بسم الله الرحمن الرحیم

الکترونیک کاربردی

رشتهٔ الکتروتکنیک

زمینهٔ صنعت

شاخهٔ آموزش فنی وحرفه‌ای

شمارهٔ درس ۲۱۳۳

۶۲۱
/۳۸۱
الف ۴۷۵ ن
۱۳۹۵

نصیری سوادکوهی، شهرام
الکترونیک کاربردی / مؤلفان : شهرام نصیری سوادکوهی، شهرام خدادادی. ــ تهران : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۵.
۱۲۲ص. : مصور .ــ(آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شمارهٔ درس ۲۱۳۳)
متون درسی رشتهٔ الکتروتکنیک، زمینهٔ صنعت.
برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا : کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشتهٔ الکتروتکنیک دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش.
۱. الکترونیک. الف. خدادادی، شهرام. ب . ایران . وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشتهٔ الکتروتکنیک. ج. عنوان .د. 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 فنی‌و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

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

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

پیام‌نگار (ایمیل) کمیسیون تخصصی رشتهٔ الکتروتکنیک

Tech@tvoccd.sch.ir

محتوای این کتاب با توجه به برنامهٔ سالی ــ واحدی در آذرماه سال ۱۳۷۹ تألیف و در کمیسیون تخصصی برنامه‌ریزی و تألیف رشته‌های الکترونیک و الکتروتکنیک به تصویب رسیده است.

وزارت آموزش و پرورش

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

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

نام کتاب : **الکترونیک کاربردی ـ ۴۸۸/۳**

مؤلفان : **شهرام نصیری سوادکوهی، شهرام خدادادی**

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، دورنگـار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹،

وب‌سایت : www.chap.sch.ir

رسام : **سروش ذوالریاستین، فاطمه رئیسیان فیروزآباد**

صفحه‌آرا : **خدیجه محمدی**

طراح جلد : **علیرضا رضائی‌کُر**

ناشر : **شرکت چاپ ونشر کتاب‌های درسی ایران : تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادّهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش)**

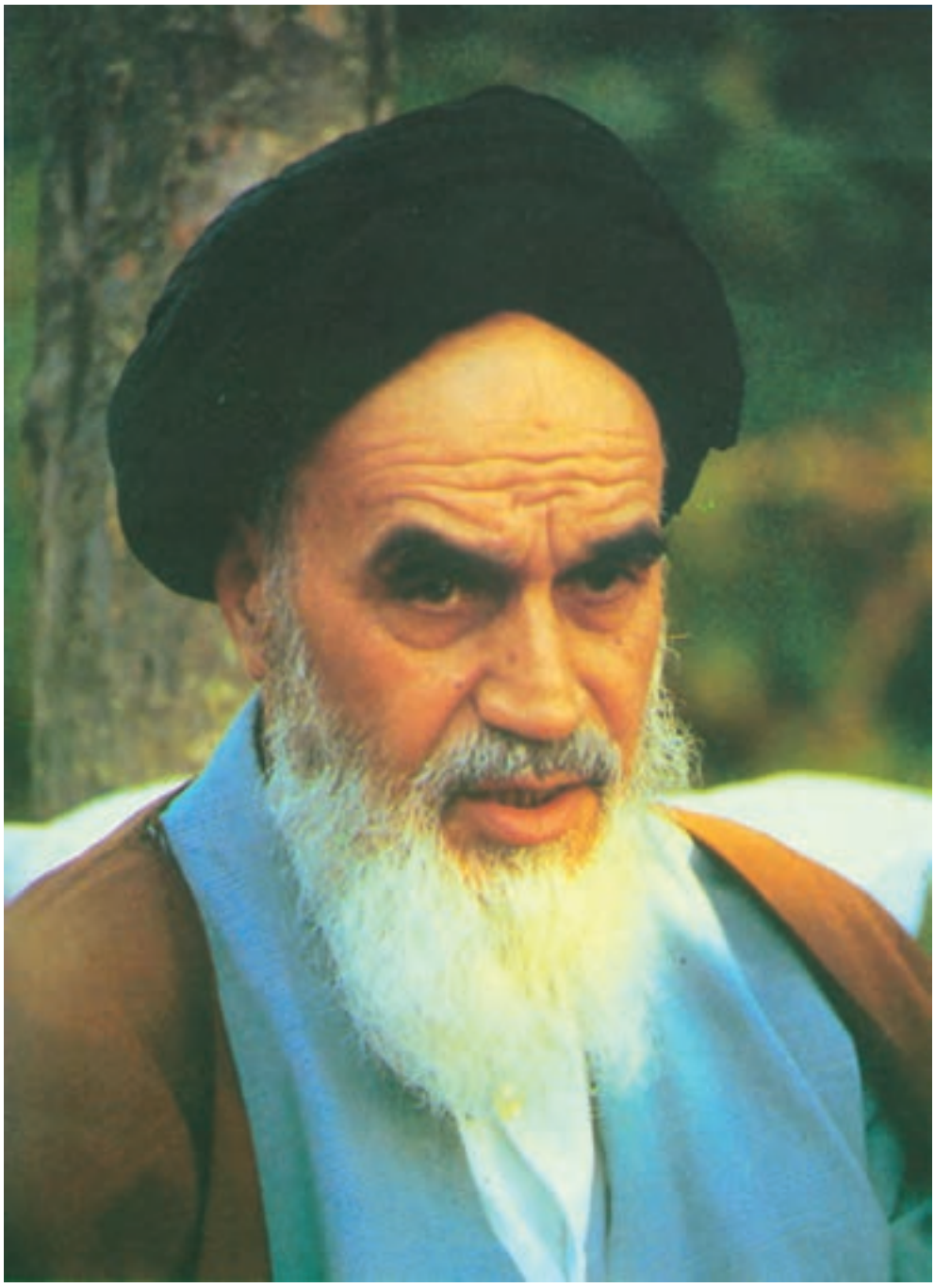
تلفن : ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹ـ۳۷۵۱۵

چاپخانه : **شرکت چاپ ونشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»**

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

حقّ چاپ محفوظ است.

شابک ۲-۰۸۹۴-۰۵-۹۶۴ **ISBN 964-05-0894-2**



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 سرّه الشّریف»

به منظور صرفه‌جویی در وقت و فراهم آوردن زمینهٔ مناسب جهت تمرین بیش‌تر و درهم تنیدن فناوری اطلاعات (IT) با این موضوع درسی لازم است هنرآموزان محترم و هنرجویان عزیز از نرم‌افزارهای EWB، Proteus، multisim یا هر نرم‌افزار مناسب دیگری که در دسترس قرار دارد برای آموزش فصل‌های مختلف کتاب استفاده نمایند.

مدیران محترم هنرستان‌ها نیز در برنامه‌ریزی درسی هنرستان، قسمتی از زمان سایت رایانه را به این موضوع اختصاص دهند یا یک رایانه به همراه ویدئو پروژکتور برای کلاس‌های درس فراهم نمایند.

فهرست

فصل اوّل : اجزای سادهٔ مدار(C- L - R) ۱

مقدمه ۲

۱ـ۱ـ مدار الکتریکی ۵

۱ـ۲ـ مقاومت الکتریکی(R) ۵

۱ـ۳ـ مشخصات مهم مقاومت‌ها ۵

۱ـ۴ـ انواع مقاومت‌ها ۶

۱ـ۵ـ مقاومت‌های ثابت ۷

۱ـ۵ـ۱ـ مقاومت‌های سیمی ۷

۱ـ۶ـ مقاومت‌های متغیر ۹

۱ـ۶ـ۱ـ مقاومت‌های متغیر وابسته ۹

۱ـ۷ـ استانداردهای مقاومت ۱۲

۱ـ۸ـ تشخیص مقدار اهم مقاومت‌ها ۱۳

۱ـ۹ـ سلف ۱۵

۱ـ۱۰ـ خازن ۱۷

۱ـ۱۱ـ انواع خازن‌ها ۱۸

۱ـ۱۲ـ خازن‌های ثابت ۱۸

۱ـ۱۲ـ۱ـ خازن‌های سرامیکی ۱۸

۱ـ۱۲ـ۲ـ خازن‌های ورقه‌ای ۱۹

۱ـ۱۲ـ۳ـ خازن‌های میکا ۲۰

۱ـ۱۲ـ۴ـ خازن‌های الکترولیتی ۲۰

۱ـ۱۳ـ خازن‌های متغیر ۲۲

۱ـ۱۴ـ تشخیص مقدار ظرفیت خازن ۲۲

۱ـ۱۵ـ نوارهای رنگی خازن‌های تانتالیوم ۲۳

پرسش ۲۴

فصل دوم : آشنایی با مدارهای منطقی ۲۶

مقدمه ۲۶

۲ـ۱ـ سیستم‌های آنالوگ و دیجیتال ۲۷

۲ـ۱ـ۱ـ سیستم آنالوگ ۲۷

۲ـ۱ـ۲ـ سیستم دیجیتال ۲۷

۲ـ۲ـ سطوح منطقی صفر و یک ۲۹

۲ـ۳ـ دروازه‌های منطقی پایه ۳۰

۲ـ۳ـ۱ـ دروازهٔ AND ـ «و» ۳۰

۲ـ۳ـ۲ـ دروازهٔ OR ـ «یا» ۳۱

۲ـ۳ـ۳ـ دروازهٔ NOT ـ «نفی» ۳۳

۲ـ۴ـ بررسی مدارهای منطقی ۳۴

۲ـ۵ـ دروازه‌های منطقی ترکیبی ۳۵

۲ـ۵ـ۱ـ دروازهٔ منطقی NAND ـ «نفی و» ۳۵

۲ـ۵ـ۲ـ دروازهٔ منطقی NOR ـ «نفی یا» ۳۶
۳ـ۵ـ۲ـ دروازهٔ منطقی ـ OR انحصاری (Exclusive OR–XOR) ۳۷
۴ـ۵ـ۲ـ دروازهٔ منطقی NOR انحصاری (EXCLUSIVE NOR–XNOR) ۳۸
۶ـ۲ـ اتحادهای سادهٔ منطقی ۳۹
۷ـ۲ـ شکل ظاهری و مدار داخلی چند آی‌سی ۴۲
۸ـ۲ـ مدارهای ترکیبی ۴۳
۱ـ۸ـ۲ـ مدارهای رمزکننده (انکودر ـ encoder) ۴۳
۲ـ۸ـ۲ـ مدارهای رمزگشا (دیکودر ـ decoder) ۴۳
۳ـ۸ـ۲ـ واحد حافظه (memory) ۴۵
۹ـ۲ـ ثبت کننده (رجیستر :Register) ۴۵
۱۰ـ۲ـ شمارنده (Counter) ۴۶
پرسش ۴۸

فصل سوم : دیود نیمه‌هادی ۵۰
۱ـ۳ـ هدایت الکتریکی اجسام ۵۰
۲ـ۳ـ الکترون‌های ظرفیت یا والانس ۵۱
۳ـ۳ـ هادی‌ها ۵۱
۴ـ۳ـ عایق‌ها ۵۱
۵ـ۳ـ نیمه‌هادی‌ها ۵۲
۶ـ۳ـ ساختمان اتمی سیلیکن و ژرمانیم ۵۲
۷ـ۳ـ ساختمان کریستالی سیلیکن و ژرمانیم ۵۲
۸ـ۳ـ پیوند اشتراکی (کووالانس) در اتم‌های سیلیکن و ژرمانیم ۵۲
۹ـ۳ـ هدایت الکتریکی در سیلیکن و ژرمانیم خالص ۵۳
۱۰ـ۳ـ ایجاد حفره ۵۳
۱۱ـ۳ـ جریان الکترون‌های آزاد ۵۴
۱۲ـ۳ـ جریان حفره‌ها ۵۴
۱۳ـ۳ـ افزودن ناخالصی به کریستال نیمه‌هادی ۵۵
۱۴ـ۳ـ ناخالص‌کردن کریستال نیمه‌هادی با اتم پنج ظرفیتی (نیمه‌هادی نوع N) ۵۵
۱۵ـ۳ـ ناخالص کردن کریستال نیمه‌هادی با اتم سه‌ظرفیتی (نیمه‌هادی نوع P) ۵۶
۱۶ـ۳ـ اتصال P–N (دیود کریستالی) ۵۷
۱۷ـ۳ـ بایاس کردن اتصال P–N ۵۷
۱۸ـ۳ـ علامت اختصاری و شکل ظاهری دیود معمولی ۵۹
۱۹ـ۳ـ منحنی مشخصهٔ ولت آمپر دیود در بایاس مستقیم ۶۰
۲۰ـ۳ـ منحنی مشخصهٔ ولت آمپر دیود در بایاس معکوس ۶۱
۲۱ـ۳ـ بررسی دیود در حالت ایده‌آل ۶۲
۲۲ـ۳ـ تشخیص آند و کاتد و سالم بودن دیود به وسیلهٔ اهم‌متر ۶۲
۱ـ۲۲ـ۳ـ استفاده از اهم‌متر عقربه‌ای ۶۲
۲ـ۲۲ـ۳ـ استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی ۶۳
۲۳ـ۳ـ مقادیر حد در دیود ۶۵
۱ـ۲۳ـ۳ـ حداکثر ولتاژ معکوس ۶۵
۲ـ۲۳ـ۳ـ حداکثر جریان مستقیم (IF) ۶۵
۳ـ۲۳ـ۳ـ حداکثر جریان بایاس مستقیم تکراری (IFRM) ۶۵
۴ـ۲۳ـ۳ـ حداکثر جریان لحظه‌ای (IFSM) ۶۵
۲۴ـ۳ـ کاربرد دیود به‌عنوان یک‌سوساز ۶۷
۱ـ۲۴ـ۳ـ یک‌سو کنندهٔ نیم‌موج ۶۷
۲ـ۲۴ـ۳ـ طرز کار یک‌سوکنندهٔ نیم‌موج ۶۸
۲۵ـ۳ـ یک‌سو ساز تمام موج ۶۹
۱ـ۲۵ـ۳ـ یک‌سوساز تمام موج با ترانس سر وسط ۶۹
۲ـ۲۵ـ۳ـ یک‌سوساز تمام موج پُل ۷۰
۳ـ۲۵ـ۳ـ یک‌سوساز تمام موج پل به‌صورت مدار مجتمع ۷۲
۲۶ـ۳ـ میانگین ولتاژ دو سربار در یک‌سوسازی ۷۲

۲۷ـ۳ـ حداکثر ولتاژ معکوس دو سر هر دیود (PIV) ۷۲
۲۸ـ۳ـ یک‌سوساز با صافی ۷۴
۱ـ ۲۸ـ۳ـ یک‌سوساز نیم موج با خازن صافی ۷۴
۲ـ ۲۸ـ۳ـ یک‌سوساز تمام موج پل با خازن صافی (آداپتور) ۷۴
۲۹ـ۳ـ یک‌سوساز سه‌فازه ۷۵
۳۰ـ۳ـ انواع دیودهای نیمه‌هادی ۷۵
۱ـ۳۰ـ۳ـ دیود زنر ۷۵
۲ـ۳۰ـ۳ـ منحنی مشخصهٔ ولت آمپر زنر ۷۵
۳ـ۳۰ـ۳ـ علامت اختصاری دیود زنر ۷۶
۴ـ۳۰ـ۳ـ استاندارد ولتاژهای زنر ۷۶
۵ـ۳۰ـ۳ـ توان زنر ۷۶
۶ـ۳۰ـ۳ـ مدار معادل دیود زنر ۷۶
۷ـ۳۰ـ۳ـ کاربرد دیود زنر ۷۷
۸ـ۳۰ـ۳ـ استفاده از زنر برای حفاظت دستگاه در مقابل ولتاژ اضافی ۷۸
۳۱ـ۳ـ دیود نوردهنده LED ۷۸
۱ـ۳۱ـ۳ـ کاربردهای LED ۷۹
۲ـ۳۱ـ۳ـ دیود نورانی مادون قرمز IR ۷۹
۳ـ۳۱ـ۳ـ نمایشگر هفت قطعه‌ای (سِون سگمنت) ۷۹
۳۲ـ۳ـ چند مثال کاربردی ۸۰
پرسش ۸۳

فصل چهارم : ترانزیستور BJT **۸۵**
۱ـ۴ـ ساختمان ترانزیستور ۸۵
۲ـ۴ـ نمای مداری و معادل دیودی ترانزیستور ۸۶
۳ـ۴ـ بایاس کردن ترانزیستور ۸۷
۴ـ۴ـ جریان‌ها در ترانزیستور ۸۹
۵ـ۴ـ ولتاژها در ترانزیستور ۸۹
۶ـ۴ـ چگونگی عمل تقویت کنندگی در ترانزیستور ۹۰
۷ـ۴ـ آرایش‌های ترانزیستور ۹۰
۱ـ۷ـ۴ـ آرایش امیتر مشترک C-E ۹۰
۲ـ۷ـ۴ـ آرایش بیس مشترک C-B ۹۱
۳ـ۷ـ۴ـ آرایش کلکتور مشترک C-C ۹۱
۸ـ۴ـ منحنی‌های مشخصهٔ ترانزیستور در حالت امیتر مشترک ۹۱
۱ـ ۸ـ۴ـ منحنی مشخصهٔ ورودی ۹۱
۲ـ ۸ـ۴ـ منحنی مشخصهٔ انتقالی ۹۱
۳ـ ۸ـ۴ـ منحنی مشخصهٔ خروجی ۹۲
۹ـ۴ـ ترانزیستور در حالت قطع ۹۴
۱۰ـ۴ـ ترانزیستور در حالت اشباع ۹۴
۱۱ـ۴ـ کاربرد سادهٔ ترانزیستور به‌عنوان کلید ۹۴
۱۲ـ۴ـ تعیین پایه‌ها و نوع ترانزیستور به کمک اهم‌متر ۹۵
۱ـ۱۲ـ۴ـ استفاده از اهم‌مترعقربه‌ای ۹۵
۲ـ۱۲ـ۴ـ استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی ۹۵
۱۳ـ۴ـ مقادیر حد در ترانزیستور و استفاده از برگهٔ داده‌ها ۹۶
۱۴ـ۴ـ شکل ظاهری چند نمونه ترانزیستور و پایه‌های آن ۹۸
۱۵ـ۴ـ تغذیهٔ سرخود ۹۹
۱۶ـ۴ـ تقویت کنندهٔ اولیه به‌صورت آرایش امیتر مشترک ۱۰۰
۱۷ـ۴ـ تثبیت کنندهٔ ولتاژ همراه با تقویت جریان ترانزیستوری ۱۰۰
۱۸ـ۴ـ ترانزیستور به‌عنوان منبع جریان ۱۰۰
۱۹ـ۴ـ سیستم اعلام حریق ۱۰۱
پرسش ۱۰۲

فصل پنجم : عناصر نیمه‌هادی خاص **۱۰۳**
مقدمه ۱۰۳
۱ـ۵ـ دیود چهار لایه (دیود شاکلی) ۱۰۳
۲ـ۵ـ تریستور (SCR) ۱۰۴
۳ـ۵ـ تشخیص پایه‌های تریستور ۱۰۶
۴ـ۵ـ تست تریستور ۱۰۶

۵ـ۵ـ مدارهای سادهٔ تریستوری ۱۰۶
۶ـ۵ـ دیاک ۱۰۸
۷ـ۵ـ ساختمان ترایاک ۱۰۹
۸ـ۵ـ روشن کردن ترایاک (تریگر کردن ترایاک) ۱۱۰
۹ـ۵ـ کاربرد ترایاک به‌صورت مدار دیمر ۱۱۱
۱۰ـ۵ـ کنترل دور موتور یونیورسال ۱۱۱
۱۱ـ۵ـ ترانزیستورUJT ۱۱۲
۱ـ۱۱ـ۵ـ طرز کارUJT ۱۱۲
۲ـ۱۱ـ۵ـ کاربرد UJT به صورت مولّد موج دندانه ارّه‌ای و پالس ۱۱۳
۱۲ـ۵ـ تریستورPUT ۱۱۵
۱ـ۱۲ـ۵ـ کاربردPUT ۱۱۵
۱۳ـ۵ـ چند نمونه کاربرد نیمه‌هادی‌های خاص ۱۱۷
۱ـ۱۳ـ۵ـ یک سو ساز تمام موج تریستوری تک‌فاز ۱۱۷
۲ـ۱۳ـ۵ـ یک‌سو ساز نیم‌موج تریستوری سه‌فاز ۱۱۸
۳ـ۱۳ـ۵ـ کنترل دور موتورهای dc ۱۱۸
۴ـ۱۳ـ۵ـ کنتاکتور الکترونیکی ۱۱۹
۵ـ۱۳ـ۵ـ رگولاتور شارژ باتری ۱۱۹
۶ـ۱۳ـ۵ـ کنترل اتوماتیک درجهٔ حرارت المان حرارتی ۱۲۰
پرسش ۱۲۱
منابع و مآخذ **۱۲۲**

سخنی با همکاران

گسترش علم الکترونیک در صنعت و سایر رشته‌های تخصصی، فراگیری آن را در حد کاربردی برای هنرجویان رشتهٔ الکترونیک ضروری نموده است. در این کتاب سعی شده است مفاهیم و مطالب بر اساس مصوبهٔ کمیسیون‌های تخصصی رشته‌های الکترونیک و الکترونیک دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، همچنین نتایج حاصل از همایش هنرآموزان منتخب رشتهٔ برق سراسر کشور در مرداد ماه سال ۷۹ تألیف شود، به‌گونه‌ای که بتوان نیازهای اولیهٔ فارغ‌التحصیلان را برآورده ساخت. در این مجموعه، آشنایی با قطعات الکترونیکی و تشریح مدارهای ساده و درج نقشه‌های عملی که در صنعت برق کاربرد دارند به‌صورت ساده مطرح شده است. به‌طور کلی اهداف کتاب عبارت است از «آشنایی با قطعات و طرز کار آن‌ها» و «بررسی مدارهای نمونهٔ کاربردی».

از هنرآموزان محترم تقاضا می‌شود که مطالب را براساس هدف‌های رفتاری تعیین شده در ابتدای هر فصل اجرا نمایند. ضمناً پیش‌نهادهای خود را به‌منظور اصلاح کتاب به دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش ارسال فرمایند.

با توجه به اینکه بحث رله‌های هوشمند در کتاب تکنولوژی برق صنعتی گنجانده شده است و برای آموزش آن آشنایی با مفاهیم و عملگرهای منطقی ضروری است لذا تغییراتی در محتوای فصل مدارهای منطقی داده شد و همچنین جابجایی در فصول کتاب اعمال گردید تا هنرجویان عزیز با فراگیری این مطالب آمادگی مناسب‌تری را برای یادگیری رله‌های هوشمند داشته باشند.

با تشکر ــ مؤلفان

هدف کلی

کاربرد قطعات الکترونیکی در رشتهٔ الکتروتکنیک

جدول زمان‌بندی پیشنهادی کتاب الکترونیک کاربردی

فصل	عنوان فصل	ساعت تدریس
اول	اجزای سادهٔ مدار (C-L-R)	۶ ساعت
دوم	آشنایی با مدارهای منطقی	۱۰ ساعت
سوم	دیود نیمه‌هادی	۱۲ ساعت
چهارم	ترانزیستور	۱۲ ساعت
پنجم	عناصر نیمه‌هادی خاص	۲۰ ساعت
	جمع ساعات	۶۰ ساعت

فصل اوّل

اجزای ساده‌ی مدار (C-L-R)

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این درس از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ حوزه‌ی عمل مدارهای قدرت و مدارهای الکترونیکی را شرح دهد.

۲ــ اجزای ساده‌ی مدارهای الکتریکی را نام ببرد.

۳ــ مقاومت را تعریف کند.

۴ــ مقاومت‌های استاندارد را نام ببرد.

۵ ــ مقاومت‌های دقیق را شرح دهد.

۶ــ مقاومت وابسته به حرارت را شرح دهد و انواع آن‌را نام ببرد.

۷ــ مقاومت‌های وابسته به ولتاژ را تعریف کند.

۸ ــ مقاومت‌های وابسته به نور را تعریف کند.

۹ــ مقاومت‌های وابسته به میدان را تعریف کند.

۱۰ــ سلف را تعریف کند و اجزای آن‌را نام ببرد.

۱۱ــ خازن را تعریف کند.

۱۲ــ انواع خازن‌ها را نام ببرد.

۱۳ــ انواع دی‌الکتریک خازن‌ها را نام ببرد.

۱۴ــ خازن‌های خشک را توضیح دهد.

۱۵ــ خازن‌های فرکانس بالا را شرح دهد.

۱۶ــ مشخصات خازن‌های الکترولیتی را شرح دهد.

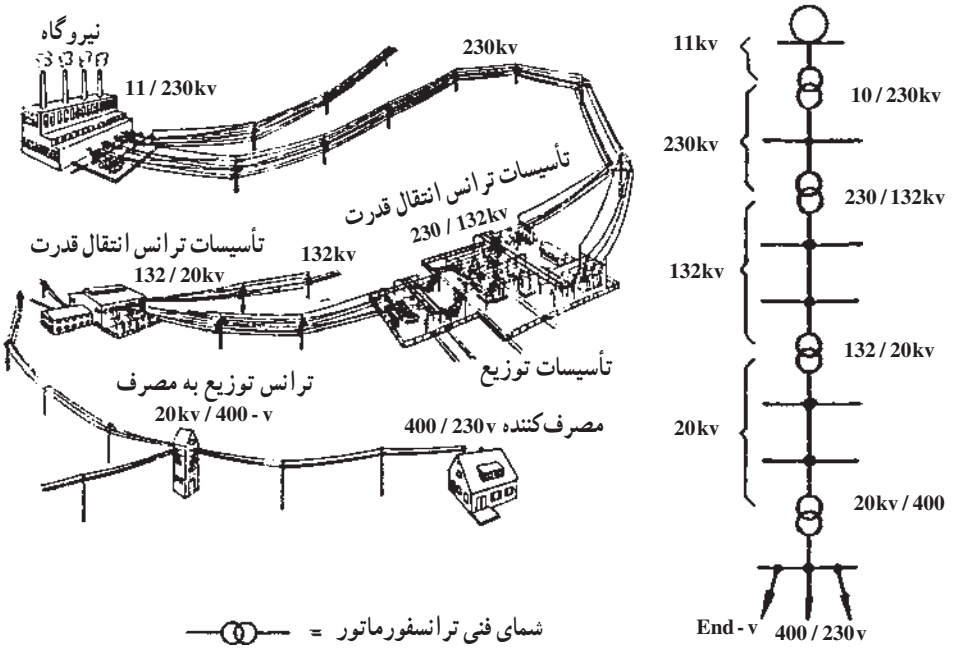
۱۷ــ خازن‌های تانتالیوم را شرح دهد.

۱۸ــ چگونگی ثبت مشخصات خازن‌ها روی بدنه‌ی آن‌ها را توضیح دهد.

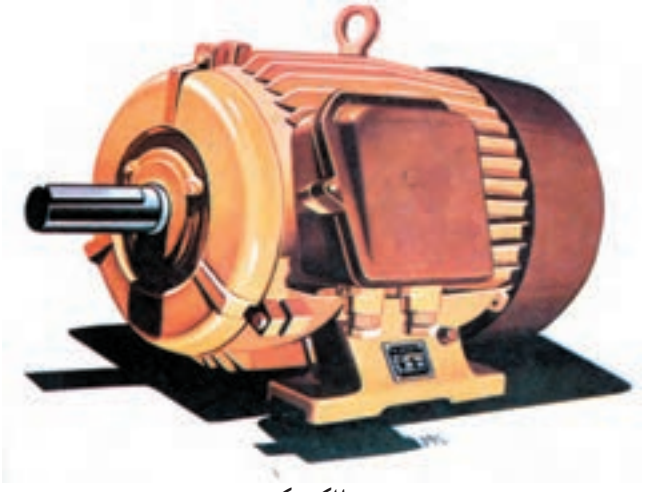
مقدمه

مجموعه‌ی وسایل الکتریکی‌ای که در زندگی امروزه از آن‌ها استفاده می‌کنیم به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند :

گروه نخست، وسایلی هستند که در صنعت یا منازل مسکونی با ولتاژهای بالا (۲۲۰V – ۳۸۰V یا در حد کیلوولت KV) کار می‌کنند و بدنه و قطعات به‌کار رفته در آن‌ها از ظرافت چندانی برخوردار نیست. اغلب این وسایل به «وسایل قدرتی» یا «الکتروتکنیکی» مشهورند.



نقشه‌ی خطی شبکه‌ی برق‌رسانی و مراحل مختلف بین یک شبکه‌ی الکتریکی از تولید تا مصرف



موتور الکتریکی

تابلوی مدارات فرمان کنتاکتوری

شکل ۱ــ۱ــ حوزه‌ی کاری رشته‌ی الکتروتکنیک

گروه دوم وسایلی هستند که با ولتاژ پایین کار می‌کنند و اغلب این وسایل دارای حجمی کوچک یا متوسط و اجزای ظریف هستند. این وسایل را «الکترونیکی» یا «دیجیتالی» می‌نامند.

مجموع صوتی کامل(ست set)

رایانه‌ی کیفی[1]

ویدئو

تلویزیون رنگی

دوربین فیلمبرداری

تلفن الکترونیکی

پردازنده‌ی الکترونیکی

تلفن همراه

شکل ۲ــ۱ــ نمونه‌ای از وسایل الکترونیکی

۱ــ Laptop Computer

از صنعت برق در وسایل الکتریکی گوناگون به شکل‌های مختلف استفاده می‌شود. شاید تفکیک این دو گروه بسیار دشوار باشد. برای مثال اگر تابلوی مدار راه‌اندازی موتورهای dc را بررسی کنیم (مخصوصاً در قدرت‌های زیاد) درمی‌یابیم که در این تابلوها فقط قطعات و وسایل راه اندازی الکترونیکی یا الکتروتکنیکی به‌تنهایی موجود نیست بلکه ترکیبی از این دو وسایل در آن به‌کار رفته است. به همین دلیل فراگیری علمی که ترکیبی از آن دو باشد در وضعیت کنونی برای هر فرد متخصص برق ضروری است.

امروزه گرایشی به نام «الکترونیک کاربردی» یا «الکترونیک صنعتی (قدرت)» مطرح گردیده که مطالب بیان شده در آن دربرگیرنده‌ی قطعات الکترونیکی و کنترلی با توان بالاست.

به عبارت دیگر، الکترونیک کاربردی تلفیقی از گرایش قدرت، الکترونیک و کنترل است. بخش «قدرت» به تجهیزات قدرتی ساکن و گردان برای تولید، انتقال و توزیع برق مربوط می‌شود و بخش الکترونیک (فرمان) با عناصری مانند نیمه‌هادی‌ها و مدارهای پردازش سیگنال[1] برای تأمین اهداف موردنیاز در کنترل سر و کار دارد. الکترونیک قدرت را می‌توان به‌صورت «کاربرد نیمه‌هادی‌های خاص برای کنترل و تبدیل قدرت الکتریکی» تعریف کرد.

مبنای الکترونیک قدرت براساس کلیدزنی عناصر نیمه‌هادی قدرت است. الکترونیک کاربردی (قدرت) در جایگاه مهمی از تکنولوژی پیشرفته قرار گرفته است و هم‌اکنون در بخش عمده‌ای از تجهیزات قدرت بالا، هم‌چون دستگاه‌های کنترل گرما، کنترل نور، کنترل موتور، منابع تغذیه‌ی سیستم‌های محرک وسایل نقلیه و سیستم‌های فشار قوی جریان مستقیم (HVDC)[2] کاربرد دارد که از آن‌جمله است : شارژکننده‌های باتری، دیمرها، مخلوط‌کن‌ها، جرثقیل و بالابرها، کنترل موتورها، کنترل قطار و محرک ژنراتورها.

در شکل ۳ــ۱ نمای داخلی یک کارخانه نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در این واحد از وسایل مختلف (الکتروتکنیکی و الکترونیکی) استفاده شده است.

شکل ۳ــ۱ــ نمای داخلی کارخانه تولید شیشه

در درس‌های تخصصی سال دوم با مفاهیم و تعاریف خاصی آشنا شده‌اید که در این‌جا به‌منظور یادآوری و بهره‌گیری از آن‌ها در مباحث جدید از آن مفاهیم و تعاریف یاد می‌کنیم.

۱ــ Signal

۲ــ High Voltage DC

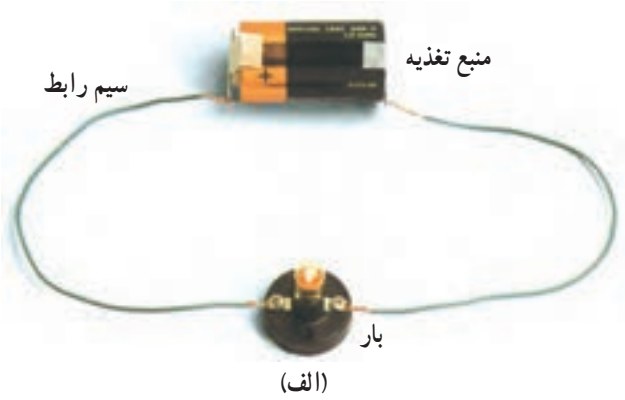
۱ــ۱ــ مدار الکتریکی

مسیر کاملی را که برای عبور جریان الکتریکی وجود دارد «مدار الکتریکی» گویند. هر وسیله‌ی الکتریکی برای این‌که بتواند کار کند ضروری است تا جریان الکتریکی از یک قطب تولیدکننده (منبع) فرستاده شود و پس از عبور از وسیله‌ی موردنظر و انجام کار به قطب دیگر مولّد باز گردد.

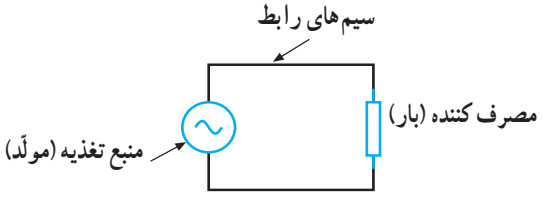
هر مدار الکتریکی از اجزای اصلی تشکیل شده است که عبارت‌اند از :

۱ــ منبع تغذیه (باتری ــ ژنراتور)، ۲ــ سیم‌های رابط، ۳ــ مصرف‌کننده (بار)[1].

در شکل ۴ــ۱ یک مدار الکتریکی کامل رسم شده است.



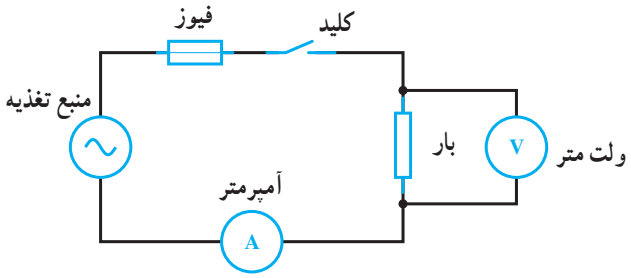
(الف)



(ب)

شکل ۴ــ۱ــ مدار الکتریکی کامل (بسته)

با توجه به توضیح می‌توان چنین نتیجه‌گرفت که در مدارهای الکتریکی اجزای دیگری هم‌چون کلید، فیوز و وسایل اندازه‌گیری به‌کار می‌روند که جزء عناصر اصلی یک مدار به‌حساب نمی‌آیند. در شکل ۵ــ۱ اجزای اصلی یک مدار الکتریکی به همراه اجزای فرعی آن نشان داده شده است.



شکل ۵ــ۱

مصرف کننده (بار) وسیله‌ای است که انرژی الکتریکی را به انرژی دیگر تبدیل می‌کند، مانند : لامپ که انرژی الکتریکی را تبدیل به انرژی نورانی و یا موتور الکتریکی که انرژی الکتریکی را به‌انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند.

میزان توانایی انجام کار در مصرف‌کننده‌های الکتریکی را برحسب توان آن‌ها می‌سنجند. از جمله عواملی که در مقدار توان این مصرف‌کننده‌ها نقش دارد، مقدار مقاومت داخلی و نوع آن (اهمی R، سلفی XL و خازنی XC) است که در این‌جا هر یک از آن‌ها را معرفی می‌کنیم.

۲ــ۱ــ مقاومت الکتریکی (R)[2]

مقاومت، عنصر یا قطعه‌ی الکتریکی است که سبب محدود شدن شدت جریان تولیدشده در مدارات الکتریکی می‌شود. به‌عبارت دیگر، مقاومت با عبور جریان مخالفت می‌کند.

واحد مقاومت اُهم (Ω) است و آن‌را با حرف R نشان می‌دهند. مقاومت دارای انواع مختلف با ویژگی‌های خاص است که به‌طور جداگانه تشریح خواهد شد. علامت اختصاری مقاومت به‌صورت : یا است.

۳ــ۱ــ مشخصات مهم مقاومت‌ها

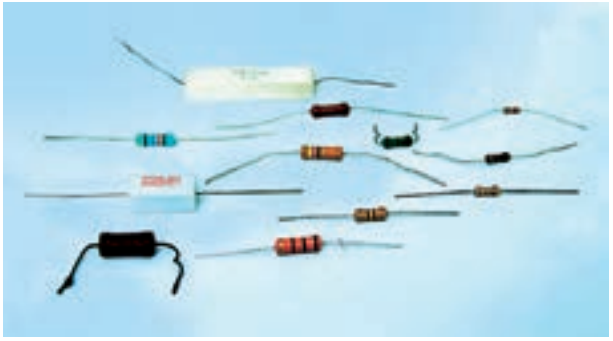
۱ــ مقدار اهمی مقاومت: مهم‌ترین مشخصه‌ی یک مقاومت مقدار آن است که برحسب اهم (Ω)، کیلواهم (KΩ) یا مگااهم (MΩ) بیان می‌شود. مقادیر کیلو و مگا را با این ضرایب می‌توان به اهم تبدیل کرد :

$(۱\,K\Omega = ۱۰^{۳}\,\Omega \quad و \quad ۱\,M\Omega = ۱۰^{۶}\,\Omega)$

۱ــ Load

۲ــ R= Resistor

۲ــ توان مجاز: ماکزیمم توانی که مقاومت به‌طور دائم می‌تواند تحمل کند را «توان قابل‌تحمّل» گویند. این توان اغلب به‌صورت حرارت در اطراف مقاومت هدر می‌رود. ماکزیمم قدرت مجاز، به حرارت محیط، ولتاژ و جریان مقاومت بستگی دارد. مقادیر استاندارد توان مجاز در مقاومت‌ها معمولاً $\frac{۱}{۸}$، $\frac{۱}{۴}$، $\frac{۱}{۲}$، ۱، ۲ و... وات است. چند نمونه مقاومت با وات‌های مختلف در شکل «۶ــ۱» نشان داده شده است.



شکل ۶ــ۱

مقدار این توان از رابطه‌ی $P = \frac{V^۲}{R} = R.I^۲$ به‌دست می‌آید. برای بالابردن ضریب اطمینان بهتر است پس از محاسبه‌ی توان از مقاومت با توان مجاز بالاتر استفاده نمود.

۳ــ تلرانس: مقدار واقعی یک مقاومت در عمل با مقداری که به‌وسیله‌ی سازنده قید می‌شود اختلاف دارد. این اختلاف «تلرانس[۱]» یا «درصد خطا» نامیده می‌شود و آن‌را برحسب درصد بیان می‌کنند. میزان خطا بستگی به‌تکنولوژی ساخت و دقّت دستگاه‌های تولید مقاومت دارد. میزان درصد تلرانس معرف حدّ پایینی و حدّ بالایی مقدار مقاومت است؛ برای مثال اگر یک مقاومت ۱۰۰Ω دارای تلرانس ۱۰٪ باشد دارای مقداری بین ۹۰ تا ۱۱۰ اهم است که ۹۰Ω را «حدّ پایینی» و ۱۱۰Ω را «حدّ بالایی» گویند. مقدار تلرانس درمقاومت‌ها به‌صورت عدد برروی مقاومت نوشته شده یا در مقاومت‌هایی با کد رنگی به‌وسیله‌ی رنگ بیان می‌شود. مقاومت‌ها را برحسب مقدار تلرانس به‌چهار دسته تقسیم می‌نمایند:

انواع مقاومت‌ها ازنظر تلرانس:
- ۱ــ مقاومت‌های معمولی (دارای تلرانس ۵٪ تا ۲۰٪).
- ۲ــ مقاومت‌های نیمه‌دقیق (دارای تلرانس ۱٪ تا ۵٪).
- ۳ــ مقاومت‌های دقیق (دارای تلرانس ۰/۵٪ تا ۱٪).
- ۴ــ مقاومت‌های خیلی دقیق (دارای تلرانس کمتر از ۰/۵٪).

۴ــ۱ــ انواع مقاومت‌ها

مقاومت‌های الکتریکی را به‌این‌صورت می‌توان تقسیم‌بندی نمود:

- انواع مقاومت‌ها
  - ۱ــ مقاومت‌های ثابت
    - ۱ــ کربنی
      - الف ــ لایه‌ی کربنی
      - ب ــ لایه‌ی فلزی
      - ج ــ لایه‌ی اکسید فلز
    - ۲ــ لایه‌ای
    - ۳ــ سیمی
  - ۲ــ مقاومت‌های متغیر
    - ۱ــ قابل تنظیم
      - الف ــ پتانسیومتر
      - ب ــ رئوستا
    - ۲ــ وابسته (تابع)
      - الف ــ تابع حرارت TDR
        - ۱ــ PTC
        - ۲ــ NTC
      - ب ــ تابع نور LDR
      - ج ــ تابع ولتاژ VDR
      - د ــ تابع میدان MDR

۱ــ Tolerance

توضیح: در این تقسیم‌بندی از انواع مقاومت‌های ثابت، تنها به توضیحاتی درباره‌ی مقاومت‌های سیمی اکتفا شده و هم‌چنین از مجموعه‌ی مقاومت‌های متغیر، فقط مقاومت‌های وابسته بررسی شده است، زیرا در درس «مبانی برق» با سایر موارد آشنا شده‌اید.

۵ــ۱ــ مقاومت‌های ثابت

مقاومت‌های ثابت به آن‌دسته از مقاومت‌ها گفته می‌شود که مقدارشان همواره ثابت است.

۱ــ۵ــ۱ــ مقاومت‌های سیمی: مقاومت سیمی[۱] از پیچیدن طول معینی سیم مقاومت‌دار از جنس آلیاژهای مختلف نیکل بر روی استوانه‌ای عایق از جنس سرامیک ساخته می‌شود. این مقاومت عموماً برای توان‌های بالا (۲ تا ۲۵۰ وات) ساخته می‌شود. این ویژگی خاص، آن‌ها را از سایر مقاومت‌ها متمایز می‌سازد؛ هم‌چنین انواع خاصی از مقاومت سیمی نیز برای مصارف تلرانس پایین (تا حدود ۰/۵٪ به‌منظور مقاومت دقیق[۲] (با توان $\frac{۱}{۴}$ تا ۲ وات) ساخته می‌شوند. در شکل ۷ــ۱ چند نمونه مقاومت سیمی دیده می‌شود.

شکل ۷ــ۱ــ چند نمونه مقاومت سیمی

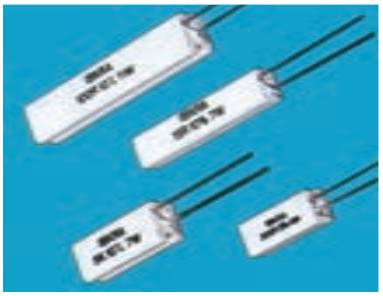
مقاومت‌های سیمی توان ۲ وات به بالا عموماً در یک محفظه مانند سیمان با مقطع مربع ــ مستطیل شکل ساخته می‌شوند و به «مقاومت‌های آجری» معروفند. شکل خاص محفظه‌ی مقاومت‌های آجری این امکان را فراهم می‌آورد که برای خنک‌کردن بتوان آن‌ها را بر روی ورقه‌ی فلزی خنک‌کننده (رادیاتور[۳]) قرار داد. مقاومت‌های آجری در مدارهای صوتی و تصویری به‌منظور کاهش‌دهنده‌ی ولتاژ استفاده می‌شوند، اما امروزه با به‌کارگیری نیمه‌هادی‌ها و پایین آمدن ولتاژ کار مدارها، از این مقاومت‌ها کم‌تر استفاده می‌گردد. یکی از ویژگی‌های خوب مقاومت سیمی این است که به هنگام سوختن شعله‌ور نشده هم‌چنین پس از سوختن، کاملاً قطع می‌شود؛ به همین‌دلیل، در بسیاری از مدارها به‌عنوان مقاومت

۱ــ Wire wound Resistor

۲ــ Precision wire wound Resistor

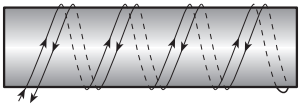
۳ــ Heat sink

فیوزی[1] استفاده می‌شود و به‌آن «مقاومت حفاظتی[2]» نیز می‌گویند (شکل ۸ ــ ۱). این مقاومت‌ها در حالت عادی به‌صورت یک مقاومت معمولی عمل می‌کنند و چنان‌چه جریان عبوری آن از حد معینی بیش‌تر شود مانند یک فیوز قطع می‌شوند.



شکل ۸ ــ ۱ــ مقاومت آجری

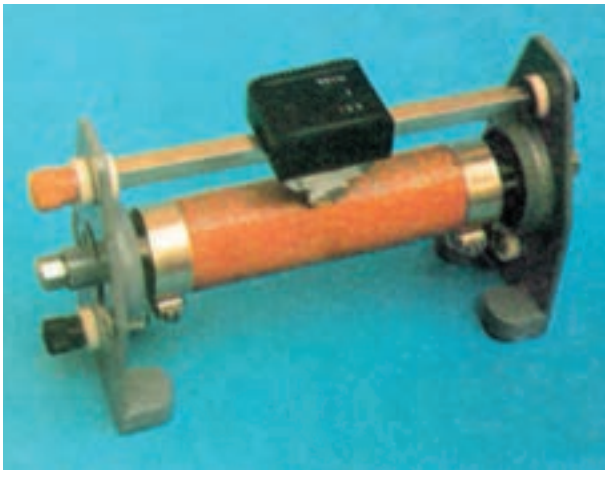
مقاومت سیمی به‌سبب «سیم‌پیچ بودن» دارای خاصیت «اندوکتانس» (خودالقایی) بوده که این نوعی عیب برای آن محسوب می‌شود. خاصیت خودالقایی حاصل در فرکانس‌های بالا مشکل ایجاد می‌کند. البته در این‌گونه موارد توانسته‌اند با روش پیچیدن سیم به‌صورت دولایی یا بی‌فیلار[3] تا حد زیادی این مشکل را برطرف نمایند. در این روش سیم‌های رفت و برگشت در کنار هم قرار گرفته و عبور جریان‌های مساوی و مخالف هم تا حد زیادی خاصیت خودالقایی را کاهش می‌دهد. در شکل ۹ــ۱ پیچیدن سیم به‌روش بی‌فیلار، روی استوانه سرامیکی نشان داده شده است.



شکل ۹ــ۱ــ پیچیدن سیم به روش دولایی (بی‌فیلار)

مقاومت‌های سیمی دارای انواع مختلفی هستند که اغلب براساس ساختمان داخلی آن‌ها نام‌گذاری شده‌اند که ازجمله می‌توان مقاومت‌های سیمی با پوشش «آلومینیومی»، «سیلیکنی» و «سرامیکی» را نام برد. مقاومت‌های سیمی در قالب مقاومت‌های متغیر نیز ساخته می‌شوند که در شکل ۱۰ــ۱ دو نمونه‌ی دیگر از آن نشان داده شده است. از مقاومت‌های سیمی در مدار تحریک مولدهای dc، در مدارات راه‌اندازی و کنترل سرعت موتورهای ac، کنترل جریان دیمرها و نظایر آن استفاده می‌شود.

الف ــ مقاومت سیمی متغیر



ب ــ مقاومت سیمی متغیر (رئوستا)

شکل ۱۰ــ۱

۱ــ Fusible Resistor

۲ــ Safety Resistor

۳ــ Bifilar

۶ــ۱ــ مقاومت‌های متغیر

مقاومت‌های متغیر به مقاومت‌هایی اطلاق می‌شود که مقدارشان ثابت نبوده و قابل تغییر است.

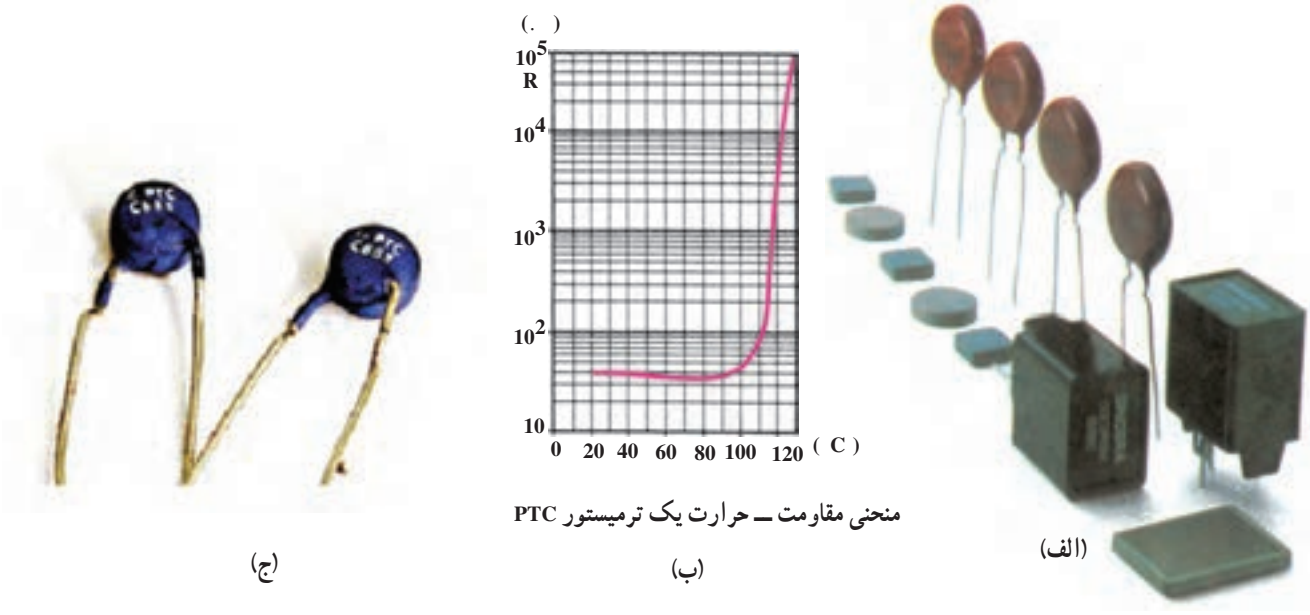
۱ــ۶ــ۱ــ مقاومت‌های متغیر وابسته : به آن دسته از مقاومت‌های متغیر «وابسته» گفته می‌شود که به‌وسیله‌ی عواملی از قبیل نور، حرارت، ولتاژ و... مقدار مقاومتشان تغییر کند. این مقاومت‌ها انواع مختلفی دارد که عبارت‌اند از :

الف ــ مقاومت‌های تابع حرارت (ترمیستور[1])

مقدار اهم این مقاومت‌ها تابع حرارت است. یعنی، در اثر حرارت میزان مقاومتشان تغییرمی‌کند. مقاومت‌های حرارتی را تحت‌عنوان «ترمیستور» می‌شناسیم. تغییرات در مقاومت به ضریب حرارتی آن که مثبت یا منفی باشد(.) بستگی دارد. در این مقاومت‌ها تغییرات مقدار مقاومت نسبت به تغییرات دما خطی نیست. از این مقاومت‌ها در مدارها به‌صورت حس‌کننده[2]های حرارتی در مسیر دستگاه‌های الکتریکی نظیر موتورهای الکتریکی، کوره‌ها، سیستم‌های تهویه و تبرید استفاده می‌شود. به‌طورکلی ترمیستورها در مداراتی که دما را اندازه‌گیری یا کنترل می‌کنند به‌کار می‌روند و در دو نوع ساخته می‌شوند :

۱ــ ترمیستور با ضریب حرارتی مثبت (PTC)[3]:

PTC نوعی ترمیستور است که با افزایش دما مقدار مقاومت آن افزایش می‌یابد. مقدار اهم مقاومت‌های PTC را در دمای C ۲۵ بیان می‌کنند. هم‌چنین علاوه بر این مقدار، دمایی را که در آن مقاومت PTC دوبرابر می‌شود، قید می‌کنند. به این دما «دمای سوئیچ» می‌گویند. منحنی تغییرات مقاومت نسبت به حرارت PTC به‌همراه تصویر چند نمونه از آن در شکل ۱۱ــ۱ نشان داده شده است.



(ج) منحنی مقاومت ــ حرارت یک ترمیستور PTC (ب) (الف)

شکل ۱۱ــ۱

۲ــ ترمیستور با ضریب حرارتی منفی (NTC)[4]:

NTC نوعی ترمیستور است که با افزایش دما مقدار مقاومتش کاهش می‌یابد. یعنی این نوع مقاومت‌ها دارای ضریب حرارتی منفی هستند. در انتخاب مقاومت‌های NTC به ماکزیمم قدرت مجاز مقاومت نیز باید توجه کرد. منحنی تغییرات مقاومت نسبت به تغییرات دما در NTC به‌صورت غیرخطی و نزولی است.

