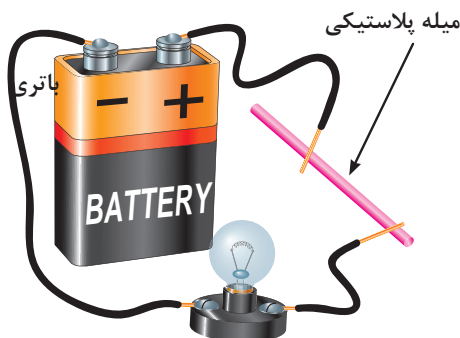
به موادی که الکترون های مدار والانس آن ها تمایل به ماندن در مدار خود را دارند و به راحتی جدا نمی شوند «عایق» یا «دی الکتریک» می گویند. این مواد در مدار والانس خود ۵، ۶، ۷ یا ۸ الکترون دارند. (شکل ۲-۴)



شکل ۲-۴- ساختمان اتمی یک عنصر عایق



شکل ۲-۵- تقسیم انرژی بین الکترون های والانس هادی ها



شکل ۲-۶- عدم انتقال الکترون ها در یک میله پلاستیکی

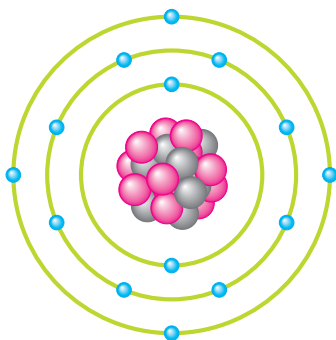
در صورتی که به اتم یک دی الکتریک انرژی داده شود این انرژی بین الکترون های والانس آن تقسیم می شود. چون تعداد الکترون های والانس در عایق ها زیاد است، لذا مقدار انرژی که به هر الکترون می رسد، نسبت به هادی ها که تعداد الکترون والانس کمتری دارند کاهش می یابد. از عایق های خوب<sup>۱</sup> می توان شیشه، کاغذ، پلاستیک، هوا و میکا را نام برد. (شکل ۲-۵)

شکل ۲-۶ تصویری را نشان می دهد که در آن چون میله پلاستیکی نمی تواند الکترون های لایه والانس خود را انتقال دهد، لامپ روشن نمی شود پس می توان نتیجه گرفت که ماده عایق نمی تواند جریان الکتریکی را عبور دهد.

## ۲-۳- نیمه هادی ها

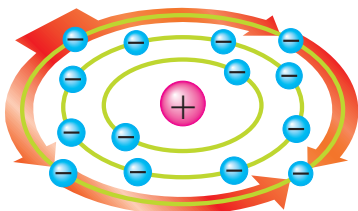
موادی که از نظر آزاد کردن الکترون والانس در حد فاصل عایق ها و هادی ها قرار دارند «نیمه هادی»<sup>۲</sup> نامیده می شوند.

تعداد الکترون های والانس نیمه هادی ها معمولاً ۴ الکترون است. (شکل ۲-۷)

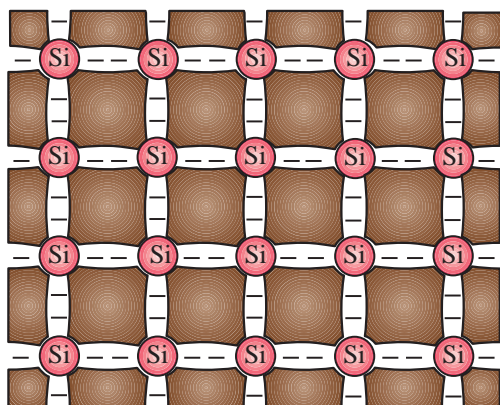
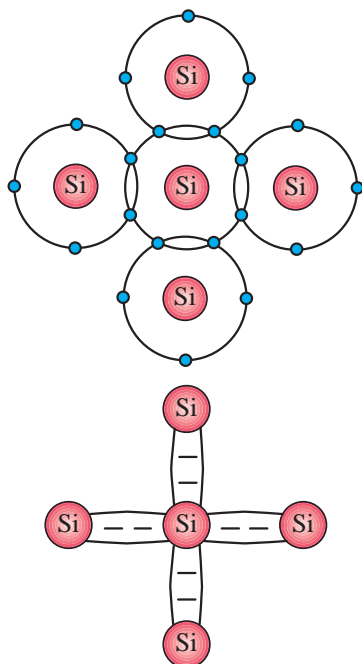


شکل ۲-۷- ساختمان اتمی نیمه هادی ها

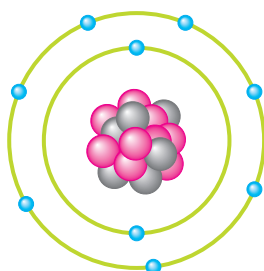
۱- عایق هایی که در صنایع مورد استفاده قرار می گیرند اغلب از ترکیب مواد مختلف به وجود می آیند.



شکل ۸-۲- تقسیم انرژی بین الکترون های والانس در نیمه هادی ها



شکل ۹-۲- شبکه اشتراکی اتم های نیمه هادی



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

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

از نیمه هادی ها که در الکتریسته کاربرد دارند می توان ژرمانیم (Ge) و سیلیسیم (Si) را نام برد. نحوه قرار گرفتن اتم های نیمه هادی ها در کنار هم به صورت اشتراکی است. از اشتراک الکترون های والانس در نیمه هادی ها شبکه ای به وجود می آید که آن را در اصطلاح «شبکه کریستالی» گویند.

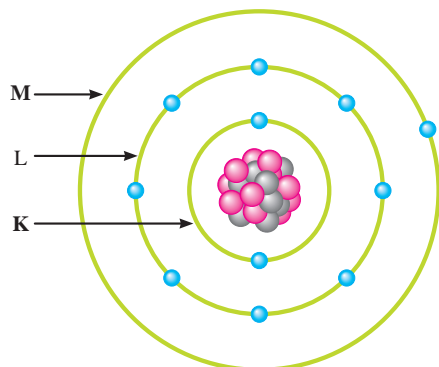
شکل ۹-۲ شبکه کریستالی و پیوند بین اتم های سیلیسیم را نشان می دهد. نیمه هادی ها از نظر الکتریکی خنثی هستند. برای اینکه بتوانیم میزان هدایت نیمه هادی ها را افزایش دهیم باید آن ها را با مواد دیگری ترکیب کنیم. عمل ترکیب نیمه هادی با عنصری دیگر را «ناخالص کردن» نیمه هادی می نامیم.

**توضیح:** به تعداد الکترون ها یا پروتون های یک عنصر «عدد اتمی»<sup>۱</sup> می گویند و آن را با حرف (Z) نمایش می دهند. (شکل ۱۰-۲)

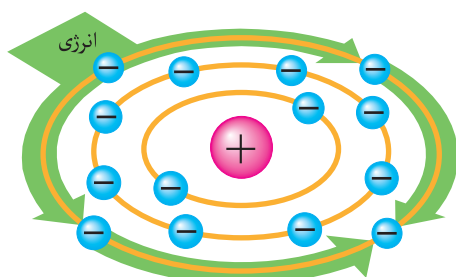
با توجه به عدد اتمی می توان وضعیت هادی، عایق و نیمه هادی بودن جسم را تشخیص داد. مثال: عدد اتمی عنصری ۱۱ است، این عنصر از نظر هدایت الکتریکی چه وضعیتی دارد؟

۱- از مجموع تعداد نوترون ها و پروتون ها جرم اتمی بدست می آید.

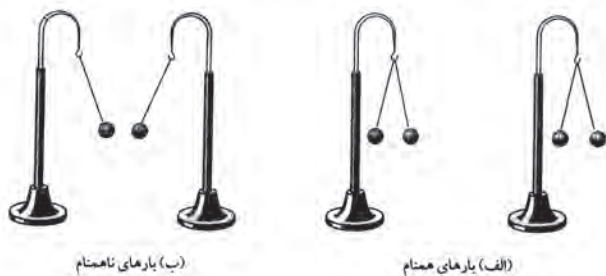
چون تعداد الکترون های مدار آخر این عنصر کمتر از ۳ الکترون است، لذا از نظر هدایت به گروه هادی ها تعلق دارد. تعداد الکترون های هر مدار این اتم در شکل ۱۱-۲ نشان داده شده است.



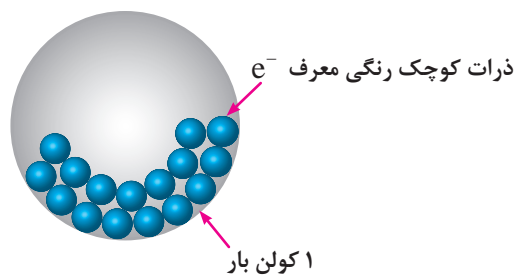
شکل ۱۱-۲- ساختمان اتمی عنصری با عدد اتمی ۱۱



شکل ۱۲-۲



شکل ۱۳-۲- بارهای همنام همدیگر را می رانند و بارهای ناهمنام یکدیگر را می ربایند



شكل ١٤-٢

#### ۴-۲- بار الکتریکی و اتم باردار:

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

اصطلاحاً به عنصری که الکترون هایی از دست داده و یا گرفته «عنصر باردار» و به اتم های آن «اتم باردار» یا «یون» گفته می شود. از آنجایی که بررسی تعداد الکترون های دریافتی و یا از دست داده اتم ها در الکتریسیته کاربرد داشته دانشمندان مختلفی به بررسی اثرات ذرات باردار بر هم پرداخته اند که از جمله آن ها می توان به «کولن» اشاره کرد. وی تحقیقات زیادی پیرامون بارهای الکتریکی داشته به همین خاطر به احترام وی واحد بار الکتریکی (q) بر حسب کولن (C) نامگذاری شده است.

هر کولن بار الکتریکی معادل  $1.6 \times 10^{-19}$  الکترون است. یعنی:

$$1 \text{ کولن} = 6/28 \times 10^{18} = 628 \dots\dots\dots$$

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

## ۵-۲- قانون کولن:

همان طوری که در فصول قبل اشاره شد دو جسم (دو ذره) باردار با بارهای هم نام یکدیگر را دفع و با بارهای غیرهم نام یکدیگر را جذب می کنند.

کولن بر پایه انجام آزمایش های زیاد با اجسام باردار نتیجه گرفت که نیروهای جاذبه و دافعه میان بارها از قانون خاصی پیروی می کنند. امروزه این قانون را به نام «قانون کولن» می شناسیم. این قانون بیان می کند:

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)

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{d^2} \quad \text{می توان نوشت:} \quad (۱)$$

با بهره گیری از یک ضریب ثابت که نشان دهنده خاصیت محیط در برگیرنده اجسام باردار است می توان رابطه قانون

$$F = k \frac{q_1 q_2}{d^2} \quad \text{کولن را به صورت مقابل نوشت:} \quad (۲)$$

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

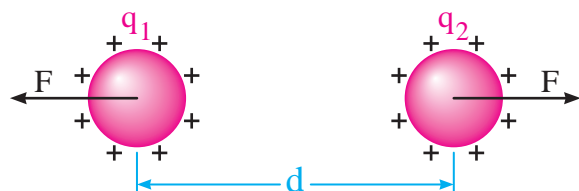
$d$  - فاصله بین دو بار بر حسب متر [m]

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

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

**مثال:** اندازه نیروی بین دو بار  $[C] 0.2$  و  $[C] 0.5$  که در فاصله ۲ متر از یکدیگر قرار گرفته اند چند نیوتن است؟

$$\begin{aligned} F &= k \frac{q_1 q_2}{d^2} \\ F &= 9 \times 10^9 \frac{0.2 \times 0.5}{(2)^2} = \frac{90 \times 10^5}{4} \\ F &= 22.5 [N] \\ F &= k \frac{q_1 q_2}{d^2} \Rightarrow d^2 = k \frac{q_1 q_2}{F} \end{aligned}$$



شکل ۱۵-۲

$$d = \sqrt{\frac{kq_1q_2}{F}} = \sqrt{\frac{9 \times 10^9 \times 0.5 \times 10^{-4}}{5}}$$

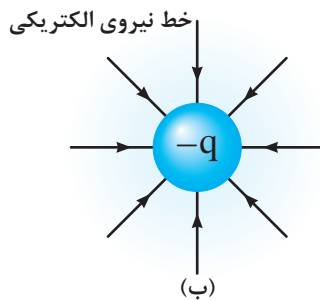
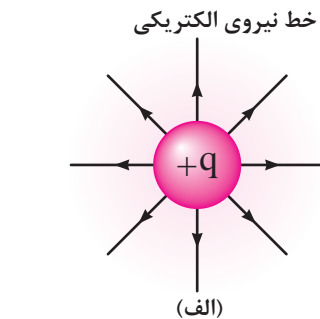
$$d = \sqrt{\frac{9 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-7} \times 4 \times 10^{-7}}{5}} = \sqrt{\frac{180}{5}} \times 10^4$$

$$d = \sqrt{36 \times 10^4} = 6 \times 10^2 \text{ [m]}$$

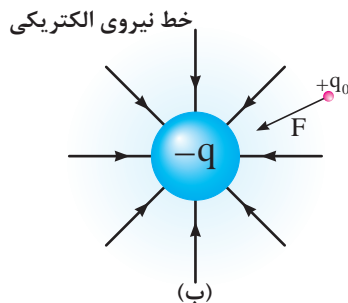
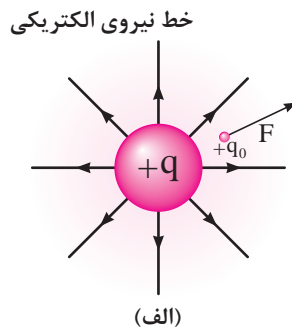
مثال: هرگاه نیروی بین دو جسم باردار  $0.4/0.5$  و  $0.5/0.4$  کولنی برابر ۵ نیوتن باشد فاصله بین این دو بار چند متر است؟

## ۶-۲- میدان الکتریکی

هرگاه یک جسم باردار در فضای اطراف یک جسم باردار قرار گیرد طبق قانون کولن به آن نیرو وارد می شود این ناحیه که چنین خاصیتی دارد یک «میدان الکتریکی» است. بنابراین در یک ناحیه از فضا وقتی می توان گفت میدان الکتریکی وجود دارد که به بار الکتریکی واقع در آن ناحیه یک نیروی الکتریکی وارد می شود. شکل (۱۶-۲)



شکل ۱۶-۲- میدان الکتریکی اطراف یک کره باردار در فضا



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

برای سنجش وجود میدان الکتریکی و تعیین اندازه آن از یک بار مثبت و کوچک به نام «بار آزمون -  $q_0$ » استفاده می شود که مقدار آن برابر واحد (یک) است. در شکل های (الف - ۱۷-۲) و (ب - ۱۷-۲) وضعیت خطوط نیروی وارد به بار آزمون برای هر دو بار هم نام و هم چنین دو بار غیر هم نام نشان داده شده است. هر خط نیرو نشان دهنده مسیری است که بار آزمون واقع در میدان الکتریکی تحت اثر نیروی ناشی از میدان طی می کند.



بنا به تعریف نیروی وارد بر بار الکتریکی آزمون (مثبت) در هر نقطه از میدان را شدت میدان الکتریکی در آن نقطه می نامیم و مقدار آن به صورت مقابل محاسبه می شود.

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

$F$  - نیروی وارد بر بار آزمون بر حسب نیوتن  $[N]$   
 $q_0$  - اندازه بار آزمون بر حسب کولن  $[C]$  (مقدار آن می تواند غیر یک باشد)

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

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

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

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

## ۷-۲- میدان الکتریکی یکنواخت

در صورتی که نیاز به ایجاد میدان الکتریکی باشد می توانیم با اتصال دو صفحه فلزی که مطابق شکل (۱۸-۲) مقابل یکدیگر قرار گرفته اند به دو قطب یک باتری متصل کرد. میدان الکتریکی که تحت این شرایط بوجود می آید چون دارای اندازه و جهت ثابت است «میدان الکتریکی یکنواخت» گفته می شود.

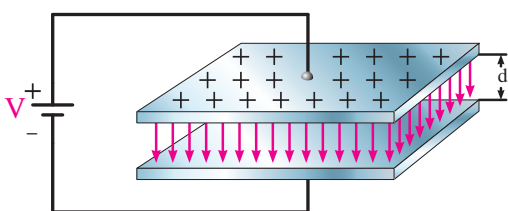
اندازه شدت میدان الکتریکی یکنواخت را از رابطه مقابل می توان بدست آورد:

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

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

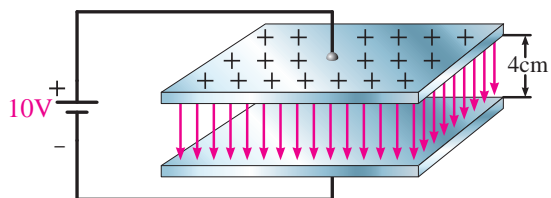
$d$  - فاصله بین دو صفحه بر حسب متر  $[m]$

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



شکل ۱۸-۲





شکل ۱۹-۲

**مثال:** شدت میدان الکتریکی بین دو صفحه موازی که با فاصله ۴ سانتی متر از یکدیگر قرار گرفته اند و مشابه شکل (۱۹-۲) به ولتاژ ۱۰ ولت متصل شده چقدر است؟

$$E = \frac{V}{d} = \frac{10}{4 \times 10^{-2}} = \frac{10^2}{4} = 25 \cdot \left[ \frac{V}{m} \right]$$

**مثال:** فاصله بین دو صفحه موازی که به ولتاژ ۲۰ ولت وصل شده اند چند متر باشد تا شدت میدان الکتریکی بین دو صفحه ۴۰ ولت بر متر باشد.

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

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



## آزمون پایانی (۲)

- ۱- لایه والانس هر اتم با چند الکترون تکمیل می شود؟  
الف - ۲      ب - ۸      ج - ۱۸      د - ۳۲
- ۲- جسمی که در آن الکترون های والانس به آسانی از یک اتم به اتم دیگر منتقل شوند..... نامیده می شود.  
الف - عایق      ب - نیمه هادی      ج - ظرفیتی      د - هادی
- ۳- سهم انرژی الکترون های والانس در هادی ها نسبت به عایق ها چگونه است؟  
الف - زیاد      ب - کم      ج - متوسط      د - نمی توان تعیین کرد.
- ۴- علت استفاده از مس در صنعت برق چیست؟  
الف - در طبیعت فراوان است.      ب - الکترون والانس را راحت آزاد می کند.  
ج - مقرون به صرفه است.      د - همه موارد
- ۵- کدام گزینه در مورد تعداد الکترون های مدار والانس عایق ها صحیح است؟  
الف - ۴ < تعداد الکترون ها      ب - ۴ > تعداد الکترون ها  
ج - ۳ < تعداد الکترون ها      د - ۸ > تعداد الکترون ها
- ۶- الکترون های والانس در عایق ها ..... از مدار خود جدا می شوند.  
الف - به آسانی      ب - به سختی      ج - بدون انرژی      د - با کمی انرژی
- ۷- اصطلاح «دی الکترونیک» برای کدام گروه از موارد به کار می رود؟  
الف - هادی ها      ب - عایق ها      ج - نیمه هادی ها      د - فلزات
- ۸- «میکا» از نظر هدایت الکتریکی در ردیف کدام یک از گروه ها قرار دارد؟  
الف - عایق ها      ب - هادی ها      ج - نیمه هادی ها      د - کریستال ها
- ۹- تعداد الکترون های والانس نیمه هادی ها چند الکترون است؟  
الف - ۲      ب - ۳      ج - ۴      د - ۸
- ۱۰- نحوه اتصال اتم ها در نیمه هادی ها ..... 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 هادی ها صدق می کند؟

الف - با ناخالص کردن نیمه هادی ها میزان تمایل آن ها به آزاد کردن الکترون کاهش می یابد.

ب - آزاد کردن الکترون به تعداد مدارهای اتم مورد نظر بستگی دارد.

ج - نیمه هادی ها 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 می دهند.

الف - P      ب - N      ج - e      د - Z

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

الف - ۴      ب - ۵      ج - ۶      د - ۷

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

الف - عایق ها      ب - هادی ها      ج - نیمه هادی ها      د - نمک ها

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 الکترون های مدار آخر عنصری ۵ است. این عنصر از نظر هدایت الکتریکی به کدام گروه تعلق دارد؟

الف - هادی ها      ب - نیمه هادی ها      ج - عایق ها      د - کریستال ها

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

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

۱۸- نحوه قرار گرفتن اتم های نیمه هادی ها در کنار هم به صورت ..... است.

۱۹- در اجسام رسانا الکترون های لایه والانس اتم ها به راحتی آزاد می شوند. ☐ صحیح ☐ غلط

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

۲۱- دو ذره بار الکتریکی  $6 \times 10^{-6} \mu\text{C}$  و  $8 \times 10^{-6} \mu\text{C}$  در فاصله  $4 \times 10^{-2} \text{cm}$  از هم قرار گرفته اند. اندازه نیرویی که این دو ذره بر هم وارد

می کنند چند نیوتن است؟  $(k = 9 \times 10^9)$

۲۲- اگر بار الکتریکی  $2 \mu\text{C}$  در نقطه ای 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 می شود؟

۲۳- بار الکتریکی  $2 \mu\text{C}$  در یک میدان الکتریکی تحت اثر نیروی  $0.08 \text{ N}$  نیوتن قرار می گیرد. 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 گرفته اند نیرویی برابر  $F$  بر هم وارد می کنند. 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 ۲۰ سانتی متر از یکدیگر قرار گرفته اند

برابر ۵۰ ولت بر متر باشد، ولتاژ اعمال شده به این صفحات چند ولت است؟



# خودآزمایی عملی

۱- مداری را مطابق شکل ۱۲-۲ 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 ۱۲-۲)

ب - مداد پاک کن

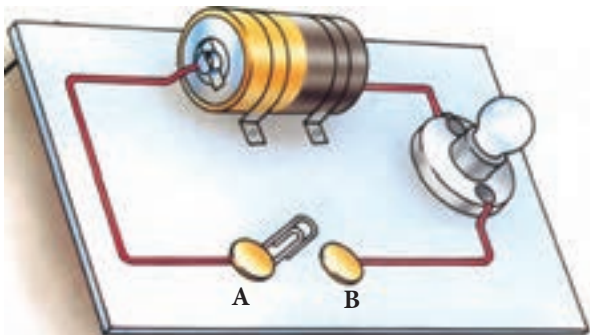
ج - بدنه پلاستیکی خودکار

د - یک قطعه سیم مسی

هـ - یک قطعه میله برنجی

و - یک تکه چوب

ز - یک قطعه لاستیک



شکل ۱۲-۲ - مدار ساده الکتریکی

۲- از مجموعه مشاهدات خود چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟





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

## واحد کار مبانی الکتریسته

### فصل سوم: آشنایی با قطعات و کمیت های الکتریکی

#### هدف کلی

آشنایی با مقاومت ها و کمیت های الکتریکی

**هدف های رفتاری:** در پایان این فصل انتظار می رود که فراگیر بتواند:

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

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۶	-	۶



۱- با زدن کلید اصلی برق نیروگاه، چه مدت زمانی طول می کشد تا جریان برق به مصرف کننده برسد؟

- الف - یک دقیقه  
ب - کمتر از چند صدم ثانیه  
ج - به طول مسیر بستگی دارد.  
د - رابطه ای 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 می شود.

۴- رشته حرارتی یک سماور برقی برای ایجاد گرما چه خاصیتی را از خود نشان می دهد؟

- الف - مقاومتی  
ب - لوله مارپیچ  
ج - سیم پیچی  
د - عایقی  
۵- ولوم یک رادیو چیست؟

الف - مقاومت متغیر  
ب - کلید گردان  
ج - کلید مرحله ای  
د - شیرگردان

۶- عامل کنترل کننده خودکار روشن و خاموش کردن چراغ های خیابان ها و معابر عمومی چیست؟

- الف - مدارهای صنعتی  
ب - مقاومت تابع نور  
ج - کلیدهای قطع و وصل  
د - دیود نور دهنده

۷- چرا در صورت وصل کردن بعضی از مصرف کننده ها به پریز برق و راه اندازی آن ها سیم های برق گرم می شود؟

- الف - دمای محیط زیاده 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 هادی ها باید آن ها را ..... کرد.

- الف - خالص  
ب - ناخالص  
ج - از هسته جدا  
د - مشترک

۱۰- انرژی داده شده به ..... یک ماده دی الکتریک بین الکترون های ..... آن تقسیم می شود.

- الف - اتم - مدار والانس  
ب - الکترون های - مدار والانس  
ج - الکترون های - مدار M  
د - اتم - مدار M



## ۳- کمیت‌های الکتریکی

### ۳-۱- شدت جریان

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)

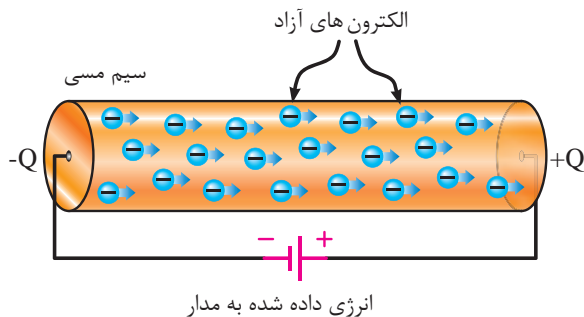
شدت جریان الکتریکی را با حرف (I) نشان می‌دهند. بنا به تعریف مقدار بار الکتریکی (الکترون‌های آزاد) که از یک نقطه سیم در طی مدت زمانی معین عبور می‌کند «شدت جریان الکتریکی» می‌نامند. (شکل ۳-۲)

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:

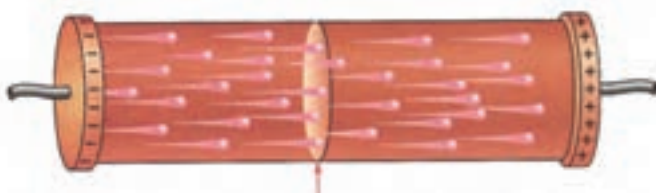
$$I = \frac{q}{t} \Rightarrow (A) = \frac{(C)}{(s)}$$

کولن  
ثانیه

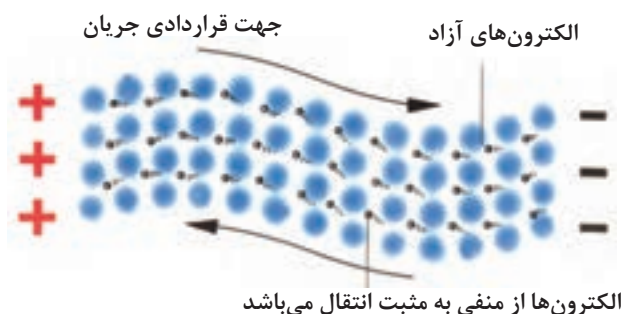
چون عامل به وجود آمدن جریان الکتریکی، حرکت الکترون‌هاست و این ذرات دارای بار منفی هستند، لذا جهت حرکت واقعی الکترون‌ها از قطب منفی به سمت قطب مثبت است ولی براساس قرارداد، جهت جریان الکتریکی را در مدارها از قطب مثبت به سمت قطع منفی در نظر می‌گیرند.



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.



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

شکل ۳-۳ این مطلب را نشان می دهد. بنا به تعریف، مثبت بودن بارها را با عنوان زیاد بودن و منفی بودن بار را با عنوان کم بودن بار در نظر می گیرند. در رابطه (I) اگر به جای پارامترهای (t,q) مقدار واحد را قرار دهیم تعریف یک آمپر به دست می آید.

$$1(A) = \frac{1(C)}{1(s)}$$

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:

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

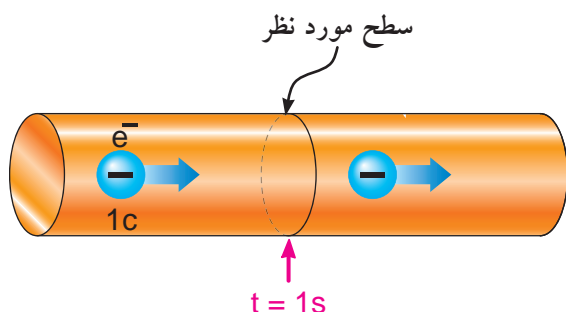
**مثال:** اگر باری برابر با ۶ کولن در طی مدت ۳ ثانیه از سیمی مطابق شکل ۳-۵ عبور کند، چند آمپر جریان در مدار جاری شده است؟

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

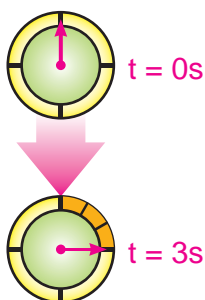
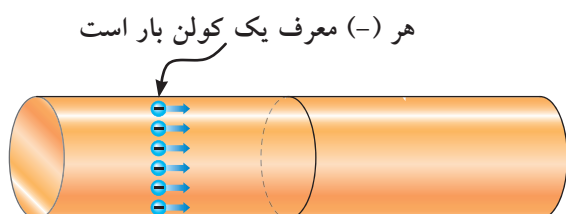
حل:

حرکت الکترون های آزاد در درون سیم به صورت «ضربه ای»<sup>۱</sup> صورت می گیرد. یعنی در مدارهای والانس، الکترون ها با یکدیگر برخورد می کنند و از اتمی به اتم دیگر منتقل می شوند. سرعت این ضربه ها در حدود سرعت سیر نور (۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه) است. (شکل ۶-۳)

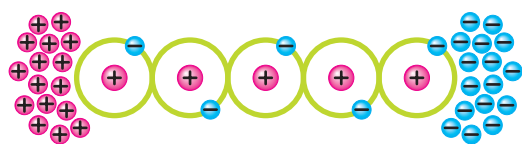
چون اتم ها خیلی به هم نزدیک هستند به محض وارد شدن الکترون آزاد جدید آن الکترون انرژی خود را به الکترون دیگر می دهد و آن را دفع می کند و به سمت دیگر می راند. (شکل ۷-۳)



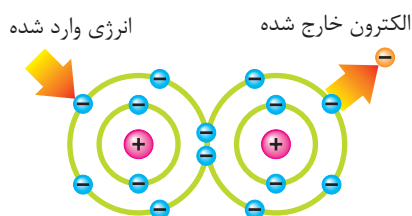
شکل ۳-۴ حرکت الکترون از سطح موردنظر در یک ثانیه



شکل ۳-۵ تعداد الکترون هایی که از سطحی مشخص در طی سه ثانیه می گذرند.

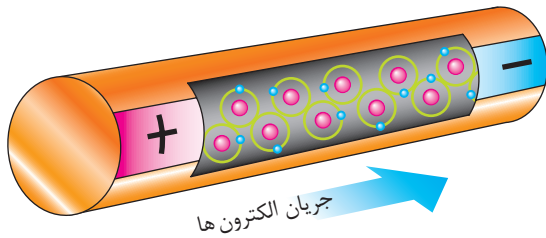


شکل ۳-۶ حرکت الکترون ها از سمت پتانسیل مثبت به سمت پتانسیل منفی است



شکل ۳-۷ جابه جایی الکترون در اثر انرژی

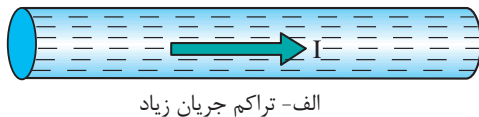




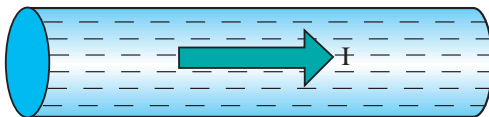
شکل ۳-۸- نمایشی از ضربه های انرژی به الکترون ها



شکل ۳-۹- شکل ظاهری یک نمونه آمپر متر

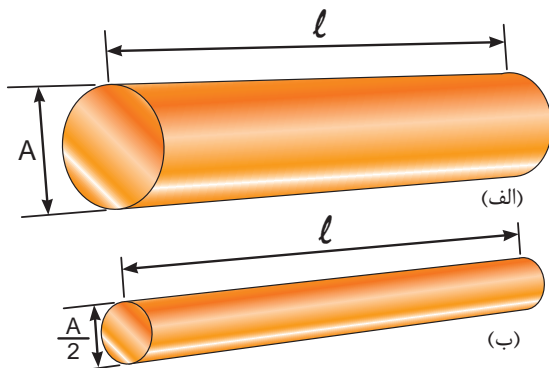


الف- تراکم جریان زیاد



ب- تراکم جریان کم

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



شکل ۳-۱۱- تصویر دو سیم با سطح مقطع های مختلف

ضربه های انرژی که از یک الکترون به الکترون دیگر برخورد می کند و باعث جابه جایی آن می شود را در اصطلاح جریان الکتریکی می نامند. در شکل ۳-۸ ضربه های انرژی وارد شده به الکترون ها را مشاهده می کنید.

در مدارهای الکتریکی برای اندازه گیری جریان از وسیله ای به نام آمپر متر که علامت اختصاری آن  $\text{A}$  است، استفاده می شود. شکل ۳-۹ تصویر یک نمونه آمپر متر را نشان می دهد.

یکی از مشخصه هایی که در بحث جریان مطرح می شود «تراکم» یا «چگالی» جریان است.

طبق تعریف، مقدار معینی جریان الکتریکی که از واحد سطح مقطع سیم می تواند عبور کند را تراکم جریان می گویند.

$$j = \frac{I}{A}$$

تراکم جریان از رابطه:

و بر حسب  $\frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$  آمپر بر میلی متر مربع محاسبه می شود. (شکل ۳-۱۰)

$$I = \text{جریان عبوری از سیم}$$

$$A = \text{سطح مقطع سیم بر حسب میلی متر مربع}$$

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

## ۲-۳- اختلاف سطح الکتریکی و چگونگی ایجاد آن به وسیله انرژی های مختلف

همان طوری که می دانید برای انجام کار باید انرژی الکتریکی در حال حرکت باشد. نیرویی را که باعث به وجود آمدن جریان الکتریکی در مدار می شود «نیروی محرکه الکتریکی یا EMF» می نامند. 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 ۱۲-۳)

«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 آن ها بستگی دارد. (شکل ۱۳-۳)

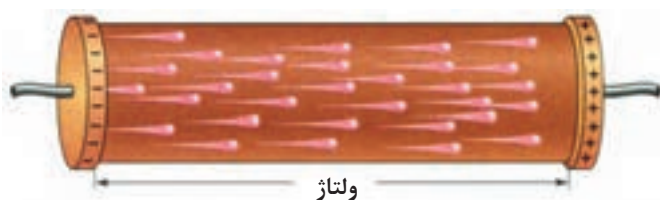
پتانسیل الکتریکی از رابطه زیر محاسبه می شود:

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

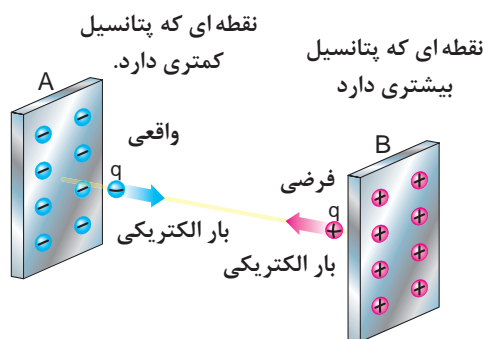
هرگاه کار بر حسب ژول و مقدار بار الکتریکی بر حسب کولن باشد پتانسیل الکتریکی بر حسب ولت بدست می آید.

تعریف واحد ولت:

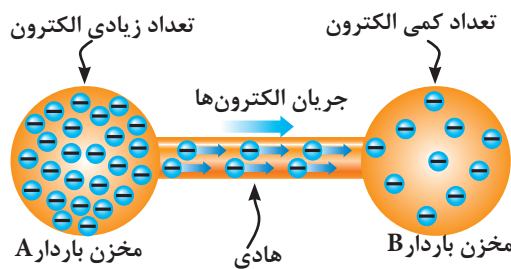
$$1(V) = \frac{1(J)}{1(C)}$$



شکل ۱۲-۳



شکل ۱۳-۳- 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 الکترون‌ها از مخزن بار بیشتر به مخزن کمتر.



شکل ۳-۱۵- چند نمونه پیل



شکل ۳-۱۶- دو نمونه ولت متر

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

$$V = V_A - V_B = V_{AB}^1 \text{ اختلاف پتانسیل}$$

$$\Rightarrow V_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

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

۲۲۰ ولت - ولتاژ منازل مسکونی

۳۸۰ ولت - ولتاژ مراکز صنعتی

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

برای اندازه گیری ولتاژ از وسیله‌ای به نام ولت متر که علامت اختصاری آن به صورت  است استفاده می‌شود. (شکل ۳-۱۶)

نیروی محرکه الکتریکی (ولتاژ) را می‌توان با استفاده از انرژی‌های مختلف تولید کرد که در این جا به اختصار با چگونگی تولید انرژی الکتریکی از روش های مختلف آشنا می‌شویم.

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

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

## ۳-۳- روش های تولید و مصرف الکتریسیته

### ۳-۳-۱- تولید الکتریسیته

در اثر آزاد شدن الکترون ها از اتمشان، الکتریسیته بوجود می آید. چون الکترون های والانس بیش از سایر الکترون ها از هسته دورند و هم چنین بالاترین سطح انرژی را دارند، به آسانی آزاد می شوند.

انرژی داده شده به لایه ی والانس بین الکترون های آن لایه تقسیم می شود. در نتیجه هرچه الکترون های والانس موجود بیشتر باشد هر الکترون انرژی کمتری دریافت می کند. اگر در اتمی تعداد الکترون های والانس کمتری داشته باشد، الکترون های هر اتم مقدار انرژی بیشتری دریافت خواهد کرد و به راحتی از مدار خود خارج خواهد شد.

شکل ( ۱۷-۳ ) تصویر کلی از روش های تولید الکتریسیته را نشان می دهد.



شکل ۱۷-۳ روش های تولید الکتریسیته

### الکتریسیته حاصل از اصطکاک (مالش):

هرگاه دو جسم مانند پارچه ابریشمی را با میله شیشه ای یا یک میله کائوچویی را به پارچه پشمی مالش دهیم، بار الکتریکی تولید می شود. به این بارها «الکتریسیته ساکن» می گویند.

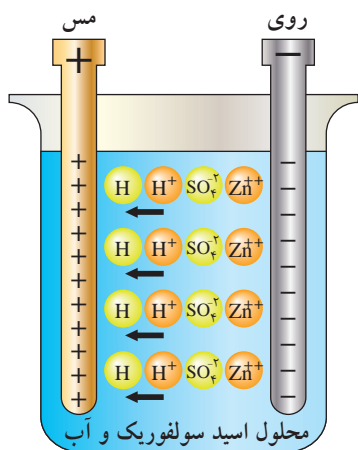
الکتریسیته ساکن هنگامی بوجود می آید که جسمی الکترون هایش را به جسم دیگر منتقل کند. در سطح ماده، اتم هایی وجود دارد که بر خلاف سایر اتم های ماده نمی توانند با اتم هایی دیگر درگیر شوند. در نتیجه آن ها در سطح خارجی چند الکترون آزاد دارند و به همین دلیل عایق هایی مانند شیشه و کائوچو می توانند الکتریسیته ساکن را تولید کنند. بر اثر مالش، در اتم های سطح خارجی برای آزاد کردن الکترون ها انرژی حرارتی به وجود می آید که به آن اثر تریبو الکتریک (TRIBOELECTRIC) نیز می گویند.



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

## الکتریسیته حاصل از فعل و انفعالات شیمیایی:

برخی مواد شیمیایی با فلزات مخصوصی ترکیب می شوند و واکنش های شیمیایی را ایجاد می کنند که باعث انتقال الکترون ها و تولید بارهای الکتریکی می گردد. باتری تر از جمله وسایلی است که از این راه الکتریسیته تولید می کند. 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 جنس های مس و روی تشکیل شده است. هنگامی که میله های مس و روی را در داخل محلول وارد می کنیم با محلول ترکیب می شوند و در نهایت مس الکترون های والانس خود را از دست داده و از طریق محلول به میله روی انتقال می یابد. بر اثر از دست دادن و گرفتن یون ها میله روی دارای بار منفی و میله مسی دارای بار مثبت می شود. به واقع در این حالت میله مسی کمبود الکترون و میله روی دارای ازدیاد الکترون است.



شکل ۱۹-۳- ساختمان یک نوع باتری تر

شکل (۱۹-۳) تصویری از یک باتری تر با فعل و انفعالات

صورت گرفته در آن را نشان می دهد.

## الکتریسته حاصل از فشار مکانیکی:

هنگامی که به بعضی اجسام فشار وارد کنیم، الکترون های والانس آن ها از مدار خارج می شوند. در نتیجه الکترون ها یک طرف جسم را ترک و در طرف دیگر آن جمع می شوند بنابراین در دو طرف جسم بارهای مثبت و منفی بوجود می آید. در صورتی که فشار قطع شود الکترون ها به مدار اولیه خود باز می گردند. به اثر فشار برای تولید بارهای الکتریکی (الکتریسته) «پیزوالکتریک» می گویند. 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 زمینه های کاربردی این روش می توان به کریستال های پیزوالکتریک که در برخی میکروفون ها بکار می رود و یا فندک های مورد استفاده در وسایل گازسوز امروزی را نام برد. شکل ( ۲۱-۳ )



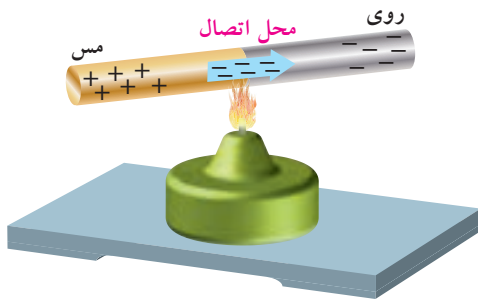
شکل ۲۰-۳



۲۱-۳

(الف)

(ب)



حرارت باعث انتقال الکترون از مس به روی می شود.

۳-۲۲- ترموالکتریک (الکتریسیته‌ی حرارتی)

## الکتریسیته حاصل از حرارت:

همان طوری که می دانید در هنگام اتصال دو جسم غیرمشابه، انتقال الکترون صورت می گیرد. فلزات فعال در درجه‌ی حرارت معمولی اتاق نیز می توانند الکترون آزاد کنند. برای مثال اگر مطابق ( شکل ۲۲-۳ ) دو فلز مس و روی را به یکدیگر متصل کنیم، الکترون‌ها از مس خارج شده و به اتم روی وارد می شوند. در نتیجه فلز روی، الکترون‌های اضافی کسب کرده و دارای بار منفی می شود و بالعکس مس که الکترون‌های خود را از دست داده دارای بار مثبت می شود.

مقدار بارهایی که در درجه حرارت اتاق تولید می شوند 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 می شود و الکترون‌های بیشتری آزاد می گردند. به این روش «ترموالکتریک» گفته می شود.

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



۳-۲۳

## الکتریسیته حاصل از نور:

نور نوعی انرژی است که از ذرات حامل انرژی به نام فوتون به وجود می آید. هنگامی که فوتون‌های یک شعاع نوری با جسمی برخورد می کنند، انرژی خود را از دست می دهند. در بعضی اجسام انرژی فوتون‌ها باعث آزادی الکترون‌ها می شود. موادی مانند پتاسیم، سدیم، ژرمانیم و سولفات سرب در مقابل نور الکترون از دست می دهند.





۳-۲۴

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

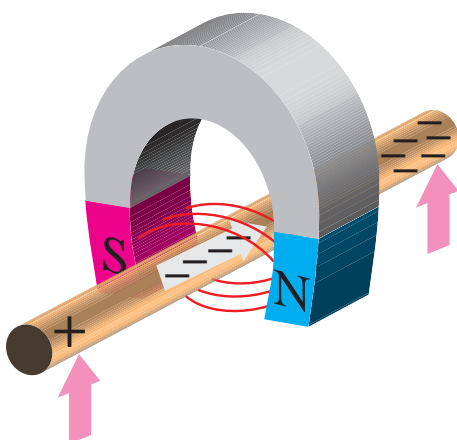
در این روش انرژی نورانی تابیده شده به یکی از دو صفحه ی متصل به هم باعث تخلیه ی الکترون از یکی به دیگری می شود. در نتیجه مانند باتری در دو صفحه بارهای مخالف ایجاد می شود.

امروزه با استفاده از نور تابیده شده خورشید بر روی صفحات (سلول های) خورشیدی الکتریسیته تولید می شود. ( شکل ۲۴-۳ ) تصویر دو نمونه کاربرد این روش را نشان می دهد.

## الکتریسیته حاصل از مغناطیس:

همانطوری 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 داخل سیم آزاد می شوند و داخل سیم یک 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.



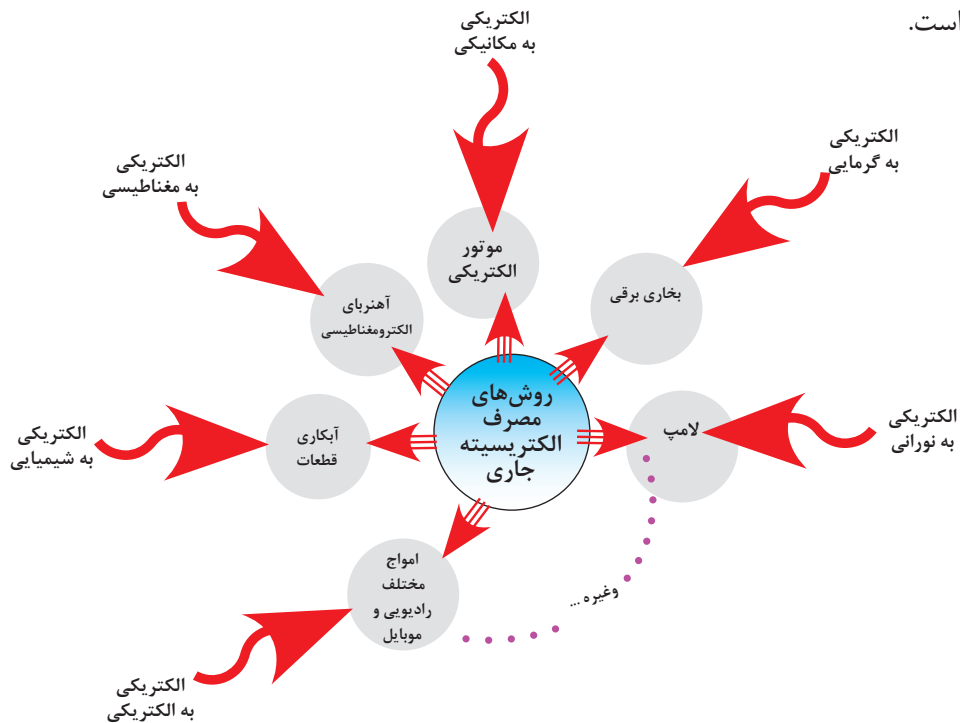
۳-۲۵ الکتریسیته ی مغناطیسی (الکترومغناطیس)



۳-۲۶

## ۳-۳-۲ مصرف الکتریسیته

در عمل، زمینه های مصرف الکتریسته تقریباً در تمامی علوم به نوعی کاربرد دارد که در (شکل ۱۶-۳) به چند نمونه آن اشاره شده است.

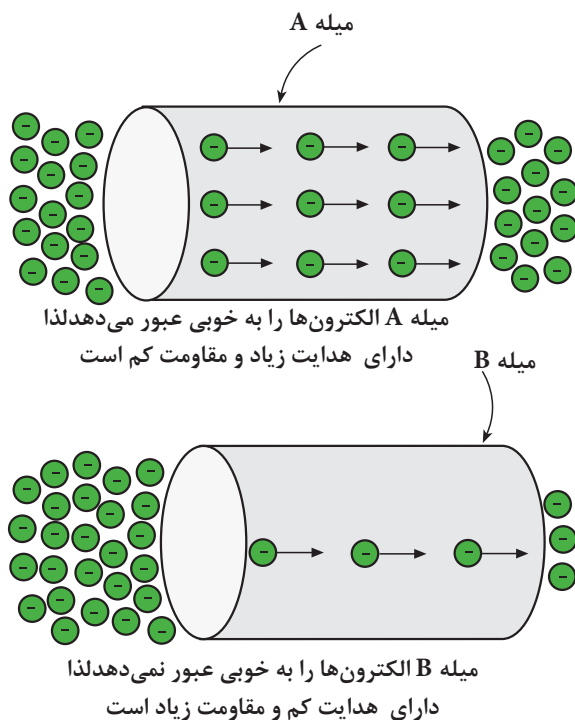


۳-۱۶

## ۳-۳-۳ هدایت و مقاومت مخصوص

همان طور که قبلاً نیز ذکر شد اجسامی که در طبیعت وجود دارند نمی توانند جریان الکتریکی را به یک اندازه از خود عبور دهند، تعداد الکترون های لایه آخر مواد مختلف با هم متفاوت است. میزان هدایت اجسام را با ضریبی تحت عنوان «ضریب هدایت مخصوص» بیان می کنند. این ضریب نشان می دهد که یک جسم تا چه اندازه جریان الکتریکی را از خود عبور می دهد. ضریب هدایت را با حرف یونانی  $\chi$  (کاپا) نشان می دهند.

ضریب دیگری که در اجسام مطرح می شود «ضریب مقاومت مخصوص» نام دارد. این ضریب میزان مخالفت جسم را نسبت به عبور جریان الکتریکی بیان می کند. ضریب مقاومت مخصوص را با حرف یونانی  $\rho$  (رو) نشان می دهند.



شکل ۱۷-۳ میله B الکترون ها را به خوبی عبور نمی دهد لذا دارای هدایت کم و مقاومت زیاد است.



با کمی دقت در توضیحات فوق می توان نتیجه گرفت که این دو ضریب عکس یکدیگرند و روابط زیر را برای این دو ضریب می توان 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 ۳-۱۷ و ۳-۱۸ این مورد نشان داده شده است.

این دو ضریب بدون واحد بوده و واحد آن ها بر حسب عوامل دیگر بیان می شود. یعنی:

مقدار مقاومت و هدایت مخصوص سیم های مسی و آلومینیومی که در صنعت برق کاربرد دارند عبارتند از:

(هدایت مخصوص مس)  $\chi_{cu} = 56$

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

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

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

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

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

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



الف - ضریب هدایت گیره کاغذ زیاد است در نتیجه با وصل به پیچ لامپ روشن می شود



ب - ضریب مقاومت پاک کن زیاد است در نتیجه با وصل به پیچ لامپ روشن نمی شود.

شکل ۳-۱۸

## ۳-۴- مقاومت الکتریکی

«مقاومت الکتریکی» خاصیتی است که جسم در مقابل عبور جریان الکتریکی از خود مخالفت نشان می دهد. این مخالفت گاهی مانند مقاومت الکتریکی سیم های رابط به صورت ناخواسته و مزاحم در مدارهای الکتریکی وجود دارد. این مقاومت باعث ایجاد تلفات الکتریکی می شود. (شکل ۳-۱۹)



شکل ۳-۱۹- سیم های رابط خطوط انتقال باید دارای مقاومت کمی باشند. مقاومت این سیم ها از نوع مقاومت های مزاحم است.



شکل ۳-۲۰- رشته حرارتی اتوی برقی به عنوان مقاومت الکتریکی نقش تولید حرارت و کنترل جریان را به عهده دارد.

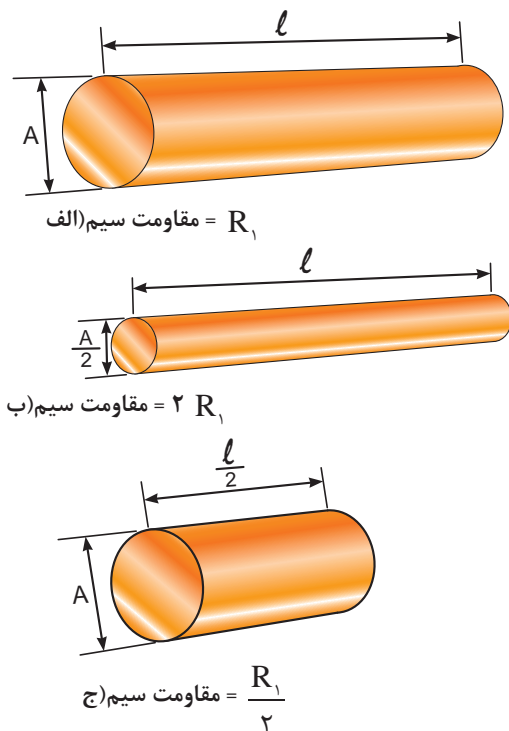
مقاومت می تواند به عنوان عاملی از پیش تعیین شده به صورت یک مصرف کننده در مدارهای الکتریکی قرار گیرد. رشته حرارتی (المنت) اتوی خشک برقی به عنوان یک مقاومت، نه تنها مزاحم نیست بلکه علاوه بر کنترل جریان الکتریکی حرارت نیز تولید می کند. (شکل ۳-۲۰)

مقدار مقاومت الکتریکی را بر حسب اهم ( $\Omega$ ) می سنجند. مقدار مقاومت الکتریکی به عوامل فیزیکی و الکتریکی گوناگونی بستگی دارد.

### ۳-۴-۱- عوامل فیزیکی مؤثر در مقدار مقاومت الکتریکی:

هرگاه سه قطعه سیم با مشخصات داده شده در شکل ۳-۲۱ را در اختیار داشته باشیم و به طور جداگانه مقدار مقاومت های هر یک از آن ها را اندازه بگیریم به نتایجی می رسیم که نشانگر ارتباط بین عوامل مؤثر در مقاومت الکتریکی یک هادی است. برای بررسی عوامل، موارد زیر را مورد بررسی قرار می دهیم:

۱- مقاومت سیم (الف) را اندازه می گیریم و به عنوان مقاومت مبنا یادداشت می کنیم.



شکل ۳-۲۱- مقایسه مقاومت چند قطعه سیم با ابعاد مختلف

۲- سپس مقاومت سیم (ب) را اندازه می گیریم. در این حالت مشاهده می شود با وجودی که سطح مقطع سیم نصف شده است مقدار مقاومت آن دو برابر افزایش می یابد.

۳- با اندازه گیری مقاومت سیم در مرحله (ج) مشاهده می کنیم که با توجه به اینکه طول سیم در حالت (ج) نسبت به حالت (الف) نصف شده، مقدار مقاومت آن نیز به نصف مقدار در حالت (الف) کاهش یافته است. با مقایسه مراحل (الف، ب و ج) در می یابیم که مقاومت یک سیم با طول آن رابطه مستقیم و با سطح مقطع آن نسبت عکس دارد. مقدار مقاومت سیم را می توان 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 ( $\Omega$ )

$\ell$  - طول سیم بر حسب متر (m)

$A$  - سطح مقطع سیم بر حسب میلی متر مربع ( $\text{mm}^2$ )

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

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

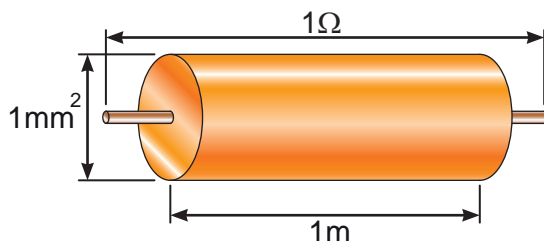
$\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$  که واحد مقاومت مخصوص سیم می باشد بیانگر آن است که مقاومت سیمی به طول یک متر و سطح مقطع یک میلی متر مربع برابر با یک اهم است. (شکل ۲۲-۳)

این مطلب را بصورت ریاضی می توان چنین نوشت:

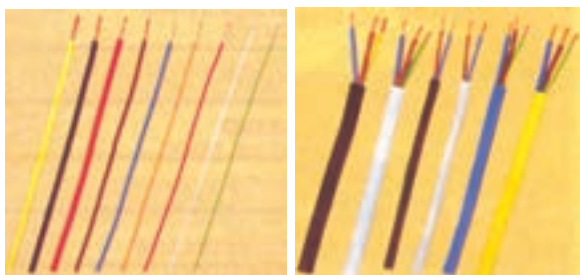
$$R = \rho \frac{\ell}{A} \Rightarrow \rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$$

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

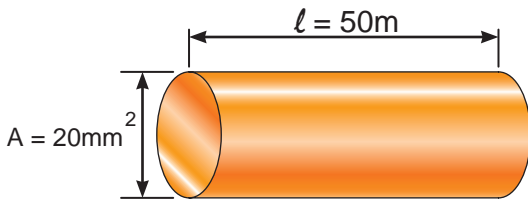
واحد  $\rho$



شکل ۲۲-۳- مشخصات سیمی با مقاومت مخصوص یک اهم



شکل ۲۳-۳- تصاویری از سیم های مسی یک و چند رشته با سطح مقطع  $1/5 \text{ mm}^2$  و طول ۲۰ cm



شکل ۳-۲۴ - سیم مسی به همراه مشخصات



الف - سیم مسی در بین دو گیره سوسماری



ب - سیم تنگستن در بین دو گیره سوسماری.

شکل ۳-۲۵

در شکل ۳-۲۳ تعدادی سیم با سطح مقطع های مختلف را مشاهده می کنید. در انتخاب سطح مقطع سیم برای سیم کشی 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 می یابد و میزان تلفات حرارتی را در سیم بالا می برد.

مثال: مقاومت سیم مسی با مشخصات داده شده در

شکل ۳-۲۴ 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 بر حسب مو (mho) بیان می کنند.  $\left(1 \text{ mho} = \frac{1}{\Omega}\right)$  تصاویر ۳-۲۵ الف و ۳-۲۵ ب 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.

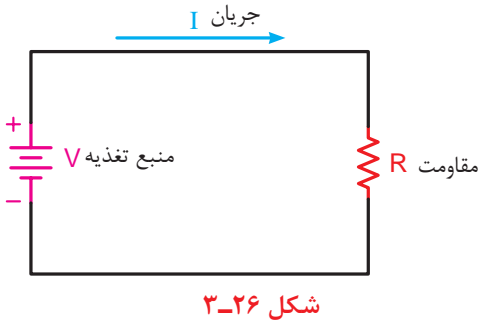
هدایت الکتریکی را می توان از رابطه زیر بدست آورد:

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

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  یا  است. (شکل ۳-۲۶)



## ۳-۴-۳- چگونگی تبدیل واحدها به یکدیگر:

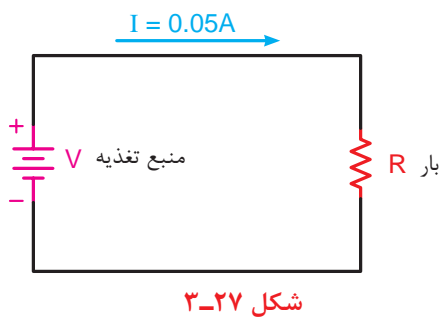
همان گونه که اشاره شد کمیت های الکتریکی جریان (I) و ولتاژ (V) و مقاومت (R) به ترتیب دارای واحدهای آمپر (A)، ولت (V) و اهم ( $\Omega$ ) هستند. در مدارهای الکتریکی این واحدها در مقیاس های کوچک تر یا بزرگ تر از واحد اصلی خود نیز به کار می روند. جدول ۳-۱ نحوه تبدیل این واحدها را به یکدیگر نشان می دهد.

**توضیح:** ضرایبی که با رنگ قرمز مشخص شده اند در مباحث الکتریسیته کاربرد دارند.

مثال: شدت جریان عبوری از مدار شکل ۳-۲۷ معادل چند میلی آمپر است؟

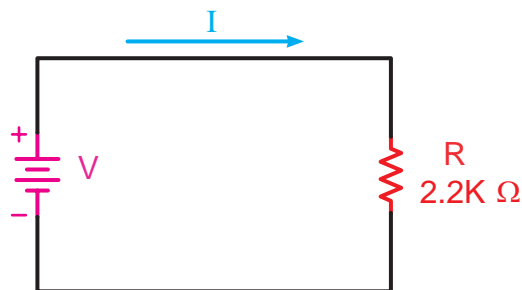
$$I = 0.05 \times 10^{-3} = 5 \times 10^{-2} \times 10^{-3}$$

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



جدول ۱-۳- اجزاء و اضعاف واحدهای اصلی الکتریکی

مقدار ضریب	شکل نمایی ضریب	نام ضریب	حرف اختصاری	چگونگی تبدیل ضرایب
۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰	$10^{12}$	ترا	T	<div> <p>از واحدهای بزرگتر به واحدهای کوچکتر در ضرایب دارای توان مثبت ضرب یا برضرایب دارای توان منفی تقسیم می کنیم.</p> <p>از واحدهای کوچکتر به واحدهای بزرگتر در ضرایب دارای توان منفی ضرب یا برضرایب دارای توان مثبت تقسیم می کنیم.</p> </div>
۱۰۰۰۰۰۰۰۰	$10^9$	گیگا	G	
۱۰۰۰۰۰۰	$10^6$	مگا	M	
۱۰۰۰	$10^3$	کیلو	K	
۱۰۰	$10^2$	هکتو	H	
۱۰	$10^1$	دکا	da	
۱	$10^0$	واحد اصلی		
۰/۱	$10^{-1}$	دسی	d	
۰/۰۱	$10^{-2}$	سانتی	c	
۰/۰۰۱	$10^{-3}$	میلی	m	
۰/۰۰۰۰۰۱	$10^{-6}$	میکرو	m	
۰/۰۰۰۰۰۰۰۱	$10^{-9}$	نانو	n	
۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱	$10^{-12}$	پیکو	p	

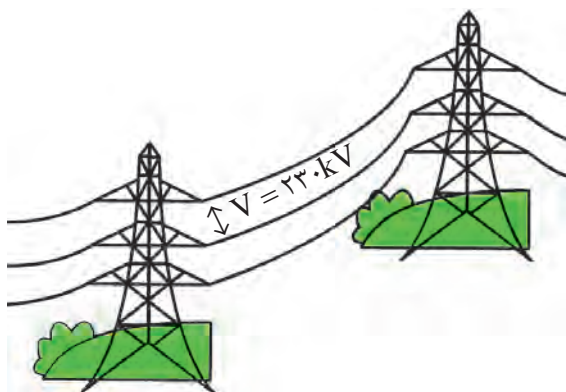


شکل ۲۸-۳- منبع تغذیه

مثال: مقاومت R مدار شکل ۲۸-۳ معادل چند اهم

است؟

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



شکل ۲۹-۳

مثال: ولتاژ نشان داده شده در بین دو سیم شکل ۲۹-۳

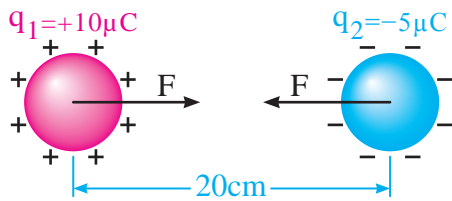
معادل چند میلی ولت است؟

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

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

$$= 23 \times 10^4 \times 10^{-3} = 2 \times 10^7$$

$$V = 23000000 \text{ mV}$$



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

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

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

$$F = \frac{-450 \times 10^{-9} \times 10^{-12}}{400 \times 10^{-4}} = \frac{-450 \times 10^{-21}}{400 \times 10^{-4}}$$

$$F = \frac{-450 \times 10^{-23} \times 10^4}{400} = -1125 \times 10^{-19} = -1125 \text{ N}$$

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

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

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

مثال: بار الکتریکی  $q = 2 \mu\text{C}$  در یک نقطه از میدان بر بار  $q_0$ ، نیروی ۶ میلی نیوتن وارد می شود. اندازه میدان الکتریکی در این نقطه چند  $\frac{\text{N}}{\text{C}}$  است؟

## ۵-۳- انواع مقاومت ها

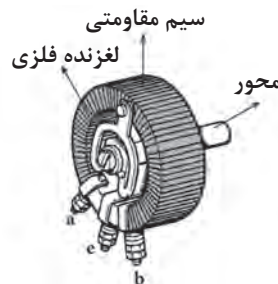
مقاومت های الکتریکی به انواع زیر تقسیم می شوند:

انواع مقاومت ها

۱- مقاومت های ثابت

۲- مقاومت های متغیر

الف - با تنظیم دستی  
ب- تابع عوامل فیزیکی



(الف)

در شکل ۳۰-۳ نمونه هایی از مقاومت های ثابت و متغیر

را مشاهده می کنید.

(ب)

شکل ۳۰-۳- مقاومت های ثابت و متغیر



## ۱-۵-۳- مقاومت های ثابت

به آن گروه از مقاومت ها که مقدار آن ها را با دست نمی توان تغییر داد «مقاومت های ثابت» می گویند. این مقاومت ها در انواع مختلف ساخته می شوند که شکل ۳-۳۱ نمونه هایی از آن را نشان می دهد.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۳-۳۱- مقاومت های ثابت



الف - مقدار مقاومت با چرخاندن ولوم به وسیله پیچ گوشتی تغییر می کند.



ب - مقدار مقاومت با چرخاندن ولوم به کمک دست تغییر می کند.

شکل ۳-۳۲- انواع مقاومت های متغیر با تنظیم دستی

## ۲-۵-۳- مقاومت های متغیر

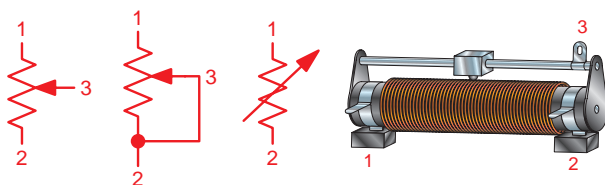
گروهی از مقاومت ها هستند که امکان تغییر مقدار در آن ها به کمک دست و عوامل فیزیکی وجود دارد. این مقاومت ها را «مقاومت متغیر» می گویند.

مقاومت های متغیر دارای دو پایه ثابت و یک پایه متغیر هستند مقاومت های متغیر به دو صورت «تنظیم دستی» و «تابع عوامل فیزیکی» ساخته می شوند.

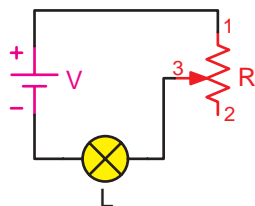
در نوع دستی، مقدار مقاومت را می توان با یک اهرم (لغزنده) و با چرخاندن پیچ گوشتی به کمک دست تغییر داد. در شکل ۳-۳۲ تصویر ظاهری انواع مقاومت های متغیر با تنظیم دستی را مشاهده می کنید.

مقاومت های متغیر با تنظیم دستی به دو صورت در مدارها به کار می روند.

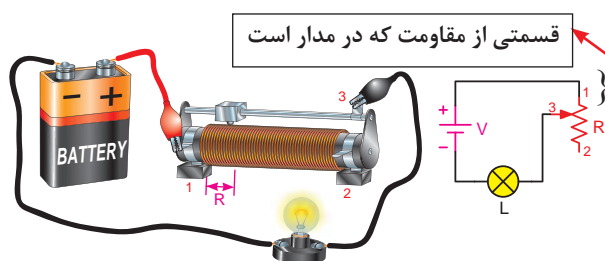




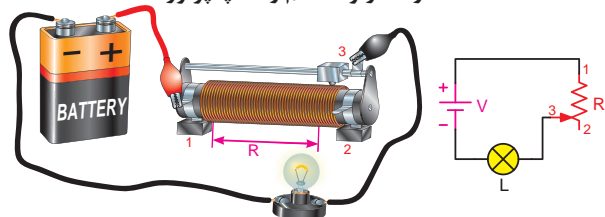
شکل ۳-۳۳ - تصویر ظاهری و علائم اختصاری  
مقاومت متغیر



شکل ۳-۳۴ - نحوه اتصال مقاومت متغیر در حالت رئوستایی

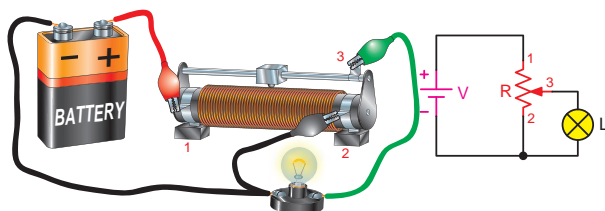


الف - مقاومت رئوستا کم و لامپ پرنور است.



ب - مقاومت رئوستا زیاد و لامپ کم نور است.

شکل ۳-۳۵



شکل ۳-۳۶

## - حالت های رئوستایی: هرگاه از یک پایه ثابت

و پایه متغیر استفاده شود در اصطلاح گفته می شود که مقاومت متغیر در حالت رئوستایی قرار گرفته است. شکل ۳-۳۳ پایه های ثابت و متغیر مقاومت را به همراه علامت اختصاری آن نشان می دهد.

از مقاومت متغیر در حالت رئوستایی برای کنترل جریان مصرف کننده استفاده می شود. یعنی به واسطه تغییر در مقدار مقاومت می توانیم جریان مدار را کم یا زیاد کنیم. شکل ۳-۳۴ نحوه اتصال مقاومت متغیر به حالت رئوستایی در مدار را نشان می دهد.

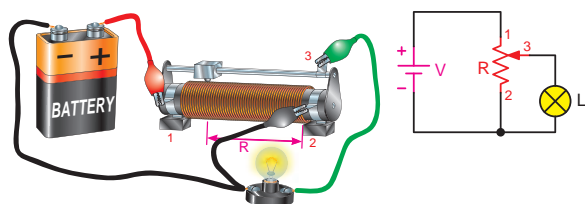
همان گونه که در شکل ۳-۳۵ الف مشاهده می کنید با حرکت دادن پایه متحرک (۳) به سمت پایه ثابت (۱) مقدار مقاومت موجود در مسیر لامپ کاهش می یابد و جریان عبوری زیاد می شود و لامپ را پر نورتر می کند.

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

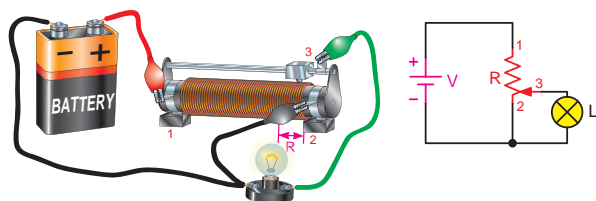
## - حالت های پتانسیومتری: اگر از هر سه پایه

(دو پایه ثابت و یک پایه متغیر) یک مقاومت متغیر استفاده شود در اصطلاح گفته می شود که مقاومت متغیر در حالت پتانسیومتری بسته شده است.

از این حالت اتصال مقاومت های متغیر در مدارها برای کنترل ولتاژ مصرف کننده استفاده می شود. یعنی با تغییر در مقدار مقاومت می توان ولتاژ مصرف کننده را کم و زیاد کرد. شکل ۳-۳۶ نحوه اتصال مقاومت در حالت پتانسیومتری را نشان می دهد.



الف - مقاومت پتانسیومتر زیاد و نور لامپ زیاد



ب - مقاومت پتانسیومتر کم و نور لامپ کم.

شکل ۳-۳۷



شکل ۳-۳۸ - انواع مقاومت های NTC و علامت اختصاری آن.



الف - علامت اختصاری

ب - شکل ظاهری

شکل ۳-۳۹ - انواع مقاومت های PTC و همراه علامت اختصاری آن

در مدار شکل ۳-۳۷ الف هرگاه پایه متحرک (۳) را به پایه ثابت (۱) نزدیک کنیم مقدار مقاومت پتانسیومتر که به دو سر لامپ اتصال دارد، افزایش می یابد و نور لامپ زیاد می شود. در صورتی که پایه متحرک (۳) را به پایه ثابت (۲) نزدیک کنیم مقدار مقاومت متصل شده به دو سر لامپ کاهش می یابد و نور لامپ کم می شود. (شکل ۳-۳۷ ب)

### ۳-۵-۳ - مقاومت وابسته به حرارت

(ترمیستور):

این مقاومت ها تابع حرارت هستند و تغییرات دما روی مقدار مقاومت آن ها اثر می گذارد. این نوع مقاومت ها در دو نوع NTC و PTC وجود دارند.

- **مقاومت حرارتی NTC:** ترمیستورهایی هستند

که در اثر افزایش دما مقدار مقاومت آنها کاهش می یابد. (شکل ۳-۳۸)

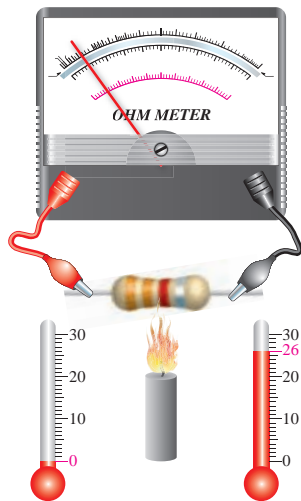
- **مقاومت حرارتی PTC:** ترمیستورهایی هستند

که در اثر افزایش دما مقدار مقاومتشان افزایش می یابد. (شکل ۳-۳۹)

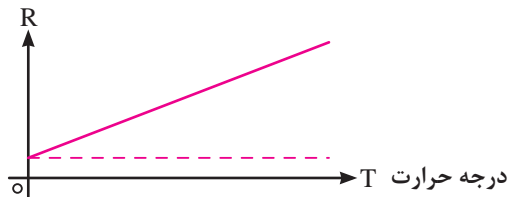
1 - PTC-Positive Temperature Coefficient

2 - Photo Resistor

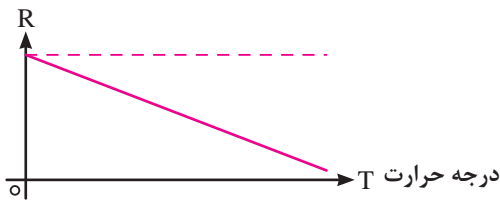
3 - LDR- light dependent Resistor



شکل ۳-۴۰



شکل ۳-۴۱



شکل ۳-۴۲

## ●●● اثر حرارت بر مقاومت الکتریکی:

یکی از عوامل فیزیکی که بر روی مقدار مقاومت ها 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 می دهند.

اصطلاحاً به تغییرات مقدار مقاومت به ازای یک درجه سانتیگراد «ضریب حرارتی» می گویند که به  $(\alpha)$  نمایش می دهند.

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 بصورت شکل (۳-۴۱) و مقاومت های NTC دارای ضریب حرارتی منفی  $(-\alpha)$  و مشخصه ای بصورت شکل (۳-۴۲) 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  $[\Omega]$

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

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

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

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

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

$$R_t = 87/5 \Omega \quad (\alpha = 0.005)_{^\circ\text{C}}$$

مثال: مقاومت الکتریکی سیمی در صفر درجه سانتی گراد

$50 \Omega$  است. اگر دمای سیم به  $150$  درجه سانتیگراد برسد؛

مقاومت الکتریکی سیم چند اهم می شود؟  $(\alpha = 0.004)_{^\circ\text{C}}$

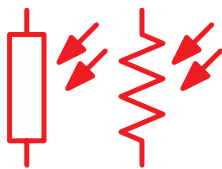


اگر مقاومت المنت یک سماور برقی در صفر درجه سانتیگراد  $100\Omega$  بوده و در ضمن کار کردن به  $150\Omega$  برسد چه مقدار درجه حرارت المنت افزایش یافته است؟ ( $\alpha = 0.05$ )

- الف) ۱۰۰  
ب) ۱۲۰  
ج) ۸۰  
د) ۱۵۰

#### ۴-۵-۳- مقاومت وابسته به نور (فتورزیستور)<sup>۱</sup>:

مقدار مقاومت تابع نور (LDR)<sup>۲</sup> وابسته به شدت نور تابیده شده به آن می باشد. هر قدر شدت نور بیشتر شود مقدار مقاومت فتورزیستور کاهش می یابد. (شکل ۴۰-۳)



ب) علامت اختصاری

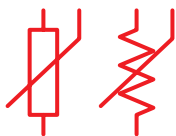


الف) شکل ظاهری

شکل ۴۰-۳- تصویر ظاهری و علامت اختصاری مقاومت LDR

#### ۵-۴-۳- مقاومت وابسته به ولتاژ (وارزیستور)<sup>۳</sup>:

مقاومت های متغیری هستند که مقدار مقاومت آن ها به ازای ولتاژهای مختلف ثابت نیست و تغییر می کند. در این نوع مقاومت ها که به (VDR)<sup>۴</sup> معروف هستند، هر قدر ولتاژ داده شده بیشتر شود، مقدار مقاومت کاهش می یابد. (شکل ۴۱-۳)



ب) علامت اختصاری



الف) شکل ظاهری

شکل ۴۱-۳- تصویر مقاومت وابسته به ولتاژ و علامت اختصاری آن

1 - Photo Resistor

2 - LDR- Light Dependent Resistor

3 - Varistor

4 - VDR- Voltage Dependent Resistor

## ۳-۶- تکنیک ساخت مقاومت ها

مقاومت های الکتریکی را از نظر تکنولوژی ساخت به سه

گروه می توان تقسیم کرد:

### ۳-۶-۱- مقاومت های توده کربنی

(ترکیب کربن<sup>۱</sup>):

مقاومت های توده کربنی از مخلوط کردن پودر نرم کربن

یا گرافیت با پودر عایق ساخته می شوند. به مخلوط فوق یک

نوع چسب اضافه شده تا به صورت خمیر درمی آید و درون

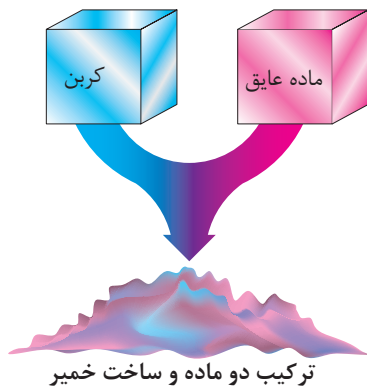
یک قالب استوانه ای با ابعاد خاص فشرده می شود. سپس

سیم های اتصال را در درون خمیر فرو می برند و مجموعه را

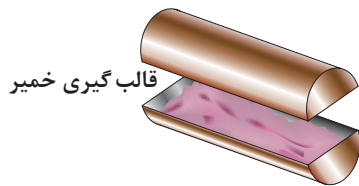
درون کوره می پزند تا سخت شود. در انتها برای محافظت

در مقابل رطوبت و عایق کردن مقاومت، روی آن را یک لایه

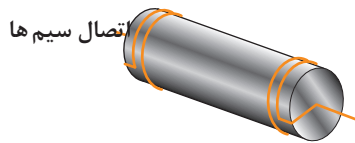
لاک محکم می کشند. (شکل ۳-۴۲)



(الف)



(ب)



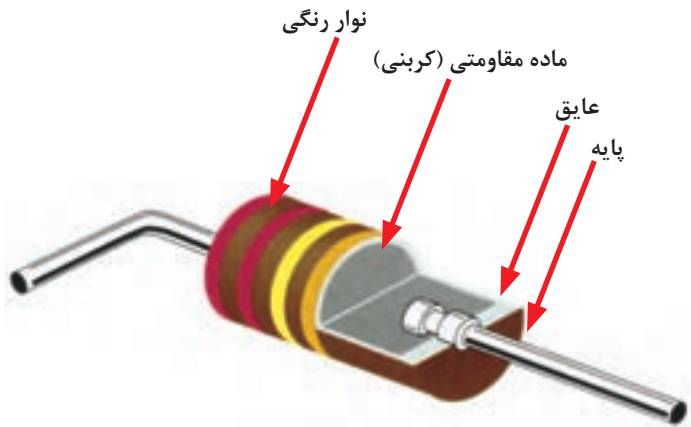
(ج)

قرار دادن لایه روکش



(د)

شکل ۳-۴۲- مراحل ساخت مقاومت توده کربنی



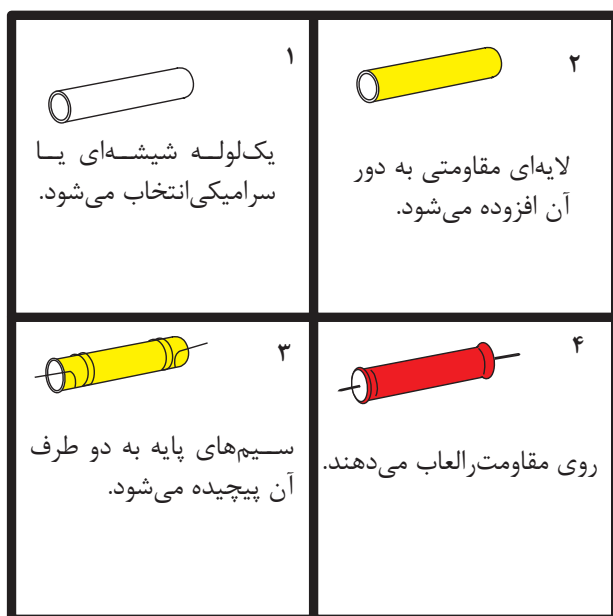
شکل ۳-۴۳ نمونه برش خورده ای از این مقاومت ها را

نشان می دهد.

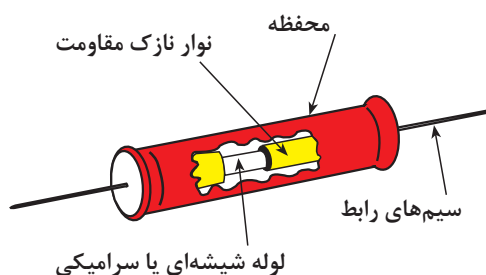
شکل ۳-۴۳- نمونه برش خورده مقاومت توده کربنی

## ۲-۶-۳- مقاومت های لایه ای<sup>۱</sup>:

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 ۳-۴۴ مراحل ساخت این نوع مقاومت ها را نشان می دهد.

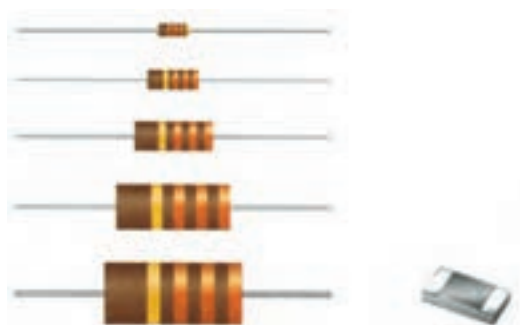


الف - مراحل ساخت مقاومت لایه ای



ب - نمای برش خورده مقاومت لایه ای

شکل ۳-۴۴



الف) مقاومت لایه کربن      ب) مقاومت لایه فلز

شکل ۳-۴۵ مقاومت های لایه ای

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<sup>۲</sup>»، «مقاومت لایه فلز<sup>۳</sup>» و «مقاومت لایه اکسید فلز<sup>۴</sup>» ساخته می شوند. (شکل ۳-۴۵)

1 - Film Resistor

2 - Carbon. Film Resistor

3 - Metal Film Resistor

4 - Metal Film Resistor

### ۳-۶-۳- مقاومت های سیمی<sup>۱</sup>

در این نوع مقاومت یک سیم مقاومت دار را که معمولاً از جنس کرم - نیکل است با طول و سطح مقطع معین به دور یک هسته عایق (سرامیکی) می پیچند و سپس سر سیم ها به کلاهک های مخصوصی متصل می شوند. در خاتمه نیز سطح مقاومت را با یک روکش سرامیکی، پلاستیکی یا سیلیکونی می پوشانند. (شکل ۳-۴۶)



شکل ۳-۴۶- یک نوع مقاومت سیمی

### ۳-۷- نحوه خواندن مقدار مقاومت ها

مقدار مقاومت ها را روی بدنه آن ها می نویسند (مانند: مقاومت های سیمی) و یا به کمک نوارهای رنگی مشخص می کنند (مانند مقاومت های کربنی و لایه ای) شکل ۳-۴۷ نمونه هایی از این مقاومت ها را نشان می دهد.



(الف)

از مشخصات مهم مقاومت ها می توان به سه عامل زیر اشاره کرد:

#### ۱- مقدار مقاومت: میزان خاصیت اهمی مقاومت را

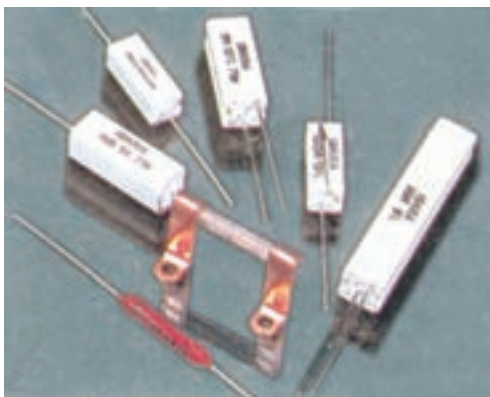
مقدار مقاومت می نامند و آن را با اهم مشخص می کنند.

#### 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 می نامند. مقدار خطا را به صورت مثبت و منفی درصد ( $\pm\%$ ) می نویسند.

#### ۳- توان مجاز مقاومت: حداکثر قدرت تحمل مقاومت

در مقابل عبور جریان الکتریکی را «توان مجاز» می نامند.



(ب)

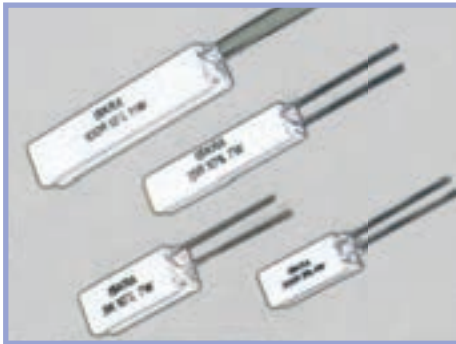
شکل ۳-۴۷- نمونه هایی از مقاومت های سیمی و کربنی



## ۱-۷-۳- خواندن مقاومت ها با روش

### مستقیم

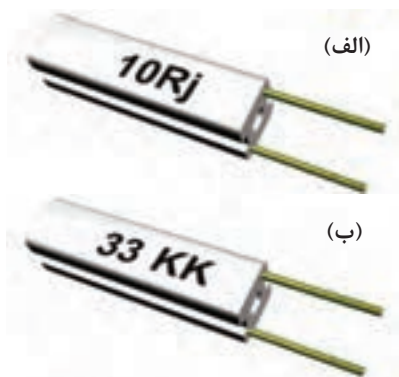
در این روش مقدار مقاومت همراه با میزان تolerانس روی بدنه آن نوشته می شود. (شکل ۳-۴۸) یا از حروف اختصاری برای مشخص کردن مقدار تolerانس مقاومت استفاده می کنند. در این شرایط اگر مقدار مقاومت عدد صحیح باشد آن عدد عیناً نوشته می شود و در این حالت واحد مقاومت را با حروف R برای اهم، k برای کیلو اهم و M برای مگا اهم مشخص می کنند. در صورتی که مقدار مقاومت عدد اعشاری باشد از حروف مربوط به واحدها به عنوان ممیز استفاده می کنند. در این روش تolerانس طبق جدول ۳-۲ بیان می شود.



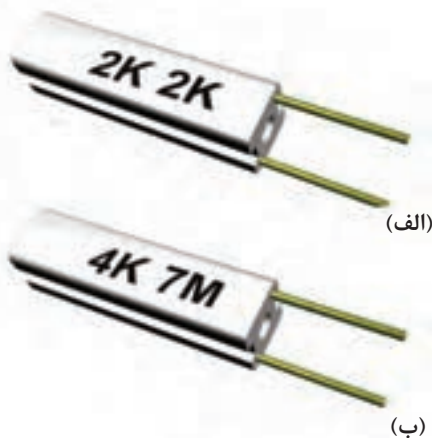
شکل ۳-۴۸

### جدول ۳-۲- حروف اختصاری تolerانس مقاومت های سیمی

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



شکل ۳-۴۹- دو نمونه مقاومت سیمی



شکل ۳-۵۰

برای آشنایی بیشتر با این روش به ذکر چند مثال می پردازیم:

**مثال:** مقدار اهم و تolerانس مقاومت های نشان داده شده در شکل ۳-۴۹ چقدر است؟

**حل:** با توجه به جدول حروف رمز داریم که:

$$(الف) 10Rj = 10\Omega \pm 5\%$$

$$(ب) 33KK = 33K\Omega \pm 10\%$$

**مثال:** روی بدنه مقاومت هایی با مقدار اهم و تolerانس زیر

از چه حروفی استفاده می شود؟

$$(الف) R = 2/2 K\Omega \pm 10\%$$

$$(ب) R = 4/7 K\Omega \pm 20\%$$

**حل:** براساس جدول حروف رمز به صورت شکل ۳-۵۰ است.



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

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

شکل ۳-۵۱- مقاومت های دارای ۴ حلقه رنگی

در این روش برای تعیین مقدار اهم و تیرانس 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 ۳-۵۱ 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 تیرانس مقاومت است.

**توضیح:** اگر حلقه رنگی چهارم وجود نداشته باشد (بدون رنگ) مقدار تیرانس درصد خطا را ۲۰٪ در نظر می گیریم.



توجه

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.

برای آشنایی بیشتر با این روش به ذکر چند مثال می پردازیم:

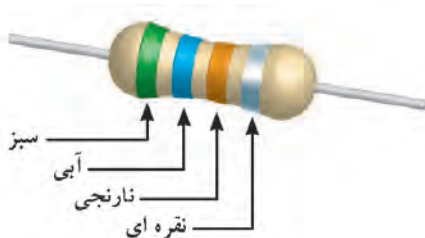
**مثال:** نوارهای رنگی مقاومتی مطابق شکل ۳-۵۲ است مقدار مقاومت و تیرانس آن چقدر است؟

**حل:**

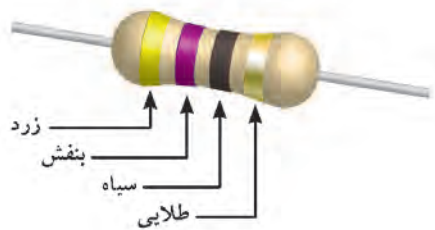
نقره ای - نارنجی - آبی - سبز

۱۰٪ ۰۰۰ ۶ ۵

$$5600 \Omega = 56 \times 10^2 \Omega \pm 1\%$$



شکل ۳-۵۲



شکل ۳-۵۳

مثال: مقدار مقاومت و تolerانس شکل ۳-۵۳ را مشخص کنید.

حل: با توجه به جدول نوارهای رنگی می توان نوشت:

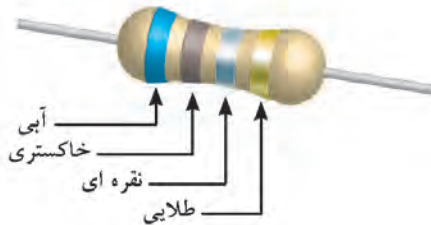
طلایی - سیاه - بنفش - زرد

۵٪ - ۷ - ۴

$$47\Omega \pm 5\%$$

مثال: مقدار اهم و میزان تolerانس مقاومت شکل ۳-۵۴

چقدر است؟



شکل ۳-۵۴

طلایی - نقره ای - خاکستری - آبی

۵٪ - ۰/۰۱ - ۸ - ۶

$$68 \times 0.01 = 0.68 \pm 5\%$$

مثال: نوارهای رنگی مقاومت  $3.3K\Omega \pm 10\%$  را تعیین

کنید.

حل: با کمک جدول برای حلقه های اول تا چهارم رنگ

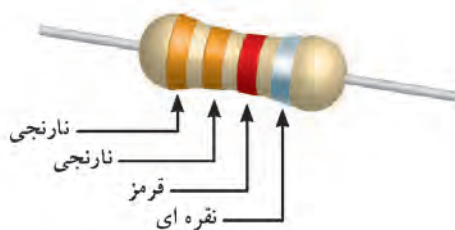
آن ها را مشخص می کنیم.

**- روش پنج نوازی:** در این روش سه نوار اول،

دوم و سوم نشان دهنده ارقام اول، دوم و سوم مقدار مقاومت،

نوار چهارم معرف ضریب و حلقه پنجم تعیین کننده میزان

tolerانس مقاومت است.



شکل ۳-۵۵

شکل ۳-۵۶ مفهوم نوارهای رنگی در مقاومت هایی را که

دارای پنج نوار رنگی هستند، نشان می دهد.

**توضیح:** در صورتی که حلقه رنگی پنجم وجود نداشته

باشد (بی رنگ باشد) مقدار تolerانس ۲۰٪ است.

	حلقه اول	حلقه دوم	حلقه سوم	حلقه چهارم	حلقه پنجم
سیاه	0	0	0	-	
قهوه ای	1	1	1	0	1%
قرمز	2	2	2	00	2%
نارنجی	3	3	3	000	
زرد	4	4	4	0000	
سبز	5	5	5	00000	0.5%
آبی	6	6	6	000000	0.25%
بنفش	7	7	7		0.1%
خاکستری	8	8	8	$\div 10$	
سفید	9	9	9	$\div 100$	

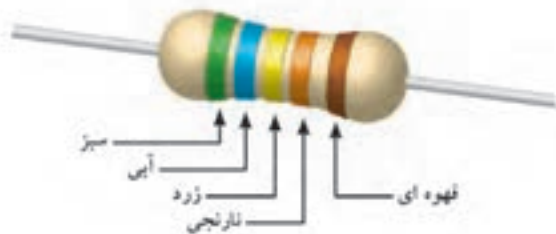
شکل ۳-۵۶ مقاومت های دارای ۵ حلقه رنگی



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.



شکل ۳-۵۷

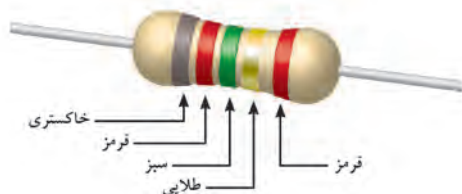
مثال: نوارهای رنگی مقاومتی مطابق شکل ۳-۵۷ است، مقدار مقاومت تفرانس آن چقدر است؟

حل: با توجه به جدول نوارهای رنگی می توان نوشت:

قهوه ای - نارنجی - زرد - آبی - سبز

۱٪ ۰۰۰ ۴ ۶ ۵

$$56400 = 564 \times 10^2 \Omega \pm 1\%$$



شکل ۳-۵۸

مثال: مقدار مقاومت و تفرانس شکل ۳-۵۸ را مشخص

کنید.

حل: قرمز - طلایی - سبز - قرمز - خاکستری

۲٪ ۰/۱ ۵ ۲ ۸

$$825 \times 0.1 = 82.5 \Omega \pm 2\%$$

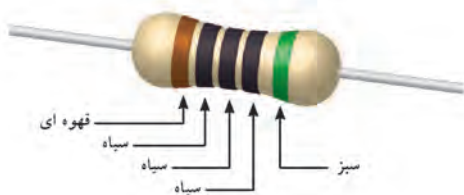
مثال: مقدار اهم و میزان تفرانس مقاومت شکل ۳-۵۹

چقدر است؟

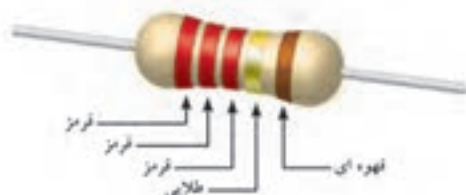
حل: سبز - سیاه - سیاه - سیاه - قهوه ای

۵٪ ۰ ۰ ۰ ۱

$$100 \Omega \pm 5\%$$



شکل ۳-۵۹



شکل ۳-۶۰

مثال: نوارهای رنگی مقاومت ۱٪  $\pm 22/2 \Omega$  را تعیین

کنید.

حل: با کمک جدول برای حلقه های اول تا پنجم رنگ

آنها را مشخص می کنیم.

## ۳-۸- استاندارد مقاومت ها

از آن جایی که مقاومت های الکتریکی دارای مقداری

ثابت و درصد معینی تفرانس است، بنابراین هر مقاومت

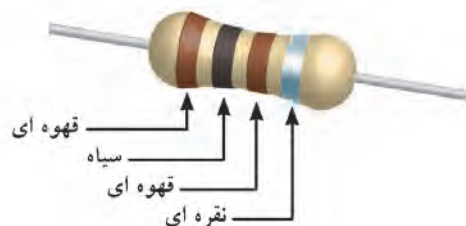
اهمی محدوده مشخصی را می پوشاند.

مثال: محدوده اهمی مقاومت شکل ۳-۶۲ را محاسبه

کنید.



شکل ۳-۶۱- مقاومت توده کربنی



شکل ۳-۶۲- یک نمونه مقاومت کربنی

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

$$R_1 = 100 - 10 = 90$$

$$R_2 = 100 + 10 = 110$$

بنابراین مقاومت بین ۹۰ و ۱۱۰ اهم قرار دارد.  
 بر همین اساس در ساخت مقاومت ها سعی شده است  
 که مقادیر مقاومتی طوری انتخاب شوند که محدوده  
 مقاومت ها روی یکدیگر هم پوشی نداشته باشند. بنابراین  
 برای تولید مقاومت های اهمی اعداد پایه ای را تحت عناوین  
 سری مقاومت های استاندارد تعریف می کنند.  
 این سری ها را E6, E12, E24, E48 و E192 می نامند.  
 در جدول ۳-۳ سه سری از استانداردهای مقاومت ها نشان  
 داده شده است.

**جدول ۳-۳- جدول سری های 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	
	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

$$1/6 \times 0.1 = 0.016 \Omega$$

$$1/6 \times 0.1 = 0.016 \Omega$$

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

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

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

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

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

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

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

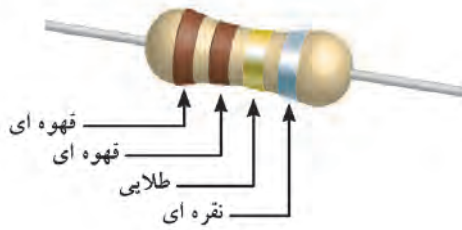
با داشتن اعداد پایه داخل جدول و ضرب آن ها در اعداد  
 $0.01, 0.1, 1, 10, 10^2, 10^3, 10^4, 10^5, 10^6$  می توان مقدار  
 اهم مقاومت های موجود و استاندارد را به دست آورد.  
 به عنوان مثال با انتخاب عدد  $1/6$  از سری E24 و ضرب  
 آن در ضرایب نام برده شده فوق می توان مقاومت های اهمی  
 استاندارد موجود را با روش مقابل به دست آورد.

میزان تolerانس برای مقاومت های تولیدی در سری های  
 استاندارد E6, E12 و E24 مطابق جدول ۴-۳ است. با  
 کمی دقت در جدول سری های استاندارد مقاومتی مشاهده  
 می کنیم برخی از اعداد پایه سری E12 مانند:  
 $1/2, 1/8, 2/7, 3/9, 5/6, 8/2$  در سری E6 وجود ندارند.  
 هم چنین اعداد پایه:  
 $1/1, 1/3, 1/6, 2, 3, 4/3, 5/1, 6/2, 7/5, 9/1$   
 از سری E24 در سری E12 وجود ندارند.

**جدول ۴-۳- سری استاندارد درصد خطا**

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

با در نظر گرفتن جدول ۳-۳ متوجه می شویم که اگر ما مقاومتی با عدد پایه ۱/۱ و تolerانس ۱۰٪ و یا ۲۰٪ بخواهیم در عمل وجود ندارد. (شکل ۳-۶۳)



شکل ۳-۶۳

این مقاومت ها استاندارد نبوده و در بازار یافت نمی شوند.

یا

$10\% \pm 11\Omega = (10 \times 1) / (\text{عدد پایه})$  (ضریب)  $10 \times 1$  (عدد پایه)

$20\% \pm 11\Omega =$

## ۹-۳- توان مجاز مقاومت ها

همان گونه که اشاره شد یکی دیگر از عوامل مهم انتخاب مقاومت های اهمی «توان مجاز» است. این توان اغلب به صورت حرارت در اطراف مقاومت اهمی هدر می رود. شکل ۳-۶۴ در اصطلاح به ماکزیمم قدرت تحمل مقاومت ها در برابر عبور جریان الکتریکی «توان مجاز» می گویند. ماکزیمم مقدار توان مجاز به عوامل گوناگونی مانند ولتاژ، جریان و دمای محیط بستگی دارد. در فصل ششم با چگونگی محاسبه این توان و هم چنین مقادیر استاندارد آن در مقاومت های اهمی آشنا خواهید شد.



شکل ۳-۶۴- مقاومت اهمی (R)



### آزمون پایانی (۳)

۱- کدام گزینه تعریف جریان الکتریکی است؟

الف - تعداد الکترون های والانس در لایه خارجی یک هادی

ب - مقدار انرژی که به مدار والانس وارد می شود.

ج - کاری که روی اتم ها انجام می شود.

د - الکترون های آزاد که در یک مسیر حرکت می کنند.

۲- چند کولن بار می تواند 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

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 ذره ی باردار را ..... گویند.

الف - جریان      ب - پتانسیل

ج - چگالی      د - ضریب هدایت مخصوص

۷- کدام گزینه رابطه صحیح ولتاژ را نشان می دهد؟

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

۸- ولتاژ باتری های 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 هدایت الکتریکی آن ..... است؟

الف - کم  
ب - زیاد

ج - با توجه به مدار والانس کم  
د - با توجه به مدار والانس زیاد

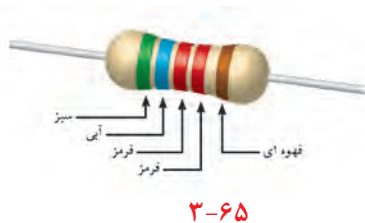
۱۰- مقدار هدایت مخصوص سیم های آلومینیومی چند مو (mho) است؟

الف - ۲۸۶٪  
ب - ۵۶  
ج - ۱۷۸۵٪  
د - ۳۷

۱۱- کدام گزینه مقدار اهم و تolerانس مقاومت شکل ۳-۶۵ را نشان می دهد؟

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

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

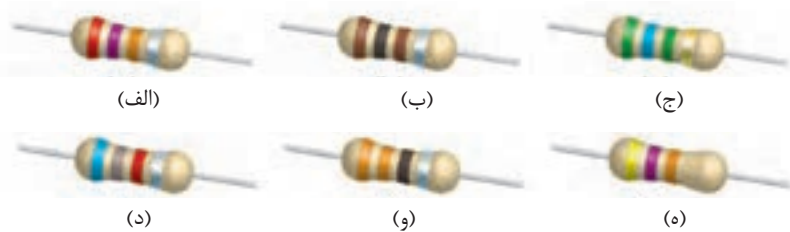


۳-۶۵

۱۲- اگر روی بدنه مقاومتی «۳M۹j» نوشته شده باشد مقدار مقاومت و تolerانس آن چقدر است؟

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

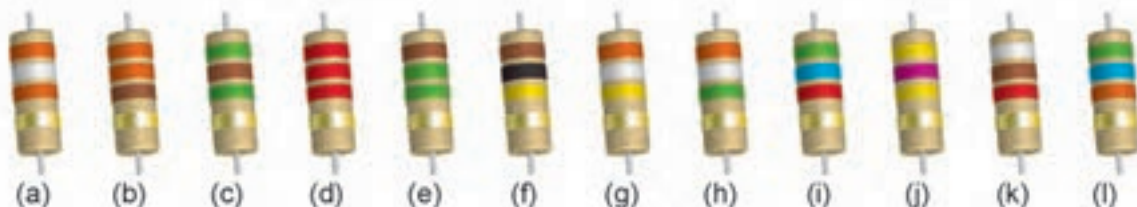
۱۳- مقدار اهم و تolerانس مقاومت های شکل ۳-۶۶ را بنویسید.



۳-۶۶

۱۴- از بین مقاومت های نشان داده شده در شکل ۳-۶۷ مقاومت های زیر را مشخص کنید.

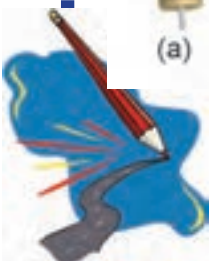
الف -  $330 \Omega$   
ب -  $2/2 k\Omega$   
ج -  $56 k\Omega$   
د -  $100 k\Omega$   
ه -  $39 k\Omega$



شکل ۳-۶۷

۱۵- حرکت الکترون های آزاد برای برقراری جریان در درون سیم به چه صورت است؟

الف - متوالی  
ب - ضربه ای  
ج - دورانی  
د - بیضی



۱۶- کدام یک از روابط زیر رابطه صحیح مقاومت است؟

الف -  $R = \frac{l}{P.A}$       ب -  $R = \frac{\chi.l}{A}$       ج -  $R = A \frac{l}{P}$       د -  $R = P \frac{l}{A}$

۱۷- کدام یک از موارد زیر صحیح است؟

الف - مقاومت با سطح مقطع رابطه مستقیم دارد.

ب - مقاومت با طول رابطه معکوس دارد.

ج - هدایت مخصوص با سطح مقطع رابطه معکوس دارد.

