بسم الله الرحمن الرحیم

برق تأسیسات

رشتهٔ تأسیسات

زمینهٔ صنعت

شاخهٔ آموزش فنی و حرفه‌ای

شمارهٔ درس ۱۸۶۵

۶۹۶ خدادادی، شهرام
ب۴۷۸خ/ برق تأسیسات /مؤلفان :شهرام خدادادی، محمدحسن اسلامی، محمد قربانی، احمد آقازاده هریس.
۱۳۹۵ ــ تهران : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۵.
۲۱۸ ص. : مصور. ــ(آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شمارهٔ درس ۱۸۶۵)
متون درسی رشتهٔ تأسیسات، زمینهٔ صنعت.
برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا : کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشتهٔ تأسیسات دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش.
۱. تأسیسات. ۲. برق. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشتهٔ تأسیسات.ب. عنوان. ج. فروست.

۱۳۹۵

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز :

پیشنهادات و نظرات خود را دربارهٔ محتوای این کتاب به نشانی تهران ـ صندوق پستی شمارهٔ ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پیام‌نگار (ایمیل) **info@tvoccd.medu.ir**

وب‌گاه (وب‌سایت) **www.tvoccd.medu.ir**

وزارت آموزش و پرورش

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : **دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش**

نام کتاب : **برق تأسیسات ـ ۴۹۲/۹**

مؤلفان : **شهرام خدادادی، محمدحسن اسلامی، محمد قربانی و احمد آقازاده هریس**

اعضای کمیسیون تخصصی : **داود بیطرفان، سیدحسن میرمنتظری، محسن جعفرآبادی، امیر لیلاز مهرآبادی، حسن ضیغمی، محمد قربانی، رضا افشاری نژاد و احمد آقازاده هریس**

ویراستار ادبی : **حسین داودی**

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : **ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی**

تهران :خیابان ایرانشهرشمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹،

وب سایت : www.chap.sch.ir

مدیر امور فنی و چاپ : **لیدا نیک روش**

رسام فنی : **محمد سیاحی، المیرا شیرین سخن و فاطمه رئیسیان فیروزآباد**

طراح جلد : **طاهره حسن‌زاده**

صفحه‌آرا : **معصومه چهره‌آرا ضیابری**

حروفچین : **فاطمه باقری‌مهر**

مصحح : **رضا جعفری، علیرضا کاهه**

امور آماده‌سازی خبر : **فاطمه پزشکی**

امور فنی رایانه‌ای : **حمید ثابت کلاچاهی، سیده‌شیوا شیخ‌الاسلامی**

ناشر : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادّهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروبخش)**

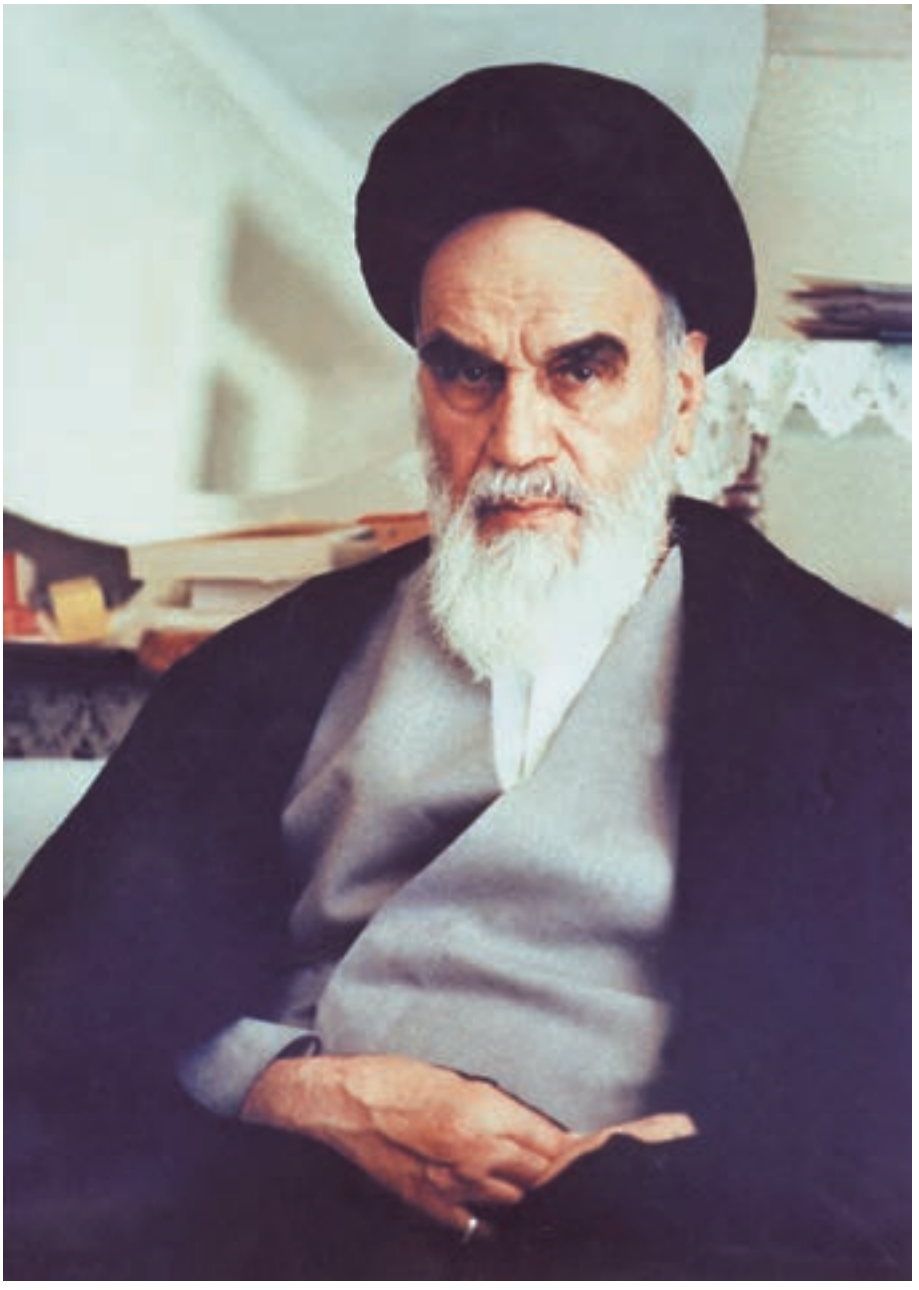
تلفن : ۵ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹ـ۳۷۵۱۵

چاپخانه : **کارون**

سال انتشار و نوبت چاپ : **چاپ ششم ۱۳۹۵**

حقّ چاپ محفوظ است

شابک ۶-۱۹۹۳-۰۵-۹۶۴-۹۷۸ **ISBN 978-964-05-1993-6**



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 اتّکای به اجانب بپرهیزید.

امام خمینی «قدّس سرّه‌الشّریف»

فهرست

فصل یکم ــ آشنایی با الکتریسیته ۱

۱ــ۱ــ مادّه ۳

۱ــ۲ــ مولکول ۳

۱ــ۳ــ اتم ۳

۱ــ۴ــ مواد از نظر هدایت الکتریکی ۴

۱ــ۵ــ روش‌های تولید و مصرف الکتریسیته ۵

۱ــ۶ــ مصرف الکتریسیته ۱۱

۱ــ۷ــ انواع الکتریسیتهٔ جاری ۱۱

فصل دوم ــ کمّیت‌های الکتریکی ۱۴

۲ــ۱ــ جریان الکتریکی ۱۶

۲ــ۲ــ پتانسیل الکتریکی (ولتاژ) ۱۷

۲ــ۳ــ مقاومت الکتریکی ۱۸

۲ــ۴ــ مقاومت الکتریکی سیم ۱۸

۲ــ۵ــ پیشوندهای واحدهای اندازه‌گیری ۱۹

۲ــ۶ــ مدار الکتریکی ۲۰

۲ــ۷ــ اجزای مدار الکتریکی ۲۰

۲ــ۸ــ مدار بسته و مدار باز ۲۱

۲ــ۹ــ قانون اهم ۲۲

۲ــ۱۰ــ اتصال کوتاه ۲۳

۲ــ۱۱ــ انواع مقاومت‌های اهمی ۲۳

فصل سوم ــ کار و توان ۲۸

۳ــ۱ــ کار الکتریکی ۳۰

۳ــ۲ــ توان الکتریکی ۳۰

۳ــ۳ــ ضریب بهره (راندمان) ۳۳

۳ــ۴ــ ارتباط انرژی الکتریکی با گرما ۳۴

فصل چهارم ــ مدارهای الکتریکی «مقاومتی» ۳۸

۴ــ۱ــ اتصال سری ۴۰

۴ــ۲ــ اتصال موازی ۵۱

فصل پنجم ــ جریان متناوب ۵۹

۵ــ۱ــ چگونگی تولید جریان متناوب در ژنراتورها ۶۲

۵ــ۲ــ آشنایی با مشخصات جریان متناوب ۶۳

۵ــ۳ــ جریان متناوب سه فاز و تک فاز ۶۵

فصل ششم ــ سِلْف ۷۰
۱ــ۶ــ مغناطیس و الکترومغناطیس ۷۲
۲ــ۶ــ بارهای مقاومتی و بارهای القایی ۷۴
۳ــ۶ــ سلف (سیم‌پیچ) ۷۴
۴ــ۶ــ ساختمان بوبین ۷۵
۵ــ۶ــ عملکرد سلف ۷۵
۶ــ۶ــ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در مدار سلفی ۷۷

فصل هفتم ــ خازن ۸۰
۱ــ۷ــ خازن ۸۲
۲ــ۷ــ ساختمان خازن ۸۲
۳ــ۷ــ ظرفیت خازن ۸۲
۴ــ۷ــ عوامل فیزیکی مؤثر در ظرفیت خازن ۸۳
۵ــ۷ــ شارژ و دشارژ خازن ۸۵
۶ــ۷ــ ثابت زمانی خازن ۸۶
۷ــ۷ــ انتخاب خازن ۸۷
۸ــ۷ــ اتصال خازن‌ها ۸۷
۹ــ۷ــ عملکرد خازن ۹۱
۱۰ــ۷ــ انواع خازن ۹۳
۱۱ــ۷ــ کاربرد خازن‌ها ۹۴

فصل هشتم ــ ترانسفورماتور ۹۹
۱ــ۸ــ ترانسفورماتور تک فاز ۱۰۱
۲ــ۸ــ ساختمان ترانسفورماتور ۱۰۱
۳ــ۸ــ اساس کار ترانسفورماتور ۱۰۲
۴ــ۸ــ انواع ترانسفورماتورها ۱۰۴

فصل نهم ــ موتورهای الکتریکی جریان متناوب ۱۰۸
۱ــ۹ــ موتورهای الکتریکی ۱۱۱
۲ــ۹ــ ساختمان داخلی موتورهای آسنکرون ۱۱۲
۳ــ۹ــ آشنایی با پلاک مشخصات موتورهای سه فاز ۱۱۵
۴ــ۹ــ پلاک اتصالات موتور (تخته کِلِم) ۱۱۶
۵ــ۹ــ راه‌اندازی موتورهای سه فاز آسنکرون ۱۱۸
۶ــ۹ــ راه‌اندازی موتورهای سه فاز آسنکرون در شبکهٔ تک فاز ۱۱۸
۷ــ۹ــ الکتروموتورهای تک فاز ۱۱۹
۸ــ۹ــ پلاک اتصال موتورهای تک فاز (تخته کِلِم) ۱۲۵
۹ــ۹ــ پلاک مشخصات الکتروموتورهای تک فاز ۱۲۵

فصل دهم ــ حفاظت الکتریکی ۱۲۸
۱ــ۱۰ــ انواع حفاظت الکتریکی ۱۳۰
۲ــ۱۰ــ انواع روش‌های حفاظت اشخاص ۱۳۲
۳ــ۱۰ــ توصیه‌های ایمنی ۱۳۷

فصل یازدهم ــ الکترونیک ۱۳۹
۱ــ۱۱ــ دیود ۱۴۱
۲ــ۱۱ــ مدار یکسو کننده ۱۴۳
۳ــ۱۱ــ ترمیستورها ۱۴۴
۴ــ۱۱ــ ترانزیستور ۱۴۶
۵ــ۱۱ــ ترموستات دیجیتالی ۱۴۸
۶ــ۱۱ــ ترانس دیوسر ۱۴۸

فصل دوازدهم ــ نقشه‌خوانی برق ۱۵۲
۱ــ۱۲ــ علایم اختصاری وسایل الکتریکی ۱۵۴
۲ــ۱۲ــ مدارهای الکتریکی ۱۵۷
۳ــ۱۲ــ علایم اختصاری مدارهای صنعتی ۱۵۸
۴ــ۱۲ــ نقشه مدارهای صنعتی ۱۶۲

فصل سیزدهم ــ دستگاه‌های الکتریکی تأسیسات مکانیکی ساختمان ۱۶۹
۱ــ۱۳ــ نقشه‌های الکتریکی ۱۷۱
۲ــ۱۳ــ کولر آبی ۱۷۲
۳ــ۱۳ــ فن کویل ۱۷۶
۴ــ۱۳ــ کوره هوای گرم ۱۸۶
۵ــ۱۳ــ مشعل گازوئیل سوز ۱۸۸
۶ــ۱۳ــ مشعل گازسوز (دمنده‌دار) ۱۹۱
۷ــ۱۳ــ مدار برقی یک موتورخانه حرارت مرکزی و تهویه مطبوع ۱۹۴

فصل چهاردهم ــ دستگاه‌های سرد کننده ۱۹۹
۱ــ۱۴ــ الکتروموتورها ۲۰۱
۲ــ۱۴ــ مدار الکتریکی الکتروموتورهای بسته ۲۰۲
۳ــ۱۴ــ کنترل محافظ بار اضافی (اورلود) ۲۰۳
۴ــ۱۴ــ تایمر دیفراست ۲۰۵
۵ــ۱۴ــ الکتروموتور فن‌ها ۲۰۵
۶ــ۱۴ــ گرم کن‌ها ۲۰۵
۷ــ۱۴ــ ترموستات‌ها ۲۰۶
۸ــ۱۴ــ یخچال خانگی ۲۰۷
۹ــ۱۴ــ یخچال فریزر ۲۰۹

منابع و مآخذ ۲۱۸

فصل ۱

آشنایی با الکتریسیته

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ ماده، مولکول و اتم را تعریف کند.

۲ــ اجزای اتم را نام ببرد.

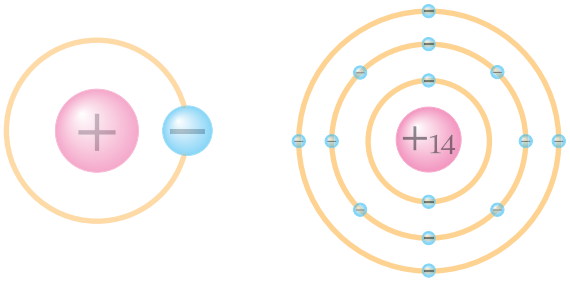
۳ــ بار الکتریکی ذرات تشکیل‌دهندهٔ اتم را بیان کند.

۴ــ انواع مواد از نظر هدایت الکتریکی را با ذکر مثال توضیح دهد.

۵ــ روش‌های تولید الکتریسیته را شرح دهد.

۶ــ روش‌های مصرف الکتریسیته را نام ببرد.

۷ــ انواع الکتریسیتهٔ جاری را توضیح دهد.



سیمای فصل ۱

- آشنایی با مفاهیم اولیه
- ماده
- مولکول
- اتم
- مواد از نظر هدایت الکتریکی
  - هادی‌ها
  - عایق‌ها
  - نیمه هادی‌ها
- روش‌های تولید الکتریسیته
  - مالش
  - شیمیایی
  - فشاری
  - حرارت
  - نور
  - مغناطیس
- مصرف الکتریسیته
- انواع الکتریسیته جاری

آشنایی با دانشمندان

کولن

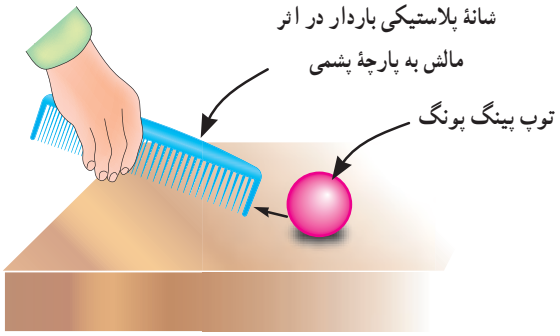
(Coulomb, Charles Augustin/ ۱۸۰۶ ــ ۱۷۳۸)

او دانشمند فرانسوی است که حرفه‌اش مهندسی نظامی بود. به علوم و ریاضیات علاقه داشت.

کولن با ابداع ترازوی پیچشی خاصی توانست ثابت کند که نیروی الکتریکی بین توپ‌های کوچک باردار از قانون عکس مجذور فاصله پیروی می‌کند. بررسی‌های او در این مورد مشابه کار کاوندیش در مورد گرانش بود. یکای مقدار الکتریسیته به احترام او کولن نامیده می‌شود.

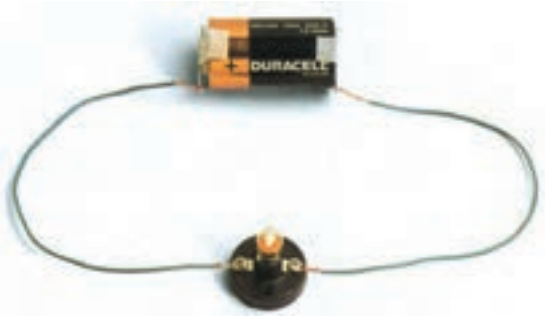
۱ــ آشنایی با مفاهیم اولیه

به‌طورکلی الکتریسیته در دو نوع ساکن و جاری تولید می‌شود و مورد استفاده قرار می‌گیرد. زمینهٔ کاربرد الکتریسیتهٔ جاری از الکتریسیتهٔ ساکن بسیار بیش‌تر است.



شکل ۱ــ۱

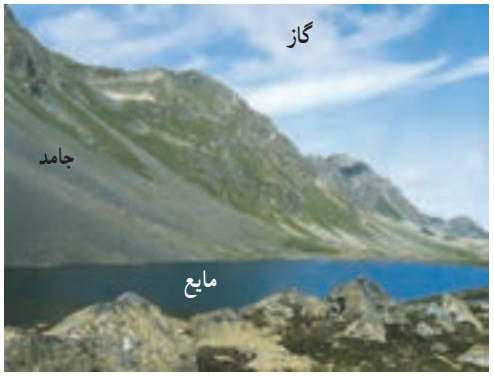
پایه و اساس تولید و کاربرد الکتریسیته الکترون است. برای آشنایی با چگونگی تولید الکتریسیته لازم است تا با مفاهیم زیر آشنا شویم.



شکل ۲ــ۱

۱ــ۱ــ مادّه

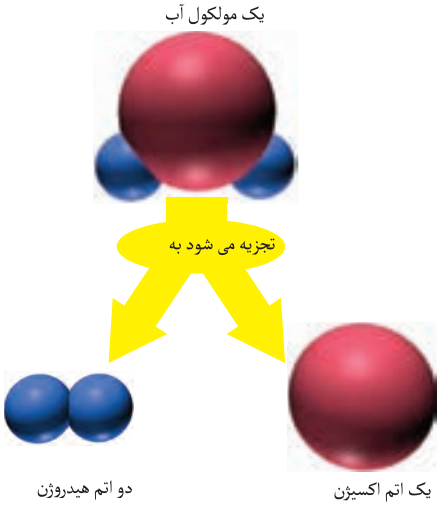
به هر جسمی که دارای جرم باشد و فضا را اشغال کند «مادّه» گویند، مانند سنگ، آب، اکسیژن.



شکل ۳ــ۱

۲ــ۱ــ مولکول

به کوچک‌ترین جزءِ یک ماده که خواص آن ماده را دارد «مولکول» گویند، مانند یک مولکول آب.

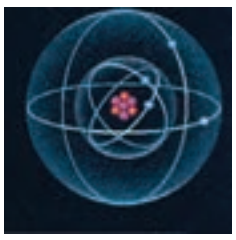


شکل ۴ــ۱

۳ــ۱ــ اتم

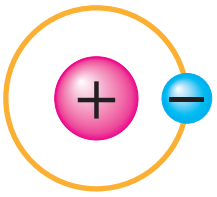
به کوچک‌ترین اندازه‌ای که یک مولکول را می‌توان تقسیم کرد اتم گویند، مانند اتم هیدروژن و اتم اکسیژن که مولکول آب را تشکیل می‌دهند.

هر اتم از دو قسمت «هسته» و «مدارهای الکترونی (لایه‌ها)» تشکیل شده است. هستهٔ اتم از ذرات پروتون با بار مثبت و نوترون با بار خنثا تشکیل شده است. الکترون‌ها با بار منفی (مشابه شکل ۵ــ۱) بر روی مدارهای بیضی شکل، هم به دور خود و هم به دور هسته اتم می‌چرخند.

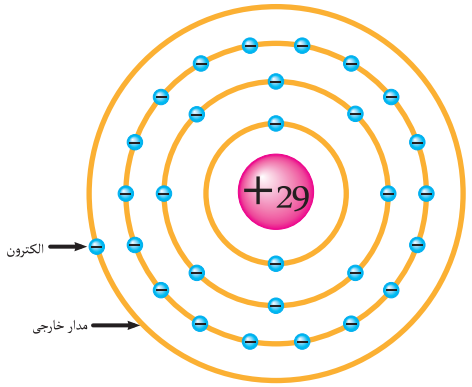


شکل ۵ــ۱

برای سهولت در بررسی، مدارهای هر اتم را به صورت دایره شکل نشان می‌دهند. در شکل ۶ــ۱ مدار اتمی مس و هیدروژن نشان داده شده است.



الف) مدار اتمی هیدروژن

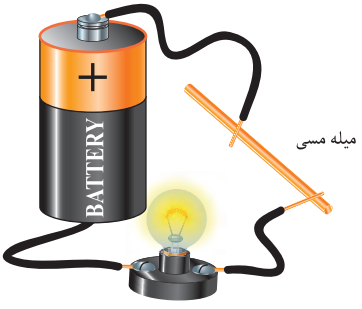


ب) مدار الکترونی اتم مس

شکل ۶ــ۱

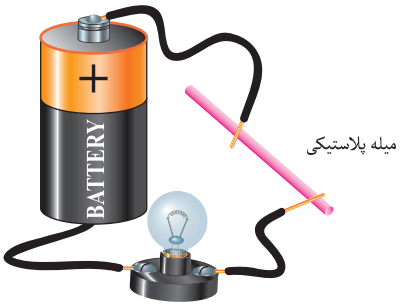
۴ــ۱ــ مواد از نظر هدایت الکتریکی

در شکل ۷ــ۱ میله مسی جریان الکتریکی را از خود عبور می‌دهد و لامپ روشن است می‌گوییم مس هادی الکتریسیته است.



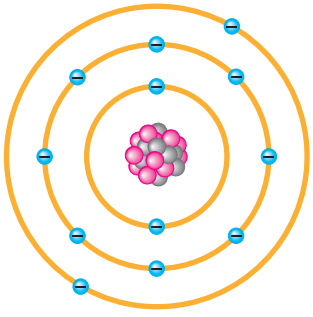
شکل ۷ــ۱

در شکل ۸ــ۱ میله پلاستیکی جریان الکتریکی را از خود عبور نمی‌دهد و لامپ خاموش است می‌گوییم پلاستیک عایق الکتریسیته است.



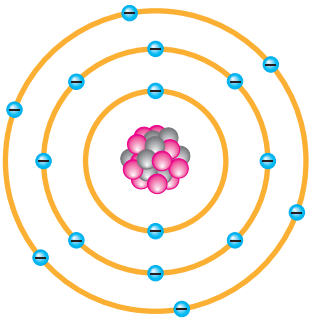
شکل ۸ــ۱

۱ــ۴ــ۱ــ هادی‌ها : به ماده‌ای که الکترون‌های لایه آخر خود را به راحتی آزاد کند هادی گویند. به بیانی دیگر هادی‌ها موادی هستند که جریان الکتریکی را به راحتی از خود عبور می‌دهند. تعداد الکترون‌های لایهٔ آخر هادی‌ها ۱، ۲ یا ۳ الکترون است. از جمله هادی‌ها می‌توان به مس، نقره و طلا اشاره کرد (شکل ۹ــ۱).



شکل ۹ــ۱ــ مدار الکترونی اتم منیزیم با ۲ الکترون در لایه آخر

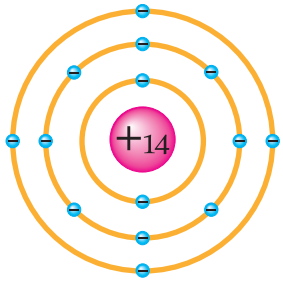
۲ــ۴ــ۱ــ عایق‌ها



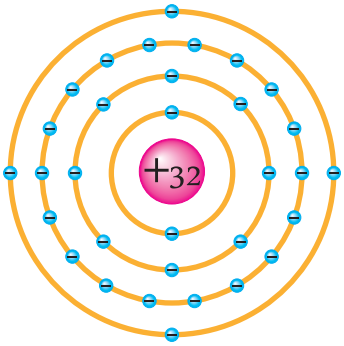
شکل ۱۰ــ۱ــ مدار الکترونی اتم گوگرد با ۶ الکترون در لایه آخر

به ماده‌ای که الکترون‌های لایه آخر خود را به راحتی آزاد نکند عایق گویند. به بیانی دیگر عایق‌ها موادی هستند که جریان الکتریکی را به راحتی از خود عبور نمی‌دهند. عایق‌ها موادی هستند که لایه آخر اتم آن‌ها ۵ تا ۸ الکترون دارد. از جمله عایق‌ها می‌توان به شیشه، چوب، پلاستیک کائوچو؛ میکا و گازهای بی‌اثر اشاره کرد. شکل ۱۰ــ ۱ مدار اتمی گوگرد را نشان می‌دهد.

۳ــ۴ــ۱ــ نیمه هادی‌ها : به موادی که تعداد الکترون‌های لایهٔ آخر آن‌ها ۴ الکترون است و جریان الکتریکی را به سختی و تحت شرایطی خاص از خود عبور می‌دهند نیمه‌هادی گفته می‌شود. از جمله نیمه هادی‌ها می‌توان به ژرمانیم و سیلیسیم اشاره کرد. شکل ۱۱ــ۱ مدار الکترونی اتم ژرمانیم و سیلیسیم را نشان می‌دهد.



الف) مدار اتمی سیلیسیم



ب) مدار اتمی ژرمانیم

شکل ۱۱ــ۱

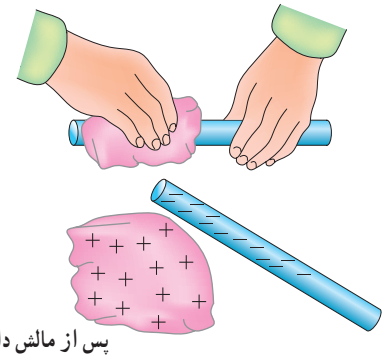
۵ــ۱ــ روش‌های تولید و مصرف الکتریسیته

حرکت الکترون‌های آزاد را الکتریسیته گویند چون الکترون‌های لایه آخر بیش از سایر الکترون‌ها از هسته دورند و هم‌چنین بالاترین سطح انرژی را دارند، به آسانی آزاد می‌شوند. شکل ۱۲ــ۱ روش‌های تولید الکتریسیته را نشان می‌دهد.

شکل ۱۲ــ۱ــ روش‌های تولید الکتریسیته

۱ــ۵ــ۱ــ الکتریسیتهٔ حاصل از اصطکاک (مالش) :

هرگاه میلهٔ شیشه‌ای را به ابریشم یا یک میلهٔ کائوچویی به پشم مالش دهیم، بار الکتریکی تولید می‌شود. به این بارها **الکتریسیتهٔ ساکن** می‌گویند. الکتریسیتهٔ ساکن هنگامی به‌وجود می‌آید که جسمی الکترون‌هایش را به جسم دیگر منتقل کند. سطح خارجی برخی از مواد الکترون آزاد دارند که می‌توانند به اجسام دیگر منتقل کنند و به همین دلیل عایق‌هایی مانند شیشه و کائوچو می‌توانند الکتریسیتهٔ ساکن را تولید کنند (شکل ۱۳ــ۱).



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

شکل ۱۳ــ۱ــ الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک)

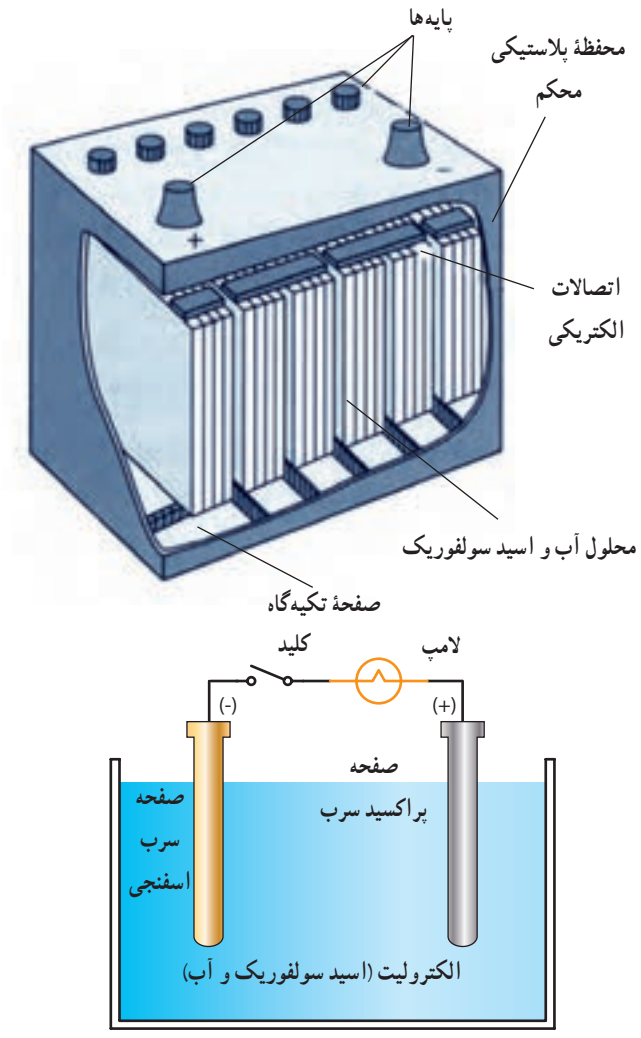
۲ــ۵ــ۱ــ الکتریسیتهٔ حاصل از فعل و انفعالات

شیمیایی : نخستین نمونه از تبدیل واکنش شیمیایی به انرژی الکتریکی باتری مورد استفاده در ماشین‌ها، رادیو، ماشین حساب و... است. باتری‌ها به دو دستهٔ «تر» مانند باتری اتومبیل و «خشک» مانند باتری، ماشین حساب تقسیم می‌شوند.

باتری «تر» عبارت از یک ظرف پلاستیکی محتوی محلول اسید سولفوریک و آب است این محلول «الکترولیت» نامیده می‌شود. در این محلول صفحاتی از سرب اسفنجی و پراکسید سرب به‌صورت آویزان قرار گرفته‌اند به این صفحات «الکترود» می‌گویند. واکنش شیمیایی محلول اسید سولفوریک و آب موجب بیرون شدن الکترون از الکترود پراکسید سرب می‌شود و این الکترود با کاهش الکترون آزاد مواجه می‌شود و الکترود مثبت را به‌وجود می‌آورد.

پس از آن الکترون‌های آزاد روی الکترود سرب اسفنجی می‌نشینند. بدین ترتیب الکترودی با الکترون آزاد اضافی به‌وجود می‌آید که الکترودی منفی در مقایسه با الکترود پراکسید مثبت است و اختلاف پتانسیل یا اختلاف ولتاژی بین صفحات به‌وجود می‌آید.

شکل ۱۴ــ۱ــ یک باتری قابل شارژ را با یک مدار الکتریکی دارای یک لامپ و یک کلید کنترل در بیرون نشان می‌دهد. هنگامی که کلید بسته می‌شود الکترون از راه مدار کامل از الکترود منفی به‌طرف الکترود مثبت جریان می‌یابند. در لامپ انرژی الکتریکی به انرژی نورانی و حرارتی تبدیل می‌شود و باعث قرمز شدن لامپ می‌گردد.



شکل ۱۴ــ۱ــ پیل شیمیایی سرب اسیدی (باتری)

واکنش شیمیایی بین الکترودها و الکترولیت ادامه می‌یابد. در اثر این واکنش الکترون از الکترود مثبت گرفته شده به الکترود منفی داده می‌شود و جریان انرژی الکتریکی در مدار برقرار است. چون جریان الکتریکی پیوسته در یک جهت از الکترود منفی به الکترود مثبت است. این نوع انرژی الکتریکی به عنوان جریان مستقیم[۱] شناخته می‌شود.

انرژی الکتریکی یک باتری تا زمانی است که در قطب مثبت الکترون آزاد تولید شود. تولید الکترون به تدریج موجب می‌شود که پراکسید سرب به سولفیت سرب تبدیل شود وقتی تبدیل الکترود

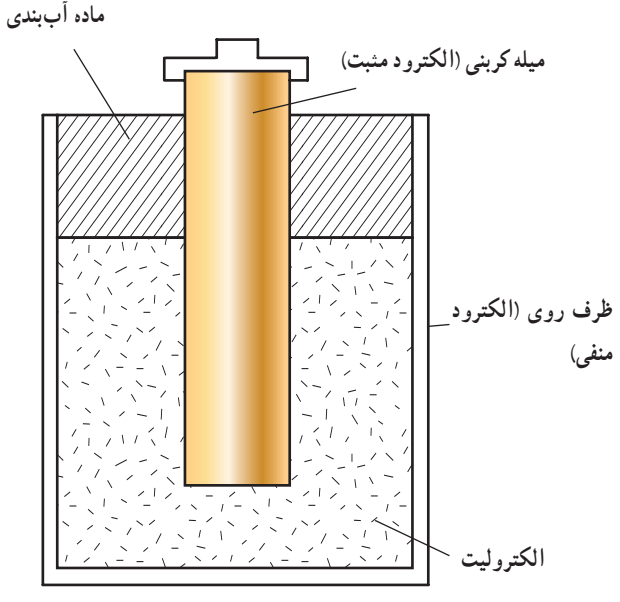
۱ــ Direct Current ــ DC

به سولفیت سرب کامل شود واکنش متوقف می‌شود و باتری قادر به تولید انرژی الکتریکی نخواهد بود.

برای شارژ مجدد و به‌کار انداختن باتری می‌توان از یک منبع الکتریکی دیگر استفاده کرد. در این حالت انرژی الکتریکی در جهت عکس اعمال می‌شود به‌طوری‌که الکترون از الکترود منفی به الکترود مثبت برده می‌شود در نتیجه بار دیگر پراکسید سرب الکترود مثبت و سرب اسفنجی الکترود منفی می‌شود.

هر پیل به تنهایی می‌تواند ۱/۵ ولت فشار الکتریکی تولید نماید لِذا برای تولید ولتاژ بالاتر از دو یا چند پیل الکتریکی استفاده می‌شود باتری ۶ ولت موتور از چهار پیل ۱/۵ ولت و باتری ۱۲ ولت اتومبیل از ۸ پیل ۱/۵ ولت ساخته می‌شود.

شکل ۱۵ــ۱ــ ساختمان یک باتری «خشک» را نشان می‌دهد. در این نوع باتری الکترولیت خمیری شکل است و واکنش شیمیایی همان واکنش باتری «تر» است. باتری خشک به‌صورت قابل شارژ و غیرقابل شارژ ساخته می‌شوند.



شکل ۱۵ــ۱ــ ساختمان باتری خشک

۳ــ۵ــ۱ــ الکتریسیتهٔ حاصل از فشار مکانیکی:

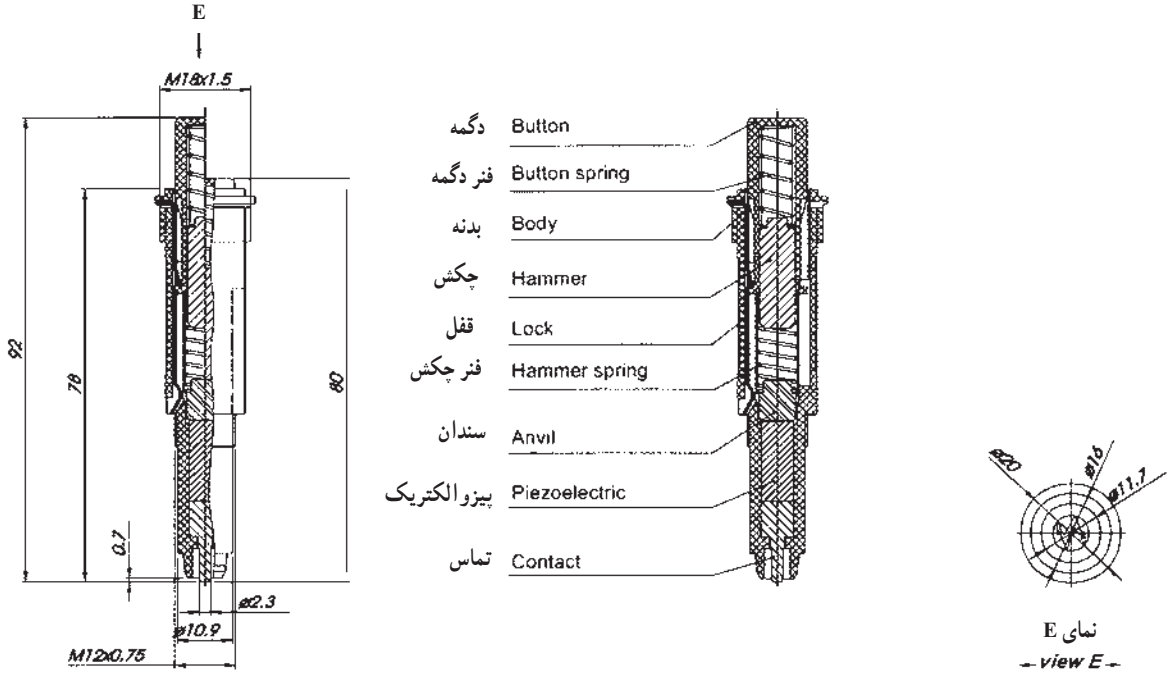
هنگامی که به بعضی اجسام فشار وارد می‌کنیم، الکترون‌های آن‌ها در جهت نیرو از مدار خارج می‌شوند. در نتیجه، الکترون‌ها یک طرف جسم را ترک می‌کنند و در طرف دیگر آن جمع می‌شوند. بنابراین، در دو جهت مخالف جسم بارهای مثبت و منفی به‌وجود می‌آیند. هنگامی که فشار قطع می‌شود، الکترون‌ها به مدارهای خود باز می‌گردند.

به اثر فشار برای تولید بارهای الکتریکی، اثر پیزوالکتریک[1] می‌گویند. پیزو یک کلمهٔ یونانی به معنای فشار است. این اثر بیش‌تر در مورد کریستال‌ها و بعضی سرامیک‌های مخصوص خود را نشان می‌دهد. کریستال‌های پیزوالکتریک در بعضی میکروفون‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

هر چه فشار اعمال شده بیش‌تر و زمان کوتاه‌تر باشد ولتاژ به‌وجود آمده بیش‌تر خواهد بود. افزایش تدریجی فشار باعث تولید اثر پیزوالکتریک نخواهد شد. فندک‌های مورد استفاده در وسایل گازسوز امروزی از نوع پیزوالکتریک هستند (شکل ۱۶ــ۱).

۱ــ Piezo ــ Electric

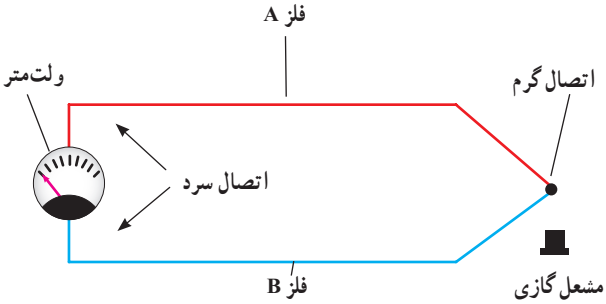
(الف)



(ب)

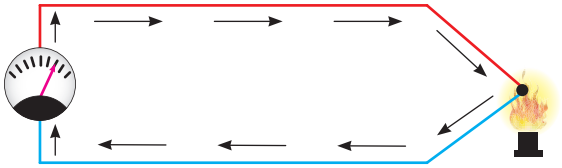
شکل ۱۶ــ۱

۴ــ۵ــ۱ــ الکتریسیتهٔ حاصل از حرارت: در دو جسم غیرمشابه هنگام اتصال، انتقال الکترون صورت می‌گیرد. فلزات در درجهٔ حرارت معمولی اتاق نیز می‌توانند الکترون آزاد کنند. برای مثال، اگر مس و روی را به یکدیگر متصل کنیم، الکترون‌ها از اتم مس خارج و به اتم روی وارد می‌شوند. درنتیجه، فلز روی الکترون‌های اضافی کسب می‌کند و به‌طور منفی باردار می‌شود و مس که الکترون‌های خود را از دست داده است، دارای بار مثبت می‌شود (شکل ۱۷ــ۱ الف و ب).



محل اتصال گرم نشده است و الکتریسیته‌ای تولید نشده است.

شکل ۱۷ــ۱ــ الف



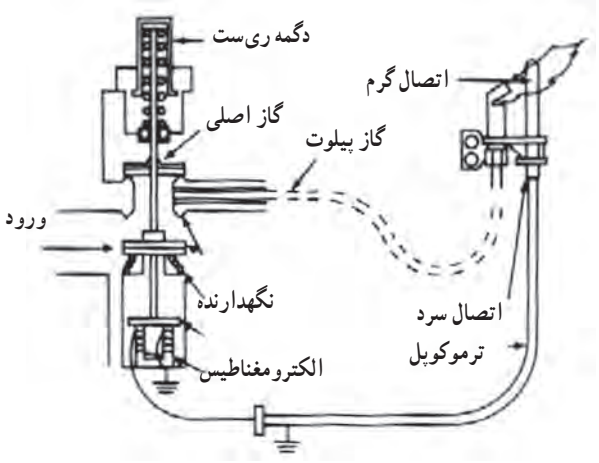
محل اتصال گرم شده است و الکتریسیته در مدار جریان یافته است.

شکل ۱۷ــ۱ــ ب ــ اثر ترموالکتریک

بارهایی که در درجهٔ حرارت اتاق تولید می‌شوند، کم هستند، زیرا انرژی حرارتی کافی برای آزاد کردن الکترون‌های بیش‌تر وجود ندارد ولی اگر محل اتصال دو فلز را حرارت دهیم، انرژی بیش‌تری تولید می‌شود و الکترون‌های بیش‌تری آزاد می‌گردند. به این روش **ترموالکتریسیته** گفته می‌شود. هرچه حرارت داده شده بیش‌تر باشد، بار بیش‌تری تولید می‌شود. به اتصال این دو فلز **ترموکوپل** می‌گویند. هنگامی که چندین ترموکوپل به یک‌دیگر متصل شوند، یک ترموپیل (باتری حرارتی) به‌وجود می‌آید. از ترموکوپل برای اندازه‌گیری درجهٔ حرارت در کوره‌ها استفاده می‌شود (شکل ۱۸ــ۱).

شکل ۱۸ــ۱

در شکل ۱۹ــ۱ کاربرد ترموکوپل در کنترل شعله یک وسیله گازسوز نشان داده شده است. تا هنگامی که شعله پیلوت روشن است ترموکوپل و جریان حاصل از آن شیر پیلوت را بازنگه می‌دارد اگر شعله خاموش شود مسیر گاز کلاً بسته می‌شود.



شکل ۱۹ــ۱ــ کاربرد ترموکوپل در کنترل وسایل گازسوز

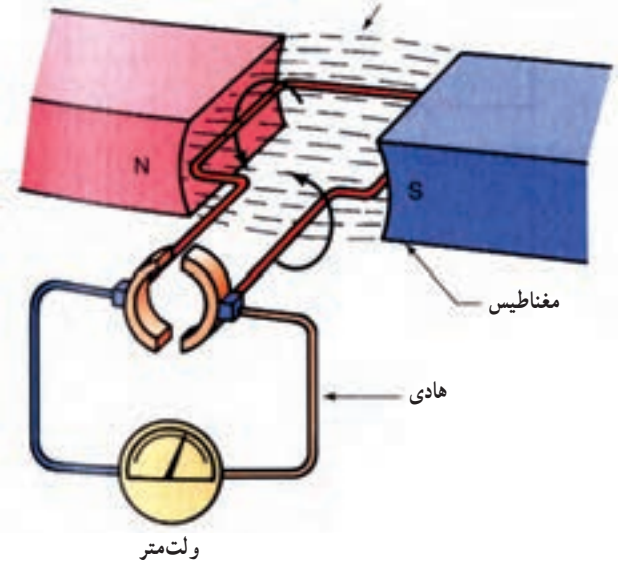
۵ــ۵ــ۱ــ الکتریسیتهٔ حاصل از نور : نور نوعی انرژی است که از ذرات حامل انرژی به نام فوتون به‌وجود می‌آید. هنگامی که فوتون‌های یک شعاع نوری با جسمی برخورد می‌کنند، انرژی خود را از دست می‌دهند. در بعضی اجسام، انرژی فوتون‌ها باعث آزادی الکترون‌ها می‌شود. اجسامی مانند پتاسیم، سدیم، ژرمانیم و سولفات سرب در مقابل نور الکترون از دست می‌دهند.

یکی از روش‌های تولید الکتریسیتهٔ حاصل از نور روش فتوولتیک است. در این روش انرژی نورانی تابیده شده به یکی از دو صفحهٔ متصل به هم باعث تخلیهٔ الکترون از یکی به دیگری می‌شود. در نتیجه، مانند باتری در دو صفحه بارهای مخالف ایجاد می‌شود.

امروزه با استفاده از نور تابیده شدهٔ خورشید بر روی پیل‌های خورشیدی الکتریسیته تولید می‌شود. شکل ۲۰ــ۱ یک نمونه از این روش را نشان می‌دهد.

شکل ۲۰ــ۱ــ پیل خورشیدی

۶ــ۵ــ۱ــ الکتریسیتهٔ حاصل از مغناطیس : اگر یک سیم مسی را در میدان مغناطیسی حرکت دهیم، الکترون‌های داخل سیم آزاد می‌شوند و در یک جهت به حرکت در می‌آیند. اساس تولید الکتریسیته در ژنراتورها بر همین مبنا است (شکل ۲۱ــ۱).



شکل ۲۱ــ۱ــ اساس تولید الکتریسیته در ژنراتورها

الف) نیروگاه بادی

ب) نیروگاه کوچک خانگی خورشیدی

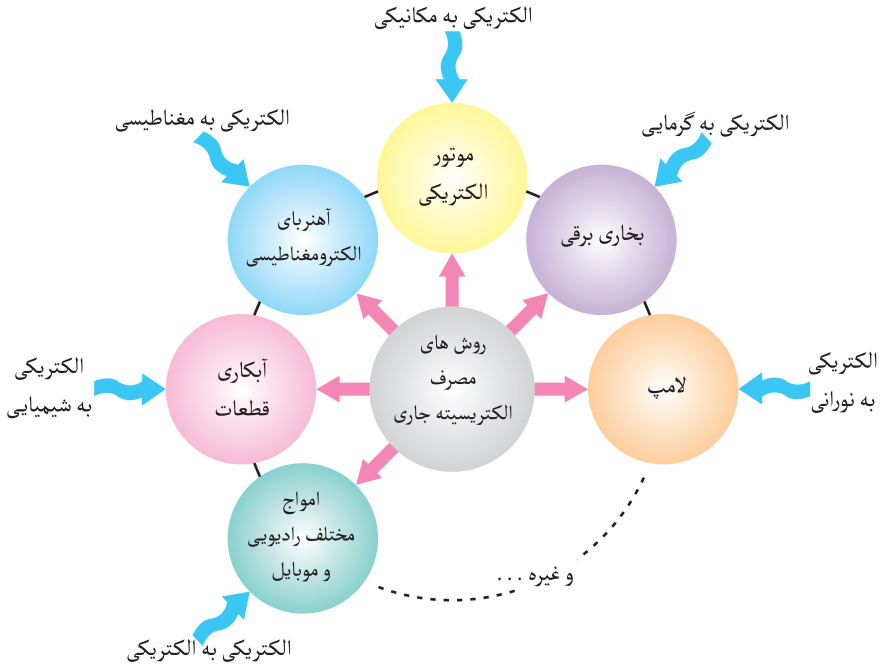
شکل ۲۲ــ۱

امروزه از محرک‌های مختلفی برای به حرکت درآوردن قسمت‌های متحرک مولّدها یا تبدیل انرژی‌ها استفاده می‌شود که از جملهٔ آن‌ها می‌توان به باد در نیروگاه‌های بادی؛ سوخت و گاز در نیروگاه‌های گازی؛ جزر و مد در نیروگاه‌های مجاور دریاها؛ سلول‌های نوری در نیروگاه‌های خورشیدی و انرژی نهفته در اتم در نیروگاه‌های اتمی اشاره کرد که به برخی از آن‌ها انرژی‌های نو اطلاق می‌شود (شکل ۲۲ــ۱). از جمله مولدهای ساده می‌توان به دینام دوچرخه اشاره کرد (شکل ۲۳ــ۱).

۶ــ۱ــ مصرف الکتریسیته

زمینه‌های مصرف الکتریسیته تقریباً در تمامی علوم به نوعی وجود دارد که در شکل ۲۴ــ۱ به چند نمونه آن اشاره شده است.

شکل ۲۳ــ۱ــ دینام دوچرخه



شکل ۲۴ــ۱

۷ــ۱ــ انواع الکتریسیتهٔ جاری

الکتریسیتهٔ جاری در دو شکل کاملاً متفاوت جریان مستقیم[۱] و جریان متناوب[۲] توسط منابع خود تولید می‌شوند.

در شکل کلی به منابع الکتریسیته «مولد» یا «ژنراتور[۳]» گفته می‌شود. در شکل ۲۵ــ۱ تصویر واقعی، همراه علامت اختصاری ژنراتورهای جریان مستقیم و متناوب را مشاهده می‌کنید. ژنراتور برق شهر از نوع جریان متناوب است.

۱ــ Direct Current – DC ۲ــ Alternative Current – AC ۳ــ Generator

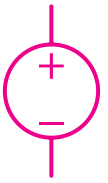
توضیح : امکان ذخیره کردن الکتریسیته از نوع جریان متناوب نیست اما جریان مستقیم را می‌توان در قالب باتری‌ها ذخیره نمود و در صورت نیاز از آن‌ها استفاده کرد. شکل ۲۶ــ۱ تصویر چند نمونه باتری را نشان می‌دهد.

باتری خودرو

باتری قلمی

باتری کتابی

شکل ۲۶ــ۱ــ تصویر چند نمونه باتری (مولدهای جریان مستقیم)



الف) ژنراتور جریان مستقیم همراه علامت اختصاری

ب) ژنراتور جریان متناوب به همراه علامت اختصاری

شکل ۲۵ــ۱

پرسش‌های فصل اول

◄ پرسش‌های چهار گزینه‌ای

۱ــ کوچک‌ترین جزء یک مولکول را ..... گویند.

الف) مرکب　　ب) ماده　　ج) ترکیب　　د) اتم

۲ــ کدام یک از ذرات اتم به ترتیب از راست به چپ دارای بار مثبت و منفی هستند؟

الف) پروتون ــ الکترون　　ب) نوترون ــ الکترون　　ج) نوترون ــ پروتون　　د)الکترون ــ پروتون

◄ پرسش‌های درست و نادرست

۳ــ به کوچک‌ترین جزء یک ماده، مولکول گفته می‌شود.　　درست ☐　نادرست ☐

۴ــ هستهٔ هر اتم از دو ذرهٔ کوچک به نام‌های پروتون و الکترون تشکیل شده است.　　درست ☐　نادرست ☐

۵ــ حرکت الکترون‌ها به دور هستهٔ اتم بر روی مدارهای دایره‌ای است.　　درست ☐　نادرست ☐

۶ــ در اجسام رسانا الکترون‌های لایهٔ آخر اتم‌ها به راحتی آزاد می‌شوند.　　درست ☐　نادرست ☐

◄ پرسش‌های پرکردنی

۷ــ ذرهٔ نوترون ..... اتم قرار دارد و از نظر بار الکتریکی ..... است.

۸ــ الکترون‌ها در عایق‌ها ..... از مدار خود جدا می‌شوند.

۹ــ تعداد الکترون‌ها لایه آخر نیمه هادی‌ها ..... الکترون است.

◄ پرسش‌های تشریحی

۱۰ــ انرژی الکتریکی موردنیاز منازل شما از چه نوعی است و از چه طریقی تأمین می‌شود؟

۱۱ــ سه روش تولید الکتریسیته را مختصراً شرح دهید.

۱۲ــ پنج مورد از مصرف الکتریسیته (چگونگی تبدیل انرژی)را توضیح دهید.

* در حد دو صفحه، تحقیقی از چگونگی تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه‌های بادی؛ خورشیدی و اتمی تهیه کنید و برای دوستان خود ارائه نمایید.

کمیّت‌های الکتریکی

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ جریان الکتریکی را تعریف کند.

۲ــ پتانسیل الکتریکی (ولتاژ) را تعریف کند.

۳ــ مقاومت الکتریکی را تعریف کند.

۴ــ مقاومت الکتریکی سیم را توضیح دهد.

۵ــ پیشوندهای واحدهای اندازه‌گیری را توضیح دهد.

۶ــ مدار الکتریکی را تعریف کند.

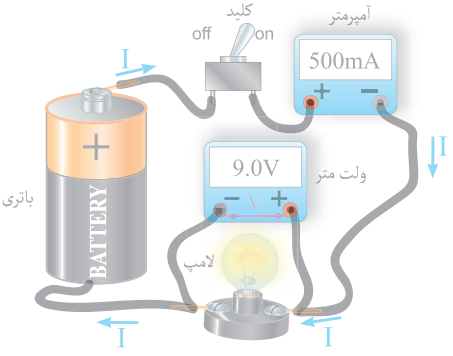
۷ــ اجزای اصلی و فرعی مدار الکتریکی را نام ببرد.

۸ــ مفاهیم مدار بسته و مدار باز را شرح دهد.

۹ــ قانون اهم را با ذکر رابطه توضیح دهد.

۱۰ــ مفهوم حالت اتصال کوتاه در مدارهای الکتریکی را شرح دهد.

۱۱ــ انواع مقاومت‌های اهمی را توضیح دهد.



سیمای فصل ۲

- جریان الکتریکی
- پتانسیل الکتریکی (ولتاژ)
- مقاومت الکتریکی
- مقاومت الکتریکی سیم
- پیشوندهای واحدهای اندازه‌گیری
- مدار الکتریکی
- اجزای مدار الکتریکی
- مدار بسته
- مدار باز
- قانون اهم
- اتصال کوتاه
- انواع مقاومت‌های اهمی

آشنایی با دانشمندان

اُهم

(Ohm, George Simon/ ۱۸۵۴ ــ ۱۷۸۷)

پدر این دانشمند آلمانی قفل‌ساز بود، ولی به مطالعهٔ کتاب‌های علمی علاقه داشت و پسر را نیز تشویق می‌کرد. اهم در ۱۸ سالگی معلم ریاضی شد و پس از گرفتن دکترای ریاضی، استاد دانشگاه شهر کلن شد. در این زمان بود که با استفاده از تشابهی که میان انتقال گرما و الکتریسیته کشف کرد به اندازه‌گیری شدت جریان الکتریکی پرداخت و قانونی را ارائه داد که امروز به نام «قانون اهم» معروف است. انجمن سلطنتی انگلستان بزرگ‌ترین نشان علمی خود را به پاس کشف این قانون به او اهدا کرد. واحد مقاومت الکتریکی نیز به احترام او اهم نامیده می‌شود.

۲ــ کمیت‌های الکتریکی

۱ــ۲ــ جریان الکتریکی

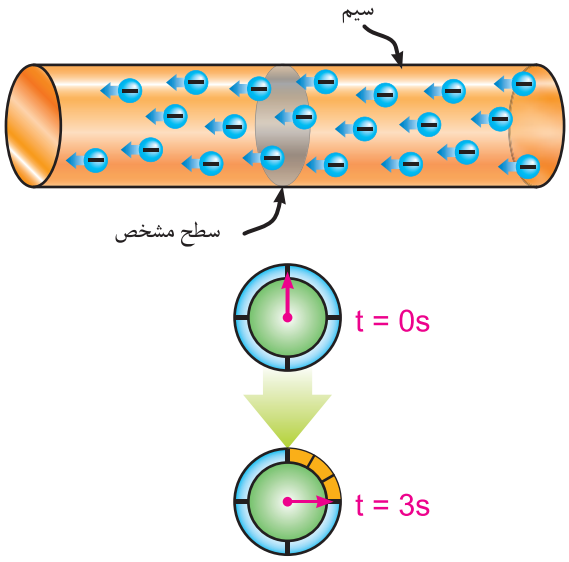
اگر بتوانیم با دادن انرژی الکترون‌های لایهٔ آخر اتم را آزاد کنیم و در یک مسیر حرکت دهیم جریان الکتریکی به‌وجود می‌آید. به مقدار بار الکتریکی (الکترون‌های آزاد) که از یک سطح مشخص در طی مدت زمانی معین عبور کند، «شدت جریان الکتریکی» گفته می‌شود (شکل ۱ــ۲). شدت جریان الکتریکی را با حرف I نشان می‌دهند و واحد آن برحسب «آمپر ــ A» بیان می‌شود. بنا به تعریف اگر در یک ثانیه از یک نقطه سیم یک کولن الکتریسیته عبور کند شدت جریان یک آمپر خواهد بود.

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

I = شدت جریان بر حسب آمپر

q = مقدار الکتریسیته برحسب کولن [۱]

t = زمان برحسب ثانیه



تعداد الکترون‌هایی که از سطحی مشخص در طی زمانی معین می‌گذرند.

شکل ۱ــ۲

وسیله‌ای که برای اندازه‌گیری شدت جریان به‌کار می‌رود «آمپرمتر» نام دارد. آمپر متر در مدار به‌صورت سری بسته می‌شود. شکل ۲ــ۲ تصویر دو نمونه آمپرمتر را به همراه علامت اختصاری آن‌ها نشان می‌دهد.

آزمایشگاهی

تابلویی

الف) تصویر دو نمونه آمپرمتر

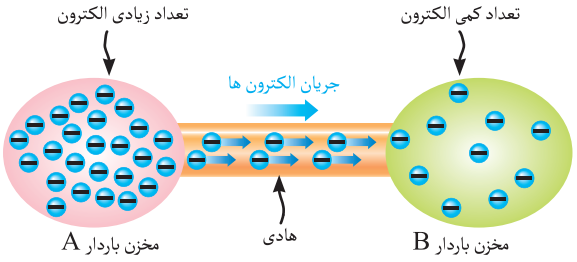
ب) علامت اختصاری آمپرمتر

شکل ۲ــ۲

۱ــ یک کولن بار معادل ($۶/۲۸\times۱۰^{۱۸}$ الکترون) است.

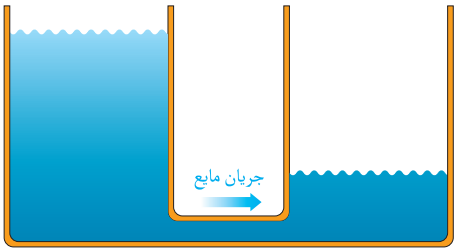
۲ــ۲ــ پتانسیل الکتریکی (ولتاژ)

به اختلاف بار الکتریکی در دو نقطه «اختلاف پتانسیل» می‌گویند. اختلاف پتانسیل (ولتاژ) باعث حرکت الکترون‌های آزاد می‌شود (شکل ۳ــ۲).



شکل ۳ــ۲

اختلاف پتانسیل را می‌توان با اختلاف دما، که سبب انتقال گرما در یک جسم می‌شود یا اختلاف سطح مایع بین دو ظرف به‌هم پیوسته که سبب جاری شدن مایع بین دو ظرف می‌گردد، مقایسه کرد. همان‌طوری که اختلاف دما جهت انتقال گرما و اختلاف فشار مایع جهت حرکت مایع را مشخص می‌کند، اختلاف پتانسیل نیز جهت جریان الکتریکی را نشان می‌دهد (شکل ۴ــ۲). اختلاف پتانسیل یا «ولتاژ» را با حرف V نشان می‌دهند و واحد آن برحسب



الف)

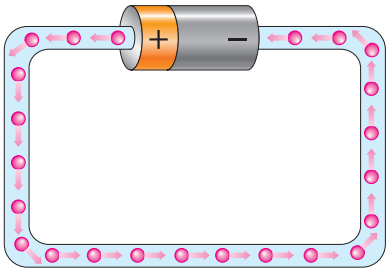
اختلاف فشار مایع را جابه‌جا می‌کند

ب)

اختلاف دما سبب انتقال گرما می‌شود

شکل ۴ــ۲

«ولت ــ V» بیان می‌شود. طبق قرارداد، همیشه اختلاف پتانسیل از پتانسیل بیش‌تر (مثبت) به سمت پتانسیل کم‌تر (منفی) جاری می‌شود (شکل ۵ــ۲).



شکل ۵ــ۲

وسیله‌ای که برای سنجش اختلاف پتانسیل به‌کار می‌رود «ولت‌متر» نام دارد. در شکل ۶ــ۲ تصویر دو نمونه ولت‌متر به همراه علامت اختصاری آن‌ها نشان داده شده است. ولت‌متر در مدار به‌صورت موازی بسته می‌شود.

آزمایشگاهی

تابلویی

الف) دو نمونه ولت‌متر

ب) علامت اختصاری ولت‌متر

شکل ۶ــ۲

از جمله منابع ولتاژ باتری خشک قلمی دارای ولتاژ ۱/۵ ولت، باتری اتومبیل دارای ولتاژ ۱۲ ولت، برق شهر دارای ولتاژ ۲۲۰ ولت و برق‌های صنعتی دارای ولتاژ ۳۸۰ ولت را می‌توان نام برد. به اختلاف پتانسیل نیروی محرکه الکتریکی نیز می‌گویند.

۳ــ۲ــ مقاومت الکتریکی

به ایستادگی ذرات هادی در مقابل عبور جریان الکتریکی «مقاومت الکتریکی» گفته می‌شود. مقاومت الکتریکی را با حرف R نشان می‌دهند و برحسب «اُهم ــ Ω» محاسبه می‌شود. علامت اختصاری مقاومت الکتریکی یکی از تصاویر نشان داده شده در شکل ۷ــ۲ است. وسیله‌ای که برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی به‌کار می‌رود «اُهم‌متر» نام دارد، شکل ۸ــ۲ تصویر یک نمونه اهم‌متر را به همراه علامت اختصاری آن نشان می‌دهد.

از مقاومت‌های اهمی برای کنترل جریان الکتریکی و جلوگیری از عبور جریان اضافی در مسیر وسایل الکتریکی استفاده می‌شود.

شکل ۷ــ۲ــ علامت اختصاری مقاومت

الف) یک نمونه اهم‌متر

ب) علامت اختصاری اهم‌متر

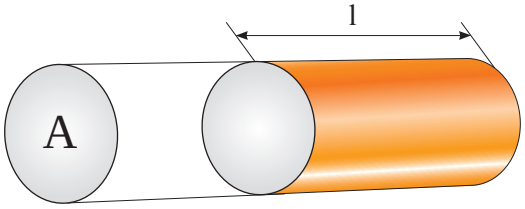
شکل ۸ــ۲

۴ــ۲ــ مقاومت الکتریکی سیم

هرگاه بخواهیم براساس مشخصات داده شده شکل ۹ــ۲ مقاومت یک رشته سیم را به طول l متر و سطح مقطع A میلی‌مترمربع از جنس مشخصی به‌دست آوریم می‌توانیم آن را از رابطهٔ (۱) حساب کنیم.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (۱)$$

در این رابطه «ρ ــ رو» نشان‌دهندهٔ «مقاومت مخصوص» است که برحسب $\frac{\Omega - mm^2}{m}$ بیان می‌شود. مقدار مقاومت مخصوص برای جنس‌های مختلف متفاوت است.



شکل ۹ــ۲

مثال : مقاومت ۱۰۰ متر سیم مسی با سطح مقطع $۲/۵ mm^2$ چند اهم است؟

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

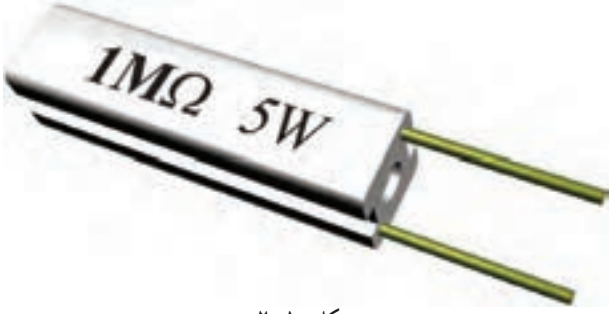
$$R = ۰/۰۱۷۸ \times \frac{۱۰۰}{۲/۵} = ۰/۷۱۲ \Omega \quad (\rho_{cu} = ۰/۰۱۷۸ \frac{\Omega mm^2}{m})$$

مثال : هرگاه برای برق‌رسانی به یک موتور الکتریکی که در فاصلهٔ ۱ کیلومتری از تابلوی برق قرار دارد، بخواهیم از سیم مسی با حداکثر مقاومت ۲۰Ω استفاده کنیم، سطح مقطع سیم را باید چند میلی‌متر مربع انتخاب کنیم؟

$$R = \rho\frac{l}{A} \Rightarrow R.A = \rho.l$$

$$A = \rho\frac{l}{R} = ۰/۰۱۷۸ \times \frac{۱۰۰۰}{۲۰}$$

$$A = ۰/۸۹\ mm^۲$$



شکل ۱۰ــ۲

۵ــ۲ــ پیشوندهای واحدهای اندازه‌گیری

برای نشان دادن واحدهای بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از واحد اصلی از پیشوندهایی استفاده می‌شود که در جدول ۱ــ۲ مفاهیم و مقدار (ضریب) آن‌ها آمده است. برای مثال یک مگاوات معادل یک میلیون وات یا $۱۰^۶$ W است. یا یک میکروآمپر معادل یک میلیونیم آمپر یا $۱۰^{-۶}$ A است.

جدول ۱ــ۲ــ تبدیل واحد

	حرف اختصاری	نام ضریب	شکل نمایی ضریب	مقدار ضریب
اضعاف	T	ترا	10^{12}	1,000,000,000,000
	G	گیگا	10^{9}	1,000,000,000
	M	مگا	10^{6}	1,000,000
	K	کیلو	10^{3}	1,000
	H	هکتا	10^{2}	100
	da	دکا	10^{1}	10
		واحد اصلی	10^{0}	1
اجزاء	d	دسی	10^{-1}	0/1
	c	سانتی	10^{-2}	0/01
	m	میلی	10^{-3}	0/001
	μ	میکرو	10^{-6}	0/000,001
	n	نانو	10^{-9}	0/000,000,001
	p	پیکو	10^{-12}	0/000,000,000,001

مثال : مقاومت نشان داده شده در شکل ۱۰ــ۲ چند اهم است؟

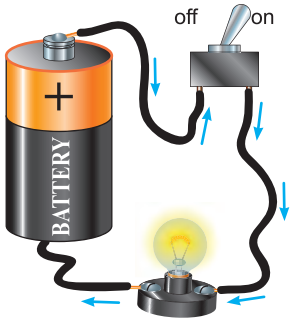
حل :

$$R = ۱\times۱۰^۶ = ۱۰۰۰۰۰۰\Omega$$

مثال : اگر جریان عبوری از لامپ در شکل ۱۱ــ۲ ۵ میکروآمپر باشد معادل چند آمپر است؟

حل :

$$I = \frac{۵}{۱۰^۶} = ۵\times۱۰^{-۶}\ A$$



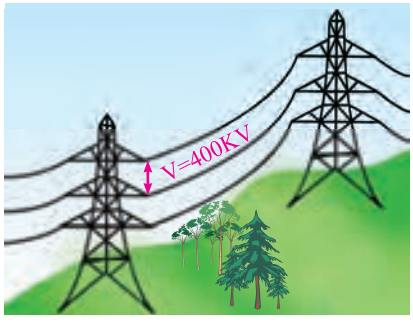
شکل ۱۱ــ۲

مثال : هرگاه ولتاژ بین سیم‌های دکل برق شکل ۱۲ــ۲ برابر ۴۰۰ کیلوولت باشد این ولتاژ معادل چند ولت و چند میکرو ولت است؟

حل :

$$V = ۴۰۰\times۱۰^۳\ v$$

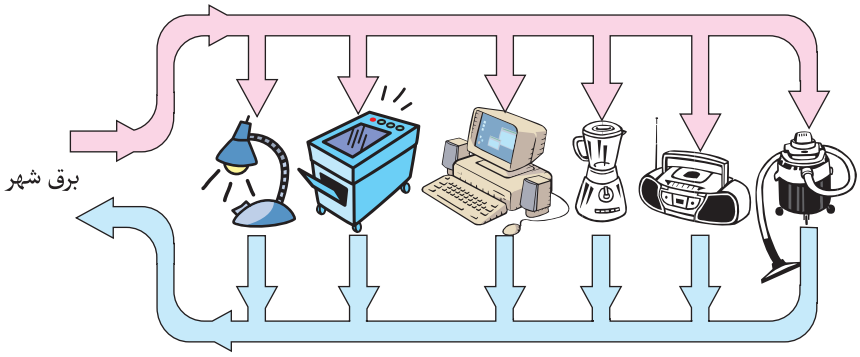
$$V = ۴۰۰\times۱۰^۳\times۱۰^۶ = ۴\times۱۰^{۱۱} v$$



شکل ۱۲ــ۲

۶ــ۲ــ مدار الکتریکی

طبق تعریف به مسیر عبور جریان الکتریکی «مدار الکتریکی» گفته می‌شود. در شکل ۱۳ــ۲ مسیر جریان (مدار الکتریکی) چند وسیلهٔ الکتریکی را مشاهده می کنید.



مسیر عبور جریان الکتریکی (مدار) چند وسیلهٔ الکتریکی

شکل ۱۳ــ۲

۷ــ۲ــ اجزای مدار الکتریکی

به‌طورکلی اجزای مدار را به دو دستهٔ کلی زیر می‌توان تقسیم کرد.

۱ــ اجزای اصلی

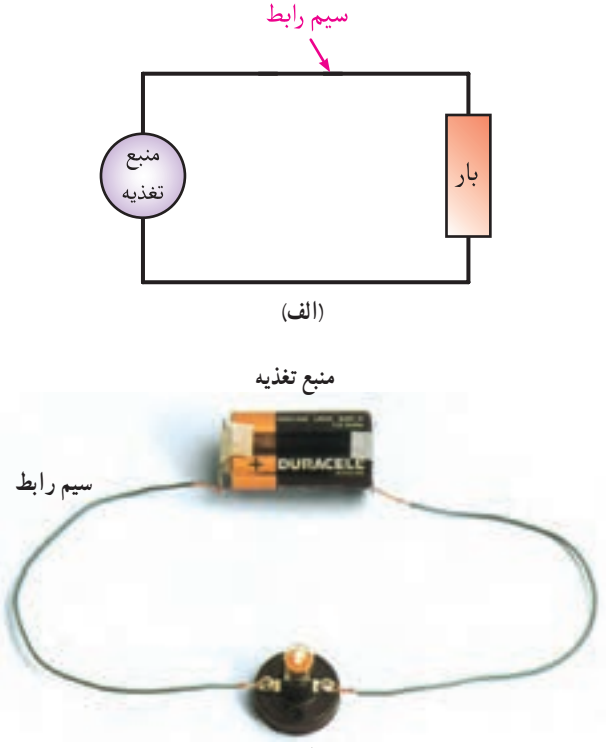
۲ــ اجزای فرعی

اجزای اصلی هر مدار به اجزایی گفته می‌شود که در یک مدار وجود آن‌ها جهت جاری شدن جریان ضروری است و نمی‌توان آن‌ها را نادیده گرفت و حذف کرد. اجزای اصلی مدار عبارت‌اند از :

I. منبع تغذیه[۱] (مولد یا باتری)

II. سیم‌های رابط (سیم یا کابل)

III. مصرف‌کننده (بار)[۲] (لامپ، بخاری برقی و ...)



شکل ۱۴ــ۲ــ تصویر مدار الکتریکی به همراه اجزای اصلی

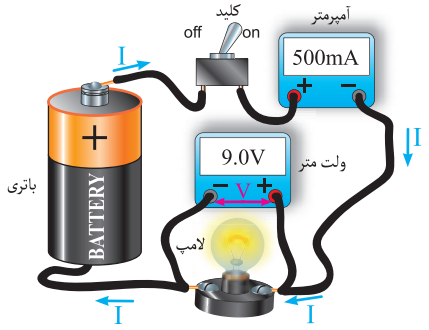
۱ــ Power Supply ۲ــ Load

در هر مدار الکتریکی ممکن است علاوه بر اجزای اصلی از تجهیزات دیگری نیز استفاده شود که اصطلاحاً به آن‌ها «اجزای فرعی» گفته می‌شود. حضور اجزای فرعی در مدارهای الکتریکی ضرورت ندارد و در صورت نیاز نداشتن می‌توان از اتصال آن‌ها خودداری کرد. از جمله اجزای فرعی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

الف) وسایل اندازه‌گیری (مانند : آمپرمتر، ولت‌متر، اهم‌متر و ...)

ب) وسایل حفاظتی (مانند : فیوز، رله‌های حفاظتی و ...)

ج) وسایل کنترلی (مانند : کلیدهای دستی، کلیدهای مغناطیسی و...)

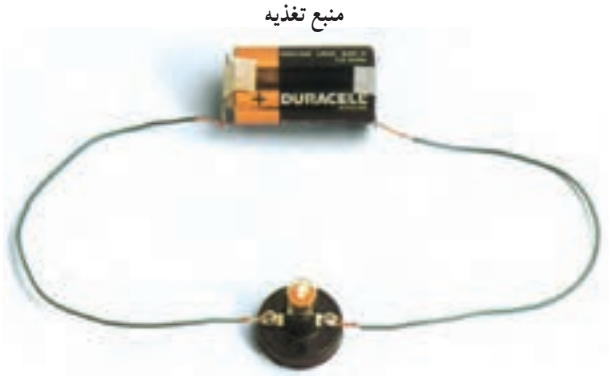


شکل ۱۵ــ۲ــ تصویر مدار الکتریکی به همراه اجزای فرعی مدار

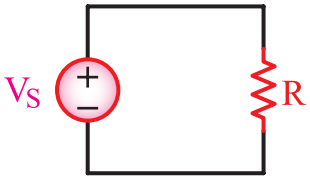
۸ــ۲ــ مدار بسته و مدار باز

مدار بسته (کامل) به مداری گفته می‌شود که جریان الکتریکی در سیم‌های آن جاری باشد. در شکل ۱۶ــ۲ تصویر یک مدار بستهٔ واقعی به همراه شکل ترسیمی آن نشان داده شده است.

مدار باز به مداری اطلاق می‌شود که جریان الکتریکی در سیم‌های آن جاری نباشد. این امر در صورتی اتفاق می‌افتد که مانند شکل ۱۷ــ۲ مدار در نقطه‌ای قطع شده باشد یا این‌که مشابه شکل ۱۸ــ۲ توسط کلیدی مدار قطع شده باشد.

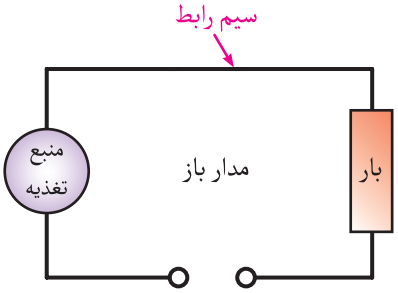


(الف)

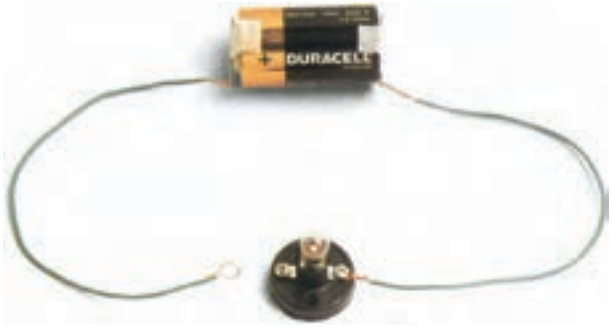


(ب)

شکل ۱۶ــ۲



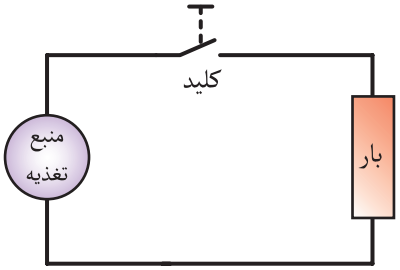
(الف)



(ب) مدار باز

شکل ۱۷ــ۲

گاهی اوقات باز شدن مدار به شکل ناخواسته صورت می‌گیرد، مانندِ باز شدن سیم‌های داخلی مصرف‌کننده.



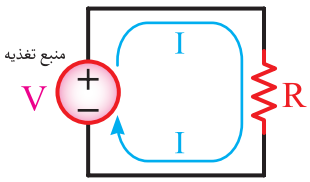
شکل ۱۸ــ۲

۹ــ۲ــ قانون اهم

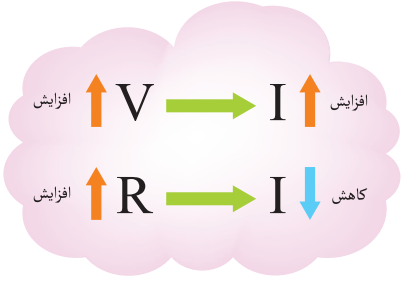
جرج سیمون اهم براساس تحقیقاتی که انجام داد توانست به بررسی ارتباط بین شدت جریان الکتریکی جاری در یک مدار با ولتاژ و مقاومت الکتریکی آن بپردازد. وی نتایج خود را تحت عنوان «قانون اهم» بیان کرد.

اهم، پس از آزمایش‌های زیاد، به این نتیجه رسید که هرگاه در یک مدار مطابق شکل ۱۹ــ۲ ولتاژ مدار را افزایش دهیم جریان عبوری از مدار نیز افزایش می‌یابد. هم‌چنین اهم به این نتیجه رسید که هرگاه مقدار مقاومت یک مدار را افزایش دهیم جریان عبوری از مدار کاهش می‌یابد. وی نتایج آزمایش‌های خود را چنین بیان کرد. در یک مدار جریان مستقیم جریان با ولتاژ نسبت مستقیم و با مقاومت نسبت عکس دارد.

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



شکل ۱۹ــ۲

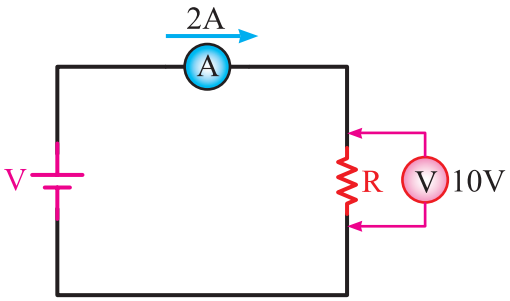


فرمول فوق را به‌صورت‌های زیر نیز می‌توان نوشت :

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

$$V=IR$$

مثال : در مدار شکل ۲۰ــ۲ مقدار مقاومت چند اهم است؟

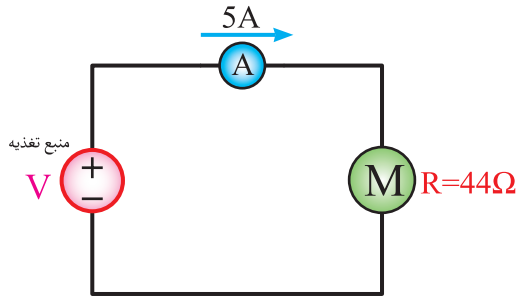


شکل ۲۰ــ۲

حل :

$$R=\frac{V}{I}=\frac{۱۰}{۲}=۵\Omega$$

مثال : در مدار شکل ۲۱ــ۲ اختلاف پتانسیل منبع تغذیه باید چند ولت باشد تا جریان عبوری از مدار ۱۰ A شود؟



شکل ۲۱ــ۲

حل :

$$V=R.I$$

$$V=۴۴\times۵=۲۲۰V$$

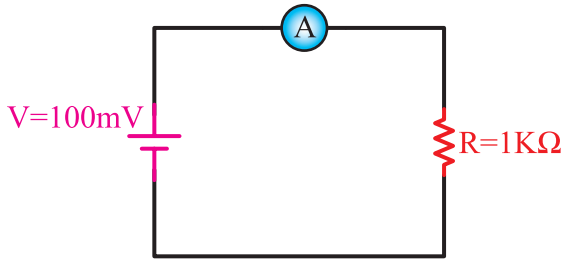
مثال : در مدار شکل ۲۲ــ۲ آمپرمتر چند میلی‌آمپر را نشان می‌دهد؟

حل :

$$V = ۱۰۰_{mV} = \frac{۱۰۰}{۱۰۰۰} = ۰/۱V$$

$$R = ۱k\Omega = ۱ \times ۱۰۰۰ = ۱۰۰۰\Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{۰/۱}{۱۰۰۰} = ۰/۰۰۰۱A$$
$$= ۰/۱mA$$

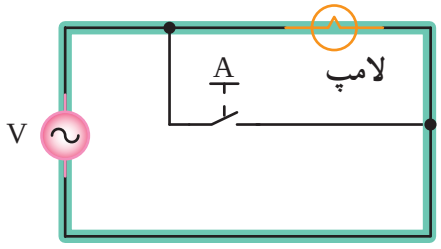


شکل ۲ــ۲۲

۱۰ــ۲ــ اتصال کوتاه

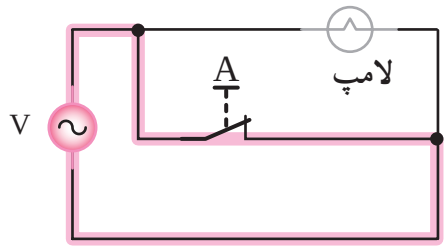
توجه : اصطلاحاً به شرایطی که مقاومت مدار به مقدار صفر برسد وضعیت «اتصال کوتاه مدار[۱]» گویند. در شکل ۲ــ۲۳ اگر کلید A قطع باشد لامپ روشن است. مقدار جریان در این حالت طبق قانون اهم برابر است با :

$$I = \frac{V \text{ (ولتاژ مدار)}}{R \text{ (مقاومت لامپ)}}$$



شکل ۲ــ۲۳

حال اگر کلید A را مطابق شکل ۲ــ۲۴ در حالت وصل قرار دهیم جریان از مسیر جدید عبور می‌کند. چرا که این مسیر هیچ‌گونه مقاومتی ندارد ($R = ۰$).



شکل ۲ــ۲۴

طبق قانون اهم داریم : (بی‌نهایت) $I = \frac{V}{R} = \frac{V}{۰} = \infty$

پس می‌توان نتیجه گرفت در این حالت که کلید دو سر لامپ را به هم متصل می‌کند مدار اتصال کوتاه می‌شود و جریان شدیدی از آن می‌گذرد.

۱۱ــ۲ــ انواع مقاومت‌های اهمی

مقاومت‌های اهمی از نظر شکل استفاده به دو دستهٔ کلی تقسیم می‌شوند.

الف) مقاومت‌های ثابت

ب) مقاومت‌های متغیر

الف) مقاومت‌های اهمی ثابت

به آن گروه از مقاومت‌های اهمی که مقدارشان همواره ثابت است مقاومت‌های ثابت گویند (شکل ۲ــ۲۵).

شکل ۲ــ۲۵

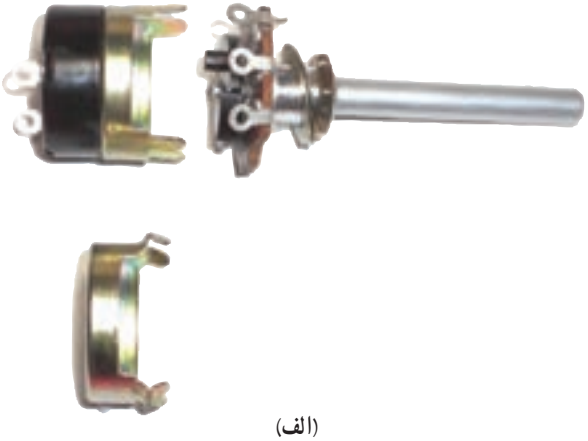
ب) مقاومت‌های اهمی متغیر

مقاومت‌های متغیر به مقاومت‌هایی گفته می‌شود که مقدارشان ثابت نباشد و قابل تغییر است.

این مقاومت‌ها در دو نوع زیر ساخته می‌شوند.

۱ــ Short Circuit - SC

۱ــ مقاومت‌های متغیر قابل تنظیم دستی : مقاومت‌هایی هستند که با تغییر لغزندهٔ روی آن می‌توان مقدار اهم مورد نیاز را تنظیم نمود و از پایانه‌های خروجی آن دریافت کرد. شکل ۲۶ــ۲ تصویر چند مدل از آن‌ها را نشان می‌دهد.



(الف)

(ب)

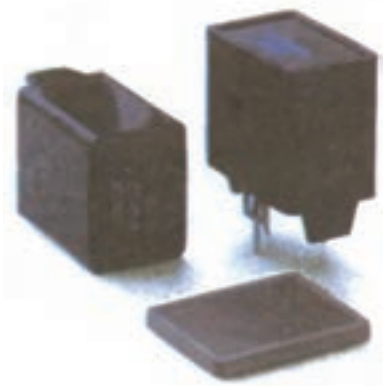
شکل ۲۶ــ۲

۲ــ مقاومت‌های متغیر وابسته : مقاومت‌هایی را که مقدار اهم آن‌ها به‌وسیلهٔ عوامل فیزیکی مختلف مانند حرارت، نور و ... تغییر می‌کند، مقاومت‌های متغیر وابسته گویند.