در شکل ۱۲ــ۱ منحنی مشخصه‌ی NTC و یک نمونه مقاومت NTC و در شکل ۱۳ــ۱ چند نمونه مقاومت «NTC»

۱ــ Tehrmally sensitive resistor = THERMISTOR

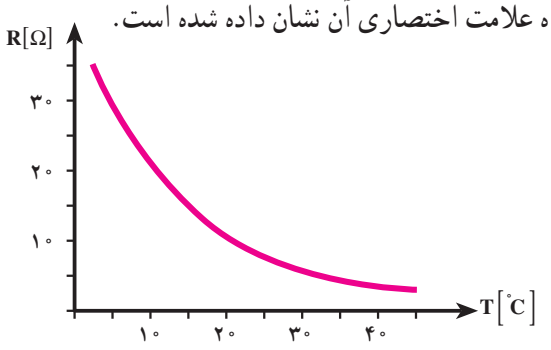
۲ــ Sensor

۳ــ PTC = Positive Temperature Coefficient

۴ــ NTC = Negative Temperature Coefficient

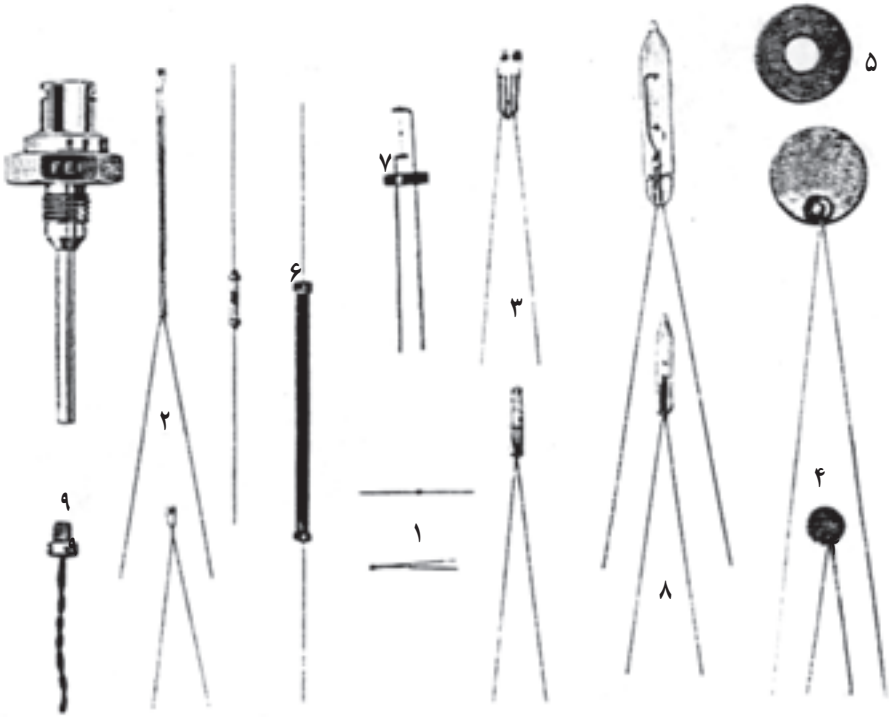
همراه علامت اختصاری آن نشان داده شده است.

(ب)



(الف)

شکل ۱۲ــ۱



۱ــ نوع مهره‌ای
۲ــ پایه‌ی شیشه‌ای
۳ــ دارای مهره و پایه‌ی قابل تعویض
۴ــ نوع دیسکی
۵ ــ نوع واشری
۶ــ نوع میله‌ای
۷ــ نوع گازی
۸ ــ نوع شیشه‌ای (گاز ــ خلأ)
۹ــ نوع مخصوص

(الف)

(ب)

شکل ۱۳ــ۱ــ تصاویر ترمیستورهای عمومی NTC

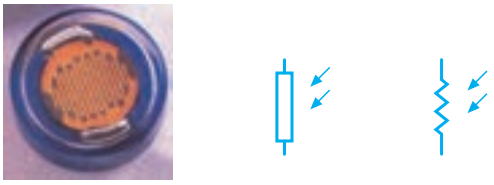
ب ــ *مقاومت‌های تابع نور (LDR)*[۲]:

مقدار مقاومت تابع نور (LDR) تابع تغییرات شدت نور تابیده شده به سطح آن است. مقاومت تابع نور در فضای تاریک دارای مقاومت خیلی زیاد (درحد مگااهم) و در روشنایی دارای مقاومت کم (درحد کیلو یا اهم) است. مقاومت‌های LDR را «فتورزیستور» هم می‌نامند. برای این که نور روی عنصر مقاومتی

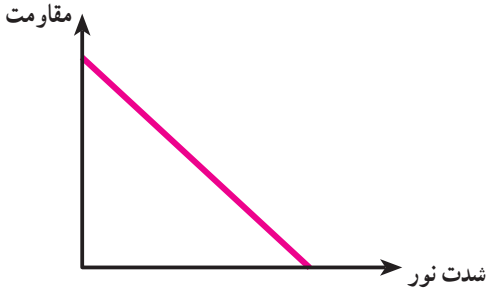
۱ــ علامت اختصاری PTC مشابه علامت اختصاری NTC است با این تفاوت که فقط به جای ـ علامت + گذاشته می‌شود.

۲ــ LDR = Light Dependent Resistor

فتورزیستور اثر گذارد معمولاً سطح ظاهری آن‌را با شیشه یا پلاستیک شفاف می‌پوشانند. در شکل ۱۴ــ۱ نمای ظاهری و علامت اختصاری و در شکل ۱۵ــ۱ منحنی تغییرات مقاومت نسبت به نور نشان داده شده است.



شکل ۱۴ــ۱ــ نمای ظاهری و علامت اختصاری یک فتورزیستور

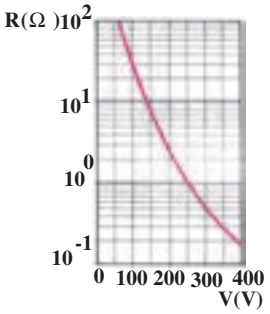


شکل ۱۵ــ۱

از این مقاومت در مدارات الکترونیکی به‌عنوان تشخیص دهنده‌ی نور (نورسنج) استفاده می‌شود. ازجمله کاربردهای این مقاومت استفاده‌ی آن در دوربین‌های عکاسی و کلیدهای نوری و چشم‌های الکترونیکی است.

مقاومت‌های تابع ولتاژ (VDR)[1]:

مقاومت‌های تابع ولتاژ (VDR) مقاومت‌هایی هستند که متناسب با تغییر ولتاژ مقاومت آن‌ها تغییر می‌کند تا همواره ولتاژ یکسانی در مدار وجود داشته باشد. مقاومت VDR را تحت‌عنوان «واریستور»[2] نیز می‌شناسند. مقدار اهم این مقاومت‌ها با ولتاژ رابطه‌ی معکوس دارد ؛ یعنی با افزایش ولتاژ مقدار اهم آن‌ها کاهش می‌یابد. شکل ظاهری چند واریستور به‌همراه منحنی مشخصه‌ی تغییرات مقاومت نسبت به ولتاژ آن‌ها در شکل ۱۶ــ۱ نشان داده شده است.

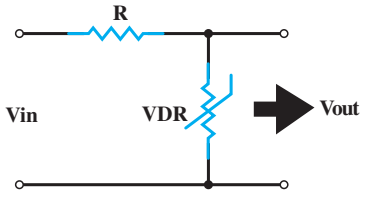


شکل ۱۶ــ۱ــ منحنی مقاومت ــ ولتاژ یک واریستور و نمای ظاهری چند واریستور مختلف

واریستورها به پلاریته ولتاژ اعمال شده وابسته نیستند که این خود مزیّتی برای این نوع مقاومت‌ها محسوب می‌شود، زیرا برای استفاده در مدارات AC بسیار مناسب هستند. ازجمله کاربردهای این مقاومت عبارت‌اند از :

الف ــ تثبیت کننده‌های ولتاژ (شکل ۱۷ــ۱).

در مدار شکل ۱۷ــ۱با تغییر ولتاژ ورودی، ولتاژ خروجی(V_{out}) ثابت می‌ماند زیرا به عنوان مثال اگر ولتاژ ورودی افزایش یابد، مقاومت VDR کم می‌شود و جریان عبوری از مدار را زیاد می‌کند. زیاد شدن جریان، باعث افزایش افت ولتاژ دوسر مقاومت R می‌شود،به این ترتیب ولتاژ اضافی ورودی در دوسر R ظاهر می‌شود و V_{out} را ثابت نگه می‌دارد.



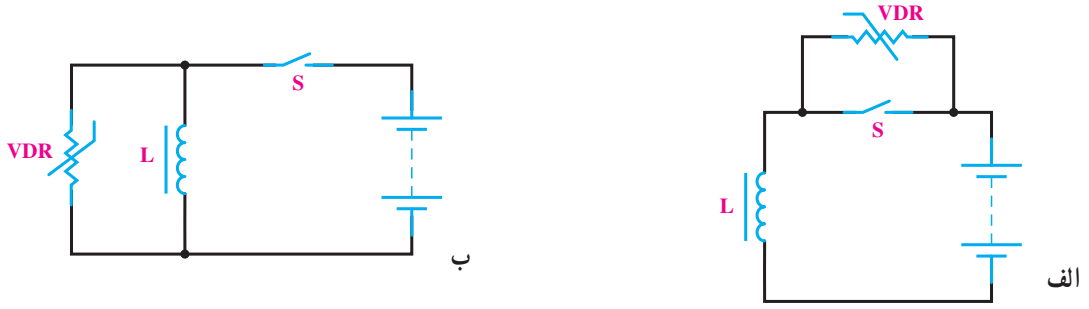
شکل ۱۷ــ۱ــ رگولاتور ولتاژ

ب ــ حفاظت مدارها در مقابل اضافه ولتاژها در اثر قطع و وصل کلید.

۱ــ VDR = Voltage Dependent Resistor

۲ــ VARISTOR

طبق شکل ۱۸ــ۱ در هنگام قطع یا وصل کلید، جریان مدار تغییر می‌کند و ولتاژ القایی زیادی توسط سیم‌پیچ ایجاد می‌شود. این ولتاژ مقدار اهم VDR را کم می‌کند و مدار از طریق VDR بسته می‌شود و کلید را در مقابل ولتاژ القایی سلف حفاظت می‌کند.



شکل ۱۸ــ۱ــ حفاظت کلید از ولتاژ القایی سلف با استفاده از واریستور

مقاومت‌های تابع میدان مغناطیسی (MDR)[1]:

مقاومت‌های تابع میدان (MDR) به مقاومت‌هایی گفته می‌شود که به سبب اثر میدان مغناطیسی بر آن‌ها مقدار اهمشان تغییر می‌کند. در ساخت این مقاومت‌ها از نیمه‌هادی‌هایی استفاده شده که دارای ضریب حرارتی منفی هستند؛ به همین دلیل، در صورت افزایش دما مقدار مقاومت آن‌ها کاهش می‌یابد.

۷ــ۱ــ استانداردهای مقاومت

قطعات تولیدی کارخانجات مختلف ممکن است در نقاط مختلف جهان استفاده شود؛ از این‌رو ضروری است که تمامی آن‌ها به‌منظور تولید قطعات خود از نظر مقدار و سایر مشخصات از روش‌ها و استانداردهای خاص پیروی کنند. معمول‌ترین آن «استاندارد اروپایی» است که با حرف (E)[2] مشخص می‌شود. این استاندارد خود شامل سری‌های مختلفی به شرح زیر است:

$$E_6 \ , \ E_{12} \ , \ E_{24}$$

همان‌گونه که گفته شد مقدار مقاومت و تلرانس از جمله عوامل مهم انتخاب مقاومت هستند. درصد تلرانس سبب به‌وجود آمدن محدوده‌ای برای مقاومت می‌شود؛ برای مثال مقاومت ۱ کیلواهمی با تلرانس ۱۰٪ می‌تواند از مقدار ۹۰۰Ω تا ۱۱۰۰Ω داشته باشد و در واقع محدوده‌ای را می‌پوشاند. با در نظر گرفتن این مطلب می‌توان گفت: مقاومت‌هایی که در ردیف قبل و بعد از این قرار می‌گیرند طوری تلرانس برای آن‌ها محاسبه و در نظر گرفته می‌شود که محدوده‌ی مقدار مقاومت‌های دیگر را نپوشانند؛ یعنی برای مثال یاد شده مقاومت قبلی نمی‌تواند بیش‌تر از ۹۰۰Ω و مقاومت بعد از آن نیز نمی‌تواند از ۱۱۰۰Ω کم‌تر باشد.

بنابراین با توجه به میزان تلرانس مقاومت‌ها، سری‌های استانداردی مختلفی موجود است. در این‌جا سه سری استاندارد مقاومتی آمده است:

سری E_6 ــ این سری دارای ۶ قسمت و تلرانس مقاومت‌های آن ۲۰ درصد است.

سری E_{12} ــ این سری دارای ۱۲ قسمت و تلرانس مقاومت‌های آن ۱۰ درصد است.

سری E_{24} ــ این سری دارای ۲۴ قسمت و تلرانس مقاومت‌های آن ۵ درصد است.

۱ــ MDR = MAGNETIC Dependent Resistor

۲ــ از کلمه‌ی «European» به معنی اروپایی گرفته شده است.

جدول ۱ــ۱ تقسیم‌بندی هر سری را نشان می‌دهد.

جدول ۱ــ۱ــ تقسیم‌بندی یک دهه برای سه سری استاندارد

سری E_6	۱/۰			۱/۵			۲/۲			۳/۳			۴/۷			۶/۸		
سری E_{12}	۱/۰		۱/۲	۱/۵		۱/۸	۲/۲		۲/۷	۳/۳		۳/۹	۴/۷		۵/۶	۶/۸		۸/۲
سری E_{24}	۱/۰	۱/۱	۱/۲	۱/۵	۱/۶	۱/۸	۲	۲/۲	۲/۴	۲/۷	۳/۰	۳/۳	۳/۶	۳/۹	۴/۳	۴/۷	۵/۱	۵/۶	۶/۲	۶/۸	۷/۵	۸/۲	۹/۱

هریک از سه سری شامل اعدادی هستند که به آن‌ها «اعداد پایه» می‌گویند و با ضرب یا تقسیم اعداد هرسری در مضارب ۱۰ می‌توان مقادیر مختلفی از این سری‌ها را به‌دست آورد. برای مثال، با داشتن عدد پایه‌ی ۱/۵ می‌توان به مقاومت‌هایی که در این سری‌ها ساخته می‌شوند، (۰/۱۵Ω، ۱/۵Ω، ۱۵Ω، ۱۵۰Ω، ۱۵۰۰Ω، ۱۵kΩ، ۱۵۰kΩ و ۱/۵MΩ) پی برد.

از سری‌های E_6 و E_{12} و E_{24} برای استاندارد نمودن ظرفیت خازن‌ها و ضریب خودالقایی سلف‌ها نیز استفاده می‌شود. البته سری‌های دیگری نیز هم‌چون E_{48} و E_{96} و E_{192} وجود دارند.

۸ ــ۱ــ تشخیص مقدار اهم مقاومت‌ها

مقدار اهم مقاومت‌ها به سه روش مشخص می‌شوند که عبارت‌اند از :

۱ــ نوارهای رنگی

۲ــ رمزهای عددی

۳ــ نوشتن مقدار مقاومت

۱ــ تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از نوارهای رنگی: مقاومت‌های توان کم دارای ابعاد کوچک هستند به همین دلیل مقدار مقاومت و تلرانس را به وسیله‌ی نوارهای رنگی مشخص می‌کنند که خود این روش به دو شکل صورت می‌گیرد :

الف ــ روش چهارنواری ب ــ روش پنج‌نواری.

روش چهارنواری که معمول‌تر هم است برای تعیین مقاومت‌های با تلرانس ۲٪ به بالا استفاده می‌شود. در این روش از دو رنگ اول برای عدد، رنگ سوم برای ضریب و رنگ چهارم برای تلرانس استفاده می‌شود. چنانچه مقاومت، رنگ چهارم نداشته باشد بی‌رنگ محسوب شده و تلرانس آن‌را ۲۰٪ درنظر می‌گیریم. روش پنج‌نواری نیز برای مقاومت‌های دقیق و خیلی دقیق (تلرانس کم‌تر از ۲٪) استفاده می‌شود.

در این روش سه رنگ اول معرف «عدد»، رنگ چهارم معرف «ضریب» و رنگ پنجم بیانگر «تلرانس» است. نوارهای رنگی مقاومت‌های چهار رنگ و پنج‌رنگ در شکل ۱۹ــ۱ نشان داده شده است.

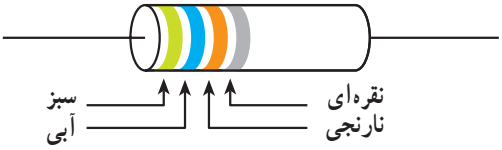
تلرانس	ضریب	عدد	عدد	عدد
نوارپنجم	نوارچهارم	نوار سوم	نوار دوم	نوار اول
	–	۰	۰	۰ سیاه
±۱٪ قهوه‌ای	۰	۱	۱	۱ قهوه‌ای
±۲٪ قرمز	۰۰	۲	۲	۲ قرمز
	۰۰۰	۳	۳	۳ نارنجی
	۰۰۰۰	۴	۴	۴ زرد
±۰/۵٪ سبز	۰۰۰۰۰	۵	۵	۵ سبز
±۰/۲۵٪ آبی	۰۰۰۰۰۰	۶	۶	۶ آبی
±۰/۱٪ بنفش		۷	۷	۷ بنفش
		۸	۸	۸ خاکستری
		۹	۹	۹ سفید

تلرانس	ضریب	عدد	عدد	عدد
نوارچهارم	نوار سوم	نوار دوم	نوار اول	
	–	۰	۰	۰ سیاه
	۰	۱	۱	۱ قهوه‌ای
±۲٪ قرمز	۰۰	۲	۲	۲ قرمز
	۰۰۰	۳	۳	۳ نارنجی
	۰۰۰۰	۴	۴	۴ زرد
	۰۰۰۰۰	۵	۵	۵ سبز
	۰۰۰۰۰۰	۶	۶	۶ آبی
	طلایی ۰/۱	۷	۷	۷ بنفش
±۵٪ طلایی	نقره‌ای ۰/۰۱	۸	۸	۸ خاکستری
±۱۰٪ نقره‌ای		۹	۹	۹ سفید

شکل ۱۹ــ۱

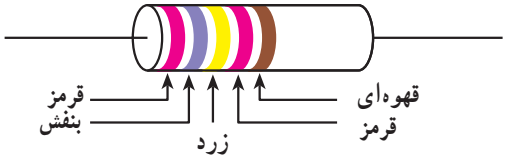
باید توجه نمود که رنگ نوار اول هرگز سیاه نیست و در ضمن اگر نوار رنگی معرف ضریب، طلایی باشد ضریب ۰/۱ و اگر نقره‌ای باشد ضریب ۰/۰۱ است.

مثال ۱: نوارهای رنگی مقاومتی، مطابق شکل روبه‌رو است، مقدار مقاومت و تلرانس آن چه‌قدر است؟



حلّ: $۵۶\times۱۰^{۳}=۵۶K\Omega\pm۱۰٪$

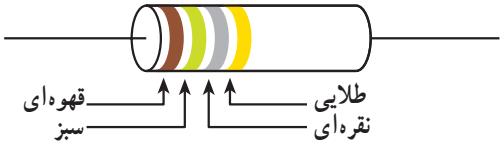
مثال ۲: اگر مقدار مقاومتی $۲/۲K\Omega\pm۵٪$ باشد کدهای رنگی آن‌را مشخص کنید.



حلّ: با توجه به جدول نوارهای رنگی می‌توان نوشت :

(طلایی ــ قرمز ــ قرمز ــ قرمز)

مثال ۳: مقدار مقاومت و درصد خطای شکل داده شده چقدر است؟

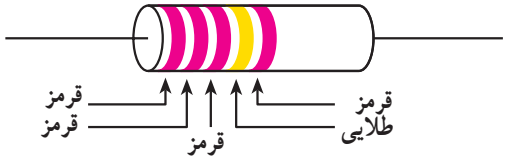


حلّ: $۲۷۴۰۰\Omega\pm۱٪=۲۷/۴K\Omega\pm۱٪$

مثال ۴: با توجه به جدول کدهای رنگی مقدار اهم و تلرانس مقاومت را تعیین کنید :

حلّ: $۱۵\times۰/۰۱=۰/۱۵\Omega\pm۵٪$

مثال ۵: مقدار اهم و تلرانس مقاومت پنج‌رنگ روبه‌رو را تعیین کنید :



حلّ : $۲۲۲\times۰/۱=۲۲/۲\Omega\pm۲٪$

۲ــ تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از رمز حروف:

روش دیگری که برای نشان دادن مقدار مقاومت‌ها به‌کار می‌رود استفاده از حروف خاصی است که به‌صورت رمز، مقدار و درصد تلرانس مقاومت را بیان می‌کند. در جدول ۲ــ۱ و ۳ــ۱ معانی حروفی که برای ضریب و تلرانس به‌کار می‌روند بیان شده است.

جدول ۲ــ۱ــ معنی حرف ضریب

حرف	R یا E	K	M
ضریب	×۱	$\times(۱۰)^{۳}$	$\times(۱۰)^{۶}$

جدول ۳ــ۱ــ معنی حرف تلرانس

حرف	B	C	D	F	G	H	J	K	M
تلرانس	۰/۱-	۰/۲۵-	۰/۵-	۱-	۲-	۳-	۵-	۱۰-	۲۰-

در این روش حرف اول نشان‌دهنده ضریب و حرف دوم تلرانس مقاومت است، چنان‌چه مقدار عددی مقاومتی دارای ممیز باشد از حرف اول علاوه‌بر مفهوم ضریب به‌عنوان ممیّز هم استفاده می‌شود.

مثال۱: مقدار و تلرانس مقاومتی که به‌صورت رمز بر روی آن ۵R۶K نوشته شده چه‌قدر است؟

حلّ: با توجه به جدول داریم : $R = ۵/۶\Omega \pm ۱۰-$

مثال ۲: مقدار اهم و تلرانس مقاومتی که به‌صورت رمز R۲۷F نشان داده شده را تعیین کنید :

حلّ: $R = ۰/۲۷\Omega \pm ۱-$

مثال ۳: بر روی مقاومتی به‌صورت رمز ۲M۲M نوشته شده است مقدار اهم و تلرانس آن چه‌قدر است؟

حلّ: $R = ۲/۲M\Omega \pm ۲۰-$

مثال ۴: معنای حروف رمز مقاومت ۲۲KK چیست؟

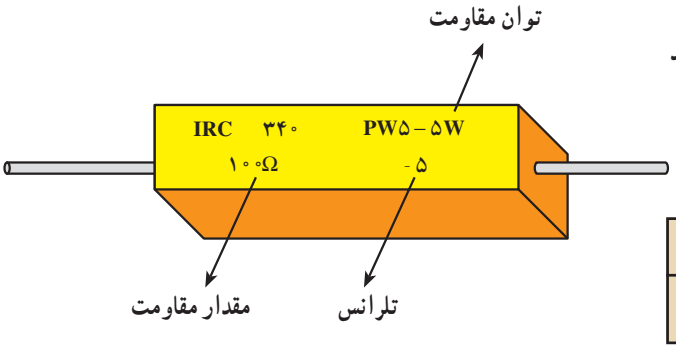
حلّ: K اول معرف $K\Omega$

K دوم معرف ۱۰- ± تلرانس

$R = ۲۲K\Omega \pm ۱۰-$

۳ــ تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از مقدار نوشته شده:

در این روش مقدار مقاومت و تلرانس آن مستقیماً روی مقاومت نوشته می‌شود ؛ مانند مقاومت شکل ۲۰ــ۱.



شکل ۲۰ــ۱

۹ــ۱ــ سلف

سلف یا سیم‌پیچ، یک قطعه الکتریکی است که از طریق پیچیدن سیم به شکل حلقه‌ای ساخته می‌شود و می‌تواند انرژی الکتریکی را به صورت میدان‌های الکترو مغناطیسی ذخیره کند. سلف از دو قسمت اصلی تشکیل شده است.

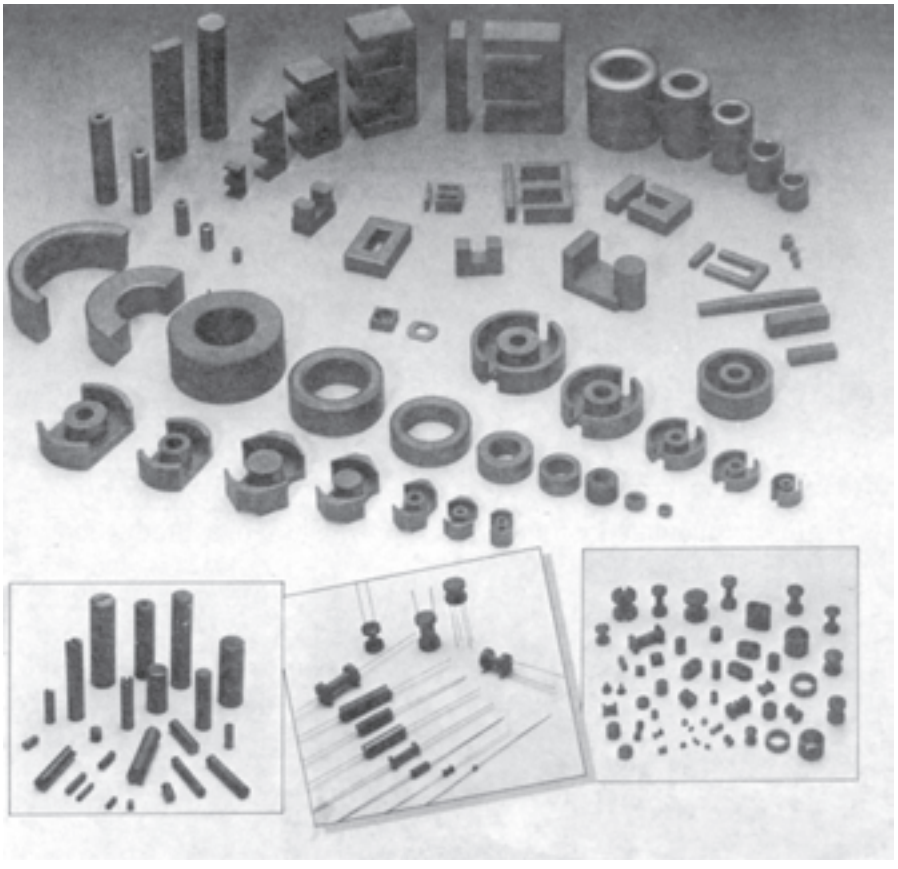
الف ــ سیم‌پیچ: سیم‌پیچ از پیچیدن طول معینی از یک سیم‌هادی با روکش عایق بر روی یک پایه‌ی عایق شکل می‌گیرد.

ب ــ هسته: قسمتی است که درون سیم‌پیچ قرار می‌گیرد تا مسیر مناسبی برای میدان مغناطیسی فراهم آورد. در فرکانس‌های بالا (۵۰مگاهرتز به بالا) به علت استفاده از سلف‌های با خودالقایی کم جنس هسته از هوا است.

در شکل ۲۱ــ۱ نمونه‌هایی از سلف‌ها و ترانس‌های کوچک نشان داده شده است. در سلف‌های با خودالقایی زیاد در صورتی‌که هسته از هوا باشد ابعاد سلف بزرگ می‌شود، بنابراین، هسته‌ی مناسب در صنعت الکترونیک فریت‌ها هستند. در شکل۲۲ــ۱ تعدادی از فریت‌های آماده برای سلف‌ها و ترانسفورماتورها نشان داده شده است. از سیم‌پیچ‌ها در ساختمان ترانسفورماتورها، موتورهای الکتریکی، فیلترها، بلندگو، میکروفون، گوشی و غیره استفاده می‌شود.

فریت: به‌طورکلی اصطلاح «فریت» به مواد سرامیکی‌ای گفته می‌شود که دارای خواص فرومغناطیس باشند. فریتی که در سلف‌ها بیش‌تر استفاده می‌شود در شمار فریت‌های نرم[1] هستند.

شکل ۲۱ــ۱



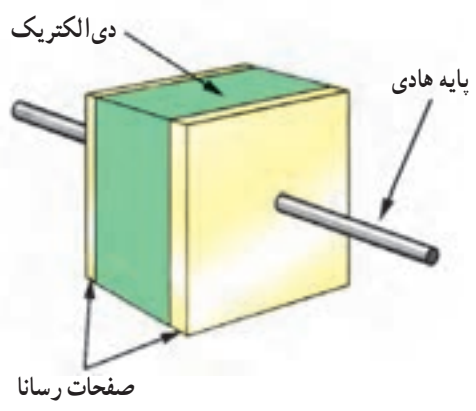
شکل ۲۲ــ۱ــ نمونه‌هایی از فریت‌های آماده برای سلف‌ها و ترانسفورماتورهای کوچک

۱ــ فرمول فریت نرم MFe_2O_3

۱۰ــ۱ــ خازن

خازن المانی است که انرژی الکتریکی را توسط میدان الکترواستاتیکی (بارالکتریکی) در خود ذخیره می‌نماید. ساختمان داخلی خازن از دو قسمت اصلی تشکیل شده است :

الف ــ صفحات هادی ب ــ عایق بین هادی‌ها (دی‌الکتریک).



شکل ۲۳ــ۱

بنابراین هرگاه دو هادی در مقابل هم قرار گرفته و در بین آن‌ها عایقی قرار داده شود، تشکیل خازن می‌دهند. معمولاً صفحات هادی خازن از جنس آلومینیوم، روی و نقره با سطح نسبتاً زیاد بوده و در بین آن‌ها عایقی (دی‌الکتریک) از جنس هوا، کاغذ، میکا، پلاستیک، سرامیک، اکسید آلومینیوم و اکسید تانتالیوم استفاده می‌شود.

هرچه ضریب دی‌الکتریک یک ماده‌ی عایق بزرگ‌تر باشد آن دی‌الکتریک دارای خاصیت عایقی بهتر است.

در جدول ۴ــ۱ مقدار ضریب دی‌الکتریک چند نوع عایق آمده است.

برای مثال، با دقت در جدول ۴ــ۱ می‌توان دریافت که خاصیت عایقی اکسیدآلومینیوم ۷ برابر خاصیت عایقی هوا است.

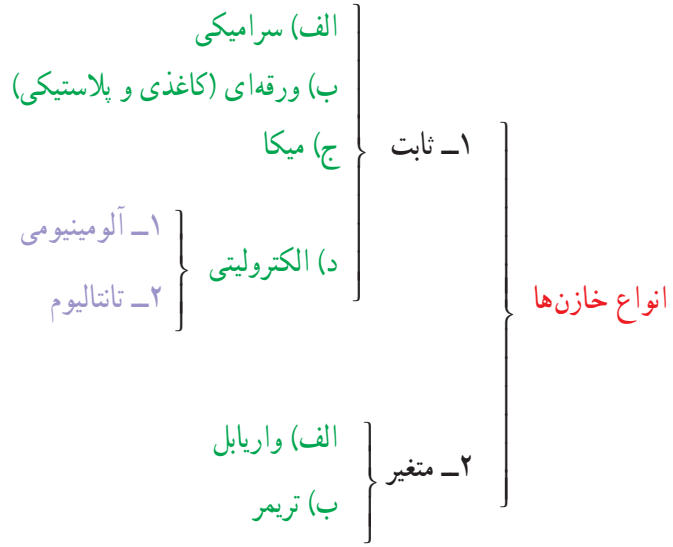
جدول ۴ــ۱ــ ضریب دی‌الکتریک چندماده

نوع عایق	ضریب دی‌الکتریک
هوا یا خلأ	۱
اکسید آلومینیوم	۷
سرامیک	۸۰۰ــ۱۲۰۰
شیشه	۵/۵ــ۱۰
میکا	۳ــ۸
روغن	۲ــ۵
پلی استر	۲/۵
کوارتز	۳/۴ ــ ۴/۲
پارافین	۲ــ۲/۲
کاغذ	۲ــ۶
فیبر	۳ــ۵
اکسید تانتالیوم	۲۶

توجه: نیازی نیست هنرجویان اعداد مندرج در جدول ۴ــ۱را به خاطر بسپارند. در صورت طرح سؤال لازم است جدول در اختیار هنرجو قرار گیرد.

۱۱ــ۱ــ انواع خازن‌ها

خازن‌ها به دو دسته‌ی کلی «ثابت» و «متغیر» تقسیم‌بندی می‌شوند. خازن‌های ثابت و متغیر را نیز می‌توان به این‌صورت تقسیم‌بندی نمود :



۱۲ــ۱ــ خازن‌های ثابت

این خازن‌ها دارای ظرفیت معینی هستند که در وضعیت معمولی تغییر پیدا نمی‌کنند. خازن‌های ثابت را براساس نوع ماده‌ی دی‌الکتریک به‌کار رفته در آن‌ها تقسیم‌بندی و نام‌گذاری می‌کنند و از آن‌ها در مصارف مختلف استفاده می‌شود. از جمله این خازن‌ها می‌توان انواع «سرامیکی»، «میکا»، «ورقه‌ای» (کاغذی و پلاستیکی)، «الکترولیتی»، «روغنی»، «گازی» و نوع خاص «فیلم»[1] را نام برد.

اگر ماده‌ی دی‌الکتریک طی یک فعالیت شیمیایی تشکیل شده باشد آن‌را «خازن الکترولیتی» و در غیر این‌صورت آن را «خازن خشک» گویند. خازن‌های روغنی و گازی در صنعت برق بیش‌تر در مدارات الکتریکی برای راه‌اندازی و یا اصلاح ضریب قدرت به‌کار می‌روند. بقیه‌ی خازن‌های ثابت دارای ویژگی‌های خاصی هستند که بدان اشاره می‌کنیم :

۱ــ۱۲ــ۱ــ خازن‌های سرامیکی: خازن سرامیکی[2] معمول‌ترین خازن غیرالکترولیتی است که در آن دی‌الکتریک به‌کار رفته از جنس سرامیک است. ثابت دی‌الکتریک سرامیک بالاست ؛ از این‌رو امکان ساخت خازن‌های با ظرفیت زیاد در اندازه‌ی کوچک را در مقایسه با سایر خازن‌ها به‌وجود آورده، در نتیجه ولتاژ کار آن‌ها نیز بالا خواهد بود. ظرفیت خازن‌های سرامیکی معمولاً بین ۵ PF تا ۰/۱μF است. این نوع خازن‌به‌صورت دیسکی (عدسی) و استوانه‌ای تولید می‌شود و فرکانس کار خازن‌های سرامیکی بالای ۱۰۰ مگاهرتز است. عیب بزرگ این خازن‌ها وابسته بودن ظرفیت آن‌ها به دمای محیط است، زیرا با تغییر دما ظرفیت خازن تغییر می‌کند. از این خازن در مدارهای الکترونیکی، مانند مدارهای مخابراتی و رادیویی استفاده می‌شود. در شکل‌های ۲۴ــ۱ و ۲۵ــ۱ نمونه‌هایی از این خازن نشان داده شده است.

۱ــ Film

۲ــ Ceramic capacitor

شکل ۲۴ــ۱ ــ نمونه‌هایی از خازن سرامیکی

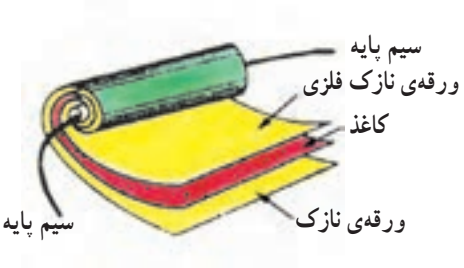
شکل ۲۵ــ۱ــ انواع خازن‌های سرامیکی و کاغذی

۲ــ۱۲ــ۱ــ خازن‌های ورقه‌ای: در خازن‌های ورقه‌ای از کاغذ و مواد پلاستیکی به سبب انعطاف‌پذیری آن‌ها، برای دی‌الکتریک استفاده می‌شود. این گروه از خازن‌ها خود به دوصورت ساخته می‌شوند.

الف ــ خازن‌های کاغذی: دی‌الکتریک این نوع خازن از یک صفحه‌ی نازک کاغذ متخلخل تشکیل شده که یک دی‌الکتریک مناسب درون آن تزریق می‌گردد تا مانع از جذب رطوبت گردد. برای جلوگیری از تبخیر دی‌الکتریک درون کاغذ، خازن را درون یک قاب محکم و نفوذناپذیر قرار می‌دهند.

در شکل ۲۵ــ۱ شکل ظاهری و در شکل ۲۶ــ۱ ساختمان داخلی خازن کاغذی نشان داده شده است.

(الف)



(ب)

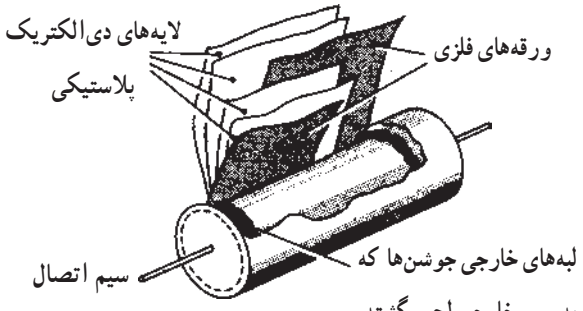
شکل ۲۶ــ۱ــ ساختمان داخلی و شکل ظاهری خازن کاغذی

خازن‌های کاغذی به علت کوچک بودن ضریب دی‌الکتریک عایق آن‌ها دارای ابعاد فیزیکی بزرگ هستند، اما از مزایای این خازن‌ها آن است که در ولتاژها و جریان‌های زیاد می‌توان از آن‌ها استفاده کرد.

ب ــ خازن‌های پلاستیکی: در این نوع خازن از ورقه‌های نازک پلاستیک برای دی‌الکتریک استفاده می‌شود. ورقه‌های پلاستیکی همراه با ورقه‌های نازک فلزی (آلومینیومی) به‌صورت لوله، در درون قاب پلاستیکی بسته‌بندی می‌شوند.

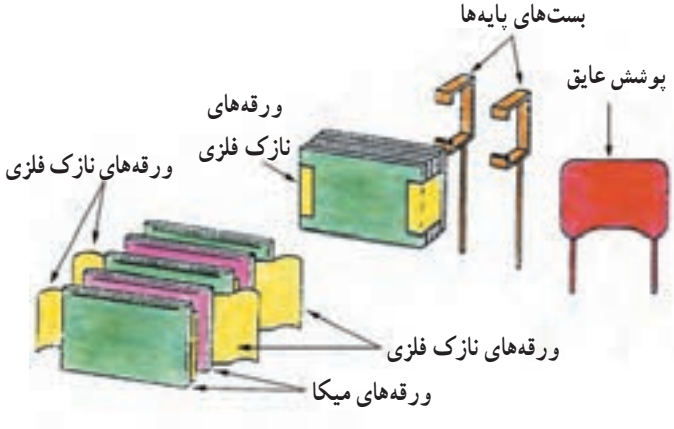
امروزه این نوع خازن‌ها به دلیل داشتن مشخصات خوب در مدارات زیادی به‌کار می‌روند. این خازن‌ها نسبت به تغییرات دما حساسیت زیادی ندارند؛ به همین سبب از آن‌ها در مداراتی استفاده می‌کنند که احتیاج به خازنی با ظرفیت ثابت در مقابل حرارت باشد. یکی از انواع دی‌الکتریک‌هایی که در این خازن‌ها به‌کار می‌رود پلی استایرن[1] است؛ از این رو به این خازن‌ها «پلی‌استر» گفته می‌شود که از جمله رایج‌ترین خازن‌های پلاستیکی است. ماکزیمم فرکانس کار خازن‌های پلاستیکی حدود یک مگاهرتز است.

در شکل ۲۷ــ۱ ساختمان داخلی خازن پلاستیکی را می‌بینید.



شکل ۲۷ــ۱ــ ساختمان خازن پلاستیکی

۳ــ۱۲ــ۱ــ خازن‌های میکا: در این نوع خازن از ورقه‌های نازک میکا در بین صفحات خازن (ورقه‌های فلزی ــ آلومینیوم) استفاده می‌شود و در پایان، مجموعه در یک محفظه قرار داده می‌شوند تا از اثر رطوبت جلوگیری شود. ظرفیت خازن‌های میکا تقریباً بین ۰/۰۱ تا ۱ میکروفاراد است. از ویژگی‌های اصلی و مهم این خازن‌ها می‌توان داشتن ولتاژ کار بالا، عمر کارکرد طولانی و کاربرد در مدارات فرکانس بالا را نام برد. درشکل ۲۸ــ۱ تصویر ساختمان داخلی این خازن نشان داده شده است.



شکل ۲۸ــ۱ــ ساختمان داخلی خازن میکا

۴ــ۱۲ــ۱ــ خازن‌های الکترولیتی: از خازن‌های الکترولیتی به‌دلیل قابلیتی که در ساخت آن‌ها وجود دارد برای ظرفیت‌های بالا استفاده می‌کنند. داشتن ظرفیت زیاد در آن‌ها ناشی از به‌کار بردن یک لایه‌ی دی‌الکتریک نازک با ضخامت تقریبی کم (یک نانومتر) است. چنین لایه‌ای به وسیله‌ی یک عمل شیمیایی (اکسیداسیون) بر روی فلزات مناسب همچون آلومینیوم و تانتالیوم تشکیل می‌شود. در اکثر خازن‌های الکترولیتی پلاریته مثبت و منفی مشخص شده است و اصطلاحاً گفته می‌شود این خازن‌ها «قطبی» هستند. به همین سبب، هنگام کار با این نوع خازن‌ها باید دقت نمود، زیرا اگر خازن به‌صورت معکوس اتصال داده شود دی‌الکتریک آن از بین رفته و خازن تبدیل به یک هادی می‌شود؛ سپس محلول الکترولیت خازن تجزیه می‌گردد و در اثر گاز ایجاد شده در محفظه، منفجر می‌شود.

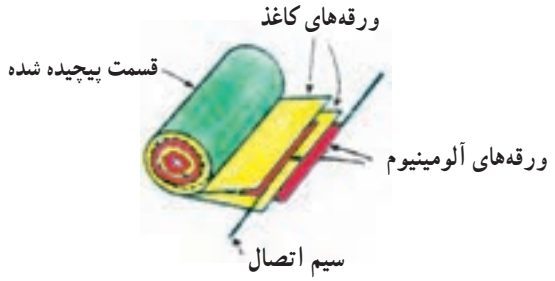
امروزه نوع خاصی خازن الکترولیتی ساخته شده است که پلاریته ندارد و می‌توان در هر دو جهت (در ولتاژ AC) استفاده

۱ــ Polystyrene

نمود. از این خازن‌ها در مدارات راه‌انداز موتورها و مدارات نوسان‌ساز صوتی استفاده می‌شود. خازن‌های الکترولیتی در دو نوع «آلومینیومی» و «تانتالیومی» ساخته می‌شوند.

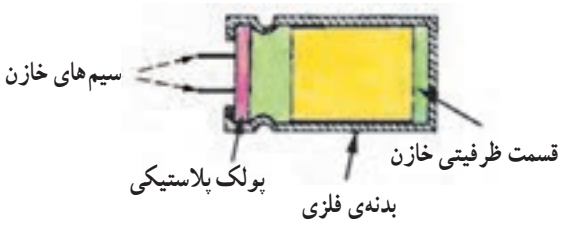
الف ــ خازن آلومینیومی: این خازن، همانند خازن‌های ورقه‌ای از دو ورقه‌ی آلومینیومی تشکیل شده است. یکی از این ورقه‌ها که لایه‌ی اکسید روی آن ایجاد می‌شود «آند» نامیده می‌شود و ورقه‌ی آلومینیومی دیگر نقش کاتد را دارد.

ساختمان داخلی آن بدین‌صورت است که دو ورقه‌ی آلومینیومی به همراه دو لایه‌ی کاغذ متخلخل که در بین آن‌ها قرار دارند هم‌زمان پیچیده شده و سیم‌های اتصال نیز به انتهای ورقه‌های آلومینیومی متصل می‌شوند. در شکل ۲۹ــ۱ نحوه‌ی پیچیدن ورقه‌ها را ملاحظه می‌کنید.



شکل ۲۹ــ۱ــ طرز قرارگرفتن ورقه‌های آلومینیوم

پس از پیچیدن ورقه‌ها آن را درون یک الکترولیت مناسب که شکل‌گیری لایه‌ی اکسید را سرعت می‌بخشد غوطه‌ور می‌سازند تا دو لایه‌ی کاغذ متخلخل از الکترولیت پر شوند. سپس کل مجموعه را درون یک قاب فلزی قرار داده و با یک پولک پلاستیکی که سیم‌های خازن از آن می‌گذرد محکم بسته می‌شود.



شکل ۳۰ــ۱ــ ساختمان داخلی خازن الکترولیتی

هنگامی‌که ترمینال آند (صفحه آلومینیومی خالص‌تر) به قطب مثبت و کاتد به قطب منفی یک منبع ولتاژ متصل می‌شوند در اثر واکنش شیمیایی بر روی ورقه‌ی آند یک لایه‌ی عایق اکسید آلومینیوم تشکیل می‌شود. ولتاژ کار خازن متناسب با ضخامت لایه‌ی اکسید است.

از معایب خازن‌های الکترولیتی آلومینیومی می‌توان به تبخیر و خارج شدن الکترولیت از پولک پلاستیکی و بالا بودن جریان نشتی اشاره کرد. از جمله ویژگی‌های خوب این خازن‌ها داشتن ظرفیت زیاد نسبت به حجمشان است. از این خازن‌ها در منابع تغذیه و مدارهای فیلتر (صافی) استفاده می‌شود. پایه‌ی منفی (کاتد) خازن‌های الکترولیتی را با نواری مشخص می‌کنند که علامت منفی (–) را نشان می‌دهد.

در شکل ۳۱ــ۱ اندازه‌های مختلفی از خازن‌های آلومینیومی و علایم اختصاری آن نشان داده شده است.

شکل ۳۱ــ۱ــ نمونه‌هایی از خازن‌های الکترولیتی و علائم اختصاری آن‌ها

ب ــ خازن‌های تانتالیوم: در این نوع خازن به‌جای آلومینیوم از فلز تانتالیوم استفاده می‌شود. زیاد بودن ثابت دی‌الکتریک اکسید تانتالیوم نسبت به اکسید آلومینیوم (حدوداً ۳ برابر) سبب می‌شود خازن‌های تانتالیومی نسبت به نوع آلومینیومی در حجم مساوی دارای ظرفیت بیش‌تری باشند.

شکل ۳۲ــ۱ــ شکل ظاهری چند خازن تانتالیوم

محاسن خازن تانتالیومی نسبت به نوع آلومینیومی بدین قرار است :

الف ــ ابعاد کوچکتر ب ــ جریان نشتی کم‌تر ج ــ عمر کارکرد طولانی.

از جمله معایب این نوع خازن‌ها در مقایسه با خازن‌های آلومینیومی عبارت‌اند از :

الف ــ خازن‌های تانتالیوم گران‌تر هستند،

ب ــ نسبت به افزایش ولتاژ اعمال شده در مقابل ولتاژ مجاز آن، هم‌چنین معکوس شدن پلاریته حساس‌ترند،

ج ــ قابلیت تحمل جریان‌های شارژ و دشارژ زیاد را ندارند،

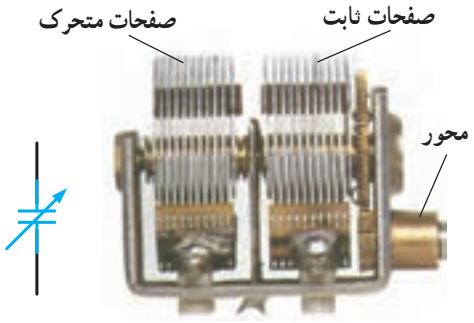
د ــ خازن‌های تانتالیوم دارای محدودیت ظرفیت هستند (حداکثر تا ۳۳۰ میکروفاراد ساخته می‌شوند).

۱۳ــ۱ــ خازن‌های متغیر

به‌طورکلی با تغییر سه عامل می‌توان ظرفیت خازن را تغییر داد : «فاصله‌ی صفحات»، «سطح صفحات» و «نوع دی‌الکتریک».

اساس کار خازن متغیر بر مبنای تغییر سطح مشترک صفحات خازن یا تغییر ضخامت دی‌الکتریک است، همان‌گونه که پیش از این مشاهده کردیم ظرفیت یک خازن نسبت مستقیم با سطح مشترک دو صفحه‌ی خازن دارد. خازن‌های متغیر عموماً از نوع عایق هوا یا پلاستیک هستند. در شکل ۳۳ــ۱ دو نوع خازن متغیر را به همراه علایم اختصاری آن‌ها مشاهده می‌کنید. نوعی را که به وسیله‌ی دسته‌ی متحرک (محور) عمل تغییر ظرفیت انجام می‌شود «واریابل»[1] نامند و در نوع دیگر این عمل به وسیله‌ی پیچ‌گوشتی صورت می‌گیرد که به آن «تریمر»[2] گویند. محدوده‌ی تغییرات ظرفیت خازن‌های واریابل ۱۰ تا ۴۰۰ پیکوفاراد و در خازن‌های تریمر از ۵ تا ۳۰ پیکوفاراد است. از این خازن‌ها در گیرنده‌های رادیویی برای تنظیم فرکانس ایستگاه رادیویی استفاده می‌شود.

الف ــ انواع خازن‌های تریمر و علامت اختصاری آن



ب ــ ساختمان یک خازن متغیر (واریابل) و علامت اختصاری آن

شکل ۳۳ــ۱

۱۴ــ۱ــ تشخیص مقدار ظرفیت خازن

برای تعیین ظرفیت خازن‌ها از سه روش استفاده می‌شود که عبارت‌اند از :

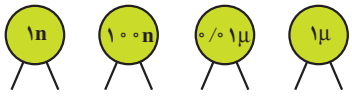
۱ــ نوشتن مقدار ظرفیت ۲ــ رمزهای عددی ۳ــ نوارهای رنگی.

۱ــ تشخیص ظرفیت با کمک مقدار نوشته شده: در این حالت مقدار عدد ظرفیت و واحد آن عیناً بر روی بدنه‌ی خازن قید می‌شود که در این صورت ابهامی برای خواندن مقدار

۱ــ Variable

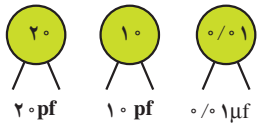
۲ــ Trimmer

ظرفیت وجود ندارد (شکل ۳۴ــ۱).



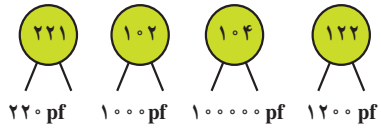
شکل ۳۴ــ۱

۲ــ روش رمزهای عددی: در اغلب مواقع واحد ظرفیت بر روی بدنه‌ی خازن قید نمی‌شود. در این صورت چنان‌چه این عدد از یک کوچک‌تر باشد ظرفیت برحسب «میکروفاراد» و چنان‌چه عدد بزرگ‌تر از یک باشد ظرفیت برحسب «پیکوفاراد» است (شکل ۳۵ــ۱).



شکل ۳۵ــ۱

در حالتی که عدد ظرفیت بزرگ‌تر از واحد است (به‌ویژه در مورد خازن‌های سرامیکی و عدسی و برای ۱۰۰ پیکوفاراد به بالا) معمولاً عدد ظرفیت به‌صورت یک عدد سه‌رقمی مشخص می‌شود که دو رقم اول «عدد» و رقم سوم «ضریب» (تعداد صفر) رامشخص می‌کند (شکل ۳۶ــ۱).



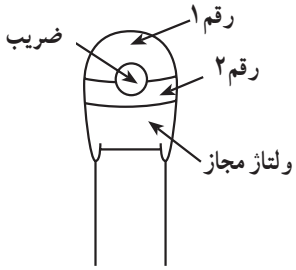
شکل ۳۶ــ۱

برای نمونه، در این روش عدد ۱۰۱ به معنی ۱۰۰ پیکوفاراد و عدد ۴۷۳ به معنی ۴۷۰۰۰ پیکوفاراد یا ۴۷ نانوفاراد است. قواعد فوق در اکثر موارد از طرف سازندگان رعایت می‌شود.

۳ــ تشخیص مقدار ظرفیت با کمک نوارهای رنگی: مقدار ظرفیت خازن‌ها گاهی به وسیله‌ی نوارها یا نقطه‌های رنگی مشخص می‌شود. معانی رنگ‌ها برای ارقام و ضرایب، همانند معانی رنگ‌ها در مقاومت‌هاست، اما روش تعیین ظرفیت خازن، تلرانس و ولتاژ کار از روی نوارهای رنگی در خازن‌های مختلف تفاوت دارند؛ به همین دلیل در این‌جا برای نمونه فقط جدول نوارهای رنگی و نحوه‌ی قرائت در خازن‌های تانتالیوم درج گردیده است.