د - مقاومت با طول رابطه مستقیم دارد.

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 مقاومت های سیمی معمولاً از یک سیم مقاومت دار از جنس ..... استفاده می شود.

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

۲۳- مقاومت های لایه ای معمولاً از ترکیبات اکسیدفلزی ..... و ..... ساخته می شود.

۲۴- از چگالی جریان در تعیین حداقل جریان قابل تحمل سیم ها استفاده می شود. ☐ غلط ☐ صحیح

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

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

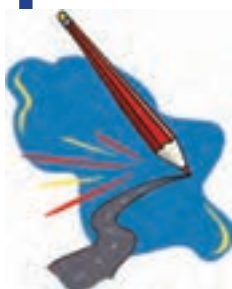
☐ غلط ☐ صحیح

۲۷- مقاومت مخصوص سیم های آلومینیومی بیشتر از سیم های مسی است. ☐ غلط ☐ صحیح

۲۸- مقاومت هایی که در اثر افزایش دما مقدار مقاومتشان کاهش می یابد NTC نام دارد. ☐ غلط ☐ صحیح

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

۳۰- تolerانس مقاومت های سری E12 برابر  $\pm 10\%$  است. ☐ غلط ☐ صحیح






# خودآزمایی عملی

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



(شکل ۳-۶۸)

نتیجه




---

---

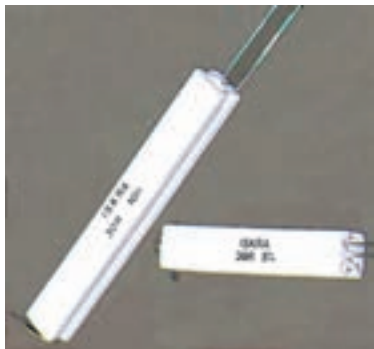
---

---

---


---

۲- پنج مقاومت سیمی را که مشخصات روی بدنه آن نوشته شده است انتخاب کنید و مقادیر آن ها را بنویسید.



(شکل ۳-۶۹)

نتیجه




---

---

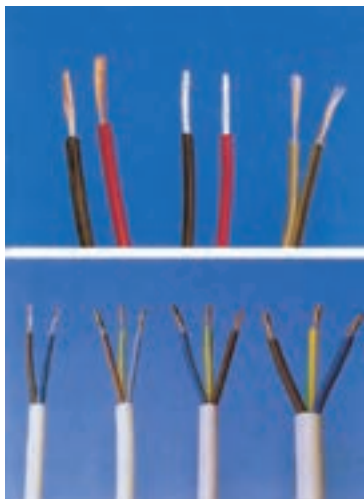
---

---

---


---

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 ۳-۷۰)



(شکل ۳-۷۰)

نتیجه




---

---

---

---

---

---



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

## واحد کار مبانی الکتریسیته

### فصل چهارم: قوانین اساسی الکتریسیته

#### هدف کلی

شناسایی قوانین اهم و کیرشهف



**هدف های رفتاری:** در پایان این فصل انتظار می رود که فراگیر بتواند:

- 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 ( $kV_L$  و  $kC_L$ ) را توضیح دهد.
- ۴- مسائل ساده مربوط به قوانین اهم و کیرشهف ( $kV_L$  و  $kC_L$ ) را حل کنید.



ساعت

نظری	عملی	جمع
۶	-	۶

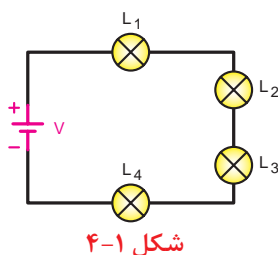


- ۱- وقتی یک باتری، لامپی را روشن می کند در لامپ کدام یک از موارد زیر رخ می دهد؟  
 الف - تبدیل انرژی الکتریکی به شیمیایی  
 ب - تبدیل انرژی شیمیایی به الکتریکی  
 ج - تبدیل انرژی الکتریکی به نورانی  
 د - تبدیل انرژی شیمیایی به حرارتی

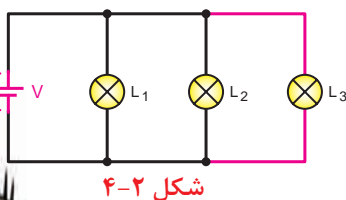
- ۲- فیوژی که در مسیر کنتور منزل شما قرار دارد در چه زمانی مدار را قطع می کند؟  
 الف - در صورت قطع برق از محل تولید  
 ب - وقتی جریان از شبکه کشیده نشود.  
 ج - سیم های حامل جریان به هم وصل شوند.  
 د - سیم در داخل ساختمان قطع شود.

- ۳- کدام عامل 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.



- ۵- در مدار شکل ۴-۲ اگر لامپ  $L_4$  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.



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

د -  $\frac{C}{S}$

ج -  $\frac{A}{S}$

ب -  $\frac{q}{t}$

الف -  $\frac{S}{C}$

- ۷- کدام یک از روابط زیر غلط است؟

د -  $j = \frac{I}{A}$

ج -  $R = \frac{A}{I.X}$

ب -  $q = I.t$

الف -  $\rho = \frac{1}{X}$



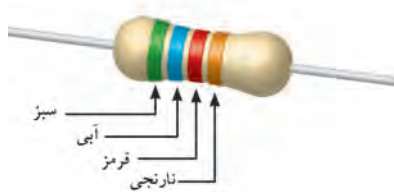
۸- چهار میلی آمپر معادل چند آمپر است؟

- 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.

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



شکل ۳-۴

الف -  $5/6 k\Omega \pm 10\%$

ب -  $562 k\Omega \pm 20\%$

ج -  $65/2 k\Omega \pm 10\%$

د -  $56/2 k\Omega \pm 20\%$

۱۱- تolerانس مقاومتی با مشخصات  $3k9J$  کدام یک از گزینه های زیر است؟

- الف -  $\pm 5\%$       ب -  $\pm 10\%$       ج -  $\pm 2\%$       د -  $\pm 20\%$

۱۲- مقاومت های VDR با تغییرات ولتاژ رابطه ..... دارند.

- الف - مستقیم      ب - معکوس      ج - مجذوری      د - رادیکالی





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

## ۴- مدار الکتریکی

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



الف - منبع تغذیه (مولد)

ب - سیم های رابط

ج - مصرف کننده (بار)

منبع تغذیه در یک مدار نقش تولید کننده انرژی الکتریکی

را دارد و می تواند باتری یا ژنراتور باشد. (شکل ۴-۴)

شکل ۴-۴- چند نمونه باتری

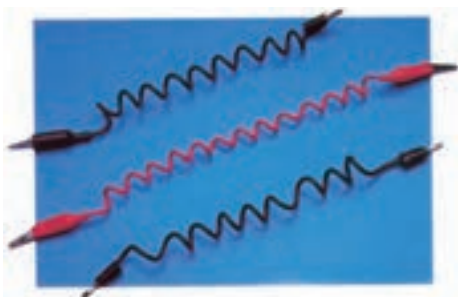


مصرف کننده (بار)، وسیله ای است که انرژی الکتریکی

را به انرژی مورد نیاز تبدیل می کند. (شکل ۴-۵)



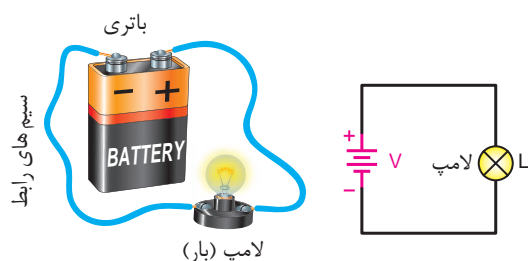
شکل ۴-۵- چند مصرف کننده



شکل ۴-۶- سیم های رابط

وظیفه سیم های رابط، انتقال انرژی الکتریکی از

منبع تغذیه به مصرف کننده است. (شکل ۴-۶)



الف- شکل مدار تصویر مقابل ب- مدار الکتریکی ساده

شکل ۴-۷





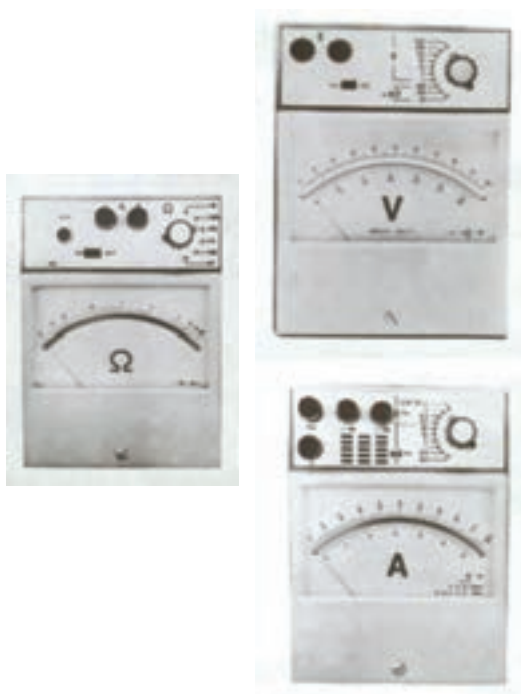
شکل ۴-۸

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

در مدارهای الکتریکی علاوه بر سه عامل اصلی فوق باید از اجزای دیگری نیز استفاده 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.

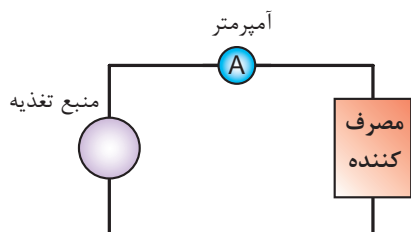
به همین دلیل در برخی از کتاب ها به سایر اجزای مدار «اجزای فرعی» نیز می گویند.

فیوز وسیله ای است که مدارهای الکتریکی را در مقابل اتصال کوتاه<sup>۱</sup> حفاظت می کند. نمونه هایی از انواع فیوزها را در شکل ۴-۸ مشاهده می کنید. فیوز را در مدارها با علامت اختصاری  یا  نشان می دهند.

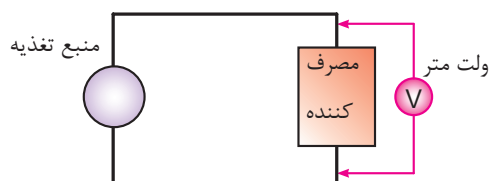


شکل ۴-۹

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 چند نمونه از دستگاه های اندازه گیری نشان داده شده است.



الف - نحوه اتصال آمپر متر در مدار

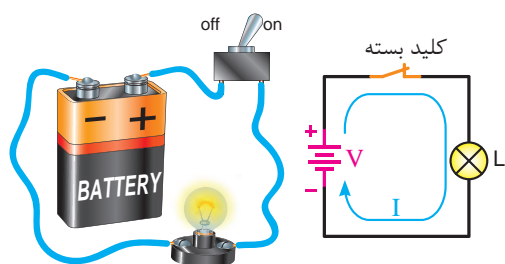


ب - نحوه اتصال ولت متر در مدار

شکل ۴-۱۰- نحوه اتصال آمپر متر و ولت متر



شکل ۴-۱۱



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

شکل ۴-۱۲- نمونه هایی از مدار کامل

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.

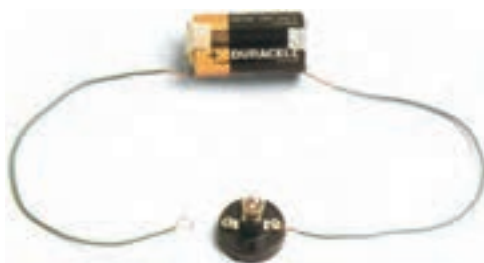
برای اندازه گیری ولتاژ هر یک از اجزای مدار باید ولت متر را به دو سر آن جز مدار وصل کرد. در اصطلاح این نوع اتصال را « موازی » می نامیم. شکل ۴-۱۰ ب نحوه اتصال ولت متر را نشان می دهد

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

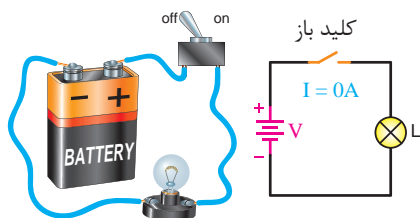
اگر برای عبور جریان الکتریکی مسیر کاملی از طریق قطب مثبت باتری، سیم های رابط و مصرف کننده به قطب منفی وجود داشته باشد آن مدار را « مدار بسته » یا « مدار کامل » می گویند.

در شکل ۴-۱۲ نمونه ای از یک مدار الکتریکی بسته (کامل) را مشاهده می کنید.

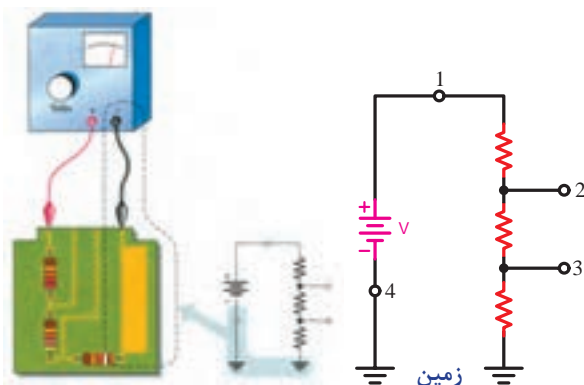




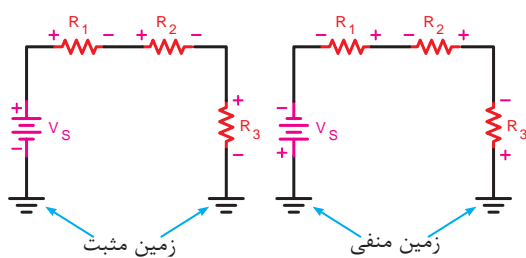
الف - مدار باز بدون کلید (شکل واقعی)



ب - مدار باز با کلید (شکل مداری)

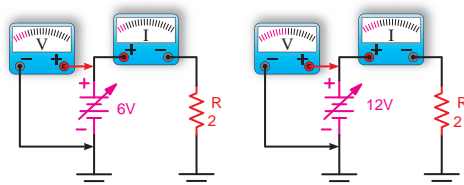


الف - شکل برد مدار چاپی و نقشه فنی آن



ب - شکل مدار الکتریکی با اتصال زمین مثبت و منفی

شکل ۴-۱۴



الف - ولتاژ زیاد، جریان زیاد      ب - ولتاژ کم، جریان کم

شکل ۴-۱۵ - تغییرات ولتاژ و جریان به ازای

مقاومت ثابت در یک مدار الکتریکی

در صورتی که مسیر عبور جریان به دلایلی از قبیل قطع شدن سیم‌های رابط، سوختن فیوز، قطع مصرف کننده یا قطع شدن کلید کامل نباشد مدار را «مدار باز» یا «مدار ناقص» می‌گویند. شکل ۴-۱۳ نمونه‌هایی از مدار باز را نشان می‌دهد.

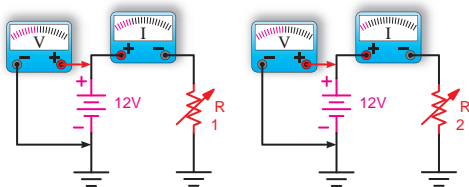
**توضیح:** در برخی موارد برای ساده تر رسم کردن مدارهای الکتریکی یکی از قطب‌های منبع تغذیه (+ یا -) مشترک در نظر می‌گیرند و آن را زمین می‌نامند و از سیم زمین به عنوان یکی از سیم‌های رابط مدار استفاده می‌شود. به این ترتیب معمولاً یک طرف مصرف کننده‌ها نیز به زمین وصل می‌شود. در این حالت جریان از طریق اتصال زمین (مشترک) صورت می‌گیرد. علامت اختصاری زمین به صورت  $\perp$  یا  $\downarrow$  یا  $\equiv$  یا  $\text{---}$  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<sup>۱</sup> و نقشه فنی آن را ملاحظه می‌کنید. در شکل ب اتصال زمین مثبت و منفی نشان داده شده است.

## ۴-۱- قانون اهم

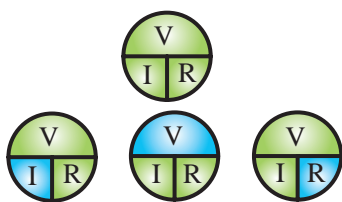
جرج سیمون اهم در سال ۱۸۲۸ براساس تجربیات و آزمایش‌های فراوان توانست ارتباط بین ولتاژ (V)، جریان (I) و مقاومت (R) را در یک مدار به دست آورد. اهم به این نتیجه رسید که اگر مقاومت یک مدار را ثابت نگه داریم و ولتاژ منبع تغذیه را افزایش دهیم شدت جریان افزایش می‌یابد. (شکل ۴-۱۵)





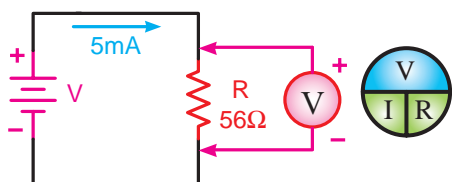
الف - مقاومت زیاد، جریان کم      ب - مقاومت کم، جریان زیاد

شکل ۴-۱۶ - تغییرات جریان و مقاومت  
به ازای ولتاژ ثابت در یک مدار الکتریکی

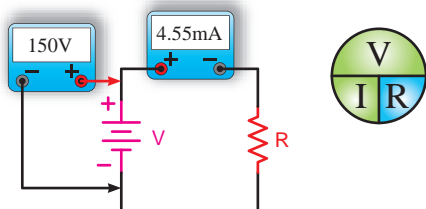


$$I = \frac{V}{R} \quad V = IR \quad R = \frac{V}{I}$$

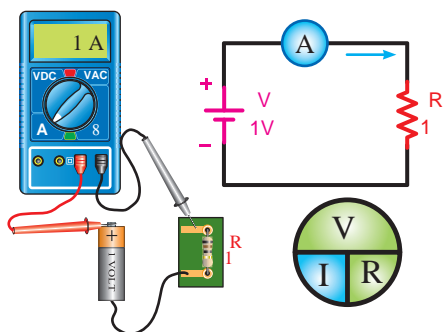
شکل ۴-۱۷ - نمودار دایره‌های قانون اهم در حالت‌های مختلف



شکل ۴-۱۸



شکل ۴-۱۹



شکل ۴-۲۰

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

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

همان گونه 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.

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

حل:  $V = R \cdot I$  (قانون اهم)

$$V = (56\Omega)(5mA)$$

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

$$V = 280mV$$

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

حل:

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

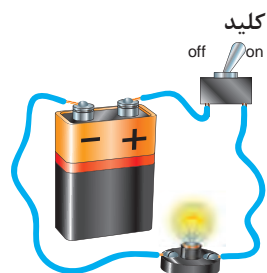
$$R = \frac{150V}{4/55 \times 10^{-3} A} = 33 \times 10^3 \Omega = 33k\Omega$$

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

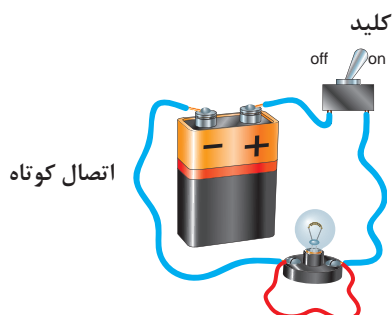
حل:

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

$$I = 1 \times 10^3 = 1000mA$$

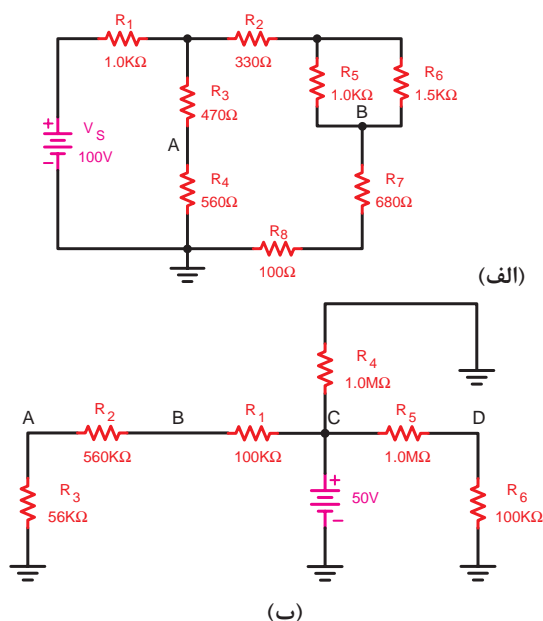


الف - مدار در حالت عادی (لامپ روشن)



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

شکل ۴-۲۱



شکل ۴-۲۲ نمونه هایی از مدارهای پیچیده

**نکته مهم:** 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 می شود که مقاومت مصرف کننده (بار) به صفر برسد. در صورت وقوع چنین حالتی جریان بسیار زیادی از مدار خواهد گذشت. (شکل ۴-۲۱-ب)

## ۴-۱-۱- قوانین کیرشهف:

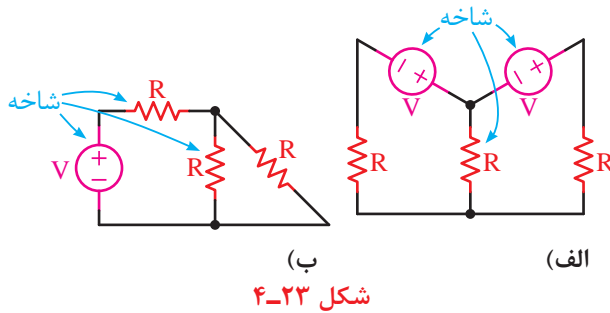
در برخی موارد برای حل مدارهای الکتریکی پیچیده ای مانند شکل ۴-۲۲ استفاده از قانون اهم به تنهایی کافی نیست و به کارگیری روش ها و قوانین دیگری نیز لازم است.

در سال ۱۸۵۷ میلادی کیرشهف براساس آزمایش ها 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.

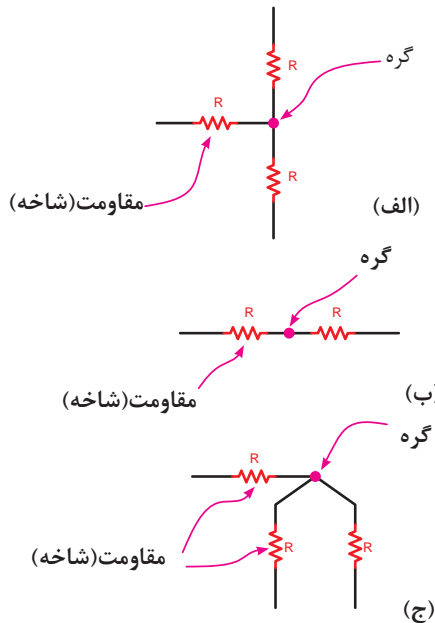
## ۴-۱-۲- تعریف شاخه:

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



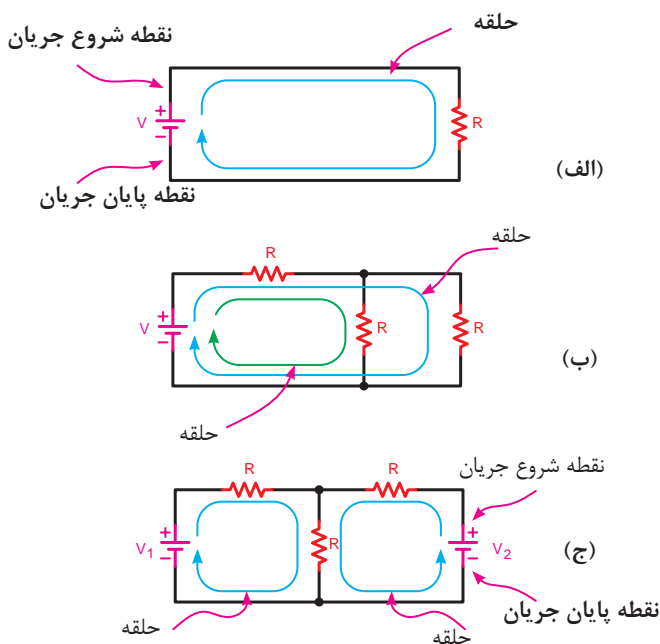
## ۴-۱-۳- تعریف گره:

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

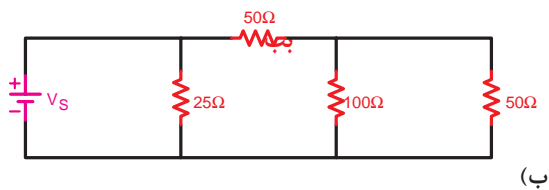
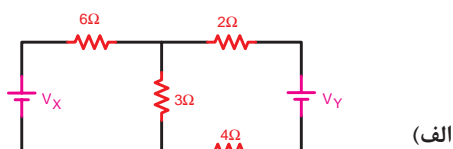


## ۴-۱-۴- تعریف حلقه:

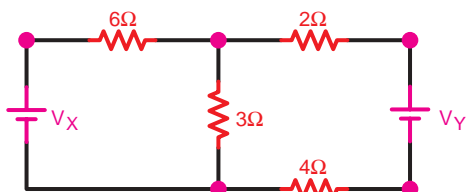
هرگاه در مدار نقطه‌ای که محل شروع حرکت جریان است نقطه پایان جریان نیز باشد آن را «مدار کامل» یا «حلقه» می‌نامند. در شکل ۴-۲۵ نمونه‌هایی از حلقه‌های مختلف را مشاهده می‌کنید.



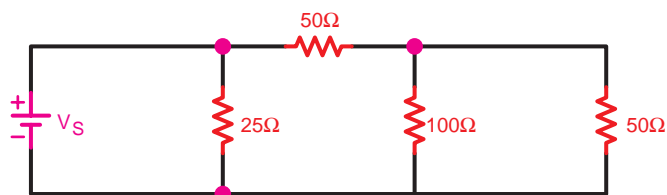
مثال: تعداد گره های موجود در تصاویر شکل ۴-۲۶ را مشخص کنید.



شکل ۴-۲۶



الف - تعداد گره های مدار ۵ گره است

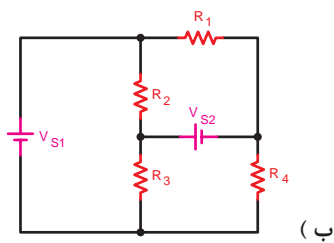
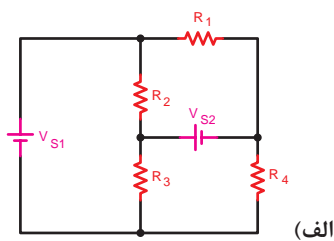


ب - تعداد گره های مدار ۳ گره است

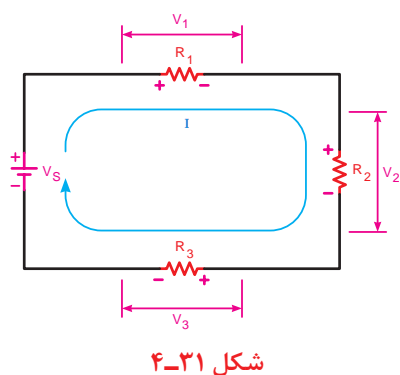
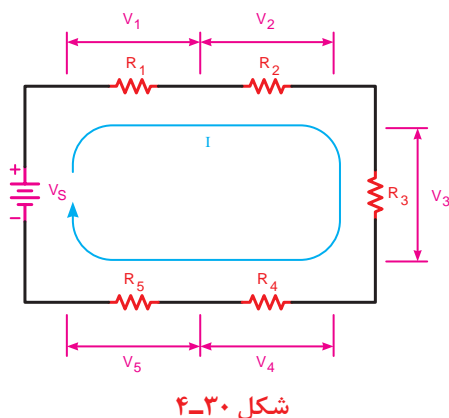
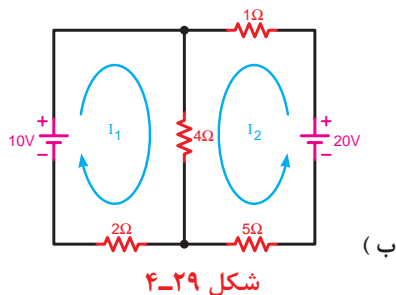
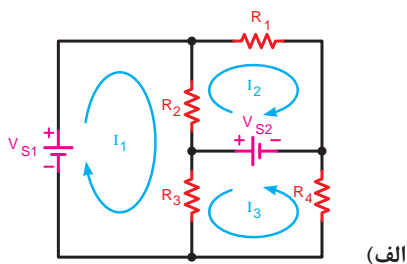
شکل ۴-۲۷

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

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



شکل ۴-۲۸



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

## ۴-۲- قانون ولتاژها (KVL)

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 مجموع جبری نیروهای محرکه و افت ولتاژهای موجود در هر حلقه بسته مساوی با صفر است.

$$\sum V = 0$$

**توجه**

در مدارهای الکتریکی منابع تغذیه (باتری ها) را نیروی محرکه و ولتاژ دو سر مقاومت ها و سایر مصرف کننده ها را افت ولتاژ در نظر می گیرند.

شکل ۴-۳۱ یک مدار با سه مقاومت نشان می دهد. در این مدار معادله KVL را می نویسیم:

1 - KVL- Kirchhoff 's Voltage Law

۲- علامت (Σ زیگما) حرف یونانی است که به معنی مجموع است.

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

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

یا

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

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

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

$$V_1 + V_r + V_3 = V_s$$

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

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

$$V_r = 12V$$

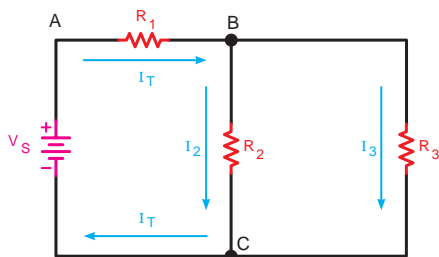
حل:

### ۴-۳- قانون جریان ها (KCL) ۱

براساس قانون جریان ها در هر گره یک مدار الکتریکی

مجموع جریان های وارد شده به گره برابر با مجموع

جریان های خارج شده از گره است (شکل ۴-۳۳)



شکل ۴-۳۳- قانون جریان ها برای گره های B و C

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

به عبارت دیگر مجموع جبری جریان های وارد شده به

گره و جریان های خارج شده از آن برابر با صفر است.

$$\sum I = 0$$

در شکل ۴-۳۴ وضعیت گره A از نظر جریان های ورودی

و خروجی مشخص شده است. معادله KCL را برای گره A

چنین می توان نوشت:

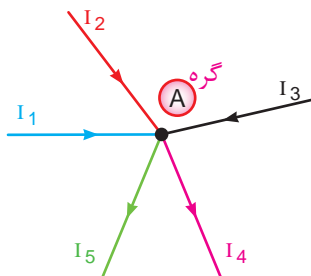
$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

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

یا

$$\sum I = 0$$

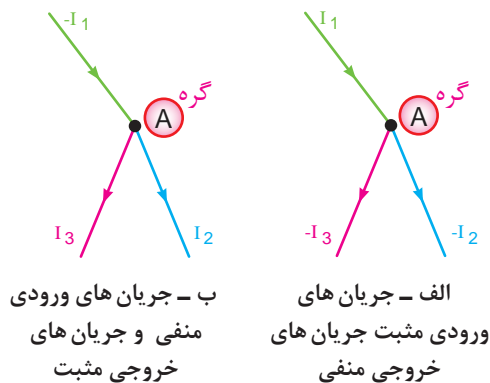
$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$$



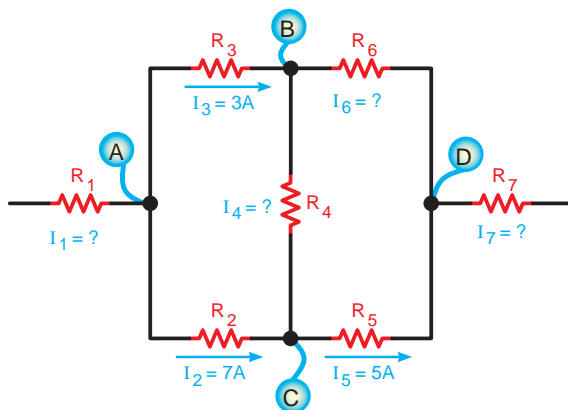
شکل ۴-۳۴- قانون جریان ها برای گره ها



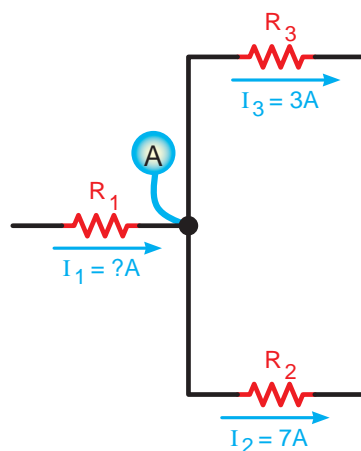
انتخاب علامت مثبت یا منفی برای جریان های وارد شده و خارج شده به یک گره قراردادی است و هیچ گونه محدودیتی ندارد. اما باید توجه داشته باشید برای یک گره جریان باید از یک قانون تبعیت کنید شکل ۳۵-۴. یعنی همه جریان های ورودی مثبت یا منفی باشد. نمی توانید یکی از جریان های ورودی به گره را مثبت و دیگری را منفی بگیرید.



شکل ۳۵-۴ قانون جریان ها برای گره ها



شکل ۳۶-۴



شکل ۳۷-۴

مثال: مقدار و جهت جریان در هر یک از مقاومت های شکل ۳۶-۴ را به دست آورید.

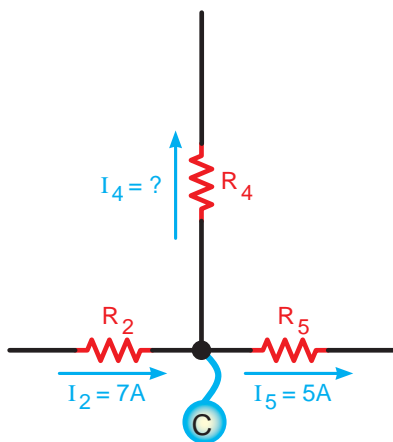
حل: برای مشخص شدن مقدار و جهت جریان ها باید معادله KCL را برای هر یک از گره های A, B, C, D بنویسیم.

در گره A دو جریان  $I_1$  و  $I_3$  خارج می شود.<sup>۱</sup> لذا جریان  $I_1$  بر آن وارد می شود در شکل ۳۷-۴ با نوشتن معادله KCL جریان  $I_1$  قابل محاسبه است:

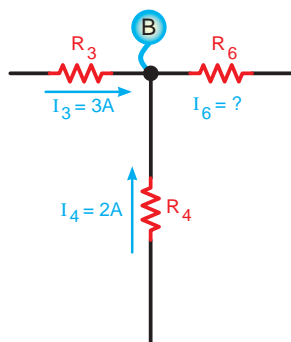
$$I_1 = I_3 + I_2 = 3 + 7$$

$$I_1 = 10A$$

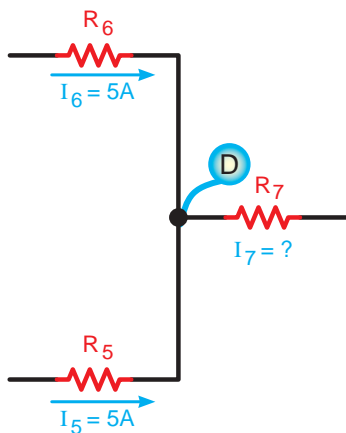
۱ - در یک گره همه جریان ها نمی توانند وارد و یا خارج شوند.



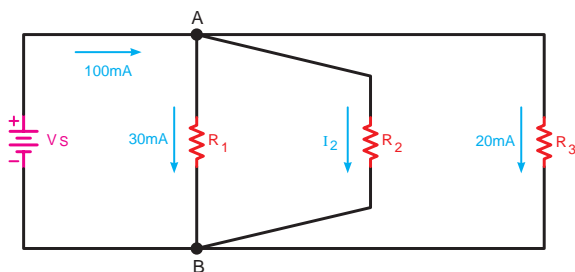
شکل ۴-۳۸



شکل ۴-۳۹



شکل ۴-۴۰



شکل ۴-۴۱

در گره C چون جریان  $I_\delta$  کوچک تر از  $I_\gamma$  است لذا جریان  $I_\phi$  باید از گره خارج شود تا تعادل جریان برقرار شود. شکل ۴-۳۸ پس معادله KCL را فقط برای حالتی می توان نوشت که جریان  $I_\phi$  از گره خارج می شود:

$$I_\gamma = I_\phi + I_\delta \Rightarrow I_\phi = I_\gamma - I_\delta = 7 - 2$$

$$I_\phi = 5A$$

در گره B شکل ۴-۳۹ چون جریان های  $I_\gamma$  و  $I_\phi$  وارد می شوند. بنابر قاعده KCL جریان  $I_\delta$  باید از نقطه B خارج شود. مقدار  $I_\delta$  برابر خواهد شد با: (شکل ۴-۲۰)

$$I_\delta = I_\gamma + I_\phi = 3 + 2 = 5A$$

$$I_\delta = 5A$$

همان طوری که در شکل ۴-۴۰ مشاهده می شود جریان های  $I_\phi$  و  $I_\delta$  به گره D وارد می شوند. بنابراین با نوشتن KCL برای گره D معلوم می شود که جهت جریان  $I_\gamma$  باید به گونه ای باشد که از گره خارج شود بنابراین داریم:

$$I_\gamma = I_\delta + I_\phi = 5 + 5 = 10A$$

$$I_\gamma = 10A$$

مثال: جریان مقاومت  $R_\phi$  در شکل ۴-۴۱ چند میلی آمپر به دست می آید:

با نوشتن معادله KCL گره A مقدار جریان  $I_\gamma$  به دست می آید:

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

$$I_T = I_1 + I_\gamma + I_\phi$$

$$I_\gamma = I_T - (I_1 + I_\phi)$$

$$I_\gamma = 100 - (30 + 20)$$

$$I_\gamma = 50mA$$



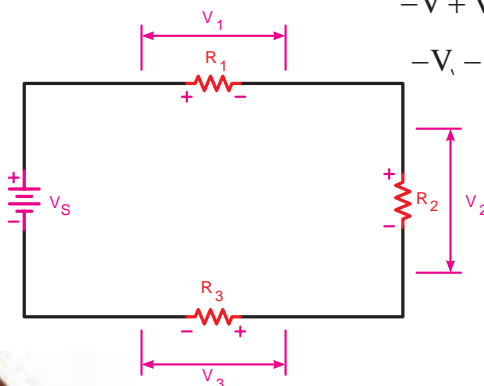


## آزمون پایانی (۴)

- ۱- کدام گزینه اجزای اصلی یک مدار را بیان می کند؟  
 الف - منبع تغذیه، فیوز، سیم های رابط  
 ب - منبع تغذیه، کلید، فیوز  
 ج - سیم های رابط، بار، منبع تغذیه  
 د - سیم های 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 -  $10mA$

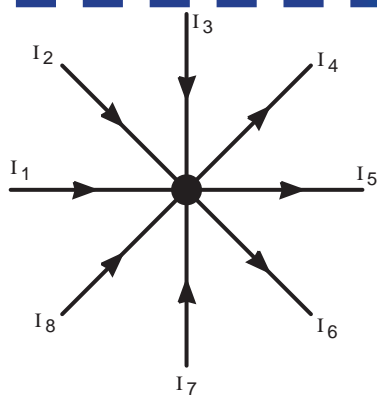
۶- کدام یک از معادلات زیر برای شکل ۴-۴۲ صحیح است؟

- الف -  $V_1 - V_2 - V_3 - V = 0$   
 ب -  $-V + V_1 + V_2 + V_3 = 0$   
 ج -  $V_1 + V_2 = V + V_3$   
 د -  $-V_1 - V_2 + V_3 + V = 0$



شکل ۴-۴۲





شکل ۴-۴۳

۷- کدام معادله برای شکل ۴-۴۳ صحیح است؟

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

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

ج -  $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = I_6 + I_7 + I_8$

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

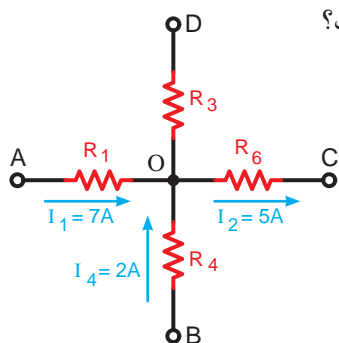
۸- کدام گزینه در مورد مقدار و جهت جریان در مقاومت  $R_3$  شکل ۴-۴۴ صحیح است؟

الف -  $4A$  از  $O$  به  $D$

ب -  $10A$  از  $D$  به  $O$

ج -  $4A$  از  $D$  به  $O$

د -  $10A$  از  $O$  به  $D$



شکل ۴-۴۴

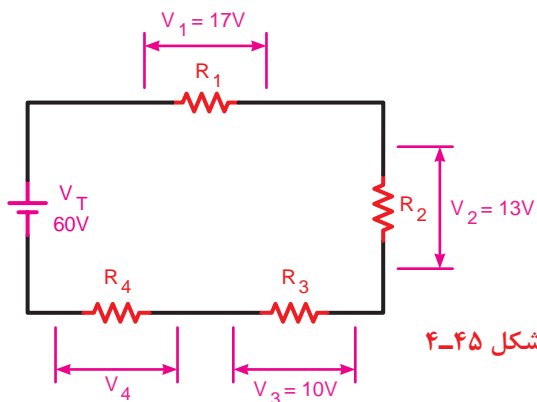
۹- با توجه به شکل ۴-۴۵ ولتاژ دو سر مقاومت  $R_4$  چند ولت است؟

الف -  $50$

ب -  $40$

ج -  $30$

د -  $20$



شکل ۴-۴۵

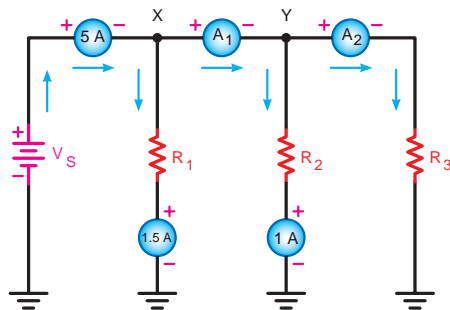
۱۰- در مدار شکل ۴-۴۶ آمپمترهای  $A_1$  و  $A_2$  به ترتیب از راست به چپ چند آمپر را نشان می دهد؟

الف -  $2/5 - 3/5$

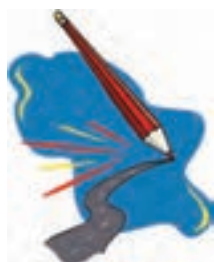
ب -  $3/5 - 6/5$

ج -  $4/5 - 3/5$

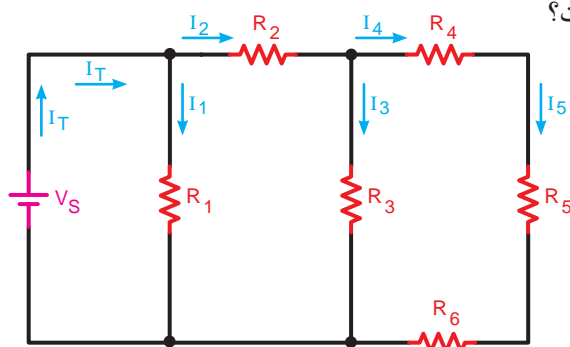
د -  $3/5 - 7/5$



شکل ۴-۴۶



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



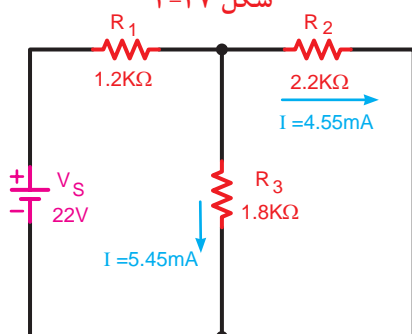
الف -  $I_1 + I_r + I_\delta = I_r + I_f$

ب -  $I_1 + I_r = I_r$

ج -  $I_r + I_r = I_f + I_\delta$

د -  $I_r - I_r = I_f$

شکل ۴-۴۷



شکل ۴-۴۸

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

الف - ۱۲

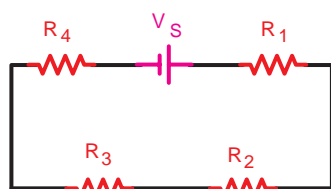
ب - ۷/۸

ج - ۵/۴۶

د - ۱۰

۱۳- در مدارهای الکتریکی نیروی محرکه لازم توسط ..... تأمین می شود.

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



شکل ۴-۴۹

$$V_S - R_1 I - R_2 I =$$

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

۱۶- برای حفاظت مدارها در مقابل اتصال کوتاه از وسیله ای به نام ..... استفاده می شود.

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 می کند.

۱۹- انتقال جریان الکتریکی از منبع تغذیه به مصرف کننده وظیفه بار الکتریکی است.

۲۰- در یک مدار الکتریکی ساده برای محاسبه جریان از رابطه  $I = \frac{V}{R}$  استفاده می شود.

☐ صحیح ☐ غلط

☐ صحیح ☐ غلط

☐ صحیح ☐ غلط

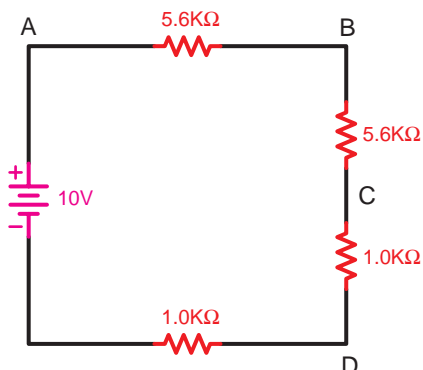


# خودآزمایی عملی

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

۲- شمای فنی مداری را که از سه مقاومت  $1k\Omega$  که به صورت متوالی به یکدیگر متصل شده اند، در حالت اتصال زمین منفی رسم کنید و سپس پلاریته (علامت های مثبت و منفی) دو سر مقاومت ها را تعیین کنید.

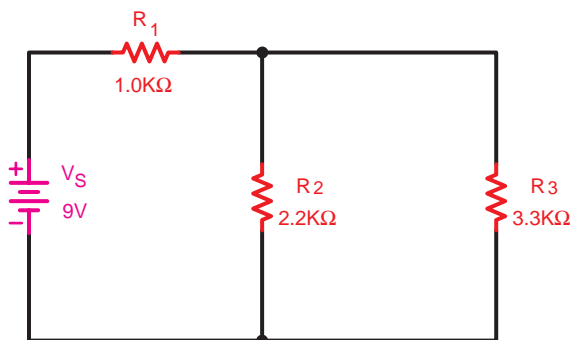
۳- اگر در مداری مطابق شکل ۴-۵۰ بخواهیم ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت ها را به دست آوریم نحوه اتصال ولت متر برای هر مقاومت را رسم کنید.



شکل ۴-۵۰

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

۵- اگر در مدار شکل ۴-۵۱ جریان عبوری در هر یک از مقاومت ها را بخواهیم اندازه گیری کنیم محل قرار گرفتن آمپر مترها را رسم کنید.



شکل ۴-۵۱



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

## واحد کار مبانی الکتریسته

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

#### هدف کلی

توانایی انجام محاسبات و تحلیل مدارهای الکتریکی ساده مقاومتی

**هدف های رفتاری:** در پایان این فصل انتظار می رود 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- آزمایش های مربوط به مدارهای سری، موازی و ترکیبی را انجام دهد.
- ۵- انواع پیل های الکتریکی و مفهوم افت ولتاژ در هادی های یک مولد را توضیح دهد.
- ۶- اتصال های سری، متقابل و موازی باتری ها را با رسم شکل ذکر و روابط مربوطه توضیح دهد.
- ۷- آزمایش های مربوط به اتصال سری، متقابل و موازی باتری ها را انجام دهد.

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۶	-	۶

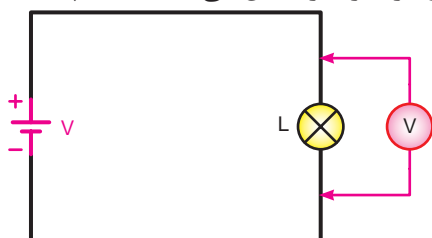


- ۱- از یک مداری که در آن چند لامپ به صورت سری بسته شده اند، چه زمانی استفاده می شود؟  
الف - به دست آوردن نور بیشتر و مصرف کمتر      ب - کسب توان زیادتر و بازدهی بیشتر  
ج - ایجاد ولتاژ ثابت و توزیع آن      د - روشن کردن لامپ ها با ولتاژ کار کم

- ۲- در کدام یک از مدارهای الکتریکی هر دو قانون کیرشهف استفاده می شود؟  
الف - سری      ب - موازی      ج - سری - موازی      د - تک حلقه ای

- ۳- اتصال لامپ های ریشه ای شلنگی که در مراسم مختلف استفاده می شود، به صورت ..... است.  
الف - سری      ب - موازی      ج - سری - موازی      د - یک حلقه ای

- ۴- ولت متر متصل شده به دو سر لامپ شکل ۵-۱ ولتاژی کمتر از ولتاژ باتری را نشان می دهد، علت چیست؟  
الف - ولت متر خراب است.



شکل ۵-۱

- ب - افت ولتاژ لامپ به ولتاژ باتری اضافه می شود.

- ج - به خاطر مقاومت سیم های رابط و باتری  
د - بستگی به لامپ به کار رفته دارد و ممکن است صفر باشد.

- ۵- آیا براساس مشخصات مصرف کننده ها می توان مشخصات مولد موردنیاز را تعیین کرد؟  
الف - بلی      ب - خیر

- ج - در صورت داشتن موقعیت محل      د - اگر فاصله مصرف کننده کم باشد.

- ۶- باتری های ساعت از چه نوع هستند؟

- الف - اکسید نقره      ب - قلیایی      ج - لیتیوم      د - نیکل کادمیوم

- ۷- معمولاً باتری های 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 ..... می یابد.

- 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 ..... می رسد.

الف - بی نهایت      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 جریان های کیرشهف برای بررسی مجموع ..... در یک ..... استفاده می شود.

الف - جریان ها - حلقه      ب - ولتاژها - حلقه  
ج - ولتاژها - گره      د - جریان ها - گره

۱۵- ولت متر در مدار به صورت ..... و آمپر به صورت ..... اتصال داده می شود.

الف - موازی - موازی      ب - سری - سری  
ج - موازی - سری      د - سری - موازی



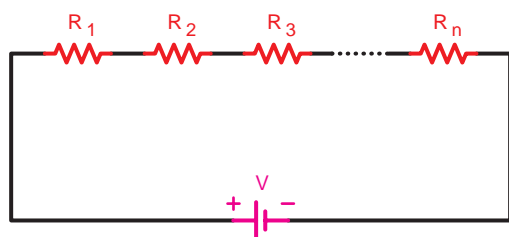
## ۵-۱- اتصالات مقاوت ها

### ۵-۱-۱- اتصال سری مقاوت ها:

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

در این مدار مقاوت ها طوری به هم متصل می شوند 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 می گوییم مدار به صورت سری<sup>۱</sup> بسته شده است.

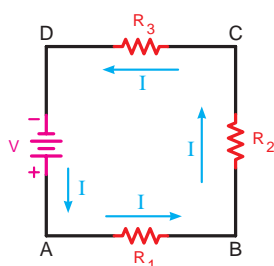
شکل ۵-۲ نقشه فنی مدارهای سری و شکل ۵-۳ یک نمونه واقعی مدار سری را که در آن دو لامپ اتصال دارد، نشان می دهد.



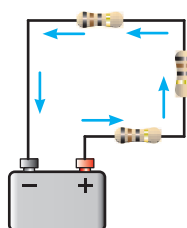
شکل ۵-۲- نقشه فنی مدار سری



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



(الف) شکل مداری



(ب) شکل واقعی

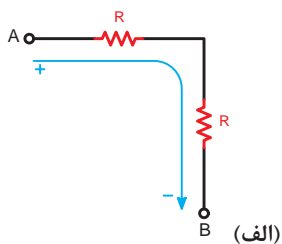
در مدار سری همواره فقط یک مسیر برای عبور جریان الکتریکی وجود دارد. (شکل ۵-۴)

شکل ۵-۴- اتصالات سه مقاومت به صورت سری

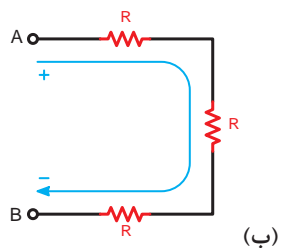
1 - series



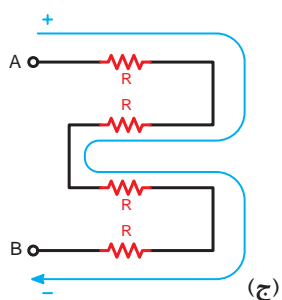
در مدارهای سری نحوه قرار گرفتن عناصر به صورت عمودی یا افقی و ترتیب اتصال آن از نظر اول یا آخر بودن اهمیتی ندارد و تأثیری روی رفتار مدار نمی گذارد. شکل ۵-۵ حالت های مختلف اتصال مقاومت ها را به صورت سری نشان می دهد.



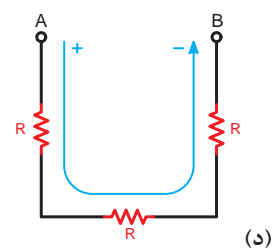
- سه مقاومت به صورت سری، جریان در یک مسیر



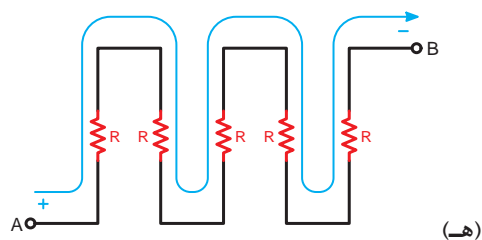
- چهار مقاومت به صورت سری، جریان در یک مسیر



- سه مقاومت به صورت سری، جریان در یک مسیر



- پنج مقاومت به صورت سری، جریان در یک مسیر



شکل ۵-۵ حالت های مختلف اتصال سری مقاومت ها

## – عامل مشترک در مدار سری:

چنانچه مداری را مطابق شکل ۵-۶ اتصال دهید مشاهده می کنید که هر یک از آمپرمترها جریان های مساوی (مثلاً یک آمپر) نشان می دهند.

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

برای جریان در مدار سری می توان رابطه زیر را نوشت:

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

یعنی:

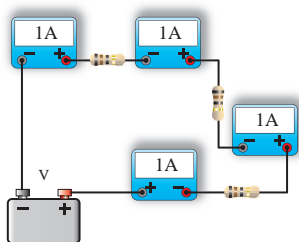
$$I_{R1} = I_{R2} = I_{R3} = I_{R4} = I_T$$

## – عامل غیرمشترک در مدار سری:

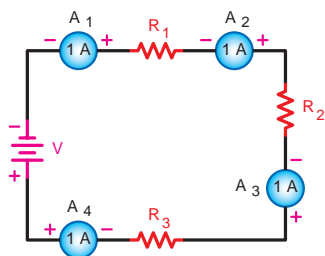
بر اثر عبور جریان از هر مقاومت الکتریکی در دو سر آن افت ولتاژی به وجود می آید. (شکل ۵-۷) مقدار آن را براساس قانون اهم از رابطه  $V = I.R$  می توان محاسبه کرد. چون جریان در مدار سری ثابت است لذا مقدار افت ولتاژ در دو سر مقاومت با مقدار اهم آن رابطه مستقیم دارد. یعنی در صورت افزایش مقاومت ( $R$ ) مقدار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

به عنوان مثال اگر مداری را مطابق شکل ۵-۸ ببینیم ولت مترها مقادیر ولتاژی متفاوتی را در دو سر مقاومت ها نشان می دهند ولت مترهای  $V_1$ ،  $V_2$  و  $V_3$  مقادیر ولتاژ دو سر مقاومت های  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  و ولت متر  $V_T$  مقدار ولتاژ کل مدار را نشان می دهد.

طبق قانون KVL در حلقه بسته شکل ۵-۸ ولتاژ کل منبع تغذیه به نسبت مقدار مقاومت ها بین مقاومت های مدار تقسیم می شود بنابراین می توانیم بنویسیم:

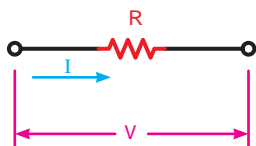


الف – مدار واقعی

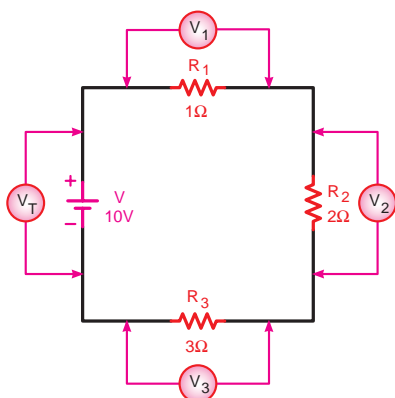


ب – شکل مداری

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



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



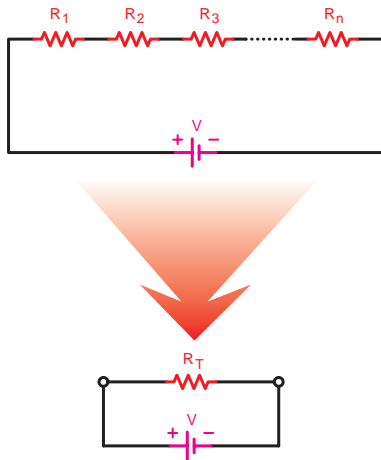
شکل ۵-۸ – بررسی ولتاژها در مدار سری

(توجه داشته باشید که ولتاژ در دو سر هر مقاومت متناسب با مقدار مقاومت تغییر می کند)

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

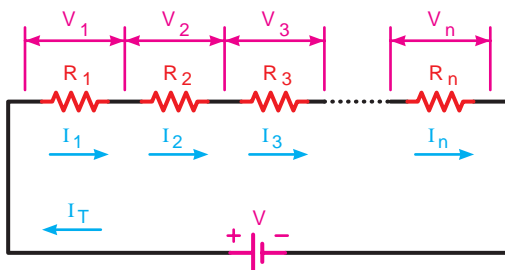
$$V_{R_T} = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3}$$

با توجه به موارد فوق می توانیم نتیجه بگیریم اگر مقدار افت ولتاژ دو سر همه مقاومت های مدار سری مساوی نباشد پس می توان ولتاژ را به عنوان یک عامل غیرمشتrek در مدار سری در نظر گرفت.



شکل ۵-۹- مقاومت معادل در مدار سری

$V_1 = R_1 I_1$	ولتاژ دو سر مقاومت $R_1$
$V_2 = R_2 I_2$	ولتاژ دو سر مقاومت $R_2$
$V_3 = R_3 I_3$	ولتاژ دو سر مقاومت $R_3$
$V_n = R_n I_n$	ولتاژ دو سر مقاومت $R_n$
$V_T = R_T I_T$	ولتاژ کل مدار



شکل ۵-۱۰- جریان ها و ولتاژها در مدار سری

## – مقاومت معادل در مدار سری<sup>۱</sup>:

مقاومت کل<sup>۲</sup> یا «مقاومت معادل» به مقاومتی گفته می شود که بتواند به تنهایی اثر همه مقاومت های موجود در مدار را داشته باشد و جایگزین آن ها شود. در شکل ۵-۹ مقاومت  $R_T$  می تواند معادل تمام مقاومت های موجود در مدار باشد و جایگزین آن ها شود. با توجه به خصوصیات مطرح شده در مورد مدارهای سری رابطه نهایی مقاومت معادل  $R_T$  به صورت زیر به دست می آید:

$$\left. \begin{aligned} I_T &= I_{R_1} = I_{R_2} = I_{R_3} = \dots = I_{R_n} \quad (1) \\ V &= V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3} + \dots + V_{R_n} \quad (2) \end{aligned} \right\}$$

براساس قانون اهم برای هر مقاومت و ولتاژ کل می توانیم روابط مقابل را بنویسیم:

مقادیر فوق را در معادله (۲) قرار می دهیم:

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

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

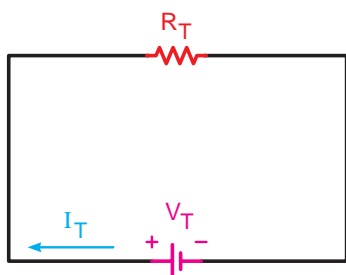
$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n = I_T$$

بجای  $I_1$ ،  $I_2$ ،  $I_3$  و  $I_n$  مقدار  $I_T$  را قرار می دهیم:

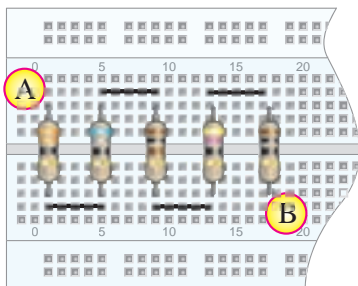
$$R_T I_T = R_1 I_T + R_2 I_T + R_3 I_T + \dots + R_n I_T$$

1-Total Resistor —  $R_T$

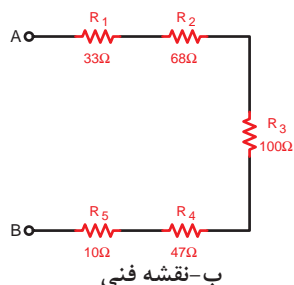
2-Equivalent Resistor —  $R_{eq}$



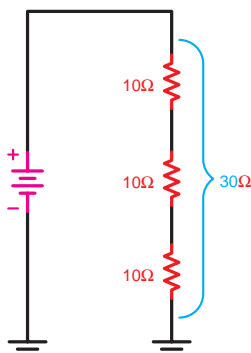
شکل ۵-۱۱- مدار معادل شکل قبل



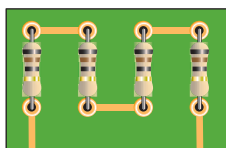
الف-مقاومت های نصب شده روی بردبرد



شکل ۵-۱۲- پنج مقاومت سری



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



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

از  $I_T$  در طرف دوم معادله فاکتور می گیریم و سپس آن را ساده می کنیم (مقدار  $I_T$  در طرفین حذف می شود).

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

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

مقاومت معادل مدار شکل فوق را در شکل ۵-۱۱

مشاهده می کنید.

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

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

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

$$R_T = 258\Omega$$

## - حالات خاص در مدارهای سری مقاومتی

منظور از حالات خاص مواردی است که به لحاظ

شباهت های گوناگون می توان روابط اصلی را در شکل ساده تر 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 مقاومت ها در مقدار یک مقاومت به دست می آید. (شکل ۵-۱۳)

$R$  - مقدار اهم یک مقاومت

$n$  - تعداد مقاومت ها

$$R_T = n.R$$

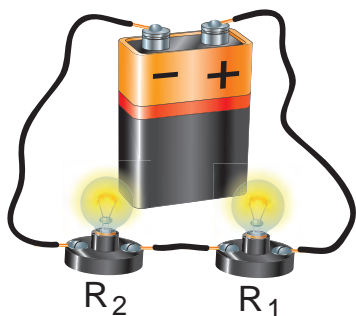
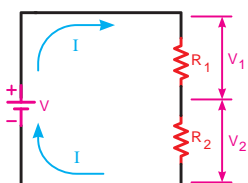
مثال: در صورتی که چهار مقاومت ۳۳ اهمی مطابق

شکل ۵-۱۴ به هم اتصال یابند مقدار مقاومت معادل چند اهم خواهد شد؟

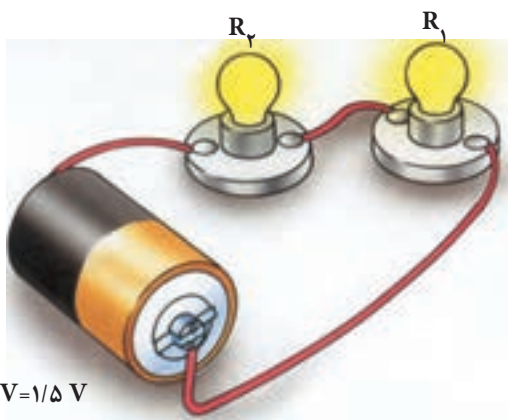
حل: مدار به صورت سری است و مقاومت ها نیز مساوی

هستند پس:

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



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



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



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

$$V_1 = R_1 \cdot I$$

می دانیم:

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

با جایگذاری معادل I در معادله فوق داریم:

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

بر همین اساس برای محاسبه ولتاژ  $V_2$  می توانیم

بنویسیم:

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

مثال: در صورتی که دو لامپ با مقاومت داخلی  $4\Omega$

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:

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

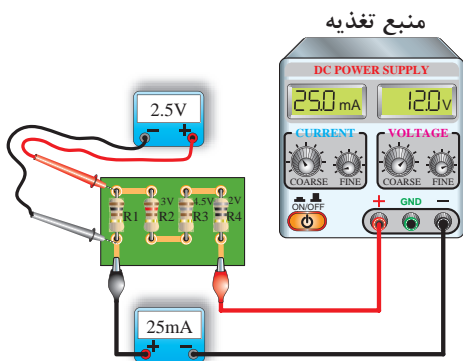
$$V_1 = 1.5 \times \frac{4}{4+4} \Rightarrow V_1 = \frac{6}{8} = 0.75 \text{ V}$$

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

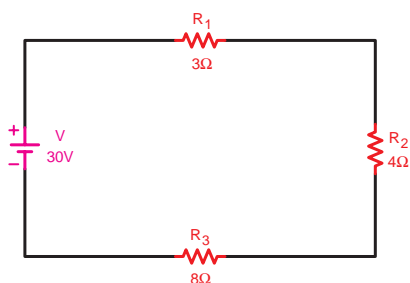
$$V_2 = 1.5 \times \frac{4}{4+4} \Rightarrow V_2 = \frac{6}{8} = 0.75 \text{ V}$$

**تذکر مهم:** مقدار مقاومت معادل هر مدار سری از بزرگ ترین مقاومت موجود در مدار بیشتر است.

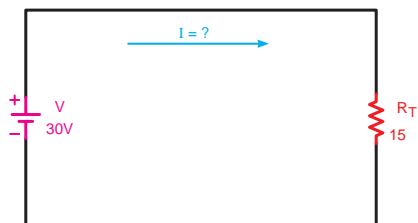




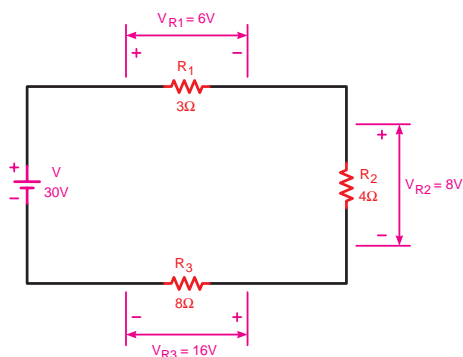
شکل ۵-۱۷- محاسبه مقادیر مقاومت ها در مدار سری



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



شکل ۵-۱۹



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

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.

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

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

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

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

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.

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

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

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

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

ج - براساس قانون KVL داریم:

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

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

### توضیح



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

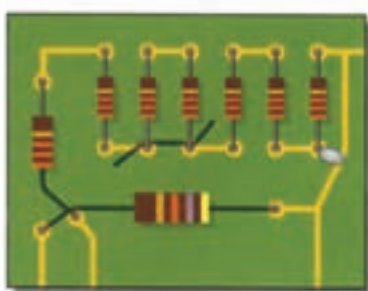
۱- قطع منبع تغذیه (خالی شدن باتری)

۲- قطع شدن سیم‌های رابط (پارگی سیم)

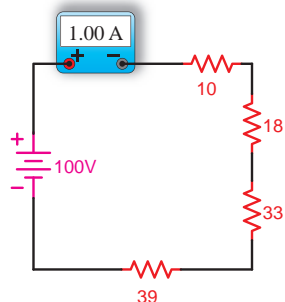
۳- قطع شدن مقاومت مصرف کننده از داخل مقاومت

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

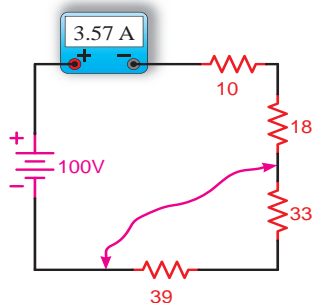
شکل ۵-۲۱- قطع لامپ موجب قطع شدن مدار سری می‌شود.



الف - حالت‌های مختلف اتصال کوتاه روی برد مدار چاپی



ب - جریان مدار در حالت عادی



ج - جریان مدار در حالت اتصال کوتاه

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

### 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 ۵-۲۲ این نکته را نشان می‌دهد.



ساعت

نظری	عملی	جمع
-	۱	۱

## عملیات کارگاهی



**هدف:** آشنایی با وسایل و تجهیزات آزمایشگاهی

**وسایل و تجهیزات مورد نیاز** (برای هر گروه کار)

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

**تذکر:** قبل از شروع کار عملی کلیه موارد ایمنی که در ابتدای کار عملی ۱ فرا گرفته اید را به دقت مطالعه کرده و به کار ببرید.







## اطلاعات اولیه آزمایشگاهی



شکل ۵-۲۳- یک نمونه منبع تغذیه

منبع تغذیه



در مدارهای الکتریکی جهت تأمین ولتاژ dc مورد نیاز از منابع تغذیه الکترونیکی مشابه شکل ۵-۲۳ استفاده می شود.



شکل ۵-۲۴- یک نمونه آمپر متر آزمایشگاهی

آمپر متر



در مدارها از آمپر متر برای اندازه گیری جریان استفاده می شود. آمپر متر سری در مدار قرار می گیرد. شکل ۵-۲۴ یک نمونه آمپر متر آزمایشگاهی را نشان می دهد.



شکل ۵-۲۵- یک نمونه ولت متر آزمایشگاهی

ولت متر



در مدارها از ولت متر برای اندازه گیری ولتاژ استفاده می شود. ولت متر به صورت موازی در مدار قرار می گیرد. شکل ۵-۲۵ یک نمونه ولت متر آزمایشگاهی را نشان می دهد.



شکل ۵-۲۶- یک نمونه اهم متر آزمایشگاهی

اهم متر



در مدارها از اهم متر برای اندازه گیری مقاومت استفاده می شود. اهم متر در مدار بصورت سری یا موازی قرار می گیرد. شکل ۵-۲۶ یک نمونه اهم متر آزمایشگاهی را نشان می دهد.

مولتی متر



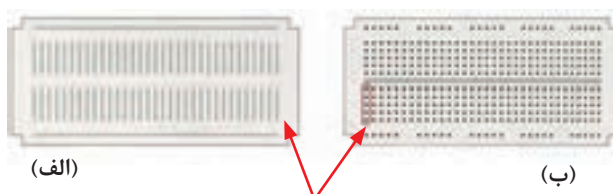


دیجیتالی



عقربه‌ای

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 CL متر



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

در اغلب آزمایشگاه‌ها و کارگاه‌ها از وسیله‌ای به نام «مولتی متر<sup>۱</sup>» 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

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 نمایشی 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<sup>۲</sup> 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.

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

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

۳- شکل بزرگ شده بردبرد در صفحه ۳۶۶ کتاب آمده است.



شکل ۵-۳۱

### پیل الکتریکی



شکل ۵-۳۱ دو نمونه پیل قلمی - کتابی را نشان می دهد. پیل های الکتریکی در مدارها به عنوان منابع تغذیه dc به کار می روند.



شکل ۵-۳۲

### سیگنال ژنراتور



سیگنال ژنراتور - دستگاهی است که قادر است شکل موج های مختلف سینوسی، مربعی، مثلثی و ... را با دامنه ها و فرکانس های مختلف تولید کند. شکل ۵-۳۲ دو نمونه سیگنال ژنراتور را نشان می دهد.



شکل ۵-۳۳

### اسیلوسکوپ



وسیله ای که در آزمایشگاه برای مشاهده شکل موج بکار می رود، اسیلوسکوپ است در شکل ۵-۳۳ یک نمونه اسیلوسکوپ را مشاهده می کنید.



شکل ۵-۳۴ - یک نمونه میز آزمایشگاهی

### میز آزمایشگاهی



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



(ب)



(الف)

شکل ۵-۳۵ - دو نمونه جعبه ابزار

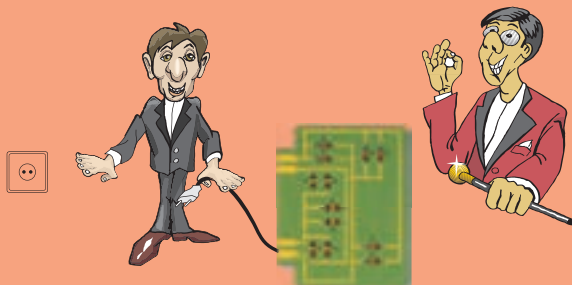
### جعبه ابزار



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



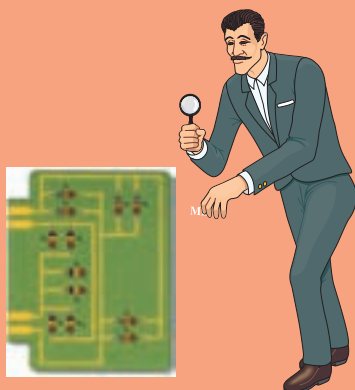
۱- مدارهای کامل شده را فقط با اجازه و نظارت مربی به برق وصل کنید.



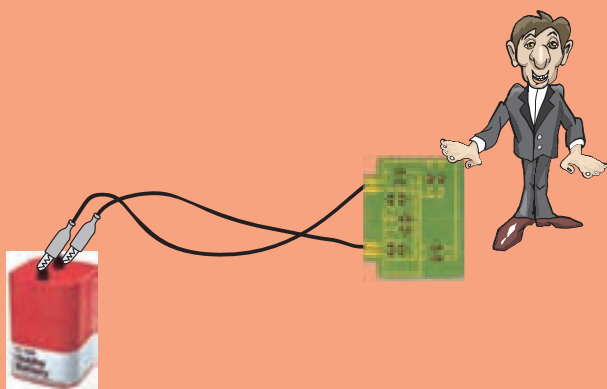
۲- قبل از وصل کردن برق مدار، یک بار دیگر آن را بررسی کنید.



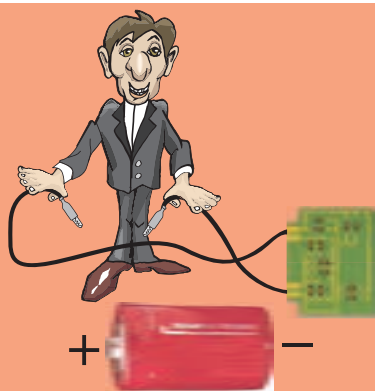
۳- در زمان وصل کردن مدارها روی بردبرد مسیرها را بررسی کنید تا پایه ها و سیم های رابط درست متصل شده باشند.



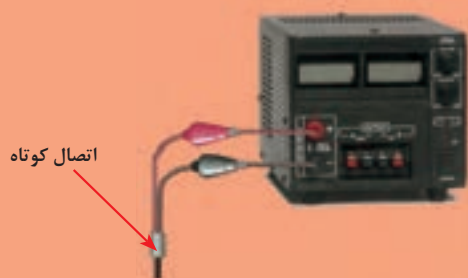
۴- هنگام خارج کردن قطعات از مدار یا اتصال کوتاه کردن آن ها منبع تغذیه را حتماً قطع کنید.



۵- هنگام اتصال منابع تغذیه (باتری ها) به پلاریته آن ها دقت کنید.



۶- اگر از منابع تغذیه الکترونیکی dc استفاده می کنید توجه داشته باشید که سیم های خروجی دستگاه هیچ وقت 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 آن ها توجه کنید.

۸- هنگام انتخاب مقاومت های اهمی موردنیاز به توان مجاز و کد رنگی یا حروف رمزی آن ها دقت کنید.



۹- هنگام استفاده از دستگاه های اندازه گیری به مقادیر مجاز و نحوه استفاده از آن ها دقت کنید.



### توضیح



برای انجام آزمایش های پیش بینی شده عملیات کارگاهی توصیه می شود در صورت عدم دسترسی به قطعات، وسایل یا میز آزمایشگاهی الکترونیکی مناسب می توانید به جای مقاومت های لازم برای مدارهای سری، موازی و سری - موازی از لامپ های رشته ای ۲۲۰ ولت با مشخصات زیر استفاده کنید.

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

### تذکر خیلی مهم:

خطر برق گرفتگی: در مراحل مختلف آزمایش های پیش بینی



شده اگر لامپ های رشته ای را جایگزین مقاومت های الکتریکی کرده اید هیچ گاه

آزمایش اتصال کوتاه را انجام ندهید. زیرا به خاطر بالا بودن مقدار ولتاژ شبکه، در حالت اتصال کوتاه جرقه های شدیدی به وجود می آید که احتمال برق گرفتگی و آتش سوزی دارد.





## عملیات کارگاهی (کار عملی ۱)



ساعت		
نظری	عملی	جمع
-	۱	۱

**هدف:** بررسی مدارهای مقاومتی سری در جریان مستقیم

**وسایل و تجهیزات مورد نیاز** (برای هر گروه کار)

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

**تذکر:** 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.



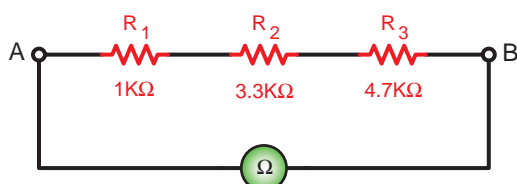
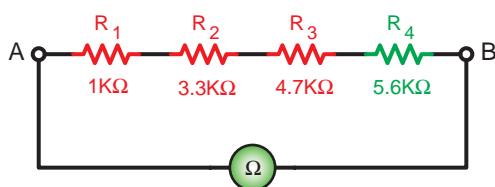
## اندازه گیری و محاسبه مقاومت در مدار سری مراحل اجرای آزمایش

جدول ۵-۱

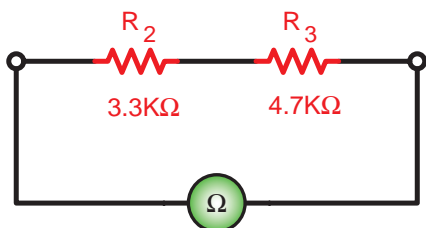
مقاومت	نوارهای رنگی	مقدار اهم و تیرانس خوانده شده	مقدار اندازه گیری شده
$R_1$			
$R_2$			
$R_3$			
$R_4$			



الف - تصویر واقعی مدار

ب - شکل مدار  
شکل ۵-۳۶

شکل ۵-۳۷



شکل ۵-۳۸

۱- مقدار اهم و درصد خطای مقاومت های  $R_1$  تا  $R_4$  را با توجه به نوارهای رنگی بخوانید و مقادیر آن ها را در جدول ۵-۱ بنویسید.

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

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

**تذکره ۱:** در اتصال مقاومت ها روی بردبرد توجه داشته باشید تا از ردیف های مرتبط با هم به شکل صحیح استفاده کنید تا مقاومت ها اتصال کوتاه نشوند.

**تذکره ۲:** سیم های رابطی را که جهت اتصال مقاومت ها به یکدیگر استفاده می کنید به اندازه لازم به کار ببرید (شکل ۵-۳۶).

۴- کلید رنج اهم متر را روی ضرب  $R \times 1k$  قرار دهید و مقاومت بین دو نقطه A و B را در شکل ۵-۳۶ اندازه گیری کنید.

$$R_{AB_1} = \boxed{\phantom{00000}}$$

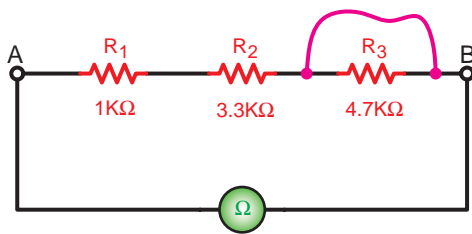
۵- مقاومت  $R_4$  را مطابق شکل ۵-۳۷ به مدار اضافه کنید و سپس به کمک یک اهم متر (کلید روی ضریب  $R \times 1k$ ) مقاومت مدار را بین نقطه A و B اندازه گیری کنید.

$$R_{AB_2} = \boxed{\phantom{00000}}$$

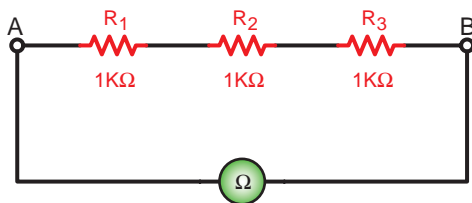
۶- مطابق شکل ۵-۳۸ دو مقاومت  $R_1$  و  $R_4$  را از مدار خارج کنید و سپس با استفاده از اهم متر مقاومت معادل بین دو نقطه A و B را اندازه بگیرید.

$$R_{AB_3} = \boxed{\phantom{00000}}$$

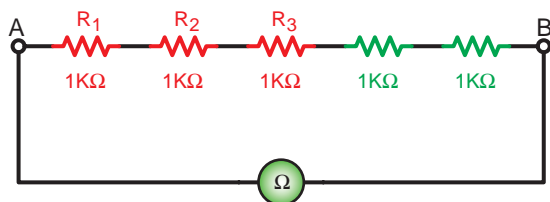




شکل ۵-۳۹



شکل ۵-۴۰



شکل ۵-۴۱

۷- مداری را مطابق شکل ۵-۳۹ اتصال دهید. سپس با استفاده از یک قطعه سیم دو طرف مقاومت  $R_3$  را به یکدیگر وصل کنید. (اتصال کوتاه) در این حالت مقدار مقاومت معادل بین دو نقطه A و B را اندازه بگیرید.

$$R_{AB_f} = \boxed{\phantom{000}}$$

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

$$R_{AB_s} = \boxed{\phantom{000}}$$

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 اهم متر مقاومت معادل بین دو نقطه A و B را اندازه بگیرید.

$$R_{AB_s} = \boxed{\phantom{000}}$$

۱۰- مقادیر به دست آمده در مدارهای شکل ۵-۴۰ و شکل ۵-۴۱ را با هم مقایسه کنید. چه نتیجه ای می گیرید؟ توضیح دهید.

۱۱- با اضافه کردن مقاومت  $R_4$  به شکل ۵-۳۷ یا برداشتن مقاومت های  $R_1$  و  $R_4$  در شکل ۵-۳۸ مقاومت معادل بین دو نقطه A و B در حالات مختلف چه تغییری کرده اند؟ چرا؟ شرح دهید.

۱۲- در صورت اتصال کوتاه شدن یکی از مصرف کننده های مدار سری، مقاومت معادل مدار چه تغییری می کند؟ چرا؟ شرح دهید.

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

## پاسخ سوال های



۱۰-

۱۱-

۱۲-

## پاسخ سوال های



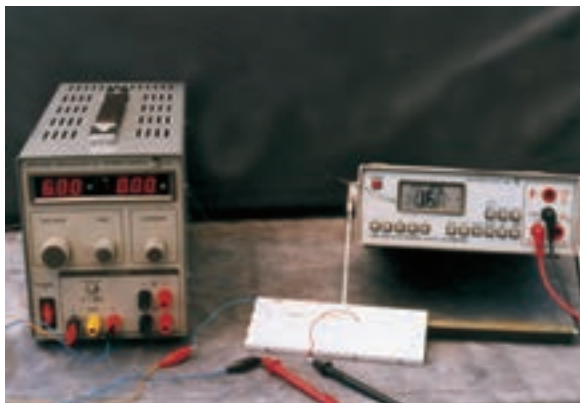
۱۳-

**توجه**

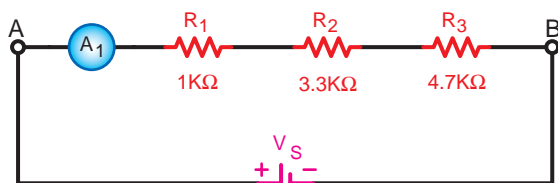


در صورتی که پس از انجام آزمایش نتیجه مورد نظر به دست نیامد یا پاسخ ها صحیح نبودند، قطعات، وسایل اندازه گیری و مدار اتصال داده شده را بررسی کنید و مراحل آزمایش را مجدداً تکرار کنید.

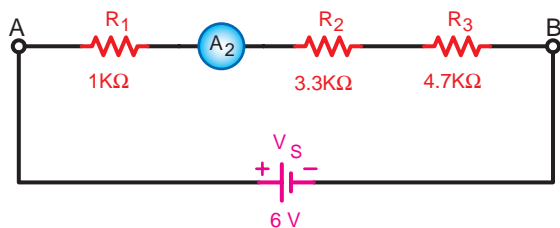
## ب اندازه گیری و محاسبه شدت جریان در مدار سری



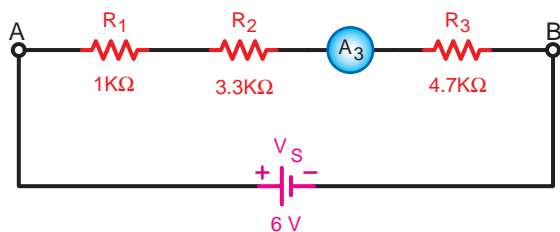
الف- تصویر واقعی مدار



ب- تصویر مدار  
شکل ۵-۴۲



شکل ۵-۴۳



شکل ۵-۴۴

۱- مدار شکل ۵-۴۲ را روی بردبرد ببندید.

تذکر: دقت کنید که آمپر متر 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.

$$I_{R_1} = \boxed{\phantom{000}}$$

۳- منبع تغذیه را خاموش کنید و محل قرار گرفتن

آمپر متر را مطابق شکل ۵-۴۳ تغییر دهید.

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

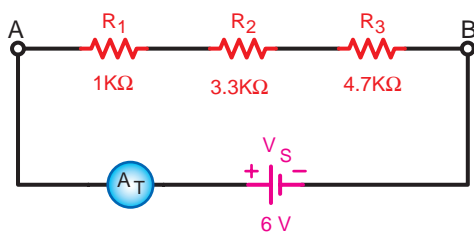
$$I_{R_2} = \boxed{\phantom{000}}$$

۵- منبع تغذیه را خاموش کنید و محل قرار گرفتن

آمپر متر را مطابق شکل ۵-۴۴ تغییر دهید.

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

$$I_{R_3} = \boxed{\phantom{000}}$$



شکل ۵-۴۵

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

$$I_T = \boxed{\phantom{000}}$$

## پاسخ سوال‌های



۸-

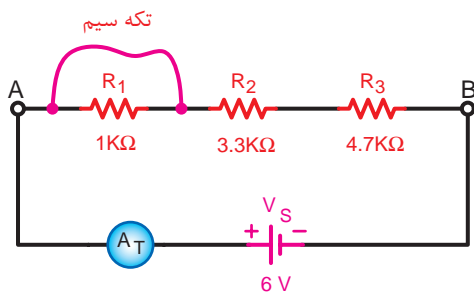
۸- از مقایسه جریان‌های بدست آمده با یکدیگر چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ توضیح دهید.

۹-

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

۱۰-

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



شکل ۵-۴۶

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 آمپرتر باید روی عدد  $2\text{mA}$  باشد.

## پاسخ سوال



۱۲-

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

$$I_{TSC} = \boxed{\phantom{000}}$$

## پاسخ سوال



۱۳-

۱۳- از مقدار به دست آمده  $I_{Tsc}$  (جریان اتصال کوتاه مدار در حالتی که  $R_1$  اتصال کوتاه است) چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

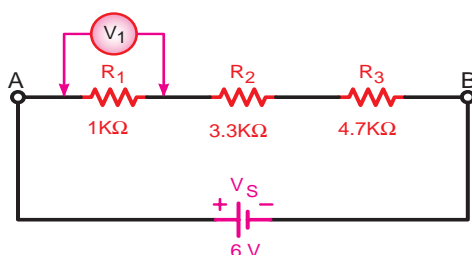
۱۴- برای حفاظت مدار ۵-۴۶ در مقابل اتصال کوتاه چه قطعه‌ای را پیشنهاد می‌کنید؟

## پاسخ سوال

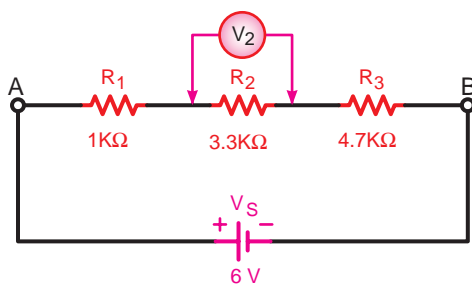


۱۴-

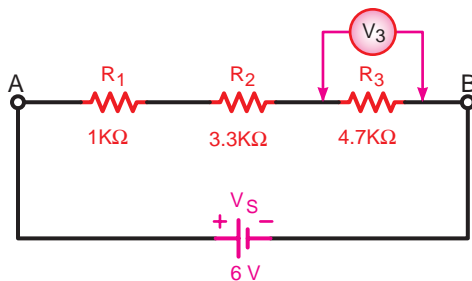
### پ اندازه‌گیری و محاسبه ولتاژ در مدار سری



شکل ۵-۴۷



شکل ۵-۴۸



شکل ۵-۴۹

۱- مدار شکل ۵-۴۷ را روی بردبرد ببندید.

**تذکر:** دقت کنید که ولت متر دو سر مصرف کننده به صورت موازی قرار گیرد و حداقل رنج انتخاب شده برای آن ۵V باشد.

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

$$V_{R_1} = \boxed{\phantom{000}}$$

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

$$V_{R_2} = \boxed{\phantom{000}}$$

بار دیگر مطابق شکل ۵-۴۹ برای بدست آوردن ولتاژ دو سر مقاومت ولت متر را در مدار قرار دهید.

$$V_{R_3} = \boxed{\phantom{000}}$$

۴- ولت متر را به دو سر منبع تغذیه اتصال داده و ولتاژ خروجی آن را اندازه گیری کنید.

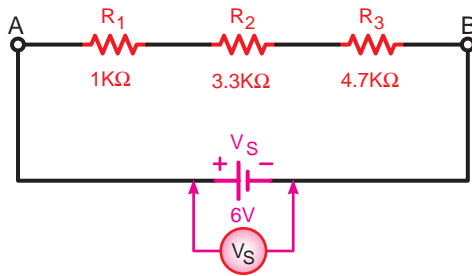
$$V_s = \boxed{\phantom{000}}$$

پاسخ سوال

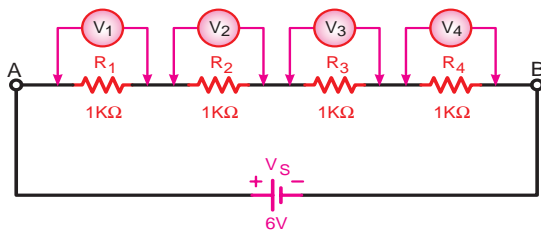


۵-

۵- از مقایسه مقادیر ولتاژهای بدست آمده در مراحل ۲ تا ۴ چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.



شکل ۵-۵۰



شکل ۵-۵۱

۶- آیا نتایج به دست آمده با مطالب تئوری و روابط مربوط به آن مطابقت دارد؟ با ذکر دلیل شرح دهید.

۷- آیا براساس نتایج آزمایش ها می توان جریان کل مدار و جریان هر یک از مقاومت ها را به دست آورد؟

۸- مدار شکل مقابل را روی بردبرد اتصال دهید و طی مراحل مختلف و با انتقال ولت متر ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت ها را اندازه گیری کنید. توجه داشته باشید که کلید رنج ولت متر حداقل روی ۵ ولت باشد.

$$V_{R_1} = \boxed{\phantom{000}}$$

$$V_{R_2} = \boxed{\phantom{000}}$$

$$V_{R_3} = \boxed{\phantom{000}}$$

$$V_{R_4} = \boxed{\phantom{000}}$$

پاسخ سوال



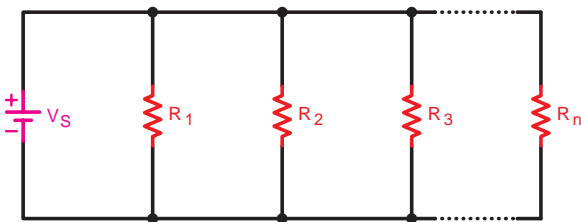
۹-

۹- از مقادیر به دست آمده در مدار شکل ۵-۵۱ چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

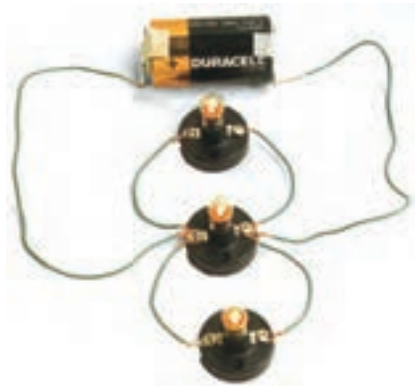
## ۲-۱-۵- اتصال موازی مقاومت ها:

اگر دو یا چند مقاومت ( $n$  مقاومت) به ترتیبی اتصال داده شوند که یک طرف هر یک از آن ها به یکدیگر و طرف دیگر آن ها نیز به یکدیگر متصل شوند این اتصال را «اتصال موازی» می گویند.

شکل ۵-۵۲ تصویر چهار مقاومت را که به صورت موازی اتصال دارند نشان می دهد.

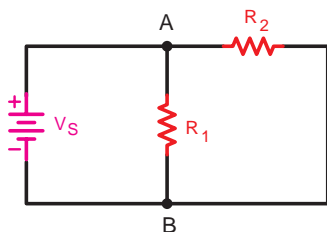


شکل ۵-۵۲ اتصال چند مقاومت موازی

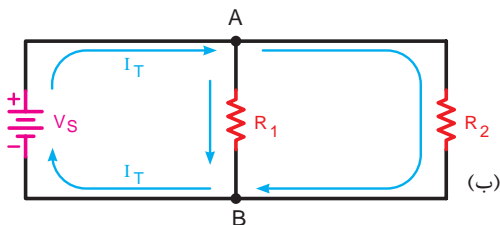


شکل ۵-۵۳ اتصال سه لامپ به صورت موازی

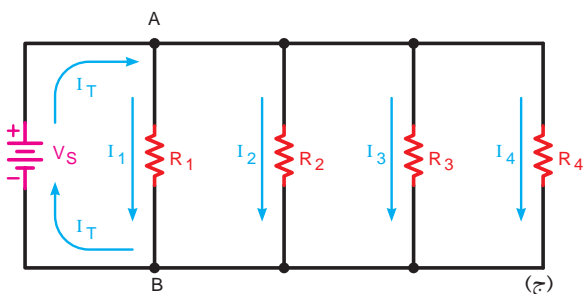
در شکل ۵-۵۳ سه لامپ را که به صورت موازی بسته شده اند مشاهده می کنید.



(الف)



(ب)



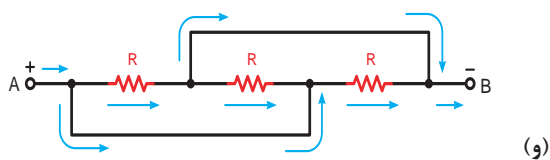
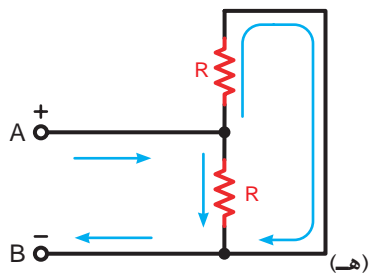
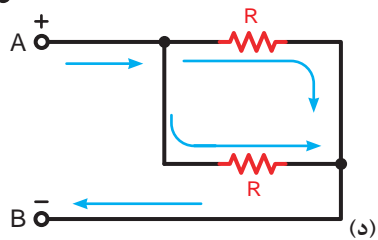
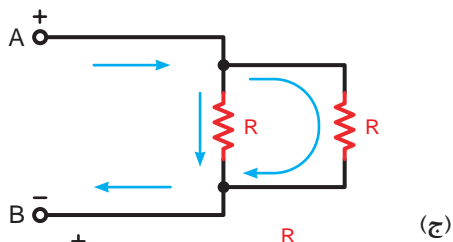
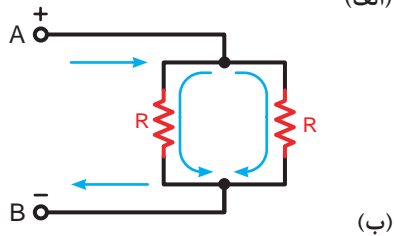
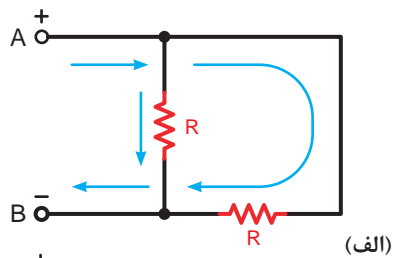
(ج)

شکل ۵-۵۴ چند نمونه از مدارهای موازی

در شکل ۵-۵۴ نمونه های دیگری از مدارهای موازی را مشاهده می کنید. در این مدارها یک طرف مقاومت ها در نقطه A و طرف دیگر مقاومت ها در نقطه B به هم وصل شده اند.

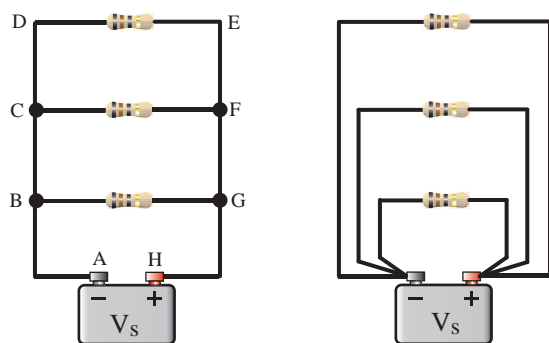
بین دو نقطه A و B قطب های (+) و (-) باتری اتصال داده شده است.

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

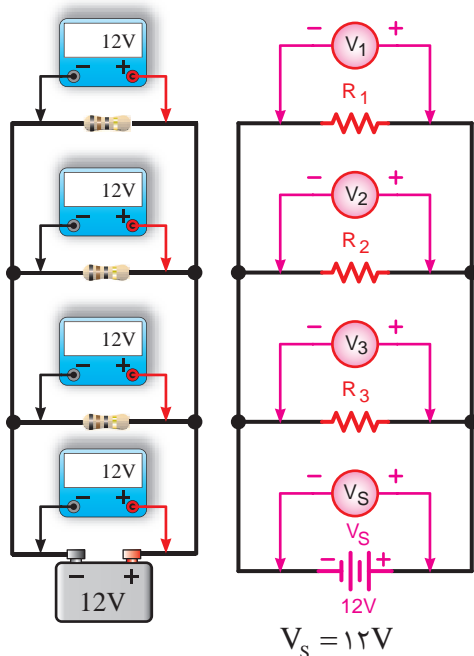


در تصاویر (الف) تا (و) از شکل (۵-۵۵) دو یا سه  
مقاومت را می‌توان مشاهده کرد که به صورت موازی اتصال  
داده شده‌اند. در نتیجه دو یا سه مسیر عبور جریان وجود  
دارند.

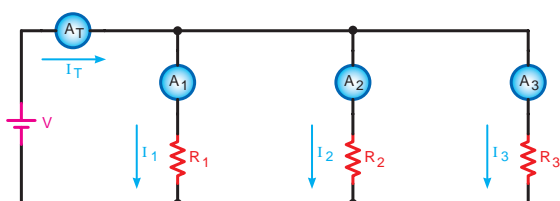
شکل ۵-۵۵- آرایش‌های مختلف مدارهای موازی



الف - شکل واقعی مقاومت ها



ب - شکل مداری با وسایل اندازه گیری  
 شکل ۵-۵۶- مدار با چهار مقاومت موازی و  
 وسایل اندازه گیری



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

برای تحلیل مدارهای موازی می توانیم 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 مقاومت ها با هم مساوی است. مساوی بودن ولتاژ در مدار موازی به عنوان عامل مشترک مدار در نظر گرفته می شود. با اتصال مداری طبق شکل ۵-۵۶ مطلب فوق تأیید می شود.

سپس برای مدارهای موازی می توان رابطه زیر را

نوشت:

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_S$$

یعنی:

$$V_{R_1} = V_{R_2} = V_{R_3} = \dots = V_S$$

### - عامل غیرمشترک در مدار موازی

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

با اتصال مداری مطابق شکل ۵-۵۷ هر یک از آمپرمترهای  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  و  $A_T$  جریانی مشخص را نشان می دهند.

جریان کل ( $I_T$ ) که توسط آمپرمتر  $A_T$  نشان داده می شود از قانون KCL پیروی می کند. رابطه جریان کل را می توان براساس این قانون به صورت مقابل نوشت:



### - مقاومت معادل در مدار موازی:

برای محاسبه مقاومت معادل در مدار موازی شکل ۵-۵۸

می توان از رابطه نهایی  $R_T$  زیر استفاده کرد:

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

نحوه بدست آوردن رابطه مزبور به شرح زیر است:

$$\left\{ \begin{array}{l} V = V_{R_1} = V_{R_2} = V_{R_3} = \dots = V_{R_n} \quad (1) \\ I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (2) \end{array} \right.$$

با توجه به قانون اهم برای هر مقاومت مطابق ستون

مقابل می توان نوشت:

حال مقادیر جریان ها را در معادله (۲) قرار می دهیم و

از  $V$  در طرف دوم معادله فاکتور می گیریم.

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

از  $V$  در طرف دوم فاکتور می گیریم.

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

مقدار  $V$  از دو طرف معادله حذف می شود و معادل

نهایی به صورت مقابل خواهد شد.

### 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 می آید:

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

که در این رابطه:

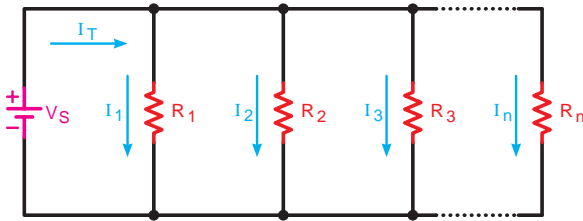
$R$  - مقدار یک مقاومت و

$n$  - تعداد مقاومت ها می باشد.