در این‌جا فقط به معرفی دو نوع از این مقاومت‌ها اشاره می‌شود.

■ ***مقاومت‌های متغیر تابع حرارت :*** مقدار مقاومت‌های تابع حرارت در اثر تغییر حرارت مقاومتشان تغییر می‌کند. اصطلاحاً به این گروه از مقاومت‌ها «ترمیستور[1]» گفته می‌شود.

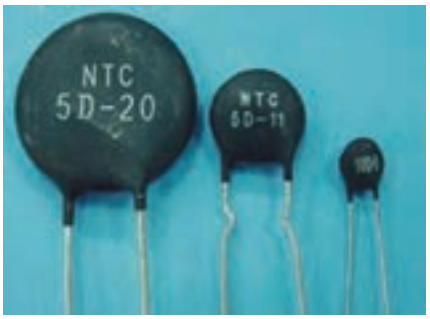
به گروهی از ترمیستورها که با افزایش دما مقدار مقاومت آن‌ها افزایش می‌یابد پی تی سی (PTC)[2] و نوعی که با افزایش دما مقدار مقاومت آن کاهش می‌یابد ان تی سی (NTC)[3] گفته می‌شود. شکل ۲۷ــ۲ تصاویری از هر دو نوع ترمیستور را نشان می‌دهد.



الف) دو نمونهٔ PTC

شکل ۲۷ــ۲

۱ــ Thermistor ۲ــ PTC – Positive Temperature Coefficient ۳ــ NTC – Negative Temperature Coefficient



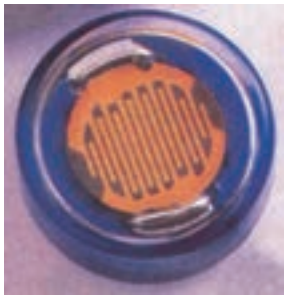
ب) دو نمونهٔ NTC

ادامهٔ شکل ۲۷ــ۲

■ ***مقاومت‌های متغیر تابع نور:*** نوع دیگری از مقاومت‌های متغیر وابسته وجود دارند که با تغییر مقدار نور تابیده شده به آن‌ها مقدار مقاومت آن‌ها تغییر می‌کند. اصطلاحاً به این گروه از مقاومت‌های وابسته ال دی آر (LDR)[1] گفته می‌شود.

شکل ۲۸ــ۲ تصویر دو نمونه از این نوع مقاومت‌ها را نشان می‌دهد.

(الف)



(ب)

شکل ۲۸ــ۲

۱ــ LDR – Light D. Pendent Rsistor

پرسش‌های فصل دوم

◄ پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۱ــ کدام گزینه تعریف جریان الکتریکی است؟

الف) تعداد الکترون‌ها در لایهٔ خارجی یک هادی

ب) مقدار انرژی که به مدار والانس وارد می‌شود.

ج) کاری که روی اتم‌ها انجام می‌شود.

د) الکترون‌های آزاد که در یک مسیر حرکت می‌کنند.

۲ــ کدام یک از موارد زیر صحیح است؟

الف) مقاومت با سطح مقطع رابطهٔ مستقیم دارد.

ب) مقاومت مخصوص با طول رابطهٔ معکوس دارد.

ج) مقاومت مخصوص با سطح مقطع رابطهٔ معکوس دارد.

د) مقاومت با طول رابطهٔ مستقیم دارد.

۳ــ کدام گزینه اجزای اصلی یک مدار را بیان می‌کند؟

الف) منبع تغذیه، فیوز، سیم‌های رابط

ب) منبع تغذیه، کلید، فیوز

ج) سیم‌های رابط، بار، منبع تغذیه

د) سیم‌های رابط، کلید، بار

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

الف) معکوس

ب) مجذوری

ج) مستقیم

د) نمایی

۵ــ در حالت اتصال کوتاه جریان مدار به ..... می‌رسد.

الف) بی‌نهایت

ب) نصف

ج) حداکثر

د) صفر

۶ــ نحوهٔ اتصال آمپرمتر و ولت‌متر در مدارهای الکتریکی به ترتیب چگونه است؟

الف) موازی ــ موازی

ب) سری ــ سری

ج) موازی ــ سری

د) سری ــ موازی

◀پرسش‌های درست و نادرست

۷ــ مقاومت‌هایی که دراثر افزایش دما مقدار مقاومتشان کاهش می‌یابد ان‌تی‌سی (NTC) نام دارد.

درست ☐ نادرست ☐

۸ــ مقاومت مخصوص سیم‌های آلومینیومی و سیم‌های مسی برابر است. درست ☐ نادرست ☐

۹ــ اگر مقاومت یک مدار ثابت باشد، تغییرات جریان با تغییرات ولتاژ منبع رابطه معکوس است.

درست ☐ نادرست ☐

۱۰ــ در حالت اتصال کوتاه مقاومت در مدار الکتریکی افزایش پیدا می‌کند.

◀پرسش‌های پُرکردنی

۱۱ــ ترمیستوری را که مقاومت آن با افزایش دما نسبت مستقیم دارد، ..... گویند.

۱۲ــ در صورتی که مقدار اهم مقاومتی با تغییر مقدار نور تغییر کند مقاومت را ..... نامند.

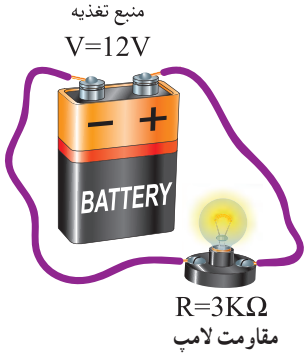
۱۳ــ در یک مدار با ولتاژ ۱۲ ولت و مقاومت ۴Ω جریانی برابر ..... آمپر از مدار عبور می‌کند.

۱۴ــ ۵ میکرو ولت معادل ..... نانوولت است.

◀پرسش‌های تشریحی

۱۵ــ در مدار شکل ۲۹ــ۲ جریان عبوری از مدار چند میکروآمپر است؟

پاسخ : ۴۰۰۰μA



شکل ۲۹ــ۲

۱۶ــ سیم مسی به طول ۱۱۲ متر به سطح مقطع $4mm^2$ مفروض است. مقاومت الکتریکی سیم چند اهم است؟

$\rho = 0/0178 \frac{\Omega mm^2}{m}$ مس است.

۱۷ــ دو نوع مقاومت متغیر وابسته را توضیح دهید.

۱۸ــ انواع مقاومت‌های اهمی را نام ببرید.

کار و توان

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ کار الکتریکی را با ذکر رابطه شرح دهد.

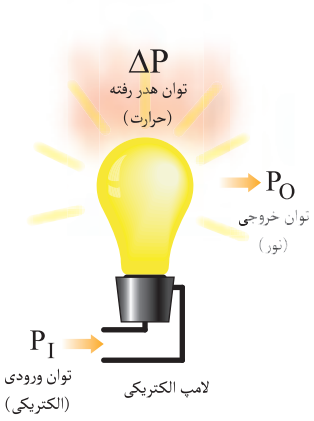
۲ــ توان الکتریکی را با ذکر روابط شرح دهد.

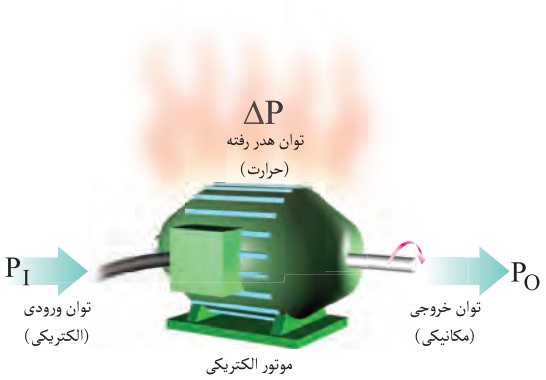
۳ــ ضریب بهره (راندمان) را با ذکر رابطه توضیح دهد.

۴ــ ارتباط انرژی الکتریکی با گرما را شرح دهد.

تلفات توان — توان ورودی — توان خروجی

$$\Delta P = P_1 - P_2$$





سیمای فصل ۳

ـ کار الکتریکی
ـ توان الکتریکی
ـ ضریب بهره (راندمان)
ـ ارتباط انرژی الکتریکی با حرارت

آشنایی با دانشمندان

وات

(Watt, James/ ۱۷۳۶ــ۱۸۱۹)

وات در اسکاتلند به دنیا آمد و در بیرمنگام چشم از جهان فروبست. او از کودکی رنجور بود و زندگی‌اش با فقر و تهی‌دستی قرین بود. او در لندن با سختی تمام یک سالی را به کارآموزی گذرانید و با ابزار و اسباب مکانیکی آشنا شد. با بازگشت به اسکاتلند او در دانشگاه گلاسکو شغلی به دست آورد و همان‌جا بود که توانست برای اصلاح و تکمیل ماشین بخار راه‌حلی به‌دست آورد. وات ماشین بخار خود را که بازده و سرعت عمل بیش‌تری داشت در سال ۱۷۶۹ عرضه کرد. چند سال بعد ۵۰۰ دستگاه از ماشین‌های وات در سراسر انگلستان مشغول به کار بود. نتایج حاصل از ماشین بخار وات بیرون از حساب بود. با در دست داشتن ماشین‌های بخار که با زغال‌سنگ به کار می‌افتاد حرکت چرخ‌های عظیم صنایع در هرنقطه آماده بود و دیگر لزومی نداشت که کارخانه‌ها برای گرداندن موتور از نیروی سقوط آب استفاده کنند و در واقع انقلاب صنعتی آغاز شده بود. دستگاه گریز از مرکز تنظیم بخار نیز از اختراعات او است. واحد توان به احترام او وات نامیده می‌شود.

۳ــ کار و توان

۱ــ۳ــ کار الکتریکی

در مباحث الکتریسیته کار الکتریکی بر پایهٔ پارامترهای الکتریکی ولتاژ، جریان و زمان به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

هرگاه ولتاژی در یک مدار بار الکتریکی را جابه‌جا کند گفته می‌شود «کار الکتریکی» انجام داده است. اصطلاحاً به کار الکتریکی «انرژی الکتریکی» نیز گفته می‌شود و مقدار آن از رابطهٔ (۱) محاسبه می‌گردد.

$$\left.\begin{array}{l} W = V.q \\ q = It \\ W = V.I.t \end{array}\right\} \quad (۱)$$

q ــ بار الکتریکی برحسب کولن [C]

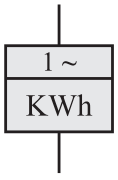
V ــ اختلاف پتانسیل برحسب ولت [v]

I ــ شدت جریان برحسب آمپر [A]

t ــ مدت زمان مصرف برحسب ثانیه [s]

W ــ کار (انرژی) الکتریکی برحسب وات. ثانیه یا ژول [j][1]

وسیله‌ای که برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی به‌کار می‌رود «کنتور» نام دارد. شکل ۱ــ۳ علامت اختصاری کنتور را نشان می‌دهد.



شکل ۱ــ۳

۲ــ۳ــ توان الکتریکی

طبق تعریف به مقدار کار انجام شده در واحد زمان «توان» یا «قدرت[2]» گفته می‌شود که مقدار آن‌را مطابق رابطهٔ (۲) می‌توان به‌دست آورد.

$$P = \frac{W}{t} \quad (۲)$$

W ــ مقدار کار انجام شده برحسب ژول [j]

t ــ مدت زمان انجام کار برحسب ثانیه [s]

P ــ توان (قدرت) برحسب ژول بر ثانیه یا وات [W]

$$P = \frac{W}{t} = \frac{V.I.\not{t}}{\not{t}}$$

$$P = V.I \quad (۳)$$

اگر به جای کار انجام شده (W) معادل آن‌را قرار دهیم رابطهٔ دیگری از توان که با کمیّت‌های الکتریکی ارتباط دارد، به‌صورت رابطهٔ (۳) به‌دست می‌آید. هرگاه با بهره‌گیری از قانون اهم به جای V در رابطهٔ (۲) معادل آن را قرار دهیم شکل دیگری از رابطهٔ توان به‌صورت رابطهٔ(۴) نتیجه می‌شود.

$V=R.I$ (قانون اهم)

$P=(R.I).I$

$$P = R.I^2 \quad (۴)$$

برای حل مسائل مربوط به توان لازم است به اطلاعات داده شده توجه کرد و براساس آن یکی از روابط توان را به‌کار برد.

توان را با واحد دیگری به نام «اسب بخار ــ hp[3]» نیز می‌سنجند که معادل ۷۳۶ وات است.

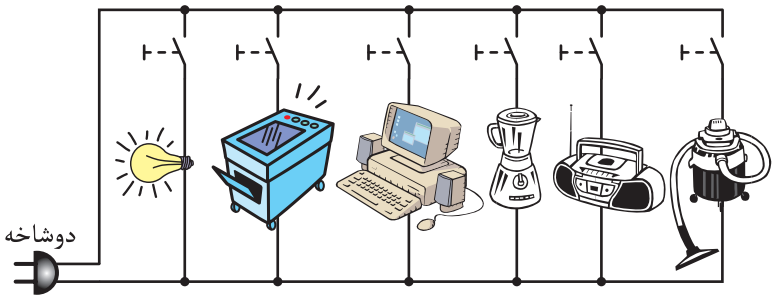
$$1hp = 736\,w$$

از وسیله‌ای به نام وات‌متر برای اندازه‌گیری توان در مدارهای الکتریکی استفاده می‌شود.

تذکر : هرگاه (مطابق شکل ۲ــ۳) در یک مدار الکتریکی از چند وسیله به‌صورت همزمان استفاده شود، برای

۱ــ اصطلاحاً به حاصل‌ضرب کولن در ولت نیز ژول گفته می‌شود.

۲ــ Power ۳ــ hp-horse Power



شکل ۲ــ۳

محاسبهٔ توان کل مدار باید حاصل جمع توان‌های تک‌تک وسایل را براساس رابطهٔ (۵) به‌دست آورد.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n \quad (۵)$$

در این رابطه :

$P_1, P_2, P_3, \cdots, P_n$ = توان هریک ازوسایل برحسب وات [W]

P_T = توان کل برحسب وات [W]

با کمی دقت در رابطهٔ (۲) می‌توان نتیجه گرفت که برای محاسبهٔ انرژی الکتریکی مصرفی دستگاه‌ها یا مدار می‌توان از رابطهٔ (۶) نیز استفاده کرد.

$$W = P.t \quad (۶)$$

در این رابطه :

P– توان دستگاه (دستگاه‌ها) برحسب کیلووات

t– زمان برحسب ساعت

W– انرژی الکتریکی برحسب کیلووات ساعت

اگر توان بر حسب وات و زمان بر حسب ثانیه باشد انرژی مصرفی بر حسب ژول محاسبه می‌شود.

مثال : مقدار جریان و انرژی مصرفی یک موتور الکتریکی (شکل ۳ــ۳) با قدرت $\frac{۱}{۲}$ hp را که در شبکهٔ ۲۲۰ ولتی به مدت ۵۰ دقیقه کار می‌کند، حساب کنید.

حل :

$$P = \frac{۱}{۲} \times ۷۳۶ = ۳۶۸W$$

$$P = V.I \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{۳۶۸}{۲۲۰} = ۱/۶۷ \ [A]$$

$$t = ۵۰ \Rightarrow t = ۵۰ \times ۶۰ = ۳۰۰۰[s]$$

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P.t = ۳۶۸ \times ۳۰۰۰$$

$$= ۱۱۰۴۰۰۰[j] = ۱۱۰۴[kj]$$

شکل ۳ــ۳ــ موتور الکتریکی

تذکر : ادارهٔ برق برای محاسبهٔ انرژی الکتریکی از واحد kwh استفاده می‌کنند، یعنی مقدار توان مصرفی را که همان حاصل‌ضرب ولتاژ در جریان است برحسب کیلووات و زمان را برحسب ساعت در نظر می‌گیرند. درنتیجه از ضرب آن‌ها واحد کیلووات ساعت برای انرژی الکتریکی در نظر گرفته می‌شود (شکل ۴ــ۳).

$$W = V \cdot I \cdot t$$
$$W = P \cdot t$$
$$[KWh] = [KW] \cdot [h]$$

شکل ۴ـ۳

مثال : مقدار انرژی الکتریکی (کار الکتریکی) یک موتور ۵ کیلوواتی که در هر روز حدود ۴ ساعت کار می‌کند چه‌قدر است؟

حل :

$$W = P.t = ۵ \times ۴ = ۲۰ kwh$$

مثال : یک آب‌گرم‌کن الکتریکی ۶۰ لیتری (مانند شکل ۵ـ۳) در مدت ۳ ساعت آب را گرم می‌کند. درصورتی‌که توان المنت آب‌گرم‌کن ۲۰۰۰ وات باشد انرژی مصرفی چند کیلووات ساعت است؟ انرژی مصرفی هر لیتر آب گرم را حساب کنید.

حل :

$$W = p.t$$

$W = ۲kw \times ۳h = ۶kwh$ انرژی الکتریکی کل

انرژی الکتریکی برای هر لیتر

$$W' = \frac{W}{۶۰} = \frac{۶}{۶۰} = ۰/۱ kwh$$

شکل ۵ـ۳

مثال : در جدول زیر مقدار کار الکتریکی هریک از وسایل یک منزل مسکونی و هم‌چنین انرژی الکتریکی کل را به‌دست آورید.

وسیلهٔ الکتریکی	تعداد	توان هر وسیله (وات)	زمان کارکرد (ساعت)
لامپ	۱۵	۱۰۰	۵
یخچال	۱	۲۰۰	۱۰
جاروبرقی	۱	۱۲۰۰	۲
فریزر	۱	۳۰۰	۶

حل :

لامپ $۱۰۰W = \frac{۱۰۰}{۱۰۰۰} = ۰/۱ kw$

یخچال $۲۰۰W = \frac{۲۰۰}{۱۰۰۰} = ۰/۲ kw$

جارو برقی $۱۲۰۰W = \frac{۱۲۰۰W}{۱۰۰۰} = ۱/۲ kw$

فریزر $۳۰۰W = \frac{۳۰۰}{۱۰۰۰} = ۰/۳ kw$

$W = P.t$

انرژی لامپ‌ها $W_۱ = (۱۵ \times ۰/۱) \times ۵ = ۷/۵ kwh$

انرژی یخچال $W_۲ = ۰/۲ \times ۱۰ = ۲ kwh$

انرژی جاروبرقی $W_۳ = ۱/۲ \times ۲ = ۲/۴ kwh$

انرژی فریزر $W_۴ = ۰/۳ \times ۶ = ۱/۸ kwh$

انرژی کل $W_T = W_۱ + W_۲ + W_۳ + W_۴$

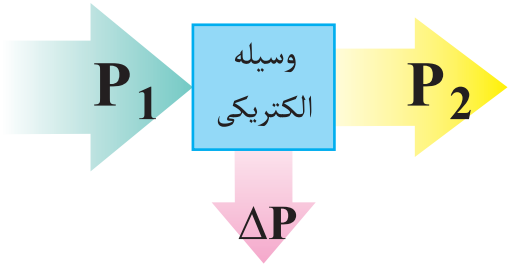
$W_T = ۷/۵ + ۲ + ۲/۴ + ۱/۸$

$W_T = ۱۳/۷ kwh$

۳ـ۳ـ ضریب بهره (راندمان)

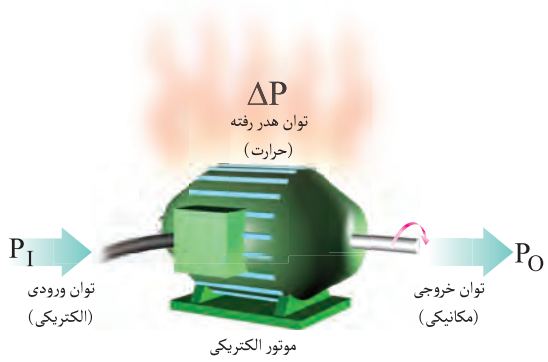
به‌طور کلی در همه دستگاه‌ها و در شرایط واقعی مقدار کاری که انجام می‌دهند با مقدار انرژی الکتریکی که از شبکه دریافت می‌کنند برابر نیست. به عبارت دیگر مقدار «توان خروجی $P_۲$ به اندازهٔ توان ورودی $P_۱$ » نیست و همیشه مقدار $P_۲$ از $P_۱$ کم‌تر است. چرا که بخشی از توان به‌صورت‌های حرارت، اصطکاک

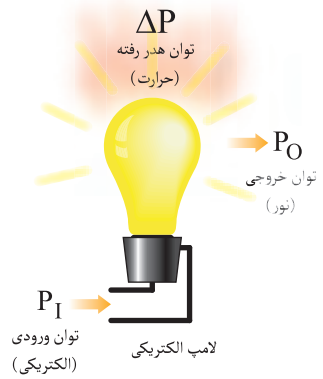
و... هدر می‌رود (شکل۶ـ۳). از رابطهٔ (۱۰) می‌توان مقدار «توان هدررفته» یا «تلفات توان» را محاسبه کرد. ضمناً شکل (۷ـ۳) نمونه‌هایی از زمینه‌های هدررفتن بخشی از توان ورودی را نشان می‌دهد. اصطلاحاً به نسبت توان خروجی به توان ورودی هر وسیله «ضریب بهره» یا «راندمان» گفته می‌شود و مقدار آن مطابق رابطهٔ (۱۱) محاسبه و معمولاً برحسب درصد بیان می‌شود.



شکل ۶ـ۳

تلفات توان ΔP = توان ورودی P_1 − توان خروجی P_2 (۱۰)





شکل ۷ـ۳

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \qquad (11)$$

راندمان (حرف یونانی که اِتا خوانده می شود)

در اکثر موارد مقدار راندمان وسایل الکتریکی روی بدنهٔ آن‌ها نوشته نمی‌شود. درصورتی‌که بخواهیم مقدار آن‌را به‌دست آوریم باید توان نوشته شده روی پلاک مشخصات وسیلهٔ الکتریکی را که نشان‌دهندهٔ توان خروجی (P_2) است،به همراه ولتاژ کار (V) و جریان مورد نیاز قرائت کنیم و مقدار P_1 را که از حاصل‌ضرب V در I به‌دست می‌آید، محاسبه نماییم و سپس مقدار راندمان را به‌دست آوریم.

مرحله I)
قرائت مقادیر P_2 و V و I از روی پلاک مشخصات

مرحله II)
محاسبهٔ توان ورودی $P_1 = V.I$

مرحله III)
محاسبهٔ راندمان $\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100$

مثال : هرگاه توان حرارتی برای تولید بخار نیروگاه (شکل ۸ـ۳) معادل ۲MW و مقدار انرژی الکتریکی خروجی از نیروگاه ۰/۸ MW باشد، ضریب بهرهٔ (راندمان) این نیروگاه چند درصد و مقدار تلفات چند مگاوات است؟

حل :

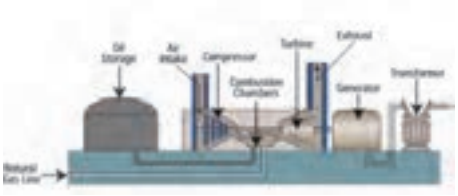
راندمان $\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100$

$\eta = \frac{0/8}{2} \times 100$

$\eta = \%40$

تلفات $\Delta P = P_1 - P_2$

$\Delta P = 2 - 0/8 = 1/2 MW$



شکل ۸ــ۳

۴ــ۳ــ ارتباط انرژی الکتریکی با گرما

جیمز ژول فیزیک‌دان انگلیسی نخستین کسی بود که رابطهٔ میان گرما و کار را مطالعه کرد. ژول در مطالعهٔ اثر گرمایی جریان الکتریسیته نیز پیش‌گام بود. او بر پایهٔ نتایج تجربی حاصل و فرمول‌بندی این نتایج، قانون موسوم به قانون ژول را چنین بیان کرد :

گرمای حاصل از عبور جریان در یک رسانا با مقدار مقاومت رسانا، مجذور شدت جریان و زمان عبور جریان نسبت مستقیم دارد.

$$W = P.t = R.I^2.t$$

در مقاومت تمام کار انجام شده توسط جریان به گرما تبدیل می‌شود. پس انرژی الکتریکی مصرف‌شده با مقدار گرما برابر است؛ یعنی :

$$\boxed{W = Q}$$

که در آن W انرژی الکتریکی برحسب ژول [j] ؛ Q مقدار گرمای تولیدشده برحسب ژول است.

برای اندازه‌گیری گرما از واحد دیگری به نام کالری استفاده می‌شده که امروزه نیز استفادهٔ ازآن متداول است. یک کالری برابر ۴/۱۸ ژول است.

$$1[cal] = 4/18[j]$$

$$1[j] = \frac{1}{4/18} cal = 0/24 cal$$

مثال : بر روی یک بخاری برقی (شکل ۹ــ۳) توان به‌صورت $P = 2000W$ نوشته شده، مطلوب است.

شکل ۹ــ۳

الف) انرژی الکتریکی مصرفی بخاری طی یک ساعت کار روزانه

ب) محاسبهٔ هزینهٔ برق مصرفی در یک ماه (۳۰ روز) اگر قیمت هر کیلووات ۱۰۰۰ ریال باشد.

ج) مقدار حرارت ایجاد شده در اطراف بخاری طی یک ساعت کار برحسب کالری و کیلوکالری

حل :

الف) $W = P.t$

$W = 2kw \times 1h = 2kwh$

ب) هزینهٔ برق = $1000 \times 2 \times 30 = 60000$ ریال

ج) $W = P.t = 2000 \times 3600 = 7200000 j$

$W = 0/24 \times 7200000 = 1728000 cal$

$= 1728 kcal$

مثال : برای این‌که آب در سماور برقی (شکل ۱۰ــ۳) در مدت نیم ساعت به جوش آید نیاز به ۴۳۲۰۰۰ کالری گرما دارد.

درصورتی‌که گرمای لازم توسط یک گرم‌کن برقی با ولتاژ ۲۲۰ ولت تأمین شود توان مقاومت گرم‌کن و جریان مصرفی را حساب کنید.

شکل ۱۰ــ۳

حل :

$$1J = 0/24cal \Rightarrow cal = \frac{J}{0/24}$$

$$W = 432000cal = 432000 \times \frac{J}{0/24}$$

$$W = 1800000J$$

$$W = P.t \quad [\text{ژول}]$$

$$W = 0/24$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1800000}{30 \times 60} = 100[W]$$

$$P = V.I$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1000}{220} = 4/54A$$

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

$$R = \frac{220}{4/54} = 48/5\Omega$$

پرسش‌های فصل سوم

◄پرسش‌های چهار گزینه‌ای

۱ــ کدام وسیله برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی استفاده می‌شود؟

الف) وات‌متر　　ب) کنتور　　ج) نیروسنج　　د) ولت‌متر

۲ــ ژول معادل کدام یک از واحدهای زیر است :

الف) وات ثانیه　　ب) کیلووات ساعت　　ج) اسب بخار　　د) کالری

۳ــ توان خروجی یک الکتروموتور دی سی (DC) با مشخصات پلاک نشان داده شده در شکل ۱۱ــ۳ چند وات است؟

پلاک موتور

U = ۲۲۰V
I = ۵A
η = %۹۰

شکل ۱۱ــ۳

الف) ۹۹۰　　ب) ۱۱۵۰　　ج) ۴۴　　د) ۱۲۲۲/۲

۴ــ راندمان منبع تغذیه‌ای با قدرت دریافتی ۰/۶ W و توان خروجی معادل ۰/۵W چند درصد است؟

الف) ٪۵۰/۵　　ب) ٪۸۳/۳　　ج) ٪۶۰/۲　　د) ٪۴۵/۱

◄پرسش‌های پرکردنی

۵ــ نوعی انرژی که دراثر عبور جریان الکتریکی در سیم هدر می‌رود ..... نام دارد.

۶ــ برای اندازه‌گیری توان مصرفی در مدارهای الکتریکی از وسیله‌ای به نام ..... استفاده می‌شود.

۷ــ هرچه توان مصرف‌کننده بیش‌تر باشد مقدار جریان دریافتی آن ازشبکه ..... است.

◄پرسش‌های درست و نادرست

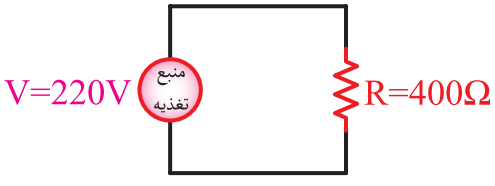
۸ــ مبنای محاسبهٔ برق مصرفی برحسب کیلووات ساعت است.　　درست ☐　نادرست ☐

۹ــ برای بیان میزان کارآیی هر وسیله از اصطلاح توان خروجی استفاده می‌شود.　　درست ☐　نادرست ☐

◄پرسش‌های تشریحی (مسائل)

۱۰ــ در مدار شکل ۱۲ــ۳ اگر R نشان‌دهندهٔ مقاومت المنت یک سماور برقی باشد، این مقاومت در مدت زمان ۱۰ دقیقه چند کالری گرما تولید می‌کند؟

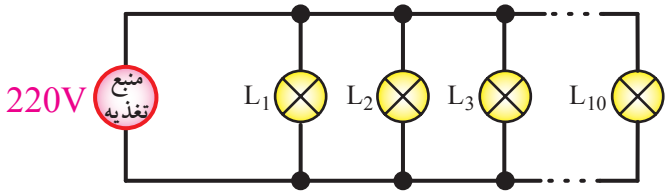
پاسخ : ۱۷۳۶۸/۴ کالری



شکل ۱۲ــ۳

۱۱ــ اگر ده لامپ ۱۰۰ واتی (مطابق شکل ۱۳ــ۳) به مدت دو ساعت روشن باشد هزینهٔ برق مصرفی آن‌ها چه‌قدر است؟ درصورتی که بهای هر کیلووات ساعت ۱۰۰۰ ریال در نظر گرفته شود.

پاسخ : ۲۰۰۰ ریال



شکل ۱۳ــ۳

۱۲ــ مقدار انرژی مصرفی در یک لامپ ۱۰۰ وات را در مدت ۲ ساعت برحسب ژول حساب کنید. پاسخ : ۷۲۰۰۰۰

۱۳ــ شدت جریان مصرفی یک لامپ ۱۰۰ وات در شبکهٔ ۲۲۰ ولتی را به‌دست آورید. پاسخ : ۰/۴۵ آمپر

۱۴ــ توان الکتروموتور یخچال خانگی $\frac{۱}{۶}$ اسب بخار است. توان آن را برحسب وات به‌دست آورید.

۱۵ــ بر روی گرم‌کن برقی (هیتر) یک سماور برقی عدد ۱۰۰۰W نوشته شده است. اگر سماور گنجایش ۵ لیتر آب را داشته باشد، زمان لازم برای جوشیدن آب چند دقیقه است؟ (دمای اوّلیهٔ آب را ۱۵ درجه سانتی‌گراد فرض نمایید).

پاسخ : ۲۹/۷۵دقیقه

گرمای ویژه آب $C = ۴۱۸۶ \frac{J}{kg.^\circ C}$

جرم حجمی آب $\rho = ۱ \frac{kg}{Lit}$

مدارهای الکتریکی

«مقاومتی»

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ اتصال سری را تعریف کند.

۲ــ خصوصیات مدارهای سری را شرح دهد.

۳ــ روابط ولتاژ، جریان و توان عناصر و کل در مدارهای سری را بنویسد.

۴ــ مقاومت معادل مدارهای سری را محاسبه کند.

۵ــ حالت اتصال کوتاه در مدارهای سری را شرح دهد.

۶ــ مسایل مربوط به مدارهای سری را حل کند.

۷ــ اتصال موازی را تعریف کند.

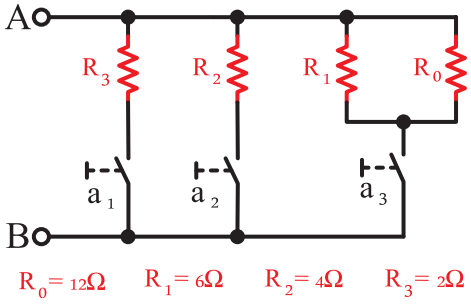
۸ــ خصوصیات مدارهای موازی را شرح دهد.

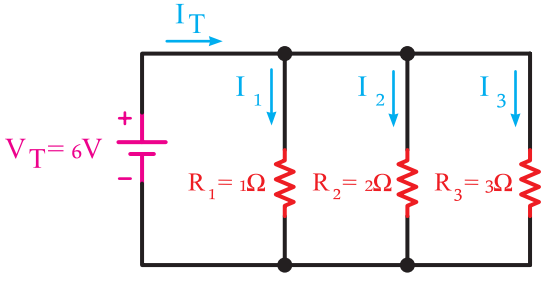
۹ــ روابط ولتاژ، جریان و توان عناصر و کل در مدارهای موازی را بنویسد.

۱۰ــ مقاومت معادل مدارهای موازی را محاسبه کند.

۱۱ــ حالت اتصال کوتاه در مدارهای موازی را شرح دهد.

۱۲ــ مسایل مربوط به مدارهای موازی را حل کند.





سیمای فصل ۴

اتصال سری

ـ تعریف مدار سری

ـ خصوصیات مدارهای سری

ـ حالت اتصال کوتاه در مدارهای سری

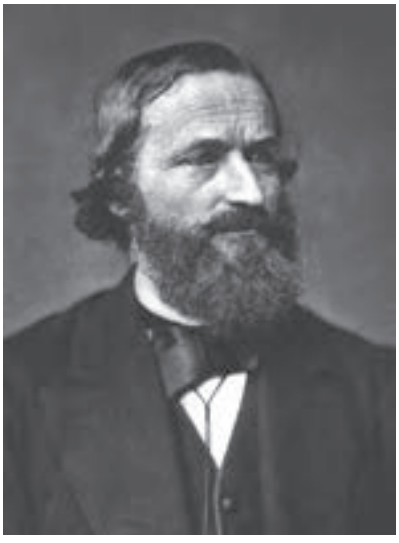
اتصال موازی

ـ تعریف مدار موازی

ـ خصوصیات مدارهای موازی

ـ حالت اتصال کوتاه در مدارهای موازی

آشنایی با دانشمندان



کِرشهُف

(Kirchhoff, Gustav Robert/ ۱۸۸۷ـ۱۸۲۴)

شهرت اصلی کِرشهُف، فیزیک‌دان آلمانی، هنگامی آغاز شد که وی سمت استادی فیزیک دانشگاه هایدلبرگ را به عهده گرفت. او در پیشبرد طیف‌نمایی و طیف‌نگاری پژوهش‌های زیادی انجام داده است و در گسترش کاربردهای ریاضی در فیزیک سهم به‌سزایی دارد. این قانون که، هر جسم همان پرتوهایی را جذب می‌کند که خود می‌تواند گسیل کند، به نام او معروف است. او هم‌چنین با بررسی مدارهای الکتریکی توانست قانون‌های اول و دوم مدارها را که به قانون جریان‌ها و قانون اختلاف پتانسیل‌ها معروف است بیان کند.

۴ــ مدارهای الکتریکی (مقاومتی)

مقدمه

هرگاه در یک مدار الکتریکی بیش از یک مقاومت وجود داشته باشد اتصال آن‌ها می‌تواند به یکی از سه حالت زیر باشد :

۱ــ اتصال سری

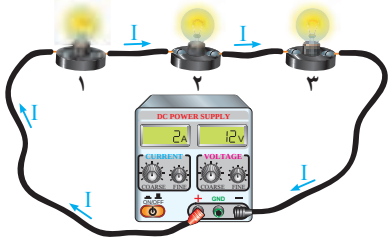
۲ــ اتصال موازی

۳ــ اتصال سری ــ موازی (ترکیبی یا مختلط)[۱]

قبل از وارد شدن به بحث هر یک از مدارهای یاد شده، باید متذکر شد که برای دست یافتن به روابط اصلی این مدارها ضروری است به تفکیک، آن‌ها را از نظر جریان ولتاژ مقاومت معادل و توان مورد بررسی قرار دهیم.

۱ــ۴ــ اتصال سری

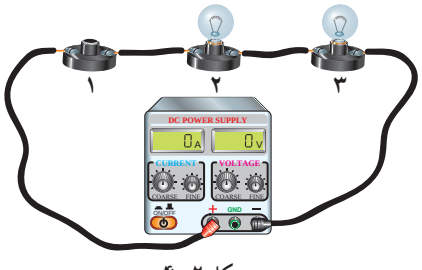
۱ــ۱ــ۴ــ تعریف مدار سری : هرگاه دو یا چند لامپ مانند شکل ۱ــ۴ به یک‌دیگر متصل شوند این نوع اتصال را «اتصال سری» گویند.



شکل ۱ــ۴

۲ــ۱ــ۴ــ خصوصیات مدارهای سری :

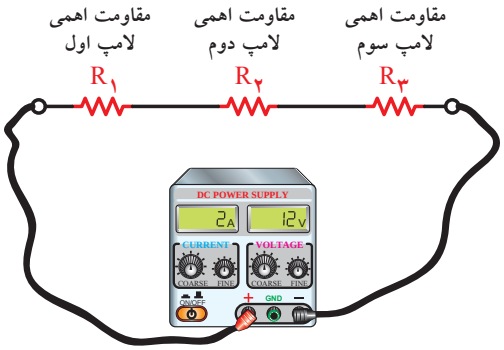
الف) جریان الکتریکی : اگر یکی از لامپ‌ها را از مدار باز کنید مطابق شکل ۲ــ۴ مشاهده می‌شود سایر لامپ‌ها خاموش می‌شوند. از این آزمایش ساده می‌توان نتیجه گرفت که مدار سری دارای یک مسیر برای عبور جریان الکتریکی است.



شکل ۲ــ۴

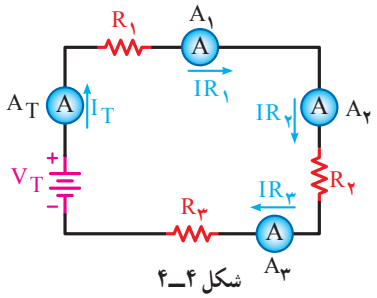
به‌همین‌دلیل هرگونه قطعی در مدار سری (قطع مصرف‌کننده یا سیم‌ها) می‌تواند مسیر عبور جریان را قطع کند.

در صورتی که خاصیت مقاومتی هر یک از لامپ‌ها را برابر R اهم فرض کنیم در این صورت می‌توان مدار الکتریکی را براساس علایم اختصاری عناصر مدار مانند شکل ۳ــ۴ رسم کرد.



شکل ۳ــ۴

اگر آزمایش دیگری را مطابق شکل ۴ــ۴ بر روی همین مدار با قراردادن آمپرمترهایی در مسیر هر یک از لامپ‌ها انجام



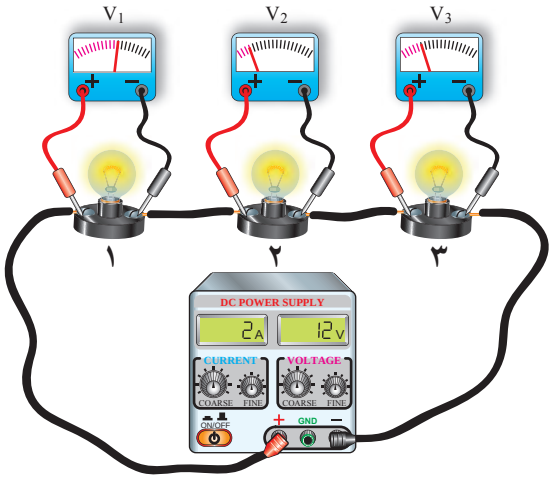
شکل ۴ــ۴

۱ــ آموزش این حالت در این کتاب ضروری نیست.

دهیم مشاهده خواهیم کرد همهٔ آمپرمترها جریانی برابر را نشان می‌دهند، چرا که مسیر عبور جریان آن‌ها یکی است و می‌توان برای هر مدار سری چنین نوشت :

$$\boxed{\begin{matrix} I_{R_1} = I_{R_2} = I_{R_3} = I_{R_n} \\ I_1 = I_2 = I_3 = I_T \end{matrix}} \quad (1)$$

ب) ولتاژ الکتریکی : هرگاه مطابق تصاویر شکل ۵ــ۴ به کمک ولت‌متر و به‌صورت جداگانه، ولتاژ دو سر هر یک از لامپ‌های غیرمشابه (مقاومت‌ها) را اندازه‌گیری کنیم مشاهده

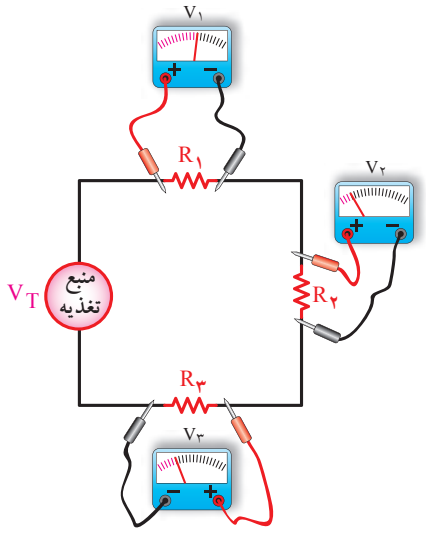


شکل ۵ــ۴

می‌شود که مقدار ولتاژ نشان داده شده دو سر هریک از لامپ‌ها با ولتاژ کل برابر نیست. اما با کمی دقت می‌توان دریافت که ولتاژ کل به نسبت مقدار مقاومت اهمی عناصر مدار بین آن‌ها تقسیم می‌شود (شکل ۶ــ۴). بر پایهٔ همین مطلب می‌توان ولتاژ کل مدار را از حاصل‌جمع ولتاژهای دو سر هر لامپ (مقاومت) مطابق رابطهٔ (۲) به‌دست آورد.

$$\boxed{V_T = V_1 + V_2 + V_3} \quad (2)$$

یادآوری می‌شود درصورتی که بخواهیم با روش محاسباتی ولتاژ هریک از لامپ‌ها را به‌دست آوریم می‌توانیم از رابطهٔ قانون

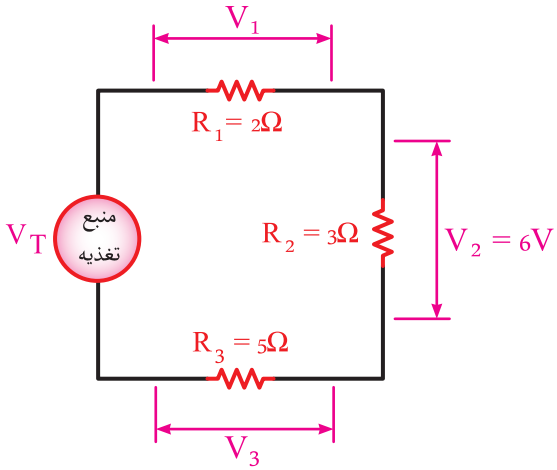


شکل ۶ــ۴

اهم کمک بگیریم و آن را مطابق روابط زیر محاسبه کنیم.

$$\boxed{\begin{matrix} V_1 = R_1.I_1 = R_1.I_T \\ V_2 = R_2.I_2 = R_2.I_T \\ V_3 = R_3.I_3 = R_3.I_T \end{matrix}} \quad (3)$$

مثال : در مدار شکل ۷ــ۴ مقدار جریان عبوری از هر مقاومت و ولتاژ دو سر هر یک از آن‌ها چه‌قدر است؟



شکل ۷ــ۴

حل :

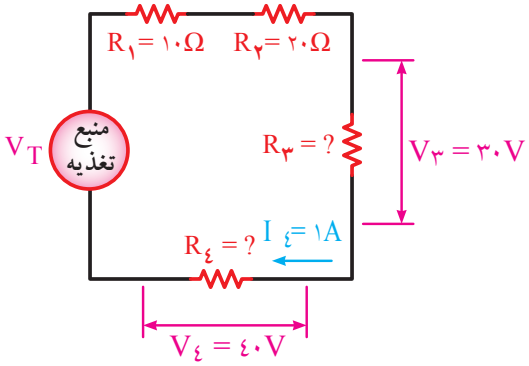
$$I_۲ = \frac{V_۲}{R_۲} = \frac{۶}{۳} = ۲A$$

در مدارهای سری $I_۱ = I_۲ = I_۳ = ۲A$

$$V_۱ = R_۱ I_۱ = ۲ \times ۲ = ۴V$$

$$V_۳ = R_۳ I_۳ = ۵ \times ۲ = ۱۰V$$

مثال : مقادیر جریان عبوری، ولتاژ دو سر هر مقاومت و ولتاژ کل مدار شکل ۸ــ۴ را به‌دست آورید.



شکل ۸ــ۴

حل : در مدارهای سری جریان عناصر برابر است

پس :

$$I_۱ = I_۲ = I_۳ = I_۴ = ۱A$$

$$V_۱ = R_۱ . I_۱ = ۱۰ \times ۱ = ۱۰v$$

$$V_۲ = R_۲ . I_۲ = ۲۰ \times ۱ = ۲۰v$$

$$V_۳ = ۳۰v$$

$$V_۴ = ۴۰v$$

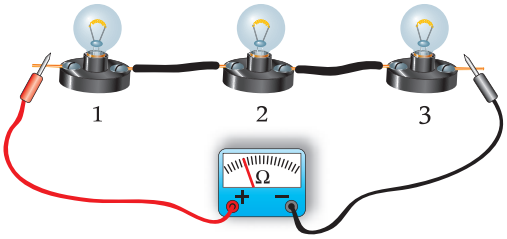
$$V_T = V_۱ + V_۲ + V_۳ + V_۴$$

$$V_T = ۱۰ + ۲۰ + ۳۰ + ۴۰ = ۱۰۰V$$

ج) مقاومت معادل : مقاومت معادل چند مقاومت به مقاومتی گفته می‌شود که با جایگزینی آن به جای آن مقاومت‌ها، اثری مشابه و معادل با آن مقاومت‌های مدار از خود نشان می‌دهد. مقاومت معادل همه مقاومت‌های یک مدار را مقاومت کل نیز می‌گویند.

مقاومت معادل را اغلب به‌صورت R_t[۱] یا Req[۲] در مدارها نشان می‌دهند.

اندازه‌گیری مقاومت معادل به‌صورت عملی مشابه شکل ۹ــ۴ با استفاده از یک اهم‌متر، که به ابتدا و انتهای مدار وصل می‌شود، انجام می‌گیرد.

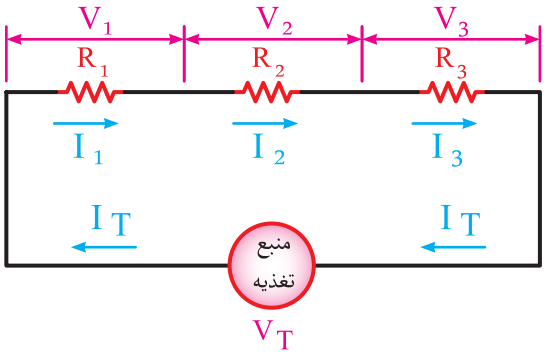


شکل ۹ــ۴

اما برای محاسبهٔ مقدار مقاومت معادل باید از رابطهٔ نهایی (۴) استفاده کرد.

$$R_T = R_۱ + R_۲ + R_۳ \quad (۴)$$

شکل ۱۰ــ۴ را در نظر بگیرید.



شکل ۱۰ــ۴

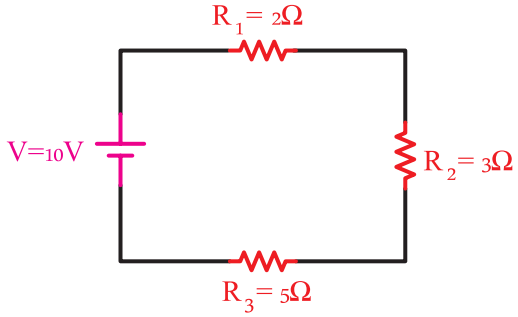
اگر تعداد مقاومت‌های مدار بیش از سه مقاومت باشد این رابطه را برای n مقاومت نیز به‌صورت زیر می‌توان گسترش داد.

$$R_T = R_۱ + R_۲ + R_۳ + \quad + R_n \quad (۵)$$

۱ــ R_t t-مخفف کلمهٔ ToTal به معنای مجموع یا معادل است.

۲ــ eq-Req مخفف کلمهٔ equivalent به معنای معادل است.

مثال : مقاومت معادل مدار شکل ۱۱ــ۴ چند اهم است؟



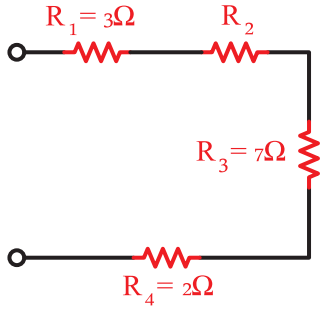
شکل ۱۱ــ۴

حل :

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = 2 + 3 + 5 = 10\Omega$$

مثال : اگر مقاومت معادل مدار شکل ۱۲ــ۴ برابر ۱۶Ω باشد مقدار مقاومت R_2 چند اهم است؟



شکل ۱۲ــ۴

حل :

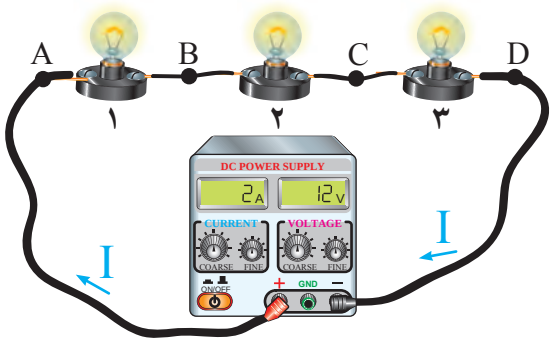
$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$16 = 3 + R_2 + 7 + 2$$

$$R_2 = 16 - (3 + 7 + 2) = 4\Omega$$

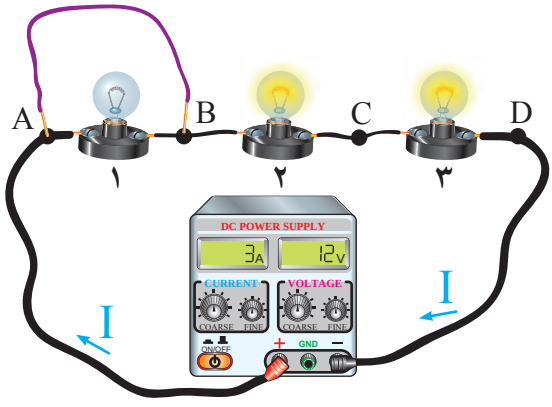
۳ــ۱ــ۴ــ حالت اتصال کوتاه در مدارهای سری :

مدار سری شکل ۱۳ــ۴ را در نظر بگیرید. هرگاه در این مدار



شکل ۱۳ــ۴

توسط تکه سیمی دو نقطهٔ A و B مطابق شکل ۱۴ــ۴ به یک‌دیگر اتصال داده شوند حالت اتصال کوتاه در لامپ ۱ پدید می‌آید، که در این صورت مسیر فرعی در دو سر لامپ ۱ به وجود می‌آید و جریان از داخل لامپ ۱ عبور نمی‌کند و خاموش خواهد بود. در همین حالت چون لامپ ۱ از مدار خارج می‌شود مقاومت کل مدار کاهش می‌یابد و درنتیجه جریان مدار و هم‌چنین شدت روشنایی دو لامپ دیگر افزایش می‌یابد.



شکل ۱۴ــ۴

سؤال : در صورتی‌که اتصال کوتاه بین نقاط زیر اتفاق بیفتد آن را بررسی کنید و شرح دهید.

الف) بین دو نقطهٔ A و C ب) بین دو نقطهٔ A و D

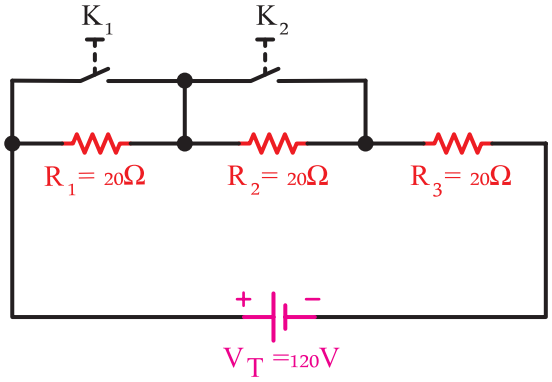
مثال : هرگاه سه مقاومت R_1 ، R_2 و R_3 به همراه دو کلید K_1 ، K_2 مطابق شکل ۱۵ــ۴ متصل شده باشند مقاومت معادل و جریان کل مدار را در حالات زیر به‌دست آورید.

الف) کلید K_1 و K_2 قطع

ب) کلید K_1 وصل و K_2 قطع

ج) کلید K_1 قطع و K_2 وصل

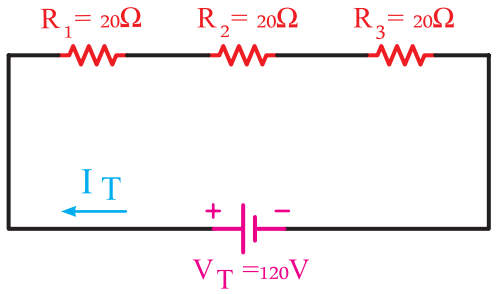
د) کلید K_1 و K_2 وصل



شکل ۱۵ــ۴

حل :

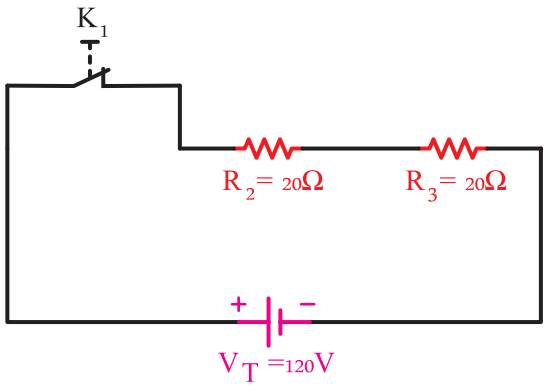
الف) در صورت قطع بودن هر دو کلید K_1 و K_2 شکل مدار به‌صورت زیر است :



$$R_T = n.R = ۳ \times ۲۰ = ۶۰\Omega$$

$$I_T = \frac{V_T}{R_t} = \frac{۱۲۰}{۶۰} = ۲A$$

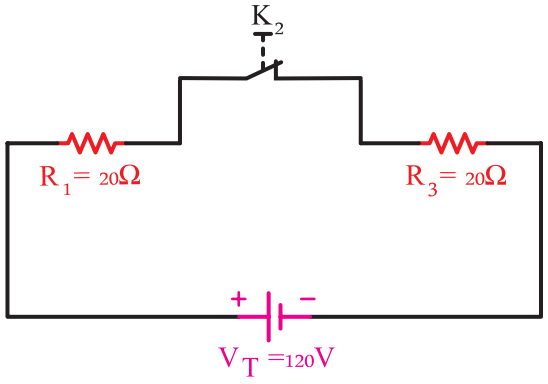
ب) اگر کلید K_1 وصل و K_2 قطع باشند در این صورت دو سر مقاومت R_1 دارای اتصال کوتاه شده است و جریانی از آن عبور نمی‌کند در این حالت شکل مدار به‌صورت زیر خواهد شد :



$$R_T = n.R = ۲ \times ۲۰ = ۴۰\Omega$$

$$I_T = \frac{V_T}{R_t} = \frac{۱۲۰}{۴۰} = ۳A$$

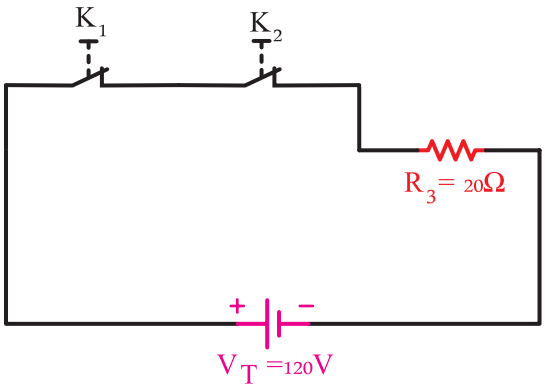
ج) هرگاه کلید K_2 وصل و K_1 قطع باشد در این شرایط دو سر مقاومت R_2 دارای اتصال کوتاه شده است و جریانی از آن عبور نمی‌کند. در این حالت شکل مدار به‌صورت زیر (شبیه حالت ب) خواهد شد :



$$R_T = n.R = ۲ \times ۲۰ = ۴۰\Omega$$

$$I_T = \frac{V_T}{R_t} = \frac{۱۲۰}{۴۰} = ۳A$$

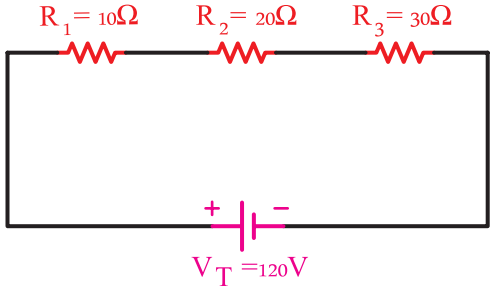
د) اگر هر دو کلید K_1 و K_2 وصل باشند در این حالت دو سر مقاومت‌های R_1 و R_2 دارای اتصال کوتاه شده است و فقط جریان از داخل مقاومت R_3 مطابق شکل عبور می‌کند.



$R_T = R_3 = 20\Omega$

$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{120}{20} = 6A$

مثال : مدار شکل ۱۶ـ۴ را در نظر بگیرید و مقادیر خواسته شده را به‌دست آورید.



شکل ۱۶ـ۴

الف) مقاومت معادل

ب) جریان کل

ج) افت ولتاژ دو سر مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_3

د) توان هریک از مقاومت‌ها و توان کل مدار

حل :

الف)

$R_T = R_1 + R_2 + R_3$

$R_T = 10 + 20 + 30 = 60$

ب)

$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{120}{60} = 2A$

چون مدار سری است پس می‌توان چنین نوشت :

$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = 2A$

ج)

$V_1 = V_{R_1} = R_1.I_1 = 10 \times 2 = 20V$

$V_2 = V_{R_2} = R_2.I_2 = 20 \times 2 = 40V$

$V_3 = V_{R_3} = R_3.I_3 = 30 \times 2 = 60V$

د)

$P_1 = V_1.I_1 = 20 \times 2 = 40W$

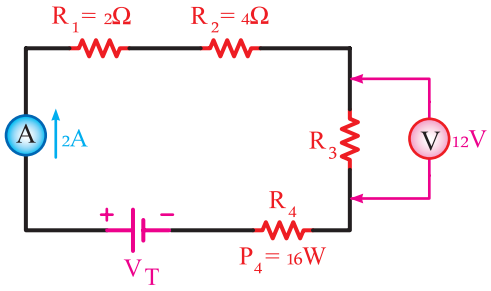
$P_2 = V_2.I_2 = 40 \times 2 = 80W$

$P_3 = V_3.I_3 = 60 \times 2 = 120W$

$P_T = P_1 + P_2 + P_3$

$P_T = 40 + 80 + 120 = 240W$

مثال : در مدار شکل ۱۷ـ۴ اگر آمپرمتر 2A و ولت‌متر 12V را نشان دهد و از طرفی توان مصرفی مقاومت R_4 معادل 16W باشد مقادیر کمیت‌های خواسته شده را محاسبه کنید.



شکل ۱۷ـ۴

الف) مقدار مقاومت‌های R_3 و R_4

ب) ولتاژ دو سر هر مقاومت

ج) ولتاژ کل V_T

د) توان مصرفی کل مدار

حل : باتوجه به شکل و توضیحات سؤال داریم :

$I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_T = 2A$

طبق قانون اهم می‌توان نوشت :

$R_3 = \frac{V_3}{I_3} = \frac{12}{2} = 6\Omega$

برای محاسبهٔ R_4 از مقدار داده‌شده برای توان کمک می‌گیریم.

$P_4 = R_4.I_4^2 \Rightarrow R_4 = \frac{P_4}{I_4^2}$

$$R_۴ = \frac{۱۶}{(۲)^۲} = ۴\Omega$$

در این سؤال چون توان مصرفی و ولتاژ هیچ یک از مقاومت‌ها مورد نظر نیست به همین جهت ولتاژ کل و توان کل مدار را از طریق پارامترهای کل به‌دست می‌آوریم.

$$V_۱ = R_۱ . I = ۲ \times ۲ = ۴V$$

$$V_۲ = R_۲ . I = ۴ \times ۲ = ۸$$

$$V_۳ = ۱۲$$

$$V_۴ = R_۴ \times I = ۴ \times ۲ = ۸$$

$$R_T = R_۱ + R_۲ + R_۳ + R_۴$$

$$R_T = ۲ + ۴ + ۶ + ۴ = ۱۶\Omega$$

$$V_T = R_T . I_T = ۱۶ \times ۲ = ۳۲V$$

یا
$$\begin{cases} P_T = V_T . I_T = ۳۲ \times ۲ = ۶۴W \\ P_T = R_T . I_T^۲ = ۱۶ \times (۲)^۲ = ۶۴W \end{cases}$$

پرسش‌های فصل چهارم (مدارهای سری)

◄پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۱ــ کدام کمیّت در بین عناصر یک مدار سری ثابت است؟

الف) ولتاژ　　ب) توان　　ج) جریان　　د) مقاومت کل

۲ــ مقاومت معادل پنج مقاومت ۱۰Ω برابر چند اهم است؟

الف) ۱۰　　ب) ۲　　ج) ۵۰　　د) ۲۵

۳ــ کدام‌یک از روابط زیر در مدارهای سری صحیح نیست؟

الف) $V_T = R_T . I_T$　　ب) $V_T = V_1 + V_2 + V_3$

ج) $I_T = \frac{P_T}{V_T}$　　د) $I_T = I_1 + I_2 + I_3$

◄پرسش‌های درست و نادرست

۴ــ در یک مدار سری جریان عبوری از آمپرمتر اول (در ابتدای مدار) با جریان عبوری از آمپرمتر آخر (در انتهای مدار) یکسان است.　　درست ☐　نادرست ☐

۵ــ مقاومت معادل چند مقاومت مساوی را، که به‌صورت سری بسته شده‌اند، از رابطهٔ $R_T = \frac{R}{n}$ می‌توان به‌دست آورد.　　درست ☐　نادرست ☐

۶ــ به‌وجودآمدن حالت اتصال کوتاه در مدارهای سری موجب افزایش جریان مدار می‌شود.

درست ☐　نادرست ☐

◄پرسش‌های پرکردنی

۷ــ در مدار سری از تقسیم ولتاژ کل مدار بر جریان کل مدار مقدار ..... به‌دست می‌آید.

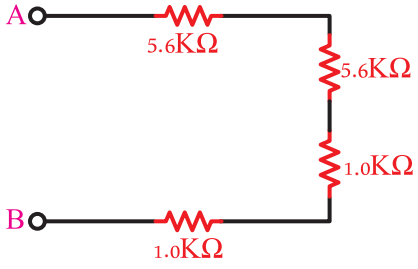
۸ــ هرگاه یک لامپ در مدار سری بسوزد باعث می‌شود تا همهٔ لامپ‌ها ..... .

۹ــ مقاومت معادل مدارهای سری از بزرگ‌ترین مقاومت موجود در مدار ..... است.

◄پرسش‌های تشریحی (مسائل)

۱۰ــ مقاومت معادل مدار نشان داده شده در شکل ۱۸ــ۴ از دو نقطهٔ A و B چند اهم است؟

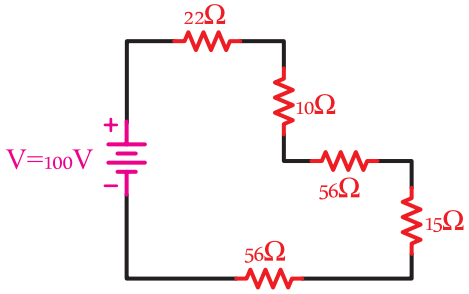
پاسخ : ۱۳/۲KΩ



شکل ۱۸ــ۴

۱۱ــ مقاومت معادل مدار شکل ۱۹ــ۴ چند اهم است؟

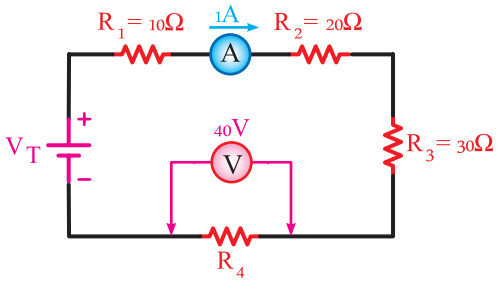
پاسخ : ۱۵۹ Ω



شکل ۱۹ــ۴

۱۲ــ در مدار شکل ۲۰ــ۴ مقاومت معادل و ولتاژ کل مدار (V_T) را به‌دست آورید.

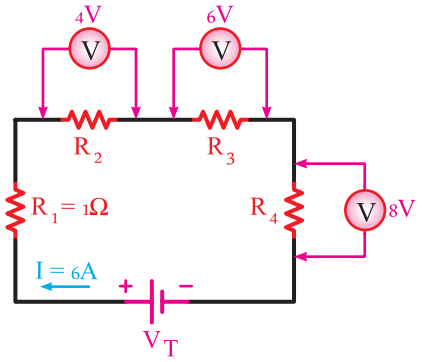
پاسخ : ۱۰۰ Ω و ۱۰۰V



شکل ۲۰ــ۴

۱۳ــ در مدار شکل ۲۱ــ۴ مقدار ولتاژ باتری چند ولت است؟

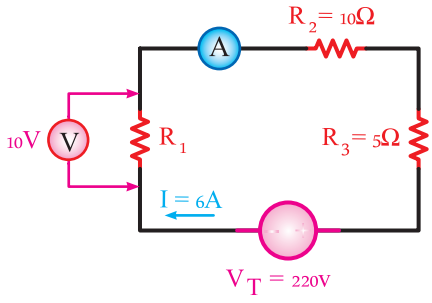
پاسخ : ۲۴V



شکل ۲۱ــ۴

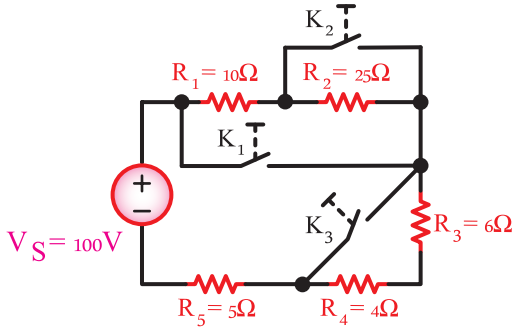
۱۴ــ در مدار شکل ۲۲ــ۴ توان هر یک از مقاومت‌ها و توان کل مدار را به‌دست آورید.

پاسخ: ۶۰۰ و ۱۸۰ و ۳۶۰ و ۶۰



شکل ۲۲ــ۴

۱۵ــ مقاومت معادل، ولتاژ هریک از مقاومت‌ها و جریان کل مدار شکل ۲۳ــ۴ را در شرایط زیر به‌دست آورید.



شکل ۲۳ــ۴

الف) کلید K_1 بسته و K_2 و K_3 باز

ب) کلید K_2 بسته و K_1 و K_3 باز

ج) کلید K_3 بسته و K_1 و K_2 باز

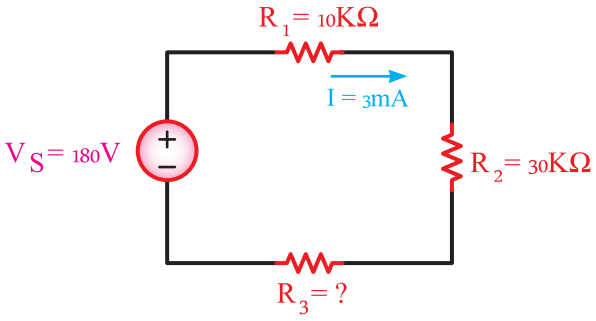
د) همهٔ کلیدهای K_1 ، K_2 ، K_3 بسته

هـ) همهٔ کلیدهای K_1 ، K_2 ، K_3 باز

جواب‌ها	R_T [Ω]	V_{R_1} [V]	V_{R_2} [V]	V_{R_3} [V]	V_{R_4} [V]	V_{R_5}	I_{R_1} تا I_{R_5}
قسمت الف)	۱۵						۶/۶
قسمت ب)	۲۵						۳/۳
قسمت ج)	۴۰	۲۵		•	•		۲/۵
قسمت د)	۵						۲۰
قسمت هـ)	۵۰						۲

۱۶ــ در مدار شکل ۲۴ــ۴ مقدار مقاومت R_3 چند اهم است؟

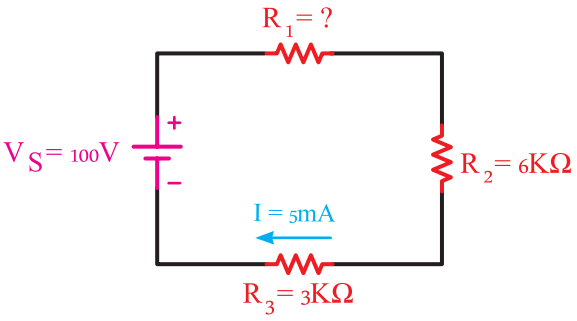
پاسخ : ۲۰ KΩ



شکل ۲۴ــ۴

۱۷ــ در مدار شکل ۲۵ــ۴ مقدار افت ولتاژ دوسر مقاومت R_1 چند اهم است؟

پاسخ : ۵۵V

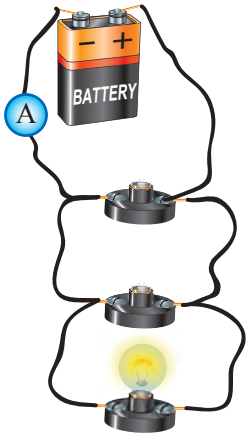


شکل ۲۵ــ۴

۲ــ۴ــ اتصال موازی

۱ــ۲ــ۴ــ تعریف مدار موازی: مدار موازی به مداری گفته می‌شود که یک طرف همهٔ مصرف‌کننده‌ها مانند شکل ۲۶ــ۴ به یک‌دیگر یا به منبع[1] تغذیه وصل شوند و طرف دیگر آن‌ها نیز به هم و یا به منبع وصل شوند.

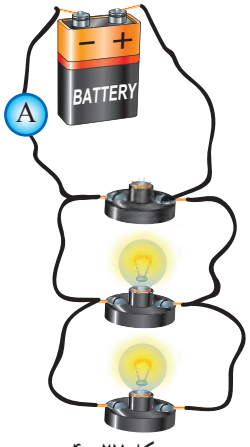
در مدارهای موازی بیش از یک مسیر برای عبور جریان وجود دارد.



شکل ۲۶ــ۴

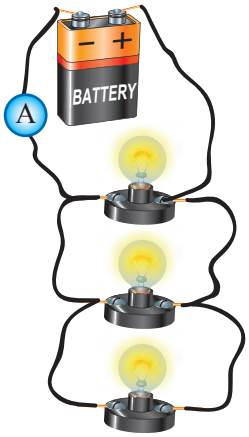
۲ــ۲ــ۴ــ خصوصیات مدارهای موازی

الف) جریان الکتریکی: هرگاه مطابق شکل ۲۷ــ۴ لامپ اول را از مدار باز کنیم مشاهده می‌شود تغییری در شدت روشنایی دو لامپ دیگر حاصل نمی‌شود اما آمپرمتری که در سر راه جریان کل مدار است مقدار کم‌تری را نشان می‌دهد.



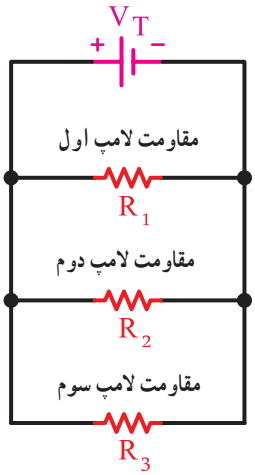
شکل ۲۷ــ۴

به همین ترتیب اگر مطابق شکل ۲۸ــ۴ لامپ دوم را نیز از سرپیچ باز کنیم مشاهده می‌کنیم شدت روشنایی لامپ سوم تغییر نمی‌کند اما جریانی که آمپرمتر نشان می‌دهد کاهش می‌یابد. از آزمایش فوق نتیجه می‌گیریم که در یک مدار موازی اولاً جریان عبوری از هر مصرف‌کننده، مستقل از دیگری است. ثانیاً جریان دریافتی هر مصرف‌کننده در مقدار جریان کل دریافتی از منبع تغذیه مؤثر است.



شکل ۲۸ــ۴

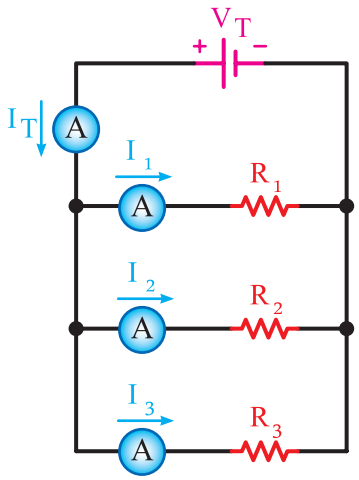
درصورتی‌که بخواهیم مدار الکتریکی معادل برای مدار لامپی شکل ۲۸ــ۴ به‌صورت مقاومت اهمی نشان دهیم مداری مشابه شکل ۲۹ــ۴ را می‌توان رسم کرد.



شکل ۲۹ــ۴

۱ــ منبع تغذیه به‌کاررفته در مدار می‌تواند ۲۲۰ ولت برق شهر یا باتری قلمی یا کتابی باشد.

هرگاه جریان هریک از لامپ‌ها و جریان کل مدار هدف باشد و بخواهیم علاوه‌بر جریان کل، سهم هر مصرف‌کننده را تعیین کنیم در این صورت باید آمپرمترها را مانند شکل ۳۰ــ۴ به‌صورت سری در مسیر هریک از مقاومت‌ها و کل مدار قرار داد.



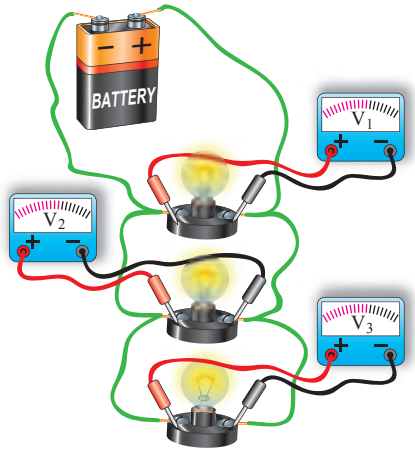
شکل ۳۰ــ۴

$$\begin{aligned} I_{R_1} &= I_1 = \frac{V_1}{R_1} \\ I_{R_2} &= I_2 = \frac{V_2}{R_2} \\ I_{R_3} &= I_3 = \frac{V_3}{R_3} \end{aligned} \quad (۶)$$

از رابطهٔ (۶)،که براساس قانون اهم نوشته می‌شود، می‌توان جریان هر مقاومت را حساب کرد. در مدارهای موازی، جریان هر شاخه به نسبت عکس مقاومت اهمی هر شاخه، تقسیم می‌شود یعنی در شاخه‌ای که مقدار مقاومت کم‌تر است جریان بیش‌تری جاری می‌شود. بر همین اساس رابطهٔ (۷) را برای یک مدار با سه مقاومت می‌توان به‌کار برد.

$$I_T = I_{R_1} + I_{R_2} + I_{R_3} \quad (۷)$$

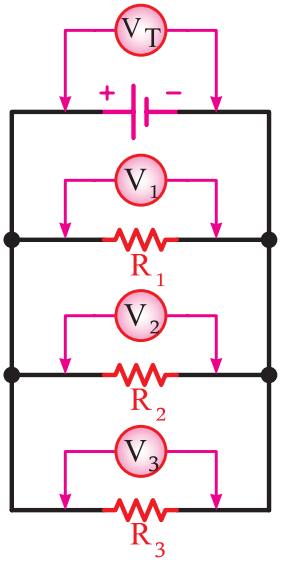
ب) ولتاژ الکتریکی : هرگاه مطابق تصاویر نشان داده شده در شکل ۳۱ــ۴ ولت‌متر را به‌صورت جداگانه به دو سر هریک از لامپ‌ها اتصال دهیم مشاهده می‌کنیم مقادیری را که ولت‌مترها نشان می‌دهند با یک‌دیگر مساوی هستند.



شکل ۳۱ــ۴

با توجه به آزمایش توضیح داده شده، می‌توان مدار الکتریکی معادل لامپ‌ها را به همراه ولت‌مترها به‌صورت شکل ۳۲ــ۴ رسم کرد و رابطهٔ (۸) را برای مداری با سه مقاومت نوشت.

$$V_{R_1} = V_{R_2} = V_{R_3} = V_T \quad (۸)$$

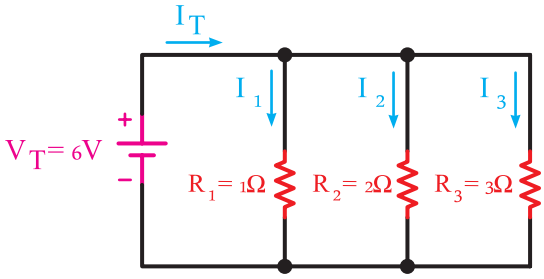


شکل ۳۲ــ۴

مثال : در مدار شکل ۳۳ــ۴ مطلوب است :

الف) ولتاژ دو سر هر مقاومت

ب) جریان هر شاخه



شکل ۳۳ـ۴

حل : چون مدار موازی است پس :

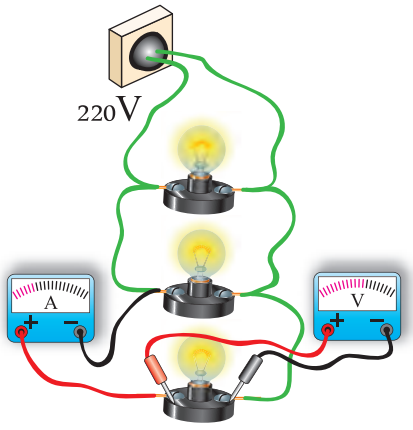
$$V_T = V_{R_1} = V_{R_2} = V_{R_3} = 6V$$

$$I_{R_1} = I_1 = \frac{V_{R_1}}{R_1} = \frac{6}{1} = 6A$$

$$I_{R_2} = I_2 = \frac{V_{R_2}}{R_2} = \frac{6}{2} = 3A$$

$$I_{R_3} = I_3 = \frac{V_{R_3}}{R_3} = \frac{6}{3} = 2A$$

مثال : هرگاه سه لامپ مشابه مطابق شکل ۳۴ـ۴ متصل شده باشند و ولت‌متر ولتاژ دو سری لامپ سوم را ۲۲۰V و آمپرمتر عدد ۰/۵ آمپر نشان دهد ولتاژ و جریان کل مدار چه‌قدر است؟



شکل ۳۴ـ۴

حل : چون لامپ‌ها موازی هستند پس ولتاژ دو سر همهٔ آن‌ها یک‌سان است یعنی :

$$V_1 = V_2 = V_3 = 220V$$

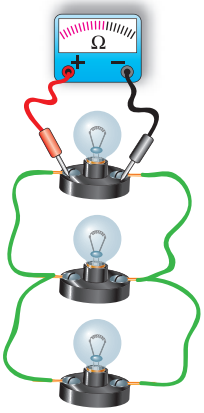
از آن جایی که هر سه لامپ مشابه هستند پس جریانی که هر لامپ می‌کشد برابر ۰/۵ آمپر است در این صورت جریان کل برابر

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_T = 0/5 + 0/5 + 0/5 = 1/5A$$

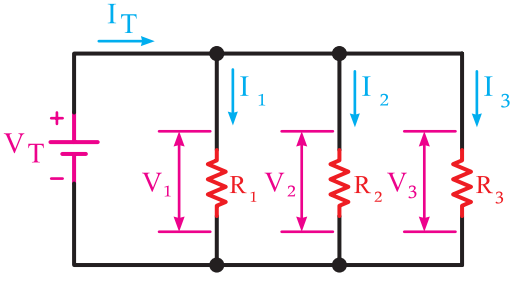
است.

ج) مقاومت معادل : برای به‌دست‌آوردن مقاومت معادل هر مداری به روش عملی باید منبع تغذیه را از مدار جدا نمود و سپس اهم‌متر را مطابق شکل ۳۵ـ۴ به دو سر ابتدا و انتهایی مدار وصل کنیم.



شکل ۳۵ـ۴

مقدار مقاومت معادل در مدارهای موازی را در حالت کلی برای مداری مانند شکل ۳۶ـ۴ به‌صورت رابطهٔ (۹) می‌توان محاسبه کرد.

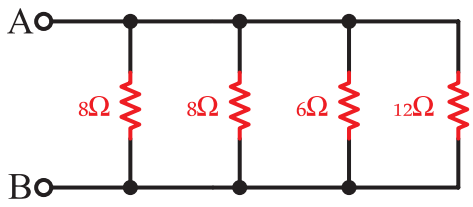


شکل ۳۶ـ۴

$$\frac{1}{R_T}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+ \qquad (۹)$$

با کمک رابطهٔ (۹) مقدار معکوس R_T به‌دست می‌آید. درصورتی‌که مقدار R_T مد نظر باشد باید مقدار آن را عکس کرد.

مثال : مقاومت معادل مدار شکل ۳۷ــ۴ چند اهم است؟



شکل ۳۷ــ۴

حل :

روش اول

$$\frac{1}{R_T}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}$$

$$\frac{1}{R_T}=\frac{1}{8}+\frac{1}{8}+\frac{1}{6}+\frac{1}{12}$$

$$\frac{1}{R_T}=\frac{3+3+4+2}{24}=\frac{12}{24}$$

$$R_T=\frac{24}{12}=2\Omega$$

روش دوم

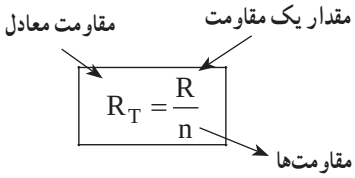
$$R'_T=\frac{8}{2}=4\Omega$$

$$R''_T=\frac{12\times6}{12+6}=\frac{72}{18}=4\Omega$$

$$R_T=\frac{4}{2}=2\Omega$$

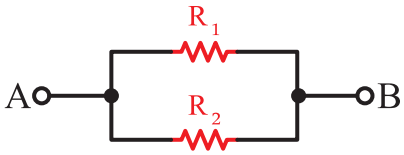
حالات خاص مدارهای موازی

I) اگر n مقاومت مساوی به‌صورت موازی اتصال یابند مقاومت معادل آن‌ها را از رابطهٔ زیر می‌توان به‌دست آورد.



(۱۰)

II) هرگاه دو مقاومت نامساوی مطابق شکل ۳۸ــ۴ به‌صورت موازی اتصال یابند مقاومت معادل آن‌ها را براساس رابطهٔ زیر می‌توان محاسبه کرد. یعنی مقاومت معادل دو مقاومت موازی نامساوی برابر با حاصل‌ضرب دو مقاومت تقسیم بر مجموع آن‌ها است.



شکل ۳۸ــ۴

$$\frac{1}{R_T}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$$

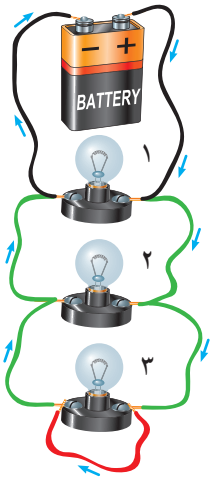
$$\frac{1}{R_T}=\frac{R_2+R_1}{R_1R_2}$$

$$R_T=\frac{R_1.R_2}{R_1+R_2} \qquad (۱۱)$$

۳ــ۲ــ۴ــ حالت اتصال کوتاه در مدارهای موازی :

در مدارهای موازی چون دو سر عناصر به هم وصل و هم‌چنین مستقیماً به دو سر منبع تغذیه (باتری) متصل می‌شوند به همین دلیل حالت اتصال کوتاه در این مدارها خیلی خطرناک‌تر از حالت سری است؛ چرا که با اتصال کوتاه‌شدن دو سر هریک از مقاومت‌ها نه تنها آن مقاومت از مدار خارج می‌شود بلکه همهٔ عناصر از مدار خارج می‌شوند. در حالت اتصال کوتاه مدارهای موازی، جریان شدیدی از مسیر اتصال کوتاه شده عبور می‌کند که می‌تواند برای وسایل و منبع تغذیه خطرناک باشد. در مدار شکل ۳۹ــ۴ بااتصال کوتاه‌شدن لامپ ۳، هم لامپ ۳ و هم لامپ‌های

۱ و ۲ خاموش می‌شوند؛ چرا که با به‌وجودآمدن مسیر فرعی اتصال کوتاه شده جریانی از لامپ‌ها عبور نکرده و از طریق سیم‌ها طی مسیر کرده است (همان‌طوری که در شکل نشان داده شده) و از یک طرف منبع تغذیه، نسبت به دیگر منبع، جاری می‌شود.