۱۵ــ۱ــ نوارهای رنگی خازن‌های تانتالیوم

تعیین مقدار ظرفیت خازن‌های تانتالیوم روش مخصوصی دارد که با توجه به شکل و جدول ۵ ــ۱ چگونگی محاسبه‌ی ظرفیت این نوع خازن‌ها مشخص شده است.



جدول ۵ ــ۱ــ جدول خازن تانتالیوم

ولتاژ مجاز	ضریب	رقم ۲	رقم ۱	رنگ
۱۰ ولت	۱ میکروفاراد	۰	ــ	سیاه
ــ	۱۰ میکروفاراد	۱	۱	قهوه‌ای
ــ	۱۰۰ میکروفاراد	۲	۲	قرمز
ــ	ــ	۳	۳	نارنجی
۶/۳ ولت	ــ	۴	۴	زرد
۱۶ ولت	ــ	۵	۵	سبز
۲۰ ولت	ــ	۶	۶	آبی
ــ	ــ	۷	۷	بنفش
۲۵ ولت	۰/۰۱	۸	۸	خاکستری
۳۰ ولت	۰/۱	۹	۹	سفید
۳۵ ولت	ــ	ــ	ــ	صورتی

مثال: با توجه به کدهای رنگی مشخص شده در شکل روبه‌رو، ظرفیت خازن تانتالیوم را تعیین کنید.

حلّ: با توجه به جدول کدهای رنگی می‌توان نوشت :

ظرفیت خازن $C = ۱۵ \times ۱۰^{۲} = ۱۵۰۰ \mu F$

ولتاژ خازن $V = ۶/۳ V$

پرسش

۱ــ در بحث الکترونیک کاربردی منظور از بخش قدرت و فرمان در مدارهای الکتریکی چیست؟

۲ــ منظور از تلرانس در مقاومت‌ها چیست و به چند گروه تقسیم‌بندی می‌شود؟

۳ــ مقاومت حفاظتی به چه مقاومت‌هایی گفته می‌شود؟ چرا؟

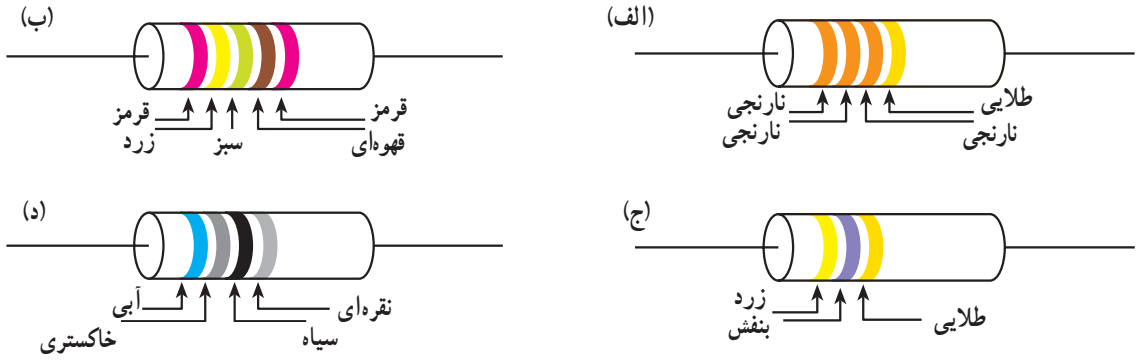
۴ــ اصطلاح «بی‌فیلار» در مقاومت‌های سیمی به چه معناست؟

۵ ــ مقاومت‌های PTC و NTC به چه مقاومت‌هایی گفته می‌شود؟

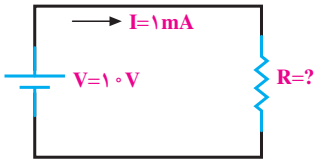
۶ــ محدوده‌ی تغییرات مقاومتی فتورزیستور چه‌قدربوده، نحوه‌ی عملکرد آن چگونه است؟

۷ــ سری‌های استانداردی $E_{۶}$ ، $E_{۱۲}$ و $E_{۲۴}$ بیانگر چه مفهومی هستند؟ مختصراً توضیح دهید.

۸ ــ مقدار و تلرانس مقاومت‌های زیر را تعیین کنید.



۹ــ در مدار شکل زیر اگر بخواهیم جریان مدار ۱ mA باشد چه مقاومتی مناسب است؟ (ازنظر اهم و توان).



۱۰ــ چرا در سری $E_{۱۲}$ ضریب ۱/۱ و یا در سری $E_{۲۴}$ ضریب ۱/۴ وجود ندارد؟

۱۱ــ مقدار اهم و تلرانس مقاومت‌های زیر را تعیین کنید :

الف ــ ۴K۷J　　ب ــ ۱M۱D

ج ــ R۱۰G　　د ــ ۶۸KM

۱۲ــ سلف را تعریف کرده، توضیح دهید چرا در فرکانس‌های بالا سلف‌ها را بدون هسته‌ی آهنی می‌سازند؟

۱۳ــ منظور از دی‌الکتریک چیست؟ چهار دی‌الکتریک مناسب را نام ببرید.

۱۴ــ از جمله معایب خازن‌های سرامیکی چیست؟ کاربرد این خازن‌ها در کجاست؟

۱۵ــ انواع خازن‌های ورقه‌ای را نام برده، به‌اختصار درباره‌ی هریک توضیح دهید.

۱۶ــ خازن‌های قطبی به چه خازن‌هایی گفته می‌شود؟ چرا؟

۱۷ــ ساختمان داخلی انواع خازن‌های الکترولیتی را به‌اختصار توضیح داده، دو مورد از خصوصیات آن‌را بنویسید.

۱۸ــ خازن‌های تریمر و واریابل چگونه خازن‌هایی هستند؟

۱۹ــ ظرفیت خازن‌های زیر را تعیین کنید.

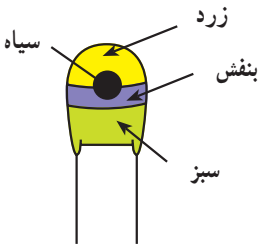
(الف)

(ب)

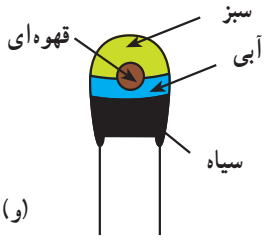
(ج)

(د)

(هـ)



(و)



فصل دوم

آشنایی با مدارهای منطقی

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این درس از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ مفهوم کمیت‌های آنالوگ و دیجیتال را توضیح دهد.

۲ــ سطوح منطقی صفر و یک را برای ولتاژ شرح دهد.

۳ــ دروازه‌های منطقی AND ، OR ، NOT ، NAND، NOR، XOR و XNOR را تعریف کند.

۴ــ به کمک کلیدها (سری ــ موازی) دروازه‌های منطقی AND، OR، NOT ، XOR و XNOR را نمایش دهد.

۵ ــ جدول صحت AND، OR، NOT، NAND، NOR، XOR و XNOR را رسم کند.

۶ــ تابع منطقی یک مسأله‌ی ساده را به‌فرم مجموع حاصل‌ضرب‌ها بنویسد.

۷ــ اتحادهای منطقی ساده را بنویسد.

مطالعه‌ی آزاد

۸ــ مدارهای ترکیبی رمزکننده (encoder) و رمزگشا (decoder) را به‌اختصار تعریف کند.

۹ــ فلیپ فلاپ را به منزله‌ی سلول حافظه، تعریف کند.

۱۰ــ رجیستر و شمارنده را تعریف کند.

۱۱ــ یک مدار کاربردی با شمارنده رسم کند.

مقدمه

امروزه تعداد بی‌شماری از دستگاه‌های اندازه‌گیری الکترونیکی و سایر وسایل با استفاده از تکنولوژی دیجیتال ساخته می‌شوند و هر روز تعداد آن‌ها بیش‌تر می‌شود، زیرا دستگاه‌های دیجیتالی دارای ویژگی‌هایی هستند که از جمله می‌توان به‌این موارد اشاره کرد :

الف ــ سرعت بالا در انجام کارها،

ب ــ دقت زیاد در انجام امور،

ج ــ داشتن حجم کم،

د ــ ساده بودن در دادن و گرفتن اطلاعات،

هـ ــ داشتن قابلیت تنوع در ساخت وسایل.

دستگاه‌هایی که با این ویژگی‌ها کار می‌کنند «دیجیتالی» و سایر وسایل را «آنالوگ» گویند. اساس و طرز کار سیستم‌های داخلی این دو دسته وسایل دارای تفاوت‌هایی است که هریک از آن‌ها را بررسی خواهیم نمود.

در شکل ۱ــ۲ دو نوع مولتی‌متر آنالوگ و دیجیتال نشان داده شده است.

مولتی‌متر آنالوگ

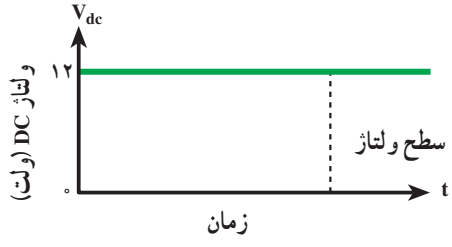
مولتی‌متر دیجیتال

شکل ۱ــ۲

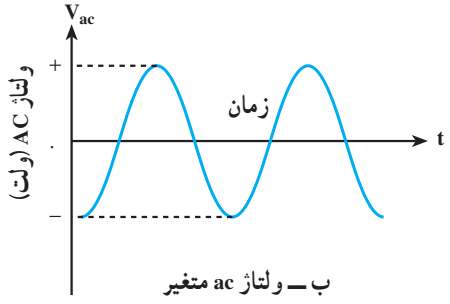
۱ــ۲ــ سیستم‌های آنالوگ و دیجیتال

به‌طور کلی سیستم داخلی و کاری وسایل الکتریکی یا الکترونیکی ــ چه در صنعت چه به‌صورت وسایل خانگی، هم‌چون : وسایل اندازه‌گیری، موتورهای الکتریکی، رایانه، ماشین حساب و تلفن ــ از دو سیستم «آنالوگ» یا «دیجیتال» است.

۱ــ۱ــ۲ــ سیستم آنالوگ[1]: سیستم آنالوگ به سیستمی گفته می‌شود که در آن تغییرات سیگنال (موج کوچک) به‌صورت پیوسته است ؛ یعنی اطلاعات یا شکل موجی که برای وسیله‌ی مورد نظر ارسال می‌گردد در تمامی لحظات وجود دارد و لحظه‌ی قطعی در شکل موج پدید نمی‌آید. شکل موج‌های ولتاژی که در شکل ۲ــ۲ نشان داده شده است معرف سیگنال‌های آنالوگ هستند.



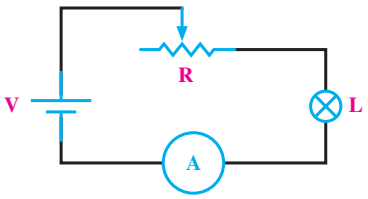
الف ــ ولتاژ dc ثابت ۱۲ ولت



ب ــ ولتاژ ac متغیر

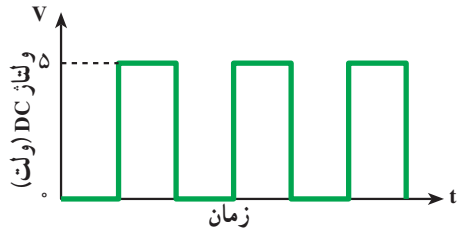
شکل ۲ــ۲ــ دو نوع سیگنال آنالوگ

با بستن مداری مطابق شکل ۳ــ۲ و ایجاد تغییر در مقدار مقاومت متغیر از حداقل تا حداکثر، با مشاهده‌ی نور لامپ که به آرامی کم و زیاد می‌شود، هم‌چنین با اندازه‌گیری جریان که عقربه‌ی آمپرمتر به آهستگی منحرف می‌شود، می‌توان مفهوم پیوسته‌بودن شدت روشنایی لامپ را به‌خوبی دریافت نمود.



شکل ۳ــ۲

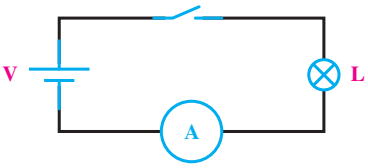
۲ــ۱ــ۲ــ سیستم دیجیتال: گروه دیگری از سیگنال‌ها وجود دارند که دارای تغییرات پله‌ای و مجزا هستند و ولتاژ در آن‌ها بین دو مقدار حداقل و حداکثر تغییر می‌کند. سیستم‌هایی که با چنین ولتاژهایی کار می‌کنند «سیستم‌های دیجیتالی» گفته می‌شوند. از جمله دستگاه‌هایی که با این سیستم کار می‌کنند می‌توان مراکز تلفن، ماشین‌حساب‌ها یا رایانه رانام برد. در شکل ۴ــ۲ یک نمونه سیگنال دیجیتالی نشان داده شده است.



سیگنال با دو حالت مختلف (۰) و (۵+) ولت

شکل ۴ــ۲ــ سیگنال دیجیتال

با کمک مدار داده شده در شکل ۵ ــ۲ و قطع و وصل پی‌درپی کلید و مشاهده‌ی نور لامپ یا اندازه‌گیری جریان آن به پله‌ای بودن تغییرات ولتاژ می‌توان پی‌برد، زیرا هنگام آزمایش با قطع و وصل کلید لامپ با ماکزیمم نور خود روشن و خاموش می‌شود ؛ هم‌چنین عقربه‌ی آمپرمتر نیز در هنگام وصل کلید خیلی سریع منحرف شده، حداکثر مقدار جریان مدار را نشان می‌دهد و در هنگام قطع نیز خیلی سریع به‌صفر می‌رسد.



شکل ۵ــ۲

۱ــ Analog قیاسی

در شکل ۶ــ۲ تصویر چند وسیله‌ی آنالوگ و دیجیتالی نشان داده شده است.

حرارت‌سنج دیجیتالی

شمارنده‌ی دیجیتالی

ولت‌متر دیجیتالی

منبع تغذیه‌ی الکترونیکی با نشان‌دهنده‌ی هفت‌قطعه‌ای

ترموستات آنالوگ

منبع تغذیه‌ی الکترونیکی با وسایل اندازه‌گیری آنالوگ

آوومتر دیجیتالی

(وسایل اندازه‌گیری آنالوگ) آمپرمتر و ولت‌متر و وات‌متر تابلویی

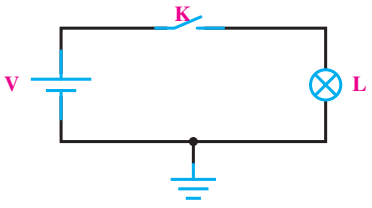
الف ــ یک نمونه کنتور یک‌فاز

ب ــ یک نمونه کنتور سه‌فاز

شکل ۶ــ۲ــ تصویر چند وسیله آنالوگ و دیجیتال

۲ــ۲ــ سطوح منطقی صفر و یک

همان‌گونه که اشاره شد در مدارات دیجیتالی دو حالت موجود است که معمولاً برای بیان وضعیت کاری مدار به‌کار



شکل ۷ــ۲

می‌رود ؛ مثلاً، برای نشان دادن روشن و خاموش بودن لامپ از اصطلاحات مختلفی استفاده می‌شود که در جدول ۱ــ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱ ــ۲

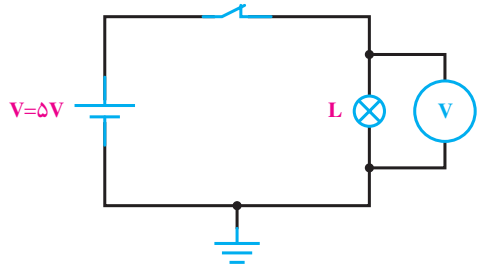
۰ . عدم وجود . low . OFF . کلید قطع .	**لامپ خاموش**
۱ . وجود داشتن . high . ON . کلید وصل .	**لامپ روشن**

هریک از این اصطلاحات بیانگر مفهوم خاصی از مدار است ؛ برای مثال «ON-OFF» روشن و خاموش بودن، «high-low» حداقل و حداکثر بودن ولتاژ اعمال شده به مدار و «۱ــ۰» معرف وجود و عدم وجود است. برای بیان مفاهیم و عبارات دیجیتالی به‌منظور خلاصه‌نویسی بیش‌تر از صفر و یک استفاده می‌شود.

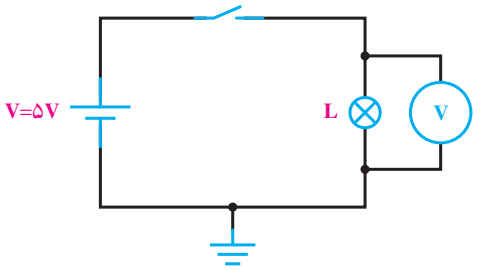
البته باید دقت داشت که صفر و یک به‌کار رفته در مدارات دیجیتالی با صفر و یک عبارات جبری یکسان نیست. در مباحث دیجیتال ۰ و ۱ نشان‌دهنده‌ی وضعیتی از مدار هستند ؛ در صورتی که در جبر معمولی صفر و یک بیانگر مقدار عددی است. سطح ولتاژ (حداکثر ولتاژ) مدارات دیجیتالی دارای مقادیر مختلف (۱۵V و ۵V)* است. یکی از این مقادیر ولتاژی سطح ولتاژ ماکزیمم (۵ ولت) و سطح ولتاژ مینیمم (صفرولت) است که در مدارات زیاد به‌کار می‌رود.

* برخی از آی سی‌های دیجیتالی با ولتاژ ۵ ولت و برخی با ولتاژی از ۳ تا ۱۵ ولت کار می‌کنند.

در شکل ۸ ــ ۲ وضعیت کاری هر مدار به‌همراه سطوح ولتاژ و معادل عبارت منطقی آن‌ها نشان داده شده است.



وصل	.	وضعیت کلید (وضعیت مدار)
۵ ولت	.	مقدار ولتاژ ولت‌متر (سطح ولتاژ)
۱	.	وضعیت منطقی (مقدار منطقی)

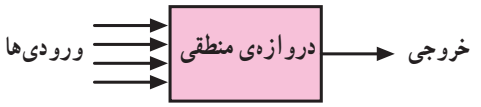


قطع	.	وضعیت کلید (وضعیت مدار)
۰ ولت	.	مقدار ولتاژ ولت‌متر (سطح ولتاژ)
۰	.	وضعیت منطقی (مقدار منطقی)

شکل ۸ــ۲

۳ــ۲ــ دروازه‌های منطقی[1] پایه

دروازه‌های منطقی مطابق شکل ۹ــ۲ عملگرهایی با یک یا چند ورودی و یک خروجی هستند.

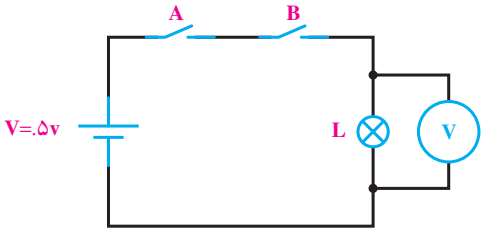


شکل ۹ــ۲

ساختمان داخلی دروازه‌های منطقی را مدارات و قطعات الکترونیکی هم‌چون دیودها، ترانزیستورها و ... تشکیل می‌دهند ولی برای ترسیم دروازه‌های منطقی از علامات اختصاری استفاده می‌کنیم.

هر دروازه براساس منطقی خاص که برای وضعیت‌های ورودی و خروجی آن تعریف شده ساخته می‌شود. در این‌جا ابتدا به بررسی دروازه‌های منطقی مهم و پایه‌ای می‌پردازیم.

۱ــ۳ــ۲ــ دروازه‌ی AND ــ «و»: عملگر AND یا دروازه‌ی منطقی AND، به دروازه‌ای گفته می‌شود که در صورتی خروجی آن وجود خواهد داشت (یک می‌شود) که همه ورودی‌های آن وجود داشته باشند (یک باشد). مدار کلیدی این دروازه را به‌صورت شکل ۱۰ــ۲ می‌توان رسم نمود.



شکل ۱۰ــ۲ــ مدار کلیدی دروازه‌ی AND

همان‌گونه که مشاهده می‌شود مدار کلیدی دروازه‌ی AND به‌صورت کلیدهای سری است و نحوه‌ی عملکرد آن بدین شکل است که لامپ زمانی روشن خواهد شد که هر دو کلید در حالت وصل باشند ؛ در این صورت است که ولت‌متر مقدار ۵ ولت را نشان می‌دهد. به‌اختصار می‌توان چگونگی عملکرد مدار AND را برای حالت‌های مختلف به‌صورت جدول وضعیت ۲ــ۲ بیان کرد.

جدول ۲ــ۲ ــ جدول وضعیت دروازه‌ی AND

وضعیت لامپ L	وضعیت کلید B	وضعیت کلید A
خاموش OFF	قطع OFF	قطع OFF
خاموش OFF	وصل ON	قطع OFF
خاموش OFF	قطع OFF	وصل ON
روشن ON	وصل ON	وصل ON

۱ــ logic gate

با توجه به مطالب یاد شده در جدول ۱ــ۲ می‌توان جدول وضعیت هر دروازه‌ای را به‌شکل ساده‌تر و با استفاده از «۰» و «۱» بیان نمود که اصطلاحاً به آن «جدول صحت» یا «جدول درستی[1]» می‌گویند.

در جدول ۳ــ۲ قطع بودن کلید و خاموش بودن لامپ (۰)، وصل بودن کلید و روشن بودن لامپ (۱) در نظر گرفته شده است.

جدول ۳ــ۲ــ جدول صحت دروازه‌ی AND

A ورودی	B ورودی	Y خروجی
۰	۰	۰
۰	۱	۰
۱	۰	۰
۱	۱	۱

در نقشه‌های دیجیتالی این دروازه را با علایم اختصاری همانند شکل ۱۱ــ۲ نشان می‌دهند.

الف ــ استاندارد امریکایی　　ب ــ استاندارد IEC

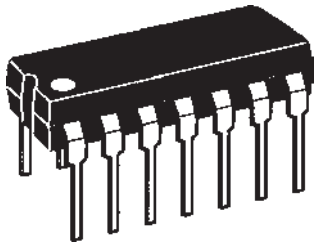
شکل ۱۱ــ ۲ ــ علایم اختصاری دروازه‌ی AND

در شکل ۱۲ــ۲ شکل ظاهری IC[2] و دروازه‌های داخل آن را مشاهده می‌کنید.

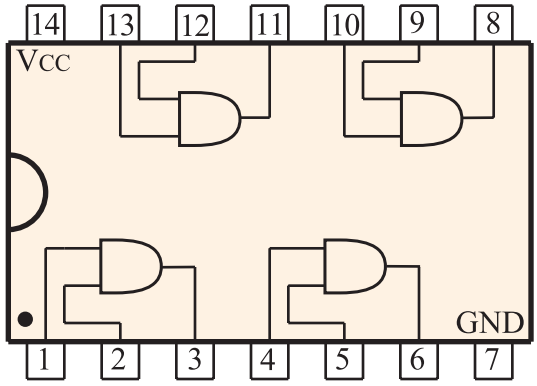
برای بیان رابطه‌ی منطقی دروازه‌ی AND از علامت (.) در بین متغیرهای ورودی استفاده می‌شود. برای این دروازه‌ها می‌توان نوشت :

معمولاً به‌منظور خلاصه‌نویسی (.) حذف می‌شود.

$Y = A.B$ ..... $Y = AB$



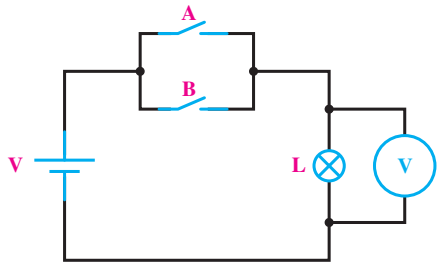
الف ــ شکل ظاهری



ب ــ شکل ظاهری و مدار داخلی یک نمونه IC دروازه AND

شکل ۱۲ــ۲

۲ــ۳ــ۲ــ دروازه‌ی OR ــ «یا»: عملگر OR یا دروازه‌ی منطقی OR، به دروازه‌ای گفته می‌شود که خروجی آن درصورتی وجود خواهد داشت (یک می‌شود) که حداقل یکی از ورودی‌های آن وجود داشته باشد (یک باشد). نحوه‌ی عملکرد این دروازه را به‌صورت مدار کلیدی شکل ۱۳ــ۲ می‌توان رسم نمود.

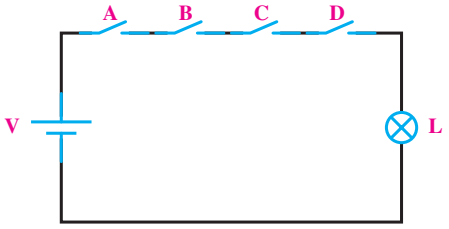


شکل ۱۳ــ ۲ــ مدار کلیدی دروازه‌ی OR

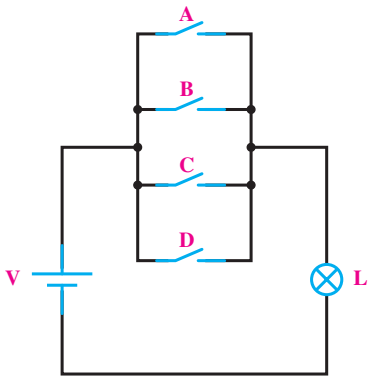
همان‌گونه که ملاحظه می‌شود مدار کلیدی دروازه‌ی OR از کلیدهای موازی تشکیل شده است.

۱ــ Truth table　　۲ــ IC- (Integrated circuir)

دروازه‌های AND و OR می‌توانند بیش از دو متغیر نیز داشته باشند. در شکل ۱۴ــ۲ مدار کلیدی این دروازه‌ها برای چهار متغیر نشان داده شده است.



الف ــ مدار کلیدی AND چهار متغیره



ب ــ مدار کلیدی OR چهار متغیره

شکل ۱۴ــ۲

همان‌گونه که در شکل ۱۳ــ۲ مشاهده می‌شود عملکرد دروازه‌ی OR بدین شکل است :

در صورت وصل هریک از کلیدها یا وصل هر دو کلید لامپ روشن شده، ولت‌متر مقدار ۵ ولت را نشان می‌دهد. به‌طورخلاصه جدول وضعیت دروازه OR برای حالت‌های مختلف را به‌صورت جدول ۴ــ۲ می‌توان نوشت.

جدول ۴ــ ۲ ــ جدول صحت دروازه‌ی OR

وضعیت کلید A	وضعیت کلید B	وضعیت لامپ L
قطع OFF	قطع OFF	قطع OFF
قطع OFF	وصل ON	وصل ON
وصل ON	قطع OFF	وصل ON
وصل ON	وصل ON	وصل ON

مشابه دروازه‌ی AND براساس حالات مختلف جدول ۴ ــ ۲ می‌توان جدول صحت دروازه‌ی OR را چنین نوشت :

جدول ۵ ــ۲ــ جدول صحت دروازه‌ی OR

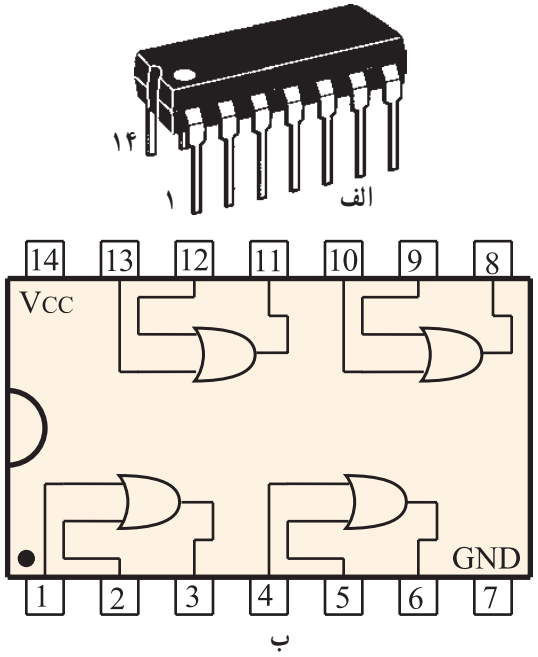
A ورودی	B ورودی	Y خروجی
۰	۰	۰
۰	۱	۱
۱	۰	۱
۱	۱	۱

علایم اختصاری دروازه‌ی OR در شکل ۱۵ــ۲ نشان داده شده است.

الف ــ استاندارد آمریکایی ب ــ استاندارد IEC

شکل ۱۵ــ۲ ــ علایم اختصاری دروازه OR

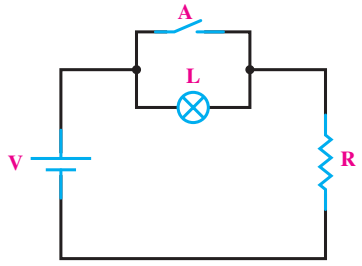
در شکل ۱۶ــ۲ شکل ظاهری IC و دروازه‌های داخل آن را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۶ــ۲ــ شکل ظاهری و مدار داخلی یک نمونه IC دروازه‌ی OR

برای بیان رابطه‌ی منطقی دروازه‌ی OR از علامت (+) در بین متغیرهای ورودی استفاده می‌شود. بر همین اساس می‌توان چنین نوشت: $Y = A + B$

۳ــ۳ــ۲ــ دروازه‌ی NOT ــ «نفی»: عملگر NOT یا «دروازه‌ی منطقی NOT» به دروازه‌ای گفته می‌شود که خروجی آن همیشه معکوس (نفی) ورودی است یعنی زمانی خروجی وجود خواهد داشت (یک است) که متغیر ورودی وجود نداشته باشد (صفر باشد). با توجه به تعریف دروازه‌ی NOT مدار کلیدی این دروازه را مانند شکل ۱۷ــ۲ می‌توان رسم کرد.



شکل ۱۷ــ ۲ــ مدار کلیدی دروازه‌ی NOT

(علت استفاده از مقاومت R در شکل ۱۷ــ۲ برای این است که وقتی کلید A وصل شد باتری اتصال کوتاه نگردد.)

هم‌چنین براساس وضعیت‌های کلید می‌توان جدول وضعیت و جدول صحت آن‌را به‌صورت جداول ۶ــ۲ و ۷ــ۲ نوشت. البته می‌توان دروازه‌ی NOT را با یک کلید بسته که با یک لامپ سری شده است نیز نمایش داد.

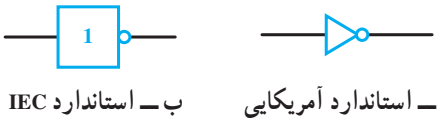
جدول ۶ــ۲ــ جدول وضعیت NOT

وضعیت لامپ L	وضعیت کلید A
روشن ON	قطع OFF
خاموش OFF	وصل ON

جدول ۷ــ۲ ــ جدول صحت NOT

Y خروجی	A ورودی
۱	۰
۰	۱

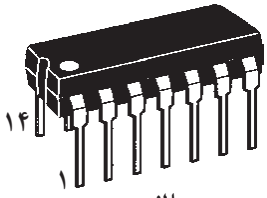
در شکل ۱۸ــ۲ علایم اختصاری دروازه‌ی NOT نشان داده شده است.



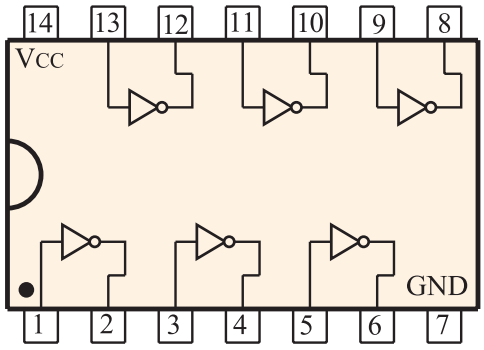
الف ــ استاندارد آمریکایی　　ب ــ استاندارد IEC

شکل ۱۸ــ۲ــ علایم اختصاری دروازه‌ی NOT

در شکل ۱۹ــ۲ شکل ظاهری IC و دروازه‌های داخل آن را مشاهده می‌کنید.



الف



ب

شکل ۱۹ــ۲ــ شکل ظاهری و گیت‌های داخلی یک نمونه IC گیت NOT

وضعیت خروجی نسبت به ورودی دروازه‌ی NOT را به‌صورت این رابطه‌ی منطقی بیان می‌کنند: $Y = \overline{A}$

در هرکدام از دروازه‌های منطقی که از آن‌ها سخن گفتیم، منطق خاصی بین صفر و یک‌های ورودی و خروجی حاکم است. این منطق و تعاریف فقط در بحث الکترونیک یا دیجیتال مطرح نیست، زیرا در مدارات الکتریکی صنعتی تک‌فازه و سه‌فازه نیز به‌نوعی دیگر با این مفاهیم سر و کار داریم.

امروزه در صنعت از تجهیزاتی تحت عنوان کنترل‌کننده‌های منطقی[۱]، رله‌های قابل برنامه‌ریزی[۲]، راه‌اندازهای الکترونیکی[۳] برای

۱ــ PLC　　۲ــ Smart Relay　　۳ــ Soft Starter

کنترل و راه‌اندازی موتورهای سه‌فاز و تکفاز استفاده می‌شود که اصول حاکم در اغلب آن‌ها مدارهای منطقی است که پایه و مبنای این مدارها را نیز دروازه‌های منطقی تشکیل می‌دهند(شکل ۲۰ــ۲).

شکل ۲۰ــ۲

اگر بخواهیم از این تجهیزات استفاده کنیم ضروری است پیرامون منطق ۰ و ۱ ؛ عبارات، دروازه‌ها و مدارهای منطقی اطلاعاتی داشته باشیم. شکل ۲۱ــ۲ تصویر محیط نرم‌افزاری یک نمونه رله قابل برنامه‌ریزی که در آن از این دروازه‌های منطقی برای برنامه‌نویسی استفاده می‌شود، نشان داده شده است.

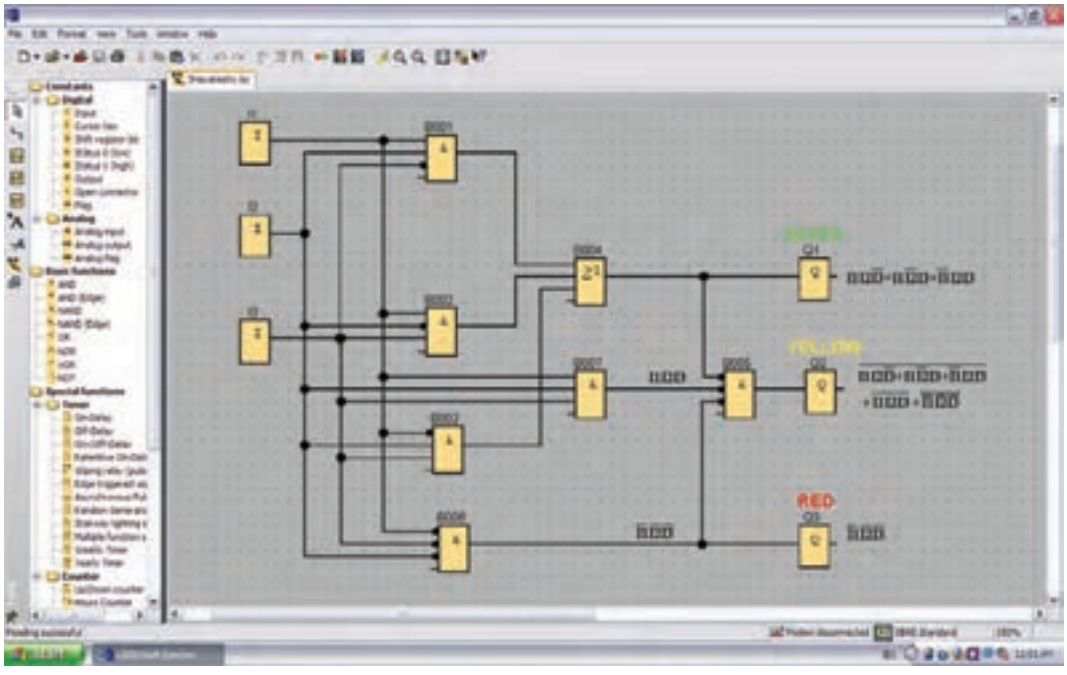
با توجه به توضیحات داده‌شده و شکل ۲۱ــ۲ می‌توان نتیجه گرفت که ضروری است با همه دروازه‌های منطقی آشنا شویم تا به کمک آن‌ها بتوانیم مدارهای منطقی را تحلیل و ترسیم کنیم.

۴ــ۲ــ بررسی مدارهای منطقی

هدف از آشنایی با دروازه‌های منطقی آن است که از آن‌ها در ساخت مدارهای منطقی استفاده شود. برای این‌که با چگونگی به‌کارگیری این دروازه‌ها آشنا شوید یک مثال به‌گونه‌ی طراحی مطرح می‌شود.

مثال۱: یک کارخانه‌ی تولید برق، جریان سه‌بار را تأمین می‌کند اگر یکی از بارها روشن باشد تنها یک مولد لازم است. وقتی که بیش از یک بار روشن است باید مولد کمکی هم به‌کار بیفتد. مدار منطقی (فرمان) لازم برای به‌کار انداختن مولد کمکی را طرح کنید.

حلّ: برای رسم مدار منطقی لازم است ابتدا جدول صحت را تشکیل دهیم و سپس براساس آن عبارت منطقی بنویسیم. اگر سه بار A، B و C را ورودی و X را خروجی و فرمان مولد کمکی



شکل ۲۱ــ۲

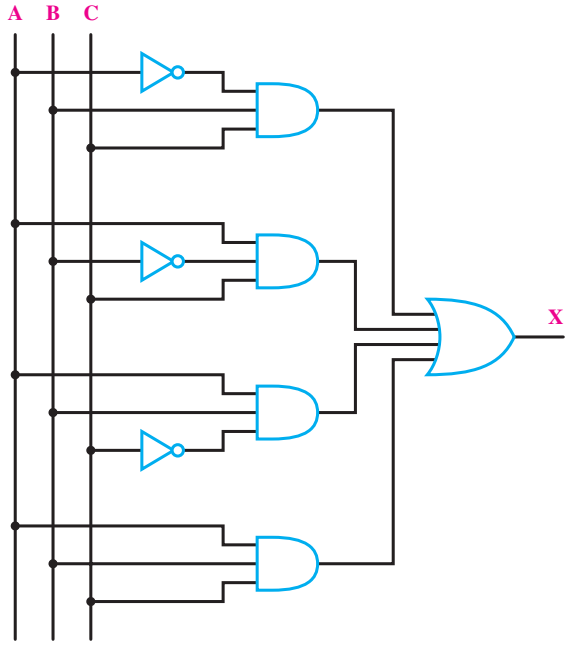
بنامیم در این‌صورت هرگاه دو یا سه‌بار روشن باشد خروجی باید یک (۱) شود. بنابراین خروجی مدار دارای جدول صحتی به‌صورت ۸ــ ۲ و عبارت منطقی به صورت X خواهد شد.

جدول ۸ــ۲

A	B	C	X	
۰	۰	۰	۰	
۰	۰	۱	۰	
۰	۱	۰	۰	
۰	۱	۱	۱	$\bar{A}BC$
۱	۰	۰	۰	
۱	۰	۱	۱	$A\bar{B}C$
۱	۱	۰	۱	$AB\bar{C}$
۱	۱	۱	۱	ABC

$$X = \bar{A}BC + A\bar{B}C + AB\bar{C} + ABC$$

حال با توجه به جملات به‌دست آمده برای تابع خروجی می‌توان مدار منطقی را چنین رسم کرد.



شکل ۲۲ــ ۲

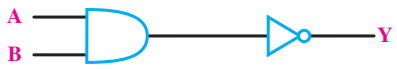
در طراحی مدارهای منطقی از دروازه‌های دیگر با خصوصیات خاص خود استفاده می‌شود که اصطلاحاً به آن‌ها «دروازه‌های منطقی ترکیبی» می‌گویند. در این جا به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

۵ ــ۲ــ دروازه‌های منطقی ترکیبی

با ترکیب برخی دروازه‌های منطقی پایه با یکدیگر، دروازه‌های منطقی جدیدی ساخته می‌شوند که در مدارهای دیجیتالی کاربرد فراوانی دارند. این دروازه‌ها عبارتند از : دروازه‌ی منطقی NAND ؛ NOR ؛ OR انحصاری و NOR انحصاری

۱ــ۵ــ۲ــ دروازه‌ی منطقی NAND ــ «نفی و »:

عملگر یا دروازه‌ی منطقی NAND به دروازه‌ای گفته می‌شود که خروجی آن زمانی وجود ندارد که همه‌ی ورودی‌ها وجود داشته باشند. به عبارت دیگر دروازه‌ی NAND از ترکیب دو دروازه‌ی منطقی AND و دروازه منطقی NOT به‌وجود می‌آید. درواقع در دروازه‌ی NAND ابتدا متغیرها مشابه شکل ۲۳ــ۲ با یکدیگر AND شده و سپس NOT می‌شوند.



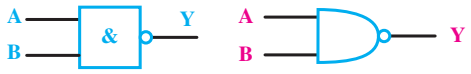
شکل ۲۳ــ ۲

جدول صحت دروازه‌ی منطقی NAND مطابق جدول ۹ــ۲ است.

جدول ۹ــ۲ــ جدول صحت دروازه‌ی NAND

A ورودی	B ورودی	Y خروجی
۰	۰	۱
۰	۱	۱
۱	۰	۱
۱	۱	۰

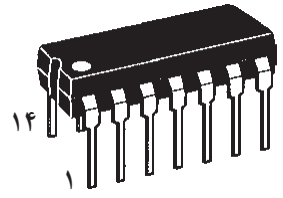
در نقشه‌های دیجیتالی این دروازه را با علایم اختصاری شکل ۲۴ــ۲ نشان می‌دهند.



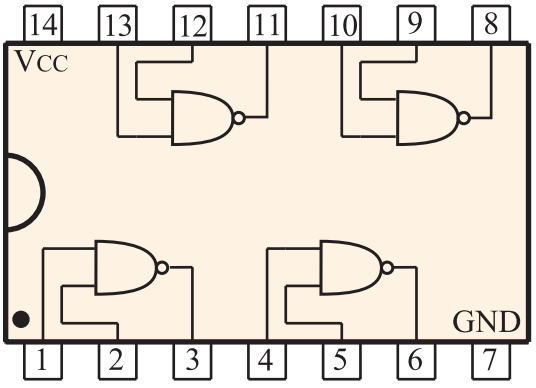
ب ــ استاندارد IEC الف ــ استاندارد آمریکایی

شکل ۲۴ــ۲ــ علایم اختصاری دروازه‌ی NAND

در شکل ۲۵ــ۲ شکل ظاهری IC و دروازه‌های داخل آن‌را مشاهده می‌کنید.



الف



ب

شکل ۲۵ــ۲ــ شکل ظاهری و مدار داخلی یک نمونه IC دروازه‌ی NAND

رابطه‌ی منطقی دروازه‌ی NAND به‌صورت $Y = \overline{A.B}$ است.

۲ــ۵ــ۲ــ دروازه‌ی منطقی NOR ــ «نفی یا» :

عملگر یا دروازه‌ی منطقی NOR به دروازه‌ای گفته می‌شود که خروجی آن زمانی وجود دارد که همه‌ی ورودی‌ها وجود نداشته باشند به‌عبارت دیگر دروازه‌ی NOR از ترکیب دو دروازه OR و NOT به‌وجود می‌آید. در واقع در دروازه NOR ابتدا متغیرها مشابه شکل ۲۶ــ۲ با یکدیگر OR شده و سپس NOT می‌شوند.

شکل ۲۶ــ ۲

جدول صحت دروازه‌ی منطقی NOR مطابق جدول ۱۰ــ۲ است.

جدول ۱۰ــ۲ــ جدول صحت دروازه‌ی OR

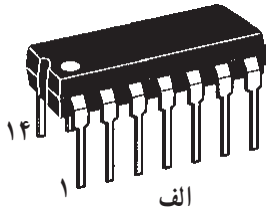
A ورودی	B ورودی	Y خروجی
۰	۰	۱
۰	۱	۰
۱	۰	۰
۱	۱	۰

در نقشه‌های دیجیتالی این دروازه را با علایم اختصاری شکل ۲۷ــ۲ نشان می‌دهند.

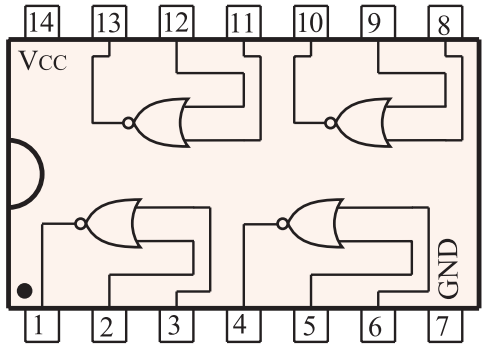
ب) استاندارد IEC الف) استاندارد آمریکایی

شکل ۲۷ــ۲ــ علایم اختصاری دروازه‌ی NOR

در شکل ۲۸ــ۲ــ شکل ظاهری IC و دروازه‌های داخل آن را مشاهده می‌کنید.



الف



ب

شکل ۲۸ــ۲ شکل ظاهری و مدار داخلی یک نمونه IC دروازه‌ی NOR

رابطه‌ی منطقی دروازه‌ی NOR به‌صورت $Y = \overline{A + B}$ است.

۳ــ۵ــ۲ــ دروازه‌ی منطقی ــ OR انحصاری (Exclusive OR-XOR):

این عملگر یا دروازه منطقی فقط دارای دو ورودی و یک خروجی است. خروجی این دروازه منطقی زمانی وجود دارد (در وضعیت یک قرار می گیرد) که دو ورودی آن با هم برابر نباشند یا به عبارتی دیگر دو ورودی در سطح منطقی مشابه نباشند. (دو ورودی مخالف باشند)

جدول ۱۱ــ۲ جدول صحت دروازه‌ی منطقی OR انحصاری (XOR) را نشان می‌دهد.

با توجه به جدول صحت این دروازه‌ی تابع منطقی آن را به‌صورت زیر می‌توان نوشت :

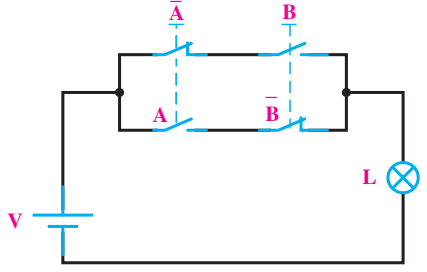
$$Y = \bar{A}B + A\bar{B}$$

جدول ۱۱ــ۲ــ جدول صحت دروازه‌ی XOR

A ورودی	B ورودی	Y خروجی
۰	۰	۰
۰	۱	۱
۱	۰	۱
۱	۱	۰

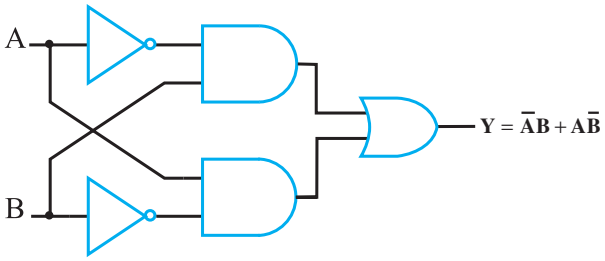
این تابع را به‌اختصار به‌صورت $Y = A \cdot B$ نیز نشان می‌دهند.

برای رسم مدار کلیدی این دروازه به این نکته می‌بایست توجه کرد که برای متغیر A در مدارهای کلیدی یک کنتاکت باز رسم می‌شود و برای متغیر $\bar{A}$ یک کنتاکت بسته باید رسم کرد چرا که $\bar{A}$ نفی متغیر A است و نفی کنتاکت باز نیز کنتاکت بسته خواهد شد. بر همین اساس مدار کلیدی دروازه‌ی XOR را به‌صورت شکل ۲۹ــ۲ می‌توان رسم کرد.



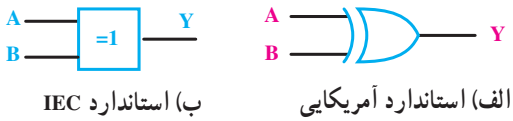
شکل ۲۹ــ۲ــ مدار کلیدی دروازه XOR

مدار معادل منطقی دروازه‌ی XOR با استفاده از دروازه‌های منطقی پایه به‌صورت شکل ۳۰ــ۲ است.



شکل ۳۰ــ۲

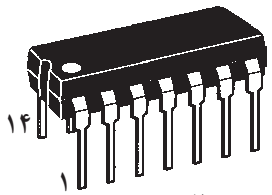
در نقشه‌ها و مدارهای منطقی دروازه‌ی XOR را با علایم اختصاری مشابه شکل ۳۱ــ۲ نشان می‌دهند.



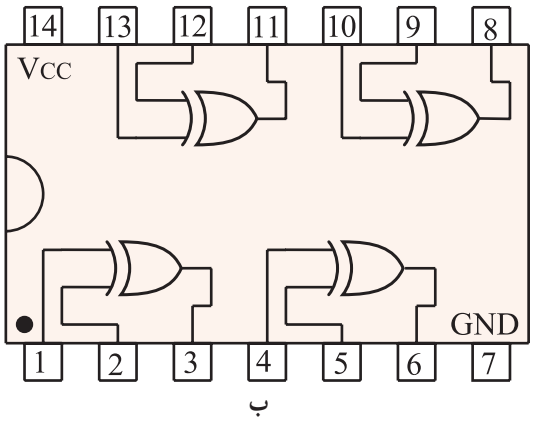
الف) استاندارد آمریکایی ب) استاندارد IEC

شکل ۳۱ــ۲ــ علایم اختصاری دروازه‌ی XOR

در شکل ۳۲ــ۲ شکل ظاهری IC و دروازه‌های داخل آن‌را مشاهده می‌کنید.



الف



ب

شکل ۳۲ــ۲ــ شکل ظاهری و مدار داخلی یک نمونه IC دروازه‌ی XOR

۴ــ۵ــ۲ــ دروازه‌ی منطقی NOR انحصاری (EXCLUSIVE NOR – XNOR):

این دروازه‌ی منطقی نیز مشابه دروازه‌ی XOR فقط دارای دو ورودی و یک خروجی است. خروجی آن هنگامی وجود دارد (در وضعیت یک قرار می‌گیرد) که هر دو ورودی یکسان باشند یا به‌عبارتی دیگر هر دو ورودی در سطح منطقی مشابه باشند (دو ورودی برابر باشند) جدول ۱۲ــ۲ جدول صحت دروازه‌ی منطقی NOR انحصاری (XNOR) را نشان می‌دهد.

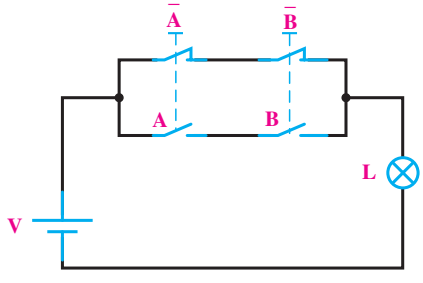
جدول ۱۲ــ۲ــ جدول صحت دروازه‌ی XNOR

A ورودی	B ورودی	Y خروجی
۰	۰	۱
۰	۱	۰
۱	۰	۰
۱	۱	۱

براساس جدول صحت این دروازه تابع منطقی آن را به‌صورت زیر می‌توان نوشت : $Y = \overline{A}\,\overline{B} + AB$

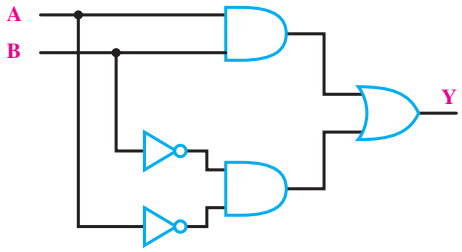
این تابع را به‌اختصار به‌صورت $Y = A \odot B$ نیز نشان می‌دهند.

بر پایه‌ی مطلب اشاره شده در دروازه‌ی XOR مدار کلیدی دروازه‌ی XNOR را به‌صورت شکل ۳۳ــ۲ می‌توان رسم کرد.



شکل ۳۳ــ۲

مدار معادل منطقی دروازه‌ی XNOR با استفاده از دروازه‌های منطقی پایه به‌صورت شکل ۳۴ــ۲ است.



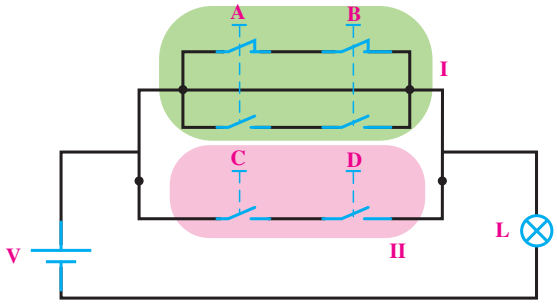
شکل ۳۴ــ۲

در نقشه‌ها و مدارهای منطقی دروازه‌ی XNOR را با علایم اختصاری شکل ۳۵ــ۲ نشان می‌دهند.