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

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

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$



شکل ۵-۵۸ - بررسی مقاومت معادل در مدار موازی

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \quad \text{جریان عبوری از مقاومت } R_1$$

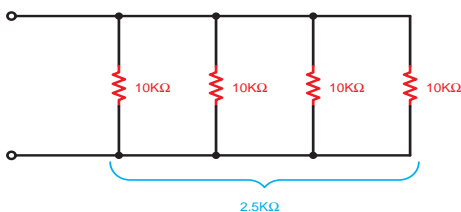
$$I_2 = \frac{V}{R_2} \quad \text{جریان عبوری از مقاومت } R_2$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} \quad \text{جریان عبوری از مقاومت } R_3$$

$$I_n = \frac{V}{R_n} \quad \text{جریان عبوری از مقاومت } R_n$$

$$I_T = \frac{V}{R_T} \quad \text{جریان عبوری از کل مدار}$$

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

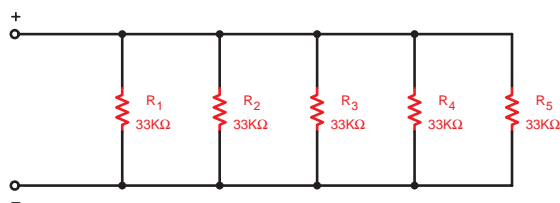


شکل ۵-۵۹ - چهار مقاومت مساوی موازی

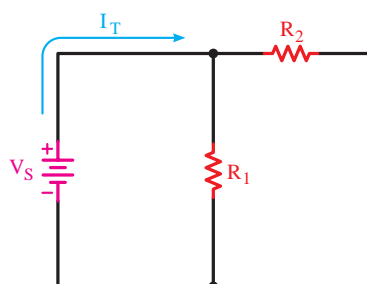
مثال: مقدار مقاومت معادل مدار شکل ۵-۶۰ چند

کیلو اهم است؟

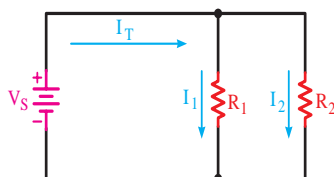
$$R_T = \frac{33}{5} = 6.6 \text{ k}\Omega$$



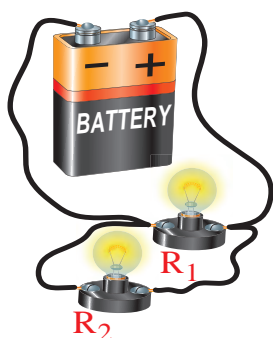
شکل ۵-۶۰



شکل ۵-۶۱

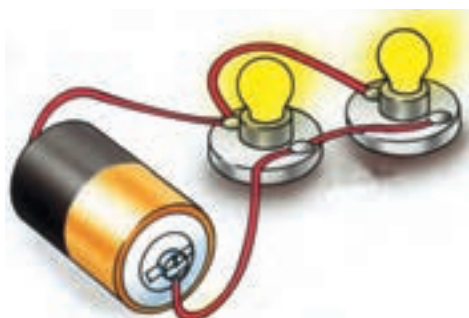


الف - شکل مداری



ب - شکل واقعی

شکل ۵-۶۲ - دو مقاومت موازی



شکل ۵-۶۳ - اتصال دو لامپ به صورت موازی

نکته مهم:



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

اگر دو مقاومت را به صورت موازی اتصال دهیم



مقدار مقاومت معادل با استفاده از رابطه اصلی ( $R_T$ ) به

صورت زیر خلاصه می شد:

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

جریان های هر شاخه را در دو مقاومت موازی



شکل ۵-۶۲ با استفاده از جریان کل ( $I_T$ ) می توان محاسبه

کرد:

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

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

مثال: دو لامپ با مقاومت داخلی  $4\Omega$  مطابق شکل

۵-۶۳ با هم موازی می شوند و به باتری  $1/5$  ولتی اتصال

می یابند و در صورتی که جریان کل عبوری از مدار  $1/5 \text{ A}$

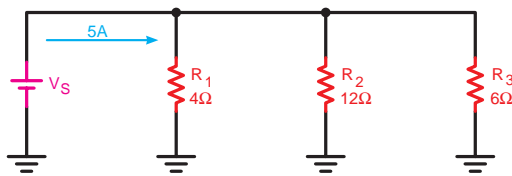
باشد جریان هر یک از لامپ ها چقدر است؟

$$I_1 = I \frac{R_r}{R_1 + R_r} \Rightarrow I_1 = 1/5 \times \frac{4}{4+4} = 0.75A$$

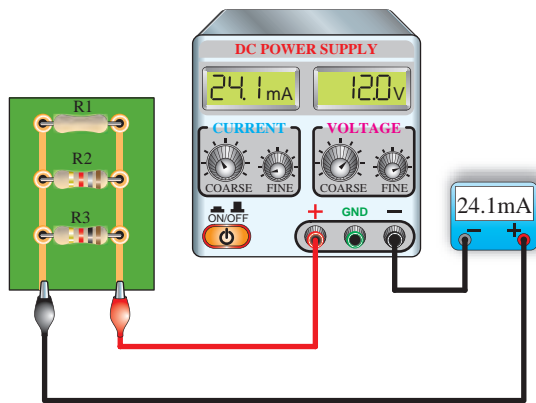
$$I_1 = I \frac{R_r}{R_1 + R_r} \Rightarrow I_r = 1/5 \times \frac{4}{4+4} = 0.75A$$

### نکته مهم:

در دو شاخه موازی، جریان هر شاخه از حاصل ضرب جریان کل در مقدار مقاومت شاخه‌ای که جریان آن مورد نظر نیست تقسیم بر مجموع دو مقاومت به دست می‌آید.



شکل ۵-۶۴



شکل ۵-۶۵

مثال: مقاومت معادل و ولتاژ کل را در شکل ۵-۶۴ به

دست آورید.

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_r} + \frac{1}{R_r}$$

حل:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} + \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{1}{R_T} = \frac{2+1+3}{12} = \frac{6}{12}$$

$$R_T = \frac{12}{6} = 2\Omega$$

$$V_S = R_T \cdot I_T \Rightarrow V_S = 5 \times 2$$

$$V_S = 10V$$

مثال: مقدار مقاومت  $R_1$  شکل ۵-۶۵ را بدست آورید.

$$(R_r = 1k\Omega, R_r = 1/8 K\Omega)$$

حل:

$$R_T = \frac{V}{I_T} = \frac{12V}{24/1mA} = 498\Omega$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_r} + \frac{1}{R_r} \Rightarrow \frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_T} - \left( \frac{1}{R_r} + \frac{1}{R_r} \right)$$

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{498\Omega} - \left( \frac{1}{1/8k\Omega} + \frac{1}{1k\Omega} \right)$$

$$R_1 = 2/21k\Omega$$

## عملیات کارگاهی (کار عملی ۲)



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)	۱ دستگاه
۲- پیل ۱/۵ ولتی	۴ عدد
۳- بردبرد	۱ عدد
۴- آوومتر دیجیتالی	۱ عدد
۵- آوومتر عقربه‌ای	۱ عدد
۶- میز آزمایشگاهی	۱ دستگاه
۷- مقاومت های اهمی	
۱ وات $R_1 = 1k\Omega$	
۱ وات $R_2 = 3/3 k\Omega$	
۱ وات $R_3 = 4/7 k\Omega$	
۱ وات $R_4 = 5/6 k\Omega$	
۸- سیم تلفنی	۵/۵ متر
۹- سیم چین	۱ عدد
۱۰- سیم لخت کن	۱ عدد
۱۱- گیره سوسماری	۶ عدد

**تذکر:** قبل از شروع کار عملی کلیه موارد ایمنی که در ابتدای کار عملی ۱ فرا گرفته اید را به دقت مطالعه کرده و به کار ببرید.



## اندازه گیری و محاسبه مقاومت در مدار موازی مراحل اجرای آزمایش

الف

جدول ۵-۲

مقاومت	نوارهای رنگی	مقدار تلرانسی خوانده شده	مقدار اندازه گیری شده
$R_1$			
$R_2$			
$R_3$			
$R_4$			

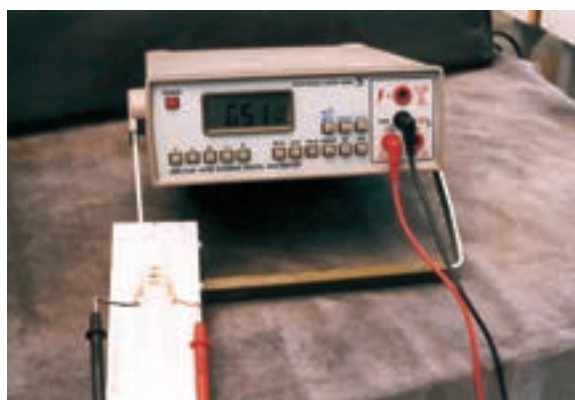
۱- مقدار اهم و درصد خطای مقاومت های  $R_1$  تا  $R_4$  را با توجه به نوارهای رنگی به دست آورید و در جدول ۵-۲ یادداشت کنید.

۲- حوزه کار اهم متر را روی  $R \times 1k$  قرار دهید و اهم هر یک از مقاومت ها را اندازه بگیرید و در جدول مقابل ثبت کنید.

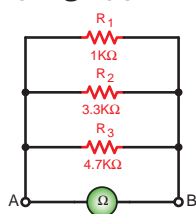
۳- مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  را مطابق شکل ۵-۶۶ روی بردبرد به صورت موازی اتصال دهید.

۴- کلید رنج اهم متر را روی ضریب  $R \times 1k$  قرار دهید و مقاومت بین دو نقطه A و B را در شکل ۵-۶۶ اندازه گیری کنید.

$$R_{AB_1} = \boxed{\phantom{000}}$$

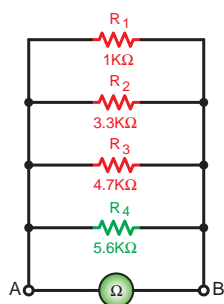


الف- شکل واقعی مدار



ب- شکل مداری

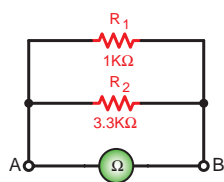
شکل ۵-۶۶



شکل ۵-۶۷

۵- مقاومت  $R_4$  را مطابق شکل ۵-۶۷ به مدار اضافه کنید و کلید اهم متر را روی ضریب  $R \times 1k$  قرار دهید. مقاومت مدار را بین نقطه A و B اندازه گیری کنید.

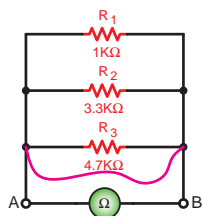
$$R_{AB_2} = \boxed{\phantom{000}}$$



شکل ۵-۶۸

۶- مطابق شکل ۵-۶۸ دو مقاومت  $R_1$  و  $R_2$  را از مدار خارج کنید به وسیله اهم متر مقاومت معادل مدار را بین دو نقطه A و B اندازه گیری کنید.

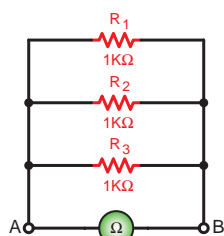
$$R_{AB_7} = \boxed{\phantom{000}}$$



شکل ۵-۶۹

۷- مداری را مطابق شکل ۵-۶۹ اتصال دهید و با یک قطعه سیم دو طرف مقاومت  $R_3$  را به یکدیگر وصل کنید (اتصال کوتاه). مقدار مقاومت معادل بین دو نقطه A و B را اندازه بگیرید.

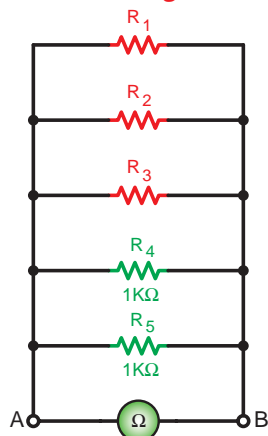
$$R_{AB_8} = \boxed{\phantom{000}}$$



شکل ۵-۷۰

۸- سه مقاومت  $1k\Omega$  را مطابق شکل ۵-۷۰ به صورت موازی اتصال دهید و با اهم متر مقاومت معادل بین دو نقطه A و B را اندازه گیری کنید.

$$R_{AB_9} = \boxed{\phantom{000}}$$



الف- شکل مداری

۹- به مدار شکل ۵-۷۱ دو مقاومت  $1k\Omega$  را به صورت موازی طبق شکل ۵-۷۰ اضافه کنید. با اهم متر مقاومت معادل بین دو نقطه A و B را اندازه بگیرید.

$$R_{AB_{10}} = \boxed{\phantom{000}}$$

۱۰- از مقادیر به دست آمده  $R_{AB_9}$  در مرحله ۸ و  $R_{AB_{10}}$  در مرحله ۹ چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.



ب- شکل واقعی مدار

شکل ۵-۷۱



۱۱- با اضافه کردن مقاومت  $R_4$  به شکل ۵-۶۶ یا کم کردن مقاومت های  $R_3$  و  $R_4$  طبق شکل ۵-۶۸ مقاومت معادل مدار بین دو نقطه A و B چگونه تغییر کرده است؟ چرا؟ شرح دهید.

۱۲- در صورت اتصال کوتاه شدن یکی از مصرف کننده های مدار موازی، مقاومت معادل مدار چه تغییری می کند؟ چرا؟ شرح دهید.

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)

۱۴- در صورتی که پس از انجام آزمایش نتیجه ای قابل قبول به دست نیامد، یا پاسخ ها صحیح نبود، قطعات، وسایل اندازه گیری و مدار را بررسی کنید و مراحل آزمایش را مجدداً انجام دهید.

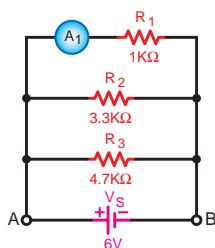
### ب اندازه گیری و محاسبه شدت جریان در مدار موازی

- مدار شکل ۵-۷۲ را روی بردبرد ببندید.

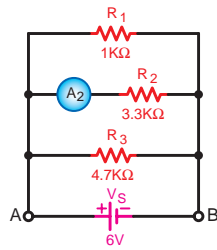
**تذکر:** دقت کنید که آمپر متر در مدار سری بسته شود و حداقل رنج انتخاب شده برای آن  $10\text{mA}$  باشد.

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

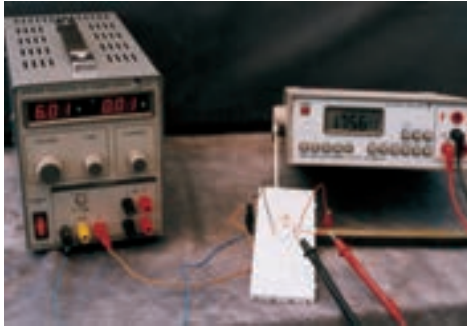
$$I_{R_1} = \boxed{\phantom{000}}$$



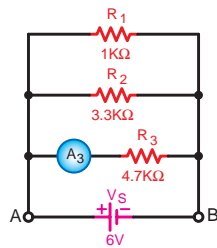
شکل ۵-۷۲



شکل ۵-۷۳



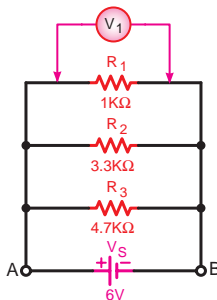
الف-شکل واقعی مدار



ب-شکل مداری  
شکل ۵-۷۴



الف-شکل واقعی مدار



ب-شکل مداری  
شکل ۵-۷۵

۳- منبع تغذیه را خاموش کنید و محل قرار گرفتن آمپرتر را مطابق شکل ۵-۷۳ تغییر دهید.

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

$$I_{R_2} = \boxed{\phantom{000}}$$

۵- منبع تغذیه را خاموش کنید و محل قرار گرفتن آمپرتر را مطابق شکل ۵-۷۴ تغییر دهید.

۶- کلید منبع تغذیه را وصل کنید و جریان مقاومت  $R_3$  را اندازه بگیرید.

$$I_{R_3} = \boxed{\phantom{000}}$$

## اندازه گیری و محاسبه ولتاژ در مدار موازی

پ

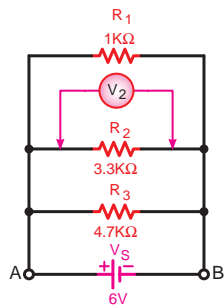
۱- مدار شکل ۵-۷۵ را روی بردبرد ببندید.

تذکر: دقت کنید که ولت متر باید به صورت موازی در دو سر مصرف کننده قرار گیرد و حداقل رنج را برای ولت متر ۱۰۷ انتخاب کنید.

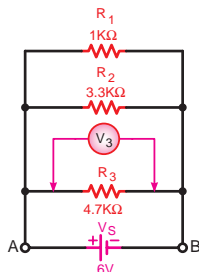
۲- کلید منبع تغذیه را وصل کنید و افت ولتاژ دو سر مقاومت  $R_1$  را قرائت نمایید.

$$V_{R_1} = \boxed{\phantom{000}}$$

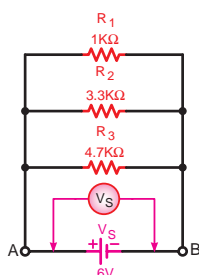




شکل ۵-۷۶



شکل ۵-۷۷



شکل ۵-۷۸

۳- منبع تغذیه را خاموش کنید و محل قرار گرفتن ولت متر را مطابق شکل ۵-۷۶ برای به دست آوردن ولتاژ مقاومت  $R_2$  تغییر دهید.

۴- منبع تغذیه را روشن کنید و ولتاژ دو سر مقاومت  $R_2$  را اندازه بگیرید.

$$V_{R_2} = \boxed{\phantom{000}}$$

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.

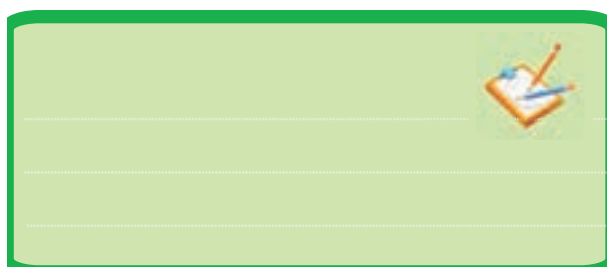
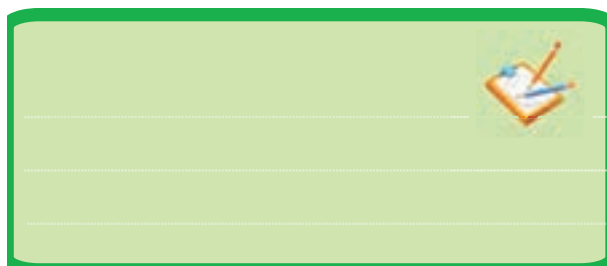
$$V_{R_3} = \boxed{\phantom{000}}$$

۷- ولت متر مطابق شکل ۵-۷۸ را به دو سر منبع تغذیه اتصال داده و ولتاژ باتری را اندازه بگیرید.

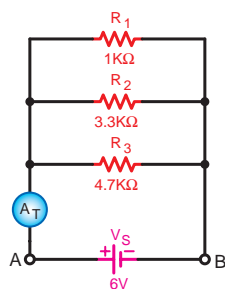
$$V_S = \boxed{\phantom{000}}$$

۸- از مقایسه مقادیر ولتاژهای به دست آمده چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

۹- آیا نتایج به دست آمده با مطالب تئوری و روابط مربوط به آن مطابقت دارد؟



۱۰- آیا براساس نتایج به دست آمده از آزمایش ها جریان کل و جریان هر یک از مقاومت ها را می توان به دست آورد؟



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  $100\text{mA}$  باشد.

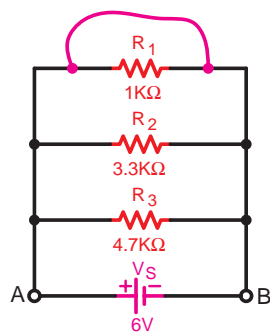
$$I_T = \boxed{\phantom{000}}$$

۱۲- از مقایسه جریان های اندازه گیری شده با یکدیگر چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

۱۳- آیا نتایج به دست آمده از آزمایش با مطالب تئوری و روابط مربوط به آن مطابقت دارد؟ شرح دهید.

۱۴- آیا براساس نتایج به دست آمده از آزمایش مرحله ۱۰ می توان مقاومت کل مدار را به دست آورد؟ محاسبه کنید.

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.



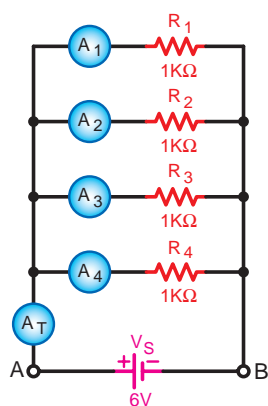
شکل ۵-۸۰

**توجه**  
۱۶- هیچ گاه منبع تغذیه را در این حالت وصل نکنید.



۱۷- چرا در حالت اتصال کوتاه مدار موازی، منبع تغذیه را نباید وصل کرد؟ شرح دهید.

۱۸- برای حفاظت مدار شکل ۵-۸۰ در مقابل اتصال کوتاه چه قطعه‌ای را پیشنهاد می‌کنید؟



شکل ۵-۸۱

۱۹- مدار شکل ۵-۸۱ را روی بردبرد اتصال دهید و در مراحل جداگانه جریان هر یک از مقاومت‌ها را اندازه‌گیری کنید. (کلید رنج آمپر متر حداقل روی  $1\text{mA}$  باشد).

$$I_{R_1} = \boxed{\phantom{000}}$$

$$I_{R_2} = \boxed{\phantom{000}}$$

$$I_{R_3} = \boxed{\phantom{000}}$$

$$I_{R_4} = \boxed{\phantom{000}}$$

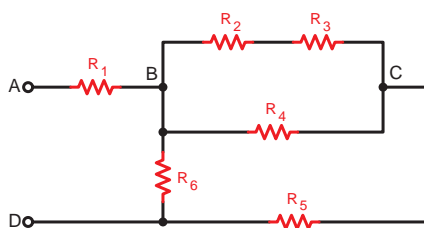
$$I_T = \boxed{\phantom{000}}$$

۲۰- از مقادیر به دست آمده در مدار شکل ۵-۸۱ چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

### ۳- ۱- ۵- 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.



شکل ۵-۸۲

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. (شکل های ۵-۸۳ و ۵-۸۴)

نمونه هایی از مدارهای ترکیبی سری موازی به همراه نحوه قرار گرفتن مقاومت ها را در کنار هم نشان می دهند. برای آشنایی بیشتر با این مدارها به ذکر مثال هایی می پردازیم:

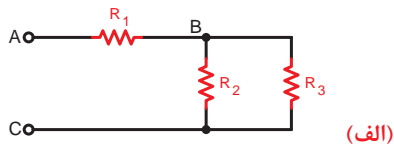
**مثال:** رابطه کلی محاسبه  $R_T$  را برای شکل ۵-۸۵ بنویسید.

**حل:** همان گونه که مشاهده می شود مقاومت های  $R_3$  و  $R_4$  به صورت موازی بسته شده اند. مقاومت معادل این دو مقاومت با دو مقاومت  $R_1$  و  $R_2$  به صورت سری قرار دارد. پس می توان نوشت:

$$R_T = R_1 + (R_3 \parallel R_4) + R_2$$

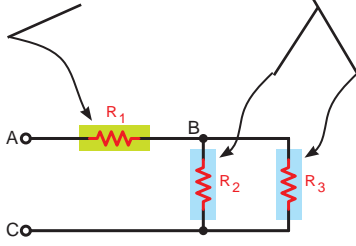
**مثال:** نحوه محاسبه مقاومت معادل مدار شکل ۵-۸۶ را به ترتیب بنویسید و مدار را در هر یک از حالت رسم کنید.

۱- در برخی موارد برای خلاصه نویسی از علامت (||) برای مشخص کردن مقاومت های موازی و از علامت (+) برای مشخص کردن مقاومت های سری استفاده می شود.



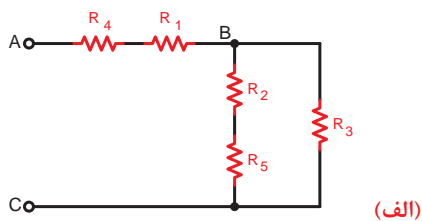
(الف)

مقاومت های  $R_2$  و  $R_3$  موازی و  $R_1$  با آن ها سری است.



(ب)

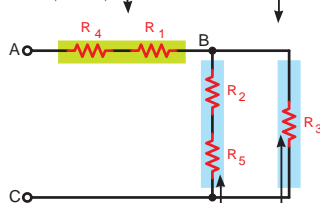
شکل ۵-۸۳



(الف)

گروه های سایه دار به طور سری قرار گرفته اند.

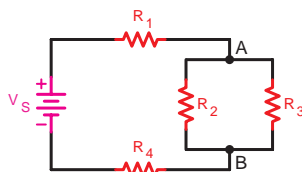
$R_1$  و  $R_4$  به طور سری قرار گرفته اند



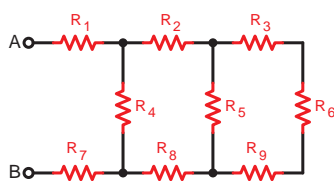
(ب)

گروه آبی رنگ به طور موازی قرار گرفته اند

شکل ۵-۸۴



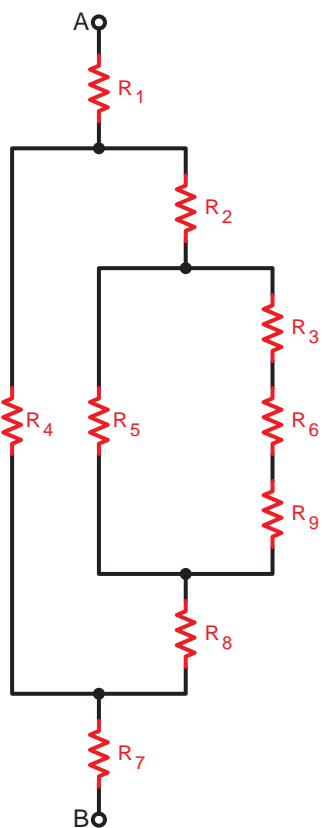
شکل ۵-۸۵



شکل ۵-۸۶

حل:

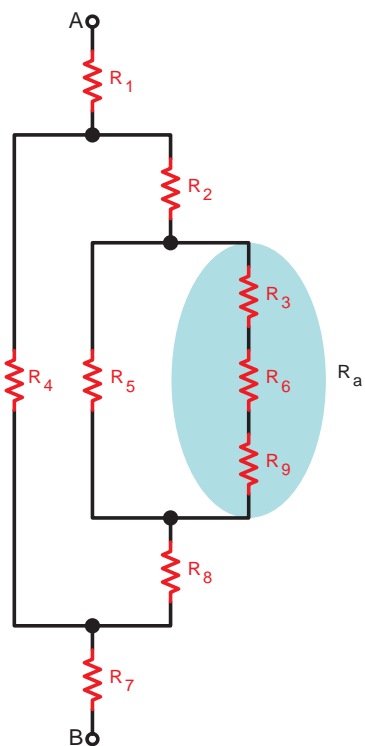
مرحله ۱: شکل ۵-۸۷ را به صورت ساده تر رسم می کنیم تا مفهوم سری - موازی در مدار مورد نظر بهتر مشخص شود.



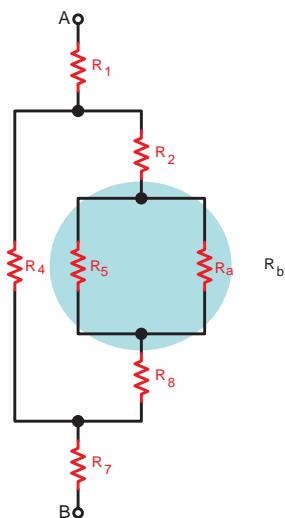
شکل ۵-۸۷

مرحله ۲: مقاومت معادل سه مقاومت  $R_p$ ,  $R_f$  و  $R_q$  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)

$$R_a = R_p + R_f + R_q$$



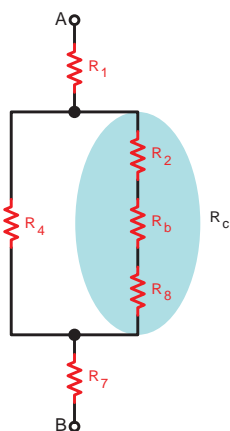
شکل ۵-۸۸



شکل ۵-۸۹

مرحله ۳: مقاومت معادل دو مقاومت  $R_a$  و  $R_b$  که به صورت موازی قرار گرفته اند را  $R_b$  می نامیم و معادل آن را بدست می آوریم. (شکل ۵-۸۹)

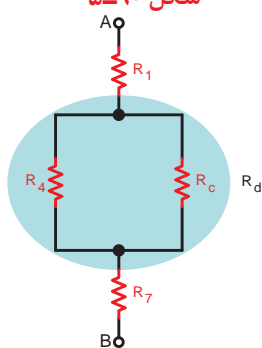
$$R_b = \frac{R_a \times R_b}{R_a + R_b}$$



شکل ۵-۹۰

مرحله ۴: در این مرحله مقاومت معادل به دست آمده در مرحله قبل را که به صورت سری با مقاومت های  $R_f$  و  $R_a$  قرار دارد را محاسبه می کنیم. (شکل ۵-۹۰)

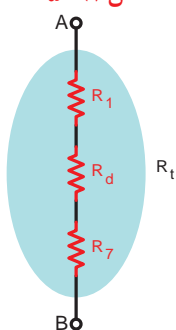
$$R_c = R_f + R_b + R_a$$



شکل ۵-۹۱

مرحله ۵: مقاومت معادل  $R_c$  در این مرحله با مقاومت  $R_f$  به صورت موازی قرار می گیرد. مقاومت معادل آن ها را  $R_d$  می نامیم و مقدار آن را محاسبه می کنیم. (شکل ۵-۹۱)

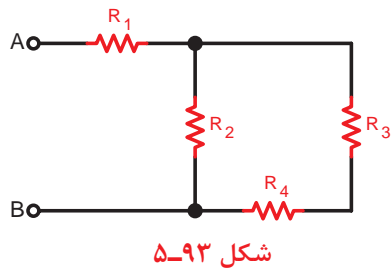
$$R_d = \frac{R_f \times R_c}{R_f + R_c}$$



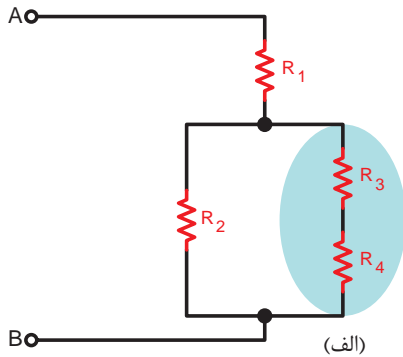
شکل ۵-۹۲

مرحله ۶: در این مرحله مقاومت  $R_d$  با دو مقاومت  $R_1$  و  $R_v$  به صورت سری قرار می گیرد. با محاسبه مقاومت معادل این سه مقاومت مقدار مقاومت معادل کل مدار به دست می آید. (شکل ۵-۹۲)

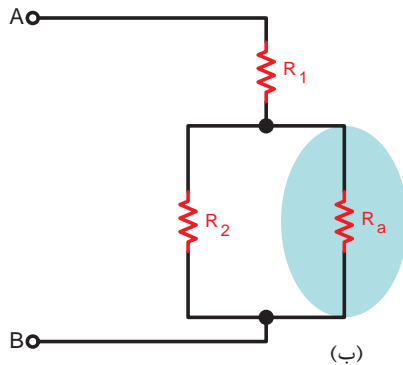
$$R_{AB} = R_t = R_1 + R_d + R_v$$



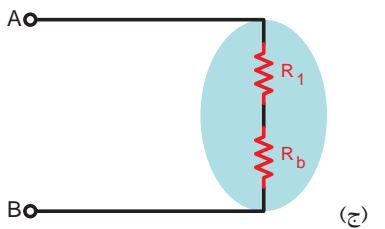
**مثال:** مقدار مقاومت معادل شکل ۵-۹۳ را در صورتی که  $R_1 = 12\Omega$ ,  $R_2 = 10\Omega$ ,  $R_3 = 2\Omega$ ,  $R_4 = 4\Omega$  است را حساب کنید.



**حل:** ابتدا مدار را به صورت شکل ساده شده (۵-۹۴الف) در می آوریم و معادل دو مقاومت سری  $R_3$  و  $R_4$  را محاسبه می کنیم.

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


مقاومت معادل مقاومت های  $R_a$  و  $R_2$  را که به صورت موازی هستند و مقدار آن ها نیز مساوی است حساب می کنیم.

$$R_b = \frac{R_a}{2} = \frac{4 \times 12}{4 + 12} = 3\Omega$$


مقاومت های معادل به دست آمده مرحله قبل ( $R_b$ ) را با مقاومت  $R_1$  صورت سری در نظر می گیریم و مقاومت معادل آن برابر خواهد شد با:



$$R_c = R_1 + R_b = 3 + 12 = 15\Omega$$

مقاومت به دست آمده برابر با مقاومت معادل کل مدار است، (شکل ۵-۹۴د)

$$R_c = R_t = 15\Omega$$

شکل ۵-۹۴

## ۲-۵- افت ولتاژ در هادی ها

همان طوری که می دانید سیم های رابط دارای مقاومت الکتریکی هستند. هم چنین طبق قانون اهم با عبور جریان الکتریکی از یک مقاومت ولتاژی در دو سر آن به وجود می آید.

هر قدر فاصله بین منبع تغذیه (مولد) و مصرف کننده بیشتر باشد، مقدار مقاومت سیم های رابط بیشتر می شود و افت ولتاژ در طول مسیر نیز زیادتر خواهد شد.

شکل ۵-۹۵ شبکه ای را نشان می دهد که بین تولید کننده (نیروگاه) و مصرف کننده فاصله زیاد است.

چون این ولتاژ به صورت ناخواسته در مدار به وجود می آید لذا باعث کاهش ولتاژ منبع تغذیه اصلی ( $V_S$ ) می شود و ولتاژ کمتری برای مصرف کننده ( $V_L$ ) جهت انجام کار فرستاده می شود. لذا ولتاژ تلف شده در مسیر بین مولد و مصرف کننده را افت ولتاژ می نامند و آن را با ( $\Delta V$ ) نشان می دهند.

شکل ۵-۹۶ نمونه ای از تلف شدن ولتاژ در سیم را نشان می دهد.

طبق شکل ۵-۹۶ اگر فاصله بین منبع تغذیه و مصرف کننده  $L$  متر باشد، افت ولتاژ مسیر از رابطه مقابل به دست می آید.

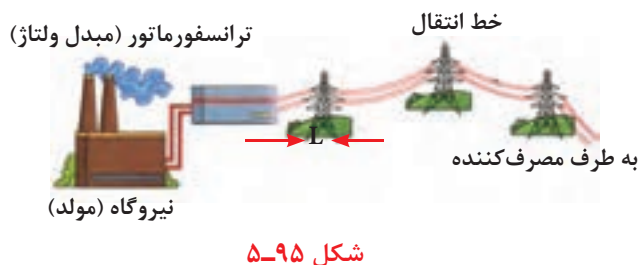
مقدار  $\Delta V$  با استفاده از مقدار مقاومت سیم های رابط نیز قابل محاسبه است. چون هر مسیر از دو سیم تشکیل می شود لذا رابطه دقیق برای  $\Delta V$  به صورت زیر درمی آید.

$$\Delta V = 2RI$$

که در این رابطه:

$R$  - مقاومت یک رشته سیم در طول مسیر

$I$  - جریان عبوری از سیم



شکل ۵-۹۶ افت ولتاژ بین مولد و مصرف کننده

ولتاژ مصرف کننده - ولتاژ تولید کننده = افت ولتاژ مسیر

$$\Delta V = V_S - V_L$$

جدول ۳-۵

محل مورد نظر	استاندارد	شرح
مصارف (روشنایی (لامپ ها)	۱/۵ %	$\Delta V = \frac{1}{5} \times \frac{VS}{100}$
مصارف (صنعتی (موتورها)	۳ %	$\Delta V = \frac{3}{100} \times VS$



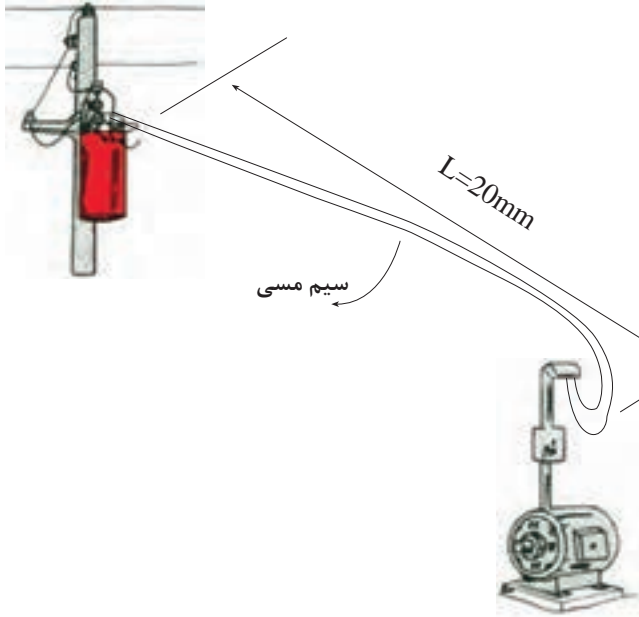
$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} \times 100$$



مقطع بزرگ  
برای جریان زیاد



مقطع کوچک  
برای جریان کم



شکل ۹۷-۵ محاسبه افت ولتاژ در خط

افت ولتاژ مجاز معمولاً برحسب درصدی از ولتاژ منبع تغذیه بیان می شود. برای اینکه مقدار افت ولتاژ در مدارهای روشنایی و صنعتی بیش از حد قابل قبول نشود آن را به صورت استاندارد طبق جدول ۳-۵ تعریف می کنند. برای محاسبه  $\Delta V$  بر حسب درصد از رابطه مقابل می توان استفاده کرد. در این رابطه  $\Delta V$  مقدار افت ولتاژ مدار و  $V$  مقدار ولتاژ شبکه است.

برای کاهش افت ولتاژ  $\Delta V$  در طول مسیر باید متناسب با نوع مصرف کننده و مقدار جریان عبوری، سیمی با سطح مقطع مناسب انتخاب کرد. (سطح مقطع کوچک برای جریان کم و سطح مقطع بزرگ برای جریان زیاد).

**مثال:** یک موتور الکتریکی با جریان مصرفی  $10A$  در فاصله ۲۰ متری از منبع تغذیه ۲۰۰ ولتی قرار دارد. اگر بخواهیم با استفاده از سیم مسی ( $\chi_{cu} = 56$ ) به آن برق رسانی کنیم، سطح مقطع سیم مناسب را حساب کنید.  
**حل:** چون مصرف کننده موتور است با توجه به جدول ۳-۵ در صد  $\Delta V$  را برابر با ۳٪ در نظر می گیریم و مقدار آن را محاسبه می کنیم.

$$\Delta V = \frac{3}{100} \times 200 = 6V$$

پس از به دست آوردن  $\Delta V$  مقدار  $R$  را تعیین

می کنیم:

$$\Delta V = 2RI$$

$$R = \frac{\Delta V}{2I} = \frac{6}{2 \times 10} = \frac{6}{20} = 0.3 \Omega$$

با استفاده از رابطه  $R = \frac{L}{\chi \cdot A}$  مقدار  $A$  را به دست

می آوریم:

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

$$A = \frac{20}{56 \times 0.3} = 119 \text{ mm}^2$$



شکل ۹۸-۵ بخاری برقی

**مثال:** برای یک بخاری برقی با جریان نامی ۱۰ آمپر که در فاصله ۲۰ متری از کنتور قرار گرفته و با ولتاژ ۲۲۰ ولت کار می کند سطح مقطع سیم مناسب از جنس مس چقدر است؟

**حل:** چون مصرف کننده موتوری نیست و محل قرار گرفتن آن بعد از کنتور می باشد لذا طبق جدول ۳-۵ برای مقدار  $\Delta V$  داریم:

$$\% \Delta V = \% 1/5$$

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} \times 100 \Rightarrow \Delta V = \frac{\% \Delta V \times V}{100} = \frac{1/5 \times 220}{100} = 3/3 \text{ V}$$

$$\Delta V = rRI = r \frac{L}{\chi \cdot A} \cdot I$$

$$A = \frac{rLI}{\chi \cdot \Delta V} = \frac{2 \times 20 \times 10}{56 \times 3/3} = \frac{400}{184/8} = 2/16 \text{ mm}^2$$

**مثال:** یک موتور جریان dc به وسیله کابل مسی دو رشته به سطح مقطع  $4 \text{ mm}^2$  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:**

$$\Delta V = rRI = \frac{rLI}{\chi \cdot A}$$

الف -

$$\Delta V = \frac{2 \times 28 \times 23}{56 \times 4} = 5/75 \text{ V}$$

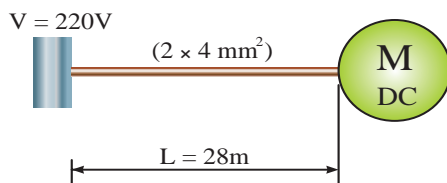
$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} \times 100$$

$$\% \Delta V = \frac{5/75}{220} \times 100 = \% 2/6$$

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.



شکل ۹۹-۵

### ۳-۵- انواع پیل ها

قبل از معرفی انواع پیل ها لازم است با دو مفهوم زیر آشنا شویم:

**الف - پیل الکتروشیمیایی<sup>۱</sup>:** 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<sup>۲</sup>» و «پیل های ثانویه<sup>۳</sup>» تقسیم می شوند.

#### ۱-۳-۵- پیل های اولیه

پیل هایی هستند که پس از تخلیه نمی توان آن ها را مجدداً استفاده کرد زیرا قابل پر کردن (شارژ) نیستند. این پیل ها در صنعت اصطلاحاً تحت عنوان «پیل های خشک» معروف هستند.

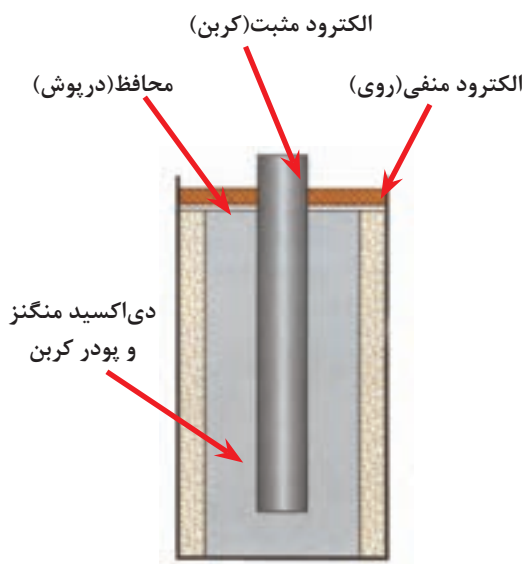
مهم ترین آن ها به شرح زیر است:

**- پیل روی - کربن:** پایه مثبت این پیل از یک میله کربنی و پایه منفی آن از یک ظرف استوانه ای از جنس روی تشکیل می شود. پایه مثبت در درون ظرف قرار دارد و فضای بین آن ها توسط محلولی (الکترولیت) از جنس پودر کربن و موادی دیگر که به صورت خمیر است پر می شود. ولتاژ این پیل ها در حدود ۱/۵ ولت است و دارای عمر نسبتاً طولانی هستند ساختمان داخلی و شکل ظاهری یک نمونه از این پیل را در شکل ۵-۱۰۱ مشاهده می کنید.

**- پیل اکسید نقره:** الکترود مثبت این نوع پیل از جنس روی و الکترود منفی آن از جنس اکسید نقره و محلول الکترولیت آن هیدروکسید پتاسیم یا هیدروکسید سدیم است.



شکل ۵-۱۰۰



الف - ساختمان داخلی



ب - شکل ظاهری

شکل ۵-۱۰۱

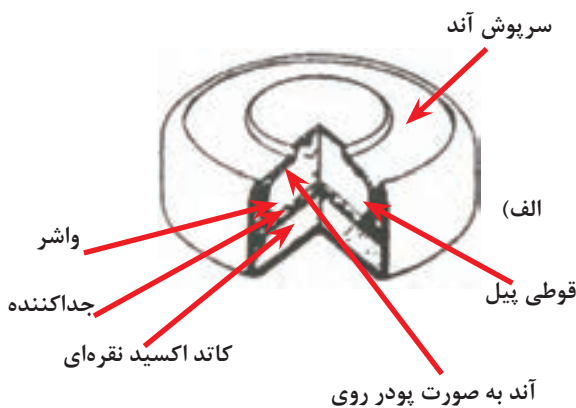


(الف)

1-Electrochemical Cell

2-Primary Cell

3-Secondary Cell



شکل ۱۰۲-۵

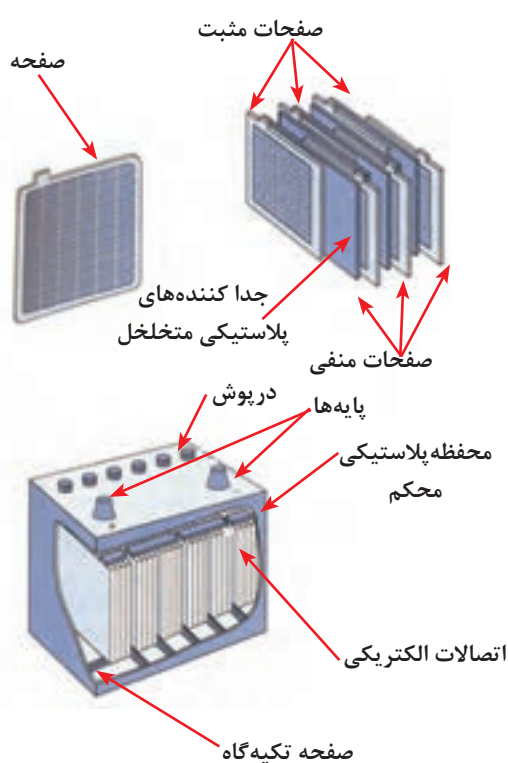
(ب)



شکل ۱۰۳-۵



شکل ۱۰۴-۵



شکل ۱۰۵-۵- ساختمان باتری سرب-اسید

ابعاد پیل اکسید نقره کوچک است و ولتاژی در حدود ۱/۵ ولت دارد. این پیل در انواع ماشین حساب ها، ساعت های مچی و ... مورد استفاده قرار می گیرد. شکل ۱۰۲-۵ این نوع باتری ها را نشان می دهد.

**- پیل قلیایی:** این نوع پیل از نظر ساختمان و طرز کار شبیه پیل روی - کربن است. الکتروود مثبت آن از جنس دی اکسید منگنز و الکتروود منفی آن از جنس روی است. الکتروولیت پیل قلیایی از جنس هیدروکسید پتاسیم است. ولتاژ کار این نوع پیل در حدود ۱/۵ ولت می باشد. داشتن قابلیت جریان دهی بالا و عمر زیاد را می توان از خصوصیات این قبیل پیل ها ذکر کرد. این پیل را در شکل ۱۰۳-۵ مشاهده می کنید.

**- پیل لیتیوم:** این پیل ها دارای ولتاژی در حدود ۱/۵ ولت هستند. داشتن طول عمر زیاد و تنوع ساخت در شکل های مختلف از جمله خصوصیات آن ها است. (شکل ۱۰۴-۵)

## ۲-۳-۵- پیل های ثانویه

پیل هایی هستند که قابلیت پر شدن (شارژ) و خالی شدن (دشارژ) مکرر را دارند. از انواع این نوع پیل ها می توان پیل های سرب - اسید و نیکل کادمیوم را نامبرد.

**- پیل سرب - اسید:** از این نوع پیل ها در باتری های اتومبیل استفاده می شود. الکتروود مثبت پیل سرب - اسید از جنس سرب اسفنجی و الکتروود منفی آن از جنس سرب است. محلول آب و اسید سولفوریک به عنوان الکتروولیت در این پیل به کار می رود. ولتاژ هر پیل سرب - اسید حدود ۲ ولت است. چون باتری اتومبیل معمولاً ۶ خانه دارد لذا ولتاژ این باتری ها برابر با ۱۲ ولت خواهد شد. تصویر ظاهری و اجزای تشکیل دهنده پیل سرب - اسید در شکل ۱۰۵-۵ نشان داده شده است.



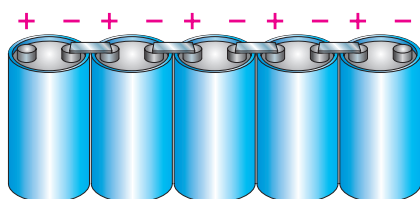
شکل ۵-۱۰۶- پیل نیکل کادمیوم

**- 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 الکتروولیت استفاده می شود. ولتاژ پیل نیکل کادمیوم در حدود  $1/2$  تا  $1/3$  ولت است. شکل ۵-۱۰۶ این پیل ها را نشان می دهد.

از مجموعه مطالب ارائه شده در خصوص هر یک از انواع پیل ها می توان جمع بندی را بصورت جدول (۴-۵) استخراج کرد.

جدول ۴-۵

انواع پیل ها	روی - کربن	اکسید نقره	قلیائی	سرب - اسید	نیکل - کادمیوم
الکتروود مثبت	میله کربن	روی	دی اکسید منگنز	سرب اسفنجی	هیدرواکسید نیکل
الکتروود منفی	استوانه روی	اکسید نقره	روی	سرب معمولی	کادمیوم
الکتروولیت	پودر کربن و خمیر نشادر	هیدرواکسید پتاسیم یا سدیم	هیدرواکسید پتاسیم	اسید سولفوریک	ترکیب هیدرواکسید نیکل
ولتاژ کار	$1/5$	$1/5$	$1/5$	۲	$1/2$ تا $1/3$
مشخصه	عمر خوب	حجم کم	جریاندهی بالا	قابل شارژ (ثانویه)	قابل شارژ (ثانویه)



شکل ۵-۱۰۷- اتصال سری پیل ها

## ۴-۵- اتصالات پیل ها

### ۴-۵-۱- 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 ۵-۱۰۷).

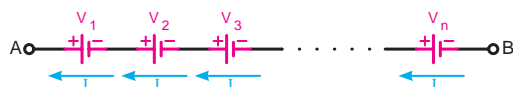
از این نوع اتصال پیل ها زمانی استفاده می شود که ولتاژ مورد نیاز بیشتر از مقدار ولتاژ یک پیل باشد. در شکل ۵-۱۰۸ مشاهده می شود با اضافه شدن تعداد پیل ها نور لامپ افزایش می یابد.



شکل ۵-۱۰۸

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 ۵-۱۰۹)  
ولتاژ کل (ولتاژ ابتدا نسبت به انتها) در این نوع اتصال به صورت زیر محاسبه می شود.



شکل ۵-۱۰۹- جریان عبوری از اتصال سری پیل ها

$$V_{AB} = V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

در صورتی که ولتاژ پیل ها مساوی باشند ولتاژ کل برابر

است با:

$$V_{AB} = V_T = n.V$$

که در آن  $n$  تعداد پیل ها و  $V$  ولتاژ هر پیل است.

اگر پیل های سری شده را به صورت واقعی در نظر بگیریم یعنی دارای مقاومت داخلی ( $r$ ) باشند. اثر مقاومت پیل ها در مدار مانند چند مقاومت سری ظاهر می شود. مقدار این مقاومت ها از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$r_{AB} = r_T = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n$$

در صورتی که مقدار مقاومت باتری ها مساوی باشند،

می توانیم بنویسیم:

$$r_{AB} = r_T = n.r$$

در شکل ۵-۱۱۱ اگر بخواهیم جریان مقاومت  $R_L$  را طبق قانون اهم و توضیحات فوق محاسبه کنیم، می توانیم

$$V_{AB} = V_1 + V_2 + V_3 = n.V \quad \text{بنویسیم:}$$

$$r_{AB} = r_1 + r_2 + r_3 = n.r$$

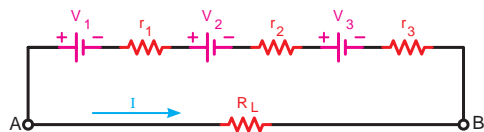
$$V_{RL} = V_{AB}$$

$$nV = I(nr + R_L)$$

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

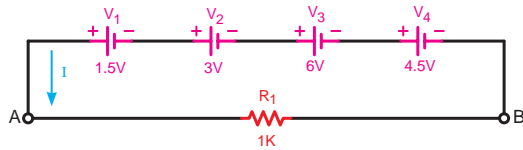


شکل ۵-۱۱۰- اتصال چند پیل به صورت سری با در نظر گرفتن مقاومت داخلی

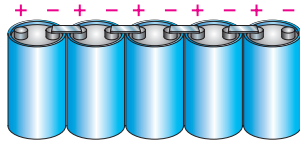


شکل ۵-۱۱۱- اتصال مقاومت بار به سه پیل که به صورت سری بسته شده اند.

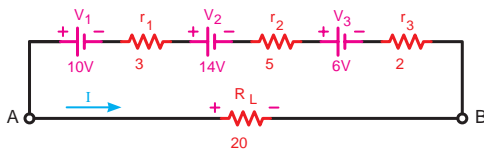
**مثال:** هرگاه چهار پیل مطابق شکل ۵-۱۱۲ به صورت سری اتصال داده شوند ولتاژ کل مدار چند ولت خواهد شد؟



شکل ۵-۱۱۲- اتصال چهار باتری به صورت سری



شکل ۵-۱۱۳



$$V_T = V_{AB} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_T = 10 + 14 + 6 \Rightarrow \boxed{V_T = 30V}$$

$$r_T = r_1 + r_2 + r_3$$

$$r_T = 3 + 5 + 2 \Rightarrow \boxed{r_T = 10\Omega}$$

$$I_L = \frac{V_{AB}}{r_T + R_L}$$

$$I_L = \frac{30}{10 + 20} \Rightarrow \boxed{I_L = 1A}$$

شکل ۵-۱۱۴

$$V_T = n.v$$

$$V_T = 3 \times 1/5 \Rightarrow \boxed{V_T = 4/5V}$$

$$r_T = n.r$$

$$V_T = 3 \times 1 \Rightarrow \boxed{r_T = 3\Omega}$$

$$I = \frac{nv}{n.r + R_L} = \frac{V_T}{r_T + R_L}$$

$$I = \frac{4/5}{3 + 6} = \frac{4/5}{9} \Rightarrow \boxed{I = 4/45A}$$

شکل ۵-۱۱۵

**حل:** برای محاسبه ولتاژ کل باید ولتاژ همه باتری ها را با یکدیگر جمع کنیم.

$$V_{AB} = 1/5 + 3 + 6 + 4/5$$

$$V_{AB} = V_T = 15V$$

**مثال:** اگر پنج پیل ۱/۵ ولتی مطابق شکل ۵-۱۱۳ به هم متصل شوند ولتاژ کل مدار چند ولت است؟

**حل:** چون ولتاژ باتری ها برابر هستند، لذا می توان نوشت:

$$V_T = n.v$$

$$V_T = 5 \times 1/5$$

$$\boxed{V_T = 1V}$$

**مثال:** در مدار شکل ۵-۱۱۴ مطلوب است:

الف - ولتاژ کل مدار

ب - مقاومت داخلی کل پیل ها

ج - جریان عبوری از مقاومت  $R_L$

**حل:** برای محاسبه ولتاژ و مقاومت داخلی کل باید هر یک

را مستقل حساب کنیم:

**مثال:** با توجه به مدار شکل ۵-۱۱۵ مطلوب است:

الف - ولتاژ کل مدار

ب - مقاومت داخلی کل باتری ها

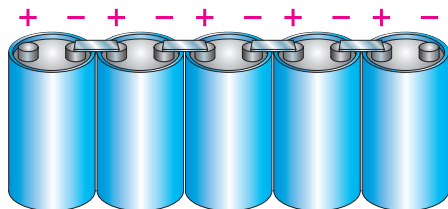
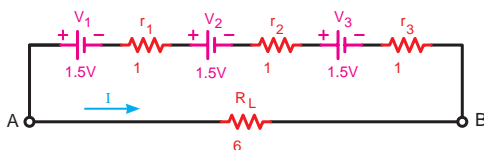
ج - جریان عبوری از مقاومت  $R_L$

**حل:** چون مقدار ولتاژ مقاومت داخلی هر سه باتری

مشابه یکدیگر است، لذا می توان طبق روابط مقابل نوشت:



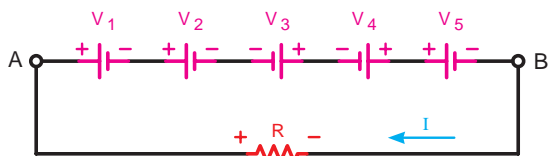
## ۲-۴-۵ - اتصال متقابل پیل ها:



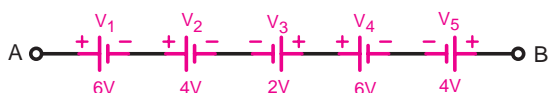
شکل ۱۱۶-۵



شکل ۱۱۷-۵



شکل ۱۱۸-۵ - پنج باتری که به صورت متقابل وصل شده اند.



شکل ۱۱۹-۵ - اتصال پنج پیل به صورت متقابل

یکی دیگر از روش هایی که می توان پیل ها را به صورت سری به هم اتصال داد، حالت اتصال متقابل است. در این روش نحوه اتصال پلاریته های مثبت و منفی پیل ها ترتیب خاصی ندارد و ممکن است قطب های هم نام موافق یا قطب های غیرهم نام به یکدیگر اتصال داده شوند.

در این نوع اتصال مساوی بودن ولتاژ پیل ها ضرورتی ندارد. برای محاسبه ولتاژ کل مدار ابتدا پلاریته های مثبت و منفی پیل ها و دو سر مقاومت بار را مشخص می کنیم و سپس یک جهت فرضی را برای جریان مدار در نظر می گیریم و طبق آن در حلقه بسته حرکت می کنیم.

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 می گیریم.

هرگاه مداری مطابق شکل ۱۱۸-۵ داشته باشیم و بخواهیم جریان مدار را به دست آوریم با در نظر گرفتن مطلب فوق و نوشتن معادله KVL مدار به صورت  $\sum V - \sum RI = 0$  می توانیم جریان عبوری از مدار شکل ۱۱۸-۵ را چنین به دست آوریم:

$$V_1 + V_2 - V_3 - V_4 + V_5 - R.I = 0 \quad \text{معادله K.V.L}$$

$$I = \frac{V_1 + V_2 - V_3 - V_4 + V_5}{R}$$

جریان مدار

مثال: ولتاژ خروجی (ولتاژ کل) شکل ۱۱۹-۵ چند ولت است؟

حل: ابتدا مطابق شکل ۱۲۰-۵ پلاریته پیل ها را تعیین می کنیم. سپس یک جهت فرضی برای عبور جریان در نظر می گیریم (مثلاً از نقطه A به B) و بعد در جهت حرکت



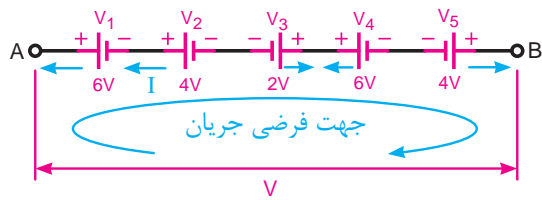
فلش پیش می‌رویم و به هر پلاریته که رسیدیم مقدار ولتاژ

آن پیل را با همان علامت می‌نویسیم:

$$V_{AB} = +V_1 + V_r - V_r + V_f - V_d$$

$$V_{AB} = V_T = 6 + 4 - 2 + 6 - 4$$

$$V = V_T = 10V$$



شکل ۵-۱۲۰- جهت فرضی جریان I

مثال: جریان عبوری از مقاومت  $R_L$  شکل (۵-۱۲۱)

چند آمپر است؟

حل: برای محاسبه جریان مدار ابتدا معادله KVL

حلقه را می‌نویسیم و سپس براساس آن جریان را به دست

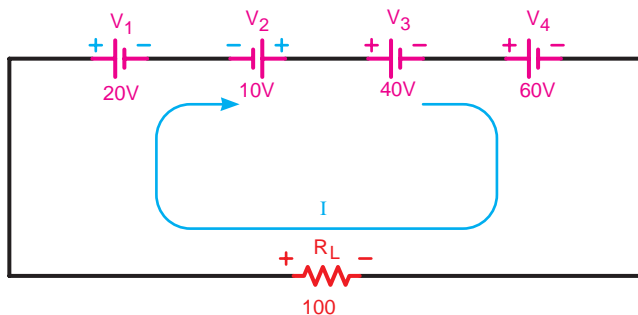
می‌آوریم:

$$+V_1 - V_r + V_r + V_f - R_L \cdot I = 0$$

$$I = \frac{+V_1 - V_r + V_r + V_f}{R_L}$$

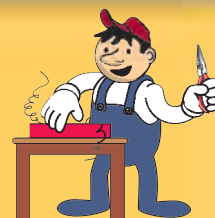
$$I = \frac{20 - 10 + 40 + 60}{100} = \frac{120}{100} = 1.2$$

$$I = 1.2A$$



شکل ۵-۱۲۱- اتصال چهار پیل به صورت متقابل

## عملیات کارگاهی (کار عملی ۳)



ساعت		
نظری	عملی	جمع
-	۱	۱

**هدف:** بررسی اتصال منابع به صورت سری

**وسایل و تجهیزات مورد نیاز** (برای هر گروه کار)

۱- منبع تغذیه dc (الکترونیکی)	۱ دستگاه
۲- پیل ۱/۵ ولتی	۵ عدد
۳- آوومتر دیجیتالی	۱ عدد
۴- بردبرد	۱ عدد
۵- مقاومت اهمی $R_L = 1k\Omega 1w$	۱ عدد
۶- میز آزمایشگاهی	۱ دستگاه
۷- سیم تلفنی	۵/۰ متر
۸- سیم چین	۱ عدد
۹- سیم لخت کن	۱ عدد
۱۰- گیره سوسماری	۶ عدد

مدت زمان لازم: ۱/۵ ساعت

**تذکر:** قبل از شروع کار عملی کلیه موارد ایمنی که در ابتدای کار عملی ۱ فرا گرفته اید را به دقت مطالعه کرده و به کار ببرید.

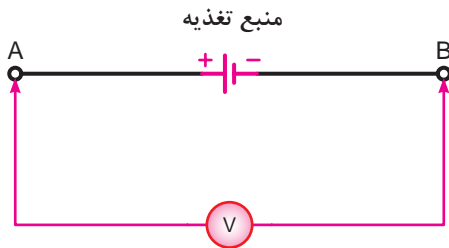


## اتصال سری پیل ها

مراحل اجرای آزمایش



برای سری کردن چند منبع dc می توانید از خروجی های مختلف یک منبع تغذیه الکترونیکی dc و یا از پیل های ۱/۵ ولتی استفاده کنید. اتصال پیل ها به یکدیگر و یا اتصال به مقاومت ها را با کمک گیره های سوسماری انجام دهید.



شکل ۵-۱۲۲

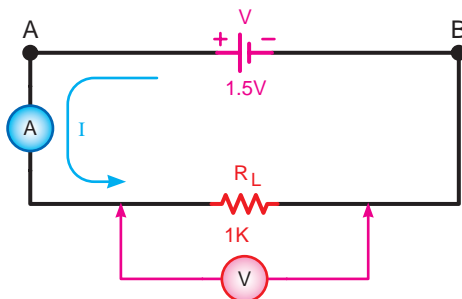
۱- با ولت متر دیجیتالی ولتاژ دو سر منبع تغذیه را

اندازه گیری کنید. (شکل ۵-۱۲۲)

$$V = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

۲- مدار شکل ۵-۱۲۳ را اتصال دهید و به کمک آمپر متر

و ولت متر جریان و ولتاژ دو سر مقاومت را اندازه گیری کنید.



شکل ۵-۱۲۳

$$I_{R_L} = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

$$V_{R_L} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

۳- در صورتی که مقادیر ولتاژهای اندازه گیری شده

در مراحل ۱ و ۲ با یکدیگر مساوی بودند نشان می دهد 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 اندازه گیری شده در مراحل ۱ و

۲ با یکدیگر مساوی نبودند نشان می دهد که منبع تغذیه،

دارای مقاومت داخلی است که مقدار آن را طبق قانون اهم

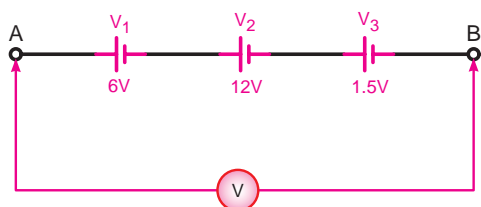
و بحث مقاومت های اهمی سری به صورت مقابل محاسبه

می کنیم.

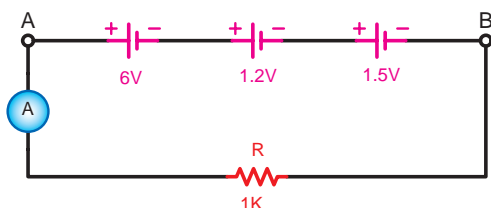
$$R_T = \frac{V - V_{R_L}}{I_{R_L}}$$

$$R_T = R_L + r$$

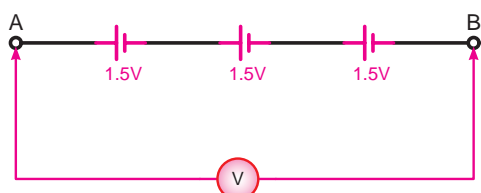
$$r = R_T - R_L$$



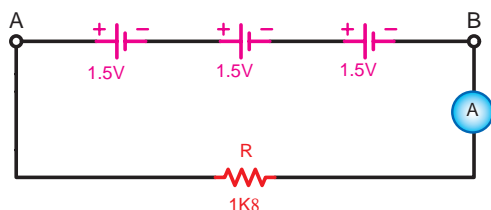
شکل ۵-۱۲۴



شکل ۵-۱۲۵



شکل ۵-۱۲۶



شکل ۵-۱۲۷

۵- آیا مقادیر اندازه گیری شده در مراحل آزمایشگاهی با مطالب تئوری مطابقت دارد؟ شرح دهید.

۶- سه منبع ولتاژ dc، ۶V، ۱۲V، ۱/۵V را مطابق شکل ۵-۱۲۴ به صورت سری به هم اتصال دهید. با ولت متر dc ولتاژ دو نقطه A و B را اندازه بگیرید.

$$V_{AB} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

۷- از مقدار به دست آمده چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

۸- یک مقاومت  $1k\Omega$  را طبق شکل ۵-۱۲۵ در مدار اضافه کنید و جریان عبوری از مدار را اندازه بگیرید.

$$I = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

۹- سه منبع ولتاژ ۱/۵ ولتی را مطابق شکل ۵-۱۲۶ اتصال دهید و ولتاژ مدار را اندازه بگیرید.

$$V_{AB} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

۱۰- یک مقاومت  $1k\Omega$  را مطابق شکل ۵-۱۲۷ به مدار اضافه کنید و جریان مدار را اندازه بگیرید.

$$I = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

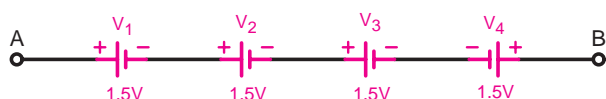
۱۱- از مقادیر آزمایش چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

۱۲- آیا مقادیر به دست آمده با مطالب تئوری مطابقت دارد؟ شرح دهید.

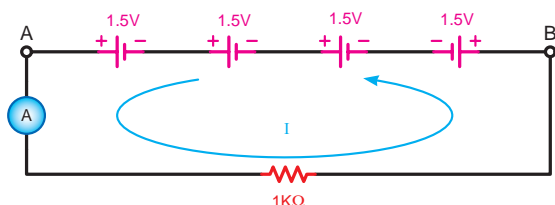
**توجه**



برای انجام این آزمایش از پیل های ۱/۵ ولتی استفاده کنید.



شکل ۵-۱۲۸



شکل ۵-۱۲۹

۱۳- مدار شکل ۵-۱۲۸ را اتصال دهید و با ولت متر دیجیتالی ولتاژ بین دو نقطه A و B را اندازه گیری نمایید.

$$V_{AB} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

۱۴- یک مقاومت  $1k\Omega$  را بین دو نقطه A و B قرار دهید و جریان مدار را طبق شکل ۵-۱۲۹ اندازه بگیرید.

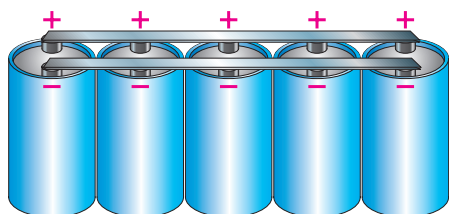
$$I = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

۱۵- از مقادیر به دست آمده چه نتیجه ای می گیرید؟ آیا این نتایج با مطالب تئوری مطابقت دارد؟ شرح دهید.

۱۶- آیا در عمل از اتصال چند پیل به صورت سری استفاده می شود؟ چرا؟ شرح دهید.

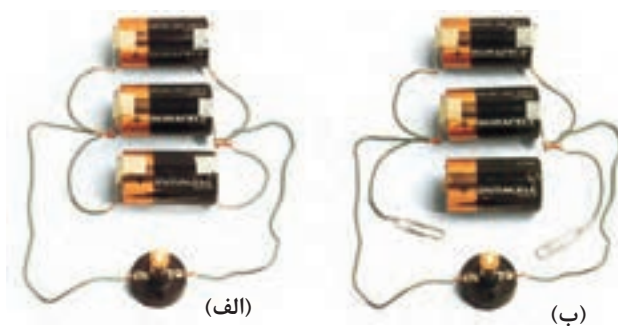
### ۳-۴-۵ - اتصال موازی پیل ها:

هرگاه  $n$  پیل را طوری اتصال دهیم که قطب مثبت همه پیل ها به یکدیگر و قطب منفی آن ها نیز به هم متصل شوند و این روش تا آخرین پیل (پیل  $n$  ام) ادامه یابد این نوع اتصال را «اتصال موازی» گویند. (شکل ۵-۱۳۰)

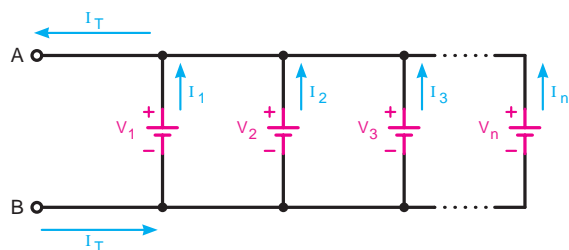


شکل ۵-۱۳۰

از اتصال موازی پیل ها زمانی استفاده می شود که جریان مورد نیاز بیشتر از میزان جریان دهی یک پیل باشد. در اتصال موازی پیل ها ولتاژ دو سر مدار همواره ثابت است. شکل (۵-۱۳۱ الف) اتصال موازی سه پیل و یک لامپ را نشان می دهد. در این حالت نور لامپ زیاد است. در شکل (۵-۱۳۱ ب) یک پیل از مدار خارج شده است. با خارج شدن یک پیل از مدار و با وجود ثابت ماندن ولتاژ، نور لامپ کاهش می یابد. در واقع میزان جریانی که لامپ برای تولید نور کامل نیاز دارد بیشتر از مقدار جریان دهی دو پیل به



شکل ۵-۱۳۱

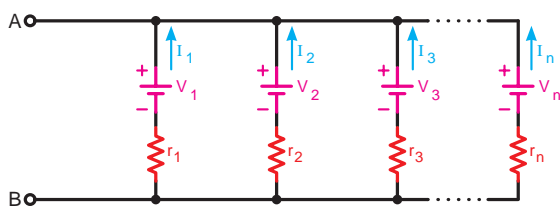


شکل ۵-۱۳۲

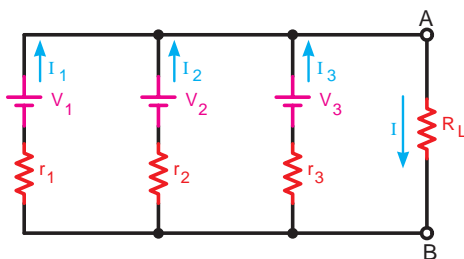
ولتاژ مدار  $V_{AB} = V_T = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$

جریان دهی  
کل پیل ها

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



شکل ۵-۱۳۳



شکل ۵-۱۳۴

صورت موازی است. در اتصال موازی پیل ها مساوی بودن ولتاژ برای همه پیل ها ضروری است. (شکل ۵-۱۳۲)  
روابط مقابل را برای این نوع اتصال می توانیم بنویسیم:  
از طرفی چون پیل ها یکسان هستند پس می توانیم

بنویسیم:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \Rightarrow I_T = I.n$$

که در آن n تعداد پیل ها و I جریان دهی هر پیل است. 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 ۵-۱۳۳)

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n}$$

چون پیل ها مساوی هستند پس برای محاسبه مقاومت معادل مدار می توانیم بنویسیم:

$$r_{AB} = r_T = \frac{r}{n}$$

که در آن n تعداد پیل ها و r مقدار مقاومت داخلی هر پیل است

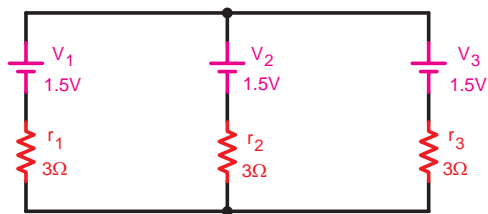
جریان مقاومت برای ( $R_L$ ) در شکل ۵-۱۳۴ را به صورت زیر می توان محاسبه کرد:

$$I_{R_L} = I = I_1 + I_2 + I_3 = n.I$$

$$r_{AB} \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}} = \frac{r}{n}$$

$$V_{R_L} = V_{AB} = V$$

$$I_{R_L} = \frac{V_{R_L}}{R_T} \Rightarrow I = \frac{V}{\frac{r}{n} + R_L}$$



شکل ۵-۱۳۵

مثال: در مدار شکل ۵-۱۳۵ مطلوب است:

الف - ولتاژ کل

ب - مقاومت داخلی کل پیل ها

حل: در اتصال موازی ولتاژ کل پیل ها برابر ولتاژ یک

پیل است یعنی:

$$V_T = 1.5 \text{ V}$$

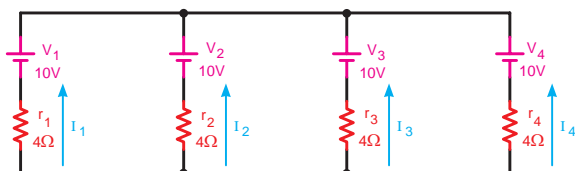
مقاومت معادل پیل ها را نیز به صورت مقابل محاسبه

می کنیم:

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = \frac{1+1+1}{3} = \frac{3}{3}$$

$$r_T = \frac{3}{3} = 1\Omega$$



شکل ۵-۱۳۶

مثال: مقدار جریان دهی هر پیل و مقاومت معادل پیل ها

در شکل ۵-۱۳۶ چقدر است؟

حل: مقدار جریان دهی هر پیل را متناسب با مقاومت

داخلی آن به صورت مقابل محاسبه می کنیم:

$$I_1 = \frac{V_1}{r_1} = \frac{10}{4} = 2.5 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{V_2}{r_2} = \frac{10}{4} = 2.5 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{V_3}{r_3} = \frac{10}{4} = 2.5 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{V_4}{r_4} = \frac{10}{4} = 2.5 \text{ A}$$

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \quad \text{یا} \quad r_T = \frac{r}{n}$$

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \quad \text{یا} \quad r_T = \frac{4}{4}$$

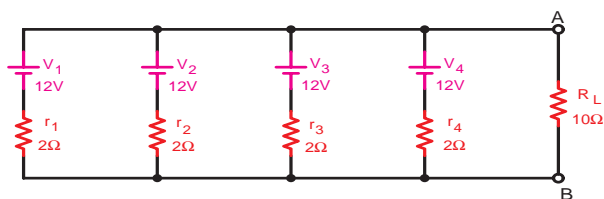
$$\frac{1}{r_T} = \frac{1+1+1+1}{4} = \frac{4}{4}$$

$$r_T = 1\Omega$$

چون مقدار مقاومت داخلی پیل ها با یکدیگر مساوی

نیست، لذا برای محاسبه مقاومت معادل پیل ها به صورت

مقابل عمل می کنیم:



شکل ۵-۱۳۷

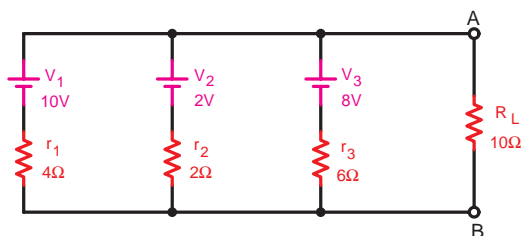
$$r_T = \frac{r}{n} = \frac{2}{4}$$

$$r_T = 0.5 \Omega$$

$$I_L = \frac{\sum V}{\sum R} = \frac{V_{AB}}{\frac{r}{n} + R_L}$$

$$V_{AB} = V = 12V$$

$$I_L = \frac{12}{0.5 + 10} = \frac{12}{10.5} = 1.14A$$



شکل ۵-۱۳۸

مثال: با توجه به مدار شکل ۵-۱۳۷ مطلوب است:

الف - مقاومت معادل پیل ها

ب - جریان مصرف کننده (بار)

حل: چون تمام مشخصات پیل ها با یکدیگر مساوی است

لذا به صورت مقابل محاسبه می کنیم:

برای محاسبه جریان نیز از رابطه مقابل استفاده

می کنیم.

مثال: در مدار شکل ۵-۱۳۸ ولتاژ جریان

بار چقدر است؟

حل: در مدار شکل ۵-۱۳۸ چون ولتاژ پیل ها

مساوی نمی باشند، لذا اتصال چنین مداری اشتباه

است به همین خاطر مقادیر ولتاژ و جریان بار را

نمی توان محاسبه کرد.



## عملیات کارگاهی (کار عملی ۴)



ساعت		
نظری	عملی	جمع
-	۱	۱

**هدف:** بررسی اتصال منابع به صورت موازی

**وسایل و تجهیزات مورد نیاز** (برای هر گروه کار)

۱- منبع تغذیه dc (الکترونیکی)	۱ دستگاه
۲- پیل ۱/۵ ولتی	۵ عدد
۳- آوومتر دیجیتالی	۱ عدد
۴- بردبرد	۱ عدد
۵- مقاومت اهمی $R_L = 1k\Omega 1W$	۱ عدد
۶- میز آزمایشگاهی	۱ دستگاه
۷- سیم تلفنی	۵/۵ متر
۸- سیم چین	۱ عدد
۹- سیم لخت کن	۱ عدد
۱۰- گیره سوسماری	۶ عدد

مدت زمان لازم: ۱/۵ ساعت

**تذکر:** قبل از شروع کار عملی کلیه موارد ایمنی که در ابتدای کار عملی ۱ فرا گرفته اید را به دقت مطالعه کرده و به کار ببرید.



## اتصال موازی پیل ها



### مراحل اجرای آزمایش

۱- مدار شکل ۵-۱۳۹ را اتصال دهید و توسط ولت متر دیجیتالی ولتاژ بین دو نقطه A و B را اندازه بگیرید و یادداشت نمایید.

$$V_{AB} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

۲- مدار شکل ۵-۱۴۰ را اتصال دهید و توسط ولت متر دیجیتالی ولتاژ دو نقطه A, B را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{AB} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

۳- از مقایسه مقادیر به دست آمده در مراحل ۱ و ۲ در این آزمایش چه نتیجه ای حاصل می شود؟ توضیح دهید.  
۴- آیا مقادیر اندازه گیری شده با مطالب تئوری مطابقت دارد؟ شرح دهید.

۵- مدار شکل ۵-۱۴۱ را اتصال دهید و با قرار دادن یک آمپر متر و یک ولت متر در مدار مقدار ولتاژ و جریان عبوری از مقاومت را اندازه بگیرید.

$$I_L = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

$$V_L = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

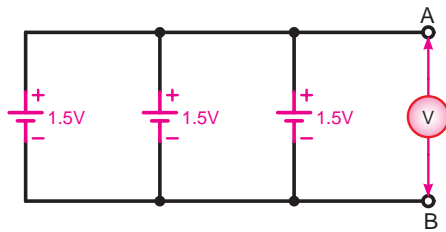
۶- آمپر متر را در مسیر هر یک از منابع قرار دهید و جریان هر یک از پیل ها را اندازه بگیرید.

$$I_1 = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

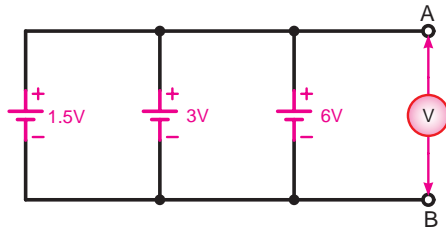
$$I_2 = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

$$I_3 = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

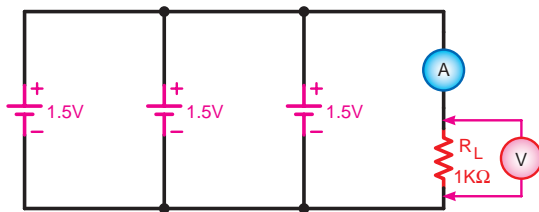
۷- در صورت وجود اختلاف بین جریان های وارد شده به مدار جریان های خارج شده از مدار را با استفاده از مقدار ولتاژ دو سر بار و ولتاژ منابع در حالت بی باری مقدار مقاومت داخلی هر یک از پیل ها را به دست آورید. (شکل ۵-۱۴۲)  
۸- آیا مقادیر اندازه گیری شده با مطالب تئوری مطابقت دارد؟ توضیح دهید.



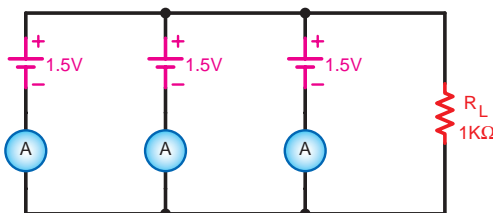
شکل ۵-۱۳۹



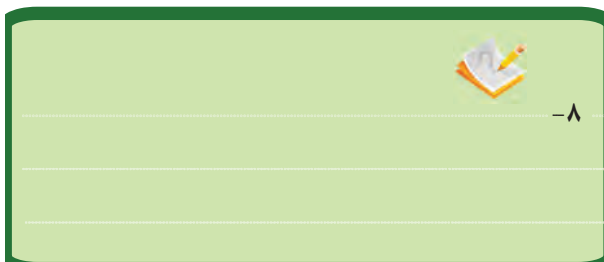
شکل ۵-۱۴۰

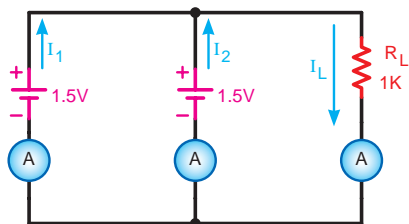


شکل ۵-۱۴۱

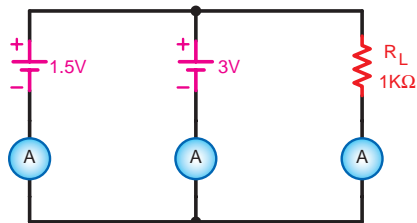


شکل ۵-۱۴۲





شکل ۵-۱۴۳



شکل ۵-۱۴۴

۹- مدار شکل ۵-۱۴۳ را اتصال دهید و جریان هر یک از منابع و جریان بار را اندازه گیری کنید.

$$I_1 = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

$$I_2 = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

$$I_r = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

۱۰- از مقایسه نتایج این آزمایش و آزمایش شکل ۵-۱۳۸ چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

۱۱- با اتصال مدار شکل ۵-۱۴۴ جریان بار و جریان هر یک از پیل ها را اندازه گیری کنید.

$$I_1 = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

$$I_2 = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

$$I_r = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

۱۲- آیا نتایج به دست آمده قابل قبول و تأمین کننده جریان بار است؟

-۱۲

۱۳- آیا اتصال موازی منابع با ولتاژهای نامساوی کاربردی دارد؟ چرا؟ شرح دهید.

-۱۳

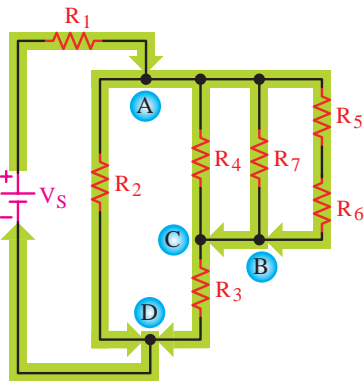
۱۴- آیا پیل ها را می توان به صورت موازی متقابل اتصال داد؟ چرا؟ شرح دهید.

-۱۴

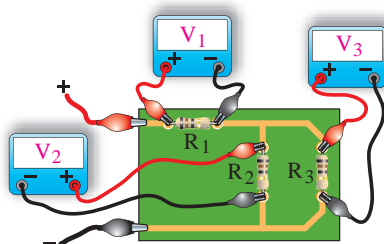
## ۵-۵- شدت جریان در مدارهای ترکیبی «سری - موازی»

در مدارهای ترکیبی سری - موازی شدت جریان متناسب با شکل مدار و مقادیر مقاومت های هر قسمت از مدار عبور می کند. به عبارت دیگر در مسیرهایی که دارای مقاومت های موازی می باشند جریان کل در بین شاخه های موازی به نسبت مقاومت ها تقسیم می شود و در مسیرهایی که مقاومت ها سری هستند جریان عبوری از آن مقاومت ها یکسان است.

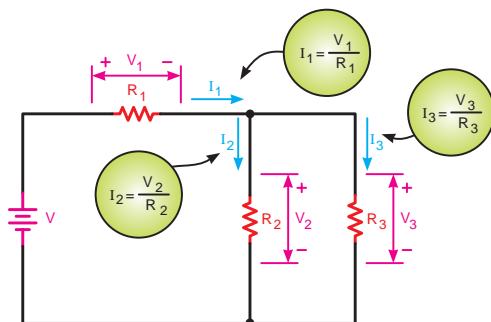
طبق شکل ۵-۱۵۲ برای محاسبه جریان در هر یک از مقاومت های ترکیبی مدار (سری - موازی) لازم است مقدار ولتاژ و مقدار اهم هر یک از مقاومت ها را بدانیم. در شکل ۵-۱۵۳ این شرایط نشان داده شده است. - مدار عملی (واقعی)



شکل ۵-۱۵۲- جریان در مدارهای ترکیبی سری - موازی



(الف)

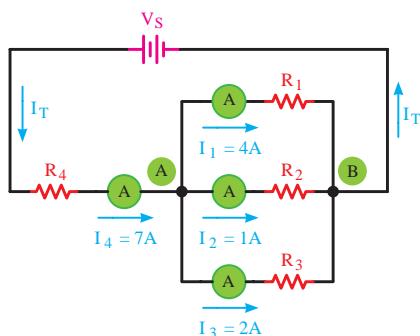


(ب)

- نقشه فنی

شکل ۵-۱۵۳

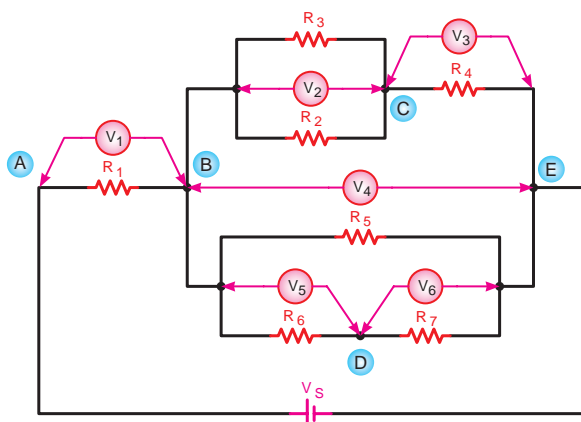
شکل ۵-۱۵۴ را مورد بررسی قرار دهید. در این شکل جریان کل مدار ( $I_T$ ) در گره (A) به سه شاخه تقسیم شده است و در سمت دیگر در گره B جریان ها مجدداً با هم جمع می شوند و به صورت  $I_T$  به منبع تغذیه باز می گردند.<sup>۱</sup>



شکل ۵-۱۵۴- تقسیم جریان در مدارهای ترکیبی سری-موازی

۱ - برای اندازه گیری جریان، آمپر متر در مسیر مصرف کننده و به صورت سری بسته می شود.

## ۵-۶- ولتاژ در مدارهای ترکیبی «سری-موازی»



شکل ۵-۱۵۵- بررسی ولتاژها در مدار ترکیبی سری-موازی

در مدارهای ترکیبی «سری-موازی» ولتاژ به نسبت مقاومت های سری تقسیم می شود و نحوه تقسیم ولتاژ بستگی به حالت مدار دارد.

زیرا در قسمت هایی که مدار موازی است ولتاژ مقاومت ها مساوی و در بخش هایی که مقاومت ها سری هستند ولتاژ ورودی به نسبت مقاومت ها بین آن ها تقسیم می شود. شکل ۵-۱۵۵ یک نمونه مدار ترکیبی سری موازی را نشان می دهد.

با توجه به توصیحات فوق روابط زیر را می توانیم

بنویسیم:

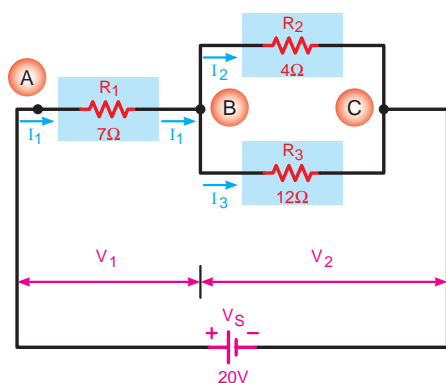
$$\begin{aligned} V_{BE} &= V_{BC} + V_{CE} \\ V_{BE} &= V_{BD} + V_{DE} \\ V_S &= V_{AB} + V_{BE} \end{aligned}$$

جدول ۵-۴

ولت متر	$V_1$	$V_r$	$V_r$	$V_f$	$V_d$	$V_p$
ولتاژ گره ها	$V_{AB}$	$V_{BC}$	$V_{CE}$	$V_{BE}$	$V_{BD}$	$V_{DE}$
ولتاژ مقاومت	$V_{R_1}$	$V_{R_r}$ $V_{R_r}$	$V_{R_r}$	$V_{R_d}$	$V_{R_p}$	$V_{R_v}$

هم چنین برای این مدار می توان جدول ۵-۴ را نیز

تشکیل داد.



شکل ۵-۱۵۶- تقسیم ولتاژ در مدارهای ترکیبی سری-موازی

در شکل ۵-۱۵۶ مثال دیگری از مدارهای ترکیبی

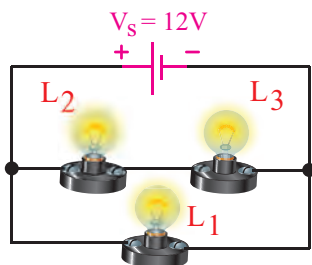
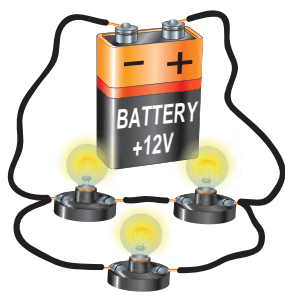
سری-موازی با مقادیر مقاومت ها آمده است که با توجه به قواعد سری و موازی می توانیم روابط زیر را بنویسیم:

$$V_S = V_1 + V_r$$

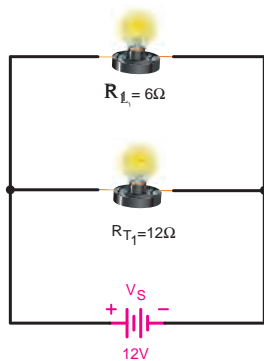
$$V_1 = V_{AB} = V_{R_1} = I_1 \cdot R_1$$

$$V_r = V_{BC} = V_{R_r} = I_r \cdot R_r$$

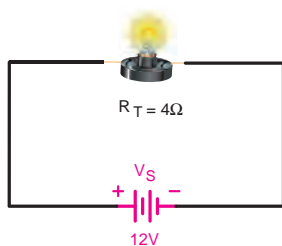
$$V_r = V_{BC} = V_{R_r} = I_r \cdot R_r$$



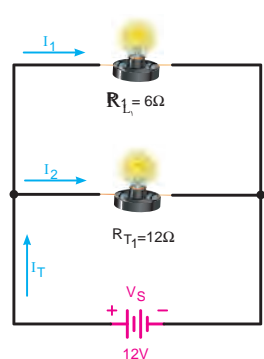
شکل ۵-۱۵۷



شکل ۵-۱۵۸



شکل ۵-۱۵۹



شکل ۵-۱۶۰

مثال: سه لامپ با مقاومت داخلی  $6\Omega$  مانند شکل ۵-۱۵۷ به یکدیگر اتصال یافته اند. مطلوب است جریان و ولتاژ دو سر هر یک از لامپ ها را به دست آورید.

حل: با دقت در شکل ۵-۱۵۷ مشاهده می شود که دو

لامپ  $L_2$  و  $L_3$  با هم به صورت سری و لامپ  $L_1$  با مجموع آن ها به صورت موازی قرار می گیرد.

برای محاسبه مقادیر مجهول ابتدا مقاومت معادل و جریان کل را به دست می آوریم و سپس براساس مقادیر به دست آمده جریان هر شاخه و افت ولتاژ دو سر هر مقاومت را محاسبه می کنیم.

به صورت سری

$$R_{T_1} = R_{L_2} + R_{L_3}$$

$$R_{T_1} = n.R$$

$$R_{T_1} = 2 \times 6 = 12\Omega$$

مقاومت معادل در شکل ۵-۱۵۸ نشان داده شده است.

$$R_T = \frac{R_{T_1} \cdot R_{L_1}}{R_{T_1} + R_{L_1}} = \frac{12 \times 6}{12 + 6}$$

$$R_T = 4\Omega$$

مقاومت معادل در شکل ۵-۱۵۹ نشان داده شده است.

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

$$I_T = \frac{12}{4} \Rightarrow I_T = 3A$$

برای محاسبه جریان هر شاخه از رابطه تقسیم جریان دو مقاومت موازی و یا رابطه قانون اهم می توانیم استفاده کنیم:

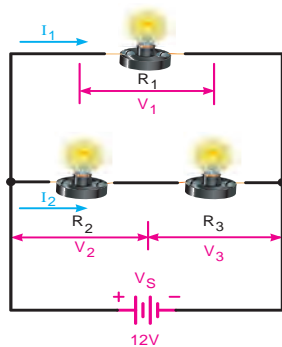
$$I_1 = \frac{V_s}{R_{L_1}} = \frac{12}{6}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_{T_1}} = \frac{12}{12}$$

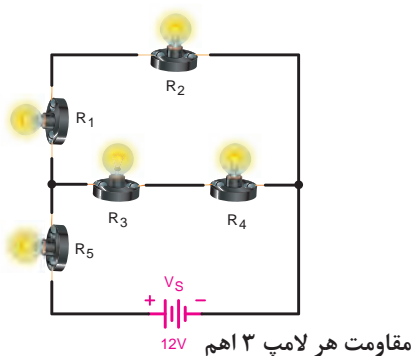
$$I_1 = 2A$$

$$I_2 = 1A$$

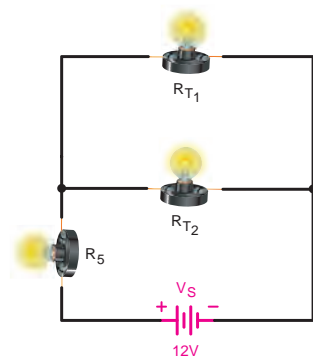
چون دو مقاومت  $R_2$  و  $R_3$  با هم سری هستند لذا جریان  $I_2$  که مربوط به آن شاخه است برای هر دو یکی است. (شکل ۵-۱۶۰)



شکل ۵-۱۶۱



شکل ۵-۱۶۲



شکل ۵-۱۶۳

ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت ها را براساس جریان عبوری هر یک و به کمک رابطه  $V = R \cdot I$  (قانون اهم) چنین به دست می آوریم.

$$V_{R_1} = R_1 \cdot I_1$$

$$V_{R_1} = 6 \times 2 \Rightarrow \boxed{V_{R_1} = 12V}$$

$$V_{R_r} = R_r \cdot I_r$$

$$V_{R_r} = 6 \times 1 \Rightarrow \boxed{V_{R_r} = 6V}$$

$$V_{R_r} = R_r \cdot I_r$$

$$V_{R_r} = 6 \times 1 \Rightarrow \boxed{V_{R_r} = 6V}$$

مثال: در مدار شکل ۵-۱۶۲ مطلوب است:

الف - جریان کل مدار

ب - جریان هر یک از لامپ ها

ج - ولتاژ دو سر هر کدام از لامپ ها

حل: برای به دست آوردن مقادیر مجهول مشابه روش به

کار رفته در مثال قبل عمل می کنیم:

$$R_{T_1} = R_{L_1} + R_{L_r} \text{ (مقاومت معادل تا مرحله اول)}$$

$$R_{T_1} = R \cdot n \quad \text{یا}$$

$$R_{T_1} = 3 \times 2 \Rightarrow \boxed{R_{T_1} = 6\Omega}$$

$$R_{T_r} = R_{L_r} + R_{L_r} \text{ (مقاومت معادل تا مرحله دوم)}$$

$$R_{T_r} = R \cdot n \quad \text{یا}$$

$$R_{T_r} = 3 \times 2 \Rightarrow \boxed{R_{T_r} = 6\Omega}$$

مقاومت معادل تا این مرحله را در شکل ۵-۱۶۳ نشان

داده شده است.

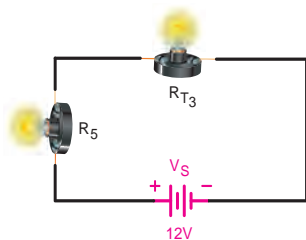
چون دو مقاومت موازی مساوی هستند پس می توان از

تقسیم مقدار یکی بر تعداد معادل آن را به دست آورد:

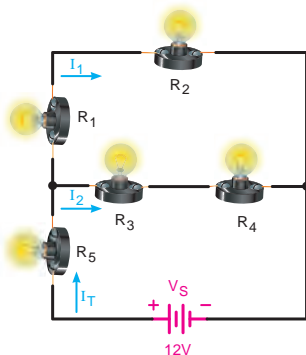
$$R_{T_r} = R_{T_1} \parallel R_{T_r} \text{ (مقاومت معادل تا مرحله سوم)}$$

$$R_{T_r} = \frac{R}{n}$$

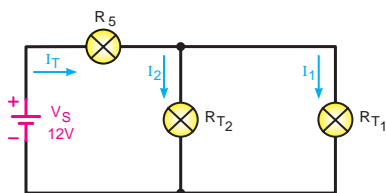
$$R_{T_r} = \frac{6}{2} \Rightarrow \boxed{R_{T_r} = 3\Omega}$$



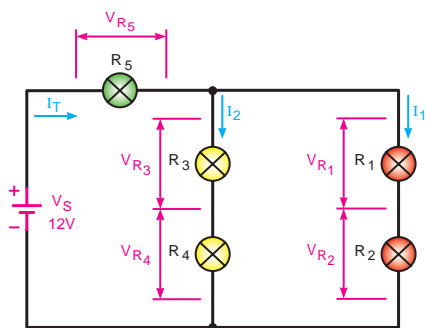
شکل ۵-۱۶۴



شکل ۵-۱۶۵



شکل ۵-۱۶۶



شکل ۵-۱۶۷

مقدار مقاومت کل مدار برابر است با:

$$R_T = R_{T_r} + R_{T_s}$$

$$R_T = 3 + 3 \quad \boxed{R_T = 6\Omega}$$

طبق قانون اهم جریان کل را بدین صورت محاسبه

می کنیم:

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

$$I_T = \frac{12}{6} \Rightarrow \boxed{I_T = 2A}$$

$$I_{L_s} = I_T$$

$$I_{L_1} = I_{L_r}$$

چون دو لامپ سری هستند.

$$I_{L_r} = I_{L_r}$$

چون دو لامپ سری هستند.

جریان هر شاخه را از تقسیم جریان به دست می آوریم:

$$I_{L_1} = I_T \frac{R_{T_r}}{R_{T_1} + R_{T_r}}$$

$$I_{L_1} = 2 \frac{6}{6+6} = \frac{12}{12} \Rightarrow \boxed{I_{L_1} = 1A}$$

$$I_{L_r} = I_T \frac{R_{T_1}}{R_{T_1} + R_{T_r}}$$

$$I_{L_r} = 2 \frac{6}{6+6} = \frac{12}{12} \Rightarrow \boxed{I_{L_r} = 1A}$$

برای محاسبه افت ولتاژ دو سر مقاومت ها نیز باید

مقدار اهم هر مقاومت را در جریان عبوری از آن ضرب کرد:

$$V_{R_s} = R_s \cdot I_T$$

$$V_{R_s} = 3 \times 2 \Rightarrow \boxed{V_{R_s} = 6V}$$

$$V_{R_r} = R_r \cdot I_T$$

$$V_{R_r} = 3 \times 1 \Rightarrow \boxed{V_{R_r} = 3V}$$

$$V_{R_r} = R_r \cdot I_T$$

$$V_{R_r} = 3 \times 1 \Rightarrow \boxed{V_{R_r} = 3V}$$

$$V_{R_1} = R_1 \cdot I_T$$

$$V_{R_1} = 3 \times 1 \Rightarrow \boxed{V_{R_1} = 3V}$$

$$V_{R_1} = R_1 \cdot I_T$$

$$V_{R_1} = 3 \times 1 \Rightarrow \boxed{V_{R_1} = 3V}$$



## عملیات کارگاهی (کار عملی ۶)



ساعت		
نظری	عملی	جمع
-	۱	۱

**هدف:** بررسی مدارهای مقاومتی سری - موازی در جریان مستقیم

**وسایل و تجهیزات مورد نیاز** (برای هر گروه کار)

۱- منبع تغذیه dc (الکترونیکی)	۱ دستگاه
۲- پیل ۱/۵ ولتی	۶ عدد
۳- بردبرد	۱ عدد
۴- آوومتر دیجیتالی	۱ عدد
۵- آوومتر عقربه‌ای	۱ عدد
۶- میز آزمایشگاهی	۱ دستگاه
۷- مقاومت های اهمی	
۱ وات $R_1 = 1/2 \text{ k}\Omega$	۵ عدد
۱ وات $R_2 = 1/5 \text{ k}\Omega$	۱ عدد
۱ وات $R_3 = 3/9 \text{ k}\Omega$	۱ عدد
۱ وات $R_4 = 5/6 \text{ k}\Omega$	۱ عدد
۸- سیم تلفنی	۱ متر
۹- سیم چین	۱ عدد
۱۰- سیم لخت کن	۱ عدد
۱۱- گیره سوسماری	۶ عدد

مدت زمان لازم: ۲ ساعت

**تذکر:** قبل از شروع کار عملی کلیه موارد ایمنی که در ابتدای کار عملی ۱ فرا گرفته اید را به دقت مطالعه کرده و به کار ببرید.



## الف اندازه گیری و محاسبه مقاومت در مدارهای ترکیبی «سری – موازی»

### مراحل اجرای آزمایش

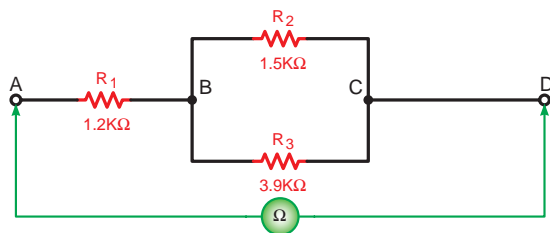
۱- مقدار اهم و درصد خطای مقاومت های  $R_1$  تا  $R_4$  را با توجه به نوارهای رنگی به دست آورید و در جدول ۵-۵ یادداشت کنید.

**جدول ۵-۵**

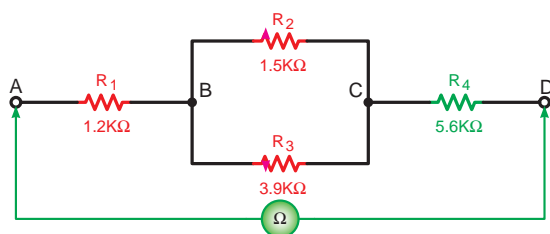
مقاومت	نوارهای رنگی	مقدار اهم و تolerانس خوانده شود	مقدار اندازه گیری شده
$R_1$			
$R_2$			
$R_3$			
$R_4$			



الف- شکل واقعی مدار



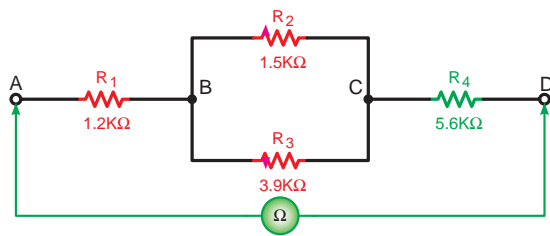
ب- شکل مداری  
شکل ۱۶۷-۵



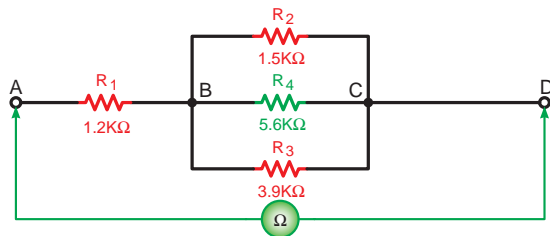
شکل ۱۶۸-۵

۳- مدار شکل ۵-۱۶۸ را روی بردبرد اتصال دهید و با استفاده از اهم متر مقاومت معادل مدار را از دو نقطه A و D اندازه بگیرید.