شکل ۳۹ـ۴

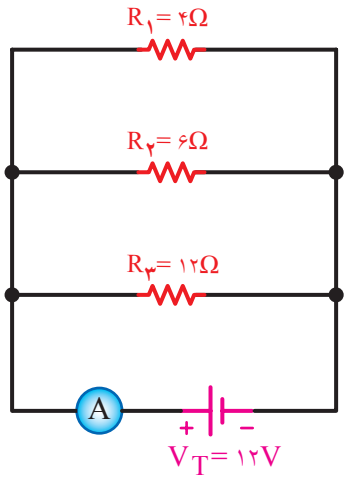
مثال : در مدار شکل ۴۰ـ۴ مطلوب است مقادیر خواسته شدهٔ زیر

الف) مقاومت معادل

ب) جریان کل مدار

ج) جریان عبوری از مقاومت‌ها

د) توان هریک از مقاومت‌ها و توان کل



شکل ۴۰ـ۴

حل :

الف)

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

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

$$R_T=\frac{۱۲}{۶}=۲\Omega$$

ب)

$$I_T=\frac{V_T}{R_T}=\frac{۱۲}{۲}=۶A$$

ج)

$$I_۱=\frac{V_۱}{R_۱}=\frac{V_T}{R_۱}=\frac{۱۲}{۴}=۳A$$

$$I_۲=\frac{V_۲}{R_۲}=\frac{V_T}{R_۲}=\frac{۱۲}{۶}=۲A$$

$$I_۳=\frac{V_۳}{R_۳}=\frac{V_T}{R_۳}=\frac{۱۲}{۱۲}=۱A$$

د) توان هر مقاومت را از روش‌های مختلف می‌توان محاسبه کرد.

$$P_۱=V_۱.I_۱=۱۲\times۳=۳۶W$$

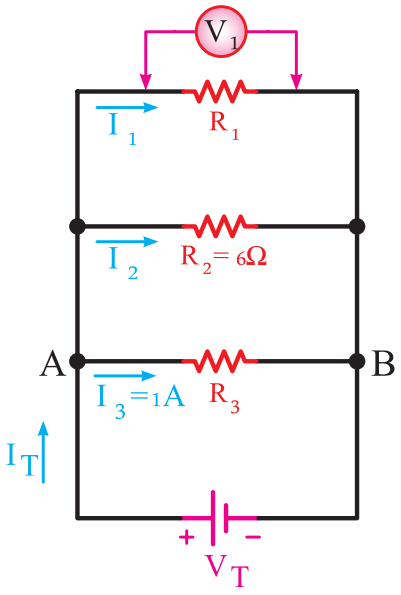
$$P_۲=R_۲.I_۲^۲=۶\times(۲)^۲=۲۴W$$

$$P_۳=\frac{V_T^۲}{R_۳}=\frac{(۱۲)^۲}{۱۲}=۱۲W$$

$$P_T=P_۱+P_۲+P_۳$$

$$P_T=۳۶+۲۴+۱۲=۷۲W$$

مثال : هرگاه شدت جریان و ولتاژ در شکل ۴۱ـ۴ به‌ترتیب ۸A و ۲۴V باشد، مقادیر خواسته شدهٔ صفحه بعد را به‌دست آورید.



شکل ۴۱ــ۴

الف) مقدار مقاومت‌های R_1 و R_3

ب) جریان مقاومت‌های R_2 و R_3

ج) توان مصرفی کل مدار

حل :

براساس توضیحات و شکل داریم :

$$V_{R_1} = V_1 = V_2 = V_3 = V_T = 24V$$

$$I_{R_3} = I_3 = 1A$$

براساس قانون اهم می‌توان نوشت :

$$R_3 = \frac{V_3}{I_3} = \frac{24}{1} = 24\Omega$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{24}{6} = 4A$$

چون در مدارهای موازی جریان کل از مجموع جریان‌های هر شاخه به‌دست می‌آید پس می‌توان جریان I_1 را چنین حساب کرد.

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

$$8 = I_1 + 4 + 1$$

$$I_1 = 8 - (4+1) = 3A$$

$$R_1 = \frac{V_1}{I_1} = \frac{24}{3} = 8\Omega$$

چون فقط توان مصرفی کل خواسته شده است پس از طریق پارامترهای کل به‌صورت زیر حساب می‌کنیم.

$$P_T = V_T . I_T = 24 \times 8 = 192W$$

پرسش‌های فصل چهارم (مدارهای موازی)

◀ پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۱ــ کدام کمیّت در بین عناصر مدار موازی ثابت است؟

الف) توان　　ب) جریان　　ج) مقاومت معادل　　د) ولتاژ

۲ــ مقاومت معادل چند مقاومت موازی مساوی از کدام رابطه محاسبه می‌شود؟

الف) $\frac{R}{\sqrt{n}}$　　ب) $\frac{R}{n}$　　ج) $n.R$　　د) $\sqrt{n}.R$

۳ــ قطع یک عنصر در مدار موازی که دارای سه لامپ است :

الف) باعث سوختن سایر عناصر می‌شود.　　ب) سبب کم نورشدن دو لامپ دیگر می‌شود.

ج) هیچ اثری در نور دو لامپ دیگر ندارد.　　د) باعث سوختن یک لامپ و قطع لامپ دیگر می‌شود.

◀ پرسش‌های درست و نادرست

۴ــ با اضافه‌کردن یک مقاومت به مداری موازی مقدار مقاومت معادل مدار نسبت به حالت اول افزایش می‌یابد.

درست ☐ نادرست ☐

۵ــ ولتاژ کل مدار در بین عناصر مدار موازی تقسیم می‌شود.　　درست ☐ نادرست ☐

۶ــ به‌وجود آمدن حالت اتصال کوتاه در یک مقاومت مدار موازی اثری روی کار سایر مقاومت‌ها ندارد.

درست ☐ نادرست ☐

۷ــ مقاومت معادل دو مقاومت ۶ Ω و ۱۲ Ω برابر ۳ Ω است.　　درست ☐ نادرست ☐

◀ پرسش‌های پرکردنی

۸ــ توان کل مصرفی یک مدار موازی از ..... توان‌های عناصر مدار به‌دست می‌آید.

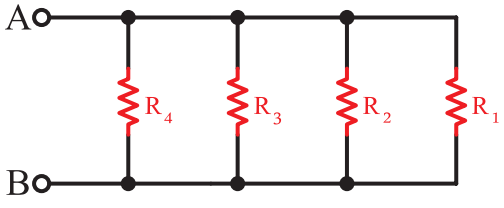
۹ــ اگر یک لامپ در مدار موازی بسوزد در کار سایر لامپ‌ها اخلالی به‌وجود .....

۱۰ــ در مدار موازی جریان به نسبت ..... مقدار مقاومت‌ها در هر شاخه تقسیم می‌شود.

◀ پرسش‌های تشریحی (مسائل)

۱۱ــ مقاومت معادل چهار مقاومت ۲۰ Ω مطابق شکل ۴۲ــ۴ چند اهم است؟

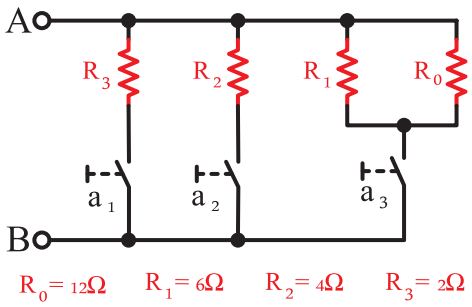
پاسخ : ۵ Ω



شکل ۴۲ــ۴

۱۲ــ اگر به ترتیب هر یک از کلیدهای a_3، a_2، a_1 را وصل کنیم مقاومت معادل مدار از دو نقطهٔ A و B در هر مرحله را حساب کنید.

پاسخ : ۴ Ω، ۲ Ω، ۱ Ω



شکل ۴۳ــ۴

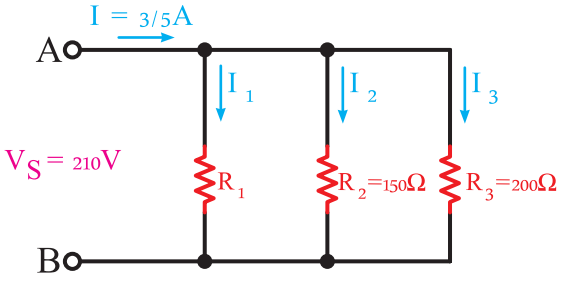
۱۳ــ در مدار شکل ۴۴ــ۴ مطلوب است :

الف) مقاومت معادل

ب)جریان‌های I_1، I_2 و I_3

ج) مقدارمقاومت R_1

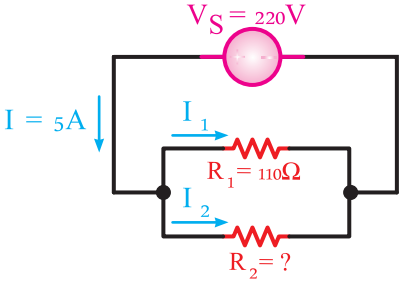
پاسخ : ۶۰ Ω و ۱/۰۵A و ۱/۴A و ۱/۰۵ و ۲۰۰ Ω



شکل ۴۴ــ۴

۱۴ــ در مدار شکل ۴۵ــ۴ مقدار مقاومت R_2 چند اهم است؟

پاسخ : ۷۳/۳



شکل ۴۵ــ۴

فصل ۵

جریان متناوب

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

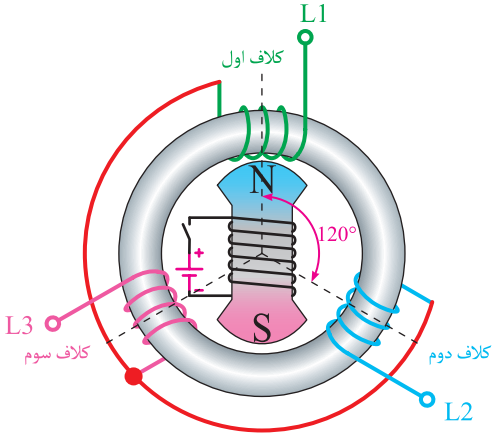
۱ــ جریان متناوب را تعریف کند.

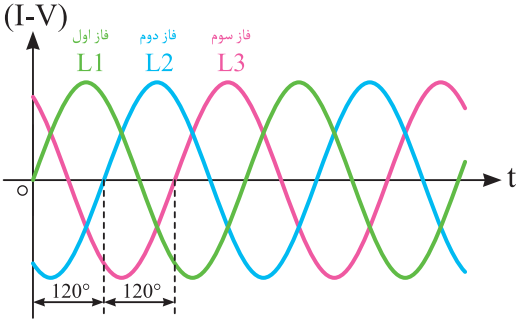
۲ــ چگونگی تولید جریان متناوب را شرح دهد.

۳ــ مشخصات جریان متناوب را توضیح دهد.

۴ــ چگونگی تولید جریان متناوب سه فاز را با رسم شکل موج مختصراً توضیح دهد.

۵ــ حروف اختصاری فازها و ترتیب قرارگرفتن سیم‌ها در شبکهٔ برق ایران را بیان کند.

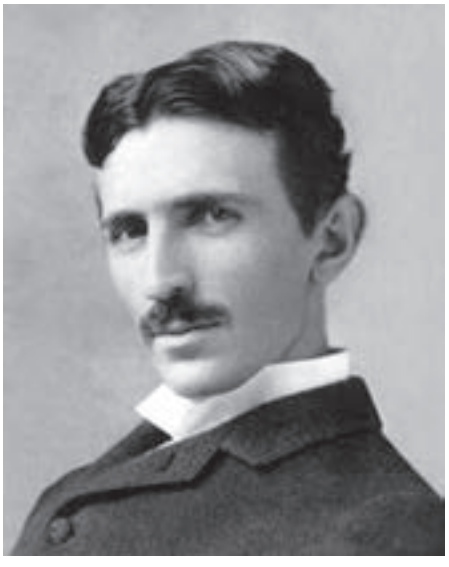




سیمای فصل ۵

ـ جریان متناوب
ـ چگونگی تولید جریان متناوب در ژنراتورها
ـ آشنایی با مشخصات جریان متناوب
ـ جریان متناوب سه فاز و تک‌فاز

آشنایی با دانشمندان



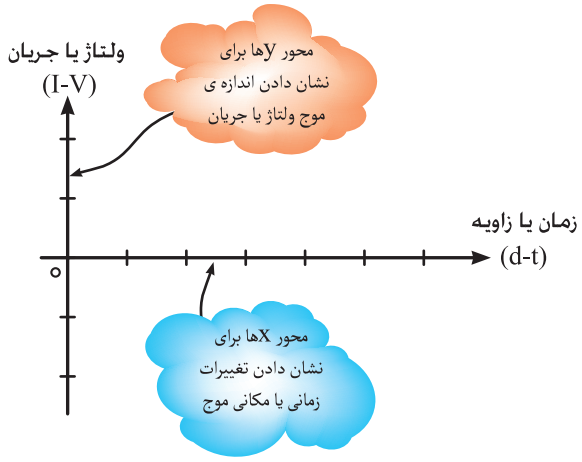
تِسلا

(Tesla, Nikola/ ۱۹۴۳ــ۱۸۵۶)

تسلا در کرواسی، که اکنون قسمتی از کشور یوگسلاوی را تشکیل می‌دهد و در زمان او جزء امپراتوری اتریش ــ هنگری بود، به دنیا آمد. بعداً او به آمریکا مهاجرت کرد و مدتی با ادیسون همکاری نمود. ادیسون همواره با جریان برق مستقیم کار می‌کرد ولی تسلا کارکردن با جریان برق متناوب و دارای ولتاژ زیاد را عملی ساخت. رابطهٔ او با ادیسون به علت استبداد رأی ادیسون خیلی زود به هم خورد. تسلا از این‌که جریان برق متناوب برای اولین بار در صندلی الکتریکی برای اعدام کردن مورد استفاده قرار گرفت شدیداً ناراحت بود. او هم‌چنین طراح تولید نیروی برق در آبشار نیاگارا بود. به پاس خدمات او یکای شدت میدان مغناطیسی در SI را با تسلا نشان می‌دهند.

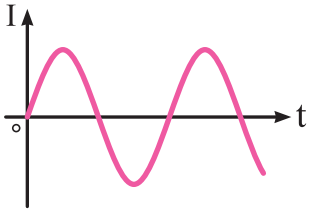
۵ــ جریان متناوب

معمولاً برای نشان دادن چگونگی تغییرات جریان یا ولتاژ از یک نمودار که دارای دو خط عمود بر هم است استفاده می‌شود (شکل ۱ــ۵).

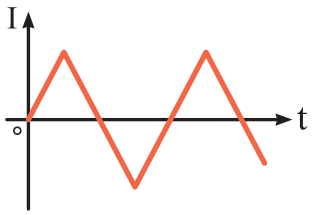


شکل ۱ــ۵

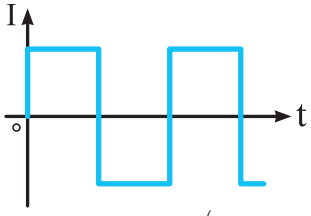
محور افقی برای نشان دادن تقسیمات زمانی یا مکانی و محور عمودی برای نشان دادن اندازهٔ ولتاژ یا جریان در نظر گرفته می‌شود. موج جریان رادر شکل‌های مختلف، مانند شکل ۲ــ۵، می‌توان رسم کرد.



الف) موج سینوسی



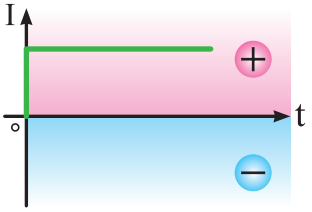
ب) موج مثلثی



ج) موج مربعی

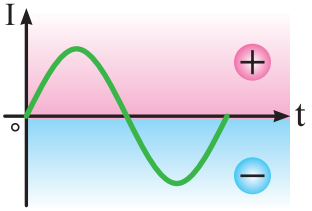
شکل ۲ــ۵

نمودار شکل ۳ــ۵ جریانی را نشان می‌دهد که اندازه و جهت آن تغییر نمی‌کند به چنین جریانی، جریان مستقیم[۱] می‌گویند.



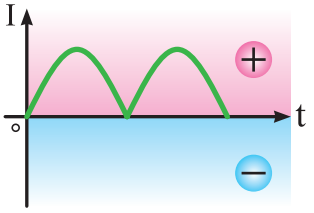
شکل۳ــ۵

برهمین اساس هرگاه جریانی دارای شکل موجی به‌صورت شکل ۴ــ۵ باشد، که هم تغییر در اندازه و هم تغییر در جهت داشته باشد، به آن جریان متناوب[۲] گفته می‌شود.



شکل۴ــ۵

نکته : یک گروه از امواج هستند که مشابه شکل ۵ــ۵ نسبت به زمان دارای تغییرات‌اند اما در زیر محور افقی t (قسمت منفی موج) قرار نمی‌گیرند. اصطلاحاً به این امواج دی سی «ضربان‌دار» گفته می‌شود.



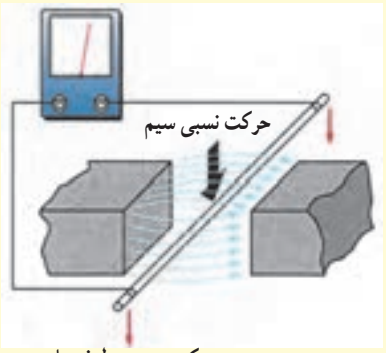
شکل۵ــ۵

۱- DC - Direct current

۲- AC- Alternative current

۱ــ۵ــ چگونگی تولید جریان متناوب در ژنراتورها

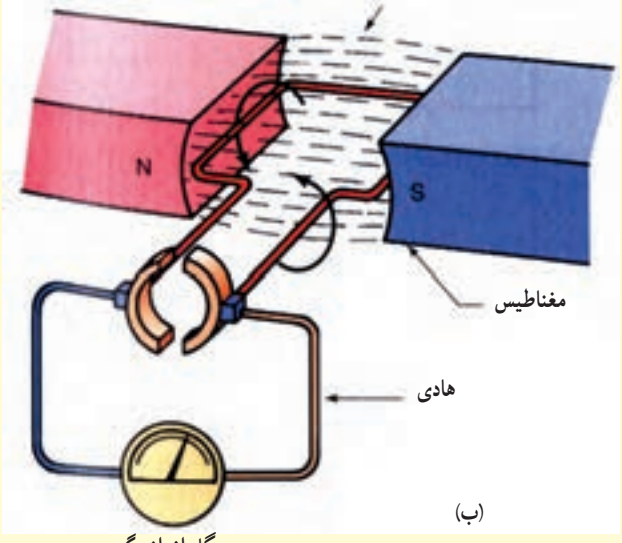
طبق آزمایش‌هایی که فاراده انجام داد به این نتیجه رسید که در اثر حرکت سیم در داخل میدان مغناطیسی نیروی محرکه‌ای (مطابق شکل ۶ ــ ۵ ــ الف) در دو سر سیم القا می‌شود.



(الف) نحوهٔ تولید جریان متناوب (حرکت سیم)

برهمین اساس اگر به‌جای یک رشته سیم از یک کلاف با چند رشته سیم در داخل میدان مغناطیسی استفاده کنیم، به‌طوری که بتوانیم کلاف را مانند شکل ۶ــ۵ در داخل میدان مغناطیسی به‌صورت دایره‌ای بچرخانیم، در واقع توانسته‌ایم یک مولّد ساده بسازیم. از آن‌جایی که نیروی محرکهٔ القا شده در کلاف سیم به سینوس زاویهٔ کلاف با میدان مغناطیسی بستگی دارد، شکل موج خروجی مولّد را سینوسی درنظر می‌گیرند.

حرکت کلاف در داخل میدان مغناطیسی به‌صورت دایره‌ای است که می‌تواند از صفر تا ۳۶۰ درجه باشد.



(ب)

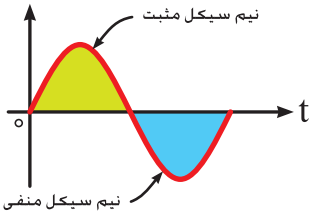
دستگاه اندازه گیر

۶ ــ ۵ ــ چگونگی تولید جریان متناوب

۲ــ۵ــ آشنایی با مشخصات جریان متناوب

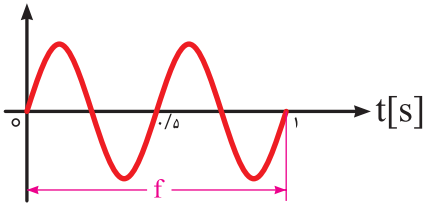
شکل موج جریان متناوب دارای یک‌سری مشخصات است که به بررسی هر یک از آن‌ها می‌پردازیم.

۱ــ۲ــ۵ــ سیکل[۱] : به شکل موجی که در اثر چرخش یک دور کلاف در داخل میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آید «سیکل» گفته می‌شود (شکل ۷ــ۵). به قسمت بالای محور سیکل «نیم سیکل مثبت» و به قسمت پایین محور زمان «نیم سیکل منفی» گفته می‌شود.



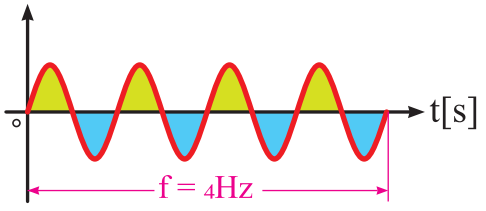
شکل ۷ــ۵

۲ــ۲ــ۵ــ فرکانس (f)[۲] : به تعداد سیکل‌های زده شده در طی مدت زمان یک ثانیه «فرکانس» گفته می‌شود (شکل ۸ــ۵).



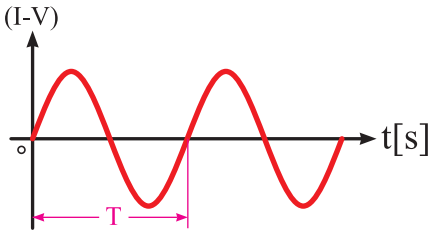
شکل ۸ــ۵

واحد فرکانس «هرتز ــ Hz[۳]» است. ضمناً فرکانس شبکهٔ برق رسانی ایران ۵۰ هرتز است. شکل ۹ــ۵ امواج شبکه‌ای را نشان می‌دهد که فرکانس آن ۴ هرتز است.



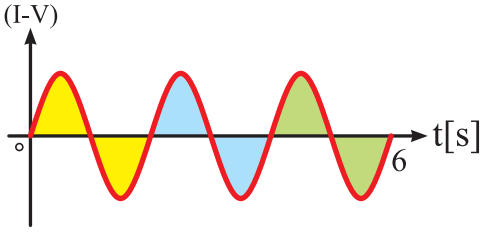
شکل ۹ــ۵

۳ــ۲ــ۵ــ زمان تناوب (T) : اصطلاحاً به مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک سیکل موج متناوبی طی شود به آن «زمان تناوب» گفته می‌شود و واحد اصلی آن ثانیه است (شکل ۱۰ــ۵).



شکل ۱۰ــ۵

مثال : زمان تناوب شکل ۱۱ــ۵ چند ثانیه است؟



شکل ۱۱ــ۵

حل : همان‌طوری که درشکل مشاهده می‌شود سه سیکل طی ۶ ثانیه به‌وجود آمده است پس می‌توان زمان تناوب شکل را به صورت زیر محاسبه کرد.

$$T = \frac{۶}{۳} = ۲\,S$$

مثال : زمان تناوب برق شهر کشور ایران چند ثانیه است؟

حل :چون فرکانس برق شهر در کشور ایران ۵۰Hz است، لذا زمان تناوب آن معادل خواهد شد با :

$$T = \frac{۱}{f} = \frac{۱}{۵۰} = ۰/۰۲\,S$$

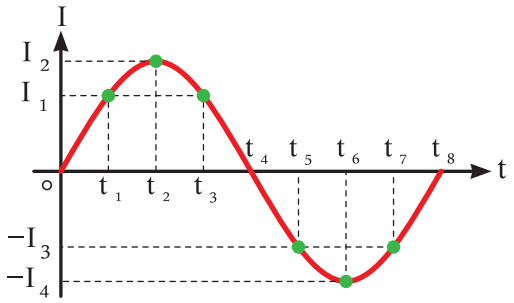
توجه : T و f عکس یک‌دیگر هستند.

۴ــ۲ــ۵ــ دامنه : مقدار موج در هر لحظه از زمان را «دامنه» گویند. در شکل ۱۲ــ۵ مقدار موج در لحظات مختلف

۱– Cycle ۲– Frequence ۳– Hertz

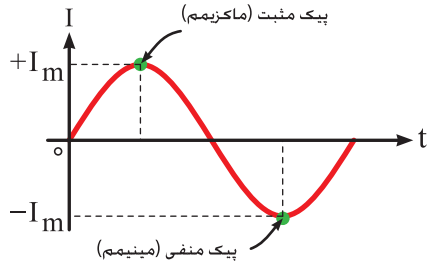
نشان داده شده است.

همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود برای مثال در لحظهٔ t_1 و t_3 جریان دارای مقدار I_1 یا درلحظهٔ t_2 و t_6 جریان دارای بیش‌ترین مقدار نیم سیکل‌های مثبت و منفی موج است.



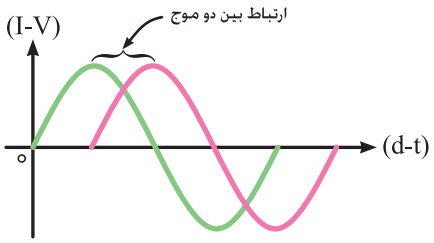
شکل ۱۲ــ۵

۵ــ۲ــ۵ــ مقدار حداکثر (m)[1] : اصطلاحاً به بیش‌ترین مقدار یک موج در نیم سیکل مثبت «پیک مثبت» یا «حداکثر» و به حداکثر مقدار موج در نیم سیکل منفی «پیک منفی» یا «حداقل» گفته می‌شود. شکل ۱۳ــ۵ مقادیر پیک مثبت و منفی را نشان می‌دهد.



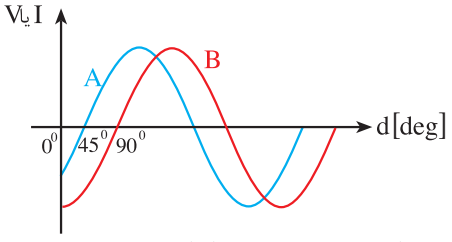
شکل ۱۳ــ۵

۶ــ۲ــ۵ــ فاز[2] : کلمهٔ فاز اصطلاحی است که برای نشان دادن رابطهٔ زمانی (t) یا مکانی (درجه ــ d) بین دو شکل موج یا یک شکل موج متناوب نسبت به نقطهٔ مبدأ (صفر) به‌کار می‌رود (شکل ۱۴ــ۵).

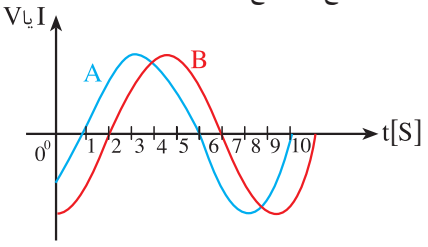


شکل ۱۴ــ۵

۷ــ۲ــ۵ــ اختلاف فاز : معمولاً برای مشخص کردن وضعیت دو موج متناوب نسبت به هم لازم است مقدار فاصلهٔ بین دو موج که اغلب برحسب زمانی یا مکانی (درجه) است، بررسی شود. اندازهٔ این فاصله، معمولاً از مقایسهٔ دو نقطه مشابه از روی دو موج نسبت به نقطهٔ صفر مختصات به‌دست می‌آید.



الف) موج A با موج B به‌اندازهٔ ۹۰ درجه فاصله



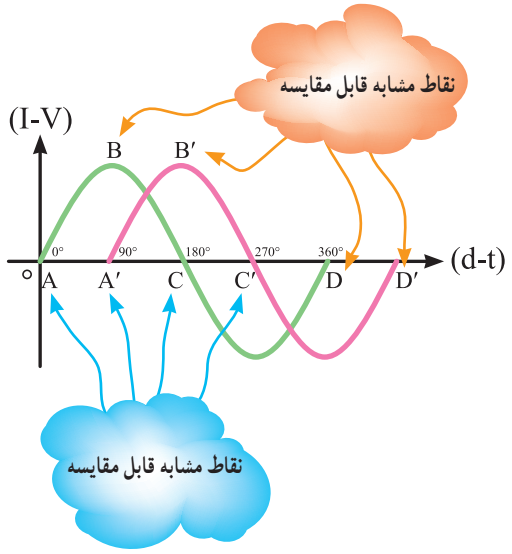
ب) موج A با موج B به اندازهٔ ۱ ثانیه فاصله

شکل ۱۵ــ۵

برای این منظور ابتدا باید دو نقطهٔ مشابه را از روی هر دو موج مانند نقاط A و A′ (صفر مثبت) یا B و B′ (ماکزیمم مثبت) یا C و C′ (صفر منفی) یا D و D′ (ماکزیمم منفی) شکل ۱۶ــ۵ را درنظر بگیریم. سپس مقدار اختلاف (فاصله) بین دو موج را از روی محور افقی بر حسب زمان (ثانیه) یا مکان (درجه) به‌دست آوریم (شکل ۱۶ــ۵).

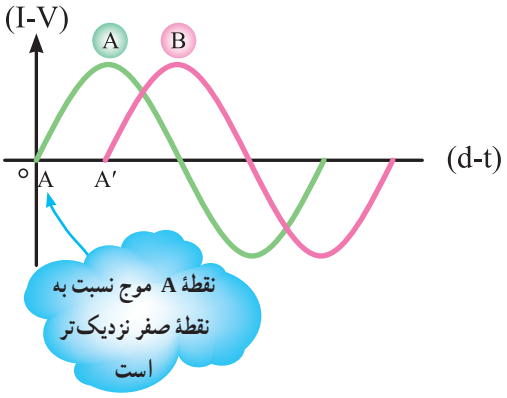
۱ــ m- maximum

۲ــ phase



شکل ۵ــ۱۶

در نهایت دو نقطهٔ A و A′ را نسبت به نقطهٔ صفر محور مختصات بررسی و مشخص می‌کنیم که کدام نقطه به نقطهٔ صفر نزدیک‌تر است. در شکل ۵ــ۱۷ موج A نسبت به موج B پیش‌فاز است. موج B نسبت به موج A پس‌فاز است. اگر فاصلهٔ A و A′ از نقطه صفر برابر باشد دو موج را هم‌فاز می‌گویند.

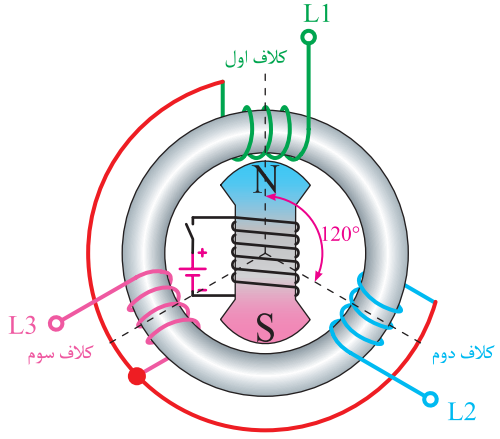


شکل ۵ــ۱۷

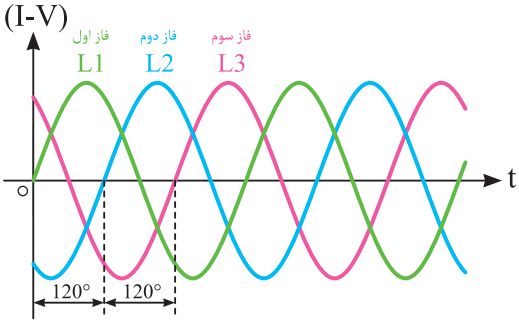
۵ــ۳ــ جریان متناوب سه‌فاز و تک‌فاز

ولتاژ تولیدی جریان متناوب که برپایه اصول الکترومغناطیس در مولّدها (ژنراتورها) تولید می‌شود اغلب به‌صورت سه‌فاز است.

در این مولّد از سه‌گروه کلاف که با یکدیگر اختلاف فاز مکانی ۱۲۰° درجه دارند در فضای داخلی و مسیردایره‌ای مطابق شکل ۵ــ۱۸ استفاده می‌شود. این مولّد با چرخش میدان مغناطیسی تولید شده توسط سیم پیچ گردان، در هر لحظه که قطب N مقابل هر سیم پیچ ثابت قرار می‌گیرد ولتاژی در دو سر آن‌ها به‌وجود می‌آورد که به تولید شکل موج‌هایی به‌صورت شکل ۵ــ۱۹ در خروجی مولّد می‌انجامد.

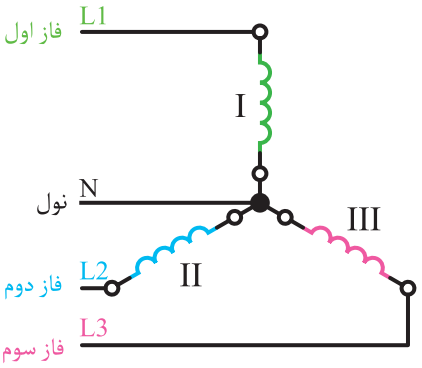


شکل ۵ــ۱۸



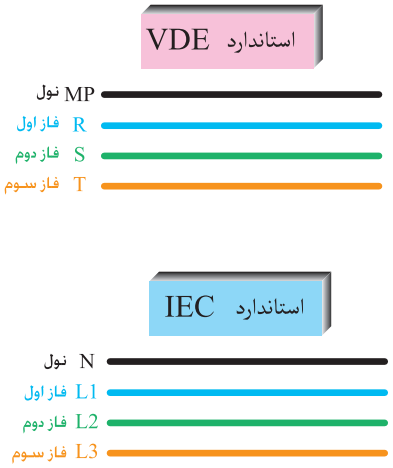
شکل ۵ــ۱۹

سه گروه سیم پیچی مولّد از داخل به‌صورت شکل ۵ــ۲۰ به یکدیگر متصل شده‌اند و از محل اتصال آن‌ها نیز سیمی خارج می‌شود. اصطلاحاً به سر سیم‌پیچ‌ها «فاز» گفته می‌شود. به سیمی که از محل اشتراک سیم‌پیچ‌ها خارج می‌شود سیم «نول» گفته می‌شود.



شکل ۲۰ــ۵

در شکل۲۱ــ۵ ترتیب قرارگرفتن سیم‌های یک شبکهٔ الکتریکی و حروف اختصاری هر یک از آن‌ها در دو استاندارد IEC[1] و VDE[2] نشان داده شده است.



شکل ۲۱ــ۵

برای برق رسانی به یک مصرف کنندهٔ سه فاز مانند موتور یک سیستم موتورخانه مشابه شکل ۲۲ــ۵، فقط از سه سیم فازها یعنی L_1, L_2, L_3 استفاده می‌شود. در صورتی که بخواهیم به مصرف‌کننده‌های تک‌فاز مانند موتور مشعل برق‌رسانی کنیم باید از یکی از سیم‌های فاز L_1 یا L_2 یا L_3 به همراه سیم نول استفاده کنیم.

شکل ۲۲ــ۵

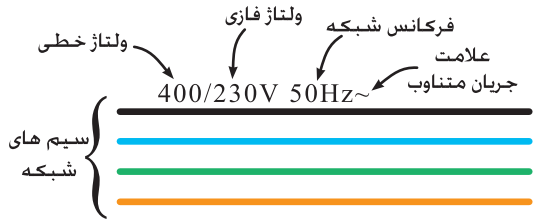
شکل ۲۳ــ۵ تصویر یک نمونه موتور نصب شده روی مشعل را نشان می دهد.

شکل ۲۳ــ۵

در نقشه‌های الکتریکی، اغلب شبکهٔ اصلی برق‌رسانی به‌همراه مشخصات آن‌ها و مطابق شکل۲۴ــ۵ نشان داده می‌شود. منظور از ولتاژ خطی (V_L) مقدار ولتاژ بین دو سیم فاز و ولتاژ فازی (V_P) مقدار ولتاژ بین هر فاز و سیم نول است. در شبکهٔ برق رسانی ایران اختلاف پتانسیل یا ولتاژ خطی ۴۰۰ ولت ولتاژ و فازی ۲۳۰ ولت است. شکل ۲۵ــ۵ نحوهٔ اندازه‌گیری ولتاژهای خطی و فازی را نشان می‌دهد.

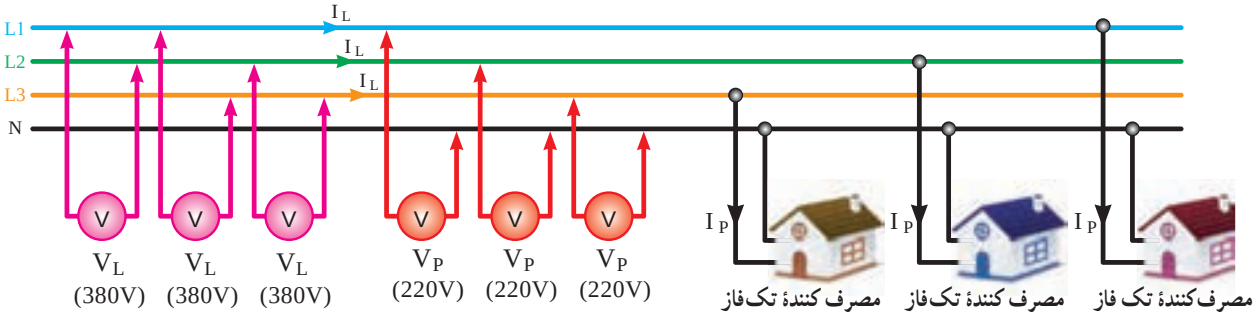
۱– IEC- International Electrotechnical commission.

۲– VDE- Verband Deutscher Electrotechniker.



شکل ۲۴ــ۵

همان‌طوری که در شکل ۲۵ــ۵ مشاهده می‌شود به جریانی که از خطوط شبکه جاری است جریان خطی (I_L) و به مقدار جریانی که هر یک از مصرف کننده‌ها از شبکه دریافت می‌کنند و از مسیر سیم‌پیچ‌های آن‌ها عبور می‌کند جریان فازی (I_P) گفته می‌شود.



شکل ۲۵ــ۵

پرسش‌های فصل پنجم

◄پرسش‌های چهار گزینه‌ای

۱ــ در جریان مستقیم و در طی مدت زمان معین اندازه و جهت جریان چگونه تغییر می‌کند؟

الف) ثابت می‌ماند ب) افزایش می‌یابد ج) کاهش می‌یابد د) ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد

۲ــ به شکل موجی که در اثر چرخش یک دور کلاف (سیم‌پیچ) در داخل میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آید ..... می‌گویند.

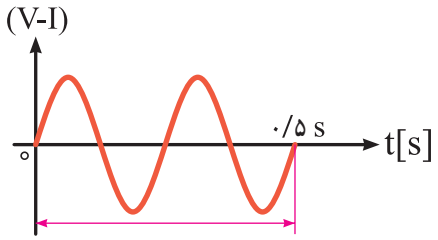
الف) فرکانس ب) دامنه ج) فاز د) سیکل

۳ــ زمان تناوب یک موجی که شش سیکل را در سه ثانیه می‌پیماید چند ثانیه است؟

الف)۲ ب) ۰/۵ ج) ۱۸ د)۳

۴ــ فرکانس شکل موج در شکل ۲۶ــ۵ چند هرتز است؟

الف) ۰/۲۵ ب) ۴ ج) ۲ د)۰/۵



شکل ۲۶ــ۵

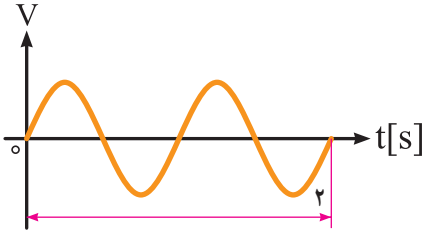
◄پرسش‌های پُرکردنی

۵ــ جریان متناوب جریانی است که در آن ..... و ..... تغییر می‌کند.

۶ــ به تعداد سیکل‌های زده شدهٔ یک کلاف در میدان مغناطیسی در طی مدت زمان یک ثانیه، ..... می‌گویند.

۷ــ مدت زمانی را که طول می‌کشد تا در یک سیکل موج متناوب به‌وجود آید ..... می‌گویند.

۸ــ فرکانس شکل موج نشان داده شده در شکل ۲۷ــ۵ برابر ..... هرتز است.



شکل ۲۷ــ۵

◀پرسش‌های درست و نادرست

۹ــ در اثر حرکت سیم در داخل میدان مغناطیسی، نیروی محرکه‌ای در دو سر سیم القا می‌شود.

درست ☐ نادرست ☐

۱۰ــ مفهوم «فاز» برای نشان دادن رابطهٔ زمانی یا مکانی بین دو شکل موج به کار می‌رود.

درست ☐ نادرست ☐

۱۱ــ زمان تناوب برق شهر در کشور ایران ۵۰ ثانیه است.

درست ☐ نادرست ☐

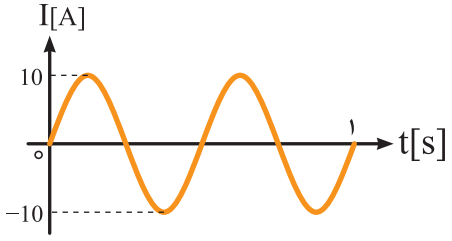
◀پرسش‌های تشریحی

۱۲ــ برروی شکل موج شکل ۲۸ــ۵ کمیّت‌های فرکانس، زمان تناوب مقدار حداکثر (ماکزیمم) را نشان دهید.

پاسخ : ۲Hz ، ۰/۵s

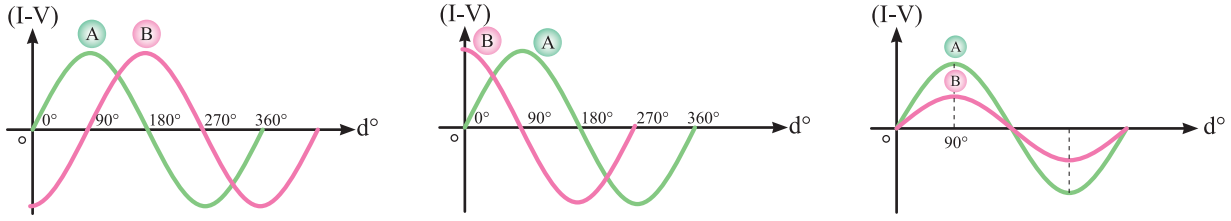
۱۳ــ جریان متناوب را تعریف کنید.

۱۴ــ مشخصات جریان متناوب را توضیح دهید.



شکل ۲۸ــ۵

۱۵ــ اختلاف فاز شکل موج B نسبت به شکل موج A در تصاویر شکل ۲۹ــ۵ را تعیین کنید.



شکل ۲۹ــ۵

پاسخ : الف) شکل موج B نسبت به A، ۹۰ درجهٔ پس فاز است.

ب) شکل موج B نسبت به A، ۹۰ درجهٔ پیش فاز است.

ج) شکل موج B نسبت به A هم‌فاز است.

فصل ۶

سِلْف

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظارمی‌رود :

۱ــ مغناطیس و الکترومغناطیس را توضیح دهد.

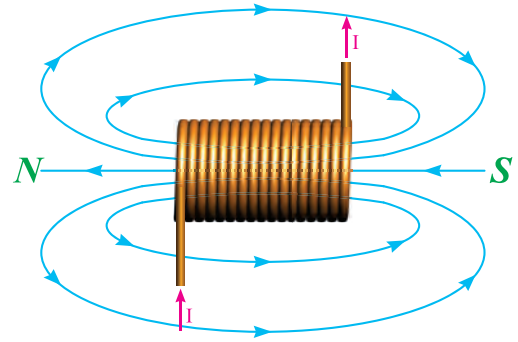
۲ــ بارهای مقاومتی و بارهای القایی را توضیح دهد.

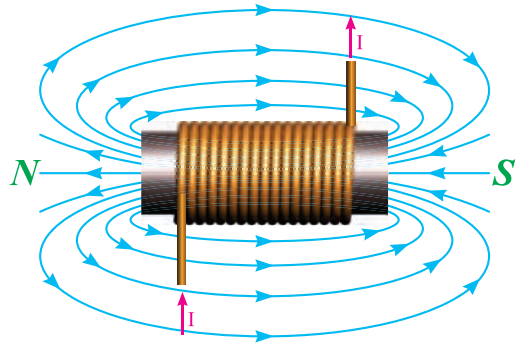
۳ــ سلف را تعریف کند.

۴ــ ساختمان سلف را شرح دهد.

۵ــ عملکرد سلف را در جریان مستقیم و متناوب توضیح دهد.

۶ــ اختلاف فاز جریان و ولتاژ در مدار سلفی را با رسم شکل توضیح دهد.





سیمای فصل ۶

ـ مغناطیس و الکترومغناطیس
ـ بارهای مقاومتی و بارهای القایی
ـ سلف (سیم‌پیچ)
ـ ساختمان بوبین
ـ عملکرد سلف
ـ سلف در جریان مستقیم
ـ سلف در جریان متناوب

آشنایی با دانشمندان

هانری

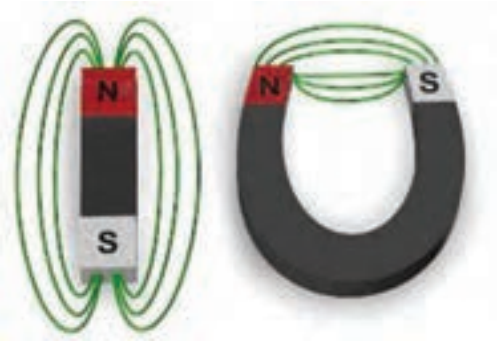
(Henrye, Joseph / ۱۸۷۸ـ۱۷۹۷)

هانری در شهر آلنبی در ایالت نیویورک به دنیا آمد. او در خانوادهٔ فقیری می‌زیست و از جوانی ناگزیر به کار کردن بود. در نتیجه تحصیلات خود را با وقفه و نامرتب ادامه داد. از سیزده‌سالگی شاگرد ساعت سازی شد ولی شبانه به تحصیل نیز روی آورد و با کوشش بسیار توانست در یکی از مدارس روستایی به شغل معلمی بپردازد. ضمن این‌که به تحصیل طب و مهندسی نیز علاقه‌مند بود و سرانجام به سمت استاد ریاضیات و فیزیک انتخاب گردید. او از سال ۱۸۶۸ تا پایان عمر ریاست آکادمی ملی علوم را عهده‌دار بود. او در خصوص الکترومغناطیس تجربیات زیادی کسب کرد. از جمله او با پیچیدن سیم‌های ظریف و عایق‌بندی شده به دور هسته‌های آهنی مغناطیس‌های الکتریکی پر قدرتی را به‌وجود آورد. سپس به کشف پدیدهٔ خودالقایی نائل آمد. او هم‌چنین یک موتور الکتریکی ساخت که بعداً در تلگراف بسیار مورداستفاده قرار گرفت. یکای ضریب خودالقایی به احترام او هانری نامیده می‌شود.

۶ــ سلف

۱ــ۶ــ مغناطیس و الکترومغناطیس

به خاصیت مغناطیسی که در اطراف یک آهنربای دائمی وجود دارد و بر اجسام مغناطیسی دیگر اثر می‌گذارد «مغناطیسی طبیعی» گفته می‌شود (شکل ۱ــ۶). مغناطیس از جمله مباحثی است که در بخش ماشین‌های الکتریکی کاربرد دارد. استفاده از مغناطیس به‌صورت مغناطیس طبیعی کاربرد زیادی ندارد.

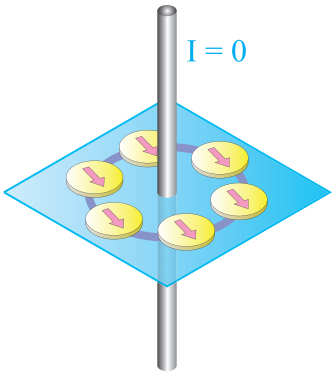


شکل ۱ــ۶

با عبور جریان الکتریکی از داخل یک سیم، خاصیت مغناطیسی در فضای اطراف آن سیم پدید می‌آید که اصطلاحاً به آن «خاصیت الکترومغناطیسی» می‌گویند (شکل ۲ــ۶).

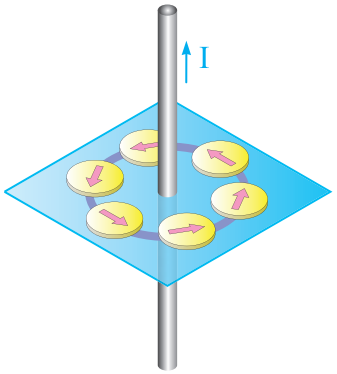
شکل ۲ــ۶

با یک آزمایش ساده می‌توان از وجود میدان الکترومغناطیسی اطراف جسم اطمینان پیدا کرد. شکل ۳ــ۶ سیمی را نشان می‌دهد که از داخل صفحه‌ای مقوایی عبور کرده و روی آن چند عقربهٔ مغناطیسی (قطب نما) قرار گرفته است. در این حالت چون جریانی از سیم عبور نمی‌کند، لذا عقربه‌ها همگی در یک جهت (قطب شمال) منحرف شده‌اند.



شکل ۳ــ۶

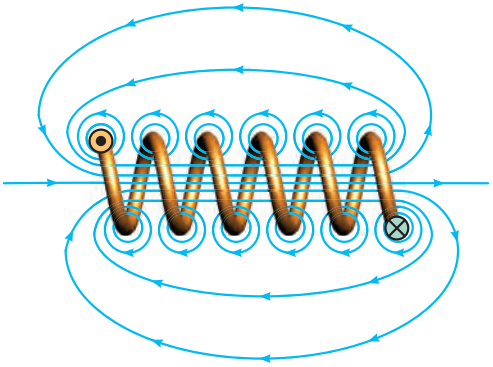
هرگاه از سیم مورد نظر مطابق شکل ۴ــ۶ جریانی برابر I آمپر عبور کند جهت عقربه‌های مغناطیسی که در اطراف سیم قرار دارند تغییر می‌کند و همهٔ آن‌ها در یک راستا و به‌صورتی قرار می‌گیرند که در دور سیم مسیر دایره‌ای شکل را به‌وجود می‌آورند.



شکل ۴ــ۶

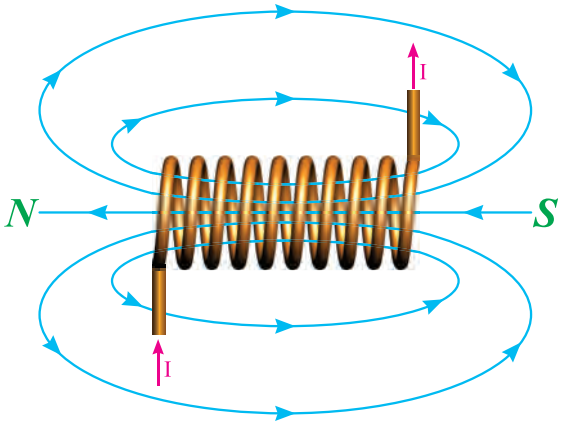
از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت چون عقربه‌های مغناطیسی فقط در مقابل خاصیت مغناطیسی از خود عکس‌العمل نشان می‌دهند لذا تغییر وضعیت آن‌ها در این شرایط به سبب وجود خاصیت مغناطیسی‌ای است که در اثر عبور جریان در اطراف سیم به‌وجود آمده است.

براساس آزمایش‌های صورت گرفته هرگاه سیم صاف را به‌صورت چند حلقه درآورند میدان مغناطیسی به‌وجود آمده در اطراف حلقه‌ها باهم جمع می‌شوند و میدان قوی‌تری پدید می‌آید (شکل ۵ــ۶).

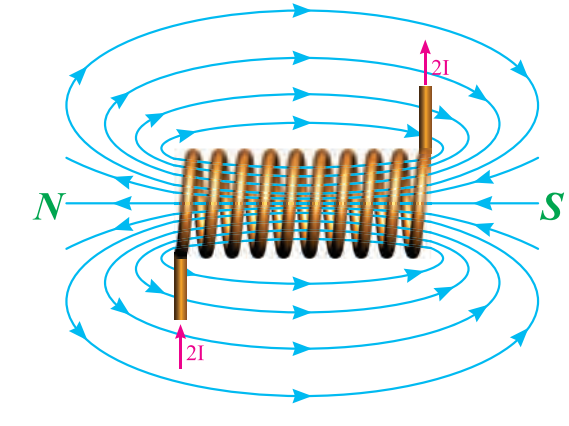


شکل ۵ــ۶

۱ــ هر چه شدت جریان عبوری از بوبین بیش‌تر باشد میدان قوی‌تری به‌وجود می‌آید. شکل ۶ــ۶ میدان مغناطیسی اطراف دو سیم پیچ را با دو جریان کم و زیاد نشان می‌دهد.



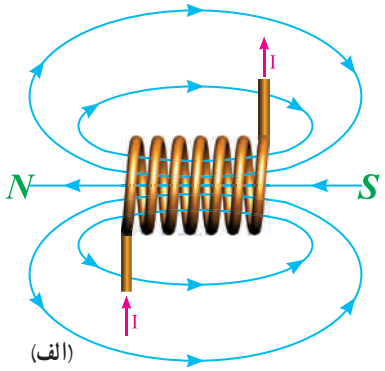
(الف)



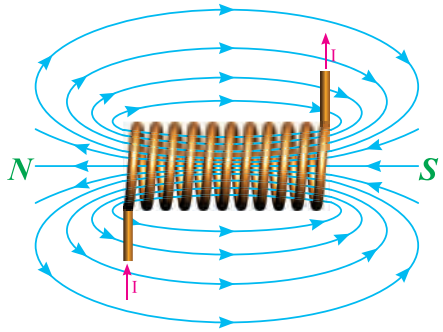
(ب)

شکل ۶ــ۶

۲ــ هرچه تعداد حلقه‌های بوبین بیش‌تر باشد میدان مغناطیسی پدید آمده در اطراف بوبین قوی‌تر است. شکل ۷ــ۶ میدان مغناطیسی اطراف دو سیم پیچ با تعداد دورهای متفاوت را نشان می‌دهد.



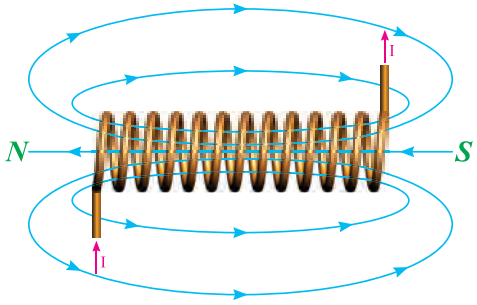
(الف)



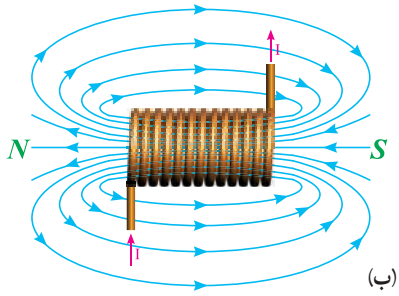
(ب)

شکل ۷ــ۶

۳ــ اگر تعداد حلقه‌های بوبین به‌صورت خیلی فشرده و کنار هم پیچیده شده باشد، میدان مغناطیسی بیش‌تری در سیم‌پیچ پدید می‌آید. شکل ۸ــ۶ دو بوبین را، از نظر فشردگی و انسجام سیم پیچی (و میدان مغناطیسی به‌وجود آمده در اطراف آن‌ها) نشان می‌دهد.



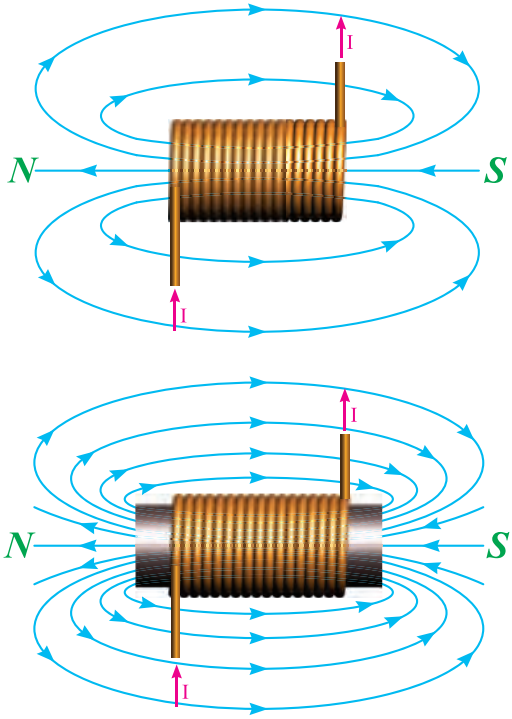
(الف)



(ب)

شکل ۸ــ۶

۴ــ اگر هستهٔ آهنی در داخل بوبین قرار گیرد میدان مغناطیسی قوی‌تری در سیم‌پیچ، نسبت به سیم‌پیچی که بدون هسته است، به‌وجود می‌آید. شکل ۹ــ۶ تصویر دو سیم‌پیچ با هسته و بدون هسته را نشان می‌دهد.



شکل ۹ــ۶

۲ــ۶ــ بارهای مقاومتی و بارهای القایی[1]

وسایل الکتریکی (بارهای الکتریکی) زیادی وجود دارند که وقتی در سیستم جریان متناوب (ac) قرار گیرند مانند قرار گرفتن مقاومت‌ها در سیستم جریان مستقیم (dc) عمل می‌کنند. لامپ‌ها و هیترها در این گروه‌بندی واقع می‌شوند. شما می‌توانید مقاومت آن‌ها را با یک اهم‌متر اندازه‌گیری کنید و مقدار آمپر آن را وقتی به عنوان مصرف‌کننده در یک مدار هستند محاسبه کنید این‌ها «بارهای مقاومتی» نامیده می‌شود.

بارهای دیگری هستند که متفاوت عمل می‌کنند این‌ها وسایلی هستند که تولید مغناطیس جزیی از کار آن‌هاست. شامل وسایلی است که از سیم‌پیچ استفاده می‌کند. موتورها نمونه‌ای از این نوع بار می‌باشد، بارهایی که در آن‌ها از سیم‌پیچ استفاده شده است «بارهای القایی» نامیده می‌شوند مقاومت مؤثر آن‌ها خیلی بیشتر از مقاومتی است که با اهم‌متر اندازه‌گیری می‌شود. جریانی که از سیم‌پیچ عبور می‌کند خطوط نیروی مغناطیسی تولید می‌کند. سیم‌های جانبی به‌طور مؤثری این خطوط نیرو را قطع می کنند و ولتاژی در جهت مخالف ولتاژ اعمال شده به سیم‌پیچ تولید می‌کنند. تولید ولتاژ مخالف عبور جریان را سخت می‌کند. به این خاصیت مقاومتی که تنها درصورت وجود یک سیم‌پیچ در یک مدار ایجاد می‌شود اندوکتانس (خودالقایی) گفته می‌شود و مقدار آن ضریب خودالقایی است. این ضریب با L نشان داده می‌شود و واحد آن هانری است.

۳ــ۶ــ سلف (سیم پیچ)

اگر مقداری سیم به دور محور یا هسته‌ای پیچیده شود بوبین یا سیم‌پیچ به‌وجود می‌آید. این سیم‌پیچ می‌تواند انرژی الکتریکی را به‌صورت میدان مغناطیسی در خود ذخیره کند. درشکل ۱۰ــ۶ تصویر ظاهری چند نمونه بوبین به‌همراه علامت اختصاری آن نشان داده شده است از سیم پیچ‌ها یا سلف‌ها در ساخت انواع رله‌های مغناطیسی استفاده می‌شود.

۱ــ Resistive and inductive loads

الف) تصویر ظاهری چند نمونه بوبین

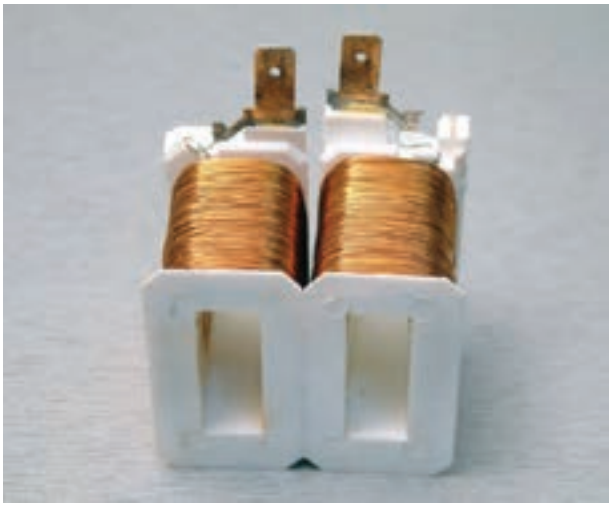
ب) علامت اختصاری بوبین

شکل ۱۰ــ۶ــ چند نمونه سلف

۴ــ۶ــ ساختمان بوبین

یک بوبین از دو قسمت اصلی تشکیل می‌شود.

الف) سیم‌پیچ : مقداری سیم با روکش عایق لاکی که بر روی یک قرقره پیچیده شده است.



شکل ۱۱ــ۶

شکل ۱۲ــ۶

ب) هسته : جنس هسته معمولاً از مواد مغناطیسی ساخته می‌شود. مواد مغناطیسی، مانند آهن تمام خطوط میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط سیم‌پیچ را به‌راحتی از خود عبور می‌دهد. نقش «هسته» تمرکز دادن به میدان مغناطیسی تولید شده توسط سیم‌پیچ است. هم‌چنین باعث می‌شود فوران مغناطیسی با تلفات کم‌تری از داخل سیم‌پیچ عبور کند. یک بوبین می‌تواند با هسته و بدون هسته باشد. در شکل ۱۲ــ۶ یک نمونهٔ هسته نشان داده شده است.

۵ــ۶ــ عملکرد سلف

در شکل ۱۳ــ۶ــ الف در سلفی که به ولتاژ مستقیم وصل شده است، فقط مقاومت اهمی سلف (R)، جریان را محدود می‌کند. ولی در صورتی که آن را به یک منبع ولتاژ متناوب وصل کنیم، علاوه بر مقاومت اهمی مقاومت دیگری به نام «راکتانس سلفی» نیز از خود نشان می‌دهد. در نتیجه مقاومت کل سلف افزایش می‌یابد و نور لامپی که مطابق شکل ۱۳ــ۶ــ ب در مسیر

آن قرار گیرد، کاهش می‌یابد.

شکل ۱۳ــ۶

به مقاومتی که سلف در جریان متناوب از خود نشان می‌دهد «راکتانس سلفی» می‌گویند. این مقاومت به فرکانس وابسته است. در نتیجه فقط در اتصال سلف با منبع جریان متناوب ظاهر می‌شود و از آن‌جایی که فرکانس منبع جریان مستقیم صفر است مقدار این مقاومت در این مدار صفر خواهد شد.

راکتانس سلفی را با X_L نشان می‌دهند و مقدار آن از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$X_L = ۲\pi.f.L$$

- راکتانس
- فرکانس منبع تغذیه
- ضریب خودالقایی

در این رابطه، X_L راکتانس سلفی برحسب اهم، f فرکانس ولتاژ یا جریان سینوسی برحسب هرتز و L ضریب خودالقایی سلف برحسب هانری است.

مثال : در مدار شکل ۱۴ــ۶ مقدار راکتانس سلفی را محاسبه کنید.

شکل ۱۴ــ۶

حل :

$$X_L = L.۲\pi.f = ۱۰۰ \times ۱۰^{-۳} \times ۲\pi \times ۵۰ = ۳۱/۴\,\Omega$$

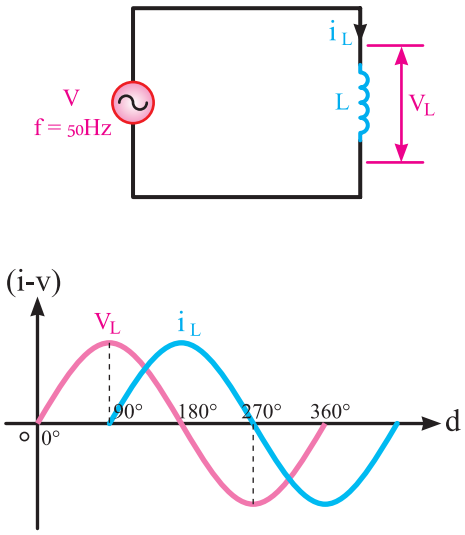
جریان عبوری از مدار، با استفاده از قانون اهم به‌دست می‌آید. لذا داریم :

$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{۲۲۰}{۳۱/۴} = ۷ \quad A$$

۶ــ۶ــ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در مدار سلفی

اگر در یک مدار الکتریکی با منبع جریان متناوب سینوسی، فقط یک سلف بدون مقاومت اهمی وجود داشته باشد، جریان در مدار به اندازهٔ ۹۰ درجه با ولتاژ دو سر آن اختلاف فاز پیدا می‌کند. در شکل ۱۵ــ۶ شکل موج جریان گذرنده از سلف و شکل موج ولتاژ دو سر آن رسم شده است.

همان‌طور که از شکل ۱۵ــ۶ مشخص است جریان به اندازهٔ ۹۰ درجه از ولتاژ عقب‌تر است.



شکل ۱۵ــ۶ــ شکل موج ولتاژ و جریان سلف

پرسش‌های فصل ششم

◄پرسش‌های چهار گزینه‌ای

۱ــ به میدان مغناطیسی ایجاد شده در اطراف یک سیم حامل جریان میدان ..... گویند.

الف) استاتیکی ب) مغناطیسی ج) الکتریکی د) الکترومغناطیسی

۲ــ با تغییر شکل سیم راست به شکل سیم‌پیچ میدان الکترومغناطیسی چه تغییری می‌کند.

الف) کاهش می‌یابد ب) افزایش می‌یابد ج) تغییر نمی‌کند د) هیچ وابستگی ندارد

۳ــ خاصیت مقاومتی سلف در جریان متناوب را ..... سلفی گویند.

الف) اندوکتانس ب) راکتانس ج) رزیستانس د) کاپاسیتانس

۴ــ در صورت افزایش فرکانس در یک مدار سلفی، جریان مدار چه تغییری می‌کند؟

الف) زیاد می‌شود ب) کاهش می‌یابد ج) ثابت می‌ماند د) هیچ‌کدام

◄پرسش‌های پرکردنی

۵ــ با قرار دادن هسته آهنی در داخل یک سیم‌پیچ حامل جریان میدان مغناطیسی آن ..... می‌یابد.

۶ــ اگر به یک لامپ که به سلفی به صورت سری متصل شده است ولتاژ متناوب دهیم نور آن نسبت به موقعی که به منبع جریان مستقیم وصل شده، ..... است.

◄پرسش‌های درست و نادرست

۷ــ هرچه فشردگی بین حلقه‌های بوبین بیش‌تر باشد میدان مغناطیسی کاهش می‌یابد.

درست ☐ نادرست ☐

۸ ــ میدان مغناطیسی حاصل از یک سیم‌پیچ از میدان مغناطیسی حاصل از یک حلقه سیم قوی‌تر است.

درست ☐ نادرست ☐

۹ــ مقاومت کل یک سلف در جریان مستقیم از جریان متناوب بیش‌تر است.

درست ☐ نادرست ☐

۱۰ــ با افزایش L مقدار راکتانس سلفی کاهش می‌یابد.

درست ☐ نادرست ☐

◄پرسش‌های تشریحی

۱۱ــ ساختمان سلف را شرح دهید.

۱۲ــ حاصل عبور جریان مستقیم از یک سیم راست و یک سلف چیست؟

۱۳ــ ضریب خودالقا را توضیح دهید.

۱۴ــ عملکرد سلف در جریان متناوب را شرح دهید.

۱۵ــ اختلاف فاز بین جریان گذرنده از سلف و ولتاژ دو سر آن را رسم کنید.

۱۶ــ یک سلف با ضریب خودالقایی ۲ هانری و مقاومت اهمی ۰/۵ اهمی به ولتاژ ۱/۵ ولت مستقیم وصل می‌کنیم. حداکثر جریانی که از سلف می‌گذرد چند آمپر است؟

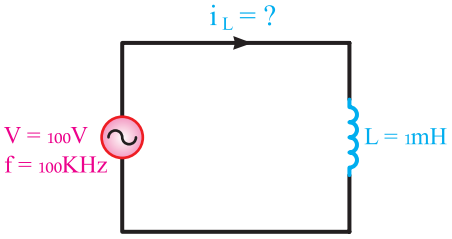
پاسخ : (۳ آمپر)

۱۷ــ از یک سلف با ضریب خودالقایی ۱۰ میلی هانری جریان متناوبی با فرکانس ۵۰ هرتز عبور می‌کند. مقاومت القایی سلف چند اهم است؟ اگر فرکانس به یک کیلو هرتز تغییر یابد، مقاومت القایی بوبین چند اهم می‌شود؟

پاسخ : (۳/۱۴ و ۶۲/۸)

۱۸ــ در شکل ۱۶ــ۶، جریان i_L چند میلی‌آمپر است؟ از مقاومت اهمی سیم‌پیچ صرف‌نظر کنید.

پاسخ : (۱۵۹ میلی‌آمپر)



شکل ۱۶ــ۶

۱۹ــ مقاومت سیم‌پیچ اصلی یخچال را با اهم‌متر اندازه‌گیری کردیم عدد ۱۱ اهم را نشان می‌دهد. یخچال در حین کار شدت جریان ۱ آمپر را از شبکه دریافت می‌کند علت را توضیح دهید.

فصل ۷

خازن

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ خازن را تعریف کند.

۲ــ ساختمان خازن را شرح دهد.

۳ــ ظرفیت خازن را تعریف کند.

۴ــ عوامل فیزیکی مؤثر در ظرفیت خازن را شرح دهد.

۵ــ ظرفیت خازن را محاسبه کند.

۶ــ مفهوم شارژ و دشارژ خازن را توضیح دهد.

۷ــ ثابت زمانی خازن را شرح دهد.

۸ــ مشخصات مهم در انتخاب خازن را بیان کند.

۹ــ ظرفیت خازن معادل مدارهای سری و موازی خازنی را محاسبه کند.

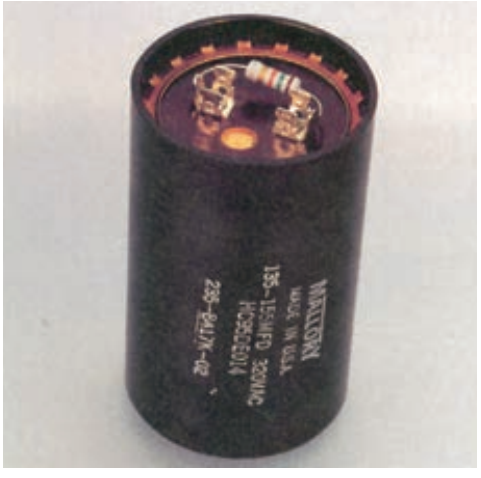
۱۰ــ عملکرد خازن را در جریان مستقیم و متناوب شرح دهد.

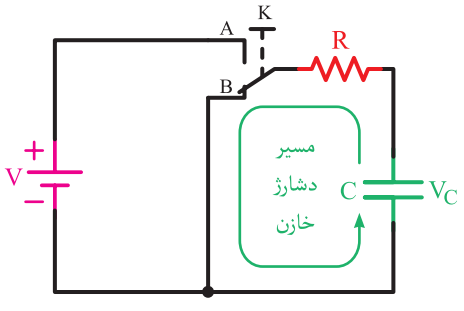
۱۱ــ راکتانس خازنی را در مدارات محاسبه کند.

۱۲ــ اختلاف فاز ولتاژ و جریان در مدار خازنی را با رسم شکل موج‌های ولتاژ و جریان و دیاگرام برداری تشریح کند.

۱۳ــ انواع خازن را نام ببرد.

۱۴ــ کاربرد خازن‌ها را در موتورهای الکتریکی شرح دهد.





سیمای فصل ۷

- خازن
- ساختمان خازن
- ظرفیت خازن
- عوامل فیزیکی مؤثر در ظرفیت خازن
- شارژ و دشارژ خازن
- ثابت زمانی خازن
- انتخاب خازن
- اتصال خازن‌ها
  - اتصال سری خازن‌ها
  - اتصال موازی خازن‌ها
- عملکرد خازن
  - خازن در جریان مستقیم
  - خازن در جریان متناوب
  - اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در مدار خازنی
- انواع خازن
- کاربرد خازن‌ها

آشنایی با دانشمندان

فارادی

(Faraday, Michael/ ۱۸۶۷ـ۱۷۹۱)

فارادی، فیزیک‌دان و شیمی‌دان انگلیسی، شاگرد یک صحاف بود و به علوم علاقهٔ زیادی داشت. او در کلاس‌های درس همفری دیوی، شیمی‌دان معروف آن زمان، حضور می‌یافت و با یادداشت‌هایی که آماده می‌کرد، چنان بر دیوی تأثیر گذاشت که از سوی استاد به عنوان دست‌یار در آزمایشگاه سلطنتی منصوب شد. سرانجام فارادی جانشین دیوی در مدیریت آزمایشگاه سلطنتی شد. اولین پژوهش‌های فارادی در شیمی بود. اما کمی بعد به الکتریسیته و مغناطیس روی آورد و کمک زیادی به پیش‌برد آن علوم کرد. او با انجام آزمایش‌های منظم توانست پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی را کشف کند. با این‌که فارادی در اصل یک آزمایشگر بود ولی با معرفی مفهوم میدان و تشخیص این‌که میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را می‌توان توسط این خطوط نشان داد، کمک‌های زیادی به درک بهتر مفهوم میدان کرد. به پاس خدمات او یکای ظرفیت خازن را در سیستم بین‌المللی SI با فاراد(F) نشان می‌دهند.

۷ــ خازن

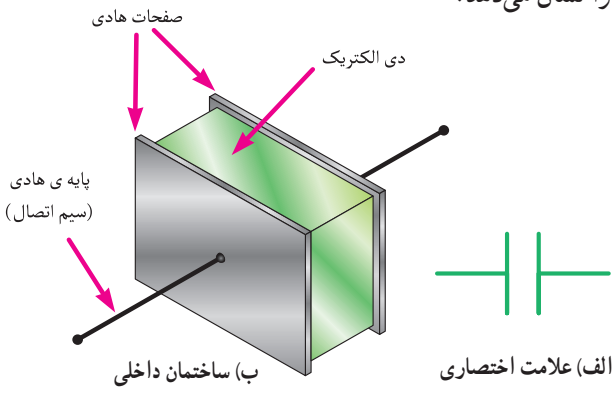
۱ــ۷ــ خازن[۱]

خازن وسیله‌ای است که می‌تواند مقداری الکتریسیته را به‌صورت بارهای الکتریکی در خود ذخیره کند، همان‌گونه که یک مخزن آب برای ذخیره‌کردن آب مورداستفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۱ــ۷ تصویر ظاهری تعدادی از انواع خازن‌ها، که در تأسیسات برقی کاربرد زیادی دارند، نشان داده شده است.

شکل ۱ــ۷ــ نمونه‌های مختلف خازن

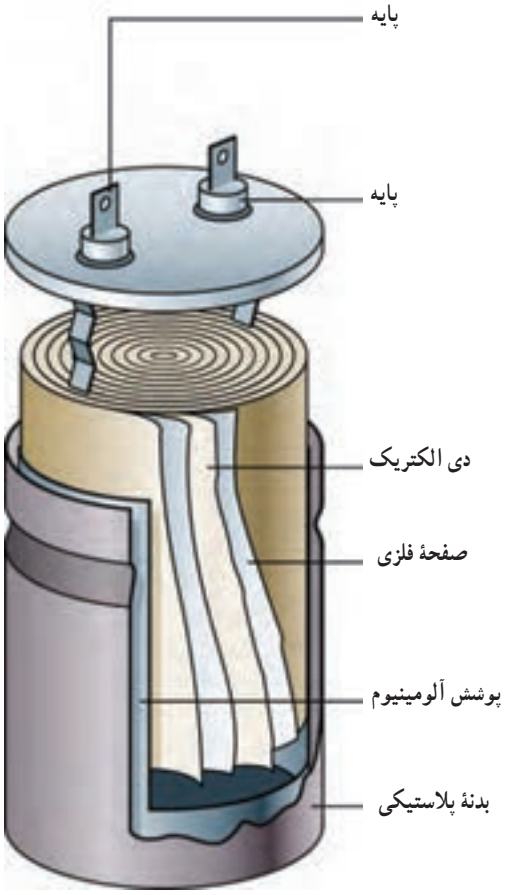
۲ــ۷ــ ساختمان خازن

خازن‌ها به اَشکال مختلف ساخته می‌شوند. متداول‌ترین آن‌ها خازن‌های مسطحی هستندکه از دو صفحهٔ هادی، که بین آن‌ها عایقی قرار دارد، تشکیل می‌شوند. صفحات هادی نسبتاً بزرگ هستند و در فاصلهٔ خیلی نزدیک از یکدیگر قرار دارند. شکل ۲ــ۷ طرح سادهٔ یک خازن مسطح و علامت اختصاری آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲ــ۷ــ ساختمان داخلی و علامت اختصاری خازن

صفحات خازن معمولاً از ورقه‌های نازک از جنس آلومینیوم، روی یا نقره ساخته می‌شوند، عایق به کار رفته بین صفحات خازن را دی‌الکتریک گویند. این مادهٔ عایق می‌تواند هوا، خلأ، کاغذ، شیشه، میکا، روغن و ... باشد. معمولاً خازن‌ها را براساس مادهٔ دی‌الکتریک آن نام‌گذاری می‌کنند، مانند خازن کاغذی، خازن روغنی، خازن الکترولیتی شکل ۳ــ۷ ساختمان ظاهری یک خازن الکترولیتی را نشان می‌دهد.



شکل ۳ــ۷ــ ساختمان ظاهری خازن

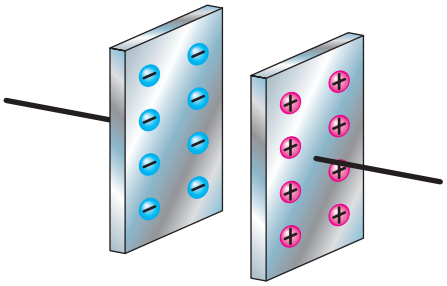
۳ــ۷ــ ظرفیت خازن

ظرفیت یک خازن که آن را با C نمایش می‌دهند، نشان‌دهندهٔ میزان توانایی یک خازن در ذخیره‌کردن بار الکتریکی است. بنا به تعریف، ظرفیت خازن برابر است با مقدار باری که باید روی یکی از صفحات خازن ذخیره شود تا پتانسیل آن نسبت به صفحهٔ

۱ــ Capacitor

دیگر به اندازهٔ یک ولت افزایش یابد. به عبارت دیگر خارج قسمت بار الکتریکی (Q) ذخیره شده روی هر یک از صفحات خازن بر اختلاف پتانسیل (V) بین دو صفحه را «ظرفیت خازن» گویند. بنابراین :

$$C = \frac{Q}{V} \quad (1)$$



شکل ۴ــ۷

که در آن :

C ــ ظرفیت خازن (برحسب فاراد)؛

Q ــ مقدار بار الکتریکی ذخیره شده بر روی هر یک از صفحات خازن (برحسب کولن[1])؛

V ــ اختلاف پتانسیل بین دو صفحهٔ خازن (برحسب ولت) است.

واحد ظرفیت «فاراد» است. فاراد ظرفیت خازنی است که اگر به ولتاژ یک ولت متصل شود یک کولن بار الکتریکی روی صفحات آن ذخیره می‌شود. چون فاراد واحد بسیار بزرگی است، در عمل از واحدهای کوچک‌تر مانند میکروفاراد استفاده می‌شود، که آن را با μF نشان می‌دهند.

$$1\,\mu F = 1 \times 10^{-6}\,F$$

مثال : اگر به دو سر یک خازن ولتاژ ۲۲۰ ولت وصل کنیم باری معادل ۲۲۰ کولن را ذخیره می‌کند. ظرفیت این خازن چند میکرو فاراد است؟

حل :

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{220\,(C)}{220\,(V)} = 1F \qquad 1F = 10^{+6}\,\mu F$$

مثال : خازنی با ظرفیت ۴۰ میکرو فاراد را به ولتاژ ۵۰ ولت اتصال می‌دهیم. مقدار بار ذخیره شده چند کولن است؟

حل :

$$Q = C \times V = 40\ (\mu F) \times 50^{(V)} = 2000\,\mu C$$

$$2 \times 10^{3}\,\mu C = 2 \times 10^{3} \times 10^{-6} C = 2 \times 10^{-3} C$$

مثال : به دو سر یک خازن ۱۰ میکروفاراد چه ولتاژی بدهیم تا باری معادل ۱۰ میکرو کولن در آن ذخیره شود؟

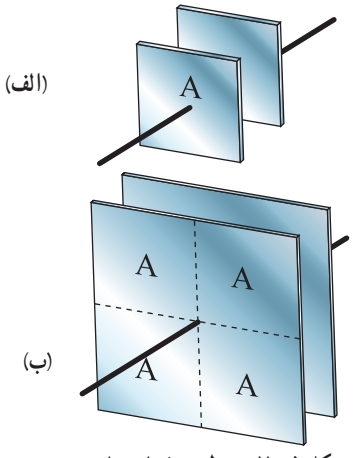
حل :

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{10\,(\mu C)}{10\,(\mu F)} \quad V = 1 \text{ ولت } V$$

۴ــ۷ــ عوامل فیزیکی مؤثر در ظرفیت خازن

در ظرفیت یک خازن عوامل زیر مؤثرند :

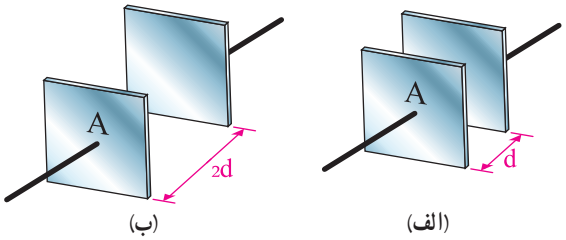
الف) مساحت صفحات خازن (A) : هر چه سطح صفحات بیش‌تر باشد، بار الکتریکی بیش‌تری در خود ذخیره می‌کند. در نتیجه ظرفیت آن نیز بیش‌تر خواهد بود. شکل ۵ــ۷ ظرفیت دو خازن الف و ب را با هم مقایسه می‌کند. چون سطح صفحات خازن ب، چهار برابر سطح صفحات خازن الف است، ظرفیت خازن ب چهار برابر ظرفیت خازن الف خواهد بود.



شکل ۵ــ۷ــ سطح صفحات خازن

۱ــ کولن واحد بار الکتریکی است و مقدار آن برای ۱ کولن برابر با $6/28 \times 10^{18}$ الکترون است.

ب) فاصله بین صفحات خازن (d) : ظرفیت خازن با فاصلهٔ صفحات آن رابطهٔ عکس دارد. یعنی هر چه فاصلهٔ بین صفحات خازن بیش‌تر باشد، ظرفیت خازن کم‌تر است. شکل ۶ــ۷ ظرفیت دو خازن الف و ب را با هم مقایسه می‌کند. چون فاصلهٔ صفحات خازن ب دو برابر صفحات خازن الف است، بنابراین ظرفیت خازن الف دو برابر ظرفیت خازن ب است.



(ب) (الف)

شکل ۶ــ۷ــ فاصلهٔ بین صفحات خازن

امروزه خازن‌هایی با فاصلهٔ بسیار کوچک ساخته می‌شود که می‌توانند ولتاژهای بزرگی تا چند صد ولت را نیز تحمل کنند.

ج) ضریب دی‌الکتریک (K) : جنس دی‌الکتریک بر ظرفیت خازن اثر دارد. هر چه مادهٔ به کار رفته عایق‌تر باشد ظرفیت خازن بیش‌تر خواهد شد. در جدول ۱ــ۷ ضریب دی‌الکتریک عایق مورد استفاده در ساخت خازن آمده است.

جدول ۱ــ۷ــ ضریب دی‌الکتریک چند نوع عایق

نوع عایق	ضریب دی‌الکتریک K
هوا	۱
تفلون	۲
کاغذ آغشته به پارافین	۲/۵
روغن	۴
میکا	۵
اکسید آلومینیم	۷
شیشه	۷/۵
اکسید تانتالیُم	۲۶
سرامیک	۱۲۰۰

همان‌گونه که گفته شد ظرفیت خازن با سطح صفحات خازن با ظرفیت رابطهٔ مستقیم و با فاصلهٔ بین صفحات رابطهٔ عکس دارد، در نتیجه برای ظرفیت خازن می‌توان رابطهٔ زیر را نوشت :

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

که در آن :

C : ظرفیت خازن بر حسب فاراد

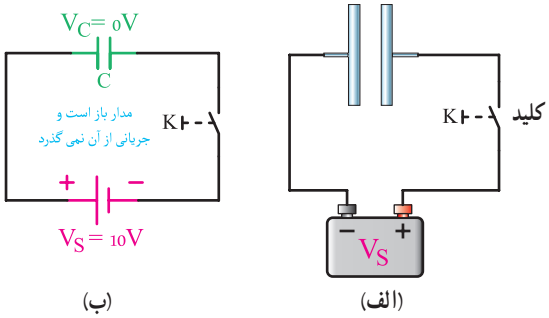
A : مساحت سطح صفحات بر حسب متر مربع m^2

d : فاصله دو صفحه خازن بر حسب متر m

K : ضریب دی‌الکتریک بر حسب $\frac{F.m}{m^2}$

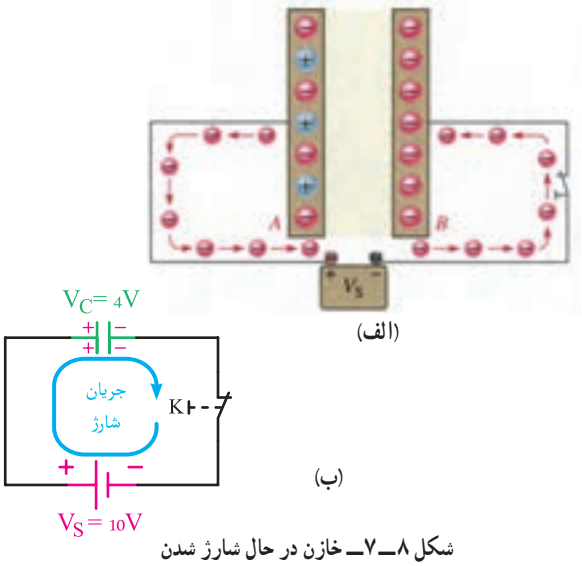
۵ــ۷ــ شارژ و دشارژ خازن

الف) شارژ : برای این که خازن شارژ شود، یعنی انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کند باید آن را به یک اختلاف پتانسیل (ولتاژ) وصل کرد. این ولتاژ به وسیلهٔ یک باتری تأمین می‌شود. قطب مثبت باتری به یک صفحه و قطب منفی باتری به صفحهٔ دیگر خازن وصل می‌شود. قبل از اتصال صفحات خازن به باتری (وصل کلید)، این صفحات خنثا هستند و هیچ انرژی‌ای در خازن ذخیره نخواهد شد (شکل ۷ــ۷).