ب) استاندارد IEC　　الف) استاندارد آمریکایی

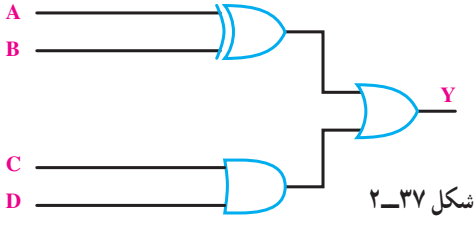
شکل ۳۵ــ۲ــ علایم اختصاری دروازه منطقی XNOR

مثال ۲: مدار منطقی شکل ۳۶ــ۲ را رسم کنید.



شکل ۳۶ــ۲

حل: همانطوری‌که از مدار کلیدی مشخص است قسمت I مدار کلیدی دروازه XOR و قسمت II مدار کلیدی دروازه AND است که با یک‌دیگر به‌صورت موازی (OR) شده‌اند، پس مدار منطقی آن را به‌صورت شکل ۳۷ــ۲ می‌توان رسم کرد.



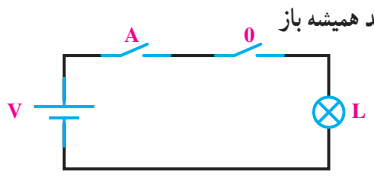
شکل ۳۷ــ۲

۶ــ۲ــ اتحادهای ساده‌ی منطقی

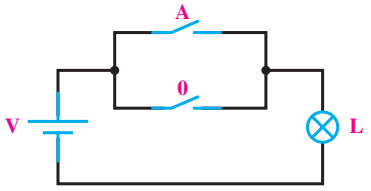
بنای طراحی مدارات منطقی بر مجموعه‌ای از اصول و تئوری‌ها استوار است که توسط شخصی به نام جرج بول تحت عنوان جبر منطقی و به‌صورت یک سری اتحادهای ساده منطقی بیان گردید. برای تشریح این اتحادها از روش کلیدی و بدون این‌که وارد بحث ریاضی آن شویم استفاده شده است.

۱ــ الف) $A.O = O$

کلید همیشه باز — کلید با قابلیت قطع و وصل — مدار سری — لامپ خاموش

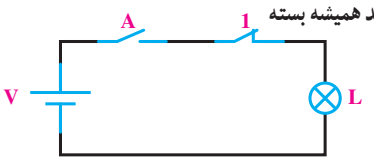


۱ــ ب) $A + O = A$



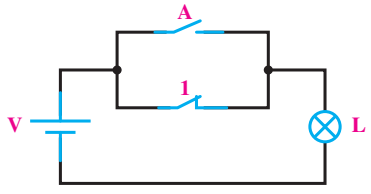
۲ــ الف) $A.1 = A$

کلید همیشه بسته

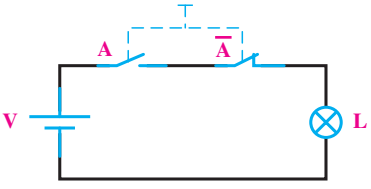


۲ــ ب) $A + 1 = 1$

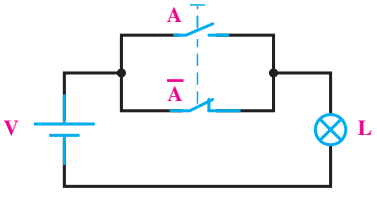
کلید همیشه بسته — کلید با قابلیت قطع و وصل — مدار موازی — لامپ روشن



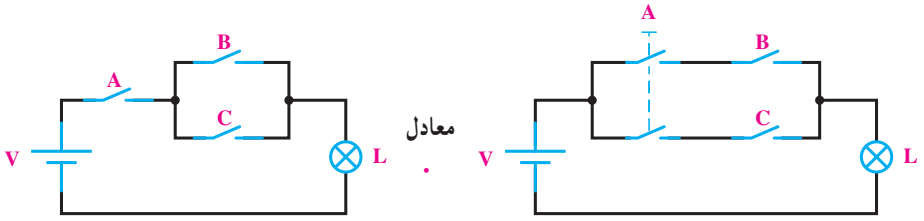
۳ــ الف) $A.\overline{A} = 0$



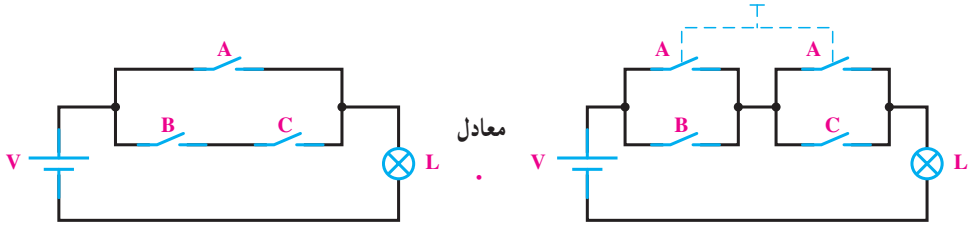
۳ــ ب) $A + \overline{A} = 1$



۴ــ الف) $A.(B+C)=AB+AC$



۴ــ ب) $A+B.C=(A+B).(A+C)$



۵ ــ قانون دمورگان

$$\overline{A+B}=\overline{A}.\overline{B}$$
$$\overline{A.B}=\overline{A}+\overline{B}$$

مثال ۳: مدار منطقی (دیجیتالی) را به‌عنوان مدار فرمان در یک سیستم صنعتی طوری طراحی کنید که هرگاه یک‌فاز یا دو فاز از سه‌فاز ورودی قطع شوند سیستم مدار را قطع کرده و زنگ هشدار را به‌صدا درآورد.

توضیح: اگر هر سه فاز قطع باشد چون جریانی به موتور نمی‌رسد و موتور کار نمی‌کند ؛ زنگ هشداردهنده نیز می‌بایست خاموش باشد.

تذکر: در تشکیل جدول صحت و رسم مدار برای خلاصه‌نویسی به‌جای L۱، L۲، L۳ از R، S و T برای نشان‌دادن فازها استفاده شده است.

حلّ: جدول صحت سیستم مورد نظر را با توجه به خواسته‌های مسأله به‌صورت جدول ۱۳ــ۲ می‌توان نوشت. برای حل مسأله ورودی‌های مدار را (متغیرهایی که معرف هر فاز هستند) در نظر می‌گیریم و خروجی مدار متغیری در نظر گرفته می‌شود که باید فرمان قطع کار موتور و به‌صدا درآمدن زنگ را به‌عهده داشته باشد.

جدول ۱۳ــ ۲

شرح مدار	خروجی	ورودی‌ها		
	Y	T	S	R
سه فاز قطع	۰	۰	۰	۰
دو فاز قطع	۱	۱	۰	۰
دو فاز قطع	۱	۰	۱	۰
یک فاز قطع	۱	۱	۱	۰
دو فاز قطع	۱	۰	۰	۱
یک فاز قطع	۱	۱	۰	۱
یک فاز قطع	۱	۰	۱	۱
سه فاز وصل	۰	۱	۱	۱

همان‌گونه که در جدول ۱۳ــ۲ مشاهده می‌شود مواردی که سیستم دارای یک یا دو فاز قطع است زمانی است که باید خروجی سیستم (۱) شود و مدار عمل نماید. با توجه به جدول ۱۳ ــ ۲ مشاهده می‌شود مدار باید در شش حالت عمل نماید.

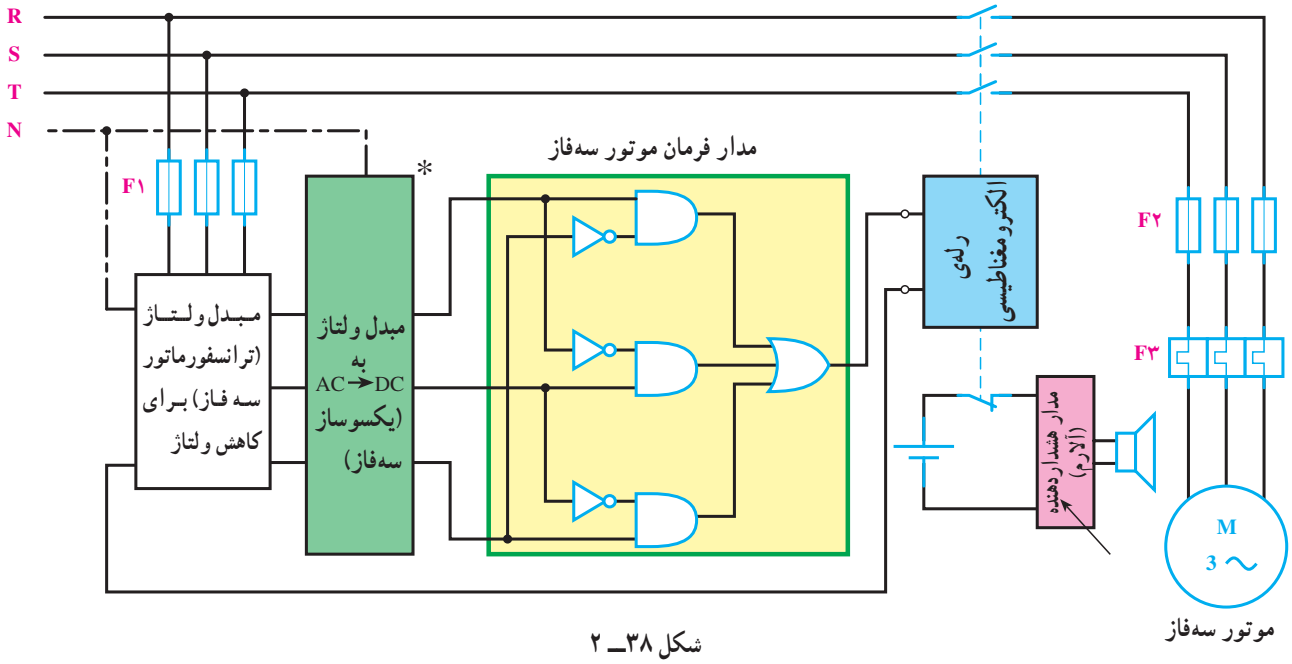
برای رسم مدار رابطه‌ی منطقی Y را برای سطرهای خروجی که «۱» است، براساس متغیرهای ورودی مانند رابطه‌ی زیر می‌نویسیم :

$$Y = \overline{R}ST + R\overline{S}T + RS\overline{T} + R\overline{S}\overline{T} + \overline{R}S\overline{T} + RST$$

با توجه به رابطه‌ی به‌دست آمده و استفاده از عملگرهای منطقی «AND»، «OR» و «NOT» می‌توان مدار را طرح نمود.

در صورتی‌که از عوامل مشترک فاکتور بگیریم عبارت منطقی خروجی به‌صورت زیر ساده خواهد شد.

$$Y = \overline{R}T(S+\overline{S}) + S\overline{T}(R+\overline{R}) + R\overline{S}(T+\overline{T})$$
$$\qquad\qquad ① \qquad\qquad ① \qquad\qquad ①$$
$$Y = \overline{R}T + S\overline{T} + R\overline{S}$$



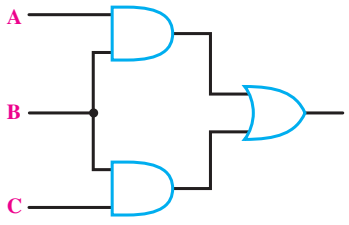
شکل ۳۸ــ ۲

* در فصول بعد با اصول کار مدارهای یکسوساز آشنا خواهید شد.

مثال ۴: با توجه به مدار منطقی شکل ۳۹ــ ۲ مطلوبست :

الف ــ به‌دست آوردن تابع منطقی،

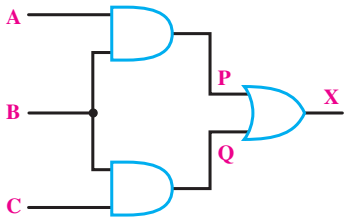
ب ــ رسم مدار کلیدی.



شکل ۳۹ــ ۲

حلّ: ابتدا مطابق شکل ۴۰ــ۲ ورودی و خروجی هر مرحله را نام‌گذاری می‌کنیم ؛ سپس روابط مربوط به هر مرحله را می‌نویسیم :

$$\begin{cases} P = A.B \\ Q = B.C \\ X = P + Q \end{cases} \quad . \quad X = AB + BC$$



شکل ۴۰ــ ۲

با توجه به عبارت به‌دست‌آمده برای X مدار کلیدی آن‌را به‌صورت شکل ۴۱ ــ۲ــ الف و شکل ۴۱ ــ۲ــ ب رسم می‌کنیم.

شکل ۴۱ــ ۲

مثال ۵: مدار منطقی تابع داده‌شده F را پس از ساده‌سازی رسم کنید.

$$F = \overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C} + \overline{A}\,\overline{B}C + \overline{A}BC + AB\overline{C} + A\overline{B}\,\overline{C} + A\overline{B}C$$

حل: با کمی دقت در تابع داده‌شده می‌توان مشاهده کرد جملات ①و②، ③ و④، ⑤ و⑥دارای متغیرهای مشترکی هستند که با استفاده از اتحاد منطقی ۴ــ الف می‌توان به‌صورت زیر عمل فاکتورگیری را انجام داد.

$$F = \underset{①}{\overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C}} + \underset{②}{\overline{A}\,\overline{B}C} + \underset{③}{\overline{A}BC} + \underset{④}{AB\overline{C}} + \underset{⑤}{A\overline{B}\,\overline{C}} + \underset{⑥}{A\overline{B}C}$$

$$F = \overline{A}\,\overline{B}\,(\overline{C} + C) + B(\overline{A}C + A\overline{C}) + A\overline{B}(\overline{C} + C)$$

$$F = \underline{\overline{A}\,\overline{B}} + B(\overline{A}C + A\overline{C}) + \underline{A\overline{B}}$$

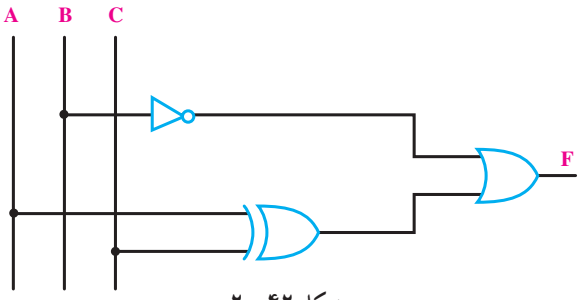
$$F = \overline{B}(\overline{A} + A) + B(\overline{A}C + A\overline{C})$$

$$F = \underline{\overline{B}} + B(\underline{\overline{A}C + A\overline{C}})$$

حال با توجه به اتحاد منطقی ۴ــ ب می‌توان نوشت :

$$F = (\overline{B} + B)(\overline{B} + \overline{A}C + A\overline{C})$$

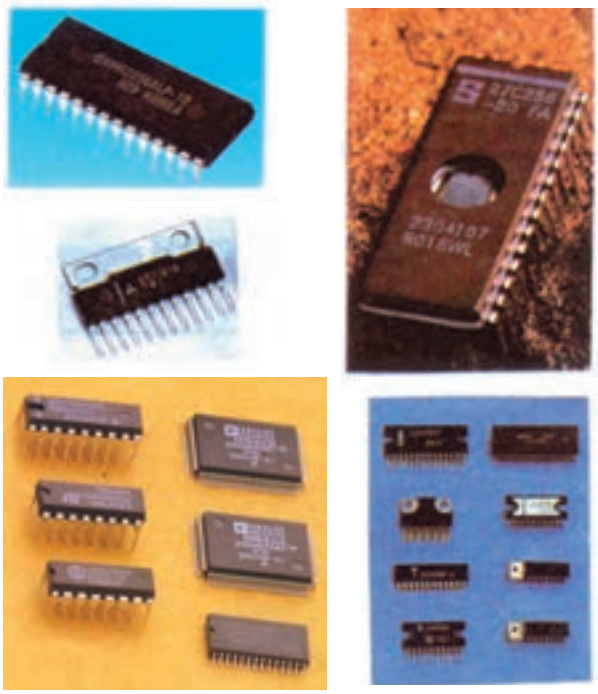
$$F = \overline{B} + \overline{A}C + A\overline{C} = \overline{B} + A\,.\,C$$



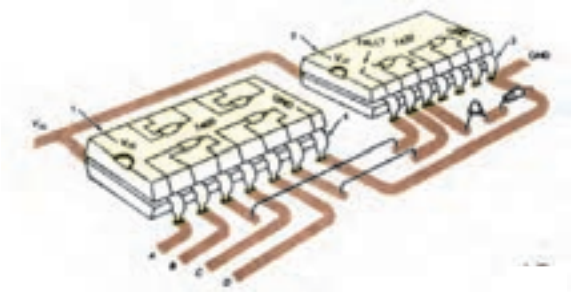
شکل ۴۲ــ ۲

۲ــ۷ ــ شکل ظاهری و مدار داخلی چند آی‌سی

عملگر یا دروازه‌های منطقی «AND»، «OR» و «NOT» در عمل به‌گونه‌ای که آن‌ها را به‌صورت مستقل در مدارهای منطقی رسم می‌کنیم وجود ندارند بلکه در «مجموعه‌های بسته‌بندی[1]» شده‌ای تحت عنوان «مدارهای مجتمع» یا «آی سی ــ IC»[2] قرار دارند. در شکل ۴۳ــ۲ شکل ظاهری چند IC و در شکل ۴۴ــ ۲ تصویر برش‌خورده‌ی یک IC نشان داده شده است.



شکل ۴۳ــ۲ ــ تصویر چند نمونه IC



شکل ۴۴ــ۲ــ نحوه قرار دادن دو نمونه آی‌سی روی بُرد مدار چاپی

۱ــ Package

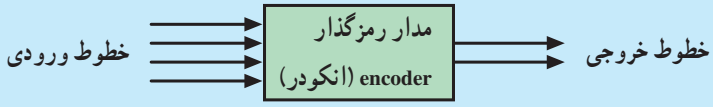
۲ــ Integrated Circuit

۸ــ۲ ــ مدارهای ترکیبی

در بحث دیجیتال مداراتی هستند که از تعدادی دروازه‌های منطقی تشکیل شده‌اند و در هر لحظه از زمان خروجی آن‌ها به‌طور مستقیم به ورودی‌های آن در همان لحظه بستگی دارد و وضعیت ورودی‌ها و خروجی‌های قبلی هیچ تأثیری در وضعیت فعلی مدار ندارد.

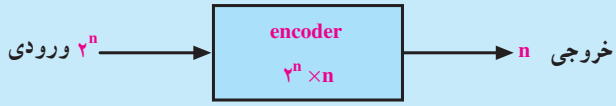
از جمله‌ی این مدارات می‌توان به این موارد اشاره کرد :

۱ــ۸ــ۲ ــ مدارهای رمزکننده (انکودر ــ encoder): انکودرها مداراتی هستند که به‌منظور کدگذاری اطلاعات ورودی در داخل سیستم‌های دیجیتالی استفاده می‌شوند. در واقع یک سیگنال، ورودی فعال را به کدهای صفر و یک در خروجی‌اش تبدیل می‌کند. در شکل ۴۵ــ۲ بلوک دیاگرام کلی از مدارات رمزگذار نشان داده شده است.



شکل ۴۵ــ۲

در یک مدار رمزگذار اگر n متغیر موجود باشد، در این‌صورت ۲^n خط ورودی و n خط خروجی در اختیار خواهد بود. نمونه‌ی کاربردی این مدارات را می‌توان در ماشین‌حساب‌ها، صفحه کلید کامپیوتر یا سیستم‌های مخابراتی (تلفن) نام برد. در شکل ۴۶ــ ۲ علامت اختصاری این مدارات را می‌توان مشاهده کرد.



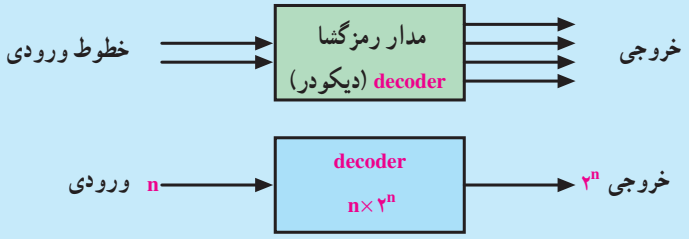
شکل ۴۶ــ۲

۲ــ۸ــ۲ــ مدارهای رمزگشا (دیکودر ــ decoder): چنان‌که اشاره شد در وسایل دیجیتالی، مانند ماشین‌حساب یا کامپیوتر اطلاعات ورودی توسط مدارات رمزگذار به‌صورت کد «۰» و «۱» تبدیل می‌شوند.

بیان مقادیر و پارامترها به‌صورت کدهای «۰» و «۱» در کارهای روزمره برای ما قابل فهم نیست ؛ از این‌رو در وسایل دیجیتالی از مدارات دیگری تحت‌عنوان مدارات «رمزگشا» یا «دیکودر» نیز استفاده می‌شود. در واقع مدارات رمزگشا عمل تبدیل کدهای «۰» و «۱» به سیستم کاری ما (آنالوگ) را انجام می‌دهند.

دیکودرها می‌توانند تا n متغیر ورودی داشته باشند و در خروجی حداکثر آن‌ها را تا ۲^n خط متفاوت تبدیل کنند. در خروجی مدارات دیکودر نیاز به نشان‌دهنده‌هایی مانند قطعات هفت‌قسمتی (Seven Segment) است که بتوان خروجی این مدارات را مشاهده کرد. عملکرد مدارات دیکودر را می‌توان عکس عمل مدارات

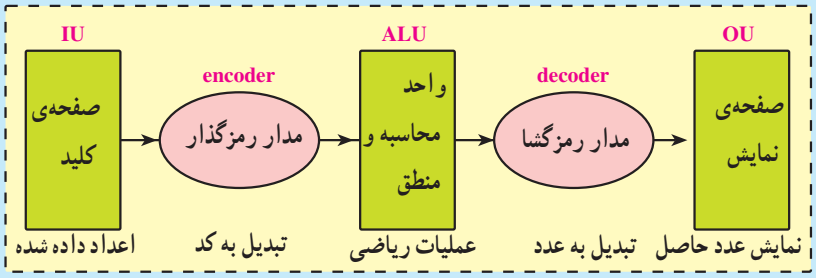
انکودر دانست. در شکل ۴۷ــ ۲ بلوک کلی به همراه علامت اختصاری این مدارات را می‌توان مشاهده نمود.



شکل ۴۷ــ۲

در پایان بحث نمونه‌ی کاربردی را می‌توان نام برد که در آن از مدارات رمزگذار و رمزگشا استفاده شده است. ماشین حساب از جمله‌ی این وسایل است. در ماشین‌حساب وقتی به‌وسیله‌ی صفحه‌کلید عددی داده می‌شود، این عدد در داخل ماشین‌حساب توسط مدارات انکودر (رمزگذار) به کدهای صفر و یک تبدیل می‌شود یا وقتی که ماشین حساب حاصل عبارت را نمایش می‌دهد در واقع عمل تبدیل در داخل آن صورت گرفته که وظیفه مدارات دیکودر (رمزگشا) است.

مجموعه‌ی این فرآیندها در شکل ۴۸ــ ۲ و ۴۹ــ ۲ نشان داده شده است.



شکل ۴۸ــ۲ــ بلوک دیاگرام کلی ماشین حساب

شکل ۴۹ــ۲

۳ــ۸ ــ۲ــ واحد حافظه (memory): حافظه‌ها نمونه‌ای از مدارهای مهم در دیجیتال هستند.

این مدارها دارای ویژگی‌هایی هستند که به‌اختصار بیان شده است.

الف ــ قابلیت ثبت و ذخیره‌سازی اطلاعات ورودی را دارند.

ب ــ قابلیت انتقال اطلاعات ثبت شده را دارند.

ج ــ قابلیت تغییر اطلاعات ثبت شده در آن‌ها وجود دارد.

این‌گونه مدارها اطلاعات «۰» و «۱» را به‌صورت ترتیبی دریافت کرده و ثبت می‌کنند.

از جمله ویژگی‌های دیگر این مدارها آن است که نه‌تنها به وضعیت ورودی‌های مدار (صفر و یک بودن آن‌ها) وابسته است، بلکه به‌وضعیت‌های قبلی (صفر و یک‌های موجود در مدار) نیز وابسته هستند و مقادیر آنها در تعیین وضعیت خروجی نقش دارند. حافظه‌های مدارهای منطقی «فلیپ فلاپ» (FF) نام دارند. در شکل ۵۰ــ۲ بلوک (وضعیت نموداری) فلیپ فلاپ رسم شده است.

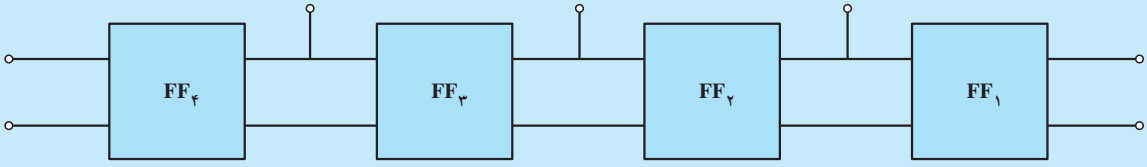
شکل ۵۰ ــ۲ــ نمودار فلیپ‌فلاپ

۹ ــ۲ــ ثبت کننده (رجیستر: Register)

در مدارات دیجیتالی چون با رقم‌های صفر و یک سر و کار داریم برای نوشتن (ثبت) آن‌ها در فضای حافظه لازم است تا جای خالی در حافظه پیش‌بینی شده باشد. به‌طور کلی هر مدار فلیپ‌فلاپ می‌تواند محل ذخیره‌سازی یک رقم (صفر یا یک) باشد. مدارات دیجیتالی خاصی که برای این‌منظور استفاده می‌شوند به مدارات «ثبت‌کننده» یا «رجیستر» معروف هستند.

به‌منظور ذخیره کردن چند صفر و یک در مدارات دیجیتالی مدارات رجیستری که از چند فلیپ‌فلاپ تشکیل شده‌اند به‌کار می‌روند. مدارات رجیستر یک نمونه از شکل‌های کاربردی مدارات فلیپ‌فلاپ هستند.

در شکل ۵۱ ــ۲ بلوک کلی از نحوه‌ی اتصال چند فلیپ فلاپ نشان داده شده است.



شکل ۵۱ــ۲ ــ بلوک دیاگرام کلی

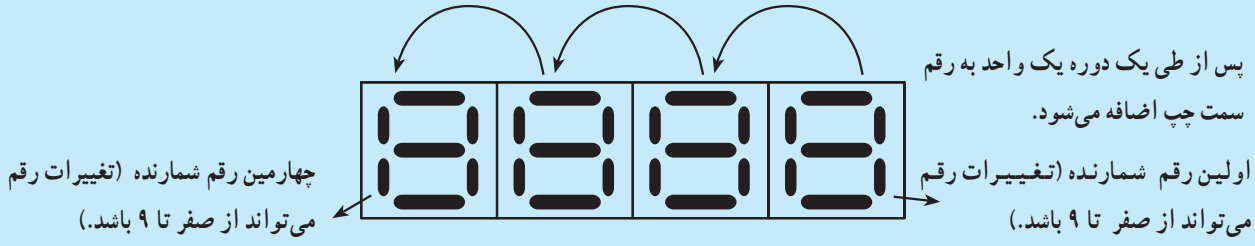
فلیپ‌فلاپ‌ها باید به‌گونه‌ای به‌هم متصل شوند که اعداد صفر و یک قادر به ورود یا خروج از رجیسترها باشند ؛ پس به‌طور خلاصه مجموعه‌ای از فلیپ‌فلاپ‌های متصل به‌هم که قادر به انتقال و ثبت اطلاعات هستند «شیفت‌رجیستر[۱]» نام دارند.

۱ــ Shift Register

۱۰ــ ۲ــ شمارنده (Counter)

مداری که قادر است با دریافت فرمان از صفر تا عددی یا از عددی خاص تا صفر را شمارش نماید شمارنده یا «کانتر» نام دارد مانند : کورنومتر یا ساعت دیجیتالی.

براساس تعبیری دیگر می‌توان شمارنده را چنین معرفی کرد ؛ شمارنده در واقع ثبات یا رجیستری است که به‌محض دریافت یک سیگنال ورودی عمل شمارش را شروع می‌کند ؛ سپس با رسیدن سیگنال بعدی تغییر کرده و یک واحد بیش‌تر را می‌شمارد. این عمل را تا رسیدن به سیگنال آخر ادامه می‌دهد. در شمارنده دو یا چندرقمی، بعد از پایان شمارش رقم اول تا ۹ یک واحد به رقم سمت‌چپ اضافه شده و عمل شمارش مجدداً تکرار می‌شود (شکل ۵۲ــ ۲).



شکل ۵۲ــ ۲

در شکل ۵۳ــ۲ نمونه‌ای از وسایل شمارنده را مشاهده می‌کنید.

شکل ۵۳ــ۲

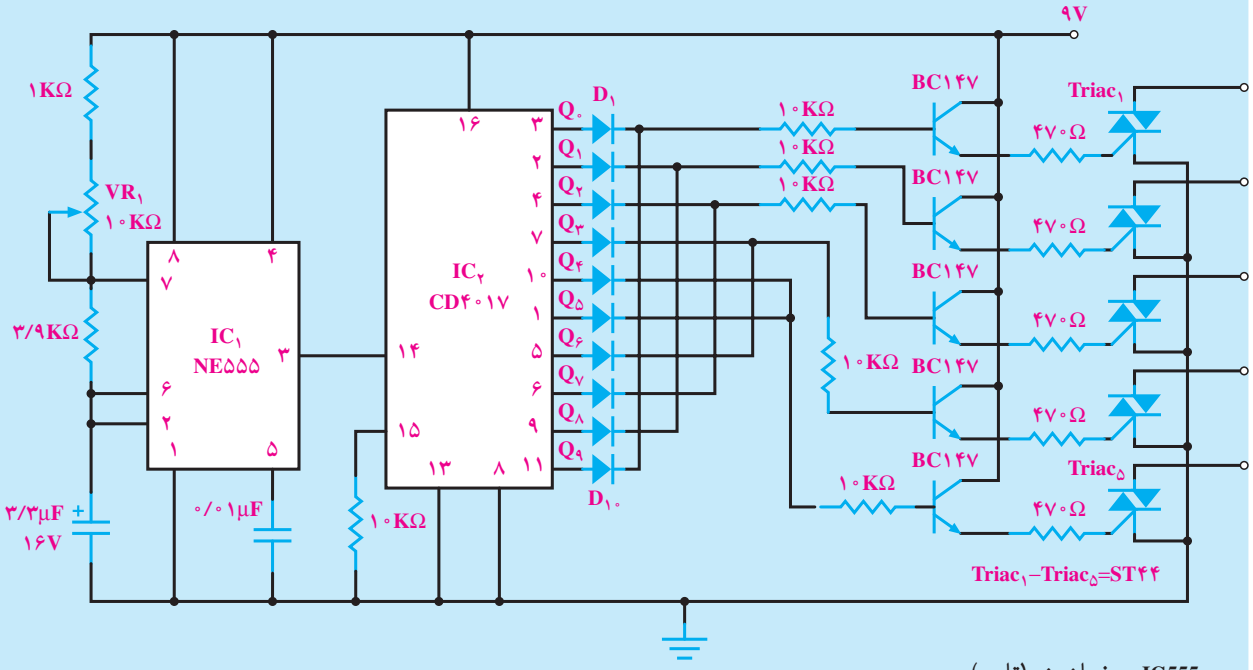
مدارات شمارنده در شکل کاربردی به دوصورت : «صعودی» و «نزولی» وجود دارند.

«شمارنده‌ی صعودی»، شمارنده‌ای است که اعداد را از کم به زیاد می‌شمارد.

«شمارنده‌ی نزولی»، شمارنده‌ای است که اعداد را از زیاد به کم شمارش می‌کند.

یک نمونه مدار دیجیتالی

در شکل ۵۴ــ ۲ مدار رقص‌نوری نشان داده شده است که در آن از دو IC به شماره‌های «NE555» و «CD4017»، هم‌چنین ترانزیستورهای BC147 و ترایاک‌هایی با مشخصه‌ی ST44 استفاده گردیده است. خروجی ترایاک‌ها را می‌توان به LED یا لامپ کم‌وات متصل نمود و از این مدار برای رقص نور استفاده کرد.



IC555 ــ زمان‌سنج (تایمر)

IC4017 ــ مقسم فرکانس (با نسبت ۱/۰)

BC147 ــ به‌صورت سوییچ راه‌انداز گیت ترایاک‌ها

شکل ۵۴ــ ۲ ــ مدار رقص نور

پرسش

۱ــ سیستم‌های آنالوگ و دیجیتال را با رسم شکل موج توضیح دهید.

۲ــ منظور از سطوح ولتاژ و سطوح منطقی چیست؟

۳ــ دروازه‌ی منطقی AND را تعریف کرده، جدول صحت آن‌را بنویسید.

۴ــ دروازه‌ی منطقی OR را تعریف کرده، جدول صحت آن‌را بنویسید.

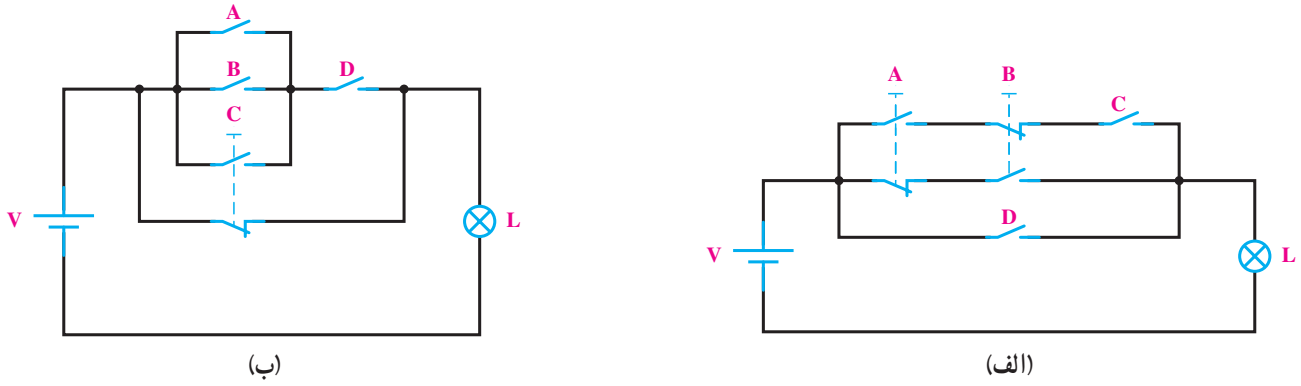
۵ ــ دروازه‌ی منطقی NOT را تعریف کرده، جدول صحت آن‌را بنویسید.

۶ــ جدول وضعیت و مدار کلیدی هریک از دروازه‌های منطقی زیر را رسم کنید.

الف ــ AND ب ــ OR ج ــ NOT

۷ــ مدار دو متغیره‌ای را به‌گونه‌ای طراحی کنید که اگر فقط یکی از ورودی‌های آن وجود داشت خروجی وجود داشته باشد (یک باشد).

۸ ــ هریک از مدارهای کلیدی شکل ۵۵ــ۲ را تحلیل کرده، تابع منطقی آن‌را به دست آورید.



(ب) (الف)

شکل ۵۵ ــ ۲

۹ــ هریک از توابع زیر را در نظر گرفته، خواسته‌های زیر را انجام دهید :

الف ــ معادل کلیدی هر تابع را رسم کنید.

ب ــ معادل منطقی یا دروازه‌ی عبارت‌های مقابل را رسم کنید.

الف) $F = A + BCD$

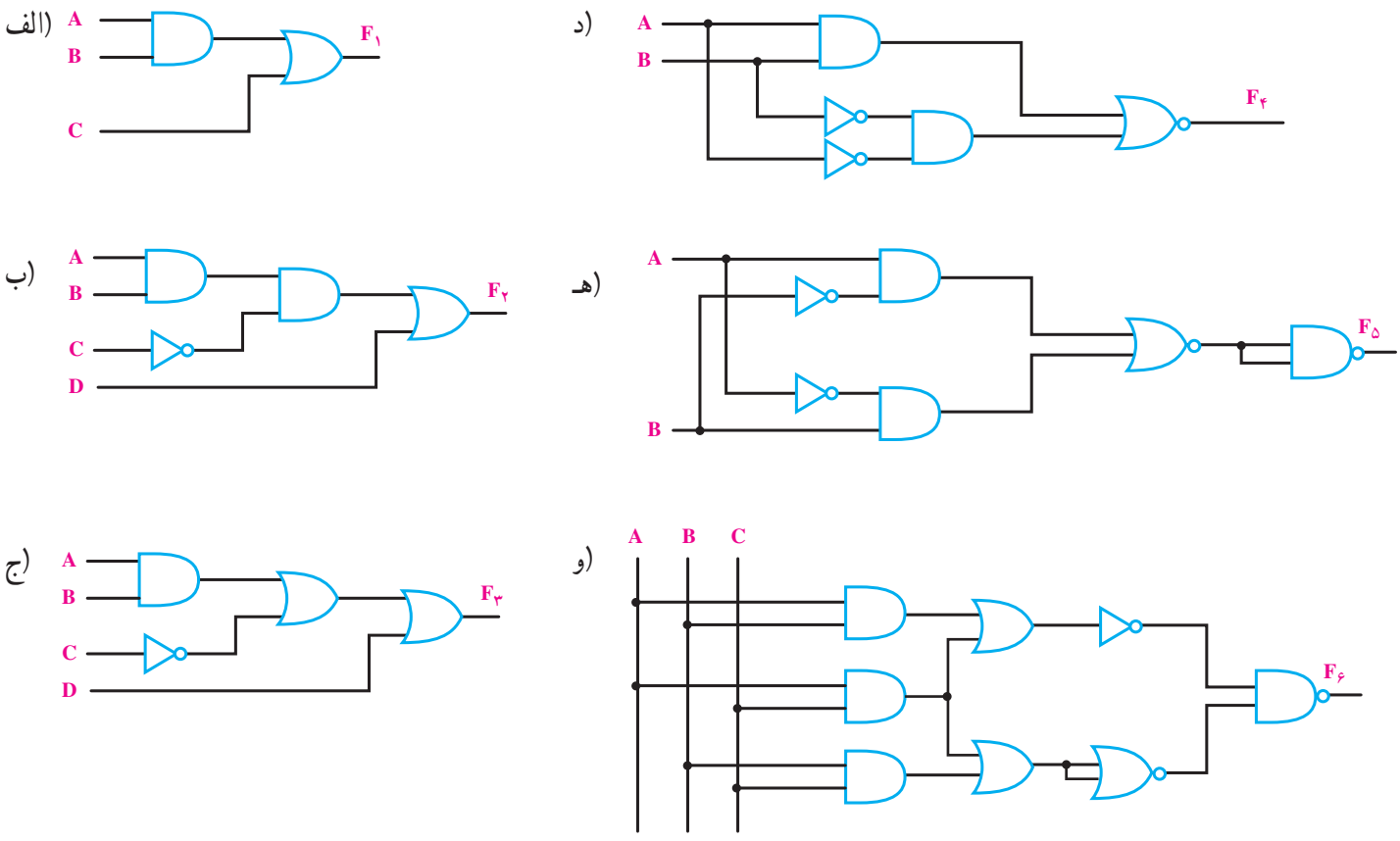
ب) $F = A(B + C) + \overline{A}$

ج) $F = A + BC + \overline{D}$

۱۰ــ مدارهای منطقی شکل ۵۶ــ۲ را تحلیل نموده و به سؤالات زیر پاسخ دهید.

الف ــ تابع منطقی خروجی‌های F_1 ، F_2 ، F_3 ، F_4 ، F_5 و F_6 را به‌دست آورید.

ب ــ مدار کلیدی هریک از تمرین‌های الف، ب، ج را رسم کنید.



شکل ۵۶ ــ ۲

۱۱ــ مدار کلیدی هریک از دروازه‌های زیر را رسم کنید.

الف ــ NAND ب ــ NOR

۱۲ــ با در نظر گرفتن تابع منطقی داده شده زیر :

$$F_1 = \overline{A}BC + A\overline{B}\overline{C} + A\overline{B}C + ABC$$

الف ــ مدار منطقی را به‌طور کامل و براساس تابع F_1 رسم کنید.

ب ــ تابع داده شده F_1 را بر پایه اتحادهای منطقی داده شده در کتاب ساده کنید و سپس مدار منطقی ساده شده را ترسیم نمایید.

۱۳ــ مداری را طرح کنید که خروجی آن تابع رأی اکثریت یک هیئت داوری سه‌نفری باشد.

۱۴ــ با استفاده از قانون دمورگان معادل هر یک از عبارات منطقی زیر را بدست آورده و مدار منطقی آن ها را در استاندارد IEC رسم کنید.

الف) $F_1 = \overline{\overline{AB} + C}$ ب) $F_2 = \overline{A \,.\, B}$

فصل سوم

دیود نیمه‌هادی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ عناصر را از نظر هدایت الکتریکی بررسی کند.

۲ــ هادی‌ها و عایق‌ها و نیمه‌هادی‌ها را تعریف کند.

۳ــ عناصر گروه چهارم جدول تناوبی (سیلیکن و ژرمانیم) را معرفی کند.

۴ــ هدایت الکتریکی در نیمه‌هادی‌های سیلیکن و ژرمانیم را شرح دهد.

۵ ــ نحوه‌ی افزایش هدایت در نیمه‌هادی‌های Si و Ge را توضیح دهد.

۶ــ نیمه‌هادی نوع P و N را تشریح کند.

۷ــ اتصال P و N را به‌عنوان یک دیود شرح دهد.

۸ ــ دیود را به‌منزله‌ی یک کلید الکترونیکی ایده‌آل معرفی کند.

۹ــ چگونگی آزمایش و سالم بودن دیود را به کمک اهم‌متر شرح دهد.

۱۰ــ پارامترهای مهم در دیود (مقادیر حد) را شرح دهد.

۱۱ــ مشخصات دیود را از روی برگه‌ی مشخصات بخواند.

۱۲ــ کاربرد دیود را در یک‌سوسازی جریان متناوب به‌صورت نیم‌موج و تمام موج شرح دهد.

۱۳ــ مدار یک منبع تغذیه با ترانسفورماتور، یک‌سوساز و خازن صافی را رسم کند.

۱۴ــ دیود زنر و کاربرد آن در تثبیت ولتاژ را توضیح دهد.

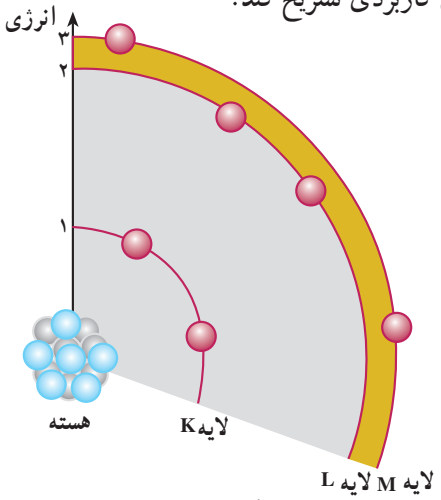
۱۵ــ دیود نوردهنده (LED) را شرح دهد.

۱۶ــ کاربرد LED در نمایش اعداد و وضعیت کار سیستم‌ها را بیان کند.

۱۷ــ نقش دیود، آی سی رگولاتور و ... را در چند مثال کاربردی تشریح کند.

۱ــ۳ــ هدایت الکتریکی اجسام

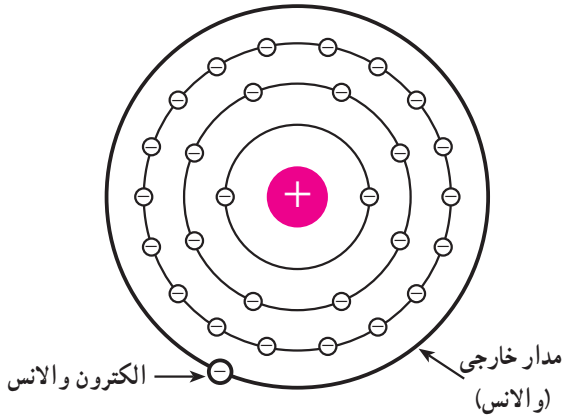
اتم‌های عناصر دارای الکترون‌هایی هستند که در مدارهای مختلف به دور هسته درحال گردش‌اند. الکترون‌هایی که به‌هسته نزدیک‌تر هستند انرژی کم‌تری دارند، اما نیروی واردشده از هسته بر آن‌ها بیش‌تر است و به آسانی نمی‌توان آن‌ها را از اتم جدا کرد. الکترون‌های آخرین مدار دارای انرژی بیش‌تر بوده، اما وابستگی کم‌تری به هسته‌ی اتم دارند. در شکل ۱ــ۳ مشاهده می‌کنید که هرچه فاصله‌ی الکترون از هسته بیش‌تر باشد انرژی آن‌هم بیش‌تر است.



شکل ۱ــ۳

۲ــ۳ــ الکترون‌های ظرفیت یا والانس[1]

آخرین لایه‌ی هر اتم «لایه‌ی ظرفیت» یا «والانس» نام دارد و الکترون‌های این لایه نیز الکترون‌های ظرفیت یا والانس نام دارند. در شکل ۲ــ۳ اتم مس به همراه مدارهای آن، لایه‌ی والانس، هم‌چنین الکترون‌های لایه‌ی والانس نشان داده شده است.



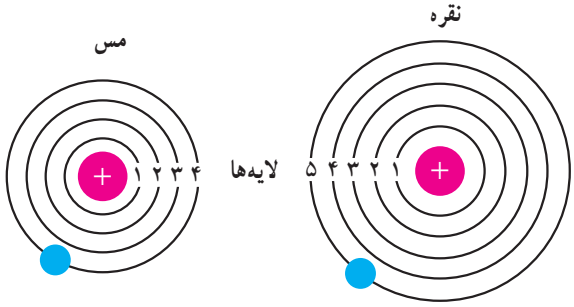
شکل ۲ــ۳

اگر الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت در مدار بزرگی به دورهسته درحال گردش باشند و نیروی جاذبه‌ای که از هسته به این الکترون‌ها وارد می‌شود خیلی ضعیف باشد ــ با انرژی اندکی که از خارج به این الکترون‌ها وارد می‌شود ــ الکترون‌ها از قید هسته آزاد می‌شوند. به الکترونی که از قید هسته آزاد می‌شود «الکترون آزاد» گویند.

خواص شیمیایی و الکتریکی اجسام به الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت عناصر آن جسم بستگی دارد. اجسام موجود در طبیعت از نظر هدایت الکتریکی به سه دسته هادی‌ها، نیمه‌هادی‌ها و عایق‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند.

۳ــ۳ــ هادی‌ها[2]

هادی‌ها اجسامی هستند که الکترون‌های آن‌ها به راحتی از قید هسته آزاد می‌شوند. این اجسام دارای الکترون آزاد زیاد هستند. الکترون‌های آزاد سبب عبور جریان برق می‌شوند. به این اجسام «رسانا» هم گویند. فلزات یک تا سه ظرفیتی هادی‌های خوبی هستند. در شکل ۳ــ۳ ساختمان اتمی دو فلز نقره و مس را که فقط الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت آن‌ها رسم شده است، مشاهده می‌کنید. این فلزات هادی‌های خوبی هستند.

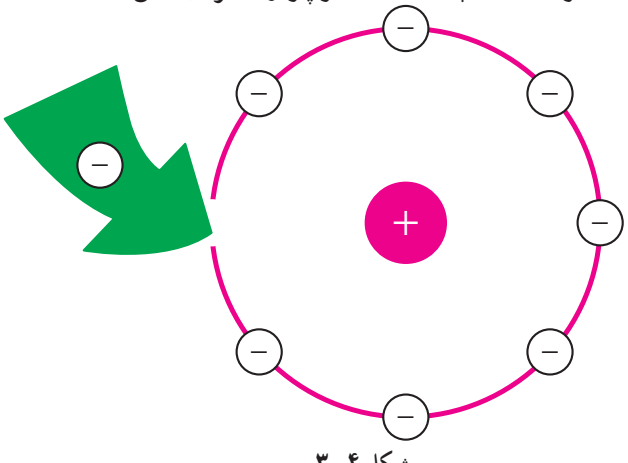


شکل ۳ــ۳

۴ــ۳ــ عایق‌ها[3]

لایه‌ی والانس اتم عایق‌ها معمولاً از ۴ الکترون بیش‌تر و حداکثر ۸ الکترون دارند. چون انرژی به‌کاررفته در اتم‌عایق میان تعداد زیادی الکترون لایه‌ی ظرفیت تقسیم می‌شود، انرژی هر الکترون بسیار ناچیز است. این الکترون‌ها به‌سختی از اتم جدا می‌شوند، پس این اجسام در وضعیت معمولی، الکترون آزاد بسیار کم دارند و از این رو عایق‌ها جریان برق را از خود عبور نمی‌دهند. در شکل ۴ــ۳ لایه‌ی والانس یک اتم عایق نشان داده شده است. این اتم در لایه‌ی والانس ۷ الکترون دارد و با دریافت یک الکترون لایه‌ی والانس آن دارای ۸ الکترون می‌شود و به حالت پایدار درمی‌آید.

هوا، شیشه، پلاستیک، کائوچو و نظایر آن عایق هستند.



شکل ۴ــ۳

۱ــ Valence Electron ۲ــ Conductor ۳ــ Insulator

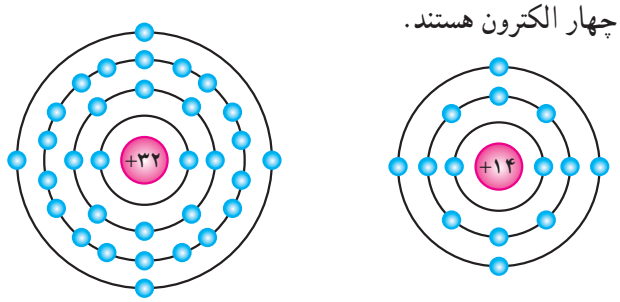
۵ــ۳ــ نیمه‌هادی‌ها[1]

به عناصری که اتم‌های آن در مدار آخر خود چهار الکترون دارند «نیمه‌هادی» گویند. نیمه‌هادی‌ها در صفر مطلق (−۲۷۳ C) تقریباً عایق هستند. در درجه‌ی حرارت معمولی (۲۵ C) انرژی حرارتی محیط باعث آزاد شدن تعدادی از الکترون لایه‌ی ظرفیت می‌شود و هدایت الکتریکی در جسم بالا می‌رود. البته افزودن ناخالصی هم می‌تواند هدایت الکتریکی جسم را بالا ببرد. عناصری نظیر کربن، سیلیکن و ژرمانیم جزء نیمه‌هادی‌ها به‌شمار می‌آیند. دو عنصر نیمه‌هادی سیلیکن و ژرمانیم در برق و الکترونیک کاربرد فراوان دارند.

۶ــ۳ــ ساختمان اتمی سیلیکن و ژرمانیم

سیلیکن دارای عدد اتمی ۱۴ است. یعنی دارای ۱۴ پروتون و ۱۴ الکترون است. ژرمانیم دارای عدد اتمی ۳۲ است. یعنی ۳۲ پروتون و ۳۲ الکترون دارد. در شکل ۵ــ۳، ساختمان اتمی سیلیکن (Si) و ژرمانیم (Ge) نشان داده شده است.

هر دو عنصر سیلیکن و ژرمانیم در لایه‌ی ظرفیت دارای چهار الکترون هستند.



الف ــ سیلیکن　　ب ــ ژرمانیم

شکل ۵ــ۳

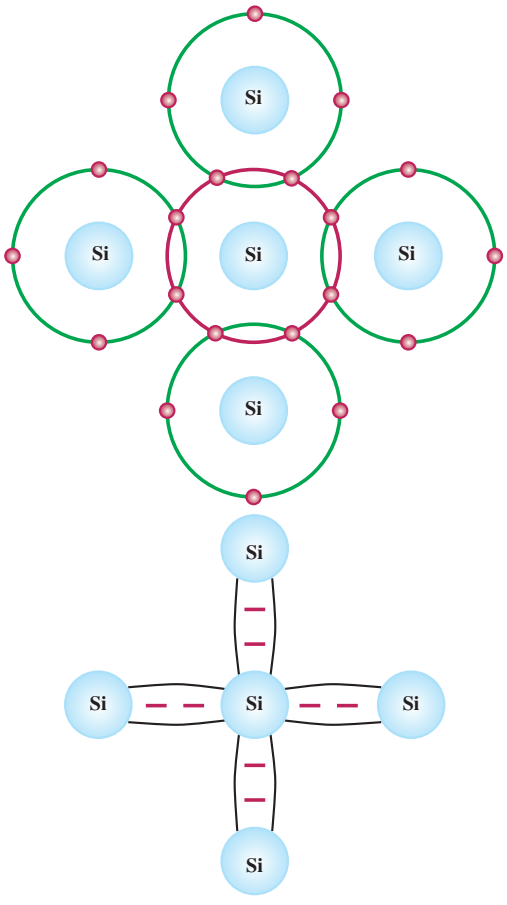
۷ــ۳ــ ساختمان کریستالی سیلیکن و ژرمانیم

وقتی اتم‌های عناصر با نظم خاصی در کنار هم قرار می‌گیرند جسم جامدی را تشکیل می‌دهند که به آن «کریستال» گویند. ژرمانیم و سیلیکن نیز به‌صورت کریستال هستند.