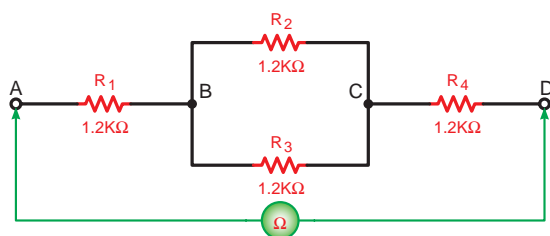
$$R_{AD_1} = \boxed{\phantom{000}}$$



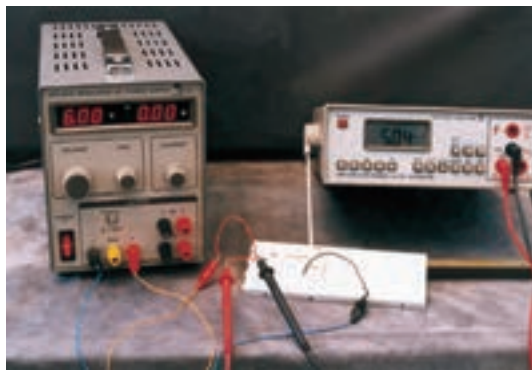
شکل ۵-۱۶۹



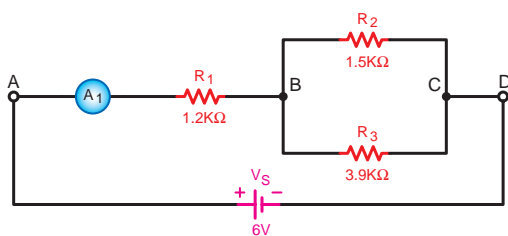
شکل ۵-۱۷۰



شکل ۵-۱۷۱ اندازه گیری مقاومت در مدار ترکیبی



الف - شکل واقعی مدار



ب - شکل مداری

شکل ۵-۱۷۲ اندازه گیری جریان در مدار ترکیبی (قسمت سری)

۴- طبق شکل ۵-۱۶۹ یک مقاومت  $5/6k\Omega$  را بین دو نقطه C و D قرار دهید و مقاومت معادل مدار را با استفاده از اهم متر اندازه بگیرید.

$$R_{AD_r} = \boxed{\phantom{000}}$$

۵- مقاومت  $5/6k\Omega$  را بین دو نقطه B و C طبق شکل ۵-۱۷۰ قرار دهید و مقاومت معادل بین دو نقطه A و D را مجدداً اندازه گیری کنید.

$$R_{AD_r} = \boxed{\phantom{000}}$$

۶- با توجه به نتایج به دست آمده در مراحل ۴ و ۵ اضافه شدن مقاومت  $5/6k\Omega$  به مدارهای شکل ۵-۱۶۹ و ۵-۱۷۰ چه تأثیری روی مقاومت معادل بین دو نقطه A و D می‌گذارد؟ چرا؟ شرح دهید.

۷- آیا مقادیر به دست آمده در مراحل عملی با مطالب تئوری مطابقت دارد؟ شرح دهید.

۸- چهار مقاومت  $1/2k\Omega$  طبق شکل ۵-۱۷۱ اتصال دهید و سپس با اهم متر مقاومت معادل بین دو نقطه A و D را اندازه گیری کنید.

$$R_{AD_r} = \boxed{\phantom{000}}$$

۹- با توجه به مقدار اندازه گیری شده آیا می‌توان با استفاده از نتیجه گیری‌های به دست آمده رابطه کلی را نوشت؟ چرا؟

## ب اندازه گیری و محاسبه شدت جریان در مدارهای ترکیبی «سری - موازی»

۱- مدار شکل ۵-۱۷۲ را روی بردبرد اتصال دهید. تذکر: دقت کنید که آمپرمتر در مدار مربوط به هر مقاومت به صورت سری قرار گیرد و حداقل حوزه کاری که انتخاب می‌شود، برابر  $10mA$  باشد.

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

$$I_{R_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

۳- منبع تغذیه را خاموش کرده و آمپرتر را یکبار در مسیر مقاومت  $R_2$  مانند شکل ۵-۱۷۳ و بار دیگر در مسیر مقاومت  $R_3$  قرار داده و جریان هر یک را قرائت کنید.

$$I_{R_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

$$I_{R_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

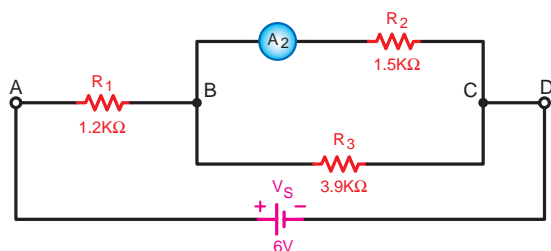
۴- از مقایسه جریان های اندازه گیری شده چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

۵- مداری را مطابق شکل ۵-۱۷۴ اتصال دهید و جریان عبوری از هر یک از مقاومت ها را به تفکیک اندازه بگیرید.

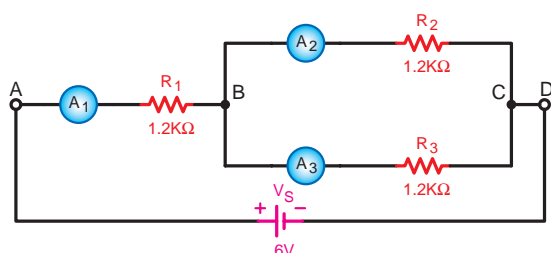
$$I_{R_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

$$I_{R_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

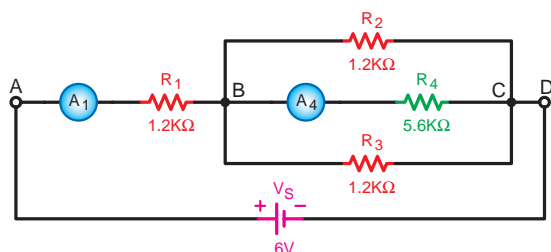
$$I_{R_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$



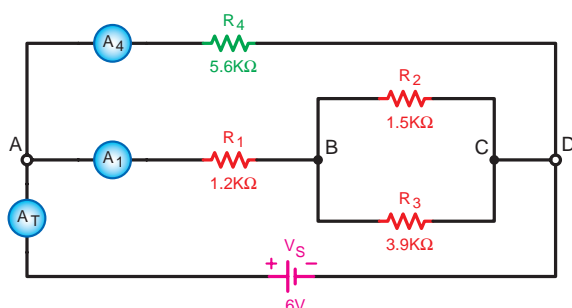
شکل ۵-۱۷۳- اندازه گیری جریان در شاخه های مختلف مدارهای ترکیبی «سری - موازی»



شکل ۵-۱۷۴- اندازه گیری جریان از شاخه های مختلف مدار ترکیبی سری - موازی



شکل ۵-۱۷۵- بررسی اثر تغییر مکان مقاومت روی مدار ترکیبی



شکل ۵-۱۷۶- بررسی اثر اضافه کردن مقاومت به صورت موازی در مدار ترکیبی سری - موازی

۶- یک مقاومت  $5/6k\Omega$  در بین دو نقطه B و C طبق شکل ۵-۱۷۵ اضافه کنید و جریان عبوری از مقاومت های  $R_1$  و  $R_4$  را اندازه بگیرید.

$$I_{R_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

$$I_{R_4} = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

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.

$$I_T = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

۸- مدار شکل ۵-۱۷۶ را روی بردبرد اتصال دهید و جریان عبوری از مقاومت های  $R_1$  و  $R_4$  و جریان کل مدار را اندازه بگیرید.

$$I_{R_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

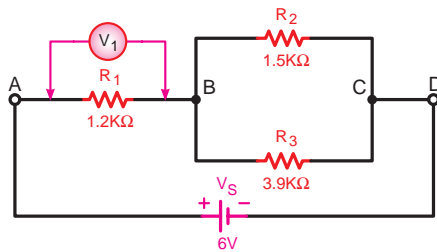
$$I_{R_4} = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

$$I_T = \boxed{\phantom{000}} \text{ A}$$

۹- وقتی مقاومت  $R_f$  را بین دو نقطه A و D قرار می‌دهید جریان کل مدار چه تغییری می‌کند؟ چرا؟ شرح دهید.

۱۰- از مقایسه جریان‌های به دست آمده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

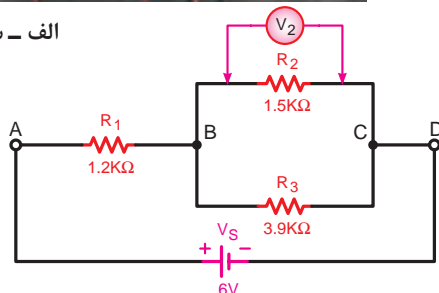
۱۱- آیا رابطه‌ای بین مقدار جریان کل مدار و محل قرار گرفتن مقاومت جدید  $R_f$  وجود دارد؟ شرح دهید.



شکل ۱۷۷-۵- اتصال مدار ترکیبی سری - موازی



الف - شکل واقعی مدار



ب - کل مداری

شکل ۱۷۸-۵- اندازه‌گیری ولتاژ در مدار ترکیبی سری - موازی

## پ اندازه‌گیری و محاسبه ولتاژ در مدارهای ترکیبی «سری - موازی»

۱- مدار شکل ۱۷۷-۵ را روی بردبرد اتصال دهید. تذکر: دقت کنید که ولت متر در دو سر هر مقاومت به صورت موازی قرار گیرد و دارای حداقل رنج ۶۷ باشد.

۲- منبع تغذیه dc را وصل کنید و ولتاژ دو سر مقاومت

$$R_1 \text{ را اندازه بگیرید. } V_{R_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

۳- ولت متر را یکبار در دو سر مقاومت  $R_f$  و بار دیگر در

دو سر مقاومت  $R_3$  قرار دهید و ولتاژ هر یک از مقاومت‌ها

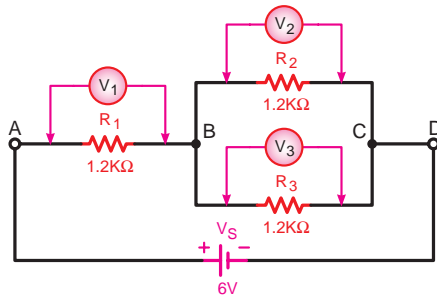
را اندازه بگیرید.

$$V_{R_f} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

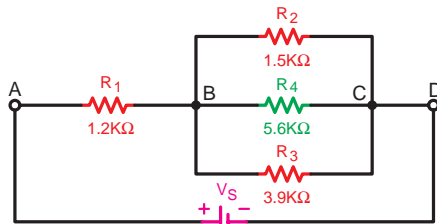
$$V_{R_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

۴- از مقایسه ولتاژهای اندازه گیری شده با ولتاژ منبع تغذیه چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

-۴



شکل ۵-۱۷۹



شکل ۵-۱۸۰

۵- مداری را مطابق شکل ۵-۱۷۹ اتصال دهید و ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت ها را به تفکیک اندازه بگیرید.

$$V_{R_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{R_r} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{R_r} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

۶- از مقایسه ولتاژهای به دست آمده با یکدیگر چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

۷- یک مقاومت  $5/6 \text{ k}\Omega$  را طبق شکل ۵-۱۸۰ بین دو نقطه B و C اضافه کنید و ولتاژهای دو سر هر مقاومت را مجدداً اندازه گیری کنید.

$$V_{R_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{R_r} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{R_r} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{R_r} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

۸- از نتایج به دست آمده در این مرحله آزمایش چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

-۸

۹- آیا مقادیر به دست آمده با مطالب تئوری و رابطه آن مطابقت دارد؟ شرح دهید.

-۹

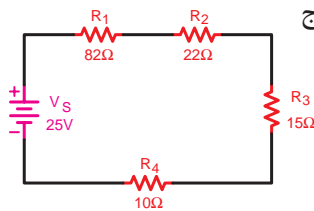


## آزمون پایانی (۵)

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

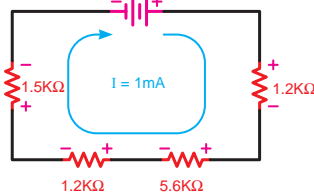


شکل ۱۸۱-۵

۲- جریان عبوری از مدار شکل ۱۸۱-۵ چند میلی آمپر است؟

الف - ۱۹۴      ب - ۴/۸

ج - ۶/۲      د - ۵/۶



شکل ۱۸۲-۵

۳- در مدار شکل ۱۸۲-۵ ولتاژ  $V_S$  چند ولت است؟

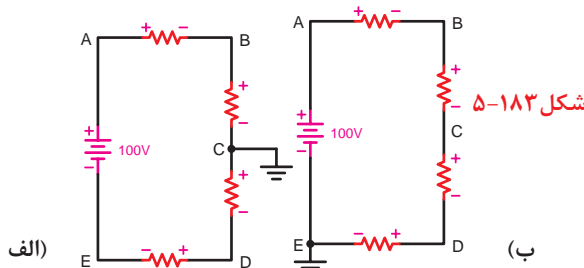
الف - ۹/۵      ب - ۰/۹۵

ج - ۹۵      د - ۰/۰۹۵

۴- در شکل ۱۸۳-۵ 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

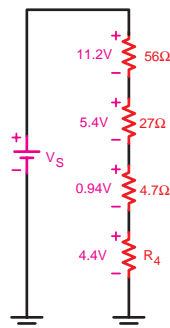


(ب)

۵- مقدار مقاومت  $R_F$  در شکل ۱۸۴-۵ چند اهم است؟

الف - ۰/۸۸      ب - ۲/۲

ج - ۲۲۰      د - ۲۲



شکل ۱۸۴-۵



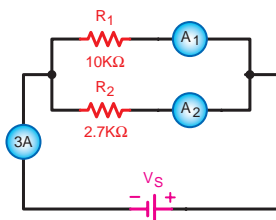
۶- مقدار مقاومت معادل سه مقاومت  $330\ \Omega$ ،  $270\ \Omega$  و  $68\ \Omega$  که به صورت موازی بسته شده اند چند اهم است؟

الف - ۶۶۸

ب - ۴۷

ج - ۶۸

د - ۲۲



۷- در شکل ۵-۱۸۵ آمپرمترهای  $A_1$  و  $A_2$  به ترتیب از راست به چپ چند

آمپر را نشان می دهد؟

الف -  $2/36$  و  $0/64$

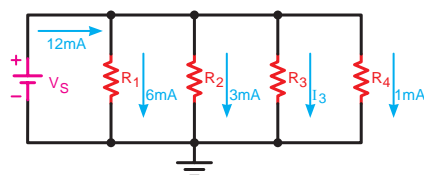
ب -  $0/56$  و  $1/36$

ج -  $1/36$  و  $1/64$

د -  $0/64$  و  $2/36$

شکل ۵-۱۸۵

۸- در شکل ۵-۱۸۶ و در صورتی که مقدار مقاومت  $R_T = 2k\Omega$  باشد مقدار مقاومت  $R_P$  چند کیلو اهم است؟



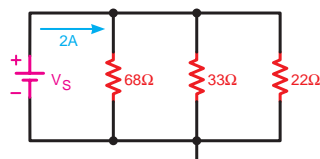
الف - ۱۲

ب - ۲

ج - ۹

د - ۱۰

شکل ۵-۱۸۶



۹- در مدار شکل ۵-۱۸۷ ولتاژ کل چند ولت است؟

الف -  $14/9$

ب -  $7/25$

ج -  $22/1$

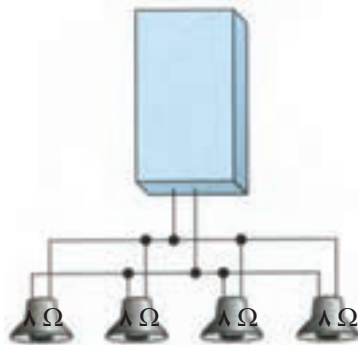
د -  $44/6$

شکل ۵-۱۸۷

۱۰- خروجی یک تقویت کننده استریو به چهار بلندگو طبق شکل ۵-۱۸۸ اتصال دارد. مقاومت معادل خروجی بلندگوها

چند اهم است؟

تقویت کننده استریو



الف - ۸

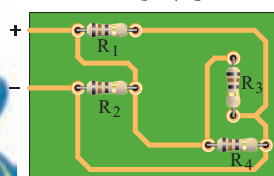
ب - ۲

ج - ۶۴

د - ۳۲

شکل ۵-۱۸۸

۱۱- با توجه به شکل ۵-۱۸۹ بررسی کنید نحوه اتصال مقاومت ها نسبت به یکدیگر چگونه است؟



شکل ۵-۱۸۹

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 میلی متر مربع است؟ ( $\omega_{cu} = 56$ )

الف - ۳/۳ و ۴/۳      ب - ۴/۳ و ۳      ج - ۳ و ۵      د - ۳/۳ و ۵/۲

۱۳- الکتروود مثبت کدام یک از باتری های زیر از جنس اکسید منگنز است؟

الف - سرب - اسید      ب - روی - کربن      ج - قلیایی      د - جیوه ای

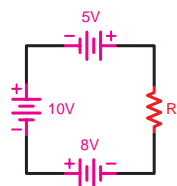
۱۴- ولتاژ هر پیل نیکل - کادمیوم حدود چند ولت است؟

الف - ۱/۵      ب - ۱/۳      ج - ۲      د - ۱/۳۵

۱۵- ولتاژ دو سر مقاومت در مدار شکل ۵-۱۹۰ چند ولت است؟

الف - ۷      ب - ۱۳

ج - ۱۸      د - ۲۳      شکل ۵-۱۹۰

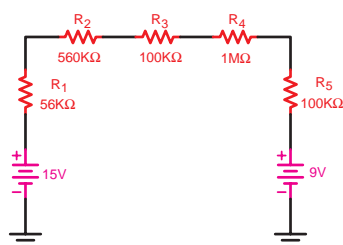


۱۶- جریان در مدار شکل ۵-۱۹۱ چند میکروآمپر است؟

الف - ۳/۳      ب - ۰/۰۲

ج - ۰/۰۴۵      د - ۱۰

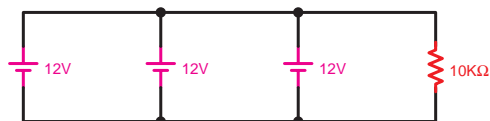
شکل ۵-۱۹۱



۱۷- توان مصرفی در مدار شکل ۵-۱۹۲ چقدر است؟

الف - ۱/۴۴ mΩ      ب - ۱۴/۴ mΩ

ج - ۱/۴۴ Ω      د - ۱۴/۴ Ω



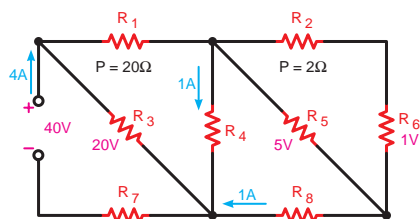
شکل ۵-۱۹۲

۱۸- در مدار شکل ۵-۱۹۳ توان مصرفی در مقاومت  $R_6$

چند وات است؟

الف - ۱      ب - ۰/۵

ج - ۲۰      د - ۰/۲۵



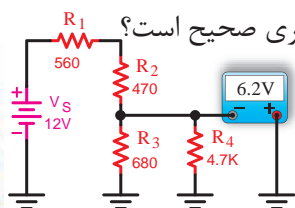
شکل ۵-۱۹۴

۱۹- در شکل ۵-۱۹۵ آیا مقدار نشان داده شده توسط دستگاه اندازه گیری صحیح است؟

در صورتی که صحیح نیست، چه عددی را باید نشان دهد.

الف - بلی      ب - ۴/۳      شکل ۵-۱۹۵

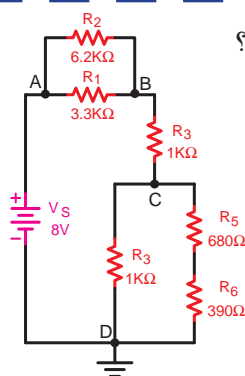
ج - ۶/۸      د - ۸/۲



۲۰- در مدار شکل ۵-۱۹۵ ولتاژ بین دو نقطه C و D ( $V_{CD}$ ) چند ولت است؟

الف - ۴/۶۹ ب - ۲/۱۸

ج - ۳/۶۷ د - ۱/۱۳

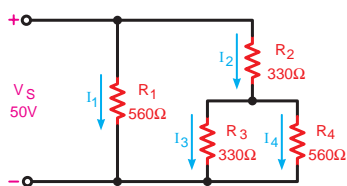


شکل ۵-۱۹۵

۲۱- در شکل ۵-۱۹۶ جریان  $I_f$  چند میلی آمپر است؟

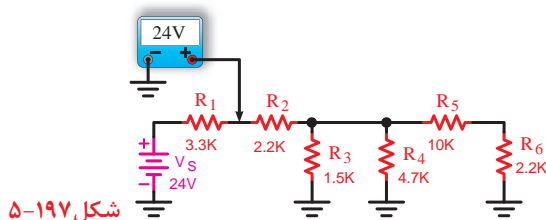
الف - ۹۳ ب - ۲۰

ج - ۳۴/۵ د - ۵۳۸



شکل ۵-۱۹۶

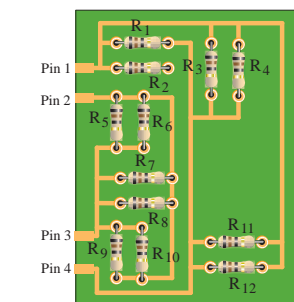
۲۲- عددی که ولت متر در شکل ۵-۱۹۷ نشان می دهد صحیح است یا خیر؟ چرا؟ توضیح دهید.



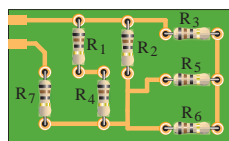
شکل ۵-۱۹۷

۲۳- با توجه به تصاویر شکل ۵-۱۹۸ وضعیت قرار گرفتن مقاومت ها (نوع مدار) را تشخیص دهید و نقشه فنی مدار را

رسم کنید.



(ب)



(الف)

شکل ۵-۱۹۸

۲۴- اگر مقاومت داخلی مصرف کننده 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 می آید.

۲۶- برای سنجش مقاومت در مدار الکتریکی از وسیله ای به نام ..... استفاده می شود.



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.



## واحد کار مبانی الکتریسیته

### فصل ششم: کار و توان الکتریکی

#### هدف کلی

توانایی محاسبه کار و توان مصرف کننده های الکتریکی و شناسایی توان مقاومت ها



**هدف های رفتاری:** در پایان این فصل انتظار می رود که فراگیر بتواند:

- ۱- کار، توان و راندمان الکتریکی را با ذکر رابطه آن ها 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



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 فرآیند 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 بدست 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 جریاندهی 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 آن ها رابطه .....

- الف - ندارد.      ب - مستقیم دارد.      ج - معکوس دارد.      د - پایدار دارد.

۱۲- کدامیک 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 می توان در یک کارگاه صنعتی میزان انرژی الکتریکی مصرفی را اندازه گیری کرد؟

- الف - بستگی به قدرت دارد.  
ب - خیر  
ج - بله  
د - در برخی از موارد امکان دارد.

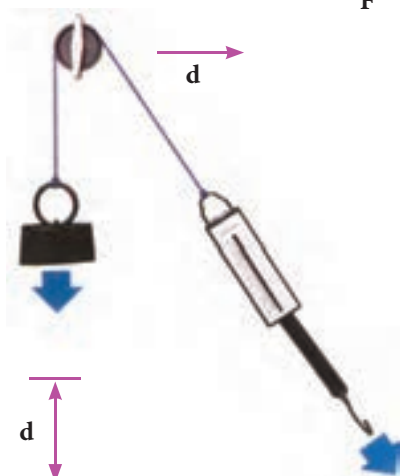
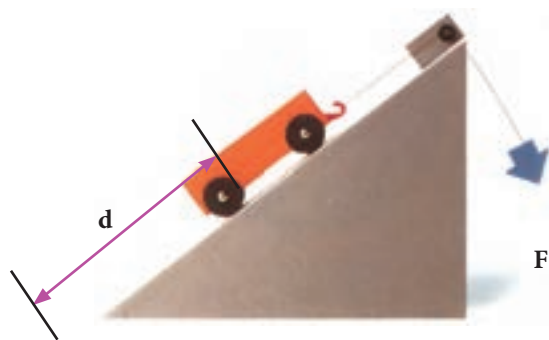
۱۵- میزان مصرف انرژی الکتریکی در منازل مسکونی با کدام یک از موارد زیر رابطه مستقیم دارد؟

- الف - قطر سیم مصرفی  
ب - تعداد وسایل  
ج - فاصله تولید کننده تا مصرف کننده  
د - سطح مقطع سیم مصرفی



## ۶-۱- کار الکتریکی

هرگاه جسمی حرکت کند یا تغییر حالت دهد می‌گوییم کار انجام شده است. نمونه‌هایی از کار انجام کار را در شکل ۶-۱ مشاهده می‌کنید.



شکل ۶-۱

F



شکل ۶-۲

برای محاسبه کار مکانیکی از رابطه زیر استفاده

می‌شود:

$$w = f \cdot d$$

(۱)

$F$  - نیروی وارد شده بر حسب نیوتن (N)

$d$  - میزان جابجایی جسم بر حسب متر (m)

$w$  - کار انجام شده بر حسب نیوتن متر با ژول (j)

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 ۶-۲). کار الکتریکی از رابطه

زیر قابل محاسبه است:

$$v = \frac{w}{q}$$

$$w = v \cdot q$$

(۲)

$V$  - اختلاف پتانسیل بر حسب ولت

$q$  - مقدار بار الکتریکی جابه‌جا شده بر حسب کولن

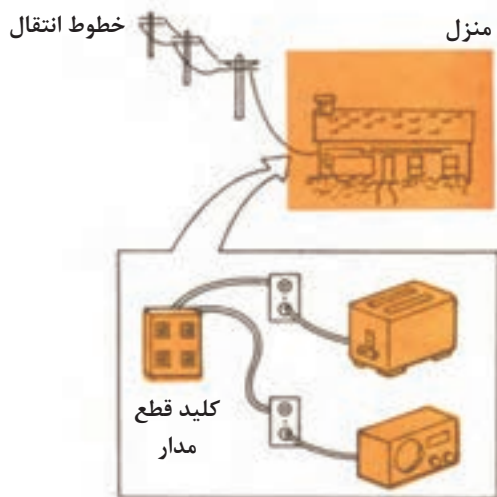
$w$  - کار انجام شده بر حسب وات ثانیه یا ژول

در رابطه  $w$  اگر به جای مقادیر  $q$  و  $V$  مقدار یک

(واحد) قرار داده شود، تعریف واحد یعنی ۱ ژول به دست



شکل ۳-۶- مصرف کننده های الکتریکی



شکل ۴-۶- خطوط انتقال انرژی



شکل ۵-۶

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 آن ها 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 بدست می آید:

$$[J] = [V][A][S]$$

ثانیه  $\times$  آمپر  $\times$  ولت = ژول

## ۲-۶- حرارت ایجاد شده توسط الکتریسته

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

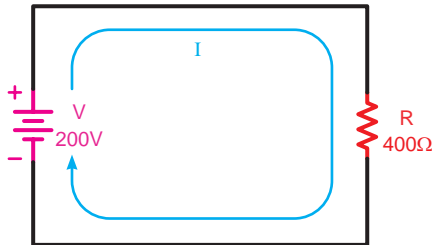
بنویسیم:

$$Q = K.W \quad \text{یا} \quad Q = K.R.I^2.t$$





شکل ۶-۶- سماور برقی



شکل ۶-۷



(الف)

(ب)

$Q$  - مقدار گرمای تولیدی بر حسب کالری

$R$  - مقاومت سیم بر حسب اهم

$I$  - جریان عبوری از سیم بر حسب آمپر

$t$  - زمان عبور جریان بر حسب ثانیه

$K$  - ضریب ثابت برابر  $\frac{1}{4.18} = 0.24$  بر حسب کالری

بر ژول

تعاریف یک ژول و یک کالری بر حسب کمیت های

الکتریکی به صورت زیر است:

**یک ژول** - هرگاه نیروی محرکه الکتریکی برابر یک ولت

باعث جابه جایی یک کولن بار در مدار 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 گوییم

حرارتی برابر یک کالری در اطراف سیم به وجود می آید.

**مثال:** در شکل ۶-۷ اگر  $R$  نشان دهنده مقاومت المنت

یک سماور برقی باشد. این مقاومت در مدت زمان ۱۰ دقیقه

چند کالری گرما تولید می کند؟

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 می توان 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)

شکل ۸-۶- توان مصرف شده برای انجام کار (روشنایی اتاق - حرکت دورانی موتور کولر)

واحد توان به احترام جمیز وات<sup>۱</sup> بر حسب وات (W) نام گذاری شده است. در صنعت از واحدهای کوچک تر و بزرگ تر وات نیز استفاده می شود که عبارتند از:

(وات)  $\mu W = 10^{-6} W$  (میکرووات)

(وات)  $mW = 10^{-3} W$  (میلی وات)

(وات)  $kW = 10^3 W$  (کیلووات)

(وات)  $MW = 10^6 W$  (مگاوات)

در انتخاب مصرف کننده های الکتریکی برای انجام کاری مشخص می بایست به توان نوشته شده روی بدنه آن ها توجه خاص شود.

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.

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) آن را حساب کرد.

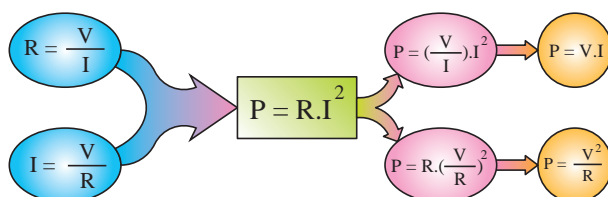
**توجه**



بنابراین توجه به برچسب انرژی وسایل و لامپ های کم مصرف موجب صرفه جویی در انرژی مصرفی خواهد شد.

تصویر روبرو چگونگی به دست آوردن دو رابطه دیگر توان الکتریکی را نشان می دهد.

توان الکتریکی را با واحد دیگری به نام «اسب بخار»<sup>۲</sup> - 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)

1 - james watte

2 - hp-Horse Power

اگر توان هر فرد را تقریباً برابر  $90\text{ W}$  در نظر بگیریم یک موتور الکتریکی یک اسب بخار قدرتی معادل هشت نفر را دارد. (شکل ۹-۶)



شکل ۹-۶- مقایسه قدرت موتور یک اسب بخار با توان انسان.



شکل ۱۰-۶- موتور الکتریکی

مثال: مقدار جریان و انرژی مصرفی یک موتور الکتریکی شکل ۱۰-۶ با قدرت  $1\text{ hp}$  (انگلیسی)، که در شبکه  $220$  ولتی به مدت  $20$  دقیقه کار می کند، حساب کنید.

حل:

$$p = 1_{\text{hp}} = 1 \times 736 = 736 [\text{W}]$$

$$P = V.I \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{736}{220} = 3.34 [\text{A}]$$

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

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = p.t = 736 \times 1200 = 883200 [\text{J}]$$

مقدار توان مصرفی در مدارهای الکتریکی را با وسیله ای به نام «وات متر» اندازه گیری می کنند. علامت اختصاری این وسیله به صورت  $\text{W}$  است و شکل واقعی یک نمونه وات متر را در شکل ۱۱-۶ مشاهده می کنید.

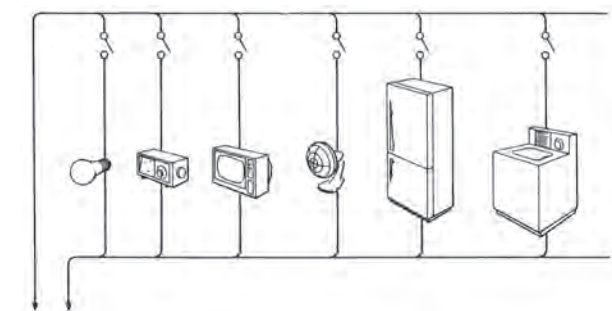
توان مصرفی کل یک مدار الکتریکی که از چند جزء تشکیل شده است از حاصل جمع توان های تک تک عناصر مدار به دست می آید.



شکل ۱۱-۶

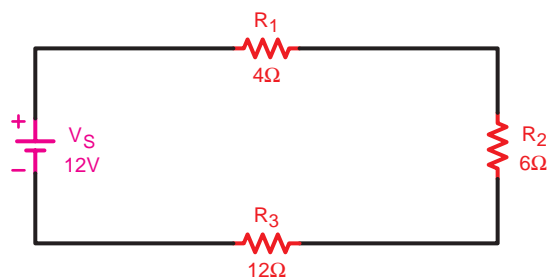
$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

برای محاسبه توان هر یک از عناصر لازم است دو کمیت از سه کمیت  $V$  و  $I$  و  $R$  معلوم باشد تا بتوان یکی از روابط



به طرف مولد الکتریسیته

شکل ۱۲-۶



شکل ۱۳-۶

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \Rightarrow R_T = 4 + 6 + 12 = 22\Omega$$

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{12}{22} = 0.54A$$

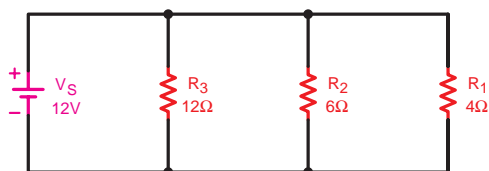
$$P_1 = R_1 I^2 \Rightarrow P_1 = 4 \times (0.54)^2 = 1.174W$$

$$P_2 = R_2 I^2 \Rightarrow P_2 = 6 \times (0.54)^2 = 1.74W$$

$$P_3 = R_3 I^2 \Rightarrow P_3 = 12 \times (0.54)^2 = 3.49W$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

$$P_T = 1.174 + 1.74 + 3.49 = 6.39W$$



شکل ۱۴-۶ مدار موازی

$P$  را به کار برد. مثلاً توان مصرفی کل شکل ۱۲-۶ برابر با مجموع توان های مصرفی لامپ، رادیو، تلویزیون، پنکه و ماشین لباسشویی است.

در صورتی که مقادیر دو کمیت از کمیت های  $V$  و  $I$  و  $R$  مدار معلوم باشد توان کل مصرفی در یک مدار را از روابط زیر می توان 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 ۱۳-۶ توان مصرفی مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  و توان کل مدار را به دست آورید.

حل: ابتدا جریان کل مدار را به دست می آوریم و سپس با کمک آن توان های هر یک از مقاومت ها را به صورت مقابل محاسبه می کنیم.

مثال: توان مصرفی هر یک از مقاومت ها و توان کل مدار شکل ۱۴-۶ را محاسبه کنید.

**حل:** چون مدار موازی است و ولتاژ در دو سر همه مقاومت ها مساوی می باشد لذا توان تک تک مقاومت ها را به راحتی می توان براساس روابط مقابل محاسبه کرد.

$$P_1 = \frac{V_r^2}{R_1} = \frac{(12)^2}{4} = 36W$$

$$P_r = \frac{V_r^2}{R_r} = \frac{(12)^2}{6} = 24W$$

$$P_r = \frac{V_r^2}{R_r} = \frac{(12)^2}{12} = 12W$$

$$P_T = P_1 + P_r + P_r$$

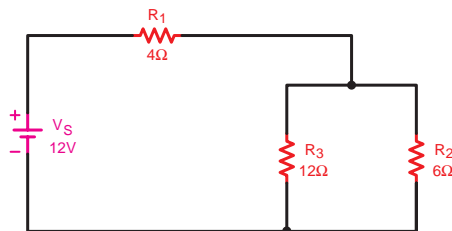
$$P_T = 36 + 24 + 12 = 72W$$

**مثال:** در مدار شکل ۶-۱۵ مطلوب است:

الف - توان هر یک از مقاومت ها

ب - توان کل مدار

**حل:**



شکل ۶-۱۵

$$R_T = \frac{R_r \times R_r}{R_r + R_r} + R_1$$

$$R_T = \frac{6 \times 12}{6 + 12} + 4 = 8\Omega$$

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{12}{8} = 1.5A$$

$$I_r = I_T \frac{R_r}{R_r + R_r} = 1.5A \times \frac{12}{6 + 12} = 1A$$

$$I_r = I_T \frac{R_r}{R_r + R_r} = 1.5A \times \frac{12}{6 + 12} = 0.5A$$

$$P_1 = R_1 \cdot I_T^2 = 4 \times (1.5)^2 = 9W$$

$$P_r = R_r \cdot I_r^2 = 6 \times (1)^2 = 6W$$

$$P_r = R_r \cdot I_r^2 = 12 \times (0.5)^2 = 3W$$

$$P_T = P_1 + P_r + P_r = 9 + 6 + 3 = 18W$$

و یا توان کل را به صورت زیر می توان 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 مقاومت ها در اشکال ۶-۱۳، ۶-۱۴ و ۶-۱۵ چه نتیجه ای می گیرید؟



**حل:** نتیجه می شود که در محاسبه توان هر یک از مقاومت ها و یا توان کل مدار علاوه بر مقدار مقاومت، جریان عبوری و افت ولتاژ دو سر آن ها شکل مدار و محل قرار گرفتن مقاومت مهم است. به همین دلیل است حتی با وجود مساوی بودن مقدار مقاومت ها نتایج یکسانی برای توان ها به دست نیامده است.



**مثال:** ابتدا مقدار جریان را در هر یک از مدارهای شکل ۶-۱۶ بدست آورید. سپس با توجه به توان مجاز هر مقاومت جریان عبوری از آن را محاسبه کنید. از مقایسه مقادیر به دست آمده چه نتیجه ای می گیرید؟

شکل ۶-۱۶- بررسی جریان مصرف کننده 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.

$$P_{\max} = R.I_{\max}^2 \Rightarrow I_{\max} = \sqrt{\frac{P_{\max}}{R}} = \sqrt{\frac{0.25}{10}} = 0.158A$$

**حل ب:** مقدار جریان مدار در این حالت نیز برابر ۰/۵ آمپر است در صورتی که مقدار جریان عبوری از مقاومت برابر:

$$P_{\max} = R.I_{\max}^2 \Rightarrow I_{\max} = \sqrt{\frac{P_{\max}}{R}} = \sqrt{\frac{0.5}{10}} = 0.224A$$

$$0.224A > 0.5A$$

$$P = R.I^2 = 2.5W$$

**حل ج:** در این شرایط جریان مدار نیز ۰/۵ 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:** در صورتی که از این مقاومت

( $\frac{1}{4}$  وات) در مدار استفاده کنیم با عبور جریان ۰/۵ آمپری مقاومت می سوزد زیرا توان تلف شده در آن بیشتر از توان قابل تحمل مقاومت است.

$$P = 10 \times (0.5)^2 = 2.5W$$

**نتیجه:** 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.

**نتیجه:** 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 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 آن ها نیز توجه داشت زیرا هرچه توان مصرف کننده بیشتر باشد، مقدار جریان دریافتی از شبکه بیشتر بوده و میزان تحمل آن نیز زیادتر است.

### ۱-۳-۶- استاندارد توان در مقاومت های

**اهمی:**

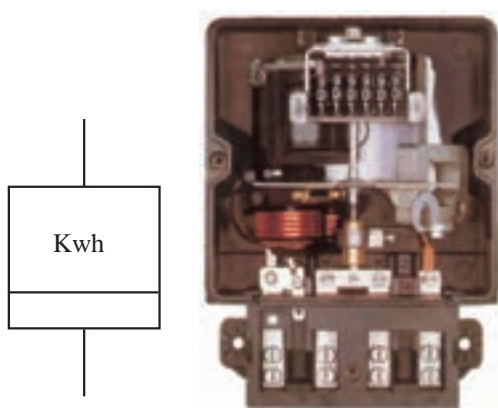
از آنجایی که هر مقاومت الکتریکی قدرت تحمل یک جریان الکتریکی معین را دارد طبق رابطه:  $P = R.I^2$  نتیجه می گیریم هر مقاومت الکتریکی دارای یک قدرت مجاز ثابت است.

کارخانجات سازنده، مقاومت های الکتریکی را در توان های استاندارد تولید می کنند. معمولاً مقاومت های کربنی در توان های  $\frac{1}{4}W, \frac{1}{2}W, 1W, 2W$  مقاومت های سیمی در توان های بیشتر از  $2W$  ساخته می شوند.

با افزایش توان مجاز (توان قابل تحمل) مقاومت ها اندازه فیزیکی آن ها نیز بزرگ تر می شود (شکل ۱۷-۶) تصاویری از انواع مقاومت های اهمی را در توان های مختلف با توجه به ابعاد آن ها نشان می دهد.



شکل ۱۷-۶- استانداردهای توان در مقاومت ها



شکل ۱۸-۶

### ۲-۳-۶- محاسبه هزینه برق مصرفی:

کار الکتریکی به وسیله دستگاهی به نام «کنتور» اندازه گیری می شود. تصویری از این وسیله را به همراه علامت اختصاری آن در شکل ۱۸-۶ مشاهده می کنید. کار الکتریکی را از رابطه زیر می توان محاسبه کرد:

$$w = V.I.t \Rightarrow$$

$$W = P.t$$



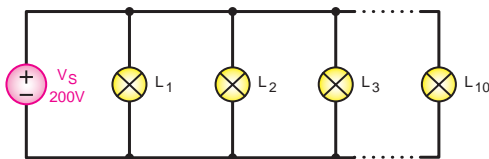
در رابطه کار الکتریکی اگر  $(P)$  بر حسب وات و  $t$  بر حسب ثانیه باشد  $W$  بر حسب وات ثانیه با ژول به دست می آید. چون وات ثانیه با ژول واحد کوچکی است، لذا برای محاسبه هزینه برق مصرفی منازل و کارخانجات از واحدهای بزرگ تر استفاده می شود. در مقیاس تجارتی توان را بر حسب کیلووات  $(kw)$  و زمان را بر حسب ساعت  $(h)$  در نظر می گیرند. به همین دلیل مبنای محاسبه قیمت برق مصرفی بر حسب کیلووات ساعت  $(kwh)$  سنجیده می شود.

رابطه ای که برای محاسبه هزینه برق مصرفی به کار می رود برابر است با:

$$C_k = C.W$$



شکل ۶-۱۹



شکل ۶-۲۰

$C$  - قیمت یک کیلووات ساعت برق  
 $W$  - انرژی (کار الکتریکی) مصرفی بر حسب کیلووات ساعت  
 $C_K$  - قیمت کل برق مصرفی  
 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)

مثال: اگر ده لامپ ۱۰۰ واتی طبق شکل ۶-۲۰ به مدت ۲ ساعت روشن باشد هزینه برق مصرفی آن ها چقدر است؟ در صورتی که قیمت هر کیلووات ساعت ۵۰ ریال در نظر گرفته شود.

حل:

توان مصرفی کل  $P = 10 \times 100_w = 1000_w = 1_{kw}$

زمان روشن بودن لامپ ها  $t = 2h$

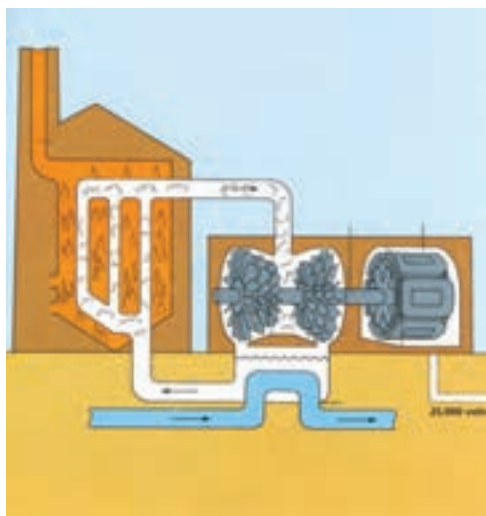
انرژی مصرفی کل  $W = p.t = 1 \times 2 = 2kwh$

کل هزینه  $C_K = C.W = 50 \times 2 = 100$



## ۴-۶- 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 موردنظر ما نیست. این انرژی را «انرژی تلف شده» می نامند.



شکل ۶-۲۱- چگونگی تبدیل انرژی گرمایی به انرژی الکتریکی



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 می توان نتیجه گرفت که انرژی یا توان داده شده به هر وسیله ای از انرژی یا توان دریافت شده از آن بیشتر است. از طرف دیگر مقدار توان تلف شده در همه دستگاه ها یکسان نیست، لذا لازم است تا با عاملی میزان کارایی هر وسیله را بیان کنیم که معمولاً از اصطلاح «کارایی» یا «راندمان» استفاده می شود. شکل ۶-۲۳ وضعیت مصرف کننده ها را از نظر ورودی و خروجی نشان می دهد.

به طور کلی نسبت توان گرفته شده (خروجی) به توان



شکل ۶-۲۳- بلوک دیاگرام توان ها



الف - در مدت ۱ دقیقه سه جعبه را جابه جا کرده است.



ب - در مدت ۱ دقیقه ۴ جعبه را جابه جا کرده است.  
 شکل ۲۴-۶- جریان مقدار کار انجام شده  
 در شکل ب بیشتر است. به همین خاطر راندمان کاری شکل  
 ب بیشتر از شکل الف است.



شکل ۲۵-۶- مولد جریان متناوب



همان طوری که مشاهده می شود راندمان یا  
 کارایی دستگاه از طریق نسبت توان دریافتی  
 به توان داده شده به سیستم به دست می آید.

داده شده (ورودی) را بازده می گویند. ضریب بهره که  
 معرف مقدار عددی راندمان است همیشه بر حسب درصد  
 بیان می شود. هر قدر عدد راندمان بیشتر باشد نشان دهنده  
 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  $(\eta)$  (اِتا) نشان دهیم رابطه آن به صورت زیر  
 خواهد شد:

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

اگر به جای  $P_1$  و  $P_2$  معادل آن ها را قرار دهیم  
 رابطه دیگری برای راندمان به دست می آید که بر حسب  
 انرژی های 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 ۵Wk (شکل ۲۵-۶) حداکثر  
 می تواند انرژی الکتریکی ۴۴ لامپ ۲۲۰ ولتی ۰/۵ آمپری  
 را تأمین کند. حساب کنید راندمان آن چند درصد است؟

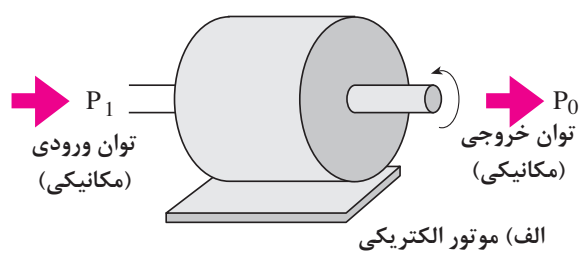
$$P = V.I = 220 \times 0.5 = 110 \text{ W} \quad \text{توان یک لامپ}$$

$$P_2 = 44 \times P = 44 \times 110 = 4840 \text{ W} \quad \text{توان همه لامپ}$$

$$P_1 = 5 \text{ kW} = 5 \times 1000 = 5000 \text{ W}$$

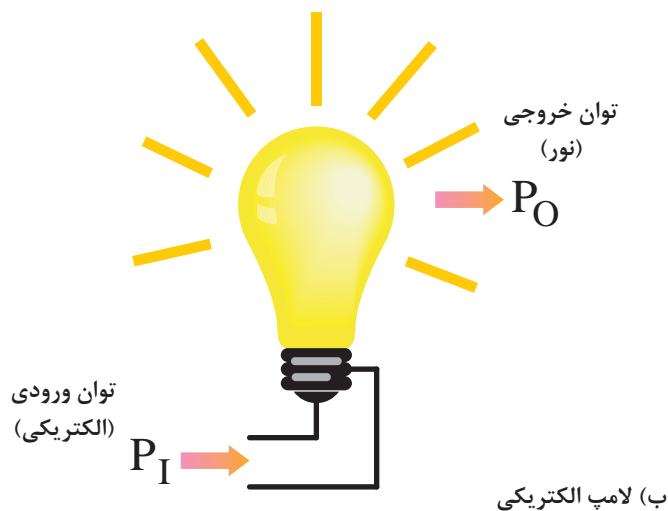
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 = \frac{4840}{5000} \times 100 = 96.8\%$$

در محاسبه میزان راندمان یک وسیله الکتریکی باید به  
 نوع توان یا انرژی ورودی و خروجی آن توجه کرد در  
 محاسبه مقدار راندمان یا کارایی را در نظر داشت.



مثلاً همان طوری که در شکل ۶-۲۶ مشاهده می شود، در یک موتور الکتریکی توان ورودی آن ( $P_1$ ) از نوع انرژی الکتریکی است در صورتی که توان خروجی آن ( $P_0$ ) از نوع انرژی مکانیکی می باشد.

هم چنین در یک لامپ توان ورودی ( $P_1$ ) انرژی الکتریکی است و توان خروجی ( $P_0$ ) از نوع انرژی نورانی می باشد.



شکل ۶-۲۶- مصرف کننده های الکتریکی با توان های خروجی متفاوت



روی پلاک مشخصات و یا بدنه تمامی دستگاه ها توان خروجی نوشته می شود چون مقدار کار مفیدی که وسایل برای ما انجام می دهند اهمیت دارد.



## 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- کدامیک 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 الکترون های آزاد      ب - داشتن حرکت ضربانی

ج - اصطکاک ناشی از حرکت الکترون های آزاد      د - کوچک بودن سطح مقطع سیم

۴- اگر کلید  $K$  مدار شکل ۲۷-۶ به مدت ۵ دقیقه بسته باشد در اطراف لامپ به ترتیب چه کالری

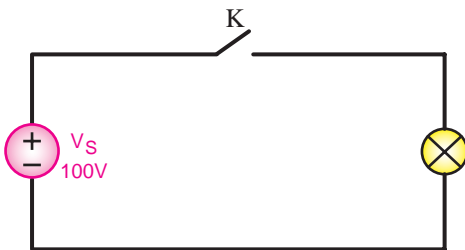
گرم و چند ژول کار انجام شده است؟

الف - ۱۲۵۰۰ و ۲۵۰۰۰

ب - ۲۵۰۰۰ و ۱۲۵۰۰

ج - ۱۸۰۰۰ و ۴۳۲۰

د - ۴۳۲۰ و ۱۸۰۰۰

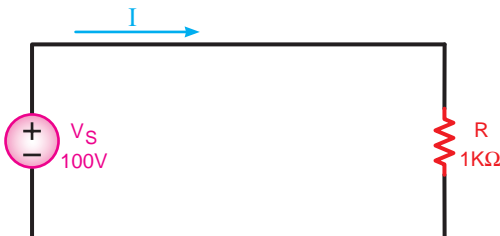


شکل ۲۷-۶

۵- مقدار جریان  $I$  و توان مقاومت  $R$  مدار شکل ۲۸-۶ به ترتیب از راست به چپ چقدر است؟

الف - ۱۰۰ و ۰/۱      ب - ۰/۱ و ۱۰

ج - ۱۰ و ۰/۱      د - ۰/۱ و ۱۰۰



۶- جرثقیلی با نیروی ۴۰۰۰ نیوتن طی ۲ دقیقه باری را ۲/۵ متر جابه جا کرده است. شکل ۲۸-۶

توان این ماشین چند وات است؟

الف - ۱۲۰۰

ب - ۸۳/۳

ج - ۵۶/۱

د - ۴۲/۸

۷- توان ۰/۰۴۵ وات معادل کدامیک از موارد زیر است؟

الف - ۴۵kw

ب - ۴۵mw

ج - ۴,۵W

د - ۰/۰۰۰۴۵ mw



۸- ضریب بهره منبع تغذیه ای با قدرت دریافتی  $0/76$  و توان خروجی معادل  $0/75$  چند درصد است؟

الف -  $50/5$       ب -  $60/2$       ج -  $83/3$       د -  $86/6$

۹- در صورتی که قیمت هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی  $50$  ریال باشد، هزینه برق مصرفی یک المنت بخاری برقی

با مشخصات  $A5$  و  $7200$  در مدت  $5$  ساعت کار چند ریال است؟

الف -  $350$       ب -  $250$       ج -  $450$       د -  $500$

۱۰- توان خروجی یک موتور dc با مشخصات پلاک نشان داده شده در شکل ۶-۲۹ چند وات است؟

الف -  $990$

ب -  $1150$

ج -  $1222/2$

د -  $44$

پلاک موتور

$$U = 220 [V]$$

$$I = 5 [A]$$

$$\eta = 90\%$$

شکل ۶-۲۹

۱۱- انرژی گرمایی، که در اثر عبور جریان الکتریکی در سیم هدر می رود، ..... نام دارد.

۱۲- برای اندازه گیری توان مصرفی در مدارهای الکتریکی از وسیله ای به نام ..... استفاده می شود.

۱۳- هرچه توان مصرف کننده بیشتر باشد مقدار جریان دریافتی آن از شبکه ..... است.

۱۴- مبنای محاسبه برق مصرفی بر حسب کیلووات ساعت است. ☐ صحیح ☐ غلط

۱۵- برای بیان میزان کارایی هر وسیله از اصطلاح توان خروجی استفاده می شود. ☐ صحیح ☐ غلط



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



## خودآزمایی عملی

۱- مشخصات چند نمونه اتو را یادداشت کنید (نمونه ای از این وسیله در شکل ۶-۳۰ نشان داده شده است) و مقدار گرمایی را که در مدت یک دقیقه ایجاد می کنند، برحسب کیلو کالری به دست آورید.



شکل ۶-۳۰

۲- مشخصات کلیه وسایل الکتریکی موجود در منزل را به همراه مدت زمان استفاده از آن ها یادداشت کنید (نمونه هایی 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

## واحد کار مبانی الکتریسیته

### فصل هفتم: مغناطیس و الکترومغناطیس

#### هدف کلی

آشنایی با خواص مغناطیس و مدارهای الکترومغناطیس

#### هدف های رفتاری: 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.

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۴	-	۴



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 اطراف قطب شمال و جنوب دور می شوند.

ج - ذرات مغناطیسی موجود در آهن تنظیم می شود.

د - ساختمان مولکولی آنرا بر هم می زند.

۲- آهنربا کدام گروه از موارد زیر را جذب می کند؟

الف - آهن، آلومینیوم، برنج

ج - فولاد، مس، نیکل

۳- با کدام وسیله می توان به وجود میدان مغناطیسی پی برد؟

الف - با کمک حس لامسه

ج - از طریق مشاهده

۴- کدامیک از موارد زیر برای از بین بردن خاصیت مغناطیسی جسم مناسب نیست؟

الف - ضربه زدن

ج - اتصال به جریان متناوب

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

ج - جذب و دفع نیروی جاذبه زمین

۷- در کارخانجات صنعتی بزرگ معمولاً برای انتقال آهن آلات از نقطه ای به نقطه دیگر از کدام ویژگی بهره گرفته اند؟

الف - باردار کردن ذرات آهن

ج - استفاده از آهنربای مغناطیسی

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

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 ۱hp (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- کدامیک از روابط زیر شکل صحیح رابطه جریان مجاز مقاومت را نشان می دهد؟

الف -  $I = \frac{P}{R}$       ب -  $I = \sqrt{\frac{R}{P}}$       ج -  $I = \frac{R}{P}$       د -  $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$

۱۳- «ژول» معادل کدامیک از واحدهای زیر است؟

الف - وات ثانیه      ب - کیلووات ساعت      ج - اسب بخار      د - کالری

۱۴- بر اثر عبور ماکزیمم جریان از یک مقاومت  $10 \Omega$  با توان  $\frac{1}{4} W$  در مدت زمان ۱ دقیقه چند کالری گرما در اطراف

آن به وجود می آید؟

الف - ۶/۴      ب - ۵      ج - ۷/۲      د - ۱۴/۴

۱۵- کدام وسیله برای اندازه گیری کار الکتریکی استفاده می شود؟

الف - وات متر      ب - کنتور      ج - نیروسنج      د - ولت متر

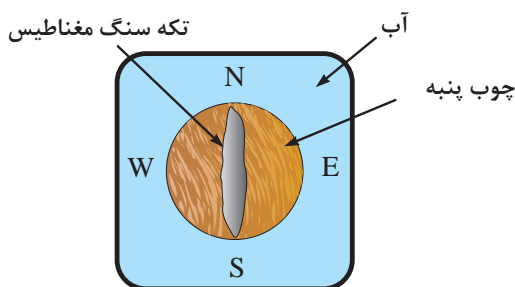


## ۷-۱- مغناطیس چیست؟

تقریباً از شش قرن پیش از میلاد مسیح یونانیان می دانستند یک نوع سنگ طبیعی وجود دارد تکه های کوچکی را می رباید. (شکل ۷-۱)



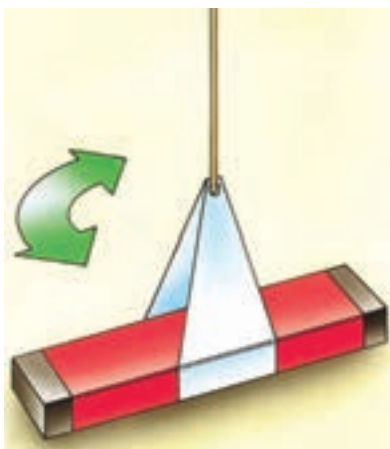
شکل ۷-۱- سنگ مغناطیس طبیعی



شکل ۷-۲- نحوه ساخت قطب نماهای اولیه



شکل ۷-۳- سنگ آهن طبیعی که براده های آهن به آن چسبیده است.



شکل ۷-۴- آهنربای آویخته با نخ

بعدها دیانوردان 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. چون اولین بار این سنگ در منطقه ای به نام ماگنیزیا<sup>۱</sup> در آسیای صغیر پیدا شد، آن را «ماگنتیت»<sup>۲</sup> یا «مغناطیس» نامگذاری کرده اند. (شکل ۷-۲)

شکل ۷-۳ یک قطعه سنگ آهنربای 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 میان براده های کمتری جذب می شود. این نکته نشان می دهد که در هر آهنربا مکان هایی وجود دارد که در آن ها اثر نیروی جاذبه مغناطیسی بیشتر از نقاط دیگر ظاهر می شود. این مکان ها را «قطب های آهنربا» می گویند.

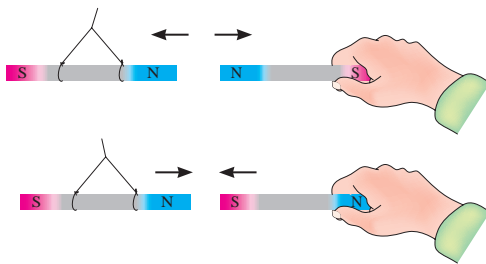
هرگاه یک آهنربای تیغه ای با نخ آویخته شود به طوری که بتواند آزادانه در یک سطح افقی به هر طرف بچرخد پس از چند نوسان در راستای تقریبی شمال و جنوب جغرافیایی قرار می گیرد. در این وضعیت قطبی از آهنربا که به سوی شمال متمایل است قطب شمال N<sup>۳</sup> و قطبی را که به سوی جنوب می ایستد، قطب جنوب S<sup>۴</sup> گویند. (شکل ۷-۴)

1-Magnesia

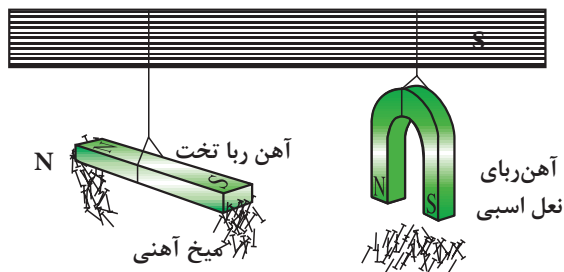
2-Magnetite

3-N-North

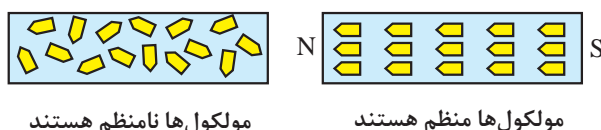
4-S-South



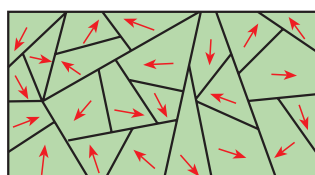
شکل ۷-۵- اثر قطب ها بر یکدیگر



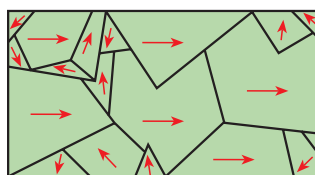
شکل ۷-۶- اثر قطب های آهنربا روی میخ آهنی و برنجی



شکل ۷-۷- وضعیت ملکول های مواد مغناطیسی و غیرمغناطیسی



ماده فرومغناطیس آهنربا نشده



ماده فرومغناطیس آهنربا شده

شکل ۷-۸- وضعیت ملکول های در مواد مغناطیسی مختلف

برای تشخیص قطب های یک آهنربا هر یک از قطب های آن را به ترتیب به قطب های مشخص یک آهنربای دیگر که آویزان است، نزدیک کنید. اگر دو قطب همدیگر را دفع کردند، «هم نام» و اگر دو قطب یکدیگر را جذب کردند، «غیرهم نام» هستند. (شکل ۷-۵)

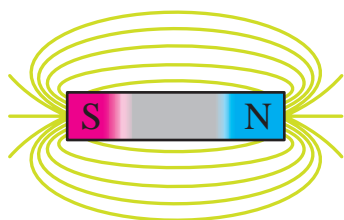
سه عنصر آهن، نیکل و کبالت و بعضی از آلیاژهای آن ها که به شدت جذب آهنربا می شوند، «مواد مغناطیسی یا فرومانیتیک»<sup>۱</sup> می نامند. موادی مانند مس، برنج، شیشه و ... که جذب آهنربا نمی شوند مواد «غیرمغناطیسی» نام دارند. (شکل ۷-۶)

مواد مغناطیسی وقتی در کنار یک آهنربا قرار می گیرند ملکول های آن ها منظم شده و خاصیت مغناطیسی پیدا می کنند. (شکل ۷-۷)

مواد مغناطیسی که در وسایل الکتریکی به کار می روند به دو دسته:

الف - نرم      ب - سخت

تقسیم می شوند. مواد مغناطیسی نرم موادی مانند آهن هستند که خاصیت مغناطیسی ایجاد شده را خیلی زود و آسان از دست می دهند. مواد مغناطیسی سخت موادی مانند فولاد هستند که خاصیت مغناطیسی تقریباً دائم پیدا می کنند و به راحتی از دست نمی دهند. هر دو دسته این مواد دارای اهمیت خاصی در صنایع هستند.



شکل ۹-۷- نیروی میدان اطراف یک جسم مغناطیسی

## ۷-۲- خطوط نیروی مغناطیسی و میدان مغناطیسی

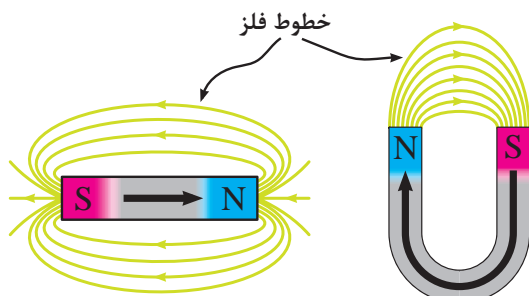
یک آهنربا می تواند بدون اینکه با یک قطعه آهن تماس داشته باشد آن را جذب کند یا از یک فاصله بر روی آهنربای دیگر اثر کند. دلیل این که یک آهنربا از فاصله های کم به آهنربای دیگر نیرو وارد می کند وجود «میدان مغناطیسی»<sup>۱</sup> در اطراف آن است. پس می توان میدان مغناطیسی را به صورت زیر تعریف کرد:

فضایی از اطراف جسم مغناطیسی که می تواند روی اجسام مغناطیسی دیگر اثر بگذارد، «میدان مغناطیسی» می گویند. (شکل ۹-۷)

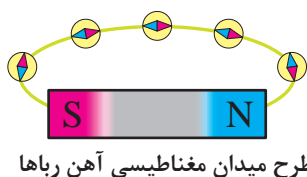
میدان مغناطیسی را می توان با خطوطی به نام «خطوط شار مغناطیسی»، «خطوط نیروی میدان مغناطیسی»، «فلوی مغناطیسی» یا «فوران مغناطیسی» نشان داد.

فلوی مغناطیسی عبارت است از کلیه خطوط میدان مغناطیسی که از آهنربا خارج می شود. فلوی مغناطیسی را با حرف « $\Phi$  - فی» نمایش می دهند و واحد آن بر حسب «wb وبر»<sup>۲</sup> است. یک وبر برابر با  $10^8$  خط شار مغناطیسی می باشد. در اصطلاح به هر وبر یک ماکسول نیز می گویند. 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 ۱۰-۷)

اگر یک عقربه مغناطیسی در اختیار داشته باشیم با چرخاندن آن در فضای اطراف یک آهنربا می توان قطب ها آهنربا و جهت فلوی مغناطیسی را مشخص کرد. (شکل ۱۱-۷)



شکل ۱۰-۷- میدان های مغناطیسی آهنرباها

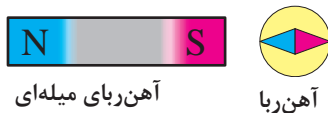


طرح میدان مغناطیسی آهنرباها

شکل ۱۱-۷- وضیت عقربه مغناطیسی در فضای اطراف آهنربا

1-Magnetic Field

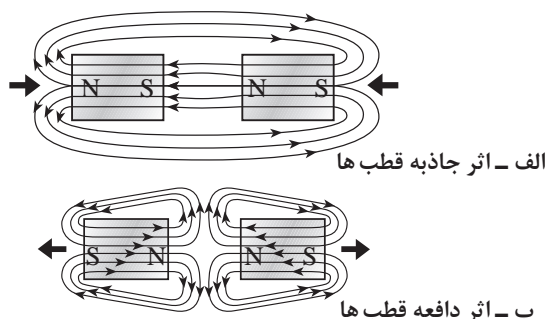
2-Wb-Weber



آهنربای میله‌ای

آهنربا

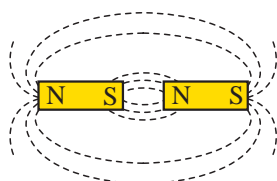
شکل ۷-۱۲- وضعیت عقربه مغناطیسی در کنار آهنربا



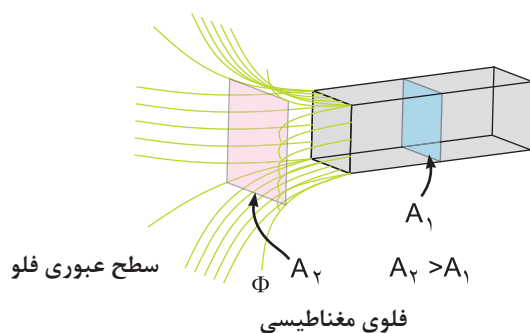
الف - اثر جاذبه قطب‌ها

ب - اثر دافعه قطب‌ها

شکل ۷-۱۳- اثر قطب‌های مغناطیسی بر یکدیگر



شکل ۷-۱۴



شکل ۷-۱۵

تسلا  $10^{-4}$  = ۱ گوس

$$1(G) = 10^{-4}(T)$$

جهتی که عقربه مغناطیسی می‌بایستند قطب مخالف آهنربا را مشخص می‌کند زیرا قطب‌های غیرهم‌نام یکدیگر را جذب می‌کنند. (شکل ۷-۱۲)

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.

اگر یک آهنربا از وسط نصف شود در دو لبه آن مجدداً دو قطب N و S پدید می‌آید. (شکل ۷-۱۴)

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 مغناطیس را از رابطه زیر و بر حسب وبر بر متر مربع  $\left(\frac{wb}{m^2}\right)$  می‌توان بدست آورد.

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

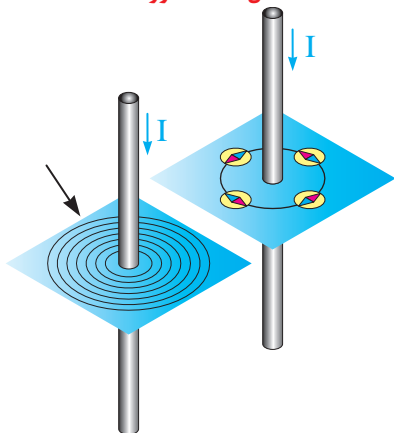
در اصطلاح به واحد  $\left(\frac{wb}{m^2}\right)$  تسلا (T) نیز گفته می‌شود. اندوکسیون مغناطیسی را با واحد کوچک‌تر به نام گوس نیز بیان می‌کنند. یک گوس برابر است با:

### ۷-۳- الکترومغناطیس

در سال ۱۸۲۰ میلادی اورستد<sup>۱</sup> (شکل ۷-۱۶) کشف کرد که اگر یک عقرب مغناطیسی در مجاورت یک سیم حامل جریان DC قرار گیرد از راستای خود منحرف می شود. همچنین اگر روی صفحه ای در فضای اطراف سیم براده آهن بریزیم مشاهده می کنیم که براده ها به دور سیم حلقه می زنند. این مطلب نشان می دهد که در فضای اطراف سیم میدان مغناطیسی وجود دارد. (شکل ۷-۱۷)

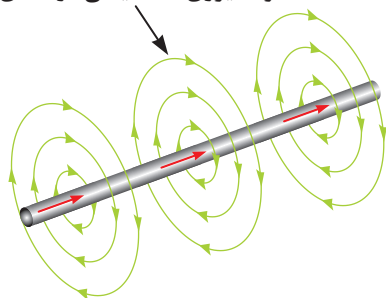


شکل ۷-۱۶- اورستد

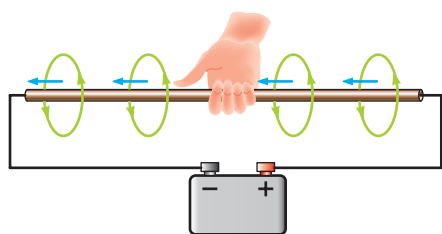


شکل ۷-۱۷

خطوط نیروی مغناطیسی در فضای اطراف سیم



شکل ۷-۱۸



شکل ۷-۱۹

هر قدر مقدار جریان عبوری از سیم بیشتر باشد میدان مغناطیسی قوی تر می شود و فلوی مغناطیسی افزایش می یابد. به میدان مغناطیسی که در اثر جریان عبوری از سیم و در فضای اطراف آن به وجود می آید (شکل ۷-۱۸) در اصطلاح «میدان الکترومغناطیسی» می گویند.

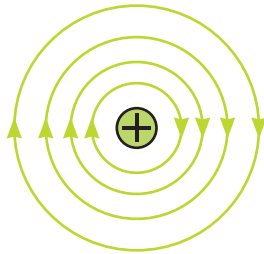
### ۷-۴- قانون دست راست برای یک هادی جریاندار

جهت میدان الکترومغناطیسی را به کمک قانون دست راست می توان تعیین کرد.

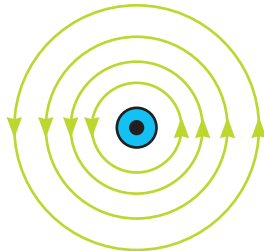
هرگاه سیم حامل جریان را طوری در دست راست بگیریم که انگشت شست جهت جریان را نشان دهد جهت بسته شدن چهار انگشت دیگر جهت میدان مغناطیسی را نشان می دهد. (شکل ۷-۱۹)

1-Hans chriistian oersted

یادآوری می شود این قانون برای جهت قراردادی جریان صادق است. در برخی موارد برای خلاصه نویسی وضعیت جریان و میدان مغناطیسی سیم حامل جریان را با شکل های ۷-۲۰ نشان می دهند.

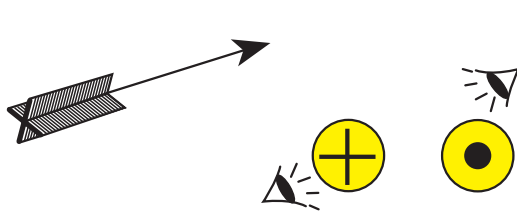


الف) جریان سیم به سمت داخل



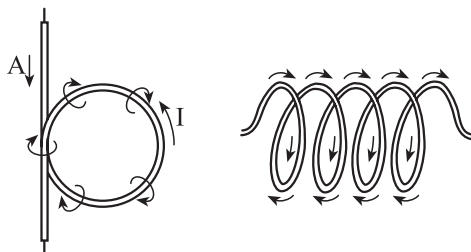
ب) جریان سیم به سمت خارج

شکل ۷-۲۰



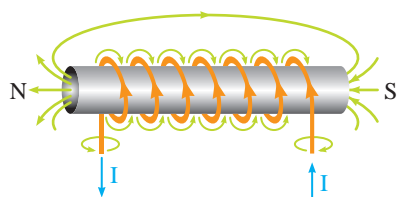
شکل ۷-۲۱

علامت  $\oplus$  نشان دهنده وارد شدن جریان به صفحه و علامت  $\odot$  بیان کننده خارج شدن جریان از صفحه است که مانند یک فلش (پیکان) است. (شکل ۷-۲۱)

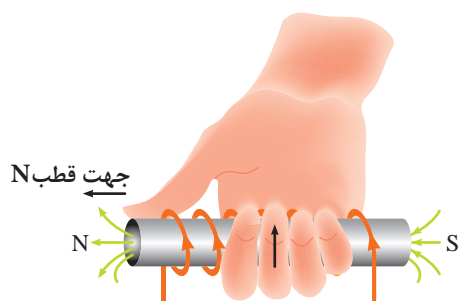


شکل ۷-۲۲

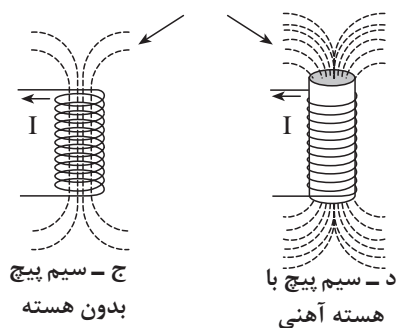
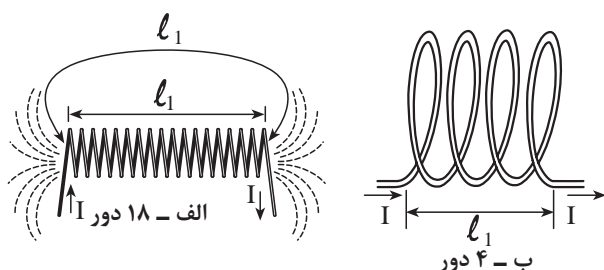
نتایج آزمایش ها نشان می دهد که اگر رشته سیم مستقیمی را به صورت یک حلقه و یا چند حلقه درآوریم میدان مغناطیسی اطراف هر حلقه با هم جمع می شود و تراکم میدان مغناطیسی B را افزایش می دهد. (شکل ۷-۲۲)



شکل ۷-۲۳ - جهت جریان و میدان مغناطیسی



شکل ۷-۲۴



شکل ۷-۲۵

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 شصت جهت قطب N میدان مغناطیسی اطراف سیم را نشان می دهد. (شکل ۷-۲۳)

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 به 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 ۷-۲۴ مشاهده می کنید. همانطور که در فصل اول فراگرفتید هر ذره باردار ساکن (بارالکترواستاتیکی) در فضای اطراف خود خاصیت یا میدانی را باجهت فرضی دارد. مثلاً بار منفی که جهت میدان آن به سمت داخل است) اصطلاحاً به آن میدان الکتریکی گویند. (شکل الف - ۷-۲۵)

حال نیز با این مطلب آشنا شدیم، الکترون که دارای بارمنفی 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 ب - ۷-۲۵)

در هر نقطه خطوط میدان الکتریکی و خطوط میدان مغناطیسی بر یکدیگر عمودند. (شکل ج - ۷-۲۵)

اصطلاحاً به ترکیب این دو میدان « میدان الکترومغناطیسی » می گویند. در تصاویر شکل (۷-۲۵) وضعیت این میدان ها در فضای اطراف یک الکترون نشان داده شده است.



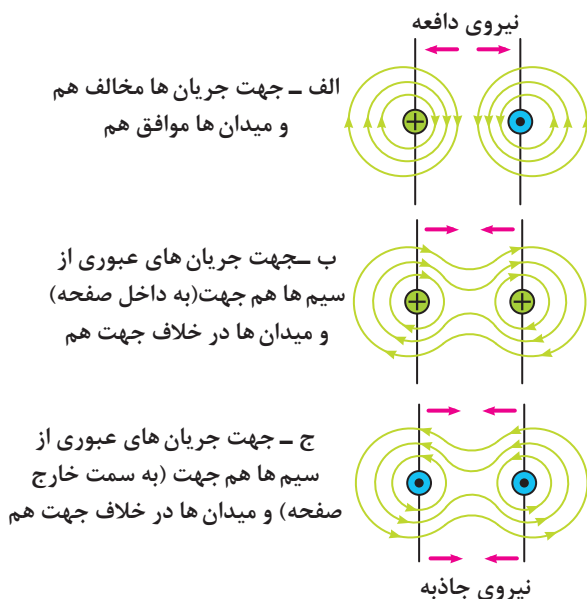


شکل ۷-۲۶

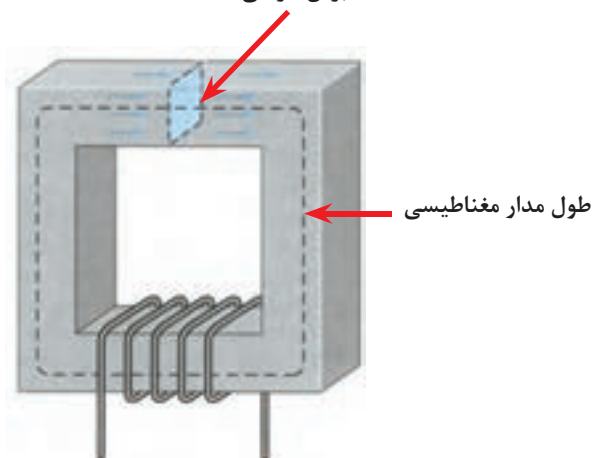
از کاربردهای میدان الکترومغناطیسی می توان آهن رباهای صنعتی را نام برد. (شکل ۷-۲۶)

## ۷-۵- نیروی وارد بر دو هادی جریاندار

هرگاه دو سیم حامل جریان در مقابل یکدیگر قرار گیرند متناسب با جهت و مقدار جریان عبوری از آن ها بر یکدیگر نیرو وارد می کنند. اگر جهت میدان های مغناطیسی دو سیم با هم موافق باشند میدان های دو سیم با هم جمع شده و یکدیگر را جذب می کنند. در صورتی که میدان های مغناطیسی دو سیم مخالف هم باشند میدان های دو سیم در مقابل یکدیگر قرار می گیرند و یکدیگر را دفع می کنند. تصاویر الف، ب و ج شکل ۷-۲۷ گویای این مطلب است.



شکل ۷-۲۷ وضعیت میدان های مغناطیسی دو سیم حامل جریان در کنار هم برش عرضی هسته



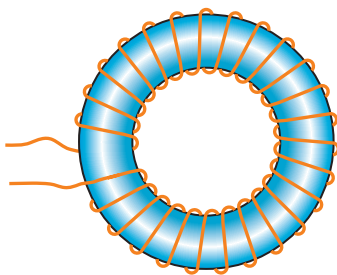
شکل ۷-۲۸ مدار مغناطیسی

## ۷-۶- کمیت های مغناطیسی

### ۷-۶-۱- نیروی محرکه مغناطیسی

همان طوری که اشاره شد در مدارهای الکتریکی نیروی باتری سبب جاری شدن الکترون ها در مدار می شود. مشابه این شرایط در مدارهای مغناطیسی به وجود می آید. نیرویی که باعث جاری شدن فلو در مدارهای مغناطیسی می شود «نیروی محرکه مغناطیسی» می نامند. این نیرو را از رابطه زیر می توان به دست آورد. (شکل ۷-۲۸)

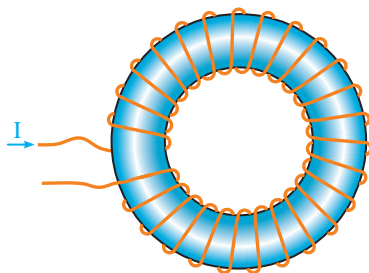
$$F_m = \theta = N.I$$



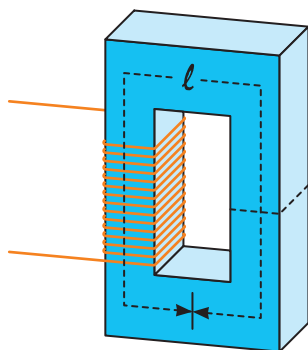
الف - تعداد دور کم



ب - تعداد دور زیاد



ج - طول مسیر مغناطیسی کم



د - طول مسیر مغناطیسی زیاد

شکل ۷-۲۹ - مدارهای مغناطیسی  
با طول متوسط و تعداد دورهای مختلف

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 را 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:

$$H = \frac{F_m}{l} = \frac{\theta}{l} = \frac{N.I}{l}$$

که در آن:

$\theta$  - نیروی محرکه مغناطیسی بر حسب آمپر (A)

$l$  - طول متوسط مسیر مغناطیسی بر حسب متر (m)

H - شدت میدان مغناطیسی بر حسب آمپر متر  
است، رابطه (H) نشان می دهد هر قدر طول مسیر  
مغناطیسی بیشتر باشد شدت میدان مغناطیسی کم تری 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 ۷-۲۹)

## 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 (مو -  $\mu$ ) نشان می دهند و از رابطه زیر

محاسبه می شود:

$$\mu = \frac{B}{H}$$

ضریب نفوذپذیری هوا را با  $(\mu_r)$  نشان می دهند و مقدار آن برابر است با:

$$\mu_r = 4\pi \times 10^{-7}$$

که در آن:

B - چگالی مغناطیسی بر حسب وبر (wb)

H - شدت میدان مغناطیسی بر حسب آمپر متر  $\left[\frac{A}{m}\right]$

$\mu$  - ضریب نفوذ مغناطیسی جسم بر حسب وبر بر

آمپر متر  $\left[\frac{wb}{A.m}\right]$  است.

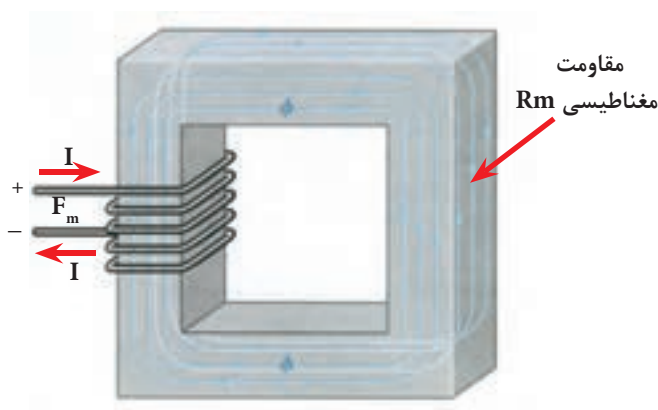
## ۴-۶-۷- مقاومت مغناطیسی

مقدار مخالفتی که اجسام مغناطیسی در برابر عبور فلوی

مغناطیسی از خود نشان می دهند، «مقاومت مغناطیسی»

یا «رلوکتانس» گویند. (شکل ۷-۳۰) مقاومت مغناطیسی با

استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:



شکل ۷-۳۰

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

$$R_m = \frac{\ell}{\mu A}$$

$R_m$  - مقاومت مغناطیسی بر حسب آمپر برابر  $\left[\frac{A}{wb}\right]$

مقدار  $(\mu)$  معمولاً بر حسب پارامتری به نام «ضریب نفوذ

مغناطیسی نسبی» بیان می شود که آن را چنین تعریف

می کنند: نسبت ضریب نفوذ مغناطیسی هر جسم  $(\mu_r)$  به

ضریب نفوذ مغناطیسی هوا  $(\mu_0)$  را ضریب نفوذ مغناطیسی

نسبی  $(\mu)$  می گویند و از رابطه مقابل محاسبه می شود.

بر پایه رابطه  $\mu_r$  می توان نوشت:

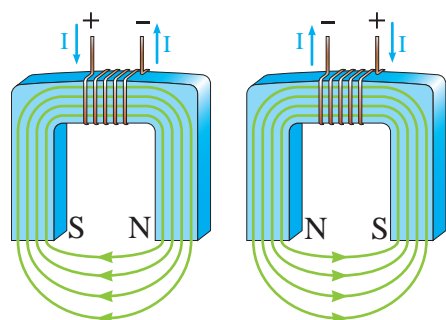
$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

بر همین اساس رابطه رلوکتانس را چنین در نظر

گرفت:

$$R_m = \frac{\ell}{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot A}$$

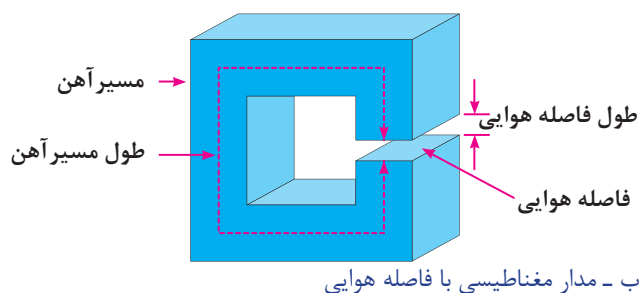
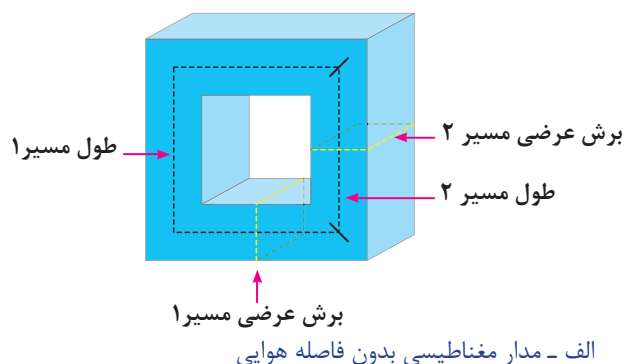
## ۵-۶-۷- مدارهای مغناطیسی:



شکل ۷-۳۱- اثر تعویض جهت جریان روی جهت میدان مغناطیسی

مدارهای مغناطیسی از جنس آهن نرم یا آهن سخت هستند. در صورتی که جهت جریان سیم پیچ مدارهای مغناطیسی عوض شود جهت فلوی مغناطیسی (قطب های S و N) عوض خواهد شد. (شکل ۷-۳۱)

اثر تعویض پلاریته های منبع تغذیه بر جهت میدان مغناطیسی هسته را نشان می دهد.

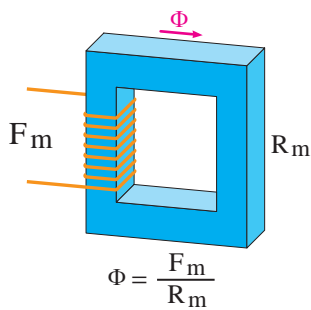


شکل ۷-۳۲

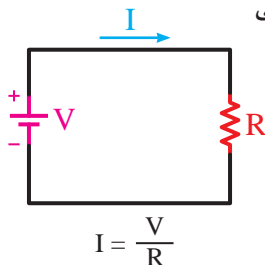
اگر در طول مسیر مدارهای مغناطیسی فاصله هوایی وجود داشته باشد، محیط عبور فولی مغناطیسی تغییر می کند. در این حالت فلوی مغناطیسی با ماده ای روبه رو می شود که ضریب نفوذ مغناطیسی آن کمتر از آهن است. این امر سبب می شود که مقاومت مغناطیسی کل هسته افزایش یابد و در نتیجه کل فوران مغناطیسی کم شود. (شکل ۷-۳۲)

کمیت های مدار مغناطیسی مشابه مدار الکتریکی است و می توانیم این کمیت ها را با هم مقایسه کنیم. (جدول زیر)

(پتانسیل الکتریکی) $V$	مشابه	$\theta$ یا $F_m$ (نیروی محرکه مغناطیسی)
(جریان الکتریکی) $I$	مشابه	$\Phi$ (فلو)
(پتانسیل الکتریکی) $R$	مشابه	$R_m$ (رلوکتانس)



الف-مدار مغناطیسی



ب-مدار الکتریکی

شکل ۷-۳۳

بر همین اساس می توان روابط ساده الکتریکی، مانند قانون اهم را نیز برای مدارهای مغناطیسی نوشت. به عنوان مثال برای محاسبه مقاومت مغناطیسی (شکل ۷-۳۳) می توانیم رابطه دیگری را به صورت زیر بنویسیم:

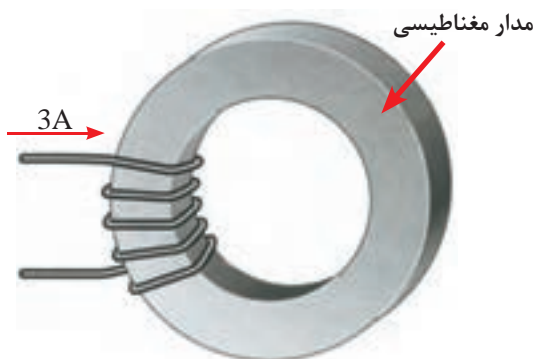
$$R = \frac{V}{I} \Rightarrow R_m = \frac{\theta}{\Phi}$$

مثال: در مدار مغناطیسی شکل (۷-۳۴) اگر مقاومت مدار مغناطیسی برابر  $\left(\frac{A}{Wb}\right) 3 \times 10^3$  باشد فوران عبوری از هسته چقدر است؟

حل:

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m} = \frac{N.I}{R_m}$$

$$\Phi = \frac{5 \times 3}{30 \times 10^3} = \frac{15}{30 \times 10^3} = .5 \times 10^{-3} \text{ wb} = .5 \text{ mwb}$$



شکل ۷-۳۴- مدار مغناطیسی به صورت حلقه با تعداد دور کم

مثال: با توجه به مشخصات (شکل ۷-۳۵) مطلوب

است:

الف - شدت میدان مغناطیسی

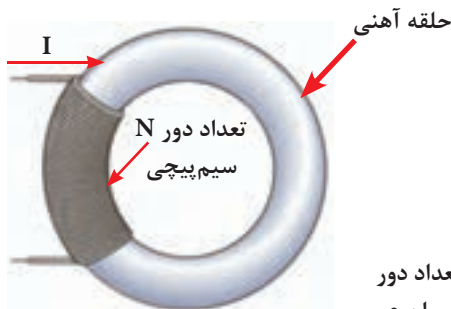
ب - فوران جاری در هسته

حل:

$$H = \frac{N.I}{\ell} = \frac{3000 \times .1}{15 \times 10^{-2}} = 2000 \frac{A}{m}$$

$$B = \frac{\Phi}{A} \Rightarrow \Phi = BA = .5 \times 4 \times 10^{-4}$$

$$\Phi = 2 \times 10^{-4} \text{ wb} = .2 \text{ mwb}$$

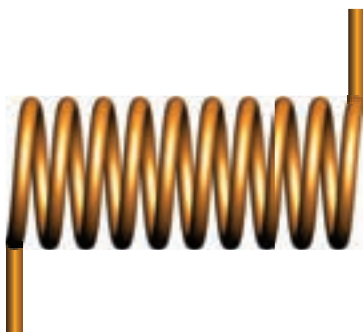


شکل ۷-۳۵

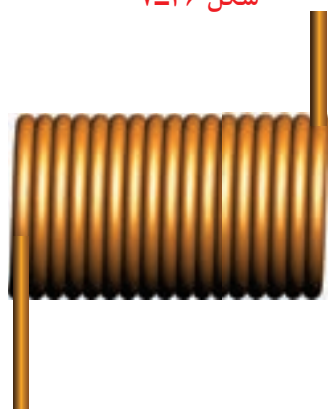
تعداد دور  $N=3000$   
جریان عبوری  $I=.1 \text{ A}$   
طول مدار مغناطیسی  $\ell=15 \text{ cm}$   
چگالی لازم در هسته  $.5 \frac{wb}{m^2}$   
سطح مقطع هسته  $A=4m^2$

## ۷-۷ سلف (اندوکتانس -L)

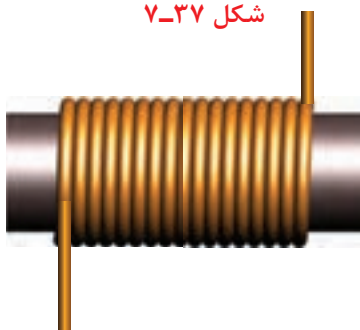
از پیچیدن چند دور سیم به صورت شکل ( ۷-۳۶ ) یک سیم پیچ یا سلف ساخته می شود. یک سلف را با اسامی دیگر، مانند خودالقا و چوک نام گذاری می کنند.



شکل ۷-۳۶



شکل ۷-۳۷



شکل ۷-۳۸

یک سلف ممکن است دارای هسته و یا بدون هسته باشد پس بطور کلی می توان گفت اجزاء یک اندوکتانس از دو قسمت کلی الف: سیم پیچ ب: هسته تشکیل شده است. تصاویر شکل های ( ۷-۳۷ ) و ( ۷-۳۸ ) سلف های بدون هسته و با هسته را نشان می دهد. 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 ( ۷-۳۹ ) 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.

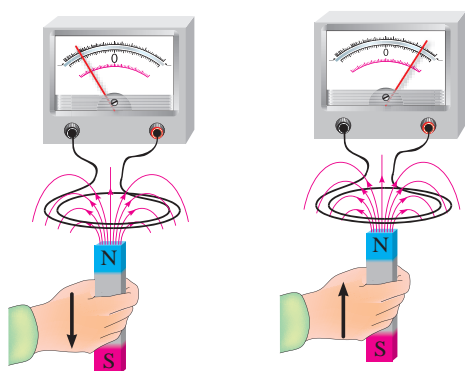


شکل ۷-۳۹

(ب)



(الف)



شکل ۴۰-۷- جریان القایی در جهتی است که با حرکت آهن‌ر با به طرف پیچه مخالفت می‌کند

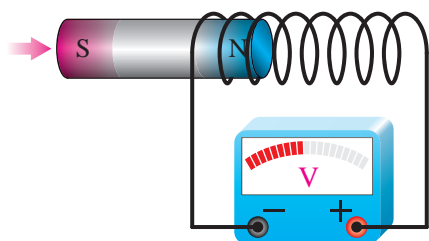
وجود هسته در داخل سیم پیچ باعث می‌شود تا فوران مغناطیسی پراکنده نشده و خاصیت سلفی افزایش یابد. در سال ۱۸۳۱ میلادی مایکل فارادی دانشمند انگلیسی و تقریباً هم‌زمان با او جوزف هانری دانشمند آمریکایی با انجام دادن آزمایش‌هایی مشابه شکل (۴۰-۷) دریافتند که با دور و نزدیک کردن آهن‌ر با به سیم پیچ، عقربه گالوانومتر (میکرو آمپرسنج) منحرف شده و عبور جریان را نشان می‌دهد مانند وقتی که در یک مدار مولد وجود داشته باشد.

در واقع با حرکت آهن‌ر با نسبت به سیم پیچ یک جریان الکتریکی در مدار القا می‌شود. این پدیده را القای الکترومغناطیسی و جریان تولید شده را جریان الکتریکی القایی می‌نامند.

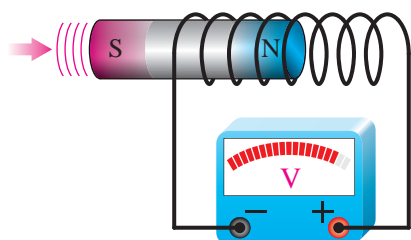
$$E_{nmf} = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \text{ رابطه فارادی}$$

$$E_{nmf} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \text{ رابطه لنز}$$

فارادی و لنز از جمله فیزیکدانانی بودند که پدیده‌ی القا الکترومغناطیسی را بصورت فرمول‌هایی بیان کردند. بر پایه این قوانین خاصیت خودالقایی را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد.



الف) هسته در حال ورود به سیم پیچ و افزایش نیروی محرک



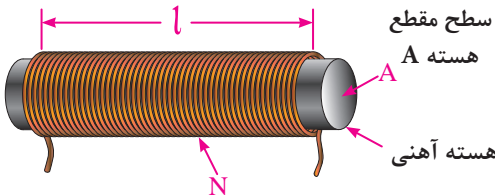
ب) هسته بیشتر در داخل سیم پیچ قرار گرفته و نیروی محرکه القایی افزایش یافته است

به خاصیتی از سیم پیچ که به ازای تغییر جریان یا تغییر فوران در آن حاصل شده و باعث القا یک نیروی محرکه مغناطیسی جدید در سیم پیچ می‌شود «خاصیت خودالقایی» و به مقدار آن «ضریب خودالقایی» یا «اندوکتانس - L» گفته می‌شود و واحد آن بر حسب هانری بیان می‌شود.

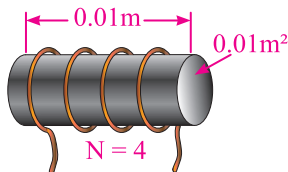
شکل ۴۱-۷- تغییر محل هسته موجب تغییر نیروی محرکه

## ۷-۸ عوامل فیزیکی مؤثر در ضریب خودالقایی

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



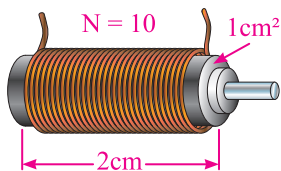
شکل ۷-۴۲



شکل ۷-۴۳

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

$$L = \frac{. / 25 \times 10^{-3} \times (4)^2 \times . / 01}{. / 01} = 4 \text{ mH}$$



شکل ۷-۴۴

$$L = \mu \frac{N^2 \cdot A}{\ell} = \mu_r \mu_0 \frac{N^2 \cdot A}{\ell} :$$

$$L = \frac{5 \times 10^{-3} \times 4 \pi \times 10^{-7} \times (10)^2 \times 1 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-2}} = 3 \times 10^{-4} \text{ H} = 3 \text{ mH}$$

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 بدست آورد.

این رابطه نشان می‌دهد که ضریب خودالقایی از مشخصه‌های یک سیم‌پیچی است و فقط به تغییرات فوران یا جریان وابسته نیست.

در این رابطه:

$\mu$  - 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  $[\text{m}^2]$

$\ell$  - طول سیم سیم‌پیچ بر حسب متر  $[\text{m}]$

مثال: اندازه ضریب خودالقایی سیم‌پیچ نشان داده شده

در شکل (۷-۴۳) چند میلی‌هانری است. در صورتی که ضریب نفوذ مغناطیسی هسته  $5/25 \times 10^{-3}$  باشد.

مثال: اندازه ضریب خودالقایی سلفی با مشخصات نشان

داده شده در شکل (۷-۴۴) چقدر است؟ در صورتی-

که ضریب نفوذ نسبی مغناطیسی هسته آن ۵۰۰۰ باشد.

(مقدار  $\pi=3$  فرض شود).

## 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 اینجا فقط به بررسی رفتار سلف در

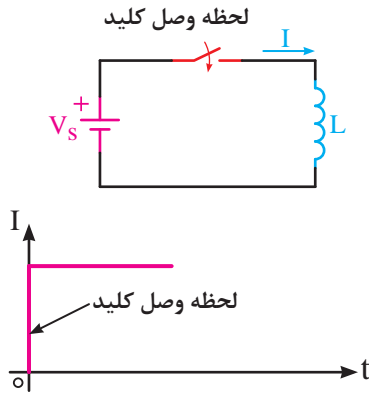
مدارهای DC می‌پردازیم و خصوصیات AC آن در فصل

نهم بررسی خواهد شد.

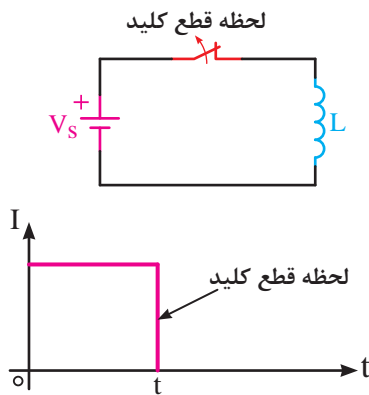


## ۷-۹-۱ رفتار سلف در جریان مستقیم (DC)

همان طوری که اشاره شد خاصیت اندوکتانس ( $L$ ) یک سلف زمانی بروز می کند 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 شکل های (۷-۴۵) و (۷-۴۶) داریم.

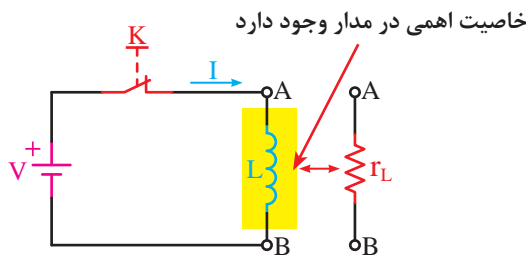


شکل ۷-۴۵



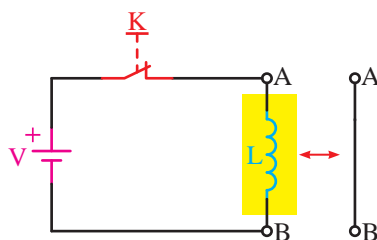
شکل ۷-۴۶

به همین دلیل در طول مدت زمانی که کلید مدار بسته (وصل) می باشد 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 می دهد که مربوط به خاصیت مقاومت اهمی سیم است که مقدار آن را طبق رابطه  $r_L$  بدست آورد.



شکل ۷-۴۷

$$r_L = \frac{V_L}{I} = \frac{V_{AB}}{I} \quad *$$



شکل ۷-۴۸

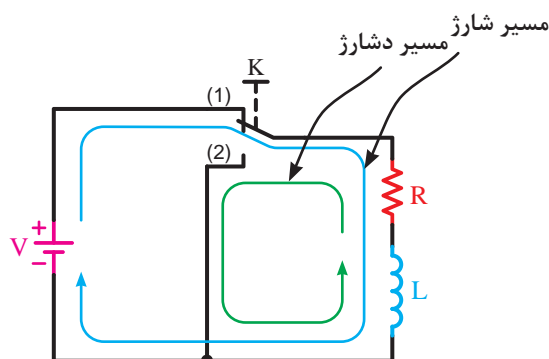
### توضیح

مقدار خاصیت اهمی اغلب سیم پیچ ها کم می باشد به همین دلیل است که در اکثر کتب



تخصصی رفتار سلف در شرایط دایم کار جریان dc (شکل ۷-۴۸) به حالت اتصال کوتاه<sup>۱</sup> تشبیه می شود و گفته می شود در این شرایط جریان زیادی از مدار می گذرد.

## ۷-۹-۲ شارژ و دشارژ (ثابت زمانی سلفی)

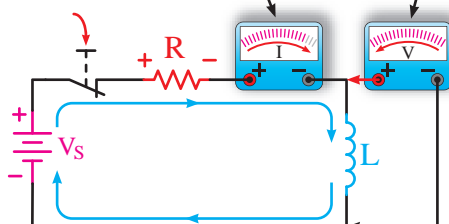


شکل ۷-۴۹

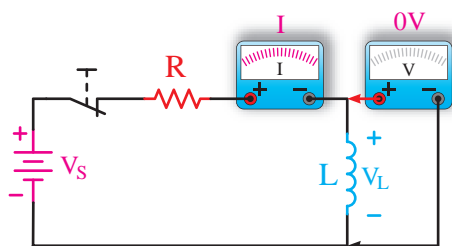
چون در یک مدار سلفی خالص تمامی این اتفاقات یعنی زیاد و کم شدن جریان مدار در یک لحظه کوتاه (آنی) اتفاق می افتد اگر بخواهیم مدت زمان افزایش (شارژ) و یا کاهش (دشارژ) را طولانی تر کنیم باید از یک مقاومت سری با سلف استفاده کنیم.

در شکل (۷-۴۹) حالت ۱ کلید مسیر شارژ و حالت ۲ کلید مسیر دشارژ سلف L را نشان می دهد.

وقتی کلید خاموش می شود ولتاژ بلافاصله افزایش می شود و سپس کاهش می یابد  
وقتی کلید بسته می شود به سرعت حد ماکزیمم می رسد



الف- در حال شارژ: رفته رفته ولتاژ سلف کاهش و جریان افزایش می یابد



ب- شارژ کامل: ولتاژ سلف صفر شده و جریان مدار برابر مقدار حداکثر می شود

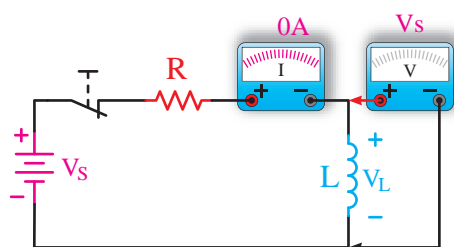
شکل ۷-۵۰

شکل (۷-۵۰ الف) مدار سلفی را در لحظه وصل کلید از نظر ولتاژ و جریان نشان می دهد.

شکل (۷-۵۰ ب) یک مدار سلفی را در شرایطی نشان می دهد که کلید مدت زمانی طولانی وصل بوده است. شرایط ولتاژ و جریان نسبت به حالت الف بر عکس شده است.

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 (۷-۵۱) خواهد شد.

همان طوری که در تصاویر شکل های (۷-۵۰) و (۷-۵۱) مشخص است مشاهده می کنیم در صورت استفاده از مقاومت در مسیر سلف ها جریان سلف چه در مسیر افزایش (شارژ) و چه در مسیر کاهش (دشارژ) با یکسری پرش های زمانی و در طی یک بازه های مشخص به مقدار حداکثر و حداقل خود می رسد.