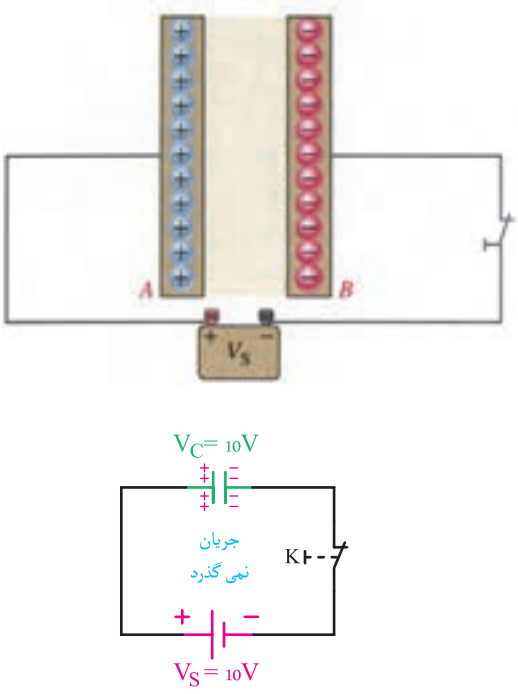
شکل ۷ــ۷ــ خازن قبل از اتصال به منبع ولتاژ خنثاست.

با بستن کلید، الکترون‌ها از قطب منفی باتری به طرف صفحه‌ای جاری می‌شوند که به این قطب متصل است و در آن تراکم الکترون یا بار منفی ایجاد می‌کنند. در همین لحظه، قطب مثبت باتری همان تعداد الکترون را از صفحه‌ای جذب می‌کنند که به این قطب متصل است. این صفحه کم‌بود الکترون یا بار مثبت پیدا می‌کند (شکل ۸ــ۷).



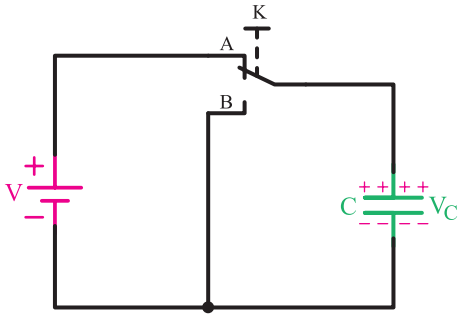
شکل ۸ــ۷ــ خازن در حال شارژ شدن

وقتی خازن در حال شارژشدن است، الکترون‌ها از طریق سیم رابط به طرف قطب مثبت باتری حرکت می‌کنند و وارد باتری می‌شوند و از قطب منفی خارج می‌گردند. وارد و خارج شدن الکترون‌ها از صفحات خازن، میدان الکتریکی ساکن را بالا می‌برد و سبب ایجاد ولتاژی در خلاف جهت ولتاژ اِعمال شده به دو سر خازن می‌شود. ولتاژ ایجاد شده در خازن با ولتاژ باتری مخالفت می‌کند. هرچه ولتاژ دو سر خازن بیش‌تر می‌شود ولتاژ مؤثر مدار کم‌تر می‌شود و در نتیجه باعث کم‌شدن شدت جریان مدار می‌گردد. هرگاه ولتاژ خازن با ولتاژ باتری برابر شود، جریان در مدار متوقف می‌شود. صفر شدن جریان در مدار نشانهٔ شارژ کامل خازن است (شکل ۹ــ۷).



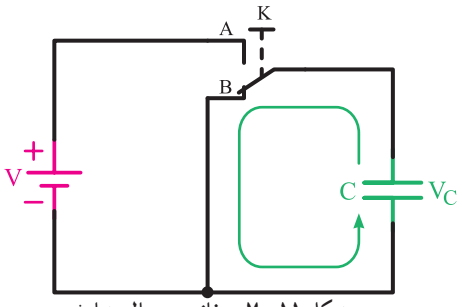
شکل ۹ــ۷ــ خازن در وضعیت شارژ کامل

ب) دشارژ : یک خازن شارژ شده باید شارژ خود را به مدت نامحدودی نگه دارد. در حالی‌که این‌گونه نیست و با جداشدن خازن از منبع تغذیه دیر یا زود خازن شارژ خود را از دست می‌دهد. عمل از دست‌دادن شارژ را دشارژ شدن می‌نامند. شکل ۱۰ــ۷ خازن را در وضعیت شارژ کامل نشان می‌دهد.



شکل ۱۰ــ۷ــ خازن در وضعیت شارژ کامل جریان نمی‌گذرد

برای دشارژ سریع خازن لازم است که پس از جداکردن منبع ولتاژ از خازن، یک مسیر هادی بین دو صفحهٔ خازن ایجاد شود. با ایجاد این مسیر الکترون‌های صفحهٔ منفی به طرف پتانسیل مثبت در صفحهٔ مثبت جاری می‌شوند و تبادل الکترون آن قدر ادامه می‌یابد تا صفحات خنثا شوند. در شکل ۱۱ــ۷ با تغییر وضعیت کلید و قرارگیری آن در حالت B دو صفحهٔ خازن با یک سیم به یکدیگر اتصال پیدا می کنند و عمل دشارژ انجام می گیرد.

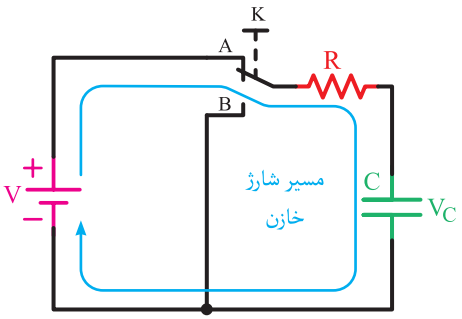


شکل ۱۱ــ۷ــ خازن در حال دشارژ

کاربرد : کاربردهای شارژ و دشارژ خازن می‌توان به ایجاد شوک الکتریکی در اتاق عمل یا فلاش دوربین‌های عکاسی اشاره کرد.

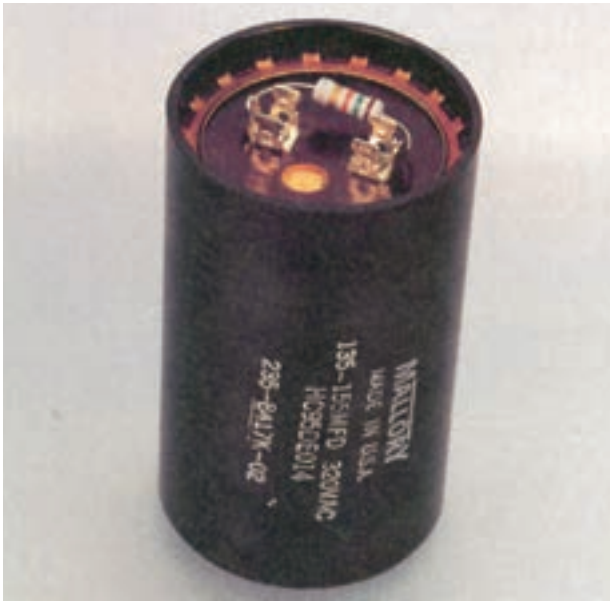
۶ــ ۷ ــ ثابت زمانی خازن

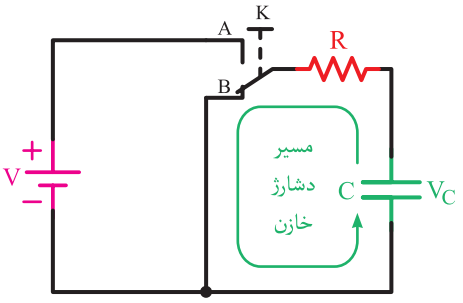
اگر مداری شامل یک مقاومت اهمی و یک خازن را مطابق شکل ۱۲ــ۷، که به صورت سری بسته شده‌اند، به یک منبع ولتاژ DC وصل کنیم، خازن فوراً (شارژ) نمی‌شود و مدت زمانی طول می کشد. زمان شارژ به مقدار مقاومت (R) سری شده با خازن و ظرفیت خازن (C) بستگی دارد.



شکل ۱۲ــ۷ــ مسیر شارژ خازن دشارژ

هم‌چنین اگر پایه‌های یک خازن شارژ شده را به وسیلهٔ یک مقاومت اهمی به یکدیگر وصل کنیم شکل ۱۳ــ۷. خازن به یک‌باره دشارژ (خالی) نمی‌شود و مدت زمانی طول می کشد. این زمان به مقدار مقاومت سری شده با خازن (R) و ظرفیت خازن (C) بستگی دارد.





شکل ۱۳ــ۷ــ مسیر دشارژ خازن

به مدت زمانی که طول می‌کشد تا خازن شارژ کامل یا دشارژ کامل شود «ثابت زمانی خازن» می‌گویند. که از حاصل ضرب R در C به‌دست می‌آید.

۷ــ۷ــ انتخاب خازن

در انتخاب یک خازن توجه به مشخصه‌های زیر لازم است :

الف) ظرفیت : اولین موردی که در انتخاب یک خازن باید به آن توجه کرد ظرفیت آن است. مقدار ظرفیت بر روی بدنهٔ خازن نوشته می‌شود. در شکل ۱۴ــ۷ مقدار ظرفیت خازن (۲۵μF) توسط کارخانهٔ سازنده بر روی بدنهٔ آن حک شده است. بسیار اتفاق می‌افتد که مقدار ظرفیت خازن مورد نیاز ما در حوزهٔ خازن‌های استاندارد موجود در بازار نیست. به همین دلیل باید به کمک چند خازن، مقدار ظرفیت خازن معادل را بسازیم. توجه به ظرفیت خازن در انتخاب و ساختن خازن معادل بسیار مهم است.

شکل ۱۴ــ۷

ب) ولتاژ کار : به حداکثر ولتاژی که می‌توان به خازن اِعمال کرد، به‌طوری که عایق دی‌الکتریک آن آسیب نبیند، «ولتاژ کار خازن» می‌گویند. توجه به مقدار این ولتاژ بسیار مهم است. مقدار ولتاژ اِعمال شده به خازن باید مساوی یا کم‌تر از مقدار ولتاژ کار خازن باشد. زیرا اعمال ولتاژ بیش‌تر از این مقدار باعث شکستن مولکول‌های عایق دی‌الکتریک می‌شود و به ایجاد قوس الکتریکی بین صفحات خازن و دی‌الکتریک منجر خواهد شد و خازن دیگر قابل استفاده نخواهد بود، مقدار ولتاژ کار را روی خازن می‌نویسند (۴۵۰ VAs) یا توسط کارخانهٔ سازنده در برگهٔ مشخصات (کاتالوگ) آن درج می‌کنند.

شکل ۱۵ــ۷

ج) تُلرانس : به حداکثر انحراف مجاز مقدار ظرفیت خازن نسبت به ظرفیت اسمی آن تُلرانس گویند. همان‌طور که در شکل ۱۶ــ۷ مشاهده می‌کنید ظرفیت این خازن ۲۵ میکرو فاراد است اما براثر عواملی چون دما ممکن است مقدار ظرفیت تغییر کند. برای مثال در این خازن تلرانس ۵ درصد است؛ یعنی ممکن است ظرفیت به مقدار ۵ درصد افزایش یابد (۲۶/۲۵=۱/۲۵+۲۵) یا ۵ درصد کاهش یابد (۲۳/۷۵=۱/۲۵−۲۵).

شکل ۱۶ــ۷

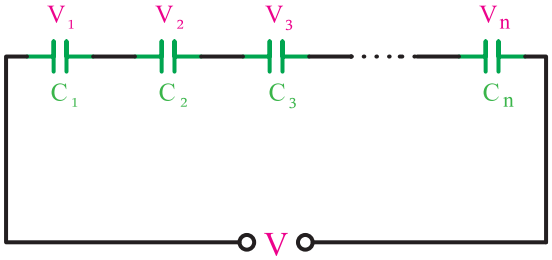
۸ــ۷ــ اتصال خازن‌ها

اگر خازنی مورد نیاز باشد که در محدودهٔ ظرفیت‌های

استاندارد نباشد، می‌توان با متصل کردن چند خازن به صورت سری، موازی یا ترکیبی، خازن موردنظر را به‌دست آورد. اصطلاحاً به خازنی که می‌تواند جای‌گزین تمام خازن‌های مدار شود «خازن معادل» گویند، که با استفاده از رابطهٔ (۳) می‌توان آن را به دست آورد.

$$C_T = \frac{Q_T}{V_T} \quad (۳)$$

۱ــ۸ــ۷ــ اتصال سری خازن‌ها : هرگاه دو یا n خازن مانند شکل ۱۷ــ۷ به صورت متوالی اتصال یابند این نوع اتصال را «سری» گویند (مانند اتصال سری مقاومت‌ها).



شکل ۱۷ــ۷

روابط حاکم بر خازن‌های سری به صورت زیر است :

الف) در خازن‌های سری بار همهٔ خازن‌ها یک‌سان است.

$$Q_T = Q_۱ = Q_۲ = Q_۳ = ... = Q_n \quad (۴)$$

ب) در مدار سری ولتاژ منبع تغذیه برابر ولتاژ مجموع تک تک عناصر آن است.

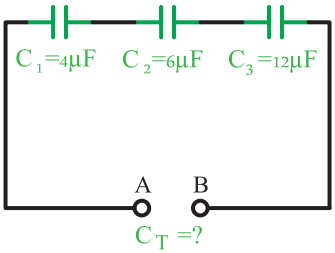
$$V_T = V_۱ + V_۲ + V_۳ + ... + V_n \quad (۵)$$

ج) ظرفیت خازنِ معادل در مدار سری را از رابطهٔ (۶) می‌توان به دست آورد.

$$\frac{۱}{C_T} = \frac{۱}{C_۱} + \frac{۱}{C_۲} + \frac{۱}{C_۳} + ... + \frac{۱}{C_n} \quad (۶)$$

ظرفیت خازن معادل در مدارهای سری، مانند رابطهٔ مربوط به مقاومت‌های موازی است. پس لازم است در پایان محاسبه، مقدار $\frac{۱}{C_T}$ را معکوس نمود تا ظرفیت C_T را به‌دست آورد.

مثال : ظرفیت خازنِ معادل از دو نقطهٔ A و B در شکل (۱۸ــ۷) چند میکروفاراد است؟



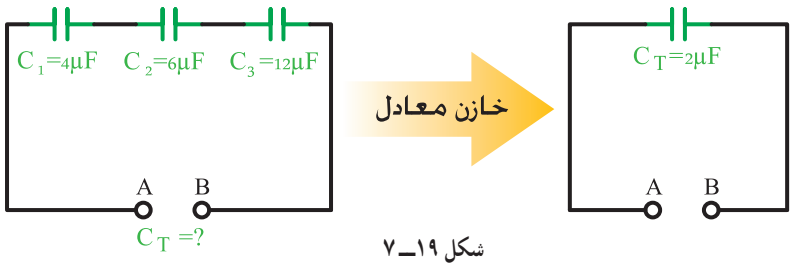
شکل ۱۸ــ۷

حل :

$$\frac{۱}{C_T} = \frac{۱}{C_۱} + \frac{۱}{C_۲} + \frac{۱}{C_۳}$$

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

$$C_T = \frac{۱۲}{۶} = ۲\mu F$$



شکل ۱۹ــ۷

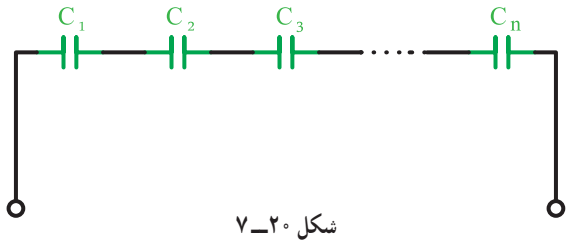
نتایج

۱ــ با اتصال سری سه خازن ۴، ۶ و ۱۲ میکروفارادی می‌توان خازن ۲ میکروفارادی به‌دست آورد.

۲ــ در اتصال سری خازن‌ها ظرفیت معادل از ظرفیت کوچک‌ترین خازن کم‌تر است.

❊ حالات خاص خازن‌های سری

۱ــ اگر n خازن با ظرفیت‌ها مساوی به طور سری قرار گیرند ظرفیت معادل آن به صورت زیر محاسبه می‌شود.



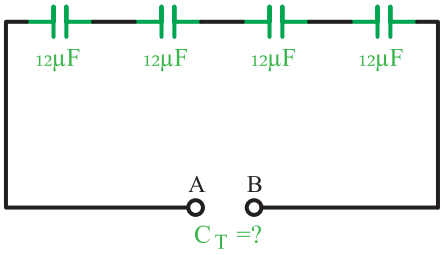
شکل ۲۰ــ۷

$$C_T = \frac{C}{n} \qquad (۷)$$

C ــ ظرفیت یک خازن n ــ تعداد خازن‌ها

C_T ــ ظرفیت خازن معادل

مثال : ظرفیت خازن معادل از دو نقطهٔ A، B مدار شکل ۲۱ــ۷ چند میکرو فاراد است؟



شکل ۲۱ــ۷

حل : به دلیل این که ظرفیت خازن‌ها مساوی است ظرفیت یکی از آن‌ها را به تعداد خازن‌ها تقسیم می‌کنیم.

$$C_T = \frac{C}{n} = \frac{۱۲}{۴} = ۳\mu F$$

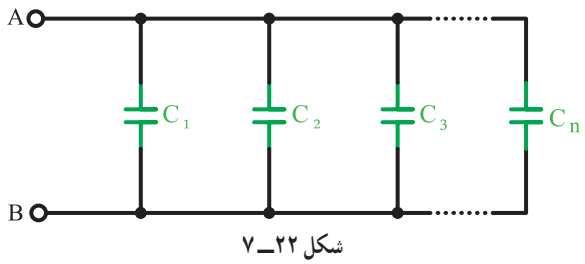
۲ ــ اگر دو خازن به طور سری بسته شوند می‌توانیم از رابطهٔ ساده شدهٔ نهایی به صورت زیر استفاده کنیم.

$$\frac{۱}{C_T} = \frac{۱}{C_۱} + \frac{۱}{C_۲} \Rightarrow \frac{۱}{C_T} = \frac{C_۱ + C_۲}{C_۱ \times C_۲}$$

$$C_T = \frac{C_۱ \times C_۲}{C_۱ + C_۲} \qquad (۸)$$

توجه : درصورت به کارگیری خازن‌های الکترولیتی، در موقع اتصال آن‌ها به قطب‌های خازن توجه کنید. ضمناً این خازن‌ها را پیش از اتصال در مدار، ابتدا تخلیه (دشارژ) کنید.

۲ــ۸ــ۷ــ اتصال موازی خازن‌ها : هرگاه دو یا n خازن مطابق شکل ۲۲ــ۷ به یکدیگر وصل شوند این اتصال را «موازی» گویند.



شکل ۲۲ــ۷

روابط حاکم بر این مدارها به صورت زیر است.

الف) در خازن‌های موازی بار کل برابر مجموع بار تک‌تک خازن‌هاست.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + ... + Q_n \quad (۹)$$

ب) در مدار موازی ولتاژ همهٔ عناصرِ برابر ولتاژ منبع تغذیه است.

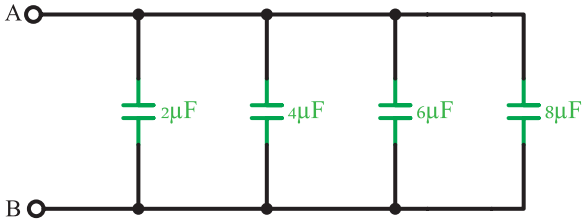
$$V_T = V_1 = V_2 = V_3 = ... = V_n \quad (۱۰)$$

ج) ظرفیت خازنِ معادل در مدار موازی را از رابطهٔ (۱۱) می‌توان به‌دست آورد.

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + ... + C_n \quad (۱۱)$$

همان‌گونه که از رابطهٔ نهایی مشخص است ظرفیت خازنِ معادل در مدارهای موازی مانند رابطهٔ مربوط به مقاومت‌های سری است.

مثال : ظرفیت خازنِ معادل از دو نقطهٔ A و B در شکل ۷ــ۲۳ چند میکروفاراد است؟



شکل ۷ــ۲۳

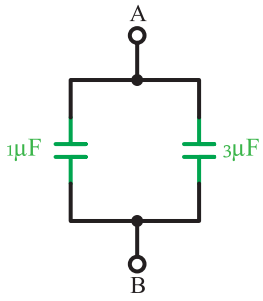
حل :

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 = 2 + 4 + 6 + 8 = 20\mu F$$

مثال : خازن‌های ۱ و ۱۲ و ۶ و ۳ میکرو فارادی موجود است اما خازن موردنظر ما با ظرفیت ۴ میکروفاراد در دسترس نیست. چگونه از میان این خازن‌ها، خازنِ معادل را می‌سازید؟

حل :

روش اول : می‌توانیم طبق شکل مقابل دو خازن ۱ و ۳ میکروفارادی را با هم موازی کنیم. در نتیجه داریم :



شکل ۷ــ۲۴

$$C_T = C_1 + C_2 = 1 + 3 = 4\mu F$$

روش دوم : می‌توانیم طبق شکل زیر دو خازن ۱۲ و ۶ میکروفارادی را با هم سری کنیم. در نتیجه داریم :

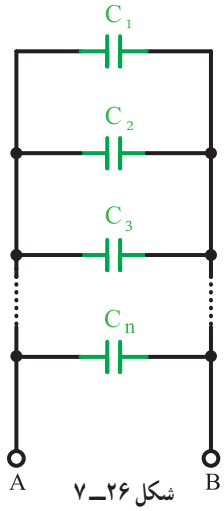
شکل ۷ــ۲۵

$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{6 \times 12}{6 + 12} = 4\mu F$$

همان‌گونه که از حل دو روش ملاحظه می‌کنید، نتیجه دو روش یک‌سان است.

❊ حالت خاص خازن‌های موازی

ــ اگر n خازن با ظرفیت‌های مساوی به‌طور موازی قرار گیرد ظرفیت معادل آن به صورت زیر محاسبه می‌شود.



شکل ۷ــ۲۶

$$C_T = n.C \quad (۱۲)$$

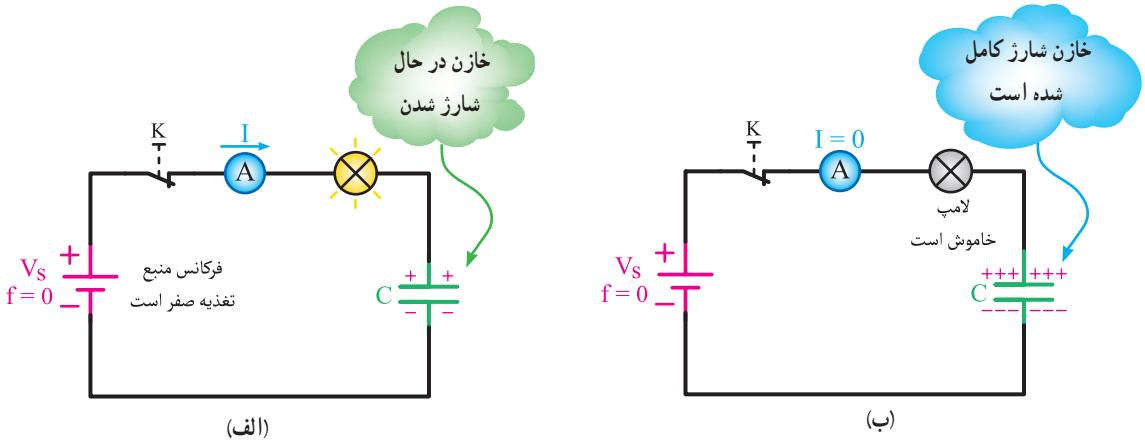
C ــ ظرفیت یک خازن

n ــ تعداد خازن‌ها

C_T ــ ظرفیت خازنِ معادل

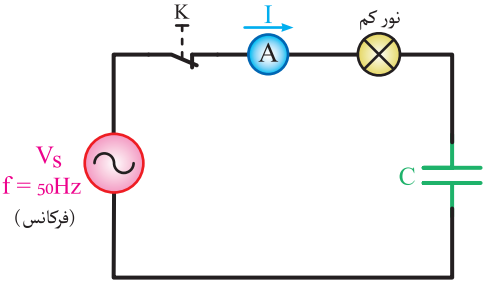
۹ــ۷ــ عملکرد خازن

۱ــ۹ــ۷ــ خازن در جریان مستقیم : همان‌گونه که گفته شد، اگر یک خازن را مطابق شکل ۲۷ــ۷ــ الف به ولتاژ مستقیم وصل کنیم مشاهده می‌کنیم پس از بسته‌شدن کلید K، خازن بلافاصله شارژ می‌شود، یعنی ولتاژ دو سر آن برابر ولتاژ منبع تغذیه می‌گردد. در نتیجه جریان گذرنده از آن به صفر می‌رسد. برای مشاهده عینی این پدیده می‌توانید یک لامپ کوچک را با خازن به صورت سری قرار دهید و وضعیت لامپ را پس از وصل کلید بررسی کنید (شکل ۲۷ــ۷ــ ب). عملکرد مدار به این صورت است که پس از وصل کلید جریان زیادی از مدار عبور می‌کند و لامپ برای یک لحظهٔ کوتاه روشن و سپس خاموش می‌شود. علت خاموش‌شدن لامپ این است که پس از وصل کلید خازن در زمان کوتاهی شارژ کامل می‌شود و ولتاژ دو سر آن برابر ولتاژ باتری (V_S) می‌شود. در آن حالت چون اختلاف پتانسیل بین خازن و منبع تغذیه وجود ندارد جریان عبوری از مدار صفر خواهد شد.



شکل ۲۷ــ۷

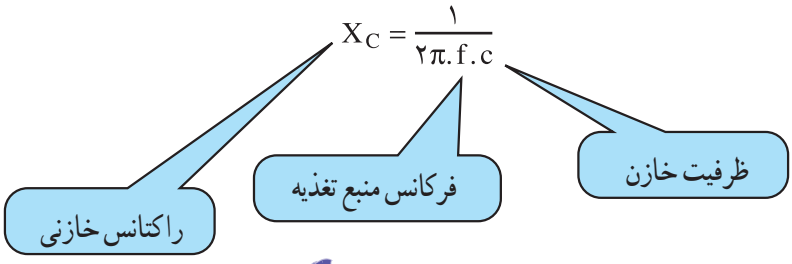
۲ــ۹ــ۷ــ خازن در جریان متناوب : اما اگر همین کار را توسط منبع ولتاژ متناوب سینوسی در دو سر خازن انجام دهیم، مشاهده می‌کنیم پس از وصل کلید آمپرمتر مقدار صفر را نشان نمی‌دهد و لامپ نیز خاموش نیست اما با نور کم‌تری، نسبت به نور اصلی خود، روشن می‌شود. از این مطلب می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد خازن در جریان متناوب نسبت به جریان مستقیم متفاوت است و در واقع خازن در جریان متناوب می‌تواند جریان عبوری از مدار را محدود کند (شکل ۲۸ــ۷).



شکل ۲۸ــ۷

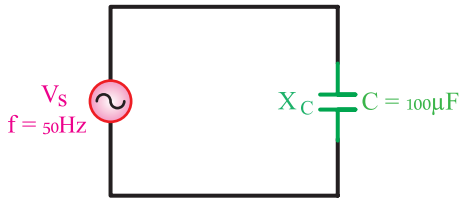
به مقدار مقاومتی که خازن در مقابل عبور جریان متناوب از خود نشان می‌دهد، «راکتانس (عکس‌العمل)خازنی» می‌گویند. این مقاومت باعث محدود شدن جریان مدارهای خازنی در جریان متناوب می‌شود. راکتانس خازنی را با X_C نشان می‌دهند و مقدار آن از رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

$$X_C = \frac{1}{2\pi . f . c}$$



در رابطهٔ فوق X_C راکتانس خازن برحسب اهم، f فرکانس ولتاژ یا جریان متناوب برحسب هرتز، C ظرفیت خازن برحسب فاراد است.

مثال : در مدار شکل زیر مقدار مقاومت خازنی را به‌دست آورید.

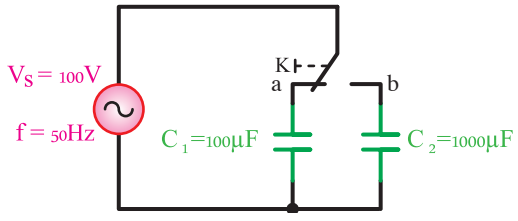


شکل ۲۹ــ۷

حل :

$$X_c = \frac{1}{2\pi.f.C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 100 \times 10^{-6}} = 31/8\Omega$$

مثال : جریان عبوری از مدار زیر در کدام حالت کلید (a یا b) بیش‌تر است؟



شکل ۳۰ــ۷

حل :

کلید در وضعیت a : در این حالت خازن ۱۰۰ میکروفاراد به منبع تغذیه ۱۰۰ ولتی متصل است. برای به‌دست‌آوردن جریان، ابتدا باید مقدار راکتانس خازنی را محاسبه نمود :

$$X_c = \frac{1}{2\pi.f.C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 100 \times 10^{-6}} = 31/8\Omega$$

با استفاده از قانون اهم، مقدار جریان به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$I = \frac{V}{X_c} = \frac{100}{31/8} = 3/14A$$

کلید در وضعیت b : مشابه وضعیت قبل، راکتانس خازنی و مقدار جریان را در این حالت نیز محاسبه می‌کنیم. در این حالت خازن ۱۰۰۰ میکرو فارادی دو سر منبع تغذیه قرار می‌گیرد، لذا داریم.

$$X_c = \frac{1}{2\pi.f.C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 100 \times 10^{-6}} = 31/8\Omega$$

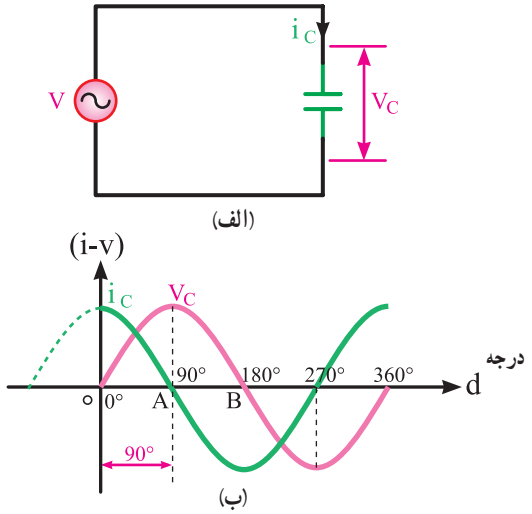
با استفاده از قانون اهم، مقدار جریان به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$I = \frac{V}{X_c} = \frac{100}{3/18} = 31/4A$$

۳ــ۹ــ۷ــاختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در مدار خازنی

: اگر در یک مدار الکتریکی با منبع جریان متناوب، فقط یک خازن وجود داشته باشد جریان عبوری از مدار به اندازهٔ ۹۰ درجه از ولتاژ دو سر آن جلوتر (پیش‌فاز) خواهد افتاد. در شکل ۳۱ــ۷ منحنی جریان گذرنده از خازن و ولتاژ دو سر خازن رسم

شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای تعیین میزان اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان خازن باید دو نقطهٔ مشابه از روی دو موج انتخاب کنیم (مانند دو نقطهٔ A و B) و سپس اختلاف بین این دو نقطهٔ شروع (صفر) را در نظر گرفت.



شکل ۳۱ــ ۷ــ منحنی ولتاژ و جریان خازن

۱۰ــ۷ــ انواع خازن

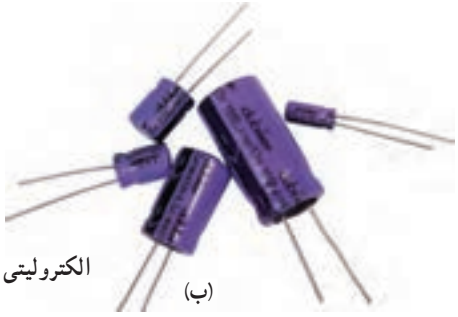
خازن‌ها انواع گوناگونی دارند و از لحاظ شکل و اندازه با یکدیگر متفاوت‌اند بعضی از خازن‌ها از روغن پرشده و حجیم‌اند. برخی دیگر بسیار کوچک و به اندازهٔ دانهٔ عدس‌اند. خازن‌ها برحسب ثابت‌بودن یا نبودن ظرفیت به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند :

- انواع خازن
  - ثابت
    - میکا
    - سرامیک
    - کاغذی
    - الکترولیتی
    - روغنی
  - متغیر
    - خازن هوا
    - خازن تریمر

الف) خازن ثابت : در خازن‌های ثابت، ظرفیت ثابت است و مقدار آن را پس از ساخت نمی‌توان تغییر داد. خازن‌های ثابت را معمولاً با جنس دی‌الکتریک آن نام‌گذاری می‌کنند. شکل ۳۲ــ۷ چند نمونه خازن ثابت را نشان می‌دهد.

میکا

(الف)


الکترولیتی

(ب)

سرامیک

(ج)

شکل ۳۲ــ۷ــ چند نمونه خازن ثابت

ب) خازن متغیر : خازن متغیر خازنی است که ظرفیت آن را در هر لحظه می‌توان تغییر داد و ظرفیت موردنظر را تنظیم نمود. اساس کار خازن متغیر بر مبنای تغییر سطح مشترک صفحات یا تغییر ضخامت دی‌الکتریکی است. شکل ۳۳ــ ۷ چند نمونه خازن متغیر را نشان می‌دهد.

(الف)

(ب)

(ج)

شکل ۳۳ــ۷ــ چند نمونه خازن متغیر

۱۱ــ۷ــ کاربرد خازن‌ها

از خازن‌ها در زمینه‌های مختلفی هم‌چون راه‌اندازی الکتروموتورها، کاهش زاویه اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان (اصلاح ضریب قدرت)، مدارهای الکترونیکی مانند صافی‌ها استفاده می‌شود. در زیر به دو نمونه کاربرد خازن در الکتروموتورها اشاره شده است.

الف) الکتروموتور تک‌فاز با خازن راه‌انداز : خازن‌های به کار رفته در این‌گونه موتورها برای کار به مدت فقط چند ثانیه در هر دفعه راه اندازی طراحی شده‌اند. پس از این زمان، کلیدی (تابع دور) که با آن سری شده است، باز می‌شود و خازن را از مدار خارج می‌کند. به این خازن‌ها که فقط در طول مدت راه‌اندازی در مدار هستند خازن راه‌انداز می‌گویند. خازن راه‌انداز الکترولیتی است. این خازن روی بدنهٔ موتور نصب می‌شود و استوانه‌ای شکل است. شکل ۳۴ــ۷ یک الکتروموتور با خازن راه‌انداز را نشان می‌دهد.

شکل ۳۴ــ۷ــ الکتروموتور با خازن راه انداز

این‌گونه الکتروموتورها در کمپرسورها، سیستم‌های تهویهٔ مطبوع، پمپ‌ها و سردخانه‌ها کاربرد دارند.

ب) الکتروموتور تک‌فاز با خازن دائم : در این الکتروموتورها کلیدی برای خارج‌کردن خازن وجود ندارد و خازن به‌صورت دائم در مدار باقی می‌ماند. دی‌الکتریک این خازن روغن است. ظرفیت خازن‌های روغنی به کار رفته در این‌گونه الکتروموتورها ۲ تا ۴۰ میکروفاراد بوده که نسبت به خازن الکترولیتی چند صد میکروفاراد کم‌تر است. قرار داشتن خازن به‌صورت دائم در مدار، باعث کاهش اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان موتور می‌شود و در نتیجه ضریب قدرت موتور را افزایش می‌دهد. هم‌چنین باعث افزایش راندمان موتور خواهد شد. شکل ۳۵ــ۷ یک الکتروموتور با خازن دائم کار را نشان می‌دهد.

از این الکتروموتور در پنکه‌ها، ماشین لباسشویی و آب‌میوه گیری استفاده می‌شود.

شکل ۳۵ــ۷ــ الکتروموتور با خازن دائم کار

پرسش‌های فصل هفتم

◄پرسش‌های چهار گزینه‌ای

۱ــ وضعیت جریان عبوری از مدار یک خازن در شرایط شارژ کامل چگونه است؟

الف) حداکثر　　ب) صفر　　ج) دو برابر　　د) حداقل

۲ــ اگر ده خازن ۱۰ میکرو فارادی را به صورت سری ببندیم ظرفیت معادل چند میکروفاراد است؟

الف) ۱　　ب) ۱۰۰　　ج) ۱۰　　د) ۰/۱

۳ــ دشارژ کردن سریع خازن یعنی :

الف) قطع و وصل کلید موجود در مدار خازن

ب) اتصال کوتاه کردن دوپایهٔ خازن

ج) اعمال ولتاژ به دوسر خازن

د) تخلیهٔ میدان مغناطیسی صفحات خازن

۴ــذخیرهٔ بار الکتریکی در خازن به این معنی است که بار :

الف) در آن حرکت می‌کند.　　ب) پس از قطع برق از بین می‌رود.

ج) در صفحات آن تخلیه می‌شود.　　د) پس از قطع برق باقی می‌ماند.

۵ــ ظرفیت یک خازن عبارت است از :

الف) توانایی مقدار باری که خازن می‌تواند ذخیره کند؛

ب) میزان سطح مشترک صفحات خازن،

ج) توانایی عمل مقدار ولتاژی که به خازن وصل می‌شود،

د) میزان جریانی که از خازن عبور می‌کند.

۶ــ اگر ولتاژ دو سر خازن با ولتاژ منبع تغذیه برابر شود یعنی خازن ..... و جریان مدار ..... است.

الف) شارژ شده ــ حداکثر　　ب) دشارژ شده ــ حداکثر

ج) شارژ شده ــ صفر　　د) دشارژ شده ــ صفر

◄پرسش‌های پرکردنی

۷ــظرفیت خازنِ معادل در مدار سری از ظرفیت خازن‌های موجود در مدار ..... است.

۸ــمقدار بار الکتریکی ذخیره شده در خازن از رابطه ..... به دست می‌آید.

◄پرسش‌های درست و نادرست

۹ــ هر چه ضریب دی‌الکتریک مادهٔ عایق به کار رفته در خازن زیادتر باشد ظرفیت خازن بیش‌تر است.

درست ☐　نادرست ☐

۱۰ــ ظرفیت یک خازن با فاصلهٔ بین صفحات آن رابطهٔ مستقیم دارد.

درست ☐　نادرست ☐

◀پرسش‌های تشریحی

۱۱ــ ساختمان خازن را شرح دهید.

۱۲ــ شارژ و دشارژ خازن را توضیح دهید.

۱۳ــ ظرفیت خازن به چه عوامل فیزیکی بستگی دارد؟

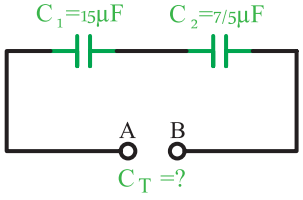
۱۴ــ ثابت زمانی خازن را تعریف و رابطه آن را بنویسید.

۱۵ــ مشخصات مهم در انتخاب خازن را بیان کنید.

۱۶ــ عملکرد خازن را در جریان متناوب شرح دهید.

۱۷ــ راکتانس خازنی چیست؟ رابطهٔ آن را بنویسید.

۱۸ــ در مدار شکل ۳۶ــ۷ مقدار ظرفیت کل را محاسبه کنید.



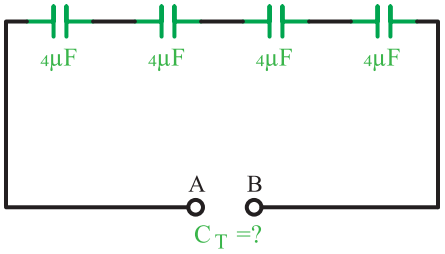
شکل ۳۶ــ۷

پاسخ‌ها :

الف) $5\mu F$

۱۹ــ در مدار شکل ۳۷ــ۷ مقدار ظرفیت کل چند میکرو فاراد است؟

پاسخ : $1\mu F$



شکل ۳۷ــ۷

۲۰ــ در یک خازن، ۳۴ میکرو کولن بار الکتریکی ذخیره شده است. اگر ولتاژ دو سر خازن ۱۰ ولت باشد، ظرفیت آن چند میکرو فاراد بوده است؟

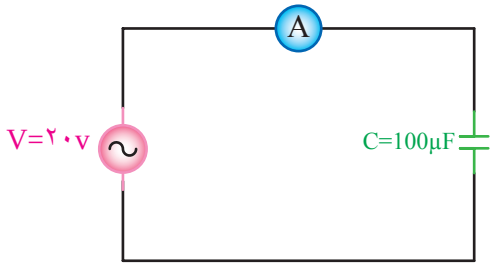
پاسخ : $3/4\,\mu F$

۲۱ــ اگر یکی از صفحات خازن را به اندازه $\frac{d}{2}$ به صفحهٔ دیگر نزدیک کنیم، ظرفیت آن چه تغییری می‌کند؟

پاسخ : دو برابر می‌شود $C_2=2C_1$

۲۲ــ در شکل ۳۸ــ۷ آمپرمتر ۱/۲۵۶ آمپر را نشان می‌دهد. فرکانس منبع چند هرتز است؟ $(\pi = ۳/۱۴)$

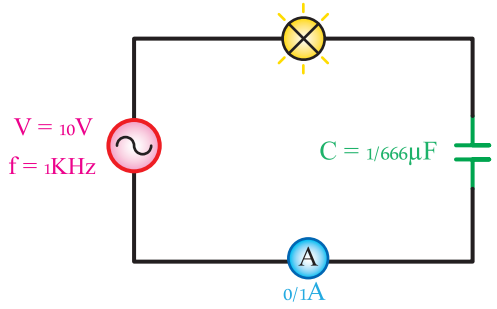
پاسخ : ۱۰۰Hz



شکل ۳۸ــ۷

۲۳ــ در شکل ۳۹ــ۷ اگر ظرفیت خازن دو برابر شود، جریان مدار و نور لامپ چه تغییری می‌کند؟ $(\pi = ۳)$

پاسخ : نور لامپ افزایش می‌یابد، $I=۰/۲_A$



شکل ۳۹ــ۷

ترانسفورماتور

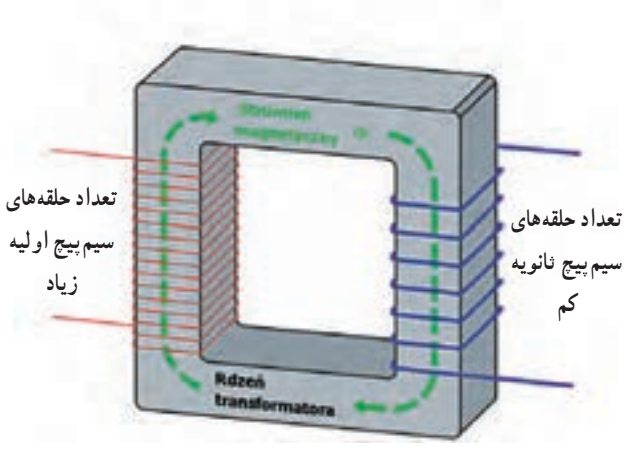
هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

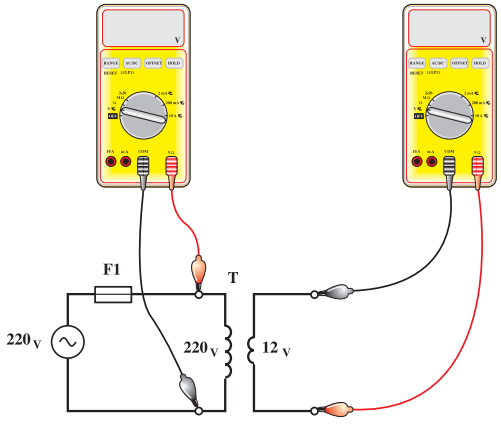
۱ــ ترانسفورماتور را تعریف کند.

۲ــ ساختمان ترانسفورماتورهای تک فاز را شرح دهد.

۳ــ اساس کار ترانسفورماتور را شرح دهد.

۴ــ انواع ترانسفورماتورهای تک فاز را نام ببرد.





سیمای فصل ۸

ـ ترانسفورماتور تک فاز

ـ ساختمان ترانسفورماتور

ـ سیم‌پیچ

ـ هسته

ـ اساس کار ترانسفورماتور

ـ انواع ترانسفورماتورها

ـ کاهنده

ـ افزاینده

آشنایی با دانشمندان

هنریچ لنز
(۱۸۰۴ـ۱۸۶۵)

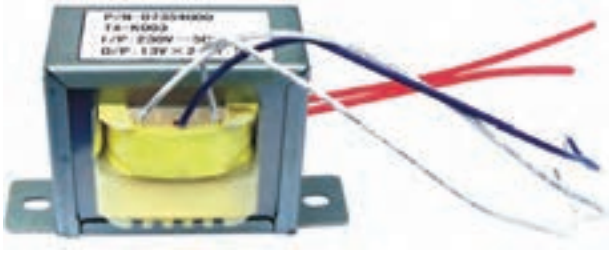
هنریچ لنز در سال ۱۸۰۴ در شهر «تارکو» اِسکونیا (روسیه فعلی) به دنیا آمد. او استاد دانشگاه سن‌پترزبورگ بود که پس از «فارادی» آزمایشات بسیاری را انجام داد. قانون الکترومغناطیسی که قطبیت ولتاژ دو سر یک سیم‌پیچ که به واسطهٔ تغییر جریان به‌وجود می‌آید، به افتخار او تحت عنوان قانون لنز نامیده شده است. از دوران اولیهٔ زندگی او اطلاعات کمی در دست است، اما تصور می‌شود که او در ابتدا برای کشیش شدن مطالعه می‌کرده است.

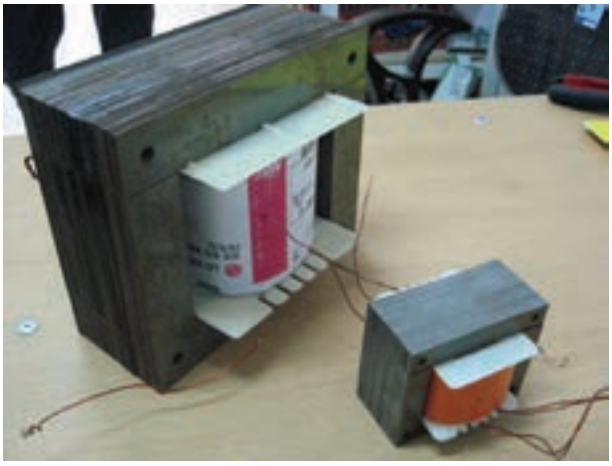
۸ــ ترانسفورماتور

۱ــ۸ــ ترانسفورماتور تک فاز

ترانسفورماتور، یک ماشین الکتریکی مبدّل (تبدیل کننده) است که از آن در شبکه‌ها و وسایل الکتریکی و الکترونیکی استفاده می‌شود. ترانسفورماتور در نوع انرژی الکتریکی تغییری ایجاد نمی‌کند و فقط انرژی الکتریکی را با مقادیر ولتاژ و جریانی مشخص دریافت می‌کند و آن را با مقادیر ولتاژ و جریانی دیگر تحویل می‌دهد.

نمونه‌هایی از ترانسفورماتور را در شکل ۱ــ۸ مشاهده می‌کنید.

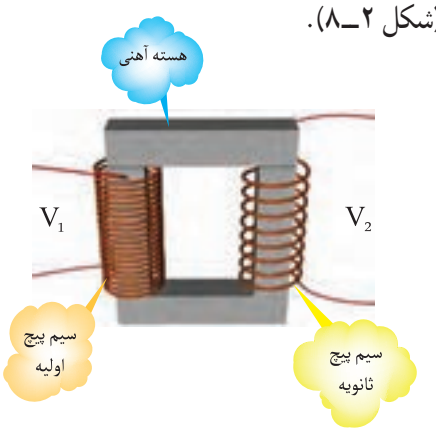




شکل ۱ــ۸ــ نمونه‌هایی از ترانسفورماتور

۲ــ۸ــ ساختمان ترانسفورماتور

ترانسفورماتور از یک هستهٔ آهنی تشکیل می‌شود که بر روی آن دو سیم‌پیچ قرار دارد. این دو سیم‌پیچ نسبت به یکدیگر و نسبت به هستهٔ آهنی عایق‌اند و هیچ ارتباط الکتریکی بین آن‌ها برقرار نیست. سیم‌پیچی که به منبع ولتاژ متصل می‌شود «سیم‌پیچ اولیه»[۱] نام دارد. این سیم‌پیچ انرژی الکتریکی را تحت ولتاژ V_1 و جریان I_1 دریافت می‌کند. سیم‌پیچی که به مصرف‌کننده متصل می‌شود «سیم‌پیچ ثانویه»[۲] نامیده می‌شود. این سیم‌پیچ انرژی الکتریکی را تحت ولتاژ V_2 و جریان I_2 در اختیار مصرف کننده قرار می‌دهد (شکل ۲ــ۸).



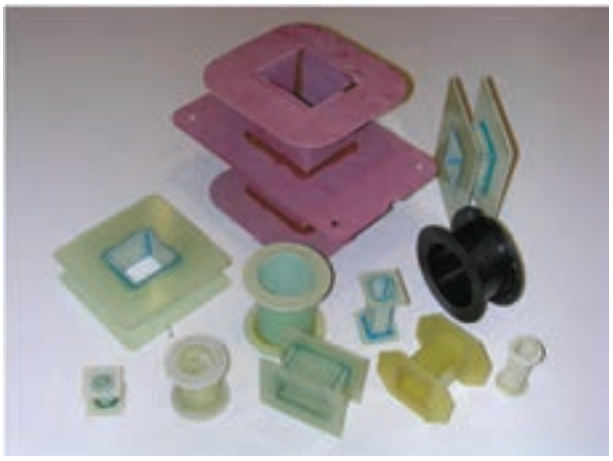
شکل ۲ــ۸ــ ساختمان ترانسفورماتور

در شکل ۳ــ۸ علامت اختصاری ترانسفورماتور را مشاهده می‌کنید.

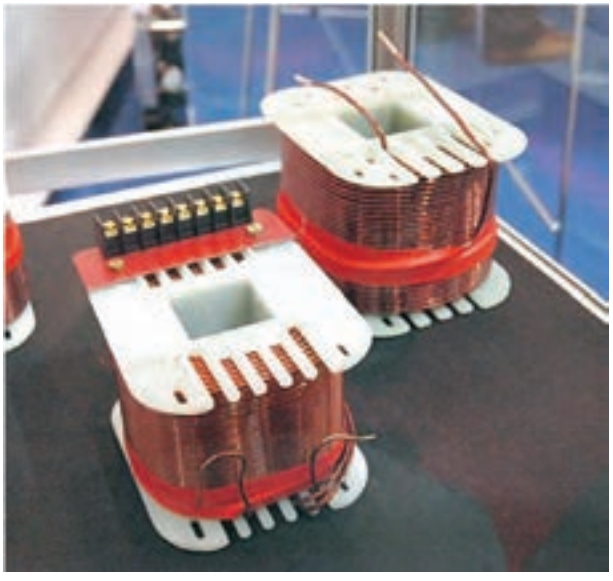
شکل ۳ــ۸ــ علامت اختصاری ترانسفورماتور

۱ــ۲ــ۸ــ سیم‌پیچ ترانسفورماتور: سیم‌پیچی ترانسفورماتور معمولاً از جنس مس پیچیده می‌شود. سطح مقطع سیم‌های ترانس متناسب با جریان مورد نیاز مصرف کننده محاسبه می‌شود. سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتورها را معمولاً با استفاده از سیم‌های لاکی با مقطع گرد و بر روی قرقره‌های پلاستیکی (ترموپلاست) می‌پیچند. تعداد (دور حلقه‌های) سیم‌پیچ اولیه و ثانویه ترانسفورماتورها را به ترتیب با حروف N_1 و N_2 نشان می‌دهند. شکل ۴ــ۸ نمونهٔ قرقره‌های خالی و شکل ۵ــ۸ نمونهٔ قرقرهٔ سیم‌پیچی شده را نشان می‌دهند.

۱ــ Perimery winding ۲ــ Secondery winding

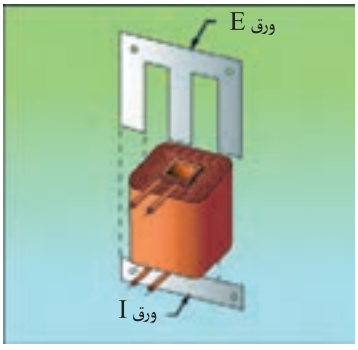


شکل ۴ــ۸ــ قرقرهٔ بدون سیم پیچی



شکل ۵ــ ۸ــ قرقرهٔ سیم پیچی شده

۲ــ۲ــ۸ــ هستهٔ ترانسفورماتور : جنس هستهٔ ترانسفورماتور آهن نرم سیلیس‌دار است، که اصطلاحاً به آن «دینامو‌بلش» می‌گویند. برای کاهش تلفات درترانسفورماتورها باید هستهٔ آن‌ها به صورت ورق ورق ساخته و نصب شود. ورق‌های I و E از جمله ورق‌های پرکاربرد در زمینهٔ ساخت ترانسفورماتورها هستند. در شکل ۶ــ۸ هستهٔ ترانس و چند نمونه از ورق‌های مختلف نشان داده شده است.



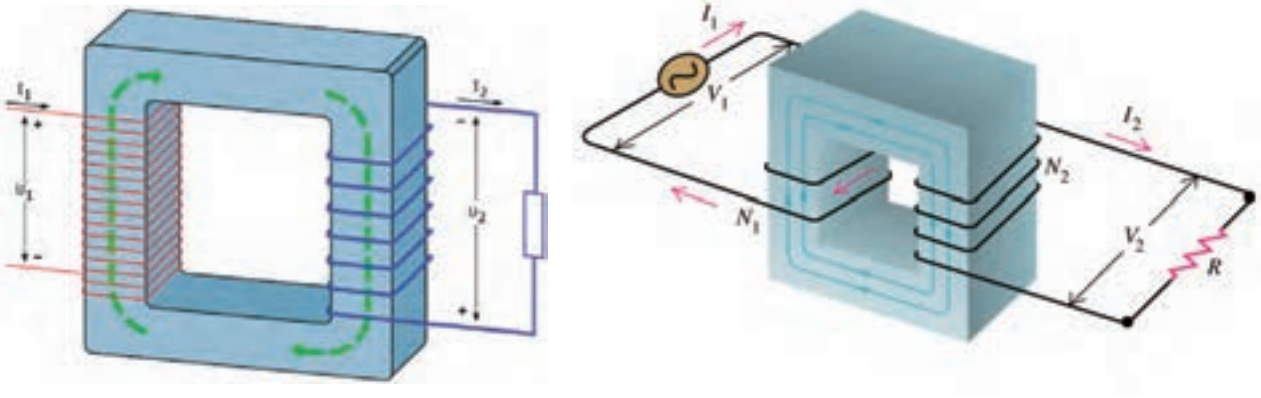
شکل ۶ــ۸ــ هستهٔ ترانسفورماتور

۳ــ۸ــ اساس کار ترانسفورماتور

اساس کار ترانسفورماتور بر مبنای اثر میدان‌های مغناطیسی (القای متقابل) بین سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه است. هرگاه سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتوری را مطابق شکل ۷ــ۸ به یک منبع ولتاژ متناوب با ولتاژ V_1 وصل کنیم، جریانی از آن عبور می‌کند و در

فضای اطراف سیم‌پیچ اولیه تولید میدان مغناطیسی می‌کند. این میدان، پس از عبور از هستهٔ ترانس، سیم‌پیچ‌های ثانویه را قطع و ولتاژ V_2را در آن‌ها القا می‌کند. اگر در سیم‌پیچ‌های ثانویه ترانسفورماتور مصرف‌کننده (بار) قرار گیرد چون مسیر آن بسته می‌شود جریان I_2 در آن جاری می‌شود.

در یک ترانسفورماتور مطلوب (ایده‌آل) رابطهٔ (۱) همواره



شکل ۷ــ۸ــ اساس کار ترانسفورماتور

صادق است، که به آن رابطهٔ اساسی ترانسفورماتور می‌گویند.

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (1)$$

کمیّت‌های به‌کار رفته در این رابطه عبارت‌اند از :

V_1 ــ ولتاژ منبع تغذیه　　V_2 ــ ولتاژ دو سر مصرف کننده

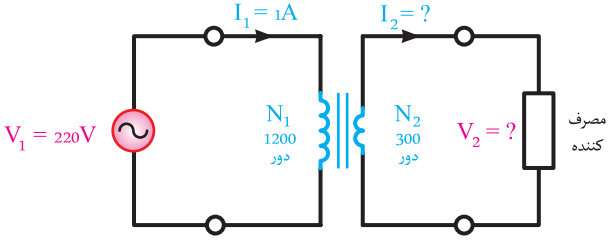
N_1 ــ تعداد حلقه‌های اولیه　　N_2 ــ تعداد حلقه‌های ثانویه

I_1 ــ جریان سیم‌پیچ اولیه　　I_2 ــ جریان سیم‌پیچ ثانویه

اصطلاحاً به a ضریب تبدیل ترانسفورماتور گفته می‌شود چرا که به کمک آن می‌توان نسبت تبدیل ولتاژها، جریان‌ها و تعداد دور سیم‌پیچی ترانسفورماتور را حساب کرد.

مثال : در یک ترانسفورماتور مطلوب (ایده‌آل)[1] سیم‌پیچ اولیه دارای ۱۲۰۰ حلقه و سیم‌پیچ ثانویه دارای ۳۰۰ حلقه است. اگر سیم‌پیچ اولیه رابه منبع تغذیه ۲۲۰ ولتی متصل کنیم ترانسفورماتور در خروجی خود چند ولت تحویل می‌دهد؟ اگر ترانسفورماتور از منبع تغذیه ۱ آمپر جریان دریافت کند، چه جریانی به مصرف‌کننده تحویل می‌دهد؟

حل : از رابطهٔ اساسی ترانسفورماتور داریم :



شکل ۸ــ۸

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow \frac{I_2}{1} = \frac{220}{55}$$

$$\Rightarrow V_2 = 300 \times \frac{220}{1200} \Rightarrow \boxed{V_2 = 55V}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow \frac{I_2}{1} = \frac{220}{55}$$

$$\Rightarrow I_2 = 1 \times \frac{220}{55} \Rightarrow \boxed{I_2 = 4A}$$

۱ــ ترانسفورماتور مطلوب (ایده‌آل) ترانسفورماتوری است که هیچ گونه تلفاتی نداشته باشد یعنی $P_1 = P_2$ (توان ورودی = توان خروجی)

سطح مقطع سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور نشان‌دهندهٔ مقدار جریان قابل تحمل آن‌هاست. هر چه سطح مقطع سیم‌پیچ بزرگ‌تر باشد، جریان بیش‌تری می‌توان از آن عبور داد. بدیهی است سیم‌پیچ با سطح مقطع سیم کوچک‌تر تحمل جریان عبوری کم‌تری دارد.

۴ــ۸ــ انواع ترانسفورماتورها

ترانسفورماتورها را از نظر مقدار ولتاژ خروجی نسبت به ولتاژ ورودی به دو دسته می‌توان تقسیم کرد.

الف) ترانسفورماتور کاهنده

ب) ترانسفورماتور افزاینده

۱ــ۴ــ۸ــ ترانسفورماتور کاهنده : ترانسفورماتور کاهنده به ترانسفورماتوری گفته می‌شود که ولتاژ ثانویهٔ آن کم‌تر از ولتاژ اولیه است؛ یعنی

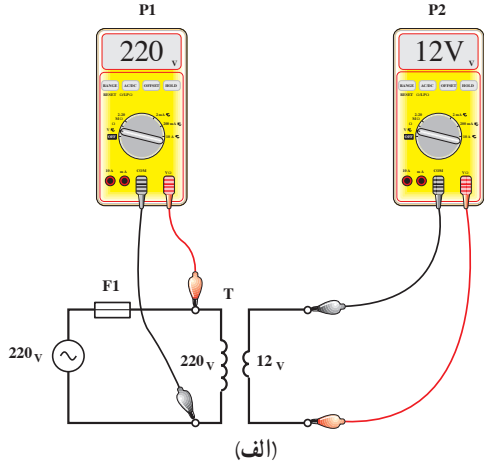
$$V_۲ < V_۱$$

بر پایهٔ این تعریف و رابطهٔ ضریب تبدیل می‌توان نتیجه گرفت که در ترانسفورماتور کاهنده تعداد دور سیم‌پیچ‌های ثانویه از سیم‌پیچ‌های اولیه کم‌تر است؛ یعنی

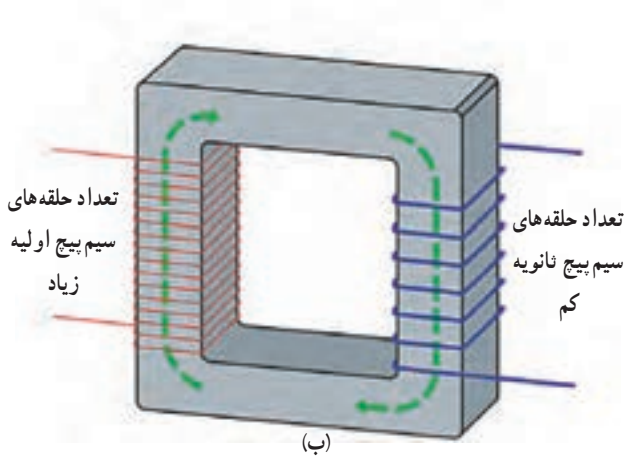
$$N_۲ < N_۱$$

شکل ۹ــ۸ الف و ب تصاویری از ترانسفورماتور کاهنده را نشان می‌دهد. همان‌طوری که از شکل مشاهده می‌شود، سمتی که ولتاژ بیش‌تری دارد (اولیه) دارای تعداد دور سیم‌پیچ بیش‌تری است.

معمولاً از این ترانسفورماتورها زمانی استفاده می‌شود که ولتاژ کار مصرف‌کننده از ولتاژ منبع تغذیه کم‌تر باشد، مانند



(الف)



(ب)

شکل ۹ــ۸ــ ترانسفورماتور کاهنده

ترانس‌های جوش‌کاری و ترانسفورماتورهایی که در دستگاه‌های جوش‌کاری و لوازم خانگی مانند رادیو ــ ضبط به کار می‌روند. در برخی آداپتورها نیز از این نوع ترانسفورماتور استفاده می‌شود.

۲ــ۴ــ۸ــ ترانسفورماتور افزاینده : ترانسفورماتور افزاینده ترانسفورماتوری است که ولتاژ ثانویهٔ آن بیش‌تر از ولتاژ اولیه است؛ یعنی

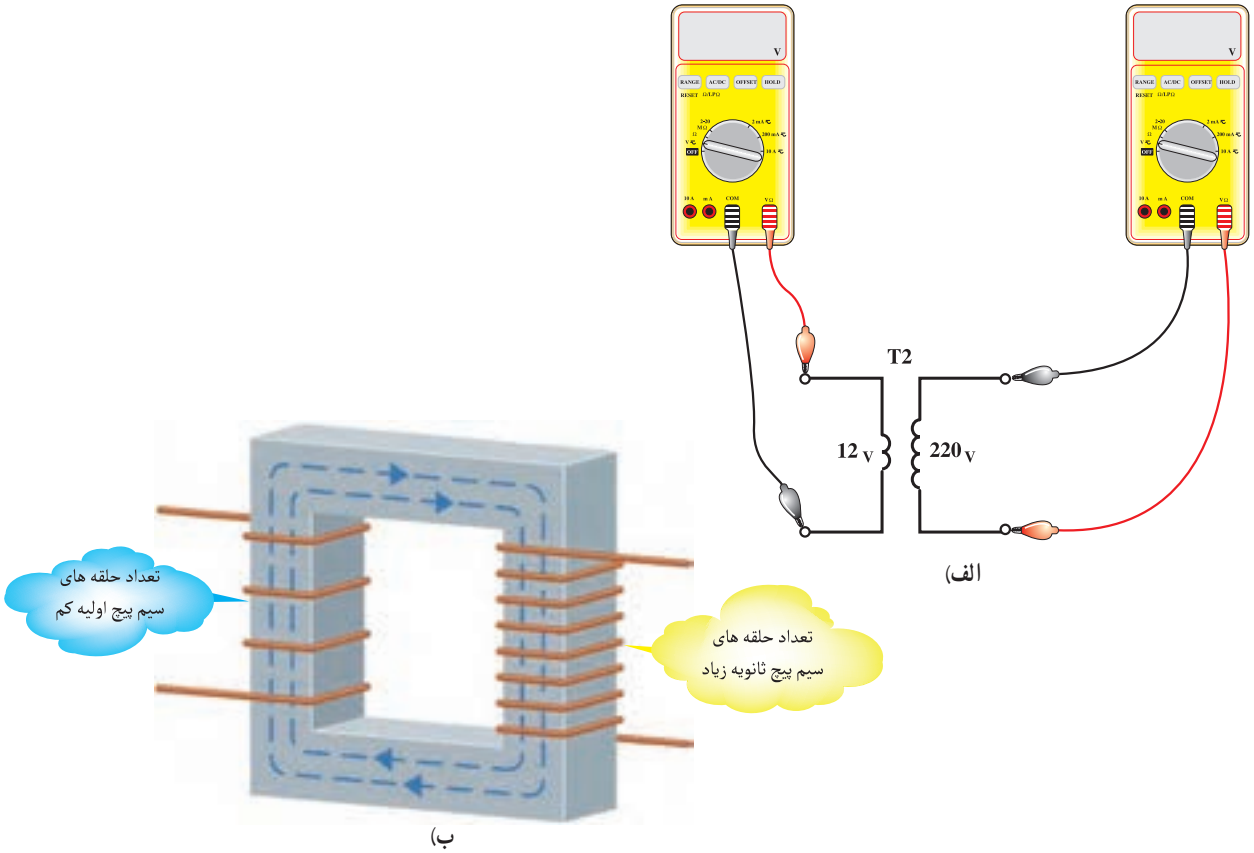
$$V_۲ > V_۱$$

با توجه به تعریف فوق و رابطهٔ ضریب تبدیل، می‌توان نتیجه گرفت که در ترانسفورماتور افزاینده تعداد دور سیم‌پیچ‌های ثانویه از سیم‌پیچ‌های اولیه بیش‌تر است؛ یعنی

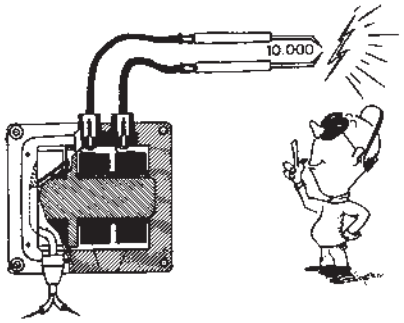
$$N_۲ > N_۱$$

شکل ۱۰ــ۸ تصویری از این ترانسفورماتورها را نشان می‌دهد. همان‌طوری که از شکل مشاهده می‌شود، سمتی که ولتاژ بیش‌تری دارد (ثانویه) دارای تعداد دور سیم‌پیچ بیش‌تری است.

از این ترانسفورماتورها در مواردی که مصرف‌کننده به ولتاژی بیش‌تر از ولتاژ منبع تغذیه (شبکهٔ برق) نیاز داشته باشد، استفاده می‌شود. از جملهٔ این موارد می‌توان ترانسفورماتورهای انتقال انرژی الکتریکی در شبکه‌های برق یا ترانسفورماتور جرقهٔ مشعل‌های گازوئیلی را نام برد. در مشعل گازوئیلی ترانس جرقه، ولتاژ ۲۲۰ ولت را تا حدود ۱۰۰۰۰ ولت افزایش می‌دهد در شکل ۱۱ــ۸ یک نمونه ترانس جرقه نشان داده شده است.



شکل ۱۰ــ۸ــ ترانسفورماتور افزاینده



شکل ۱۱ــ۸ــ ترانس جرقه در مشعل گازوئیلی

پرسش‌های فصل هشتم

◀ پرسش‌های چهار گزینه‌ای

۱ــ کدام یک از روابط زیر، رابطهٔ اساسی ترانسفورماتور است؟

الف) $a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$ ب) $a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_1}{I_2}$

ج) $a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_2}{I_1}$ د) $a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$

۲ــ کدام یک از گزینه‌های زیر برای ترانس‌کاهنده صادق نیست؟

الف) $V_2 < V_1$ ب) $N_2 > N_1$ ج) $I_1 < I_2$ د) $I_1 = I_2$

۳ــ کدام یک از گزینه‌های زیر نمونهٔ ترانس کاهنده نیست؟

الف) آداپتور ب) ترانس جوش‌کاری

ج) ترانس رادیو ضبط د) ترانس جرقهٔ مشعل گازوئیل

◀ پرسش‌های پرکردنی

۴ــ به جنس هستهٔ ترانسفورماتور اصطلاحاً ..... می‌گویند.

۵ــ اساس کار ترانسفورماتور بر مبنای اثر ..... بین سیم‌پیچ همان اولیه و ثانویه است.

۶ــ در مشعل گازوئیلی ترانس جرقه، ولتاژ ۲۲۰ ولت را به حدود ..... می‌رساند.

◀ پرسش‌های درست و نادرست

۷ــ در ترانسفورماتور یک به یک ولتاژ خروجی از ولتاژ ورودی بیش‌تر است.

درست ☐ نادرست ☐

۸ــ سطح مقطع سیم‌های ترانسفورماتور متناسب با جریان مورد نیاز مصرف‌کننده محاسبه می‌شود.

درست ☐ نادرست ☐

۹ــ ترانسفورماتور در نوع انرژی تغییری ایجاد نمی‌کند.

درست ☐ نادرست ☐

◀ پرسش‌های تشریحی

۱۰ــ ترانسفورماتور را تعریف کنید.

۱۱ــ ساختمان ترانسفورماتورهای تک فاز را شرح دهید.

۱۲ــ انواع ترانسفورماتورهای تک فاز را نام ببرید.

۱۳ــ اساس کار ترانسفورماتور و چگونگی القا را شرح دهید.

۱۴ــ رابطهٔ ضریب تبدیل ترانسفورماتور را بیان کنید.

۱۵ــ ترانسفورماتور کاهنده و افزاینده را بیان کنید.

۱۶ــ ارتباط بین ولتاژها، جریان‌ها و تعداد دور سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور را بیان کنید.

۱۷ــ یک ترانسفورماتور ایده‌آل تعداد ۱۲۰۰ دور سیم‌پیچ در اولیه و ۱۰۰ دور در ثانویهٔ خود دارد. اگر سیم‌پیچ اولیهٔ آن را به شبکهٔ برق ایران متصل کنیم، چه ولتاژی در خروجی آن ظاهر می‌شود؟

پاسخ : ۱۸/۳۳V

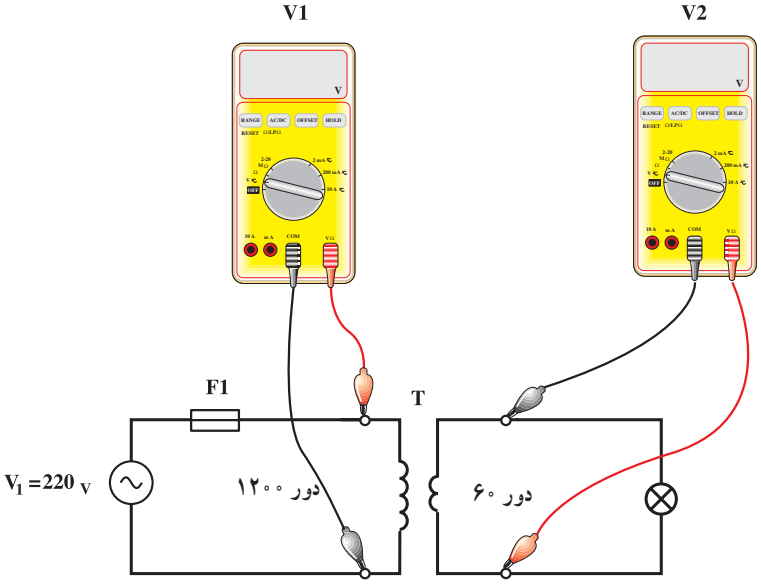
۱۸ــ برای تبدیل ولتاژ ۲۲۰ ولت به ۲۴ ولت از یک ترانسفورماتور کاهنده استفاده شده است. نسبت تعداد دورهای سیم‌پیچ ثانویه به اولیهٔ این ترانسفورماتور چه‌قدر است؟

پاسخ : ۰/۱۱ یا $\frac{۶}{۵۵}$

۱۹ــ در شکل ۱۲ــ۸ هر یک از ولت‌سنج‌ها چه عددی را نشان می‌دهند؟

پاسخ : $V_۱ = ۲۲۰\ V$

$V_۲ = ۱۱\ V$



شکل ۱۲ــ۸

فصل ۹

موتورهای الکتریکی جریان متناوب

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ انواع موتورهای الکتریکی از نظر نوع جریان الکتریکی را نام ببرد.

۲ــ انواع موتورهای جریان متناوب را از نظر نحوهٔ عملکرد نام ببرد.

۳ــ ساختمان داخلی و اصول کار موتورهای آسنکرون (القایی) را شرح دهد.

۴ــ اطلاعات روی پلاک مشخصات الکتروموتورهای سه فاز آسنکرون را توضیح دهد.

۵ــ اتصالات ستاره و مثلث را از نظر شکل اتصال، حروف اختصاری روی تخته کِلِم با هم مقایسه کند.

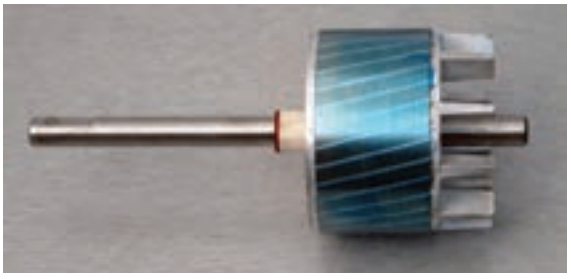
۶ــ روش‌های راه‌اندازی موتورهای سه فاز آسنکرون در شبکهٔ سه فاز را توضیح دهد.

۷ــ چگونگی راه‌اندازی موتورهای سه فاز آسنکرون در شبکه تک‌فاز را شرح دهد.

۸ــ ساختمان داخلی و اصول کار موتورهای القایی تک فاز را شرح دهد.

۹ــ چگونگی راه‌اندازی و کاربرد انواع موتورهای تک‌فاز را شرح دهد.

۱۰ــ پلاک اتصالات (تخته کِلِم) موتور تک‌فاز را شرح دهد.



سیمای فصل ۹

- موتورهای الکتریکی
- ساختمان داخلی موتورهای آسنکرون
  - استاتور
  - روتور
    - روتور قفسی
    - روتور سیم‌پیچی
- موتورهای آسنکرون سه فاز
- آشنایی با پلاک مشخصات موتورهای سه فاز
- نکاتی دربارهٔ انتخاب موتورهای الکتریکی
- راه‌اندازی موتورهای سه فاز آسنکرون
  - راه‌اندازی به صورت مستقیم
  - راه اندازی به صورت ستاره ـ مثلث
- راه‌اندازی موتورهای سه فاز آسنکرون در شبکهٔ تک فاز
- آشنایی با الکتروموتورهای تک فاز
  - ساختمان موتورهای تک‌فاز
  - اصول کار موتورهای تک‌فاز
  - انواع موتورهای تک‌فاز
- پلاک اتصال موتورهای تک‌فاز
- آشنایی با پلاک مشخصات الکتروموتورهای تک‌فاز

آشنایی با دانشمندان

ماکسول

(Maxwell, James Clerk / ۱۸۷۹ــ۱۸۳۱)

ماکسول در اسکاتلند به دنیا آمد. او از کودکی بسیار کنجکاو و دقیق بود و به بازی با ماشین و دستگاه‌های مکانیکی علاقهٔ زیادی داشت. هنگامی که ۹ ساله بود مادرش در اثر ابتلا به بیماری سرطان درگذشت. همین بیماری ۳۹ سال بعد او را نیز از پای درآورد. رفته‌رفته علاقه و توجه او به ریاضیات زیادتر شد و در این زمینه استعداد فوق‌العاده‌ای از خود نشان داد. او در ۱۴ سالگی موفق به اخذ مدالی در ریاضیات شد و سال بعد مقاله‌ای در مورد ترسیم منحنی‌های بیضوی کامل به انجمن سلطنتی ادینبورو ارائه داد. او پس از مدتی تحصیل در دانشگاه ادینبورو وارد دانشگاه کیمبریج شد و سپس سمت استادی دانشگاه ابردین را به‌دست آورد. او مدتی را به تحقیق دربارهٔ حلقه‌های زحل پرداخت و سپس با نبوغ و استعداد فوق‌العادهٔ خود در ریاضیات توانست با روش‌های آماری توزیع سرعت مولکول‌های گاز در یک دمای خاص و فاصلهٔ متوسط ذرات بین دو برخورد را به دست آورد. مهم‌ترین دستاورد ماکسول ابداع معادله‌هایی است که پدیده‌های الکتریکی و مغناطیسی را توجیه می‌کند و آن‌ها را به طرزی غیرقابل تفکیک به هم مرتبط می‌سازد. او ثابت کرد که همهٔ موج‌های الکترومغناطیسی با سرعت نور حرکت می‌کنند و در واقع نور دیدنی فقط جزءِ کوچکی از گسترهٔ وسیع موج‌های الکترومغناطیسی است.

۹ــ موتورهای الکتریکی جریان متناوب

مقدمه

موتورهای الکتریکی می‌توانند برای به‌کار انداختن انواع و اقسام وسایل به‌کار روند، به طوری که می‌توان گفت در کم‌تر خانه یا تأسیساتی است که از موتورهای الکتریکی استفاده نشود. به همین جهت داشتن اطلاعات کافی در زمینهٔ اصول کار، ساختمان داخلی و طرز کار موتورها برای ما تقریباً یک امر ضروری است. آشنایی با این موارد ما را در رفع عیوب ساده، تعویض قطعات یا انتخاب موتور مناسب با کار مورد نظر در تأسیسات الکتریکی یاری می‌کند. شکل ۱ــ۹ چند نمونه کاربرد موتور را نشان می‌دهد.

شکل ۱ــ۹ــ موتور الکتریکی

۱ــ۹ــموتورهای الکتریکی

موتورهای الکتریکی از نظر نوع جریان مصرفی به دو دسته تقسیم می‌شوند :

۱ــموتورهای جریان متناوب (AC)

۲ــ موتورهای جریان مستقیم (DC)

بیش‌تر موتورهایی که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند از نوع موتورهای با جریان متناوب (AC) هستند. موتورهای جریان متناوب خود به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند :

- موتورهای سنکرون
- موتورهای آسنکرون

برای راه‌اندازی موتورهای آسنکرون از یک منبع جریان متناوب استفاده می‌شود. ولتاژ متناوب به سیم‌پیچی استاتور اعمال می‌شود و در آن میدان مغناطیسی دوار تولید می‌کند در اثر نیروی وارد شده از طرف میدان دوار به روتور (قسمت گردان) موجب حرکت آن می‌شود.

در موتورهای سنکرون از دو منبع ولتاژ استفاده می‌شود به سیم‌پیچ‌های استاتور منبع ولتاژ متناوب و به سیم‌پیچ‌های روتور منبع ولتاژ مستقیم اعمال می‌شود.

موتورهای آسنکرون به‌دلیل سادگی ساختمان بیش‌تر از موتورهای سنکرون در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

موتورهای آسنکرون به دو دستهٔ کلی زیر تقسیم می‌شوند :

- موتورهای سه فاز
- موتورهای تک‌فاز

در شکل‌های ۲ــ۹ نمونه‌هایی از موتورهای سه فاز و تک‌فاز را مشاهده می‌کنید.

۲ــ۹ــ ساختمان داخلی موتورهای آسنکرون

ساختمان این موتورها از دو قسمت اصلی تشکیل شده است :

الف) استاتور (ساکن) : استاتور عبارت از یک استوانهٔ تو خالی است که از کنار هم قرار گرفتن ورقه‌های آهنی نازک، که نسبت به هم عایق هستند، ساخته شده است. در داخل این استوانه شیارهایی تعبیه شده است که سیم‌پیچ‌ها درون آن قرار می‌گیرند. معمولاً قبل از سیم‌پیچی، داخل شیارها را با کاغذ مخصوص مشابه شکل ۳ــ۹ــ ب می‌پوشانند. برای حفاظت سیم‌پیچ و ورق‌های استاتور، کل مجموعه در داخل یک پوسته قرار می‌گیرد. در شکل ۳ــ۹ــ الف و ج تصویر پوسته و سیم‌پیچ‌های درون شیار

الف) موتور تک‌فاز

ب) موتور سه فاز

شکل ۲ــ۹

الف)

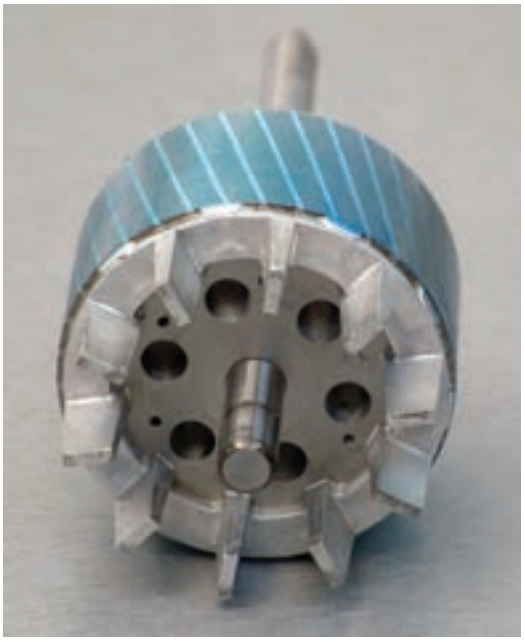
ب)

ج)

شکل ۳ــ۹

را مشاهده می‌کنید.

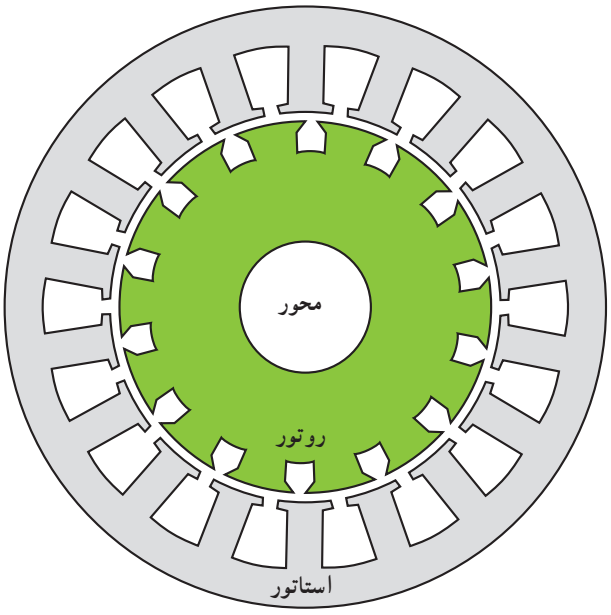
ب) روتـور (گـردنـده) :روتـور موتورهای آسنکرون از جنس آهن و به شکل استوانه ساخته شده که بر روی محوری قرار گرفته است (شکل ۴ــ۹). در داخل این استوانهٔ توپر



شکل ۴ــ۹

شیارهایی تعبیه شده که هادی‌های روتور در آن قرار می‌گیرد.

در شکل ۵ــ۹ تصویر واقعی و شماتیک استاتور و روتور



شکل ۵ــ۹

موتور آسنکرون را مشاهده می‌کنید.

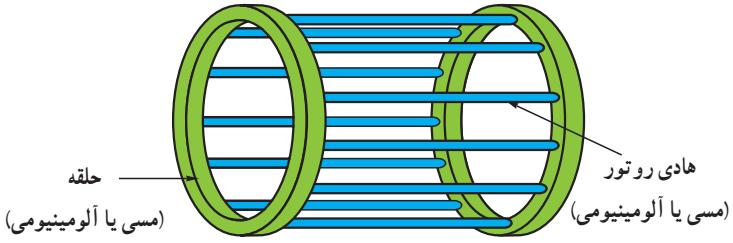
موتورهای سه فاز آسنکرون براساس نوع روتور به دو دسته کلی زیر تقسیم می‌شوند :

- روتور قفسی
- روتور سیم‌پیچی

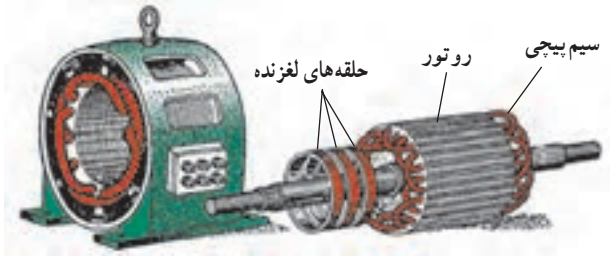
۱ــ روتور قفسی : در نوع روتور قفسی تعدادی میله از جنس آلومینیوم یا آلیاژهای دیگر در درون شیارهای روتور قرار می‌گیرد. این میله‌ها از هر دو طرف به دو حلقهٔ انتهایی متصل‌اند. چون شکل به دست آمده برای این روتور، شبیه یک قفس فلزی شکل ۶ــ۹ است[1]، به همین دلیل این‌گونه موتورهای القایی را «روتور قفسی» می‌گویند. حدود ۹۰٪ موتورهای الکتریکی جریان متناوب از نوع روتور قفسی هستند.

۲ــ روتور سیم‌پیچی : در نوع روتور سیم‌پیچی به جای استفاده از میله‌های آلومینیومی، از سه دسته سیم‌پیچی که داخل شیارهای روتور قرار گرفته است استفاده می‌شود (شکل ۷ــ۹).

۱ــ از آن‌جایی که شکل روتور شبیه قفس سنجاب است، در برخی کتاب‌ها به آن روتور قفس سنجابی می‌گویند.



شکل ۶ــ۹



شکل ۷ــ۹

بر روی محور این روتورها از سه حلقه (رینگ)، که نسبت به هم عایق شده‌اند، برای دادن جریان به سیم‌پیچی‌های روتور استفاده می‌شود.