۸ــ۳ــ پیوند اشتراکی (کووالانس)[2] در اتم‌های سیلیکن و ژرمانیم

هرگاه اتمی در مدار آخر خود دارای هشت الکترون باشد مدار آن کامل بوده، ازنظر شیمیایی حالت پایداری پیدا می‌کند. نیمه‌هادی‌ها و عایق‌ها تمایل به‌دریافت الکترون و تکمیل مدار آخر خود دارند.

چون اتم سیلیکن و ژرمانیم در مدار آخر خود چهار الکترون دارند، می‌خواهند مدار آخر خود را کامل کنند؛ برای این‌منظور هر اتم یک الکترون با اتم مجاور به اشتراک می‌گذارد. (الکترون‌های ظرفیت هر اتم علاوه بر این که به دور هسته‌ی خود درگردش هستند، به دور هسته‌ی اتم مجاور هم گردش می‌کنند). این نوع پیوند بین اتم‌ها را «پیوند اشتراکی» یا «کووالانس» گویند. در شکل ۶ــ۳ پیوند اشتراکی بین اتم‌های سیلیکن را مشاهده می‌کنید.

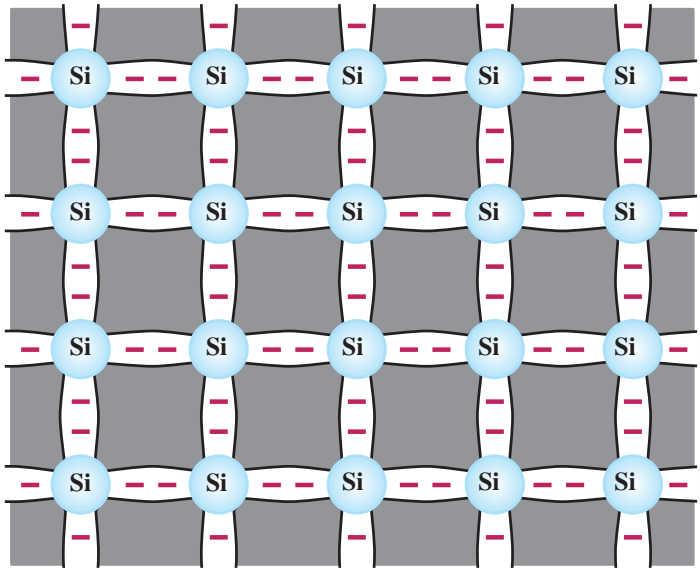


شکل ۶ــ۳

۱ــ Semiconductor = نیمه‌هادی　　۲ــ Covalent Band

البته پیوند بین اتم‌های ژرمانیم نیز مشابه اتم‌های سیلیکن است. چون هر اتم در مدار آخر خود، هشت الکترون دارد دارای حالت پایدار بوده، در صفر مطلق کریستال سیلیکن و ژرمانیم الکترون آزاد ندارند وعایق هستند.

شکل ۷ــ۳ــ پیوند کووالانس در ساختمان کریستال را نشان می‌دهد.



شکل ۷ــ۳

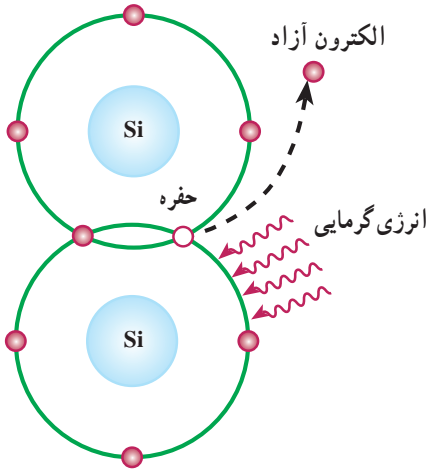
۹ــ۳ــ هدایت الکتریکی در سیلیکن و ژرمانیم خالص

در صفر مطلق (C ۲۷۳−) سیلیکن و ژرمانیم خالص عایق کامل هستند، زیرا در داخل کریستال الکترون آزاد وجود ندارد. عواملی نظیر انرژی نورانی یا انرژی گرمایی می‌توانند انرژی جنبشی الکترون‌های والانس را افزایش دهند و سبب آزاد شدن الکترون‌های ظرفیت گردند و به این ترتیب هدایت را در سیلیکن یا ژرمانیم افزایش دهند.

۱۰ــ۳ــ ایجاد حفره[1]

انرژی‌های خارجی نظیر حرارت می‌تواند باعث شکسته شدن پیوند شود و درنتیجه الکترون از قید هسته آزاد گردد. آزاد شدن یک الکترون از مدار ظرفیت، یک جای خالی الکترون ایجاد می‌کند که به این جای خالی الکترون «حفره» گویند. در شکل ۸ــ۳ الکترون آزاد و محل خالی آن یعنی «حفره» نشان داده شده است.

چون محل خالی الکترون می‌تواند یک الکترون آزاد نزدیک به خود را جذب کند مانند یک بار مثبت عمل می‌کند.



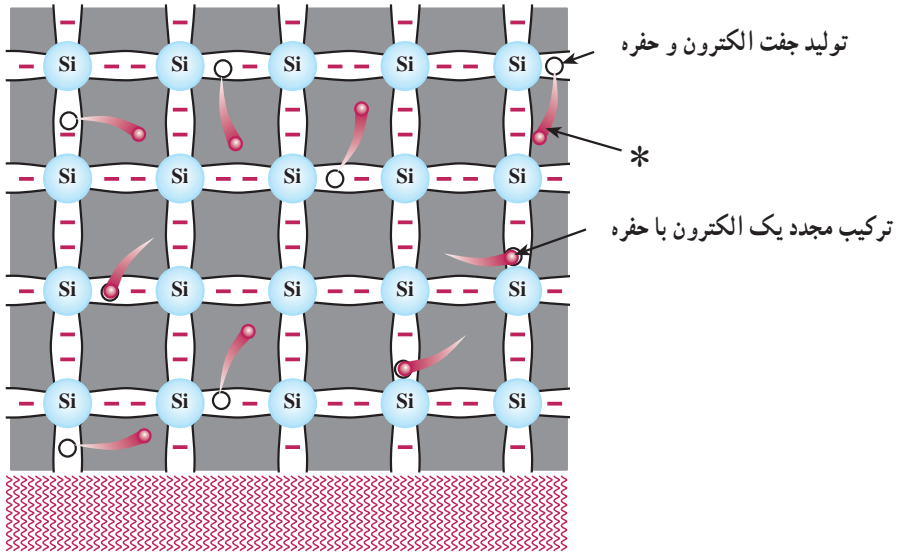
شکل ۸ــ۳

۱ــ Hole

۱۱ــ۳ــ جریان الکترون‌های آزاد

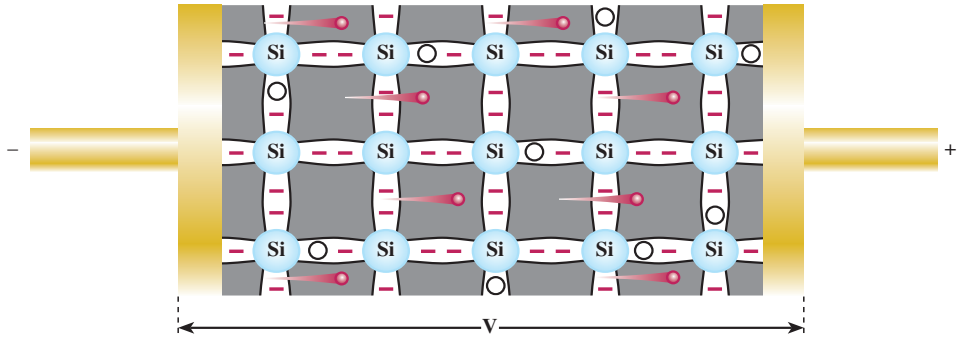
الکترون‌های آزاد شده در کریستال به‌صورت نامنظم حرکت می‌کنند. اگر به‌صورت اتفاقی الکترونی به حفره‌ای نزدیک شود جذب حفره می‌گردد. به این‌ترتیب، تا زمانی که نیرویی از خارج اعمال نشود حرکت الکترون‌ها و جذب آن‌ها به وسیله‌ی حفره‌ها در کریستال به‌طور نامنظم ادامه می‌یابد.

در شکل ۹ــ۳ کریستال سیلیکن، تولید الکترون، حفره و ترکیب مجدد الکترون، با حفره نشان داده شده است.



شکل ۹ ــ۳

وقتی مطابق شکل ۱۰ــ۳ ولتاژی به دو سر کریستال اعمال شود، الکترون‌های آزاد به‌طرف قطب مثبت باتری حرکت می‌کنند و جریانی را در مدار به‌وجود می‌آورند که ناشی از حرکت الکترون‌هاست و به آن «جریان الکترون‌ها» گویند.



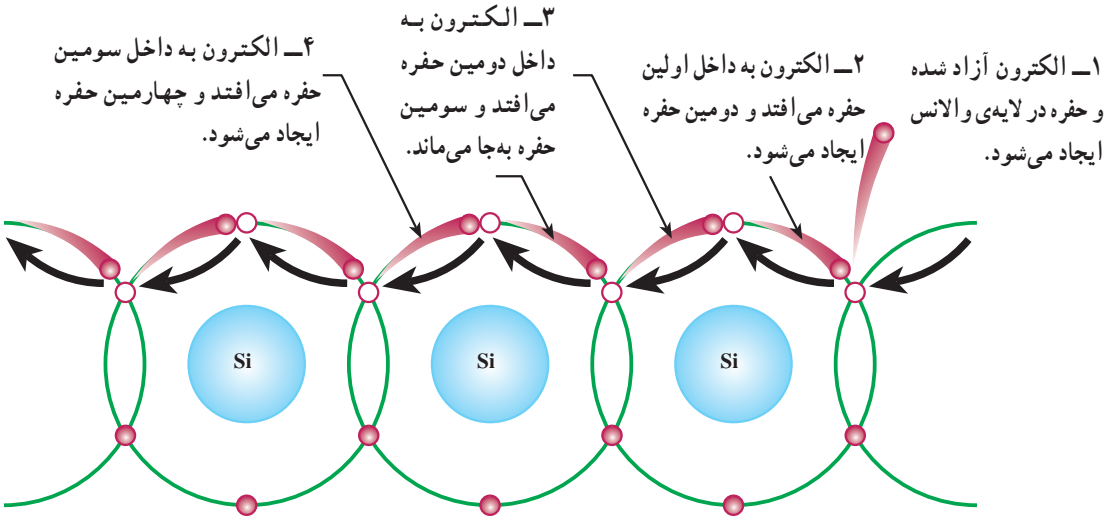
شکل ۱۰ــ۳

۱۲ــ۳ــ جریان حفره‌ها

جریان دیگری نیز در کریستال وجود دارد که ناشی از حرکت حفره‌هاست. وقتی در اتم حفره‌ای وجود دارد ــ به دلیل آن‌که حفره گرایشی به جذب الکترون دارد ــ از اتم مجاور، الکترونی را جذب می‌کند، اما جای الکترون جذب شده حفره‌ی جدیدی ایجاد می‌گردد. به‌این‌ترتیب، به‌نظر می‌رسد وقتی الکترون از چپ به راست حرکت می‌کند حفره از راست به چپ در حرکت است.

* شکل که معرف الکترون آزاد است، قسمت دایره‌ای جهت حرکت الکترون را نشان می‌دهد.

شکل ۱۱ــ۳ تصویری از جهت حرکت الکترون‌ها و حفره‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ــ۳

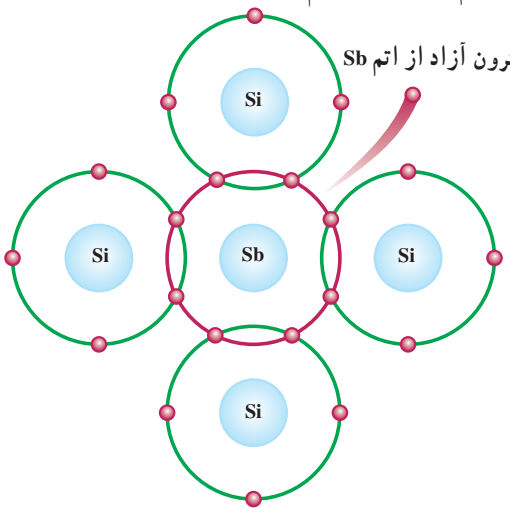
۱۳ــ۳ــ افزودن ناخالصی به کریستال نیمه‌هادی

چون تعداد الکترون‌های آزاد و حفره‌های ایجاد شده در کریستال نیمه‌هادی ژرمانیم یا سیلیکن در اثر انرژی گرمایی به اندازه‌ی کافی نیست و از این نیمه‌هادی نمی‌توان برای ساختن قطعاتی نظیر دیود یا ترانزیستور استفاده کرد، برای افزایش هدایت نیمه هادی به آن ناخالصی اضافه می‌کنند. ناخالص کردن نیمه‌هادی به دو شکل (با اتم پنج ظرفیتی و اتم سه‌ظرفیتی) صورت می‌گیرد.

۱۴ــ۳ــ ناخالص کردن کریستال نیمه‌هادی با اتم پنج‌ظرفیتی (نیمه‌هادی نوع N)

هرگاه یک عنصر پنج‌ظرفیتی مانند ارسنیک (As) یا آنتیموان (Sb) یا فسفر (P) را که در لایه‌ی ظرفیت خود پنج الکترون دارند به کریستال سیلیکن یا ژرمانیم اضافه کنیم (همان‌گونه که در شکل ۱۲ــ۳ نشان داده شده است) اتم ناخالصی آنتیموان (Sb) با چهار اتم سیلیکن مجاور خود تشکیل پیوند اشتراکی می‌دهد و چون در لایه‌ی ظرفیت Sb جای ۸ الکترون وجود دارد، یک الکترون اتم ناخالصی به‌راحتی از قید هسته آزاد می‌گردد و به‌صورت الکترون آزاد درمی‌آید ؛ پس با افزودن هر اتم ناخالصی یک الکترون آزاد در کریستال ایجاد می‌شود.

با تنظیم مقدار اتم ناخالصی تعداد الکترون‌های آزاد کریستال را کنترل می‌کنند. علاوه‌بر الکترون‌های آزادی که از افزودن اتم ناخالصی در کریستال به‌وجود می‌آیند تعداد کمی الکترون نیز در اثر انرژی گرمایی محیط از قید هسته آزاد می‌شوند و جای خالی آن‌ها حفره ایجاد می‌گردد. اتم ناخالصی که به کریستال یک الکترون آزاد می‌دهد و خود به‌صورت یون مثبت درمی‌آید «اتم اهدا کننده»[1] نام دارد.

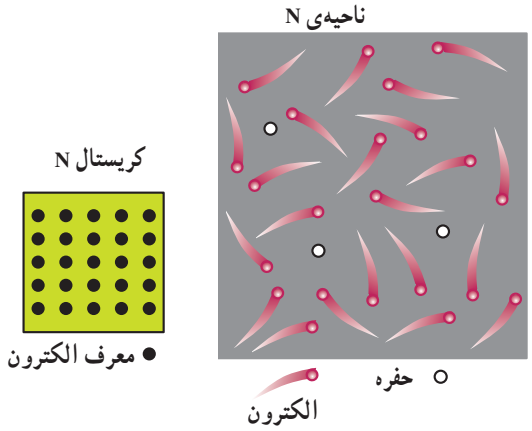


شکل ۱۲ــ۳

۱ــ Donor اهدا کننده

چون در کریستال تعداد الکترون‌های آزاد که عمل هدایت الکتریکی را انجام می‌دهند به مراتب بیش‌تر از حفره‌ها است به الکترون‌های آزاد، «حامل‌های اکثریت» و به حفره‌ها، «حامل‌های اقلیت» گویند. این کریستال را که حامل‌های اکثریت آن الکترون‌ها هستند «کریستال نوع N»[1] می‌نامند.

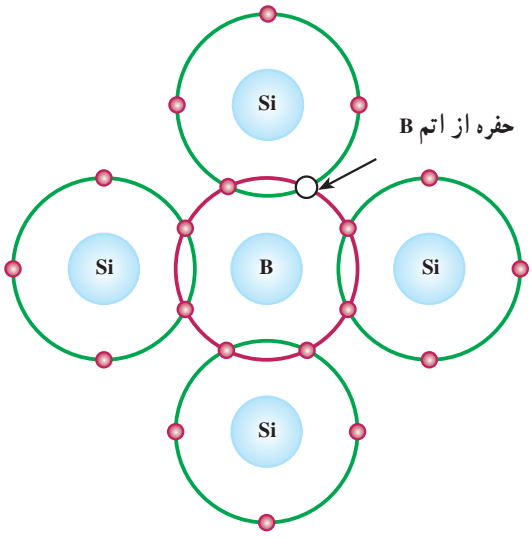
در شکل ۱۳ــ۳ الکترون‌ها و حفره‌های کریستال N و شمای مداری آن نشان داده شده است. البته کل کریستال N از نظر بارالکتریکی خنثی است، زیرا بارهای مثبت و منفی آن باهم برابرند.



شکل ۱۳ــ۳

۱۵ــ۳ــ ناخالص‌کردن کریستال نیمه‌هادی با اتم سه‌ظرفیتی (نیمه‌هادی نوع P)

هرگاه یک عنصر سه‌ظرفیتی مانند آلومینیوم (Al) یا بورون (B) یا ایندیم(In) را که در مدار ظرفیت خود سه الکترون دارند به کریستال سیلیکن یا ژرمانیم خالص اضافه کنیم، الکترون‌های مدار آخر عنصر ناخالصی مانند بورون با الکترون‌های اتم مجاور خود تشکیل پیوند اشتراکی می‌دهند. به این ترتیب، در مدار آخر اتم ناخالصی هفت الکترون در حال گردش هستند که در نتیجه یک جای خالی یا حفره ایجاد می‌شود. در شکل ۱۴ــ۳ جای خالی الکترون نشان داده شده است.



شکل ۱۴ــ۳

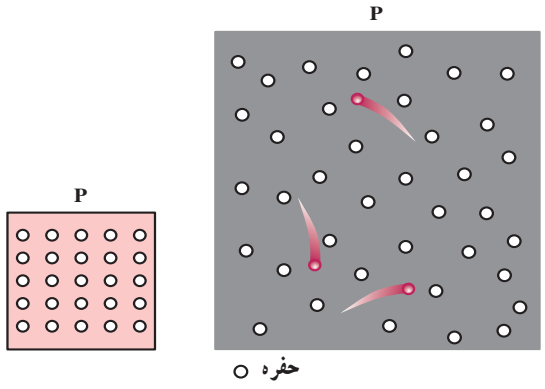
ممکن است الکترونی با داشتن انرژی جنبشی کافی از پیوند شکسته شود و محل این حفره را پر نماید. در این صورت، حفره‌ی جدیدی در کریستال ایجاد می‌شود ؛ بنابراین، افزودن هر اتم ناخالصی سه‌ظرفیتی در کریستال یک حفره ایجاد می‌نماید. به‌اتم سه‌ظرفیتی که قادر است یک الکترون آزاد را جذب کند «اتم پذیرنده»[2] گویند. اتم پذیرنده با دریافت الکترون به‌صورت یون منفی درمی‌آید. دراثر گرمای محیط تعداد اندکی الکترون نیز انرژی لازم را کسب می‌کنند و از هسته‌ی خود جدا می‌شوند و به‌صورت الکترون آزاد درمی‌آیند ؛ بنابراین در کریستال علاوه‌بر تعداد زیادی حفره که حامل‌های اکثریت هستند، تعداد اندکی الکترون آزاد یعنی «حامل‌های اقلیت» نیز وجود دارند. به دلیل آن‌که حامل‌های اکثریت هدایت الکتریکی، حفره‌ها هستند و حفره‌ها مانند یک بار مثبت عمل می‌کنند، به این کریستال، کریستال نوع P[3] گویند.

در شکل ۱۵ــ۳ الکترون‌ها و حفره‌های کریستال P و نمای مداری کریستال نشان داده شده است. البته کل کریستال P از نظر بارالکتریکی خنثی است.

۱ــ N= Negative منفی

۲ــ Acceptor

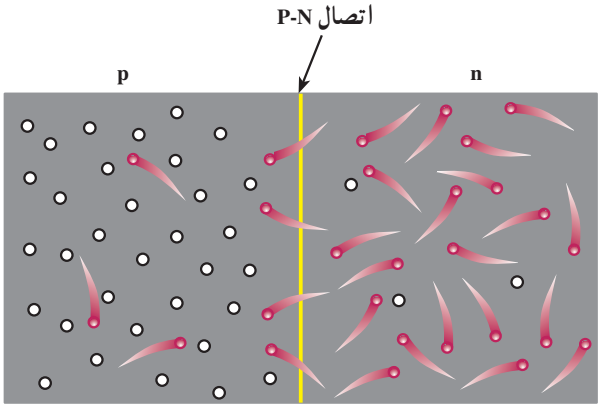
۳ــ P=Positive



شکل ۱۵ــ۳

۱۶ــ۳ــ اتصال P-N (دیود کریستالی)

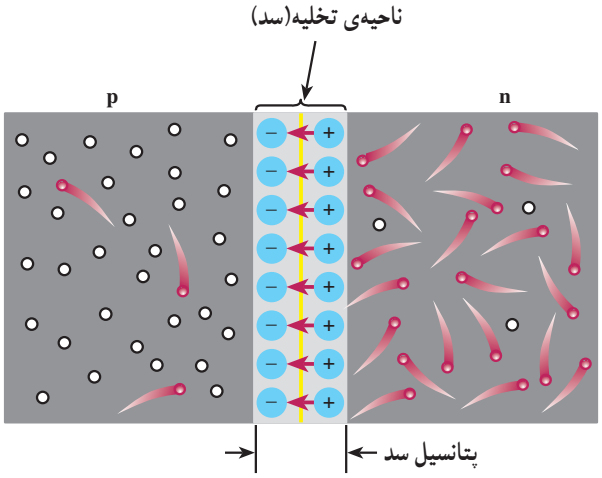
هرگاه دو کریستال نیمه‌هادی نوع N و P به‌هم اتصال یابند، الکترون‌های آزاد نیمه‌هادی نوع N که در نزدیک محل اتصال P-N قرار دارند به منطقه‌ی P نفوذ می‌نمایند و با حفره‌های کریستال نوع P ترکیب می‌شوند و به این‌ترتیب، حفره‌هایی از بین می‌روند و الکترون‌های آزاد به‌صورت الکترون‌های ظرفیت درمی‌آیند. در شکل ۱۶ــ۳ ترکیب الکترون‌ها با حفره‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱۶ــ۳

عبور یک الکترون از محل اتصال سبب ایجاد یک جفت یون می‌شود، زیرا وقتی الکترونی از ناحیه‌ی N به ناحیه‌ی P وارد می‌شود، در ناحیه‌ی N یک اتم پنج‌ظرفیتی الکترونی را از دست می‌دهد و به یون مثبت تبدیل می‌شود و در مقابل، در ناحیه‌ی P یک اتم سه‌ظرفیتی الکترونی را دریافت می‌کند و سرانجام، به یون منفی تبدیل می‌شود ؛ از این‌رو، این ترکیب مجدد الکترون‌ها با حفره‌ها در محل پیوند تعداد زیادی یون مثبت و منفی را ایجاد می‌کند. این یون‌ها در کریستال ثابت هستند، زیرا به‌علت پیوند کوالانس نمی‌توانند مانند الکترون‌های آزاد حرکت نمایند ؛ سپس در محل پیوند ناحیه‌ای به نام «لایه‌ی تخلیه» به‌وجود می‌آید که در آن حامل‌های هدایت الکتریکی (الکترون‌ها و حفره‌ها) وجود ندارند. به ناحیه‌ی تخلیه ناحیه‌ی سد هم گفته می‌شود.

یون‌های مثبت و منفی در ناحیه‌ی تخلیه سبب ایجاد میدان الکتریکی می‌شوند. این میدان الکتریکی با عبور الکترون‌های آزاد از محل اتصال مخالفت می‌کند. هرگاه میدان ایجاد شده به حدی برسد که مانع عبور الکترون از محل اتصال گردد حالت «تعادل» به‌وجود می‌آید و به این‌صورت، «دیود کریستالی» ساخته می‌شود. در ناحیه‌ی تخلیه، ولتاژ ایجاد شده «پتانسیل سد» نام دارد. مقدار ولتاژ سد برای دیود سیلیکنی، حدود ۰/۷ ولت و برای دیود ژرمانیمی حدود ۰/۲ ولت است. در شکل ۱۷ــ۳ ناحیه‌ی تخلیه و پتانسیل سد نشان داده شده است.

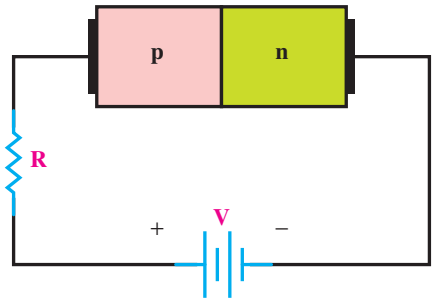


شکل ۱۷ــ۳

۱۷ــ۳ــ بایاس کردن اتصال P-N

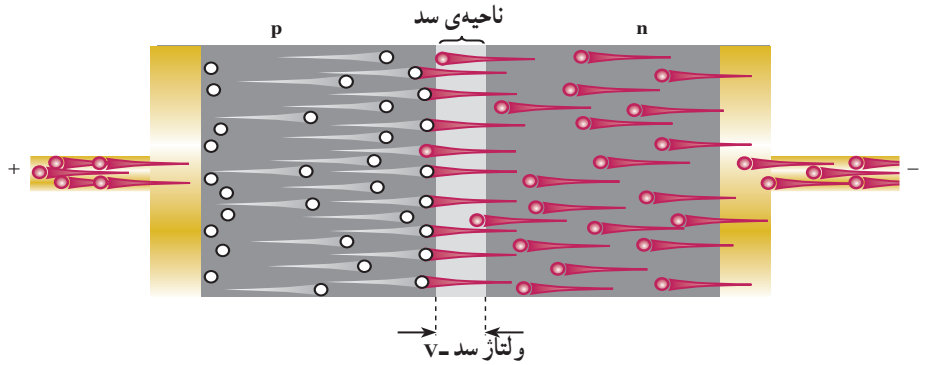
هرگاه به اتصال P-N ولتاژی اعمال کنیم گوییم آن را «بایاس» نموده‌ایم. بایاس کردن اتصال P-N به‌دوصورت «مستقیم» و «معکوس» انجام می‌گیرد :

الف ــ بایاس مستقیم (بایاس موافق)[1]: اگر قطب مثبت باتری را به‌نیمه‌هادی نوع P و قطب منفی باتری را به نیمه‌هادی نوع N وصل کنیم، این حالت اتصال ولتاژ را «بایاس مستقیم» یا «بایاس موافق» گویند. در شکل ۱۸ــ۳ این بایاس را مشاهده می‌کنید.



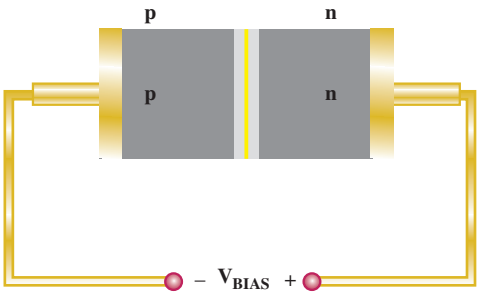
شکل ۱۸ــ۳

هنگامی که میدان الکتریکی ناشی از باتری خارجی میدان الکتریکی پتانسیل سد را خنثی کند، منطقه‌ی تخلیه و پتانسیل سد از بین می‌رود و الکترون‌های کریستال N به سمت محل پیوند رانده می‌شوند. این الکترون‌ها وارد کریستال P شده، در اثر ترکیب با حفره‌ها به الکترون ظرفیت تبدیل می‌شوند. الکترون‌های ظرفیت از حفره‌ای به حفره‌ی دیگر می‌روند تا به انتهای کریستال و سرانجام به قطب مثبت باتری می‌رسند. چنین به‌نظر می‌آید حفره‌ها در کریستال P در جهت خلاف حرکت الکترون‌ها حرکت می‌نمایند و جریانی را به وجود می‌آورند. در شکل ۱۹ــ۳ حرکت الکترون‌ها و حفره‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱۹ــ۳

ب ــ بایاس معکوس (بایاس مخالف)[2]: اگر قطب مثبت باتری را به کریستال N و قطب منفی باتری را به کریستال P وصل کنیم، این حالت اتصال ولتاژ را «بایاس معکوس» یا «بایاس مخالف» گویند. در شکل ۲۰ــ۳ این حالت نشان داده شده است.

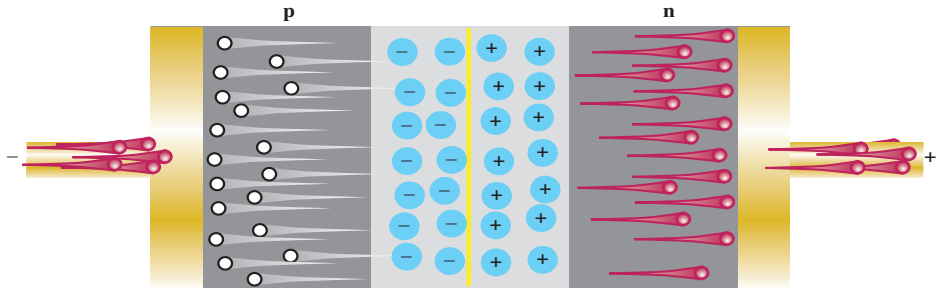


شکل ۲۰ــ۳

۱ــ Forward Bias

۲ــ Reverse Bias

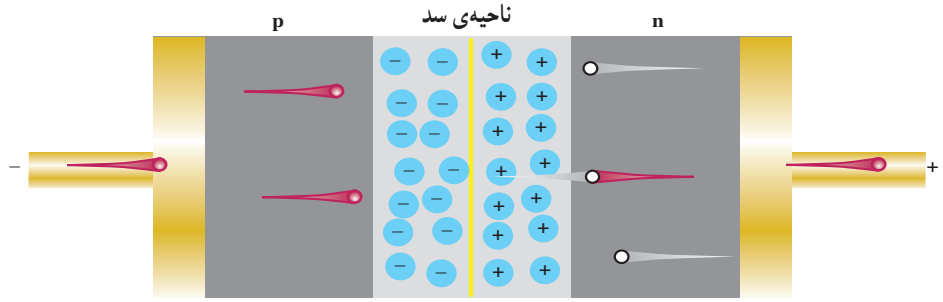
در این حالت قطب منفی باتری حفره‌ها را به‌سمت خود می‌کشد ؛ هم‌چنین قطب مثبت باتری الکترون‌های آزاد را به سمت خود جذب می‌کند و به این‌ترتیب، حفره‌ها و الکترون‌های آزاد از ناحیه‌ی اتصال دور می‌شوند و عرض لایه‌ی تخلیه زیاد می‌شود. در شکل ۲۱ــ۳ این حالت نشان داده شده است.



ناحیه‌ی سد

شکل ۲۱ــ۳

با دور شدن الکترون‌ها و حفره‌ها از منطقه‌ی تخلیه، پتانسیل سد در لایه‌ی تخلیه افزایش می‌یابد و هنگامی که ولتاژ معکوس اعمال شده و پتانسیل سد ناحیه تخلیه با هم برابر شدند عمل دور شدن الکترون‌ها و حفره‌ها متوقف می‌شود. در شکل ۲۲ــ۳ این حالت نشان داده شده است.

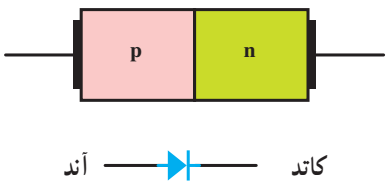


شکل ۲۲ــ۳

با بزرگ شدن ناحیه‌ی تخلیه جریان حامل‌های اکثریت صفر می‌شود. به‌دلیل انرژی حرارتی، حامل‌های اقلیت ایجاد شده در دو کریستال P و N از محل اتصال عبور می‌کنند و جریان ضعیفی را ایجاد می‌نمایند که به آن «جریان اشباع معکوس» یا «نشتی» می‌گویند. این جریان در درجه‌ی حرارت معین ثابت است و بستگی به ولتاژ معکوس ندارد، بلکه فقط به درجه‌ی حرارت بستگی دارد. پس به‌طور خلاصه می‌توان بیان نمود : در بایاس معکوس از دیود فقط جریان ضعیف ناشی از حامل‌های اقلیت به نام «جریان اشباع معکوس» عبور می‌کند.

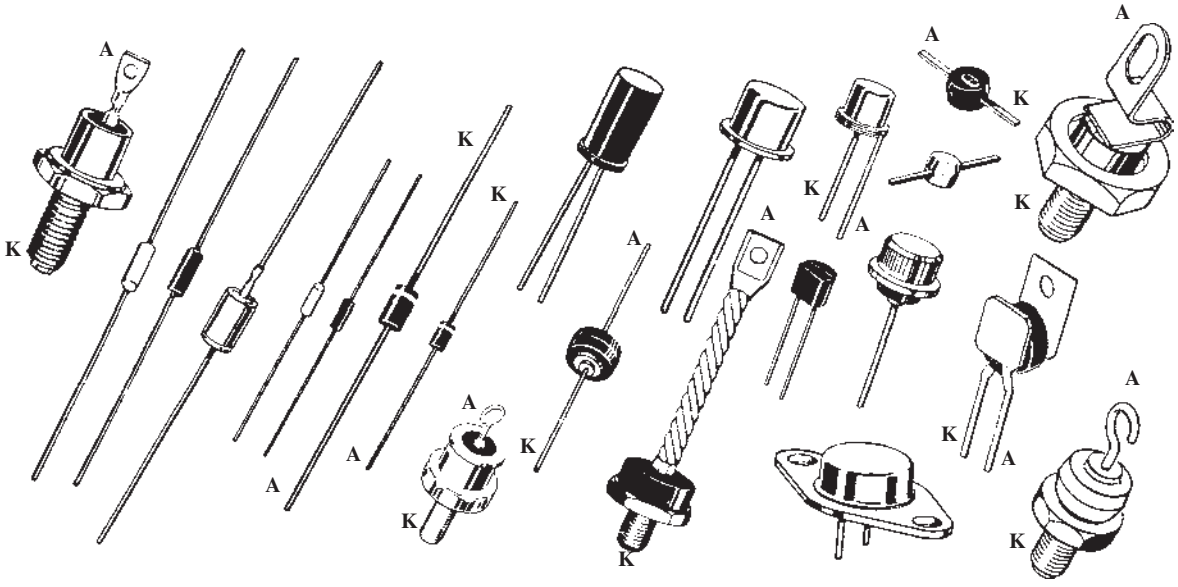
۱۸ــ۳ــ علامت اختصاری و شکل ظاهری دیود معمولی

در شکل ۲۳ــ۳ ساختمان کریستالی و علامت اختصاری یک دیود معمولی نشان داده شده است.

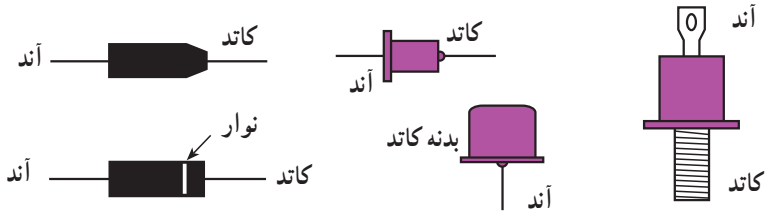


شکل ۲۳ــ۳

نیمه‌هادی نوع P «آند» و نیمه‌هادی نوع N «کاتد» نام دارد. همان‌گونه که دیده می‌شود علامت اختصاری دیود مانند یک پیکان از سمت آند به‌جانب کاتد بوده که معرف این نکته است که جریان قراردادی به‌راحتی از سمت آند به کاتد عبور می‌کند. در شکل ۲۴ــ۳ شکل ظاهری چند دیود را مشاهده می‌کنید. در شکل ۲۵ــ۳ پایه‌های آند و کاتد از روی شکل ظاهری نشان داده شده است.



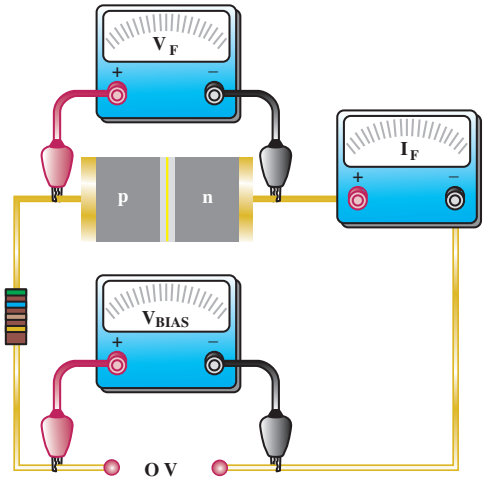
شکل ۲۴ــ۳



شکل ۲۵ــ۳

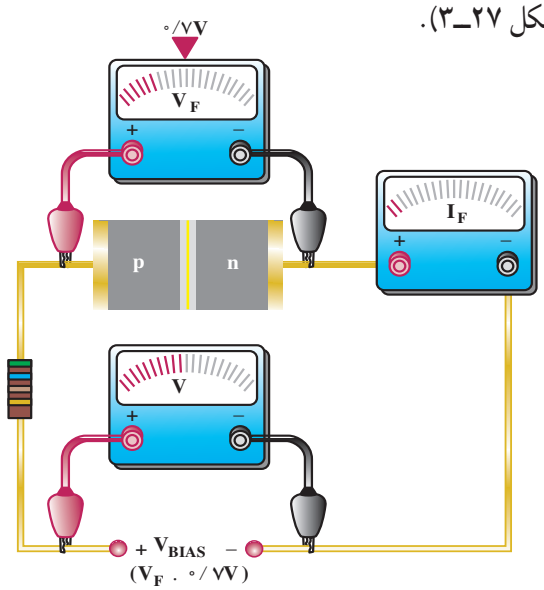
۱۹ــ۳ــ منحنی مشخصه‌ی ولت‌آمپر دیود در بایاس مستقیم

اگر به دو سر دیود ولتاژی به‌صورت بایاس مستقیم وصل کنیم و ولتاژ باتری را از صفر ولت افزایش دهیم و جریان عبوری از دیود را به‌وسیله‌ی میلی‌آمپرمتری اندازه بگیریم، در ابتدا که ولتاژ صفر بوده جریان عبوری از دیود نیز صفر است (شکل ۲۶ــ۳).



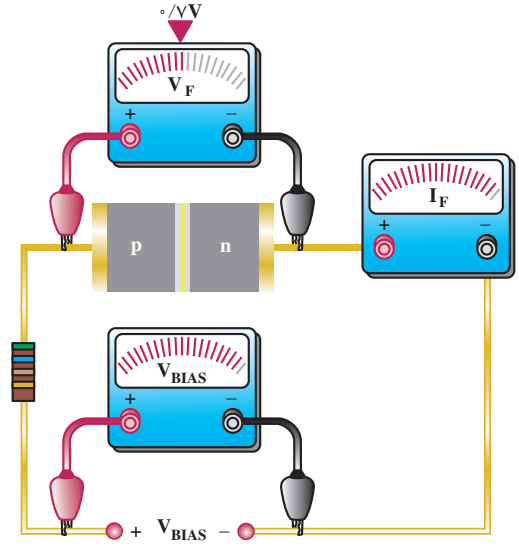
شکل ۲۶ــ۳

هرگاه ولتاژ افزایش یابد جریان عبوری از دیود هم افزایش می‌یابد، هنگامی که ولتاژ بایاس برای یک دیود سیلیکنی کم‌تر از ۰/۷ ولت است جریان عبوری از دیود بسیار ناچیز خواهد بود (شکل ۲۷ــ۳).



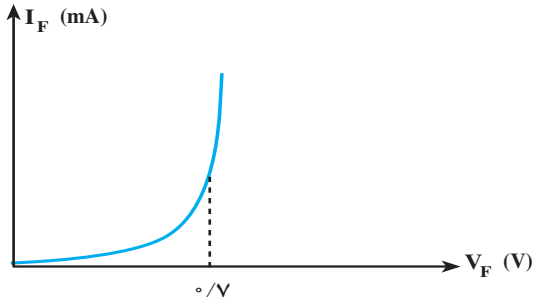
شکل ۲۷ ــ۳

اگر ولتاژ بایاس زیاد شود (یعنی پتانسیل خارجی بیش‌تر از ۰/۷ ولت شود)، این پتانسیل بر پتانسیل سد غلبه می‌کند و سد شکسته می‌شود و درنتیجه مقاومت معادل دیود کم می‌شود و سرانجام جریان عبوری از دیود به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد. برای محدود کردن جریان عبوری از دیود لازم است مقاومتی را با دیود سری کنیم (شکل ۲۸ــ۳).



شکل ۲۸ــ۳

در شکل ۲۹ــ۳ منحنی ولت‌آمپر در بایاس موافق نشان داده شده است.



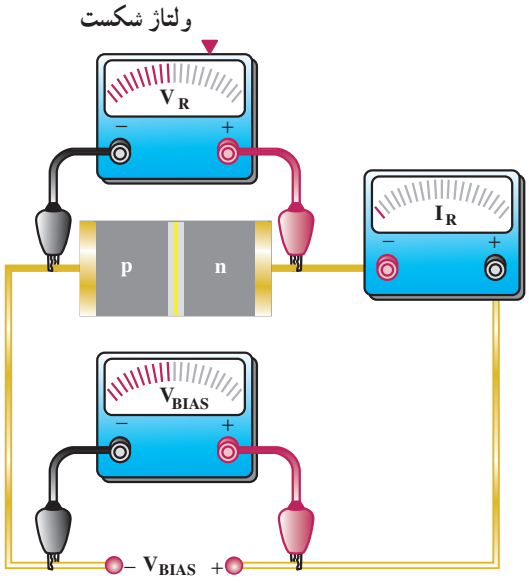
شکل ۲۹ ــ۳

۲۰ــ۳ــ منحنی مشخصه‌ی ولت‌آمپر دیود در بایاس معکوس

اگر دیود را به‌طور معکوس بایاس کنیم جریان بسیار ناچیز نشتی از دیود می‌گذرد. با افزایش ولتاژ معکوس، در یک ولتاژ معین که «ولتاژ شکست دیود» نامیده می‌شود جریان به‌سرعت افزایش می‌یابد و دیود آسیب می‌بیند.

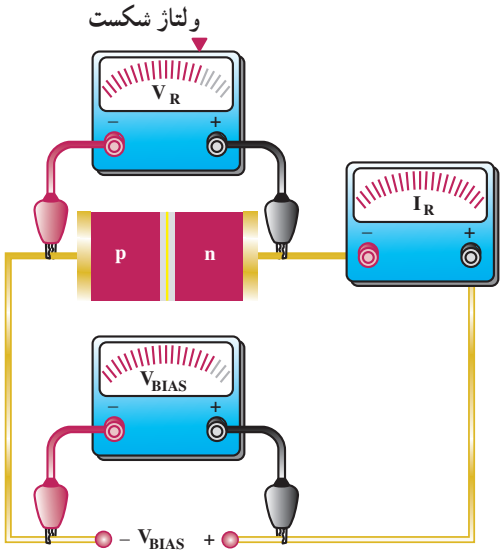
در شکل ۳۰ــ۳ ولتاژ بایاس مخالف که کم‌تر از ولتاژ شکست است نشان داده شده است.

سؤال: چرا در شکل ۳۰ــ۳ از مقاومتی مانند مدار شکل ۲۸ــ۳ استفاده نشده است؟



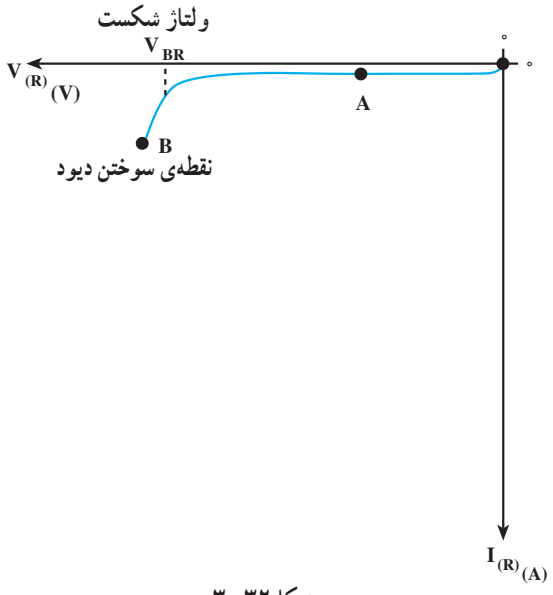
شکل ۳۰ــ۳

در شکل ۳۱ـ۳ حالتی که ولتاژ بایاس به ولتاژ شکست رسیده نشان داده شده است. در این حالت جریان عبوری از دیود به شدت افزایش یافته است.



شکل ۳۱ـ۳

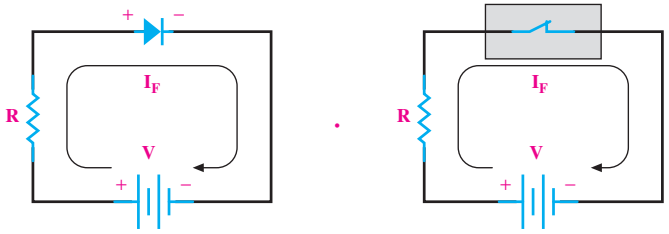
در شکل ۳۲ـ۳ منحنی مشخصه‌ی ولت‌آمپر دیود در گرایش معکوس نشان داده شده است.



شکل ۳۲ـ۳

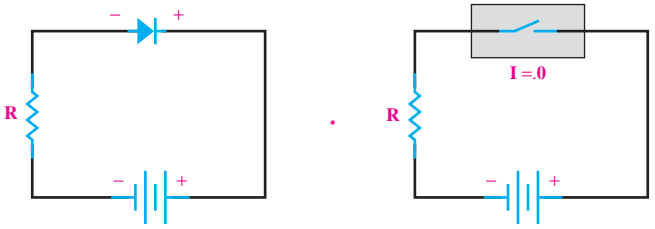
۲۱ـ۳ـ بررسی دیود در حالت ایده‌آل

چون دیود در بایاس مستقیم جریان را به‌راحتی عبور می‌دهد و در بایاس معکوس جریان بسیار ناچیز از دیود عبور می‌کند، پس در حالت ایده‌آل در بایاس مستقیم مانند «هادی» و در بایاس معکوس مانند «عایق» عمل می‌کند. عملکرد دیود را در حالت ایده‌آل در بایاس موافق می‌توان با یک کلید وصل مقایسه کرد. در بایاس معکوس یک دیود ایده‌آل مانند یک کلید باز عمل می‌کند. در شکل ۳۳ـ۳ دیود ایده‌آل در بایاس موافق نشان داده شده است. مقاومت R در مدار به‌عنوان محدودکننده جریان به‌کار رفته است.



شکل ۳۳ـ۳

هم‌چنین در شکل ۳۴ـ۳ معادل دیود ایده‌آل در بایاس مخالف نشان داده شده است :

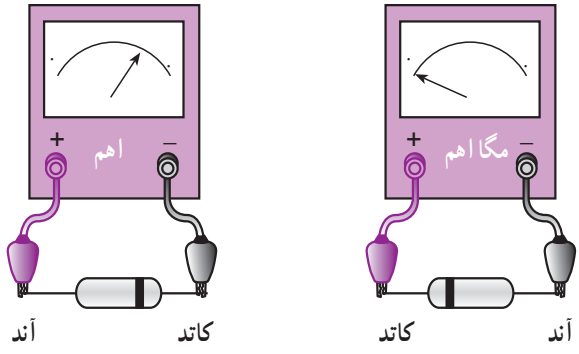


شکل ۳۴ـ۳

۲۲ـ۳ـ تشخیص آند و کاتد و سالم‌بودن دیود به‌وسیله‌ی اهم‌متر

۱ـ۲۲ـ۳ـ استفاده از اهم‌متر عقربه‌ای: اگر اهم‌متر عقربه‌ای را به دو سر دیود وصل کرده و اهم آن را اندازه بگیرید، سپس اتصال دیود را برعکس کرده مجدداً اهم آن را اندازه بگیرید در یک حالت اهم‌متر، اهم کم و در حالت دیگر اهم‌متر، اهم زیاد را نشان می‌دهد واضح است در حالت اهم‌کم دیود به‌وسیله‌ی باتری داخلی اهم‌متر در بایاس مستقیم قرارگرفته است

و در حالتی که اهم‌متر اهم زیاد را نشان می‌دهد دیود در بایاس معکوس قرار گرفته است که اصطلاحاً گفته می‌شود : «دیود از یک طرف راه می‌دهد و از طرف دیگر راه نمی‌دهد». در شکل ۳ــ۳۵ این دو حالت نشان داده شده است.



شکل۳ــ۳۵

در حالتی که اهم‌متر اهم کم را نشان می‌دهد مثبت واقعی اهم‌متر به آند دیود و منفی واقعی اهم‌متر به کاتد دیود اتصال دارد. به این‌ترتیب، می‌توان آند و کاتد دیود را تعیین نمود. البته مقدار مقاومتی که اهم‌متر نشان می‌دهد به انتخاب کلید سلکتور اهم‌متر بستگی دارد.

اگر دیود معیوب باشد، ممکن است قطع شده باشد ؛ در این صورت، در هر دو حالت اتصال اهم‌متر، اهم‌متر اهم بی‌نهایت را نشان می‌دهد. اگر دیود معیوب اتصال کوتاه شده باشد، در هر دو حالت اتصال اهم‌متر، اهم‌متر اهم صفر را نشان می‌دهد.

۲ــ۲۲ــ۳ــ استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی: اغلب مولتی‌مترهای دیجیتالی دارای وضعیت تست دیود هستند. هرگاه کلید سلکتور مولتی‌متر دیجیتالی را در وضعیت تست دیود قرار دهیم و دیود به‌وسیله‌ی مولتی‌متر در بایاس موافق قرار بگیرد مولتی‌متر دیجیتالی ولتاژ بایاس دیود را نشان می‌دهد که این ولتاژ برای دیودهای سیلیکنی حدود ۰/۷ ولت و برای دیودهای از جنس ژرمانیم حدود ۰/۲ ولت است. شکل ۳ــ۳۶ این حالت را نشان می‌دهد.

شکل۳ــ۳۶

اگر دیود در بایاس مخالف قرار گیرد، مولتی‌متر ولتاژ بایاس مخالف اعمال شده به‌وسیله‌ی دستگاه را در دو سر دیود نشان می‌دهد. این ولتاژ ممکن است ۱/۵ تا ۳ ولت باشد. در شکل ۳ــ۳۷ این حالت را مشاهده می‌کنید.

شکل۳ــ۳۷

پس در حالتی که مولتی‌متر ولتاژ بایاس موافق دیود را نشان می‌دهد، سیم منفی (سیم مشترک یا Com) روی کاتد و سیم مثبت به آند دیود وصل است. اگر دیود ناسالم و قطع باشد، در هر دو وضع اتصال مولتی‌متر به دیود، روی صفحه‌ی آن ولتاژ باتری داخلی نشان داده می‌شود. در شکل ۳ــ۳۸ این دو حالت دیده می‌شود.

شکل۳ــ۳۸

اگر دیود اتصال کـوتاه باشد در هر دو وضع اتصال مولتی‌متـر به دیـود روی صفحه‌ی دستگاه ولتـاژ صفر نشان داده خواهد شد. در شکل ۳ــ۳۹ این حالت نشان داده شده است.

شکل۳ــ۳۹

۲۳ــ۳ــ مقادیر حد در دیود

برخی از کمیّت‌های دیود اگر از میزان ماکزیمم بیش‌تر شوند به دیود آسیب می‌رسانند. مقدار ماکزیمم این کمیت‌ها «مقدار حد دیود» نام دارد. برخی از مقادیر حد که در کتاب مشخصات دیودها آورده می‌شود و با توجه به نوع طراحی می‌توان از آن‌ها استفاده نمود بدین قرار است :

۱ــ۲۳ــ۳ــ حداکثر ولتاژ معکوس: حداکثر ولتاژی که در بایاس معکوس می‌تواند در دو سر دیود قرار گیرد ؛ به‌گونه‌ای که دیود آسیب نبیند، «حداکثر ولتاژ معکوس» نام دارد. معمولاً در برگه‌ی داده‌ها سه پارامتر برای حداکثر ولتاژ معکوس قید می‌شود.

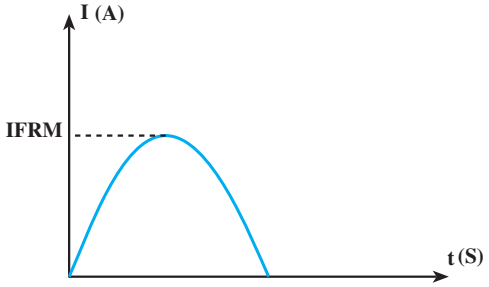
الف ــ ولتاژ معکوس (VR)[1]**:** حداکثر ولتاژ DC اعمال‌شده به دو سر دیود در بایاس معکوس که دیود می‌تواند تحمل کند، VR نام دارد.