شکل ۷-۵۱

اصطلاحاً به مدت زمانی که طول می کشد تا جریان سلف به اندازه ۶۳/۲٪ مقدار ماکزیمم خود افزایش یا کاهش یابد «ثابت زمانی» گفته می شود و با حرف (Z - تاو) و بر حسب ثانیه مطابق رابطه مقابل محاسبه می کنند.

بر اساس 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) می رسد.

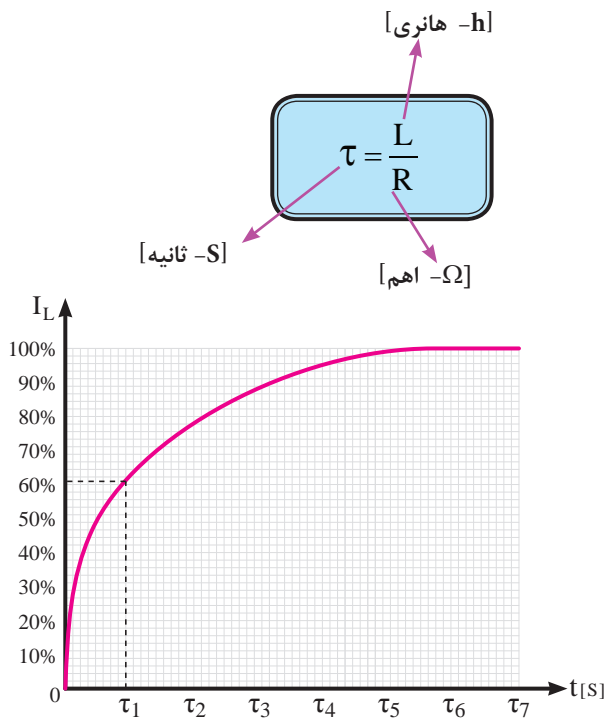
مدت زمان شارژ یا دشارژ کامل یک سلف را مطابق رابطه مقابل می توان چنین بدست آورد .

$$T = 5\tau$$

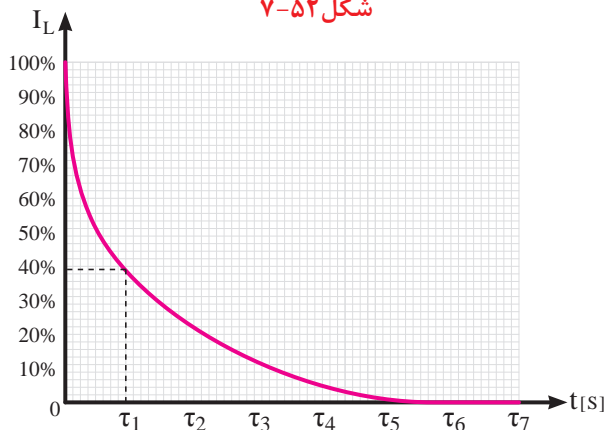
مدت زمان شارژ و دشارژ کامل سلف

ثابت زمانی سلفی

بر پایه این مطالب پس می توان منحنی های شارژ و دشارژ یک خازن را مطابق شکل های (۷-۵۲) و (۷-۵۳) در شکل کلی رسم کرد.

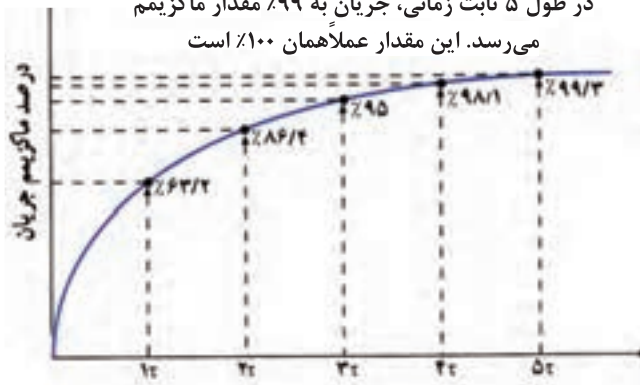


شکل ۷-۵۲



شکل ۷-۵۳

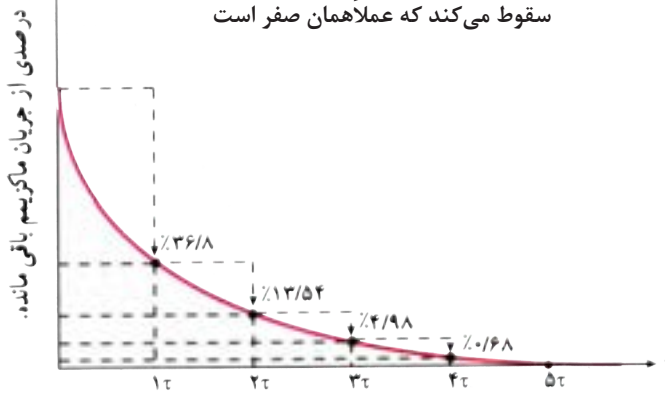
در طول ۵ ثابت زمانی، جریان به ۹۹٪ مقدار ماکزیمم می رسد. این مقدار عملاً همان ۱۰۰٪ است



شکل ۷-۵۴ - منحنی شارژ

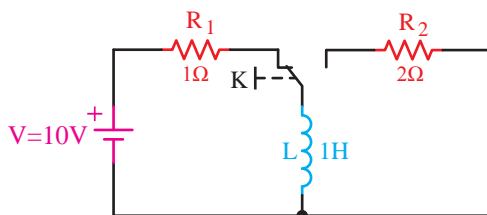
شکل (۷-۵۴) منحنی تغییرات جریان سلف را در حالت شارژ نشان می دهد.

در طول ۵ ثابت زمانی، جریان به کم‌تر ۱٪ مقدار ماکزیمم سقوط می‌کند که عملاً همان صفر است

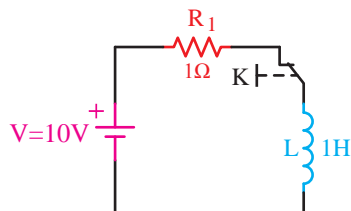


شکل ۷-۵۵

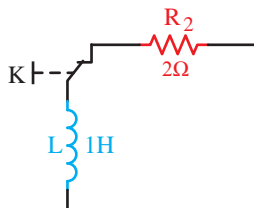
منحنی تغییرات جریان سلف در شرایط دشارژ مطابق شکل ( ۷-۵۵ ) خواهد شد.



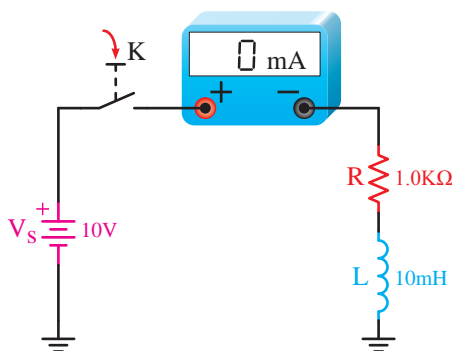
شکل ۷-۵۶



شکل ۷-۵۷



شکل ۷-۵۸



شکل ۷-۵۹

مثال: مدت زمان شارژ و دشارژ کامل سلف نشان داده شده در شکل ( ۷-۵۶ ) در صورت تغییر وضعیت کلید K چقدر است؟

حل: در شرایط شارژ وضعیت مدار مطابق شکل ( ۷-۵۷ )

$$\eta = \frac{L}{R_1} = \frac{1}{1} = 1s \quad \text{است.}$$

$$T = \Delta\tau = 5 \times 1 = 5s$$

وضعیت مدار در شرایط دشارژ مطابق شکل ( ۷-۵۸ )

$$\eta = \frac{L}{R_2} = \frac{1}{2} = 0.5s \quad \text{است.}$$

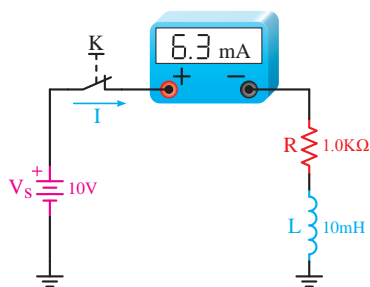
$$T = \Delta Z = 5 \times 0.5 = 2.5s$$

با توجه به توضیحات داده شده پس برای مداری مانند شکل ( ۷-۵۹ ) می‌توان مطابق روشی که مشاهده می‌کنید مقدار ثابت زمانی، مدت زمان شارژ و مقدار جریان در هر ثابت زمانی را تعیین کرد.

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{10 \times 10^{-3}}{1 \times 10^3} = 10 \times 10^{-6} s = 10 \mu s$$

$$T = \Delta\tau = 5 \times 10 = 50 \mu s$$

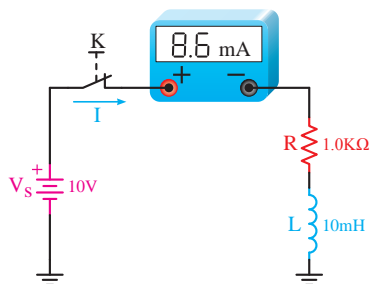
$$I = \frac{V_S}{R} = \frac{10v}{1k\Omega} = 10mA$$



الف) جریان در ثابت زمانی اول ( $T_1$ )

وضعیت مدار از نظر مقدار جریان عبوری در هر ثابت زمانی به همراه محاسبات مربوطه که در زیر هر شکل نوشته است را در تصاویر الف تا ه شکل (۶۰-۷) مشاهده می کنید.

$$i_1 = \frac{63}{2 \times 10} = 3.15 \text{ mA}$$

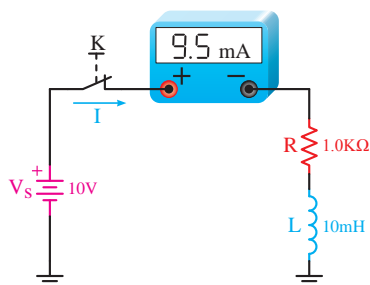


ب) جریان در ثابت زمانی دوم ( $T_2$ )

$$i_d = i - i_1 = 10 - 3.15 = 6.85 \text{ mA}$$

$$i' = \frac{63}{2 \times 3.15} = 10 \text{ mA}$$

$$i_r = i_1 + i' = 3.15 + 10 = 13.15 \text{ mA}$$

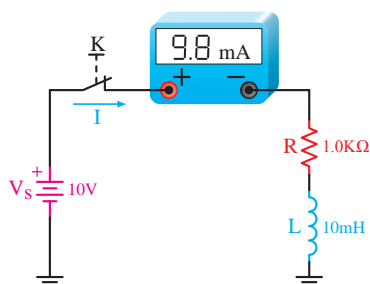


ج) جریان مدار در ثابت زمانی سوم ( $T_3$ )

$$i_d = i - i_r = 10 - 13.15 = -3.15 \text{ mA}$$

$$i' = \frac{63}{2 \times 13.15} = 2.39 \text{ mA}$$

$$i_r = i_r + i' = 13.15 + 2.39 = 15.54 \text{ mA}$$

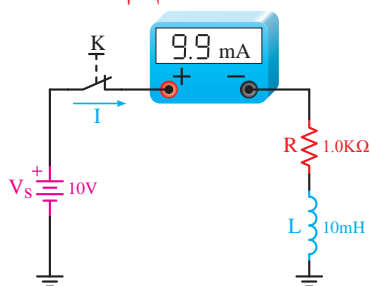


د) جریان مدار در ثابت زمانی چهارم ( $T_4$ )

$$i_d = i - i_r = 10 - 15.54 = -5.54 \text{ mA}$$

$$i' = \frac{63}{2 \times 15.54} = 2.03 \text{ mA}$$

$$i_r = i_r + i' = 15.54 + 2.03 = 17.57 \text{ mA}$$



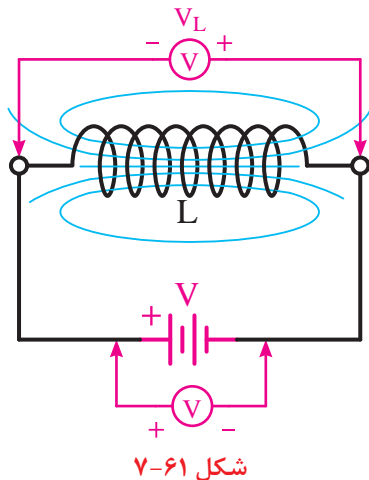
ه) جریان مدار در ثابت زمانی پنجم ( $T_5$ )  
شکل ۶۰-۷

$$i_d = i - i_r = 10 - 17.57 = -7.57 \text{ mA}$$

$$i' = \frac{63}{2 \times 17.57} = 1.81 \text{ mA}$$

$$i_{\Delta} = i_r + i' = 17.57 + 1.81 = 19.38 \text{ mA}$$

## ۷-۱۰ نیروی ضد محرکه



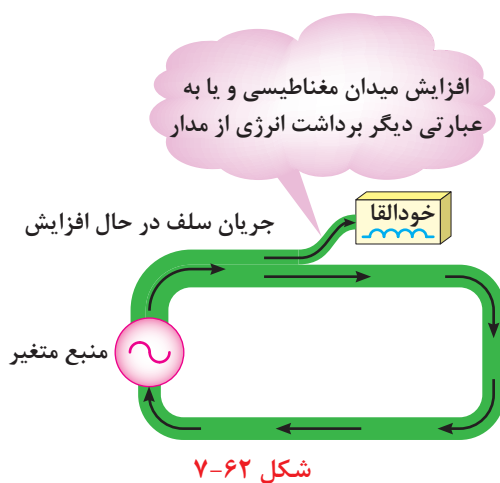
اچ.اف.آی. لنز فزیکدان آلمانی تحقیقات تکمیلی را در مورد خاصیت القایی و نیروی محرکه القایی یک سیم پیچ انجام داد دریافت اندازه این نیروی محرکه اولاً به تغییرات جریان جاری در سلف ثانیاً خاصیت اندوکتانسی سلف و ثالثاً جهت این نیروی محرکه القایی (پلاریته دو سر سلف) با جهت نیروی محرکه (ولتاژ) اعمال شده به سلف مخالف است. به همین خاطر لنز در رابطه نهایی خود از یک علامت منفی برای بیان این مطلب استفاده کرد.<sup>۱</sup>

$$V_L = \text{Cemf} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

علامت نیروی ضد محرکه سلف  
خاصیت اندوکتانس سلف  
تغییرات جریان نسبت به زمان در سلف

## ۷-۱۱ خودالقایی از نقطه نظر انرژی

پدیده خودالقایی از نقطه نظر انرژی نیز قابل توصیف است. هنگامی که این عمل اتفاق می افتد ممکن است فرض کرد که میدان مغناطیسی اطراف هادی حامل جریان با مدار مبادله انرژی می کند. وقتی که جریان مدار زیاد می شود انرژی از مدار خارج شده و در میدان مغناطیسی مطابق شکل (۷-۶۲) در اطراف آن ذخیره می شود. همین امر باعث قوی تر شدن میدان مغناطیسی می گردد. این انتقال انرژی از مدار به صورت افت پتانسیل در دو سر سلف نمایان می شود که منطبق با همان نیروی ضد محرکه القایی است.

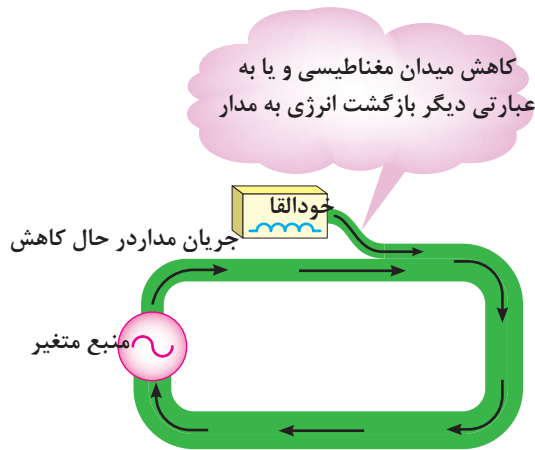


۱ - در برخی کتب این نیروی محرکه القایی با عنوان نیروی ضد محرکه و حرف fmeC نیز معرفی شده است.

وقتی که افزایش جریان متوقف می شود میدان مغناطیسی ثابت می ماند و مبادله انرژی از مدار به میدان قطع می شود و تمام انرژی ایجاد شده بوسیله منبع در مدار مصرف می شود و میدان مغناطیسی تا هنگامی که جریان شروع به کم شدن نکرده است تمام انرژی را که به آن منتقل شده ذخیره می کند.

هنگامی که جریان شروع به کم شدن می کند، میدان مغناطیسی شروع به کم شدن کرد و انرژی ذخیره شده در خود را به مدار از می گرداند. و اثر آن بالا رفتن پتانسیل و خودالقا است.

این یعنی آنکه نیروی محرکه القایی در جهت ولتاژ منبع بوده و بنابراین با آن جمع می شود. شکل ۶۳-۷



شکل ۶۳-۷



از نقطه نظر انرژی، خودالقایی یعنی تبادل انرژی از یک مدار هنگامی که جریان زیادی شود و بازگشت انرژی به مدار هنگامی که جریان کم می شود.

## ۱۲-۷ انرژی ذخیره شده در سلف

مقدار انرژی ذخیره شده در یک سلف را از رابطه مقابل می توان بدست آورد.

$L$  - خاصیت اندوکتانسی سلف بر حسب هانری

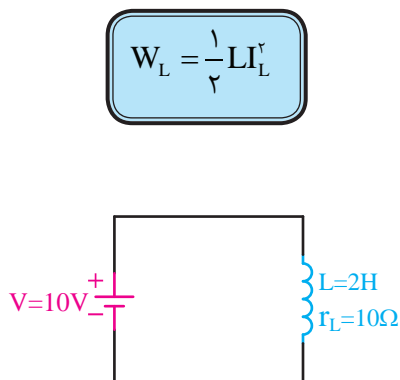
$I_L$  - جریان عبوری از سلف بر حسب آمپر

$W_L$  - انرژی ذخیره شده در سلف بر حسب ژول

مثال: مقدار انرژی ذخیره شده در سلفی با مشخصات نشان

داده شده در شکل (۶۴-۷) را در صورتی که کلید  $K$  برای

مدت زمان طولانی بسته باشد چند ژول است؟



شکل ۶۴-۷

$$I_L = \frac{V}{r_L} = \frac{10}{10} = 1[A]$$

$$W_L = \frac{1}{2} L I_L^2$$

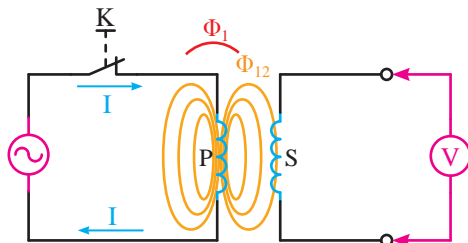
$$W_L = \frac{1}{2} (2) (1)^2$$

$$W_L = 1[J]$$

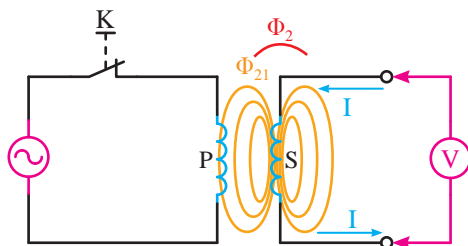
حل: در شرایط دایم کار خاصیت سلفی وجود ندارد و فقط خاصیت اهمی وجود دارد.

## ۱۳-۷- القا متقابل

هرگاه مانند شکل (۷-۶۵) سیم پیچ P به یک منبع ولتاژ متغیری 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

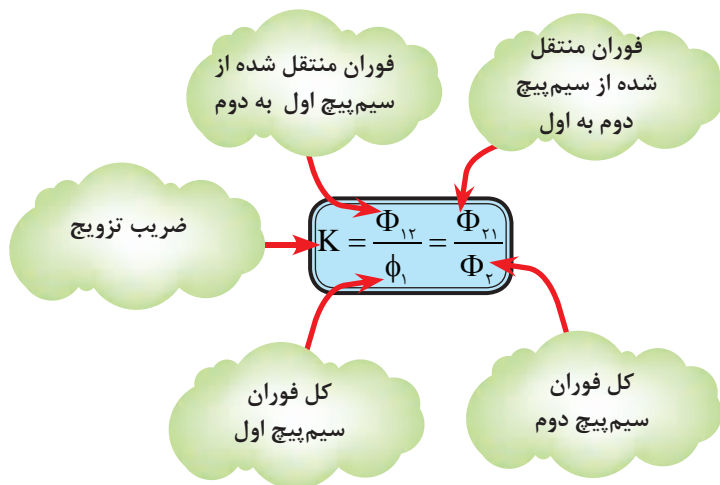


شکل ۷-۶۶

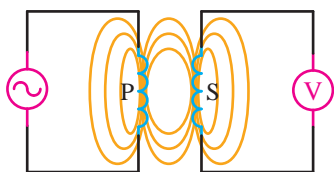
این آزمایش نشان دهنده آن است که هر چند بین سیم پیچ (S) و سیم پیچ (P) ارتباط الکتریکی مداری برقرار نیست اما به ازای تغییر جریانی که در سیم پیچ اول ایجاد شده ولتاژ در سیم پیچ دوم القا شده است. همان گونه که در شکل (۷-۶۶) مشاهده می شود چون مدار سیم پیچ (S) از طریق ولت متر بسته شده است

لذا جریانی از سیم پیچی آن عبور کرده و فورانی در فضای اطراف بوبین (S) بوجود 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.

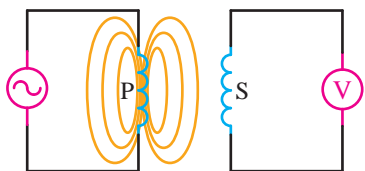
اصطلاحاً به نسبت فوران منتقل شده از سیم پیچ اول به دوم ( $\Phi_{۲۱}$ ) به کل فوران بوجود آمده در سیم پیچ اول ( $\Phi_۱$ ) و یا نسبت فوران منتقل شده از سیم پیچ دوم به اول ( $\Phi_{۱۲}$ ) به کل فوران بوجود آمده در سیم پیچ دوم ( $\Phi_۲$ ) ضریب تزویج (ضریب پیوست) گفته شده و مقدار آن را بر پایه



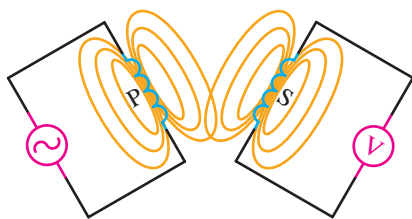




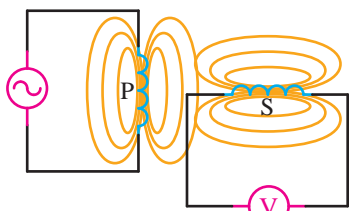
شکل ۷-۶۷



(الف) در صورتی که دو سیم پیچ با فاصله از یکدیگر قرار گیرند فوران سیم پیچ اول روی سیم پیچ دوم اثر نمی گذارد

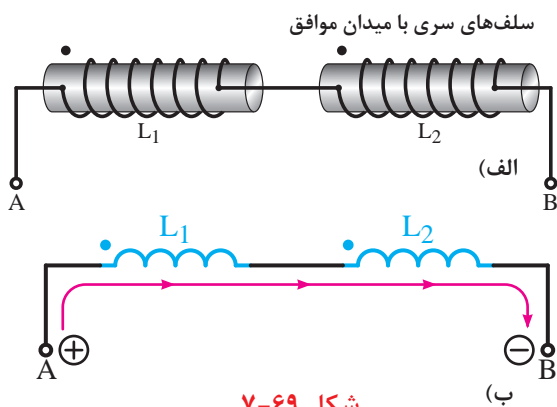


(ب) اگر دو سیم پیچ نسبت به هم با زاویه قرار گیرند میزان القا و ضریب تزویج کاهش می یابد



(ج) مینیمم کوپلینگ وقتی دو بوبین با هم زاویه ۹۰ درجه می سازند بوجود می آید.

شکل ۷-۶۸



شکل ۷-۶۹

$$L_T = L_1 + L_2 + 2M$$

رابطه مقابل می توان محاسبه کرد.

هرگاه درجه اتصال خطوط قوا مانند شکل (۷-۶۷) خوب و کامل باشد مقدار ضریب تزویج ماکزیمم ( $K=1$ ) است.

اگر وضعیت قرار گرفتن سیم پیچ ها مانند تصاویر الف و ب و ج شکل (۷-۶۸) دارای فاصله یا زاویه باشد و باعث شود که خطوط قوای سیم پیچ ها یکدیگر را بصورت ناقص و یا کلاً قطع نکنند مقدار ضریب تزویج کاهش خواهد یافت. محدوده تغییرات ضریب تزویج بین صفر تا یک است

$$0 \leq K \leq 1$$

یعنی:

هرگاه اندازه ضریب القا متقابل (کوپلینگ) مابین دو سیم پیچ را بخواهیم از رابطه مقابل می توان بدست آورد.

$L_1$  - ضریب خودالقایی سیم پیچ اول بر حسب هانری [h]

$L_2$  - ضریب خودالقایی سیم پیچ دوم بر حسب هانری [h]

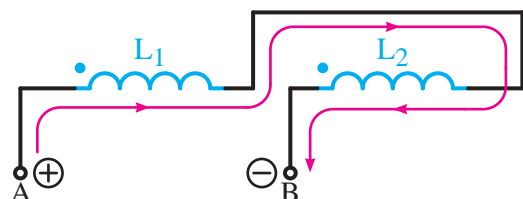
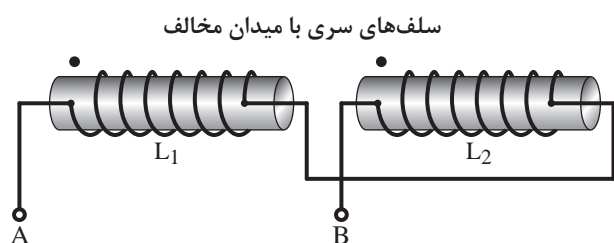
$K$  - ضریب تزویج

$M$  - ضریب القا متقابل بر حسب هانری [h]

$$M = K\sqrt{L_1 L_2}$$

معمولاً سرهای ورودی جریان یا سرهای شروع پیچش سیم ها را با علامت «نقطه» نشان می دهند. اگر دو سلف مطابق شکل (۷-۶۹) 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 میدان های مغناطیسی ایجاد شده دو بوبین یکدیگر را تقویت می کنند.

اندوکتانس کل مدار در حالت تقویت دو میدان را از رابطه مقابل می توان بدست آورد.

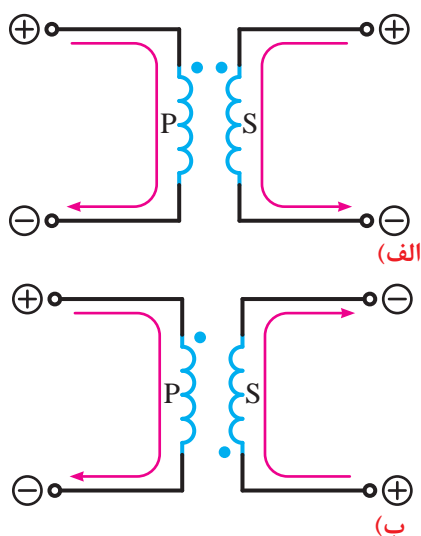


شکل ۷-۷۰

اگر دو سلف مطابق شکل ( ۷-۷۰ ) با هم سری شده باشند بطوری که جهت پیچش هر دو بوبین مخالف هم باشد جهت جریان ورودی به سرهای هر دو سیم پیچ مخالف هم بوده و در نتیجه میدان‌های مغناطیسی ایجاد شده دو بوبین یکدیگر را تضعیف می‌کنند.

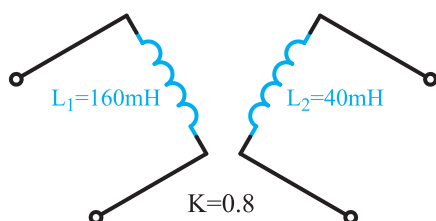
اندوکتانس کل مدار در حالت تضعیف دو میدان را از رابطه مقابل می‌توان بدست آورد.

$$L_T = L_1 + L_2 - 2M$$



شکل ۷-۷۱

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 ( ۷-۷۱ ) خواهد بود.



شکل ۷-۷۲

مثال - اندازه ضریب القا متقابل شکل ( ۷-۷۲ ) معادل چند هانری است؟

حل: با در نظر گرفتن رابطه ضریب القا متقابل مقدار آن را چنین می توان بدست آورد.

$$M = K\sqrt{L_1 L_2}$$

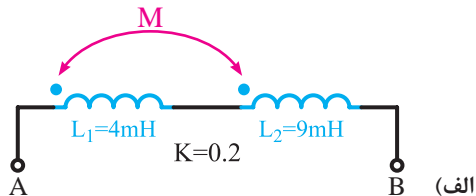
$$M = . / 8 \times \sqrt{160 \times 40}$$

$$M = . / 8 \times 80 = 64 [\text{mh}]$$

$$M = . / 0.64 [\text{h}]$$

مثال - اندازه اندوکتانس کل هر یک از مدارهای نشان داده شده در شکل ( ۷-۷۳ ) را بدست آورید.

حل الف)



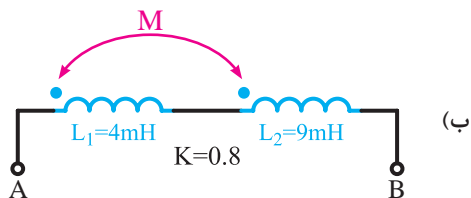
$$M = K\sqrt{L_1 L_2} = . / 2 \times \sqrt{4 \times 9}$$

$$M = . / 2 \times 6 = 1 / 2 [\text{mh}]$$

$$L_T = L_1 + L_2 + 2M$$

$$L_T = 4 + 9 - (2 \times 2 / 4) = 15 / 2 [\text{mh}]$$

حل ب)



شکل ۷-۷۳

$$M = K\sqrt{L_1 L_2} = . / 8 \times \sqrt{4 \times 9}$$

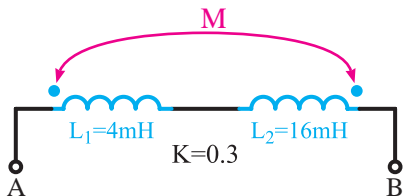
$$M = . / 8 \times 6 = 4 / 8 [\text{mh}]$$

$$L_T = L_1 + L_2 + 2M$$

$$L_T = 4 + 9 + (2 \times 4 / 8) = 22 / 6 [\text{mh}]$$

مثال - اندازه اندوکتانس کل هر یک از مدارهای نشان داده شده در شکل ( ۷-۷۴ ) را بدست آورید.

حل الف)



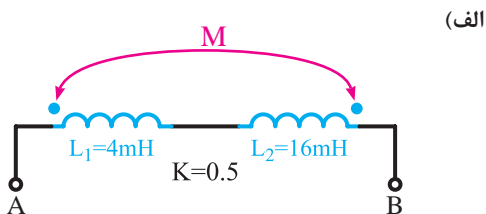
$$M = K\sqrt{L_1 L_2} = . / 3 \times \sqrt{4 \times 16}$$

$$M = . / 3 \times 8 = 2 / 4 [\text{mh}]$$

$$L_T = L_1 + L_2 - 2M$$

$$L_T = 4 + 16 - (2 \times 2 / 4)$$

حل ب)



شکل ۷-۷۴

$$M = K\sqrt{L_1 L_2} = . / 5 \times \sqrt{4 \times 16}$$

$$M = . / 5 \times 8 = 4 [\text{mh}]$$

$$L_T = L_1 + L_2 - 2M$$

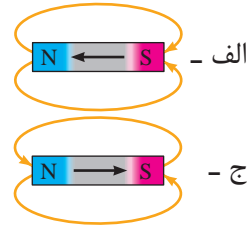
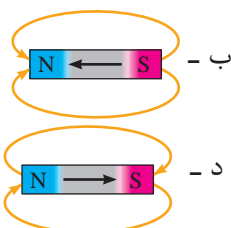
$$L_T = 4 + 16 - (2 \times 4) = 12 [\text{mh}]$$

(ب)



## آزمون پایانی (۷)

- ۱- ماگنزا نام کدامیک 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 تیغ های آویز      ب - با یک تخته چوب  
 ج - با سنگ آهن      د - با آهنربای نعل اسبی شکل
- ۴- اگر قطب ؟ 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- مواردی 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؟



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 غیرهم نام یکدیگر را ..... می نمایند.

الف - جذب - جذب      ب - دفع - جذب      ج - جذب - دفع      د - دفع - دفع

۱۲- به تعداد خطوط فلو مغناطیسی که از واحد سطح می گذرد ..... گویند.

الف - شدت میدان مغناطیسی      ب - نیروی محرکه مغناطیسی

ج - اندوکسیون مغناطیسی      د - رلوکتانس مغناطیسی

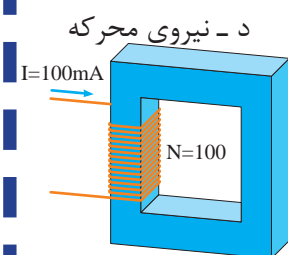
۱۳- کدامیک از گزینه ها درباره منحرف شدن یک عقربه مغناطیسی در مجاورت یک سیم حامل جریان صحیح نیست؟

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- «وبر  $\alpha$ » واحد کدام یک از کمیت های مغناطیسی زیر است؟

الف - اندوکسیون      ب - شدت میدان      ج - فوران      د - نیروی محرکه



شکل ۷-۷۵

۱۵- فوران عبوری از مدار مغناطیسی شکل ۷-۷۵ چقدر است؟

الف -  $57 \mu\text{wb}$       ب -  $0.34 \mu\text{wb}$

ج -  $0.148 \mu\text{wb}$       د -  $79 \mu\text{wb}$

$$R_m = 675/5 \times 10^6 \text{ A/Wb}$$

۱۶- به میدان ایجادشده فضای اطراف یک سیم حامل جریان میدان ..... گویند.

الف - الکتریکی      ب - مغناطیسی      ج - الکترومغناطیسی      د - استاتیکی

۱۷- در قانون دست راست برای یک هاون جریاندار جهت خم شدن چهار انگشت دست نشان دهنده چیست؟

الف - جهت جریان      ب - جهت ولتاژ

ج - جهت میدان مغناطیسی      د - جهت اندوکسیون مغناطیسی

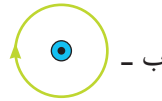
۱۸- کدامیک از اشکال زیر صحیح است؟



د -



ج -



ب -



الف -

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 حلقه های سیم پیچ

ج - قرار دادن هسته آهنی در سیم پیچ      د - افزایش جریان عبوری از بوتین

۲۲- اگر جهت میدان های مغناطیسی دو سیم جریاندار با هم موافق باشند دو سیم یکدیگر را ..... می کنند.

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 می کنند.

الف - B      ب - H      ج -  $\theta$       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 ..... می یابد.

الف - بیشتر - کاهش      ب - بیشتر - افزایش      ج - کمتر - کاهش      د - کمتر - افزایش

۲۶- کدامیک 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 -  $\Phi = R_m . \theta$

۲۷- شدت میدان مغناطیسی شکل ۷۶-۷ را در صورتی که

قطر متوسط حلقه ۱۰ cm باشد حساب کنید ( $\pi=3$ ).



شکل ۷۶-۷

الف - ۱۰۰۰      ب - ۱۰      ج - ۱۰۰      د - ۱

۲۸- دو قطب گیرهم نام یکدیگر را ..... می کنند.

۲۹- موادی که خاصیت مغناطیسی القاء شده در خود را زود از دست می دهند، مواد ..... گویند.

۳۰- نیرویی که موجب جاری شدن فلو در مدار مغناطیسی می شود ..... نام دارد.

۳۱- در قانون دست راست سیم حامل جریان جهت خم شدن چهار انگشت جهت ..... را نشان می دهد.

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

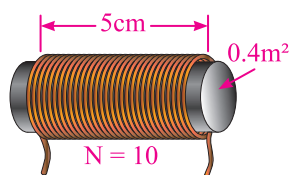
۳۴- وجود فاصله هوایی در طول مسیر مدارهای مغناطیسی باعث می شود      ☐ صحیح      ☐ غلط

تا رلوکتانس افزایش یابد.

۳۵- میزان فوران عبوری از هسته با تعداد دور سیم پیچ رابطه مستقیم دارد.      ☐ صحیح      ☐ غلط



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



شکل ۷-۷۷

۳۶- اندوکتانس سلفی با مشخصات نشان داده شده در شکل

(۷-۷۷) چقدر است؟ (هسته هوا)

۳۷- سیم پیچی به طول ۵۰ سانتیمتر و سطح مقطع  $0.2/0$  مترمربع با هسته ای به ضریب نفوذ ۲۰۰۰ و دارای ۱۰۰۰ دور

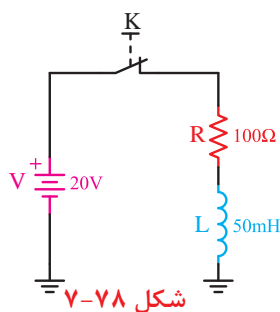
مطلوبست:

(الف) ضریب خودالقایی آن چند میلی هانری 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  $2/2$  کیلو اهم و سلفی با اندوکتانس ۵۰۰ میکروهانری چند ثانیه است؟ ضمناً

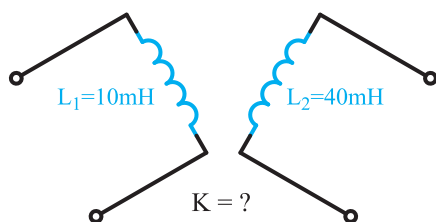
مدت زمان شارژ را حساب کنید.



شکل ۷-۷۸

۳۹- ثابت زمانی، مدت زمان شارژ و جریان عبوری از مدار

شکل (۷-۷۸) در هم ثابت زمانی را حساب کنید.



شکل ۷-۷۹

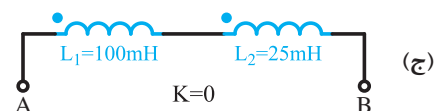
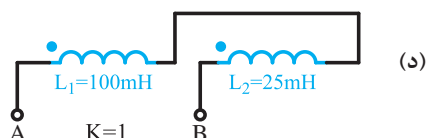
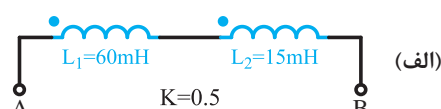
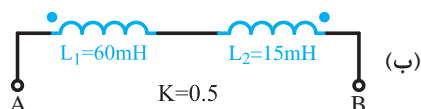
۴۰- اگر اندازه ضریب القا متقابل شکل مقابل  $10\text{mh}$  باشد

اندازه ضریب تزویجی شکل (۷-۷۹) چقدر است؟

۴۱- هرگاه از سلفی با اندوکتانس  $50\text{mh}$  جریانی برابر ۴

آمپر عبور کند انرژی ذخیره شده در سیم پیچ چند ژول است؟

۴۲- اندوکتانس کل هر یک از مدارهای نشان داده شده در شکل (۷-۸۰) چند میلی هانری است؟



شکل ۷-۸۰

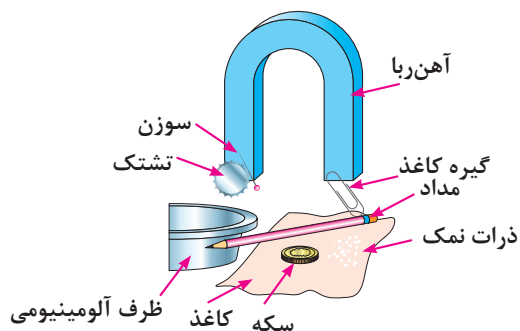


## خودآزمایی عملی

توضیح: کارهای عملی پیشبینی شده را می‌توانید در منزل انجام داده و از نتایج آن‌ها در جهت بالابردن شناخت خود نسبت به مغناطیسی استفاده کنید.

۱- یک آهنربای نعل اسبی را به قطعات (شکل ۷-۸۱) نزدیک کنید. نتیجه مشاهده خود را یادداشت کرده و علت را

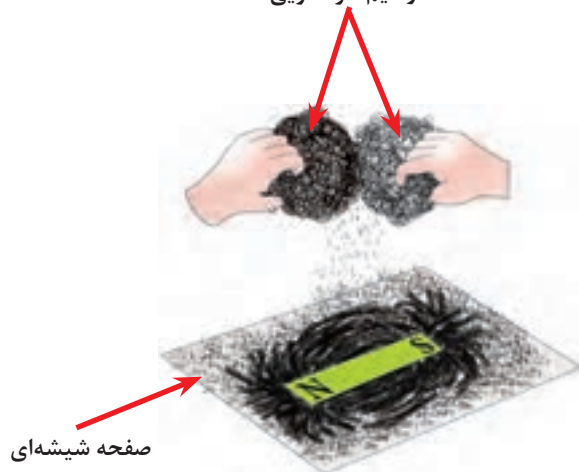
توضیح دهید.



شکل ۷-۸۱

۲- یک آهنربای تخت را مطابق شکل ۷-۸۲ زیر یک صفحه شیشه‌ای قرار دهید و براده‌های آهن را به عکس آن روی

سطح شیشه‌ای بریزید. از شکل به دست آمده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید. دوسیم ظرفشویی



شکل ۷-۸۲

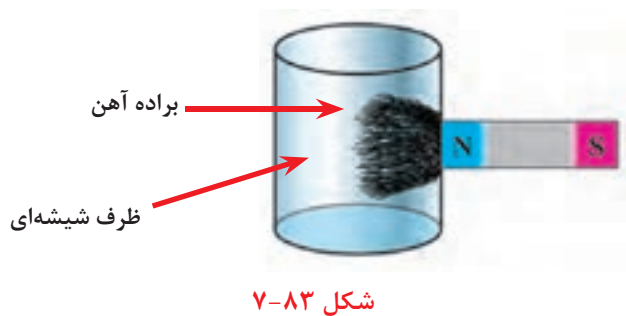
پاسخ سؤال

پاسخ سؤال

۳- در داخل یک ظرف شیشه‌ای براده‌های آهن بریزید و آهنربا را از طرفین ظرف مطابق شکل ۷-۸۳ روی سطح شیشه‌ای قرار دهید. از وضعیت‌های به دست آمده چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

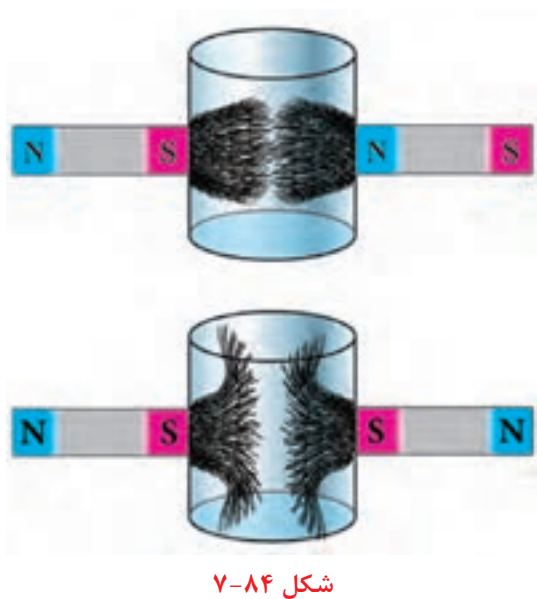


۴- مقداری خاک و براده آهن را مخلوط کنید و سپس آن ها را از یکدیگر جدا کنید. روش به کار رفته را شرح دهید.



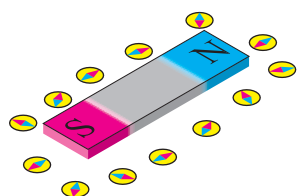
پاسخ سؤال

۵- مقداری براده آهن را در داخل آب بریزید و آن را با آهنربا جدا کنید.

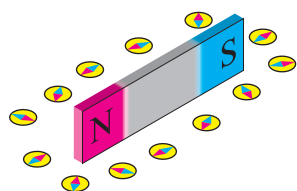


پاسخ سؤال

۶- یک عقربه مغناطیسی را مشابه شکل ۷-۸۵ در اطراف یک آهنربای تخت بخواه‌بانیید، از وضعیت های به دست آمده برای عقربه چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.



الف - آهنربا به صورت خوابیده

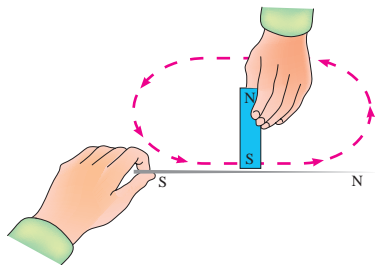


ب - آهنربا به صورت ایستاده

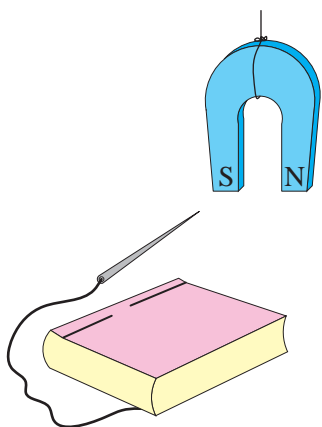
شکل ۷-۸۵

پاسخ سؤال

۷- یک آهنربا را طبق شکل ۷-۸۶ روی یک سوزن و در یک جهت بکشید. سپس مشابه شکل ۷-۸۷ سوزن را به یک نخ وصل کنید یکبار قطب N و بار دیگر قطب S آهنربا را به آن نزدیک کنید. از وضعیت های به دست آمده برای سوزن چه نتیجه ای می گیرید؟

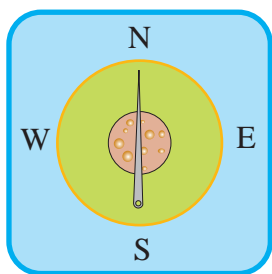


شکل ۷-۸۶



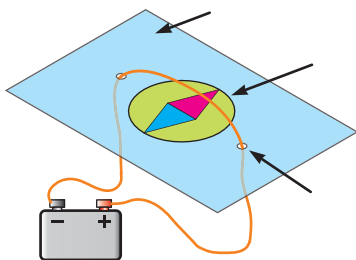
شکل ۷-۸۷

۸- سوزن را مطابق شکل ۷-۸۶ مجدداً با آهنربا مالش دهید و آن را روی یک تکه چوب پنبه که بر روی سطح آب مانند شکل ۷-۸۸ شناور است، قرار دهید. از نتایج به دست آمده چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.



شکل ۷-۸۸

۹- دو سر سیمی را که از باتری خارج شده اند را از زیر یک کاغذ مقوایی طبق شکل ۷-۸۹ خارج کنید. سپس آن را از روی یک عقربه مغناطیسی عبور دهید. مدار را وصل کنید و درباره مشاهدات خود توضیح دهید.



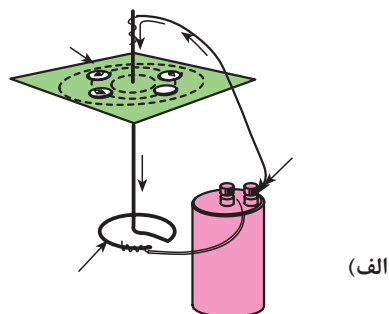
شکل ۷-۸۹

پاسخ سؤال

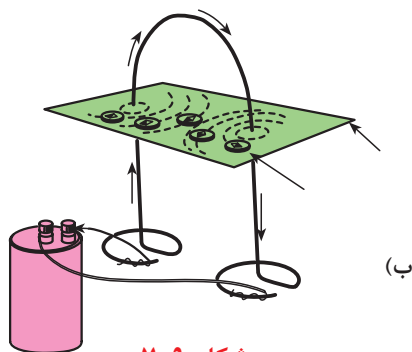
پاسخ سؤال

پاسخ سؤال

۱۰- تکه سیمی را یکبار مطابق شکل ۷-۹۰ الف به یک باتری وصل کنید و عقربه مغناطیس را در فضای اطراف آن حرکت دهید و سپس سیم را مطابق شکل ۷-۹۰ ب به صورت انحنا درآورید و آهنربای عقربه ای را در فضا اطراف دو بازوی سیم بچرخانید. نتایج را شرح دهید.



(الف)



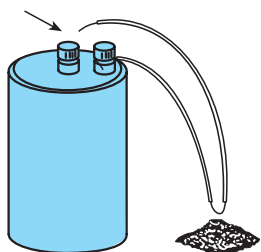
(ب)

شکل ۷-۹۰

پاسخ سؤال



۱۱- تکه سیمی بدون روکش را مطابق شکل ۷-۹۱ به دو قطب یک باتری وصل کنید و به براده های آهن نزدیک کنید. از مشاهدات خود چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

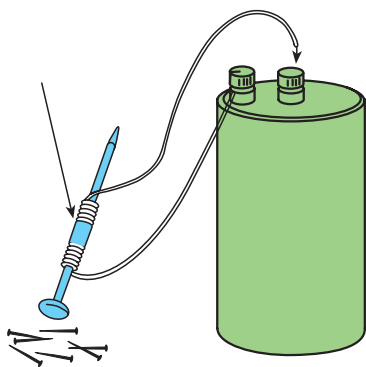


شکل ۷-۹۱

پاسخ سؤال



۱۲- تکه سیم را مانند شکل ۷-۹۲ به صورت چند حلقه روی یک میخ بپیچانید. سپس میخ را به سوزنهای نازک کوچک نزدیک کنید. از مشاهده خود چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.



شکل ۷-۹۲

پاسخ سؤال



## واحد کار مبانی الکتریسیته

### فصل هشتم: خازن

#### هدف کلی

شناسایی ساختمان و اصول کار خازن ها و ظرفیت مدارهای خازنی و عملکرد آن

#### هدف های رفتاری: در پایان این فصل انتظار می رود که فراگیر بتواند:

- 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 خازن های ثابت و متغیر را مختصراً توضیح دهد.
- ۶- مشخصات مهم در انتخاب خازن را بیان کند.
- ۷- مشخصات خازن ها را با کد رنگی و رمزهای عدد بخواند.
- ۸- مدارهای سری، موازی و ترکیبی خازن ها را تعریف کند.
- ۹- مدارهای سری، موازی و ترکیبی خازن ها را از نظر ظرفیت خازن معادل، ولتاژ و بار الکتریکی توضیح هد.
- ۱۰- آزمایش های ساده مربوط به مدارهای سری، موازی و ترکیبی خازن ها را انجام دهد.

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۱۲	۶/۵	۱۸/۵



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 سیم پیچ‌های 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؟

$$\text{الف - } R = \frac{V}{I} \quad \text{ب - } R_m = \frac{\Phi}{\theta} \quad \text{ج - } \theta = N.I \quad \text{د - } R_m = \frac{\ell}{\mu A}$$

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 - فلوئی      ب - نیروی محرکه      ج - مقاومت      د - ضریب نفوذ





۱۱- با حرکت دادن عقربه مغناطیسی در فضای اطراف یک آهنربا می توان ..... و ..... را مشخص کرد.

- الف - قطب های آهنربا، جهت فلوی مغناطیسی  
 ب - اثر جاذبه، جهت فلوی مغناطیسی  
 ج - فلوی مغناطیسی، اثر جاذبه  
 د - مقدار شار مغناطیسی، قطب های آهنربا

۱۲- یک تسلا (T) برابر است با:

الف -  $\frac{1wb}{1m}$       ب -  $\frac{1wb}{1m^2}$       ج -  $\frac{1m}{1wb}$       د -  $\frac{1m^2}{1wb}$

۱۳- قطب های مغناطیسی عبارتند از:

- الف - مکان هایی که اثر جاذبه مغناطیسی کمی دارند.      ب - نقاطی هستند که همه فلزات را جذب می کنند.  
 ج - نقاطی که همه فلزات را دفع می کنند.      د - مکان هایی که اثر جاذبه مغناطیسی زیادی دارند.  
 ۱۴- بوبینی به طول متوسط ۱۲ سانتی متر ۶۰۰ حلقه سیم بر روی آن پیچیده شده است. اگر جریان  $0.4A$  از سیم پیچ عبور کند، شدت میدان مغناطیسی چند  $\frac{A}{m}$  است؟

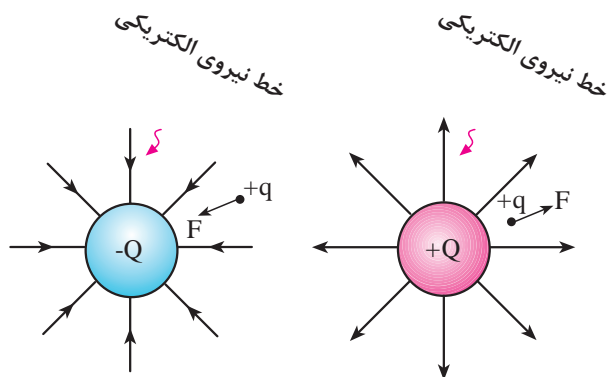
الف - ۲۰۰      ب - ۲۳۰      ج - ۱۲۰۰      د - ۲۰۰۰

۱۵- سطح مقطع بوبینی  $81mm^2$  است. اگر بخواهیم چگالی شار هسته  $0.9$  تسلا باشد فوران مورد نیاز چند وبر (wb) است؟

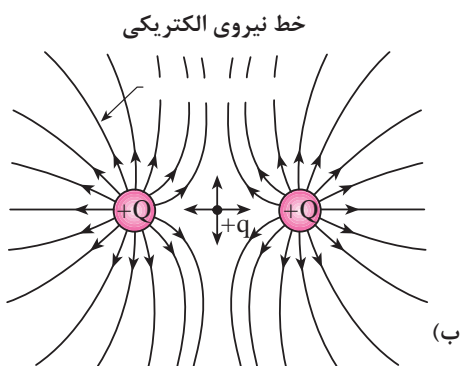
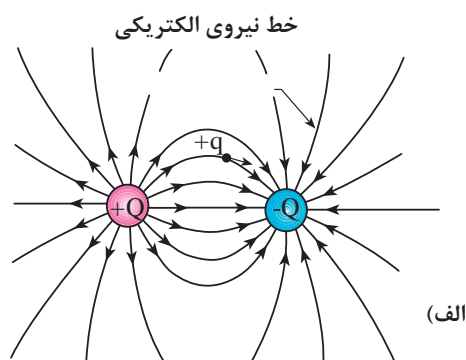
الف -  $72/9 \times 10^{-6}$       ب -  $9 \times 10^{-3}$       ج -  $72/9 \times 10^{-3}$       د -  $81 \times 10^{-3}$



## ۸-۱- میدان الکتریکی



شکل ۸-۱- جهت نیروی الکتریکی در اطراف بارهای \*



شکل ۸-۲- اثر میدان های الکتریکی بارهای همنام و غیرهمنام بر یکدیگر.

( $Q_1$ ) ( $Q_2$ )



شکل ۸-۳- میدان الکتریکی موجود بین دو صفحه

مفهوم میدان مربوط به ناحیه ای است در فضای اطراف یک جسم باردار ( $Q$ ) که می تواند عملاً مورد استفاده قرار گیرد. مانند ذره باردار ( $-Q$ ) در صورتی که یک جسم باردار دیگر مانند ذره ( $+Q$ ) (شکل ۸-۱ الف) در این ناحیه قرار گیرد طبق قانون کولن به آن نیرویی وارد می شود. بنابراین در یک ناحیه از فضا وقتی می توان گفت میدان الکتریکی وجود دارد که به بار الکتریکی واقع در آن ناحیه یک نیرو وارد شود.

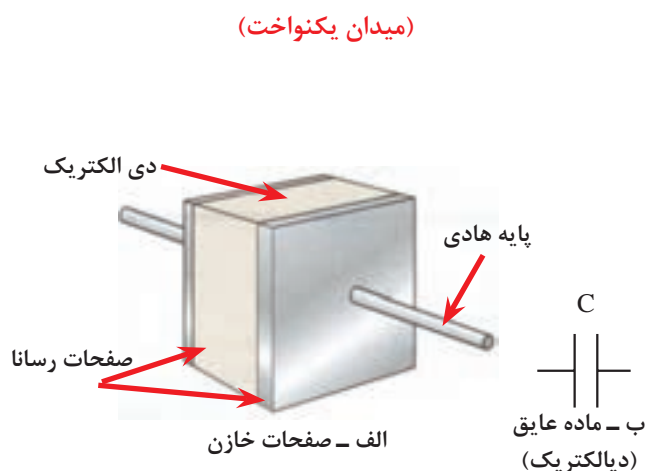
شکل ۸-۲ وضعیت میدان الکتریکی دو بار همنام و غیرهمنام را در کنار یکدیگر نشان می دهد. شدت و جهت خطوط میدان الکتریکی به اندازه بار هر ذره و فاصله بین آن ها بستگی دارد.

اگر دو صفحه تخت باردار را مطابق شکل ۸-۳ در مقابل یکدیگر و در حد فاصل یک ماده دیالکتریک 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.

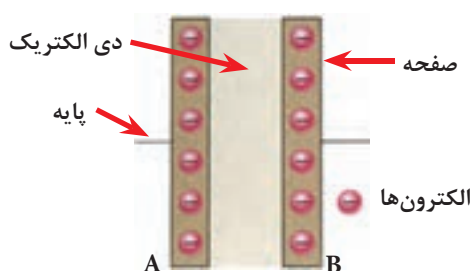
## ۸-۲- ساختمان خازن<sup>۱</sup>

اگر دو صفحه رسانا (هادی) را توسط یک نارسانا (عایق) از هم جدا کنیم یک «خازن» شکل می‌گیرد. خازن برای ذخیره بار الکتریکی به کار می‌رود.

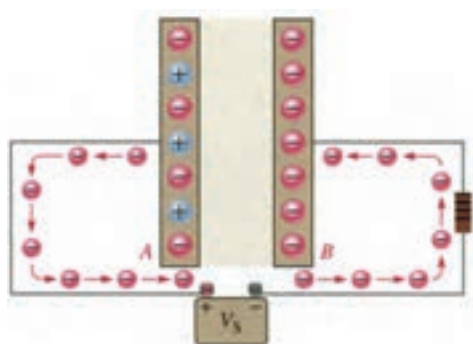
شکل ۸-۴ تصویر ساده‌ای از یک نمونه خازن را نشان می‌دهد. همانطوری که از شکل ۸-۴ مشاهده می‌شود خازن از دو قسمت اصلی تشکیل شده است.



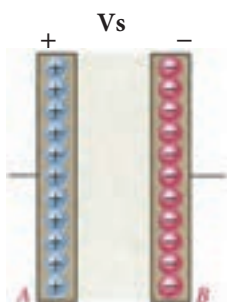
شکل ۸-۴- اجزای داخلی خازن



شکل ۸-۵- صفحات باردار خازن



شکل ۸-۶



شکل ۸-۷

هرگاه صفحات یک خازن به ولتاژی اتصال داده شود بار الکتریکی در صفحات خازن ذخیره می‌شود. این شرایط تا زمانی که خازن خالی نشود باقی می‌ماند. به همین دلیل از خازن در مدارهای الکتریکی به منظور ذخیره انرژی الکتریکی استفاده می‌شود. (شکل ۸-۶)

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

## ۸-۳- ظرفیت خازن

میزان توانایی یک خازن در ذخیره کردن بار الکتریکی را «ظرفیت خازن» می‌گویند و آن را با حرف C نمایش می‌دهند. (شکل ۸-۷)



اگر دو خازن را به یک منبع ولتاژ اتصال دهیم و بار الکتریکی در آن ها ذخیره کنیم چنانچه بار ذخیره شده در یکی بیشتر از دیگری باشد، ظرفیت آن خازن بیشتر است. (شکل ۸-۸)

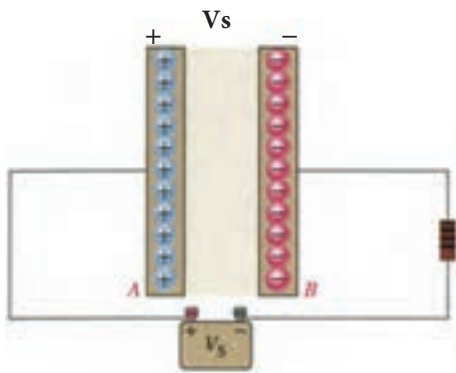
ظرفیت خازن را می توان از رابطه زیر بدست آورد:

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

C - ظرفیت خازن

Q - بار الکتریکی ذخیره شده در صفحات

V - ولتاژ دو سر خازن



شکل ۸-۸

جدول ۸-۱

واحد	حرف اختصاری	ضریب	چگونگی تبدیل
فاراد	f	واحد اصلی	برای تبدیل از واحد بالا به واحد پایین در ضرایب ضرب می شود 
میلی فاراد	mf	$10^3$	
میکروفاراد	$\mu f$	$10^6$	
نانو فاراد	nf	$10^9$	
پیکوفاراد	pf	$10^{12}$	



**توجه**

در صورتی که بخواهیم از واحد کوچکتر به واحد بزرگتر تبدیل کنیم باید بر ضرایب فوق تقسیم کنیم.

برای بررسی اثر افزایش یا کاهش یک عامل بر روی یکی از کمیت ها، می بایست کمیت سوم ثابت در نظر گرفته شود. مثلاً در صورت ثابت در نظر گرفتن بار Q مشاهده می شود 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 می شود. جدول ۸-۱ واحدهای کوچکتر خازن و ضرایب آن ها را نشان می دهد.

مثال: خازنی با ظرفیت ۱۰۰ نانو فاراد برابر با چند فاراد

است؟

$$C = 100 \cdot nf$$

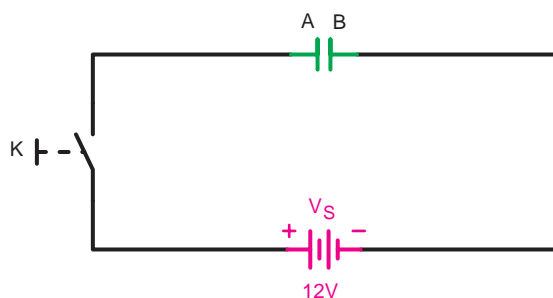
حل:

$$C = 10^2 \div 10^9 = 10^{-7} [f]$$

## ۸-۴- شارژ و دشارژ خازن در جریان

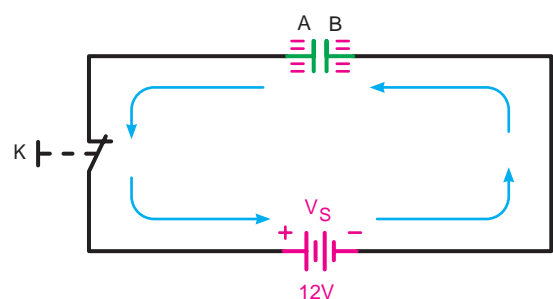
### مستقیم

وقتی یک خازن را به ولتاژ DC وصل کنیم خازن شارژ می شود. شکل ۸-۹ یک خازن خالی را نشان می دهد. در این حالت تعداد الکترون های آزاد صفحات A و B با هم برابر هستند.



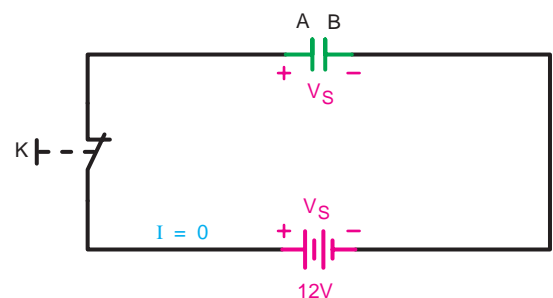
شکل ۸-۹- خازن خالی

زمانی که کلید بسته شود (شکل ۸-۱۰) با برقراری جریان، الکترون های آزاد در صفحه B جمع می شوند و صفحه A که به قطب مثبت منبع ( $V_S$ ) متصل است الکترون های آزاد خود را از دست می دهد. (جهت جریان، جهت حرکت الکترون ها فرض شده است).



شکل ۸-۱۰- خازن در حال شارژ

فرآیند فوق آنقدر ادامه پیدا می کند تا وقتی که پتانسیل بین دو صفحه A و B خازن برابر ولتاژ منبع تغذیه ( $V_S$ ) شود. با افزایش ولتاژ بین صفحات خازن، جریان دار رفته رفته کاهش یافته تا اینکه به صفر برسد، در این حالت گفته می شود که خازن شارژ کامل شده است. (شکل ۸-۱۱)

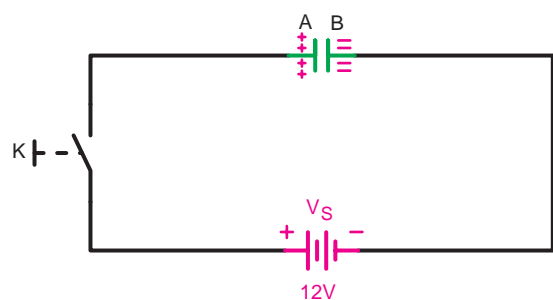


شکل ۸-۱۱- خازن شارژ کامل

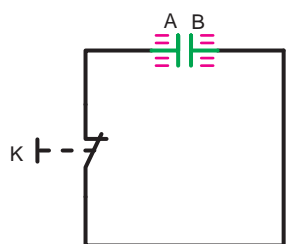
توجه داشته باشید که نقش دیالکتریک در برقراری جریان و رد و بدل شدن بارهای الکتریکی بسیار مهم است. چرا که با انتخاب یک دیالکتریک خوب می توان مقدار بار الکتریکی جابه جا شده را کاهش و یا به عبارتی ظرفیت خازن را افزایش داد.

حال اگر کلید را باز کنیم ولتاژ ذخیره شده در صفحات خازن باقی می ماند و ما می توانیم از این ولتاژ استفاده کنیم. (شکل ۸-۱۲)

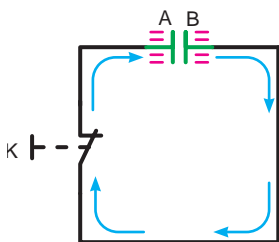
از جمله این موارد می توان ایجاد شوک الکتریکی یا شارژ خازن فلاش دوربین های عکاسی را نام برد.



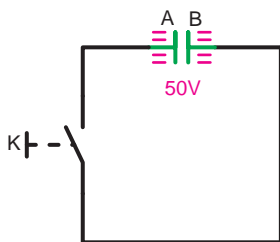
شکل ۸-۱۲- در صفحات خازن بار ذخیره شده.



الف - خازن شارژ کامل است.

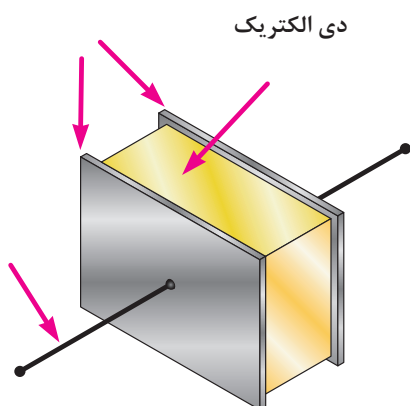


ج - خازن دشارژ کامل



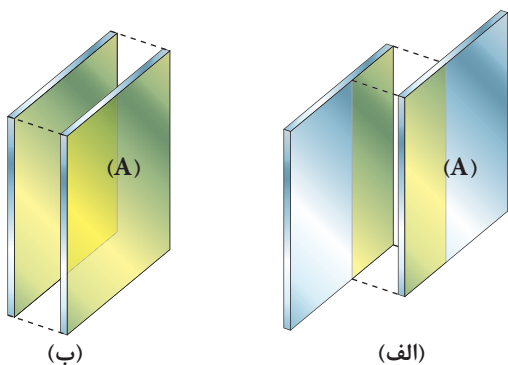
ب - خازن در حال دشارژ

شکل ۸-۱۳ - خازن شارژ در حال تخلیه صفحات



دی الکتریک

شکل ۸-۱۴ - قسمت های مختلف یک خازن



شکل ۸-۱۵ - سطوح مؤثر صفحات خازن

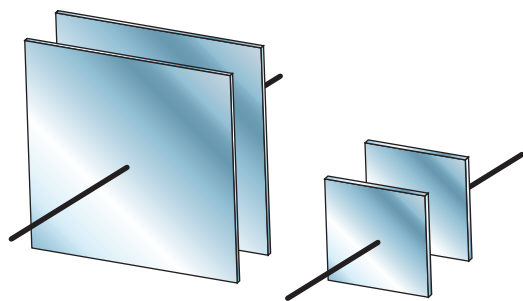
برای تخلیه بار الکتریکی صفحات خازن می بایست خازن را از منبع تغذیه باز کنیم و دو صفحه خازن A و B را به یکدیگر اتصال دهیم. شکل ۸-۱۳ مسیر تخلیه الکتریکی (دشارژ) خازنی را که تا ۵۰ ولت پر شده است، نشان می دهد.

## ۵-۸- عوامل مؤثر در ظرفیت خازن

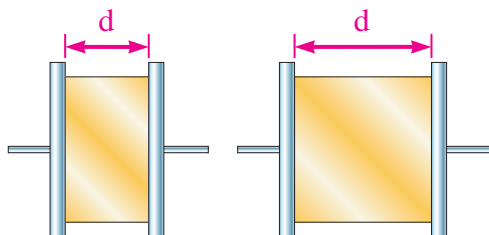
عوامل الکتریکی و فیزیکی گوناگونی در ظرفیت یک خازن مؤثر هستند که در اینجا فقط به بررسی عوامل فیزیکی می پردازیم. شکل ۸-۱۴ تصویر ساده ای از خازن را نشان می دهد.

### ۱-۵-۸- 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)



شکل ۸-۱۶- خازن با سطح صفحات متفاوت



الف - خازن با ظرفیت زیاد      ب - خازن با ظرفیت کم

شکل ۸-۱۷- اثر تغییر فاصله بین صفحات بر روی ظرفیت

جدول ۸-۲

ضریب دی الکتریک	ماده دی الکتریک
۱	هوا
۴/۲	شیشه
۵-۹	میکا
۴/۵-۷/۵	باکلیت
۲/۸	لاستیک
۳/۵	کاغذ
۲/۲	پارافین

هر چه سطح مؤثر بین صفحات بیشتر باشد ظرفیت خازن نیز افزایش می یابد. ظرفیت خازن نشان داده شده در شکل ۸-۱۶ ب دو برابر ظرفیت خازن شکل ۸-۱۶ الف است.

## ۸-۵-۲- فاصله بین صفحات خازن (d):

ظرفیت خازن با فاصله صفحات آن رابطه عکس دارد. چون هر چه فاصله بین صفحات افزایش می یابد ظرفیت خازن کم می شود. (شکل ۸-۱۷) دو خازن A و B را با هم مقایسه می کند. چون فاصله صفحات خازن b دو برابر صفحات خازن a است، بنابراین ظرفی خازن الف دو برابر ظرفیت خازن ب می شود.

## ۸-۵-۳- ماده عایق (دیالکتریک - K):

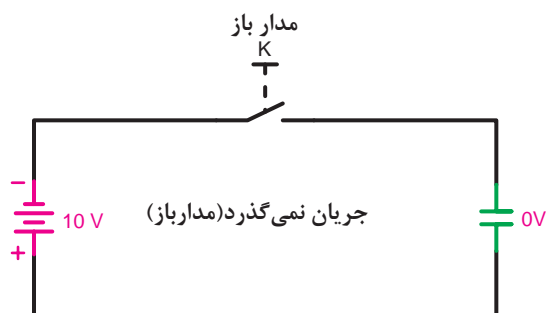
یکی دیگر از عواملی که در ظرفیت خازن تأثیر مستقیم دارد، ماده عایق (دی الکتریک) به کار رفته در بین دو صفحه خازن است. هر چه خاصیت عایقی ماده بکار رفته زیادتر باشد ظرفیت خازن بیشتر خواهد شد. جدول ۸-۲ خاصیت عایقی چند ماده را نشان می دهد. ضریب دی الکتریک همه مواد نسبت به هوا سنجیده می شوند.

## ۸-۶- عملکرد خازن در جریان الکتریکی

### ۸-۶-۱- رفتار خازن در جریان مستقیم (DC)

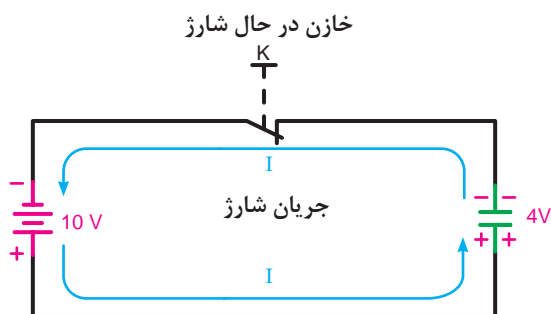
هرگاه خازنی در مدار جریان مستقیم قرار گیرد مقدار جریان الکتریکی مدار آن در تمام لحظات پس از وصل کلید یکسان نیست.

در لحظه اول که صفحات خازن خالی است به محض وصل کلید، الکترون های زیادی با سرعت به طرف سطح صفحات حرکت می کنند. (شکل ۸-۱۸) عایق بین صفحات خازن باعث می شود تا الکترون های جمع شده در یک

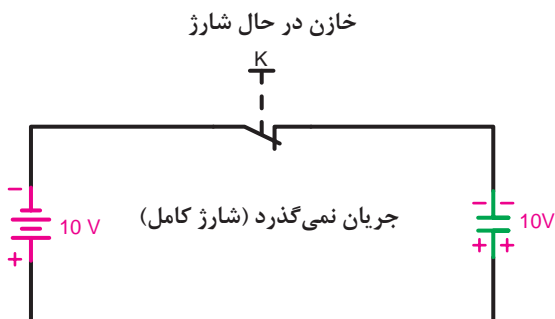


شکل ۸-۱۸- کلید قطع و مدار خازن باز می شود.

صفحه ارتباطی با صفحه مقابل نداشته باشد و صفحات خازن باردار شوند. (شکل ۸-۱۹)



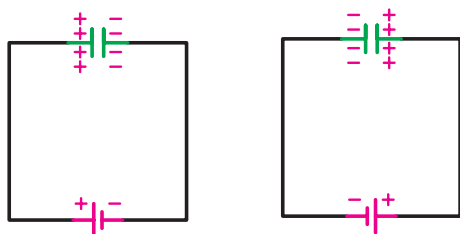
شکل ۸-۱۹- کلید وصل و خازن در حال شارژ می باشد.



شکل ۸-۲۰- کلید وصل و خازن شارژ کامل شده است.

حرکت الکترون ها تا زمانی که عمل شارژ در صفحات وجود دارد، ادامه می یابد و رفته رفته مقدار جریان عبوری از مدار کم می شود. زیرا سطح صفحات خازن شارژ کامل شده و از عبور جریان جلوگیری می کنند. (شکل ۸-۲۰)

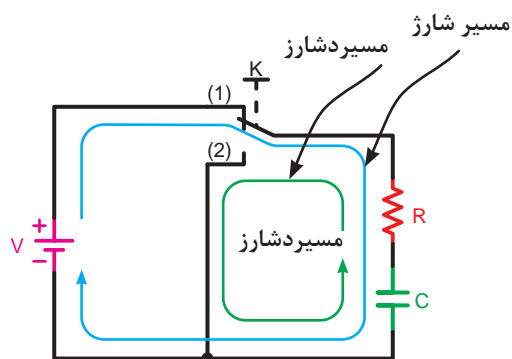
در واقع در لحظه اول ولتاژ دو سر خازن صفر بوده ولی جریان عبوری از آن زیاد است. در صورتی که چند لحظه پس از وصل کلید جریان به صفر رسیده و ولتاژ بین صفحات خازن، به مقدار حداکثر خود می رسد.



شکل ۸-۲۱- وضعیت صفحات خازن از نظر نحوه اتصال به پلاریته منبع تغذیه

وضعیت صفحات خازن از نظر نوع بار الکتریکی ذخیره شده به نحوه اتصال پلاریته منبع تغذیه بستگی دارد. یعنی اگر جهت قطب های خازن را عوض کنیم نوع بارهایی که در صفحات خازن ذخیره می شوند، نیز تغییر خواهد کرد. (شکل ۸-۲۱)

## ۸-۶-۲- شارژ و دشارژ (ثابت زمانی خازنی)

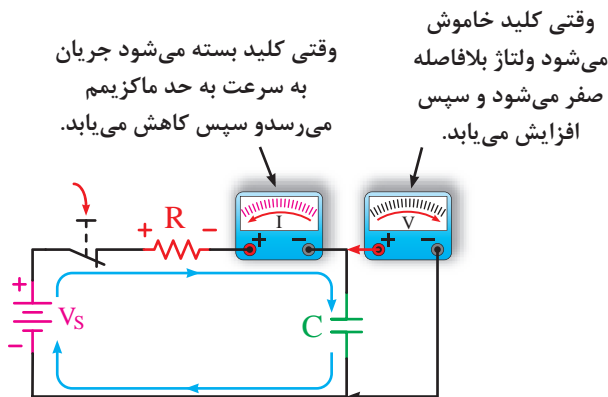


شکل ۸-۲۲- مسیر شارژ و دشارژ خازن

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.

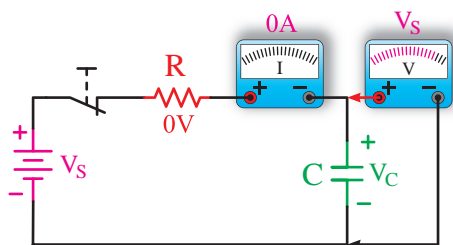
در شکل ۸-۲۲- مسیر شارژ (کلید حالت ۱) و دشارژ (کلید حالت ۲) خازن C نشان داده شده است.

شکل ۸-۲۳ الف مدار خازنی را در لحظه وصل کلید از نظر ولتاژ و جریان نشان می دهد.



الف - در حال شارژ: ولتاژ خازن با کاهش ولتاژ مقاومت و جریان افزایش می یابد.

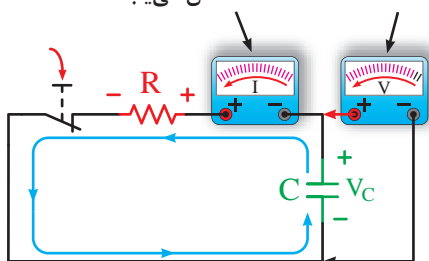
شکل ۸-۲۳ ب یک مدار خازنی را در شرایطی نشان می دهد که کلید، مدت زمانی طولانی وصل بوده و ولتاژ و جریان نسبت به حالت الف عکس شده است.



ب - شارژ کامل: ولتاژ خازن با ولتاژ منبع برابر شده و جریان صفر می شود.

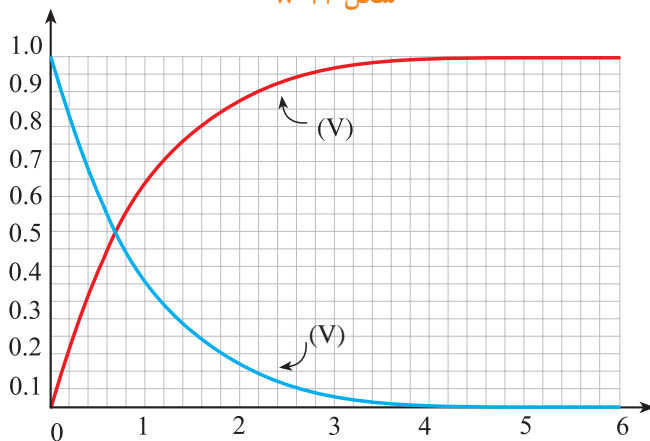
شکل ۸-۲۳

وقتی خازن تخلیه می شود ولتاژ کاهش می یابد. وقتی کلید خاموش می شود جریان بلافاصله به حداکثر می رسد و سپس کاهش می یابد.



تخلیه بار ولتاژ مقاومت و جریان از مقدار حداکثر اولیه کاهش می یابد. توجه داشته باشید که جریان تخلیه بار مخالف با جریان بار می باشد.

شکل ۸-۲۴



شکل ۸-۲۵ منحنی های ولتاژ خازن در حالت شارژ و دشارژ

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.

شکل ۸-۲۵ منحنی تغییرات ولتاژ خازن را در حالت شارژ و دشارژ نشان می دهد.

همانگونه که از منحنی های 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 پرش های زمانی و در طی یک بازه های مشخصی به مقدار حداکثر و حداقل خود می رسد. اصطلاحاً به مدت زمانی که طول می کشد تا ولتاژ خازن به اندازه  $\frac{63}{100}\%$  مقدار ماکزیمم خود افزایش یا کاهش یابد «ثابت زمانی» گفته و با

$$\tau = R.C$$

[ $\Omega$  - اهم]  $\rightarrow$   $\tau$   $\leftarrow$  [ $s$  - ثانيه]  
[ $f$  - فاراد]  $\leftarrow$   $C$

ثابت زمانی خازنی  $\rightarrow$   $T = \Delta \tau$   $\leftarrow$  مدت زمان شارژ و دشارژ کامل خازن

حرف ( $\tau$  - تاو) و برحسب ثانیه مطابق رابطه مقابل محاسبه می کنند.

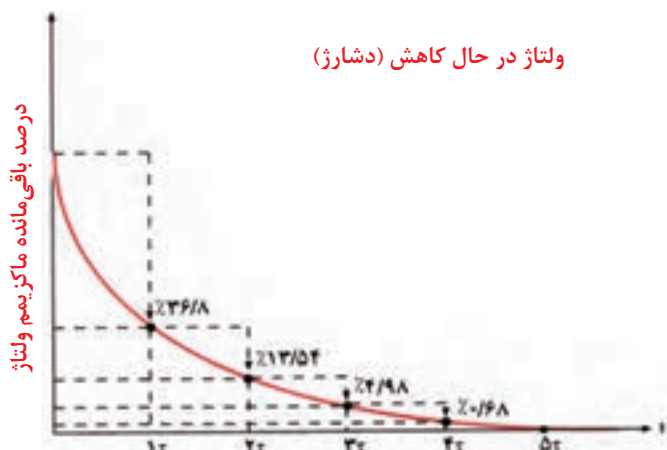
بر پایه آزمایش های انجام شده روی یک خازن مشخص گردیده پس از گذشت ۵ ثابت زمانی ولتاژ دو سر آن به مقدار حداکثر (در شرایط شارژ) و به مقدار حداقل (در شرایط دشارژ) می رسد.

مدت زمان شارژ یا دشارژ کامل یک خازن را مطابق رابطه مقابل می توان چنین محاسبه کرد.

براساس این مطالب پس می توان منحنی های شارژ و دشارژ یک خازن را به همراه جداول شارژ و دشارژ را به ترتیب مطابق شکل های (۸-۲۵) و (۸-۲۶) مشاهده می کنید.



تعداد ثابت زمانی	درصد ماکزیمم ولتاژ شارژ
۱	۶۳
۲	۸۶
۳	۹۵
۴	۹۸
۵	۹۹
	تقریباً ۱۰۰٪



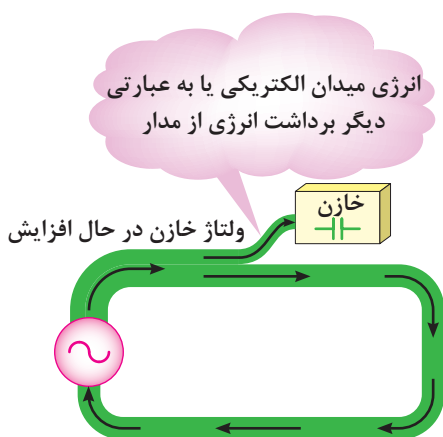
تعداد ثابت زمانی	درصد ماکزیمم ولتاژ شارژ
۱	۳۷
۲	۱۴
۳	۵
۴	۲
۵	۱
	تقریباً صفر

شکل (۸-۲۶)

## ۷-۸ خازن از نقطه نظر انرژی

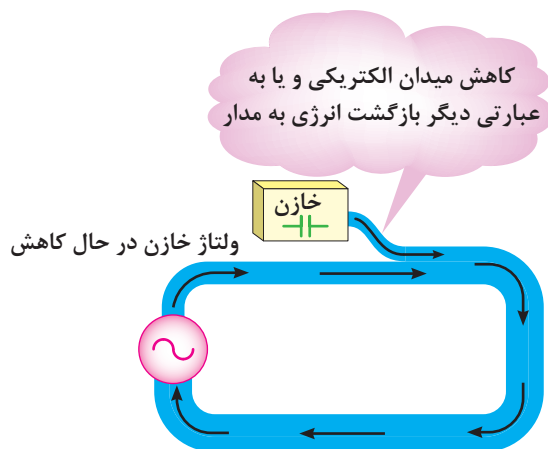
خازن ها نیز مشابه سلف ها هرگاه به جریان متغیری متصل شوند بطوری که ولتاژ دو سر آنها تغییر کند دائماً در حال تبادل انرژی خواهد بود.

انرژی ذخیره شده در یک خازن به صورت ذخیره سای بارهای الکتروستاتیکی در سطح صفحات آن صورت می گیرد.



شکل ۲۷-۸

یک خازن در لحظاتی که ولتاژ دو سر آن در حال افزایش است یعنی در شرایط دریافت و ذخیره سازی انرژی مطابق شکل (۸-۲۷) است. هنگامی که ولتاژ خازن شروع به کاهش کند بارهای الکتروستاتیکی شروع به کم شدن کرده و انرژی ذخیره شده را مطابق شکل (۸-۲۸) به مدار باز می گردانند.



شکل ۲۸-۸

## ۸-۸ انرژی ذخیره شده در خازن

مقدار انرژی ذخیره شده در یک خازن را از رابطه ی مقابل می توان بدست آورد.

$C$  - ظرفیت خازن بر حسب فاراد  $[f]$

$V_c$  - ولتاژ دو سر خازن بر حسب ولت  $[v]$

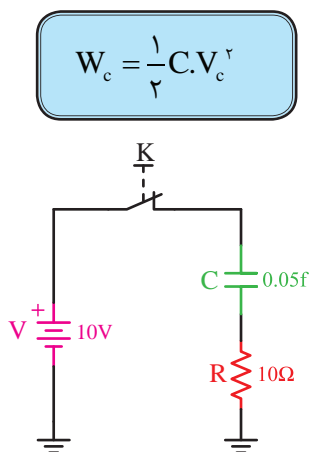
$W_c$  - انرژی ذخیره شده در خازن بر حسب ژول  $[j]$

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 باشد چند ژول است؟

حل: در شرایط دائم کار خاصیت خازنی وجود ندارد و

همه ولتاژ منبع در دو سر خازن قرار می گیرد.



شکل ۲۹-۸

$$V_c = V = 10v$$

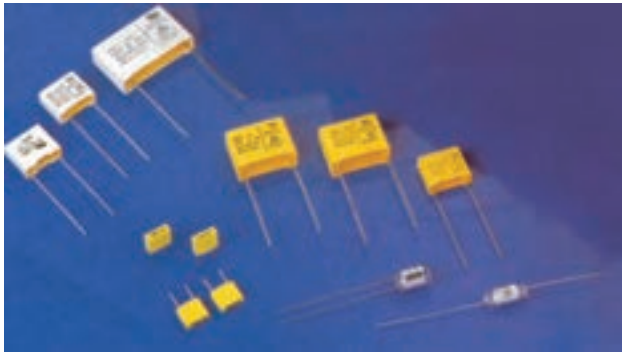
$$W_c = \frac{1}{2} C \cdot V_c^2$$

$$W_c = \frac{1}{2} \times 0.05 \times (10)^2 = 2.5 [J]$$

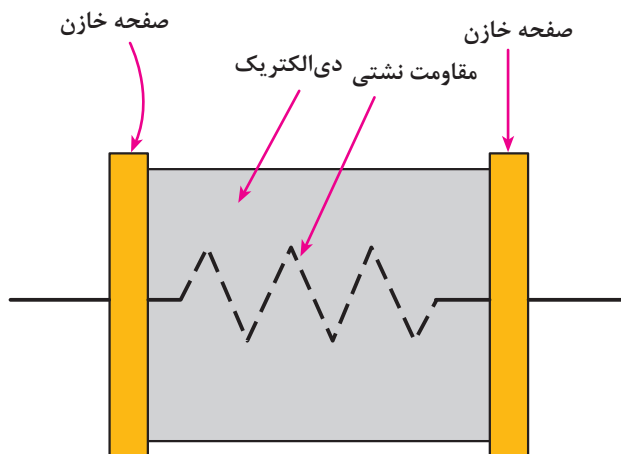


## ۸-۹- ظرفیت نامی خازن

مقدار ظرفیتی که روی بدنه خازن‌ها نوشته می‌شود، «ظرفیت اسمی» یا «ظرفیت نامی» می‌نامند 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.



شکل ۸-۳۰



شکل ۸-۳۱

چون در عمل ماده‌ای با خاصیت عایقی صددرصد وجود ندارد، مواد عایقی که بین صفحات خازن قرار می‌گیرند مقدار بسیار کمی جریان از خود عبور می‌دهند. دیالکتریک خازن دارای مقاومت زیادی است که آن را مقاومت نشتی گویند. هر قدر مقاومت نشتی بیشتر باشد ظرفیت خازن زیادتر می‌شود.

خازن‌های بزرگ چون دارای سطح صفحات بزرگی هستند، لذا مقاومت نشتی آن‌ها کم بوده و در نتیجه ظرفیت واقعی خوبی ندارند. (شکل ۸-۳۱)

## ۸-۱۰- انواع خازن‌ها و کدهای رنگی آن‌ها

به طور کلی خازن‌ها به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱- خازن‌های ثابت

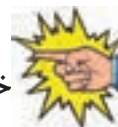
۲- خازن‌های متغیر

### ۸-۱۰-۱- خازن‌های ثابت

ظرفیت این خازن‌ها ثابت است و نمی‌توان مقدار آن‌ها را تغییر داد. این نوع خازن‌ها براساس جنس ماده دیالکتریک نام گذاری می‌شوند. از انواع خازن‌های ثابت می‌توان خازن‌های کاغذی، سرامیکی و میکایی را نام برد. (شکل ۸-۳۲) این خازن‌ها در ظرفیت‌های کم ساخته می‌شوند. نوع دیگری از خازن‌های ثابت وجود دارد که در ظرفیت‌های زیاد ساخته می‌شود. این خازن‌ها را «خازن‌های الکترولیتی» می‌نامند.

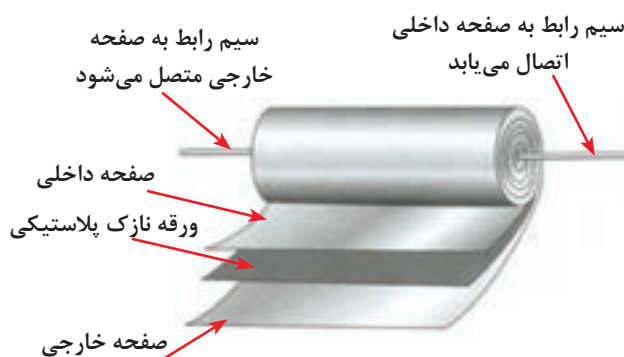


شکل ۸-۳۲- شکل ظاهری چند خازن به همراه مشخصات اسمی



### خازن‌های کاغذی: دی الکتریک این نوع خازن

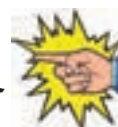
یک کاغذ مشبک آغشته به یک دی الکتریک مناسب است صفحات هادی خازن از جنس آلومینیوم ساخته می شود. از این خازن ها بیشتر در ولتاژها و جریان های زیاد استفاده می شود.



شکل ۸-۳۳- مقاومت نشتی خازن ها در حد مگان اهم است.

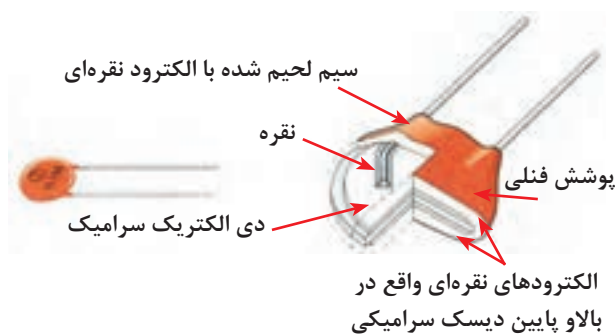
شکل ۸-۳۳ ساختمان داخلی و شکل ۸-۳۴

ظاهری این خازن ها را نشان می دهد.



### خازن های سرامیکی: عایق به کار رفته

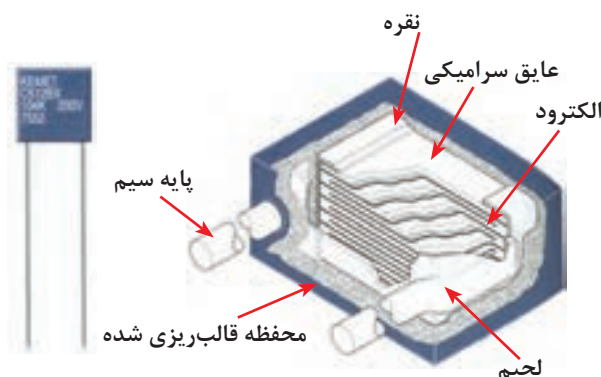
در این خازن ها از جنس سرامیک و صفحات هادی آن آلومینیومی است. سیم های رابط را به صفحات آلومینیومی وصل می کنند.



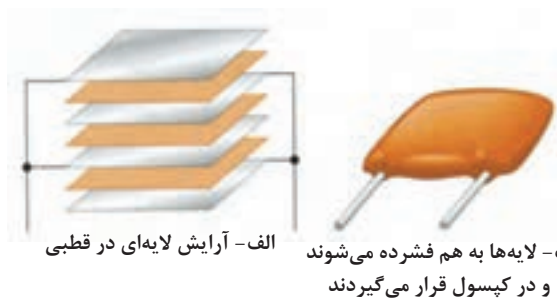
شکل ۸-۳۵

مجموع خازن سرامیکی را با محلول مومی شکلی به نام

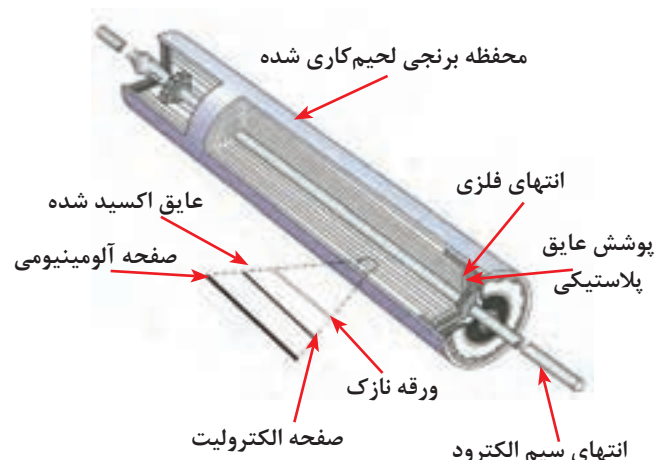
فتولیک می پوشانند. این خازن ها بیشتر در مدارهای گیرنده رادیویی به کار می روند. (شکل های ۸-۳۵ و ۸-۳۶)



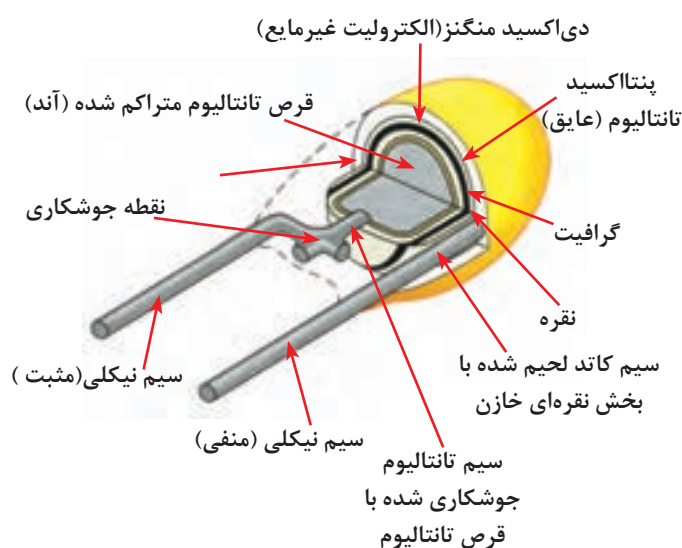
شکل ۸-۳۶



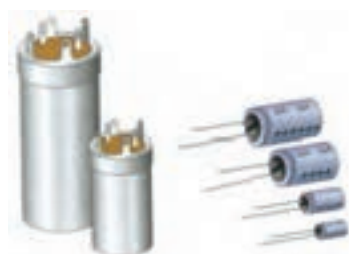
شکل ۳۷-۸



شکل ۳۸-۸



شکل ۳۹-۸ - ساختمان داخلی خازن تانتالیوم



ب - الکترولیت‌های سیمی شعاعی

الف - خازن الکترولیتی

شکل ۴۰-۸ - ساختمان خازن الکترولیتی

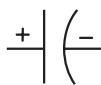
خازن‌های میکا: در این خازن‌ها عایق به کار

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 یک دیگر قرار می‌دهند و در نهایت سرپایه‌ای صفحات را با سیم به هم لحیم می‌کنند. (شکل ۳۷-۸)

خازن‌های الکترولیتی: این نوع خازن‌ها

ظرفیت‌های نسبتاً بالایی دارند. صفحات آن از جنس آلومینیوم یا تانتالیوم است. اکثر خازن‌ها 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 ۳۸-۸)

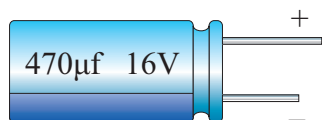
از خازن‌های الکترولیتی در منابع تغذیه الکترونیکی و تایمرهای الکترونیکی استفاده می‌شود. شکل‌های ۳۹-۸ و شکل ۴۰-۸ ساختمان داخلی و ظاهری نمونه‌هایی از این خازن‌ها را نشان می‌دهند.



## ۲-۱۰-۸- اطلاعاتی در مورد خازن‌های الکترولیتی:

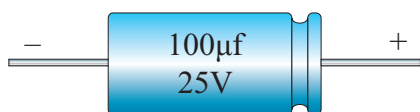
خازن‌های الکترولیت در چند نوع مختلف نیز تولید می‌شوند:

۱- نوع استوانه‌ای یک طرفه<sup>۱</sup>: در این نوع سیم‌های خازن از یک طرف بیرون می‌آید. (شکل ۸-۴۱)



شکل ۸-۴۱

۲- نوع هم‌محور<sup>۲</sup>: سیم‌های این خازن از دو طرف آن بیرون می‌آید و روی بدنه خازن در طرف قطب مثبت فرورفتگی دارد. (شکل ۸-۴۲)



شکل ۸-۴۲

۳- نوع غیرقطبی<sup>۳</sup>: 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 فرورفتگی وجود دارد. (شکل ۸-۴۳)



شکل ۸-۴۳

۴- نوع قوطی<sup>۴</sup>: 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 ترمینال‌های بیرون آمده‌اند، یک فرورفتگی وجود دارد. این خازن‌ها به وسیله بست کمربندی مخصوصی روی دستگاه نصب می‌شوند. (شکل ۸-۴۴)



شکل ۸-۴۴

1- Single-End or Radial

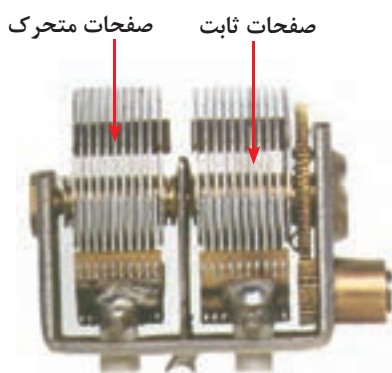
2- Axial

1-Non-Polar

2- Can type

### ۳-۱۰-۸- خازن های متغیر:

به خازن هایی گفته می شود که دارای ظرفیت ثابت نیستند. ظرفیت آن ها با تغییر در یکی از عوامل سطح صفحات یا فاصله بین آن ها تغییر می کند. ماده دی الکتریک این خازن ها هوا یا پلاستیک است. از خازن های متغیر در گیرنده های رادیویی استفاده می شود. این خازن ها در دو شکل «خازن واریابل» و یا «تریمر» مورد استفاده قرار می گیرند. (شکل ۸-۴۵)



شکل ۸-۴۵- خازن واریابل

شکل ۸-۴۶ خازن های تریمر را نشان می دهد.

ظرفیت خازن واریابل با کمک دست و با چرخاندن محور ولی ظرفیت خازن تریمر با چرخاندن محور به وسیله پیچ گوشتی تغییر می کند.



شکل ۸-۴۶

در انتخاب یک خازن می بایست به مشخصه های زیر که مربوط به خازن می باشد، توجه داشت:

۱- ظرفیت: مقدار گنجایش بار الکتریکی خازن.

۲- ولتاژ کار: حداکثر ولتاژی که می توان به طور دائم به خازن اعمال کرد.

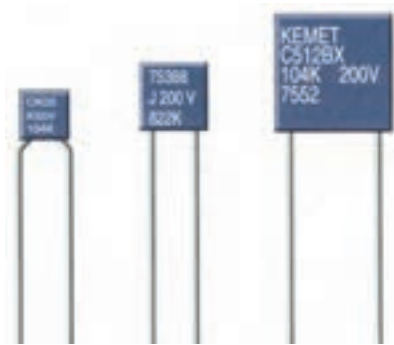
۳- تolerانس: حداکثر انحراف مجاز نسبت به ظرفیت اسمی خازن

۴- ضریب حرارتی: حداکثر میزان تغییر ظرفیت خازن به ازای تغییر یک درجه حرارت.

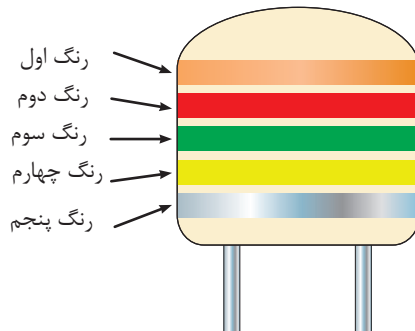
برخی از موارد فوق را در شکل ۸-۴۷ مشاهده می کنید.



شکل ۸-۴۷

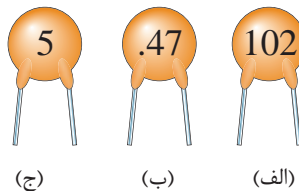


(الف)



(ب)

شکل ۸-۴۸



(ج)

(ب)

(الف)

شکل ۸-۴۹

جدول ۸-۴۷

تلفانس	حرف اختصاری
% ۰/۱	B
% ۰/۲۵	C
% ۰/۵	D
% ۱	F
% ۲	G
% ۳	H
% ۵	J
% ۱۰	K
% ۲۰	M

مقادیر مربوط به مشخصات فوق را در بعضی خازن ها روی بدنه آن ها می نویسند و در برخی دیگر به کمک کدهای رنگی مشخص می کنند که در اینجا به ذکر نمونه هایی برای هر دو حالت می پردازیم. (شکل ۸-۴۸)

هر یک از روش های نوار رنگی یا نوشتن ظرفیت خازن ها خود به راه های مختلف انجام می شود که به بررسی آن ها می پردازیم.

## ۴-۱۰-۸- روش مقدار نویسی ظرفیت روی بدنه خازن ها:

در برخی موارد روی بدنه خازن ها ظرفیت را با یک عدد اعشاری و یا یک عدد صحیح (به صورت رمز) مشخص می کنند. اگر عدد به صورت اعشاری باشد ظرفیت برحسب میکروفاراد و در صورتی که عدد به صورت عدد صحیح بیان شود بر حسب پیکوفاراد است. به عنوان مثال اگر روی بدنه خازن ها مطابق شکل ۸-۵۰ اعداد ۱۰۲، ۰/۴۷ و ۵ نوشته شده باشد ظرفیت آن ها برابر است با:

$$\begin{aligned} \text{a) } 102 &= 100 \text{ pf} \\ \text{b) } 0.47 &= 0.47 \mu\text{f} \\ \text{c) } 5 &= 5 \text{ pf} \end{aligned}$$

در این روش برای بیان تلفانس خازن از حروف اختصاری مشابه جدول ۸-۴۷ استفاده می شود.



## ۵-۱۰-۸- روش نوارهای رنگی روی بدنه

### خازن ها:

روش نوارهای رنگی که بر روی بدنه خازن ها به کار می رود در خازن های مختلف با یکدیگر تفاوت هایی را دارند.