در شکل ۸ــ۹ نمای برش خوردهٔ دو موتور سه فاز آسنکرون نشان داده شده است.

شکل ۸ــ۹

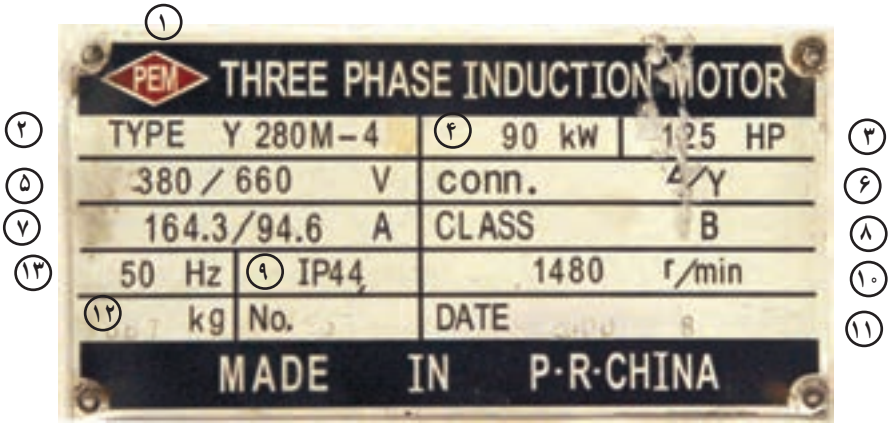
در این موتورها هیچ‌وقت سرعت روتور نمی‌تواند با سرعت میدان دوّار برابر باشد و همیشه کم‌تر (یا عقب‌تر) از سرعت میدان دوّار است. به همین دلیل این موتورها به موتورهای «آسنکرون» معروف‌اند.

۳ــ۹ــ آشنایی با پلاک مشخصات موتورهای سه‌فاز

برای انتخاب صحیح و مناسب موتور سه‌فاز باید به توضیحات روی پلاک مشخصات موتور کاملاً توجه نمود. شکل پلاک موتورهای سه‌فاز، هم‌چنین اطلاعات نوشته شدهٔ روی آن‌ها متفاوت است. شکل ۹ــ۹ یک نمونه پلاک موتور سه‌فاز را نشان می‌دهد. در جدول ۱ــ۹ توضیحات مربوط به قسمت‌های مختلف پلاک آمده است.

جدول ۱ــ۹

شماره	اطلاعات داده شده بر روی پلاک
۱	نام کارخانهٔ سازنده
۲	مدل (تیپ ماشین)
۳	قدرت موتور (برحسب اسب بخار)
۴	قدرت موتور برحسب کیلووات
۵	ولتاژ کار موتور (مقدار ولتاژ موتور برحسب ولت)
۶	نوع اتصال
۷	جریان (مقدار جریان موتور برحسب آمپر)
۸	کلاس عایقی
۹	نوع حفاظت
۱۰	سرعت موتور (برحسب دور در دقیقه)
۱۱	تاریخ ساخت
۱۲	وزن برحسب کیلوگرم
۱۳	فرکانس کار موتور (برحسب هرتز)



شکل ۹ــ۹

تحقیق کنید

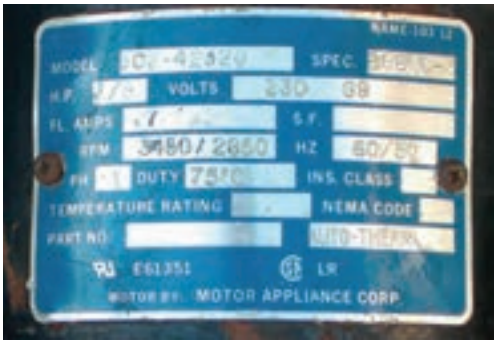
پلاک چند نوع موتور الکتریکی موجود در تأسیسات موتورخانه را بررسی و مشخصات آن را یادداشت کنید.

توجه: در ردیف نهم جدول ۱ــ۹ که نوع محافظت (ایمنی) به‌کار رفته در مقابل تماس و نفوذ اجسام خارجی و آب بیان می‌شود از دوحرف IP (حفاظت بین‌المللی ــ International Protection) و دورقم کد استفاده می‌شود. اولین رقم درجهٔ ایمنی را در مقابل تماس و نفوذ اجسام خارجی و دومین رقم درجهٔ ایمنی در مقابل نفوذ آب را نشان می‌دهد.

برای مثال اگر بر روی پلاک موتوری IP۴۴ نوشته شده باشد بیانگر آن است که این موتور در مقابل اجسام خارجی بزرگ‌تر از قطر ۱mm و هم‌چنین درمقابل پاشیده شدن آب، حفاظت شده است.

جدول حفاظت بین‌المللی (IP) در ضمیمهٔ کتاب آمده است.

در شکل ۱۰ــ۹ تصویر دو نمونه پلاک موتور نشان داده شده است.



شکل ۱۰ــ۹

۴ــ۹ــ پلاک اتصالات موتور (تخته کِلِم)

برای اتصال سیم‌پیچ‌های موتور سه‌فاز، سر سیم‌ها از داخل به ترمینال موتور هدایت می‌شوند، که اصطلاحاً به آن «تخته کِلِم» می‌گویند (شکل ۱۱ــ۹).

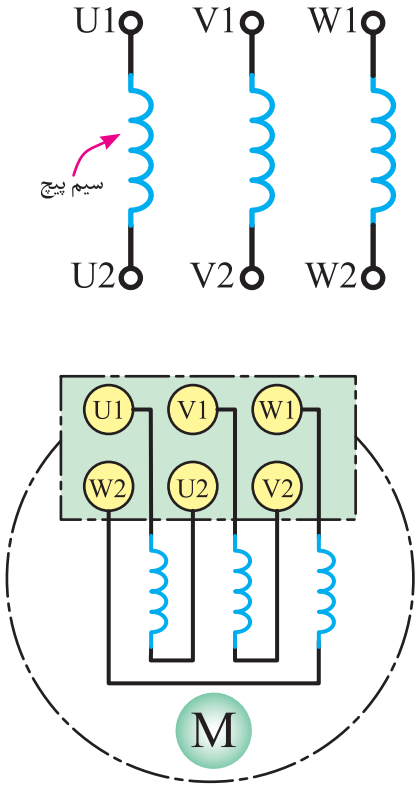
شکل ۱۱ــ۹

معمولاً سر و ته کلاف‌های یک موتور سه‌فاز در داخل تخته کلم با حروف و اعداد نشان داده می‌شود. در استاندارد VDE[1] به ترتیب برای نشان دادن سرکلاف‌های اول تا سوم از حروف U، V و W و برای ته کلاف‌ها به ترتیب از حروف X, Y و Z استفاده می‌شد. اما در استاندارد IEC [2] به ترتیب

۱ــ استاندارد اتحادیه برق‌کاران آلمان VDE

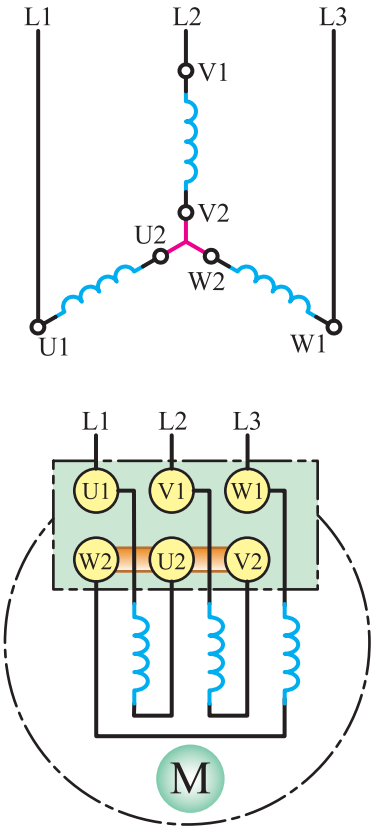
۲ــ استاندارد کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک IEC

سرکلاف‌ها با حروف (V1,U1 و W1) و ته کلاف‌ها با حروف (V2,U2 و W2) مشخص می‌شود. نحوهٔ قرار گرفتن سرسیم‌ها در زیرپیچ‌های تخته کلم مطابق شکل ۱۲ــ۹ است.



شکل ۱۲ــ۹

در اغلب موارد برای راه‌اندازی موتورهای سه‌فازهٔ سه گروه، سیم‌پیچی آن را به صورت ستاره (Y)، مثلث (Δ) یا ترکیب ستاره ــ مثلث (Y/Δ) اتصال می‌دهند. این اتصال‌ها اغلب توسط کلیدهای دستی یا کلیدهای مغناطیسی (کنتاکتورها) صورت می‌گیرد.



شکل ۱۳ــ۹ــ اتصال ستارهٔ سیم‌پیچ‌های موتور

شکل ۱۳ــ۹ تصویری از اتصال ستاره را به‌صورت مداری و هم‌چنین با استفاده از تسمه‌های مسی برروی تخته کلم در استاندارد آی‌ای‌سی (IEC) نشان می‌دهد.

شکل‌های ۱۴ــ۹ چگونگی ایجاد اتصال ستاره را با استفاده از تسمهٔ مسی برروی تخته کِلِم با حروف اختصاری جدید نشان می‌دهد.

۵ــ۹ــ راه‌اندازی موتورهای سه‌فاز آسنکرون

در شبکهٔ سه‌فاز، نحوهٔ اتصال موتورهای سه‌فاز آسنکرون به شبکهٔ الکتریکی را اصطلاحاً «راه‌اندازی» می‌گویند. موتورهای سه‌فاز معمولاً با یکی از روش‌های زیر راه‌اندازی می‌شوند :

الف) راه‌اندازی به صورت مستقیم : در این روش کابل خروجی از موتور مستقیماً به شبکهٔ برق سه‌فاز متصل می‌شود.

ب) راه‌اندازی به صورت ستاره مثلث : در موتورهای با توان بالا در لحظهٔ راه‌اندازی، جریان خیلی زیادی (حدود ۴ تا ۷ برابر جریان نامی موتور) از سیم‌پیچی‌های موتور عبور می‌کند و می‌تواند صدماتی به موتور وارد کند. لذا در آغاز موتور را به صورت ستاره راه‌اندازی می‌کنند اتصال موتور را به مثلث تغییر می‌دهند.

جدول ۲ــ۹ محدودهٔ توان موتورهای سه‌فازه در ولتاژهای مختلف را برای راه‌اندازی به روش‌های یادشده نشان می‌دهد.

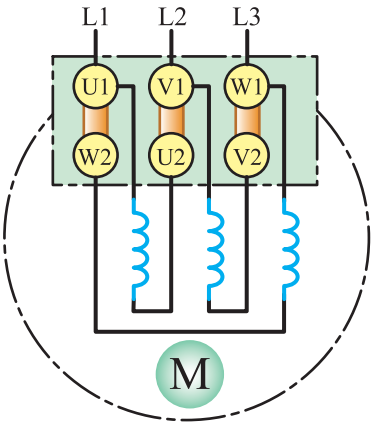
جدول ۲ــ۹ــ طرز اتصال موتورهای سه‌فاز به شبکه

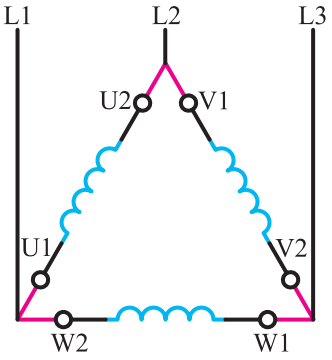
روش‌های راه‌اندازی	قدرت نامی	
	در شبکهٔ ۲۳۰V	در شبکهٔ ۴۰۰V
راه‌اندازی به صورت مستقیم	۳ kw تا ۱/۵ kw	۴ kw تا ۲/۲ kw
راه‌اندازی به صورت ستاره‌مثلث	۵/۵ kw تا ۳ kw	۱۱ kw تا ۴ kw

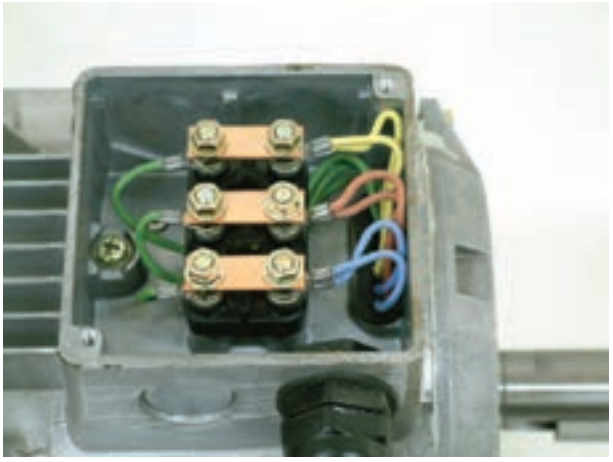
امروزه برای راه‌اندازی موتورهای با توان زیاد، از راه‌اندازهای الکترونیکی معروف به راه‌انداز نرم[1] استفاده می‌شود. در فصل الکترونیک این روش به اختصار توضیح داده شده است.

۶ــ۹ــ راه‌اندازی موتورهای سه‌فاز آسنکرون در شبکهٔ تک‌فاز

در صورت دسترسی نداشتن به شبکهٔ سه‌فازه، می‌توان یک موتور سه‌فاز آسنکرون را در شبکه تک‌فاز راه‌اندازی کرد.







شکل ۱۴ــ۹ــ اتصال مثلث سیم‌پیچ‌های موتور

شکل‌های ۱۴ــ۹ نیز تصویری از اتصال مثلث را به صورت مداری و هم‌چنین با استفاده از تسمه‌های مسی برروی تخته کلم نشان می‌دهد.

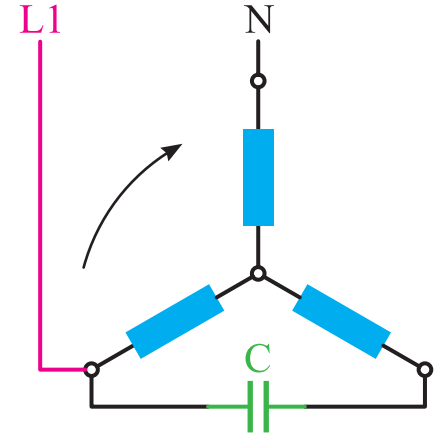
۱ــ Soft start

برای این که شرایط موتور دارای قدرت و گشتاور راه‌اندازی مناسب باشد، معمولاً از یک خازن روغنی در مدار سیم‌پیچی استاتور استفاده می‌شود. ظرفیت خازن مناسب را می‌توان از جدول ۳ــ۹ محاسبه کرد.

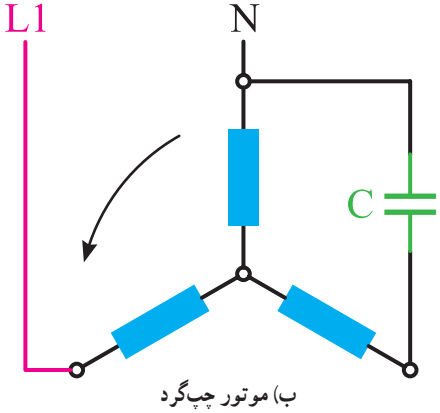
جدول ۳ــ۹ــ ظرفیت خازن روغنی راه‌انداز موتور سه‌فاز در شبکهٔ تک‌فاز

ظرفیت خازن به ازای هر اسب بخار توان	ظرفیت خازن به ازای هر کیلووات توان
۵۰ میکروفاراد	۷۰ میکروفاراد

نحوهٔ قرار گرفتن خازن در مسیر سیم‌پیچی‌های موتور نیز به دو صورت می‌تواند باشد. شکل ۱۵ــ۹ وضعیت اتصال خازن به سیم‌پیچ‌های موتور را نشان می‌دهد.



الف) موتور راست‌گرد

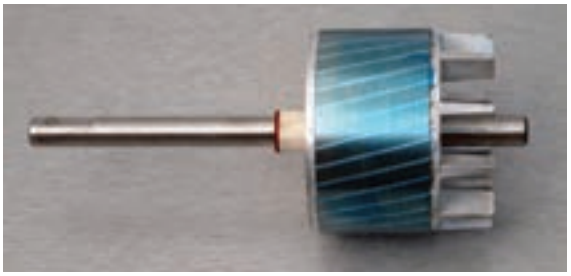


ب) موتور چپ‌گرد

شکل ۱۵ــ۹

۷ــ۹ــ الکتروموتورهای تک‌فاز

۱ــ۷ــ۹ــ ساختمان : ساختمان داخلی این موتورها از یک قسمت ساکن (استاتور) و یک قسمت گردان (روتور) تشکیل شده است. قسمت‌های ساکن و گردان این موتورها شبیه موتورهای سه‌فاز آسنکرون گردان قفسی است. با این تفاوت که در قسمت ساکن آن‌ها دو نوع سیم‌پیچی، «سیم‌پیچ اصلی» و «سیم‌پیچ راه‌انداز یا کمکی» وجود دارد. موتورهای تک‌فاز برای راه‌اندازی به جریان متناوب تک‌فاز (N و L_1) نیاز دارند. این موتورها در اندازه‌های کوچک تا حدود ۵ اسب‌بخار ساخته می‌شوند. شکل ۱۶ــ۹ تصویر یک نوع موتور تک‌فاز را نشان می‌دهد.

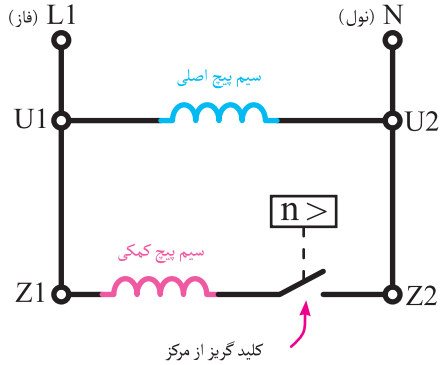


شکل ۱۶ــ۹

۲ــ۷ــ۹ــ اصول کار موتورهای تک‌فاز : اصول کار اغلب موتورهای تک‌فاز مانند موتورهای سه‌فاز بر خاصیت القایی استوار است. در نتیجه برای به حرکت درآمدن به میدان دوّار نیاز دارند. این موضوع در موتورهای سه‌فاز به دلیل وجود سه سیم‌پیچ و سه جریان امکان‌پذیر بود. اما در موتورهای تک‌فاز با یک سیم‌پیچی و یک جریان میدان دوّار به‌وجود نمی‌آید. به همین دلیل برای راه‌اندازی موتورهای تک‌فاز از یک سیم‌پیچ دیگر برای کمک به سیم‌پیچ اصلی و ایجاد میدان مغناطیسی دیگری استفاده می‌شود. به این سیم‌پیچ «سیم‌پیچ کمکی» می‌گویند.

در برخی از موتورهای تک‌فازه این سیم‌پیچ کمکی تا پایان کار موتور به همراه سیم‌پیچ اصلی در مدار باقی می‌ماند اما در برخی دیگر از موتورهای تک‌فازه این سیم‌پیچ پس از راه‌اندازی از مدار خارج می‌شود. هرگاه سیم‌پیچ کمکی در نقش راه‌انداز موتور به‌کار گرفته شود اصطلاحاً به آن «سیم‌پیچ راه‌انداز» یا «استارت» می‌گویند. این سیم‌پیچ قادر است در لحظهٔ راه‌اندازی، گشتاور قابل قبولی به محور روتور اعمال کند و باعث چرخش آن شود.

معمولاً در موتورهایی که سیم‌پیچ کمکی نقش راه‌انداز را دارد از یک کلید تابع دور (گریز از مرکز)، که در مسیر آن به صورت سری مطابق شکل ۱۷ــ۹ است استفاده می‌شود. وظیفهٔ کلید گریز از مرکز خارج کردن سیم‌پیچ کمکی پس از راه‌اندازی است.



شکل ۱۷ــ۹

۳ــ۷ــ۹ــ انواع موتورهای تک‌فاز

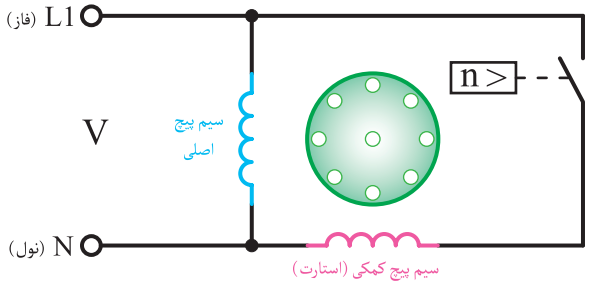
موتورهای تک‌فاز را براساس ساختمان داخلی و روش راه‌اندازی به صورت زیرمی‌توان طبقه‌بندی کرد :

الف) موتورهای القایی (فاز شکسته ــ خازن‌دار ــ قطب چاک‌دار)

ب) موتورهای اونیورسال

۱ــ موتور با فاز شکسته : در موتورهای القایی تک‌فاز با فاز شکسته، یک سیم‌پیچ اصلی و یک سیم‌پیچ کمکی در موتور وجود دارد. این دو سیم‌پیچ باهم به‌صورت موازی قرار می‌گیرند. سیم‌پیچ راه‌انداز پس از راه‌اندازی و رسیدن سرعت موتور به ۷۵٪ سرعت نامی به‌وسیلهٔ کلید تابع دور (کلید گریز از مرکز)، از مدار خارج می‌شود. قدرت این موتورها معمولاً بین $\frac{۱}{۲}$ تا $\frac{۱}{۳}$ اسب بخار است. در شکل ۱۸ــ۹، شکل ظاهری و اتصال سیم‌پیچی‌های موتور نشان داده شده است.

الف) شکل ظاهری موتور کولر آبی



ب) مدار الکتریکی

شکل ۱۸ــ۹

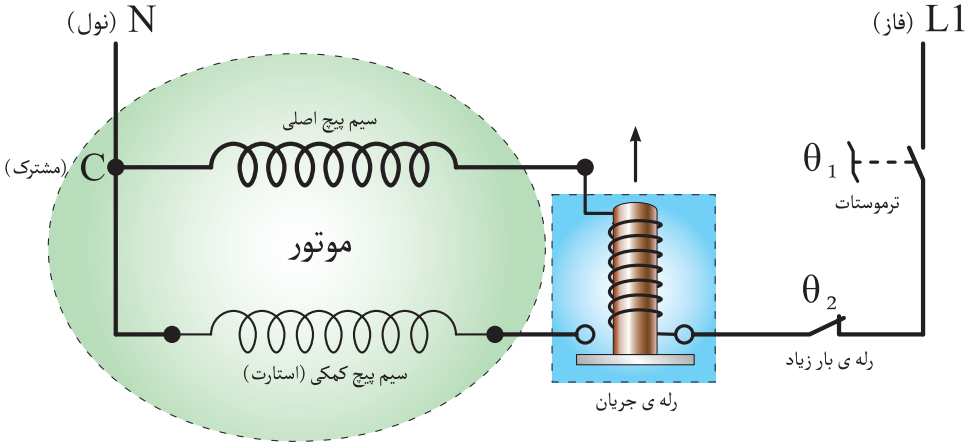
کاربرد : از موتورهای فاز شکسته در پمپ‌ها، بادبزن‌ها، کولرهای آبی هوایی، یخچال‌های خانگی و دستگاه‌های کپی استفاده می‌شود در شکل ۱۹ــ۹ تصویر یک موتور آب‌سردکن و پنکه را مشاهده می‌کنید.

الف) موتور پنکه

ب) آب‌سردکن

شکل ۱۹ــ۹

در برخی موارد مانند یخچال خانگی، برای خارج کردن سیم‌پیچ کمکی ازمدار به‌جای استفاده از کلید تابع دور از یک رله به نام رلهٔ جریان استفاده می‌شود. همان‌طوری که در (شکل ۲۰ــ۹) مشاهده می‌کنید، در ابتدای راه‌اندازی به دلیل جریان بالای موتورهای القایی، میدان مغناطیس زیادی در اطراف سیم‌پیچ این رله به‌وجود می‌آید که باعث می‌شود هستهٔ آهنی را به سمت داخل بکشد. در این حالت تیغهٔ متصل به آن باعث بسته شدن مدار می‌شود. در نتیجه در ابتدای راه‌اندازی، سیم‌پیچ استارت در مدار قرار می‌گیرد. پس از راه‌اندازی جریان کاهش می‌یابد و در نتیجه میدان مغناطیسی ضعیف‌تر می‌شود. در این حالت تیغه‌ای که بسته شده بود به وضعیت اول خود باز می‌گردد و سیم‌پیچ راه‌انداز از مدار خارج می‌شود.



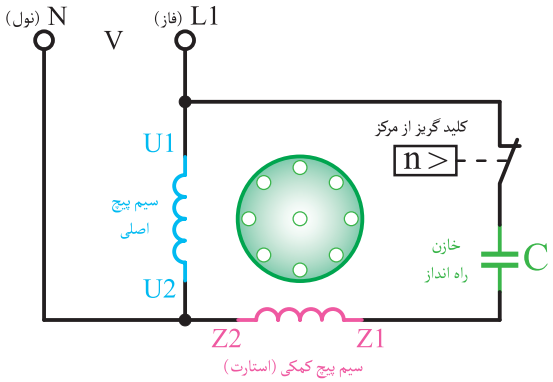
شکل ۲۰ــ۹

حروف R و S و C، برروی سه سر سیمی که از کمپرسور یخچال بیرون می‌آید، نوشته شده است.

۲ــ موتور با راه‌انداز خازنی : در موتورهای تک فاز با راه‌انداز خازنی برای افزایش گشتاور موتور در لحظهٔ راه‌اندازی، از خازن به‌صورت سری با سیم‌پیچ کمکی استفاده می‌شود. خازن موردنظر از نوع الکترولیتی با ظرفیت بالاست و معمولاً به‌صورت جداگانه روی بدنهٔ موتور نصب می‌شود. در مدار سیم‌پیچ راه‌انداز با خازن از یک کلید گریز از مرکز (تابع دور) نیز استفاده می‌شود، که سیم‌پیچ کمکی و خازن را در ۷۵٪ دور نامی موتور از مدار خارج می‌کند. این موتورها از قدرت $\frac{۱}{۸}$ اسب بخار به بالا رِنج‌های استاندارد در صنعت ساخته می‌شوند. شکل ۲۱ــ۹ وضعیت ظاهری و مدار الکتریکی موتور تک‌فاز را با راه‌انداز خازنی نشان می‌دهد.

کاربرد : موتورهای با خازن راه‌انداز در مشعل گازوئیلی، کمپرسورها، سیستم‌های تهویهٔ مطبوع، پمپ‌ها و سردخانه‌ها کاربرد دارند در شکل ۲۲ــ۹ تصویر یک موتور تک‌فاز با خازن راه‌انداز کولر نشان داده شده است.

الف) وضعیت ظاهری الکتروپمپ آب



ب) مدار الکتریکی

شکل ۲۱ــ۹

الف) کولر دستی

ب) تصویر گسترده موتور کولر آبی

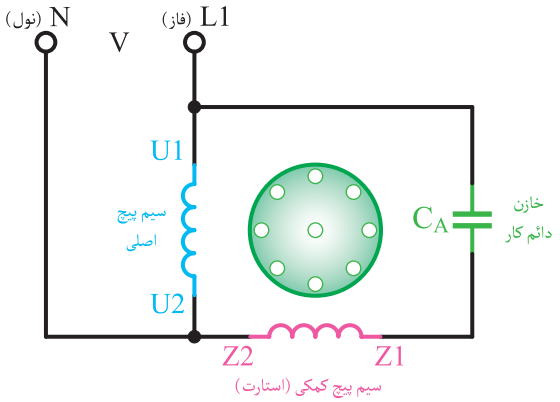
شکل ۲۲ــ۹

تحقیق کنید

مشخصات خازن چند مشعل، گازوئیلی موجود در موتورخانه را یادداشت و به کلاس گزارش کنید.

۳ــ موتور با خازن دائم کار : در این موتورها از یک خازن روغنی، که با سیم‌پیچ راه‌انداز سری شده است، استفاده می‌شود. این موتورها کلید تابع دور ندارند و سیم‌پیچ راه‌انداز به همراه خازن پس از راه‌اندازی نیز در مدار باقی می‌مانند. شکل ۹ــ۲۳ مدار الکتریکی موتور تک‌فاز با خازن دائم کار را به همراه شکل ظاهری یک نمونه از این نوع موتورها نشان می‌دهد. قرارداشتن خازن به صورت دائم در مدار، گشتاور در حالت کار را افزایش می‌دهد.

الف) شکل ظاهری



ب) مدار الکتریکی

شکل ۹ــ۲۳

کاربرد : از این موتورها در دمنده‌ها، پنکه‌های سقفی، پمپ آب ماشین لباسشویی و پنکهٔ رومیزی، مشعل تک‌فاز استفاده می‌شود. شکل ۹ــ۲۴ تصویری از این موتورها را نشان می‌دهد.

الف) موتور پنکهٔ سقفی

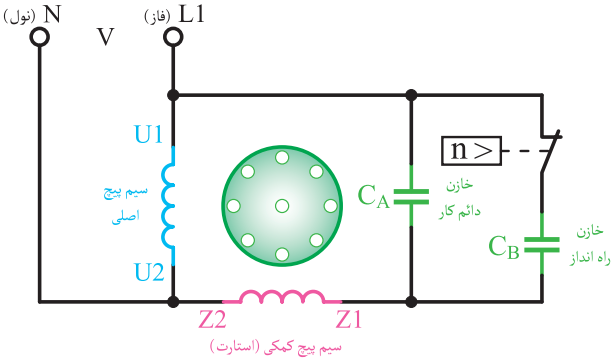
ج) هواکش

ب) پنکهٔ رومیزی

شکل ۹ــ۲۴

۴ــ موتور تک‌فاز دوخازنی: در این موتورها از یک خازن به‌صورت لحظه‌ای و یک خازن به‌صورت دائم کار استفاده می‌شود. این دو خازن با یکدیگر به‌صورت موازی و هردو با سیم‌پیچ راه‌انداز به‌صورت سری قرار گرفته‌اند. پس از راه‌اندازی و رسیدن دور موتور به ۷۵٪ دور نامی خازن راه‌انداز توسط کلید گریز از مرکز از مدار خارج می‌شود ولی خازن دائم کار به همراه سیم‌پیچ راه‌انداز در مدار باقی می‌ماند. خازن راه انداز از نوع الکترولیتی و خازن دائم کار از نوع روغنی است. این موتورها ترکیبی از خصوصیات دو نوع موتور قبل را دارند؛ یعنی هم دارای گشتاور راه‌اندازی و هم گشتاور کار مناسبی هستند. شکل ۲۵ــ۹ مدار الکتریکی چگونگی اتصال خازن‌ها با سیم‌پیچ اصلی و کمکی و شکل ظاهری یک نمونه را نشان می‌دهد.

الف) شکل ظاهری

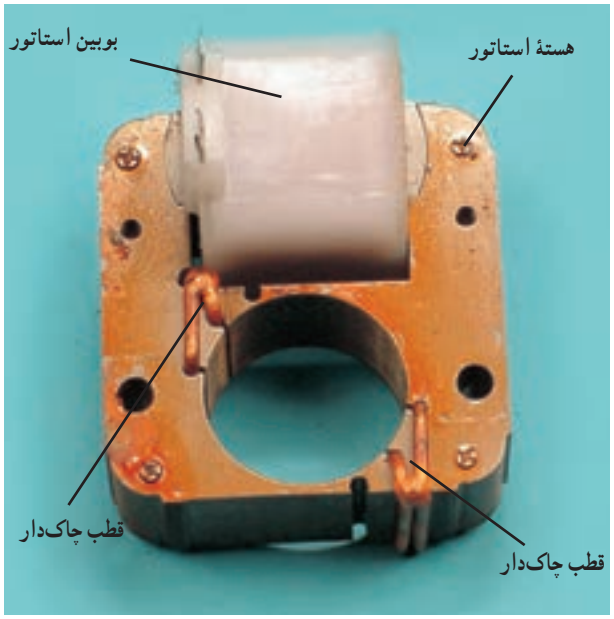


ب) مدار الکتریکی

شکل ۲۵ــ۹

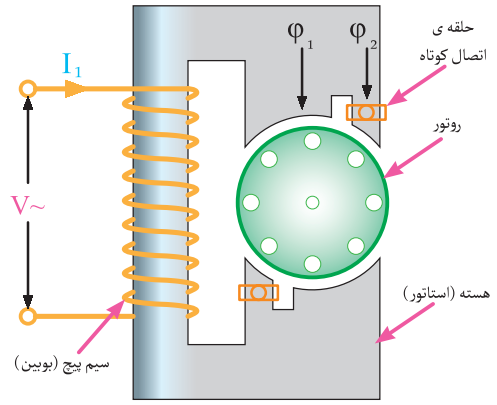
کاربرد: از این موتورها در بالابرها، کمپرسورها، یخچال‌های صنعتی و به‌طور کلی در مواردی که بخواهیم بارهای سنگین را راه‌انداز کنیم استفاده می‌شود.

۵ــ موتور قطب چاک‌دار: قسمت ساکن (استاتور) این موتورها به صورت برجسته (آشکار) و قسمت گردان (روتور) آن از نوع قفسی است. برای ایجاد میدان دوّار، از یک حلقهٔ اتصال بسته (کوتاه شده) که در روی هسته جاسازی می‌شود و همان نقش سیم‌پیچ راه‌انداز را دارد، استفاده می‌شود. شکل ۲۶ــ۹ تصویر قسمت ساکن و حلقهٔ اتصال کوتاه را نشان می‌دهد.



شکل ۲۶ــ۹

حلقهٔ اتصال کوتاه تحت تأثیر میدان مغناطیسی سیم‌پیچ اصلی قرار می‌گیرد و در آن جریان القا می‌شود. در نتیجه، این جریان القایی در اطراف حلقه، میدانی ایجاد می‌کند که نتیجهٔ اثر این دو میدان برهم باعث می‌شود میدان اصلی به یک سمت منحرف شود. در نتیجه، یک سمت دچار تضعیف میدان مغناطیسی و سمت دیگر دچار تقویت آن می‌شود. بنابراین، درسمتی که تقویت میدان به‌وجود آمده است گشتاوری بر روی گردان (روتور) ایجاد می‌شود که باعث چرخش آن خواهد شد.



شکل ۲۷ــ۹

موتورهای با قطب چاک‌دار در اندازه‌های کوچک از $\frac{۱}{۲۵۰}$ تا $\frac{۱}{۶}$ اسب بخار ساخته می‌شوند و ازنظر ساختمان، ساده و ارزان‌اند. گشتاور راه‌اندازی و اضافه‌بار این موتورها کم است.

کاربرد : این‌گونه موتورها در پنکه های رومیزی، موتور اکثر فن‌کویل‌ها، پمپ آب کولر، انواع بادبزن‌ها، تابلوها و ویترین‌های تبلیغاتی گردان و ساعت‌های الکتریکی کاربرد دارند. شکل ۲۸ــ۹ تصویر چند نمونه موتور قطب چاک‌دار را نشان می‌دهد.

الف) شکل ظاهری پمپ آب کولر

ب) نقشهٔ انفجاری پمپ آب کولر

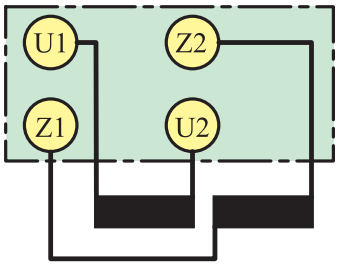
شکل ۲۸ــ۹

۸ــ۹ــ پلاک اتصال موتورهای تک‌فاز (تختهٔ کلِم)

به‌طور کلی، بر روی تختهٔ کلم موتورهای تک‌فاز استاندارد وی‌دی‌ایی (VDE آلمان) از حروف U و V برای مشخص کردن سرو ته سیم‌پیچ اصلی و از حروف W و Z برای سیم‌پیچ کمکی استفاده می‌شد. اما در استاندارد آی‌ای‌سی (IEC) از حروف U۱ و U۲ برای نشان دادن سرهای سیم‌پیچ اصلی و حروف Z۱ و Z۲ برای مشخص کردن سرهای سیم‌پیچ کمکی استفاده می‌شود (شکل۲۹ــ۹).

۹ــ۹ــ پلاک مشخصات الکتروموتورهای تک‌فاز

برای استفادهٔ صحیح از موتورها لازم است تا پلاک مشخصات آن‌ها را مورد توجه قرار دهیم. در شکل ۳۰ــ۹،

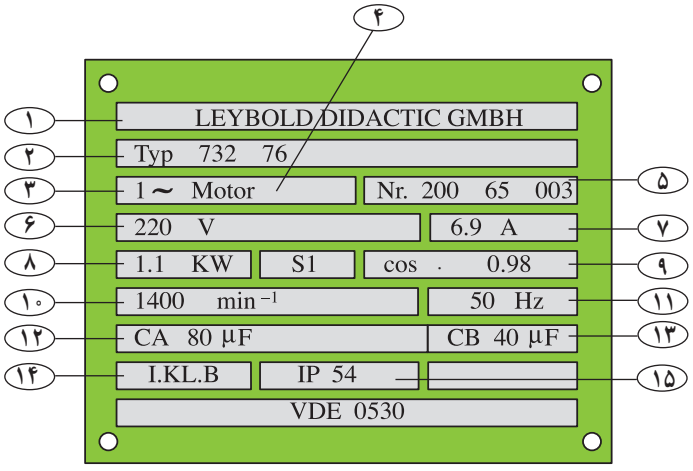


شکل ۲۹ــ۹

پلاک مشخصات یک موتور تک‌فاز را مشاهده می‌کنید، که توضیحات آن در جدول ۴ــ۹ آمده است.

جدول ۴ــ۹

شماره	اطلاعات داده شده
۱	نام کارخانهٔ سازنده
۲	شمارهٔ نوع ماشین (تیپ ماشین)
۳	نوع جریان
۴	نوع ماشین (موتوری یامولدی)
۵	شمارهٔ تولید ماشین
۶	ولتاژ نامی
۷	جریان نامی
۸	توان نامی
۹	ضریب توان نامی
۱۰	سرعت نامی
۱۱	فرکانس نامی (فرکانس کار)
۱۲	ظرفیت خازن راه‌انداز (الکترولیتی ـ C_A)
۱۳	ظرفیت خازن دائم‌کار (روغنی ـ C_B)
۱۴	کلاس عایقی
۱۵	نوع محافظت موتور



شکل ۳۰ــ۹

پرسش‌های فصل نهم

◄پرسش‌های چهار گزینه‌ای

۱ــ عدد ۴۴ در IP۴۴ برروی پلاک یک موتور الکتریکی به چه معناست؟

الف) حفاظت موتور در برابر اجسام خارجی　　ب) حفاظت موتور در مقابل پاشیدن آب

ج) گزینه‌های الف و ب　　د) حفاظت موتور در برابر جریان زیاد

۲ــ از روش راه‌اندازی ستارهٔ مثلث به چه منظور استفاده می‌شود؟

الف) کاهش سروصدا　　ب) کاهش جریان راه‌اندازی

ج) افزایش جریان راه‌اندازی　　د) هیچ‌کدام

۳ــ در موتورهای تک‌فاز سیم‌پیچ کمکی با سیم‌پیچ اصلی به چه صورت اتصال می‌یابد؟

الف) سری　　ب) سری ـ موازی　　ج) موازی　　د) ستاره

◄پرسش‌های پرکردنی

۴ــ حدود ۹۰٪ از موتورهای الکتریکی جریان متناوب از نوع..... است.

۵ــ در حالت ستاره، توان موتور ..... توان نامی موتور است.

۶ــ موتورهای کولر آبی، یخچال خانگی و دستگاه‌های کپی ازنوع ..... هستند.

◄پرسش‌های درست و نادرست

۷ــ در موتورهای آسنکرون سرعت روتور با سرعت میدان دوار برابر است.　　درست ☐　　نادرست ☐

۸ــ در اتصال ستاره جریان راه‌اندازی موتور سه برابر می‌شود.　　درست ☐　　نادرست ☐

۹ــ برای راه‌اندازی یک موتور سه‌فاز در شبکهٔ تک‌فاز از یک خازن الکترولیتی استفاده می‌شود.

درست ☐　　نادرست ☐

۱۰ــ در موتورهای تک‌فاز نوع خازن راه‌انداز،ازخازن روغنی استفاده می‌شود. درست ☐　　نادرست ☐

۱۱ــ موتورهای مشعل گازوئیلی، کمپرسورها، سیستم‌های تهویهٔ مطبوع، پمپ‌ها و سردخانه‌ها از نوع موتور با خازن راه‌انداز است.　　درست ☐　　نادرست ☐

◄پرسش‌های تشریحی

۱۲ــ دلیل استفاده از خازن در موتورهای الکتریکی چیست؟

۱۳ــ تفاوت انواع موتورهای تک‌فاز در چیست؟

۱۴ــ نوع خازن راه‌انداز و دائم‌کار در موتورهای الکتریکی را تعیین کنید.

۱۵ــ مقدار ظرفیت خازن راه‌انداز و دائم‌کار را در موتورهای الکتریکی با یکدیگر مقایسه کنید.

۱۶ــ ساختمان موتورهای الکتریکی را تشریح کنید.

۱۷ــ موتورهای سه‌فاز آسنکرون چگونه راه‌اندازی می‌شوند؟

۱۸ــ طرزکار موتور الکتریکی تک‌فاز را شرح دهید.

۱۹ــ چگونه می‌توان یک موتور الکتریکی سه‌فاز را با برق تک‌فاز راه اندازی نمود؟

حفاظت الکتریکی

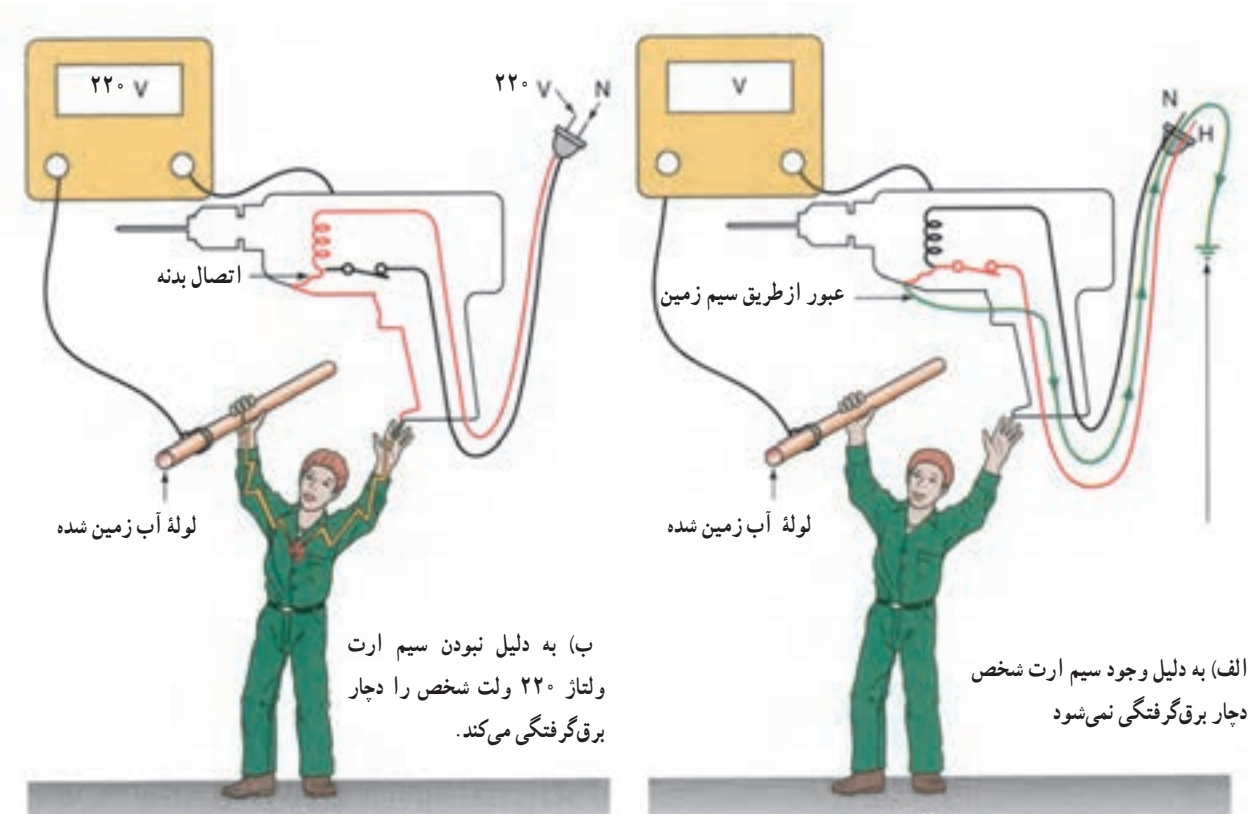
هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ حفاظت الکتریکی را تعریف کند.

۲ــ انواع حفاظت الکتریکی را توضیح دهد.

۳ــ هریک از انواع حفاظت شخص را توضیح دهد.

۴ــ توصیه‌های ایمنی مربوط به استفاده از وسایل الکتریکی را بیان کند.



الف) به دلیل وجود سیم ارت شخص دچار برق‌گرفتگی نمی‌شود

ب) به دلیل نبودن سیم ارت ولتاژ ۲۲۰ ولت شخص را دچار برق‌گرفتگی می‌کند.

سیمای فصل ۱۰

ـ حفاظت الکتریکی
ـ انواع حفاظت الکتریکی
ـ حفاظت سیم و کابل
ـ حفاظت مصرف‌کننده‌ها و دستگاه‌های الکتریکی
ـ حفاظت اشخاص
ـ برق گرفتگی
ـ انواع روش‌های حفاظت اشخاص
ـ حفاظت توسط سیم زمین
ـ حفاظت توسط عایق‌کاری
ـ حفاظت توسط ولتاژ کم
ـ حفاظت توسط کلید محافظ جان
ـ توصیه‌های ایمنی

آشنایی با دانشمندان

آمپر

(Andre Marie Amper/ ۱۸۳۶ــ ۱۷۷۵)

آندره ماری آمپر در سال ۱۷۷۵ در شهر لیون فرانسه به دنیا آمد. او کودک نابغه‌ای بود که تا سن ۱۲ سالگی تمام ریاضیات را آموخته بود. او در سال ۱۸۰۱به‌عنوان استاد فیزیک و شیمی در دانشگاه بورگ مشغول به کار شد و در سال ۱۸۰۹ به‌عنوان استاد ریاضیات در دانشگاه پلی‌تکنیک ایکل شروع به کار کرد.آمپر در اوایل سال ۱۸۲۰، فرضیهٔ الکتریسیته و خاصیت آهن‌ربایی را مطرح کرد که مبنای پیشرفت این فرضیه در قرن نوزدهم شده است. او اولین کسی بود که دستگاه اندازه‌گیری جریان الکتریکی را ساخت. واحد جریان الکتریکی به احترام او به نام «آمپر» نامیده شده است.

۱۰ــ حفاظت الکتریکی

به اقداماتی که باید در تأسیسات الکتریکی انجام داد تا خطرات ناشی از جریان برق باعث صدمه زدن به اشخاص و دستگاه‌های الکتریکی نگردد، «حفاظت الکتریکی» می‌گویند.

۱ــ۱۰ــ انواع حفاظت الکتریکی

۱ــ۱ــ۱۰ــ حفاظت سیم‌ها و کابل‌ها : وقتی برای مدت زمانی از سیم‌ها جریان بیش از حد طبیعی (جریان اضافی) و یا در مدت زمان بسیار کمی جریان بسیار شدیدی (جریان اتصال کوتاه) عبور کند، سیم‌ها گرم می‌شوند. این گرمای بیش از حد باعث صدمه دیدن عایق آن‌ها می‌شود و می‌تواند باعث آتش‌سوزی و خسارت‌های زیادی به تأسیسات الکتریکی شود برای حفاظت سیم می‌توان از رله و فیوزها استفاده نمود.

فیوز

در همهٔ تأسیسات الکتریکی برای جلوگیری از صدمه دیدن و معیوب شدن وسایل و نیز برای قطع کردن دستگاه معیوب از شبکهٔ برق، از فیوز استفاده می‌شود. این وسیله باید طوری انتخاب شود که در اثر اتصال کوتاه، در کوتاه‌ترین زمان ممکن و قبل از این که صدمه‌ای به سیم‌ها وتأسیسات الکتریکی برسد، مدار را قطع کند. در شکل ۱ــ۱۰ چند نمونه فیوز را مشاهده می‌کنید. فیوزها از نظر زمان قطع به دو نوع کندکار و تندکار تقسیم می‌شوند.

الف) فیوز تندکار: این فیوز در کوتاه‌ترین زمان، برق مصرف‌کننده را قطع می‌کند. به همین دلیل در مصارف روشنایی استفاده می‌شود.

ب) فیوز کندکار: زمان قطع فیوز نسبت به فیوز تندکار بیش‌تر است و برای راه‌اندازی موتورهای الکتریکی استفاده می‌شود (زیرا موتورها در ابتدای راه‌اندازی جریان زیادی می‌کشند و پس از آن جریان به حالت عادی خود برمی‌گردد).

الف) مینیاتوری

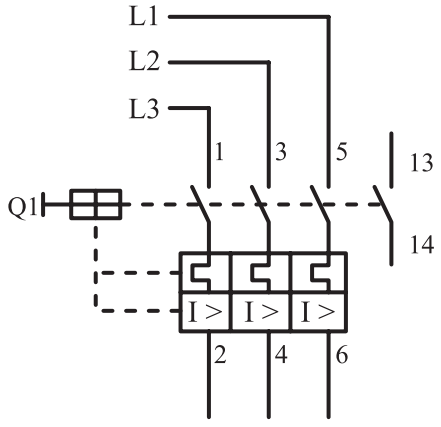
ب) فشنگی

ج) اتوماتیک

شکل ۱ــ۱۰

۲ــ۱ــ۱۰ــ حفاظت مصرف‌کننده‌ها و دستگاه‌های الکتریکی : مصرف‌کننده‌ها و دستگاه‌های الکتریکی باید در مقابل خطاهای احتمالی، از قبیل اتصال کوتاه و اضافه جریان، حفاظت شوند. برای حفاظت این دستگاه‌ها معمولاً قبل از مصرف‌کننده، از فیوزها و رله‌های حرارتی طوری استفاده می‌شود که در صورت بروز خطا مصرف‌کننده به طور کلی از برق جدا شود. کلیدی که

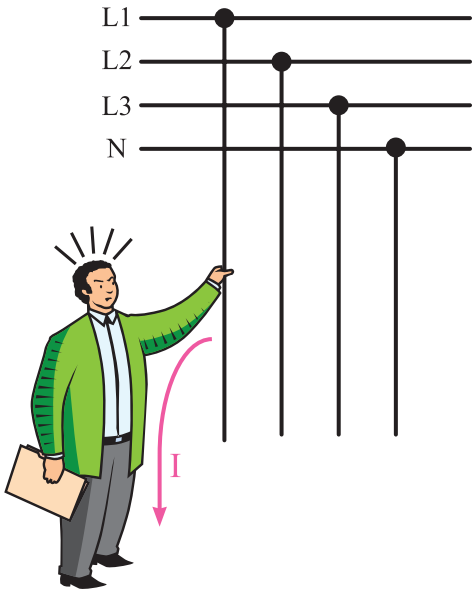
می‌تواند هر دو حفاظت اتصال کوتاه و اضافه‌بار را انجام دهد، کلید محافظ موتور نام دارد (شکل ۲ــ۱۰).



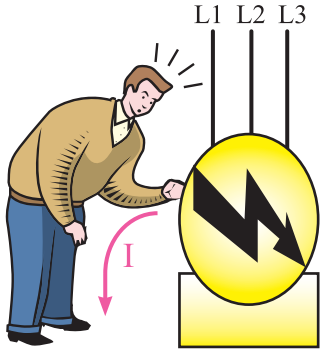
به طرف مصرف‌کننده

شکل ۲ــ۱۰ــ شکل ظاهری کلید محافظ موتور و نحوهٔ اتصال آن به شبکه برق

۳ــ۱ــ۱۰ــ حفاظت اشخاص: برق‌گرفتگی یک تحریک ناگهانی و اتفاقی سیستم عصبی بدن بر اثر عبور جریان الکتریکی است. به عبارتی دیگر عبور جریان برق از بدن را برق‌گرفتگی می‌گویند. برق‌گرفتگی در شخص زمانی به‌وجود می‌آید که شخص در مسیر عبور جریان برق قرار گیرد. شکل ۳ــ۱۰ دو نوع برق‌گرفتگی را نشان می‌دهد.



الف) تماس مستقیم با سیم برق



ب) تماس با بدنهٔ فلزی دستگاه که اتصال بدنه پیدا کرده است.

شکل ۳ــ۱۰

تحقیقات نشان می‌دهد که پنجاه درصد از برق گرفتگی‌ها در اثر تماس مستقیم با سیم حامل برق در حمام، استخر، حیاط، زیرزمین، پارک‌ها یا مکان‌های مرطوب بوده که جریان برق مستقیماً از بدن افراد عبور کرده است. بقیه برق‌گرفتگی‌ها به علت فرسودگی سیم‌ها، عایق نبودن صحیح دستگاه‌های برقی صنعتی و خانگی و سیم‌کشی‌های غلط اتفاق افتاده است.

در صورت اتصال یک سیم به بدنهٔ فلزی دستگاه، ولتاژی بین بدنهٔ دستگاه و زمین به‌وجود می‌آید. حال اگر شخصی بدنهٔ دستگاه را لمس نماید، بین محل تماس بدن و زمین ولتاژی به

وجود می‌آید (ولتاژ تماس) که اگر مقدارش از ۶۵ ولت بیش‌تر باشد برای او خطرناک خواهد بود. هم‌چنین جریان خطرناک برای انسان ۰/۰۵ آمپر است. مقاومت بدن انسان حدود ۱۳۰۰ تا ۳۰۰۰ اهم است.

۲ــ۱۰ــ انواع روش‌های حفاظت اشخاص

برای کاهش امکان برق‌گرفتگی افراد از سیستم‌های ایمنی استفاده می‌شود. سیستم‌های ایمنی بسیار متنوع‌اند. متداول‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از :

الف) حفاظت توسط سیم زمین

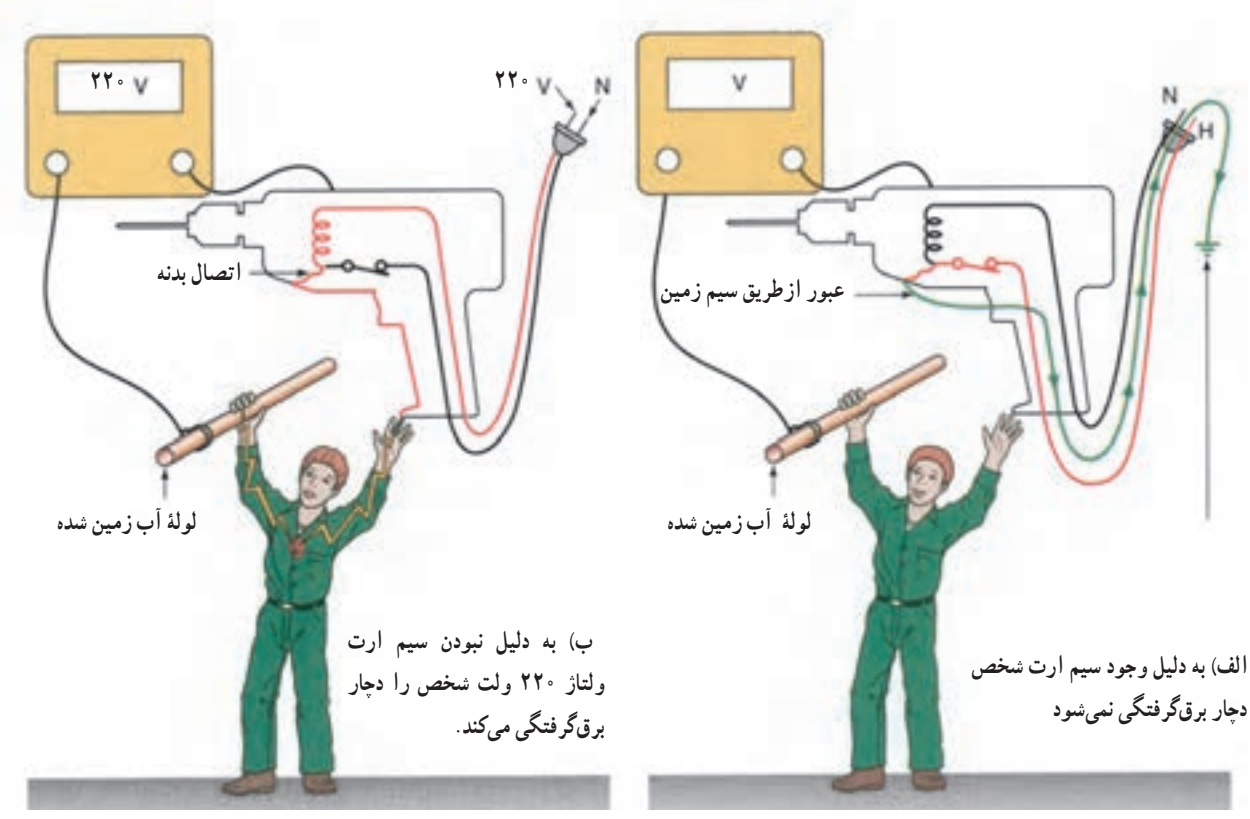
ب) حفاظت توسط عایق‌کاری

ج) حفاظت توسط ولتاژ کم

د) حفاظت توسط کلید محافظ جان (FI)

هرکدام از انواع حفاظت شخص دارای خصوصیاتی هستند، که به شرح آن‌ها می‌پردازیم :

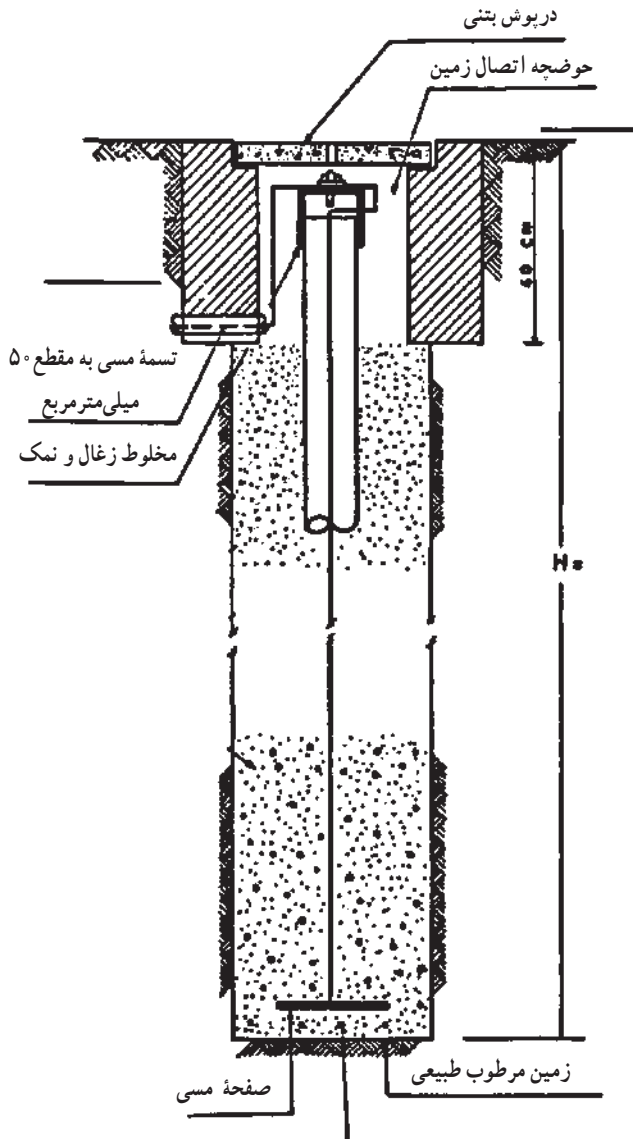
۱ــ۲ــ۱۰ــ حفاظت توسط سیم زمین : در این روش قسمت‌های فلزی بدنهٔ دستگاه‌های برقی توسط یک سیم موسوم به سیم ارت به زمین وصل می‌شود. در این صورت اگر دستگاهی اتصال بدنه پیدا کند، جریان برق به‌جای عبور از بدن شخص از طریق سیم ارت به زمین متصل می‌شود. زیرا مقاومت سیم زمین (سیم ارت) بسیار کم‌تر از مقاومت بدن شخص است (شکل ۴ــ۱۰).



شکل ۴ــ۱۰

سیستم اتصال زمین (چاه ارت) : برای این‌که سیم اتصال بدنه دستگاه را به زمین متصل کنند، چاهی حفر می‌شود که عمق آن در مناطق مختلف به دلیل خصوصیات خاک منطقه متفاوت است. ولی بهترین چاه آن است که به قسمت نمناک و

مرطوب زمین رسیده باشد. زیرا چنین خاکی دارای مقاومت الکتریکی کم‌تری است. سپس صفحه یا تسمهٔ موسوم به الکترود را در انتهای چاه قرار دهند و آن را با یک سیم مسی قطور با مقاومت الکتریکی کم به بیرون چاه هدایت کنند. اطراف صفحه را با مواد کاهندهٔ مقاومت مانند زغال و نمک و خود چاه را با ماسه پرمی‌کنند. سیم خروجی از این چاه را به بدنهٔ فلزی دستگاه‌ها متصل می‌کنند (شکل ۵ــ۱۰).



شکل ۵ــ۱۰

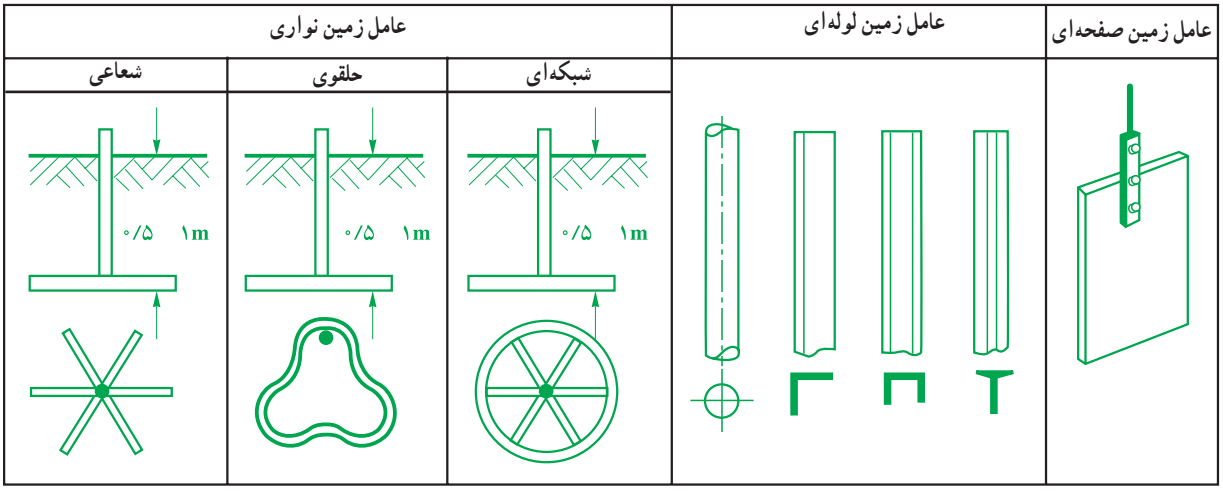
الکترودها در انواع مختلف ساخته می‌شوند.

الف) صفحات فلزی قلع‌اندود

ب) نوارهای تابیده شده مسی (در مکان‌هایی که به علت سفتی زمین دست‌یابی به عمق زمین غیرممکن یا سخت است).

ج) میله‌ها یا لوله‌های مسی یا فولادی قلع‌اندود شده به شکل‌های شبکه‌ای، حلقه‌ای یا شعاعی.

شکل ۶ــ۱۰ انواع الکترودهای زمین را نشان می‌دهد.



شکل ۶ــ۱۰ــ انواع الکترودهای زمین

وسایلی که اتصال سیم ارت به آن‌ها الزامی است عبارت‌اند از :

ــ چراغ و پایهٔ چراغ‌های حیاط و روشنایی پارک‌ها، وسایل فلزی از قبیل پل و نرده و غیر آن‌ها در معابر عمومی و وسایل تفریحی در پارک‌ها.

ــ لوازم خانگی برقی مانند سماور، پلوپز، بخاری برقی، ماشین لباس‌شویی، کولر و سایر لوازم فلزی آشپزخانه

ــ پریزهای منازل و کارگاه‌ها؛

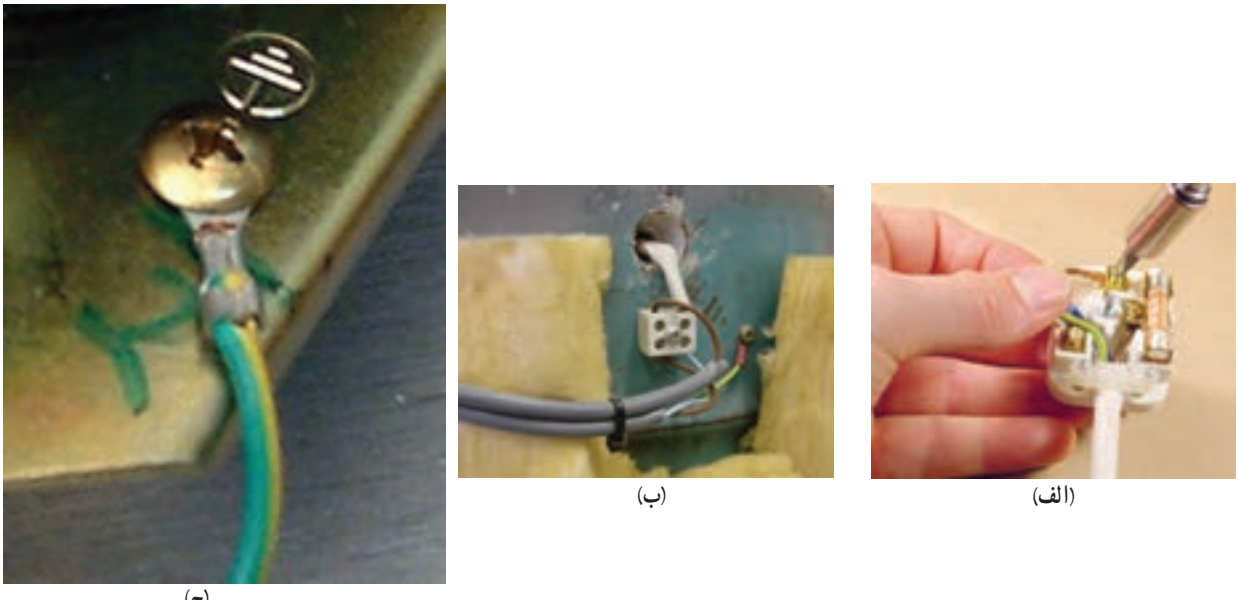
ــ ماشین‌آلات در صنایع و وسایل دیگر الکتریکی؛

ــ دستگاه‌های بیمارستان و اتاق عمل.

تحقیق کنید

از سیستم اتصال زمین هنرستان خود یا یک مرکز صنعتی بازدید کنید و گزارش آن را به کلاس ارائه دهید.

رنگ استاندارد روکش سیم ارت سبز و زرد است و در وسایل الکتریکی این سیم به بدنهٔ دستگاه‌ها پیچ می‌شود (شکل ۷ــ۱۰).



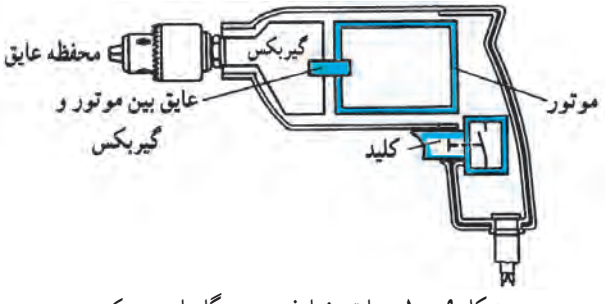
(الف) (ب) (ج)

شکل ۷ــ۱۰ــ اتصال سیم ارت به بدنهٔ دستگاه‌ها و دوشاخه

هم‌چنین کلیهٔ وسایل الکتریکی پس از تولید، تست عایقی می‌شوند تا هیچ‌گونه ارتباط الکتریکی بین سیم‌های هادی آن با بدنهٔ فلزی دستگاه وجود نداشته باشد (شکل ۸ــ۱۰).

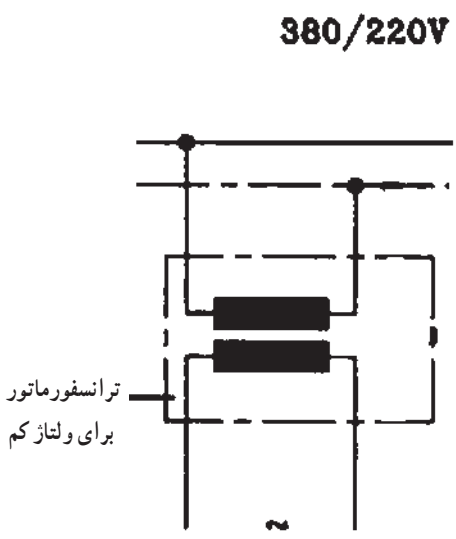
شکل ۸ــ۱۰ــ تست اتصال بدنه

۲ــ۲ــ۱۰ــ حفاظت توسط عایق‌کاری : در این روش تمام قسمت‌هایی را که امکان اتصال برق با بدن انسان دارد عایق می‌کنند. در مورد دستگاه‌هایی که ساکن هستند، می‌توان کف زمین را عایق‌کاری نمود. ولی در دستگاه‌های قابل حمل یا متحرک مانند دریل برقی، ریش‌تراش و جاروبرقی، کارخانهٔ سازنده برای جلوگیری از برق‌دار شدن بدنهٔ فلزی آن‌ها، آن دستگاه را با یک لایهٔ اضافی دیگر عایق می‌کند. در این روش نیازی به اتصال زمین وجود ندارد (شکل ۹ــ۱۰). این نوع حفاظت دارای علامت مشخصهٔ ⧈ روی وسایل الکتریکی است.



شکل ۹ــ۱۰ــ عایق مضاعف در دستگاه‌های متحرک

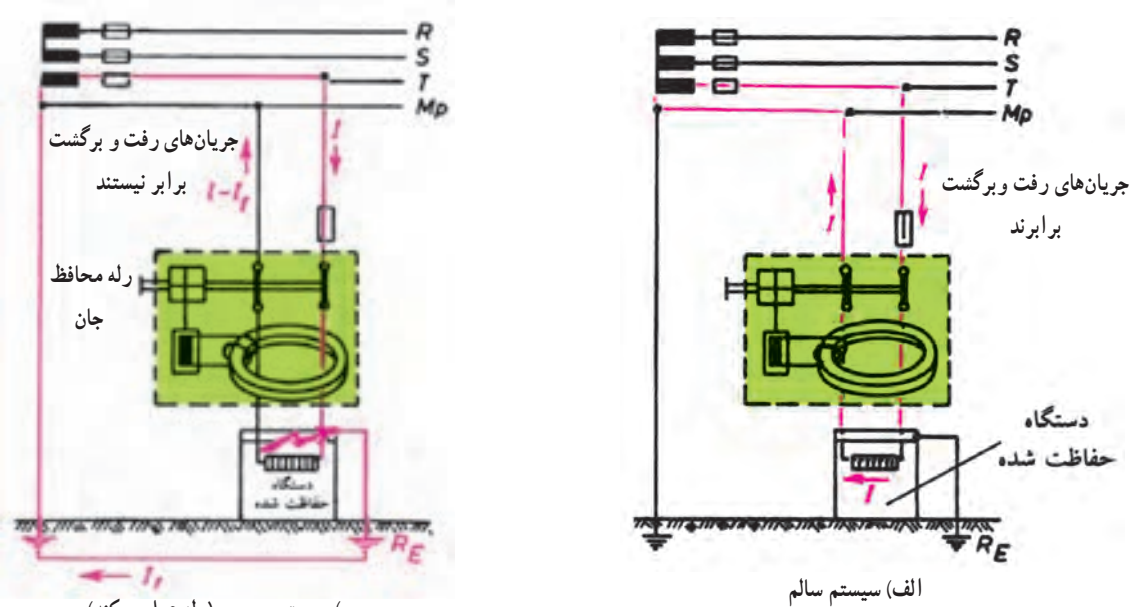
۳ــ۲ــ۱۰ــ حفاظت توسط ولتاژ کم : در این روش از ولتاژهای کم‌تر از ۵۰ ولت، که برای انسان خطرناک نیست، برای حفاظت استفاده می‌شود. این ولتاژ توسط یک ترانسفورماتور کاهنده با دو سیم‌پیچ جداگانه ایجاد می‌شود. کاربرد این روش در دستگاه‌های پزشکی، اسباب‌بازی‌های الکتروموتوری و ... کاربرد دارد (شکل ۱۰ــ۱۰).



شکل ۱۰ــ۱۰ــ ترانس کاهندهٔ ولتاژ

۴ــ۲ــ۱۰ــ حفاظت توسط کلید محافظ جان (FI) : اساس کار این کلید بر پایهٔ اختلاف جریان بین سیم‌های رفت و برگشت یک دستگاه الکتریکی است. طبق شکل ۱۱ــ۱۰ در صورت کار عادی دستگاه، اختلاف جریانی بین سیم‌های رفت و برگشت وجود ندارد. اما در صورتی که دستگاه اتصال بدنه پیدا کند، اختلاف جریانی بین سیم‌های رفت و برگشت به‌وجود می‌آید که میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند و به رله فرمان می‌دهد تا مدار را قطع نماید.

این وسیله به اندازه‌ای حساس است که می‌تواند جریان‌های نشتی کوچک را، که باعث عملکرد فیوز نمی‌شود ولی می‌تواند برای شروع یک آتش‌سوزی یا برق‌گرفتگی کافی باشد، حس نماید و منبع تغذیه را در چند دهم یا صدم ثانیه قطع کند.



شکل ۱۱ــ۱۰ــ مدار الکتریکی کلید محافظ جان

در شکل ۱۲ــ۱۰ تصویر ظاهری کلید محافظ جان نشان داده شده است.

شکل ۱۲ــ۱۰ــ شکل ظاهری کلید محافظ جان

۳ــ۱۰ــ توصیه‌های ایمنی

۱ــ هرگاه برروی تابلو برق علامت

را مشاهده کردید از باز کردن درِ تابلو و دست زدن به قسمت‌های داخلی آن خودداری کنید.

۲ــ در حال کار با برق دقت کنید که دست‌ها و زیرپایتان مرطوب نباشد (از چوب خشک یا مواد پلاستیکی که عایق خوبی هستند، استفاده کنید).

۳ــ اگر دو شاخه یک وسیلهٔ برقی شکسته است هرچه سریع‌تر سالم آن را تهیه کنید (شکل ۱۳ــ۱۰).

شکل ۱۳ــ۱۰

۴ــ از کشیدن سیم از کف منزل یا زیر فرش، که احتمال برخورد پای افراد با آن یا پوسیدن سیم وجود دارد، خودداری کنید.

۵ــ هنگام تعویض لامپ سوخته یا شکسته حتماً کلید چراغ را خاموش کنید و با استفاده از فازمتر از قطع جریان برق مطمئن شوید.

۶ــ در محیط‌های مرطوب مانند حمام و دستشویی از وسایلی مثل بخاری برقی، سشوار، ریش تراش یا ماشین لباس‌شویی استفاده نکنید.

۷ــ هنگام شست‌وشوی کف آشپزخانه وسایل برقی را از برق جدا کنید و سعی کنید آب روی کلیدها و پریزها و همچنین وسایل برقی پاشیده نشود.

۸ــ سیم‌های برق باید دارای روپوش عایق باشد و از پیچیده شدن آن‌ها به دور اشیای تیز و برنده جلوگیری کنید (شکل ۱۴ــ۱۰).

شکل ۱۴ــ۱۰

۹ــ در هنگام طوفان و رعد و برق، لوازم برقیِ حساس مثل تلویزیون، یخچال و کامپیوتر را خاموش و از پریز جدا کنید.

۱۰ــ از یک پریز برق برای چند وسیله برقی استفاده نکنید (شکل ۱۵ــ۱۰).

شکل ۱۵ــ۱۰

۱۱ــ سیم‌های پوسیده و زخمی وسایل الکتریکی را تعویض کنید (شکل ۱۶ــ۱۰).

شکل ۱۶ــ۱۰

پرسش‌های فصل دهم

◄پرسش‌های چهار گزینه‌ای

۱ــ کدام یک از گزینه‌های زیر جزء حفاظت الکتریکی است؟

الف) حفاظت سیم و کابل　　ب) مصرف‌کننده

ج) حفاظت شخص　　د) همهٔ موارد

۲ــ کلید محافظ موتور مصرف‌کننده را در برابر چه خطاهایی حفاظت می‌کند؟

الف) اتصال کوتاه　　ب) اضافه‌بار　　ج) گزینه‌های الف و ب　　د) هیچ‌کدام

۳ــ در کدام یک از انواع روش‌های حفاظت شخص، ولتاژ کم‌تر از ولتاژ خطرناک برای انسان است؟

الف) حفاظت توسط سیم زمین　　ب) حفاظت توسط عایق‌کاری

ج) حفاظت توسط ولتاژ کم　　د) حفاظت توسط کلید محافظ جان (FI)

◄پرسش‌های پرکردنی

۴ــ فیوزهای کند کار برای مصارف ..... به‌کار می‌رود.

۵ــ مقاومت بدن انسان حدود ..... تا ..... اهم است.

۶ــ رنگ استاندارد روکش سیم ارت ..... است.

۷ــ حفاظت توسط عایق‌کاری دارای علامت مشخصهٔ ..... روی وسایل الکتریکی است.

◄پرسش‌های درست و نادرست

۸ــ فیوزهای تندکار برای راه‌اندازی موتورهای الکتریکی به‌کار می‌رود.　　درست ☐　　نادرست ☐

۹ــ ولتاژ ۶۵ ولت و جریان ۰/۰۵ آمپر برای انسان خطرناک است.　　درست ☐　　نادرست ☐

۱۰ــ اساس کار کلید محافظ جان بر پایهٔ اختلاف جریان بین سیم رفت و برگشت یک دستگاه الکتریکی است.

درست ☐　　نادرست ☐

◄پرسش‌های تشریحی

۱۱ــ روش‌های حفاظت الکتریکی را نام ببرید.

۱۲ــ برق‌گرفتگی را تعریف کنید.

۱۳ــ انواع حفاظت شخص را نام ببرید.

۱۴ــ سیستم اتصال زمین را شرح دهید.

۱۵ــ انواع اتصال زمین را نام ببرید و توضیح دهید.

۱۶ــ نحوهٔ کار رله محافظ جان در حفاظت شخص را بیان کنید.

۱۷ــ چرا تماس شخصی با بدنهٔ دستگاهی که دارای سیم ارت می‌باشد، خطرآفرین نیست؟

فصل ۱۱

الکترونیک

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

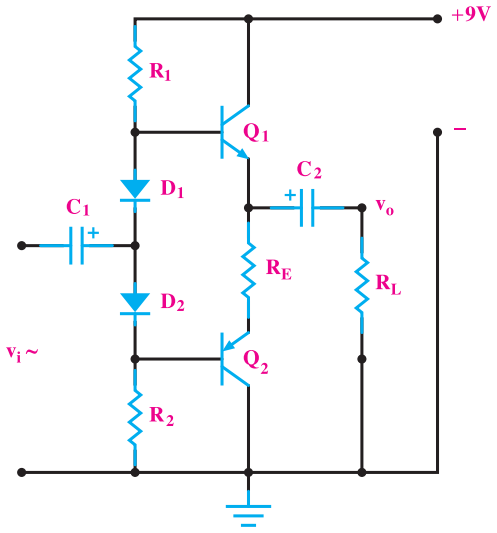
۱ــ نحوهٔ عملکرد دیود را در مدار الکتریکی توضیح دهد.

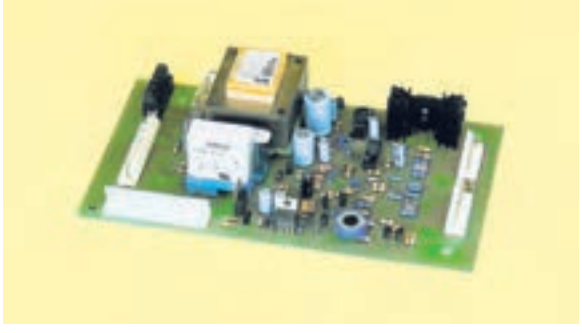
۲ــ مدار یکسوکننده را شرح دهد.

۳ــ ترمیستور و کاربرد آن را توضیح دهد.

۴ــ ترانزیستور و کاربرد آن را توضیح دهد.

۵ــ ترانس دیوسر و کاربرد آن را شرح دهد.





سیمای فصل ۱۱

ــ دیود
ــ یکسو کننده
ــ ترمیستوری
ــ محافظ بار ترمیستوری
ــ شیر انبساط ترمیستوری
ــ رله استارت ترمیستوری
ــ ترانزیستور
ــ ترانس دیوسر

آشنایی با دانشمندان

ولتا
(Alessandro Volta / ۱۷۴۵ــ۱۸۲۷)

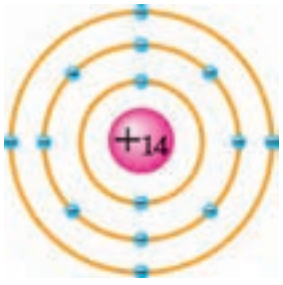
آلساندرو به سال ۱۷۴۵ در شهر کوموی ایتالیا به دنیا آمد. او فیزیک‌دانی بود که دستگاه تولیدکنندهٔ الکتریسیتهٔ ساکن را اختراع و گاز متان را کشف کرد. او به سال ۱۷۷۸ به‌عنوان استاد فلسفهٔ طبیعی در «پاویا» منصوب شد. او از دوست خود «لوییچی گالوانی» الهام گرفت و در زمینهٔ واکنش‌هایی میان فلزات ناهمگن (متفاوت) تحقیقاتی را انجام داد و در سال ۱۸۰۰ اولین باتری را اختراع کرد. امروزه نام او به‌عنوان واحد پتانسیل الکتریکی یعنی ولت به‌کار می‌رود. هم‌چنین به احترام او، پتانسیل الکتریکی بیش‌تر به نام ولتاژ شناخته می‌شود.

۱۱ــ الکترونیک

با توجه به پیشرفت سریع علوم و تکنولوژی و گستردگی سهم علم الکترونیک و تلفیق آن با اکثر رشته‌ها، مشاهده می‌شود بسیاری از دستگاه‌ها و سیستم‌های الکترومکانیکی دیگر به‌صورت الکترونیکی ساخته می‌شوند و به بازار عرضه می‌گردند. در این بین دستگاه‌های تأسیساتی نیز از این قاعده مستثنا نیستند و بسیاری از آن‌ها الکترونیکی شده‌اند. لذا تکنیسین‌های تأسیسات برای نصب، راه‌اندازی، عیب‌یابی و تعمیر و نگهداری این سیستم‌ها و دستگاه‌ها باید با مبانی علم الکترونیک آشنایی داشته باشند. این فصل به اختصار شما را با برخی مفاهیم و قطعات اساسی به‌کار رفته در این رشته آشنا می‌کند.

نیمه‌هادی‌ها پایه و اساس صنعت الکترونیک را تشکیل می‌دهند. از جمله نیمه‌هادی‌های مهم و پرکاربرد در الکترونیک می‌توان به سیلیسیم (Si) و ژرمانیم (Ge) اشاره کرد. در شرایط عادی نیمه‌هادی‌ها تمایلی به هدایت جریان الکتریکی ندارند.

برای این که بتوانیم از این عناصر در ساخت قطعات الکترونیکی و هدایت جریان استفاده کنیم لازم است تا آن‌ها را ناخالص کنیم.

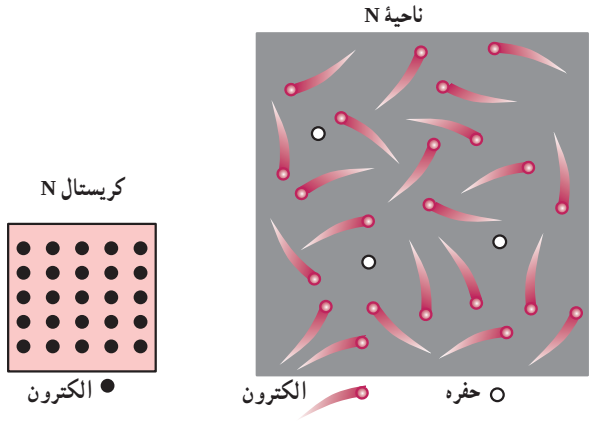


الف) سیلیسیم

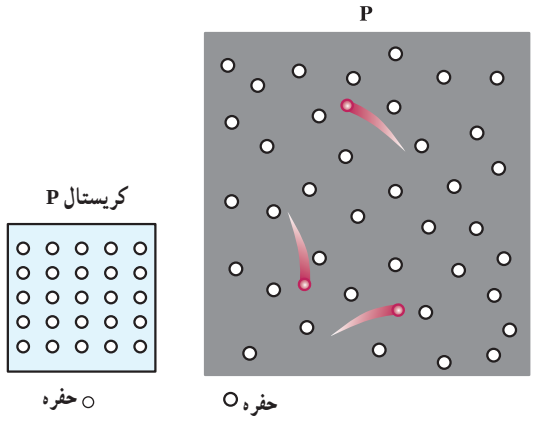
ب) ژرمانیم

شکل ۱ــ۱۱

ازاین‌رو اغلب با ترکیب عناصری خاص با این نیمه‌هادی‌ها در شرایطی قرارمی‌گیرند که در حالت ناپایدار برای گرفتن یا از دست دادن الکترون آماده هستند. اصطلاحاً به نیمه‌هادی‌های ناخالص شده نیمه‌هادی‌های نوع P (نیمه‌هادی آماده برای جذب الکترون)، نیمه‌هادی نوع N (نیمه هادی آماده برای از دست دادن الکترون) گفته می‌شود.