ب ــ ماکزیمم ولتاژ معکوس تکرار سیکل‌ها (VRRM)[2]**:** حداکثر ولتاژ معکوس که به‌صورت تکرار سیکل‌ها در دو سر دیود قرار می‌گیرد ؛ به‌گونه‌ای که دیود آسیب نبیند «VRRM» نام دارد.

ج ــ ولتاژ معکوس قابل تحمل در وضعیت کار عادی (VRWM)[3]**:** حداکثر ولتاژ معکوس در وضعیت کار عادی VRWM نام دارد.

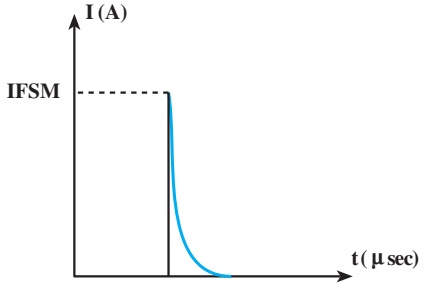
۲ــ۲۳ــ۳ــ حداکثر جریان مستقیم (IF)[4]**:** حداکثر جریان DC یا متوسط که می‌توان از دیود در گرایش مستقیم عبور داد ؛ به‌گونه‌ای که دیود آسیب نبیند «IF» نام دارد. در اثر عبور این جریان در محل اتصال «P-N» حرارت ایجاد می‌شود. اگر در هوای آزاد حرارت ایجاد شده به‌خوبی دفع نشود باید دیود را روی گرماگیر نصب نمود (کارخانه‌ی سازنده، نصب روی گرماگیر را مشخص می‌سازد).

۳ــ۲۳ــ۳ــ حداکثر جریان بایاس مستقیم تکراری (IFRM)[5]**:** حداکثر جریانی است که به‌صورت تکرار سیکل‌ها درگرایش مستقیم می‌تواند از دیود عبور کند. در شکل ۴۰ــ۳ این جریان را مشاهده می‌کنید.



شکل ۴۰ــ۳

۴ــ۲۳ــ۳ــ حداکثر جریان لحظه‌ای (IFSM)[6]**:** حداکثر جریانی که در زمان بسیار کوتاه (حدود چند میکروثانیه) می‌تواند از دیود عبور کند ؛ به‌گونه‌ای که به دیود آسیب نرسد، «IFSM» نام دارد. در شکل ۴۱ــ۳ این جریان نشان داده شده است.



شکل ۴۱ــ۳

۱ــ VR = Reverse voltage

۲ــ VRRM = Peak Repeatative Reverse voltage

۳ــ VRWM = Working Peak Reverse Voltage درحال کار

۴ــ IF = Forward current

۵ــ IFRM = Maximum Repeatative Peak forward current

۶ــ IFSM = Maximum Surge current

در جدول ۱ــ۳ یکی از برگه‌داده‌های دیود را مشاهده می‌کنید.

جدول ۱ــ۳

TYPE	Manufacturer	Germanium Cllicon	V_R V	I_F mA	I_{FRM} mA	T_j C	R_{thj-a} C / W	I_F mA at	V_F V	C_D pF at	V_R V	t_{rr} sec from	I_F mA to	V_R V at	RL Ω	USE	CASE
1N۹۱	G_e	G	۶۵	۱۵۰	۲۵A	۱۰۵		۱۰۰	۰۳۸							۸	

- شماره دیود
- نام کارخانه‌ی سازنده
- جنس دیود: سیلیسیم S، ژرمانیم G
- ماکزیمم ولتاژ معکوس مجاز
- مقدار متوسط جریان مجاز
- مقدار ماکزیمم جریان مجاز تکراری
- ماکزیمم درجه حرارت قابل تحمل محل پیوند PN
- مقاومت حرارتی دیود از محل پیوند PN به محیط
- به‌ازای عبور این جریان از دیود
- افت ولتاژ دوسر دیود به‌وجود می‌آید.
- ظرفیت خازن محل اتصال PN به ازای مقدار ولتاژ معکوس ردیف بالا
- این مقدار ولتاژ معکوس
- زمان بازیابی دیود
- به‌ازای .
- جریان عبوری از مدار
- و .
- ولتاژ معکوس
- و .
- مقاومت بار
- کاربرد
- شکل ظاهری و ابعاد دیود

توجه: نیازی نیست هنرجویان اعداد و اصطلاحات جدول‌های ۱ــ۳ و ۲ــ۳ را به خاطر بسپارند.

در جدول ۲ــ۳ بعضی داده‌های دیودهای معمولی ۱N۴۰۰۱ تا ۱N۴۰۰۷ آورده شده است.

جدول ۲ــ۳

واحد	1N4007	1N4006	1N4005	1N4004	1N4003	1N4002	1N4001	حروف اختصاری	
ولت V	۱۰۰۰	۸۰۰	۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	V_{RRM} V_{RWM} V_R	حداکثر ولتاژ معکوس تکراری حداکثر ولتاژ معکوس در حال کار حداکثر ولتاژ معکوس DC
ولت V	۱۲۰۰	۱۰۰۰	۷۲۰	۴۸۰	۲۴۰	۱۲۰	۶۰	V_{RSM}	ولتاژ ماکزیمم معکوس غیرتکراری
ولت V	۷۰۰	۵۶۰	۴۲۰	۲۸۰	۱۴۰	۷۰	۳۵	$V_{R(rms)}$	ولتاژ معکوس مؤثر
آمپر A	۱/۰							I_F	معدل جریان یکسوشده در بایاس موافق در درجه حرارت محیط TA = ۲۵ C
آمپر A	۳۰(for۱cycle)							I_{FSM}	حداکثر جریان لحظه‌ای غیرتکراری
C درجه سانتی‌گراد	−۶۵to+۱۷۵							Tj	درجه حرارت پیوند

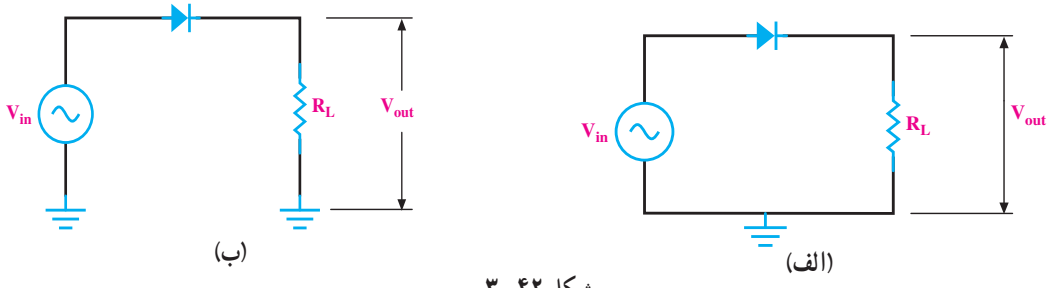
۲۴ــ۳ــ کاربرد دیود به‌عنوان یک‌سوساز

«مدارهای یک‌سوکننده‌ی دیودی» مدارهایی هستند که ولتاژ متناوب را به یک ولتاژ مستقیم (یک‌طرفه) تبدیل می‌نمایند، زیرا دیود از یک‌طرف جریان را عبور می‌دهد و ازجهت دیگر، جریان قطع است. عنصراصلی مدارهای یک‌سوکننده دیود است. به‌طور کلی سه نوع یک‌سوکننده‌ی تک‌فاز وجود دارد.

۱ــ۲۴ــ۳ــ یک‌سو کننده‌ی نیم‌موج:

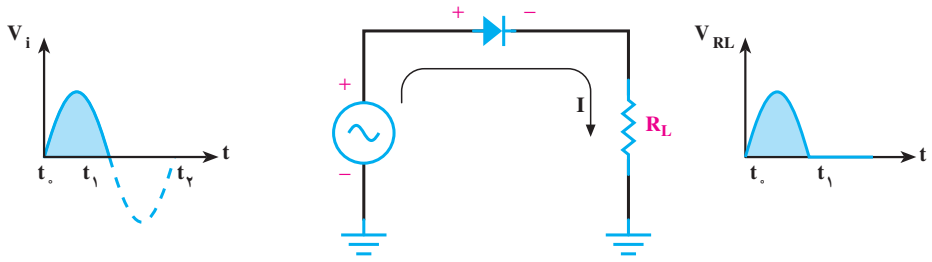
ساده‌ترین مداری که به‌کمک آن می‌توان جریان متناوب را به جریان یک‌طرفه تبدیل نمود یک‌سوکننده‌ی نیم‌موج است. در شکل ۴۲ــ۳ــ الف مدار یک‌سوکننده‌ی نیم‌موج نشان داده شده است.

علامت ⏚ نشانه‌ی اتصال زمین است. تمام اتصال زمین‌ها در یک مدار به‌وسیله‌ی خطوط ارتباطی به هم وصل هستند. پس شکل ۴۲ــ۳ــ الف را می‌توان به صورت شکل ۴۲ــ۳ــ ب نیز رسم کرد.



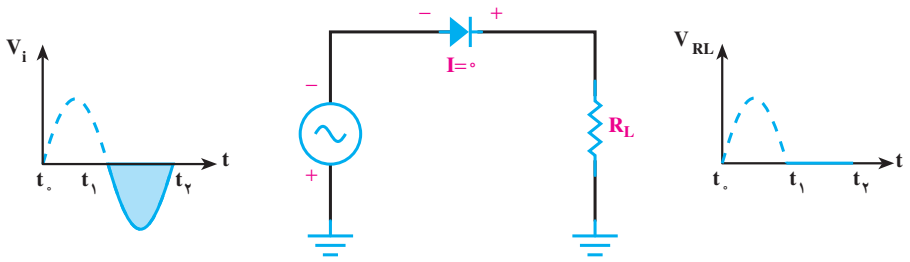
شکل ۴۲ــ۳

۲ــ۲۴ــ۳ــ طرز کار یک‌سوکننده‌ی نیم‌موج: با توجه به شکل ۴۳ــ۳ در زمان t_0 تا t_1 یعنی در نیم سیکل مثبت موج ورودی، آند دیود نسبت به کاتد دیود مثبت است و اگر دیود ایده‌آل فرض شود دیود مانند یک کلید وصل بوده و جریان در مدار جاری می‌شود و در دو سر بار R_L افت ولتاژی مطابق شکل موج ورودی پدید می‌آید (شکل ۴۳ــ۳).

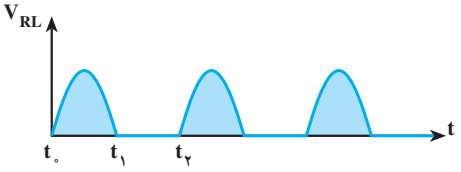


شکل ۴۳ــ۳

در زمان t_1 تا t_2 دیود در گرایش معکوس قراردارد و جریان عبوری از دیود صفر است ؛ از این‌رو در دو سر بار افت ولتاژی پدید نمی‌آید (شکل ۴۴ــ۳). به‌طور کلی شکل موج دوسر بار مانند شکل ۴۵ــ۳ است.

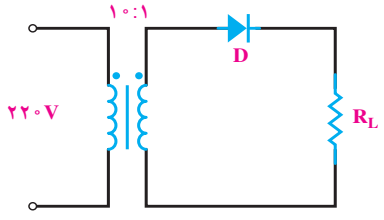


شکل ۴۴ــ۳



شکل ۴۵ــ۳

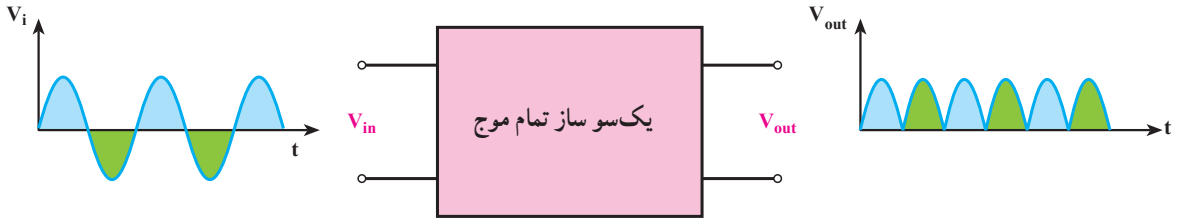
معمولاً برای تولید موج یک‌سو شده از برق شهر (از یک ترانسفورماتور) استفاده می‌کنند. ترانسفورماتور به‌کاررفته معمولاً کاهنده است تا برق شهر را به ولتاژی کم‌تر تبدیل کند. در شکل ۴۶ــ۳ مدار یک‌سوکننده‌ی نیم موج را با ترانسفورماتور مشاهده می‌کنید.



شکل ۴۶ــ۳

۲۵ــ۳ــ یک‌سوساز تمام موج

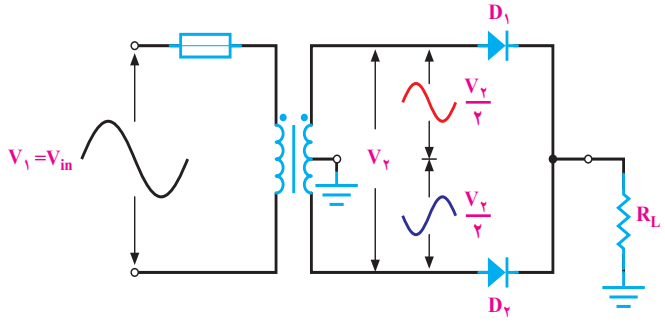
در یک‌سو ساز تمام موج بر خلاف یک‌سوساز نیم‌موج که فقط در یک نیم‌سیکل جریان از بار عبور می‌کند ــ در تمام سیکل از بار جریان عبور می‌کند. در شکل ۴۷ــ۳ بلوک دیاگرام مدار یک‌سوساز تمام موج به‌همراه شکل موج‌های ورودی و خروجی آن نشان داده شده است.



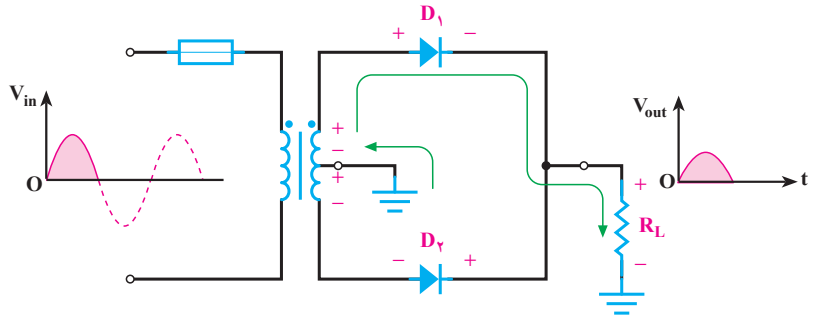
شکل ۴۷ــ۳

یک‌سوساز تمام موج به دوصورت طراحی می‌شود.

۱ــ۲۵ــ۳ــ یک‌سوساز تمام موج با ترانس سر وسط: شکل ۴۸ــ۳ تصویری ازمدار یک‌سوساز تمام موج با ترانس سر وسط و شکل موج سرهای ثانویه نسبت به سر وسط را نشان می‌دهد. در نیم‌سیکل اول وقتی آند دیود D_1 مثبت و آند دیود D_2 منفی است، دیود D_1 وصل و دیود D_2 قطع است، جریان مطابق شکل ۴۹ــ۳ از دیود D_1 عبور کرده و در دو سر R_L افت ولتاژی به‌وجود می‌آورد.

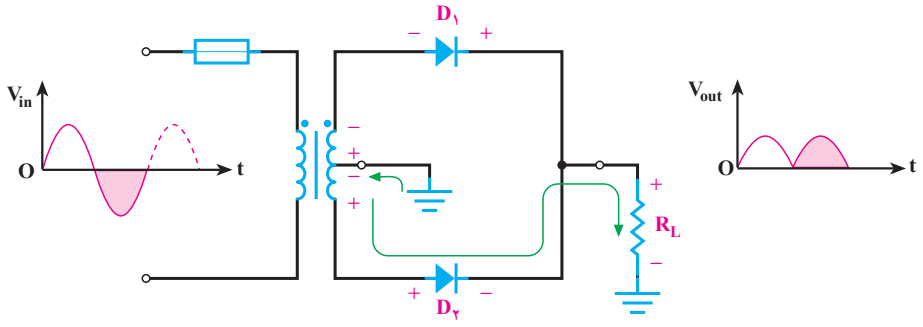


شکل۴۸ــ۳



شکل ۴۹ــ۳

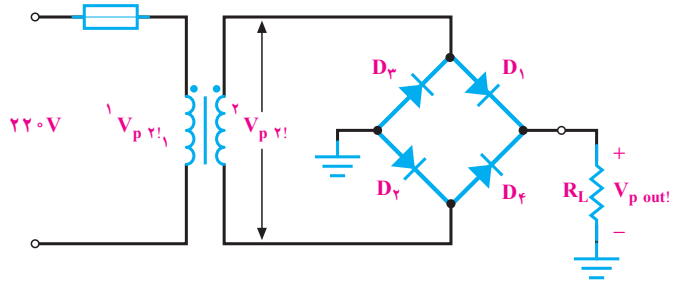
در نیم‌سیکل بعدی آند دیود D_1 منفی و آند دیود D_2 مثبت است؛ از این‌رو دیود D_1 قطع و دیود D_2 وصل است و جریان مطابق شکل ۵۰ــ۳ از دیود D_2 و بار R_L عبور می‌کند. در نتیجه شکل موج ولتاژ دوسر بار یک‌سو شده می‌باشد.



شکل ۵۰ــ۳

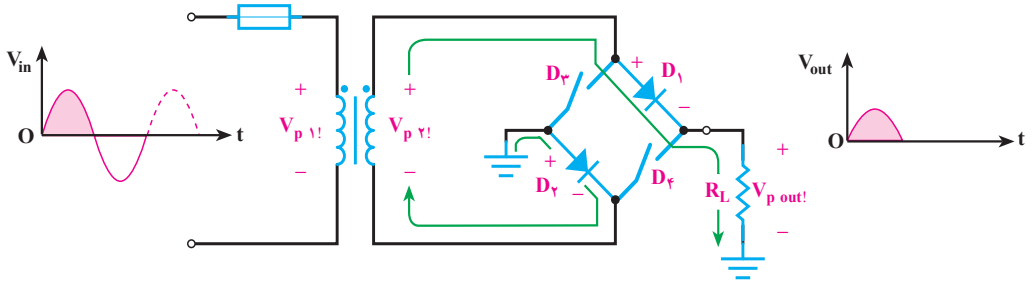
۲ــ۲۵ــ۳ــ یک‌سوساز تمام موج پُل:

مدار یک‌سوساز تمام موج پل مطابق شکل ۵۱ــ۳ است.



شکل ۵۱ــ۳

در نیم‌سیکل اول دیودهای D_1 و D_2 وصل و دیودهای D_3 و D_4 قطع هستند (شکل ۵۲ــ۳).

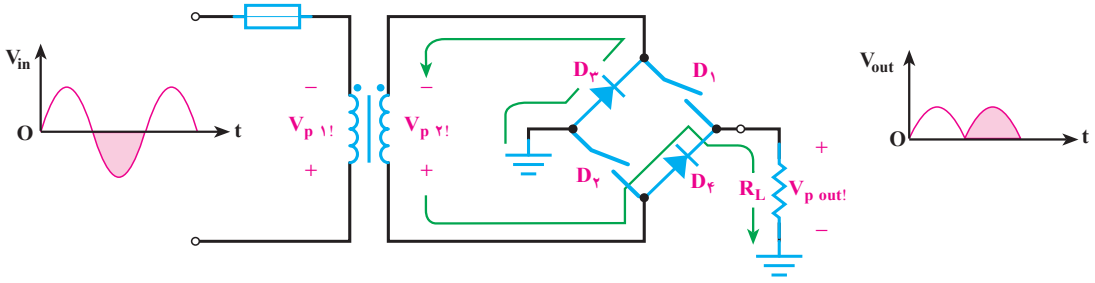


شکل ۵۲ــ۳

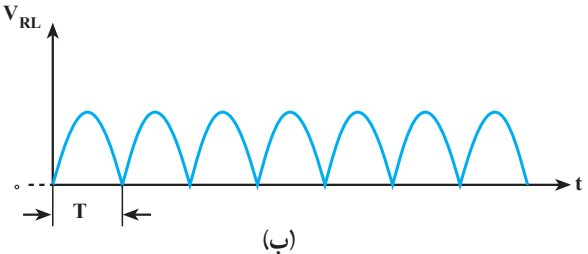
۱ــ منظور از $V_{P(1)}$ ماکزیمم (پیک) ولتاژ اولیه ترانسفورماتور است.

۲ــ منظور از $V_{P(2)}$ ماکزیمم (پیک) ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور است. V_P=Peak Voltage

جریان مطابق شکل از دیودها و بار R_L می‌گذرد. در نیم‌سیکل دوم دیودهای D_1 و D_2 قطع و دیودهای D_3 و D_4 وصل هستند و جریان مطابق شکل ۵۳ ــ۳ــ الف از دیودهای D_3 و D_4 و بار R_L می‌گذرد. از این رو شکل موج دوسر بار به‌صورت شکل ۵۳ــ۳ ــ ب است.



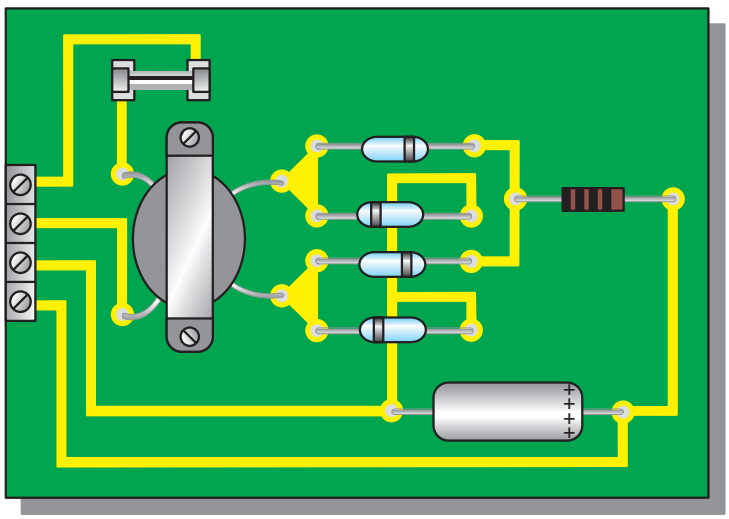
(الف)



(ب)

شکل۵۳ــ۳

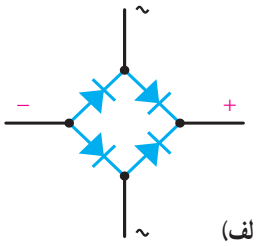
در شکل ۵۴ ــ۳ برد مدارچاپی یک‌سوساز تمام موج پل به همراه سایر قطعات آن (ترانس، خازن صافی، مقاومت بار و فیوز) در اندازه‌ی واقعی نشان داده شده است.



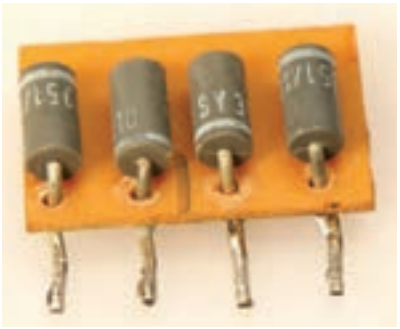
شکل۵۴ــ۳

۳ــ۲۵ــ۳ــ یک‌سوساز تمام موج پل به‌صورت مدار مجتمع:

در شکل ۵۵ ــ۳ــ الف و ب نمای ظاهری و مدار داخلی یک‌سو ساز پل و در تصویر ۵۵ ــ۳ ــ ج مدار یک‌سو ساز پل به‌صورت مدار مجتمع نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

(ج)

شکل۵۵ــ۳

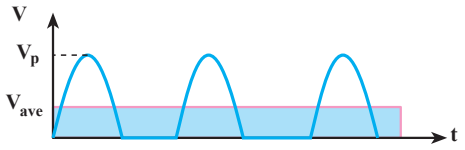
۲۶ــ۳ــ میانگین ولتاژ دو سر بار در یک‌سوسازی

اگر به وسیله‌ی ولت‌متر DC ولتاژ دو سر بار را اندازه بگیریم، ولت‌متر میانگین ولتاژ را نشان می‌دهد. میانگین ولتاژ در یک‌سوساز نیم‌موج ازرابطه‌ی $V_{ave} = \frac{V_P}{\pi} = ۰/۳۱۸V_P$ به‌دست می‌آید. در یک‌سوساز تمام موج میانگین ولتاژ دوبرابر یک‌سوساز نیم‌موج است :

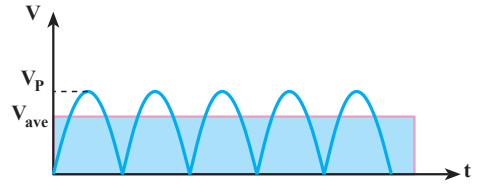
$$V_{ave} = \frac{۲V_P}{\pi} = ۰/۶۳۶V_P$$

توجه : میانگین ولتاژ یک‌سو شده (V_{ave}) همان ولتاژDC (V_{dc}) است که به وسیله‌ی ولت متر DC اندازه گرفته می‌شود.

در شکل ۵۶ ــ۳ و ۵۷ ــ۳ میانگین ولتاژ دو سر بار یک‌سو شده نیم‌موج و تمام موج را ملاحظه می‌کنید.



شکل۵۶ــ۳ ــ میانگین ولتاژ دوسر بار یک‌سوساز نیم موج



شکل۵۷ــ۳ ــ میانگین ولتاژ دوسر بار یک‌سوساز تمام موج

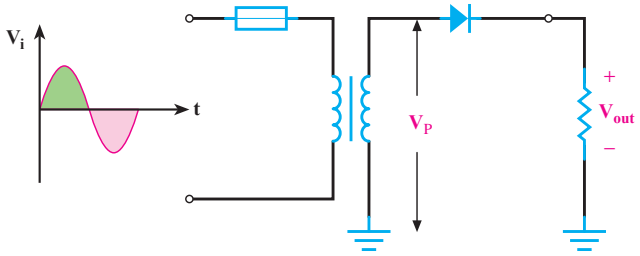
۲۷ــ۳ــ حداکثر ولتاژ معکوس دو سر هر دیود (PIV)[۱]

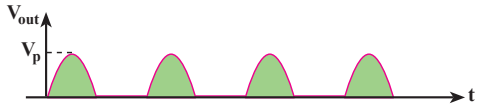
در مدارهای یک‌سوساز، در نیم‌سیکلی که دیود قطع است حداکثر ولتاژی که در دو سر دیود افت می‌کند «PIV» نام دارد. در جدول ۴ــ۳ مدار سه نوع یک‌سوسازی به‌همراه شکل موج ورودی و خروجی و مقادیر مورد نیاز آورده شده و دیودها ایده‌آل فرض شده و ولتاژ وصل دو سر آن صفر ولت در نظر گرفته شده است.

۱ــ PIV = Peak inverse voltage حداکثر ولتاژ معکوس

جدول ۴ــ۳

یک‌سوساز نیم‌موج



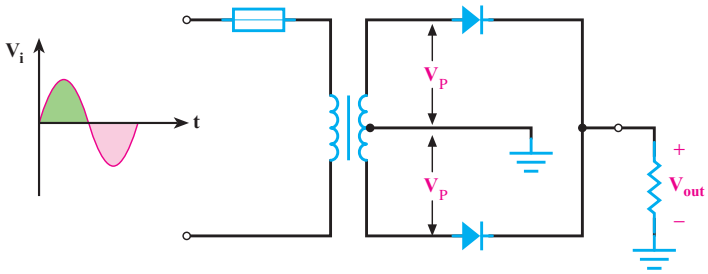


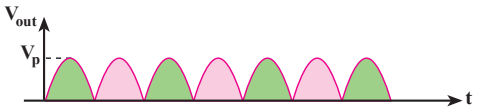
شکل موج خروجی

$$V_{out} = V_{dc} \overset{(۱)}{=} V_{ave} \overset{(۲)}{=} \frac{V_p}{\pi}$$

$$\overset{(۳)}{PIV} = V_p$$

یک‌سوساز تمام موج



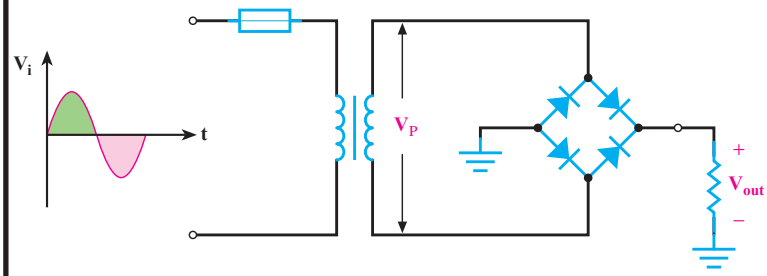


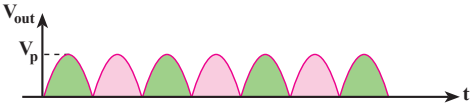
شکل موج خروجی

$$V_{out} = V_{dc} = V_{ave} = \frac{۲V_p}{\pi}$$

$$PIV = ۲V_p$$

یک‌سوساز تمام موج پُل





شکل موج خروجی

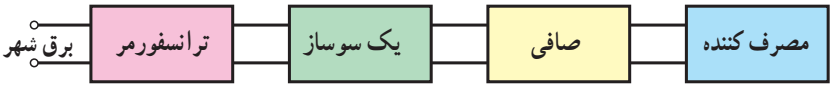
$$V_{out} = V_{dc} = V_{ave} = \frac{۲V_p}{\pi}$$

$$PIV = V_p$$

۱ــ $V_{(ave)}$ = V(average) میانگین ولتاژ ۲ــ V_p حداکثر ولتاژ ثانویه ترانس ۳ــ PIV = Peak inverse voltage حداکثر ولتاژ معکوس

۲۸ــ۳ــ یک‌سوساز با صافی

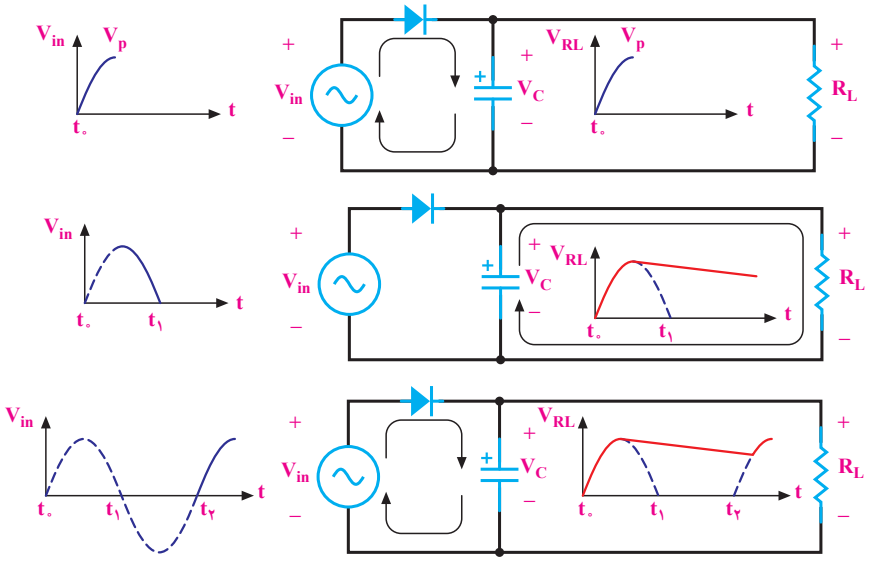
ولتاژ به‌دست آمده از مدار یک‌سوساز نیم‌موج و تمام‌موج یک‌طرفه هستند، اما این موج‌ها تغییراتی نیز دارند. دستگاه‌های برقی و الکترونیکی برای تغذیه‌ی خود به ولتاژی DC و بدون تغییر (بدون ضربان) نیاز دارند ؛ از این‌رو، از صافی برای این‌منظور استفاده می‌کنیم. در شکل ۵۸ــ۳ بلوک دیاگرام یک منبع تغذیه با صافی نشان داده شده است.



شکل ۵۸ــ۳

۱ــ۲۸ــ۳ــ یک‌سوساز نیم‌موج با خازن صافی:

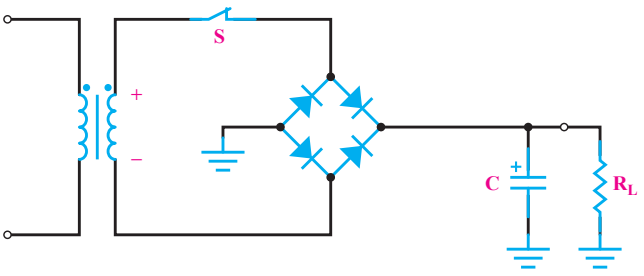
در شکل ۵۹ــ۳ مدار یک‌سوساز نیم‌موج با خازن صافی و شکل موج دو سر بار در لحظات مختلف نشان داده شده است.



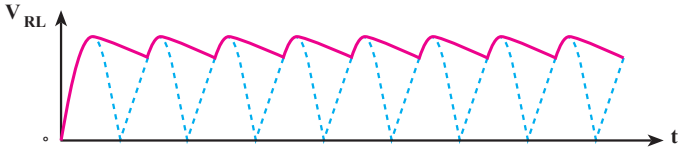
شکل ۵۹ــ۳

۲ــ۲۸ــ۳ــ یک‌سوساز تمام‌موج پل با خازن صافی (آداپتور):

در شکل ۶۰ــ۳ مدار یک سو ساز تمام موج با خازن صافی نشان داده شده است و در شکل ۶۱ــ۳ نیز تصویر موج دوسربار را مشاهده می‌کنید.



شکل ۶۰ــ۳

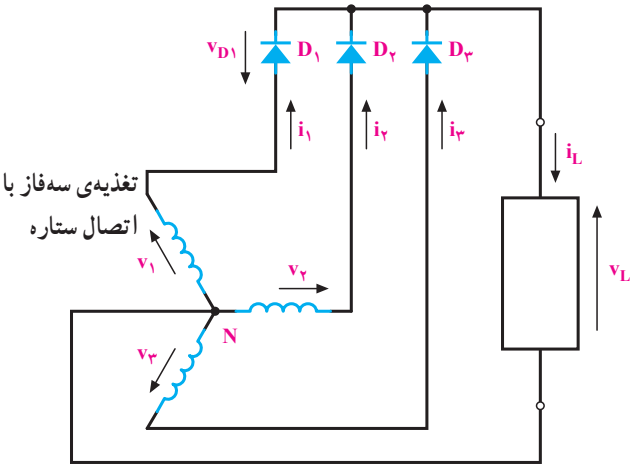


شکل ۶۱ــ۳

۲۹ــ۳ــ یک‌سوساز سه‌فازه

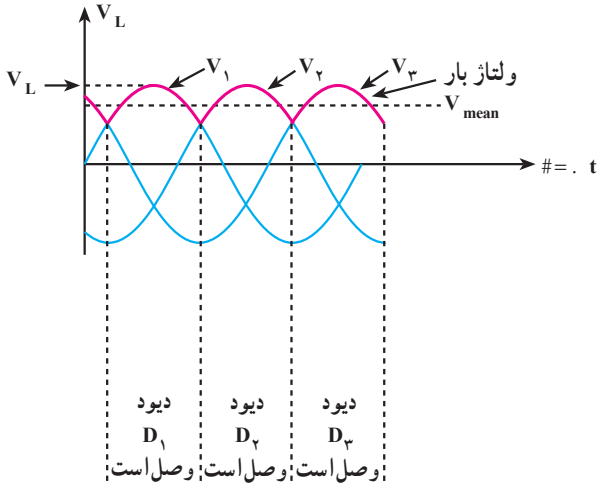
در یک‌سوسازی جریان‌های سه‌فازه نیز می‌بایست مشابه جریان‌های تکفاز در مسیر هر فاز از یک یا دو دیود استفاده کرد. شکل ۶۲ــ۳ مدار «یکسوساز سه‌فازه‌ی نیم موج» را نشان می‌دهد که در مسیر هر فاز آن از یک دیود استفاده می‌شود.

در شبکه سه‌فازه، هر فاز در طی یک فاصله ۱۲۰ درجه نسبت به دو فاز دیگر مثبت‌تر است. لذا در هر ۱۲۰ درجه یک دیود وصل شده و جریان از طریق آن دیود از بار می‌گذرد.



شکل ۶۲ــ۳

در شکل ۶۳ــ۳ شکل موج ولتاژ هر فاز و شکل موج ولتاژ دو سر بار به همراه وضعیت هدایت دیود رسم شده است.



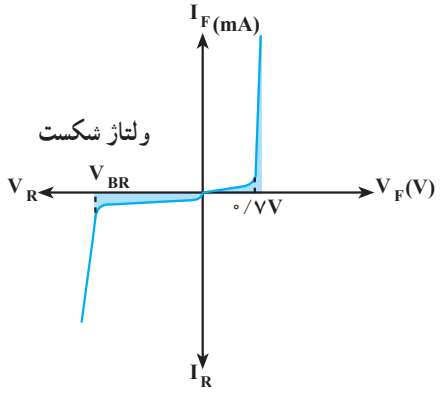
شکل ۶۳ــ۳

۳۰ــ۳ــ انواع دیودهای نیمه‌هادی

دیودهای نیمه‌هادی از لحاظ نوع کار، مشخصه و زمینه‌ی کاربرد دارای انواع مختلفی هستند. تعدادی از این انواع عبارت‌اند از : دیود اتصال نقطه‌ای، دیود زنر، دیود نوردهنده، دیود نوری، دیود خازنی، دیود تونلی و نظایر آن. به‌منظور استفاده‌ی خاص ازجمله منابع تغذیه، دو نوع دیود زنر و دیود نوردهنده را تشریح می‌کنیم.

۱ــ۳۰ــ۳ــ دیود زنر: دیود زنر هم مانند دیود معمولی از اتصال دو کریستال P و N ساخته می‌شود. جنس نیمه‌هادی‌های این دیود از سیلیکن بوده و در بایاس موافق، مانند یک دیود معمولی سیلیکنی است. برخلاف دیودهای معمولی که در بایاس مخالف، در منطقه‌ی شکست آسیب می‌بینند، دیود زنر به‌گونه‌ای ساخته می‌شود تا بتواند در منطقه‌ی شکست کار کند. وقتی ولتاژ بایاس مخالف دو سر دیود را به تدریج افزایش دهیم، در یک ولتاژ خاص دیود شروع به هدایت می‌کند. با هادی شدن دیود ولتاژ دو سر دیود تقریباً ثابت می‌ماند و جریان عبوری از دیود افزایش می‌یابد. ولتاژی که دیود زنر به‌ازای آن در بایاس معکوس هادی می‌شود به «ولتاژ شکست زنر» معروف است.

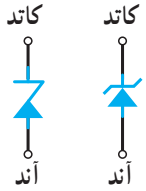
۲ــ۳۰ــ۳ــ منحنی مشخصه‌ی ولت‌آمپر زنر: در شکل ۶۴ــ۳ منحنی مشخصه‌ی ولت‌آمپر دیود زنر نشان داده شده است : در بایاس موافق مشخصه‌ی این دیود مانند یک دیود معمولی سیلیکنی است. در بایاس مخالف تا ولتاژ خاصی به نام ولتاژ شکست، جریان بسیار ناچیز نشتی از دیود می‌گذرد، اما در ولتاژ شکست جریان عبوری از دیود افزایش یافته و ولتاژ



شکل ۶۴ــ۳

دوسر دیود تقریباً ثابت می‌ماند. با تغییر ناخالصی در نیمه‌هادی‌های زنر می‌توان دیودهای زنر با ولتاژ شکست از حدود ۲ تا ۲۰۰ ولت تولید نمود.

۳ــ۳۰ــ۳ــ علامت اختصاری دیود زنر: دیود زنر در مدارها به‌دوصورت مطابق شکل ۳ــ۶۵ نشان داده می‌شود.

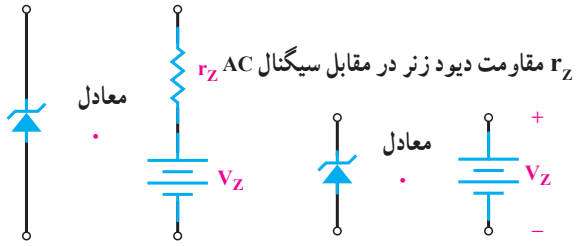


شکل۳ــ۶۵

۴ــ۳۰ــ۳ــ استاندارد ولتاژهای زنر: دیود زنر در ولتاژهای شکست مختلف مطابق استاندارد سری E ساخته می‌شود. دو سری استاندارد $E_{۱۲}$ و $E_{۲۴}$ متداول‌تر است. ولتاژ زنر معمولاً از ۲/۴ ولت تا ۲۰۰ ولت ساخته می‌شود. سری $E_{۱۲}$ دارای تلرانس ۱۰درصد و سری $E_{۲۴}$ دارای تلرانس ۵ درصد است. معمولاً تلرانس همراه ولتاژ شکست روی دیود نوشته می‌شود. حرف C برای تلرانس ۵ درصد و حرف D برای تلرانس ۱۰درصد به‌کار می‌رود ؛ برای مثال دیود زنر BZX۳۲ / C۳V۹ دارای ولتاژ شکست ۳/۹ ولت و تلرانس ۵ درصد است.

۵ ــ۳۰ــ۳ــ توان زنر: جریانی که در بایاس معکوس از دیود می‌گذرد، درمحل اتصال P-N حرارت ایجاد می‌کند. حداکثر جریانی که ممکن است از دیود زنر در بایاس معکوس بگذرد به‌گونه‌ای که به زنر آسیب نرساند، به‌توان زنر بستگی دارد. توان زنر از رابطه‌ی $P_z = V_z . I_z$ به‌دست می‌آید. هر دیود زنر برای توان ماکزیمم معینی ساخته می‌شود. این توان معمولاً از ۰/۱۵ وات تا ۵۰ وات است. با مشخص‌بودن توان زنر و ولتاژ زنر حداکثر جریان عبوری از زنر از رابطه‌ی $I_{z\,max} = \frac{P_z}{V_z}$ به‌دست می‌آید.

۶ــ۳۰ــ۳ــ مدار معادل دیود زنر: اگر در ناحیه‌ی شکست، ولتاژ دو سر زنر را کاملاً ثابت در نظر بگیریم می‌توان یک دیود زنر را به‌گونه‌ی ایده‌آل، معادل یک باتری در نظر گرفت. در شکل ۳ــ۶۶ معادل ایده‌آل زنر را مشاهده می‌کنید. اما دیود زنر به‌صورت واقعی معادل یک مقاومت و یک ولتاژ DC که مقدارش مساوی با ولتاژ شکست زنر است. در شکل ۳ــ۶۷ معادل واقعی دیود زنر نشان داده شده است.



شکل۳ــ۶۶ ــ معادل دیود زنر در حالت ایده‌آل

شکل۳ــ۶۷ــ معادل دیود زنر در حالت واقعی

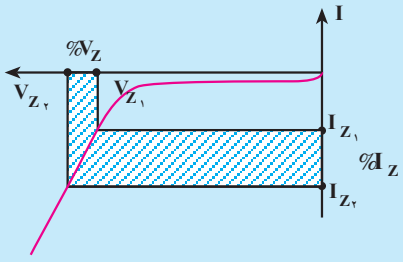
مطالعه‌ی آزاد

مقاومت دینامیکی زنر

مقاومت دینامیکی زنر از رابطه‌ی $r_z = \frac{\%V_z}{\%I_z}$ به‌دست می‌آید. شکل ۳ــ۶۸ تصویری است از چگونگی محاسبه‌ی مقاومت دینامیکی زنر.

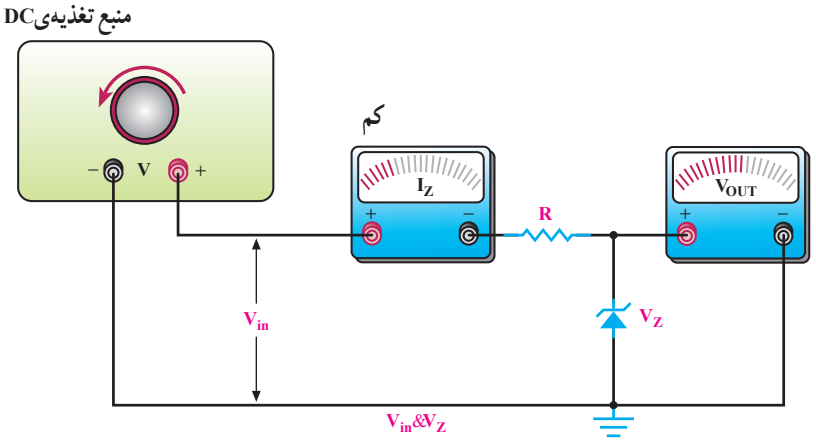
$$\%V_z = Vz_۲ - Vz_۱$$

$$\%I_z = Iz_۲ - Iz_۱$$

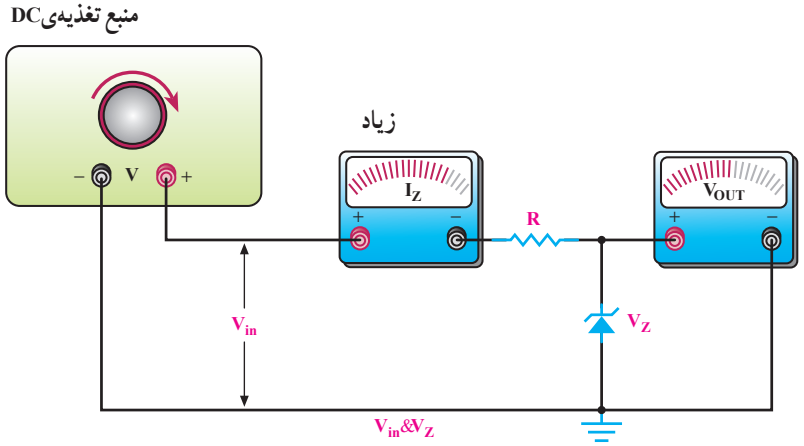


۷ــ۳۰ــ۳ــ کاربرد دیود زنر:

معمولی‌ترین کاربرد دیود زنر برای تثبیت ولتاژ است. اگر منبع ولتاژ یا مقاومت بار تغییر نماید و بخواهیم ولتاژ ثابتی در دو سر بار داشته باشیم از یک دیود زنر استفاده می‌کنیم. برای کنترل جریان زنر مقاومتی را با آن سری می‌کنیم. در شکل ۶۹ــ۳ و ۷۰ــ۳ منظور از تثبیت ولتاژ نشان داده شده است.



شکل ۶۹ــ۳

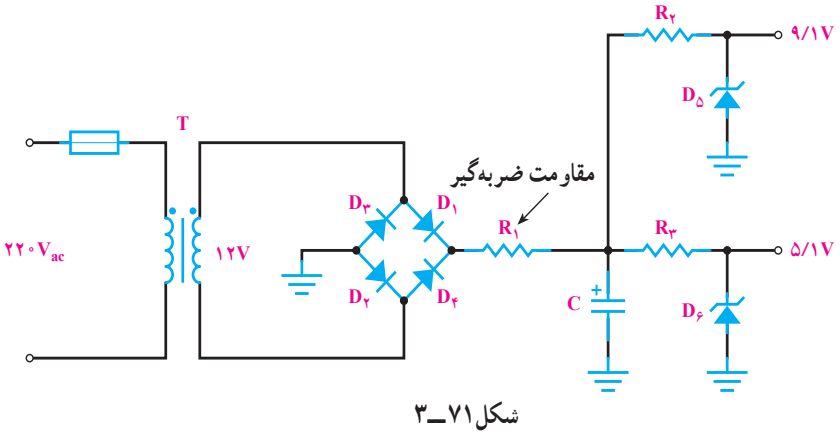


شکل ۷۰ــ۳

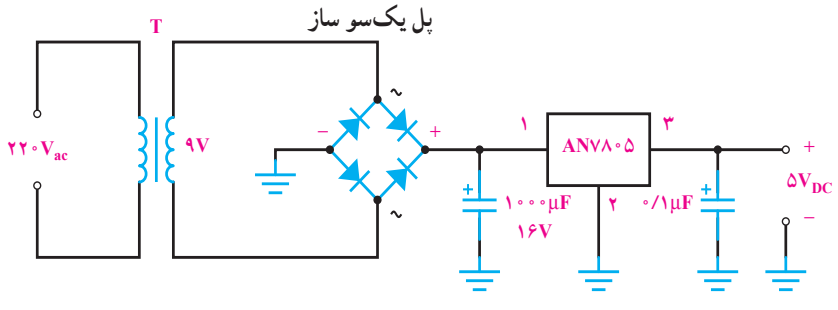
اگر منبع ولتاژ کم شود جریان زنر کم می‌شود، اما ولتاژ دو سر زنر ثابت می‌ماند.

اگر منبع ولتاژ زیاد شود جریان زنر زیاد می‌شود، اما ولتاژ دو سر آن ثابت می‌ماند. البته لازم است برای تثبیت ولتاژ، ولتاژ منبع از ولتاژ شکست زنر بیش‌تر باشد تا دیود زنر در ناحیه‌ی شکست خود کار کند.

در شکل ۷۱ــ۳ مدار منبع تغذیه‌ی ۹/۱ ولت و ۵/۱ ولت توسط زنر نشان داده شده است. البته امروزه به‌جای استفاده از زنر برای تثبیت ولتاژ از «آی‌سی رگولاتور» استفاده می‌کنند. آی‌سی‌های رگولاتور در ولتاژها و جریان‌های مختلف وجود دارند. شکل ۷۲ــ۳ تصویری است از یک مدار منبع تغذیه با آی سی رگولاتور.



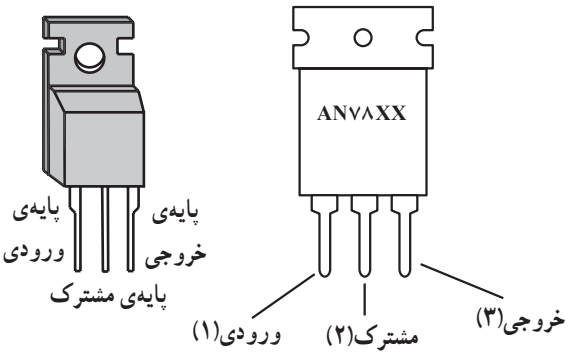
شکل ۷۱ــ۳



شکل ۷۲ــ۳

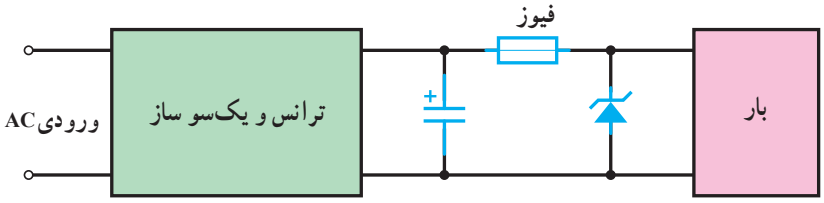
آی‌سی‌های رگولاتور دارای امتیازاتی هستند ؛ برای مثال در مقابل اتصال کوتاه شدن خروجی یا جریان کشیدن بیش‌از اندازه محافظت شده‌اند. درضمن، این آی‌سی‌ها دارای حجم کم هستند. ولتاژ خروجی بعضی از آی‌سی‌های رگولاتور می‌تواند متغیر باشد. سری AN۷۸XX دارای سه‌پایه، و ولتاژ خروجی آن‌ها ثابت است. در شکل ۷۳ــ۳ نمای ظاهری و پایه‌های این سری آی‌سی‌ها نشان داده شده است.

برای مثال آی‌سی شماره‌ی ۷۸۰۵ دارای ولتاژ خروجی ۵ ولت، شماره‌ی ۷۸۰۶ دارای ولتاژ خروجی ۶ولت، شماره‌ی ۷۸۱۲ دارای ولتاژ خروجی ۱۲ولت، و شماره‌ی ۷۸۱۵ دارای ولتاژ خروجی ۱۵ ولت است. حداکثر جریان خروجی این آی‌سی‌ها یک آمپر است.



شکل۷۳ــ۳

۸ ــ ۳۰ــ۳ــ استفاده از زنر برای حفاظت دستگاه در مقابل ولتاژ اضافی: در شکل ۷۴ــ۳ مدار حفاظت رسم شده است.