### - روش پنج نوازی: از این روش برای تعیین ظرفیت،

تولانس و ولتاژ کار خازن های سرامیکی، کاغذی و میکا استفاده می شود. شکل ۸-۵۰ جدول نوارهای رنگی را که روی بدنه خازن ها ثبت می شود، نشان می دهد.

در این روش مفهوم نوارهای رنگی به ترتیب عبارتند از:

نوار رنگی اول - بیانگر عدد اول

نوار رنگی دوم - بیانگر عدد دوم

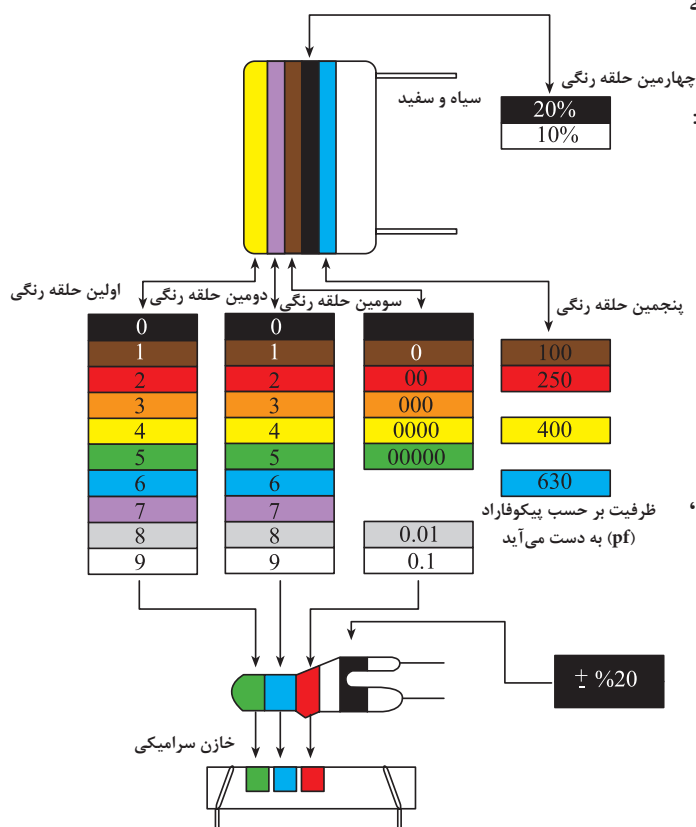
نوار رنگی سوم - ضریب

نوار رنگی چهارم - تولانس

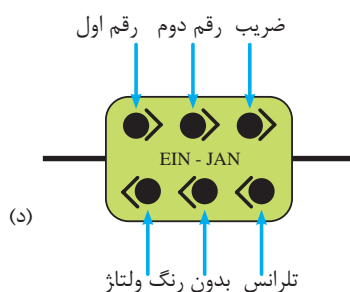
نوار رنگی پنجم - ولتاژ کار

**تذکر:** در مواردی که نوار نرنگی تولانس وجود ندارد،

مقدار تولانس خازن ۲٪ است.



شکل ۸-۵۰



شکل ۸-۵۱

شکل ۸-۵۱ انواع مختلف شکل های ظاهری و نحوه

قرار گرفتن نوارهای رنگی روی بدنه خازن ها را در حالات

گونگون نشان می دهد.

۱ - در برخی خازن ها نوار رنگی اول نشان دهنده ضریب حرارتی است.

مثال: ظرفیت خازن‌هایی که کد رنگی آن‌ها در جدول

۸-۴ بیان شده است را تعیین کنید.

حل: با توجه به کدهای رنگی می‌توان نوشت:

**جدول ۸-۴**

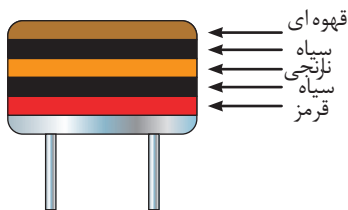
خازن	نوار اول	نوار دوم	نوار سوم	نوار چهارم	نوار پنجم
$C_1$	قرمز	قرمز	زرد	سیاه	قرمز
$C_2$	زرد	بنفش	قرمز	سفید	زرد
$C_3$	قهوه‌ای	سبز	سبز	سیاه	قهوه‌ای
$C_4$	نارنجی	نارنجی	سبز	سیاه	آبی

$$C_1 = 22 \cdot nF / 250V \pm \%/20$$

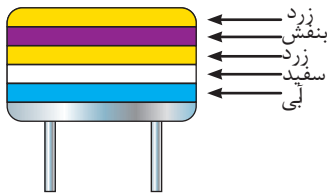
$$C_2 = 47 \cdot nF / 400V \pm \%/10$$

$$C_3 = 15 \mu F / 100V \pm \%/20$$

$$C_4 = 33 \mu F / 630V \pm \%/20$$



شکل ۸-۵۲



شکل ۸-۵۳

مثال: مشخصات خازن‌های شکل ۸-۵۲ را به دست

آورید.

حل:

قرمز سیاه نارنجی سیاه قهوه‌ای

$$10000 \pm \%/20, 250V$$

$$C = 10000_{pf} \pm \%/20, 250V$$

مثال: ظرفیت و ولتاژ کار خازن شکل ۸-۵۳ را به دست

آورید.

حل:

آبی سفید زرد بنفش زرد

جدول ۸-۵

رنگ	ضریب حرارتی
Black سیاه	۰
Brown قهوه‌ای	-۳۰
Red قرمز	-۸۰
Orange نارنجی	-۱۵۰
Yellow زرد	-۲۲۰
Green سبز	-۳۳۰
Blue آبی	-۴۷۰
Violet بنفش	-۷۵۰
Gray خاکستری	+۳۰
White سفید	+۱۲۰
Gold طلایی	---
Silver نقره‌ای	---

نوار رنگی مربوط به ضریب حرارتی معمولاً پهن‌تر از

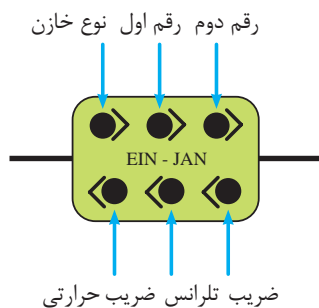
سایر نوارها می‌باشد. جدول ۸-۵ مفهوم رنگ‌های ضریب

حرارتی را نشان می‌دهد.

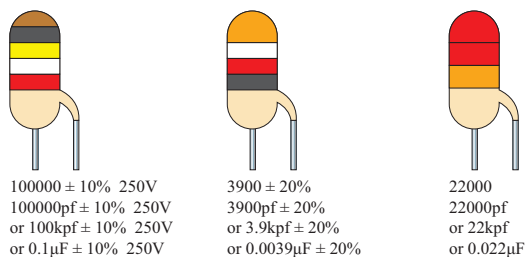
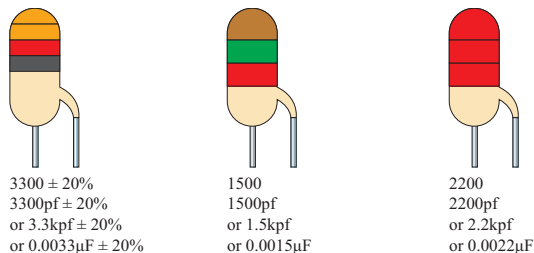
$$470000 \pm \%/10, 630V$$

$$C = 470000_{pf} \pm \%/10, 630V$$

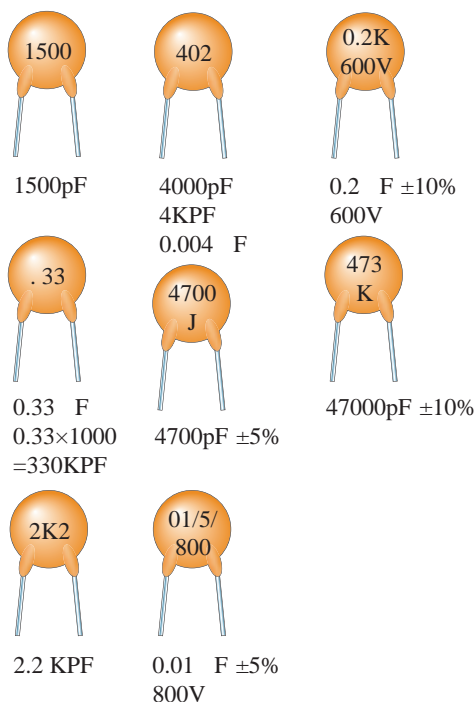




شکل ۸-۵۴



شکل ۸-۵۵



شکل ۸-۵۶

- روش های شش نقطه ای: شکل ۸-۵۴ نحوه کدگذاری رنگی خازن های شش رنگ را نشان می دهد. مقادیر کدهای رنگی را از جدول ۸-۵۵ و شکل ۸-۵۵ می توان به دست آورد.

شکل ۸-۵۵ مثال هایی از خازن هایی که تعداد نوارهای رنگی آن ها پنج یا کمتر است، نشان می دهد.

شکل ۸-۵۶ مثال هایی از خازن های مشخص شده به روش کدگذاری را نشان می دهد.

#### توضیح

برای بیان واحد ظرفیت خازن های نشان داده شده در شکل های ۸-۵۵ و ۸-۵۶ از حروف اختصاری استفاده شده که به شرط زیر می باشد.

pf (پیکو فاراد)، Kpf (کیلو پیکوفاراد) یا nF (نانونو فاراد)  $\mu$ f (میکرو فاراد)

## ۸-۱۱- به هم بستن خازن ها

اگر ظرفیت خازنی مورد نیاز باشد که در محدوده ظرفیت های استاندارد نباشد، می توان با متصل کردن چند خازن به صورت سری، موازی یا ترکیبی، خازن مورد نظر را به دست آورد.

### ۸-۱۱-۱- اتصال سری خازن ها:

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 ۸-۵۷) (مانند اتصال سری مقاومت ها) روابط حاکم بر این مدارها به صورت زیر است:

#### - عامل مشترک مدار:

چون یک مسیر عبور جریان وجود دارد لذا جریان عبوری یا به عبارت دیگر بار الکتریکی ذخیره شده  $Q$  در همه خازن ها یکسان است. (شکل ۸-۵۸)

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n = Q_T$$

#### - عامل غیرمشترک مدار:

در یک مدار سری خازنی مشابه مدار سری مقاومتی ولتاژ بین اجزای مدار تقسیم می شود.

ولتاژ کل مدار بین عناصر مدار به نسبت عکس ظرفیت  $\left( V = \frac{Q}{C} \right)$  بین خازن های تقسیم می شود. (شکل ۸-۵۹)

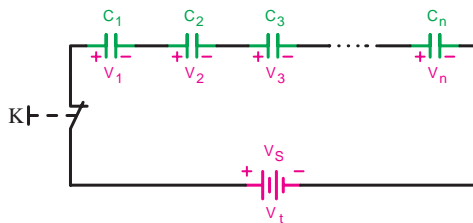
$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

### - ظرفیت خازن معادل مدار:

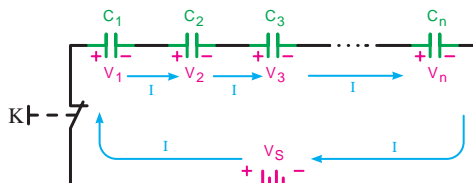
با استفاده از رابطه  $V = \frac{Q}{C}$  و در نظر گرفتن رابطه تقسیم ولتاژ بین خازن های سری می توانیم بنویسیم (شکل ۸-۶۰)

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

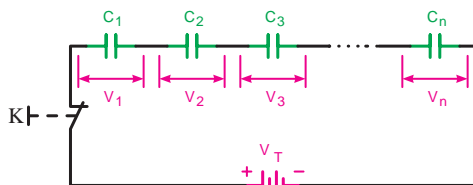
$$\frac{Q_T}{C_T} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3} + \dots + \frac{Q_n}{C_n}$$



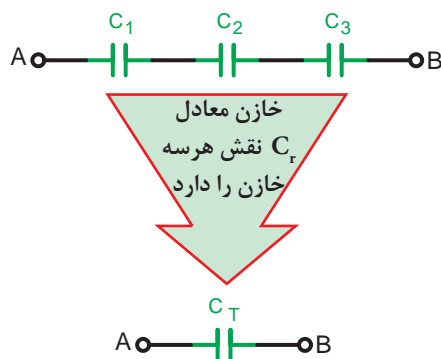
شکل ۸-۵۷



شکل ۸-۵۸



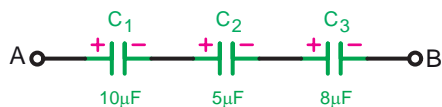
شکل ۸-۵۹



شکل ۸-۶۰

## نکته مهم:

مقدار ظرفیت خازن معادل از کوچک‌ترین ظرفیت خازن در مدار کوچکتر است.



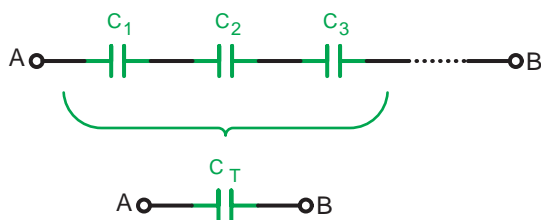
شکل ۸-۶۱

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

با معکوس کردن رابطه و جایگزینی اعداد، مقدار ظرفیت معادل به دست می‌آید.

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{5} + \frac{1}{8}}$$

$$C_T = \frac{1}{0.425} = 2.35 \mu F$$



$$(C_1 = C_2 = C_3 = \dots C_n)$$

شکل ۸-۶۲

چون در مدار سری  $Q_1 = Q_2 = \dots Q_n$  است میتوان از Q فاکتور گرفت و آن را از طرفین تساوی حذف کرد. بنابراین رابطه ظرفیت خازن معادل براساس رابطه مقابل برابر است با:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

همانگونه از رابطه نهایی مشخص است ظرفیت خازن معادل در مدارهای سری عکس رابطه مربوط به مقاومت‌های سری است.

مثال: ظرفیت خازن معادل از دو نقطه A و B در شکل ۸-۶۱ چند میکروفاراد است؟

حل: برای محاسبه خازن معادل به صورت مقابل می‌توان عمل نمود:

- حالات خاص در مدارهای سری خازنی:

اگر n خازن مساوی به طور سری قرار گیرند ظرفیت خازن از رابطه زیر قابل محاسبه است.

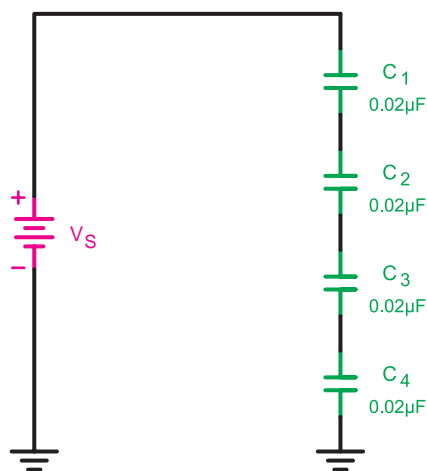
$$C_T = \frac{C}{n}$$

c- ظرفیت یک خازن

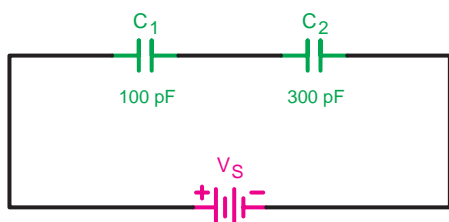
n- تعداد خازن‌ها

اگر دو خازن به طور سری بسته شوند می‌توانیم از رابطه ساده شده نهایی به صورت زیر استفاده کنیم:

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$



شکل ۸-۶۳



شکل ۸-۶۴

مثال: ظرفیت خازن معادل شکل ۸-۶۳ چند میکروفاراد

است؟

حل: ظرفیت خازن ها مساوی است.

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C = .02 \mu F$$

پس می توانیم بنویسیم.

$$C_T = \frac{C}{n} = \frac{.02 \mu F}{4} = .005 \mu F$$

مثال: ظرفیت خازن معادل شکل ۸-۶۴ چند پیکوفاراد

است؟

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{100} + \frac{1}{300} = \frac{3+1}{300} = \frac{4}{300}$$

$$C_T = \frac{300}{4} = 75 \text{ pF}$$

یا با استفاده از رابطه ساده زیر می توانیم بنویسیم:

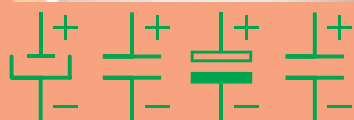
$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{100 \times 300}{100 + 300}$$

$$C_T = \frac{30000}{400} = 75 \text{ pF}$$

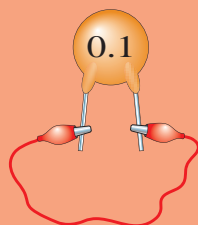
## نکات ایمنی



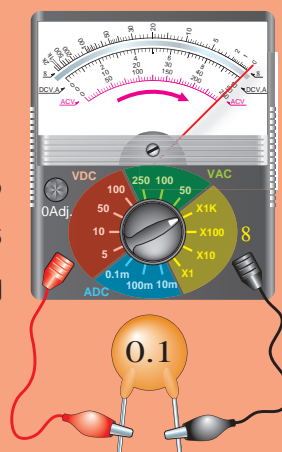
- ۱- ضروری است در آزمایش های مربوط به خازن علاوه بر نکات ایمنی کارهای عملی قبل به دو نکته زیر نیز توجه شود.
- ۲- در صورت به کارگیری خازن های الکترولیتی در موقع اتصال آن ها به قطب های خازن توجه کنید. ضمناً این خازن ها را پیش از اتصال در مدار ابتدا مطابق شکل a دشارژ (تخلیه) کنید.
- ۳- قبل از انجام آزمایش های مربوط به خازن ها مطابق تصاویر نشان داده شده از سالم بودن آن ها اطمینان حاصل کنید و سپس آن ها را در مدار قرار دهید. (شکل های 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)



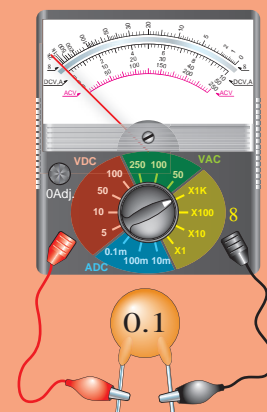
ب - اگر عقربه اهم متر روی عدد صفر قرار گرفت نشان می دهد، خازن اتصال کوتاه است.



ج - اگر عقربه اهم متر در ابتدا روی صفر قرار گرفت و سپس به آهستگی بازگشت نشان می دهد خازن سالم است.



د - اگر عقربه اهم متر حرکتی نداشته باشد نشان می دهد که خازن قطع بوده و اشکال دارد.



## نکته مهم:

گاهی ممکن است خازن در تست اهمی سالم نشان دهد (عقربه اهم متر 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.



## عملیات کارگاهی (کار عملی ۷)



ساعت آموزشی		
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)	۱ دستگاه
۲- آوومتر عقربه‌ای	۱ دستگاه
۳- آوومتر دیجیتالی	۱ دستگاه
۴- بردبرد آزمایشگاهی	۱ عدد
۵- LC متر	۱ عدد
۶- مقاومت $R = 1M\Omega (1W)$	۱ عدد
۷- خازن‌ها	
$C_1 = 2/2\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت	۱ عدد
$C_2 = 10\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت	۳ عدد
$C_3 = 4/7\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت	۱ عدد
۸- باتری ۱/۵ ولتی	۴ عدد
۹- سیم چین	۱ عدد
۱۰- سیم لخت کن	۱ عدد
۱۱- سیم تلفنی	۰/۵ متر

**تذکر:** در صورت کم بودن زمان اجرای آزمایش و یا تجهیزات آزمایشگاهی از انجام مراحل  
که با علامت (\*) مشخص شده اند خودداری کنید.



برای اندازه‌گیری ولتاژ و جریان عناصر مدار می‌توانید از یک آوومتر دیجیتالی یکبار  
به صورت ولت متری و بار دیگر به صورت آمپرمتری به طور جداگانه استفاده کنید.



**توجه**

## الف اندازه‌گیری و محاسبه ظرفیت خازن معادل

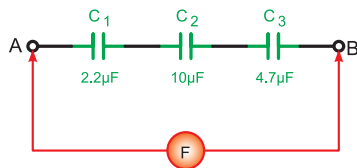
### مراحل اجرای آزمایش

جدول ۸-۶

میزان اختلاف	مقدار اندازه‌گیری شده	مقدار نوشته شده	خازن
			$C_1$
			$C_2$
			$C_3$

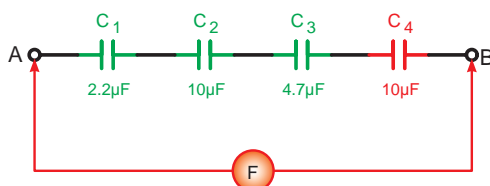


الف- شکل واقعی



ب- شکل مداری

شکل ۸-۶۵



شکل ۸-۶۶

۱- هر یک 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 ۸-۶ بنویسید.

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 ۸-۶۵ 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.

$C_{AB} =$    $\mu f$  (اندازه‌گیری)

۴- مقدار ظرفیت معادل را از رابطه زیر محاسبه کنید

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$C_{AB} =$    $\mu f$  (محاسبه)

۵- آیا مقدار اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با هم مطابقت دارد؟ چرا؟ شرح دهید.

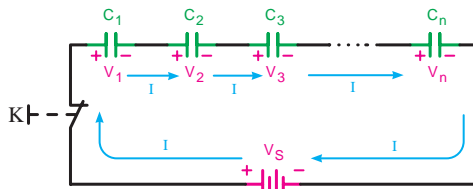
۶- خازن  $C_4 = 10\mu f$  را مطابق شکل ۸-۶۶ به مدار شکل ۸-۶۵ اضافه کنید و سپس ظرفیت خازن معادل را با استفاده از LC متر اندازه بگیرید.

$C_{AB} =$   (اندازه‌گیری)

۷- مقدار ظرفیت معادل را از رابطه زیر محاسبه کنید

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}$$

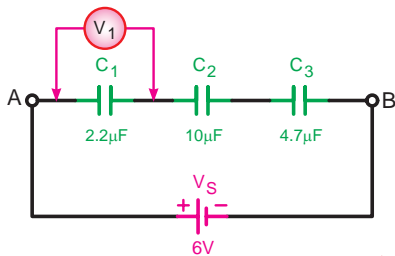
۸- ظرفیت خازن معادل نسبت به مرحله ۳ چه تغییری دارد؟ توضیح دهید.



شکل ۶۷-۸



الف-شکل واقعی



ب-شکل مداری

شکل ۶۸-۸

۹- آیا ظرفیت خازن معادل اندازه گیری شده و محاسبه شده با هم مطابقت دارد؟ در صورتی که جواب منفی است علت را شرح دهید.

۱۰- سه خازن  $10\mu f$  را مطابق شکل ۶۷-۸ به صورت سری اتصال دهید و ظرفیت خازن معادل را با LC متر اندازه گیری کنید.

$$C_{AB} = \boxed{\phantom{000}} \mu f$$

$$C_{AB} = \boxed{\phantom{000}} \mu f$$

۱۱- مقدار ظرفیت معادل را از رابطه  $C_T = \frac{C}{n}$  محاسبه کنید.

۱۲- از مقادیر به دست آمده چه نتیجه ای می گیرید؟ آیا مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر محاسبه شده مطابقت دارد؟ شرح دهید.

## ب محاسبه و اندازه گیری ولتاژ خازن

۱- مدار شکل ۶۸-۸ را روی برد ببندید.

تذکر: از ولت متر عقربه ای یا دیجیتالی با حوزه کار حداقل ۵ ولت استفاده کنید.

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.

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}}$$

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.

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}}$$

$$V_{C_3} = \boxed{\phantom{000}}$$

۴- از مقایسه مقادیر به دست آمده با ولتاژ منبع تغذیه چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ سؤال





## پاسخ سؤال

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.

۶- آیا مقادیر محاسبه شده با مقادیر اندازه گیری شده مطابقت دارد؟ شرح دهید.

۷- سه خازن  $10\mu F$  را مطابق شکل ۸-۶۹ بصورت سری اتصال دهید و ولتاژ دو سر هر یک را به طور جداگانه اندازه بگیرید.

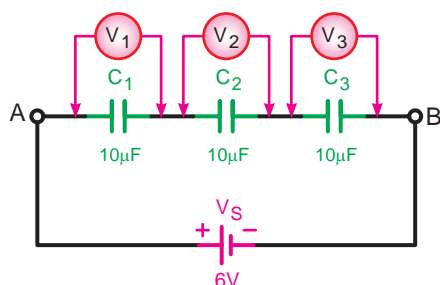
$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}}$$

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}}$$

$$V_{C_3} = \boxed{\phantom{000}}$$

۸- از مقادیر اندازه گیری شده چه نتیجه ای می گیرید؟

شرح دهید.

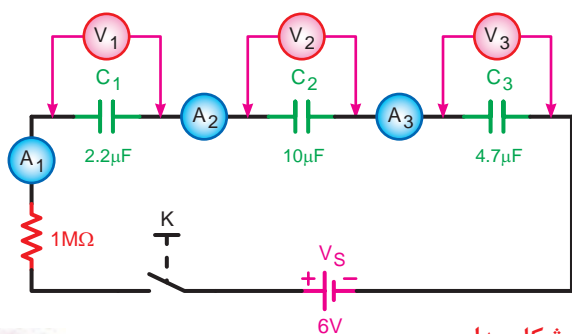


شکل ۸-۶۹

## پ مدارهای dc خازنی مشاهده و اندازه گیری جریان در



الف - شکل واقعی



ب - شکل مداری

شکل ۸-۷۰

### تذکر مهم:

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.



۱- در ابتدا همه خازن ها را به کمک یک قطعه سیم

دشارژ کنید.

۲- مدار شکل ۸-۷۰ را روی بردبرد ببندید.

		۶ ثانیه	۱۲ ثانیه	۱۸ ثانیه	۲۴ ثانیه	۳۰ ثانیه	۳۶ ثانیه	۴۲ ثانیه
وصل	$V_1$							
کلید K	$A_1$							
وصل	$V_2$							
کلید K	$A_2$							
وصل	$V_3$							
کلید K	$A_3$							
وصل								
کلید K								

۳- پس از وصل کلید منبع تغذیه صفحه نمایش آمپرمترها و ولت مترهای دیجیتالی را مشاهده کنید و ولتاژ دو سر هر خازن و جریان عبوری از مدار را پس از گذشت هر ۵ ثانیه اندازه بگیرید و یادداشت کنید. این کار را تا ثانیه ۴۲ برای هر خازن بطور جداگانه ادامه دهید.

### نکته مهم:

توصیه می شود این آزمایش را در دو مرحله انجام دهید یک بار برای خواندن مقادیر جریان ها و بار دیگر برای خواندن ولتاژها



۴- در صورتی که موفق به انجام آزمایش به صورت کامل نشدید لازم است خازن ها را از مدار جدا و آن ها را دشارژ کنید. سپس مجدداً مدار را اتصال دهید و مراحل آزمایش را از ابتدا تکرار کنید.

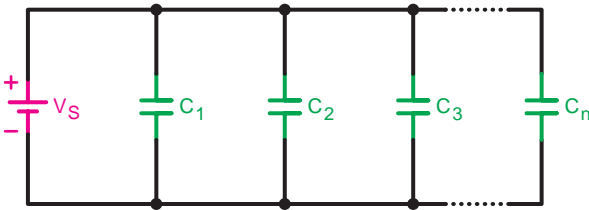
### پاسخ سؤال های



- ۵- از مقایسه جریان آمپرمترها در لحظات مختلف چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.
- ۶- تغییرات جریان در آمپرمترها در ابتدا و انتهای آزمایش چگونه است؟ چرا؟ شرح دهید.
- ۷- تغییرات ولتاژ در ولت مترها در طول انجام آزمایش چگونه بوده است؟ چرا؟ شرح دهید.
- ۸- از مقایسه مقادیر ولتاژها در حالت پایدار مدار چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.
- ۹- آیا مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر محاسبه شده مطابقت دارد؟
- ۱۰- با توجه به مقادیر ولتاژ و جریان اندازه گیری شده آیا می توانید منحنی شارژ خازن را رسم کنید؟ شرح دهید؟

## ۸-۱۱-۲- اتصال موازی خازن ها

هرگاه دو یا  $n$  خازن مطابق شکل ۸-۷۰ به یکدیگر وصل شوند. این اتصال را «موازی» می گویند.  
اتصال موازی خازن ها مشابه مقاومت ها است.



شکل ۸-۷۰

### - عامل مشترک مدار

همان گونه که در مدارهای مقاومتی موازی بیان شد و در شکل ۸-۷۱ نیز مشاهده می شود، ولتاژ برای تمام عناصر در مدارهای موازی یکسان است پس برای مدارهای خازنی موازی نیز می توانیم بنویسیم:

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

### - عامل غیرمشترک مدار

در مدار موازی شکل ۸-۷۲ جریان یا به عبارت دیگر بار الکتریکی  $Q$  به نسبت ظرفیت خازن ها در بین شاخه ها تقسیم می شود. بنابراین می توانیم بنویسیم:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

### - ظرفیت خازن معادل مدار

خازنی را که میتواند جایگزین تمام خازن های موجود در مدار باشد، خازن معادل می گویند. شکل ۸-۷۳ و مقدار ظرفیت خازن معادل از روابط زیر قابل محاسبه است:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

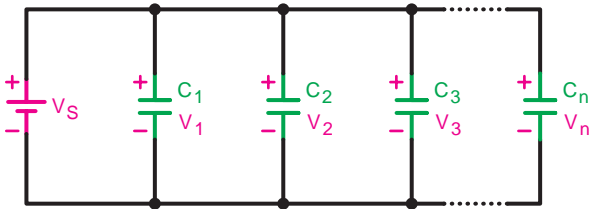
مقدار بار هر خازن  $Q = C.V$  در رابطه فوق قرار می دهیم.

$$C_T V_T = C_1 V_1 + C_2 V_2 + C_3 V_3 + \dots + C_n V_n$$

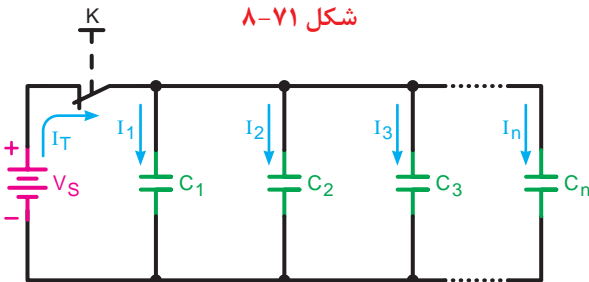
چون:  
 $V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$   
از ولتاژها می توانیم فاکتور بگیریم و رابطه را ساده کنیم.

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

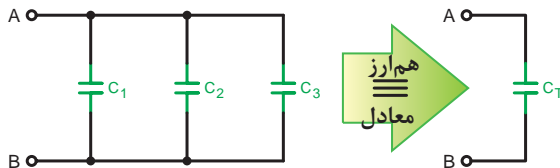
رابطه نهایی ظرفیت خازن معادل در مدارهای موازی عکس مقاومت های موازی است.



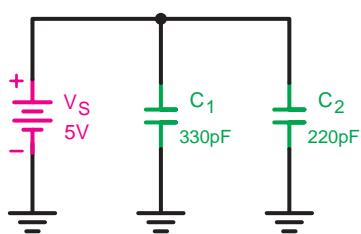
شکل ۸-۷۱



شکل ۸-۷۲



شکل ۸-۷۳



شکل ۸-۷۴

تذکر مهم:

مقدار ظرفیت خازن معادل از ظرفیت هر یک از خازن های موجود در مدار بیشتر است.



مثال: ظرفیت خازن معادل شکل ۸-۷۴ چند پیکو فاراد

است؟

حل:

$$V_s = V_1 = V_2 = 5V$$

$$C_T = C_1 + C_2 = 33 \cdot pf + 22 \cdot pf = 55 \cdot pf$$

- حالت خاص:

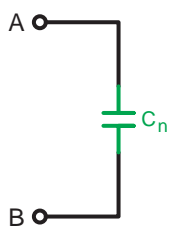
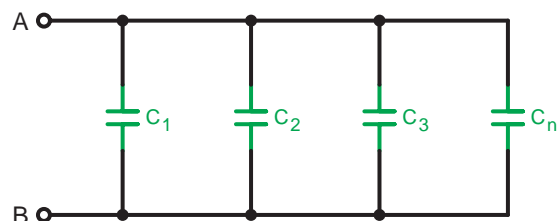
هرگاه (n) خازن مساوی به صورت موازی اتصال یابند

شکل ۸-۷۵ ظرفیت خازن معادل از رابطه زیر به دست می آید.

C - ظرفیت هر خازن

n - تعداد خازن ها

$$C_T = n.C$$



$$(C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_n)$$

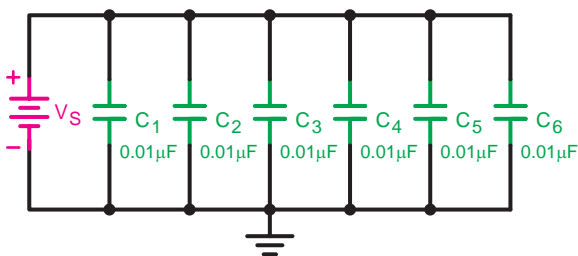
شکل ۸-۷۵

مثال: ظرفیت خازن معادل شکل ۸-۷۶ چند میکرو فاراد

استر؟

حل: چون خازن ها مساوی هستند. پس:

$$C_T = n.C = (6)(0.01 \mu f) = 0.06 \mu f$$



شکل ۸-۷۶

## عملیات کارگاهی (کار عملی ۸)



ساعت آموزشی		
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)	۱ دستگاه
۲- آوومتر عقربه‌ای	۱ دستگاه
۳- آوومتر دیجیتالی	۱ دستگاه
۴- بردبرد آزمایشگاهی	۱ عدد
۵- LC متر	۱ عدد
۶- مقاومت $R = 1M\Omega (1W)$	۱ عدد
۷- خازن‌ها	
$C_1 = 2/2\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت	۱ عدد
$C_2 = 10\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت	۳ عدد
$C_3 = 4/7\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت	۱ عدد
۸- باتری ۱/۵ ولتی	۴ عدد
۹- سیم چین	۱ عدد
۱۰- سیم لخت کن	۱ عدد
۱۱- سیم تلفنی	۰/۵ متر

**تذکر:** در صورت کم بودن زمان اجرای آزمایش و یا تجهیزات آزمایشگاهی از انجام مراحل که با علامت (\*) مشخص شده اند خودداری کنید.



برای اندازه گیری ولتاژ و جریان عناصر مدار می توانید از یک آوومتر دیجیتالی یکبار به صورت ولت متری و بار دیگر به صورت آمپرمتري به طور جداگانه استفاده کنید.



**توجه**

## الف اندازه گیری و محاسبه ظرفیت خازن معادل

### مراحل اجرای آزمایش

جدول ۸-۸

میزان اختلاف	مقدار اندازه گیری شده	مقدار نوشته شده	خازن

۱- هر یک از خازن های  $C_1$  تا  $C_4$  را با توجه به مقادیری که روی آن ها نوشته شده با LC متر اندازه گیری نموده و مقادیر را در جدول ۸-۸ یادداشت کنید.

۲- در صورتی که بین مقدار اندازه گیری 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 ۸-۷۷ 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.

$$C_{AB} = \boxed{\phantom{000}} \mu f \quad (\text{اندازه گیری})$$

۴- مقدار ظرفیت معادل را از رابطه  $C_T = C_1 + C_2 + C_3$  محاسبه کنید.

$$C_{AB} = \boxed{\phantom{000}} \mu f \quad (\text{محاسبه})$$

۵- آیا مقدار اندازه گیری شده و محاسبه شده با هم مطابقت دارد؟ چرا؟ شرح دهید.

۶- خازن  $C_4 = 10 \mu f$  را مطابق شکل ۸-۷۸ به مدار اضافه کنید و سپس ظرفیت خازن معادل را با استفاده از متراندازه بگیرید.

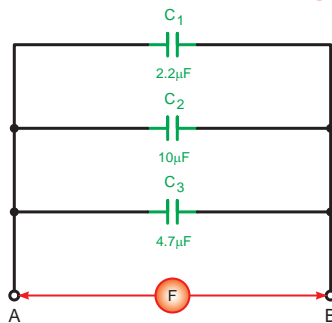
$$C_{AB} = \boxed{\phantom{000}} \mu f \quad (\text{اندازه گیری})$$

۷- مقدار ظرفیت معادل را از رابطه  $C_T = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$  محاسبه کنید.

$$C_{AB} = \boxed{\phantom{000}} \mu f \quad (\text{محاسبه})$$

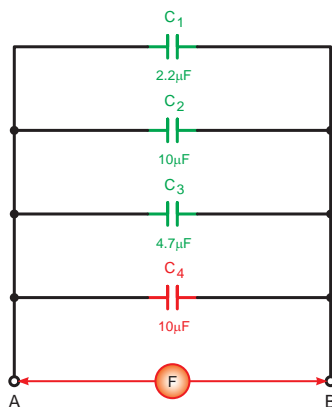


الف- شکل واقعی

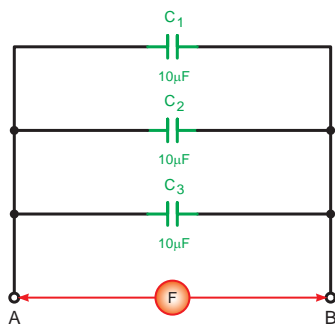


ب- شکل مداری

شکل ۸-۷۷



شکل ۸-۷۸



شکل ۷۹-۸

۸- ظرفیت خازن معادل نسبت به مرحله ۳ چه تغییری دارد؟ شرح دهید.

۹- آیا ظرفیت خازن معادل اندازه گیری شده و محاسبه شده با هم مطابقت دارد؟ در صورتی که جواب منفی است علت را شرح دهید.

۱۰- سه خازن  $10\mu F$  را مطابق شکل ۷۹-۸ به صورت موازی اتصال دهید و ظرفیت خازن معادل را با LC متر اندازه گیری کنید.

۱۱- مقدار ظرفیت معادل را از رابطه  $C_T = \frac{C}{n}$  محاسبه کنید.

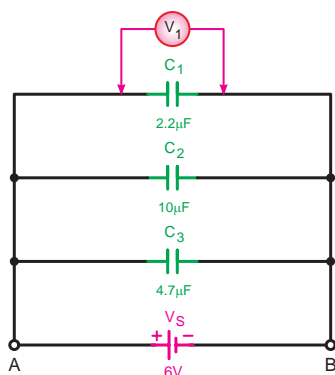
۱۲- از مقادیر به دست آمده چه نتیجه ای می گیرید؟ آیا مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر محاسبه شده مطابقت دارد؟ شرح دهید.

۱۲- از مقادیر به دست آمده چه نتیجه ای می گیرید؟ آیا مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر محاسبه شده مطابقت دارد؟ شرح دهید.

۱۲- از مقادیر به دست آمده چه نتیجه ای می گیرید؟ آیا مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر محاسبه شده مطابقت دارد؟ شرح دهید.



الف- شکل واقعی



شکل ۸۰-۸

ب- شکل مداری

## ب محاسبه و اندازه گیری ولتاژ خازن

۱- مدار شکل ۸۰-۸ را روی بردبرد ببندید.

تذکر: از ولت متر عقربه ای یا دیجیتالی با حوزه کار حداقل ۵ ولت استفاده کنید. (شکل ۸۰-۸)

۲- کلید منبع تغذیه را وصل کرده و پس از سپری شدن مدت زمان ده ثانیه ولتاژ دو سر خازن  $C_1$  را اندازه گیری کنید.

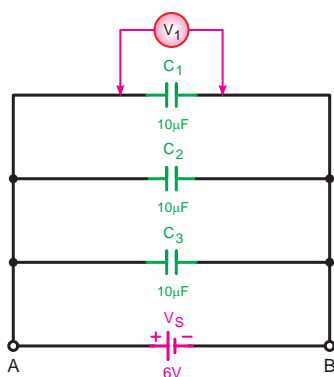
۲- کلید منبع تغذیه را وصل کرده و پس از سپری شدن مدت زمان ده ثانیه ولتاژ دو سر خازن  $C_1$  را اندازه گیری کنید.

## پاسخ سؤال‌های

-۴

-۵

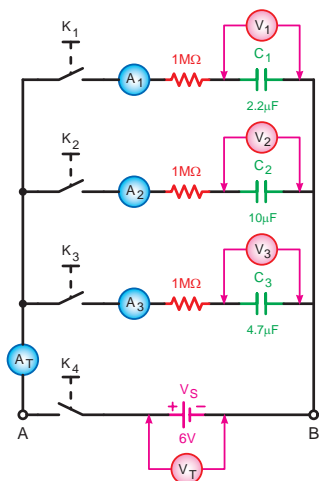
-۶



شکل ۸-۸۱

## پاسخ سؤال

-۸



شکل ۸-۸۲

۳- منبع تغذیه را خاموش کنید و سپس ولت متر را

یکبار در دو سر خازن  $C_p$  و بار دیگر در دو سر خازن  $C_p$  اتصال دهید سپس با وصل کلید منبع تغذیه ولتاژ دو سر هر یک را مشابه مرحله ۲ اندازه گیری کنید.

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

۴- از مقایسه مقادیر بدست آمده با ولتاژ منبع تغذیه چه

نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

۵- با توجه به مقادیر معلوم آیا ولتاژ دو سر هر خازن را

می توانید محاسبه کنید؟ شرح دهید.

۶- در صورت محاسبه ولتاژ خازن ها آیا مقادیر محاسبه

شده با مقادیر اندازه گیری شده مطابق دارد؟ شرح دهید.

۷- سه خازن  $10 \mu\text{f}$  را مطابق شکل ۸-۸۱ به صورت

موازی اتصال دهید و ولتاژ دو سر هر یک را به طور جداگانه اندازه بگیرید.

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

۸- از مقادیر اندازه گیری شده چه نتیجه ای می گیرید؟

شرح دهید.

## پ مشاهده و اندازه گیری جریان در مدارهای dc خازنی

۱- در ابتدا همه خازن‌ها را به کمک یک قطعه سیم

دشارژ کنید.

۲- مدار شکل ۸-۸۲ را روی بردبرد ببندید و کلید  $K_p$  را

در حالت وصل قرار دهید.



جدول ۸-۹

		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 $K_4$								

۳- با وصل کلید  $K_1$  جریان عبوری و ولتاژ دو سر خازن  $C_1 = 2/2 \mu f$  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 ۸-۹ یادداشت کنید.

۵- مراحل فوق را به طور جداگانه و با وصل کلیدهای  $K_2$  و  $K_3$  از ابتدا تکرار کنید و مقادیر اندازه گیری شده را در جدول ۸-۹ ثبت کنید.

۶- منبع تغذیه و همه کلیدها را قطع نموده و خازن ها را از مدار جدا کرده و دشارژ کنید و سپس آن ها را در جای خود قرار دهید.

۷- مطابق شکل ۸-۸۲ 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 \* و در اختیار داشتن یک کرومتر پس از گذشت هر ۶ ثانیه مقادیر ولتاژ کل ( $V_T$ ) و جریان کل ( $A_T$ ) مدار را اندازه گیری نموده و در جدول ۸-۹ یادداشت کنید.

۱۰- از مقایسه مقادیر اندازه گیری شده چه نتیجه ای می گیرید؟

۱۱- مقدار بار کل مدار را از رابطه  $Q_T = C_T \cdot V_T$  محاسبه کنید.

۱۲- آیا نتایج اندازه گیری شده با مقادیر محاسبه شده مطابق دارد؟ شرح دهید.

## پاسخ سؤال های



۱۰-

۱۱-

۱۲-

۱۳-

### ۳-۱۱-۸- اتصال ترکیبی خازن ها:

به مدارهایی که نحوه اتصال خازن ها ترکیبی از اتصالات سری و موازی است مدار «ترکیبی» یا «مختلط» گفته می شود. برای حل این مدارها با توجه به نوع مدارها باید برای هر قسمت به طور جداگانه روابط سری یا موازی را بکار برد.

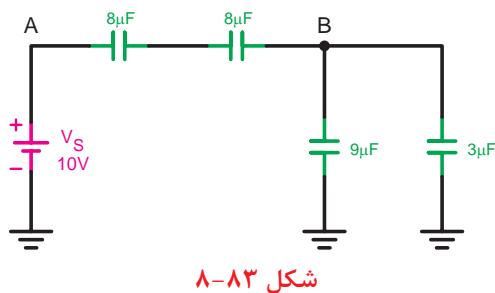
**مثال:** ظرفیت خازن معادل مدار شکل ۸-۸۳ را حساب

کنید.

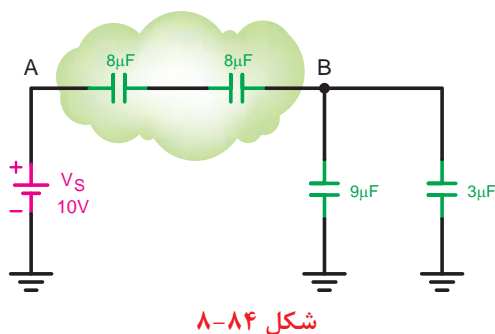
**حال:** خازن های موجود بین گروه های A و B به صورت

سری و خازن های بین گره های B و C به شکل موازی قرار دارند که در نهایت مجموعه خازن های بین گره های A و B با خازن های بین گره های B و C به صورت سری با یکدیگر قرار می گیرند.

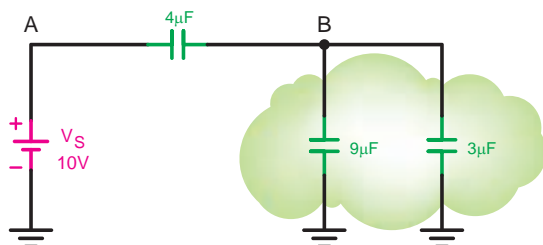
$$C_{TAB} = \frac{C}{n} = \frac{8}{2} = 4\mu f$$



شکل ۸-۸۳

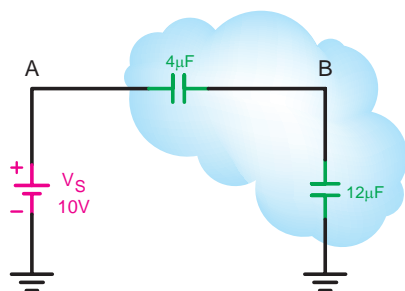


شکل ۸-۸۴



شکل ۸-۸۵

$$C_{TBG} = 9 + 3 = 12\mu f$$



شکل ۸-۸۶

$$C_T = \frac{C_{TAB} \times C_{TBG}}{C_{TAB} + C_{TBG}}$$

$$C_T = \frac{4 \times 12}{4 + 12} = \frac{48}{16} = 3\mu f$$

مثال:

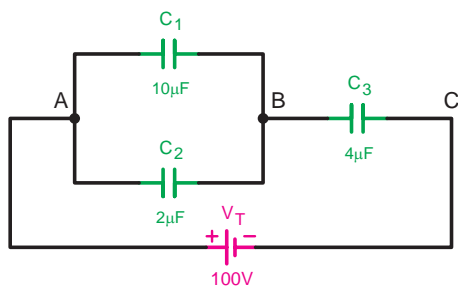
در مدار شکل ۸-۸۷ مطلوب است:

الف - ظرفیت خازن معادل

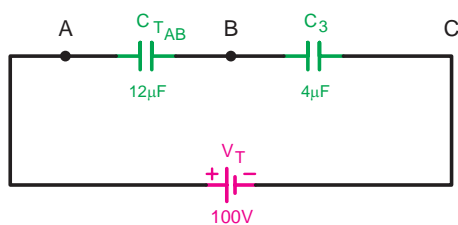
ب - بار الکتریکی ذخیره شده در هر خازن

ج - ولتاژ دو سر هر خازن

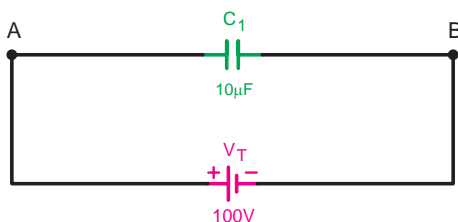
حل:



شکل ۸-۸۷



شکل ۸-۸۹



شکل ۸-۹۰

$$C_{TAB} = 10 + 2 = 12 \mu f$$

$$C_T = \frac{C_{TAB} \times C_r}{C_{TAB} + C_r} = \frac{12 \times 4}{12 + 4} = \frac{48}{16} = 3 \mu f$$

$$Q_T = V_T \cdot C_T = 100 \times 3 = 300 \mu C$$

$$Q_T = Q_r = 300 \mu C$$

$$V_{BC} = V_r = \frac{Q_r}{C_r} = \frac{300}{4} = 75 V$$

$$V_T = V_{AB} + V_{BC} \Rightarrow V_{AB} = V_T - V_{BC}$$

$$V_{AB} = V_1 = V_r = 100 - 75 = 25 V$$

$$Q_1 = V_1 C_1 = 25 \times 10 = 250 \mu C$$

$$Q_r = V_r C_r = 75 \times 2 = 150 \mu C$$

## عملیات کارگاهی (کار عملی ۹)



ساعت آموزشی		
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)	۱ دستگاه
۲- آوومتر عقربه‌ای	۱ دستگاه
۳- آوومتر دیجیتالی	۱ دستگاه
۴- بردبرد آزمایشگاهی	۱ عدد
۵- LC متر	۱ عدد
۶- مقاومت $R = 1M\Omega (1W)$	۱ عدد
۷- خازن‌ها	<div> <math>C_1 = 2/2\mu f</math> با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت  <math>C_2 = 10\mu f</math> با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت  <math>C_3 = 4/7\mu f</math> با حداقل ولتاژ کار ۶ ولت </div>
۸- باتری ۱/۵ ولتی	۴ عدد
۹- سیم چین	۱ عدد
۱۰- سیم لخت کن	۱ عدد
۱۱- سیم تلفنی	۰/۵ متر

**تذکر:** در صورت کم بودن زمان اجرای آزمایش و یا تجهیزات آزمایشگاهی از انجام مراحل که با علامت (\*) مشخص شده اند خودداری کنید.



برای اندازه گیری ولتاژ و جریان عناصر مدار می توانید از یک آووتر دیجیتالی یکبار به صورت ولت متری و بار دیگر به صورت آمپرمتري به طور جداگانه استفاده کنید.



**توجه**

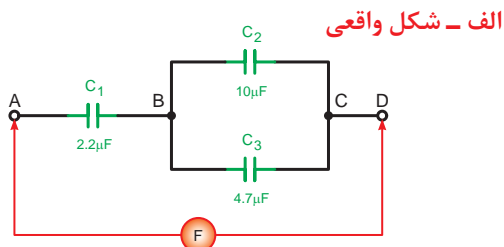


## الف محاسبه و اندازه گیری ظرفیت خازن معادل

### مراحل اجرای آزمایش:

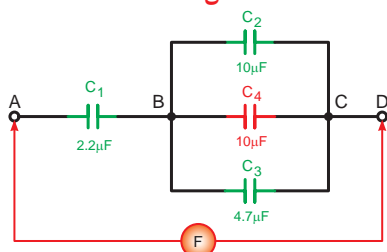
۱- مدار شکل ۸-۹۱ را روی بردبرد اتصال دهید و با استفاده از متر ظرفیت خازن معادل بین دو نقطه A و D را اندازه گیری کنید.

$$C_{AD} = \boxed{\phantom{000}} \mu f$$



ب - شکل مداری

شکل ۸-۹۱



شکل ۸-۹۲

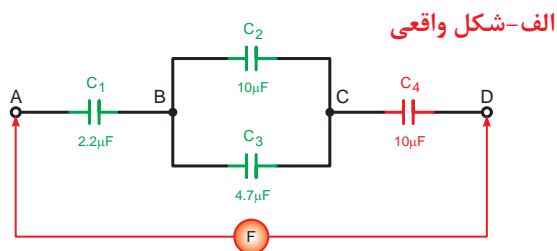
۲- خازن  $C_F = 10 \mu f$  را بین دو نقطه C و B قرار دهید و ظرفیت خازن معادل بین دو نقطه A و D را اندازه گیری کنید. (شکل ۸-۹۲)

$$C_{AD} = \boxed{\phantom{000}} \mu f$$



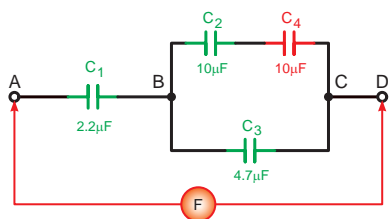
۳- خازن  $C_F = 10 \mu f$  را طبق شکل ۸-۹۳ بین دو نقطه C و D قرار دهید و ظرفیت خازن معادل دو نقطه A و D را اندازه گیری کنید.

$$C_{AD} = \boxed{\phantom{000}} \mu f$$

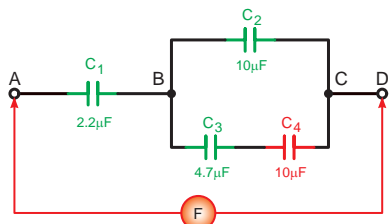


ب- شکل مداری

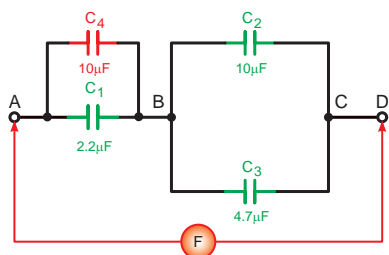
شکل ۸-۹۳



شکل ۸-۹۴



شکل ۸-۹۵



شکل ۸-۹۶

۴- خازن  $C_4$  را یکبار سری با خازن  $C_3$  و بار دیگر سری با خازن  $C_3$  قرار دهید و ظرفیت خازن معادل را به تفکیک اندازه بگیرید. (شکل ۸-۹۴ و ۸-۹۵)

$$C_{AD} = \boxed{\phantom{000}} \mu f$$

$$C_{AD} = \boxed{\phantom{000}} \mu f$$

۵- خازن  $C_4$  را مطابق شکل ۸-۹۶ موازی با خازن  $C_1$  قرار دهید و ظرفیت شکل ۸-۹۵ خازن معادل را از دو نقطه A و D اندازه بگیرید.

$$C_{AD} = \boxed{\phantom{000}} \mu f$$

### پاسخ سؤال‌های

۶-

۶- از مقادیر به دست آمده آزمایش‌های فوق چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ شرح دهید.

۷-

۷- ظرفیت خازن معادل از دو نقطه A و D شکل‌های مراحل ۴ تا ۵ را محاسبه کنید.

۸-

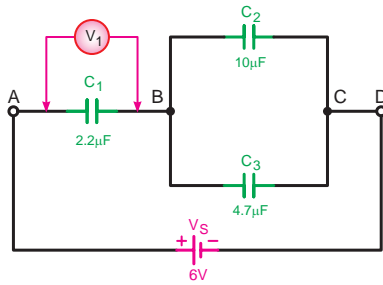
۸- آیا نتایج آزمایش‌ها با مقادیر محاسبه شده مطابقت دارد؟

۹-

۹- آیا رابطه کلی برای تعیین ظرفیت معادل مدارهای سری - موازی خازنی می‌توان ارائه کرد؟ چرا؟

ب

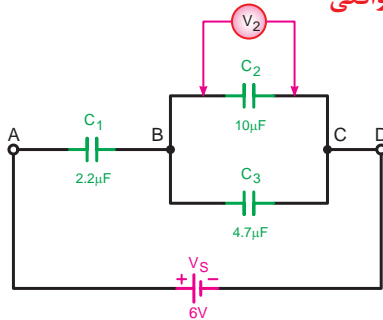
## محاسبه و اندازه گیری ولتاژ



شکل ۸-۹۷



الف- شکل واقعی



ب- شکل مداری

شکل ۸-۹۸

۱- مدار شکل ۸-۹۷ را روی بردبرد اتصال دهید.

۲- به کمک یک ولت متر دیجیتالی که روی حداقل حوزه کار ۵ ولت قرار دارد ولتاژ دو سر خازن  $C_1$  را مطابق شکل ۸-۹۵ اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

۳- محل قرار گرفتن ولت متر را مطابق شکل ۸-۹۸ به

دو نقطه B و C انتقال دهید و ولتاژ دو سر خازن های  $C_2$  و  $C_3$  را اندازه گیری کنید.

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

۴- مقدار ولتاژ دو سر هر یک از خازن ها را با کمک

روابط محاسبه کنید.

۵- با استفاده از رابطه  $Q = C.V$  مقدار بار الکتریکی

ذخیره شده در هر یک از خازن های  $C_1$  و  $C_2$  و  $C_3$  را حساب کنید.

## پاسخ سؤال های



۴-

۶-

۷-

۶- از آزمایش های انجام شده چه نتیجه ای می گیرید؟

۷- آیا مقادیر به دست آمده در آزمایش ها با مقادیر

محاسبه شده مطابقت دارد؟ تحقیق کنید.

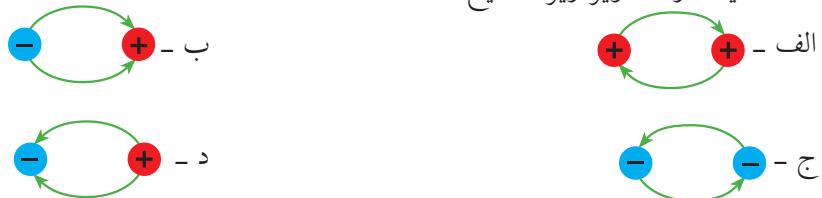


## آزمون پایانی (۸)

۱- مفهوم میدان الکتریکی برای بررسی فضای اطراف یک جسم ..... مفید است.

الف - باردار      ب - مغناطیسی      ج - نارسانا      د - رسانا

۲- کدامیک 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 می شود.

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 می کند.      ب - پس از قطع برق از بین می رود.  
ج - در صفحات آن تخلیه می شود.      د - پس از قطع برق باقی می ماند

۶- ظرفیت یک خازن عبارت است از:

الف - توانایی مقدار باری که خازن می تواند ذخیره کند.      ب - میزان سطح مشترک صفحات خازن  
ج - توانایی عمل مقدار ولتاژی که به خازن وصل می شو      د - میزان جریانی که از خازن عبول می کند.  
۷- کدام یک از روابط زیر صحیح می باشد؟

الف -  $V = \frac{C}{Q}$       ب -  $Q = \frac{V}{C}$       ج -  $V = \frac{Q}{C}$       د -  $Q = \frac{C}{V}$

۸- خازن  $100\text{ pf}$  معادل چند میکروفارو است؟

الف -  $10^8$       ب -  $10^{-5}$       ج -  $10^{10}$       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

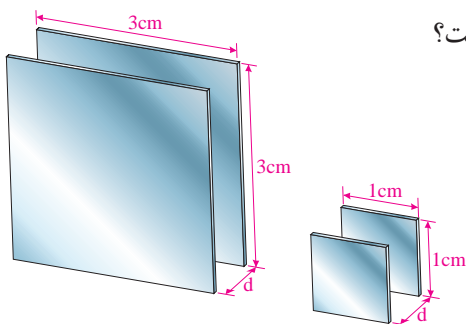
۱۱- در شکل ۸-۹۷ ظرفیت خازن (الف) چند برابر خازن (ب) است؟

ب - ۳

الف -  $\frac{1}{3}$

د -  $\frac{1}{2}$

ج - ۹



شکل ۸-۹۹

۱۲- نسبت ظرفیت خازن (ب) نسبت به ظرفیت خازن (الف) شکل ۸-۹۹ در صورتی که سطح صفحات برابر و جنس

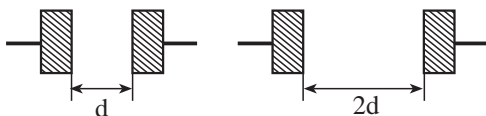
دی الکتریک یکسان باشد چقدر است؟

ب -  $\frac{1}{2}$

الف - ۱۶

د - ۲

ج - ۴



شکل ۸-۱۰۰

۱۳- هرچه ضریب دی الکتریک ماده عایق به کار رفته در خازن زیادتر باشد ظرفیت خازن .....

الف - کمتر می شود.      ب - زیادتر می شود.

ج - تغییر نمی کند.      د - با توان دو تغییر می کند.

۱۴- سرعت حرکت الکترون ها برای مدار خازنی در لحظه اول وصل کلید ..... می باشد.

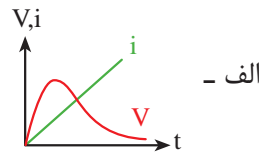
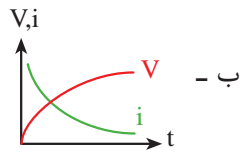
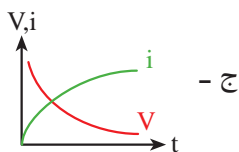
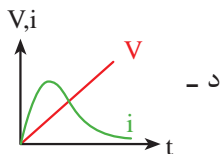
الف - سریع      ب - آهسته      ج - متوسط      د - اول آهسته و سپس سریع

۱۵- علت استفاده از مقاومت سری در مسیر خازن ها 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 ناشی خازن باعث می شود تا:

الف - ظرفیت واقعی خازن از ظرفیت نامی آن بیشتر باشد

ب - ظرفیت واقعی خازن از ظرفیت نامی آن کم تر باشد

ج - ظرفیت واقعی خازن با ظرفیت نامی آن برابر باشد.

د - تحمل ولتاژ کار خازن افزایش یابد.



۱۸- از تانتالیوم در کدامیک از خازن های زیر استفاده می شود؟

الف - کاغذی      ب - سرامیکی      ج - میکا      د الکترولیتی

۱۹- از محلول مومی شکل فنولیک در کدامیک از خازن های زیر استفاده می شود؟

الف - کاغذی      ب - سرامیکی      ج - میکا      د الکترولیتی

الف - الکترولیتی      ب - میکا      ج - سرامیکی      د - کاغذی

۲۰- جنس صفحات کدامیک از خازن های زیر از جنس آلومینیومی نمی باشد؟

الف - کاغذی      ب - میکا      ج - سرامیکی      د الکترولیتی

۲۱- خازن های شکل ۸-۱۰۰ از چه نوعی است؟

الف - کاغذی      ب - میکا

ج - الکترولیتی      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 سانتیگراد را ..... گویند.

الف - تلرانس      ب - ظرفیت      ج - ضریب حرارتی      د واریابل

۲۴- کدامیک 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  $\frac{1}{\sqrt{3}}$

۲۶- مشخصات خازن شکل ۸-۱۰۱ کدام است؟

الف -  $3/9\text{kpf} \pm 10\%$       ب -  $3/9\text{kpf} \pm 5\%$

ج -  $390\text{kpf} \pm 10\%$       د -  $390\text{kpf} \pm 5\%$

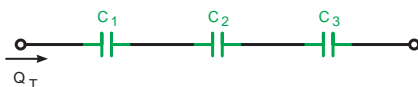
۲۷- کدام یک از روابط زیر بار الکتریکی خازن های  $C_1$  و  $C_2$  و  $C_3$  را نشان می دهد؟

الف -  $Q_1 > Q_2 > Q_3$       ب -  $Q_1 < Q_2 < Q_3$

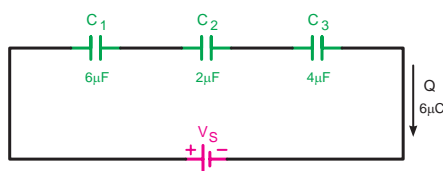
ج -  $Q_1 = Q_2 = Q_3$       د -  $Q_1 > Q_2, Q_2 < Q_3$



شکل ۸-۱۰۱



شکل ۸-۱۰۲

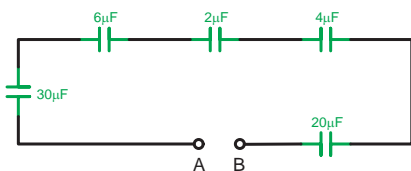


شکل ۸-۱۰۳

۲۸- ولتاژ دو سر خازن  $C_2$  در مدار شکل ۸-۱۰۳ چند ولت است؟

الف - ۲۴      ب - ۰/۷

ج - ۱/۵      د - ۱/۲



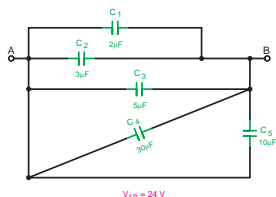
شکل ۸-۱۰۴

۲۹- ظرفیت خازن معادل  $C_T$  شکل ۸-۱۰۴ چند میکروفاراد است؟

- الف -  $\frac{1}{90}$   
 ب - ۳  
 ج - ۹۰  
 د -  $\frac{1}{3}$

۳۰- مقدار بار الکتریکی خازن  $C_p$  در شکل ۸-۱۰۵ چند میکروکولن است؟

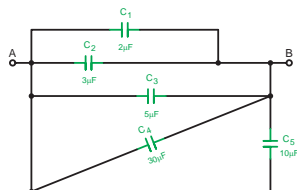
- الف - ۷۲  
 ب - ۰/۵  
 ج - ۱۸  
 د - ۲



شکل ۸-۱۰۵

۳۱- ظرفیت خازن معادل دو نقطه A و B شکل ۸-۱۰۶ چند میکروفاراد است؟

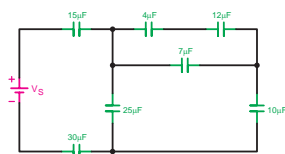
- الف - ۱۵۰  
 ب - ۵۰  
 ج - ۸۰  
 د - ۲۰



شکل ۸-۱۰۶

۳۲- ظرفیت خازن معادل شکل ۸-۱۰۷ چند میکروفاراد است؟

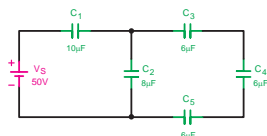
- الف - ۷/۵  
 ب - ۱۵  
 ج - ۳۰  
 د - ۴/۵



شکل ۸-۱۰۷

۳۳- ولتاژ دو سر خازن  $C_p$  شکل ۸-۱۰۸ چند ولت است؟

- الف - ۱۴/۵  
 ب - ۲۵  
 ج - ۱۲  
 د - ۱۷



شکل ۸-۱۰۸

- ۳۴- از خازن در مدارهای الکتریکی برای ذخیره انرژی الکتریکی استفاده می شود. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۳۵- ظرفیت یک خازن با فاصله بین صفحات آن رابطه مستقیم دارد. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۳۶- با افزایش سطح صفحات خازن مقاومت ناشی آن نیز افزایش می یابد. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۳۷- حداکثر ولتاژی که می توان به طور دائم به خازن اعمال کرد را ولتاژ ذخیره شده گویند. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۳۸- ظرفیت خازن معادل در مدار سری از ظرفیت خازن های 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 می آید.



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

# واحد کار مبانی الکتریسته

## فصل نهم: جریان متناوب

### هدف کلی

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:

- 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، 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  $RLC, LC, RC, LR$  سری و موازی را از نظر امپدانس، ضرایب قدرت، ضرب کیفیت، زاویه اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان، دیاگرام های برداری را 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.

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۲۰	۱۲	۳۲



۱- ظرفیت خازن به کدام یک از عوامل زیر بستگی ندارد؟

- الف - فاصله بین صفحات  
ب - جنس عایق  
ج - جنس صفحات  
د - سطح صفحات

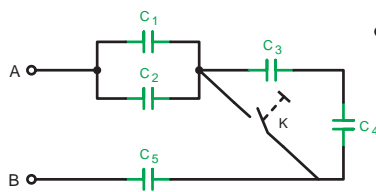
۲- کار یک خازن عبارت است از:

- الف - متوقف ساختن عبور جریان برق AC  
ب - کمک به عبور جریان برق DC  
ج - ذخیره سازی انرژی الکتریکی  
د - ذخیره ساختن گرما

۳- راکتانس خازنی یک خازن  $7900 \Omega$  است اگر ظرفیت خازن  $0.1 \mu f$  باشد فرکانس مدار چقدر است؟

- الف -  $50 \text{ HZ}$   
ب -  $3 \text{ HZ}$   
ج -  $100 \text{ HZ}$   
د -  $200 \text{ HZ}$

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.

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5$$

شکل ۹-۱

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 -  $22 \mu f$

۱۰- فرکانس برق شبکه ایران چند هرتز است؟

- الف -  $50$   
ب -  $100$

- د -  $0.2$

- ج -  $0.1$

122

- د -  $1200 \text{ Pf}$

- ج -  $1/22 \text{ Pf}$

۹-۲

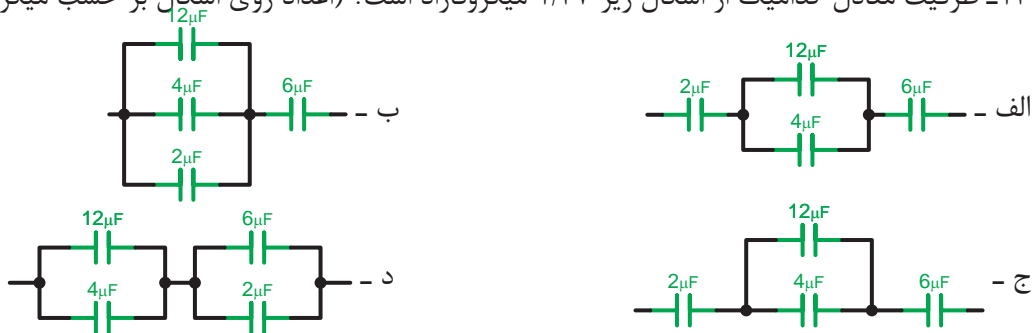
۱۱- ظرفیت خازن  $100\mu F$  معادل چند پیکوفاراد است؟

- الف -  $10^{-3}$       ب -  $10^5$       ج -  $10^8$       د -  $10^{-8}$

۱۲- اگر ده خازن  $10$  میکروفارادی را به صورت سری ببندیم ظرفیت معادل چند میکروفاراد است؟

- الف -  $1$       ب -  $100$       ج -  $10$       د -  $0.1$

۱۳- ظرفیت معادل کدامیک از اشکال زیر  $1/37$  میکروفاراد است؟ (اعداد روی اشکال بر حسب میکروفاراد)



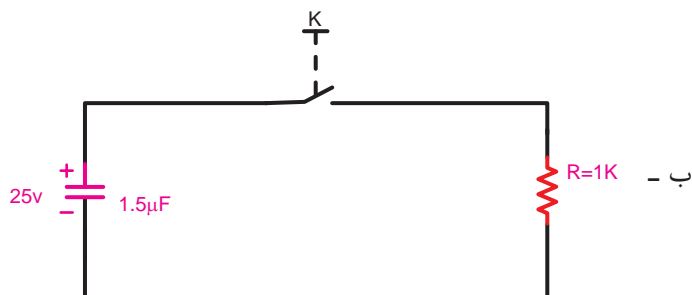
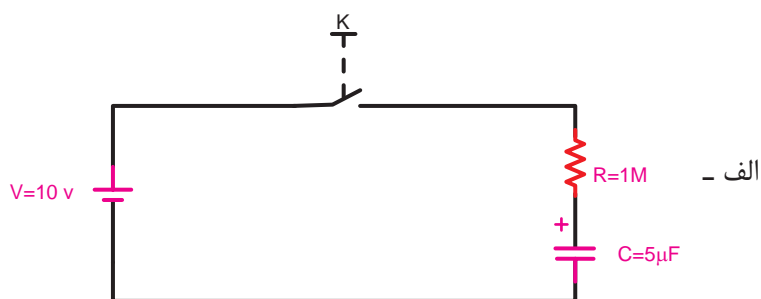
۱۴- مدار معادل سیم پیچ‌های یک موتور الکتریکی معادل کدام گزینه است؟



۱۵- توانی که مربوط به مصرف کننده‌های اهمی می‌باشد چه نام دارد؟

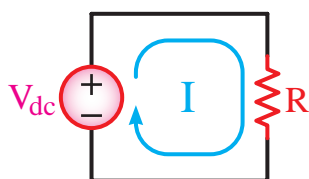
- الف - ظاهری      ب - اکتیو      ج - راکتیو      د - غیر حقیقی

۱۶- ثابت زمانی و مدت زمان شارژ و دشارژ کامل هر یک از مدارهای مقابل چند ثانیه است؟



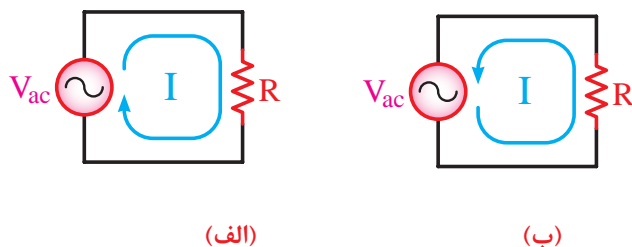
## ۹-۱- جریان متناوب چیست؟

در هر مدار الکتریکی که ولتاژ وجود داشته باشد جریان الکتریکی نیز جاری خواهد شد. اگر قطب های ولتاژ مدار هرگز تغییر نکند جهت جریان ثابت می ماند، در غیر این صورت به آن «جریان مستقیم یا dc»<sup>۱</sup> می گویند. (شکل ۹-۳)



شکل ۹-۳

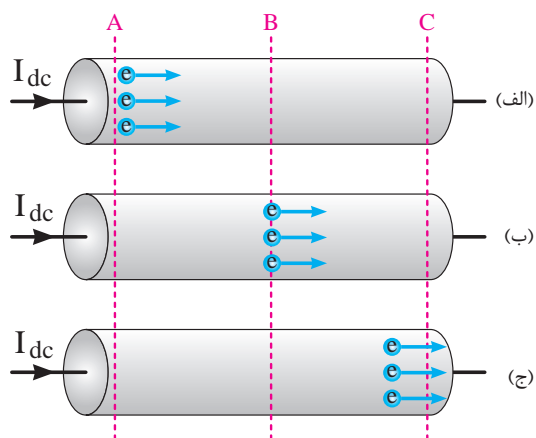
جریان الکتریکی دیگری نیز وجود دارد که همیشه در یک جهت نیست یعنی ابتدا در یک جهت جریان می یابد. سپس جهت خود را عوض می کند و در خلاف جهت حالت قبل جاری می شود. به این نوع جریان اصطلاحاً «جریان متناوب یا AC»<sup>۲</sup> می گویند. (شکل ۹-۴)



شکل ۹-۴

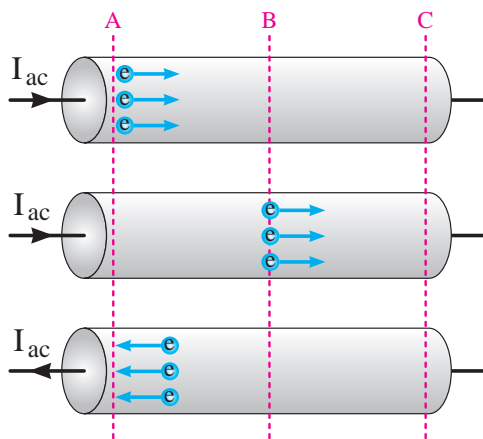
## ۹-۲- مقایسه جریان مستقیم و جریان متناوب در یک سیم

اگر جریان dc از قطعه سیمی عبور کند، جریان از قطب مثبت شروع شده و به قطب منفی ختم می شود و در این حالت یک تعداد الکترون به قطب منفی منتقل می شوند. (شکل ۹-۵)



شکل ۹-۵

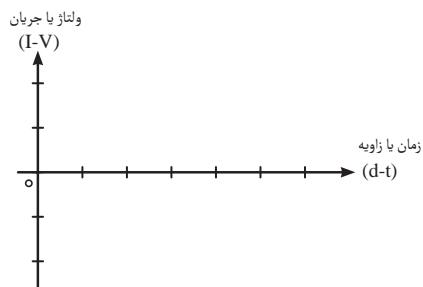
حال چنانچه جریان ac از قطعه سیم عبور کند در یک مدت زمان معین ابتدا جریان در یک مسیر حرکت می کند سپس جهت جریان عوض شده و الکترون ها در مسیر طی شده اول باز می گردند. شکل ۹-۶ نحوه حرکت الکترون ها را در جریان AC نشان می دهد.



شکل ۹-۶

1 - Direct Current - DC

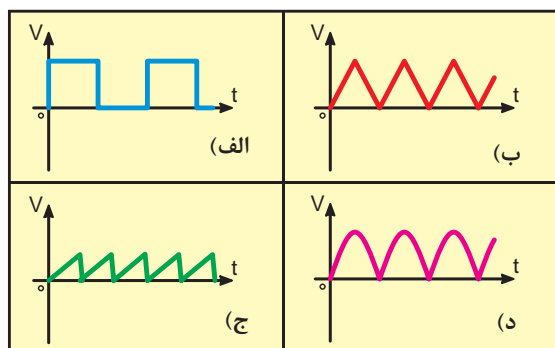
2 - Alternativ Current-AC



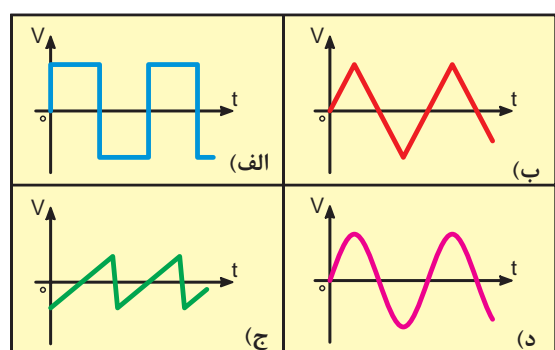
شکل ۷-۹



شکل ۸-۹



شکل ۹-۹- انواع شکل موج های dc



شکل ۱۰-۹- انواع شکل موج های ac

## ۳-۹- شکل موج ها در جریان متناوب

تغییرات ولتاژ یا جریان در مدارهای الکتریکی را به صورت «شکل موج»<sup>۱</sup> نشان می دهند. برای رسم شکل موج محورهای مختصاتی مطابق شکل ۷-۹ 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 می گویند.

برای مشاهده و اندازه گیری شکل موج های ولتاژ و جریان از وسیله های به نام «اسیلوسکوپ»<sup>۲</sup> استفاده می کنند. (شکل ۸-۹) دو نمونه اسیلوسکوپ را نشان می دهد. اسیلوسکوپ به معنای نوسان نما یا نشان دهنده شکل موج است.

از انواع شکل موج ها می توان شکل موج مربعی، مثلثی، دنداناره ای و سینوسی را نام برد. در جریان متناوب معمولاً شکل موج سینوسی از سایر انواع موج ها متداولتر است. یادآوری می شود که همه شکل موج ها قابل تبدیل به شکل موج سینوسی هستند.

بطور کلی جریان های ac و dc دارای شکل موج هستند. آن دسته از شکل موج ها را که دارای قسمت منفی نیستند موج dc و آن گروه از شکل موج ها که دارای قسمت مثبت و منفی هستند را موج ac می گویند. شکل ۹-۹ نمونه هایی از امواج dc و شکل ۹-۱۰ نمونه هایی از امواج AC را نشان می دهد.

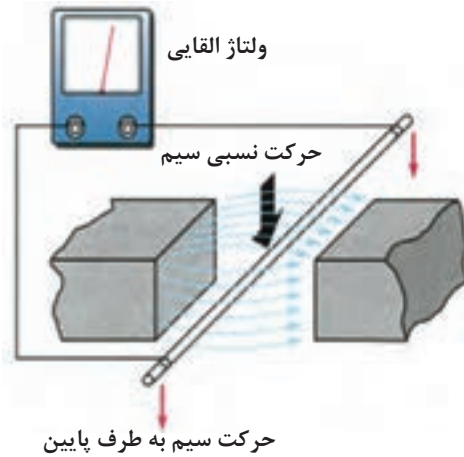
1 - Wave form

2 - Osiloscope



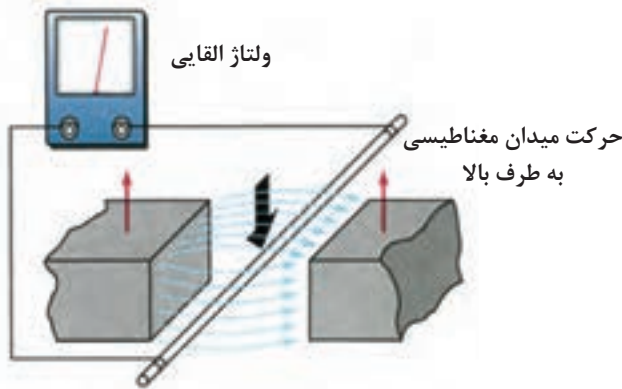
## ۹-۴- تولید جریان متناوب توسط ژنراتور

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 می آید. (شکل ۹-۱۱)



شکل ۹-۱۱- نحوه تولید جریان متناوب (حرکت سیم)

همچنین در صورتی که سیم ثابت باشد و میدان مغناطیسی به گونه ای حرکت کند و خطوط قوای مغناطیسی توسط سیم قطع شود مانند حالت قبل ولتاژ به وجود می آید. (شکل ۹-۱۲) به این ولتاژ در اصطلاح «ولتاژ القایی» می گویند.

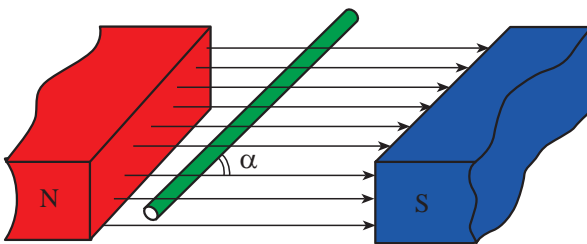


شکل ۹-۱۲- نحوه تولید جریان متناوب (حرکت میدان مغناطیسی)

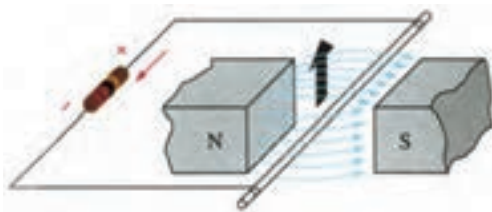
مقدار این ولتاژ به عوامل مختلفی به شرح زیر بستگی دارد:

- 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 می گیرد. (L)
- د - زاویه سیم با میدان مغناطیسی ( $\alpha$ )

هر قدر خطوط قوا بیشتر باشد، سیم سریعتر حرکت کند، طول مؤثر سیم بیشتر باشد، زاویه سیم نسبت به میدان مغناطیسی عمود باشد، مقدار ولتاژ القایی بیشتر خواهد شد. (شکل ۹-۱۳)

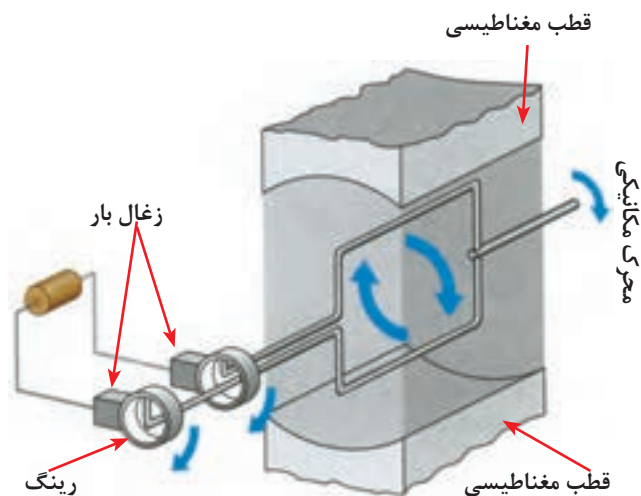


شکل ۹-۱۳- وضعیت قرار گرفتن سیم با میدان مغناطیسی



شکل ۹-۱۴- اگر مدار سیم متحرک بسته شود جریان القایی در مدار مصرف کننده جاری می شود.

اگر مدار الکتریکی سیمی که در داخل میدان مغناطیسی حرکت می کند بسته شود جریان القایی در سیم جاری خواهد شد. (شکل ۹-۱۴)



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 می رود. مجموعه تولید کننده انرژی را «مولد» می نامند.

اجزای یک مولد ساده ac به شرح زیر است:

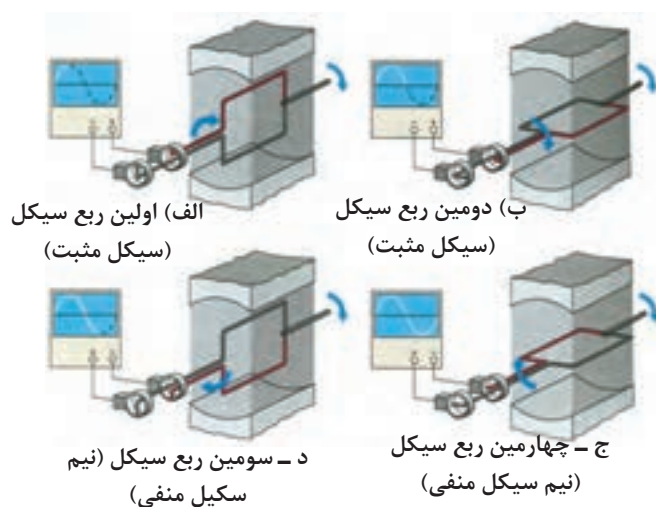
۱- قطب های مغناطیسی

۲- کلاف سیم

۳- رینگ ها<sup>۱</sup> (حلقه های لغزنده)

۴- زغال ها<sup>۲</sup>

شکل ۹-۱۵- شکل ساده یک مولد جریان متناوب به همراه بار



شکل ۹-۱۵ ساختمان ساده ای از مولد ac را نشان می دهد.

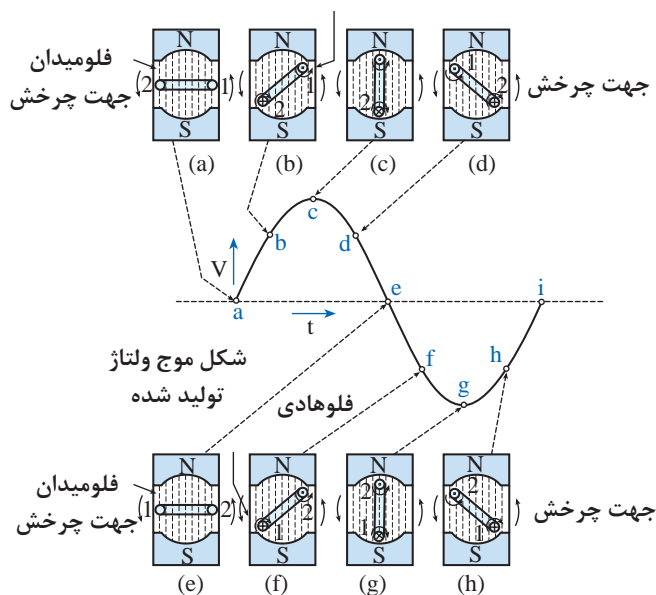
حرکت کلاف در داخل میان مغناطیسی به صورت دایره ای و متناسب با سینوس زاویه کلاف با میدان مغناطیسی است لذا شکل موجی که روی صفحه اسیلوسکوپ ظاهر می شود بصورت سینوسی خواهد بود.

شکل ۹-۱۶ وضعیت کلاف و شکل موج خروجی را در

لحظاتی که کلاف در زاویه ها  $90^\circ$ ،  $180^\circ$ ،  $270^\circ$ ،  $360^\circ$

چرخش قرار دارد نشان می دهد.

شکل ۹-۱۶- وضعیت قرار گرفتن کلاف سیم



وضعیت کلاف، میدان مغناطیسی و مقدار ولتاژ روی

شکل موج سینوسی در لحظات مختلف روی شکل ۹-۱۷

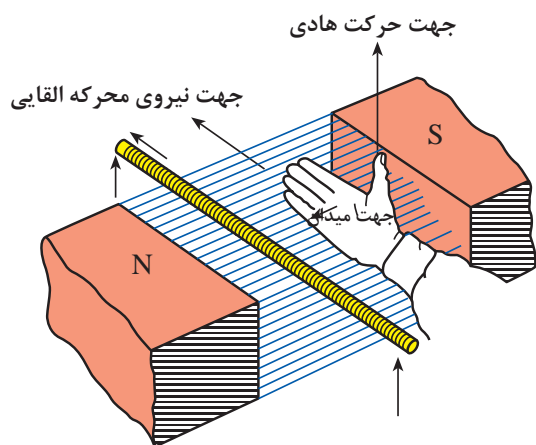
نشان داده شده است.

شکل ۹-۱۷

1 - Slip rings

2 - Brushes

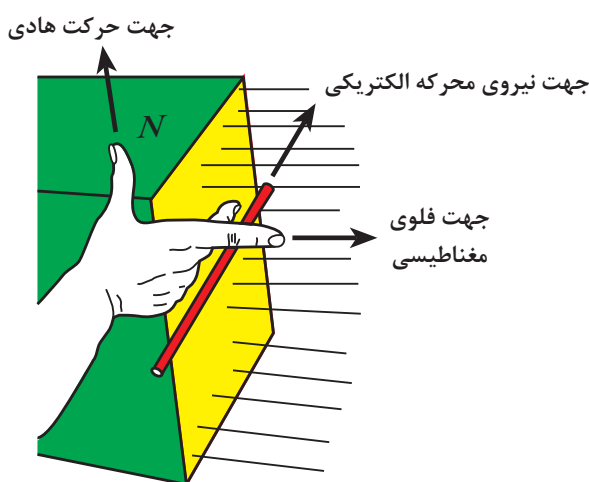
## ۹-۵- قانون دست راست در مورد ژنراتورها



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 می توانیم 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)



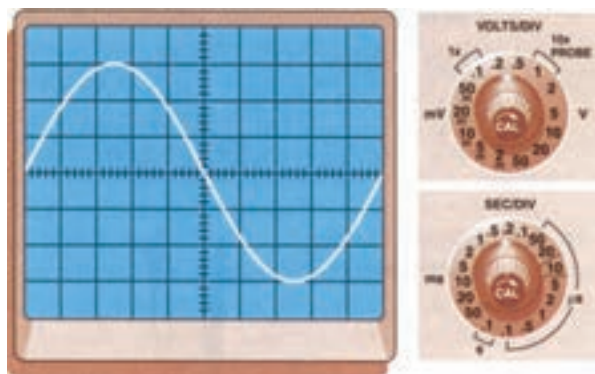
شکل ۹-۱۹- قانون دست راست (به صورت سه انگشت)

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 می کند. (شکل ۹-۱۹)

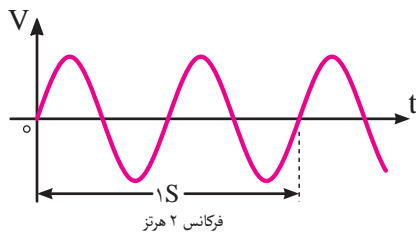
## ۹-۶- مشخصات جریان متناوب

### ۹-۶-۱- سیکل: شکل موجی که در اثر گردش

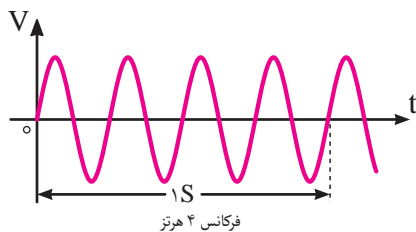
یک دور کلاف در داخل میدان مغناطیسی به وجود می آید را یک «سیکل» می گویند. (شکل ۹-۲۰)



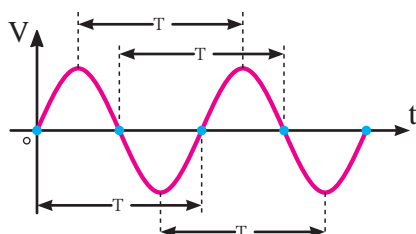
شکل ۹-۲۰- تصویر یک سیکل روی صفحه اسیلوسکوپ



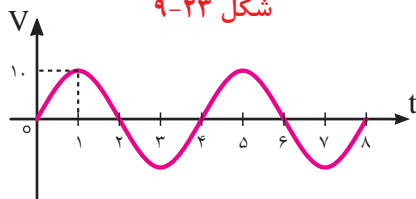
شکل ۹-۲۱



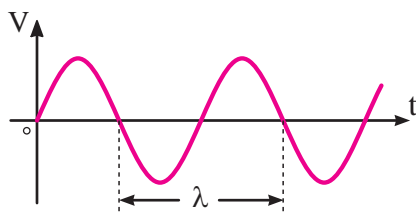
شکل ۹-۲۲



شکل ۹-۲۳



شکل ۹-۲۴



شکل ۹-۲۵

## 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.

مثال: فرکانس شکل موج داده شده در شکل ۹-۲۲ چند هرتز است؟

حل: چون چهار سیکل در مدت زمان یک ثانیه طی می‌شود پس فرکانس برابر با  $f = 4\text{Hz}$  است.

## ۹-۶-۳- زمان تناوب (T): مدت زمانی

که طول می‌کشد تا یک سیکل کامل طی شود را «زمان تناوب» یا «پریود» می‌گویند.

واحد زمان تناوب هرتز یا ثانیه (s) است. پریود و فرکانس عکس یکدیگرند.

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{یا} \quad f = \frac{1}{T}$$

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 می‌شود.

## ۹-۶-۴- طول موج (λ): مسافتی را که یک

موج در یک سیکل کامل طی کند «طول موج» می‌نامند. واحد طول موج بر حسب متر (m) است. سرعت طول موج بستگی به محیطی که در آن منتشر می‌شود دارد. طول موج را از رابطه زیر می‌توان به دست آورد.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{\text{سرعت نور}}{\text{فرکانس}} = \frac{3000000}{f}$$

## ۵-۶-۹- سرعت زاویه ای ( $\omega$ امگا):

سرعت زاویه ای عبارت است از زاویه ای که شعاع مربوط به متحرک نسبت به شعاع مبنا در عرض یک ثانیه طی می کند. شکل ۹-۲۶ واحد سرعت زاویه ای رادیان بر ثانیه است. چون یک دور چرخش داخل دایره برابر  $2\pi$  رادیان است لذا اگر متحرکی در هر ثانیه  $f$  دور بزند خواهیم داشت:

$$\omega = 2\pi f$$

مثال: سرعت زاویه ای متحرکی با فرکانس ۱۰۰ هرتز چقدر

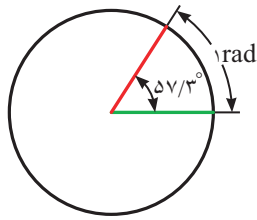
است؟

حل:

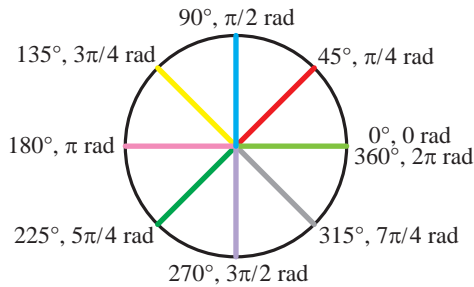
$$\omega = 2\pi f \Rightarrow 2 \times 3.14 \times 100 = 628 \text{ Rad/s}$$

شکل های ۹-۲۶ ج و ۹-۲۶ د نحوه تقسیم بندی محور افقی

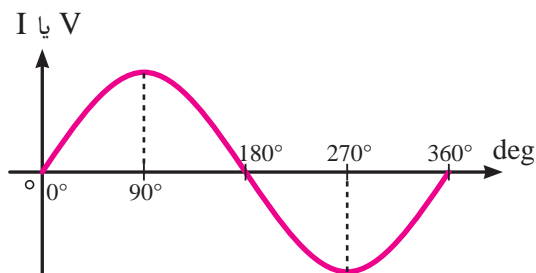
شکل موج سینوسی بر حسب درجه و رادیان را نشان می دهند.



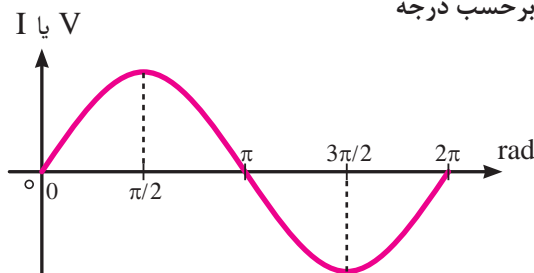
(الف)



(ب)



(ج) بر حسب درجه

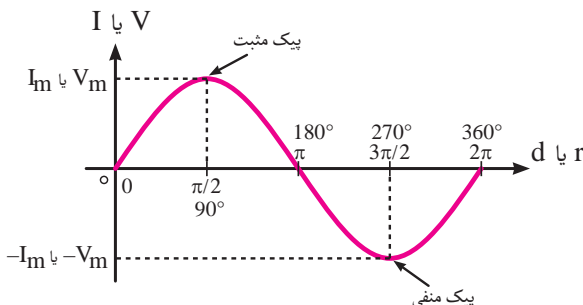


(د) بر حسب رادیان

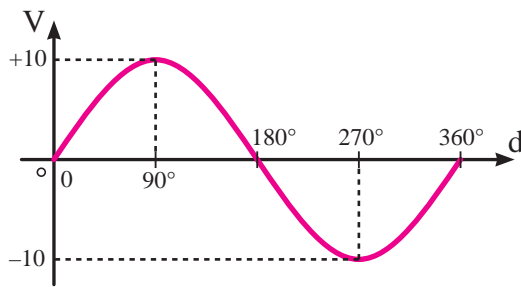
شکل ۹-۲۶

## ۶-۶-۹- مقدار پیک یا ماکزیمم (max-peak)

حداکثر مقداری که ولتاژ یا جریان سینوسی در هر نیم سیکل دارد را مقدار ماکزیمم می گویند. در شکل ۹-۲۷ نقاط پیک مثبت و منفی نشان داده شده است.



شکل ۹-۲۷



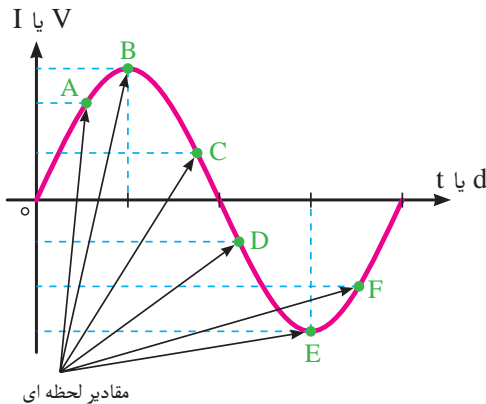
شکل ۹-۲۸

مثال: مقدار پیک شکل موج ۹-۲۸ چند ولت است و در چه زاویه ای قرار دارد؟  
 حل: مقدار ماکزیمم  $\theta = 270^\circ$  ولت و در زاویه ای  $\theta = 90^\circ$  و  $\theta = 270^\circ$  قرار دارد.

## ۹-۶-۷- دامنه: مقدار موج در هر لحظه از زمان

را اصطلاحاً دامنه یا «مقدار لحظه ای» می گویند.

در شکل ۹-۲۹ دامنه لحظه ای در نقاط A, B, C, D, E, F نشان داده شده است.



شکل ۹-۲۹

## ۹-۶-۸- مقدار متوسط (ave):

به میانگین مقادیر لحظه ای موج سینوسی در یک نیم سیکل اصطلاحاً متوسط موج می گویند. (شکل ۹-۳۰) چون در هر نیم سیکل موج سینوسی از صفر شروع شده به مقدار حداکثر (ماکزیمم) می رسد و مجدداً به صفر برمی گردد لذا مقدار میانگین یک نیم سیکل نیز چیزی بین صفر و مقدار ماکزیمم می باشد. مقدار متوسط برای نیم سیکل موج سینوسی از روابط زیر قابل محاسبه است.

$$V_{ave} = \frac{2}{\pi} \times V_m = 0.637 \times V_m$$

$$I_{ave} = \frac{2}{\pi} \times I_m = 0.637 \times I_m$$

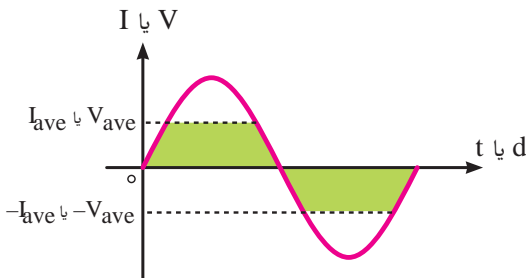
از آنجایی که هر دو نیم سیکل موج سینوسی مشابه یک-دیگر هستند و فقط در علامت مثبت و منفی تفاوت دارند به همین دلیل مقدار متوسط در یک سیکل برابر صفر است.  
 مثال: مقدار متوسط نیم سیکل موج نشان داده شده در شکل ۹-۳۱ چند آمپر است؟

حل:

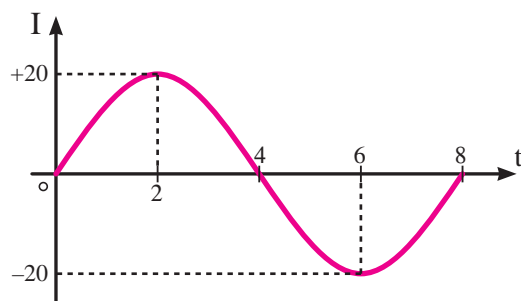
$$I_{ave} = \frac{2}{\pi} \times I_m = 0.637 \times I_m$$

$$I_{ave} = 0.637 \times 20$$

$$I_{ave} = 12.74 \text{ A}$$



شکل ۹-۳۰



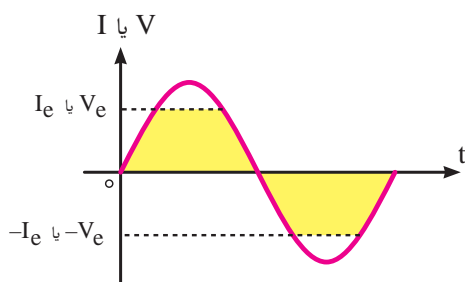
شکل ۹-۳۱

## ۹-۶-۹ مقدار مؤثر (e-eff):

مقدار مؤثر یک ولتاژ AC عبارت است از مقدار ولتاژی که در یک مدار اهمی خالص (مانند اتوی برقی) همان مقدار گرمایی را تولید می کند که یک جریان DC با همان مقدار دامنه تولید می کند. (شکل ۹-۳۲)



شکل ۹-۳۲



شکل ۹-۳۳

مقدار مؤثر یک موج سینوسی از روابط زیر قابل محاسبه

است:

$$V_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \times V_m = 0.707 \times V_m$$

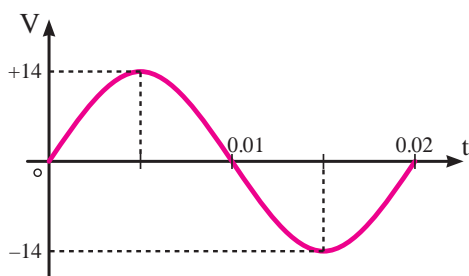
$$I_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \times I_m = 0.707 \times I_m$$

مقدار مؤثر یک موج سینوسی را با اندیس  $r_{rms}$  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:

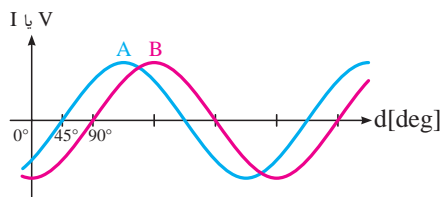
$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 \times V_m$$

$$V_e = 0.707 \times 14$$

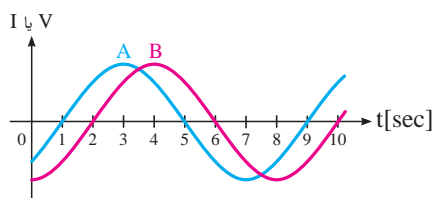
$$V_e = 9.898V$$

## ۱۰-۹-۶- فاز: کلمه یا اصطلاحی است که ارتباط

زمانی یا مکانی بین دو یا چند موج را بیان می کند.  
از این کلمه بیشتر به صورت پسوند برای بیان فاصله بین دو موج استفاده می شود.

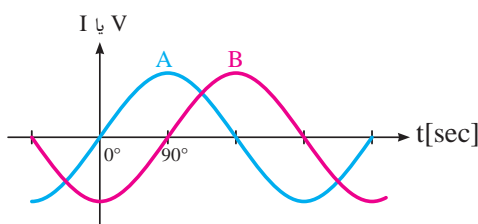


الف - موج A با B باندازه ۴۵ درجه فاصله دارد. (۴۵ درجه اختلاف فاز دارند)

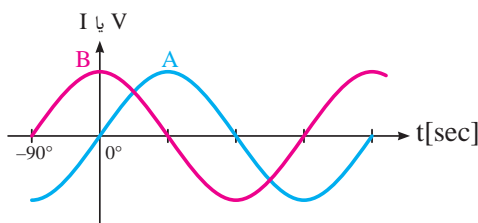


ب - موج A با B باندازه ۱ ثانیه فاصله دارد.