شکل ۲ــ۱۱



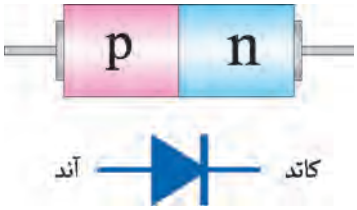
شکل ۳ــ۱۱

۱ــ۱۱ــ دیود

از اتصال این دو نوع نیمه‌هادی ناخالص شده (P و N) قطعه‌ای به نام «دیود» ساخته می‌شود. اصطلاحاً به پایهٔ نیمه‌هادی نوع P «آند» و به پایهٔ نیمه‌هادی N «کاتد» گفته می‌شود.

شکل ۴ــ۱۱

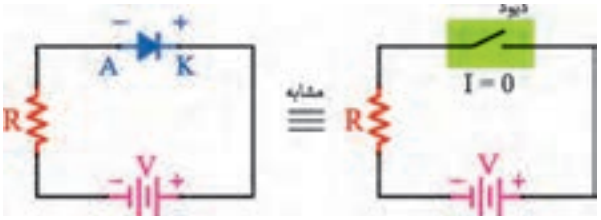
در شکل ۵ــ۱۱ تصویری از اتصال P-N علامت اختصاری دیود را مشاهده می‌کنید.



شکل ۵ــ۱۱

عملکرد دیود شبیه یک کلید است. شکل ۶ــ۱۱ مدار دیود در جریان مستقیم را نشان می‌دهد.

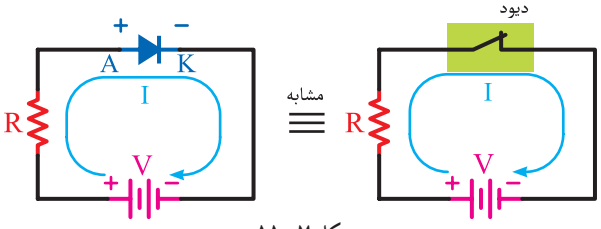
همان‌طورکه مشاهده می‌شود هرگاه قطب منفی باتری، مانند شکل ۶ــ۱۱ــ ب به آند و قطب مثبت به کاتد دیود وصل شود دیود مانند یک کلید قطع عمل کند و مدار را در حالت باز نگه می‌دارد.



الف) ب)

شکل ۶ــ۱۱

در صورتی که مشابه شکل ۷ــ۱۱ قطب مثبت باتری به آند و قطب منفی به کاتد دیود وصل شود دیود مشابه کلید وصل عمل می‌کند و باعث جاری شدن جریان در مدار می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان گفت دیود وسیله‌ای است که فقط در یک جهت جریان الکتریکی را از خود عبور می‌دهد. از دیود در زمینه‌های مختلف استفاده می‌شود. یکی از آن‌ها مدارهای مبدّل جریان متناوب به جریان مستقیم است،که آن‌ها را «یکسوکننده‌ها» یا «رکتیفایر» می‌نامند. در شکل کلی علامت اختصاری مدارهای یک‌سوساز مطابق شکل ۸ ــ۱۱ است.

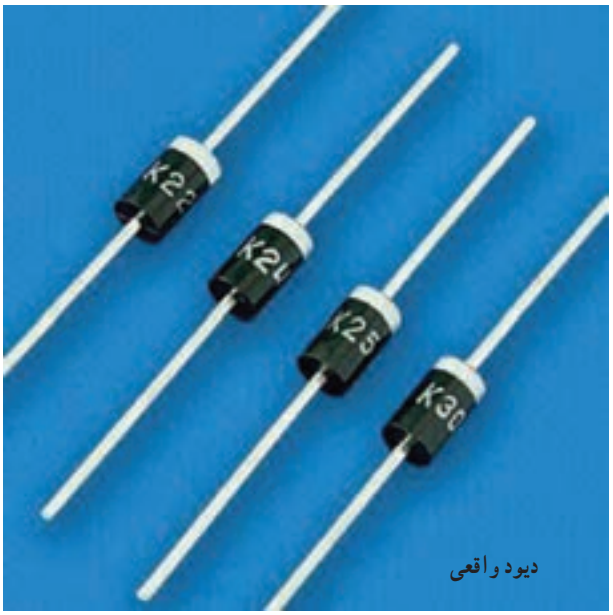


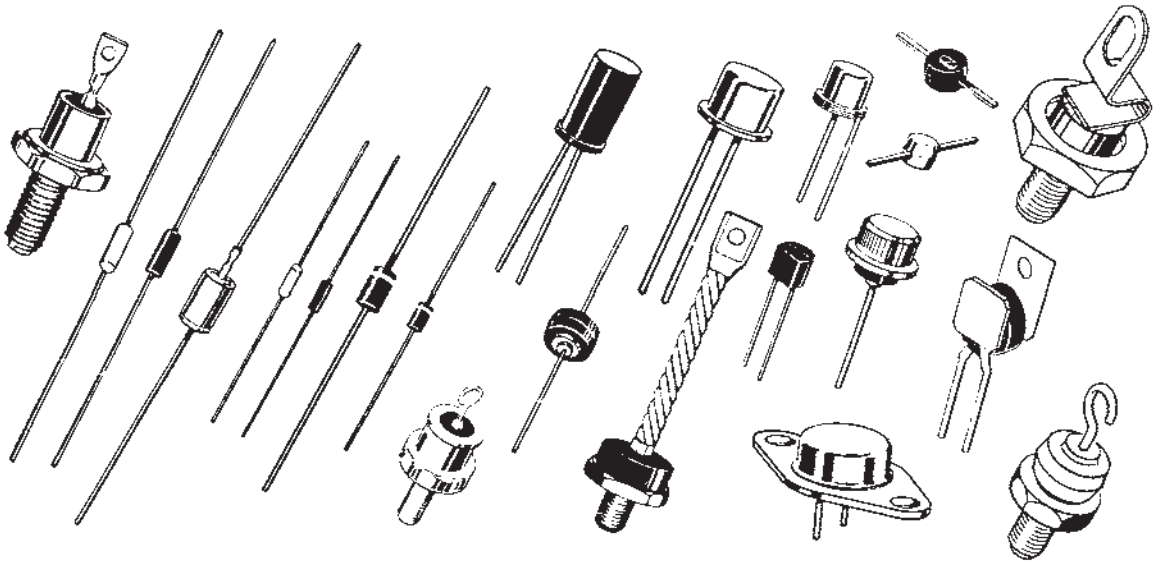
شکل ۷ــ۱۱

یکسوساز (رکتیفایر)

شکل ۸ــ۱۱

تصویر چند نمونه دیود را درشکل ۹ــ۱۱ مشاهده می‌کنید.

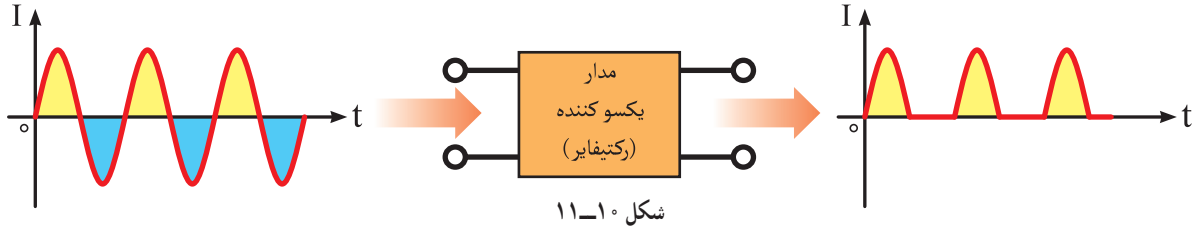




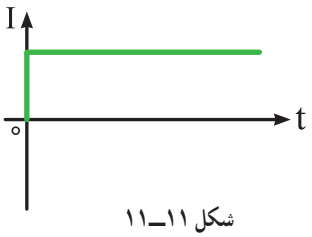
شکل ۹ــ۱۱

۲ــ۱۱ــ مدار یکسوکننده

هرگاه بتوانیم قسمت منفی یک موج متناوب را توسط مدار الکتریکی حذف کنیم، اصطلاحاً به موج به‌دست آمده «موج یک‌سوشده» و به مدار آن «مدار یک‌سوساز» گویند (شکل ۱۰ــ۱۱). همان‌طوری که می‌دانید موج DC (جریان مستقیم) به امواجی گفته می‌شود که در طول مدت زمان استفاده از آن‌ها جهت و دامنه‌شان مشابه شکل ۱۱ــ۱۱ تغییر نمی‌کند.

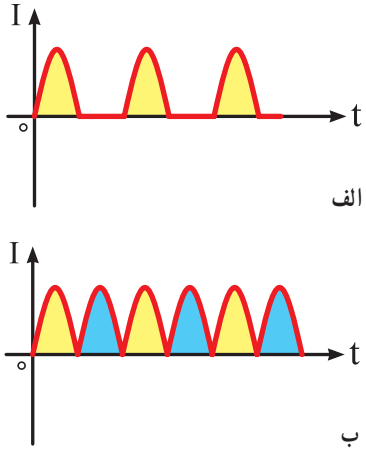


شکل ۱۰ــ۱۱



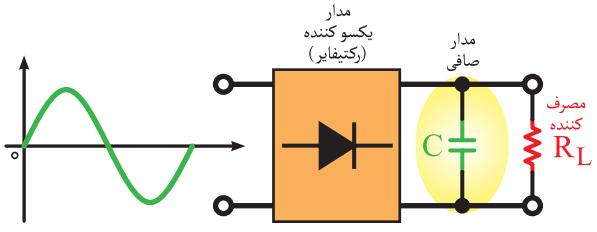
شکل ۱۱ــ۱۱

با کمی دقت در شکل ۱۲ــ۱۱ــ الف مشاهده می‌شود که شکل موج یک مدار یک‌سوساز گرچه دارای جهت ثابت (بالای محور افقی) است اما مقدار آن دائماً در حال تغییر است. اصطلاحاً به شکل موج‌های مشابه شکل ۱۲ــ۱۱ــ ب موج دی‌سی (DC) ضربانی گفته می‌شود.



شکل ۱۲ــ۱۱ــ شکل موج‌های DC ضربانی

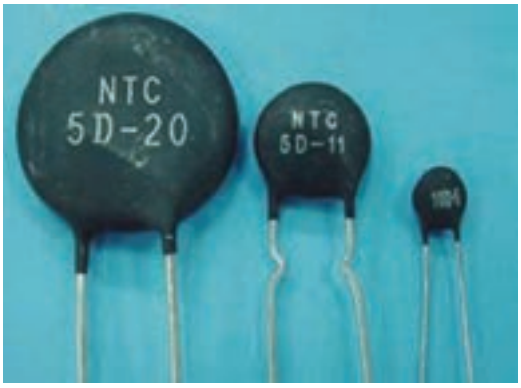
برای حذف نوسان‌های (ضربان‌ها) یک موج DC ضربانی و تبدیل آن به یک موج DC ثابت باید از مدار یا عنصر دیگری غیر از یک‌سوکننده‌ها استفاده کرد. در الکترونیک به این عناصر «مدارهای صافی» یا «فیلتر» گفته می‌شود در اغلب مدارهای یک‌سوکننده از یک خازن که به‌صورت موازی با مصرف‌کننده قرار می‌گیرد برای صاف کردن موج‌های ضربانی استفاده می‌شود.



شکل ۱۳ــ۱۱

۳ــ۱۱ــ ترمیستورها[1]

به نوعی از مقاومت‌ها گفته می‌شود که به درجه حرارت حساس هستند. مقاومت ترمیستور با تغییر دما تغییر می‌کند. دو نوع ترمیستور وجود دارد. نوع PTC که در آن افزایش دما موجب افزایش مقاومت ترمیستور می‌شود. نوع NTC که در آن افزایش دما موجب کاهش مقاومت ترمیستور می‌گردد (شکل ۱۴ــ۱۱).

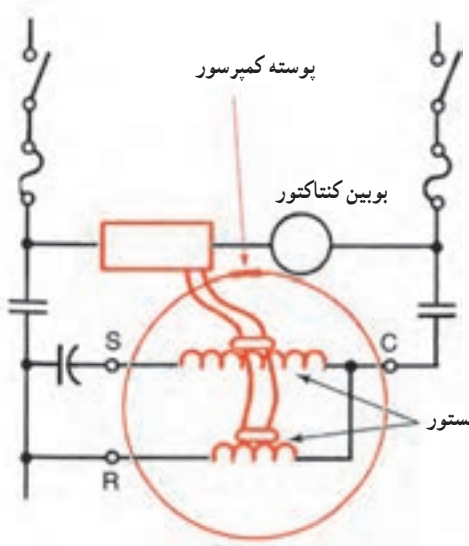


شکل ۱۴ــ۱۱ــ چند نمونه ترمیستور

۱ــ۳ــ۱۱ــ محافظ بار اضافی ترمیستوری : یکی از کاربردهای ترمیستور حفاظت موتور در مقابل بار اضافی است ترمیستور در میان سیم‌پیچی‌های موتور قرار می‌گیرد. هنگامی که دمای سیم‌پیچی از مقدار تعیین شده تجاوز می‌کند، مقاومت ترمیستور تغییر می‌کند. این تغییر مقاومت در یک مدار محافظ الکترونیک باعث باز شدن مدار موتور می‌شود. در شکل ۱۵ــ۱۱

۱– Thermal Resistor

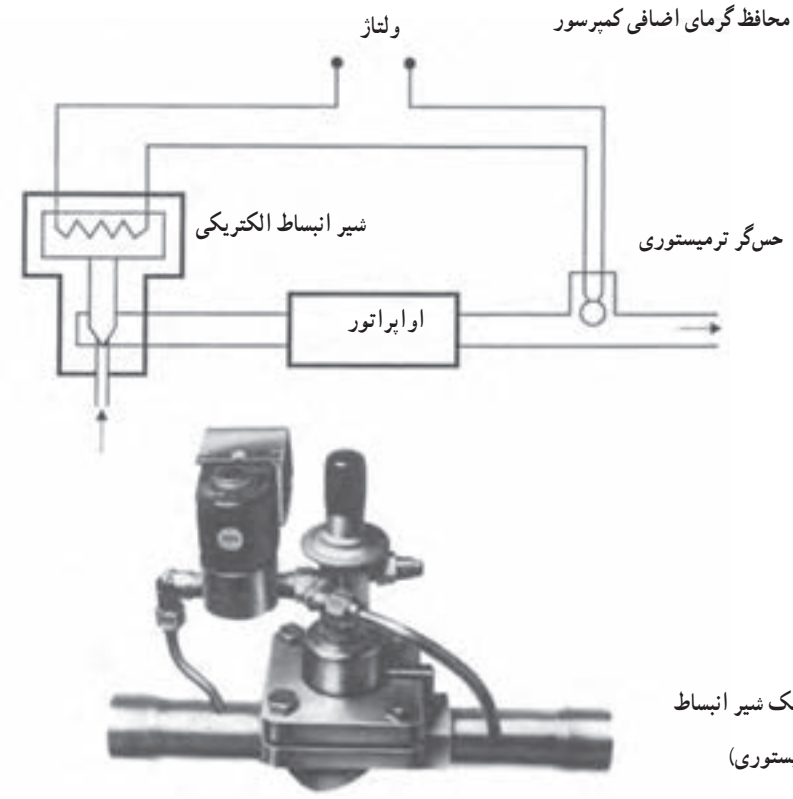
یک ترمیستور در بین پیچی‌های الکتروموتور قرار گرفته است وقتی دمای سیم‌پیچی از حد معین بیش‌تر می‌شود مقاومت آن کم شده، باعث عبور جریان بیش‌تر از یک بوبین مغناطیسی می‌شود و با افزایش میدان مغناطیسی کنتاکتی را قطع می‌کند که باعث قطع جریان بوبین کنتاکتور می‌شود قطع جریان بوبین موجب باز شدن کنتاکت کنتاکتور شده و برق الکتروموتور قطع می‌شود.



شکل ۱۵ــ۱۱ــ محافظ گرمای اضافی کمپرسور

۲ــ۳ــ۱۱ــ شیر انبساط ترمیستوری[1] : کاربرد دیگر ترمیستور استفاده از آن در ساختمان شیرهای ترموستاتیک است که به جای بالب ترموستاتیک در خروجی اواپراتور، یک ترمیستور قرارگرفته است در شکل ۱۶ــ۱۱ از یک هیتر روی شیر انبساط استفاده شده است که در مدار الکتریکی آن یک ترمیستور سری شده است این ترمیستور در محل خروجی اواپراتور قرار گرفته است. اگر دمای گاز خروجی از اواپراتور (سوپرهیت) کم شود مقاومت ترمیستور زیاد می‌شود و جریان کمتری از هیتر عبور می‌کند و سوزن شیر در جهت بسته شدن عمل می‌کند و مقدار ماده سرمازای ورودی به اواپراتور کاهش می‌یابد. اگر دمای گاز خروجی از اواپراتور یعنی سوپرهیت زیاد شود مقاومت ترمیستور کم می‌شود جریان عبوری از هیتر بیش‌تر شده سوزن شیر در جهت باز شدن مسیر عبور ماده سرمازا عمل کرده ماده سرمازای بیش‌تری وارد اواپراتور می‌شود.

لازم به تذکر است به‌جای هیتر می‌توان از کویل مغناطیسی استفاده کرد.

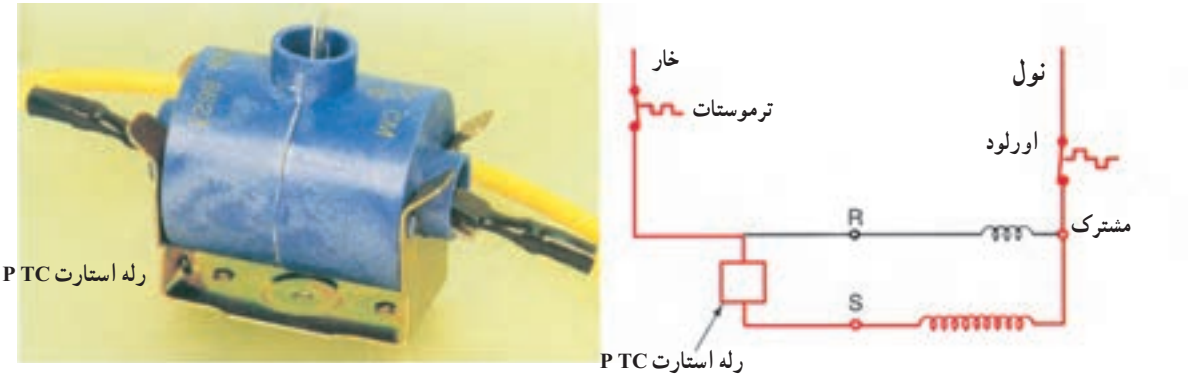


شکل ۱۶ــ۱۱ــ شماتیک شیر انبساط الکتریکی (ترمیستوری)

۱–Electric Expansion Valve

۳ــ۳ــ۱۱ــ رله استارت ترمیستوری[1] : شکل ۱۷ــ۱۱

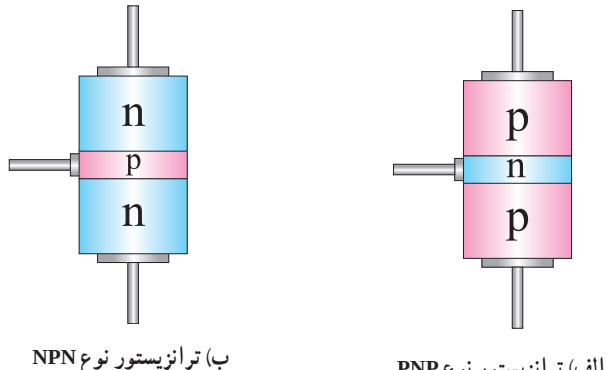
رله ترمیستوری و مدار الکتریکی آن را نشان می‌دهد. وقتی کمپرسور بیکار است رله سرد است و مقاومت بسیار کم شبیه کلید بسته (وصل) است وقتی ولتاژ اعمال می‌شود سیم‌پیچ استارت و سیم‌پیچ اصلی همزمان برقدار می‌شوند و کمپرسور راه‌اندازی می‌شود در چند ثانیه جریانی که از سیم‌پیچ استارت و رله عبور می‌کند باعث گرم شدن بیش از حد رله می‌شود در نتیجه مقاومت ترمیستور خیلی زیاد شده و مانند کلید باز عمل می‌کند و سیم‌پیچ استارت را از مدار خارج می‌کند.



شکل ۱۷ــ۱۱ــ رله استارت ترمیستوری (رله سنگی) کمپرسور یخچال

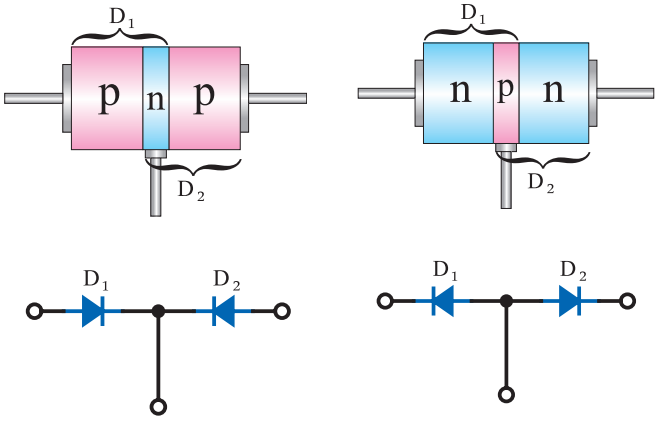
۴ــ۱۱ــ ترانزیستور[2]

از اتصال سه نیمه‌هادی نوع P و N ترانزیستور ساخته می‌شود. نحوهٔ قرار گرفتن نیمه هادی‌های P و N درکنار هم به دو صورت است. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت دو نوع ترانزیستور PNP و NPN مطابق شکل ۱۸ــ۱۱ می‌توان ساخت.



ب) ترانزیستور نوع NPN — الف) ترانزیستور نوع PNP

شکل ۱۸ــ۱۱



ب) ترانزیستور نوع PNP — الف) ترانزیستور نوع NPN

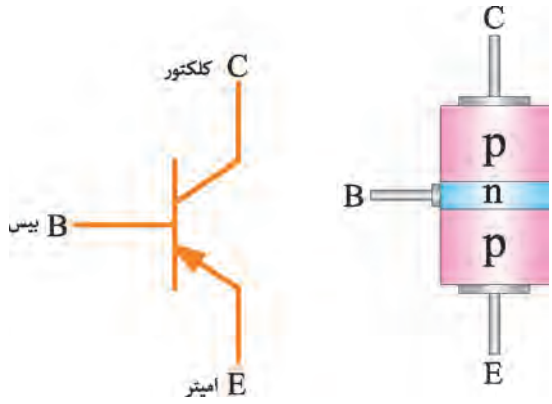
شکل ۱۹ــ۱۱

همان‌طوری که قبلاً نیز اشاره شد از اتصال P و N یک دیود ساخته می‌شود. بر همین اساس می‌توان برای هر نوع ترانزیستور یک مدار معادل دیودی مطابق شکل ۱۹ــ۱۱ رسم کرد.

ترانزیستور دارای سه پایه به نام‌های «امیتر»[3] (E) یعنی منتشرکننده؛ «بیس»[4] (B) یعنی پایه و «کلکتور»[5] (C) یعنی جمع‌کننده است.

۱- PTC Starat Relay ۲-Transistor ۳- Emitter ۴- Base ۵- Collector

شکل ۲۰ــ۱۱ تصویری از وضعیت پایه‌های ترانزیستور به همراه علامت اختصاری هردو نوع آن‌ها را نشان می‌دهد.



الف ب

شکل ۲۰ــ۱۱

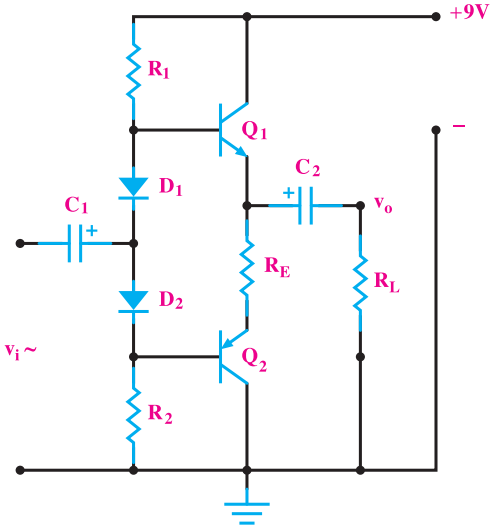
از ترانزیستور در مدارهای الکترونیکی به‌صورت تقویت‌کنندهٔ جریان؛ ولتاژ یا هر دو عامل و هم‌چنین قطع و وصل مدارها استفاده می‌شود. در شکل ۲۱ــ۱۱ تصویری از چند نوع ترانزیستور مشاهده می‌کنید.

الف

ب

شکل ۲۱ــ۱۱

شکل۲۲ــ۱۱ــ الف یک نمونه نقشهٔ الکترونیکی و شکل ۲۲ــ۱۱ــ ب تصویر یک نمونه برد الکترونیکی شوفاژهای دیواری را نشان می‌دهد.



الف ــ نقشهٔ یک مدار الکترونیکی به همراه قطعات

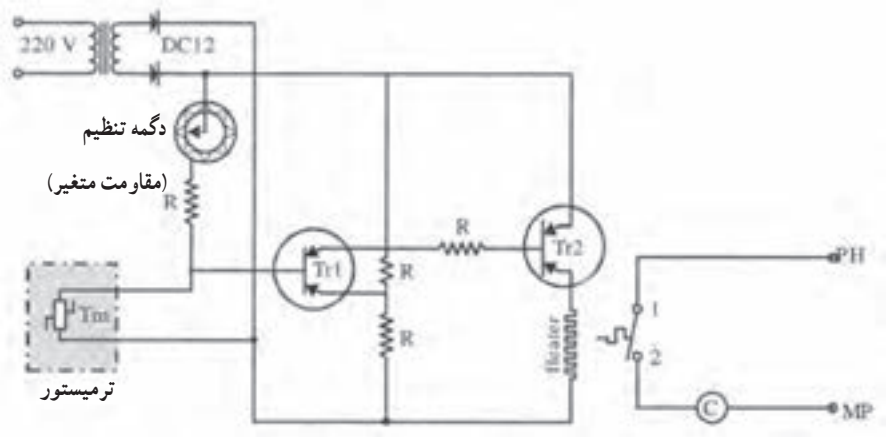
ب ــ برد الکترونیکی شوفاژ دیواری

شکل ۲۲ــ۱۱

۵ــ۱۱ــ ترموستات دیجیتالی (Digital Thermostat)

ترموستات‌های دیجیتالی در مدارهای فرمان سیستم‌های سرمایش و یا گرمایش اطاق و محلی که بایستی درجه حرارت آن کنترل گردد استفاده می‌شوند.

در این ترموستات سنسور درجه حرارت همان ترمیستورها (مقاومت‌های تابع حرارت) می‌باشند که در مدار یک کیت الکترونیکی قرار می‌گیرند شکل ۲۳ــ۱۱ نمونه‌ای از مدار آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲۳ــ۱۱ــ مدار داخلی ترموستات دیجیتالی

در مدار فوق یک ترمیستور حس‌کنندهٔ درجهٔ حرارت (TM) برای کنترل دمای اطاق به‌کار رفته است. کنترل‌کنندهٔ دما روی درجه حرارت دلخواه تنظیم می‌شود. هرگاه دمای اطاق بالاتر از میزان تنظیم ترموستات برسد مقاومت ترمیستور کم شده و جریان بیش‌تری از آن عبور می‌کند و این جریان به ترانزیستورهای Tr_1 و Tr_2 رفته و از آن‌جا تقویت می‌گردد و در نهایت به هیتر رسیده و آن را گرم می‌کند. با گرم شدن هیتر کنتاکت حرارتی ۱ به ۲ بسته شده و مدار بوبین C کامل می‌گردد که این بوبین می‌تواند به یک موتور کمپرسور یا یک موتور فن‌کویل فرمان دهد و آن را روشن نماید. و زمانی که درجه حرارت اطاق به میزان کافی پایین آمد، مقاومت ترمیستور افزایش می‌یابد و برق هیتر قطع می‌گردد و دو کنتاکت ۱ به ۲ باز شده و مدار بوبین نیز قطع می‌گردد و نهایتاً مدار کمپرسور یا فن‌کویل نیز قطع می‌شود. ترمیستورسنسوری بسیار حساس است و درجه حرارت فضای اطاق را در حد معینی ثابت نگه می‌دارد و دقت آن در حدود کسری از یک درجه حرارت می‌باشد.

۶ــ۱۱ــ ترانس‌دیوسر

ترانس دیوسر به وسایل مختلفی اطلاق می‌شود که در مقابل تغییرات یک نوع انرژی حساس‌اند و از این حساسیت آن‌ها می‌توان برای کنترل نوع دیگری از انرژی استفاده نمود. ترانس دیوسرها ممکن است تحت تأثیر فشار، درجهٔ حرارت، حرکت سیال‌ها، ارتعاش، ولتاژ الکتریکی و سایر انواع انرژی کار کند.

یک جریان متغیر ضعیفی راکه از ترانس دیوسر می‌گذرد می‌توان توسط یک تقویت‌کننده تقویت نمود و سپس این جریان تقویت شده را برای به‌کار انداختن یک نشان‌دهنده یا یک مدار کنترل‌کننده به کار برد. یک نمونه کاربرد ترانس دیوسر در شکل ۲۴ــ۱۱ نشان داده شده است. در این مورد یک ترانس دیوسر حساس به فشار در کنار لولهٔ A که حامل مایع تحت فشار است کار گذاشته شده است. ترانس دیوسر B تغییرات فشار را به تغییرات جریان الکتریکی تبدیل می‌کند. در تقویت‌کنندهٔ C جریان الکتریکی تقویت می‌شود و سپس به D که یک رله است

وارد می‌گردد و رلهٔ مزبور تغییرات ضعیف فشار را به یک ثبات نشان‌دهندهٔ فشار، لامپ، اسیلوسکوپ یا نشان‌دهنده‌های دیگر منتقل می‌کند.

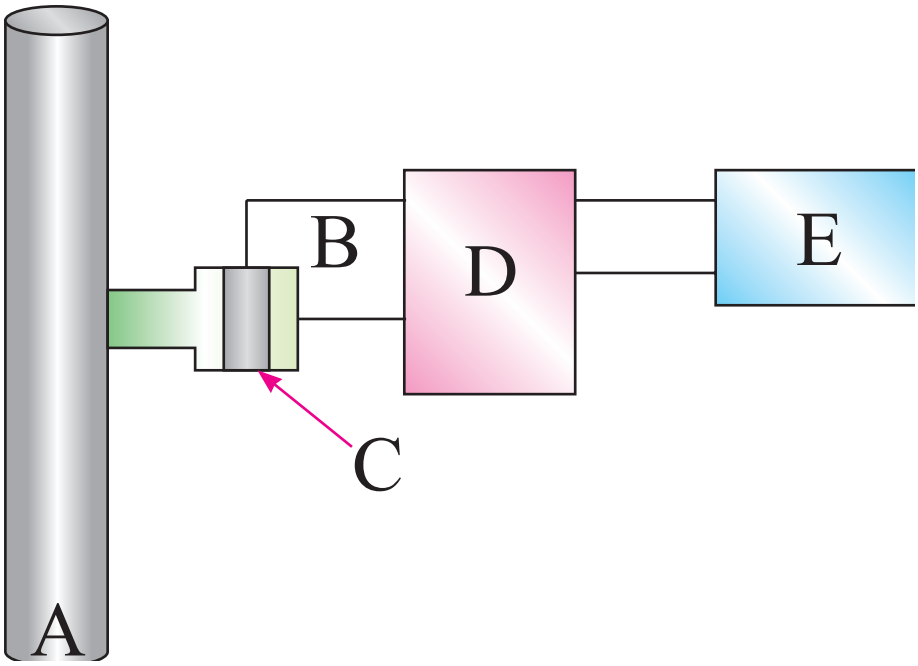
A ــ لولهٔ حامل مایع تحت فشار

B ــ ترانس‌دیوسر

C ــ کریستال

D ــ تقویت‌کننده

E ــ وسیلهٔ ثبت‌کننده یا نشان‌دهندهٔ فشار



شکل ۲۴ــ۱۱ــ یک مورد نمونهٔ کاربرد ترانس دیوسر

سنسور فشار در پکیج شوفاژ دیواری یکی از کاربردهای ترانس دیوسر است که از آن برای تشخیص زمان بهره‌برداری از شیر آب گرم مصرفی استفاده می‌شود. هنگام باز شدن شیر آب گرم و عبور آب سرد از محل نصب این سنسور و ایجاد اختلاف فشار در طرفین دیافراگم با ارسال پیام به برد الکترونیک، وضعیت شیر سه‌راهه موتوری آب را تغییر داده باعث هدایت آب گرم رادیاتور به مبدل گرمایی شده و امکان استفاده از آب گرم مصرفی را فراهم می‌آورد.

پرسش‌های فصل یازدهم

◄پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۱ــ برای حذف نوسان‌های موج DC شده در یک‌سوسازها خازن چگونه اتصال می‌یابد؟

الف) سری　　ب) موازی　　ج) سری ــ موازی　　د) ستاره

۲ــ در کدام یک افزایش دما موجب افزایش مقاومت می‌شود؟

الف) ترانزیستور　　ب) ترمیستور　　ج) ترانس دیوسر　　د) دیود

۳ــ کدام یک از موارد زیر زمینهٔ کار برای ترانزیستور نیست؟

الف) تقویت ولتاژ　　ب) تقویت فرکانس　　ج) تقویت جریان　　د) قطع و وصل مدارها

◄پرسش‌های پرکردنی

۴ــ در دیودها به پایهٔ نیمه‌هادی نوع P ..... و به پایهٔ نیمه‌هادی نوع N ..... گفته می‌شود.

۵ــ برای حذف نوسان‌های یک موج دی‌سی (DC) ضربانی از مدارهای ..... یا ..... استفاده می‌شود.

۶ــ از اتصال سه نیمه‌هادی نوع N و P به صورت pnp یک..... ساخته می‌شود.

۷ــ از ترانزیستور در ..... شوفاژ دیواری استفاده شده است.

◄پرسش‌های درست و نادرست

۸ ــ نیمه‌هادی‌های نوع P آماده برای جذب الکترون و نیمه‌هادی‌های نوع N آماده برای از دست دادن الکترون هستند.　　درست ☐　　نادرست ☐

۹ــ هرگاه قطب منفی باتری به آند و قطب مثبت آن به کاتد دیود وصل شود، دیود مانند یک کلید وصل عمل می‌کند.　　درست ☐　　نادرست ☐

۱۰ــ از دیودها برای تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم استفاده می‌شود.　　درست ☐　　نادرست ☐

۱۱ــ در ترمیستور نوع PTC افزایش گرما باعث افزایش مقاومت می‌شود.　　درست ☐　　نادرست ☐

◄پرسش‌های تشریحی

۱۲ــ دو مدار الکتریکی ترسیم کنید که در یکی از آن‌ها دیود جریان برق را هدایت کند و در مدار دیگر جریان برق را هدایت نکند.

۱۳ــ ترانزیستور چگونه ساخته می‌شود؟ انواع آن را با رسم شکل نشان دهید.

۱۴ــ ترانس دیوسر چیست؟ چندنمونهٔ آن رانام ببرید.

۱۵ــ چگونگی استفاده از ترمیستور برای حفاظت از جریان زیاد را توضیح دهید.

۱۶ــ ترمیستور و انواع آن را شرح دهید.
۱۷ــ شیر انبساط ترمیستوری را از روی شکل توضیح دهید.
۱۸ــ رله استارت ترمیستوری را از روی مدار توضیح دهید.
۱۹ــ کاربرد ترانس‌دیوسر در شوفاژ دیواری را توضیح دهید.
۲۰ــ کاربرد ترانس دیوسر را از روی شکل ۲۴ــ۱۱ توضیح دهید.

نقشه‌خوانی برق

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

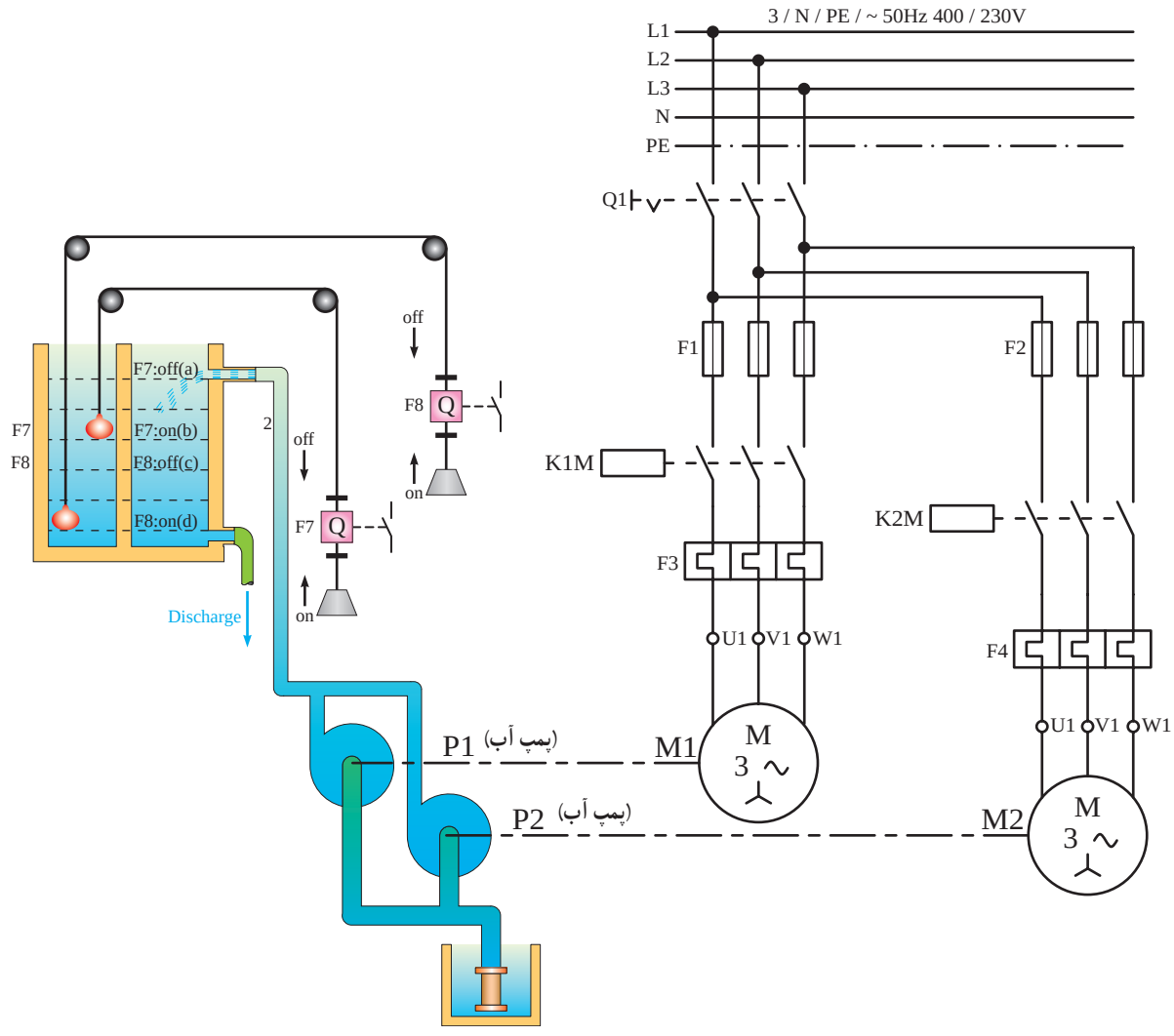
۱ــ علایم اختصاری وسایل الکتریکی را بیان کند.

۲ــ مدارهای الکتریکی را شرح دهد.

۳ــ علایم اختصاری مدارهای صنعتی را معرفی کند.

۴ــ نقشه‌های مدارهای صنعتی را شرح دهد.

۵ــ مدارهای داده شده را تشریح کند.



سیمای فصل ۱۲

ـ علایم اختصاری وسایل الکتریکی
ـ مدارهای الکتریکی
ـ شمای حقیقی
ـ شمای فنی
ـ شمای مسیر جریان
ـ علایم اختصاری مدارهای صنعتی
ـ نقشه مدارهای صنعتی

آشنایی با دانشمندان

هرتز

(Heinrich Rudolf Hertz / ۱۸۹۶ــ۱۸۵۷)

هنریچ رودولف هرتز یک فیزیک‌دان آلمانی بود که در سال ۱۸۵۷ به دنیا آمد، او اولین شخصی بود که امواج الکترومغناطیسی (رادیویی) را دریافت و پخش کرد. بین سال‌های ۱۸۸۵ تا۱۸۸۹ که وی استاد فیزیک بود، توانست امواج الکترومغناطیسی را در آزمایشگاه تولید و طول موج و سرعت آن‌ها را اندازه‌گیری کند. او ثابت کرد که ماهیت انعکاس و شکست امواج الکترومغناطیسی مشابه امواج نور است. واحد فرکانس به احترام او به نام «هرتز» نامیده شد.

۱۲ــ نقشه‌خوانی برق

در این بخش هدف، آشنایی با نقشه‌خوانی مدارهای الکتریکی است. برای رسیدن به این مهم لازم است تا با علایم اختصاری و مبنای ترسیم و نقشه‌خوانی مدارهای الکتریکی آشنا شویم.

در مباحث الکتریکی نقشه‌ها اغلب در دو استاندارد وی. دی.ای (V.D.E، استاندارد برقکاران آلمان) و آی.ای. سی (I.E.C، کمیتهٔ بین‌المللی الکتروتکنیک) ترسیم می‌شوند. اما از آن‌جایی که استاندارد آ.اِن.اس.آی (A.N.S.I، مؤسسهٔ استاندارد بین‌المللی آمریکا) در گرایش تأسیسات مکانیکی کاربرد بیش‌تری دارد به همین جهت در تشریح مطالب و علایم این قسمت هر سه استاندارد درنظر بوده است.

نظر به این که وسایل الکتریکی با ولتاژهای کار گوناگون وجود دارند به همین دلیل نقشهٔ مدارهای الکتریکی آن‌ها را به دو دسته کلی زیر می‌توان تقسیم کرد.

۱ــ مدارهای روشنایی الکتریکی و لوازم خانگی : مدارهایی که برای اتصال آن‌ها از شبکهٔ تک‌فاز ۲۲۰ ولت استفاده می‌شود؛ مانند لامپ و یخچال.

۲ــ مدارهای صنعتی : مدارهایی که برای اتصال آن‌ها از شبکهٔ سه فاز ۳۸۰ ولت استفاده می‌شود؛ مانند پمپ یک موتورخانه.

۱ــ۱۲ــ علایم اختصاری وسایل الکتریکی

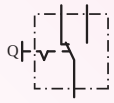
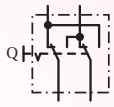
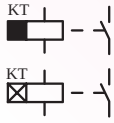
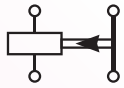
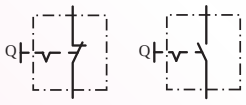
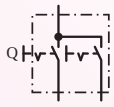
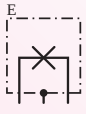
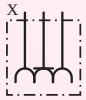
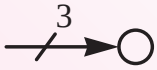
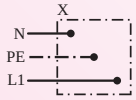
در جدول ۱ــ۱۲ علامت اختصاری چند وسیلهٔ الکتریکی که در مدارهای روشنایی یا لوازم خانگی به‌کار می‌روند، نشان داده شده است.

در جدول ۲ــ۱۲ علایم اختصاری چند وسیلهٔ الکتریکی که در مدارهای روشنایی کاربرد دارند در دو استاندارد VDE و IEC نشان داده شده است.

جدول ۱ــ۱۲ــ علایم اختصاری

نام وسیله	علایم الکتریکی	نام وسیله	علایم الکتریکی
زنگ از نوع چکشی		لامپ سیگنال	یا
بی‌زر، ویبراتور		لامپ رشته‌ای	
دربازکن		زنگ اخبار	
دهنی (میکروفن)		لامپ فلورسنت	
گوشی		سیم زیرکار	
بلندگو		سیستم توکار	
آلارم (بوق)		جعبهٔ تقسیم	
بخاری برقی		ماشین لباس‌شویی	
فتوسل		ماشین ظرف‌شویی	
مقاومت (المنت گرمکن)		اجاق برقی	
سِلف (سیم‌پیچ)		آب گرم‌کن	
خازن		پریز دوبل با کنتاکت محافظ	
سیم سیگنال		پریز سه فاز با کنتاکت محافظ	λ^3
سیم تلفن		بادبزن	
لامپ احتیاط		یخچال	*
چراغ خطر		فریزر	***
لامپ قابل قطع		باتری به‌طور کلی	

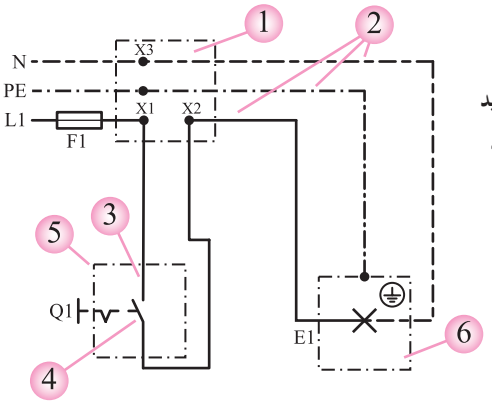
جدول ۲ــ۱۲ــ علایم اختصاری وسایل الکتریکی

نام وسیله	شمای فنی	شمای حقیقی IEC	شمای حقیقی VDE
کلید تبدیل			
کلید صلیبی			
رلهٔ زمانی			
ترانسفورماتور			
کلید یک‌پل			
کلید گروهی			
کلید دوبل			
لامپ رشته‌ای با بدنهٔ زمین (حفاظت شده)			
پریز با کنتاکت محافظ (پریز شوکو)			
انشعاب یا جعبهٔ تقسیم با تغذیه از سمت چپ			

۲ــ۱۲ــ مدارهای الکتریکی

مدارهای روشنایی را در سه شکل (نقشه) مختلف به شرح زیر نشان می‌دهند.

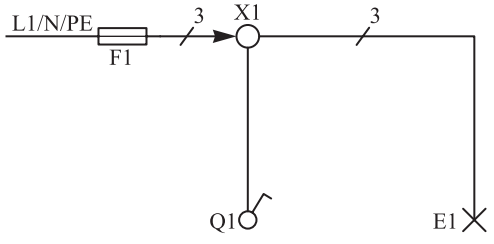
۱ــ۲ــ۱۲ــ شمای حقیقی : نقشه‌ای که از آن برای نشان دادن نحوهٔ اتصال سیم‌های رابط به کلیدها، عیب‌یابی و تا حدودی محل قرار گرفتن اجزای مدار روی تابلوی آموزشی به‌کار می‌رود. شکل ۱ــ۱۲ تصویر شمای حقیقی مدار کلید یک پل را نشان می‌دهد.



۱ــ جعبهٔ تقسیم
۲ــ سیم‌های رابط کلید
۳ــ کنتاکت ثابت کلید
۴ــ تیغهٔ متحرک کلید
۵ــ کلید یک‌پل
۶ــ سرپیچ لامپ
L_1 ــ سیم فاز
N ــ سیم نول
PE ــ سیم اتصال زمین (بدنه)
F_1 ــ فیوز

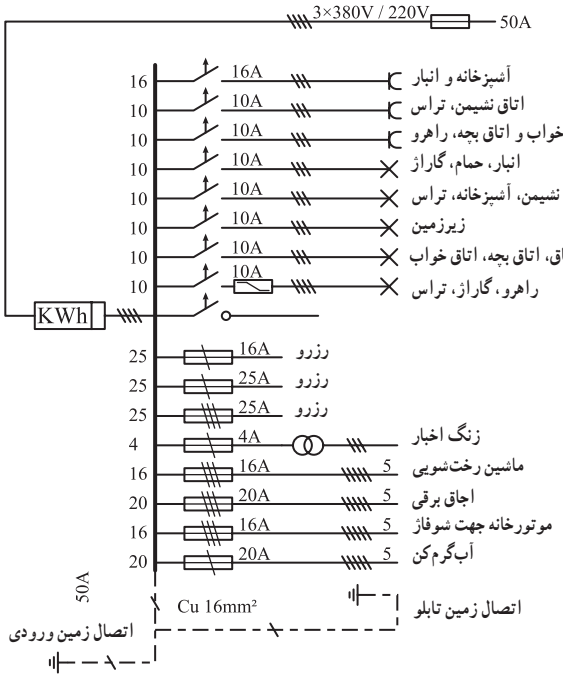
شکل ۱ــ۱۲ــ شمای حقیقی کلید یک پل

۲ــ۲ــ۱۲ــ شمای فنی (نقشه تک‌خطی) : شمای فنی، نقشهٔ ساده یک خطی است که نحوهٔ اتصال قسمت‌های اصلی مدار را بدون سیم‌های کمکی و چگونگی سیم‌کشی نشان می‌دهد. درواقع شمای فنی لوله‌های سیم‌کشی رابط بین اجزای مدار را به همراه تعداد سیم‌هایی که از داخل لوله می‌گذرد، نشان می‌دهد. تعداد سیم‌های داخل لوله اغلب با یک خط کوتاه مایل، که روی قسمت‌های مختلف گذاشته می‌شود، تعیین می‌گردد. اگر تعداد سیم‌های عبوری بیش از دو سیم باشد با عدد نشان داده می‌شود. شکل ۲ــ۱۲ تصویر شمای فنی مدار کلید یک پل شکل قبل را نشان می‌دهد.



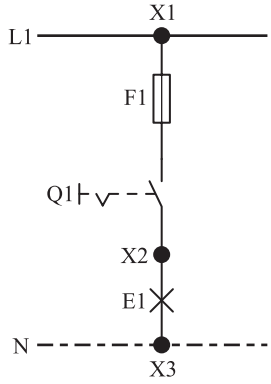
شکل ۲ــ۱۲ــ شمای فنی

تمامی نقشه‌های تابلوی برق تأسیسات مکانیکی با شمای فنی نشان داده می‌شوند. شکل ۳ــ۱۲ نقشهٔ شمای فنی تابلوی برق یک منزل مسکونی را نشان می‌دهد.



شکل ۳ــ۱۲

۳ــ۲ــ۱۲ــ شمای مسیر جریان : نقشه‌ای که در آن مسیرهای عبور و جریان برق‌رسانی به وسایل الکتریکی به‌صورت عمودی نشان داده می‌شود. در این نقشه مدار از سیم فاز شروع و پس از عبور از وسایل، به سیم نول ختم می‌شود. شکل ۴ــ۱۲ تصویر شمای مسیر جریان مدار کلید یک پل را نشان می‌دهد.



شکل ۴ــ۱۲ــ شمای مسیر جریان

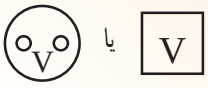
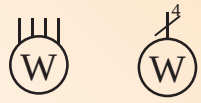
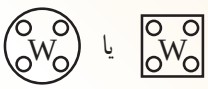
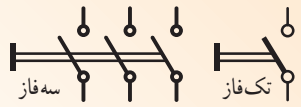
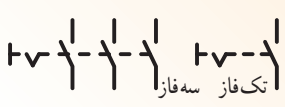
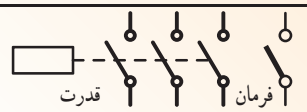
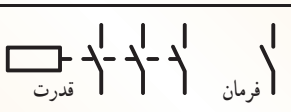
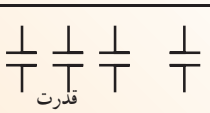
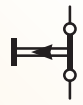
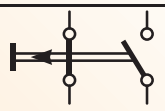
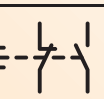
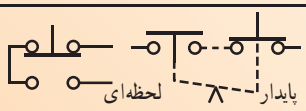
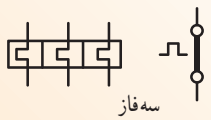
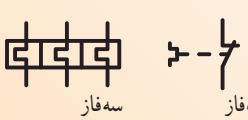
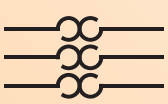
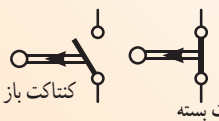
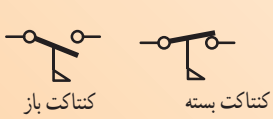
۳ــ۱۲ــ علایم اختصاری مدارهای صنعتی

برای آشنایی با نحوهٔ ترسیم و نقشه‌خوانی مدارهای صنعتی نیز لازم است تا با علایم اختصاری آن‌ها آشنایی داشته باشیم. جدول ۳ــ۱۲ علامت اختصاری چند نمونه قطعات صنعتی را نشان می‌دهد.

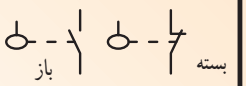
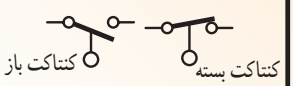
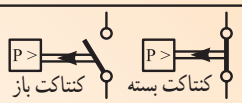
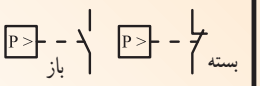
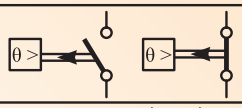
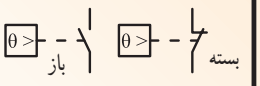
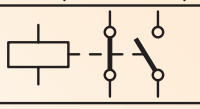
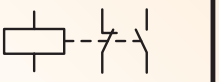
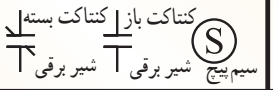
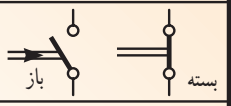
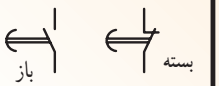
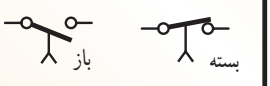
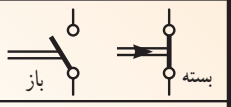
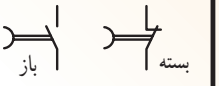
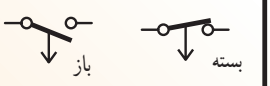
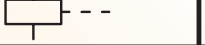
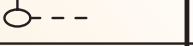
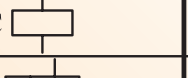
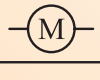
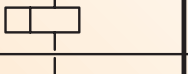
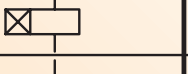
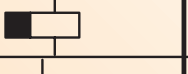
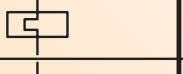
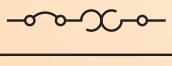
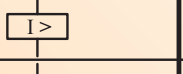
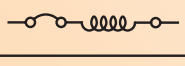
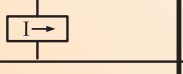
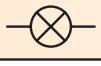
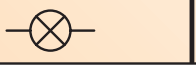
جدول ۳ــ۱۲ــ علایم اختصاری

نام وسیله یا قطعه	علامت اختصاری VDE	علامت اختصاری IEC	علامت اختصاری ANSI
شبکهٔ سه فاز	380V / 220V / 50Hz~ R S T	400V / 230V / 50Hz~ L1 L2 L3	L1 L2 L3
سیم نول	MP	N	N
سیم ارت	SL	PE	PE
اتصال بدنه			
فیوز	3 سه‌فاز — تک‌فاز	3 سه‌فاز — تک‌فاز	
کلید فیوز (فیوز مینیاتوری)	تک‌فاز	سه‌فاز — تک‌فاز	
کلید موتوری		I> I> I>	کلید سه‌فاز با قطع کننده حرارتی
موتور الکتریکی	3 M 3~ سه‌فاز — 2 M 1~ تک‌فاز	3 M 3~ سه‌فاز — 2 M 1~ تک‌فاز	سه‌فاز — تک‌فاز
سیم‌پیچی موتور تک‌فاز (تخته کلم)	U W Z Y	U1 U2 V2 V1	S C R
سیم‌پیچی موتور سه‌فاز (تخته کلم)	U V W Z X Y	U1 V1 W1 W2 U2 V2	
آمپرمتر	2 A A	2 A A	A یا A

ادامهٔ جدول ۳ــ۱۲ــ علایم اختصاری

نام وسیله یا قطعه	علامت اختصاری VDE	علامت اختصاری IEC	علامت اختصاری ANSI
ولت‌متر			
وات‌متر			
مبدّل جریان			
کلید قطع و وصل			
کنتاکت بسته			
کنتاکت باز			
کنتاکت دوحالته (بسته و باز)			
کنتاکت بسته با تأخیر در باز شدن			
کنتاکت باز با تأخیر در بسته شدن			
شستی استاپ (دگمهٔ فشاری پوش باتن)			
شستی استارت (دگمهٔ فشاری پوش باتن)			
شستی استپ ــ استارت			
بی‌متال			
کنترل کنندهٔ محدودهٔ حرکت (لیمیت سوئیچ ــ میکروسوئیچ)			

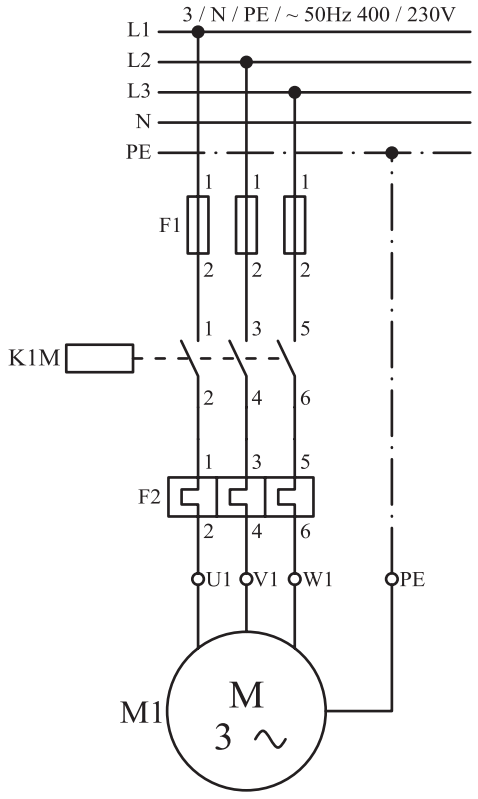
ادامهٔ جدول ۳ــ۱۲ــ علایم اختصاری

نام وسیله یا قطعه	علامت اختصاری VDE	علامت اختصاری IEC	علامت اختصاری ANSI
کنترل کنندهٔ ارتفاع سیال (فلوتر سوئیچ)			
کنترل کنندهٔ فشار (تابع فشار)			
کنترل کنندهٔ دما (ترموستات)			
شیر برقی			
کنتاکت تایمر با تأخیر در وصل			
کنتاکت تایمر با تأخیر در قطع			
محرّک دستی			
محرک فشاری (با دست)			
محرک کششی			
محرک تغییر جهت			
محرک الکترومغناطیسی			
محرک با سطح سیال			
محرک فشاری (با پدال)			
قفل مکانیکی			
بوبین کنتاکتور (عملگر)			
رله‌های عملگر با مشخصه‌های خاص			
رله زمانی (تایمر) با تأخیر در وصل			
رله زمانی (تایمر) با تأخیر در قطع			
رله یا تحریک حرارتی (بی‌متال)			
رلهٔ اضافه جریان (جریان زیاد)			
رلهٔ قطع کننده جریان معکوس			
لامپ			

۴ــ۱۲ــ نقشه مدارهای صنعتی

نقشه مدارهای صنعتی که اغلب برای راه‌اندازی موتورهای الکتریکی به‌کار می‌روند در چند شکل نشان داده می‌شوند. در این قسمت به دو نقشهٔ پرکاربرد این گروه از مدارها اشاره شده است.

۱ــ نقشهٔ مدار قدرت : به نقشه‌ای که انرژی الکتریکی را از شبکه سه فاز دریافت و به مصرف‌کننده منتقل می‌کند، نقشهٔ «مدار قدرت» گفته می‌شود. شکل ۵ــ۱۲ تصویر یک نمونه مدار قدرت را نشان می‌دهد.

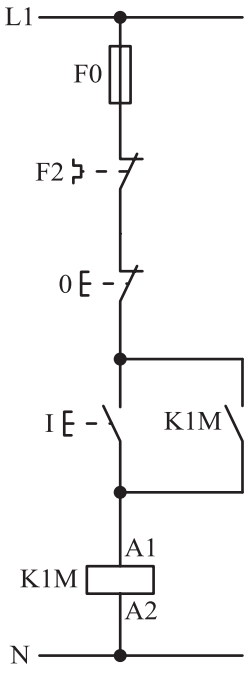


شکل ۵ــ۱۲

۲ــ نقشهٔ مدار فرمان : به نقشه‌ای که از آن برای ارسال نحوهٔ عملکرد یا تعیین مدت زمان کارکرد مدار قدرت استفاده می‌شود، نقشهٔ «مدار فرمان» گویند.

ولتاژ کار اغلب مدارهای فرمان شبکه تک‌فاز است.

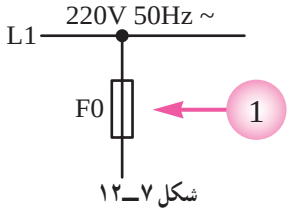
شکل ۶ــ۱۲ تصویر یک نمونه مدار فرمان را نشان می‌دهد.



شکل ۶ــ۱۲

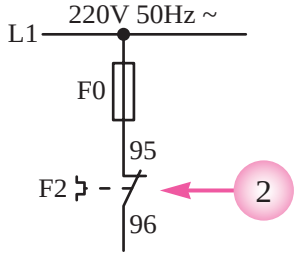
در ترسیم یا نقشه‌خوانی مدارهای فرمان صنعتی به نکات زیر باید توجه کرد :

۱ــ در تمامی مدارهای الکتریکی ضروری است از یک فیوز که به‌صورت سری با کل مدار قرار می‌گیرد، جهت حفاظت مدار در مقابل اتصال کوتاه استفاده کرد (قطعهٔ ۱ درشکل ۷ــ۱۲).



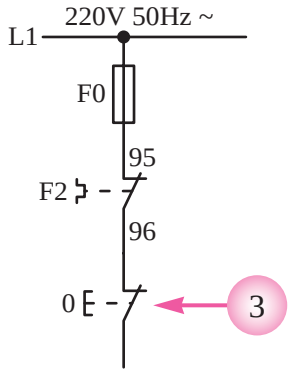
شکل ۷ــ۱۲

۲ــ در برخی مدارهای الکتریکی صنعتی روی حفاظت مدار در برابر اضافه بار احتمالی از عنصری به‌نام بی‌متال، بعد از فیوز در مدارهای فرمان، استفاده می‌شود (قطعهٔ ۲ در شکل ۸ــ۱۲).



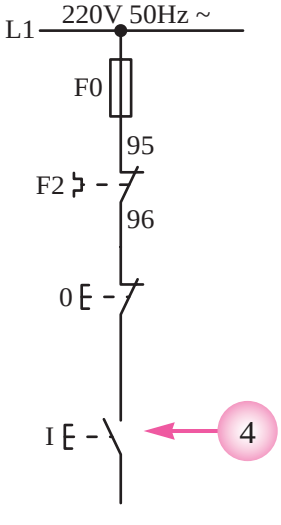
شکل ۸ــ۱۲

۳ــ یکی از قطعاتی که در مدارهای صنعتی نقش قطع‌کنندهٔ مدار را دارد، شستی استپ است. اگر هدف استفاده از شستی استپ قطع کل مدار باشد، باید آن را همیشه به‌صورت سری پس از بی‌متال در مدار قرار داد. درصورتی که هدف قطع یک قسمت از مدار باشد شستی استپ را باید فقط در مسیر آن وسیله قرار داد (قطعهٔ ۳ در شکل ۹ــ۱۲).



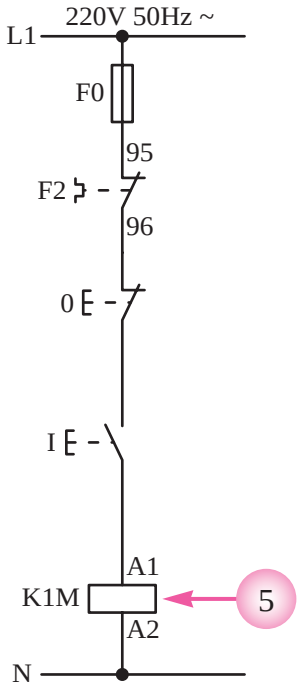
شکل ۹ــ۱۲

۴ــ برای شروع به کار هر مدار فرمانی باید از یک وسیلهٔ وصل‌کننده مانند یک کلید یا شستی استارت استفاده کرد، که محل قرار گرفتن آن پس از شستی استپ مدار است (قطعهٔ ۴ در شکل ۱۰ــ۱۲).



شکل ۱۰ــ۱۲

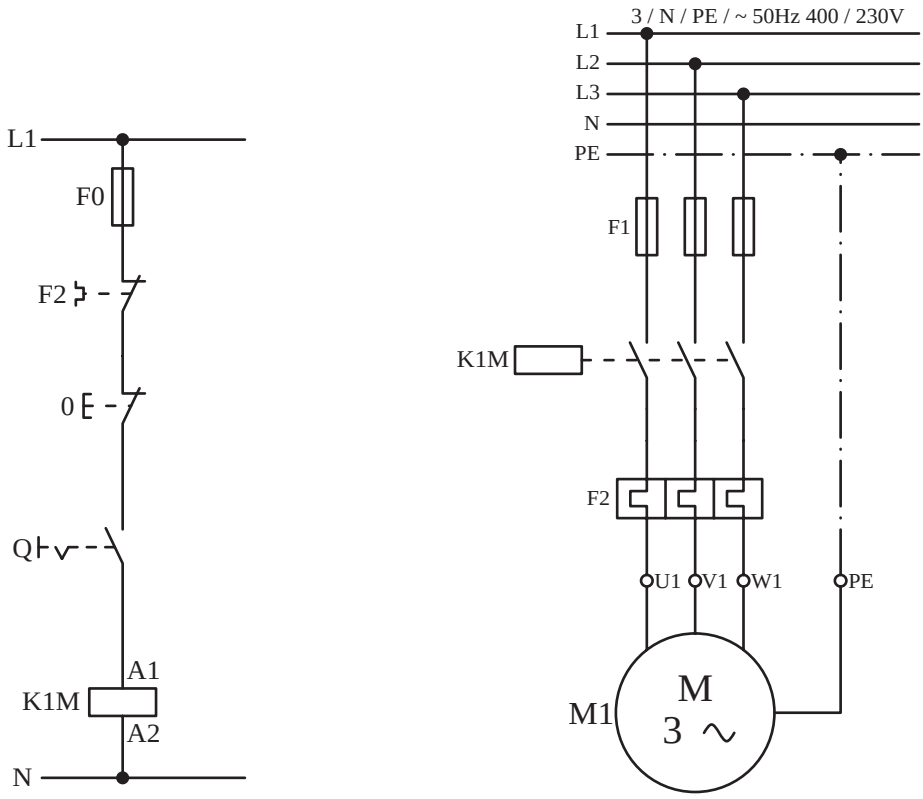
۵ــ در انتهای هر مسیر سادهٔ جریانی اگر از وسایل و تجهیزات دیگری استفاده شود باید بوبین رله‌های عملگر، مانند بوبین کنتاکتورها را قرار داد. برای این‌که راحتی کار در زمان سیم‌کشی و عملگر معمولاً یک‌طرف بوبین کنتاکتورها به سیم نول وصل می‌شود و در نتیجه با وصل کلیدها یا شستی‌های مدار، سیم فاز به سمت دیگر بوبین کنتاکتور وصل می‌شود و پس از مغناطیس شدن آن، کنتاکت‌های آن عمل می‌کند (قطعهٔ ۵ در شکل ۱۱ــ۱۲). براساس توضیحات داده شده می‌توان نقشه مدار



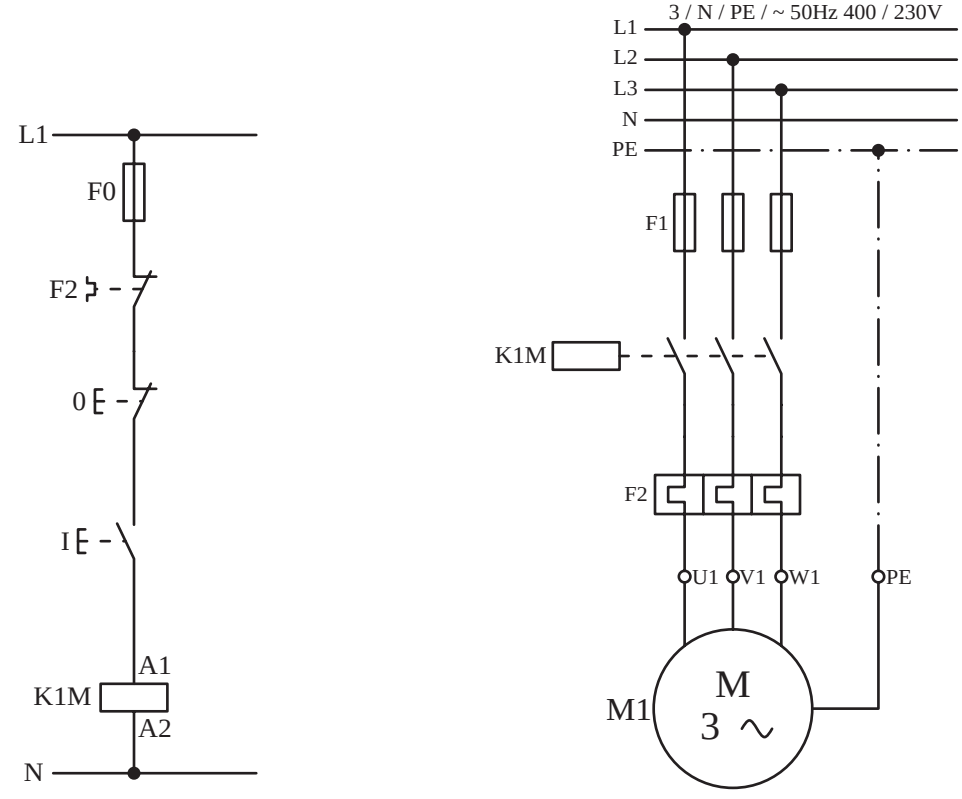
شکل ۱۱ــ۱۲

قدرت و فرمان راه‌اندازی یک موتور سه فاز آسنکرون روتور قفسی را با استفاده از کلید یک پل به‌صورت شکل ۱۲ــ۱۲ نشان داد.

اگر بخواهیم با فشار بر شستی، مدار فرمان به‌صورت لحظه‌ای کار کند کافی است به‌جای کلید یک پل از یک شستی استارت مطابق شکل ۱۳ــ۱۲ استفاده کرد.



شکل ۱۲ــ۱۲

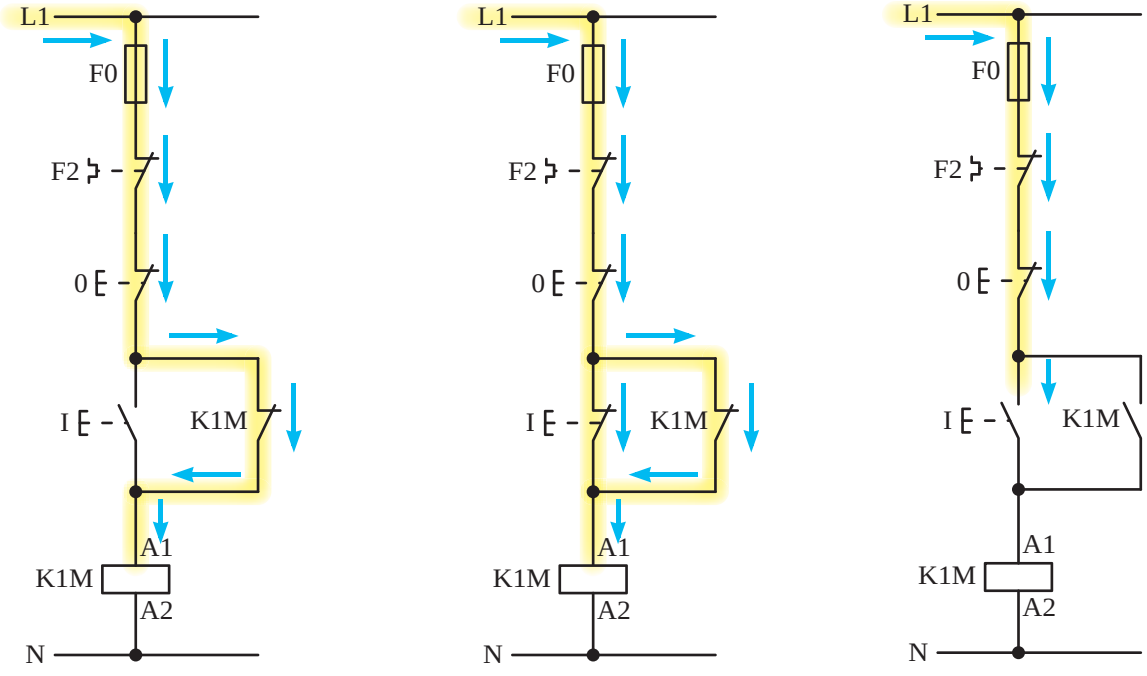


شکل ۱۳ــ۱۲

همان‌طور که در نقشه مدار فرمان مشخص است جریان از طریق فیوز (F۰)، بی‌متال (F۲)، استپ (O) تا استارت (I) آمده است. هرگاه شستی استارت وصل شود جریان به بوبین کنتاکتور می‌رسد و آن‌را مغناطیس می‌کند. درنتیجه تیغه‌های آن که در مدار قدرت قرار دارند وصل می‌شود و جریان سه فاز به سرهای U۱، V۱، W۱ موتور می‌رسد و تا زمانی که دست ما روی شستی باشد، کار می‌کند. هرگاه دست را از روی شستی برداریم برق بوبین قطع می‌شود و در نتیجه موتور خاموش می‌گردد.

درصورتی که بخواهیم با استفاده از شستی‌های استارت و استپ یک مدار راه‌اندازی موتور سه فاز را به‌صورت دایم کار طراحی کنیم، کافی است یکی از کنتاکت‌های باز کنتاکتور را به‌صورت موازی با شستی استارت قرار دهیم. چون تیغه باعث می‌شود تا مدار در شرایط پایدار باقی بماند به همین دلیل به این کنتاکت «تیغهٔ خود نگه‌دارنده» نیز گفته می‌شود.

نحوهٔ عملکرد مدار فرمان در سه وضعیت (قبل از زدن شستی، لحظهٔ وصل شستی و پس از قطع شستی) را در شکل ۱۴ــ۱۲ مشاهده می‌کنید.



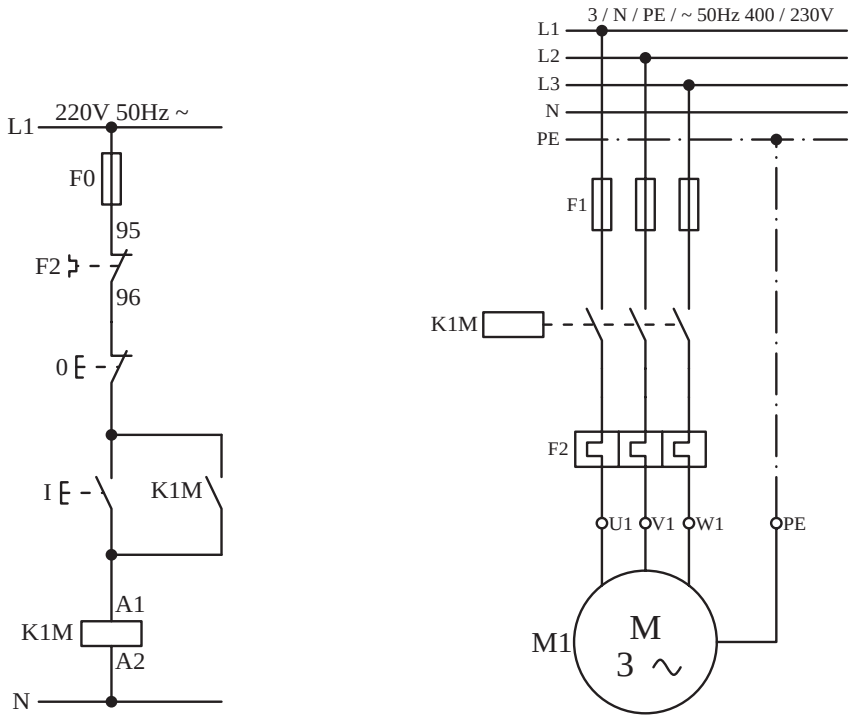
الف) قبل از زدن شستی استارت

ب) لحظهٔ وصل شستی استارت

ج) پس از قطع شستی استارت

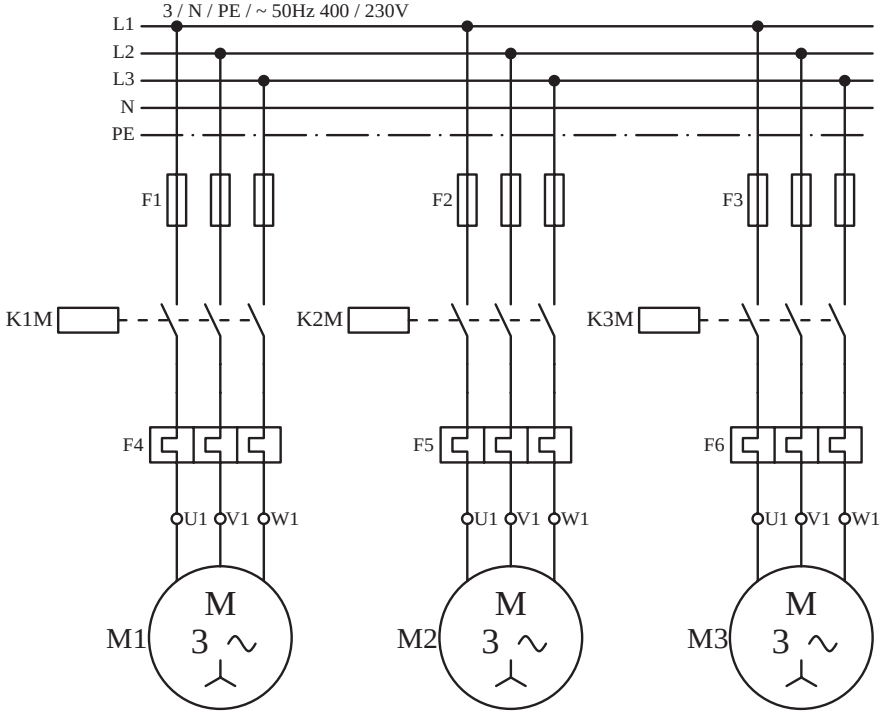
شکل ۱۴ــ۱۲

سؤال : با مشاهدهٔ تصاویر مدار فرمان (نشان داده شده در شکل ۱۴ــ۱۲) نقشه‌خوانی مدار فرمان و قدرت شکل ۱۵ــ۱۲ را انجام دهید.

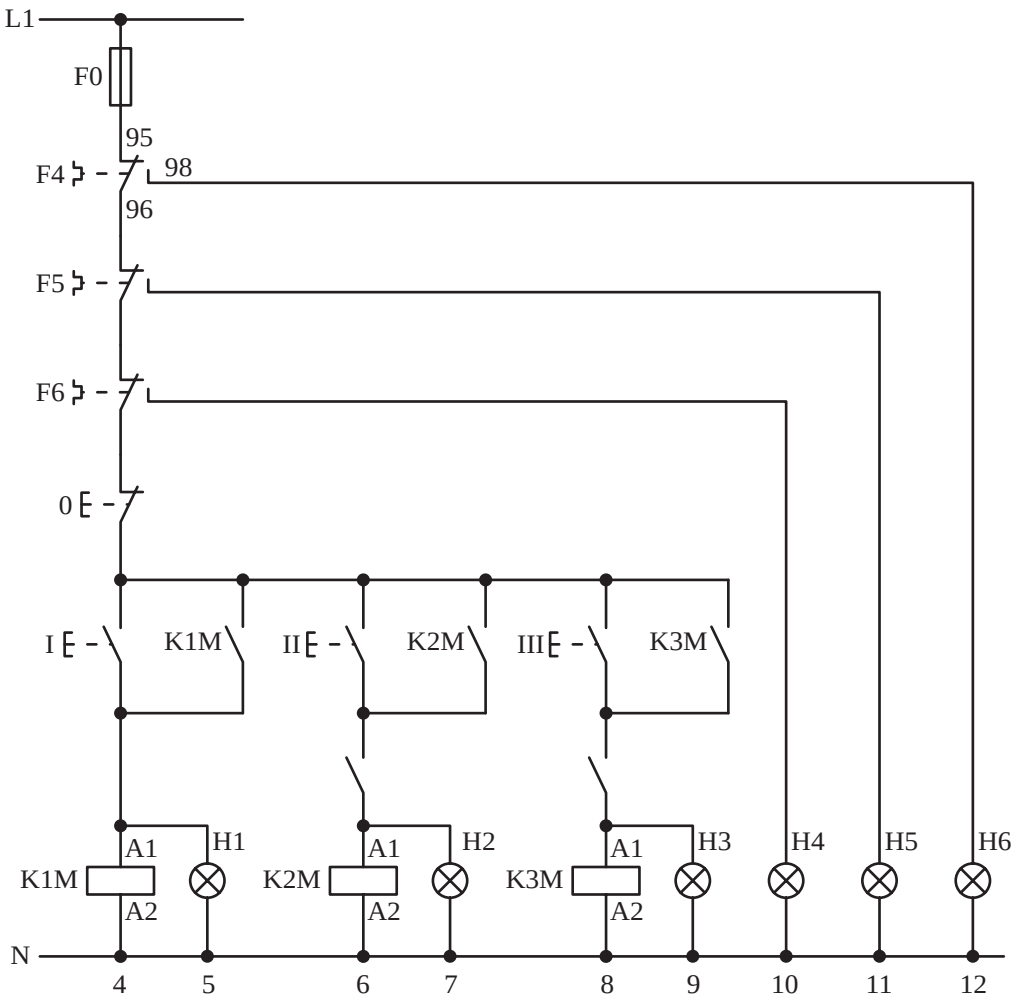


شکل ۱۵ــ۱۲

در شکل ۱۶ــ۱۲ نقشهٔ مدار قدرت و فرمان راه‌اندازی نشان داده شده است.
سه موتور که به‌صورت یکی پس از دیگری راه‌اندازی می‌شوند،



شکل ۱۶ــ۱۲



ادامهٔ شکل ۱۶ــ۱۲

همان‌گونه که در نقشه مدار فرمان مشخص است با زدن شستی استارت (I) که در مسیر جریان ۴ قرار دارد جریان به بوبین کنتاکتور می‌رسد. ضمن مغناطیس شدن کنتاکتور K۱M لامپ سیگنال H۱ نیز روشن می‌شود. در این حالت مدار از طریق تیغهٔ خود نگه‌دار K۱M مسیر ۵ در شرایط پایدار باقی می‌ماند. هم‌چنین تیغهٔ باز K۱M که در مسیر جریانی ۶ قرار دارد بسته می‌شود. حال اگر در این وضعیت شستی II فشار داده شود جریان به بوبین کنتاکتور K۲M می‌رسد و ضمن وصل شدن کنتاکت‌های کنتاکتور لامپ سیگنال H۲ نیز مشابه H۱ برای نشان دادن وضعیت موتور (M۱) روشن می‌شود.

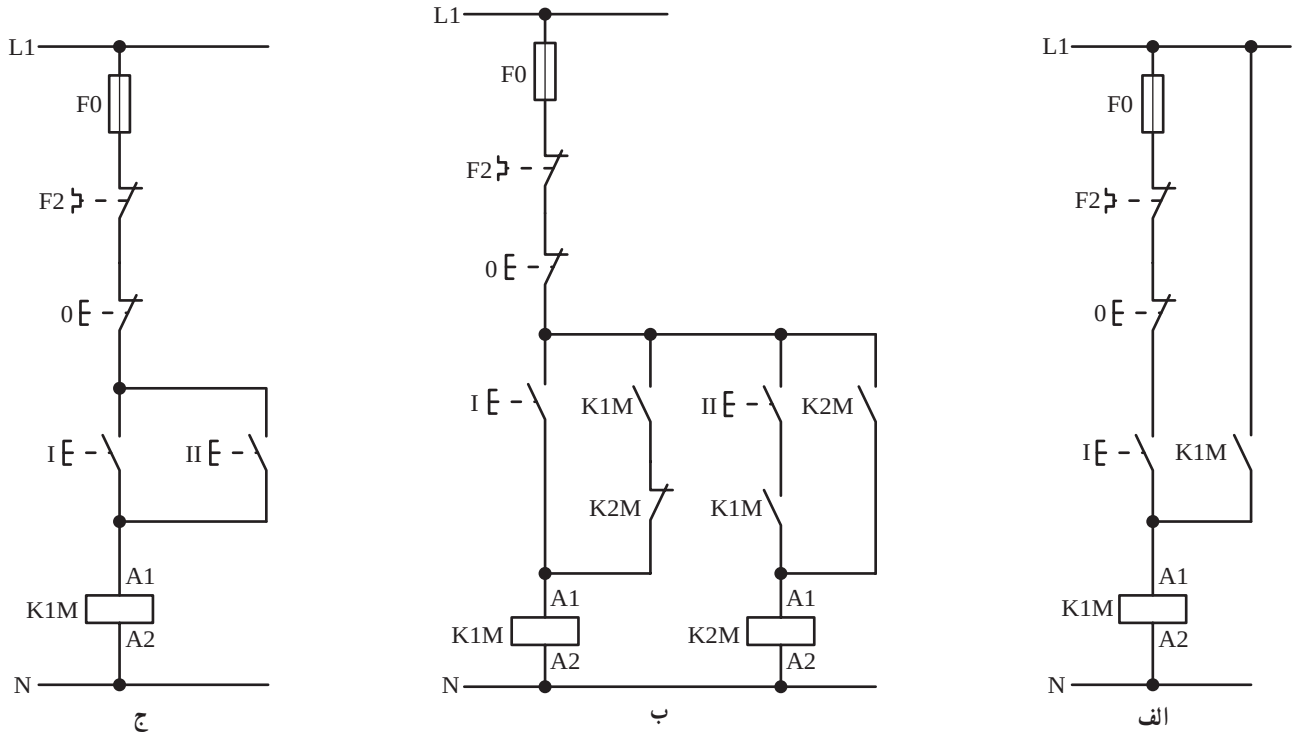
هم‌چنین در این حالت کنتاکت باز K۲M مسیر ۸ نیز وصل می‌شود و به‌صورت یک شرط، مسیر موتور سوم (M۳) را آماده وصل می‌کند. با زدن شستی III جریان به بوبین کنتاکتور K۳M به لامپ H۳ می‌رسد و هر دو در وضعیت روشن قرار می‌گیرند.