شکل۷۴ــ۳

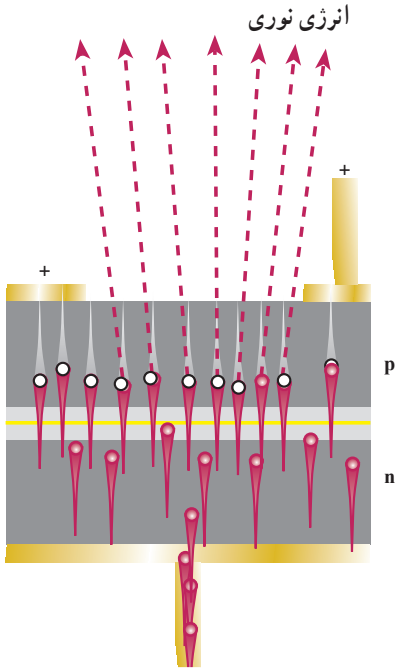
در اثر عواملی نظیر افزایش ولتاژ شبکه یا اتصال ثانویه به‌اولیه‌ی ترانس، ولتاژ خروجی منبع تغذیه افزایش می‌یابد. این افزایش ولتاژ می‌تواند به‌بار آسیب برساند، دیود زنر در وضعیت عادی ولتاژ شکستی بیش‌تر از حداکثر ولتاژ منبع تغذیه دارد و قطع است. اگر ولتاژ خروجی منبع تغذیه زیاد شود دیود زنر در منطقه‌ی شکست قرارگرفته هادی می‌شود و جریان آن به‌طورناگهانی زیادتر شده در نتیجه، جریان زیاد سبب سوختن فیوز و قطع ولتاژ به دو سر بار می‌شود.

۳۱ــ۳ــ دیود نوردهنده LED[1]

این دیود وقتی در بایاس مستقیم قرار می‌گیرد با عبور جریان از آن، نور ساطع می‌شود. در دیودهای معمولی و در بایاس مستقیم در محل اتصال N-P وقتی الکترون‌هایی از ناحیه‌ی N وارد ناحیه‌ی P می‌شوند و با حفره ترکیب مجدد شده، در این عمل مقداری انرژی به‌صورت حرارت آزاد می‌شود. در دیود نوردهنده انرژی آزاد شده به‌صورت نور است. برای این منظور، در ساختمان دیود از ترکیب عناصری نظیرP، As و Ga(فسفر، ارسنیک و گالیم) استفاده می‌کنند. با انتخاب ترکیب مختلف از این عناصر انواع «LED» به رنگ‌های سبز، زرد و قرمز تولید می‌کنند.

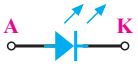
شکل ۷۵ــ۳ ترکیب الکترون و حفره و آزاد شدن نور را نشان می‌دهد.

۱ــ LED = Light Emitting diode



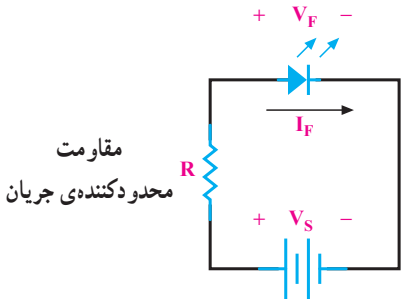
شکل۷۵ــ۳

علامت اختصاری دیود نوردهنده به‌صورت شکل ۷۶ــ۳ است.



شکل۷۶ــ۳

۱ــ۳۱ــ۳ــ کاربردهای LED: معمولاً از LED در قسمت نشانگر روشن بودن دستگاه‌های برقی و الکترونیکی به‌جای لامپ کم‌مصرف استفاده می‌کنند. در شکل ۷۷ــ۳ طرز قرارگرفتن LED را در این مدارها ملاحظه می‌کنید. اغلب برای کنترل جریان LED مقاومت R را با آن سری می‌کنند.



شکل۷۷ــ۳

اگر افت ولتاژ دو سر دیود را V_F درنظر بگیریم مقدار مقاومت R از رابطه‌ی $R = \frac{V_S - V_F}{I_F}$ به‌دست می‌آید. V_F افت ولتاژ دو سر دیود بوده که معمولاً حدود ۱/۵ تا ۳ ولت است. مقدار دقیق این افت ولتاژ به‌میزان جریان عبوری، رنگ و نوع دیود بستگی دارد. I_F معرف جریان عبوری از دیود بوده و برای ایجاد نور کافی از ۵ میلی‌آمپر تا ۳۰ میلی‌آمپر در نظر گرفته می‌شود.

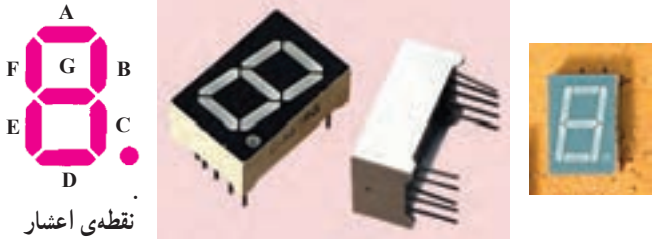
۲ــ۳۱ــ۳ــ دیود نورانی مادون قرمز IR[1]: این نوع LED، نور نامرئی ایجاد می‌کند. در مصارف خاص مثلاً چشم‌های الکترونیک یا کنترل از راه دور و نیز در صنعت فیبر نوری کاربرد بسیار دارد.

۳ــ۳۱ــ۳ــ نمایشگر هفت قطعه‌ای[2] (سِون سگمنت): اگر هفت قطعه LED به فرم خاص در کنار هم قرارگیرند به شکل عدد 8 انگلیسی درمی‌آیند که به‌وسیله‌ی آن می‌توان اعداد از ۰ تا ۹ انگلیسی نیز حروف A، b، C، d، E و F را نمایش داد.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

A b C d E F

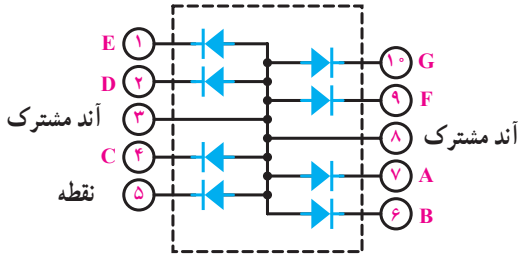
شکل ظاهری نمایش‌گر هفت قطعه‌ای با نقطه‌ی اعشار به صورت شکل ۷۸ــ۳ است . نمایش‌گر هفت قطعه‌ای به دو صورت «آند مشترک»[3] و «کاتد مشترک»[4] ساخته می‌شود. در نوع آند مشترک، آند هفت دیود به‌هم وصل‌اند و یک اتصال به‌صورت آند مشترک بوده، هر کاتد دارای یک اتصال جداگانه است.



شکل۷۸ــ۳

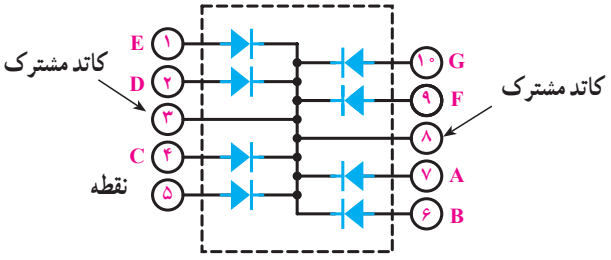
۱ــ IR = Infra Red
۲ــ 7-Segment
۳ــ Common Anode
۴ــ Common Cathode

در شکل ۷۹ــ۳ نمایشگر هفت‌قطعه‌ای آند مشترک را ملاحظه می‌کنید.



شکل ۷۹ــ۳

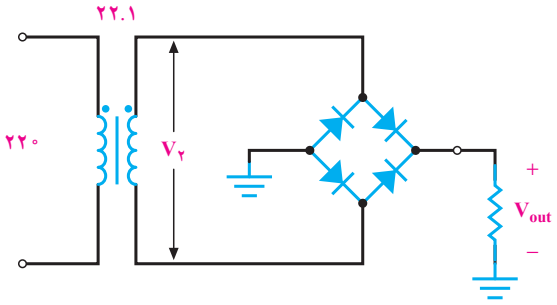
در نوع کاتد مشترک کاتد همه‌ی دیودها به‌هم وصل‌اند و اتصالی به‌صورت کاتد مشترک وجود دارد. آندها دارای اتصال جداگانه می‌باشند. هر LED با حروف A، B، C، D، E، F و G نشان داده می‌شوند. در شکل ۸۰ ــ۳ نمایشگر هفت قطعه‌ای کاتد مشترک نشان داده شده است. معمولاً در مدار، برای کنترل جریان، مقاومتی (حدود ۱۵۰Ω) در مسیر هر دیود سری می‌کنند.



شکل ۸۰ــ۳

۳۲ــ۳ــ چند مثال کاربردی

مثال ۱: در شکل ۸۱ــ۳ اگر ترانس دارای نسبت دور ۱ : ۲۲ باشد، میانگین ولتاژ دو سر بار و PIV هر دیود چه‌قدر است؟ (دیودها ایده‌آل هستند)



شکل ۸۱ــ۳

حل:

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2}$$

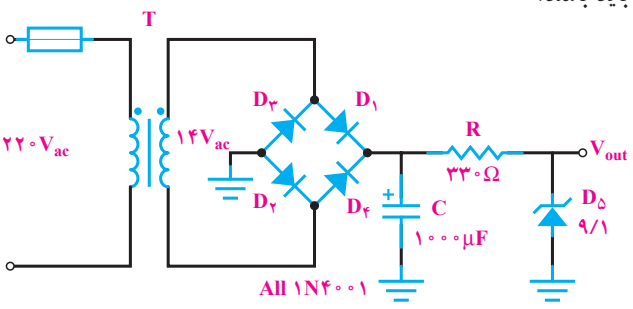
$$V_2=(\frac{1}{22})(220)=10 \text{ ولت مؤثر}$$

$$V_P=\sqrt{2}\,V_e=\sqrt{2}\times10=1/41\times10=14/1 \text{ ولت}$$

$$V_{ave}=\frac{2V_P}{.}=\frac{2\times14/1}{3/14}=8/98 \text{ ولت}$$

$$PIV=V_P=14/1 \text{ ولت}$$

مثال ۲: مدار یک منبع تغذیه‌ی ۹ ولت ثابت را رسم کنید. در صورت ایده‌آل بودن دیودها ولتاژ کار خازن چند ولت باید باشد؟



شکل ۸۲ــ۳

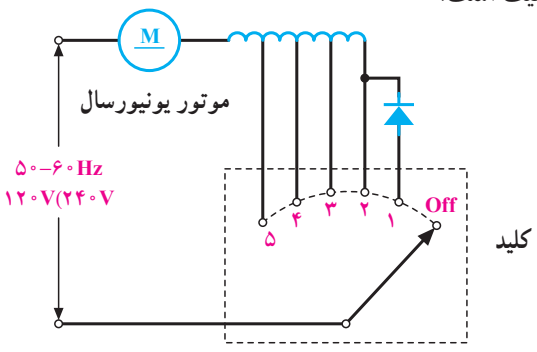
حلّ: مدار مانند شکل ۸۲ ــ۳ است.

$$V_P=\sqrt{2}\,V_e$$

$$V_P=14\times1/41=19/74$$

پس حداقل ولتاژ کار خازن C باید برابر ولت $V_C=20$ باشد.

مثال ۳: در شکل ۸۳ ــ۳ مدار الکتریکی یک همزن ۵سرعته رسم شده است، تعیین کنید کم‌ترین دور موتور در کدام وضعیت است؟



شکل ۸۳ــ۳

حلّ: کم‌ترین دور موتور در وضعیت یک کلید است. در این حالت تعداد دور سیم‌پیچی که در مدار قرارمی‌گیرد با وضعیت ۲ یکی است. فقط دیود با سیم‌پیچ سری شده است ؛ ازاین‌رو، سبب یک‌سو شدن برق متناوب و کاهش مقدارمؤثر ولتاژ اعمالی به موتور می‌شود و سرعت موتور کاهش می‌یابد.

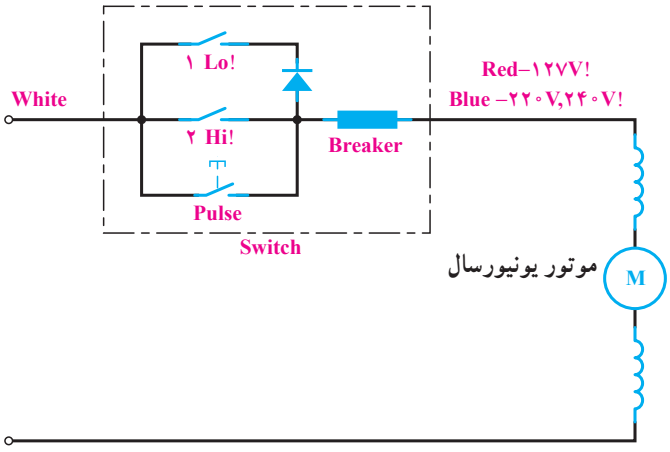
مثال ۴: حداکثر ولتاژ معکوس (PIV) دیود در مثال «۳» چه‌قدر باید انتخاب شود.

حلّ: اگر برق ورودی دارای ولتاژ ۲۴۰ ولت باشد، حداکثر ولتاژ V_P برابر :

$$PIV = VP$$

ولت ۳۳۸/۴ $= \sqrt{۲}\times ۲۴۰ = \sqrt{۲}\, V_e = VP$ است.

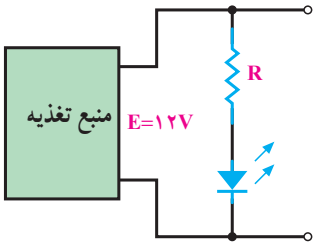
مثال ۵: در شکل ۸۴ــ۳ مدار الکتریکی آب‌میوه‌گیری رسم شده است. نقش دیود در مدار چیست؟



شکل۸۴ــ۳ــ مدار الکتریکی آب میوه‌گیری

حلّ: وقتی کلید 1(LO) وصل می‌شود دیود در مدار قرارمی‌گیرد ، برق ورودی یک‌سو شده و دور موتور را کم می‌کند (وضعیت دور کم).

مثال ۶: در شکل ۸۵ــ۳ برای منبع تغذیه E = ۱۲ ولت R را طوری محاسبه کنید که LED نور مناسب داشته باشد.

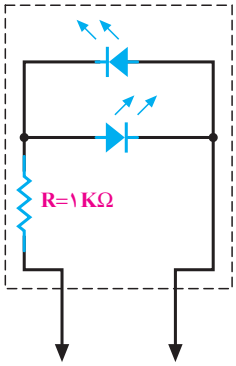


شکل۸۵ــ۳

حلّ: برای این‌منظور ولتاژ دوسر LED را ۲ ولت ($V_F = ۲$ ولت) و جریان عبوری از آن را برای نور مناسب $I_F = (۱۰mA)$ در نظر می‌گیریم : ۱۰mA

$$R = \frac{E - V_F}{I_F} = \frac{۱۲ - ۲}{۱۰mA} = ۱K\Omega$$

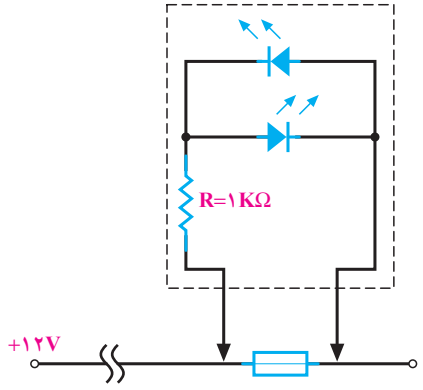
مثال ۷: مدار آزمایش فیوز : برای آزمایش سالم‌بودن فیوزها مثلاً فیوزهای اتومبیل بدون آن‌که بخواهیم فیوز را از مدار خارج کنیم می‌توان از مدار شکل ۸۶ ــ۳ استفاده نمود.



شکل۸۶ــ۳

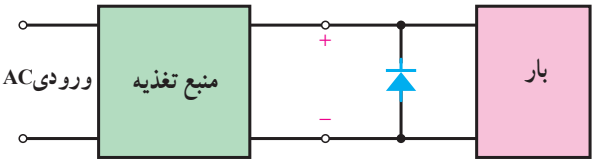
مدار با فیوز موازی می‌شود. اگر فیوز سالم باشد از LEDها جریانی عبور نمی‌کند و LEDها خاموش هستند. اگر فیوز سوخته باشد با عبور جریان از یکی از LEDها، آن LED روشن می‌شود که نشانه‌ی خرابی فیوز است. چون دو LED به‌طور معکوس به‌هم وصل شده‌اند. مدار قطب خاصی ندارد و جهت وصل مدار به‌فیوز فرقی نمی‌کند.

در شکل ۸۷ ــ۳ نحوه‌ی اتصال مدار را به‌دو سر فیوز مشاهده می‌کنید.



شکل۸۷ــ۳

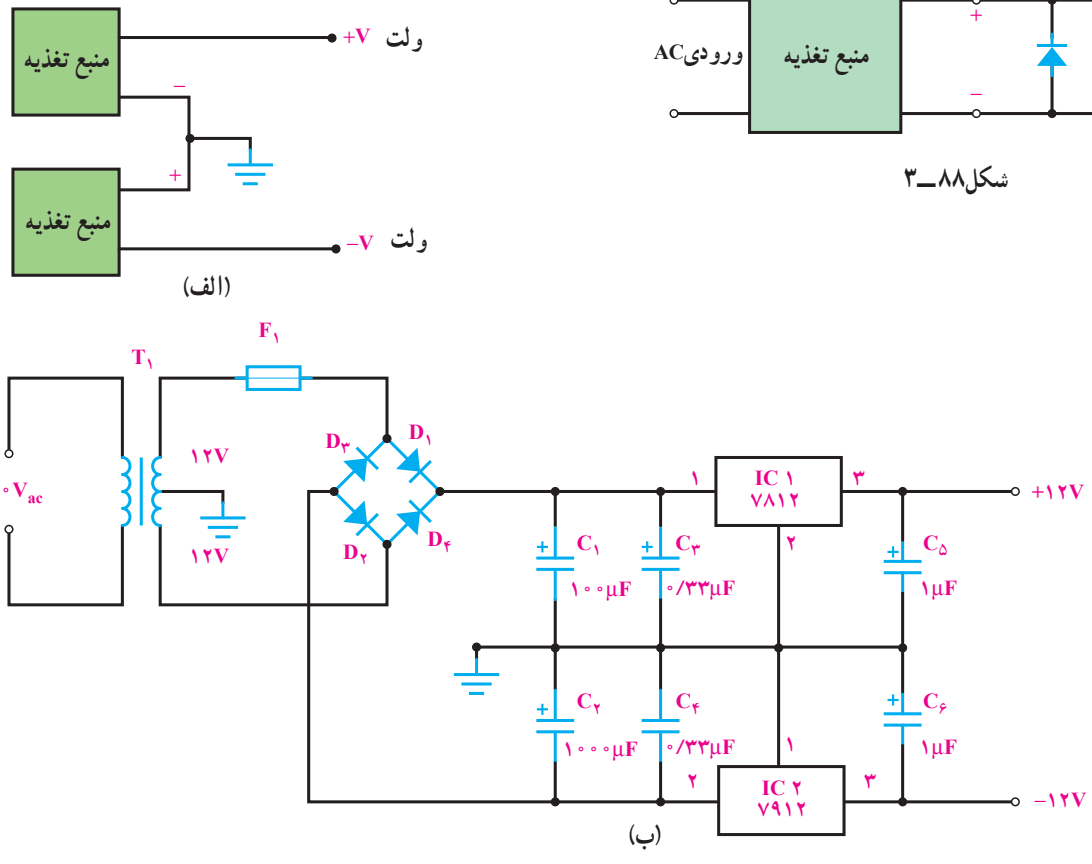
مثال ۸: برای حفاظت منابع تغذیه درمقابل ولتاژ القایی معکوس در مصرف‌کننده‌های سلفی از یک دیود استفاده می‌کنیم (شکل ۸۸ ــ۳).



شکل۸۸ــ۳

دیود درحالت عادی در بایاس مخالف قرارداشته و قطع است. زمانی که ولتاژ معکوس القایی بار به خروجی منبع تغذیه برسد دیود در بایاس موافق قرار می‌گیرد، جریان معکوس از دیود عبور نموده و آسیبی به منبع تغذیه نمی‌رسد.

مثال ۹: منبع تغذیه متقارن: در بعضی از مدارهای الکتریکی و الکترونیکی به ولتاژ قرینه نیاز است. در شکل ۸۹ــ۳ــ الف بلوک دیاگرام چگونگی ایجاد ولتاژ قرینه رسم شده است. برای تهیه‌ی ولتاژ متقارن $\pm V$ ولت می‌توان از مدار یکسوساز با صافی خازنی استفاده نمود، سپس با قراردادن دو آی سی رگولاتور AN۷۸XX و AN۷۹XX در خروجی یکسوساز و صافی ولتاژ متقارن را ایجاد کرد. آی سی رگولاتورهای سری AN۷۸XX در پایه خروجی ولتاژ ثابت مثبت و سری AN۷۹XX ولتاژ ثابت منفی را ایجاد می‌نمایند. شکل ۸۹ــ۳ــ ب مدار الکترونیکی تهیه ولتاژ متقارن ۱۲± ولت را نشان می‌دهد. خازن‌های $C_۳$ و $C_۴$ و $C_۵$ و $C_۶$ برای حذف پارازیت‌های فرکانس بالا در مدار به کار رفته‌اند.



شکل ۸۹ ــ۳ــ بلوک دیاگرام و مدار الکترونیکی منبع تغذیه‌ی متقارن

پرسش

۱ــ عناصر موجود در طبیعت از نظر هدایت الکتریکی به چند دسته تقسیم‌بندی می‌شوند؟ نام ببرید.

۲ــ نقره هادی‌تر است یا مس؟ چرا؟

۳ــ الکترون‌های لایه والانس سیلیکن با انرژی کم‌تر از قید هسته آزاد می‌شوند یا ژرمانیم؟ چرا؟

۴ــ چگونگی حرکت الکترون‌ها و حفره‌ها را با هم مقایسه کنید.

۵ ــ چگونگی تشکیل کریستال نوع N و نوع P را شرح دهید.

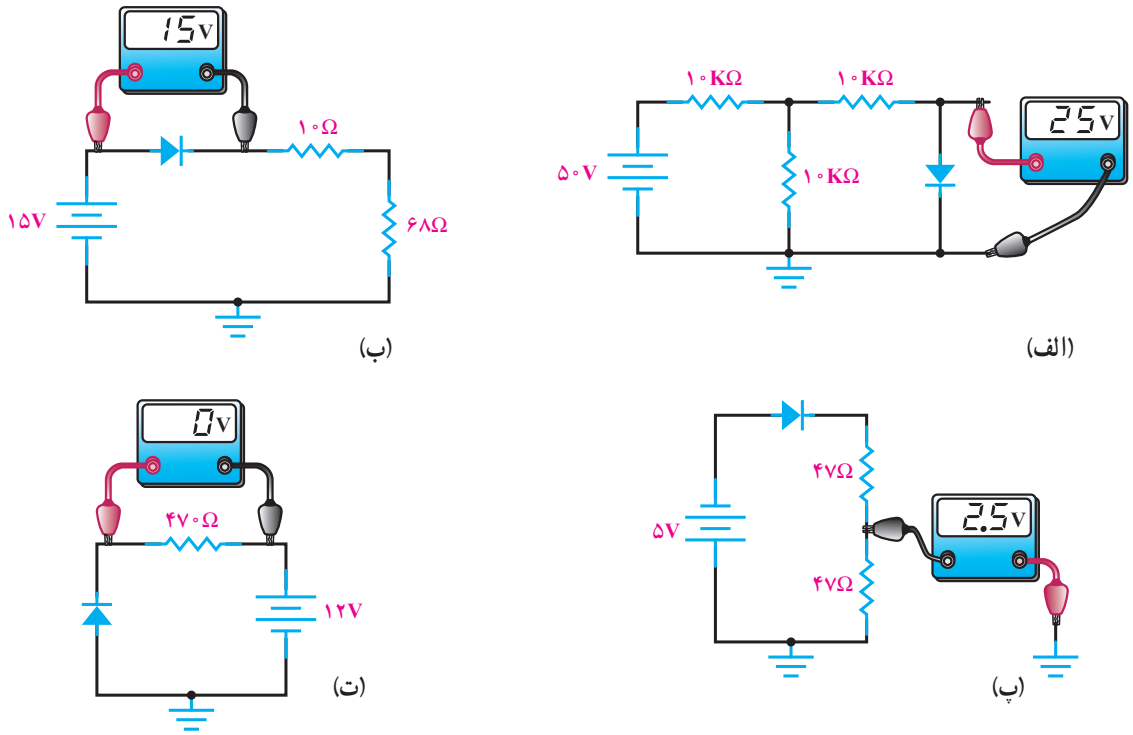
۶ــ از روی علایم ظاهری دیودها، چگونه می‌توان آند و کاتد دیودها را تشخیص داد؟

۷ــ چرا در بایاس مستقیم مقاومتی با دیود سری می‌کنند؟

۸ ــ معادل کلیدی یک دیود ایده‌آل را در بایاس مستقیم و معکوس رسم کنید.

۹ــ مقادیر حد در دیودها را نام ببرید.

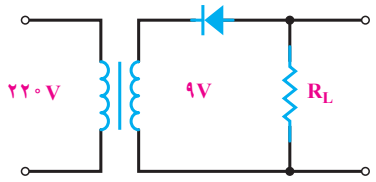
۱۰ــ در شکل ۹۰ــ۳ باتوجه به مقدار ولتاژ ولت‌متر شرح دهید که آیا دیودها سالم هستند یا معیوب؟ درصورت معیوب‌بودن باز هستند یا اتصال کوتاه؟



شکل ۹۰ــ۳

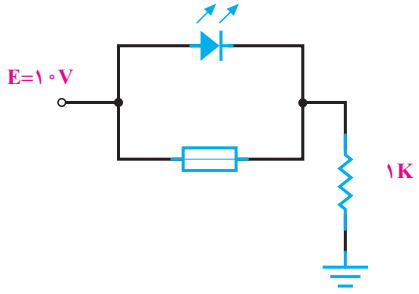
۱۱ــ یک‌سوسازی را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.

۱۲ــ شکل موج دو سر بار در شکل ۹۱ــ۳ را رسم کنید. میانگین ولتاژ دو سر بار و PIV دیود را محاسبه کنید.(دیود ایده‌آل در نظر گرفته شده است.)



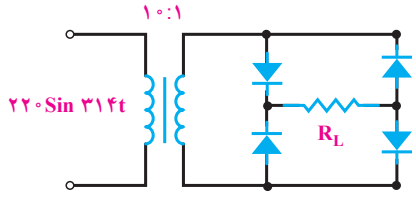
شکل ۹۱ــ۳

۱۳ــ اثر صافی خازنی در مدار یک‌سوساز نیم‌موج و تمام موج چیست؟ شرح دهید.
۱۴ــ مدار یک منبع تغذیه‌ی ۶ ولت را با صافی و رگولاتور ساده زنر رسم کنید.
۱۵ــ ولتاژ دو سر دیود زنر در بایاس مستقیم پس از وصل چقدر است؟
۱۶ــ دیود زنری با توان ۳ وات و ولتاژ شکست ۶ ولت حداکثر چه جریانی را تحمل می‌کند؟
۱۷ــ آیا افت ولتاژ دو سر LED در بایاس مستقیم مانند دیود معمولی سیلیسیومی است؟
۱۸ــ کار مدار شکل ۹۲ــ۳ را شرح دهید.



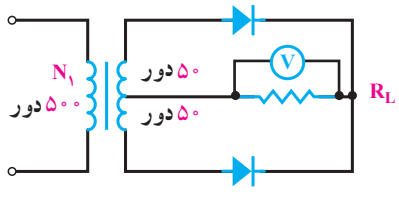
شکل ۹۲ــ۳

۱۹ــ در شکل ۹۳ــ۳ میانگین ولتاژ دو سر بار و PIV هر دیود را محاسبه کنید.(دیودها ایده‌آل هستند.)



شکل ۹۳ــ۳

۲۰ــ در شکل ۹۴ــ۳ اگر ولت متر DC، ۱۴ ولت را نشان دهد، ولتاژ مؤثر اولیه ترانسفورماتور را محاسبه کنید.(دیودها ایده‌آل هستند.)



شکل ۹۴ــ۳

فصل چهارم

ترانزیستور BJT

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ اتصال سه‌گانه‌ی PNP و NPN را تعریف کند.

۲ــ بایاسینگ ترانزیستور را شرح دهد.

۳ــ وابستگی جریان کلکتور به جریان بیس را توضیح دهد.

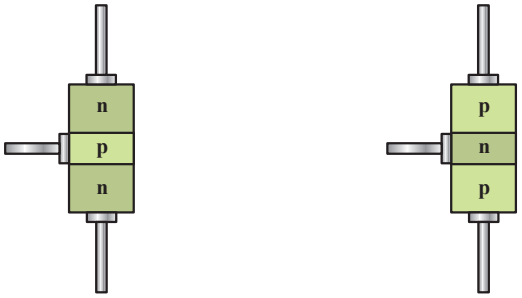
۴ــ عمل‌کرد ترانزیستور به‌عنوان انتقال‌دهنده‌ی مقاومت را شرح دهد.

۵ــ کاربرد ترانزیستور در حالت قطع و اشباع را بیان نماید.

۶ــ مدارهای ساده ترانزیستوری را تحلیل کند.

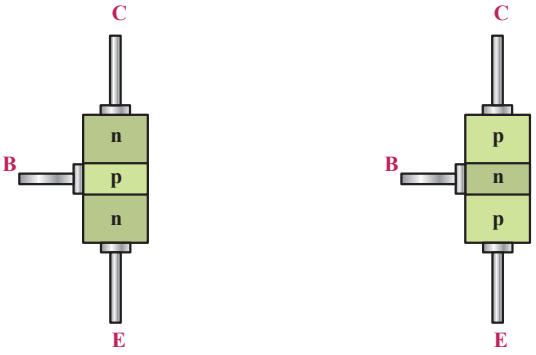
۱ــ۴ــ ساختمان ترانزیستور

ترانزیستور معمولی از سه کریستال نوع P و N تشکیل یافته است. ترتیب قرارگرفتن کریستال‌های P و N در کنارهم به‌صورت شکل ۱ــ۴ است.



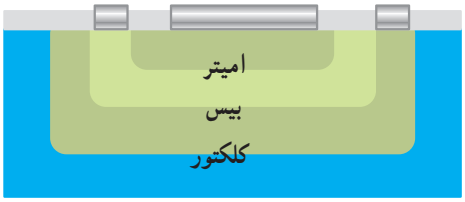
شکل ۱ــ۴

با توجه به شکل مشاهده می‌شود دو نوع ترانزیستور وجود دارد که به یکی «NPN» و دیگری «PNP» گفته می‌شود. سه پایه‌ی ترانزیستور نیز : «امیتر»[۱] یعنی منتشر کننده، «بیس»[۲] یعنی پایه و «کلکتور»[۳] یعنی جمع‌کننده نام‌گذاری شده‌اند.



شکل ۲ــ۴

شکل ۲ــ۴ پایه‌ها و طرز قرارگرفتن نیمه‌هادی‌ها را در ساختمان ترانزیستور نشان می‌دهد.



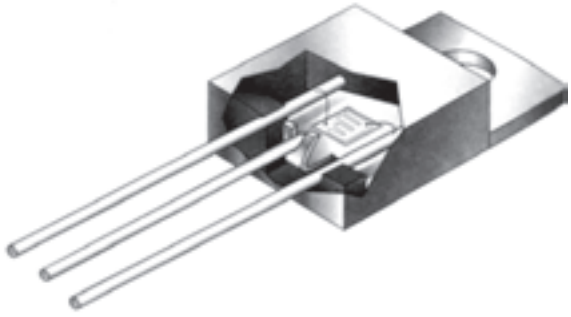
۱ــ Emitter ۲ــ Base ۳ــ Collector

کریستال P یا N که به‌صورت «امیتر» به‌کار می‌رود نسبت به لایه‌ی «بیس» و «کلکتور» دارای ناخالصی بیش‌تر است. ضخامت لایه‌ی امیتر حدود ۲۰ تا ۲۰۰۰ میکرومتر است. لایه‌ی بیس نسبت به کلکتور و امیتر دارای ناخالصی و ضخامت بسیارکم‌تر است. ناخالصی لایه‌ی کلکتور از امیتر کم‌تر، اما از بیس به مراتب بیش‌تر است. ضخامت لایه‌ی کلکتور از امیتر بیش‌تر است، زیرا تمام تلفات حرارتی ترانزیستور در کلکتور ایجاد می‌شود.

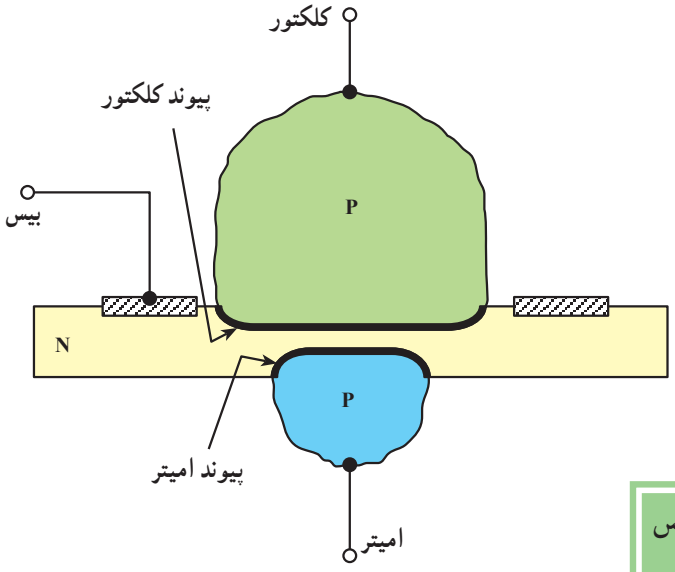
در شکل ۳ــ۴ نسبت تقریبی لایه‌های ترانزیستور و نمونه‌ای از یک ترانزیستور ساخته شده نشان داده شده است.

این نوع ترانزیستور به‌اختصار «BJT»[1] نام دارد.

کلمه‌ی «B» برگرفته از Bipolar به معنی «دوقطبی» به این منظور استفاده شده است که در ترانزیستور هر دو عامل الکترون‌ها و حفره‌ها در هدایت جریان نقش دارند.



(الف)



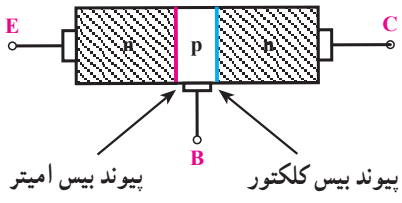
(ب)

ضخامت لایه‌ی کلکتور > ضخامت لایه‌ی امیتر > ضخامت لایه‌ی بیس
ناخالصی لایه‌ی امیتر > ناخالصی لایه‌ی کلکتور > ناخالصی لایه‌ی بیس

شکل ۳ــ۴

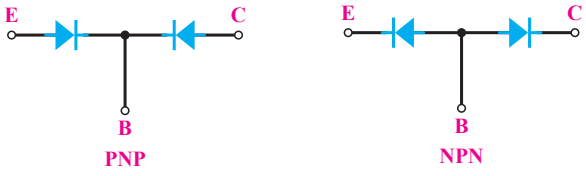
۲ــ۴ــ نمای مداری و معادل دیودی ترانزیستور

هر ترانزیستور دارای دو محل پیوند P-N است. در شکل ۴ــ۴ دو محل پیوند نشان داده شده است.



شکل ۴ــ۴

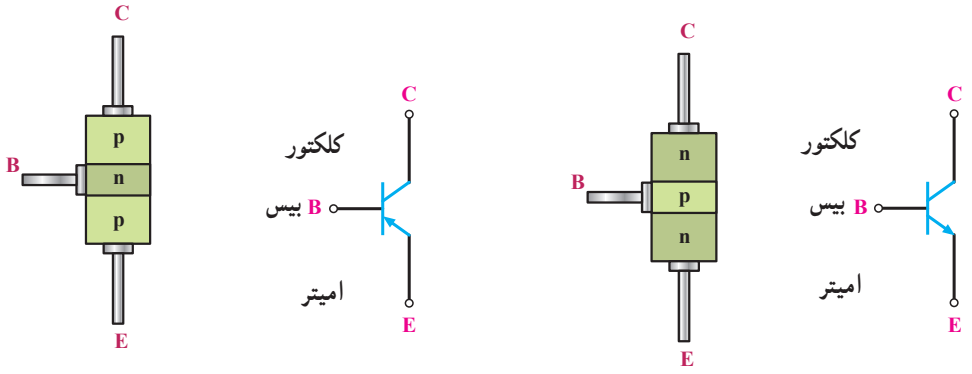
هر اتصال P-N معادل یک دیود بوده از این‌رو می‌توان یک ترانزیستور را معادل دو دیود نشان داد. در شکل ۵ ــ۴ معادل دیودی هر ترانزیستور نشان داده شده است.



شکل ۵ــ۴

۱ــ BJT = Bipolar Junction Transistor ترانزیستور پیوندی دوقطبی

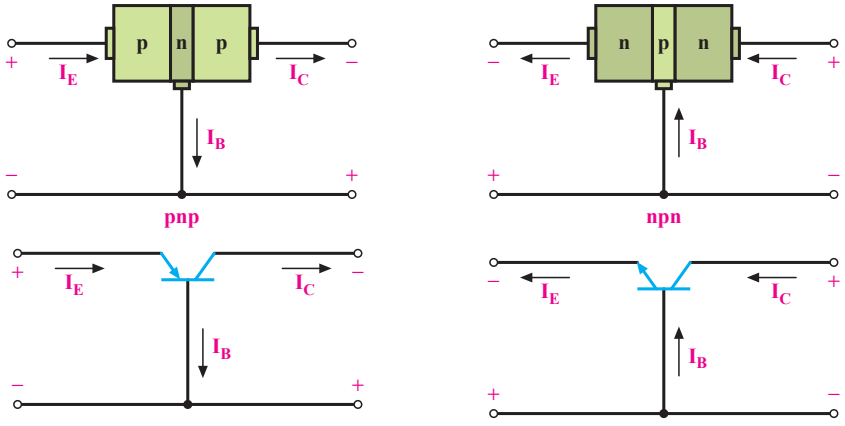
نمای مداری ترانزیستورهای NPN و PNP در شکل ۶ــ۴ مشخص شده است.



شکل ۶ــ۴

۳ــ۴ــ بایاس کردن ترانزیستور

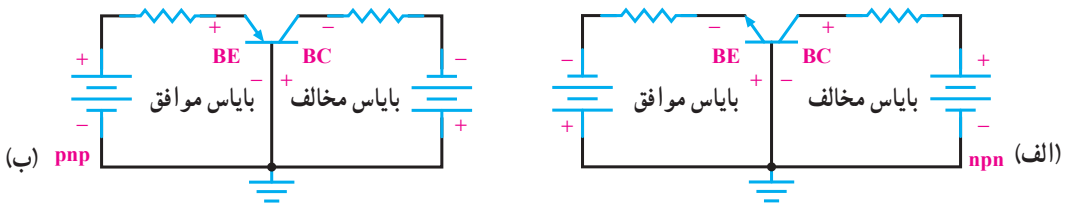
برای این‌که بتوانیم از ترانزیستور به‌صورت تقویت‌کننده یا کلید و نظایر آن استفاده کنیم باید ابتدا ترانزیستور را با ولتاژ DC تغذیه کنیم. تغذیه نمودن پایه‌های ترانزیستور را بایاس کردن «ترانزیستور» گویند. برای بایاس کردن ترانزیستور به دو دیود امیتربیس و کلکتوربیس ولتاژ DC اعمال می‌شود. چون ترانزیستور سه‌پایه دارد یکی از پایه‌ها را مشترک و دو پایه‌ی دیگر را یکی ورودی و دیگری خروجی در نظر می‌گیریم. در شکل ۷ــ۴ این حالت برای دو نوع ترانزیستور PNP و NPN نشان داده شده است.



شکل ۷ــ۴

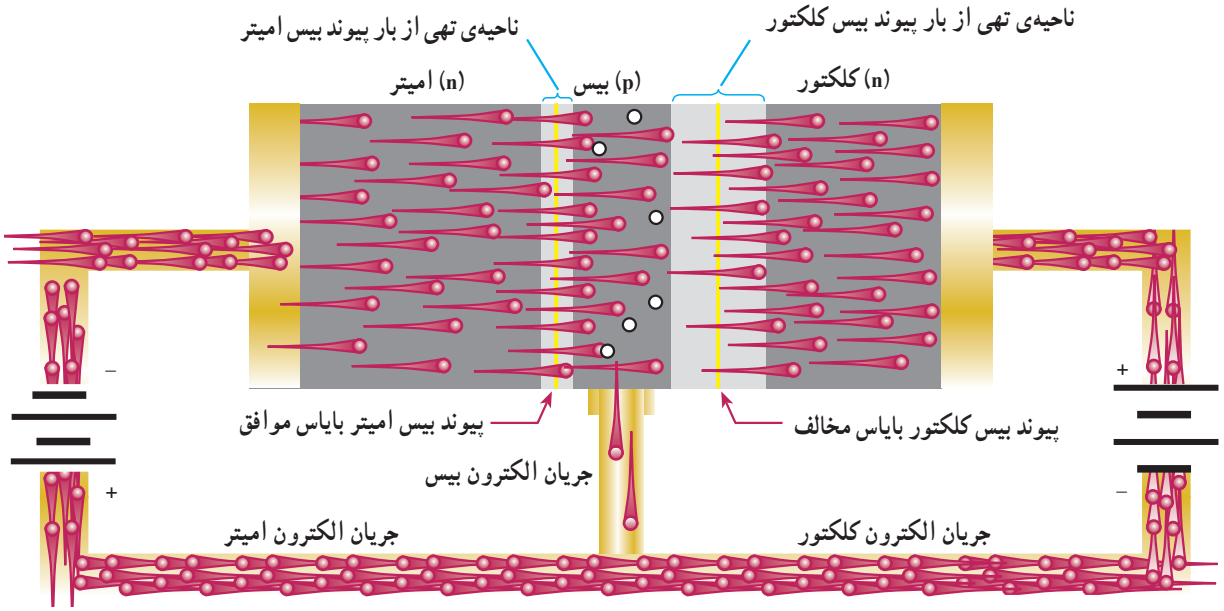
به سه حالت می‌توانیم به پایه‌های ترانزیستور ولتاژ اعمال کنیم.

حالت اوّل: دیود امیتربیس در بایاس موافق و دیود کلکتوربیس در بایاس مخالف که در شکل ۸ ــ۴ برای یک ترانزیستور NPN و PNP این حالت بایاس نشان داده شده است.



شکل ۸ــ۴

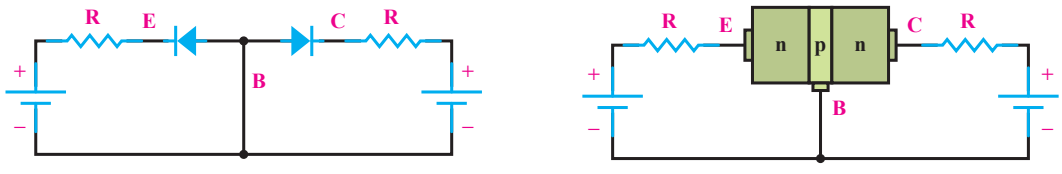
در شکل ۹ــ۴ نیز یک ترانزیستور NPN و این حالت بایاس روی کریستال‌های آن مشخص شده است.



شکل ۹ــ۴

همان‌گونه که مشاهده می‌شود باتری‌ها اتصال P-N بین امیتر و بیس را در بایاس موافق و اتصال P-N بین کلکتور و بیس را در بایاس مخالف قرار می‌دهند. در اثر بایاس مخالف ناحیه‌ی تهی از بار اتصال P-N درکلکتور افزایش می‌یابد. الکترون‌های نیمه‌هادی نوع N در امیتر به‌وسیله‌ی قطب منفی باتری به‌سمت بیس رانده می‌شوند. چون لایه‌ی بیس دارای ناخالصی بسیار کم است و در ضمن ضخامت آن هم بسیار اندک است، تعداد کمی از الکترون‌ها با حفره‌ها در بیس ترکیب می‌شوند. این الکترون‌ها به‌گونه‌ی الکترون‌های ظرفیت ، پایه‌ی بیس را ترک نموده، به قطب مثبت باتری می‌روند. به‌علت کم‌بودن درصد ناخالصی در بیس تعداد کمی از الکترون‌ها ممکن است با حفره‌های بیس ترکیب شوند. درصد زیادی از الکترون‌ها (تقریباً بیش از ۹۵درصد آن‌ها) تحت نیروی جاذبه‌ی قطب مثبت باتری که به پایه‌ی کلکتور وصل است به کلکتور رسیده، جذب قطب مثبت باتری کلکتور می‌شوند. به‌طور خلاصه می‌توان بیان نمود : منبع ولتاژ وصل شده به بیس ــ امیتر، الکترون‌های امیتر را به بیس می‌راند، به‌علت باریک بودن لایه‌ی بیس و درصد ناخالصی کم آن کم‌تر از حدود ۵ درصد الکترون‌ها از بیس خارج می‌شوند و بیش‌از حدود ۹۵ درصد الکترون‌ها به‌منطقه‌ی کلکتور نفوذ کرده، جذب قطب مثبت منبع کلکتور می‌شوند و بدین‌ترتیب، جریان زیاد را در کلکتور ایجاد می‌کنند.

حالت دوم: اتصال بیس‌امیتر در بایاس مخالف و اتصال بیس‌کلکتور در بایاس مخالف است که در شکل ۱۰ــ۴ یک ترانزیستور NPN را در این حالت بایاس مشاهده می‌کنید.

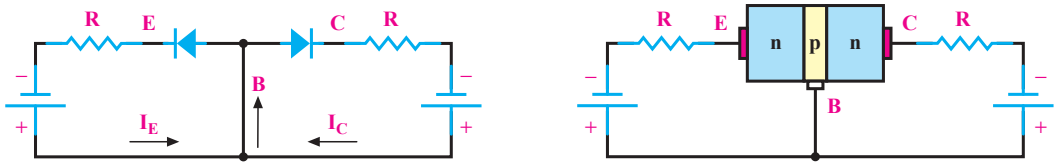


شکل ۱۰ــ۴

در این حالت چون هر دو محل پیوند P-N در بایاس معکوس قرار دارند و ناحیه‌ی تهی از بار دو محل پیوند زیاد است، حامل باری از امیتر به سمت بیس و کلکتور حرکت نمی‌کند و درنتیجه، جریان امیتر و کلکتور صفر خواهد بود (البته از عبور جریان اشباع معکوس ناشی از عبور حامل‌های اقلیت صرف‌نظر شده است).

حالت سوم: اتصال بیس‌امیتر در بایاس موافق و اتصال بیس کلکتور در بایاس موافق که در شکل ۱۱ــ۴ این حالت نشان داده شده است.

دو جریان I_E و I_C در پایه‌ی بیس با یک‌دیگر جمع می‌شوند و جریان زیادی را در بیس ایجاد می‌کنند (شکل ۱۱ــ۴).

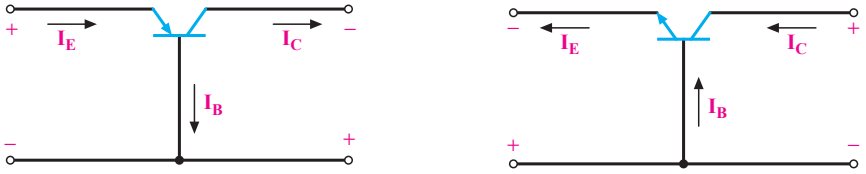


شکل ۱۱ــ۴

۴ــ۴ــ جریان‌ها در ترانزیستور

حامل‌های باری که از امیتر حرکت می‌کنند مقدار ناچیزی از آن‌ها در بیس جریان بیس (I_B) را می‌سازند و بقیه‌ی حامل‌ها به کلکتور رسیده، جریان کلکتور (I_C) را تشکیل می‌دهند ؛ از این‌رو، می‌توان بیان نمود : جریان امیتر (I_E) برابر با مجموع جریان بیس و جریان کلکتور است : یعنی $I_E = I_C + I_B$ در شکل ۱۲ــ۴ جهت جریان‌ها درترانزیستور NPN و PNP مشخص گردیده است.

با توجه به شکل مشاهده می‌شود پیکانِ روی امیتر معرف جهت قراردادی جریان است.

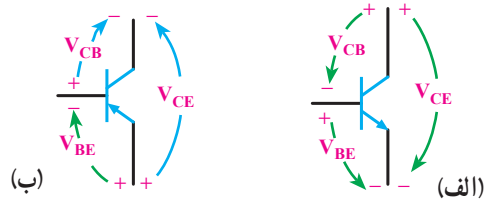


شکل ۱۲ــ۴

۵ــ۴ــ ولتاژها در ترانزیستور

اعمال ولتاژ DC به ترانزیستور برای بایاس نمودن آن، روی پایه‌های ترانزیستور افت ولتاژی ایجاد می‌کند. ولتاژی که بین پایه‌های بیس‌امیتر ترانزیستور قرار می‌گیرد با V_{BE} نشان داده می‌شود ؛ هم‌چنین ولتاژ بین کلکتور امیتر با V_{CE} و ولتاژ بین‌کلکتور ــ بیس با V_{CB} مشخص می‌گردد. در شکل ۱۳ــ۴ این افت ولتاژها برای یک ترانزیستور NPN و PNP نشان داده شده است. در هر ترانزیستور همواره رابطه زیر بین ولتاژ پایه‌های ترانزیستور برقرار است :

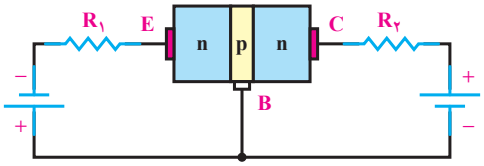
$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$



شکل ۱۳ــ۴

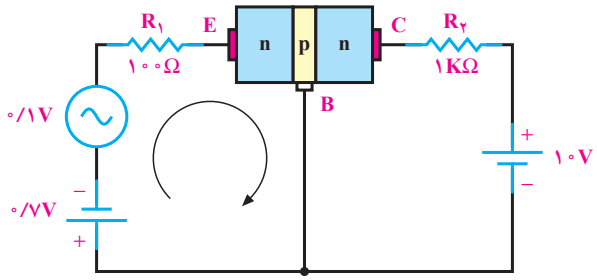
۶ــ۴ــ چگونگی عمل تقویت‌کنندگی در ترانزیستور

برای عمل تقویت در ترانزیستور ضروری است ابتدا ترانزیستور را از نظر DC بایاس کنیم ؛ هم‌چنین لازم است دیود امیتربیس بایاس موافق و دیود کلکتور بیس‌بایاس مخالف شود.



شکل ۱۴ــ۴

برای مثال، مطابق شکل ۱۵ــ۴ یک سیگنال سینوسی با دامنه‌ی ۰/۱ ولت به ورودی ترانزیستور اعمال می‌کنیم. البته ورودی، امیتر و خروجی، کلکتور در نظر گرفته شده است و پایه‌ی بیس بین ورودی و خروجی مشترک است.



شکل ۱۵ــ۴

اگر مقاومت دینامیکی دیود امیتربیس را به‌هنگام اعمال سیگنال معادل ۲۰Ω فرض کنیم در حلقه‌ی ورودی، جریان ناشی از سیگنال متناوب برابر است با :

$$I = \frac{۰/۱}{۱۰۰+۲۰} = ۰/۰۰۰۸۳A = ۰/۸۳mA$$

همان‌گونه که بیان شد قسمت اعظم جریان امیتر از طریق کلکتور مسیر خود را می‌بندد ؛ از این‌رو، این جریان تقریباً از مقاومت $R_۲ = ۱K\Omega$ که با کلکتور سری‌شده است عبور می‌کند و در دو سر مقاومت ۱KΩ افت ولتاژ متناوبی با دامنه‌ی $V_R = ۰/۸۳mA \times ۱K\Omega = ۰/۸۳v$ ایجاد می‌کند. افت ولتاژ متناوب دو سر $R_۲$ به مراتب بیش‌تر از ولتاژ متناوب ورودی بوده در نتیجه ولتاژ ورودی تقویت می‌شود. اگر ضریب تقویت ولتاژ را با A_V نشان دهیم ؛رابطه و مقدار A_V برابر است با :

$$A_V = \frac{\text{دامنه‌ی سیگنال خروجی}}{\text{دامنه‌ی سیگنال ورودی}} = \frac{۰/۸۳}{۰/۱} = ۸/۳$$

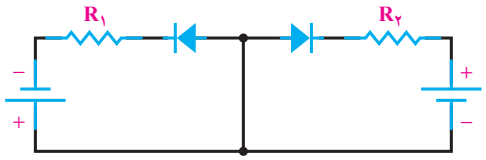
پس سیگنال ورودی متناوب ۸/۳ مرتبه تقویت شده است. با طراحی مدارات ترانزیستوری و با تغییر مقدار مقاومت‌ها می‌توان دامنه‌ی سیگنال خروجی را روی مقدار مورد نظر تنظیم نمود. همان‌گونه که مشاهده شده جریانی که از مقاومت $R_۱$ می‌گذرد تقریباً همه‌ی این مقدار جریان از مقاومت $R_۲$ هم عبور می‌کند. این عمل تنها به‌وسیله‌ی ترانزیستور صورت گرفته است. بدین‌ترتیب، می‌توان گفت : ترانزیستور عمل انتقال مقاومت را انجام داده است. نام ترانزیستور هم از همین عمل انتخاب شده است. Transistor از ترکیب دو کلمه‌ی Transfer[۱] of Resistor[۲] انتخاب شده است.

۷ــ۴ــ آرایش‌های ترانزیستور

ترانزیستورها در مدار به‌سه‌صورت «امیتر مشترک»، «بیس مشترک» و «کلکتور مشترک» به‌کار می‌روند.