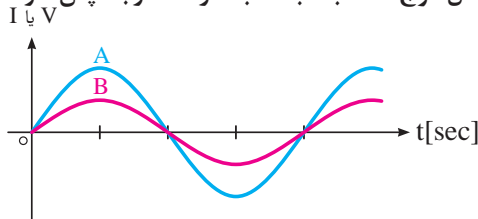
شکل ۹-۳۵



الف - شکل موج A نسبت به B باندازه ۹۰ درجه پس فاز است.



ب - شکل موج \* نسبت به A باندازه B درجه پس فاز است.



ج - شکل موج A و B با هم هم فاز هستند.

شکل ۹-۳۶

## ۱۱-۹-۶- اختلاف فاز: برای تعیین میزان

اختلاف فاز بین دو شکل موج ابتدا دو نقطه مشابه (نقطه صفر - نقطه ماکزیمم یا نقطه مینیمم) از شکل موج ها را بر حسب کمیت محور افقی با یکدیگر مقایسه می کنیم و سپس مقدار آن را با ذکر کلمه پسوند «فاز» می نویسیم. مثلاً در صورتی که شکل موجی از موج دیگر جلوتر (زودتر) شروع شده باشد اصطلاح «پیش فاز»<sup>۲</sup> و در صورتی که عقب - تر (دیرتر) شروع شده باشد کلمه «پس فاز»<sup>۳</sup> و چنانچه دو شکل کاملاً مشابه باشند کلمه «هم فاز» را به کار می بریم.

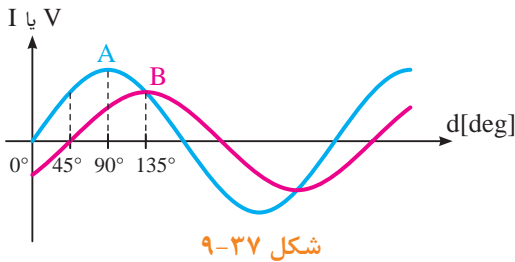
شکل (۹-۳۶)

1 - Phase

2 - Leads

3 - Lags





مثال: ارتباط فازی بین دو شکل موج A و B در شکل

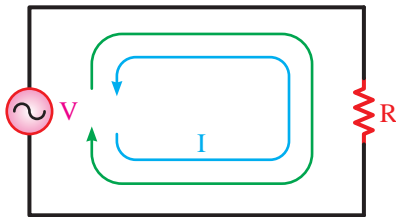
۹-۳۷ چگونه است؟

حل: شکل موج A نسبت به B به اندازه ۴۵ درجه

پیش فاز یا به عبارت دیگر شکل موج B نسبت به A به اندازه ۴۵ درجه پس فاز است.

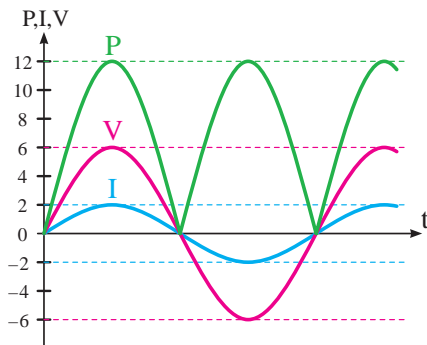
## ۹-۷- مدارهای جریان متناوب

### ۹-۷-۱- مدارهای اهمی خالص:



مدارهایی مانند شکل ۹-۳۸ را مدارهای «اهمی خالص»

می گویند. در این نوع مدارها هیچ گونه اختلاف فازی بین ولتاژ و جریان وجود ندارد و تغییراتشان مشابه یکدیگر است یعنی با هم در یک نقطه به حداقل، حداکثر و صفر می رسند.



همان طوری که می دانید توان از رابطه  $P = V \cdot I$  به

دست می آید. شکل موج های ولتاژ و جریان و توان این مدارها را در شکل ۹-۳۹ مشاهده می کنید.

در محاسبات مدارهای جریان متناوب چون با مقدار مؤثر

ولتاژ و جریان سروکار داریم برای توان مصرفی می توانیم بنویسیم:

$$P = V_e \cdot I_e \quad \text{یا} \quad P = R \cdot I_e^2 \quad \text{یا} \quad P = \frac{V_e^2}{R}$$

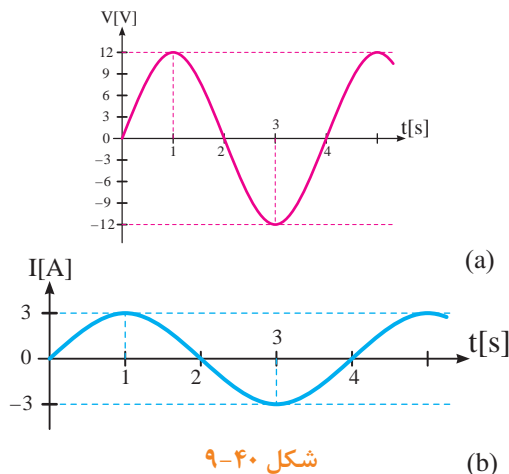
مثال: اگر ولتاژی با مقدار ماکزیمم ۱۲ ولت را به یک

مقاومت اهمی اتصال دهیم در این صورت جریان ماکزیممی برابر با ۳ آمپر از آن عبور می کند. شکل ۹-۴۰ توان مصرفی مقاومت را حساب کنید.

$$P = V_e \cdot I_e$$

حل:

$$P = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \times \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{12}{\sqrt{2}} \times \frac{3}{\sqrt{2}} = \frac{36}{2} = 18 \text{ W}$$



## 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 به خاطر وجود خاصیت خازنی، بین ولتاژ و جریان مدار ۹۰ درجه اختلاف فاز به وجود می‌آید. این اختلاف فاز به گونه‌ای 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 باز می‌گرداند. به عبارت دیگر خازن توانی را مصرف نمی‌کند. (شکل ۹-۴۲)

مقدار انرژی ذخیره شده در یک خازن را از رابطه زیر

$$W = \frac{1}{2} C V^2$$

می‌توان به دست آورد.

خازن در جریان متناوب از خود مقاومتی را نشان می‌دهد که اصطلاحاً به آن «راکتانس خازنی» می‌گویند. واحد آن بر حسب اهم است و از رابطه زیر به دست می‌آید.

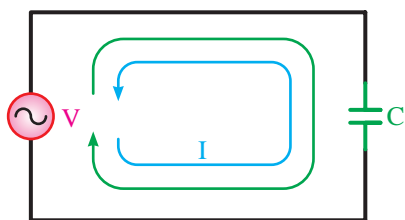
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

خاصیت مقاومتی خازن در مقابل عبور جریان از خود

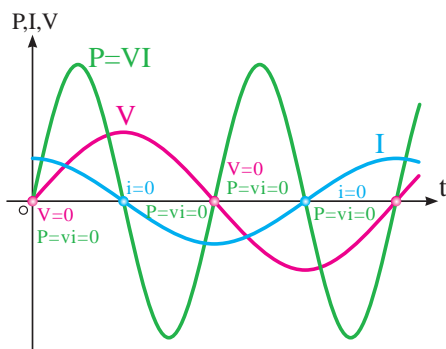
مخالفت نشان می‌دهد.

## ۹-۷-۳ مدارهای سلفی خالص:

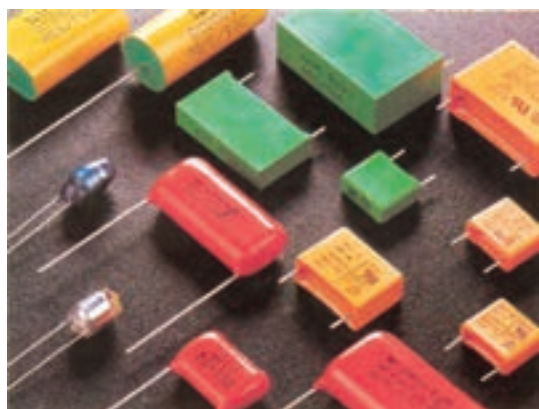
مدارهایی که مشابه شکل ۹-۴۴ هستند و از سیم پیچ (سلف) تشکیل شده‌اند باعث می‌شوند تا جریان به اندازه ۹۰ درجه از ولتاژ عقب (پس فاز) بیفتد.



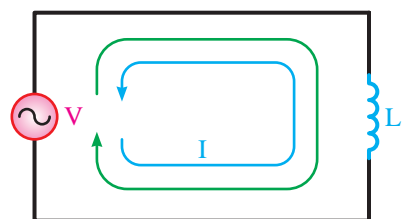
شکل ۹-۴۱- مدار خازنی خالص



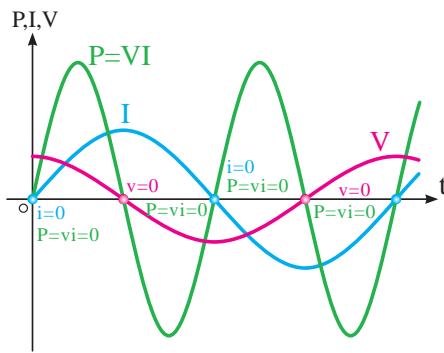
شکل ۹-۴۲



شکل ۹-۴۳- تصاویری از انواع خازن‌ها



شکل ۹-۴۴- مدار سلفی خالص



شکل ۹-۴۵- منحنی ولتاژ و جریان و توان در مدار خازنی خالص

خاصیت سلفی (اندوکتانسی) یک سیم پیچ را با حرف  $L$  نشان می دهند و آن را بر حسب هانری  $H$  می سنجند. سلف از نظر توان مصرفی مشابه خازن است چرا که مقدار انرژی دریافت شده و داده شده به شبکه آن در هر سیکل برابر است و در واقع عملاً سلف در شبکه متناوب توانی را مصرف نمی کند. (شکل ۹-۴۶)

مقدار انرژی ذخیره شده یک سلف را از رابطه زیر می توان

$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

محاسبه کرد.

سلف نیز مانند خازن در جریان متناوب از خود مقاومتی

نشان می دهد که آن را «راکتانس سلفی» می نامند. راکتانس سلفی را با  $(X_L)$  نمایش می دهند. واحد راکتانس سلفی اهم است و از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

شکل ۹-۴۶- تصاویری از انواع سلف ها را نشان می دهد.

برای به دست آوردن اندوکتانس خالص در مدارها، سلف ها را به صورت سری و موازی به کار می برند. روابط حاکم بر هر یک از حالت فوق به شرح زیر است.

### اتصال سری سلف ها:

هرگاه با دو  $n$  سلف مطابق شکل ۹-۴۷ به یکدیگر اتصال

یابند سلف معادل و راکتانس معادل مانند مقاومت های

اهمی و با استفاده از روابط زیر به دست می آید.

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

$$X_T \cdot I_T = X_{L_1} \cdot I_1 + X_{L_2} \cdot I_2 + X_{L_3} \cdot I_3 + \dots + X_n \cdot I_n$$

$$X_T \cdot I_T = I_T (X_{L_1} + X_{L_2} + \dots + X_n)$$

$$X_T = X_{L_1} + X_{L_2} + X_{L_3} + \dots + X_{L_n}$$

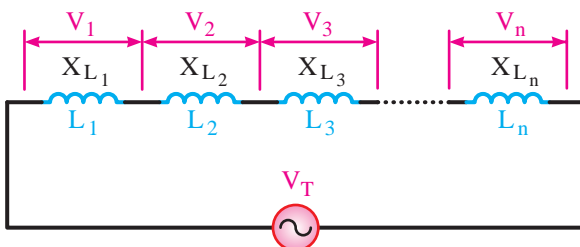
اگر به جای  $X_L$  ها مقادیر معادل آن ها را قرار دهیم

خواهیم داشت:

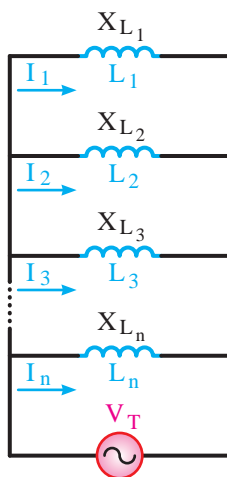
$$L_T \omega = L_1 \omega + L_2 \omega + L_3 \omega + \dots + L_n \omega$$



شکل ۹-۴۶- تصاویری از انواع سلف ها



شکل ۹-۴۷



شکل ۹-۴۸

چون  $\omega$  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.

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

$$\frac{V_T}{X_{L_T}} = \frac{V_T}{X_{L_1}} + \frac{V_T}{X_{L_2}} + \frac{V_T}{X_{L_3}} + \dots + \frac{V_T}{X_{L_n}}$$

$$X_T \frac{1}{X_{L_T}} = X_T \left( \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + \frac{1}{X_{L_3}} + \dots + \frac{1}{X_{L_n}} \right)$$

$$\frac{1}{X_{L_T}} = \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + \frac{1}{X_{L_3}} + \dots + \frac{1}{X_{L_n}}$$

اگر به جای هر  $X_{L_i}$  مقدار معادل آن یعنی  $L_i \cdot \omega$  را قرار

داریم:

$$\frac{1}{L_T \cdot \omega} = \frac{1}{L_1 \cdot \omega} + \frac{1}{L_2 \cdot \omega} + \frac{1}{L_3 \cdot \omega} + \dots + \frac{1}{L_n \cdot \omega}$$

$$\frac{1}{\omega} \cdot \frac{1}{L_T} = \frac{1}{\omega} \left( \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n} \right)$$

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

در شرایط مساوی بودن سلف ها  $L_T = \frac{L}{n}$

در شرایطی که دو سلف نامساوی باشند.  $L_T = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$

**تذکره ۲:** در صورتی که سلف ها به

صورت سری - موازی اتصال یابند برای

به دست آوردن سلف معادل می بایست

هر قسمت را با استفاده از قواعد سری یا موازی

مربوط به آن حل کنیم.



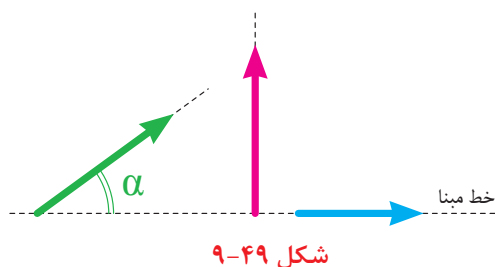
**تذکره ۱:** حالات خاصی که برای

مقاومت های سری و موازی بیان شد برای

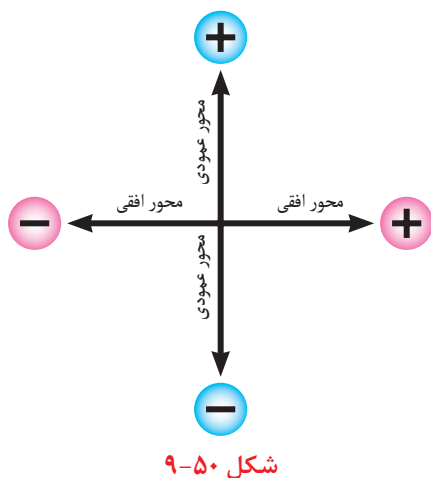
سلف ها نیز صادق است.



## ۹-۷-۴ بردار:



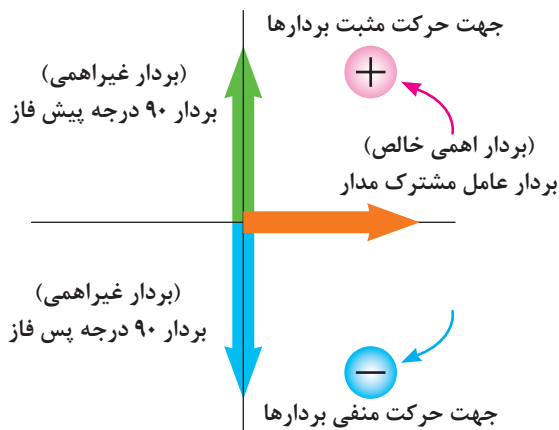
بردار پاره خطی است که دارای اندازه (طول) و جهت (فلش) است. از بردار در مدارهای الکتریکی به عنوان وسیله ای جهت نمایش و محاسبه کمیت های مختلف الکتریکی مانند ولتاژ، جریان، مقاومت و توان استفاده می شود. (شکل ۹-۴۹)



در مدارهای الکتریکی برای رسم بردار مربوط به کمیت های الکتریکی قواعد زیر را به کار می برند. برای رسم بردارها از محورهای مختصات استفاده می شود. (شکل ۹-۵۰)

کمیت های مختلف مربوط به عناصر اهمی خالص روی محور افقی و در جهت مثبت رسم می شوند.

کمیت های مختلف مربوط به عناصر غیراهمی خالص روی محور عمودی رسم می شوند.

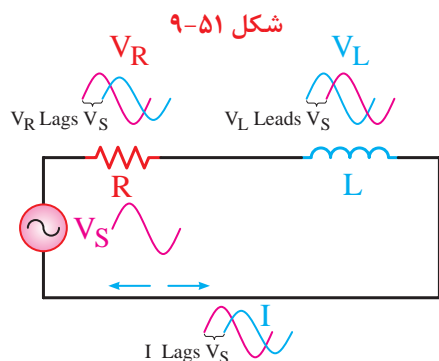


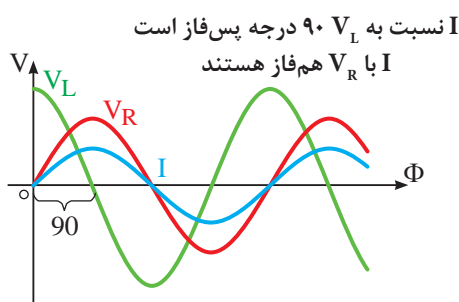
در مدارهای ترکیبی ac برای رسم بردارها نخست بردار عامل مشترک مدار را روی محور افقی (جهت مثبت) رسم می شود و سپس بقیه عوامل غیرمشترک نسبت به آن رسم می شوند مثلاً برای ترسیم ۹۰ درجه پیش فازی باید بردار روی محور عمودی مثبت یا برای ترسیم ۹۰ درجه پس فازی باید بردار روی محور عمودی منفی قرار گیرد. (شکل ۹-۵۱)

## ۹-۷-۵ مدارهای ترکیبی جریان متناوب:

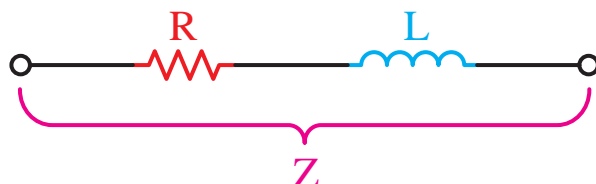
### الف مدار RL سری:

این مدارها که از مقاومت اهمی و سلفی تشکیل شده اند دارای خاصیتی هستند که در برگرنده هر دو عامل است. (شکل ۹-۵۲)

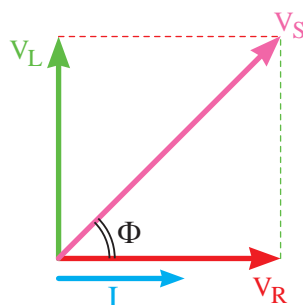




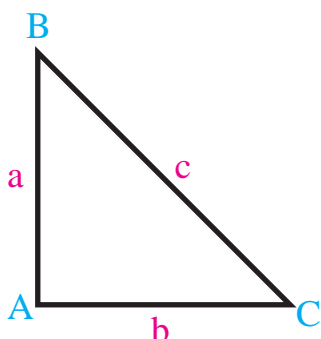
شکل ۹-۵۳- شکل موج های ولتاژ جریان مدار RL سری



شکل ۹-۵۴- مقاومت معادل (امپدانس)



شکل ۹-۵۵



شکل ۹-۵۶- مثلث قائم الزاویه

در این مدارها اختلاف فازی بین ولتاژ و جریان کل مدار وجود دارد. (شکل ۹-۵۳)

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 «امپدانس» 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.

همانگونه 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.

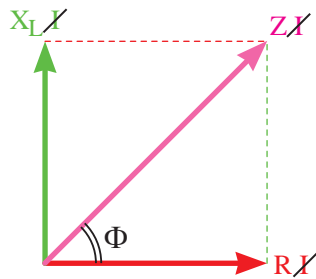
به همین خاطر شکل به دست آمده به صورت یک مثلث قائم الزاویه درآمده است

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:

$$\begin{aligned} (\text{ضلع افقی})^2 + (\text{ضلع عمودی})^2 &= (\text{وتر})^2 \\ (BC)^2 &= (AB)^2 + (AC)^2 \\ c^2 &= a^2 + b^2 \end{aligned}$$

بر همین 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

$$\sin \Phi = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}}$$

$$\cos \Phi = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}}$$

$$\text{tg} \Phi = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{ضلع مجاور}}$$

در دیاگرام برداری ولتاژها اگر بجای ولتاژها معادل آن‌ها را قرار دهیم و سپس عامل مشترک (جریان) را حذف کنیم. دیاگرام برداری امپدانس به دست می‌آید. (شکل ۹-۵۷) امپدانس را بر حسب اهم و با استفاده از رابطه زیر می‌توان محاسبه کرد.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

در مثلث تشکیل شده شکل ۹-۵۷ برای زاویه  $\Phi$  نسبت‌های مثلثاتی  $\sin$  و  $\text{tg}$  را می‌توانیم به صورت مقابل بنویسیم:

در مدار RL سری برای ضرایب فوق روابط مقابل را می‌توان نوشت:

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»<sup>۱</sup> مطرح است که با حرف Q نشان می‌دهیم. ضریب کیفیت را در حالت کلی به صورت زیر تعریف می‌کنیم.

$$Q = 2\pi \times \frac{\text{ماکزیمم انرژی ذخیره شده}}{\text{انرژی مصرفی کل در هر سیکل}}$$

انرژی ذخیره شده در مدارها مربوط به مقاومت‌های سلفی و خازنی است در صورتی که انرژی مصرفی را براساس مقاومت اهمی به دست می‌آوریم مقدار ضریب کیفیت Q در مدارهای RC و RL با مقدار  $\text{tg} \Phi$  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 می یابد.  
(شکل ۹-۵۸)

تغییرات امپدانس موجب تغییر در مقدار جریان مدار

می شود زیرا:

$$I = \frac{V_s}{Z}$$

از مدار RL سری برای نشان دادن مدار معادل

ترانسفورماتورها و موتورهای الکتریکی استفاده می شود.

مثال: در مدار شکل ۹-۵۹ مقابل مطلوب است:

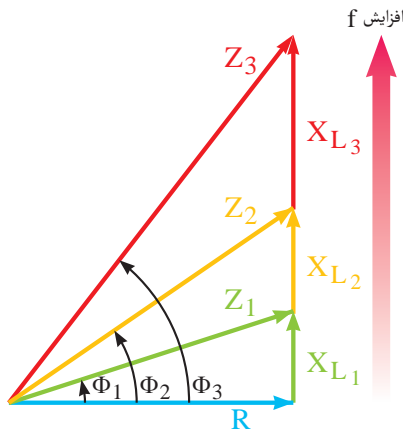
الف - امپدانس مدار

ب - افت ولتاژ دو سر هر عنصر

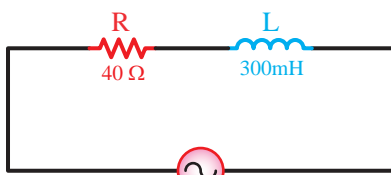
ج - ضریب کیفیت و ضریب توان دوواته

حل: مقادیر خواسته شده را براساس روابط مدارهای

RL سری به صورت مقابل به دست آورد.



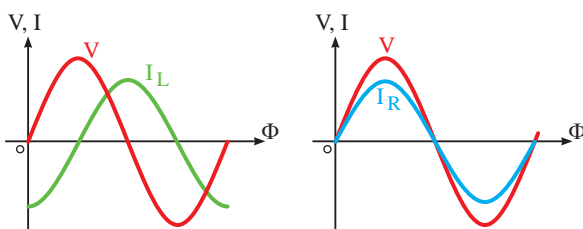
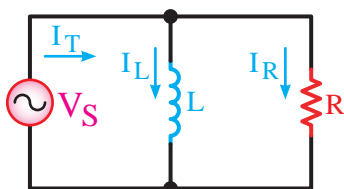
شکل ۹-۵۸- دیاگرام برداری امپدانس در ازای فرکانس های مختلف



$$V = 100V$$

$$\omega = 100 \text{ rad/s}$$

شکل ۹-۵۹



شکل ۹-۶۰- مدار RL موازی

$$X_L = 2\pi f.L = \omega.L$$

$$X_L = 100 \times 300 \times 10^{-3}$$

$$X_L = 30\Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$Z = \sqrt{(40)^2 + (30)^2}$$

$$Z = 50\Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{100}{50} = 2A$$

$$V_R = R.I_e = 40 \times 2 = 80V$$

$$V_L = X_L.I_e = 30 \times 2 = 60V$$

$$\sin \Phi = \frac{X_L}{Z} = \frac{30}{50} = .6$$

## ب مدار RL موازی:

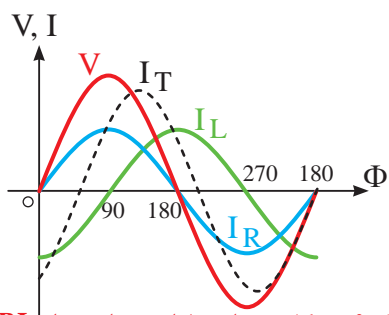
در این مدارها مقاومت اهمی و سلف به صورت موازی

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 ۹-۶۱- شکل موجهای ولتاژ جریان مدار RL موازی

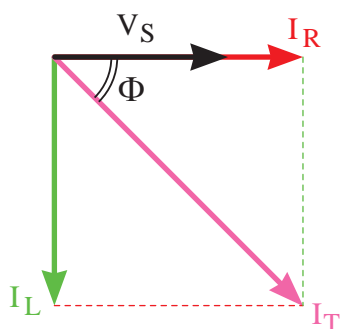
در شاخه اهمی ولتاژ و جریان با هم هم فاز است و در شاخه سلفی ولتاژ و جریان نسبت به هم ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند در نتیجه در این مدارها جریان کل نسبت به ولتاژ کل به اندازه  $\Phi$  درجه  $(0 \leq \Phi \leq 90)$  پس فاز خواهند شد. (شکل ۹-۶۱)

دیاگرام برداری جریان ها در این مدار به صورت شکل ۹-۶۲ است. براساس دیاگرام جریان ها رابطه زیر را می توانیم

بنویسیم:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

مانند مدارهای سری اگر به جای جریان ها معادل آن ها را قرار دهیم شکل دیگری از دیاگرام های مدار RL موازی را خواهیم داشت که اصطلاحاً به آن دیاگرام «ادمیتانس» یا عکس امپدانس گویند. (شکل ۹-۶۲)



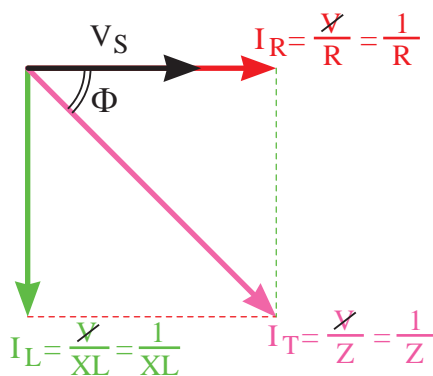
شکل ۹-۶۲- دیاگرام برداری جریان ها

رابطه امپدانس مدارهای RL موازی به صورت زیر قابل محاسبه است:

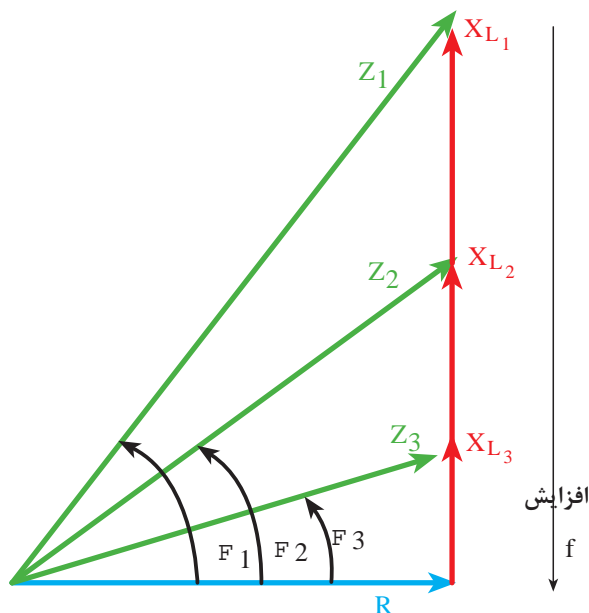
$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{X_L}$$

و پس از ساده شدن رابطه می توان نوشت:

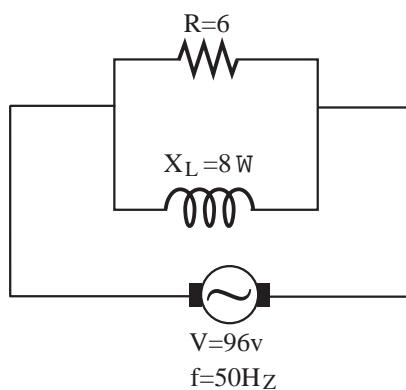
$$Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$



شکل ۹-۶۳- دیاگرام برداری جریان ها



شکل ۹-۶۴- دیاگرام برداری امپدانس در ازای فرکانس های مختلف



شکل ۹-۶۵

$$Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

$$Z = \frac{6 \times 8}{\sqrt{(6)^2 + (8)^2}} = \frac{48}{10} = 4.8 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{96}{4.8} = 20 A$$

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{96}{6} = 16 A$$

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{96}{8} = 12 A$$

$$\cos \Phi = \frac{Z}{R} = \frac{4.8}{6} = .8$$

با توجه به دیاگرام های برداری جریان ها و ادمیتانس ها برای ضرایب قدرت می توانیم بنویسیم:

$$\sin \Phi = \frac{I_L}{I_T} = \frac{\frac{V}{X_L}}{\frac{V}{Z}} = \frac{Z}{X_L}$$

$$\cos \Phi = \frac{I_R}{I_T} = \frac{\frac{V}{R}}{\frac{V}{Z}} = \frac{Z}{R}$$

$$\tan \Phi = \frac{I_L}{I_R} = \frac{\frac{V}{X_L}}{\frac{V}{R}} = \frac{R}{X_L}$$

در این مدارها با افزایش فرکانس خاصیت راکتانس سلفی افزایش می یابد و جریان عبوری از سلف کم می شود. در این حالت زاویه اختلاف فاز کم شده و مدار به سمت خاصیت اهمی بیشتر میل می کند. در شکل ۹-۶۴ کاهش زاویه اختلاف فاز را به خوبی می توان مشاهده کرد.

$$(\phi_3 < \phi_2 < \phi_1)$$

مثال: در مدار شکل ۹-۶۵ مطلوب است:

الف - امپدانس مدار

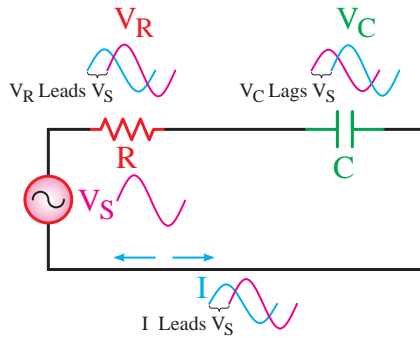
ب - جریان کل مدار

ج - جریان هر شاخه

د - ضریب قدرت وات

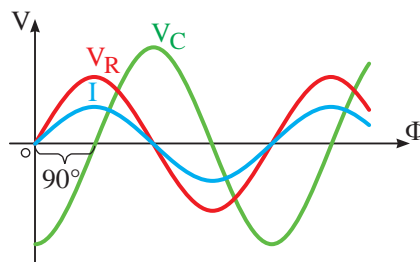
حل: مقادیر خواسته شده را به صورت مقابل محاسبه

می کنیم:



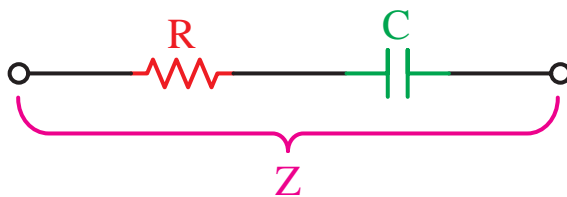
شکل ۹-۶۶- مدار RC سری

شکل ۹-۶۶ نمونه ای از این مدارها را نشان می دهد. از نظر فازی رابطه ی که بین ولتاژ و جریان وجود دارد شامل خصوصیات هر دو عنصر مدار است.



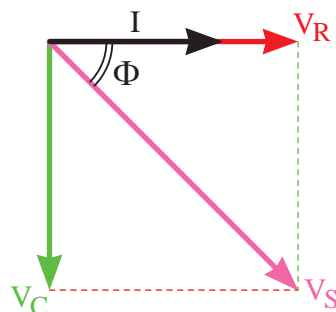
شکل ۹-۶۷- شکل موج های ولتاژی و جریانی مدار RC سری

اندازه زاویه اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان کل مدار بین صفر تا ۹۰ درجه است. (شکل ۹-۶۷)



شکل ۹-۶۸- دیاگرام برداری امپدانس

مقاومت معادل این مدار را تحت عنوان «امپدانس» می نامیم که در برگیرنده هر دو خاصیت اهمی و خازنی مدار است. (شکل ۹-۶۸)



شکل ۹-۶۹- دیاگرام برداری ولتاژها

در یک مدار سری جریانی تمامی عناصر یکسان است و ولتاژ بین اجزای مدار و به نسبت مقاومت ها تقسیم می شود. در مقاومت اهمی ولتاژ و جریان هم فاز ولی در خازن جریانی به اندازه ۹۰ درجه پیش فاز است. بر همین اساس دیاگرام برداری ولتاژهای مدار RC سری مطابق شکل ۹-۶۹ خواهد شد. مقدار \* از رابطه زیر به دست می آید:

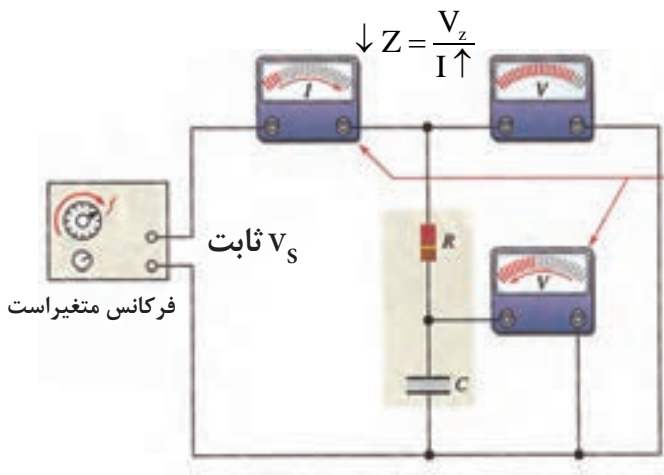
$$V_S = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

مشابه مدار RL سری اگر بجای ولتاژهای  $V_R$  و  $V_C$  و  $V_S$  معادل هایشان را قرار دهیم و بعد عامل مشترک  $I$  را حذف کنیم دیاگرام امپدانس ها به دست می آید. (شکل ۹-۷۰)

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

شکل ۹-۷۰- دیاگرام برداری امپدانس

از روی دیاگرام های برداری ولتاژها و امپدانس می توان ضرایب قدرت و ضریب کیفیت را به صورت زیر نوشت:



شکل ۹-۷۱

$$\sin \Phi = \frac{V_C}{V_s} = \frac{X_C}{Z}$$

$$\cos \Phi = \frac{V_R}{V_s} = \frac{R}{Z}$$

$$\tan \Phi = \frac{V_C}{V_R} = \frac{X_C}{R}$$

با افزایش فرکانس در مدار RC سری مقدار راکتانس خازنی کاهش می یابد. در این حالت افت ولتاژ دو سر خازن کم می شود و زاویه اختلاف فاز آن کاهش می یابد و مدار به سمت مقاومت اهمی میل می نماید. شکل ۹-۷۱ وضعیت مدار و شکل ۹-۷۲ دیاگرام برداری امپدانس را در فرکانس های مختلف نشان می دهد.

**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  $\tan \Phi$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C}$$

حل:

$$X_C = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 265.39 \times 10^{-6}} = 12 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(16)^2 + (12)^2} = 20 \Omega$$

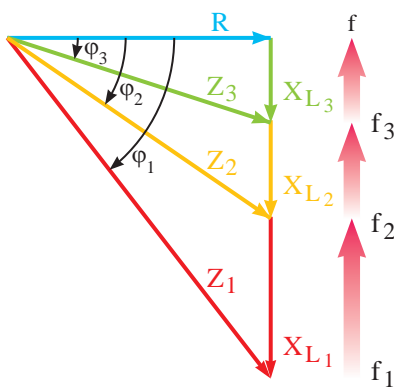
$$I = \frac{V}{Z} = \frac{100}{20} = 5A$$

$$V_R = R \cdot I = 16 \times 5 = 80V$$

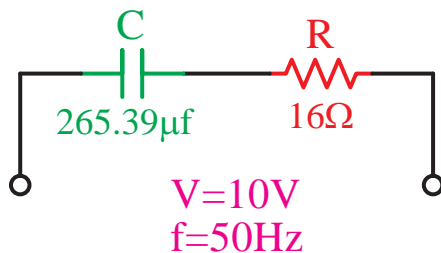
$$V_C = X_C \cdot I = 12 \times 5 = 60V$$

$$\cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{16}{20} = 0.8$$

$$\tan \Phi = \frac{X_C}{R} = \frac{12}{16} = 0.75$$



شکل ۹-۷۲- دیاگرام برداری امپدانس در ازای فرکانس های مختلف



شکل ۹-۷۳

## 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.

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) همانگونه که می دانید مقاومت معادل بین دو شاخه موازی را امپدانس می نامند. مقدار امپدانس از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Z = \frac{R \cdot X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

دیagram برداری جریان های مدار مطابق شکل ۹-۷۶

رسم می شود و رابطه نهایی جریان کل به صورت زیر است:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

در صورت جایگزینی معادل جریان ها در diagram

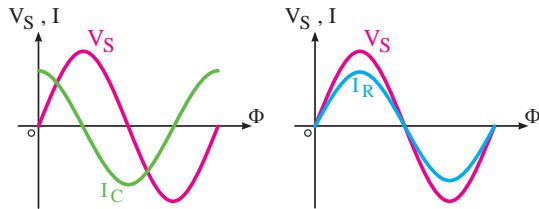
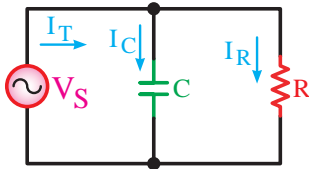
شکل ۹-۷۶ diagram برداری admittances ها به دست می آید.

شکل ۹-۷۷ مقدار امپدانس که عکس admittances است با

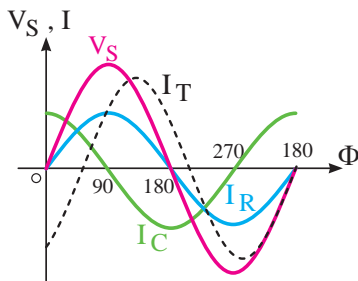
توجه به بردارهای مدار از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{X_C^2} + \frac{1}{R^2}$$

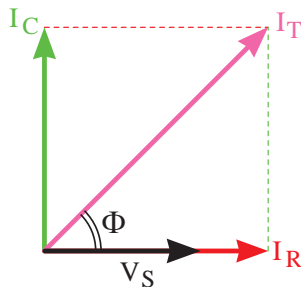
(طبق رابطه فیثاغورث)



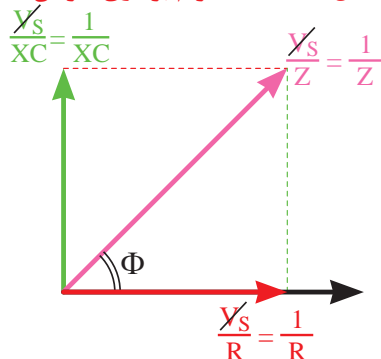
شکل ۹-۷۴- مدار RC موازی



شکل ۹-۷۵- شکل موج های ولتاژ و جریان مدار RC موازی



شکل ۹-۷۶- diagram برداری جریان ها

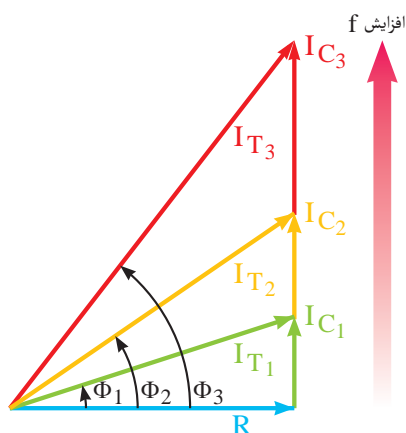


شکل ۹-۷۷- diagram برداری امپدانس (admittances)

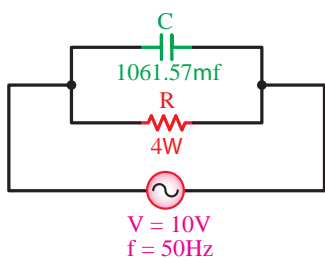
$$\sin \Phi = \frac{I_C}{I_T} = \frac{\frac{1}{X_C}}{\frac{1}{Z}} = \frac{Z}{X_C}$$

$$\cos \Phi = \frac{I_R}{I_T} = \frac{\frac{1}{R}}{\frac{1}{Z}} = \frac{Z}{R}$$

$$\tan \Phi = \frac{I_C}{I_R} = \frac{\frac{1}{X_C}}{\frac{1}{R}} = \frac{R}{X_C}$$



شکل ۹-۷۸- دیاگرام برداری امپدانس در ازای فرکانس های مختلف



شکل ۹-۷۹- مدار  $L_C$  سری

پس از مخرج مشترک گرفتن و ساده کردن رابطه

امپدانس چنین به دست می آید.

$$Z = \frac{R \cdot X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

برای محاسبه روابط ضرایب قدرت می توان از دیاگرام های برداری جریان ها و امپدانس ها استفاده کرد و روابط مقابل را به دست آورد.

افزایش فرکانس در این مدارها باعث می شود تا  $X_C$  کاهش یابد و جریان شاخه خازنی زیاد شود. در این حالت:

$$\downarrow X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} \Rightarrow \uparrow I_C = \frac{V_s}{X_C}$$

خاصیت خازنی مدار بیشتر شده و در نتیجه زاویه اختلاف فاز مدار افزایش می یابد. (شکل ۹-۷۸)

مثال: خازنی به ظرفیت  $1061.57 \mu F$  با یک مقاومت ۴ اهمی به طور موازی به ولتاژ متناوب ۱۲۰ ولتی با فرکانس ۵۰ هرتز اتصال داده شده است. مطلوب است:

الف - جریان هر یک از عناصر

ب - جریان کل مدار

ج - امپدانس مدار

د - ضریب قدرت واته و دواته مدار

حل: با توجه به توضیحات فوق شکل مدار را به صورت

شکل ۹-۷۹ می توان رسم کرد:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 1061.57 \times 10^{-6}} = 3 \Omega$$

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{120}{4} = 30 A$$

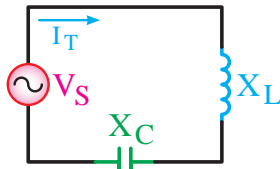
$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{120}{3} = 40 A$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{(30)^2 + (40)^2} = 50 A$$

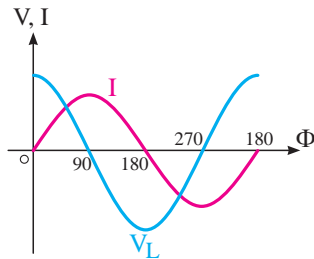
$$Z = \frac{V}{I} = \frac{120}{50} = 2.4 \Omega$$

$$\cos \phi = \frac{Z}{R} = \frac{2.4}{4} = 0.6$$

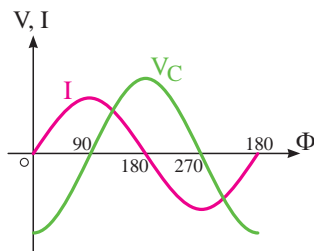
$$\sin \phi = \frac{Z}{X_C} = \frac{2.4}{3} = 0.8$$



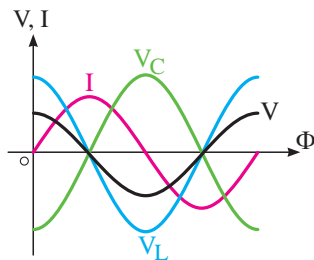
شکل ۹-۸۰- مدار  $L_C$  سری



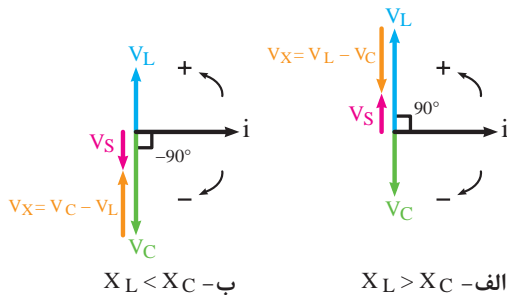
شکل ۹-۸۱- شکل موج ولتاژ و جریان سلف



شکل ۹-۸۲- شکل موج ولتاژ و جریان خازن



شکل ۹-۸۳- شکل موج ولتاژ و جریان مدار CL سری  
در حالت  $X_L > X_C$



شکل ۹-۸۴- دیاگرام برداری ولتاژها در حالت های مختلف

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.

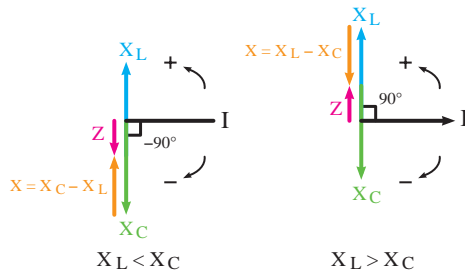
شکل ۹-۸۱ رابطه فازی بین ولتاژ و جریان در سلف را نشان می دهد.

در شکل ۹-۸۲ رابطه فازی بین ولتاژ و جریان خازن را مشاهده می کنید.

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.

دیاگرام برداری ولتاژها و امپدانس در اینگونه مدارها را می توان در دو حالت  $X_L < X_C$ ,  $X_L > X_C$  رسم کرد. در شکل ۹-۸۴ دیاگرام های ولتاژ را مشاهده می کنید.

در شکل ۹-۸۵ دیاگرام برداری امپدانس ها در دو حالت  $X_C > X_L$  ترسیم شده است.



شکل ۹-۸۵- دیاگرام برداری امپدانس ها در حالت های مختلف

$$V_S = V_L - V_C \quad X_L > X_C$$

$$V_S = V_C - V_L \quad X_L < X_C$$

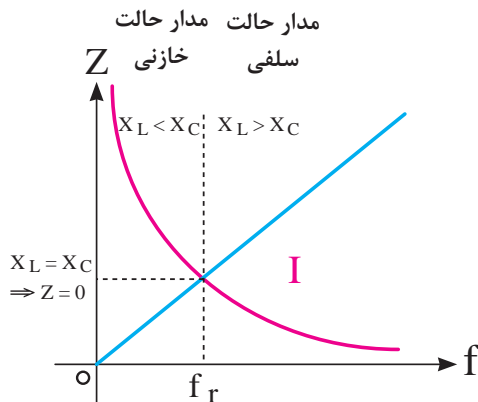
$$Z = X_L - X_C \quad X_L > X_C$$

$$Z = X_C - X_L \quad X_L < X_C$$

$$\cos(90^\circ) = 0 \quad \cos(-90^\circ) = 0$$

$$\text{tg}(90^\circ) = \text{نامشخص} \quad \text{tg}(-90^\circ) = \text{نامشخص}$$

$$\sin(90^\circ) = 1 \quad \sin(-90^\circ) = -1$$



شکل ۹-۸۶- منحنی های تغییرات  $LX$  و  $CX$  به ازای تغییرات فرکانس

چون بردارها با هم  $180^\circ$  درجه اختلاف فاز دارند لذا می توان آن ها به صورت خطی با هم جمع برداری (تفریق) کرد. بنابراین روابط ولتاژ کل و امپدانس به صورت مقابل در می آید.

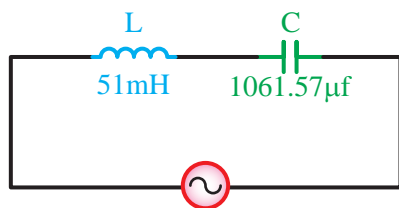
در مدارهای LC سری زاویه بین ولتاژ  $V_S$  و جریان  $I$  برابر با  $(+90^\circ)$  درجه یا  $(-90^\circ)$  درجه است. بنابراین در این مدارها ضرایب  $\cos$  و  $\text{tg}$  را نمیتوان مطرح کرد زیرا: ضریب  $\sin\phi$  در این مدارها برابر با  $(+1)$  یا  $(-1)$  است. تغییر فرکانس بر روی هر دو عامل  $X_L$  و  $X_C$  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 نقطه «رزنانس»<sup>۱</sup> می نامند. نقطه رزونانس نقطه ای است که در آن نقطه، خازن موجود در مدار اثر سلف را خنثی می کند. منحنی تغییرات امپدانس نسبت به فرکانس در این مدارها مشابه شکل ۹-۸۶ است. با توجه به شکل در نقطه ای که  $X_L = X_C$  است حالت رزونانس به وجود می آید. فرکانس رزونانس از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

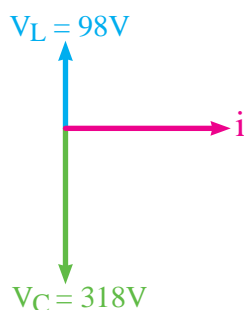




$$V = 220V$$

$$f = 50Hz$$

شکل ۹-۸۷ مدار LC سری



شکل ۹-۸۸ دیاگرام برداری ولتاژهای مدار LC سری

چون در حالت رزونانس  $X_L = X_C$  است. بنابراین جریان کل مدار در حالت رزونانس خیلی زیاد (بی نهایت  $\infty$ ) می شود.

مثال: جریان مدار شکل ۹-۸۷ چند آمپر است؟

حل:

$$X_L = 2\pi f.L$$

$$X_L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 51 \times 10^{-3} = 16\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f.C}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 1061.57 \times 10^{-6}} = 3\Omega$$

چون مقدار  $X_L$  بزرگتر از مقدار  $X_C$  است و مدار خاصیت سلفی دارد لذا رابطه امپدانس را به صورت زیر به کار می بریم.

$$Z = X_L - X_C$$

$$Z = 16 - 3 = 13\Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{220}{13} = 16.9A$$

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:

$$V_s = V_C - V_L$$

$$V_s = 318 - 98 = 220V$$

$$V_C = X_C.I \Rightarrow I = \frac{V_C}{X_C}$$

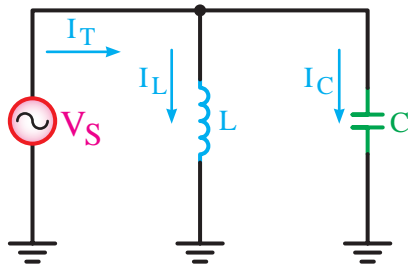
$$I = \frac{318}{318} = 1A$$

$$V_L = X_L.I \Rightarrow I = \frac{V_L}{I}$$

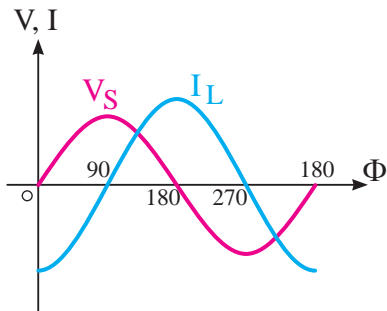
$$X_L = \frac{98}{1} = 98\Omega$$

$$X_L = 2\pi f.L \Rightarrow L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{98}{2 \times 3.14 \times 50} = 0.31h$$

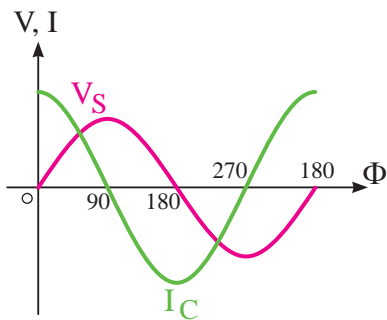
## ج مدار LC موازی:



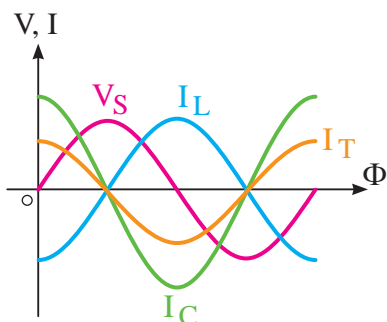
شکل ۹-۸۹- مدار LC موازی



شکل ۹-۹۰- 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  $X_L > X_C$

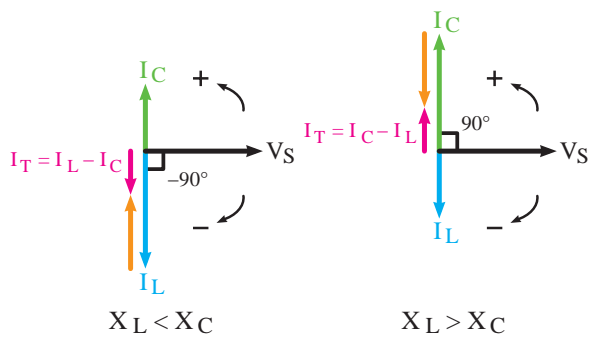
شکل ۹-۸۹ تصویر مدار LC موازی را نشان می دهد. ولتاژ ( $V_S$ ) برای هر دو عنصر مدار یکسان است و جریان کل ( $I_T$ ) این دو شاخه به نسبت عکس راکتانس ها تقسیم می شود.

در شاخه خازنی جریان  $I_C$  نسبت به ولتاژ  $V_S$  به اندازه  $90^\circ$  درجه جلوتر و در شاخه سلفی جریان ( $I_L$ ) نسبت به ولتاژ ( $V_S$ ) به اندازه  $90^\circ$  درجه عقبتر.

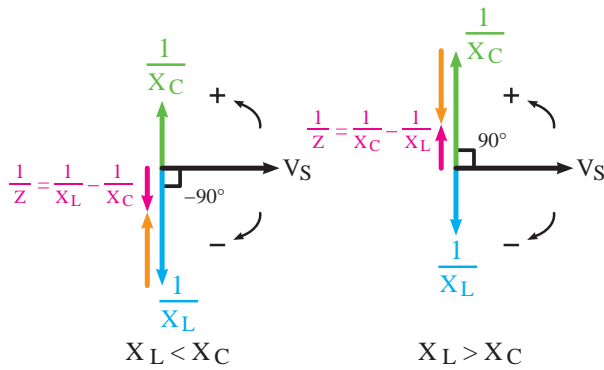
شکل ۹-۹۰ رابطه فازی جریان و ولتاژ شاخه سلفی و

شکل ۹-۹۱ رابطه فازی جریان و ولتاژ شاخه خازنی را نشان می دهند.

این مدار می تواند 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 می توان برای هر دو حالت فوق رسم کرده. در شکل ۹-۹۲ فقط حالت  $X_L > X_C$  رسم شده است.



شکل ۹-۹۳- دیاگرام برداری جریان  $I_L$  در حالت های مختلف



شکل ۹-۹۴- دیاگرام برداری عکس امپدانس ها (ادمیتانس ها) در حالت های مختلف

دیاگرام برداری جریان های مدار در دو حالت  $X_L > X_C$  و  $X_C > X_L$  در شکل ۹-۹۳ نشان داده شده است.

می توانیم به جای جریان ها از معادل آن ها یعنی:  $\frac{V_S}{I_T}$  و  $\frac{V_S}{I_C}$  استفاده کنیم و دیاگرام برداری ادمیتانس ها (Y) را طبق شکل ۹-۹۴ به دست آوریم.

بردار برآیند جریان ها و ادمیتانس ها در مدار LC موازی نیز مشابه مدار  $I_C$  سری به صورت جبری (خطی) با هم جمع می شوند. یعنی:

$$\begin{array}{ll} I_T = I_C - I_L & X_L > X_C \\ I_T = I_L - I_C & X_C > X_L \end{array}$$

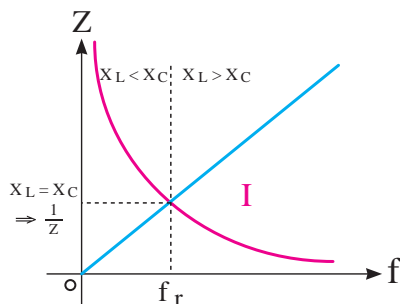
$$\begin{array}{ll} \frac{1}{Z} = \frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} & X_L > X_C \\ \frac{1}{Z} = \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} & X_C > X_L \end{array}$$

در مدارهای LC موازی - مشابه مدارهای سری بین ولتاژ و جریان یک اختلاف فاز ۹۰ درجه وجود دارد. ضرایب قدرت به شرح زیر است:

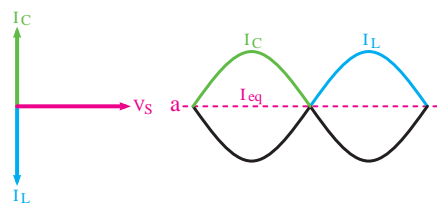
$$\begin{array}{ll} \cos(90^\circ) = 0 & \cos(-90^\circ) = 0 \\ \sin(90^\circ) = 1 & \sin(-90^\circ) = -1 \\ \text{tg}(90^\circ) = \text{نامشخص} & \text{tg}(-90^\circ) = \text{نامشخص} \end{array}$$

متناسب با تغییرات فرکانس، مدار در یکی از حالت های سلفی، خازنی و یا رزنانس منحنی تغییرات امپدانس نسبت به فرکانس در شکل ۹-۹۵ ترسیم شده است. مقدار فرکانس رزنانس مدار از رابطه زیر به دست می آید.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

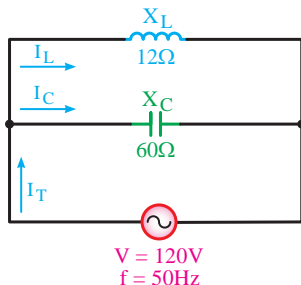


شکل ۹-۹۵- منحنی تغییرات  $X_L$  و  $X_C$  به ازای تغییرات فرکانس

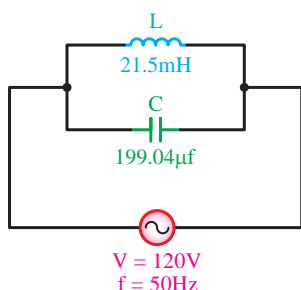


شکل ۹-۹۶- وضعیت بردارها در حالت رزونانس

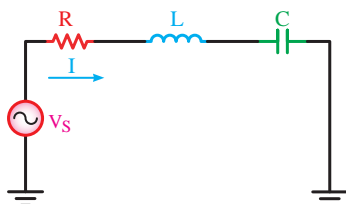
به علت مخالفت سلف با خازن اگر  $I_C$  با  $I_L$  مساوی باشد جریان کل مدار در حالت رزونانس برابر با صفر است. (شکل ۹-۹۶)



شکل ۹-۹۷- مدار LC موازی



شکل ۹-۹۸



شکل ۹-۹۹- مدار RLC سری

مثال: جریان کل و جریان هر شاخه شکل ۹-۹۷ را به

دست آورید.

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{120}{12} = 10A$$

حل:

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{120}{60} = 2A$$

$$I_T = I_L - I_C = 10 - 2 = 8A$$

مدار حالت سلفی دارد.

مثال: در مدار شکل ۹-۹۸ مطلوب است:

الف - امپدانس مدار

ب - جریان کل مدار

ج - فرکانس رزونانس

حل:

$$X_L = 2\pi fL = 2 \times 3.14 \times 50 \times 21.5 \times 10^{-3} = 8\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 199.04 \times 10^{-6}} = 16\Omega$$

$$Z = \frac{X_C \cdot X_L}{X_C - X_L} = \frac{16 \times 8}{16 - 8} = \frac{128}{8} = 16\Omega$$

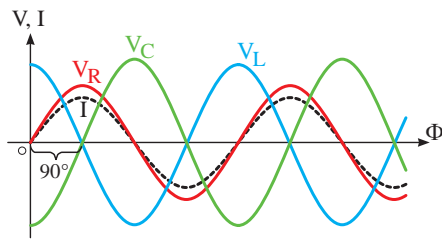
$$I = \frac{V_s}{Z} = \frac{120}{16} = 7.5A$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$= \frac{1}{2 \times 3.14 \times \sqrt{21.5 \times 10^{-3} \times 199.04 \times 10^{-6}}} \\ f_r = 76.97Hz$$

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 می آید. در مدار سری، جریان در تمامی عناصر یکسان است و ولتاژ  $V_s$  بین اجزای مدار به نسبت مقاومت ها تقسیم می شود.



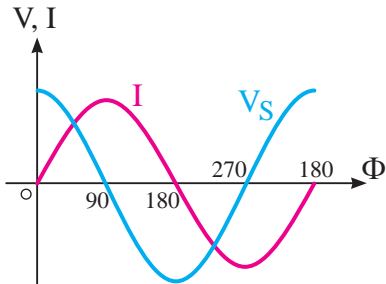
شکل ۹-۱۰۰- شکل موج های ولتاژ و جریان عناصر مدار RLC سری

همانگونه که در شکل ۹-۱۰۰ مشاهده می شود روابط فازی بین ولتاژها و جریان کل مدار به شرح زیر است:

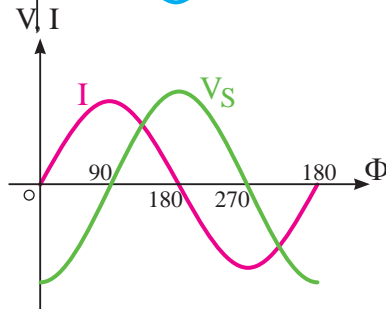
۱-  $V_L$  نسبت به  $I$ ،  $90^\circ$  درجه پیش فاز می شود.

۲-  $V_C$   $90^\circ$  درجه نسبت به  $I$  پس فاز است.

۳-  $V_R$  با جریان  $I$  هم فاز است.



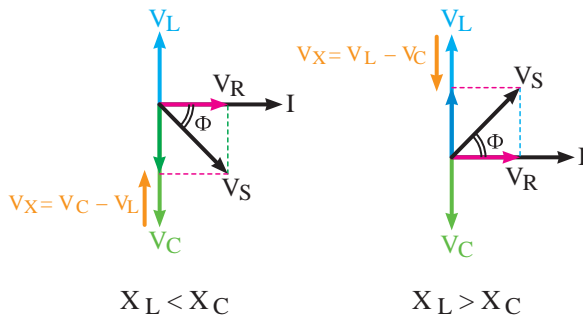
الف - حالت سلفی



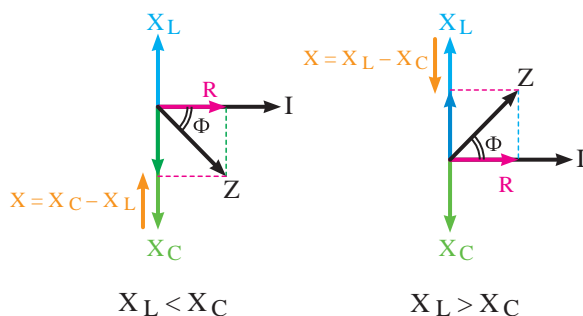
ب - حالت خازنی

شکل ۹-۱۰۱- شکل موج های ولتاژ و جریان کل مدار در حالت های سلفی و خازنی

با توجه به روابط فازی اشاره شده می توان نتیجه گرفت بین ولتاژ و جریان کل مدار با توجه به مقادیر مقاومت ها می تواند یک زاویه اختلاف فاز در محدوده  $90^\circ$  تا  $90^\circ +$  درجه به وجود آید. در ازاء افزایش راکتانس سلفی مدار ( $X_L$ ) مدار حالت سلفی پیدا می کند و اختلاف فاز به  $90^\circ +$  درجه نزدیک می شود (شکل ۹-۱۰۱-الف) و چنانچه راکتانس خازنی مدار ( $X_C$ ) نسبت به راکتانس سلفی ( $X_L$ ) افزایش یابد مدار خاصیت خازنی پیدا می کند و زاویه اختلاف فاز به  $90^\circ -$  درجه نزدیک می شود. (شکل ۹-۱۰۱-ب)



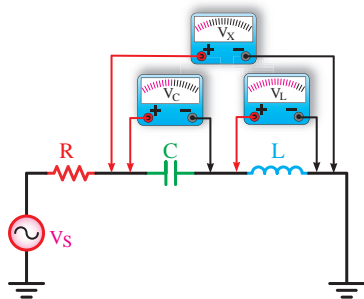
شکل ۹-۱۰۲- دیاگرام برداری ولتاژها در حالت های مختلف



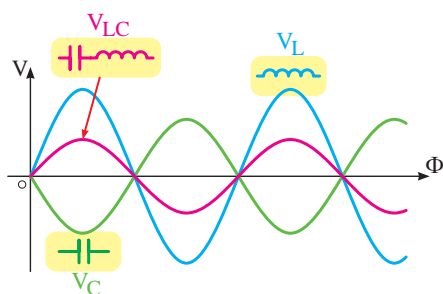
شکل ۹-۱۰۳- دیاگرام برداری امپدانس ها در حالت های مختلف

دیاگرام برداری ولتاژها را در دو حالت  $X_L > X_C$ ،  $X_C > X_L$  می توان رسم کرد.

شکل ۹-۱۰۲ دیاگرام برداری ولتاژها و شکل ۹-۱۰۳ دیاگرام برداری امپدانس ها را نشان می دهد.



الف- وضعیت مداری عناصر



ب) شکل موج دو سر عناصر

شکل ۹-۱۰۴- شکل موج های ولتاژ، سلف، خازن و ترکیب آن ها به همراه وضعیت مداری

مانند مدارهای سری قبل برای مثلث های تشکیل شده در دیاگرام های برداری می توان رابطه فیثاغورث را به شرح زیر نوشت. شکل موج ولتاژهای دو سر سلف، خازن و ترکیب آن ها را در شکل ۹-۱۰۴ مشاهده می کنید.

$$V_S = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} \quad V_L > V_C$$

$$V_S = \sqrt{V_R^2 + (V_C - V_L)^2} \quad V_C > V_L$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad X_L > X_C$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad X_C > X_L$$

ضریب قدرت و ضریب کیفیت در مدارهای RLC

براساس روابط زیر قابل محاسبه است.

$$\cos \Phi = \frac{V_R}{V_S} = \frac{R}{Z}$$

$$\sin \Phi = \frac{V_X}{V_S} = \frac{X^{(i)}}{Z}$$

$$\text{tg} \Phi = \frac{V_X}{V_R} = \frac{X}{R}$$

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.

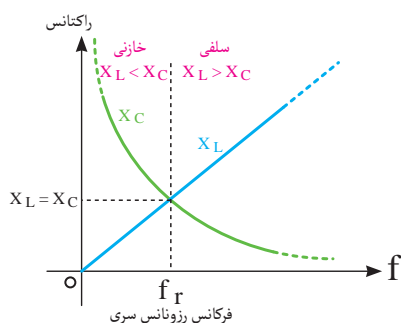
$$\downarrow X_C = \frac{1}{2\pi f \uparrow \cdot C} \quad \uparrow X_L = 2\pi f \uparrow \cdot L \quad \text{زیرا:}$$

در مدارهای RCL به ازای تغییر فرکانس نقطه ای به وجود می آید که در آن نقطه مقدار  $X_L$  با  $X_C$  برابر می شود.

این حالت را در اصطلاح «رزنانس یا تشدید» می نامند.

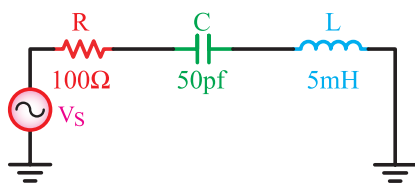
فرکانس آن را با  $(f_r)$  نمایش می دهند. (شکل ۹-۱۰۵)

شکل ۹-۱۰۵- منحنی تغییرات  $X_L$  و  $X_C$  را نسبت به تغییر فرکانس نشان می دهد. با توجه به این که در



شکل ۹-۱۰۵- منحنی تغییرات  $X_L$  و  $X_C$  به ازای تغییرات فرکانس

۱- منظور از  $X$  راکتانس معادل بین  $X_L$  و  $X_C$  مدار است.



شکل ۹-۱۰۶- شکل موج های ولتاژ و جریان کل مدار در شرایط مختلف

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times \sqrt{(5\text{mH})(50\text{pf})}}$$

$$f_r = \frac{1}{6.28 \sqrt{5 \times 10^{-7} \times 50 \times 10^{-12}}}$$

$$= \frac{1}{6.28 \sqrt{25 \times 10^{-19}}}$$

$$f_r = \frac{1}{6.28 \times 5 \times 10^{-10}} = \frac{10^9}{3.14} = 318000 \text{ Hz}$$

$$= 318 \text{ kHz}$$

لحظه رزونانس خاصیت های سلفی و خازنی یکدیگر را خنثی می کنند امپدانس مدار برابر با  $Z = R$  خواهد شد. فرکانس رزونانس مدار را به صورت زیر می توان محاسبه کرد.

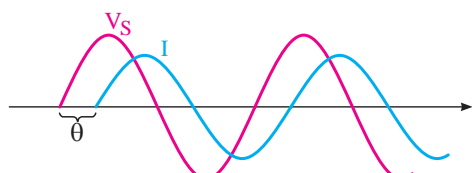
$$X_L = X_C \quad \text{در حالت رزونانس}$$

$$2\pi f_r L = \frac{1}{2\pi f_r C}$$

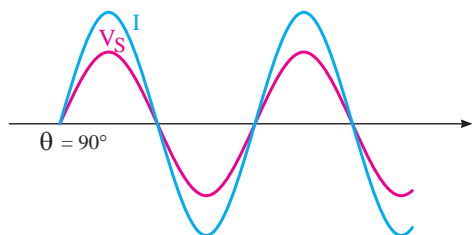
$$f_r^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

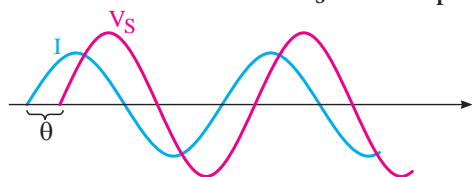
مثال: فرکانس رزونانس مدار شکل ۹-۱۰۶ چقدر است؟  
حل: با استفاده از رابطه  $f_r$  داریم:



الف - بالاتر از  $f_r$ ،  $I$  عقب تر از  $V_s$



ب - برابر  $f_r$ ،  $I$  هم فاز  $V_s$



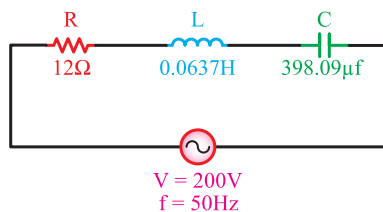
ج - زیر  $f_r$ ،  $I$  جلوتر از  $V_s$

از مجموعه مطالب فوق می توان نتیجه گرفت که در فرکانس های 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  $\theta$  درجه جلوتر است. در شرایطی که فرکانس مدار بیشتر از فرکانس رزونانس باشد مقدار ( $X_L$ ) زیادتر می شود و جریان  $I$  اندازه  $\theta$  درجه از ولتاژ ( $V_s$ ) عقب می ماند. بنابراین در حالت رزونانس مدار فقط خاصیت اهمی دارد و ولتاژ ( $V_s$ ) با جریان  $I$  هم فاز است. در شکل ۹-۱۰۷ این مطلب نشان داده شده است.

شکل ۹-۱۰۷- شکل موج های 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 و اته و دو اته

هـ - ضریب کیفیت مدار

و - فرکانس رزونانس

حل:

$$X_L = 2\pi f.L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.0637 = 20\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f.C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 398.09 \times 10^{-6}} = 8\Omega$$

چون  $X_L > X_C$  است پس مدار خاصیت سلفی دارد و

در نتیجه:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(12)^2 + (20 - 8)^2} = 20\Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{200}{20} = 10A$$

$$V_R = R.I = 12 \times 10 = 120V$$

$$V_L = X_L.I = 20 \times 10 = 200V$$

$$V_C = X_C.I = 8 \times 10 = 80V$$

$$\cos \Phi = \frac{R}{Z} = \frac{12}{20} = 0.6$$

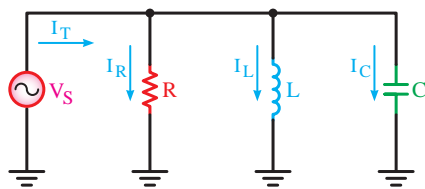
$$\sin \Phi = \frac{X}{Z} = \frac{20 - 8}{20} = 0.6$$

$$Q = \tan \Phi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{20 - 8}{12} = 1$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

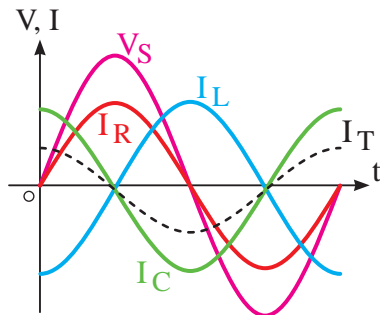
$$= \frac{1}{2 \times 3.14 \times \sqrt{0.0637 \times 398.09 \times 10^{-6}}} = 31.62Hz$$



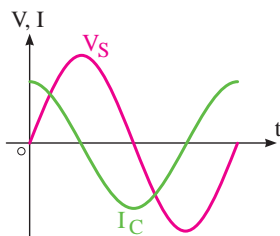


شکل ۹-۱۰۹- مدار RLC موازی

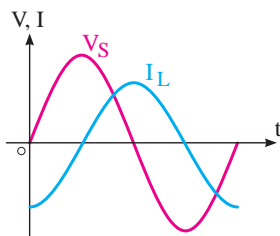
هرگاه سه عنصر مقاومت، سلف و خازن طبق شکل ۹-۱۰۹ اتصال یابند، این اتصال را اتصال موازی می گویند. ولتاژ در این مدارها برای همه عناصر و جریان بین شاخه ها به نسبت عکس مقاومت ها تقسیم می شود.



شکل ۹-۱۱۰- شکل موج های ولتاژ و جریان در مدار ۸ موازی



شکل ۹-۱۱۱- شکل موج ولتاژ و جریان در شاخه I و V خازنی



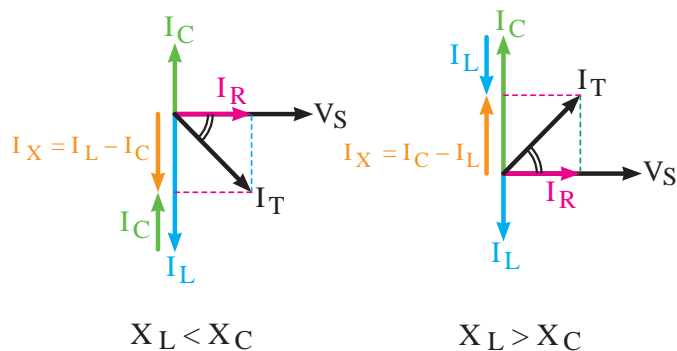
شکل ۹-۱۱۲- شکل موج ولتاژ و جریان در شاخه سلفی

روابط فازی بین ولتاژ و جریانها به صورت شکل ۹-۱۱۰ است. در این مدار جریان  $I_C$  به اندازه  $90^\circ$  درجه از ولتاژ  $V_S$  جلوتر، جریان  $I_L$  به اندازه  $90^\circ$  درجه از ولتاژ  $V_S$  عقبتر و جریان  $I_R$  با ولتاژ  $V_S$  هم فاز است.

چون جریان شاخه خازنی  $90^\circ$  درجه جلوتر و جریان شاخه سلفی  $90^\circ$  درجه عقبتر از ولتاژ است لذا جریان های سلفی و خازنی با یکدیگر به اندازه  $180^\circ$  درجه اختلاف فاز دارند، بنابراین دو جریان در دو جهت برآیند بین این دو  $(I_X)$  از تفاضل آن ها به دست می آید. شکل ۹-۱۱۱ و شکل ۹-۱۱۲ شکل موج های جریان های  $I_C$  و  $I_L$  را نسبت به ولتاژ نشان می دهد.

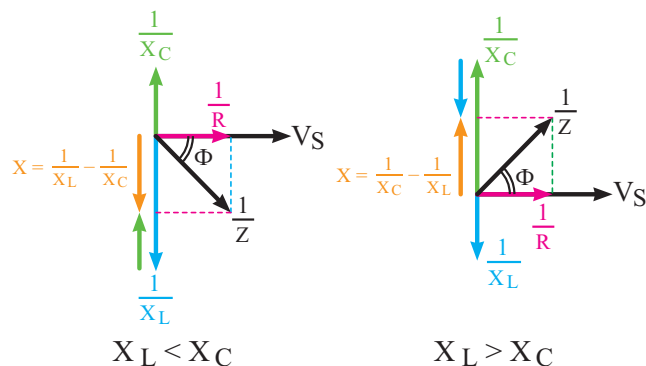
در مدارهای رزونانس با اضافه شدن  $X_L$  جریان شاخه سلفی کم می شود و مدار خاصیت خازنی بیشتری پیدا می کند در این حالت زاویه اختلاف فاز بین  $V_S$  و  $I_T$  در محدوده صفر و  $90^\circ$  درجه در حالت خازنی قرار می گیرد. در صورتی که  $X_C$  افزایش یابد شرایط عکس اتفاق می افتد و مدار سلفی می شود.

دیگرام های برداری جریان ها و امپدانس برای دو حالت  $X_C > X_L$  و  $X_L > X_C$  قابل ترسیم است.



شکل ۹-۱۱۳ دیاگرام جریان ها را در دو حالت و شکل ۹-۱۱۴ دیاگرام عکس امپدانس ها را در دو حالت نشان می دهد.

شکل ۹-۱۱۳- دیاگرام برداری جریان ها در حالت های مختلف

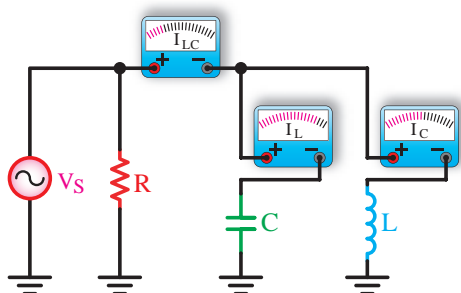


شکل ۹-۱۱۴- دیاگرام برداری عکس امپدانس (ادمیتانس) در حالت های مختلف

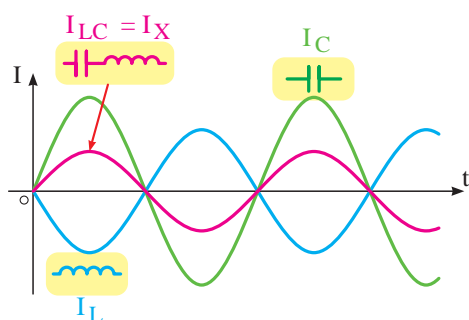
با استفاده از دیاگرام های برداری و رابطه فیثاغورث برای جریان ها می توانیم بنویسیم:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} \quad X_C > X_L$$

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2} \quad X_L > X_C$$



الف - وضعیت مداری عناصر



ب - شکل موج دو سر عناصر

شکل ۹-۱۱۵- شکل موج های جریان سلف ، خازن و ترکیب آن ها به همراه وضعیت مداری

برای محاسبه امپدانس باید ابتدا راکتانس معادل بین سلف و خازن مدار را مانند یک مدار موازی از رابطه  $X = \frac{X_L \cdot X_C}{X_L - X_C}$  به دست آورد و سپس Z را از روابط زیر به دست آورد. (شکل ۹-۱۱۵)

$$Z = \frac{R \cdot X}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad X_C > X_L$$

$$Z = \frac{R \cdot X}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad X_L > X_C$$

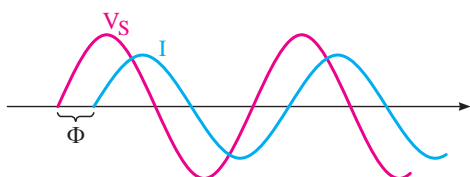
۱- منظور از X راکتانس معادل بین  $X_C$  و  $X_L$  مدار است.

ضرایب قدرت و ضریب کیفیت در مدارهای RLC موازی  
از روابط زیر به دست می آید.

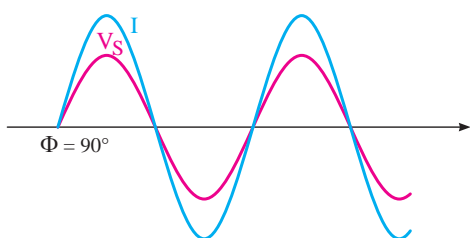
$$\cos \Phi = \frac{I_R}{I_T} = \frac{\frac{V}{R}}{\frac{V}{Z}} = \frac{Z}{R}$$

$$\sin \Phi = \frac{I_X}{I_T} = \frac{\frac{V}{X}}{\frac{V}{Z}} = \frac{Z}{X}$$

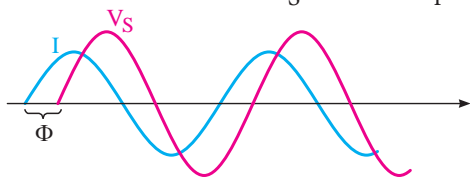
$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{I_X}{I_R} = \frac{\frac{V}{X}}{\frac{V}{R}} = \frac{R}{X}$$



الف - پایین تر از  $f_r$ ،  $I$  عقب تر  $V_S$  (پس فاز)



ب - برابر  $f_r$ ،  $I$  هم فاز با  $V_S$  است (هم فاز)



ج - بالاتر از فرکانس  $f_r$ ،  $I$  جلوتر از  $V_S$  (پیش فاز)

شکل ۹-۱۱۶- شکل موج های ولتاژ و  
جریان کل مدار در شرایط مختلف

در حالت رزونانس  $\frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_C}$  (برابر شدن ادمیتانس ها)  
می شود و می توانیم 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:

$$X_L = X_C \Rightarrow Z = R$$

در حالت تشدید حداقل جریان از مدار عبور می کند.

$$I_T = \frac{V_S}{Z} \Rightarrow I = \frac{V_S}{R}$$

در صورت تغییر فرکانس، مدار در سه حالت می تواند  
قرار گیرد.

۱- به ازای فرکانس های کمتر از فرکانس رزونانس مدار  
سلفی تر می شود.

۲- در صورت افزایش فرکانس به مقداری بیشتر از  $f_r$   
مدار دارای خاصیت خازنی می شود.

۳- در شرایط رزونانس مدار اهمی خالص است. شکل  
۹-۱۱۶ منحنی های ولتاژ و جریان را در سه حالت نشان  
می دهد.

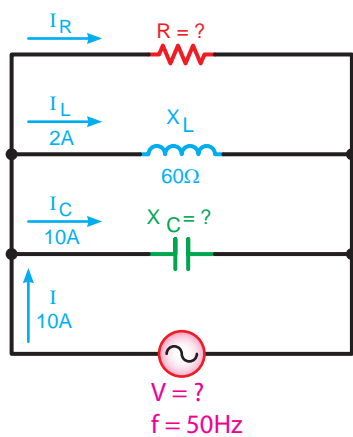
**تذکر مهم:**

شرط  $X_L = X_C$  برای حالت  
رزونانس را فقط برای مدارهای  
LC و RLC سری و RLC، LC  
موازی می توان در نظر گرفت  
و فرکانس رزونانس را براساس آن به صورت زیر  
محاسبه کرد:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



مثال: در مدار شکل ۹-۱۱۷ ۹-مطلوب است:



شکل ۹-۱۱۷

الف - جریان  $I_R$

ب - ولتاژ مدار

ج - امپدانس

د - مقدار  $R$ ،  $X_C$

هـ - ضریب کیفیت

و - فرکانس رزونانس مدار

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

$$I_R = \sqrt{I_T^2 - (I_C - I_L)^2} = \sqrt{(10)^2 - (10 - 2)^2}$$

$$I_R = 6A$$

$$V = X_L \cdot I_L = 60 \times 2 = 120V$$

$$R = \frac{V}{I_R} = \frac{120}{6} = 20\Omega$$

$$X_C = \frac{V}{I_C} = \frac{120}{10} = 12\Omega$$

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{120}{10} = 12\Omega$$

$$Q = \tan \Phi = \frac{I_X}{I_R} = \frac{10 - 2}{6} = \frac{8}{6} = 1.33$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{60}{2 \times 3.14 \times 50} = 1.91\text{mH}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f \cdot X_C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 12} = 2.65 \times 10^{-4}\text{F}$$

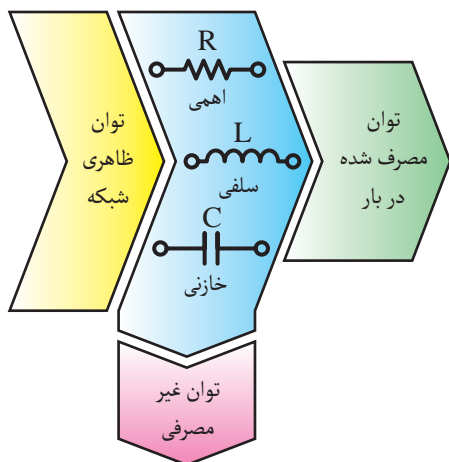
$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

$$f_r = 22.4\text{Hz}$$

حل: برای محاسبه مقادیر مجهول مطابق روابط مقابل

می توان عمل کرد:

## ۸-۹- انواع توان در جریان متناوب تکفاز



شکل ۹-۱۱۸- بلوک دیاگرام توان ها در جریان متناوب



شکل ۹-۱۱۹- بار اهمی خالص که توان حقیقی مصرف می کند.

در مدارهای جریان متناوب از عناصر اهمی - سلفی و خازنی به صورت مستقل و یا ترکیبی استفاده می شود. این عناصر انرژی الکتریکی دریافتی از شبکه را به صورت های گوناگون ظاهر می کنند.

گروهی از عناصر توان الکتریکی را مورد مصرف قرار داده و گروهی دیگر به صورت انرژی ذخیره می کنند. به همین خاطر در شبکه های 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 می شود و به صورت زیر می توان به دست آورد.

$$S = V_e \cdot I_e$$

واحد توان ظاهری «ولت آمپر (V.A)» است.

### ۲- توان حقیقی - مفید - اکتیو<sup>۱</sup> (P):

توانی که از طرف بار الکتریکی مورد استفاده قرار گرفته و کار مؤثر انجام می دهد را توان حقیقی (اکتیو - مفید) می گویند. این توان مربوط به مصرف کننده های اهمی (R) بوده (شکل ۹-۱۱۹) و از روابط زیر محاسبه می شود.

$$P = V_e \cdot I_e \cdot \cos \Phi$$

$$P = R \cdot I_e^2$$

$$P = \frac{V_e^2}{R}$$

واحد توان حقیقی بر حسب (وات W) است.



شکل ۹-۱۲۰

### ۳- توان «غیرحقیقی - غیرمفید - راکتیو»:

مقدار توانی که در مقاوت‌های سلفی و خازنی ظاهر می‌شود ولی نمی‌تواند به کار مفید تبدیل گردد را توان غیرحقیقی (غیرمفید - راکتیو) مینامند. (شکل ۹-۱۲۰) این توان به صورت تناوبی بین مصرف کننده و شبکه رفت و برگشت می‌شود.

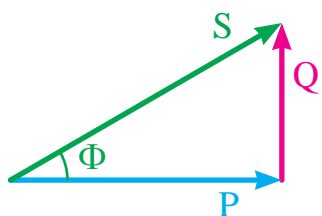
توان غیرمفید را بر حسب «وار - (VAR)» محاسبه می‌کنند. در محاسبات مربوط به توان راکتیو معمولاً بارهای سلفی را با علامت مثبت و بارهای خازنی را با علامت منفی در روابط نشان می‌دهند.

$$Q = \pm (V_e \cdot I_e \cdot \sin \Phi)$$

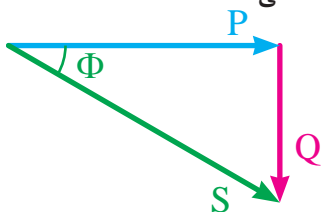
$$Q = \pm (X \cdot I_e^2)$$

$$Q = \pm \left( \frac{V_e^2}{X} \right)$$

در روابط فوق  $X$  معرف راکتانس معادل  $X_L$  و  $X_C$  مدار است.



الف - در حالت سلفی



ب - در حالت خازنی

شکل ۹-۱۲۱- دیاگرام برداری مثلث توان‌ها در حالت‌های مختلف

#### توضیح

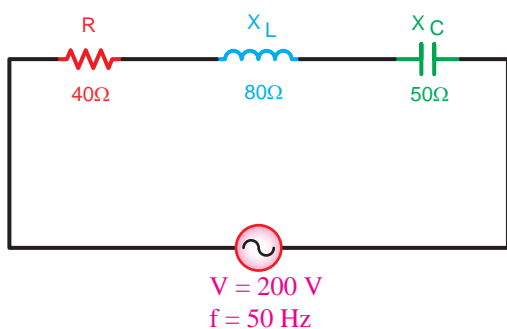
حاصل جمع توان‌های

داده شده و گرفته شده (توان

ظاهری) به صورت برداری

است و از رابطه  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$  محاسبه

می‌شود. (شکل ۹-۱۲۱)



شکل ۹-۱۲۲- مدار RLC سری

مثال: در شکل ۹-۱۲۲ مطلوب است:

الف - توان های ظاهری، اکتیو و راکتیو مدار

ب - ضریب قدرت دواته

حل:

ابتدا امپدانس را به دست می آوریم تا بتوان براساس آن

توان ها و ضریب کیفیت را محاسبه کرد.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(40)^2 + (80 - 50)^2}$$

$$Z = 50\Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{200}{50} = 4A$$

$$S = Z.I^2 = 50 \times (4)^2 = 800VA$$

$$P = R.I^2 = 40 \times (4)^2 = 640W$$

$$Q = X.I^2 = (80 - 50) \times (4)^2 = 480VAR$$

$$\sin \varphi = \frac{X}{Z} = \frac{80 - 50}{50} = \frac{30}{50} = 0.6$$

مثال:

در مدار شکل ۹-۱۲۳ مطلوب است:

الف - ضریب قدرت واته مدار

ب - توان ظاهری مدار

ج - توان اکتیو و راکتیو مدار

حل:

$$V = I_R \cdot R = 12 \times 20 = 240V$$

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{240}{12} = 20A$$

$$I_L = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

$$I_T = \sqrt{(12)^2 + (20 - 4)^2} \Rightarrow I_T = 20A$$

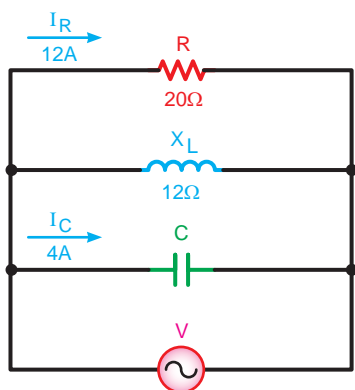
$$\cos \Phi = \frac{I_R}{I_T} = \frac{12}{20} = 0.6$$

$$\sin \Phi = \frac{I_X}{I_T} = \frac{20 - 4}{20} = \frac{16}{20} = 0.8$$

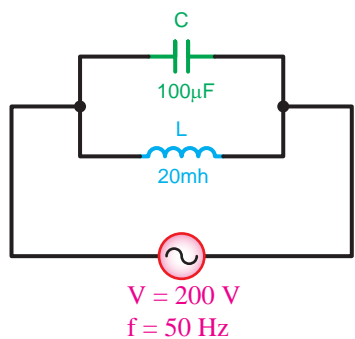
$$S = V_e \cdot I_e = 240 \times 20 = 4800VA$$

$$P = V_e \cdot I_e \cdot \cos \Phi = 4800 \times 0.6 = 2880W$$

$$Q = V_e \cdot I_e \cdot \sin \Phi = 4800 \times 0.8 = 3840VAR$$



شکل ۹-۱۲۳- مدار RLC موازی



شکل ۹-۱۲۴

$$X_L = 2\pi f.L$$

$$X_L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 20 \times 10^{-3} = 6.28 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f.C}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 100 \times 10^{-6}} = 31.8 \Omega$$

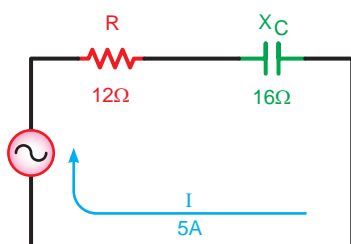
$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} = \frac{X_C - X_L}{X_L \cdot X_C}$$

$$Z = \frac{X_C \cdot X_L}{X_C - X_L} = \frac{31.8 \times 6.28}{31.8 - 6.28} = 7.82 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{100}{7.82} = 12.78 A$$

$$P = 0$$

$$Q = S = V_e \cdot I_e = 100 \times 12.78 = 1278 VA$$



شکل ۹-۱۲۵

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

$$Z = \sqrt{(12)^2 + (16)^2} = 20 \Omega$$

$$V = IZ$$

$$V = 5 \times 20 = 100 V$$

$$\cos \Phi = \frac{R}{Z} = \frac{12}{20} = .6$$

$$\sin \Phi = \frac{X_C}{Z} = \frac{16}{20} = .8$$

$$S = V.I = 100 \times 5 = 500 VA$$

$$P = S \cdot \cos \Phi = 500 \times .6 = 300 W$$

$$Q = S \cdot \sin \Phi = 500 \times .8 = 400 VAR$$

چون جریان شاخه سلفی بیشتر از شاخه خازنی است لذا

توان راکتیو سلفی است و با علامت مثبت نشان می دهیم.

**مثال:** یک سلف به خودالقایی ۲۰ میلی هانری بایک

خازن به ظرفیت ۱۰۰ میکروفاراد مطابق شکل ۹-۱۲۴ به

صورت موازی به ولتاژ مؤثر ۱۰۰ ولت با فرکانس ۵۰ هرتز

متصل شده اند، مطلوب است:

الف - جریان مدار

ب - توان های اکتیو، راکتیو و ظاهری

**حل:** مقادیر مجهول به کمک روابط مقابل چنین به

دست می آید.

چون مصرف کننده اهمی نداریم توان مصرفی مدار صفر

است.

**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.



## عملیات کارگاهی (کار عملی ۱۰)



ساعت		
نظری	عملی	جمع
-	۱	۱

**هدف:** بررسی مدارهای خازنی سری در جریان

**وسایل و تجهیزات مورد نیاز** (برای هر گروه کار)

۱- سیگنال ژنراتور ۱ دستگاه

۲- مولتی متر دیجیتالی ۱ دستگاه

۳- LC متر ۱ دستگاه

۴- بردبرد آزمایشگاهی ۱ عدد

۵- خازن ها

۱ عدد  $C_1 = 22\mu f$  با حداقل ولتاژ کار ۱۰ ولت

۲ عدد  $C_2 = 8\mu f$  با حداقل ولتاژ کار ۱۰ ولت

۱ عدد  $C_3 = 47\mu f$  با حداقل ولتاژ کار ۱۰ ولت

۶- سیم تلفنی ۰/۵ متر

۷- سیم چین ۱ عدد

۸- سیم لخت کن ۱ عدد



**توجه**

برای اندازه گیری ولتاژ و جریان عناصر مدار می توانید از یک آوومتر دیجیتالی یکبار به صورت ولت متری و بار دیگر به صورت آمپر متری بطور جداگانه استفاده کنید.

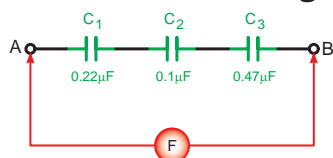


## مراحل اجرای آزمایش

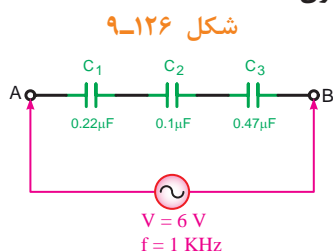
۱- سه خازن  $C_1$  و  $C_2$  و  $C_3$  را مطابق شکل ۹-۱۲۶ روی بردبرد اتصال دهید و با استفاده از دستگاه LC متر ظرفیت خازن معادل مدار در نقطه A و B را اندازه گیری کنید.

$$C_{AB} = \boxed{\phantom{000}} \mu f$$

الف - شکل واقعی



ب - شکل مداری



شکل ۹-۱۲۶

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.

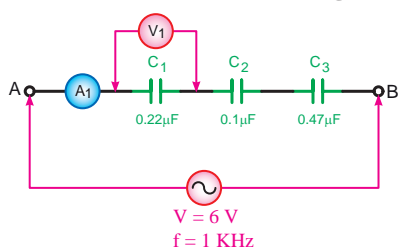


۳- با استفاده از یک مولتی متر دیجیتالی جریان عبوری و ولتاژ دوسر خازن  $C_1$  را اندازه گیری کنید. (شکل ۹-۱۲۸)

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} V$$

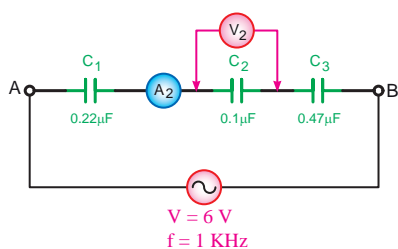
$$I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} mA$$

الف - شکل واقعی

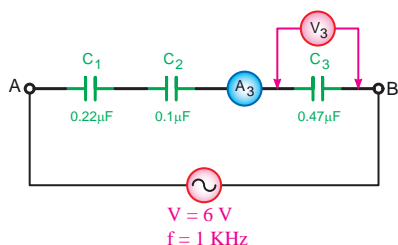


ب - شکل مداری

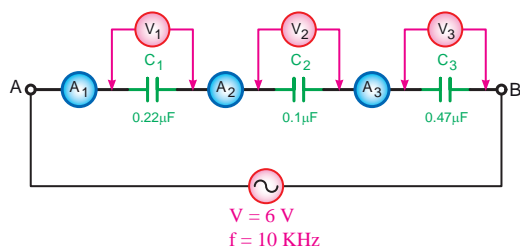
شکل ۹-۱۲۸



شکل ۹-۱۲۹



شکل ۹-۱۳۰



شکل ۹-۱۳۱

۴- به طور جداگانه جریان و ولتاژ دو سر خازن های  $C_1$  و  $C_2$  را طبق شکل های ۹-۱۲۹ و ۹-۱۳۰ اندازه گیری کنید.

$$V_{C_1} = \text{ } V$$

$$V_{C_2} = \text{ } V$$

$$I_{C_1} = \text{ } mA$$

$$I_{C_2} = \text{ } mA$$

۵- آیا آمپرمترها و ولت مترها مقادیر مساوی را نشان می دهند؟ چرا؟

۶- مقدار جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط:

$$V_{C_1} = X_{C_1} \cdot I_T \quad \text{و} \quad I_T = \frac{V_T}{X_{C_T}} \quad \text{و} \quad X_{C_T} = \frac{1}{2\pi f \cdot C_T}$$

محاسبه کنید.  $V_{C_2} = X_{C_2} \cdot I_T$  ،  $V_{C_3} = X_{C_3} \cdot I_T$

$$V_{C_1} = \text{ } V$$

$$V_{C_2} = \text{ } V$$

$$V_{C_3} = \text{ } V$$

$$I_{C_1} = \text{ } mA$$

$$I_{C_2} = \text{ } mA$$

$$I_{C_3} = \text{ } mA$$

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 اندازه گیری کنید.

$$V_{C_1} = \text{ } V$$

$$V_{C_2} = \text{ } V$$

$$V_{C_3} = \text{ } V$$

$$I_{C_1} = \text{ } mA$$

$$I_{C_2} = \text{ } mA$$

$$I_{C_3} = \text{ } mA$$

## پاسخ سؤال

۱۰-

۸- آیا مقادیر اندازه گیری شده ولتاژ و جریان خازن ها در فرکانس ۱ kHz با فرکانس ۱۰ kHz مساوی هستند؟ چرا؟

۹- مقادیر جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط:

$$V_{C_1} = X_{C_1} \cdot I_T \quad \text{و} \quad I_T = \frac{V_T}{X_{C_T}} \quad \text{و} \quad X_{C_T} = \frac{1}{2\pi f \cdot C_T}$$

محاسبه کنید.  $V_{C_T} = X_{C_T} \cdot I_T$

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

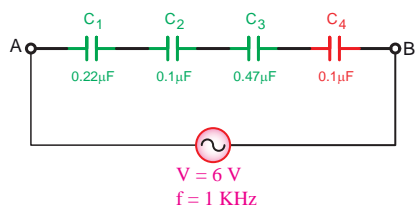
$$V_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

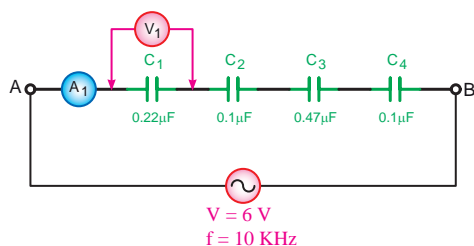
$$I_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

۱۰- از مقادیر محاسبه شده و اندازه گیری شده برای ولتاژ و جریان هر خازن طی مراحل ۲ تا ۹ چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.



شکل ۹-۱۳۲

۱۱- یک خازن  $0.1 \mu\text{F}$  را مطابق شکل ۹-۱۳۲ به صورت سری به مدار اضافه کنید.



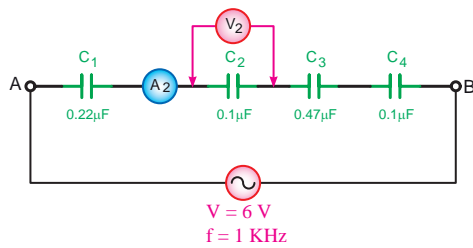
شکل ۹-۱۳۳

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.

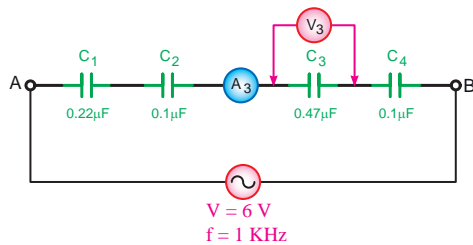
۱۳- با استفاده از یک مولتی متر دیجیتالی و طبق شکل ۹-۱۳۳ ولتاژ و جریان خازن  $C_1$  را اندازه بگیرید.

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

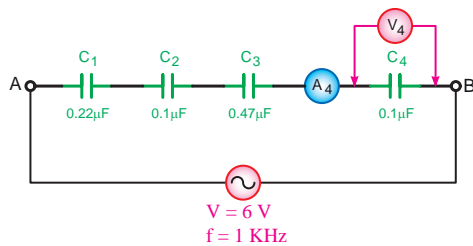
$$I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$



شکل ۹-۱۳۴



شکل ۹-۱۳۵



شکل ۹-۱۳۶

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 ۹-۱۳۴ و ۹-۱۳۵ و ۹-۱۳۶ اندازه گیری کنید.

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

۱۵- مقدار جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط:

$$V_{C_1} = X_{C_1} \cdot I_T \quad \text{و} \quad I_T = \frac{V_T}{X_{C_T}} \quad \text{و} \quad X_{C_T} = \frac{1}{2\pi f \cdot C_T}$$

محاسبه کنید.  $V_{C_2} = X_{C_2} \cdot I_T$  ،  $V_{C_3} = X_{C_3} \cdot I_T$

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_4} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_4} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

پاسخ سؤال



۱۶-

۱۶- از مقادیر محاسبه شده و اندازه گیری شده برای ولتاژ جریان هر خازن طی مراحل ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

۱۷- براساس مقادیر به دست آمده از آزمایش های انجام شده

ظرفیت واقعی هر یک از خازن های  $C_1$  تا  $C_4$  را به کمک روابط

$$I_T = \frac{V_T}{X_{C_T}}, \quad X_{C_T} = \frac{V}{I}$$

محاسبه کنید.