با کمی دقت در مدار فرمان شکل ۱۶ــ۱۲ مشاهده می‌شود در این مدار از سه لامپ سیگنال دیگر به نام‌های H۴ و H۵ و H۶ استفاده شده است که به‌ترتیب در مسیر تیغهٔ فرمان بی‌متال‌های مربوط به موتورهای M۱، M۲ و M۳ قرار گرفته‌اند. در صورت بروز اضافه بار بر روی هریک از موتورها، که باعث قطع بی‌متال مربوطه می‌شود، لامپ سیگنال (خبردهنده) روشن می‌شود و مشخص می‌کند کدام موتور تحت بار قرار گرفته است.

پرسش فصل دوازدهم

پرسش تشریحی

ـ مدارهای فرمان داده شده در شکل ۱۷ـ۱۲ را درنظر بگیرید و با بررسی نقشه‌ها (نقشه‌خوانی) عملکرد هریک از آن‌ها را توضیح دهید.



شکل ۱۷ـ۱۲

فصل ۱۳

دستگاه‌های الکتریکی تأسیسات مکانیکی ساختمان

هدف‌های رفتاری : پس از پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ روش‌های ترسیم نقشه‌های الکتریکی را شرح دهد.

۲ــ وسایلی الکتریکی کولر آبی را شرح دهد.

۳ــ وسایل الکتریکی فن‌کویل را شرح دهد.

۴ــ وسایل الکتریکی کوره هوای گرم را شرح دهد.

۵ــ وسایل الکتریکی مشعل گازوئیل سوز را شرح دهد.

۶ــ وسایل الکتریکی مشعل گازسوز را شرح دهد.

۷ــ مدار الکتریکی تابلو برق موتورخانه را توضیح دهد.

سیمای فصل ۱۳

ــ دستگاه‌های الکتریکی تأسیسات مکانیکی ساختمان

کولر آبی

ــ الکتروموتور بادزن

ــ الکترو موتور پمپ آب

ــ مدار برقی

فن‌کویل

ــ مشخصات فن‌کویل

ــ الکتروموتور

ــ ترموستات اتاقی

ــ مدار الکتریکی فن‌کویل

ــ شیر موتوری سه‌راهه

ــ مدار الکتریکی با شیر سه‌راهه موتوری

ــ مدار الکتریکی فن‌کویل سقفی

کوره‌هوای گرم

مشعل گازوئیل سوز

ــ الکتروموتور

ــ شیر برقی

ــ ترانسفورماتور جرقه

ــ چشم الکتریک

ــ رله مشعل

مشعل گازسوز

ــ میله یونیزاسیون

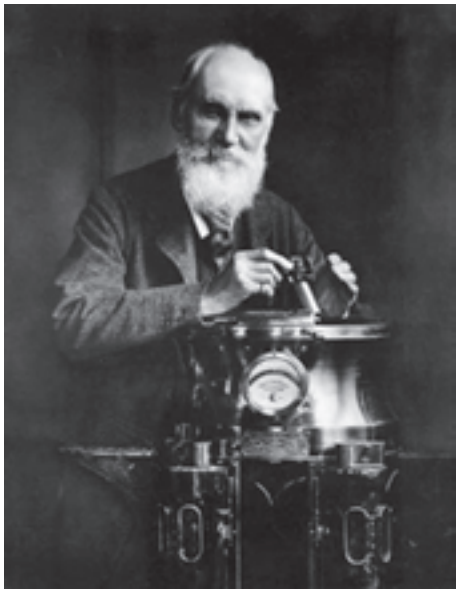
ــ کلید کنترل فشار گاز

ــ کلید کنترل فشار هوا

ــ رله مشعل

تابلو برق موتور خانه

آشنایی با دانشمندان



لردکلوین

ویلیام تامسون نخستین بار ون کلوین (۱۹۰۷ــ ۱۸۲۴) که بیش‌تر با نام «لردکلوین» مشهور است، ریاضیدان، فیزیک‌دان و مهندس بریتانیایی که از پیشگامان مهم علوم طبیعی بود.

او به‌خاطر پیشنهاد مقیاس «دمای مطلق» معروف است که به افتخار او «مقیاس دمای کلوین» نام گرفته است. صفر کلوین پایین‌ترین دمای ممکن است که با هیچ فرآیند فیزیکی نمی‌توان به‌آن رسید اما می‌توان به‌آن نزدیک شد.

انتقال اطلاعات به آن سوی اقیانوس اطلس از طریق کابل‌های زیردریایی، تحلیل ریاضی الکتریسیته و ترمودینامیک و وحدت بخشیدن به حوزه‌های مختلف فیزیک از دلایل شهرت اوست.

۱۳ــ دستگاه‌های الکتریکی تأسیسات مکانیکی ساختمان

دستگاه‌های تأسیسات مکانیکی ساختمان مانند پمپ‌ها، مشعل‌ها، فن‌کویل‌ها، کولرها و... انرژی محرکهٔ خود را از دستگاه‌های الکتریکی دریافت می‌کنند. بنابراین آشنایی با مبانی الکتریسیته و وسایل الکتریکی و آشنایی با مدارهای الکتریکی دستگاه‌های مکانیکی برای کسانی که با آن‌ها سروکار دارند و وظیفهٔ راه‌اندازی، سرویس و نگه‌داری آن‌ها را بر عهده گرفته‌اند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در فصل‌های گذشتهٔ کتاب با مبانی الکتریسیته و وسایل الکتریکی، مانند مقاومت، سلف، خازن، و الکتروموتور... آشنا شدید. در این فصل دستگاه‌های الکتریکی مورد استفاده در تأسیسات مکانیکی معرفی و شرح داده می‌شود تا توانایی لازم را در راه‌اندازی، سرویس، نگه‌داری و احیاناً تعمیر آن‌ها، کسب نمایند. قسمتی از اشکالات که در تأسیسات مکانیکی به‌وجود می‌آید از نوع الکتریکی است. آشنایی و تسلط به دستگاه‌ها و مدارهای الکتریکی باعث می‌شود که اشکال موجود به‌آسانی شناسایی و برطرف گردد.

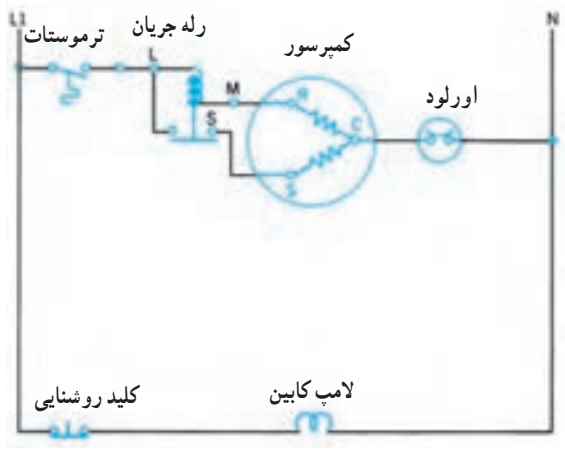
۱ــ۱۳ــ نقشه‌های الکتریکی

نقشه‌های الکتریکی به دو صورت دیاگرام نردبانی[1] و دیاگرام تصویری[2] ترسیم می‌شوند.

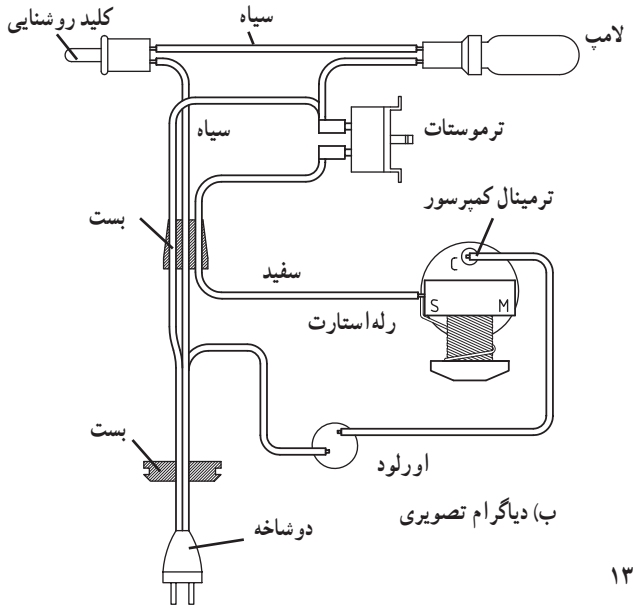
۱ــ۱ــ۱۳ــ دیاگرام نردبانی : در روش نردبانی ترسیم نقشه‌های الکتریکی، مدارها به‌صورت خطوط موازی (معمولاً افقی) ترسیم می‌شوند که به دو خط عمودی در دو طرف متصل می‌شوند. معمولاً خط عمودی سمت راست نول و خط عمودی سمت چپ فاز است. اگر خط‌های موازی به‌صورت عمودی ترسیم شوند به دو خط افقی متصل می‌شوند، که خط افقی بالا فاز و خط افقی پایین نول خواهد بود. در روش ترسیم نردبانی نقشه‌ها تحلیل، بررسی و تعقیب مدار آن‌ها از روش ترسیم تصویر آسان‌تر است.

۲ــ۱ــ۱۳ــ دیاگرام تصویری : در مدارهای تصویری شکلی را که تقریباً شبیه قرار گرفتن وسایل الکتریکی است ترسیم می‌کنند. نقاط اتصال را همان‌گونه که در وسایل وجود دارد نشان می‌دهند و ارتباط بین نقاط اتصال را نقطه به نقطه ترسیم می‌کنند. در روش دیاگرام تصویری چون ارتباط نقطه به نقطهٔ مدار نشان داده شده است اجرا و تعمیر آسان‌تر صورت می‌گیرد.

مدار راه‌اندازی یک یخچال خانگی در شکل ۱ــ۱۳ــالف به‌صورت نردبانی و شکل ۱ــ۱۳ــ ب به‌صورت تصویری نشان داده شده است.



الف) دیاگرام نردبانی



ب) دیاگرام تصویری

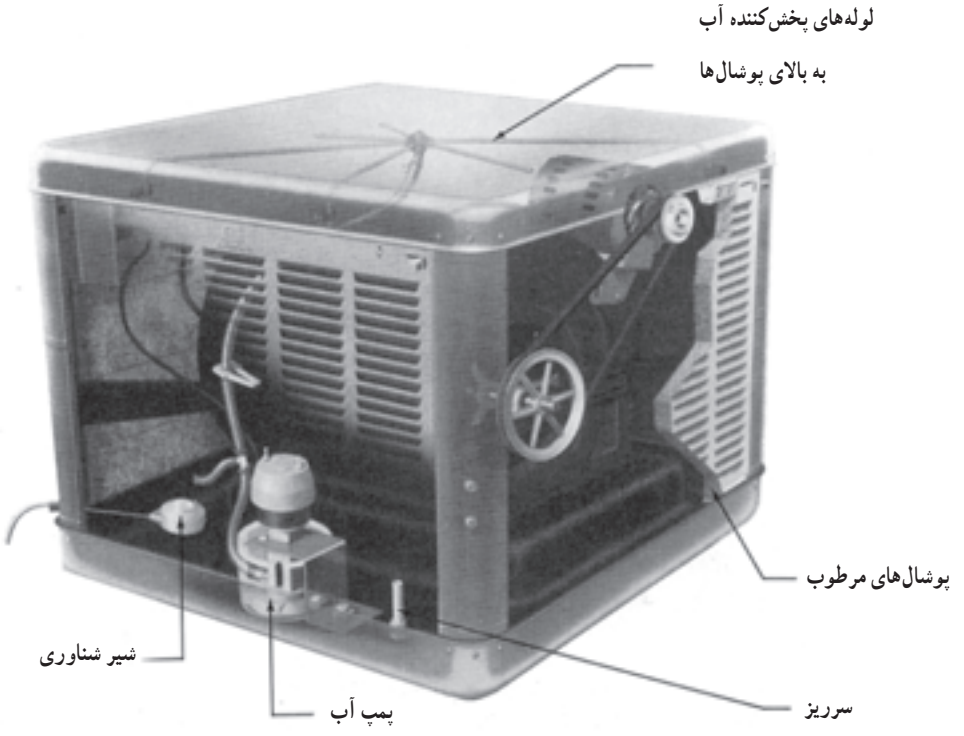
شکل ۱ــ۱۳

۱ــ Ladder diagram ۲ــ Pictorial diagram

۲ــ۱۳ــ کولر آبی

این کولرها مطابق شکل ۲ــ۱۳ دارای پوشال‌های تبخیر و پمپ گردش آب برای بالا بردن آب از تشتک تا سیستم توزیع به پوشال‌ها است. یک بادزن، هوا را از روی پوشال‌های تبخیری مکش کرده به فضایی که باید سرد شود می‌فرستد. کولرهای آبی در اندازه‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ سی‌اف‌ام (فوت مکعب در دقیقه) ساخته می‌شوند.

سرعت عبور هوا از روی پوشال ۰/۵ تا ۱/۵ متر در ثانیه است و آب تشتک توسط یک شیر شناور و یک لوله سرریز و تخلیه تأمین می‌شود، مقدار مصرف آب بستگی به جریان هوا دارد. مصرف آب به ازاء هر ۱۰۰۰ سی‌اف‌ام هوای جریانی و هر $10^{\circ}F$ درجه کاهش دما ۱/۳ گالن در ساعت است .بادزن از نوع سانتری‌فوژ با پره‌های رو به جلو بوده و حرکت آن توسط یک تسمه V شکل از الکتروموتور گرفته می‌شود.



شکل ۲ــ۱۳ــ کولر آبی

در جدول ۱ــ۱۳مشخصات یک نمونه کولر آبی آورده شده است. این جدول نشان می‌دهد :

۱ــ مدل کولر نشان‌دهندهٔ هوادهی کولر بر حسب سی‌اف‌ام در دور زیاد است.

۲ــ یک کولر ۳۵۰۰ در شرایط معمولی می‌تواند فضایی به حجم ۱۸۰ متر مکعب را خنک کند. اگر ارتفاع فضا را ۲/۸متر در نظر بگیریم از تقسیم بر ۲/۸ عدد ۶۴/۳ به‌دست می‌آید و نشان می‌دهد که این کولر می‌تواند زیربنای ۶۴ متر مربعی را خنک کند.

۳ــ کولر مدل ۴۰۰۰ دارای طول و عرض ۸۷ سانتی‌متر و ارتفاع یک‌متر است. داشتن ابعاد کولر راهنمای خوبی برای انتخاب محل نصب است.

۴ــ الکتروموتور بادزن کولر از نوع تک‌فاز، دوسرعته بوده برای مدل‌های ۳۵۰۰ و ۴۰۰۰ از موتور با توان $\frac{1}{3}$ اسب بخار و برای مدل ۶۵۰۰ از موتور با توان $\frac{1}{2}$ اسب بخار استفاده می‌شود.

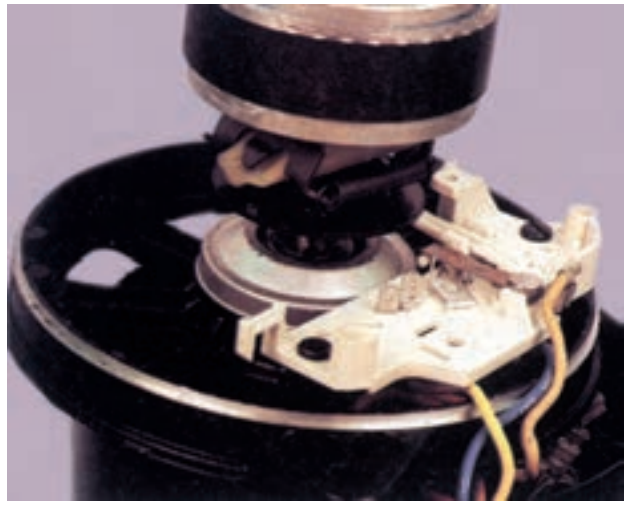
۵ــ الکترو پمپ آب از نوع تک‌فاز و یک سرعته برای تمام مدل‌ها دارای قدرت $\frac{1}{60}$ اسب بخار حدود ۱۲ وات است.

جدول ۱ــ۱۳ــ مشخصات یک نمونه کولر آبی

مدل	مقدار هوای خنک به فوت مکعب در دقیقه		مقدار هوای خنک به متر مکعب در دقیقه		حجم مناسب برای استفاده در شرایط عادی	مقدار مصرف آب در ۳۵°c و ۲۰٪ رطوبت	طول یا عرض	ارتفاع	وزن	مشخصات الکتروموتور فن			مشخصات الکتروپمپ		
	دورکم	دورزیاد	دورکم	دورزیاد	متر مکعب	لیتردر ساعت	میلی‌متر	میلی‌متر	کیلوگرم	قدرت اسب بخار	سرعت	ولتاژ	قدرت اسب بخار	سرعت	ولتاژ
۳۵۰۰	۲۳۵۰	۳۵۰۰	۶۶	۹۹	۱۸۰	۲۴	۷۳۰	۸۵۰	۴۵	$\frac{۱}{۳}$	۲	۲۲۰	$\frac{۱}{۶۰}$	۱	۲۲۰
۴۰۰۰	۲۷۰۰	۴۰۰۰	۷۶	۱۱۴	۲۷۰	۳۳	۸۷۰	۱۰۰۰	۶۵	$\frac{۱}{۳}$	۲	۲۲۰	$\frac{۱}{۶۰}$	۱	۲۲۰
۶۵۰۰	۴۳۵۰	۶۵۰۰	۱۲۴	۱۸۵	۳۸۰	۴۵	۸۷۰	۱۱۵۰	۸۳	$\frac{۱}{۳}$	۲	۲۲۰	$\frac{۱}{۶۰}$	۱	۲۲۰

۱ــ۲ــ۱۳ــ الکترو موتور بادزن : الکترو موتور بادزن از نوع آسنکرون قفس‌سنجابی فاز شکسته با سیم‌پیچ استارت و دو دور است و برای خارج کردن سیم‌پیچ استارت پس از راه‌اندازی از کلید تابع دور (کلید گریز از مرکز) استفاده می‌شود (شکل ۳ــ ۱۳).

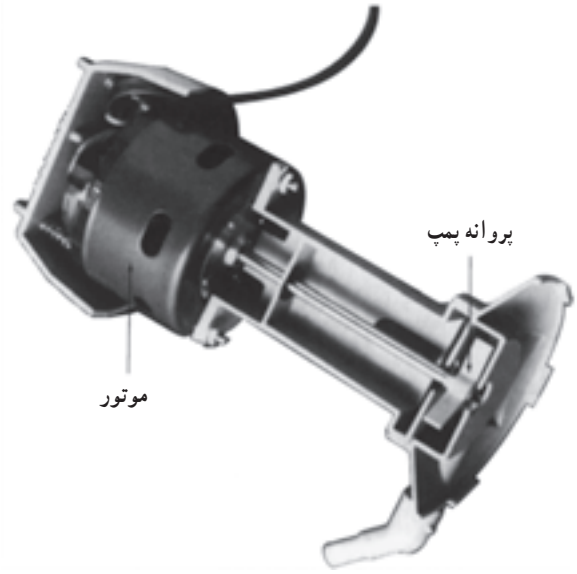
الف) موتور کولر



ب) کلید گریز از مرکز

شکل ۳ــ۱۳

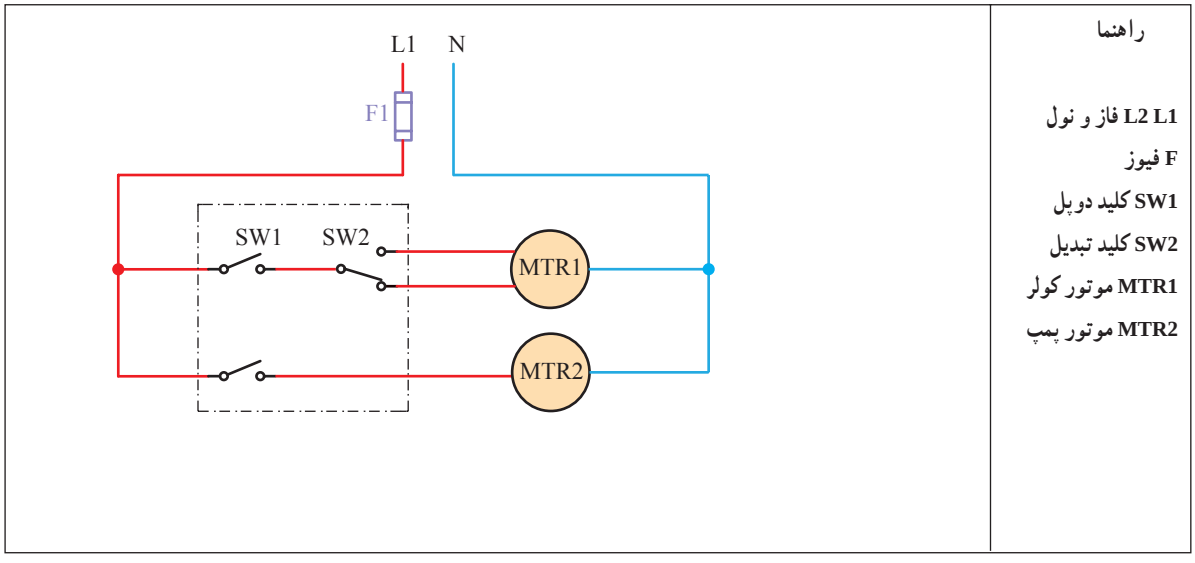
۲ــ۲ــ۱۳ــ پمپ‌آب : برای گردش آب بین تشتک و پوشال‌ها از یک الکتروپمپ با قدرت کم استفاده می‌شود. الکتروموتور از نوع آسنکرون با قطب چاک‌دار است (شکل ۴ــ۱۳).



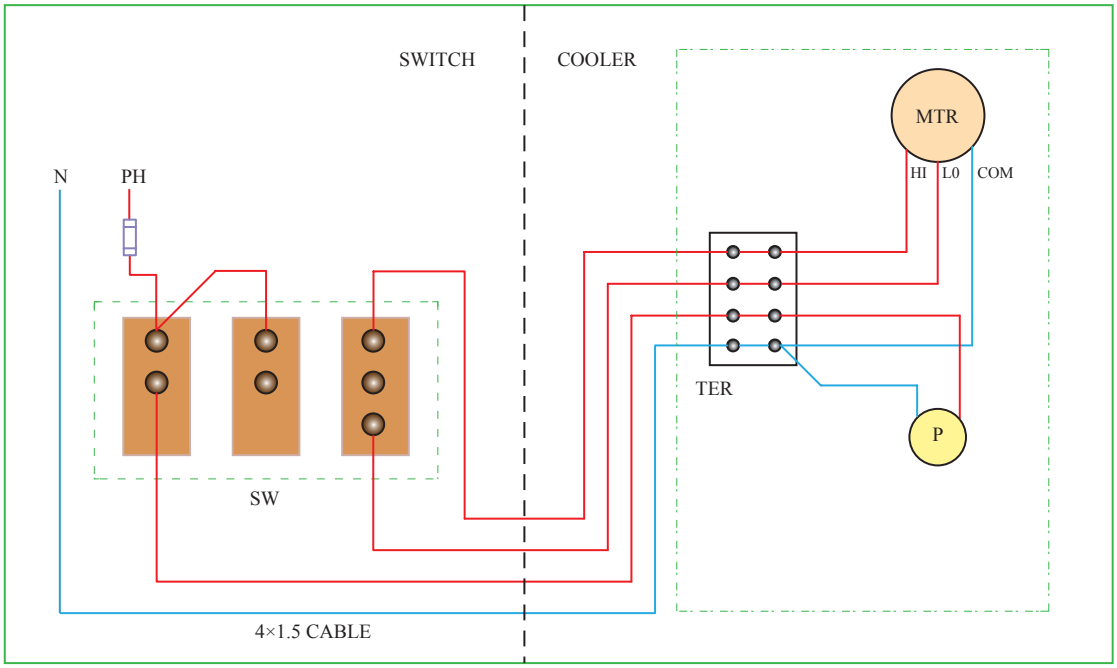
شکل ۴ــ۱۳ــ الکتروپمپ کولر

۳ــ۲ــ۱۳ــ نقشهٔ مدار برقی کولر آبی :

نقشهٔ برقی کولر : شکل ۵ــ۱۳ــ الف مدار برقی کولر آبی را به‌صورت شماتیک و با روش نردبانی نشان می‌دهد. مصرف‌کننده‌های الکتریکی عبارت‌اند از : الکتروموتور کولر که با MTR۱ و موتور پمپ آب که با MTR۲ نشان داده شده است. مصرف‌کننده‌ها از یک طرف مستقیماً به نول وصل شده‌اند و فاز L۱ پس از عبور از فیوز به پایهٔ مشترک کلید دوپل می‌رسد. با زدن یک پل از کلید دوپل موتور پمپ MTR۲ راه‌اندازی می‌گردد و با زدن پل دوم از کلید دوپل فاز L۱ به پایهٔ مشترک کلید تبدیل SW۲ می‌رسد و الکتروموتور اصلی کولر، با توجه به وضعیت کلید تبدیل، با یکی از دورهای تند یا کند راه‌اندازی می‌شود. برای تغییر دور موتور کولر وضعیت کلید تبدیل را تغییر می‌دهیم. به‌طور کلی کلیدهای کولر شامل یک کلید دوپل و یک کلید تبدیل است. شکل ۵ــ۱۳ــ ب مدار برقی کولر را به‌روش تصویری نشان می‌دهد.



الف) مدار برقی کولر به‌طور نردبانی



راهنما :

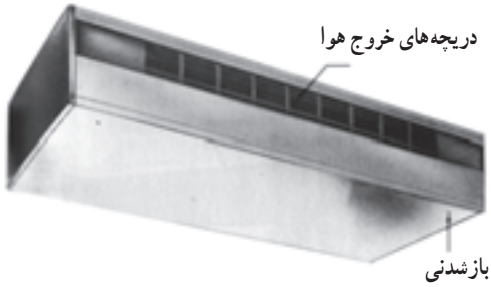
N,ph فاز و نول	P موتور پمپ	TER ترمینال کولر
F فیوز	SWITCH قسمت کلید	SW کلید کولر
MTR موتورکولر	COOLER قسمت کولر	HI,Lo,COM مشترک کند، تند

ب) مدار برقی کولر به‌صورت تصویری و اجرایی

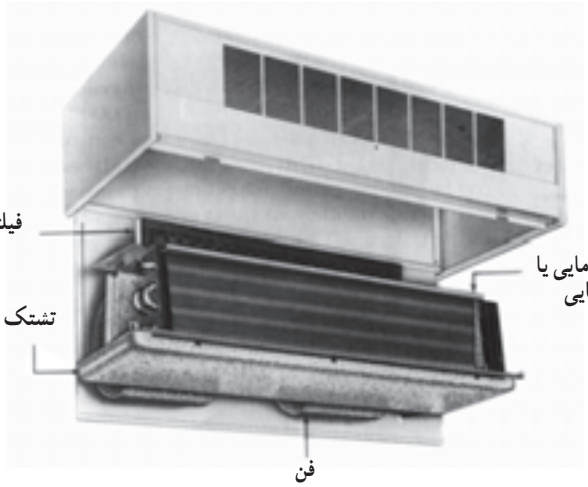
شکل ۵ــ۱۳

۳ــ۱۳ــ فن کویل

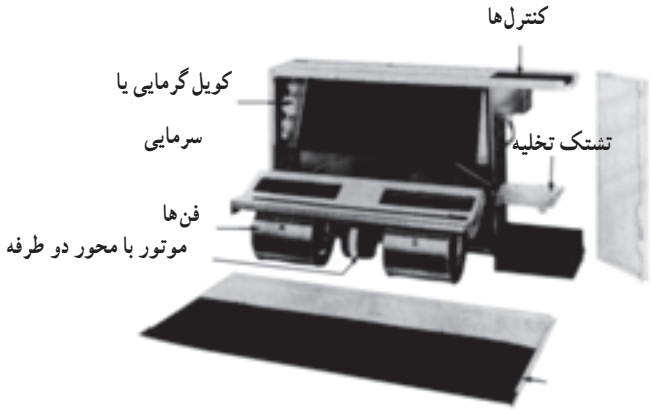
فن‌کویل‌ها را بر اساس مقدار هوادهی آن‌ها بر حسب سی‌اف‌ام[1] (فوت مکعب در دقیقه) درجه‌بندی می‌نمایند و در ظرفیت‌های ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ فوت مکعب در دقیقه در بازار موجود است. در جدول ۲ــ۱۳



الف) فن‌کویل سقفی



ب) فن‌کویل سقفی نمای داخل



ج) فن‌کویل زمینی

شکل ۶ــ۱۳ــ فن‌کویل

۱ــ Cubic Feet per Minute (CFM)

مدل فن‌کویل‌ها از یک شرکت تولیدی با ظرفیت گرمایی و سرمایی
و مقدار آب جریانی معرفی می‌شود.

جدول ۲ــ۱۳ــ ظرفیت نامی گرمایی و سرمایی فن‌کویل

Unit Size	Air flow rate CFM	Water flow gpm		Net cooling cap. Btu/hr		Net heating cap. Btu/hr
		Cooling	Heating	Total	Sensible	
SF-02	200	1.6	2.1	7,800	5,300	20,100
SF-03	300	2.5	3.1	12,400	8,300	30,300
SF-04	400	3.2	4.1	16,100	10,800	39,500
SF-06	600	4.4	5.8	21,900	15,000	56,000
SF-08	800	6.0	7.7	30,000	20,300	74,700
SF-10	1000	7.5	9.6	37,500	25,300	93,500
SF-12	1200	9.5	11.8	47,400	31,600	114,600

در جدول ۳ــ۱۳ داده‌های مکانیکی و الکتریکی در مورد فن‌کویل‌ها آورده شده است. اطلاعاتی که در این جدول آمده است، عبارت‌اند از : سطح عبور هوا، تعداد فن‌ها، تعداد موتورها، قدرت موتورهای الکتریکی مورد استفاده ، شدت جریان نامی و دور تقریبی موتورها در حالت‌های کم، متوسط و بالا.

جدول ۳ــ۱۳ــ داده‌های فیزیکی فن‌کویل

Unit Size	SF-02	SF-03	SF-04	SF-06	SF-08	SF-10	SF-12
Face Area (sq.ft.)	0.9	1.4	1.6	1.9	2.4	3.1	3.8
Number of Fans	1	2	2	2	3	4	4
Number of Motors	1	1	1	1	2	2	2
Norminal Motor HP	1/30	1/25	1/25	1/20	1/20	1/20	1/20
Total Name Plate-Amps	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.6
	Approximate RPM						
High	1285	1285	1285	1285	1285	1285	1285
Medium	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Low	700	700	700	700	700	700	700

Note: Motor electrical characteristics are 220 V, 1 PH 50 Cycles.

برای آشنایی با این جدول به سؤال‌های زیر پاسخ دهید.

۱ــ در کدام‌یک از مدل‌های فن‌کویل از یک عدد فن و یک عدد موتور استفاده شده است؟

پاسخ :

۲ــ در کدام‌یک از مدل‌های فن‌کویل از یک عدد موتور و دو عدد فن استفاده شده است؟

پاسخ :

۳ــ کمترین و بیش‌ترین قدرت الکتریکی موتورهای فن‌کویل چند اسب‌بخار و چند وات می‌باشد؟

پاسخ :

۴ــ حداکثر مصرف یک موتور فن‌کویل چند آمپر است؟

پاسخ :

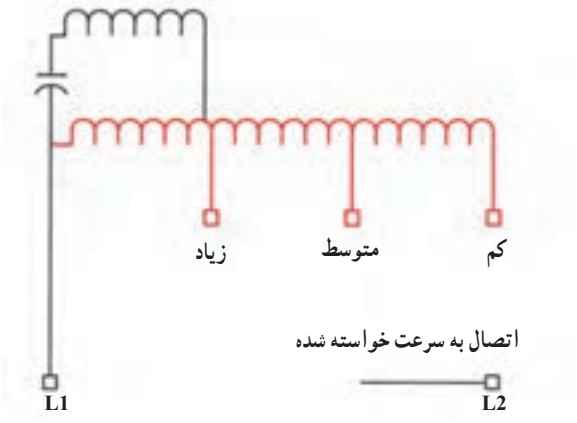
۵ــ سرعت موتورهای فن‌کویل در سه حالت کم، متوسط، زیاد چند RPM[1](دور دردقیقه است)؟

پاسخ :

۱ــ۳ــ۱۳ــ الکتروموتور : موتورهای چند سرعته از روی تعداد زیاد سیم‌ها در محل اتصال الکتریکی موتور مشخص می‌شوند (شکل ۷ــ۱۳ــ الف و ب).

وقتی که مقاومت سیم‌پیچی موتور کاهش می‌یابد سرعت موتور افزایش پیدا می‌کند. سرعت کم هنگامی است که هر سه مقاومت در مدار قرار گیرند.

(الف)



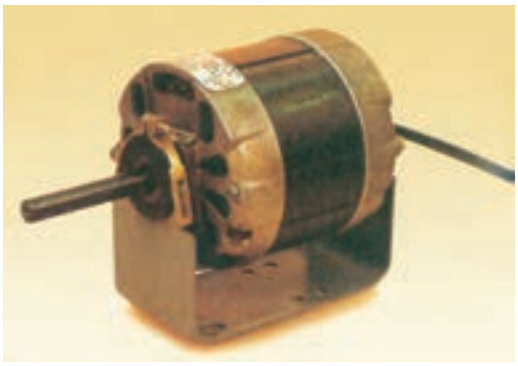
(ب)

شکل ۷ــ۱۳ــ موتور سه‌سرعته فن‌کویل و نمودار سیم‌پیچی آن

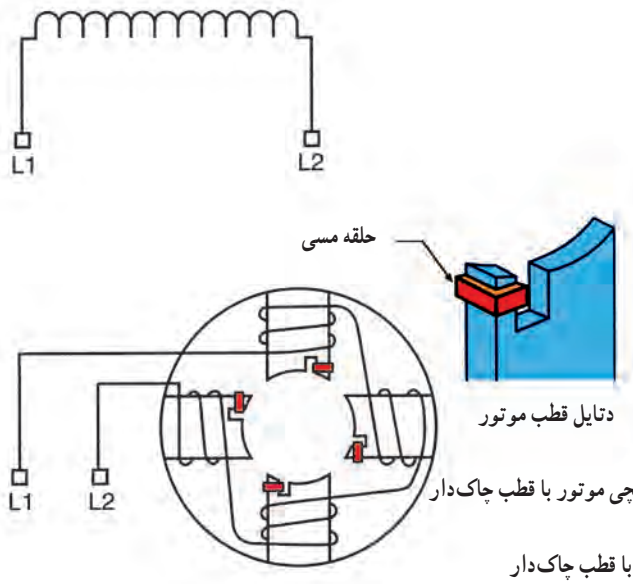
موتور اکثر فن‌کویل‌ها از نوع قطب چاک‌دار است که در قدرت‌های کم ساخته می‌شوند. موتورها با قطب چاک‌دار بیش‌تر برای گرداندن فن‌ها در تهویه مطبوع مانند فن کندانسر، فن فن‌کویل‌ها و فن اواپراتور به‌کار گرفته می‌شوند (شکل ۸ــ۱۳ــالف و ب).

۲ــ۳ــ۱۳ــ ترموستات[2] اتاقی : ترموستات‌ها وسایلی هستند که به تغییر درجهٔ گرما (دما) حساس هستند و دمای هوای اتاق یا آب جریانی در سیستم‌های حرارت مرکزی و تهویه مطبوع را کنترل می‌کنند. از خاصیت انبساط و انقباض جامدات، مایعات و گازها در ساختمان حس‌کننده‌های دما استفاده می‌شود.

۱ــ Round per Minute ۲ــ Thermostat



الف) موتور با قطب چاک‌دار

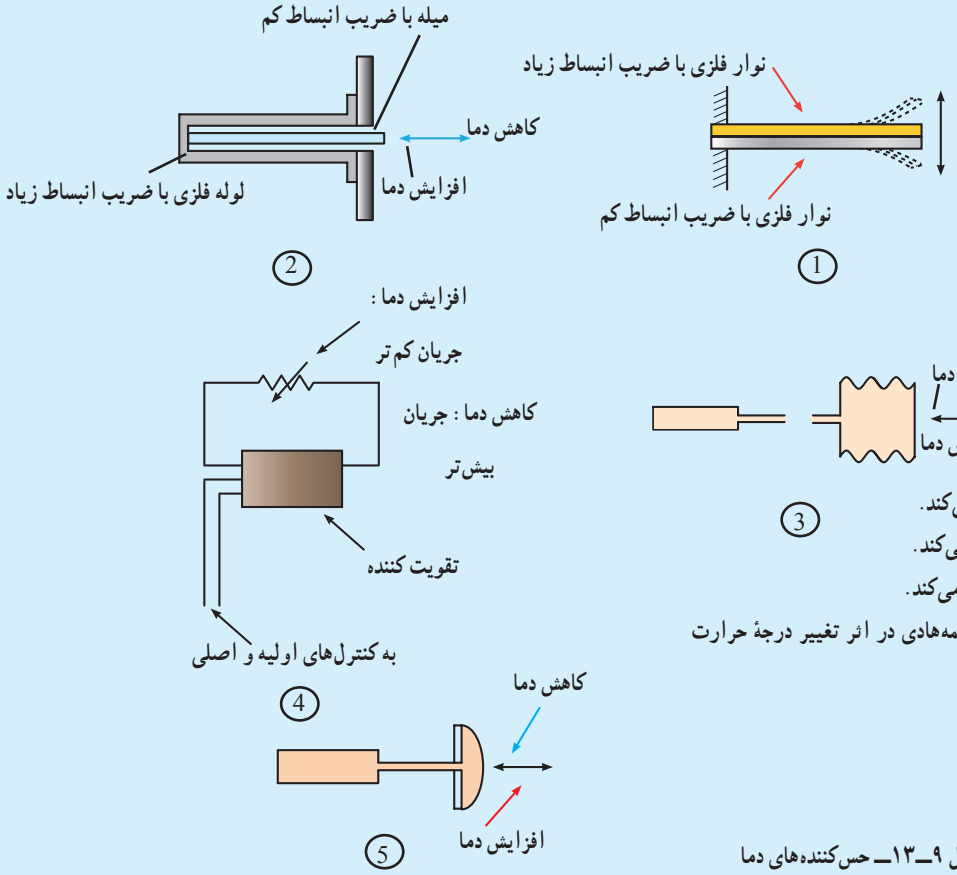


ب) سیم پیچی موتور با قطب چاک‌دار

شکل ۸ــ۱۳ــ موتور با قطب چاک‌دار

مطالعهٔ آزاد

در شکل ۹ــ۱۳ چند نمونه از حس‌کننده‌های دما که در ساختمان ترموستات‌ها استفاده می‌شود نشان داده شده است. حرکت به‌وجود آمده در حس‌کننده موجب قطع در مدار الکتریکی دستگاه شده و آن را خاموش یا روشن می‌کند.

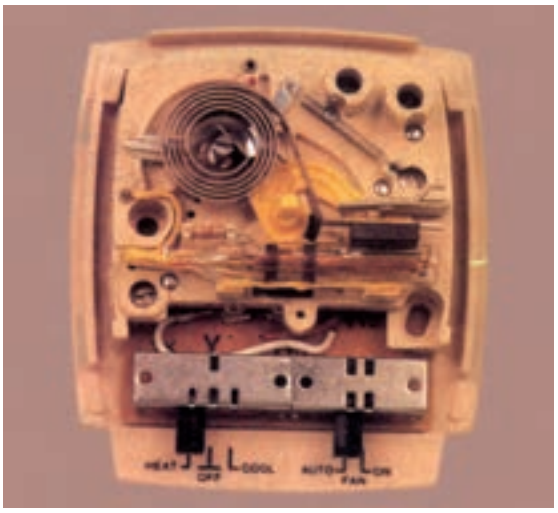


۱ــ بر مبنی انبساط فلز در اثر حرارت کار می‌کند.
۲ــ بر مبنای انبساط فلز در اثر حرارت کار می‌کند.
۳ــ بر اساس انبساط گاز در اثر حرارت کار می‌کند.
۴ــ بر اساس تغییر مقاومت یک هادی یا نیمه‌هادی در اثر تغییر درجهٔ حرارت کار می‌کند.
۵ــ دیافراگم

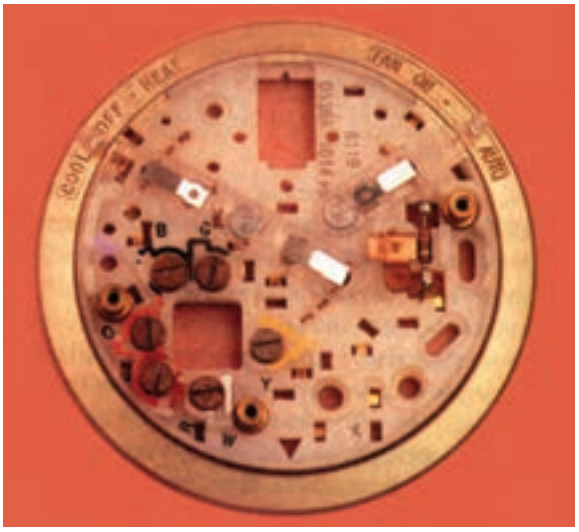
شکل ۹ــ۱۳ــ حس‌کننده‌های دما

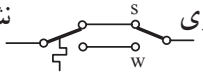
ترموستات اتاقی در سه نوع ساخته می‌شود.

۱ــ ترموستات تابستانی: ترموستاتی است که در اثر پایین رفتن دما از حد تنظیم شده مدار را قطع می‌کند. این ترموستات با علامت اختصاری در مدارها نشان داده می‌شود. ترموستاتی که بر روی دستگاه‌های سردکننده مانند یخچال، فریزر، کولرگازی و آب سردکن نصب می‌شود از این نوع است.



۲ــ ترموستات زمستانی: ترموستاتی است که در اثر بالارفتن دما مدار را قطع می‌کند. این ترموستات با علامت اختصاری نشان داده می‌شود. این نوع ترموستات برای کنترل دستگاه‌های گرم کننده نصب می‌شود. ترموستات دیگ، ترموستات جداری و ترموستات نصب شده بر روی فن‌کویل در زمستان از این نوع می‌باشد.



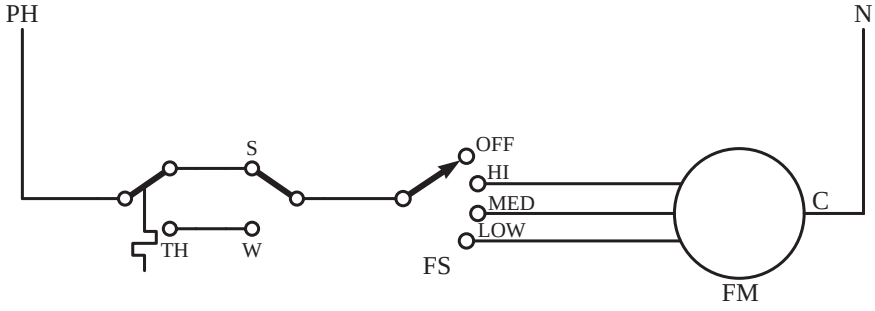
۳ــ ترموستات دوفصلی: دارای یک کلید تبدیل است. به‌طوری‌که می‌تواند هم در حالت تابستانی و هم در حالت زمستانی قرار گیرد چون فن‌کویل وسیله‌ای است که اغلب هم در تابستان و هم در زمستان از آن استفاده می‌شود، از این ترموستات برای کنترل کار فن‌کویل استفاده می‌شود. ترموستات دو فصلی با علامت اختصاری  نشان داده می‌شود.

ترموستات اتاقی شامل دو قسمت پایه ترموستات و ترموستات است. پایه ترموستات از آن جدا می‌شود و روی دیوار نصب می‌گردد. پایه ترموستات شکل ۱۰ــ۱۳ شامل حباب جیوه‌ای ــ مقاومت جلوانداز و اهرم حرکت‌کننده برای تنظیم دما است. وقتی ترموستات درحال کار است ترمومتر روی صفحه، دمای تنظیم شده را نشان می‌دهد. در پایه ترموستات شکل ۱۰ــ۱۳ اهرم کلید انتخاب ON ــ FAN یا کلید cool ــ OFF ــ HEAT ملاحظه می‌شود و در شکل ۱۱ــ۱۳ دو نمونه پوشش تزیینی ترموستات را مشاهده می‌کنید.

شکل ۱۰ــ۱۳ــ سه نمونه پایه ترموستات

شکل ۱۱ــ۱۳ــ ترموستات دو فصلی

۳ــ۳ــ۱۳ــ مدار الکتریکی فن‌کویل با استفاده از ترموستات دو فصلی قطع و وصل



راهنمای نقشه :		
۱ــ N : نول	۵ــ HI : دوّر زیاد	۹ــ S : تابستان
۲ــ C : مشترک	۶ــ MED : دور متوسط	۱۰ــ W : زمستان
۳ــ FM : موتور فن	۷ــ LOW : دور کم	۱۱ــ TH : ترموستات
۴ــ OFF : خاموش	۸ــ FS : کلید فن	۱۲ــ PH : فاز

شکل ۱۲ــ۱۳ــ مدار الکتریکی فن‌کویل با ترموستات دو فصلی

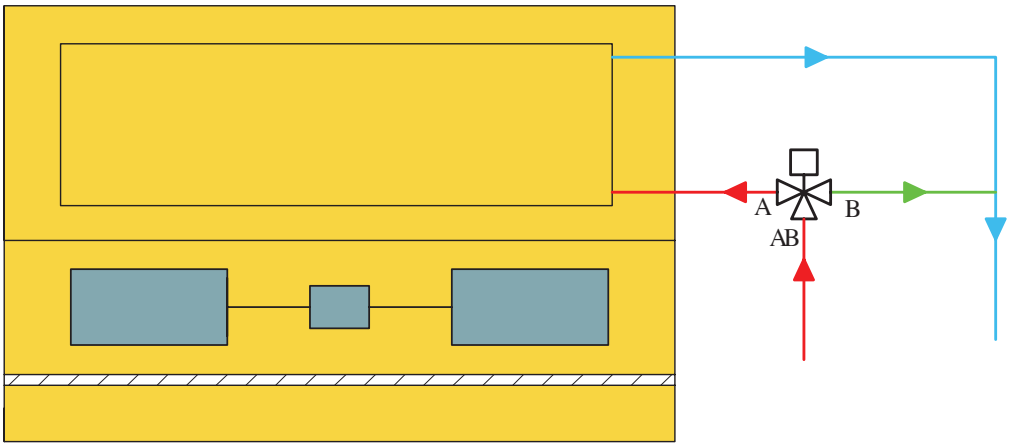
شرح مدار : ترموستات دوفصلی دارای یک کلید انتخاب فصل است که در زمستان باید کلید را روی W و در تابستان آن‌را بر روی S قرار داد. اگر کلید فصل را صحیح قرار داده باشیم (برای مثال در تابستان بر روی S) حال اگر درجهٔ حرارت محیط از عدد تنظیم شده بر روی ترموستات بیش‌تر باشد، ترموستات مدار را وصل خواهد کرد و موتور فن‌کویل با همان سرعتی که به‌وسیلهٔ کلید انتخاب می‌شود، شروع به‌کار می‌کند و هنگامی که درجهٔ حرارت محل از عدد تنظیمی ترموستات پایین‌تر رفت، ترموستات مدار را قطع می کند و موتور خاموش می‌شود. درزمستان چنان‌چه کلید فصل را در حالت زمستانی گذاشته باشیم، اگر درجهٔ حرارت محیط از عدد تنظیم شده بر روی ترموستات کم‌تر باشد ترموستات موتور فن‌کویل را روشن می کند (اگر کلید فن‌کویل وصل باشد). هم‌چنین هنگامی که درجهٔ حرارت محل از ستینگ ترموستات بالاتر رفت، ترموستات قطع می‌گردد و موتور فن کویل خاموش می‌شود (شکل ۱۲ــ۱۳).

۴ــ۳ــ۱۳ــ شیر موتوری سه‌راهه : اگر از فن‌کویل برای گرم کردن یا خنک‌کردن اتاق استفاده شود برای کنترل دمای اتاق دو راه وجود دارد :

۱ــ خاموش کردن فن که اغلب به این روش عمل می‌شود.

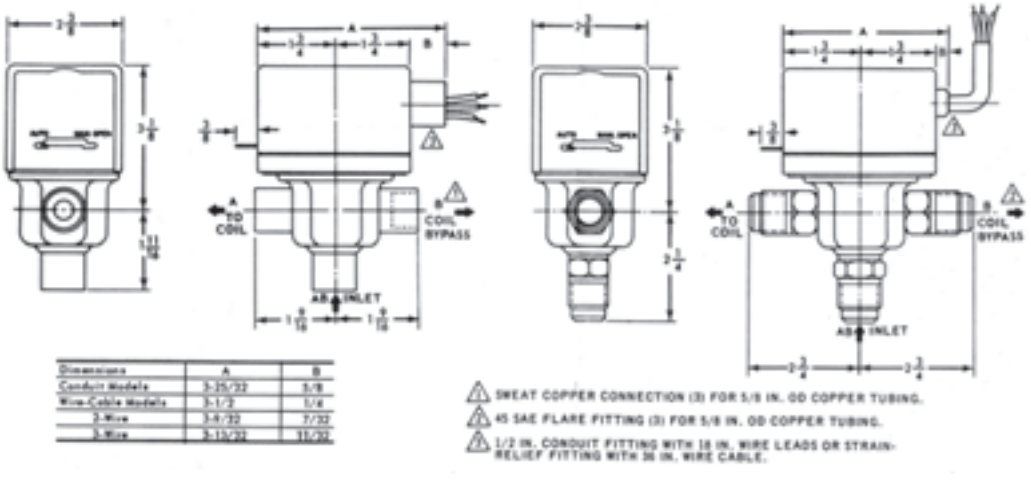
۲ــ استفاده از شیر موتوری سه‌راهه در مسیر لوله‌کشی فن‌کویل.

در این روش فن خاموش نمی‌شود و ترموستات در مسیر مدار الکتریکی شیر موتوری قرار می‌گیرد. چگونگی لوله‌کشی شیر موتوری در شکل ۱۳ــ۱۳ نشان داده است و در حالتی که نیاز به گرما یا سرما داریم ترموستات وصل است و توپی داخلی شیر در اثر کار موتور در حالتی قرار می‌گیرد که مسیر B بسته باشد. مسیر آب از AB به A باز است، آب وارد کویل شده و از مسیر برگشت خارج می‌شود. پس از رسیدن دمای اتاق به درجه تنظیم شده ترموستات برق موتور را قطع می‌کند، توپی شیر بر اثر نیروی فنر حرکت می‌کند و مسیر AB به A را قطع می‌کند و مسیر ABبه B را باز می‌کند. در این حالت آب وارد کویل نمی‌شود و از B وارد لوله برگشت می‌شود.



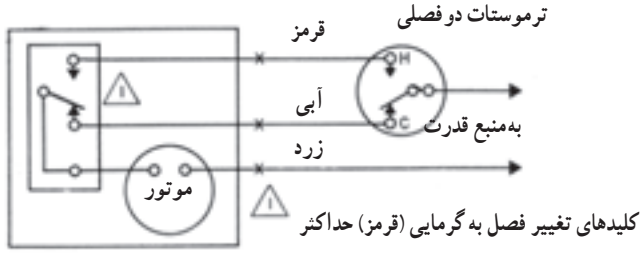
شکل ۱۳ــ۱۳ــ لوله کشی شیر موتوری سه راهی به فن کویل

در شکل ۱۴ــ۱۳جزئیات و اندازه شیر موتوری نشان داده شده است.



شکل ۱۴ــ۱۳ــ جزئیات شیر موتوری

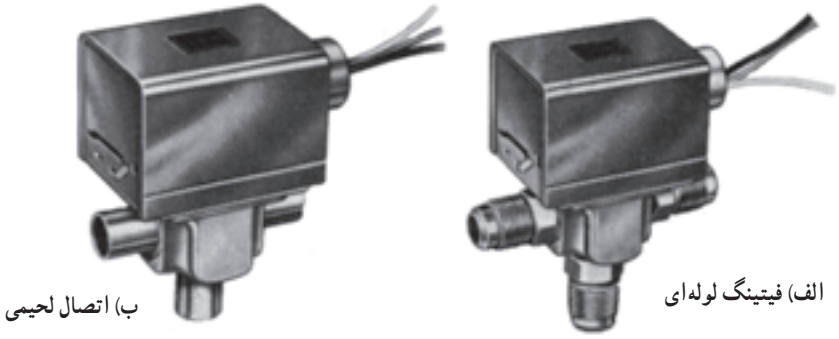
در شکل ۱۵ــ۱۳مدار الکتریکی و چگونگی فرمان ترموستات به موتور الکتریکی شیر موتوری نشان داده شده است. با بودن کنترل تغییر فصل[1] به طور خودکار ترموستات در دمای ۸۵°F در حالت زمستانی و در دمای ۶۰°F در حالت تابستانی قرار می‌گیرد.



کلیدهای تغییر فصل به گرمایی (قرمز) حداکثر ۸۵°F و به سرمایی (آبی) حداقل ۶۰°F

شکل ۱۵ــ۱۳ــ مدار فن‌کویل با شیر موتوری

در شکل ۱۶ــ۱۳ــ الف و ب شکل ظاهری شیر موتوری سه‌راهه نشان داده شده است. اتصال شیر سه‌راهه می‌تواند به‌صورت فیتینگ فشاری (اتصال لاله‌ای) یا به‌صورت اتصال لحیم نرم باشد.



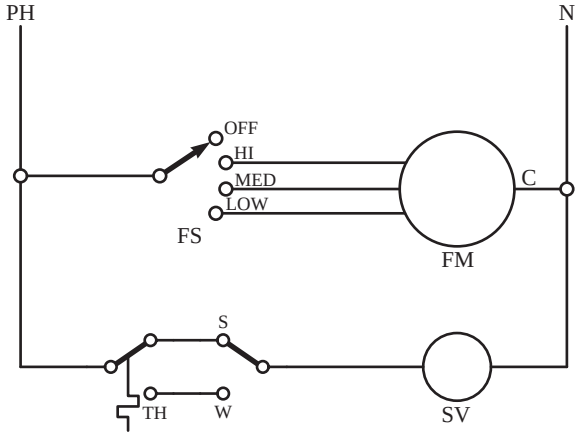
الف) فیتینگ لوله‌ای

ب) اتصال لحیمی

شکل ۱۶ــ۱۳ــ شیر سه‌راهه موتوری

۱ــ Change over Control Switch

۵ــ۳ــ۱۳ــ مدار الکتریکی فن‌کویل با ترموستات دو فصلی و شیر سه‌راهه موتوری



راهنمای نقشه :

۱ــ N : نول	۶ــ MED : دور متوسط	۱۰ــ SV : شیر برقی
۲ــ C : مشترک	۷ــ LOW : دور کم	۱۱ــ S : تابستان
۳ــ FM : موتور فن	۸ــ FS : کلید فن	۱۲ــ W : زمستان
۴ــ OFF : خاموش	۹ــ PH : فاز	۱۳ــ TH : ترموستات
۵ــ HI : دور زیاد		

شکل ۱۷ــ۱۳ــ مدار الکتریکی یک فن‌کویل با ترموستات دو فصلی قطع و وصل و شیر سه‌راههٔ موتوری

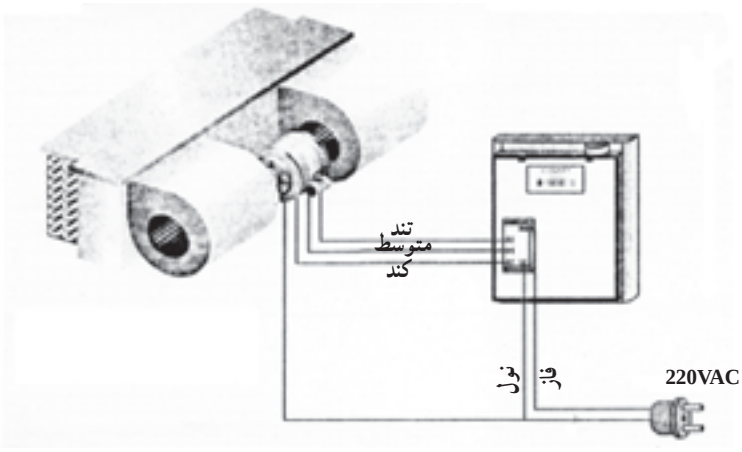
شرح مدار : در این روش موتور فن همیشه روشن است و از طریق کلید کنترل می‌شود. در تابستان اگردرجهٔ حرارت محل از عدد تنظیمی ترموستات بالاتر بود و کلید زمستانی ــ تابستانی هم در موقعیت تابستان قرار داشت، ترموستات مدار شیر برقی وصل می‌کند. در نتیجه مسیر ورود آب به داخل کویل کاملاً باز می‌شود (آب سرد وارد کویل می‌گردد) و مسیر بای‌پاس (راه انحرافی) صد در صد بسته می‌شود. تا زمانی که درجهٔ حرارت محل از عدد تنظیم شده بر روی ترموستات پایین‌تر برود، ترموستات مدار را قطع می‌کند. هم‌چنین شیر برقی مسیر ورود آب را به داخل کویل کاملاً می‌بندد و تمام مقدار جریان آب از طریق لولهٔ بای‌پاس وارد لولهٔ برگشت می‌شود.

در زمستان اگر درجهٔ حرارت محل از عدد تنظیم شده برروی ترموستات کم‌تر و کلید فصل هم در حالت زمستان گذاشته شده باشد، ترموستات مدار شیر برقی را وصل می‌کند و مسیر ورود آب به داخل کویل کاملاً باز می‌شود (آب گرم وارد کویل می‌گردد) و مسیر بای‌پاس نیز کاملاً بسته می‌شود. تا زمانی که درجهٔ حرارت محل از عدد تنظیمی ترموستات بالاتر برود، ترموستات مدار را قطع می‌کند و شیر برقی مسیر ورود آب به داخل کویل را کاملاً می‌بندد و جریان آب به تمامی از طریق لولهٔ بای‌پاس وارد لولهٔ برگشت می‌شود (شکل ۱۷ــ۱۳).

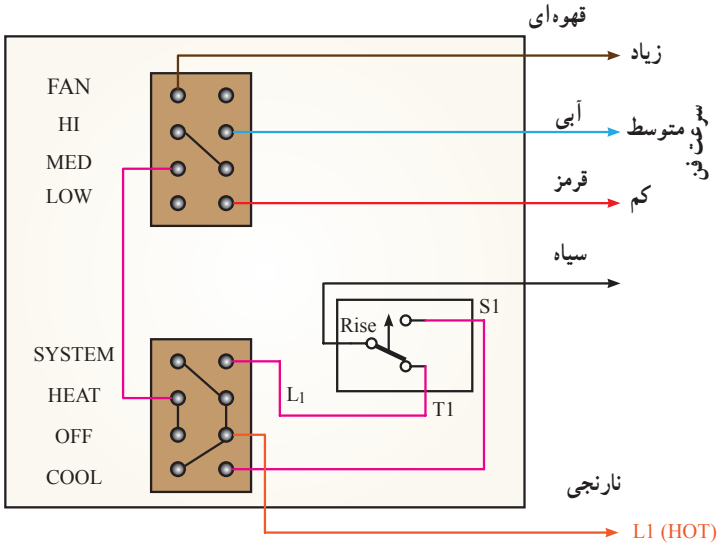
۶ــ۳ــ۱۳ــ مدار ترموستات فن‌کویل سقفی به همراه دستگاه کنترل از راه دور (ریموت) : ترموستات در ارتفاع حدود ۱۴۰ سانتی‌متری (داخل فضای تهویه شده روی بدنهٔ دیوار، دور از برخورد مستقیم هوای فن‌کویل و هم‌چنین دور از پنجره‌های خارجی) به‌صورت روکار نصب می‌شود. برق ۲۲۰ ولت وارد آن می‌شود و از آن‌جا تا محل استقرار فن‌کویلِ سقفی یا دیواری چهار عدد سیم کشیده می‌شود که یکی از آن‌ها سیم نول و سه تای دیگر برای دوْرهای کم، متوسط و زیاد است.

هرگاه بخواهیم، می‌توانیم از طریق ترموستات یا از طریق ریموت به فن‌کویل فرمان بدهیم. به این صورت که ابتدا فصل

مورد نظر را روی ترموستات مشخص می‌کنیم. سپس دمای مورد نظر را برای تهویه تنظیم می‌کنیم. ترموستات براساس نیاز خودش دوْر فن‌کویل را انتخاب می‌کند. این تنظیمات، هم روی ترموستات و هم روی ریموت قرار دارد. شکل ۱۸ــ۱۳ چگونگی سیم‌کشی و مدار الکتریکی فن‌کویل سقفی را نشان می‌دهد.



الف) ترموستات فن‌کویل



ب) مدار داخلی ترموستات و کلید فن‌کویل

شکل ۱۸ــ۱۳ــ فن‌کویل سقفی

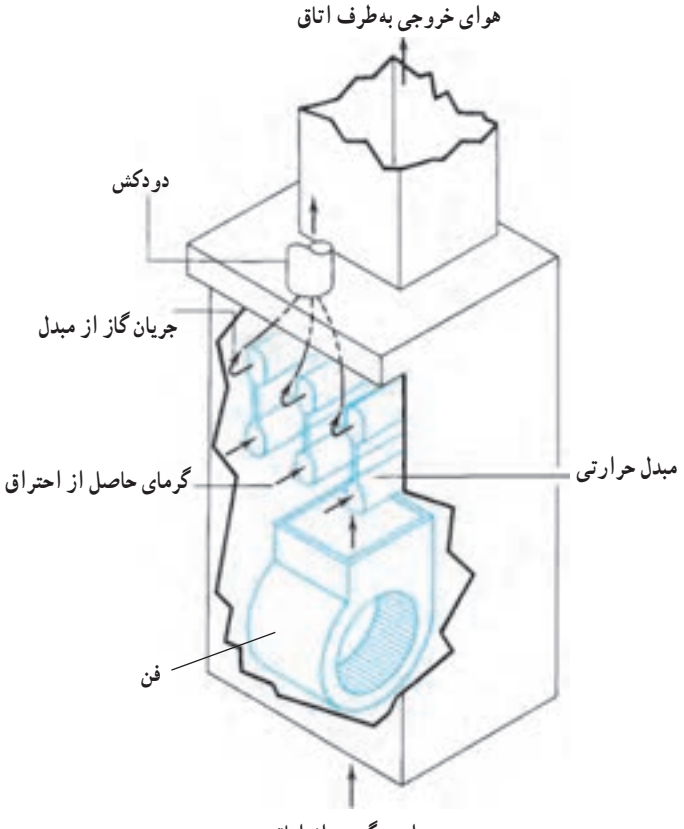
شکل ۱۹ــ۱۳ نمونه‌ای از این نوع ترموستات را نشان می‌دهد که در آن می توان دور فن‌کویل را عوض کرد و هم‌چنین دمای محل نیز نشان داده می‌شود.

در مورد چگونگی کار فن‌کوئل سقفی و مدار الکتریکی آن تحقیق کرده و گزارش تهیه کنید.

شکل ۱۹ــ۱۳ــ ترموستات فن‌کویل

۴ــ۱۳ــ کورهٔ هوای گرم

در شکل ۲۰ــ۱۳ نمای ساده‌ای از کوره هوای گرم نشان داده شده است. کوره هوای گرم از سه قسمت اصلی مشعل، مبدل حرارتی و بادزن تشکیل یافته است. گرمای تولید شده در اتاقک احتراق پس از عبور از جدارهٔ آن، به هوایی که در بیرون، اتاقک احتراق را احاطه کرده است منتقل می‌شود. وقتی دمای



شکل ۲۰ــ۱۳ــ نمای سادهٔ کورهٔ هوای گرم

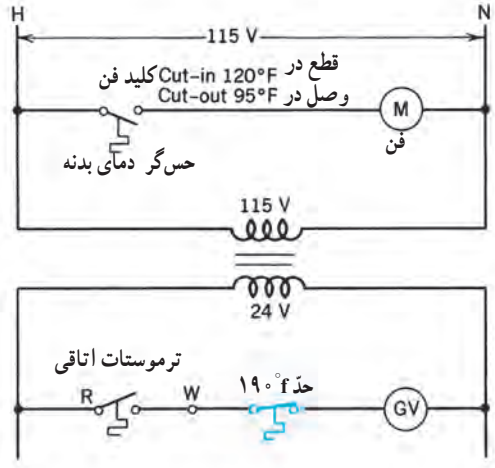
هوا به دمایی معین مثلاً ۶۰°C برسد فن شروع به کار می‌کند و هوا را از راه کانال‌کشی به اتاق می‌رساند.

در شکل ۲۱ــ۱۳ــ الف کوره هوای گرم توسط یک دوشاخه به پریز دیوار وصل می‌شود تا برق موتور فن و سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور را تأمین کند. ترانسفورماتور برق ۲۴ولت در ثانویه را به‌وجود می‌آورد. وقتی ترموستات اتاقی وصل می‌شود، ولتاژ ۲۴ ولت بر مجموعه شیر گاز (GV) اعمال می‌شود و باعث باز شدن آن می‌شود (ترموکوپل شعله پیلوت روشن نگه داشته است). با باز شدن شیر، مشعل اصلی روشن می‌شود و دمای کوره بالا می‌رود. بالا رفتن دما توسط کلید فن حس می‌شود و وقتی دمای هوا به دمای تنظیم وصل کلید فن (۱۲۰°F) برسد، فن راه می‌افتد. دمای هوای کوره توسط کلید حد نیز حس می‌شود. اگر دمای کوره از حد تعیین شده برای کلید حد (۱۹۰°F) بگذرد کلید حد شیر گاز را می‌بندد. فن به‌کار خود ادامه می‌دهد تا هوای گرم را از کوره خارج کند.

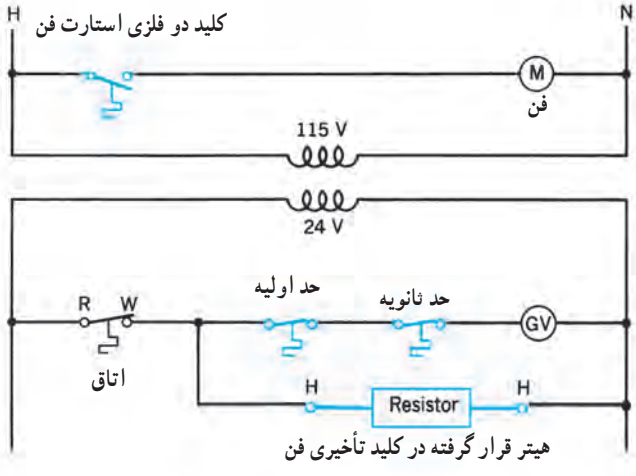
در شکل ۲۱ــ۱۳ــ ب کلید حد در مدار ۱۱۵ ولت نصب شده است. قطع شدن کلید حد موجب قطع شدن کل سیستم می‌شود.

شکل ۲۱ــ۱۳ــ پ سیم‌کشی کوره پایین زن یا افقی را نشان می‌دهد که دارای دو کلید حد و یک کلید کنترل استارت زمانی است. وقتی که ترموستات سیم R (قرمز) را به سیم W (سفید) وصل می‌کند موجب تحریک شیرگاز و گرم‌کن مقاومتی در کنترل فن می‌شود. باز شدن شیر گاز و روشن شدن مشعل با راه‌اندازی فن همزمان نیست. پس از گذشت یک دقیقه گرم‌کن مقاومتی، بی‌متال کلید فن را به اندازه‌ای گرم می‌کند تا بتواند کلید فن را به حالت وصل درآورد و فن را راه‌اندازی کند.

یکی از کلیدهای حد در سمت خروجی جریان هوای کوره قرار می‌گیرد تا گرم شدن بیش از حد هوا در اثر روشن ماندن مشعل را حس کند. کلید حد دوم گرم شدن بیش از حد را در زمان جریان نداشتن هوا حس می‌کند.

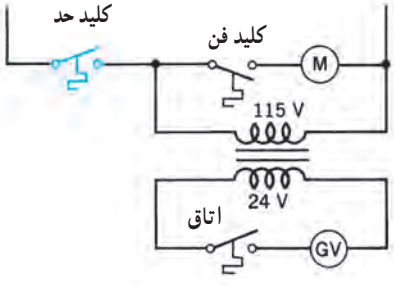


الف) کوره با ترموستات در مدار شیر گاز



هیتر قرار گرفته در کلید تأخیری فن

پ) کوره سقفی با دوکلید حد و کلید زمانی راه‌انداز فن



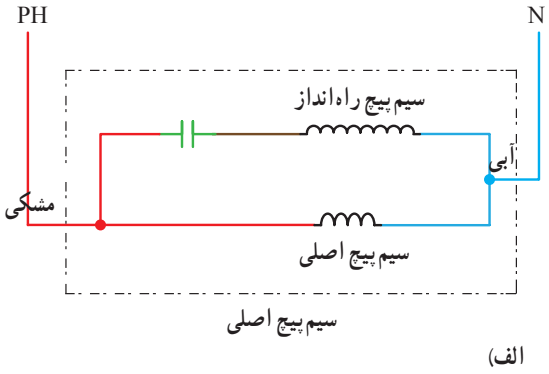
ب) کوره با ترموستات حد در خط ولتاژ

شکل ۲۱ــ۱۳ــ انواع مدار کوره هوای گرم

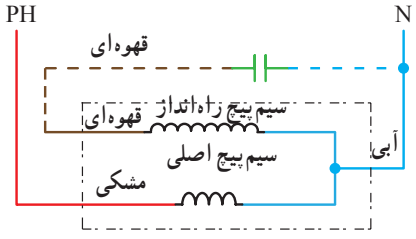
۵ــ۱۳ــ مشعل گازوئیل سوز

قطعات الکتریکی مشعل گازوئیل سوز عبارتند از: الکتروموتور، شیر برقی، ترانسفورماتور و چشم الکتریکی

۱ــ۵ــ۱۳ــ الکتروموتور : الکتروموتور مشعل اعم از گازی و گازوئیلی از نوع آسنکرون با روتور قفس سنجابی است. استاتور دارای یک سیم پیچ اصلی و یک سیم پیچ راه‌انداز است که یک خازن با سیم پیچ راه‌انداز سری می‌شود و از نوع خازن دائم کار است. اتصال خازن ممکن است در کارخانه (۲۲ــ۱۳ــ الف) یا در موقع راه‌اندازی توسط تکنسین مربوطه انجام شود (۲۲ــ۱۳ــ ب). وظیفه الکتروموتور گرداندن پمپ گازوئیل و پروانه بادزن است.



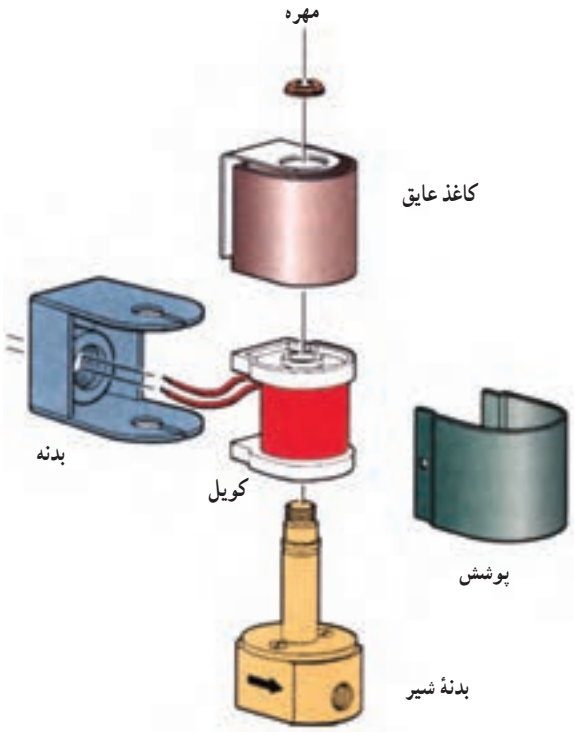
الف)



ب)

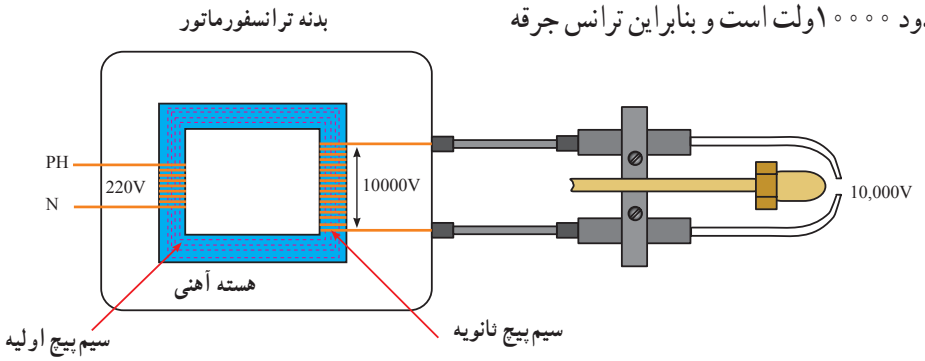
شکل ۲۲ــ۱۳ــ مدار الکتریکی موتور مشعل با خازن دائم‌کار

۲ــ۵ــ۱۳ــ شیر برقی : در مسیر عبور سوخت از پمپ به طرف نازل مشعل یک شیر برقی قرار می‌گیرد که شامل دو قسمت کویل و شیر می‌باشد. وقتی برق به سیم پیچ (کویل) می‌رسد میدان مغناطیسی ایجاد شده، هسته آهنی و سوزن را بالا می‌برد و مجرای عبور سوخت را باز می‌کند. شکل ۲۳ــ۱۳ یک شیر برقی مشعل گازوئیلی و گسترده آن را نشان می‌دهد.



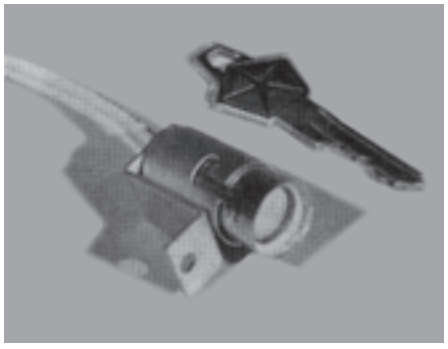
شکل ۲۳ــ۱۳ــ شیر برقی مشعل گازوئیلی

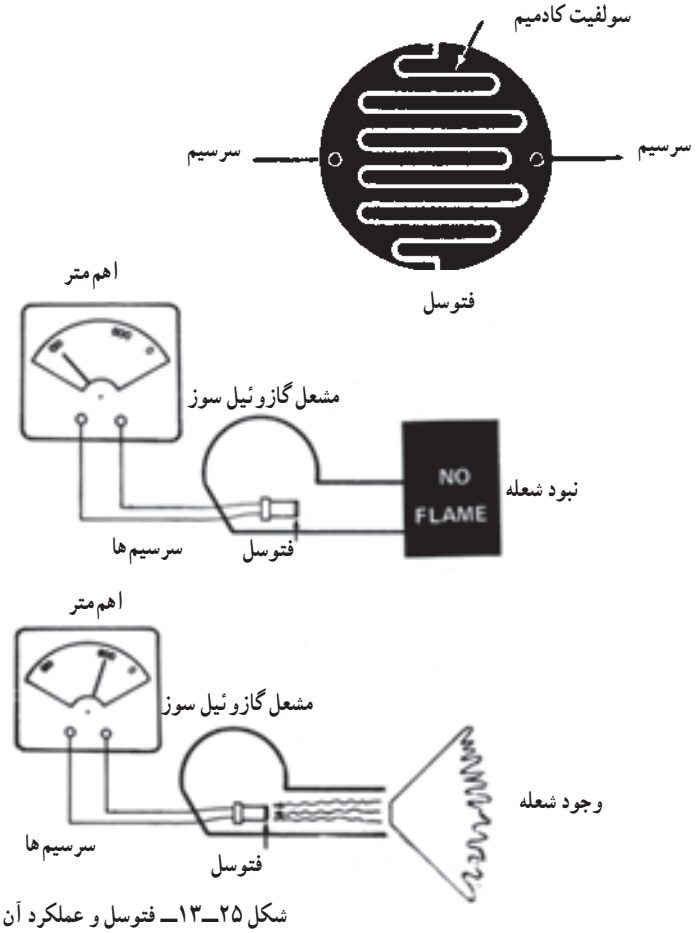
۳ــ۵ــ۱۳ــ ترانسفورماتور جرقه: ترانسفورماتور مورد استفاده در مشعل برای ایجاد ولتاژ زیاد است تا بتواند با ایجاد قوس الکتریکی در دو سر الکترودها، جرقه ایجاد کند. ولتاژ لازم برای ایجاد جرقه حدود ۱۰۰۰۰ ولت است و بنابراین ترانس جرقه مورد استفاده باید بتواند ولتاژ ۲۲۰ شهری را به ولتاژ ۱۰۰۰۰ ولت تبدیل کند. شکل ۲۴ــ۱۳ ترانس جرقه با الکترودهای جرقه را نشان می‌دهد.



شکل ۲۴ــ۱۳ــ نمای ساده ترانسفورماتور جرقه و الکترودهای جرقه

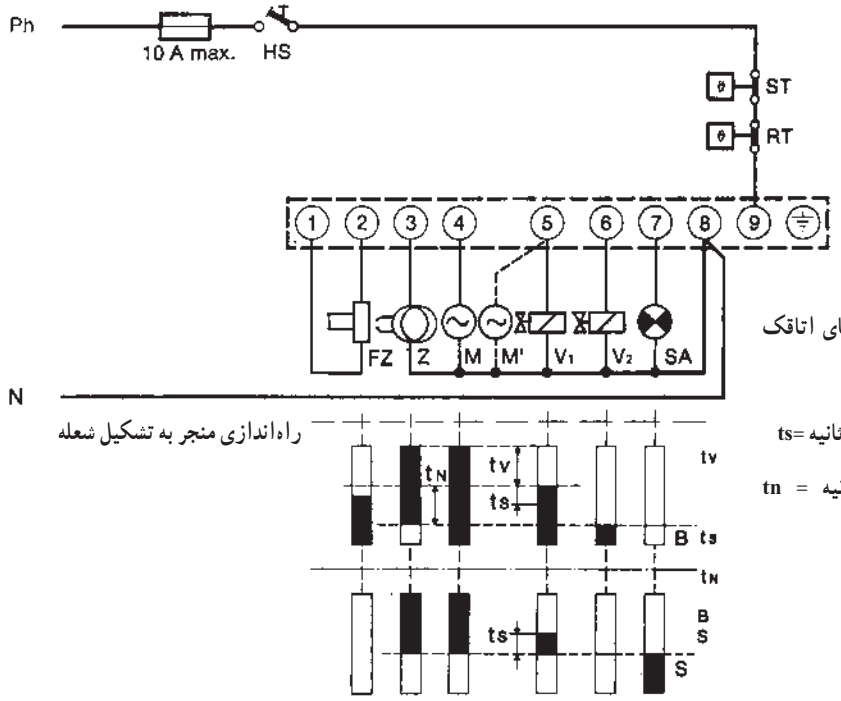
۴ــ۵ــ۱۳ــ چشم الکتریک: چشم الکتریک یا فتوسل از جنس سولفید کادمیم و از مقاومت نوع تابع نور است. اگر نور نتابد مقاومت زیادی حدود دو مگا اهم دارد و اهم‌متر بی‌نهایت را نشان می‌دهد فتوسل اگر در مقابل نور قرار گیرد مقاومتش کم می‌شود و به حدود ۶۰۰ اهم می‌رسد بنابراین فتوسل می‌تواند به‌عنوان یک کلید قطع و وصل عمل کند، در صورت نبودن شعله مدار را قطع و با دیدن شعله مدار را وصل کند. شکل ۲۵ــ۱۳ جزییات فتوسل و کاربرد آن را نشان می‌دهد.





شکل ۲۵ــ۱۳ــ فتوسل و عملکرد آن

۵ــ۵ــ۱۳ــ مدار الکتریکی رله مشعل : رله مشعل یک کنترل کنندهٔ الکترونیک است که بر اساس طراحی و برنامه‌ریزی که دارد مشعل را با ایمنی روشن می‌کند و در صورت به‌وجود آمدن هر نوع اشکال در ایجاد و تداوم شعله، با خاموش کردن مشعل از حادثه جلوگیری می‌کند. در شکل ۲۶ــ۱۳ مدار برقی پایه رله یک مشعل گازوئیل‌سوز نشان داده شده است.



جرقه زدن ابتدایی با و یا بدون تخلیهٔ فضای اتاقک احتراق = tv

تقریباً «۱۲» ثانیه زمان ایمنی حداکثر «۱۰» ثانیه =ts

ادامهٔ زمان جرقه زدن تقریباً «۱۸» ثانیه = tn

کارعادی مشعل (حرکت) = B

از کارافتادن مشعل (ریست)= S

الکتروموتور (مشعل بدون شیر مغناطیسی) M

شیر مغناطیسی مرحلهٔ اول V۱

شیر مغناطیسی مرحلهٔ دوم V۲

لامپ شاهد (سیگنال) خارجی SA

راه‌اندازی منجر به عدم تشکیل شعله

کلید اصلی HS

ترموستات حد (ایمنی) ST

ترموستات دیگ FZ

چشم الکتریکی Z

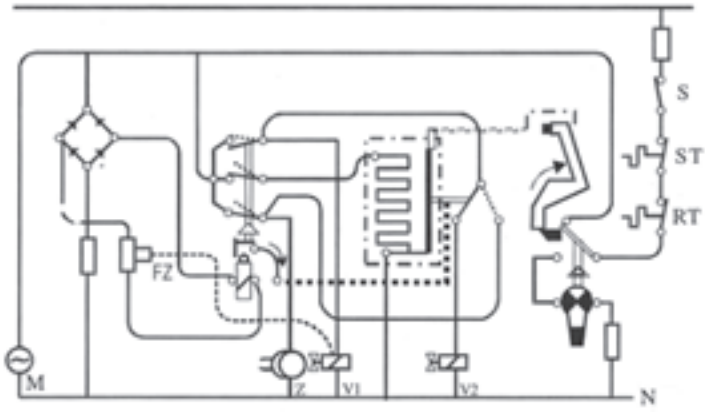
ترانس جرقه Z M

الکتروموتور (مشعل با شیر مغناطیسی) M

شکل ۲۶ــ۱۳ــ مدار برقی یک مشعل گازوئیلی

در شکل۲۷ــ۱۳مدار داخلی رله نشان داده شده است.

چگونگی کار دستگاه‌های الکتریکی با بررسی مدار تشریح می‌شود.



شکل ۲۷ــ۱۳ــ مدار داخلی یک رله مشعل گازوئیلی

✓ــ ابتدا الکتروموتور روشن شده و بادزن را با خود به‌حرکت درمی‌آورد. این مرحله را زمان پرج (تخلیه گازهای داخل کوره) می‌نامند.

✓ــ هم‌زمان با کار الکتروموتور مدار ترانس جرقه کامل شده و جرقه زدن آغاز می‌شود.

✓ــ پس از زمان پرج، شیر برقی شماره یک مسیر عبور سوخت را باز می‌کند، در این لحظه باید شعله تشکیل شود.

✓ــ در صورت تشکیل شعله، مقاومت الکتریکی فتوسل کم شده و عبور جریان از آن، رله مغناطیسی را تحریک کرده و موجب تغییر وضعیت تیغه‌ها می‌شود. در این لحظه جریان هیتر قطع می‌شود.

✓ــ در ادامه شیر برقی شماره دو وارد مدار می‌شود و هم‌زمان ترانس جرقه از مدار خارج می‌گردد.

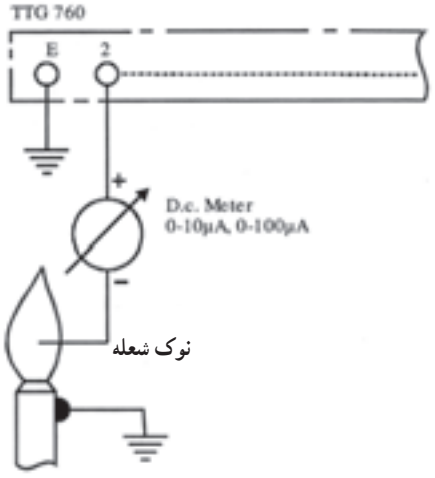
✓ــ در صورت تشکیل نشدن شعله ــ هیتر هم‌چنان در مدار می‌ماند و به گرم کردن خود ادامه می‌دهد تا لامپ شاهد (آلارم) فعال می‌شود و یا اگر پس از تشکیل شعله به هر علتی شعله قطع شود مراحل فوق یک‌بار تکرار می‌شود و اگر شعله تشکیل نشود رله ری‌ست می‌کند.

۶ــ۱۳ــ مشعل گازسوز (دمنده‌دار)

میله یونیزاسیون، کنترل فشار هوا، کنترل فشارگاز قطعات الکتریکی هستند که در مشعل گازوئیل سوز نیست.