$X_{C_1} = $ <input style="width: 100px; border: 1px solid black;" type="text"/>	V		$C_1 = $ <input style="width: 100px; border: 1px solid black;" type="text"/>	μf
$X_{C_2} = $ <input style="width: 100px; border: 1px solid black;" type="text"/>	V		$C_2 = $ <input style="width: 100px; border: 1px solid black;" type="text"/>	μf
$X_{C_3} = $ <input style="width: 100px; border: 1px solid black;" type="text"/>	V		$C_3 = $ <input style="width: 100px; border: 1px solid black;" type="text"/>	μf
$X_{C_4} = $ <input style="width: 100px; border: 1px solid black;" type="text"/>	V		$C_4 = $ <input style="width: 100px; border: 1px solid black;" type="text"/>	μf

۱۸- با در نظر گرفتن ولتاژ دو سر هر خازن و ظرفیت واقعی

آن ها 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 = $	<input style="width: 150px; border: 1px solid black;" type="text"/>
$W_{C_2} = \frac{1}{2} C_2 V_2^2 = $	<input style="width: 150px; border: 1px solid black;" type="text"/>
$W_{C_3} = \frac{1}{2} C_3 V_3^2 = $	<input style="width: 150px; border: 1px solid black;" type="text"/>
$W_{C_4} = \frac{1}{2} C_4 V_4^2 = $	<input style="width: 150px; border: 1px solid black;" type="text"/>

پاسخ سؤال

-۱۹

۱۹- آیا نتایج به دست آمده از آزمایش ، با مطالب محاسباتی

مطابقت دارد؟ چرا؟ شرح دهید.

## عملیات کارگاهی (کار عملی ۱۱)



ساعت		
نظری	عملی	جمع
-	۱	۱

**هدف:** بررسی مدارهای خازنی موازی در جریان متناوب

**وسایل و تجهیزات مورد نیاز** (برای هر گروه کار)

۱- سیگنال ژنراتور	۱ دستگاه
۲- مولتی متر دیجیتالی	۱ دستگاه
۳- LC متر	۱ دستگاه
۴- بردبرد آزمایشگاهی	۱ عدد
۵- خازن ها	
$C_1 = 22\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۱۰ ولت	۱ عدد
$C_2 = 10\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۱۰ ولت	۲ عدد
$C_3 = 47\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۱۰ ولت	۱ عدد
۶- سیم تلفنی	۵/۰ متر
۷- سیم چین	۱ عدد
۸- سیم لخت کن	۱ عدد

**توجه**

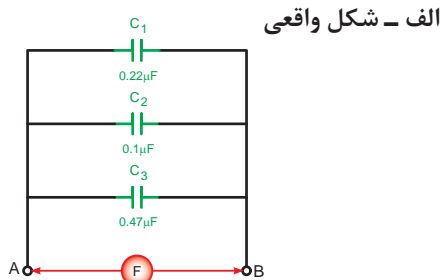


برای اندازه گیری ولتاژ و جریان عناصر مدار می توانید از یک آوومتر دیجیتالی یکبار به صورت ولت متری و بار دیگر به صورت آمپر متری بطور جداگانه استفاده کنید.



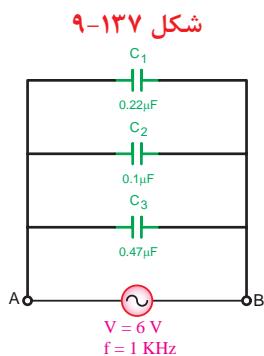
## مراحل اجرای آزمایش

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.



$$C_{AB} = \boxed{\phantom{000}} \mu f$$

ب - شکل مداری

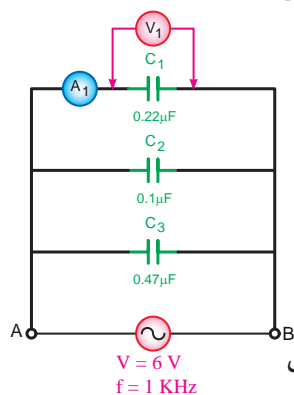


۲- سیگنال ژنراتور را روی ولتاژ ۶ ولت سینوسی با فرکانس ۱ کیلوهرتز (kHz) تنظیم کنید و طبق شکل ۹-۱۳۸ به دو نقطه A و B مدار وصل کنید.

شکل ۹-۱۳۸



الف - شکل واقعی



ب - شکل مداری

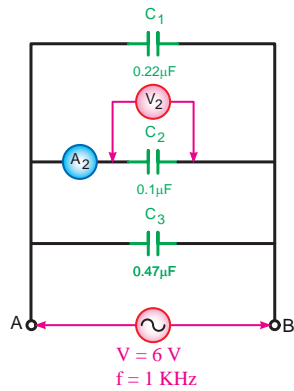
شکل ۹-۱۳۹

۳- با استفاده از یک مولتی متر دیجیتالی جریان عبوری و ولتاژ دو سر خازن  $C_1$  را اندازه گیری کنید. (شکل ۹-۱۳۹)

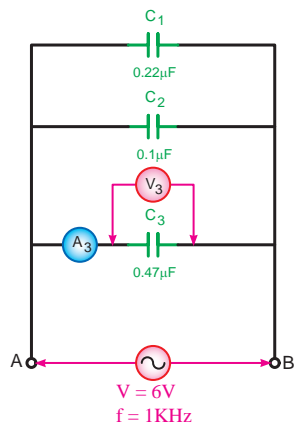
$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} V$$

$$I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} mA$$

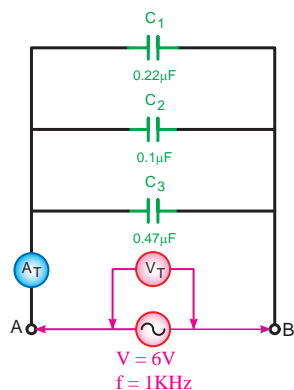




شکل ۹-۱۴۰



شکل ۹-۱۴۱



شکل ۹-۱۴۲

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.

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_T = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_T = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

۵- آیا آمپرمترها و ولت مترها مقادیر مساوی را نشان می دهند؟ چرا؟

۶- مقدار جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط:

$$I_{C_1} = \frac{V_{C_1}}{X_{C_1}} \quad \text{و} \quad V_C = X_C \cdot I_C \quad \text{و} \quad X_{C_T} = \frac{1}{2\pi f \cdot C_T}$$

$$I_{C_T} = \frac{V_{C_T}}{X_{C_T}} \quad \text{محاسبه کنید.}$$

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

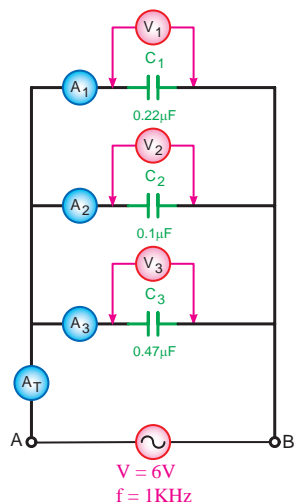
$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_T} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_T} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$



شکل ۹-۱۴۳

۷- فرکانس سیگنال ژنراتور را مطابق شکل ۹-۱۴۳ به  $10\text{ kHz}$  تغییر دهید و سپس جریان و ولتاژ هر خازن را به طور جداگانه مطابق مراحل ۳ و ۴ اندازه گیری کنید.

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

۸- آیا مقادیر اندازه گیری شده ولتاژ و جریان خازن ها در فرکانس  $1\text{ kHz}$  با فرکانس  $10\text{ kHz}$  مساوی هستند؟ چرا؟

۹- مقادیر جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط:

$$V_{C_1} = X_{C_1} \cdot I_T \quad \text{و} \quad I_T = \frac{V_T}{X_{C_T}} \quad \text{و} \quad X_{C_T} = \frac{1}{2\pi f \cdot C_T}$$

$V_{C_2} = X_{C_2} \cdot I_T \quad \text{و} \quad V_{C_3} = X_{C_3} \cdot I_T$  محاسبه کنید.

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

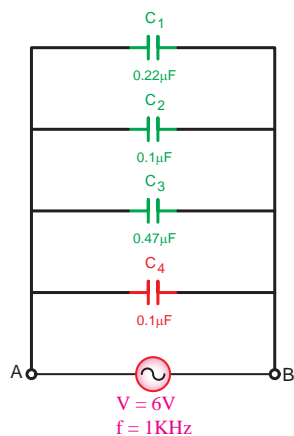
$$I_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

۱۰- از مقادیر محاسبه شده و اندازه گیری شده برای ولتاژ و جریان هر خازن طی مراحل ۲ تا ۹ چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

۱۱- یک خازن  $0.1\mu\text{F}$  را مطابق شکل ۹-۱۴۴ به صورت

موازی به مدار اضافه کنید.



شکل ۹-۱۴۴

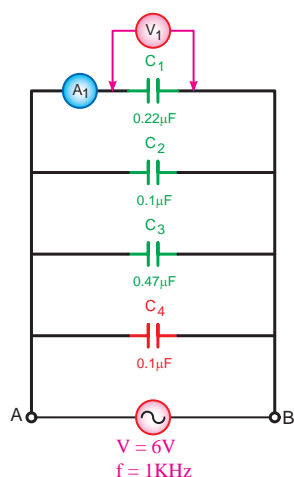
## پاسخ سؤال



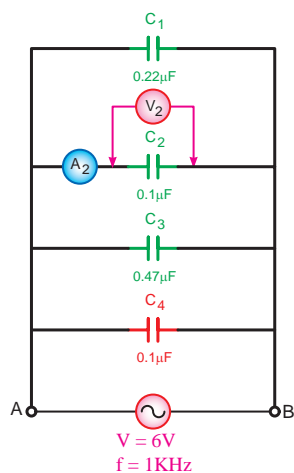
۸-

۱۰-

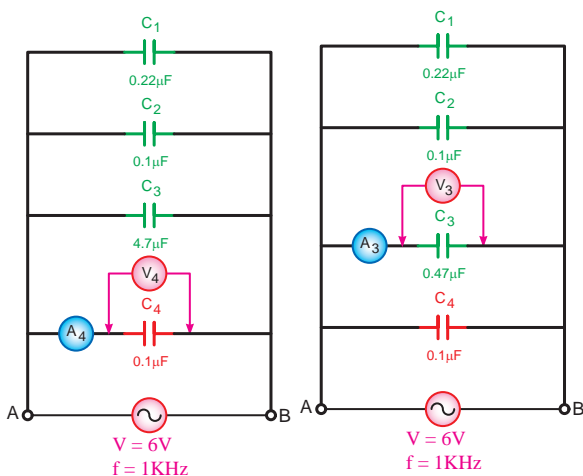
۱۲- ولتاژ و فرکانس سیگنال ژنراتور را به ترتیب روی ۶ ولت و ۱ کیلوهرتز تنظیم کنید و سپس طبق شکل ۹-۱۴۴ به مدار اتصال دهید.



شکل ۹-۱۴۵



شکل ۹-۱۴۶



شکل ۹-۱۴۸

شکل ۹-۱۴۷

۱۳- با استفاده از یک مولتی متر دیجیتالی و طبق شکل ۹-۱۴۵ ولتاژ و جریان خازن  $C_1$  را اندازه بگیرید.

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

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.

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

۱۵- مقدار جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط

$$I_{C_1} = \frac{V_{C_1}}{X_{C_1}} \text{ و } V_C = X_C \cdot I_C \text{ و } X_{C_T} = \frac{1}{2\pi f \cdot C_T}$$

$$I_{C_T} = \frac{V_{C_T}}{X_{C_T}} \text{ محاسبه کنید.}$$

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$V_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V}$$

$$I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$I_{C_T} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

## پاسخ سؤال



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.

۱۷- براساس مقادیر بدست آمده از آزمایش های انجام شده، ظرفیت واقعی هر یک از خازن های  $C_1$  تا  $C_4$  را به کمک روابط  $X_C = \frac{V}{I}$  و  $C = \frac{1}{2\pi f X_C}$  محاسبه کنید.

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \Omega$$

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \Omega$$

$$V_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \Omega$$

$$V_{C_4} = \boxed{\phantom{000}} \Omega$$

$$C_1 = \boxed{\phantom{000}} \mu f$$

$$C_2 = \boxed{\phantom{000}} \mu f$$

$$C_3 = \boxed{\phantom{000}} \mu f$$

$$C_4 = \boxed{\phantom{000}} \mu f$$

## پاسخ سؤال



۱۹-

۱۸- با در نظر گرفتن ولتاژ دو سر هر خازن و ظرفیت واقعی آن ها مقدار انرژی ذخیره شده در هر خازن را طبق رابطه  $W = \frac{1}{2} CV^2$  محاسبه کنید.

$$W_{C_1} = \frac{1}{2} C_1 V_1^2 = \boxed{\phantom{000}}$$

$$W_{C_2} = \frac{1}{2} C_2 V_2^2 = \boxed{\phantom{000}}$$

$$W_{C_3} = \frac{1}{2} C_3 V_3^2 = \boxed{\phantom{000}}$$

$$W_{C_4} = \frac{1}{2} C_4 V_4^2 = \boxed{\phantom{000}}$$

۱۹- آیا نتایج به دست آمده از آزمایش ها با مطالب محاسباتی مطابقت دارد؟ چرا؟ شرح دهید.

## عملیات کارگاهی (کار عملی ۱۲)



ساعت		
نظری	عملی	جمع
-	۱/۵	۱/۵

**هدف:** بررسی مدارهای خازنی سری - موازی در جریان متناوب

**وسایل و تجهیزات مورد نیاز** (برای هر گروه کار)

۱- سیگنال ژنراتور	۱ دستگاه
۲- مولتی متر دیجیتالی	۱ دستگاه
۳- LC متر	۱ دستگاه
۴- بردبرد آزمایشگاهی	۱ عدد
۵- خازن ها	
$C_1 = 0.22\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۱۰ ولت	۱ عدد
$C_2 = 0.1\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۱۰ ولت	۲ عدد
$C_3 = 0.47\mu f$ با حداقل ولتاژ کار ۱۰ ولت	۱ عدد
۶- سیم تلفنی	۵/۵ متر
۷- سیم چین	۱ عدد
۸- سیم لخت کن	۱ عدد

**تذکر مهم:** در صورت کم بودن زمان اجرای آزمایش و یا تجهیزات آزمایشگاهی از انجام مراحل که با علامت (\*) مشخص شده اند خودداری کنید .



**توجه**



برای اندازه گیری ولتاژ و جریان عناصر مدار می توانید از یک آوو متر دیجیتالی یکبار به صورت ولتمتری و بار دیگر به صورت آمپرمتری بطور جداگانه استفاده کنید.

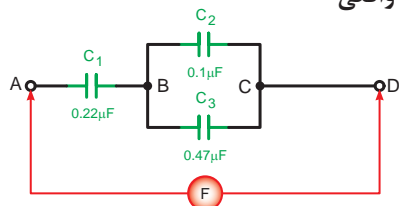


## مراحل اجرای آزمایش

۱- مدار شکل ۹-۱۴۹ را روی بردبرد اتصال دهید و با LC متر ظرفیت خازن معادل بین دو نقطه A و D را اندازه گیری کنید.

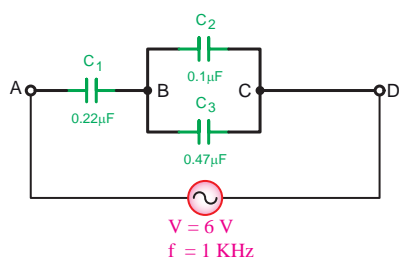
$$C_{TAD} = \boxed{\phantom{000}} \mu f$$

الف - شکل واقعی



ب - شکل مداری

شکل ۹-۱۴۹



شکل ۹-۱۵۰

۲- سیگنال ژنراتور را روی ولتاژ ۶ ولت سینوسی با فرکانس ۱ کیلوهرتز kHz تنظیم کنید و طبق شکل ۹-۱۵۰ به دو نقطه A و D مدار وصل کنید.

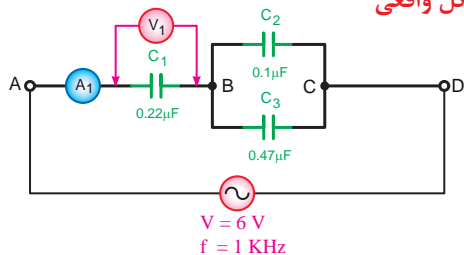


۳- با استفاده از یک مولتی متر دیجیتالی جریان عبوری و ولتاژ دو سر خازن  $C_1$  را اندازه گیری کنید. (شکل ۹-۱۵۱)

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} V$$

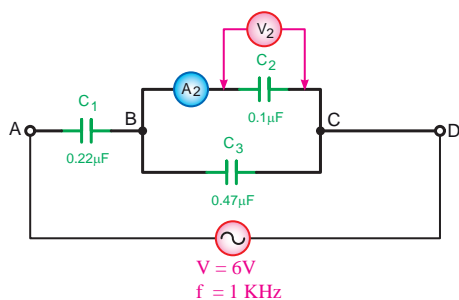
$$I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} mA$$

الف - شکل واقعی



ب - شکل مداری

شکل ۹-۱۵۱



شکل ۹-۱۵۲

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.

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V} \quad I_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$V_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V} \quad I_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

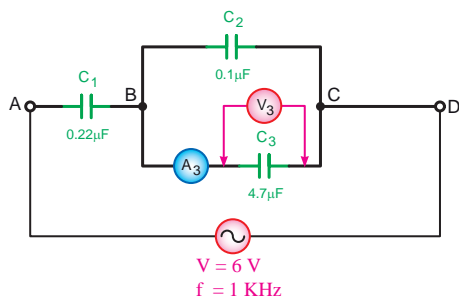
### پاسخ سؤال



۵-

۵- آیا آمپر مترها و ولت مترها مقادیر مساوی را نشان می دهند؟

چرا؟



شکل ۹-۱۵۳

۶- مقدار جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط:

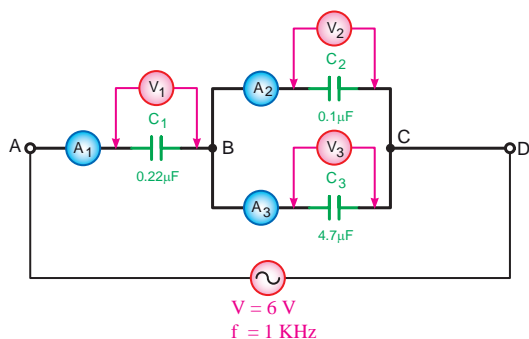
$$V_C = X_C \cdot I \quad \text{و} \quad I_C = \frac{V_C}{X_C} \quad \text{و} \quad X_{C_T} = \frac{1}{2\pi f \cdot C_T}$$

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V} \quad I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V} \quad I_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$V_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V} \quad I_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$V_{C_f} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V} \quad I_{C_f} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$



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.

$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V} \quad I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V} \quad I_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$V_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V} \quad I_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

## پاسخ سؤال

-۸

۸- آیا مقادیر اندازه گیری شده ولتاژ و جریان ولتاژی در فرکانس ۱ kHz با فرکانس ۱۰ kHz مساوی هستند؟ چرا؟

## پاسخ سؤال

-۱۰

۹- مقدار جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط:

$$V_C = X_C \cdot I_C \quad \text{و} \quad I_C = \frac{V_C}{X_C}, \quad X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C}$$

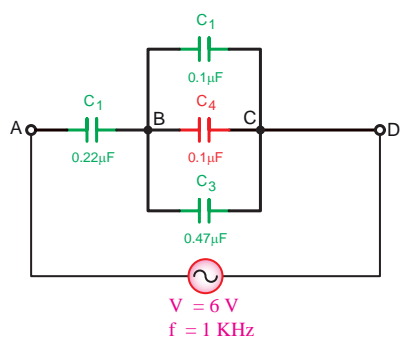
$$V_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V} \quad I_{C_1} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$V_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V} \quad I_{C_2} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

$$V_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ V} \quad I_{C_3} = \boxed{\phantom{000}} \text{ mA}$$

۱۰- از مقادیر محاسبه شده و اندازه گیری شده برای ولتاژ و

جریان هر خازن طی مراحل ۲ تا ۹ چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

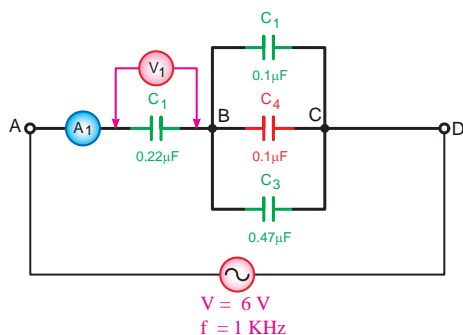


شکل ۹-۱۵۵

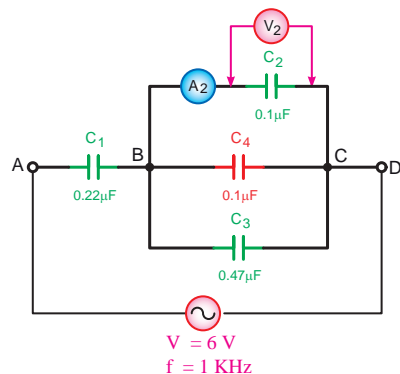
۱۱- یک خازن  $0.1 \mu\text{F}$  را مطابق شکل ۹-۱۵۵ بین دو نقطه B

و C مدار قرار دهید.





شکل ۹-۱۵۶



شکل ۹-۱۵۷

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.

$V_{C_1} =$	<input type="text"/>	V	$I_{C_1} =$	<input type="text"/>	mA
$V_{C_2} =$	<input type="text"/>	V	$I_{C_2} =$	<input type="text"/>	mA
$V_{C_3} =$	<input type="text"/>	V	$I_{C_3} =$	<input type="text"/>	mA
$V_{C_4} =$	<input type="text"/>	V	$I_{C_4} =$	<input type="text"/>	mA

۱۴- مقدار جریان و ولتاژ هر خازن را با کمک روابط:

$$V_C = X_C \cdot I_C \quad \text{و} \quad I_C = \frac{V_C}{X_C}, \quad X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C}$$

$V_{C_1} =$	<input type="text"/>	V	$I_{C_1} =$	<input type="text"/>	mA
$V_{C_2} =$	<input type="text"/>	V	$I_{C_2} =$	<input type="text"/>	mA
$V_{C_3} =$	<input type="text"/>	V	$I_{C_3} =$	<input type="text"/>	mA
$V_{C_4} =$	<input type="text"/>	V	$I_{C_4} =$	<input type="text"/>	mA

۱۵- از مقادیر محاسبه شده و اندازه گیری شده برای ولتاژ و جریان هر خازن طی مراحل ۱۳ و ۱۴ چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

۱۶- با در نظر گرفتن ولتاژ دو سر هر خازن و ظرفیت واقعی آن ها مقدار انرژی ذخیره شده در هر خازن را طبق رابطه

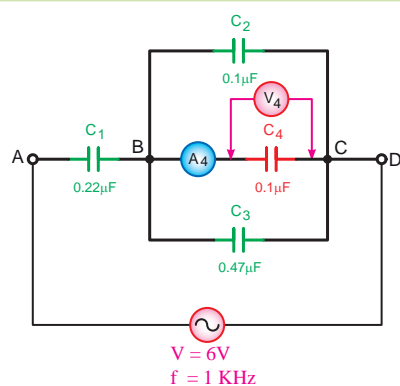
$$W = \frac{1}{2} C V^2 \quad \text{محاسبه کنید.}$$

$W_{C_1} = \frac{1}{2} C_1 V_1^2 =$	<input type="text"/>	mj
$W_{C_2} = \frac{1}{2} C_2 V_2^2 =$	<input type="text"/>	mj
$W_{C_3} = \frac{1}{2} C_3 V_3^2 =$	<input type="text"/>	mj
$W_{C_4} = \frac{1}{2} C_4 V_4^2 =$	<input type="text"/>	mj

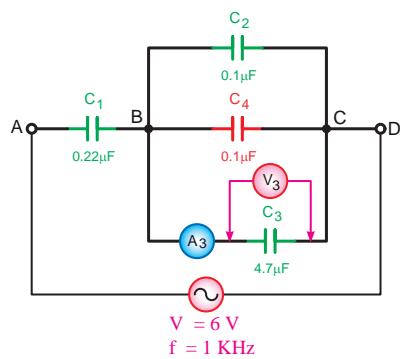
## پاسخ سؤال



-۱۵



شکل ۹-۱۵۸



شکل ۱۵۹-۹

۱۷- از مقایسه نتایج مراحل ۱۰ و ۱۵ چه نتیجه ای می گیرید؟ شرح دهید.

پاسخ سؤال



۱۷-



## آزمون پایانی (۹)

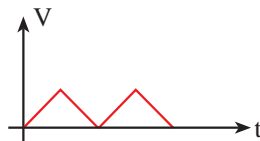
۱- جریانی که جهت آن همیشه ثابت است چه نوع جریانی است؟

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

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 - زغالها      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

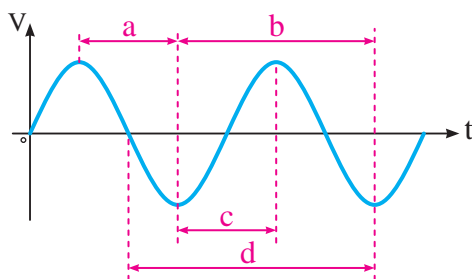
۱۱- فرکانس عبارت است از:

الف - تعداد زمان تناوبها 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



۱۲- در شکل ۹-۱۶۱ کدامیک از موارد زیر شکل صحیح زمان تناوب را نشان می دهد؟



شکل ۹-۱۶۱

الف - a

ب - b

ج - c

د - d

۱۳- کدام رابطه شکل صحیح فرمول طول موج را نشان می دهد؟

د -  $\lambda = 2\pi f$

ج -  $\lambda = \frac{C}{q}$

الف -  $\lambda = \frac{C}{f}$

ب -  $\lambda = \frac{f}{C}$

۱۴- سرعت زاویه ای عبارت است از:

الف - سرعت متحرک در داخل میدان مغناطیسی

ب - زاویه چرخش متحرک در مسیر دایره‌ای به شعاع  $2\pi$

ج - سرعت چرخش متحرک در مسیر دایره‌ای

د - زاویه چرخش متحرک نسبت به شعاع مبنا در عرض یک ثانیه

۱۵- رابطه مقدار متوسط و مؤثر یک موج را نشان می دهد؟

ب -  $V_{av} = 0.637 \times V_m$

الف -  $V_{av} = 0.707 \times V_m$

$V_e = 0.637 \times V_m$

$V_e = 0.707 \times V_m$

د -  $V_{av} = 0.707 \times V_m$

ج -  $V_{av} = 0.637 \times V_m$

$V_e = 0.637 \times V_m$

$V_e = 0.707 \times V_m$

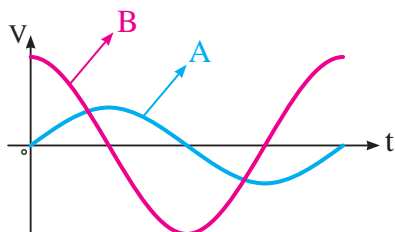
۱۶- معیار سنجش مقدار مؤثر موج متناوب چیست؟

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 پیشفاز است.

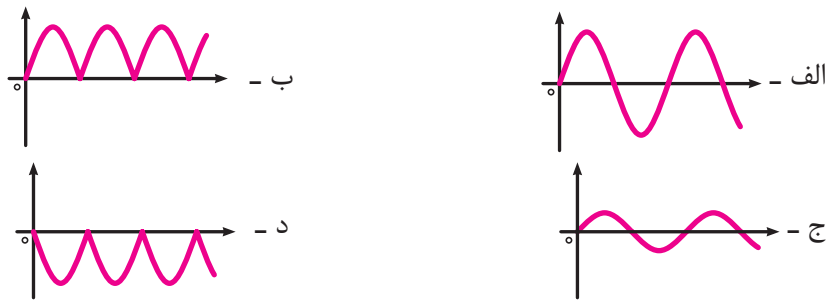
ب - موج A نسبت به موج B پیشفاز است.

ج - موج A نسبت به موج B همفاز 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 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؟

الف -  $X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2}$       ب -  $X_{L_T} = \frac{1}{\frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}}}$

$L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}}$

ج -  $X_{L_T} = \frac{1}{\frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}}}$       د -  $X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2}$

$L_T = L_1 + L_2$

$L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}}$

۲۴- بردار کمیت های اهمی خالص و غیراهمی خالص به ترتیب روی محورهای ..... و ..... رسم می شوند.

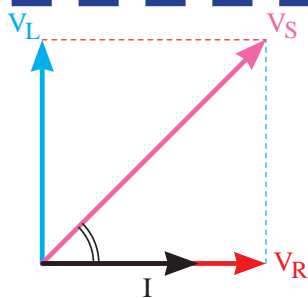
الف - افقی مثبت - افقی منفی

ب - افقی منفی - عمودی مثبت و منفی

ج - افقی مثبت - عمودی مثبت و منفی

د - افقی منفی - عمودی منفی

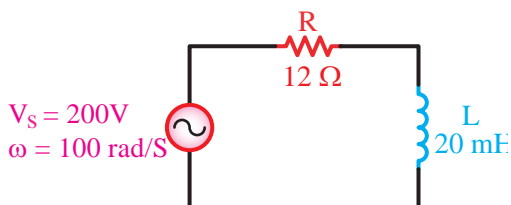




شکل ۹-۱۶۳

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 چه قدر است؟

- الف - ۰/۸  
ب - ۰/۷  
ج - ۰/۶  
د - ۰/۵

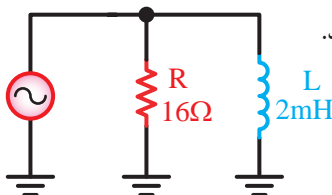
۲۷- افزایش فرکانس در مدار RL سری موجب می شود تا مدار خاصیت ..... پیدا کند.

- الف - اهمی تر  
ب - سلفی تر

د - تغییر فرکانس تأثیری در مدار ندارد.

- ج - اهمی و سلفی

$V_S = 48V$   
 $f = 1KHz$   
 $\pi = 3$



شکل ۹-۱۶۵

۲۸- جریان کل مدار شکل ۹-۱۶۵ چند 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 ..... .

- ب - کاهش می یابد.

- الف - افزایش می یابد.

د - ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد.

- ج - تغییری نمی کند.

۳۰- در مدار RL سری ..... به نسبت ..... با مقاومت ها بین اجزا مدار مستقیم می شود.

- ب - ولتاژها - معکوس

- الف - ولتاژها - مستقیم

- د - جریان ها - معکوس

- ج - جریان ها - مستقیم

۳۱- کدام رابطه شکل صحیح فرمول ضریب قدرت در مدارهای RC سری را نشان می دهد؟

ب -  $\frac{X_C}{Z}$

الف -  $\frac{X_C}{R}$

د -  $\frac{R}{Z}$

ج -  $\frac{R}{Z}$

۳۲- امپدانس مدار شکل ۹-۱۶۶ چند اهم است؟

- ب - ۱۹۲

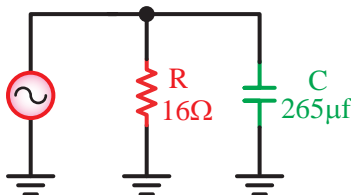
- الف - ۲۸

- د - ۹/۶

- ج - ۲۰

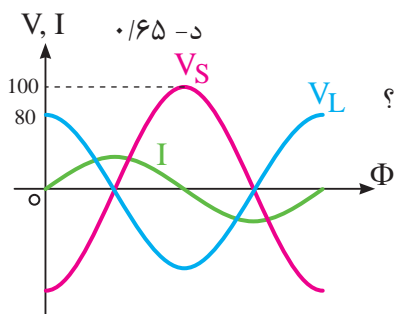


$f = 50Hz$



شکل ۹-۱۶۶

۳۳- مقدار ضریب قدرت غیر حقیقی مدار شکل ۹-۱۶۷ چقدر است؟



الف - ۰/۸

ب - ۰/۷۵

ج - ۰/۷

د - ۰/۶۵

۳۴- با توجه به شکل موج های 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- امپدانس در مدارهای LC سری در شرایط رزونانس چقدر است؟

الف -  $Z = 0$

ب -  $Z = Z_{max}$

ج -  $Z = R$

د -  $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$

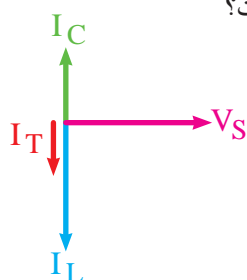
۳۶- دیاگرام برداری شکل ۹-۱۶۸ مربوط به کدام مدار و در چه شرایطی است؟

الف - LC سری  $X_L > X_C$

ب - LC سری  $X_C > X_L$

ج - LC موازی  $X_L > X_C$

د - LC موازی  $X_C > X_L$



شکل ۹-۱۶۸

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 خازنی  $X_L > X_C$

د - حالت خازنی  $X_C > X_L$

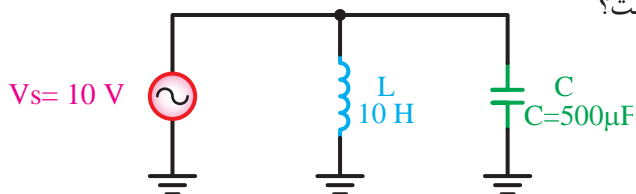
۳۸- فرکانس رزونانس مدار شکل ۹-۱۶۹ چند کیلوهرتز است؟

الف - ۳/۱

ب - ۷/۰۷

ج - ۲/۲

د - ۱۴



شکل ۹-۱۶۹

۳۹- اگر راکتانس خازنی مدار RC سری افزایش یابد زاویه اختلاف فاز به ..... نزدیک می شود.

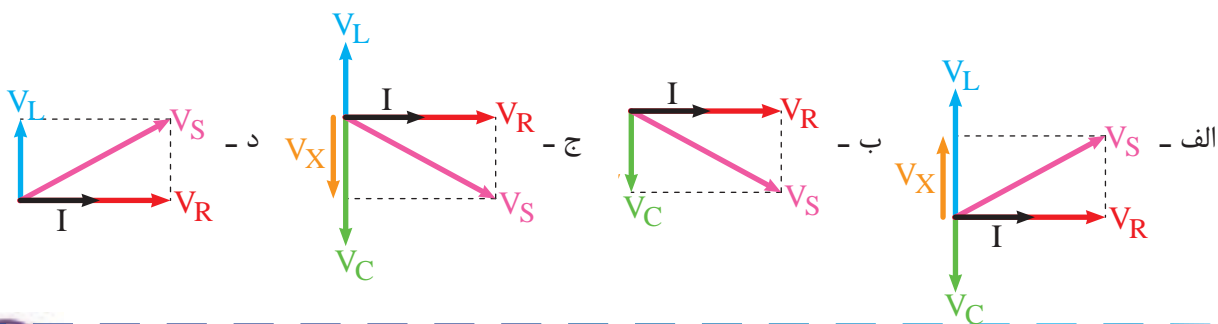
الف - ۹۰+ درجه

ب - ۹۰- درجه

ج - صفر

د - ۴۵+ درجه

۴۰- کدامیک از دیاگرام های برداری ولتاژها در حالت مدار RLC سری را نشان می دهد؟



۴۱- در حالت رزونانس مدار RLC سری امپدانس مدار برابر است با:

د- ۰/۶۵

ج- ۰/۷

ب- ۰/۷۵

الف- ۰/۸

د-  $X_L$

ج-  $X_C$

ب-  $\frac{1}{R}$

الف-  $R$

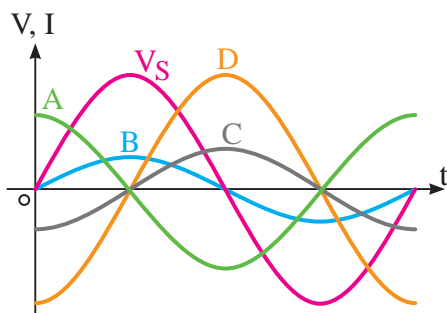
۴۲- در فرکانس های کمتر از  $f_r$  مدارهای RLC سری جریان (I) ..... از  $V_S$  است و مدار در حالت ..... قرار دارد.

د- عقبتر - سلفی

ج- جلوتر - خازنی

ب- عقبتر - خازنی

الف- جلوتر - سلفی



شکل ۹-۱۷۰

۴۳- در شکل ۹-۱۷۰ که مربوط به مدار RLC موازی است

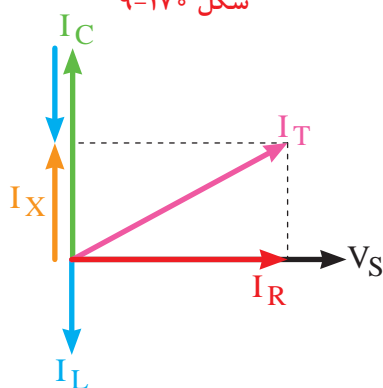
کدام شکل موج نشان دهنده جریان  $I_L$  است؟

ب- B

الف- A

د- D

ج- C



شکل ۹-۱۷۱

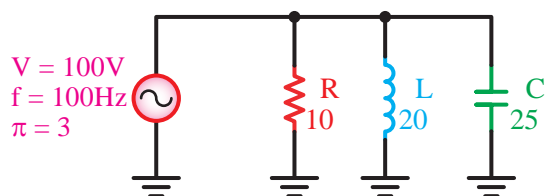
۴۴- دیاگرام برداری شکل ۹-۱۷۱ مربوط به چه مداری است؟

ب- RL موازی

الف- RLC موازی

د- RL سری

ج- RLC سری



شکل ۹-۱۷۲

۴۵- ضریب قدر مدار شکل ۹-۱۷۲ چقدر است؟

ب- ۰/۹

الف- ۰/۴

د- ۰/۶

ج- ۰/۸

۴۶- توانی را که از طرف تولید کننده به مدار فرستاده می شود را توان ..... گویند.

د- اکتیو (Q)

ج- ظاهری (S)

ب- اکتیو (S)

الف- ظاهری (Q)

۴۷- کدامیک از روابط زیر غلط است؟

د-  $S = \frac{V_e}{I_e}$

ج-  $P = \frac{V_e}{R}$

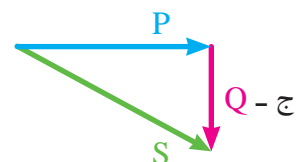
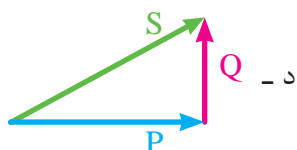
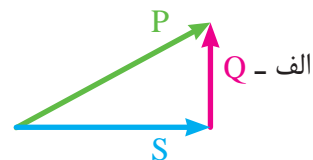
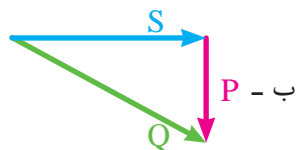
ب-  $Q = X \cdot I_e$

الف-  $P = \sqrt{S^2 + Q^2}$





۴۸- کدام یک از گزینه های زیر شکل صحیح مثلث توان ها را در حالت سلفی نشان می دهد؟



۴۹- اگر شکل موجی از موج دیگر زودتر شروع شود، در اصطلاح به آن موج ..... می گویند.

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 هیچ گاه 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 می دهند.

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 سلف های مدار ..... است.



توجه

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



## واحد کار مبانی الکتریسته

### فصل دهم: اصول کار مولدهای جریان مستقیم

#### هدف کلی

آشنایی با ساختمان و اصول کار مولدهای جریان مستقیم



**هدف های رفتاری:** در پایان این فصل انتظار می رود که فراگیر بتواند:

- ۱- اجزای اصلی و فرعی یک مولد dc را نام ببرد.
- ۲- تفاوت کموتاتورهای 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 کلاف ها و تیغه های کلکتور را توضیح دهد.



#### ساعت

نظری	عملی	جمع
۴	-	۴



۱- در داخل دستگاه های 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 می شود؟

الف - باتری      ب - دلكو      ج - آفتامات      د - دینام

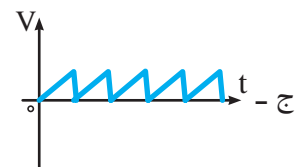
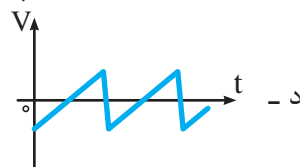
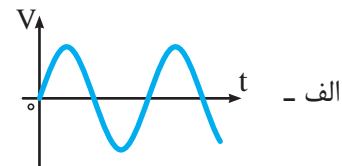
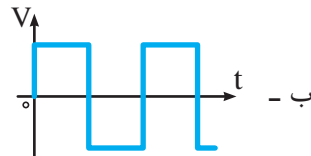
۴- کدامیک از موارد زیر از اجزای یک دینام دوچرخه نیست؟

الف - آرمیچر      ب - هرزگرد      ج - آهنربا      د - سیم پیچ قطب های N و S

۵- در کدام وسیله زیر زغال (جاروبک) به کار نمی رود؟

الف - دریل      ب - جارو برقی      ج - همزن      د - موتور کولر

۶- کدامیک از امواج زیر dc است؟



۷- انگشت شست در قانون دست راست ژنراتورها نشان دهنده کدام کمیت است؟

الف - جهت حرکت هادی      ب - جهت نیروی محرکه

ج - جهت میدان مغناطیسی      د - جهت قطب ها

۸- فرکانس موجی با زمان متناوب ۵ میلی ثانیه بر هرتز است؟

الف - ۱۰۰      ب - ۲۰۰      ج - ۲۰      د - ۰/۰۰۵

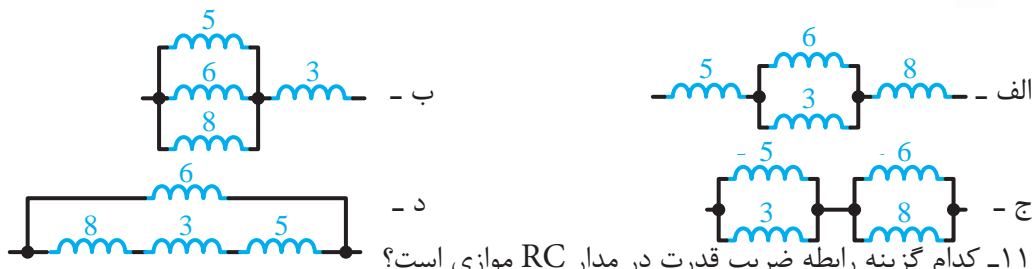
۹- مقدار مؤثر یک موج سینوسی با ماکزیمم دامنه ۱۰ ولت چقدر است؟

الف - ۱۲/۷۴      ب - ۷/۰۷      ج - ۱۴/۱۴      د - ۰/۶۳۶





۱۰- راکتانس معادل کدام یک از اشکال زیر برابر با  $15\Omega$  است؟



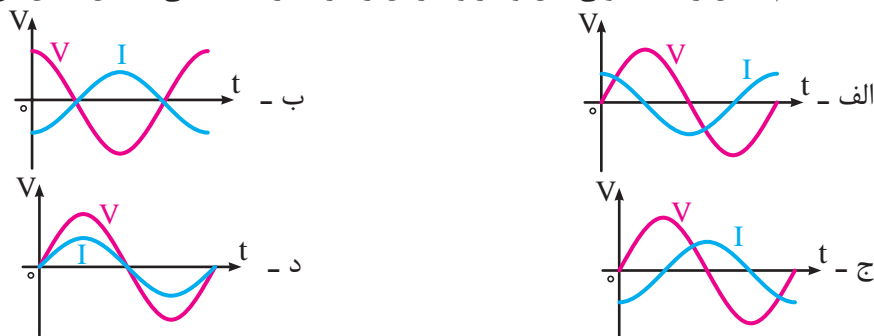
۱۱- کدام گزینه رابطه ضریب قدرت در مدار RC موازی است؟

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 شکل رابطه قانونی بین ولتاژ و جریان را در مدارهای سلفی خالص نشان می دهد؟



۱۴- اگر توان ظاهری یک مصرف کننده  $500VA$  و توان اکتیو  $400W$  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  $R = 100\Omega$ ،  $C = 0.4\mu f$  چند هرتز است؟ ( $\pi=3$ )

الف -  $396$       ب -  $372$       ج -  $340$       د -  $335$



## ۱-۱۰-۱ شناسایی اصول کار مولد جریان مستقیم

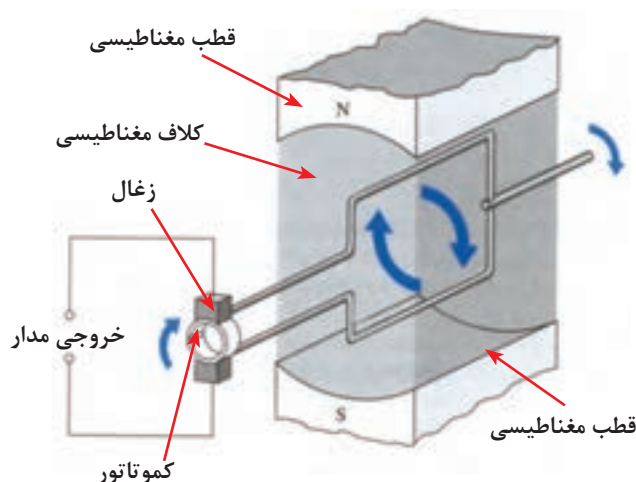
یک ماشین جریان مستقیم ساده طبق شکل ۱-۱۰-۱ از چهار قسمت اصلی تشکیل شده است.

۱- میدان مغناطیسی (قطب ها)

۲- حلقه القا شونده (کلاف سیم)

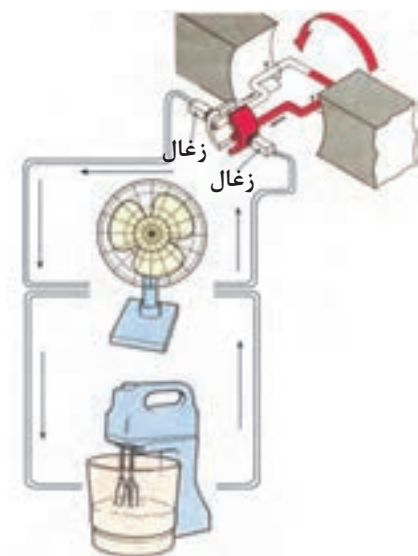
۳- کموتاتور (حلقه های لغزنده)

۴- جاروبک ها (زغال ها)



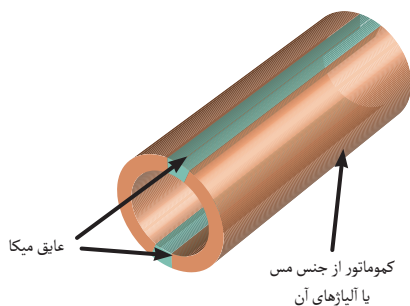
شکل ۱-۱۰-۱

نحوه تولید ولتاژ در مولدهای dc نیز مشابه مولدهای ac است یعنی با حرکت درآوردن کلاف در میان مغناطیسی ولتاژی در دو سر آن القا می شود که از طریق حلقه های لغزنده به زغال ها و در نهایت به مصرف کننده انتقال می یابد. (شکل ۱۰-۲)

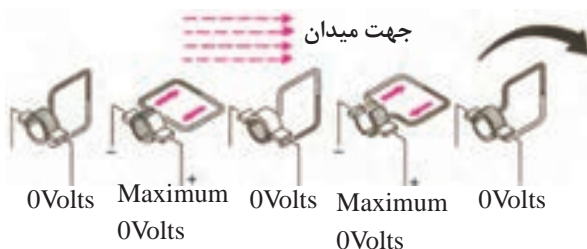


شکل ۱۰-۲

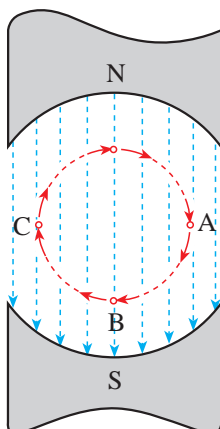
تفاوت اصلی مولدهای dc و ac در شکل کموتاتور استفاده شده در آن است. زیرا در جریان dc این حلقه ها دو تکه است و توسط یک عایق از یکدیگر جدا می شوند. (شکل ۱۰-۳)



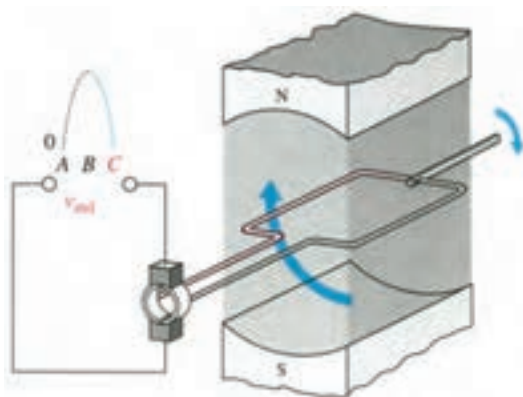
شکل ۱۰-۳



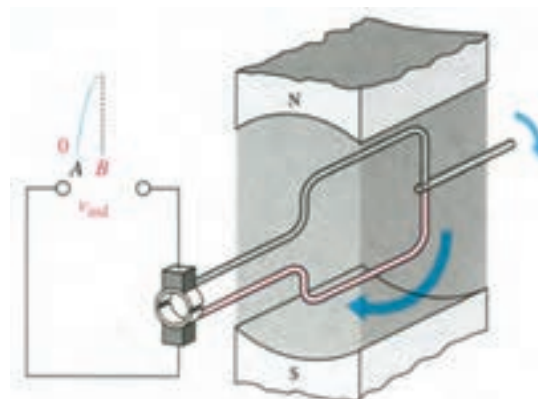
شکل ۴-۱۰



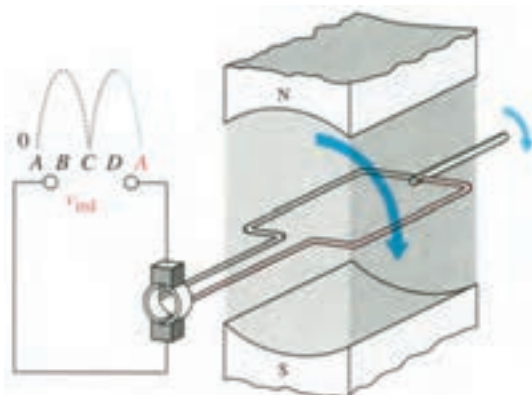
شکل ۵-۱۰



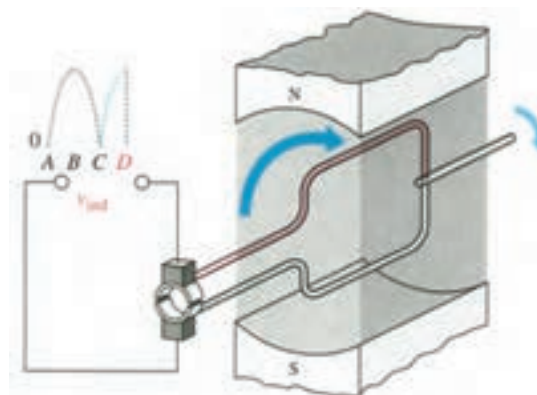
حالت ب - حلقه به موازات خطوط شار حرکت می کند و ولتاژ صفر است.



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 ۶-۱۰

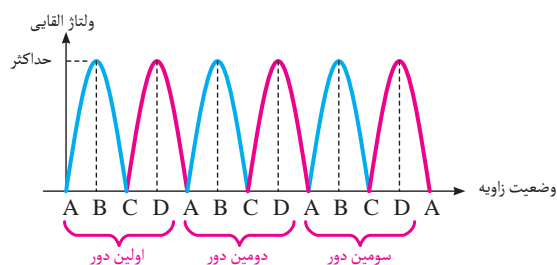
دو تکه بودن کموتاتور سبب می شود تا بازویی که به آن متصل است در زمانی که کلاف نیم دور میزند و به زیر قطب مخالف برود. در این حالت جهت جریان در سیم عوض نمی شود و به همان صورت باقی بماند. (شکل ۴-۱۰)

اگر فضای گردش کلاف در داخل میدان مغناطیسی را برای هر ۹۰ درجه به صورت شکل ۵-۱۰ نامگذاری کنیم با گردش کلاف در داخل میدان مغناطیسی هر ۱۸۰ درجه ولتاژ یکبار به حداکثر میرسد و مجدداً صفر می شود.

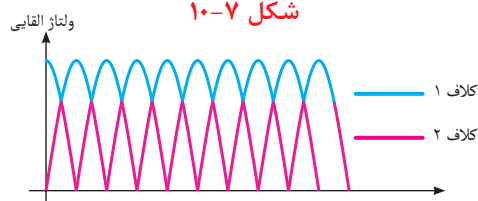
بنابراین در یک دور گردش کلاف در میدان مغناطیسی دو نیم سیکل سینوسی به وجود می آید.

در شکل ۶-۱۰ از تصویر الف تا د مراحل مختلف و چگونگی به وجود آمدن ولتاژ را نشان می دهد.

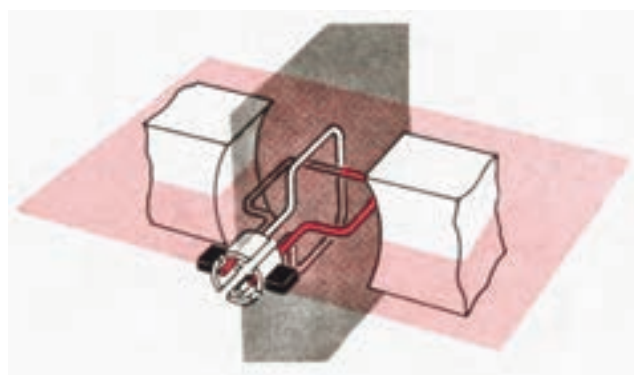
برای درک بهتر چگونگی تولید ولتاژ القایی dc در هر ۹۰ درجه چرخش به زیرنویس تصاویر توجه کنید.



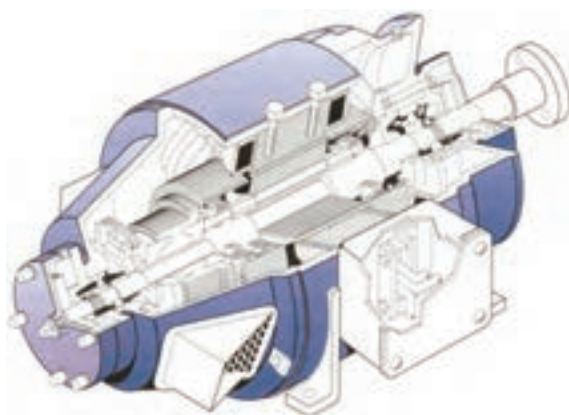
شکل ۱۰-۷



شکل ۱۰-۸



شکل ۱۰-۹



شکل ۱۰-۱۰

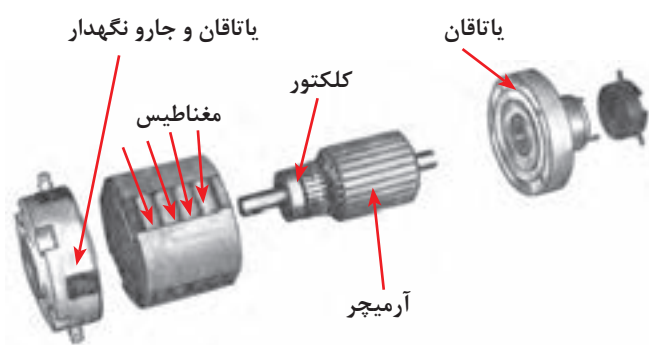
شکل موج خروجی مولد در طی چرخش های متوالی کلاف در داخل میدان به صورت شکل ۱۰-۷ می شود.

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.

یادآور می شود که با اضافه شدن هر کلاف تعداد تقسیم های تیغه های کلکتور بیشتر می شود و برای سرهای اضافه شده دو تیغه جدید جهت اتصال لازم است (شکل ۱۰-۹)

شکل ۱۰-۱۰ تصویر برش خورده یک مولد dc را نشان می دهد.





شکل ۱۱-۱۰

در عمل اجزای یک مولد dc با نام های دیگری معرفی می کنند. شکل ۱۱-۱۰ تصویری از اجزای اصلی و فرعی یک مولد dc را نشان می دهد.



شکل ۱۲-۱۰

از جمله مولدهای dc ساده می توان 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 آن ها نیز چرخش کلاف سیم در داخل میدان مغناطیسی و القا ولتاژ است. در شکل ۱۲-۱۰ تصویر یک نمونه دینام دوچرخه را مشاهده می کنید.





## آزمون پایانی (۱۰)

۱- کموتاتور نام دیگر کدامیک از موارد زیر است؟

الف - حلقه القا شونده      ب - زغال ها      ج - قطب ها      د - حلقه های لغزنده

۲- ولتاژ القایی توسط کدام مورد به مصرف کننده اتصال می یابد؟

الف - جاروبک ها      ب - قطب ها      ج - سیم های رابط      د - حلقه القا شونده

۳- نقش اصلی حلقه های لغزنده در مولدهای \* چیست؟

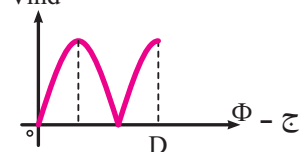
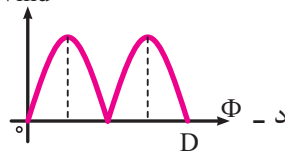
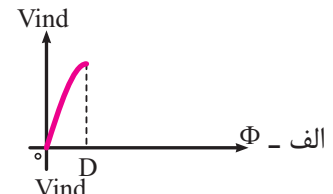
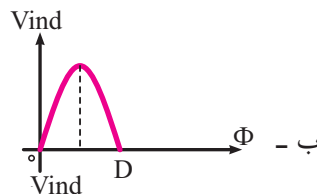
الف - چرخاندن کلاف سیم      ب - یکسوسازی جریان

ج - رساندن جریان به مصرف کننده      د - ارتباط بین زغال و مصرف کننده

۴- در کدامیک از زوایای میدان مغناطیسی داده شده زیر ولتاژ القای 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 ۱۳-۱۰ در صورتی که از نقطه \* حرکت کنیم شکل موج خروجی فاصله \* تا \* کدام است؟



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 -  $1\frac{1}{2}$       ب -  $2\frac{1}{2}$       ج - ۳      د - ۶

۷- چگونه می توان شکل موج خروجی مولد را صافتر کرد؟

الف - افزایش تعداد زغال ها      ب - افزایش تعداد کلاف ها

ج - کاهش تعداد قطب ها      د - کاهش سرعت محرک مکانیکی

۸- کدام یک از موارد زیر از اجزای اصلی الکتریکی یک مولد dc نیست؟

الف - جاروبک ها      ب - حلقه های لغزنده      ج - یاتاقان ها      د - حلقه القا شونده



۹- در صورت افزایش تعداد کلاف های 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. صحیح غلط

۱۲- در هر ۹۰ درجه گردش کلاف جریان یک بار به حداکثر رسیده و مجدداً صفر می شود.

☐ غلط ☐ صحیح

۱۳- تفاوت اصلی مولدهای dc با ac در ..... استفاده شده آن ها است.

۱۴- یک ماشین جریان مستقیم از قطب ها، کلاف سیم، کموتاتور و ..... تشکیل شده است.

۱۵- اضافه شدن هر کلاف باعث افزایش ..... خواهد شد.



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



## واحد کار مبانی الکتریسیته

### فصل یازدهم: اصول کار آلترناتورهای سه فاز

#### هدف کلی

آشنایی با ساختمان و اصول کار مولدهای متناوب سه فاز



**هدف های رفتاری:** در پایان این فصل انتظار می رود که فراگیر بتواند:

- ۱- وجود تشابه و تفاوت کار مولدهای تک فاز و سه فاز را بیان کند.
- ۲- چگونگی بوجود آمدن شکل موج سه فاز را با رسم شکل توضیح دهد.
- ۳- اتصال ستاره و مثلث در آلترناتورها را به همراه نحوه نامگذاری کلافهای سه فاز توضیح دهد.
- ۴- مقادیر خطی و فازی را تعریف کند.
- ۵- ارتباط جریانهها 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.

ساعت		
نظری	عملی	جمع
۳	-	۳



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 شبکه های سه فاز، استفاده می شود؟

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 - ۲۲۰      ج - ۱۸۰      د - ۳۸۰

۵- آیا در شبکه های سه فازه تمامی توان تولید شده توسط مول در مصرف کننده مصرف می شود؟

الف - بلی      ب - خیر

ج - به نوع مولد بستگی دارد.      د - به نوع اتصال مدار بستگی دارد.

۶- جنس عایق بین تیغه های کموتور 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 -  $180^\circ$       ج - بین صفر تا  $90^\circ$       د - بین  $90^\circ$  تا  $180^\circ$

۹- کدام یک از موارد زیر به عنوان محرک و تأمین کننده انرژی در مولدهای برق به کار نمی رود؟

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 می رود؟

الف - PH      ب - L2      ج - N      د - MP

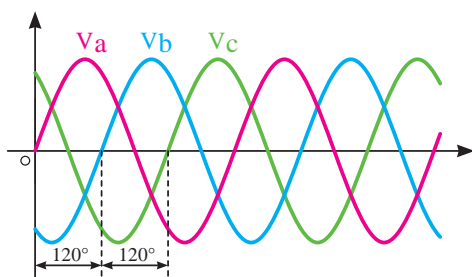
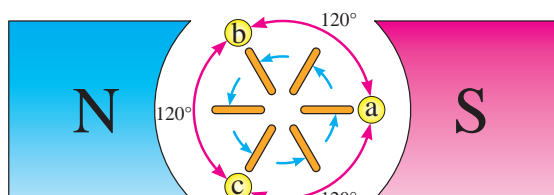




شکل ۱۱-۱

## ۱۱-۱- اتصالات آلترناتور سه فاز

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 می شود. شکل ۱۱-۱ تفاوت اصلی این مولدها در ساختمان داخلی آن ها است.



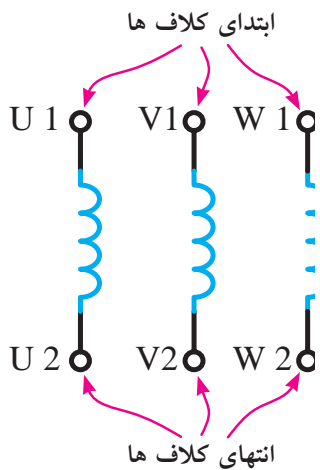
(الف)

هر مولد سه فاز دارای سه دسته سیم پیچی است که در فضای دایره های شکل با زاویه مکانی  $120^\circ$  نسبت به هم قرار می گیرند. با قطع خطوط قوا توسط این سیم پیچ ها سه نوع جریان القایی متقارن با اختلاف فاز مکانی  $120^\circ$  به وجود می آید، به این نوع جریان «سه فاز» می گویند.

شکل ۱۱-۲ وضعیت سیم پیچ های داخل میدان مغناطیسی و شکل موج های تولید شده توسط آن ها را نشان می دهد.

شکل ۱۱-۲

(ب)



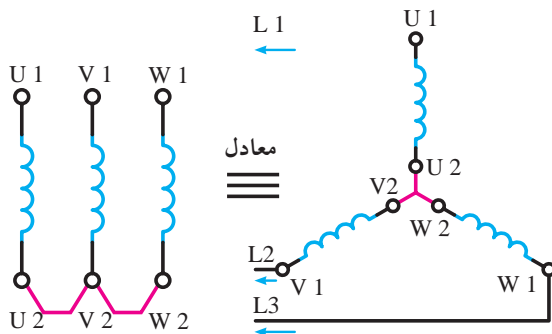
شکل ۱۱-۳

شکل ۱۱-۳ سه سیم پیچ مولد را به همراه حروف اختصاری در استاندارد IEC را نشان می دهد که معرف سه گروه کلاف در مولدهای سه فاز است.

## ۱۱-۱-۱- اتصال کلاف ها: کلاف ها به دو

صورت به هم اتصال داده می شوند.

- **اتصال ستاره:** اگر انتهای کلاف های اول و دوم و سوم به یکدیگر اتصال یابند و از ابتدای کلاف جریان دریافت شود این نوع اتصال را «اتصال ستاره» می گویند و آن را با علامت (Y) نشان می دهند. در شکل ۱۱-۴ نحوه اتصال کلاف های مولد به حالت ستاره را مشاهده می کنید.



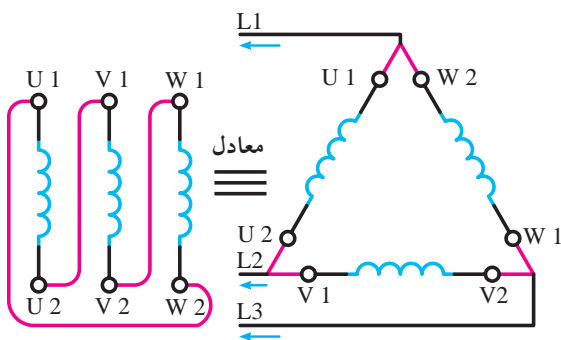
شکل ۱۱-۴

- **اتصال مثلث:** هرگاه انتهای کلاف اول به ابتدای کلاف

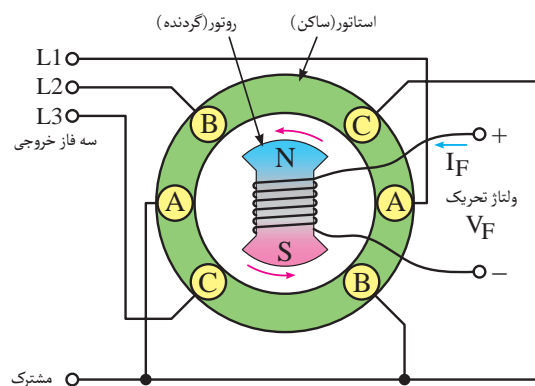
دوم، انتهای کلاف دوم به ابتدای کلاف سوم، انتهای کلاف سوم، به ابتدای کلاف اول متصل شود و ابتدای کلاف ها جریان دریافت شود این نوع اتصال را اتصال مثلث می گویند و آن را با علامت ( $\Delta$ ) نشان می دهند.

نحوه اتصال کلاف های 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 می دهد که سیم

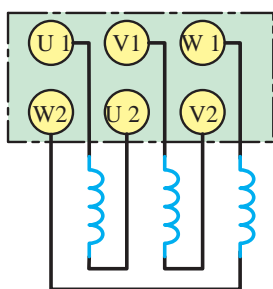
پیچ های آن به صورت (Y) وصل شده است. از محل اتصال انتهای کلاف ها در اتصال ستاره معمولاً سیمی خارج می شود که آن را «سیم مشترک» یا «سیم نول یا صفر» می نامند.



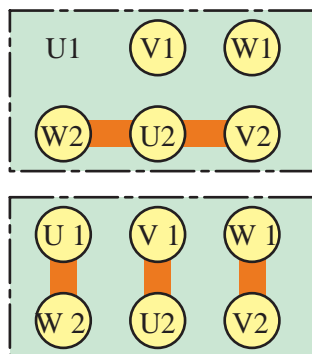
شکل ۱۱-۷

در شکل ۱۱-۷ قسمت الف تصویری از روتور، قسمت ب

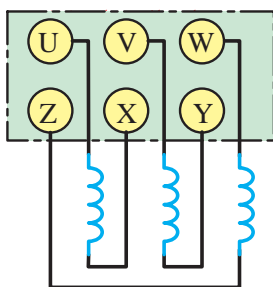
بخشی از سیم بندی استاتور و قسمت ج شکل ظاهری یک مولد ac واقعی که در نیروگاه ها برای تولید انرژی الکتریکی استفاده می شوند را نشان داده شده است.



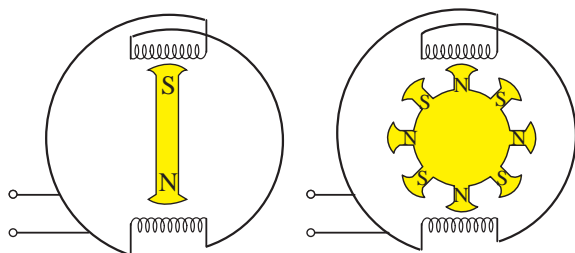
شکل ۸-۱۱



شکل ۹-۱۱



شکل ۱۰-۱۱



شکل ۱۱-۱۱- در صورتی که سرعت چرخش هر دو مولد مساوی باشد فرکانس مولد شکل ب چهار برابر فرکانس مولد شکل الف است.

- **ترمینال اتصال (تخته کلم):** نحوه قرار گرفتن سر و ته کلاف های مولد روی ترمینال اتصال (تخته کلم) جهت اتصال به مدار مطابق شکل ۸-۱۱ است.

برای اتصال کلاف ها به صورت ستاره یا مثلث از تیغه های مسی در روی ترمینال اتصال استفاده می شود. در شکل ۹-۱۱ چگونگی اتصال تیغه های مسی در زیر پیچ های تخته کلم برای ایجاد اتصالات ستاره و مثلث را نشان داده شده است.

توضیح: در برخی کتب طبق استاندارد VDE آلمان حروف U<sub>1</sub>، V<sub>1</sub>، W<sub>1</sub> به ترتیب با حروف V، U، W و حروف ته کلاف ها U<sub>2</sub>، V<sub>2</sub>، W<sub>2</sub> به ترتیب با حروف \* مشخص می کنند. در شکل ۱۰-۱۱ این مطلب نشان داده شده است.

## ۱۱-۲- فرکانس خروجی آلترناتور

فرکانس مولدهای سه فاز از رابطه زیر به دست

می آید:

$$f = \frac{n.p}{60}$$

که در این رابطه:

n - تعداد دور روتور بر حسب دور بر دقیقه

p - تعداد زوج قطب های استاتور است.

همان طوری که از رابطه فوق مشخص است فرکانس مولد با دو عامل دور و تعداد زوج قطب ها رابطه مستقیم دارد. یعنی هر قدر تعداد قطب ها و یا سرعت محرک مکانیکی مولد بیشتر شود فرکانس نیز افزایش می یابد. در هر دو حالت با چرخش یک دور روتور، تعداد قطب ها با فوران بیشتری قطع می شود. فرکانس مولدهای برق شهر ۵۰ HZ است. در شکل ۱۱-۱۱ تصویر دو مولد ۲ قطب و ۸ قطب نشان داده شده است.

### ۱۱-۳-۱۱-۳- جریانه و ولتاژها در اتصالات ستاره مثلث متعادل

قبل از بررسی روابط و خصوصیات اتصالات  $\Delta$  و  $\Delta$  لازم است با چهار مفهوم در مدارهای سه فاز آشنا شویم:

**الف - جریان خطی ( $I_L$ ):** جریانی که از خطوط خارجی مولد برای مصرف کننده ها فرستاده می شود، را «جریان خطی» گویند.

**ب - جریان فازی ( $I_P$ ):** جریانی که از داخل هر یک از سیم پیچ های مولد سه فاز عبور می کنند را «جریان فازی» می گویند.

شکل ۱۱-۱۲ جریان  $I_P$  و  $I_L$  اتصالهای ستاره و مثلث را نشان می دهد.

**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 سیم پیچ های مولد را «ولتاژ فازی» گویند.

در شکل ۱۱-۱۳ ولتاژهای خطی و فازی اتصالهای ستاره و مثلث نشان داده شده است.

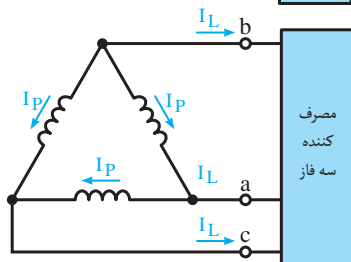
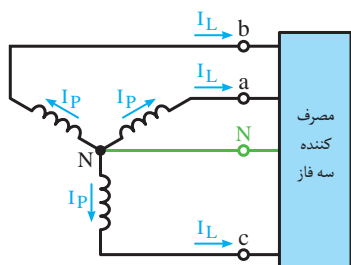
**توضیح:** در مدارهای سه فاز هر یک از فازها را با حروف اختصاری \* نشان می دهند. (شکل ۱۱-۱۴)

### ۱۱-۳-۱- مقدار ولتاژ و جریان در اتصال ستاره و مثلث:

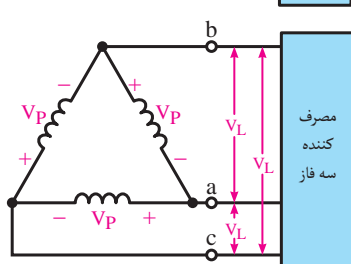
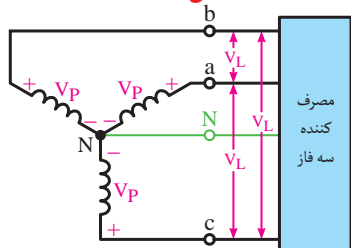
در شکل ۱۱-۱۵ وضعیت سیم پیچ ها در اتصال ستاره و مقدار ولتاژها و جریان های فازی و خطی را مشاهده می کنید. در این اتصال روابط زیر در مدار برقرار است:

$$I_L = I_P$$

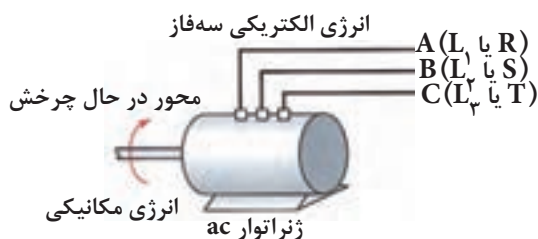
$$V_L = \sqrt{3} V_P$$



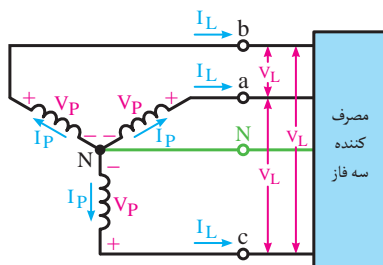
شکل ۱۱-۱۲



شکل ۱۱-۱۳



شکل ۱۱-۱۴



شکل ۱۱-۱۵



## توضیح:

از محل اتصال مشترک انتهای کلاف‌ها معمولاً سیم خارجی می‌شود که آن را «سیم نول» یا «صفر» می‌نامند. شکل ۱۱-۱۶ وضعیت سیم پیچ‌ها ولتاژها و جریان‌های خطی و فازی مولد سه فاز را در اتصال مثلث نشان می‌دهد. در این اتصال روابط زیر برقرار است.

$$V_L = V_P$$

$$I_L = \sqrt{3} I_P$$

دیagramهای 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

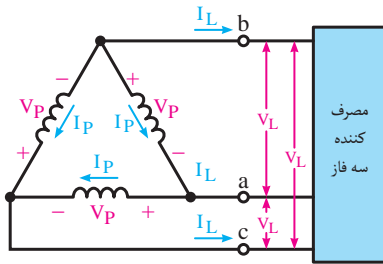
(Y) و در شکل ۱۱-۱۹ مصرف کننده‌ای با اتصال مثلث

(Δ) نشان داده شده که به مولدهای سه فازهای با اتصال

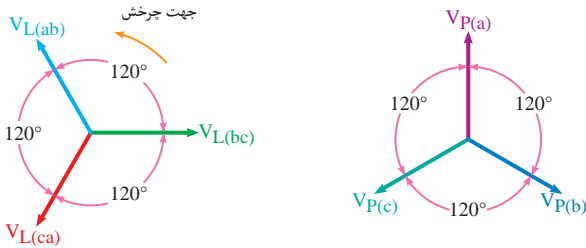
ستاره (Y) و مثلث (Δ) متصل شده‌اند.

در شکل ۱۱-۲۰ تصویر یک نیروگاه جریان متناوب

واقعی را مشاهده می‌کنید.

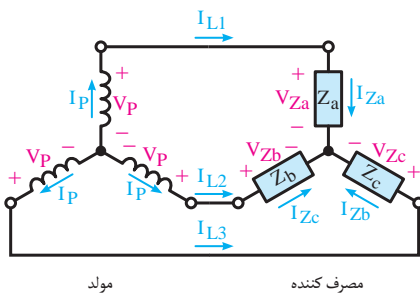


شکل ۱۱-۱۶

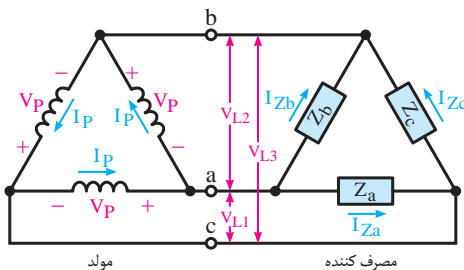


الف - Diagramهای ولتاژهای فازی ب - Diagramهای ولتاژهای خطی

شکل ۱۱-۱۷



شکل ۱۱-۱۸



شکل ۱۱-۱۹



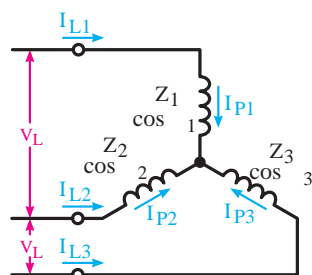
شکل ۱۱-۲۰

## ۲-۳-۱۱- بار متعادل و نامتعادل:

قبل از بررسی توان ها در مدارهای سه فازه می بایست با اصطلاحات متعادل و نامتعادل آشنا شویم.

**- وضعیت متعادل:** هرگاه تمامی مشخصات سیم

پیچ های مصرف کننده و یا مولد سه فاز از قبیل امپدانس ها، جریان ها و ولتاژهای خطی و فاز، زاویه اختلاف فاز با هم برابر باشند، آن مدار سه فازه را در «حالت متعادل» می گویند.



شکل ۱۱-۲۱

شکل ۱۱-۲۱ اتصال سیم پیچ های بار در حالت متعادل

را نشان می دهد.

در این حالت روابط متقابل برقرار است:

مشابه شرایط و تعاریف فوق را برای اتصال مثلث ( $\Delta$ )

نیز می توان بیان کرد.

$$Z_1 = Z_2 = Z_3$$

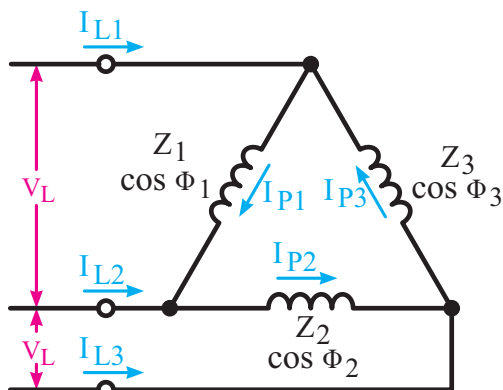
$$I_{P1} = I_{P2} = I_{P3}$$

$$I_{L1} = I_{L2} = I_{L3}$$

$$\cos \Phi_1 = \cos \Phi_2 = \cos \Phi_3$$

**- وضعیت نامتعادل:** اگر یکی از مشخصه های مصرف

کننده یا مدار سه فاز از قبیل امپدانس، جریان ها و ولتاژهای خطی و فاز، زاویه اختلاف فاز با هم برابر نباشند آن مدار سه فازه را در «حالت نامتعادل» می گویند.



شکل ۱۱-۲۲

پس در این حالت رابطه تساوی بین همه مشخصه ها

وجود ندارد. شکل ۱۱-۲۲ اتصال سیم پیچ های بار در حالت

مثلث نامتعادل را نشان می دهد.

وضعیت نامتعادل به همراه شرایط آن در اتصال ستاره

( $\star$ ) نیز به وجود می آید.

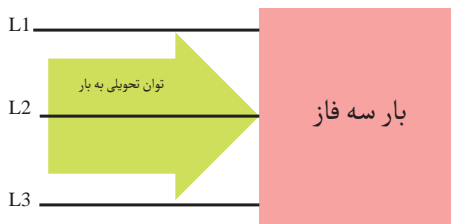
## ۴-۱۱- انواع توان در مدارات سه فاز

توان هایی که در شبکه های سه فازه مطرح می شوند

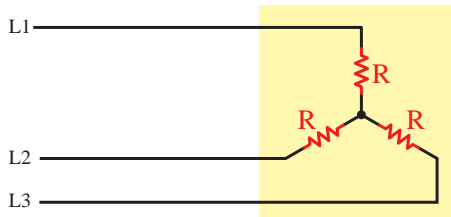
مشابه مدارهای تک فازه و شامل (توان ظاهری، توان اکتیو

و توان راکتیو) است. چگونگی محاسبه توانها در شبکه سه

فاز با تک فاز تفاوت دارد. روابط توان ها در مدارهای سه فازه



(الف)

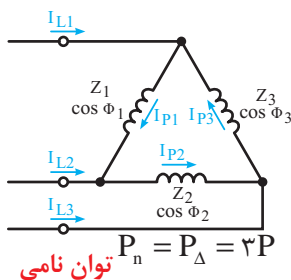
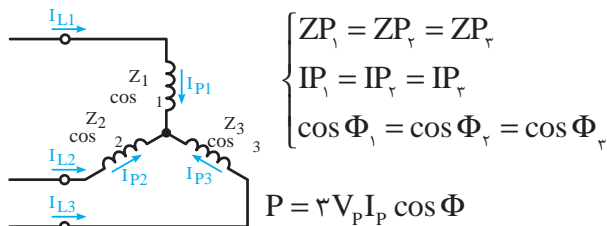


ب - مصرف کننده اهمی خالص توان دریافتی را مصرف می کند.



ج - مصرف کننده غیر اهمی (سلفی - خازنی) توان را مصرف نمی کند.

شکل ۱۱-۲۳ - بارهای سه فاز



شکل ۱۱-۲۴ - اتصالات ستاره و مثلث

به صورت زیر است:

$$S = \sqrt{3} V_L I_L \quad [\text{V.A}]$$

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi \quad [\text{W}]$$

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \sin \phi \quad [\text{VAR}]$$

در تصاویر شکل ۱۱-۲۳ مصرف کننده های اهمی و غیر اهمی نشان داده شده است.

اگر روابط فوق را بر حسب مقادیر فازی بخواهیم می توانیم به صورت زیر نوشت:

$$S = 3 V_p I_p \quad [\text{V.A}]$$

$$P = 3 V_L I_L \cos \phi \quad [\text{W}]$$

$$P = 3 V_L I_L \sin \phi \quad [\text{VAR}]$$

$\phi$  - 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  $\frac{1}{3}$  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.

$$P_{\Delta} = \frac{1}{3} P$$

در تصاویر شکل ۱۱-۲۴ اتصالات ستاره و مثلث را به همراه پارامترهای آن مشاهده می کنید.



## آزمون پایانی (۱۱)

۱- علت قرار گرفتن کلاف‌های آلترناتور با اختلاف فاز  $20^\circ$  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 با سرعت  $1500$  دور بر دقیقه می‌چرخد چند هرتز است؟

- الف -  $50$       ب -  $300$       ج -  $150$       د -  $75$

۵- جریانی که به طرف مصرف کننده 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 (Y) 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- کدامیک 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 -  $I_L = 3 I_p$

۸- در دیاگرام برداری ولتاژهای شکل ۱۱-۲۴ بردارهای X و Y به ترتیب چه ولتاژی هستند؟

- الف - ab و ca      ب - cb و ca      ج - ab و cb      د - cb و ab

۹- کدامیک از موارد زیر روابط توان اکتیو را نشان می‌دهد؟

- الف -  $\sqrt{3} V_L I_L$       ب -  $3 V_p I_p \cos \phi$       ج -  $3 V_p I_p \sin \phi$       د -  $ab \sqrt{3} V_L I_L \sin \phi$

۱۰- کدامیک از روابط زیر صحیح است؟

- الف -  $P = \frac{1}{3} P_\Delta$       ب -  $P_\Delta = \frac{1}{3} P_\lambda$       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 مصرف کننده‌ها جاری می‌شود را از جریان فازی می‌گویند. ☐ غلط ☐ صحیح



- ۱۴- در اتصال ستاره جریان خط  $\sqrt{3}$  برابر جریان فازی است. ☐ صحیح ☐ غلط
- ۱۵- توان راکتیو یک شبکه سه فاز از رابطه ..... محاسبه می‌شود.
- ۱۶- سیمی که از محل اتصال انتهای کلاف‌ها در اتصال ستاره 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.

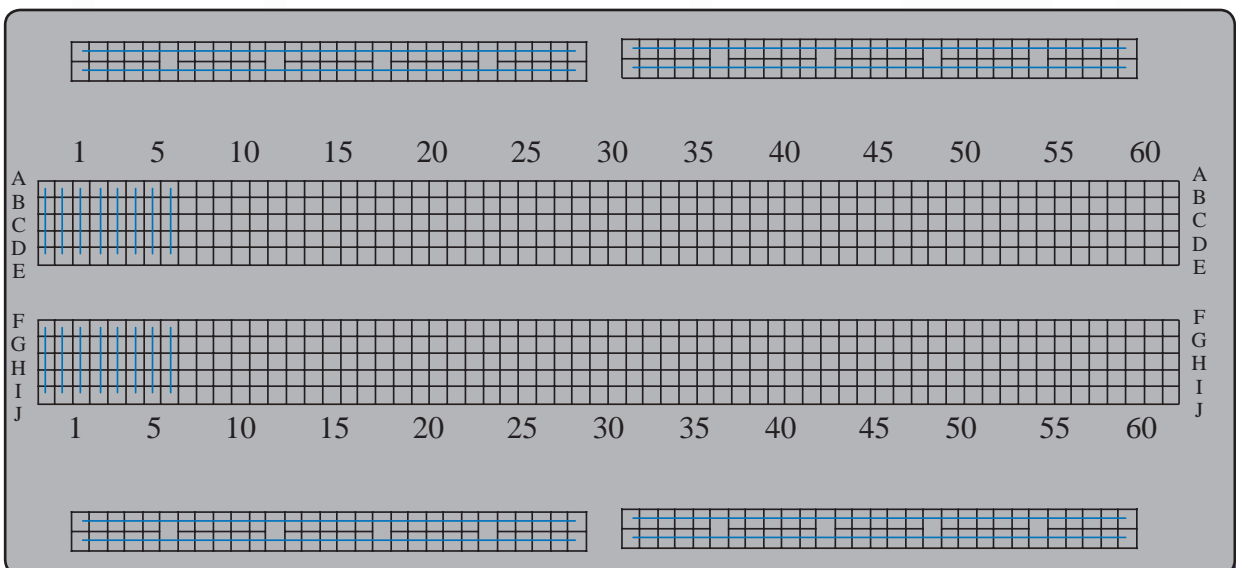
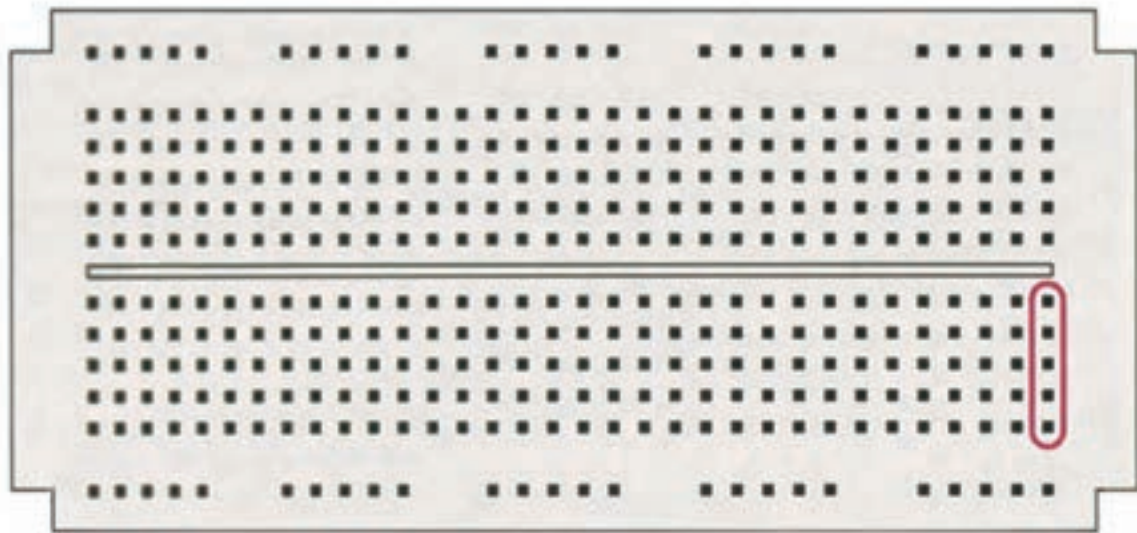
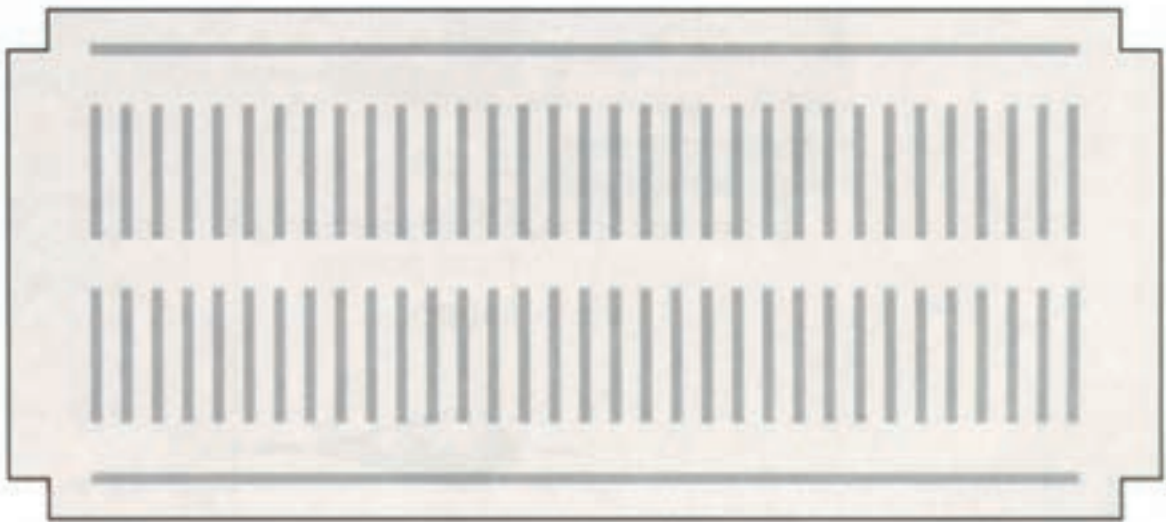


مطالب مربوط به سؤالاتی را که نتوانسته‌اید پاسخ دهید مجدداً مطالعه و آزمون را تکرار کنید.



## ضمیمه

تصویر واقعی و اتصالات صفحه برد برد



## پاسخ سؤالات فصل ۱

### پیش آزمون ۱

- |      |        |        |      |       |
|------|--------|--------|------|-------|
| ۱- د | ۳- 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 <input checked="" type="checkbox"/> |
| ۳- د   | ۶- ج | ۹- ج   | ۱۲- د   | ۱۵- غلط <input checked="" type="checkbox"/> |

### پاسخ خودآزمایی عملی

۱-

- الف - شیء پلاستیکی باردار ذرات نمک را جذب می کند.
- ب- شیء پلاستیکی باردار توپ پینگ پنگ را جذب می کند.
- ج- شیء پلاستیکی باردار رشته نخ نایلونی را جذب می کند.
- د - شیء 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 ۲

### پیش آزمون ۲

۱- ب	۳- الف	۵- ب	۷- الف	۹- ج
۲- الف	۴- د	۶- ب	۸- د	۱۰- ج

### آزمون پایانی (۲)

۱- ب	۵- ج	۹- ج	۱۳- الف	۱۷- ج
۲- د	۶- ب	۱۰- ب	۱۴- ب	۱۸- اشتراکی
۳- الف	۷- ب	۱۱- ج	۱۵- د	۱۹- صحیح <input checked="" type="checkbox"/>
۴- د	۸- الف	۱۲- د	۱۶- ج	۲۰- صحیح <input checked="" type="checkbox"/>

### 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 ۳

### پیش آزمون ۳

- |      |        |        |      |         |
|------|--------|--------|------|---------|
| ۱- ب | ۳- د   | ۵- الف | ۷- د | ۹- ب    |
| ۲- ب | ۴- الف | ۶- ب   | ۸- د | ۱۰- الف |

### آزمون پایانی (۳)

- |        |        |        |       |
|--------|--------|--------|-------|
| ۱- د   | ۴- د   | ۷- د   | ۱۰- د |
| ۲- الف | ۵- الف | ۸- ج   | ۱۱- ج |
| ۳- ب   | ۶- ب   | ۹- الف | ۱۲- ب |

### سؤال تشریحی

۱۳-

- |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| الف- $27\Omega \pm 10\%$ | د- $6/8k\Omega \pm 10\%$ |
| ب- $100\Omega \pm 10\%$  | ه- $33\Omega \pm 10\%$   |
| ج- $560k\Omega \pm 5\%$  | و- $47k\Omega \pm 20\%$  |

۱۴-

- |        |      |      |      |      |
|--------|------|------|------|------|
| الف) b | ب) d | ج) l | د) f | ه) a |
|--------|------|------|------|------|

- |            |   |  |  |
|------------|---|--|--|
| ۱۵- ب      | ۲۰- واریستور (VDR)                          | ۲۵- غلط                                      | ۳۰- صحیح <input checked="" type="checkbox"/> |
| ۱۶- د      | ۲۱- کرم نیکل                                | ۲۶- غلط                                      |  |
| ۱۷- د      | ۲۲- سبز، آبی، قرمز، طلایی                   | ۲۷- صحیح <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| ۱۸- رنوستا | ۲۳- کربن، لایه فلز                          | ۲۸- صحیح <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| ۱۹- PTC    | ۲۴- غلط <input checked="" type="checkbox"/> | ۲۹- غلط                                      |  |

## پاسخ سؤالات فصل ۴

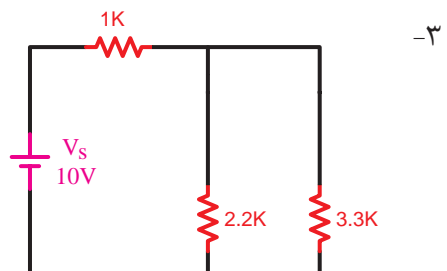
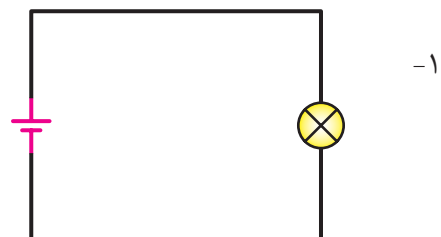
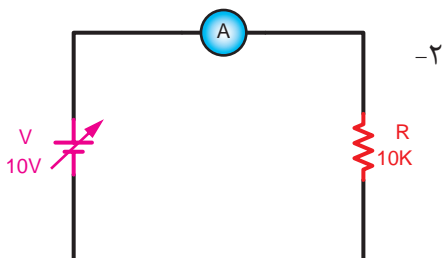
### پیش آزمون ۴

- |       |     |     |        |      |
|-------|-----|-----|--------|------|
| ج-۱   | ب-۴ | ج-۷ | ب-۱۰   | ب-۱۳ |
| ج-۲   | ج-۵ | ب-۸ | الف-۱۱ | د-۱۴ |
| ج-الف | د-۶ | د-۹ | ب-۱۲   | ج-۱۵ |

### آزمون پایانی (۴)

- |     |        |                                       |   |  |
|-----|--------|---------------------------------------|---|--|
| ج-۱ | ب-۶    | د-۱۱                                  | ۱۶- فیوز                                    | ۱۹- غلط <input checked="" type="checkbox"/>  |
| ب-۲ | ج-۷    | ۱۲- منبع تغذیه                        | ۱۷- مستقیم                                  | ۲۰- صحیح <input checked="" type="checkbox"/> |
| د-۳ | الف-۸  | ۱۳- منبع تغذیه                        | ۱۸- غلط <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| ج-۴ | د-۹    | ۱۴- $I(R_1 + R_2)$ یا $R_1 I + R_2 I$ |   |  |
| د-۵ | الف-۱۰ | ۱۵- KVL یا ولتاژهای کیرشهف            |   |  |

### پاسخ خودآزمایی عملی



## پاسخ سؤالات فصل ۵

### پیش آزمون ۵

د-۱	ج-۴	الف-۷	د-۱۰	ب-۱۳
ج-۲	الف-۵	الف-۸	ج-۱۱	د-۱۴
ب-۳	الف-۶	الف-۹	ج-۱۲	ج-۱۵

### آزمون پایانی (۵)

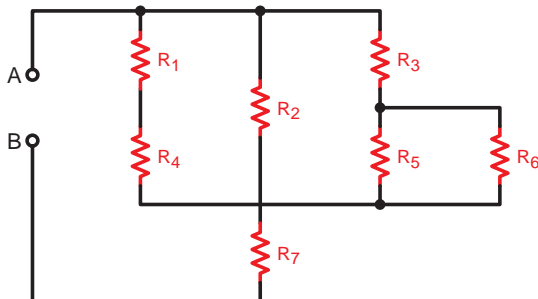
د-۱	ب-۶	ب-۱۱	الف-۱۶	ج-۲۱
الف-۲	الف-۷	الف-۱۲	ب-۱۷	
الف-۳	الف-۸	ج-۱۳	ب-۱۸	
ب-۴	ج-۹	ب-۱۴	ب-۱۹	
د-۵	ب-۱۰	د-۱۵	د-۲۰	

۲۲- خیر چون ولتاژ کل برابر ۲۴ ولت است پس در این شرایط می‌بایست مقاومت  $R_p$  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  $R_{12}$ )

$pin_2 || pin_5$  (شامل مقاومت‌های  $R_5$  و  $R_6$  و  $R_7$  و  $R_8$  و  $R_9$  و  $R_{10}$ )

۲۳- 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 ۶

### پیش آزمون ۶

ب-۱	ج-۴	ج-۷	د-۱۰	ب-۱۳
ج-۲	ب-۵	ج-۸	ب-۱۱	ج-۱۴
۳- الف	۶- الف	۹- الف	د-۱۲	ب-۱۵

### آزمون پایانی (۶)

ج-۱	د-۴	ب-۷	۱۰- الف	۱۳- زیادتر (بیشتر)
د-۲	ب-۵	ج-۸	۱۱- توان تلف شده	۱۴- صحیح <input checked="" type="checkbox"/>
۳- ج	۶- ب	۹- ب	۱۲- وات متر	۱۵- غلط <input checked="" type="checkbox"/>

## پاسخ سؤالات فصل ۷

### 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 <input checked="" type="checkbox"/>
ب-۵	ج-۱۲	الف-۱۹	ب-۲۶	۳۳- غلط <input checked="" type="checkbox"/>
الف-۶	د-۱۳	ج-۲۰	ج-۲۷	۳۴- صحیح <input checked="" type="checkbox"/>
ب-۷	ج-۱۴	ب-۲۱	جذب-۲۸	۳۵- صحیح <input checked="" type="checkbox"/>

## پاسخ سوالات فصل ۸

### پیش آزمون ۸

۱-ج	۴-الف	۷-ج	۱۰-ج	۱۳-د
۲-ج	۵-ب	۸-د	۱۱-الف	۱۴-د
۳-ب	۶-ب	۹-الف	۱۲-ب	۱۵-الف

### آزمون پایانی (۸)

۱-الف	۹-ب	۱۷-الف	۲۵-ب	۳۳-ب
۲-د	۱۰-ج	۱۸-د	۲۶-ب	۳۴-صحیح
۳-ب	۱۱-ب	۱۹-ج	۲۷-ج	۳۵-غلط
۴-ج	۱۲-ب	۲۰-ب	۲۸-ج	۳۶-غلط
۵-د	۱۳-ب	۲۱-ج	۲۹-ب	۳۷-غلط
۶-الف	۱۴-الف	۲۲-د	۳۰-الف	۳۸-کمتر
۷-ج	۱۵-د	۲۳-ج	۳۱-ب	۳۹-بیشتر یا کمتر
۸-د	۱۶-ب	۲۴-الف	۳۲-الف	۴۰- $Q = C.V$

## پاسخ سوالات فصل ۹

### پیش آزمون ۹

ج-۱	۴- الف	۷- الف	۱۰- الف	۱۳- ب
ج-۲	۵- ب	۸- الف	۱۱- ج	۱۴- د
د-۳	۶- د	۹- د	۱۲- الف	۱۵- ب

### آزمون پایانی (۹)

ب-۱	۱۲- ب	۲۳- د	۳۴- الف	۴۵- ب
ج-۲	۱۳- الف	۲۴- ج	۳۵- الف	۴۶- ج
د-۳	۱۴- د	۲۵- ب	۳۶- د	۴۷- الف
۴- الف	۱۵- ج	۲۶- ج	۳۷- الف	۴۸- د
۵- ب	۱۶- ب	۲۷- ب	۳۸- ج	۴۹- پیش‌فاز
۶- ج	۱۷- الف	۲۸- د	۳۹- ب	۵۰- راکتانس سلفی
۷- الف	۱۸- ب	۲۹- الف	۴۰- الف	۵۱- جلوتر
۸- ج	۱۹- ب	۳۰- الف	۴۱- الف	۵۲- غلط <input checked="" type="checkbox"/>
۹- الف	۲۰- د	۳۱- ج	۴۲- ج	۵۳- مثبت - منفی
۱۰- د	۲۱- الف	۳۲- د	۴۳- د	۵۴- غلط <input checked="" type="checkbox"/>
۱۱- ب	۲۲- ب	۳۳- الف	۴۴- الف	۵۵- کوچکتر (کمتر)

## پاسخ سؤالات فصل ۱۰

### 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 <input checked="" type="checkbox"/>	۱۳- حلقه‌های لغزنده
۲- الف	۵- ج	۸- ج	۱۱- غلط <input checked="" type="checkbox"/>	۱۴- جاروبک‌های ازغال‌ها
۳- ب	۶- الف	۹- غلط <input checked="" type="checkbox"/>	۱۲- غلط <input checked="" type="checkbox"/>	۱۵- تعداد تیغه‌های کلکتور



## پاسخ سؤالات فصل ۱۱

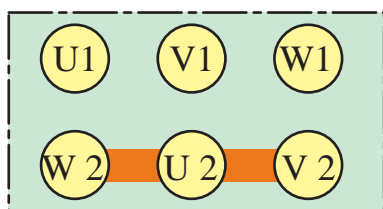
### پیش آزمون ۱۱

- |        |      |      |      |       |
|--------|------|------|------|-------|
| ۱- د   | ۳- ج | ۵- ب | ۷- ج | ۹- ج  |
| ۲- الف | ۴- د | ۶- د | ۸- ج | ۱۰- ب |

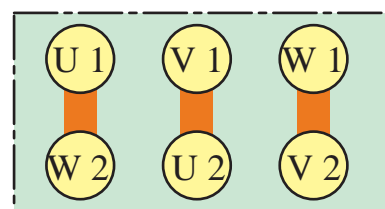
### آزمون پایانی (۱۱)

- |        |        |  |   |                         |
|--------|--------|--|---|-------------------------|
| ۱- الف | ۵- ج   | ۹- ج   | ۱۳- <input checked="" type="checkbox"/> غلط | ۱۷- ولتاژ فازی          |
| ۲- ب   | ۶- ج   | ۱۰- الف                                      | ۱۴- <input checked="" type="checkbox"/> غلط | ۱۸- دور - تعداد زوج قطب |
| ۳- د   | ۷- ب   | ۱۱- <input checked="" type="checkbox"/> صحیح | ۱۵- $\sqrt{3} V_L \sin \phi$                |                         |
| ۴- د   | ۸- الف | ۱۲- <input checked="" type="checkbox"/> غلط  | ۱۶- سیم تول                                 |                         |

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.



اتصال (Y)



اتصال مثلث (Δ)

۲۰-

## منابع و مآخذ

- |   |                   |
|---|-------------------|
| 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 |

ترجمه: مهندس عین الله احمدی - مهندس حسین مظفری  
مؤلفین: مهندسین شهرام نصیری سواد کوهی - شهرام خدادادی  
ترجمه : مهندس عین الله احمدی - حسین مظفری - فریدون قیطرانی  
مؤلف: مهندس غلامعلی سرابی  
ترجمه: مهندس محمود ربیع زاده

۵- موتورهای الکتریکی  
۶- الکترونیک کاربردی  
۷- مبانی برق  
۸- اصول مقدماتی الکتریسیته  
۹- الکتروتکنیک آزمایشگاهی