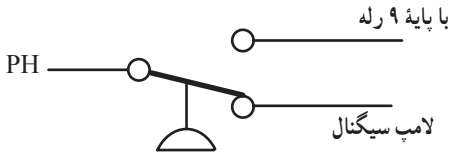
۱ــ۶ــ۱۳ــ میله یونیزاسیون : یک میلهٔ مقاوم در برابر گرما است که در فضای شعله مشعل نصب می‌گردد. طرف دوم آن به پایه شماره ۲ پایه رله مشعل بسته می‌شود. درفاصله ۳ تا ۵ میلی‌متری آن میلهٔ بدنه قرار می‌گیرد (شکل ۲۸ــ ۱۳).

مولکول‌های هوای موجود در فاصلهٔ این میله در اثر شعله یونیزه شده دارای بار الکتریکی مثبت و منفی می‌شود. یون مثبت جذب بدنه و یون‌های منفی جذب میلهٔ یونیزاسیون می‌شوند. به‌این ترتیب یک جریان مستقیم در حد ۱ تا ۱۰ میکروآمپر ایجاد می‌شود. در داخل کنترل الکترونیک مشعل رله‌ای به‌نام «رله ناظر بر شعله» وجود دارد که با عبور این جریان مستقیم مغناطیس شده و مداری را در رله می‌بندد و اجازه ادامه کار به مشعل می‌دهد.



شکل ۲۸ــ۱۳ــ عملکرد میلهٔ یونیزاسیون

۲ــ۶ــ۱۳ــ کلید کنترل فشارگاز : فشارگاز ورودی به مشعل نباید کمتر از حد معینی شود، برای اطمینان از کافی بودن فشار گاز از این کنترل استفاده می‌شود. کلید کنترل فشار گاز در مسیر فاز ورودی به مشعل قرار می‌گیرد. در محل اتصال الکتریکی این کنترل سه تیغه اتصال وجود دارد، یکی از آن‌ها مشترک (C) است. اتصال تیغه C به یکی از تیغه‌ها به‌صورت معمولاً بسته (NC) و به تیغه سوم به صورت معمولاً باز (NO) است که اتصال معمولاً باز در مدار مشعل قرار می‌گیرد.

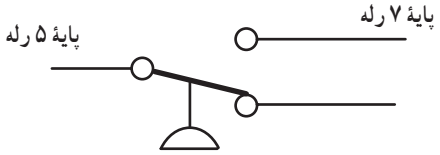


شکل ۲۹ــ۱۳ــ نمای ظاهری شیر کنترل فشار گاز را نشان می‌دهد.

شکل ۲۹ــ۱۳ــ شیر کنترل فشار گاز

۳ــ۶ــ۱۳ــ کلید کنترل فشار هوا : کافی نبودن هوا موجب ناقص سوختن گاز یا خاموش شدن شعله می‌شود. برای اطمینان از وجود هوای کافی از کلید کنترل فشار هوا استفاده می‌شود.

ساختمان این کلید مشابه کلید کنترل فشارگاز است. تفاوت آن در مقادیر فشار لازم است. در این کلید دهانهٔ زیر دیافراگم را توسط یک لوله به محل خروج هوا از بادزن مشعل وصل می‌کنند تا فشار هوا به زیر دیافراگم اثر کند و موجب تغییر حالت کنتاکت‌های آن شود ــ فشار هوا موقعی کافی خواهد بود که سرعت موتور به دور نامی رسیده باشد شکل ۳۰ــ۱۳ یک شیر کنترل فشار هوا را نشان می‌دهد.

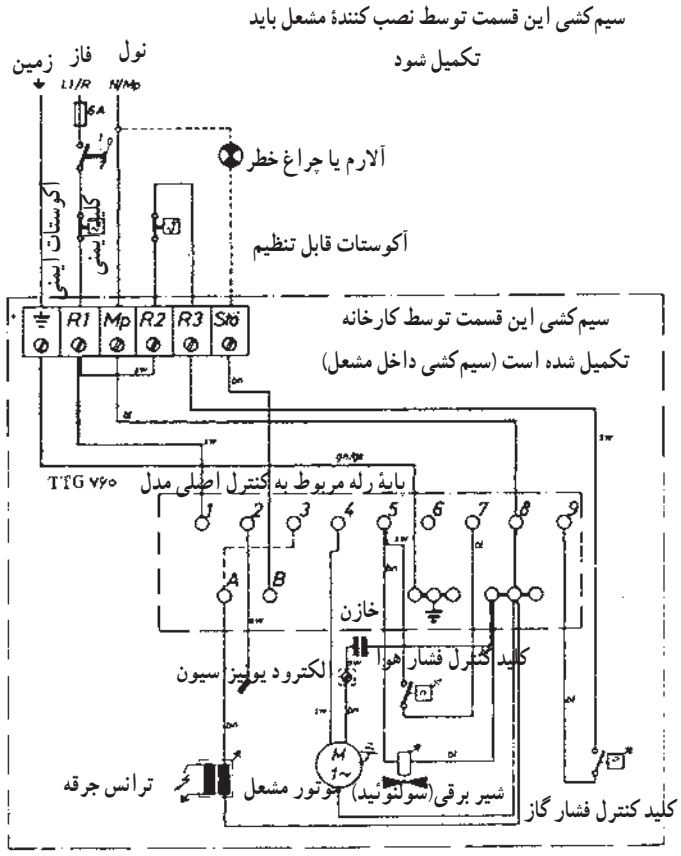


شکل ۳۰ــ۱۳ــ شیر کنترل فشار هوا

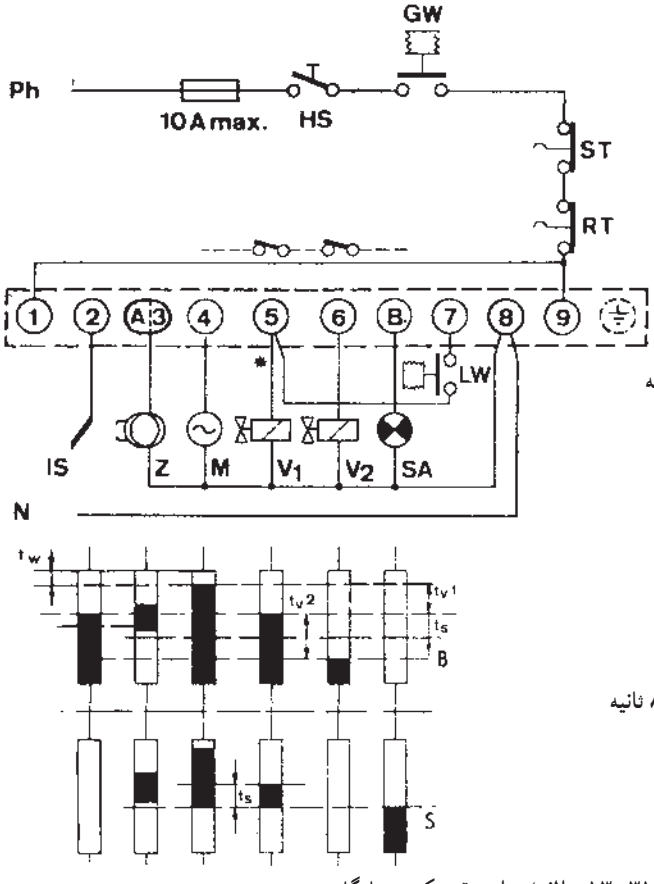
۴ــ۶ــ۱۳ــ مدار کنترل الکترونیک مشعل گازسوز دمنده‌دار : در شکل‌های ۳۱ــ۱۳ مدار برقی و مراحل مختلف کار یک رلهٔ مشعل گازی دمنده‌دار نشان داده شده است.

سیم فاز پس از عبور از فیوز و کلید راه‌انداز دو شاخه می‌شود. یک شاخه به ترمینال شماره «۱» و دیگری پس از عبور از کنترل فشار گاز (GW) و ترموستات حد (ST) و آکوستات اصلی به ترمینال شماره «۹» وصل گردیده است. میله یونیزاسیون «IS» به ترمینال شماره «۲» وصل شده است.[1] ترانس جرقه «Z» به پایه شماره «۳»، موتور مشعل «M» به پایه شماره «۴» شیر برقی شماره یک (V_1) و یک سیم کنترل فشار هوا به پایه شماره «۵»، شیر برقی شماره دو (V_2) به پایه شماره «۶» ، و اتصال دیگر کنترل هوا به پایه شماره «۷» وصل شده است. ترمینال شماره «۸» محل اتصال نول مصرف کننده‌ها به کنترل رله است. ترمینال B روی پایه رله برای اتصال چراغ اخطار دهنده می‌باشد.

۱ــ اگر به‌جای میله یونیزاسیون از فتوسل حساس به اشعه ماوراء بنفش استفاده شود قطب مثبت فتوسلی به پایه شماره ۲ و قطب منفی به پایه شماره ۸ وصل می‌شود.



(الف)



(ب)

راهنمای نقشه (شکل‌های A ــ ۶ و C ــ ۶)

tV_1 :زمان پرج حداقل ۳۰ الی ۶۰ ثانیه

t_S : زمان اطمینان حداکثر ۳ الی ۵ ثانیه

tV_2 : زمان وارد شدن شیر برقی دوم ۲۰ الی۳۰ ثانیه

B : کارکرد مشعل

S : خاموش شدن مشعل

V2 :شیر اصلی گاز

Lw :کلید کنترل فشار هوا

GW : کلید کنترل فشار گاز

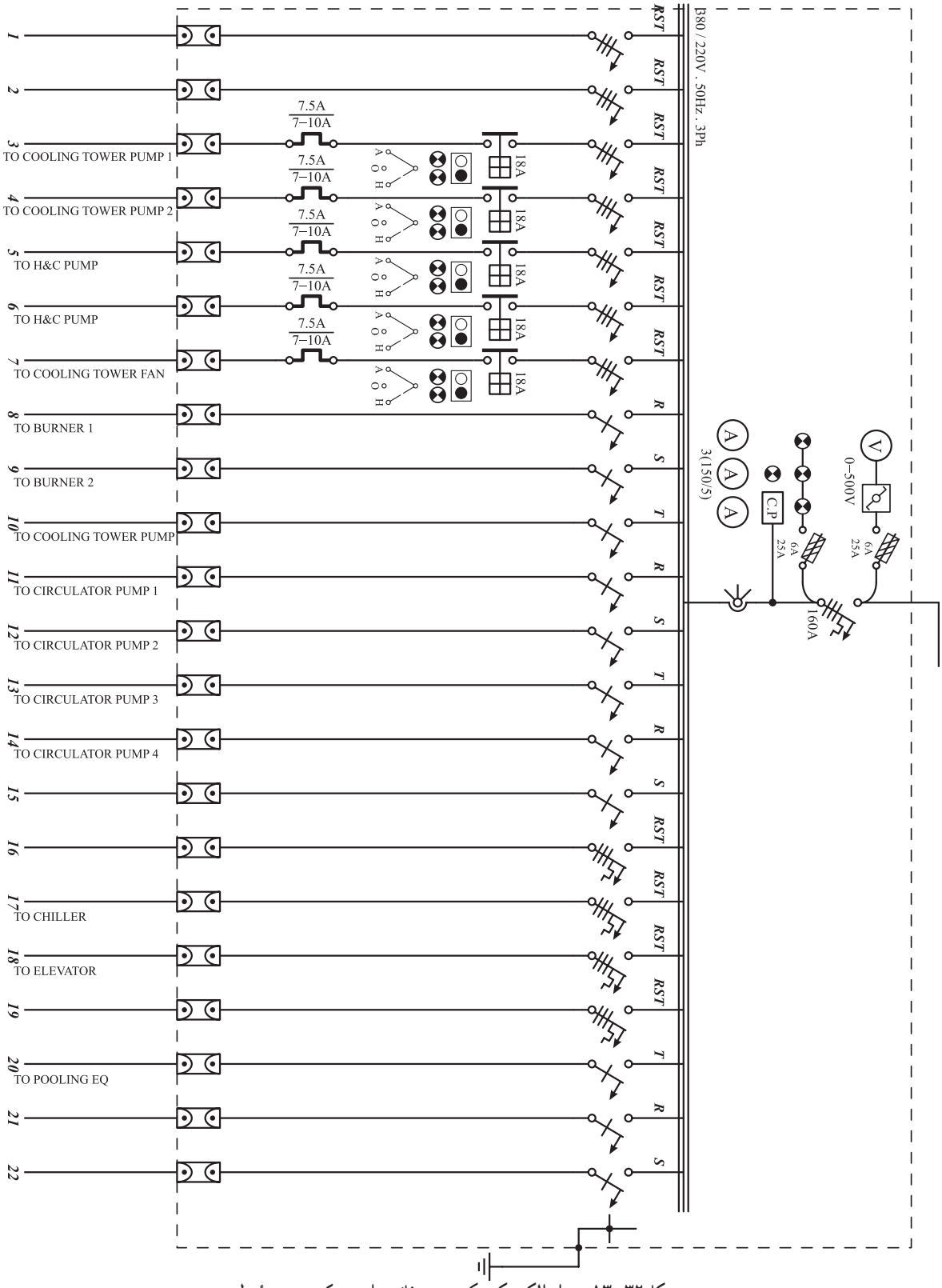
tW : زمان اطمینان برای شروع استارت ۱۰ الی ۸۰ ثانیه

SA :الارم

M :موتور

شکل ۳۱ــ۱۳ــ الف) مدار برقی یک مشعل گازی

۷ــ۱۳ــ مدار برقی یک موتورخانه حرارت مرکزی و تهویهٔ مطبوع



شکل ۳۲ــ۱۳ــ مدار الکتریکی یک موتور خانه حرارت مرکزی و تهویهٔ مطبوع

شرح مدار : در ورودی این تابلو یک عدد کلید اتوماتیک ۱۶۰A نصب شده است. قبل از آن یک ولت‌متر به همراه کلیدگردان هفت حالته، که ولتاژ بین فازها و بین فازها با نول و حالت خاموش را نشان می‌دهد، قرار دارد. این ولت‌متر، با سه فیوز محافظت می‌شود. بعد از کلید اصلی سه عدد چراغ سیگنال قرار دارد که روشن بودن آن‌ها به معنای ورود برق به تابلو است. لامپ‌های سیگنال را نیز سه عدد فیوز محافظت می‌کنند. بعد از آن سه عدد آمپر متر وجود دارد که جریان‌های فازها را نشان می‌دهند. باید فازها را طوری تقسیم کنیم که آمپرهایی را که آمپرمترها نشان می‌دهند نزدیک به هم باشند، که اصطلاحاً می‌گویند بار متعادل باشد. خط‌های ۱ و ۲ دو عدد کلید مینیاتوری سه فاز ۲۵A به‌صورت spare یا رزرو هستند.

خط‌های ۳ و۴ پمپ‌های آب برج خنک کنندهٔ مربوط به دستگاه چیلرند، که در سر راه آن‌ها کلید مینیاتوری سه فاز کنتاکتور ۱۸A، که به D۱۸ معروف است، شستی‌های استارت استاپ لامپ‌های سیگنال کلید دو حالته AOH و هم‌چنین بی‌متال قرار دارد. روی بی‌متال عبارت $\frac{۷.۵}{۷-۱۰}$ نوشته شده یعنی رِنج یا دامنهٔ بی‌متال ۷ تا ۱۰ آمپرقابل تنظیم است که روی ۷/۵ آمپر تنظیم شده است. خطوط ۵ و ۶ به پمپ‌های آب سرد و گرم فن کویل‌ها مربوط‌اند، که بی‌متال آن‌ها روی ۵/۳ A تنظیم شده است.

خط ۷ به فن برج خنک کننده مربوط است، که بی‌متال آن روی ۳A تنظیم شده است.

خطوط ۸ و ۹، دو دستگاه دیگ چدنی را با مشعل‌های تک‌فاز تأمین می‌کنند.

خطوط ۱۰ تا ۱۳ به پمپ‌های سیرکوله آب گرم بین دیگ و منابع کویلی و هم‌چنین به پمپ برگشت آب گرم مصرفی و یک دستگاه پمپ رزرو مربوط‌اند، که از مینیاتورهای تک‌فاز فرمان می‌گیرند. خطوط ۱۴ و ۱۵ رزروند.

خط ۱۶، برق تابلو چیلر را تأمین می‌کند. این خط از یک کلید اتوماتیک ۱۰۰A فرمان می‌گیرد. خط ۱۷ به تابلوی آسانسور می‌رود و از کلید اتوماتیک ۴۰A فرمان می‌گیرد. خط ۱۸ به همراه یک عدد کلید اتوماتیک ۴۰A رزرو است. خط ۱۹، به تابلوی استخر و سونا و جکوزی می‌رود واز کلید اتوماتیک ۶۳A فرمان می‌گیرد. خطوط ۲۰ تا ۲۲ رزروند و از آن‌ها برای روشنایی موتورخانه نیز استفاده می‌شود. کلید مینیاتورها در این تابلو به‌جز مینیاتور روشنایی همه از نوع کند کار یا گروه C هستند. در تابلو، شینه‌های فاز و نول و ارت تعبیه شده است. هم‌چنین در خروجی تابلو ترمینال‌هایی متناسب با قطر سیم‌های خروجی نصب شده است. بدنهٔ این تابلو به شینه ارت وصل شده است.

درشکل‌های ۳۳ـ۱۳ـ الف، ب و پ نمونه‌هایی از تابلو برق موتورخانه تأسیسات مکانیکی ساختمان آورده شده است. در شکل ۳۳ـ۱۳ـ الف یک نمونه تابلو برق تک فاز و در شکل ۳۳ـ۱۳ـ ب یک تابلو سه‌فاز را می‌بینید. در شکل ۳۳ـ۱۳ـ پ نمای داخلی تابلو برق دیده می‌شود.

الف) تابلو برق تک‌فاز

ب) تابلو برق سه‌فاز

پ) باز شدهٔ تابلو برق

شکل ۳۳ــ۱۳ــ نمونه‌هایی از تابلو برق موتورخانه

پرسش‌های فصل ۱۳

◄پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۱ــ الکتروموتور کولر آبی ۶۵۰۰ چند اسب بخار است؟

الف) ۱ ب) $\frac{۱}{۲}$ ج) $\frac{۱}{۳}$ د) $\frac{۱}{۴}$

۲ــ فن‌کویل‌ها اغلب دارای الکتروموتور... سرعته هستند.

الف) یک ب) دو ج) سه د) چهار

۳ــ توان الکتریکی موتورهای فن‌کویل در حدود ..... وات است.

الف) ۳۰ ب) ۳۰۰ ج) ۸ د) ۱۲۰

۴ــ حداکثر سرعت موتور فن‌کویل .... دور در دقیقه است

الف) ۱۲۸۵ ب) ۱۴۵۰ ج) ۲۹۰۰ د) ۱۸۰۰

۵ــ تغییر فصل ترموستات دو فصلی به صورت ..... انجام می‌شود.

الف) دستی ب) اتوماتیک با حس‌گری روی لوله آب

ج) مغناطیسی د) اتوماتیک با حس‌گری روی بدنه فن‌کویل

◄پرسش‌های درست و نادرست

۶ــ تغییر فصل ترموستات فن‌کویل با قطعه‌ای به‌نام Change over انجام می‌شود.

درست ☐ نادرست ☐

۷ــ در کورهٔ هوای گرم مشعل و فن هم‌زمان راه اندازی می‌شوند.

درست ☐ نادرست ☐

۸ــ خازن مورد استفاده در مشعل گازوئیلی تک‌فاز با سیم‌پیچ استارت موازی بسته می‌شود.

درست ☐ نادرست ☐

۹ــ ترانسفورماتور جرقه از نوع افزاینده است.

درست ☐ نادرست ☐

۱۰ــ کار میله یونیزاسیون در مشعل گازسوز مشابه کار فتوسل در مشعل گازوئیل سوز است

درست ☐ نادرست ☐

◄پرسش‌های پر کردنی

۱۱ــ در موتور کولرآبی برای خارج کردن سیم‌پیچ راه‌انداز از ..... استفاده می‌شود.

۱۲ــ موتورپمپ کولرآبی و موتور فن فن‌کویل‌ها از نوع ..... است.

۱۳ــ یک کلید کولر عبارت است یک کلید دوپل و یک کلید..... است.

۱۴ــ با مراجعه به جدول معلوم می‌شود که فن‌کویل ۱۰۰۰ دارای ....موتور به قدرت.... اسب بخار است.

۱۵ــ ترموستات تابستانی با افزایش دما مدار را .....می‌کند.

۱۶ــ شیر سه‌راهه موتوری در زمان قطع ترموستات ورود آب به فن‌کویل ..... و مسیر ورود آب به ..... باز می‌کند.

۱۷ــ به‌وسیله‌ای که تغییر فصل ترموستات فن‌کویل به‌طور خودکار انجام می‌دهد.....یا ..... گویند.

۱۸ــ فن کوره هوای گرم .... از مشعل راه‌اندازی می‌شود و .....مشعل خاموش می‌شود.

۱۹ــ خروجی ترانسفورماتور جرقه .....ولت است.

۲۰ــ وقتی به چشم الکتریک نور بتابد مقاومت آن ..... شده به حدود .....اهم می‌رسد.

۲۱ــ در مشعل گازوئیل‌سوز ابتدا .....و..... به‌طور همزمان راه‌اندازی می‌شوند

۲۲ــ با توجه به مدار داخلی رله مشعل گازوئیل‌سوز اگر شعله تشکیل نشود یک ..... در مدار می‌ماند و فاز را قطع می‌کند.

۲۳ــ کنتاکت معمولاً ..... کلید کنترل فشار گاز در مسیر فاز ورودی به مشعل قرار می‌گیرد.

۲۴ــ کلید کنترل فشار هوا موقعی وصل می‌کند که موتور .....رسیده باشد.

◄پرسش‌های تشریحی

۲۵ــ الکتروموتور فن و الکتروموتور پمپ کولر را توضیح دهید.

۲۶ــ نقشه مداربرقی نردبانی کولرآبی را از روی شکل تشریح کنید.

۲۷ــ نقشه مدار برقی کولر آبی را شرح دهید.

۲۸ــ مشخصات فنی فن‌کویل ۶۰۰ از روی جدول‌های داده شده توضیح دهید.

۲۹ــ مشخصات الکتروموتورهای فن‌کویل‌ها را شرح دهید.

۳۰ــ حس‌گرهای مورد استفاده در فن‌کویل را نام ببرید.

۳۱ــ ترموستات زمستانی، تابستانی و دو فصلی را شرح دهید.

۳۲ــ مدار برقی راه‌اندازی فن را با رسم شکل توضیح دهید.

۳۳ــ کار شیر موتوری سه‌راهه را توضیح دهید.

۳۴ــ مدار برقی راه‌اندازی فن‌کویل با شیر سه راهه موتوری را با رسم شکل توضیح دهید.

۳۵ــ راه‌اندازی فن‌کویل سقفی را شرح دهید.

۳۶ــ مدارهای راه‌اندازی کوره هوای گرم را از روی شکل توضیح دهید.

۳۷ــ مدار برقی الکتروموتور مشعل را با رسم شکل توضیح دهید.

۳۸ــ مدار برقی رله مشعل گازوئیل سوز را توضیح دهید.

۳۹ــ مدار داخلی رله مشعل گازوئیل‌سوز را از روی شکل تشریح کنید.

۴۰ــ مدار برقی رله مشعل گازسوز را از روی شکل توضیح دهید.

۴۱ــ مدار تابلو برق موتورخانه را از روی شکل توضیح دهید.

فصل ۱۴

دستگاه‌های سردکننده

هدف‌های رفتاری : پس از پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ مشخصات و کاربرد الکتروموتور بسته را توضیح دهد.

۲ــ مدار الکتریکی الکتروموتور دستگاه سردکننده را توضیح دهد.

۳ــ کنترل محافظ بار اضافی (اورلود) را توضیح دهد.

۴ــ تایمر دیفراست دستگاه‌های سردکننده را شرح دهد.

۵ــ الکتروموتور فن دستگاه‌های سردکننده را شرح دهد.

۶ــ گرمکن‌های مورد استفاده در بدنه یخچال فریزرها را توضیح دهد.

۷ــ ترموستات‌های مورد استفاده در یخچال و فریزر را توضیح دهد.

۸ــ مدار الکتریکی یخچال خانگی را شرح دهد.

۹ــ یخچال فریزر و مدار الکتریکی آن‌را شرح دهد.

سیمای فصل ۱۴

ـ دستگاه‌های سردکننده
ـ الکتروموتورهای بسته
ـ مدار الکتریکی
ـ محافظ بار اضافی (اورلود)
ـ تایمر دیفراست
ـ الکتروموتور فن‌ها
ـ گرمکن‌ها
ـ ترموستات‌ها
ـ یخچال خانگی
ـ یخچال فریزر

آشنایی با دانشمندان

نیکولا سعدی کارنو (۱۸۳۲ــ ۱۷۹۶ میلادی)

کارنو در یک خانوادهٔ برجسته و ممتاز فرانسوی به‌دنیا آمد. پدرش ریاضی‌دان انقلابی و طراح نقشه‌های جنگی بودکه به علت ابداع روش‌های نوین و مؤثر جنگی در مقابله با دولت‌های اروپایی «طراح پیروزی» نام گرفته بود.

پدر کارنو به فرهنگ و ادب فارسی عشق می‌ورزید و به علت علاقه زیادش به سعدی، نام میانی فرزندش را سعدی نهاد.

کارنو در شانزده سالگی وارد مدرسه پلی تکنیک شد. گیلوساک، پواسون، آراگو و آمپر از جملهٔ استادان او بودند. پس از اتمام تحصیلات در مدرسه پلی تکنیک وارد ارتش فرانسه شد. کارنو پس از تحقیقات زیاد به این نتیجه رسید که بیش‌ترین بازدهی که می‌توان از هر نوع ماشین گرفت به اختلاف دمای دو چشمهٔ سرد و داغ بستگی دارد. برای این‌کار او چرخه‌ای را معرفی کرد که اکنون به افتخار او «چرخهٔ کارنو» نامیده می‌شود. کارنو در جوانی و در اوج فعالیت علمی‌اش در سی‌وشش سالگی بر اثر ابتلا به بیماری وبا که در آن زمان همه‌گیر شده بود چشم از جهان فرو بست.

۱۴ــ دستگاه‌های سردکننده

۱ــ۱۴ــ الکتروموتورها

در دستگاه‌های سردکننده خانگی و تجاری مانند یخچال، کولرگازی و... الکتروموتور و کمپرسور در داخل یک محفظه فولادی قرار می‌گیرد. محور الکتروموتور و محورکمپرسور یکی است و موتور مستقیماً کمپرسور را به حرکت درمی‌آورد. مقدار سرعت الکتروموتورها را با توجه به‌تعداد قطب‌های استاتور می‌توان از فرمول زیر حساب کرد.

$$N = \frac{۱۲۰f}{p}$$

f = فرکانس برق شهر که در ایران ۵۰ هرتز است.

p = تعداد قطب‌های استاتور که می‌تواند ۲ تا ۴ تا باشد.

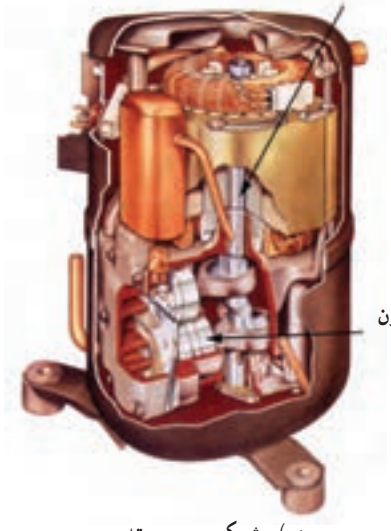
N = تعداد دوران موتور در دقیقه

درموتور دو قطبی سرعت الکتروموتور برابر $N = \frac{۱۲۰\times۵۰}{۲} = ۳۰۰۰rpm$ دور در دقیقه است.

در موتورهای چهار قطبی سرعت الکتروموتور برابر $N = \frac{۱۲۰\times۵۰}{۴} = ۱۵۰۰rpm$ دور در دقیقه است.

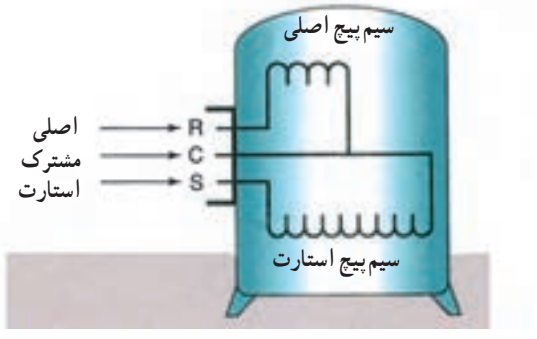
در کمپرسورهای بسته توان الکتروموتور از $\frac{۱}{۸}$ تا ۲۴ اسب بخار متغیر است (شکل‌های ۱ــ۱۴).

الف) کمپرسور بسته



ب) برش کمپرسور بسته

د) جعبه ترمینال موتور کمپرسور



ج) سیم پیچی

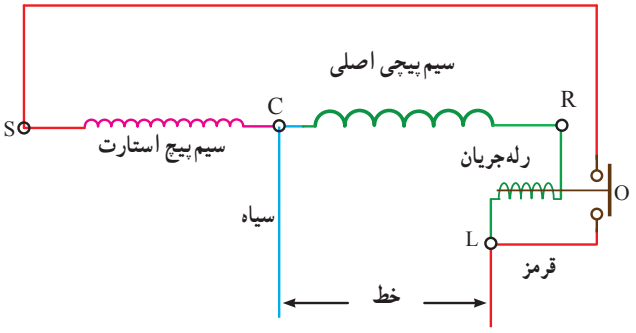
شکل ۱ــ۱۴ــ الکتروموتورهای بسته سردکننده‌ها

۲ــ۱۴ــ مدار الکتریکی الکتروموتورهای بسته

مدار الکتریکی الکتروموتور دستگاه سردکننده با کمپرسور بسته یکی از حالت‌های زیر را دارد.

۱ــ الکتروموتور دارای سیم‌پیچی اصلی و سیم‌پیچی استارت است. چون سیم‌پیچ استارت دارای سیم نازک و تعداد دور بیش‌تری است پس از راه‌اندازی الکتروموتور باید از مدار خارج شود.

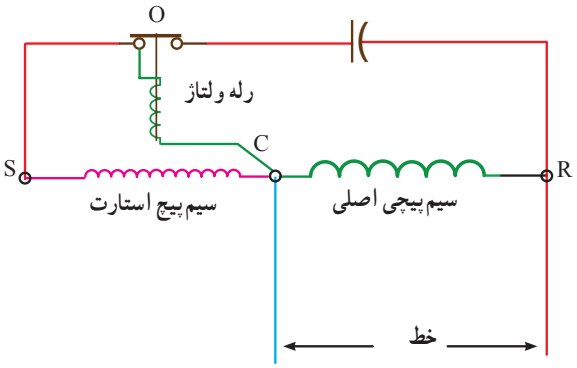
در این حالت برای خارج کردن سیم‌پیچ استارت از مدار از یک رله جریان استفاده شده است که سیم‌پیچ آن با سیم‌پیچ اصلی به طور سری قرار گرفته و کلید قطع کننده آن با سیم‌پیچ استارت سری شده است. در زمان راه‌اندازی با رسیدن موتور به دور نامی، کلید رله باعث جدا شدن سیم‌پیچ استارت از مدار می‌شود(شکل ۲ــ۱۴).



C ــ پایانهٔ اتصال مشترک
R ــ پایانهٔ اتصال سیم‌پیچ اصلی
S ــ پایانهٔ اتصال سیم‌پیچ و مقاومت
O ــ کلید رله

شکل۲ــ۱۴ــ مدار الکتریکی با رله جریان

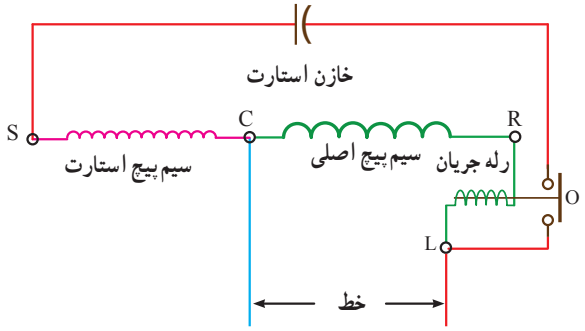
۲ــ در این حالت الکتروموتور دارای سیم‌پیچ اصلی و سیم‌پیچ استارت است. برای خارج کردن سیم‌پیچ استارت پس از راه‌اندازی از یک رله ولتاژ استفاده شده است. کلید رله ولتاژ در حالت خاموشی و عادی وصل است و سیم‌پیچ آن با سیم‌پیچ استارت موازی است. پس از راه اندازی در اثر افزایش ولتاژ دو سر رله کلید باز شده و سیم‌پیچ استارت را از مدار خارج می کند (شکل ۳ــ۱۴).



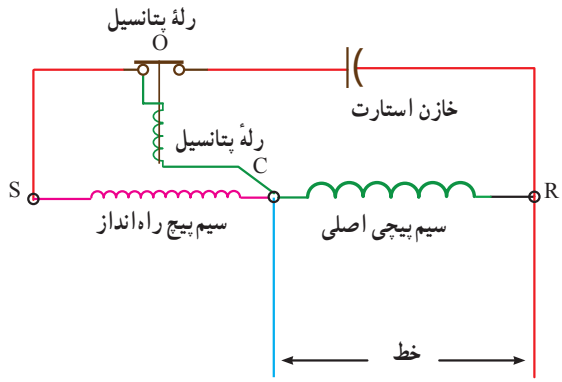
C ــ پایانهٔ اتصال مشترک (اتصال بدنه)
R ــ پایانهٔ اتصال سیم‌پیچ رانش
S ــ پایانهٔ اتصال سیم‌پیچ استارت
O ــ کلید کنترل‌کنندهٔ رله

شکل ۳ــ۱۴ــ مدار الکتریکی با رله پتانسیل

۳ــ در شکل ۴ــ۱۴ یک خازن با سیم‌پیچ استارت سری شده است، وجود خازن در مدار باعث اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان می‌شود. هر چه ظرفیت خازن بیش‌تر باشد اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان بیشتر بوده و نتیجهٔ آن ایجاد گشتاور بیش‌تر برای استارت الکتروموتور می‌شود. همچنین هرچه ظرفیت خازن سری شده بیش‌تر باشد شدت جریان در مدار بیش‌تر می‌شود و ممکن است خازن آسیب ببیند. بنابراین با باز شدن کلید رله خازن و سیم‌پیچ استارت هر دو از مدار خارج می‌شوند. شکل ۴ــ۱۴ــ الف سیم‌کشی موتور استارت خازنی با رله جریان و شکل ۴ــ۱۴ــ ب سیم‌کشی موتور با استارت خازنی با رله ولتاژ را نشان می‌دهد.



الف) دیاگرام شماتیک سیم‌کشی یک موتور استارت خازنی رانش القایی که یک رلهٔ جریانی در مدار آن قرار گرفته، در این‌جا خازن در حالت کار نشان داده شده است.
C ــ پایانهٔ اتصال مشترک (اتصال بدنه)
R ــ پایانهٔ اتصال سیم‌پیچ رانش
S ــ پایانهٔ اتصال سیم‌پیچ استارت
O ــ کلید کنترل‌رله



ب) دیاگرام شماتیک سیم‌کشی یک موتور استارت خازنی رانش القایی که یک رلهٔ ولتاژی روی مدار آن نصب شده، در این‌جا خازن در حالت استارت موتور نشان داده شده است.

C ــ پایانهٔ اتصال مشترک (اتصال بدنه)

R ــ پایانهٔ اتصال سیم‌پیچ رانش

S ــ پایانهٔ اتصال سیم‌پیچ استارت

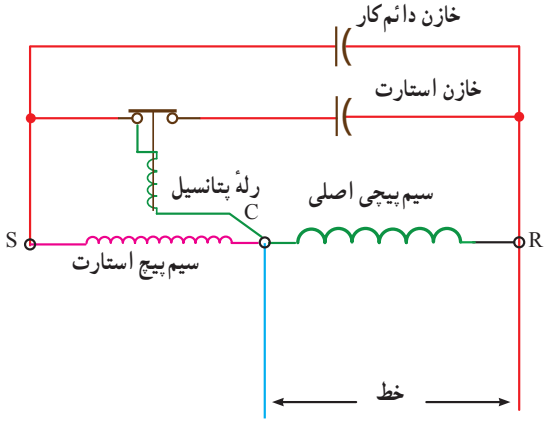
O ــ کلید کنترل‌رله

شکل ۴ــ۱۴ــ مدار الکتریکی با خازن استارت

۴ــ در این حالت از دو خازن موازی که با سیم‌پیچ استارت سری شده‌اند استفاده شده است. یکی از خازن‌ها خازن استارت بوده و پس از راه‌اندازی موتور از مدار خارج می‌شود. خازن دیگر خازن دائم کار بوده و دائماً به‌صورت سری با سیم‌پیچ استارت در مدار می‌ماند.

موتور با خازن استارت دارای گشتاور راه‌اندازی خوبی است ولی راندمان به اندازه موتور با خازن دائم کار نمی‌باشد. موتوربا خازن دائمی دارای راندمان کاری خوبی است ولی دارای ظرفیت کمی است و نیروی گشتاور استارت آن کمتر است. بنابراین در این مدار موتور هم دارای گشتاور راه‌اندازی خوبی است و هم راندمان خوبی دارد.

شکل ۵ــ۱۴ مدار الکتریکی یک دستگاه سردکننده با رله پتانسیل، خازن استارت و خازن دائم‌کار را نشان می‌دهد.



شکل ۵ــ۱۴ــ مدار الکتریکی یک دستگاه سردکننده با رله پتانسیل خازن

در شکل۶ــ۱۴یک نمونه رله پتانسیل (ولتاژ)(A)، خازن دائم‌کار (B) و خازن راه‌انداز (C) را می‌بینید.

شکل ۶ــ۱۴

۳ــ۱۴ــ کنترل محافظ بار اضافی[1] (اورلود)

اگر جریانی که از سیم‌پیچ موتور کمپرسور عبور می‌کند بیش از جریان نامی الکتروموتور جدول ۷ــ۱۴ باشد گرمای تولید شده در سیم‌پیچ زیاد می‌شود و ادامه عبور جریان زیاد به سوختن الکتروموتور می‌انجامد. برای جلوگیری از آن باید جریان برق را قطع و نسبت به رفع عیب اقدام نمود. برای قطع جریان به دو صورت عمل می‌شود.

۱ــ Overload protection

جدول ۱ــ۱۴ــ جریان نامی الکتروموتورها

		Motor HP	150	125	100	75	60	50	40	30	25	20	15	10	7½	5	3	2	1½	1	¾	½
Single Phase	115 V	Full Load Current												100	80	56	34	24	20	16	13.8	9.8
		Power Factor %												89	88.5	87.5	86	84	83	80	77	73
		Starting Current												575	460	322	195	138	115	92	80	56
	230 V	Full Load Current												50	40	28	17	12	10	8	6.9	4.9
		Power Factor %												89	88.5	87.5	86	84	83	80	77	73
		Starting Current												288	230	161	98	69	58	46	40	28
Three Phase	220 V	Full Load Current	353	293	223	180	144	120	103	75	64	52	40	27	22	15	9	6.5	5	3.5	2.8	2
		Power Factor %	91.5	91.4	91.2	91	90.8	90.6	90.4	90.2	90.1	90	89.5	89	88.5	87.5	86	84	83	80	77	73
		Starting Current	2116	1758	1338	1080	864	720	618	450	384	312	240	162	132	90	54	39	30	21	16.6	12
	440 V	Full Load Current	172	144	117	90	72	60	52	38	32	26	20	14	11	7.5	4.5	3.3	2.5	1.8	1.4	1
		Power Factor %	91.5	91.4	91.2	91	90.8	90.6	90.4	90.2	90.1	90	89.5	89	88.5	87.5	86	84	83	80	77	73
		Starting Current	1032	864	702	540	432	360	312	228	192	156	120	84	66	45	27	19.8	15	10.8	8.4	6
	550 V	Full Load Current	138	117	94	72	58	48	41	30	26	21	16	11	9	6	4	2.6	2	1.4	1.1	8
		Power Factor %	91.5	91.4	91.2	91	90.8	90.6	90.4	90.2	90.1	90	89.5	89	88.5	87.5	86	84	83	80	77	73
		Starting Current	828	702	564	432	348	288	246	180	156	126	96	66	54	36	24	15.6	12	8.4	6.6	4.8

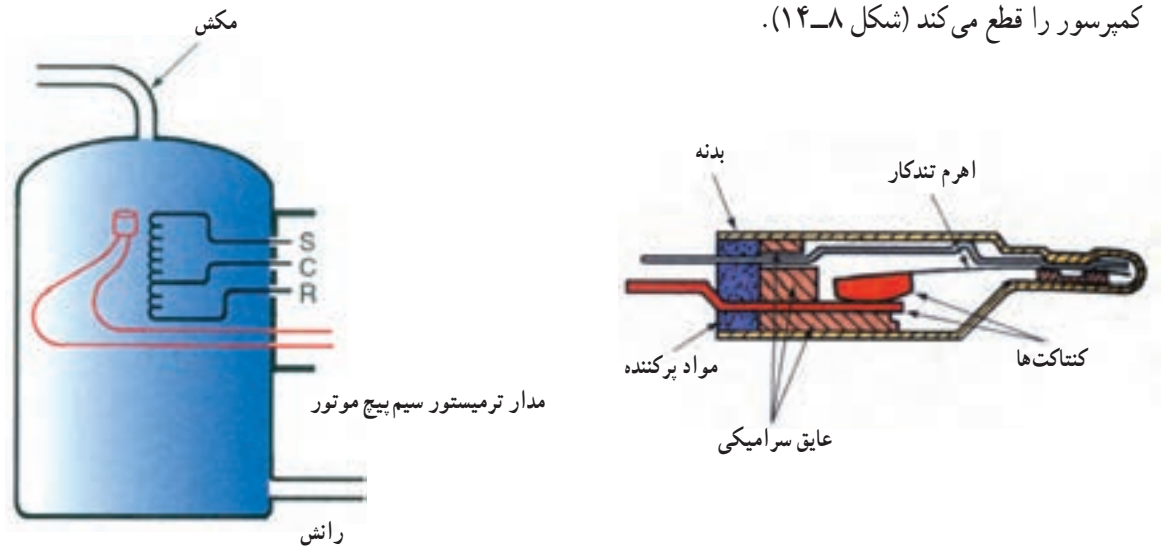
۱ــ استفاده از اورلود خارجی

۲ــ استفاده از اورلود داخلی

اورلود خارجی در بیرون کمپرسور قرار می‌گیرد و عضو حساس آن بی‌متالی است که ضمن قرارگیری در مسیر جریان کمپرسور با بدنه کمپرسور نیز تماس دارد، اگر جریان زیاد شود یا گرمای بدنه کمپرسور زیاد گردد برق کمپرسور را قطع می‌کند(شکل ۷ــ۱۴).

شکل ۷ــ۱۴ــ اورلود خارجی

اورلود داخلی در داخل سیم‌پیچی‌های کمپرسور قرار می‌گیرد. در صورت بالا رفتن شدت جریان یا گرمای موتور، برق کمپرسور را قطع می‌کند (شکل ۸ــ۱۴).



مدار ترمیستور سیم‌پیچ موتور

شکل ۸ــ۱۴ــ اورلود داخلی و قرارگیری آن در سیم‌پیچی

۴ــ۱۴ــ تایمر دیفراست

برای زمان‌بندی برفک‌زدایی اواپراتور از یک تایمر دیفراست مانند شکل ۹ــ۱۴ استفاده می‌شود.

شکل ۹ــ۱۴ــ تایمر دیفراست

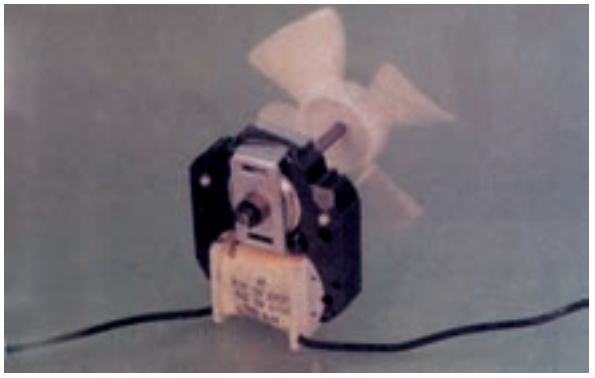
برای جلوگیری از گرم شدن محفظه اواپراتور در زمان دیفراست از یک ترموستات استفاده می‌شود که ترمودیسک نامیده می‌شود. حس‌گر این ترموستات با بدنه اواپراتور تماس دارد، در صورتی که بدنه اواپراتور گرم شود مدار هیتر را قطع می‌کند در شکل ۱۰ــ۱۴ یک نمونه ترمودیسک را می‌بینید. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید ترمودیسک دارای سه سیم است. یکی از سیم‌ها مشترک است از دو سیم دیگر یکی مربوط به حالتی است که با گرم شدن قطع می‌کند و به هیتر وصل می‌شود. سیم سوم مربوط به حالتی است که با سرد شدن قطع می‌کند.

شکل ۱۰ــ۱۴ــ ترمودیسک

۵ــ۱۴ــ الکتروموتور فن‌ها

وقتی گردش اجباری هوا مدنظر باشد، دو نوع فن یکی برای اواپراتور و دیگری برای کندانسور استفاده می‌شود. فن کندانسور دارای موتور از نوع قطب چاک‌دار است و دائماً کار می‌کند. فن اواپراتور در یخچال‌های بدون برفک کاربرد دارد و دائماً در حال کار است فقط در زمان ذوب برفک خاموش می‌شود (شکل ۱۱ــ۱۴).

الف) الکتروفن کندانسر



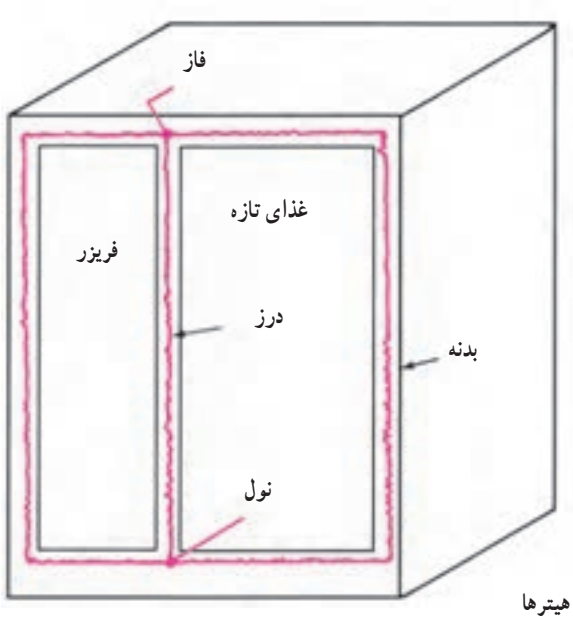
ب) الکتروفن اواپراتور

شکل ۱۱ــ۱۴

۶ــ۱۴ــ گرم‌کن ها

گرم‌کن جلوگیری از عرق کردن، گرم‌کن‌های سیمی عایق شده کوچکی هستند که در دیواره بدنه یخچال و محل بازشو در نصب می‌شوند. این گرم‌کن‌ها بدنه خارجی یخچال را در دمای بالای نقطه شبنم هوای بیرون نگه می‌دارند تا از تشکیل عرق روی بدنه یخچال جلوگیری نمایند. واقعیت این است که این عرق کردن قدرت سرمایی یخچال را کم نمی‌کند، امّا ریزش

آن روی کف یا بودن روی بدنه یخچال نوعی اذیت و آزار است و ممکن است موجب زنگ‌زدگی نیز بشود، شکل ۱۲ــ۱۴ محل قرارگیری گرمکن‌ها را روی بدنه نشان می‌دهد. برخی از دستگاه‌ها دارای کلید صرفه‌جویی در انرژی هستند تا در جاهایی که رطوبت اتاق کم است توسط کلید مذکوراقدام به قطع مدار گرمکن‌ها می‌نماید.



شکل ۱۲ــ۱۴ــ نمایش محل نصب هیترها

تحقیق : در مورد گرمکن‌های مورد استفاده در یخچال و توان مصرفی و ساختمان آن‌ها تحقیق کنید.

۷ــ۱۴ــ ترموستات‌ها

در شکل ۱۳ــ۱۴ نمای ظاهری یک نوع ترموستات که در سردکننده‌های خانگی و تجاری به‌کار می‌رود نشان داده شده است.

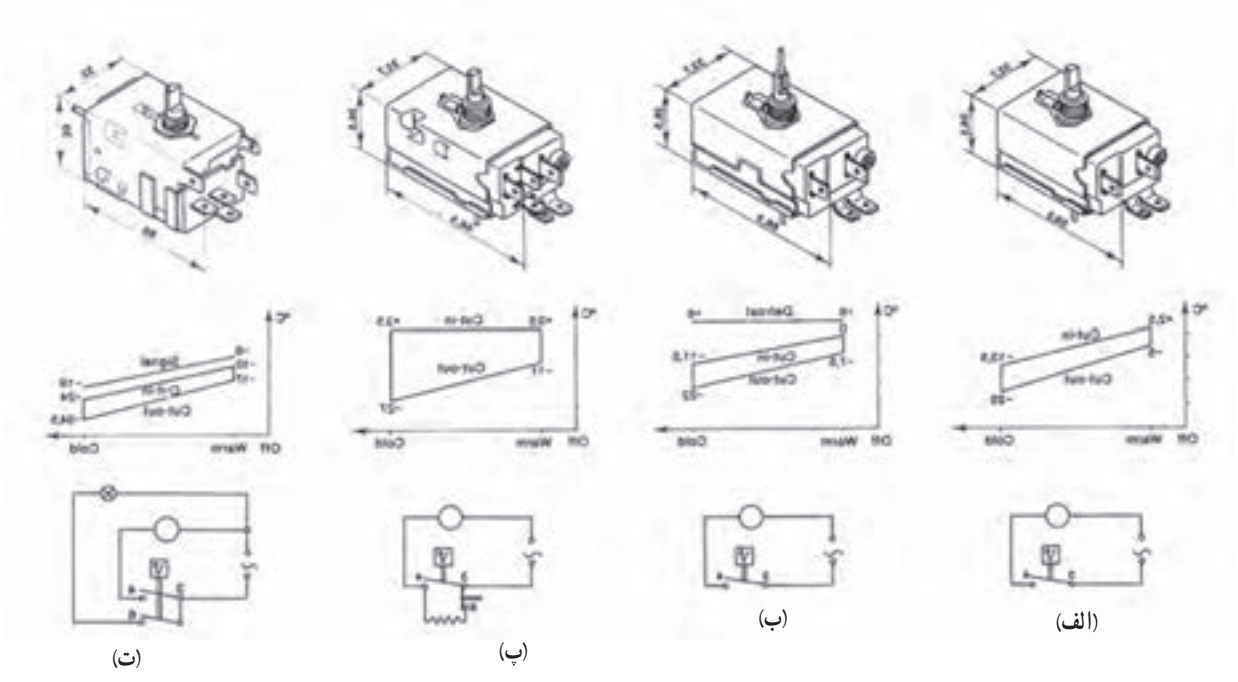
شکل ۱۳ــ۱۴ــ ترموستات سردکننده‌های خانگی و تجاری

شکل ۱۴ــ۱۴ــ الف ساده‌ترین نوع ترموستات است. برای انجام دیفراست باید دو شاخهٔ یخچال را از پریز جدا کرد. در کمترین درجه سرما، ترموستات در $-5^{\circ}C$ کمپرسور را خاموش می‌کند و در دمای $+2/5^{\circ}C$ یخچال را روشن می‌کند. در بالاترین درجه در دمای $-25^{\circ}C$ قطع و در دمای $-13/5$ وصل می‌کند.

شکل ۱۴ــ۱۴ــ ب ترموستاتی است که با فشار دادن دگمه عمل دیفراست آغاز می‌شود و پس از ذوب شدن برفک و رسیدن به دمای $+6^{\circ}C$ به‌طور خودکار دیفراست قطع می‌شود و کمپرسور روشن می‌گردد.

شکل ۱۴ــ۱۴ــ پ ترموستات یخچال با دیفراست اتوماتیک است یعنی هر زمان که ترموستات قطع کند هیتر در مدار قرار می‌گیرد و عمل دیفراست را انجام می‌دهد. ترموستات به کلیدی مجهز است که اگر دگمه ترموستات در وضعیت صفر قرار گیرد هیتر دیفراست را از مدار خارج می‌کند.

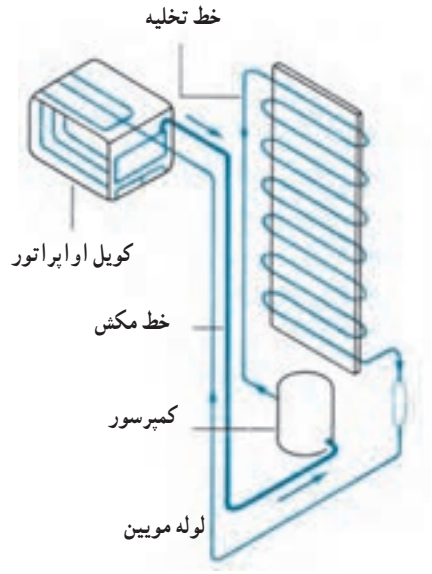
شکل ۱۴ــ۱۴ــ ت یک نوع ترموستات فریزر است که اگر دما از حد معینی بالاتر رود یک لامپ را روشن می‌کند. دمای قطع آن در بالاترین حد سرما $-34/5^{\circ}C$ است.



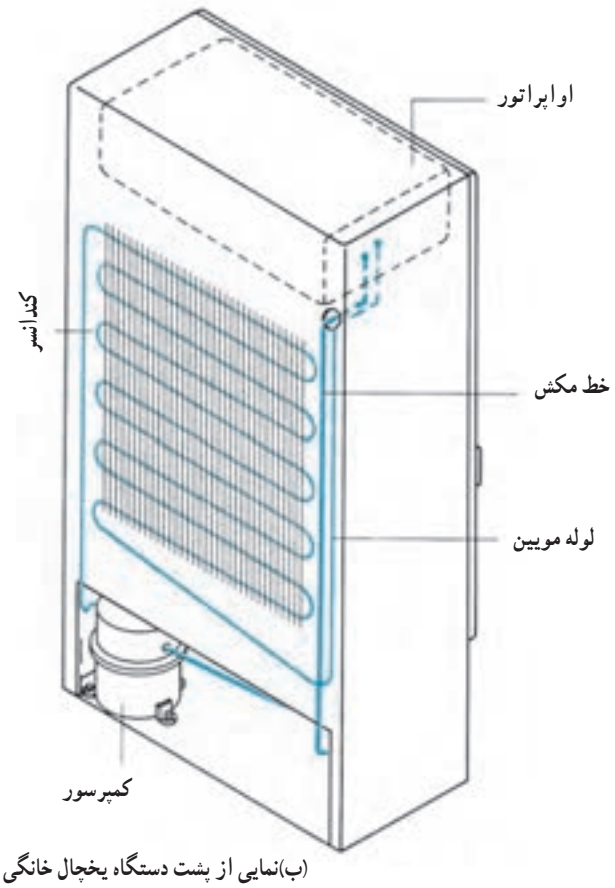
شکل ۱۴ــ۱۴ــ انواع ترموستات سردکننده‌های خانگی

۸ــ ۱۴ــ یخچال خانگی

الکتروموتور یخچال از نوع بسته بوده و معمولاً بدون خازن است برای خارج کردن سیم‌پیچ استارت از مدار از رله جریان استفاده می‌شود. اورلود از نوع بی‌متالی و در بیرون کمپرسور قرار دارد. برای کنترل دما از یک ترموستات استفاده می‌شود و ذوب برفک در آن به‌طور دستی است. کندانسر و اواپراتور از نوع جریان طبیعی است. در شکل ۱۵ــ۱۴ــ الف و ب نمای ساده یک یخچال را می‌بینید.



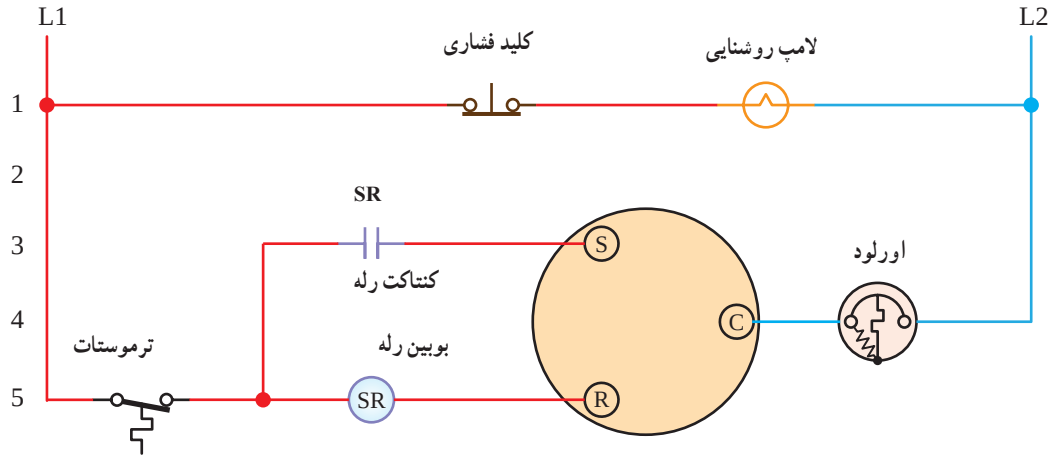
(الف) نحوهٔ آرایش تجهیزات برودتی یک دستگاه یخچال خانگی



(ب)نمایی از پشت دستگاه یخچال خانگی

شکل ۱۵ــ۱۴ــ نمای ساده یک یخچال

ــ مدار الکتریکی یخچال خانگی



شکل ۱۶ــ۱۴ــ مدار الکتریکی یخچال خانگی

شرح مدار : مطابق شکل ۱۶ــ۱۴ در خط ۱ فاز به کلید فشاری درِ یخچال می‌رسد. در صورت باز شدن درِ یخچال کلید وصل می‌شود، آن‌گاه جریان فاز به لامپ داخل یخچال می‌رسد. نول نیز از طرف دیگر به لامپ می‌رسد. در نتیجه لامپ روشن می‌شود. از خط ۵ فاز به ترموستات یخچال می‌رسد و در صورت وصل بودن ترموستات از آن عبور می‌کند و به رله می‌رسد.

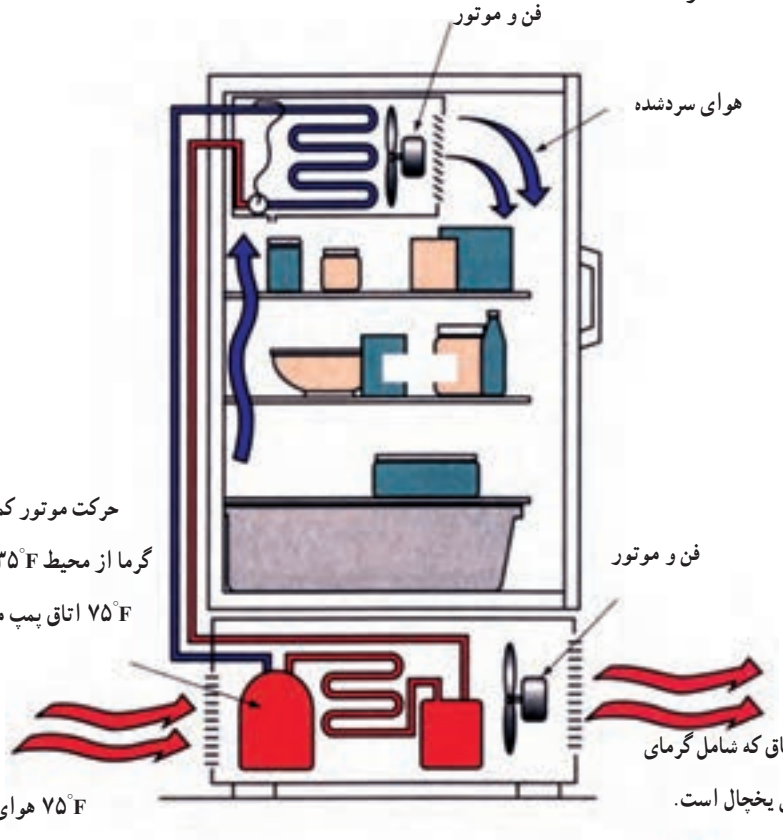
رله از نوع جریان است. جریان فاز از بوبین رله عبور می‌کند و به اتصال R کمپرسور می‌رسد. فاز در خط ۳ به کنتاکت باز رله می‌رسد اما چون این کنتاکت از نوع معمولاً باز است از آن عبور نمی‌کند. از خط ۴ نول از طریق بی‌متال به اتصال C کمپرسور راه می‌یابد. اکنون بین اتصال R و C کمپرسور اختلاف پتانسیل موردنیاز وجود دارد. یعنی، کمپرسور با سیم‌پیچ اصلی برای راه‌اندازی تلاش می‌کند، اما قدرت لازم را ندارد. به همین علّت شدت جریان زیادی از خط فاز و نول عبور می‌کند.

این شدت جریان از بوبین رلهٔ جریان نیز عبور می‌کند و باعث ایجاد میدان مغناطیسی قوی‌تری در آن می‌گردد. درنتیجه کنتاکتِ معمولاً باز رله بسته می‌شود. با بسته شدن کنتاکت رله، جریان برق به اتصال راه‌انداز (S) موتور کمپرسور می‌رسد و سیم‌پیچ استارت در مدار قرار می‌گیرد. موتور کمپرسور تحت‌تأثیر میدان‌های مغناطیسی سیم‌پیچ اصلی و راه‌انداز به‌کار می‌افتد.

پس از چند لحظه که موتور درگرفت، شدت جریان کم می‌شود و شدت میدان مغناطیسی در رله نیز کاهش می‌یابد و رله باز می‌شود. باز شدن کنتاکت رله سبب خارج شدن سیم‌پیچ راه‌انداز از مدار می‌شود و موتور کمپرسور تنها با سیم‌پیچ اصلی به کار خود ادامه می‌دهد. کار کمپرسور باعث ایجاد سرما در اواپراتور می‌شود. ترموستات بر اثر سرد شدن و کاهش دمای یخچال مدار را قطع می‌کند و موتور کمپرسور خاموش می‌گردد. شدت جریان زیاد و گرم شدن زیاد بدنهٔ کمپرسور باعث عمل کردن اُورلود، قطع مدار و خاموش شدن کمپرسور می‌گردد.

۹ــ۱۴ــ یخچال فریزر

شکل شماتیک یخچال فریزر با دیفراست خودکار در شکل ۱۷ــ۱۴ آورده شده است.



شکل ۱۷ــ۱۴ــ نمای سادهٔ یخچال فریزر

ماده سرمازا در دما و فشار بالا
ماده سرمازا در دما و فشار پایین

در شکل چگونگی توزیع سرما در داخل یخچال نشان داده شده است. اواپراتور و کندانسور از نوع فن‌دار است. برفک تشکیل شده بر روی اواپراتور در زمان دیفراست آب شده و در تشتک اواپراتور جمع می‌شود و به بیرون هدایت می‌گردد.

مدار الکتریکی یخچال فریزر با دیفراست خودکار

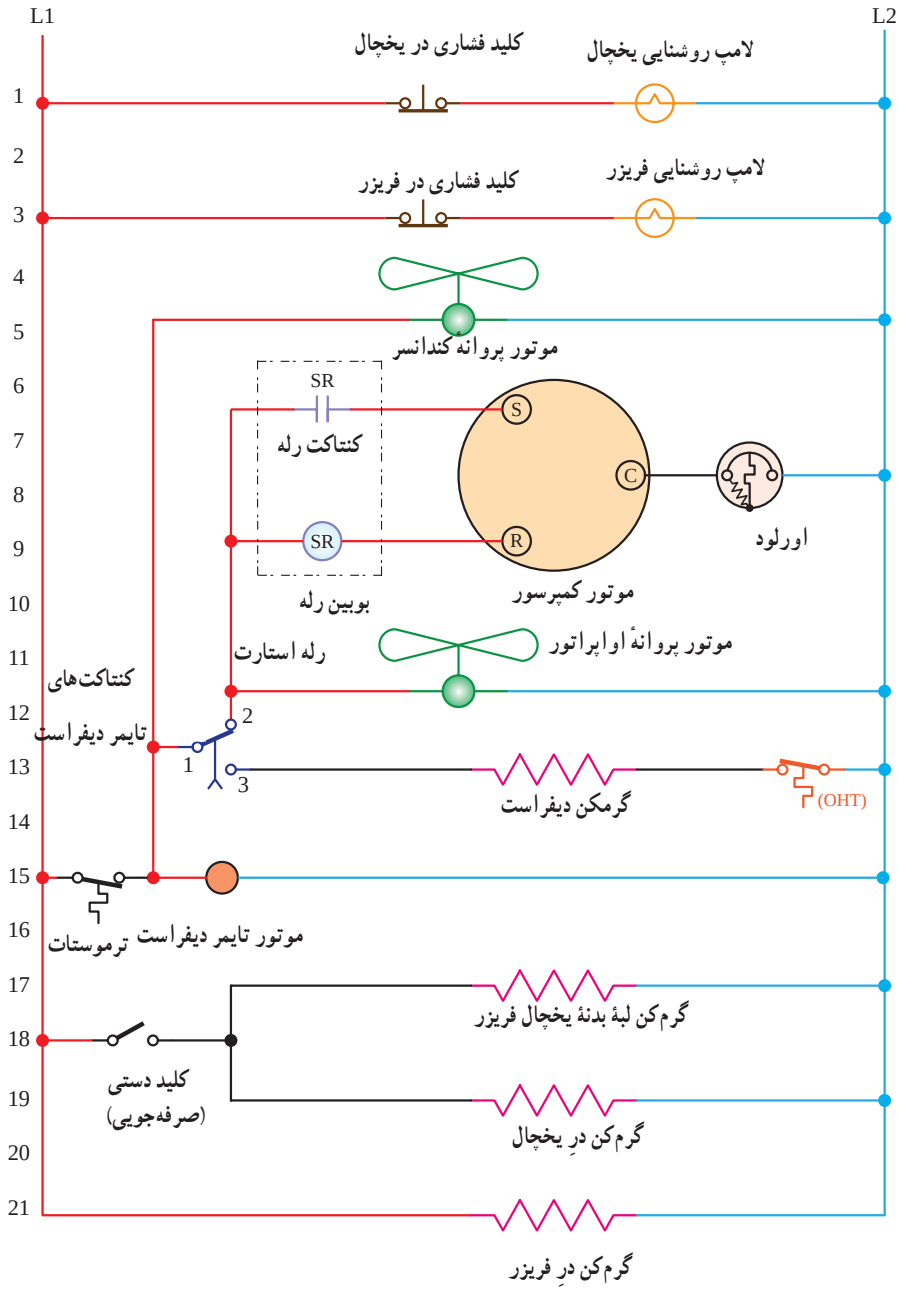
شرح مدار: به شکل ۱۸ـ۱۴ توجه کنید. تفاوت این مدار با مدار یخچال فریزر خانگی در مدار دیفراست آن است. در خط ۱۵ جریان فاز در صورت وصل بودن ترموستات از آن عبور می‌کند و در همین خط به موتور تایمر دیفراست می‌رسد. از طرف دیگر نول نیز به آن می‌رسد و شروع به کار می‌کند.

فاز بعد از ترموستات در خط ۱۳ به کنتاکت ۱ تایمر دیفراست می‌رسد و در زمان کار عادی دستگاه از طریق کنتاکت به موتور پروانه اواپراتور و موتور کمپرسور می‌رسد و دستگاه ایجاد سرما می‌کند. با کار موتور تایمر دیفراست و رسیدن زمان ذوب برفک اتصال کنتاکت ۱ از کنتاکت ۲ تایمر دیفراست قطع و به کنتاکت ۳ وصل می‌شود. در نتیجه موتور پروانه اواپراتور، موتور کمپرسور خاموش می‌شود و گرمکن دیفراست در مدار قرار می‌گیرد. بر اثر گرمای حاصل از کار گرمکن دیفراست، برفک‌های اواپراتور ذوب می‌شود، این عمل تا زمانی ادامه دارد که تایمر دیفراست کنتاکت‌ها را از حالت دیفراست به‌حالت عادی برگرداند.

در صورتی که تایمر دیفراست در وضعیت دیفراست باشد و برفک‌ها نیز ذوب شده باشد کار کردن گرمکن دیفراست باعث افزایش دمای اواپراتور و در نتیجه سبب افزایش دمای محفظهٔ یخچال فریزر می‌شود. برای جلوگیری از این وضعیت در مسیر گرمکن دیفراست در خط ۱۴ از ترموستات جلوگیری از گرمای اضافی OHT[۱] استفاده شده است که در صورت قطع کردن آن گرمکن دیفراست خاموش می‌شود.

کنترل دیفراست این یخچال فریزرها در هر ۲۴ ساعت چندین مرتبه برفک‌ها را ذوب می‌کند به‌طوری که عملاً برفکی بر روی اواپراتور نمی‌ماند.

۱ـ Over Heating Thermostat



شکل ۱۸ــ۱۴ــ نقشهٔ الکتریکی یخچال فریزر با دیفراست خودکار

پرسش‌های فصل ۱۴

◄پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۱ــ سرعت الکتروموتور چهارقطبی با برق ۵۰ هرتز چند دور در دقیقه است؟

الف) ۱۵۰۰ ب) ۳۰۰۰ ج) ۱۸۰۰ د) ۳۶۰۰

۲ــ سیم پیچ رله راه‌انداز جریانی به‌طور ..... با سیم‌پیچ..... بسته می‌شود.

الف) سری ــ اصلی

ب) سری ــ راه‌انداز

ج) موازی ــ اصلی

د) موازی ــ راه‌انداز

۳ــ در مدار یخچال خازن راه انداز با .....به‌طور سری بسته می‌شود.

الف) سیم‌پیچ اصلی

ب) سیم‌پیچ راه‌انداز

ج) سیم‌پیچ رله جریان

د) سیم‌پیچ رله پتانسیل

۴ــ جریان نامی الکتروموتور تک فاز ۲۳۰ ولت با توان یک اسب‌بخار چند آمپر است؟

الف) ۳/۵ ب) ۱۶ ج) ۱/۵ د) ۷/۵

◄پرسش‌های درست و نادرست

۵ــ از ترمودیسک برای برفک زدایی استفاده می‌شود.

درست ☐ نادرست ☐

۶ــ الکتروموتور فن کندانسر و اواپراتور از نوعی است که دارای سیم‌پیچ استارت نمی‌باشد.

درست ☐ نادرست ☐

۷ــ هیتر بدنه یخچال فریزر دارای کلید قطع و وصل برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی است.

درست ☐ نادرست ☐

۸ــ در ترموستات نوع ب شکل ۱۴ــ ۱۴ با قطع ترموستات گرم‌کن ذوب برفک به‌کار می‌افتد.

درست ☐ نادرست ☐

◄پرسش‌های پرکردنی

۹ــ توان کمپرسورهای بسته از .....تا..... اسب بخار است.

۱۰ــ سیم‌پیچ رله راه‌انداز جریانی با سیم‌پیچ ..... سری بسته می‌شود.

۱۱ــ کنتاکت رله راه‌انداز پتانسیل از نوع معمولاً .....است.

۱۲ــ سیم‌پیچ رله راه‌انداز پتانسیل پس از راه‌اندازی از مدار خارج .....

۱۳ــ جدول ۱ــ۱۴ نشان می‌دهد که الکتروموتورهای تک فاز تا توان..... اسب‌بخار ساخته می‌شوند.

◄پرسش‌های تشریحی

۱۴ــ روش مختلف راه‌اندازی کمپرسورهای بسته را از روی شکل توضیح دهید.

۱۵ــ روش‌های مختلف جلوگیری از بار اضافی موتور کمپرسور را توضیح دهید.

۱۶ــ گرمکن بدنه را توضیح دهید.

۱۷ــ عملکرد ترموستات سردکننده‌های خانگی را توضیح دهید.

۱۸ــ عملکرد ترموستات سردکننده‌ها را از روی مدار آن تشریح کنید.

۱۹ــ مدار الکتریکی یخچال خانگی را با رسم آن توضیح دهید.

۲۰ــ مدار الکتریکی یخچال فریزر با دیفراست خودکار را با رسم شکل توضیح دهید.

ضمیمهٔ ۱

نحوهٔ خواندن مقاومت‌ها به کمک

نوارهای رنگی : در این روش برای تعیین مقدار اهم و تلرانس مقاومت‌های اهمی از چهار یا پنج حلقه (نوار) رنگی بر روی بدنهٔ مقاومت‌ها استفاده می‌شود.

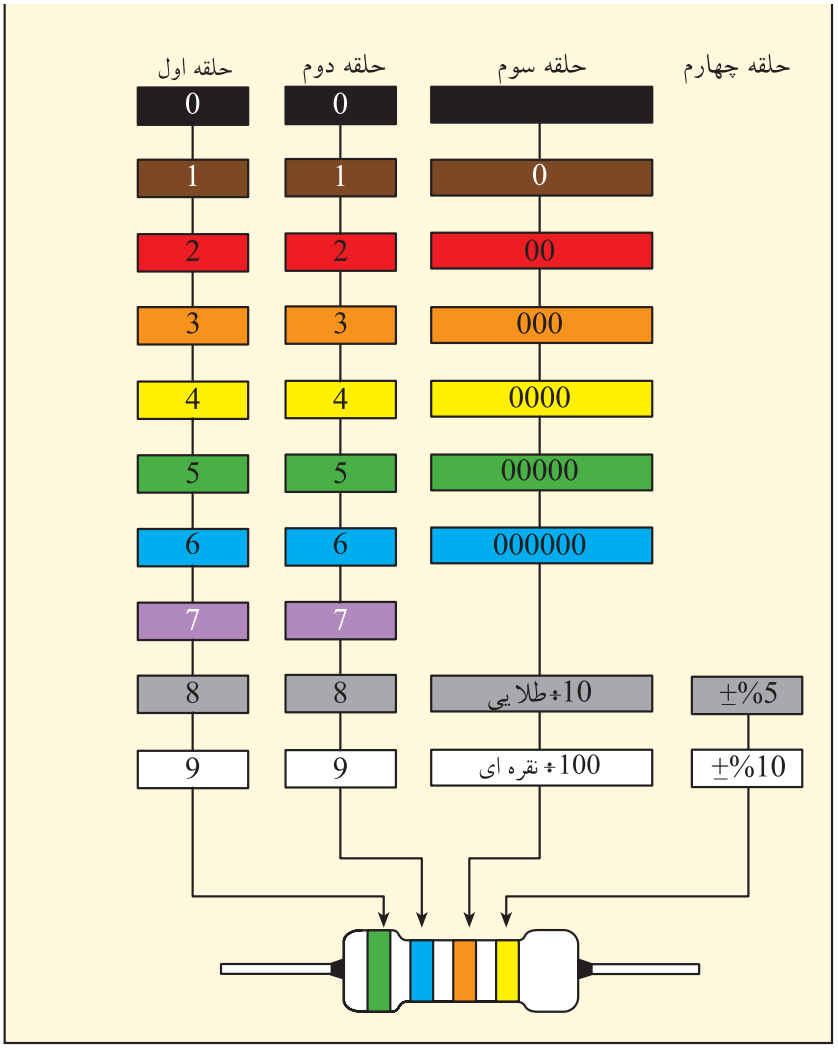
ــ روش چهار نواری : در مقاومت‌هایی که با چهار نوار رنگی مشخص می‌شوند مفهوم نوارهای رنگی مطابق جدول مقابل است.

در این روش حلقه‌های رنگی اول و دوم معرّف ارقام اول و دوم مقدار مقاومت، حلقهٔ سوم نشان دهندهٔ ضریب مقاومت و حلقهٔ چهارم بیان‌کنندهٔ تلرانس مقاومت است.

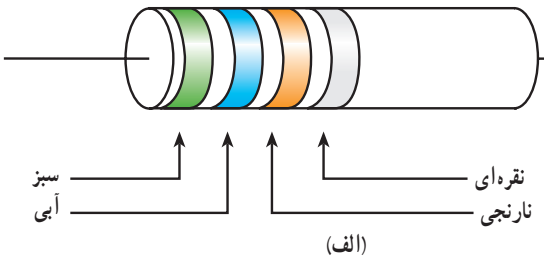
توضیح : اگر حلقهٔ رنگی چهارم وجود نداشته باشد (بدون رنگ) مقدار تلرانس درصد خطا را ۲۰٪ در نظر می‌گیریم.

توجه : هیچ‌گاه نوار رنگی سیاه به‌عنوان حلقهٔ اول وحلقهٔ سوم به‌کار نمی‌رود.

جدول مقاومت‌های رنگی چهار نواری



برای آشنایی بیش‌تر با این روش به ذکر چند مثال می‌پردازیم :



مثال ــ نوارهای رنگی مقاومتی مطابق شکل (الف) است. مقدار مقاومت و تلرانس آن چه‌قدر است؟

حل ــ

نقره‌ای ــ نارنجی ــ آبی ــ سبز

۵ ۶ ... ٪۱۰

$۵۶۰۰۰\ \Omega = ۵۶\times۱۰^{۳}\Omega \pm ٪۱۰$

مثال ــ مقدار مقاومت و تلرانس شکل (ب) را مشخص

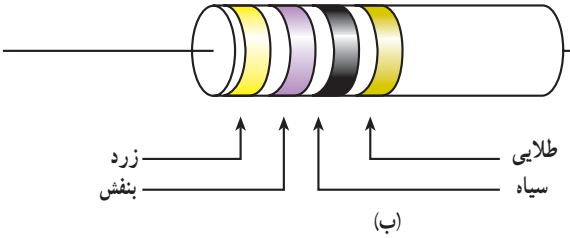
کنید.

حل ــ با توجه به جدول نوارهای رنگی می‌توان نوشت :

طلایی ــ سیاه ــ بنفش ــ زرد

۴ ۷ ... ٪۵

۴۷ Ω ± ٪۵



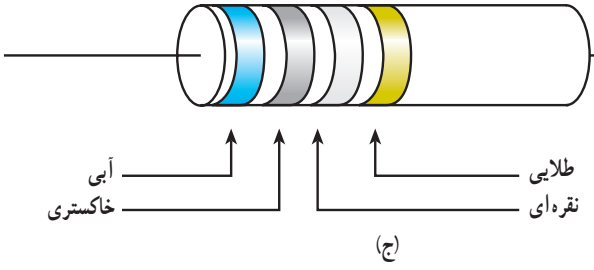
(ب)

مثال ــ مقدار اهم و میزان تلرانس مقاومت شکل (ج) چه‌قدر است؟

طلایی ــ نقره‌ای ــ خاکستری ــ آبی

۶ ۸ ٪۱ ٪۵

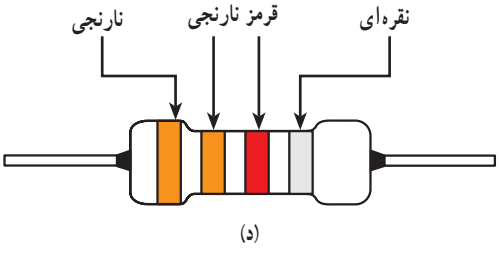
۶۸ × ۰/۰۱ = ۰/۶۸ ± ٪۵



(ج)

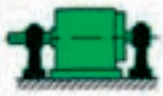
مثال ــ نوارهای رنگی مقاومت ۳/۳ k Ω ± ٪۱۰ را تعیین کنید.

حل ــ با کمک جدول برای حلقه‌های اول تا چهارم رنگ آن‌ها را مطابق شکل (د) مشخص می‌کنیم.



(د)

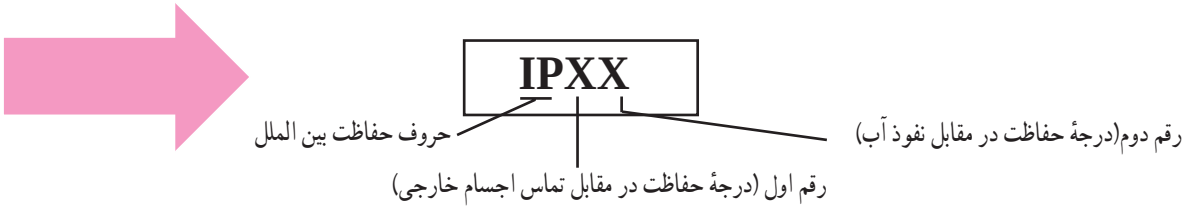
شکل ساختمانی ماشینهای الکتریکی

شرح	شکل	علایم کد - IEC
ماشین برای وضعیت عمودی		
مانند V3، اما سرآزاد محور در سمت پایین		V4 IM 3211
با دو یاتاقان نمونه، پایه برای نصب روی دیوار، سر آزاد محور در سمت پایین		V5 IM 1011
با دو یاتاقان سپری، طوق نصب و سرآزاد محور در سمت پایین		V10 IM 4011
مانند V10، اما سطح نصب بر روی طرف پیشانی (جلو)		V18 IM 3611
ماشین بدون یاتاقان و با یاتاقان مجزا		
بدون محور، بدنه دارای پایه		A2 IM 5510
با دو یاتاقان سپری و یک یاتاقان مجزا		C2 IM 6010
با یک یاتاقان مجزا و محور طوق‌دار		D1 IM 7005
با دو یاتاقان مجزا، سر محور آزاد		D9 IM 7201
یاتاقان عرضی در بالا، طوق اتصال در پایین . نصب بر روی ستون حامل، الوارچوبی، حلقه چاه .		W1 IM 8015

شرح	شکل	علایم کد - IEC
ماشین با یاتاقان سپری		
با دو یاتاقان سپری و طوق (فلانج) نصب		B5 IM 3001
با دو یاتاقان سپری و یک سر آزاد محور، برای نصب روی دیوار		B6 IM 1051
مانند B6، اما سر آزاد محور در سمت چپ		B7 IM 1061
مانند B6، اما برای نصب از سقف		B8 IM 1071
با دو یاتاقان سپری و طوق (فلانج) نصب		B10 IM 4001
با دو یاتاقان سپری و سطح نصب بر روی سمت پیشانی (جلو)		B14 IM 3601
ماشین برای وضعیت عمودی		
با دو یاتاقان نمونه و طوق نصب، سر آزاد محور در سمت پایین		V1 IM 3011
مانند V1، اما سر آزاد محور در سمت بالا		V2 IM 3231
مانند V1، اما طوق نصب و سر آزاد محور درسمت بالا		V3 IM 3031

ضمیمهٔ ۳

بر روی پلاک برخی موتورهای الکتریکی در یک ردیف با نوشتن حروف[۱] IP، که دو رقم را به دنبال خود دارند، نوع حفاظت به‌کار رفته در موتور، از نظر حفاظت در مقابل تماس (ضربه) و نفوذ اجسام خارجی و آب، نشان داده می‌شود. در جدول زیر مفهوم هر یک از اعداد به‌کار رفته بیان شده است.



نشانه	توضیح	نوع ایمنی
ایمنی تماس و ایمنی جسم خارجی		
–	بدون ایمنی تماس، بدون ایمنی جسم خارجی	IP0X
–	ایمنی در مقابل جسم خارجی بزرگ‌تر از Ø 50mm	IP1X
–	ایمنی در مقابل جسم خارجی بزرگ‌تر از Ø12mm	IP2X
–	ایمنی در مقابل جسم خارجی بزرگ‌تر از Ø 2.5 mm	IP3X
–	ایمنی در مقابل جسم خارجی بزرگ‌تر از Ø1mm	IP4X
1	ایمنی در مقابل رسوب گرد و غبار مضر به داخل	IP5X
2	ایمنی در مقابل نفوذ گرد و غبار	IP6X
ایمنی آب		
–	بدون ایمنی آب	IPX0
3	ایمنی در مقابل ریزش عمودی قطرات آب	IPX1
3	ایمنی در مقابل ریزش مایل قطرات آب (150 نسبت به عمود)	IPX2
4	ایمنی در مقابل پخش آب	IPX3
5	ایمنی در مقابل پاشیدن آب	IPX4
6	ایمنی در مقابل فوران آب، مثلاً از نازل	IPX5
7	ایمنی در مقابل جریان آب	IPX6
7	ایمنی در مقابل غوطه‌ور شدن	IPX7
8	ایمنی در مقابل غوطه‌وری کامل	IPX8

نشانهٔ انواع ایمنی (مفهوم را در جدول بالا ببینید)

۱ـ International Protection (ایمنی بین المللی)

منابع و مآخذ

۱ــ اندرودی، آلهتاوس ترجمهٔ پرویز زمانی و سپانوس سلیمانی، **اصول سردکننده‌ها**، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی ۱۳۷۷

۲ــ خدادادی، شهرام، **مبانی الکتریسیته**، شرکت صنایع آموزشی (وابسته به آموزش و پرورش)، ۱۳۸۵

۳ــ خدادادی،شهرام، **راه‌اندازی موتورهای سه‌فاز و تک‌فاز**، دورهٔ سه‌جلدی، شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش)، ۱۳۸۴

۴ــ نظریان، فتح‌الله، **مقاومت، سلف و خازن در جریان مستقیم**، شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش)، ۱۳۸۴

۵ــ قیطرانی، فریدون؛ احمدی، عین الله؛ مظفری، حسین؛ همتایی، محمود و تجلی‌پور، مسعود؛ **مبانی برق**، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۸۶

۶ــ خدادادی، شهرام و نصیری سوادکوهی، شهرام، **الکترونیک کاربردی**، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۸۷

۷ــ سید احمدی، پرویز و دیگران، **مشخصات فنی عمومی و اجرای تأسیسات برقی کارهای ساختمانی**، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۲

۸ــ رحمتی زاده، حسین، علومی، فریدون و نیکزاد، مسلم، کار کارگاهی، شرکت چاپ و نشر ایران، ۱۳۷۲

۹ــ محمدرضا کریمی، نعمت الله اعرابیان، **سیستم‌های کنترل تأسیسات حرارتی و برودتی**، انتشارات بهمن برنا

۱۰ــ ARI Refrigeration and Airconditioning; Uirconditioning and Refrigeration Istitute

۱۱ــ Robert Chatenever; Airconditioning and Refrigeration for Professional

۱۲ــ William C. Whitman; Refrigeration & Air conditioning Technology Delmar