۱ــ۷ــ۴ــ آرایش امیترمشترک C-E[۳]: در این آرایش سیگنال ورودی به بیس‌امیتر ترانزیستور اعمال می‌شود و شکل ۱۴ــ۴ این حالت بایاس را نشان می‌دهد.

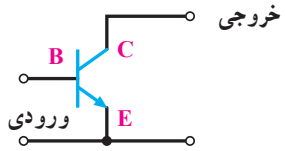
برای کنترل جریان امیتر مقاومت $R_۱$ با امیتر سری‌شده است. مقاومت $R_۲$ که با کلکتور سری شده است جریان کلکتور را کنترل می‌کند.



۱ــ Transfer انتقال
۲ــ Resistor مقاومت
۳ــ CE = Common Emitter

سیگنال خروجی از کلکتور امیتر ترانزیستور دریافت می‌گردد. چون پایه‌ی امیتر بین ورودی و خروجی مشترک است، این آرایش «امیتر مشترک» نام دارد. در شکل ۱۶ــ۴ این آرایش را بدون رسم سایر قطعات آن مشاهده می‌کنید.

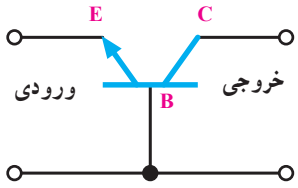
این آرایش می‌تواند جریان و ولتاژ را تقویت کند.



شکل ۱۶ــ۴

۲ــ۷ــ۴ــ آرایش بیس مشترک C-B[1]:

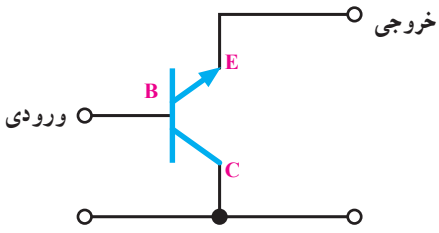
در این آرایش، پایه‌ی بیس بین ورودی و خروجی مشترک است ؛ یعنی سیگنال ورودی به امیتر بیس اعمال می‌شود و سیگنال خروجی از کلکتور بیس دریافت می‌گردد. در شکل ۱۷ــ۴ این آرایش به‌طور ساده نشان داده شده است. این آرایش جریان را تقویت نمی‌کند، اما ولتاژ را تقویت می‌کند.



شکل ۱۷ــ۴

۳ــ۷ــ۴ــ آرایش کلکتورمشترک C-C[2]:

در این آرایش پایه‌ی کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک است ؛ یعنی سیگنال ورودی به بیس کلکتور اعمال می‌شود و سیگنال خروجی از امیتر، کلکتور دریافت می‌گردد. در شکل ۱۸ــ۴ این آرایش به‌طور ساده نشان داده می‌شود. این آرایش ولتاژ را تقویت نمی‌کند، اما جریان را تقویت می‌کند.

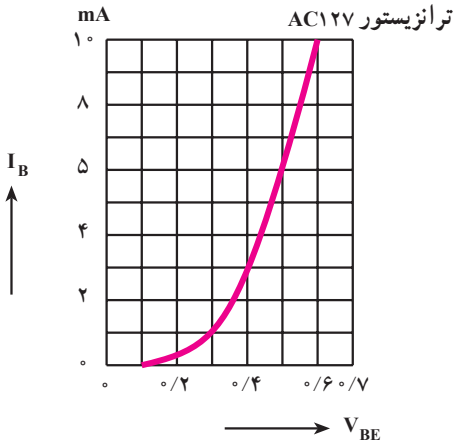


شکل ۱۸ــ۴

۸ــ۴ــ منحنی‌های مشخصه‌ی ترانزیستور در حالت امیترمشترک

منحنی‌های مشخصه‌ی ترانزیستور بیانگر روابط بین جریان‌ها و ولتاژها در ترانزیستور است. این منحنی‌ها عبارت‌اند از :

۱ــ ۸ ــ۴ــ منحنی مشخصه‌ی ورودی: در آرایش امیتر مشترک، ورودی بیس‌امیتر ترانزیستور است. منحنی تغییرات جریان ورودی (I_B) نسبت به تغییرات ولتاژ ورودی (V_{BE}) به‌ازای ثابت بودن V_{CE} «منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور» نام دارد. این منحنی مانند منحنی مشخصه‌ی یک دیود معمولی در بایاس موافق است. (شکل ۱۹ــ۴)



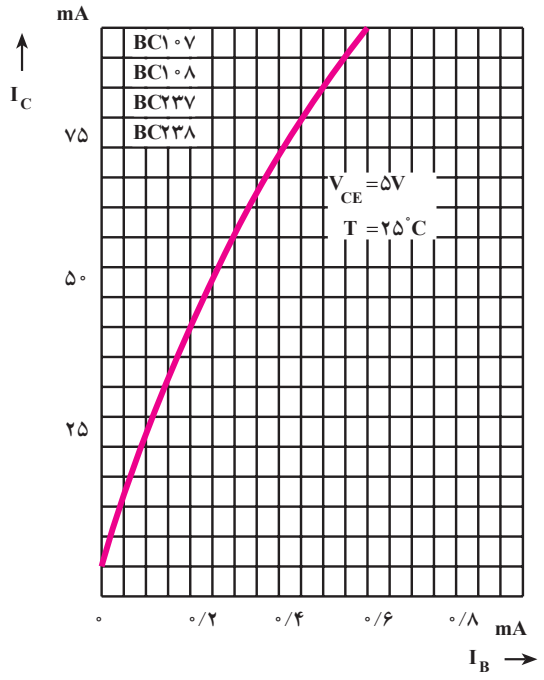
شکل ۱۹ــ۴ــ منحنی مشخصه ورودی یک ترانزیستور از جنس ژرمانیم

۲ــ ۸ ــ۴ــ منحنی مشخصه‌ی انتقالی: منحنی مشخصه‌ی بین جریان ورودی (I_B) و جریان خروجی (I_C) به‌ازای ثابت بودن V_{CE} «منحنی مشخصه‌ی انتقالی» نام دارد.

۱ــ CB = Common Base

۲ــ CC = Common Collector

در شکل ۲۰ــ۴ این منحنی نشان داده شده است.



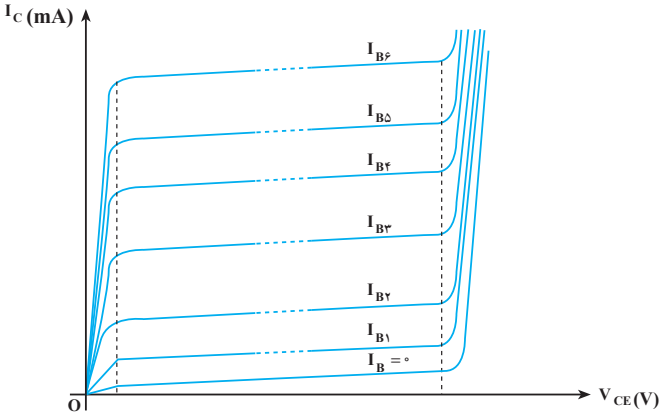
شکل ۲۰ــ۴

طبق تعریف ضریب تقویت جریان (() یک ترانزیستور در آرایش امیتر مشترک برابر نسبت جریان خروجی به جریان ورودی ترانزیستور است. از آن‌جایی که مشخصه انتقالی ارتباط بین این دو جریان را نشان می‌دهد پس می‌توان نتیجه گرفت که از روی این منحنی مشخصه می‌توان ضریب تقویت جریان را به‌دست آورد.

$$\text{بهره‌ی جریان } (\beta_{DC}) = \frac{\text{جریان خروجی}}{\text{جریان ورودی}} = \frac{I_C}{I_B}$$

۳ــ۸ــ۴ــ منحنی مشخصه‌ی خروجی: این منحنی رابطه‌ی بین جریان و ولتاژ خروجی به‌ازای ثابت بودن جریان ورودی را نشان می‌دهد. در آرایش امیتر مشترک جریان خروجی، جریان کلکتور (I_C) و ولتاژ خروجی ولتاژ کلکتور امیتر (V_{CE}) است؛ از این‌رو، منحنی مشخصه‌ی خروجی، منحنی تغییرات I_C نسبت به V_{CE} به‌ازای ثابت‌بودن I_B است.

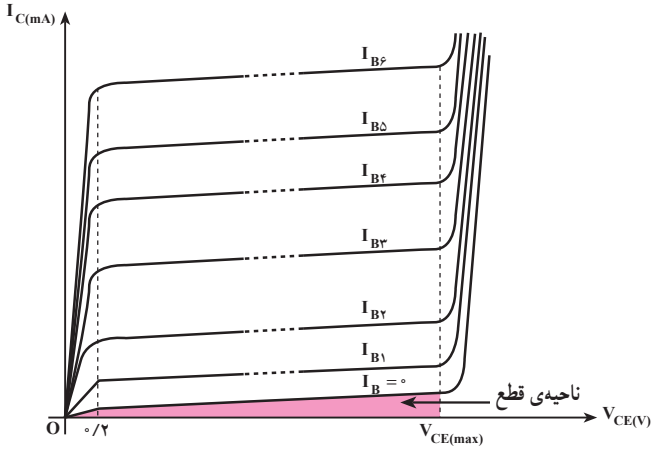
در شکل ۲۱ــ۴ این منحنی مشخصه به‌ازای I_B های مختلف نشان داده شده است.



شکل ۲۱ــ۴

این منحنی مشخصه شامل چند ناحیه‌ی مختلف است :

ناحیه‌ی قطع: در ناحیه‌ی قطع جریان بیس صفر است. اگر از جریان ناچیز نشتی صرف‌نظر کنیم جریان کلکتور هم صفر است، شکل ۲۲ــ۴.



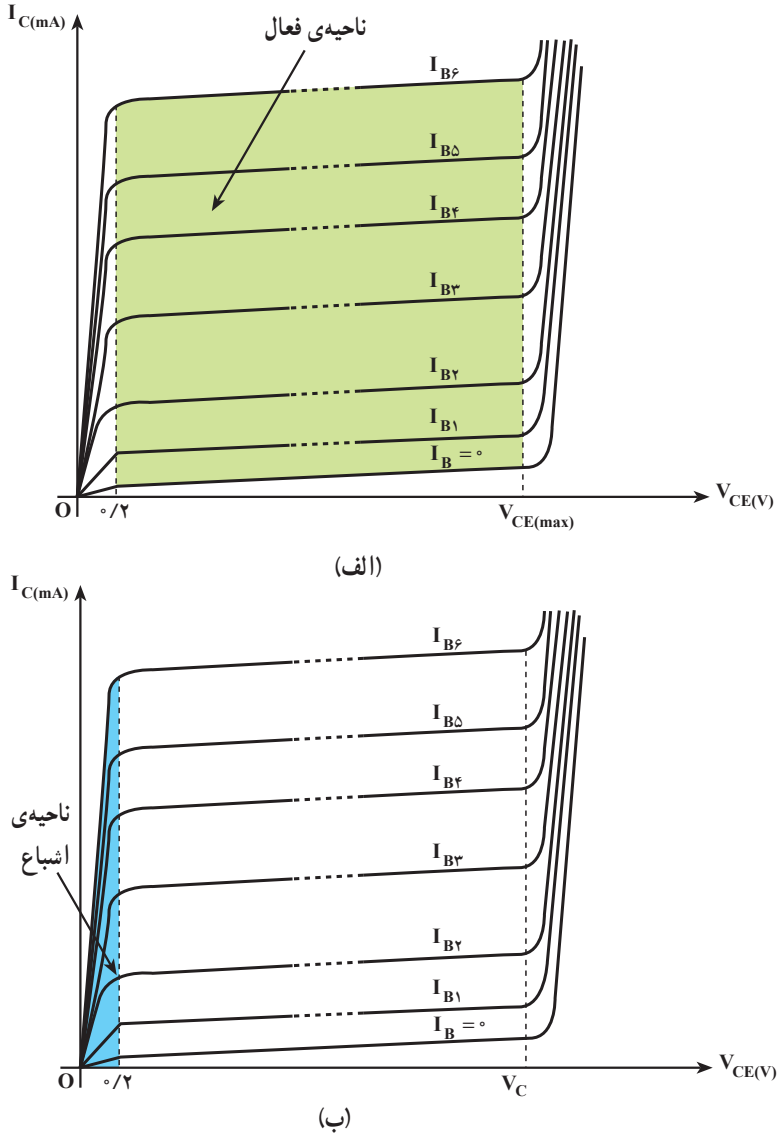
شکل ۲۲ــ۴

ناحیه‌ی فعال: ناحیه‌ی فعال محدوده‌ی کار عادی ترانزیستور است. در این ناحیه معمولاً دیود امیتربیس در بایاس موافق و دیودکلکتوربیس در بایاس مخالف قرار دارد ؛ بنابراین، قسمت اعظم حامل‌های انتشاریافته از امیتر جذب کلکتور شده‌اند ؛ درنتیجه تغییرات ولتاژ کلکتور امیتر تأثیر چندانی در جریان کلکتور ندارد.

ناحیه‌ی اشباع: در این ناحیه ترانزیستور درحال هدایت است و تغییرات جزیی در V_{CE} تغییرات بسیار زیادی را در جریان کلکتور ایجاد می‌کند. دراین‌ناحیه I_B و I_C تقریباً در حداکثر مقدار خود قرار دارند و V_{CE} بسیار ناچیز و تقریباً نزدیک صفر است،شکل ۲۳ــ۴ ــ الف ناحیه‌ی فعال وشکل ۲۳ــ۴ــ ب ناحیه اشباع را روی منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور نشان می‌دهد.

توجه:

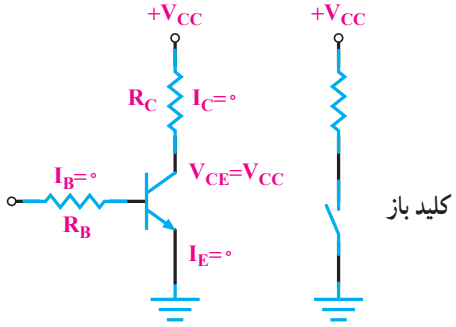
چون آرایش امیتر مشترک بیش‌ترین کاربرد را در مدارهای الکترونیکی دارد، معمولاً کارخانجات سازنده در کتاب اطلاعات ؛ منحنی مشخصه‌های ترانزیستور را در آرایش امیتر مشترک(CE) رسم می‌نمایند.



شکل ۲۳ــ۴

۹ــ۴ــ ترانزیستور در حالت قطع

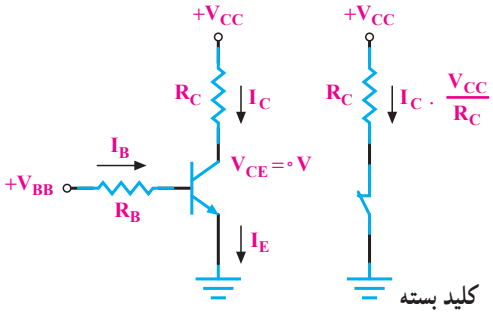
در شکل ۲۴ــ۴ یک ترانزیستور در حالت قطع نشان داده شده است. در این حالت بیس بایاس نشده است ؛ از این‌رو $I_B = ۰$ بوده، درنتیجه I_C هم صفر است. در دوسر R_C هیچ افت ولتاژی نداریم و همه‌ی ولتاژ منبع یعنی V_{CC} در دوسر کلکتورــ امیتر ترانزیستور افت می‌کند. در این‌حالت ترانزیستور مانند یک کلید باز است :



شکل ۲۴ــ۴

۱۰ــ۴ــ ترانزیستور در حالت اشباع

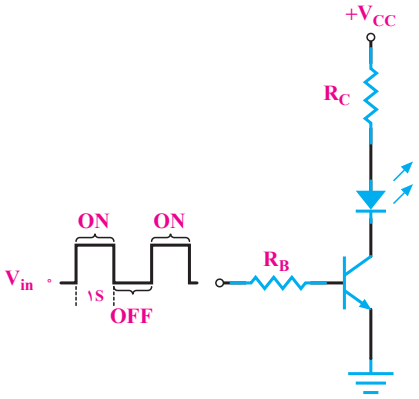
وقتی بیس امیترترانزیستور را بایاس موافق کنیم و I_B را افزایش دهیم، I_C هم افزایش می‌یابد، زیرا $I_C = . I_B$ است. هرگاه I_C به حداکثر مقدار خود برسد، $(I_{c\,max} = \frac{V_{CC}}{R_C})$ ولتاژ کلکتور امیتر صفر و ترانزیستور در حالت اشباع است. ترانزیستور در حالت اشباع به‌طور ایده‌آل مانند یک کلید بسته عمل می‌کند (شکل ۲۵ــ۴).



شکل ۲۵ــ۴

۱۱ــ۴ــ کاربرد ساده‌ی ترانزیستور به‌عنوان کلید

در شکل ۲۶ــ۴ یک کاربرد ساده‌ی ترانزیستور به‌منزله‌ی کلید نشان داده شده است. به‌بیس ترانزیستور موجی مربعی با پریود ۲ ثانیه اعمال شده است. در نیم‌پریودی که موج ورودی صفر و ترانزیستور قطع است ؛ از این‌رو، جریان کلکتور صفر و LED خاموش است. زمانی که موج مربعی دارای ولتاژ زیاد است، ترانزیستور وصل و اشباع است و جریان کلکتور از LED عبور نموده، آن‌را روشن می‌کند ؛ بدین‌ترتیب، LED یک ثانیه روشن و یک‌ثانیه خاموش بوده، چشمک می‌زند.



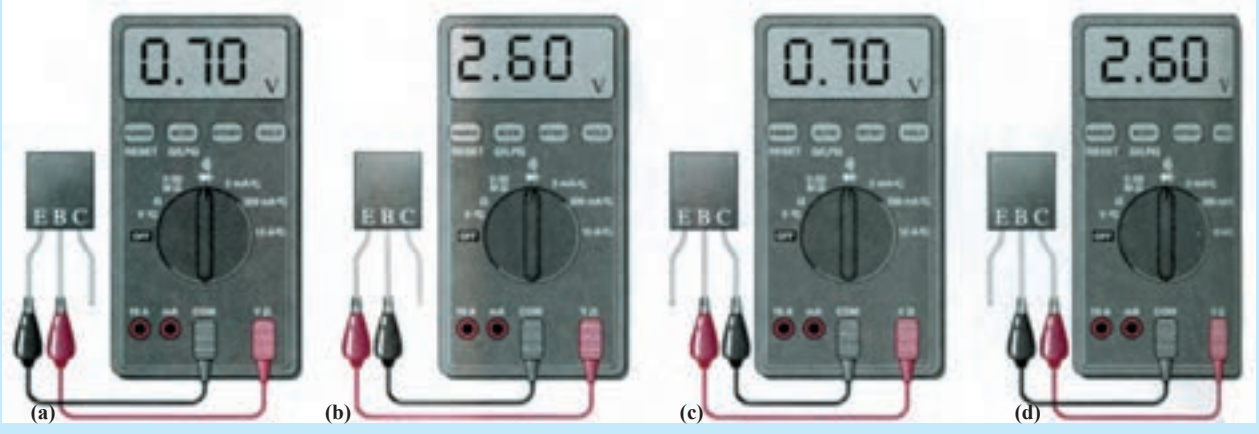
شکل ۲۶ــ۴

مطالعه‌ی آزاد

۱۲ــ۴ــ تعیین پایه‌ها و نوع ترانزیستور به‌کمک اهم‌متر

۱ــ۱۲ــ۴ــ استفاده از اهم‌متر عقربه‌ای: چون هر ترانزیستور معادل دو دیود است می‌توان با استفاده از این خاصیت برای تشخیص بیس استفاده نمود. یک پایه در ترانزیستور وجود دارد که نسبت به دو پایه‌ی دیگر مانند یک دیود عمل می‌کند ؛ یعنی اهم‌متر از یک جهت اهم کم را نشان می‌دهد و با عوض کردن سیم‌های اهم‌متر، مقدار مقاومت نشان داده شده به‌وسیله‌ی اهم‌متر، زیاد است، این پایه بیس ترانزیستور است. با مشخص‌شدن بیس نوع ترانزیستور را می‌توان تعیین نمود. حالتی که اهم‌متر اهم کم را نشان می‌دهد اگر سیم منفی واقعی اهم‌متر به‌بیس وصل باشد نوع ترانزیستورمثبت (PNP) است. اگر در حالت اهم کم سیم مثبت واقعی اهم‌متر به بیس وصل باشد نوع ترانزیستور منفی (NPN) است. برای تعیین کلکتور و امیتر ترانزیستور می‌توان مقاومت بین بیس و دو پایه‌ی دیگر را اندازه گرفت. مقاومت بیس کلکتور کم‌تر از مقاومت بیس امیتر است.

۲ــ۱۲ــ۴ــ استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی: از مولتی‌متر دیجیتالی در وضعیت آزمایش دیود برای آزمایش ترانزیستور استفاده می‌کنند. مانند حالت آزمایش دیود، وقتی دیود بیس‌امیتر یا دیود بیس‌کلکتور در بایاس موافق قرارگیرند ولتاژ بایاس موافق دیود روی صفحه نمایش نشان داده خواهد شد. در بایاس مخالف ولتاژ بایاس مخالف دیود روی صفحه‌ی نمایش ظاهر می‌شود. در شکل ۲۷ــ۴ حالت‌های گوناگون را مشاهده می‌کنید.



تست بایاس موافق پیوند BE — تست بایاس مخالف پیوند BE — تست بایاس موافق پیوند BC — تست بایاس مخالف پیوند BC

شکل ۲۷ــ۴

در یک ترانزیستور معیوب اگر اتصال بیس‌امیتر یا اتصال بیس کلکتور آن قطع باشد در این‌صورت مولتی‌متر ولتاژ بایاس مخالف را نشان می‌دهد. در شکل ۲۸ــ۴ این حالت نشان داده شده است.

شکل ۲۸ــ۴

در صورت اتصال کوتاه بودن بیس‌امیتر یا بیس کلکتور مولتی‌متر ولتاژ «صفر» را نشان خواهد داد (شکل ۲۹ــ۴).

شکل ۲۹ــ۴

۱۳ــ۴ــ مقادیر حد در ترانزیستور و استفاده از برگه‌ی داده‌ها

هر ترانزیستور نیز برای مقادیر الکتریکی مشخصی ساخته می‌شود. اگر مقادیر الکتریکی بیش‌از اندازه‌ای باشد که کارخانه‌ی سازنده تعیین کرده است، ترانزیستور آسیب می‌بیند. برخی از این مقادیر الکتریکی که «مقادیر حد» نام دارند، عبارت‌اند از :

۱ــ $V_{CE\,max}$: این پارامتر حداکثر ولتاژ مجاز بین کلکتور و امیتر ترانزیستور را مشخص می‌کند.

۲ــ $V_{CB\,max}$: نشان‌دهنده‌ی حداکثر ولتاژ مجاز معکوس بین کلکتور و بیس ترانزیستور است.

۳ــ $V_{EB\,max}$: ولتاژ قابل‌تحمل دیود بیس امیتر ترانزیستور را در حالت معکوس بیان می‌کند.

۴ــ $I_{C\,max}$: نشانگر حداکثر جریان مجاز کلکتور ترانزیستور است.

۵ ــ P_{max} : حداکثر توان قابل‌تحمل برای ترانزیستور است که به‌صورت حرارت تلف می‌شود.

۶ــ T_j : حداکثر درجه‌ی حرارتی است که در محل اتصال کلکتور بیس یک ترانزیستور می‌تواند تحمل کند.

۷ــ فرکانس حد f_g : مقدار فرکانسی است که (به‌ازای آن به‌اندازه‌ی $\frac{۱}{\sqrt{۲}}$ یا ۳dB کم‌تر از فرکانس صفر هرتز می‌شود.

۸ ــ فرکانس قطع f_T : مقدار فرکانسی است که به‌ازای آن ۱ = (می‌شود.

در جدول ۱ــ۴ نمونه‌ای از جدول مشخصات حد ترانزیستورها و سایر اطلاعات آن آورده شده است. این جدول مربوط به کتاب «Tower's international Transistor selector» است.

جدول ۱ــ۴

Transistor Number	PM OA LT	Package	LEAD INFO	VEB MAX	VCE MAX	VCB MAX	I_C MAX	T_J MAX	PTOT	F_T MIN	C_{OB} MAX	H_{FE}	H_{FE} BIAS	USE	MFR	EUR EQUIV	USA EQUIV
BC ۱۰۷	NS	TO۱۸	L۰۱	۵۰	۴۵	۶	۱۰۰mA	۱۷۵C	۳۰۰ mWF	۱۵۰ M	۵P	۱۱۰ MN	۲mA	ALG	MUB	BC ۱۰۷	۲N ۹۲۹

شماره‌ی نوع و جنس ترانزیستور

نوع و جنس ترانزیستور
N = NPN
P = PNP
S = سیلیسیم
G = ژرمانیوم

شکل ظاهری و ابعاد مراجعه شود به ضمیمه‌ی C

اطلاعات مربوط به پایه‌های ترانزیستور ــ به ضمیمه‌ی B مراجعه شود

حداکثر ولتاژ کلکتور ــ بیس

حداکثر ولتاژ کلکتور ــ امیتر

حداکثر ولتاژ معکوس امیتر ــ بیس

حداکثر جریان کلکتور

حداکثر درجه حرارت مجاز محل پیوند برحسب درجه سانتی‌گراد

حداکثر توان مجاز ترانزیستور C : با گرماگیر در هوای آزاد در C ۲۵
MW= میلی‌وات F= درهوای آزاد در C ۲۵ H: در هوای آزاد با گرماگیر فلزی
W= وات

معادل امریکایی

معادل اروپایی

نام کارخانه‌ی سازنده

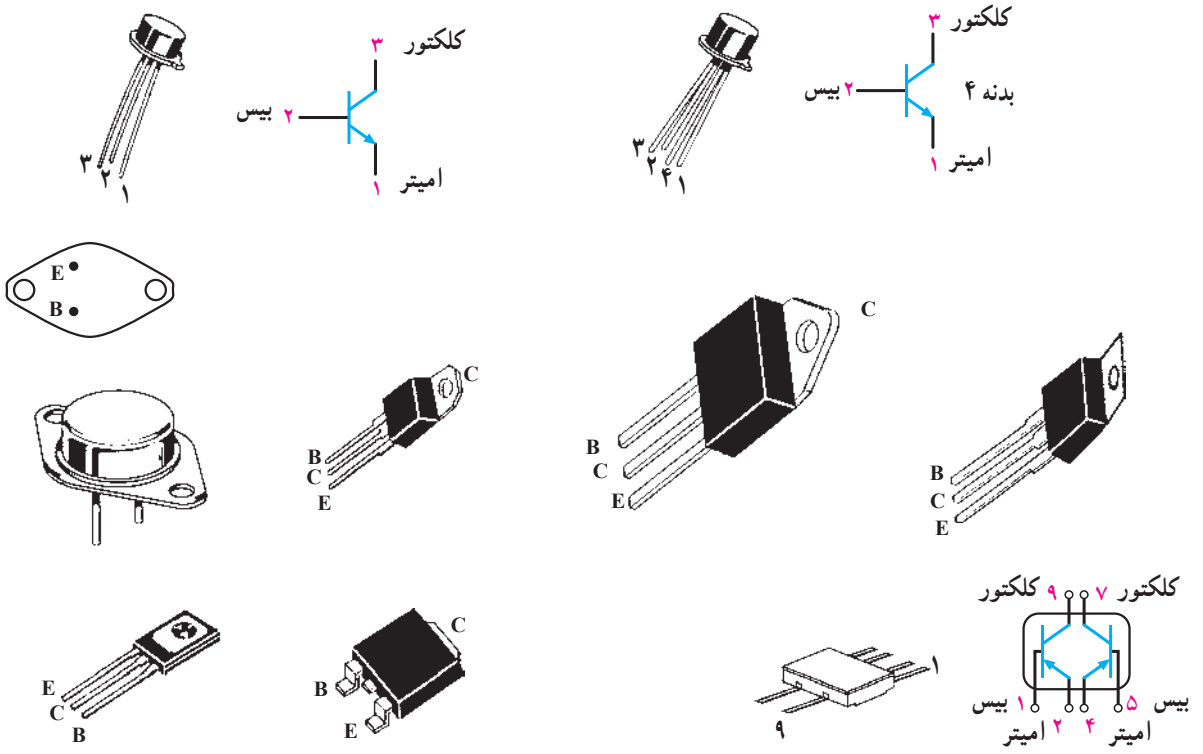
کاربرد

ضریب تقویت جریان به‌ازای این جریان بایاس

حداکثر ظرفیت خازن بین لایه‌ی بیس و کلکتور
P = پیکو فاراد N = نانوفاراد

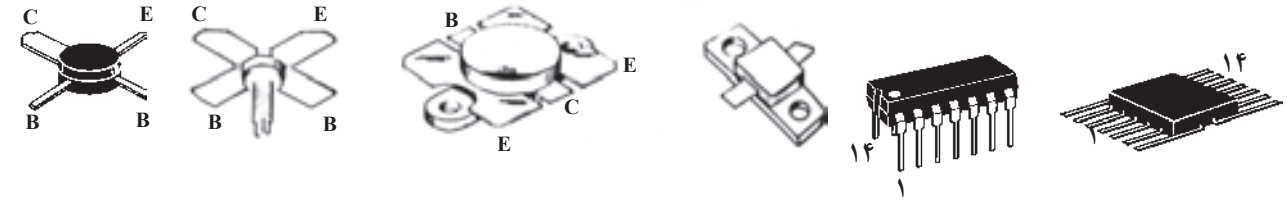
فرکانس قطع ترانزیستور مگاهرتز = M
کیلوهرتز = K گیگاهرتز = G

۱۴ــ۴ــ شکل ظاهری چند نمونه ترانزیستور و پایه‌های آن

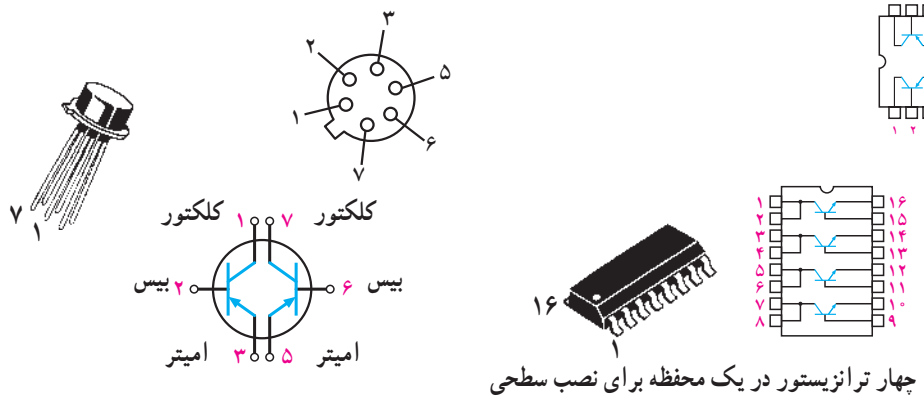


نوع تخت دوطرفه DIP[1]

تکنولوژی نصب سطحی SMT[2]



چهار ترانزیستور در محفظه‌ی دوطرفه و تخت



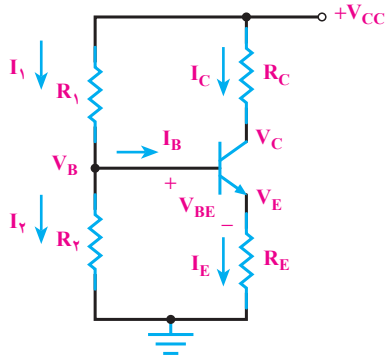
چهار ترانزیستور در یک محفظه برای نصب سطحی

۱ــ DIP = Dual in line package

۲ــ SMT = Surface Mounted Technology

۱۵ــ۴ــ تغذیه‌ی سرخود

در شکل ۳۰ــ۴ تغذیه‌ی DC ترانزیستور به صورت بایاس سرخود را مشاهده می‌کنید. مقاومت‌های R_1 و R_2 تقسیم‌کننده‌ی ولتاژ هستند و منبع V_{CC} را تقسیم ولتاژ می‌کنند، تا ولتاژ بیس ترانزیستور را تأمین نمایند.

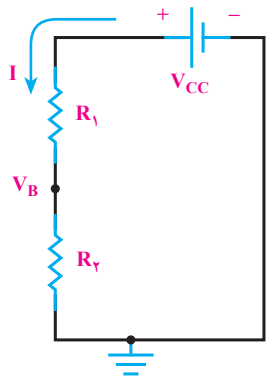


شکل ۳۰ــ۴

برای به‌دست‌آوردن ولتاژ و جریان پایه‌های ترانزیستور می‌توان به‌صورت زیر عمل نمود.

اگر از I_B که معمولاً ناچیز است صرف‌نظر کنیم، می‌توان مقاومت‌های R_1 و R_2 را مطابق شکل ۳۱ــ۴ سری در نظر گرفت.

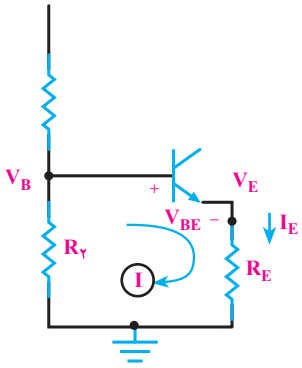
با استفاده از قانون تقسیم ولتاژ؛ V_B (پتانسیل بیس ترانزیستور نسبت به زمین) از رابطه‌ی $V_B = \frac{V_{CC}R_2}{R_1 + R_2}$ به‌دست می‌آید.



شکل ۳۱ــ۴

با عبور جریان I_E از R_E، افت پتانسیل $R_E.I_E$ به‌وجود می‌آید و پتانسیل امیتر نسبت به زمین (V_E) تأمین می‌شود. برای به‌دست‌آوردن V_E می‌توان در حلقه (I) در شکل ۳۲ــ۴ معادله KVL را نوشت.

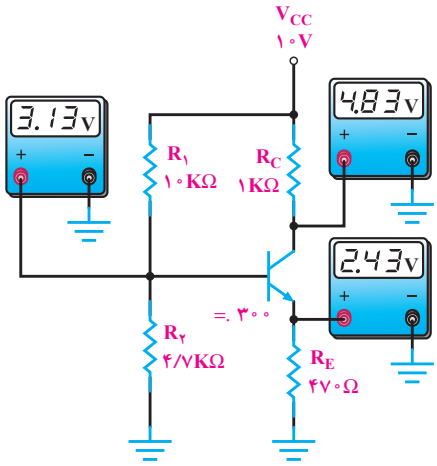
$$V_E = V_B - V_{BE}$$



شکل ۳۲ــ۴

با معلوم‌بودن V_E می‌توان I_E را از رابطه‌ی $\frac{V_E}{R_E}$ محاسبه نمود. برای راحتی محاسبات I_E را به تقریب با I_C برابر می‌گیرند ($I_C \simeq I_E$) با معلوم‌بودن I_C و نوشتن معادله KVL می‌توان V_C (پتانسیل کلکتور ترانزیستور نسبت به زمین) را از رابطه‌ی $V_C = V_{CC} - R_C I_C$ به‌دست آورد.

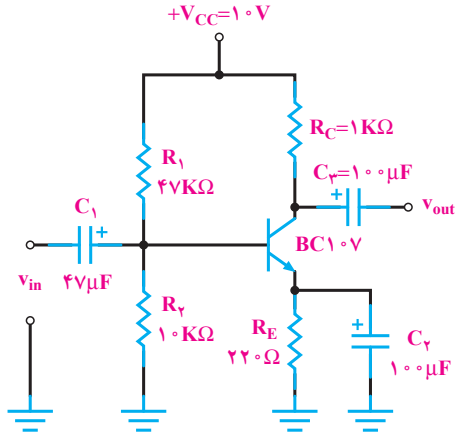
در شکل ۳۳ــ۴ این بایاس با مقادیر ولتاژ نقاط مختلف آن، نشان داده شده است.



شکل ۳۳ــ۴

۴ــ۱۶ تقویت‌کننده‌ی اولیه به‌صورت آرایش امیتر مشترک

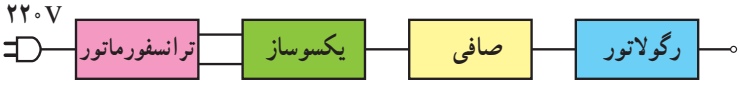
مدار تقویت‌کننده‌ی اولیه[۱] (Pre – Amp) در شکل ۴ــ۳۴ رسم شده است. این تقویت‌کننده دارای آرایش امیتر مشترک بوده، تغذیه‌ی DC آن به‌صورت بایاس سرخود است. C_1 و C_3 «خازن کوپلاژ» نام دارند. این خازن‌ها از عبور سیگنال DC جلوگیری نموده، فقط سیگنال A_C را عبور می‌دهند. C_2 «خازن بای پاس» نام دارد و مقاومت R_E را ازنظر سیگنال متناوب ورودی اتصال کوتاه می‌کند تا سیگنال متناوب ورودی در R_E افت ننماید و بهره‌ی ولتاژ مدار زیاد شود.



شکل۴ــ۳۴

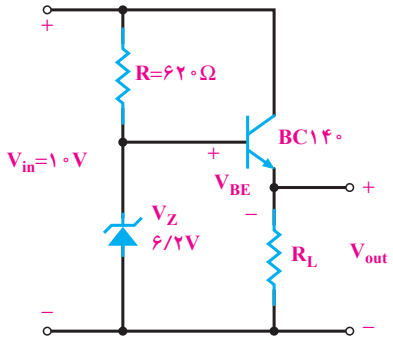
۴ــ۱۷ تثبیت‌کننده‌ی ولتاژ همراه با تقویت جریان ترانزیستوری

در شکل ۴ــ۳۵ بلوک دیاگرام یک منبع تغذیه با رگولاتور (تثبیت کننده‌ی ولتاژ) رسم شده است.



شکل ۴ــ۳۵

کار رگولاتور ولتاژ، ثابت نگه‌داشتن ولتاژ خروجی است. در رگولاتور شکل ۴ــ۳۵ می‌توان از یک مدار ساده‌ی ترانزیستوری به‌صورت شکل ۴ــ۳۶ استفاده کرد.



شکل ۴ــ۳۶

آرایش ترانزیستور به‌صورت کلکتور مشترک است. کلکتور مشترک دارای تقویت جریان زیاد است. ولتاژ خروجی از رابطه‌ی : $V_O = V_z - V_{BE}$ به‌دست می‌آید. چون V_z و V_{BE} ثابت‌اند لذا V_O هم ثابت است. برای مثال اگر $V_{BE} = ۰/۷$ ولت باشد، ولت $V_O = ۶/۲ - ۰/۷ = ۵/۵$ است و V_O روی ۵/۵ ولت ثابت می‌ماند. باید ولتاژ خروجی صافی بیش‌تر از V_z باشد تا زنر در ناحیه‌ی شکست خود کارکند. اگر ولتاژ خروجی صافی نوسان داشته باشد V_O روی ۵/۵ ولت ثابت بوده و تغییر نمی‌کند.

۴ــ۱۸ ترانزیستور به‌عنوان منبع جریان

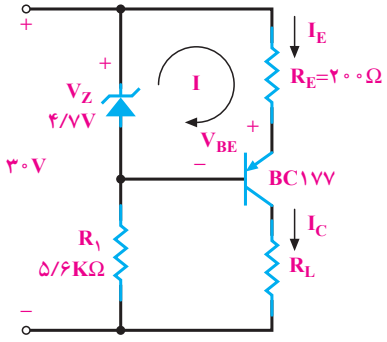
منبع جریان مداری است که به بار جریان ثابت می‌دهد.

علامت اختصاری منبع جریان به‌صورت است.

در شکل ۴ــ۳۷ مدار یک منبع جریان ترانزیستوری رسم شده است. با نوشتن معادله‌ی KVL در حلقه‌ی I می‌توان نوشت $R_E I_E + V_{BE} - V_z = ۰$ در نتیجه $I_E = \frac{V_z - V_{BE}}{R_E}$ است چون V_z و V_{BE} و R_E تقریباً ثابت هستند. I_E هم تقریباً ثابت است، چون $I_C \simeq I_E$ است؛ از این‌رو I_C یعنی جریانی که

۱ــ Pre Amplifier

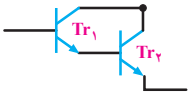
از بار می‌گذرد ثابت است. این مدار برای شارژ باتری‌های شارژپذیر که باید با جریان کم شارژ شوند مناسب است. باتری باید جای R_L در مدار قرار گیرد.



شکل ۳۷ــ۴

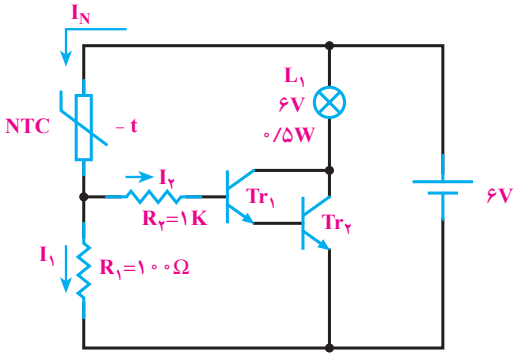
۱۹ــ۴ــ سیستم اعلام حریق

در شکل ۳۸ــ۴ ــ الف مدار یک سیستم اعلام‌حریق ساده رسم شده است.

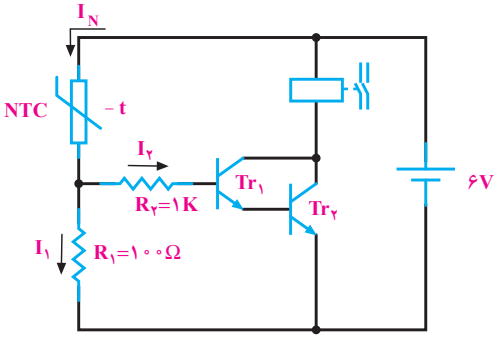
با افزایش حرارت مقاومت ترمیستور NTC کاهش می‌یابد و جریان عبوری از آن زیاد شده و در نتیجه جریان‌های I_1 و I_2 افزایش می‌یابد که این امر سبب هدایت ترانزیستورهای Tr_1 و Tr_2 می‌شود و لامپ L_1 را روشن می‌کند. اتصال دو ترانزیستور به صورت  ضریب بهره جریان ( ) بزرگی را ایجاد می‌کند و سبب می‌شود جریان کم در بیس ترانزیستور Tr_1 به جریان زیادی در کلکتور ترانزیستور Tr_2 تبدیل شود و به این ترتیب می‌توان در این حالت لامپ‌های با توان بیشتر یا موتورهای با توان متوسط را نیز روشن نمود.

اگر بخواهیم از این مدار به عنوان یک مدار جهت راه‌اندازی یک مدار دیگر استفاده کنیم باید از یک رله بجای لامپ L_1 مطابق شکل (۳۸ــ۴ ــب) بهره بگیریم.

$Tr_1 = Tr_2 =$ ۲N۳۰۵۳ یا BC۱۴۰



(الف)



(ب)

شکل ۳۸ــ۴

پرسش

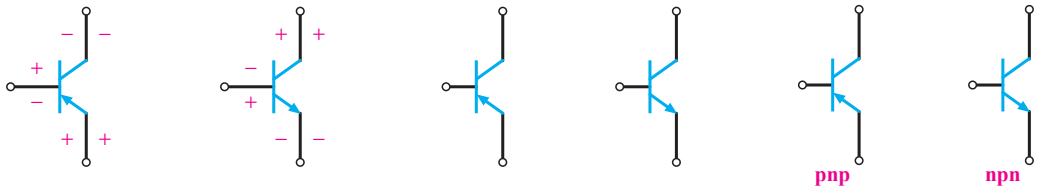
۱ــ ساختمان ترانزیستور را شرح دهید.

۲ــ بایاسینگ ترانزیستور را شرح دهید.

۳ــ در مورد انتخاب نام ترانزیستور توضیح دهید.

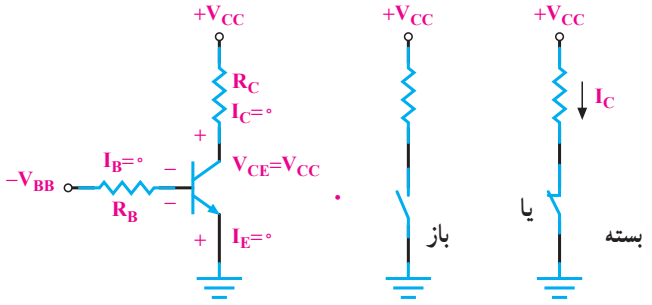
۴ــ شمای مداری و معادل دیودی ترانزیستور NPN و PNP را رسم کنید.

۵ ــ پایه‌ها و جهت قراردادی جریان و ولتاژهای ترانزیستورهای شکل ۳۹ــ۴ را تعیین کنید.



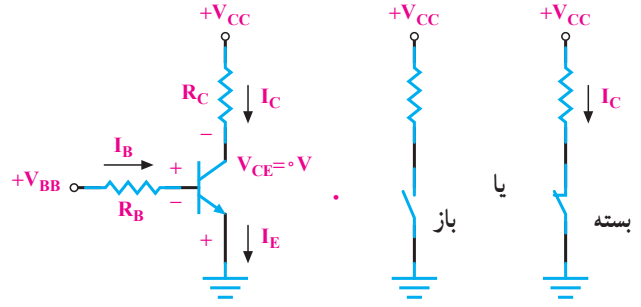
شکل ۳۹ــ۴

۶ــ ترانزیستور شکل ۴۰ــ۴ آیا معادل یک کلید باز است یا کلید بسته؟



شکل ۴۰ــ۴

۷ــ ترانزیستور شکل ۴۱ــ۴ معادل یک کلید باز است یا بسته؟



شکل ۴۱ــ۴

۸ ــ مدار یک ترانزیستور NPN را با تغذیه‌ی سرخود رسم کنید.

۹ــ منبع جریان را تعریف کنید و شکل مدار منبع جریان ترانزیستوری را رسم نمایید.

۱۰ــ چند کاربرد ترانزیستور را نام ببرید.

فصل پنجم

عناصر نیمه‌هادی خاص

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این درس از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ قطعات نیمه‌هادی چهارلایه را تعریف کند.

۲ــ تریستور را به‌صورت یک دیود قابل کنترل شرح دهد.

۳ــ SCR را با کلید مقایسه کند.

۴ــ تست SCR را از نظر سالم بودن و پایه‌ها تشریح کند.

۵ ــ مدار ساده‌ی تریستوری را توضیح دهد.

۶ــ «Triac» را به‌صورت یک کلید قابل کنترل با جریان AC شرح دهد.

۷ــ چگونگی روشن کردن Triac را تشریح کند.

۷ــ Diac را به‌صورت یک دیود AC شرح دهد.

۹ــ UJT و PUT را تشریح کند.

۱۰ــ مدارهای کاربردی ساده (منبع تغذیه، یک‌سوساز با SCR و ...) را شرح دهد.

مقدمه

در فصول گذشته قطعه‌ی الکترونیکی «دیود» برای شما معرفی شد و مشاهده کردید که این عنصر الکترونیکی از اتصال دو قطعه‌ی نیمه‌هادی P و N ساخته شده است و مانند یک کلید قطع و وصل عمل می‌کند، هم‌چنین با یکی از کاربردهای آن که در مدارهای یک‌سوساز است آشنا شدید. به‌طور کلی مدارات یک‌سوساز را از نظر عناصر به‌کار رفته، هم‌چنین چگونگی عملکرد به سه دسته می‌توان تقسیم نمود :

۱ــ مدارات یک‌سوساز کنترل نشده (دیودی)،

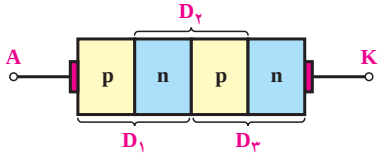
۲ــ مدارات یک‌سوساز نیمه‌کنترل شده (دیودی و تریستوری)،

۳ــ مدارات یک‌سوساز تمام کنترل شده (تریستوری).

مدارات یک‌سوسازی که در فصل‌های پیشین بررسی شدند از جمله مدارات یک‌سوساز کنترل‌نشده بودند، زیرا مقدار و شکل موج یک‌سو شده‌ی خروجی در اختیار ما نبود، اما به‌کارگیری مدارات یک‌سوساز کنترل‌شده این امکان را به وجود می‌آورد که بتوانیم تأثیر و تغییراتی را در وضعیت شکل موج خروجی ایجاد نماییم. دراین‌گونه مدارات از دیودهای یک سو ساز خاصی استفاده می‌شود که برای بررسی و توضیح آن‌ها لازم است تا ساختمان داخلی این نیمه‌هادی‌ها را بشناسیم.

۱ــ۵ــ دیود چهارلایه (دیود شاکلی)

این دیود خاص از چهار لایه‌ی نیمه‌هادی PNPN که به‌طور سری و به‌تناوب از نوع P و N هستند درست شده است. همان‌گونه که در شکل ۱ــ۵ مشاهده می‌شود دو لایه‌ی خارجی



شکل ۱ــ۵

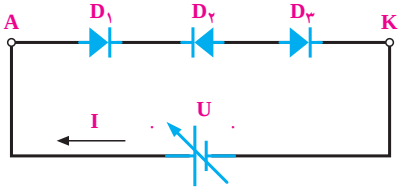
این نیمه‌هادی بدین‌صورت است که اولین لایه از نوع P ، آند (A) و آخرین لایه از نوع N ، کاتد (K) نام دارد.

در واقع با توجه به‌شکل ۱ــ۵ می‌توان گفت : مدار معادل این نیمه‌هادی از سه دیود D_1 و D_2 و D_3 تشکیل شده است که آن‌را به‌صورت شکل ۲ــ۵ــالف نیز می‌توان نشان داد. علامت اختصاری دیود شاکلی به صورت شکل ۲ــ۵ــب است.

شکل ۲ــ۵ ــ الف

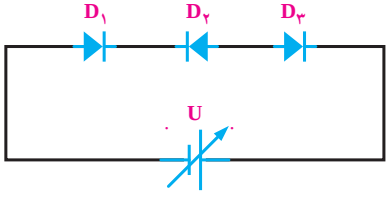
شکل ۲ــ۵ ــ ب

درصورت اعمال ولتاژ بر دوسر این نیمه‌هادی‌ها (بایاس کردن نیمه‌هادی) جریانی از آن عبور نمی‌کند، زیرا همان‌گونه که در شکل‌های ۳ــ۵ و ۴ــ۵ ملاحظه می‌شود، اگر بایاس دیود به‌صورت شکل ۳ــ۵ باشد دیودهای D_1 و D_3 در بایاس موافق



شکل ۳ــ۵

و دیود D_2 در بایاس مخالف قرار می‌گیرد ؛ هم‌چنین اگر نیمه‌هادی را به‌صورت شکل ۴ــ۵، اتصال دهیم، جریانی از مدار عبور

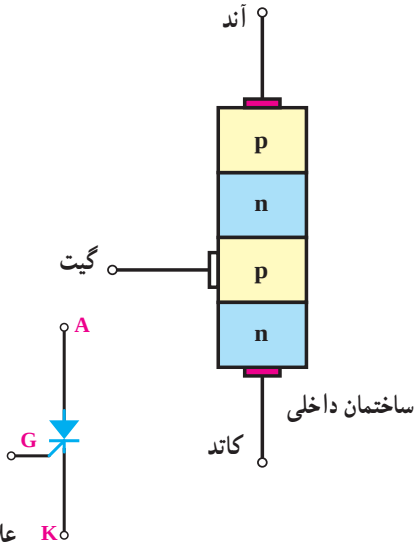


شکل ۴ــ۵

نخواهد کرد ؛ زیرا دیودهای D_1 و D_3 در بایاس مخالف قرارگرفته، فقط دیود D_2 که در وسط است در بایاس موافق خواهد بود. شرط استفاده از این دیود چهار لایه آن است که در هریک از مدارات شکل ۳ــ۵ و ۴ــ۵ ولتاژ مدار را افزایش دهیم تا به‌مقداری بیش‌تر از ولتاژهای شکست دیودهای D_2 یا D_1 و D_3 برسد. این عمل در قطعات خاص هم‌چون تریستور، دیاک، ترایاک و... انجام می‌شود.

۲ــ۵ــ تریستور (SCR)

تریستور یا SCR[1] یک عنصر نیمه‌هادی چهارلایه ــ با ساختمان داخلی PNPN ــ بوده، شامل سه پیوند PN است. رفتار آن نیز مانند دیودهای چهارلایه است. برای هادی شدن تریستور، چون اعمال ولتاژ زیاد به‌دوسر یک دیود چهارلایه مشکل و در بعضی موارد غیرممکن است، برای رفع این عیب در ساختمان SCR یک پایه که به لایه‌ی P میانی متصل می‌شود در نظر گرفته شده که اصطلاحاً به‌آن «گیت» (G)[2] یا «پایه‌ی فرمان» یا «پایه‌ی آتش‌زنه» گفته می‌شود. در شکل ۵ ــ۵ ساختمان داخلی و علامت اختصاری یک SCR (تریستور گیت‌کاتدی) را مشاهده می‌کنید.

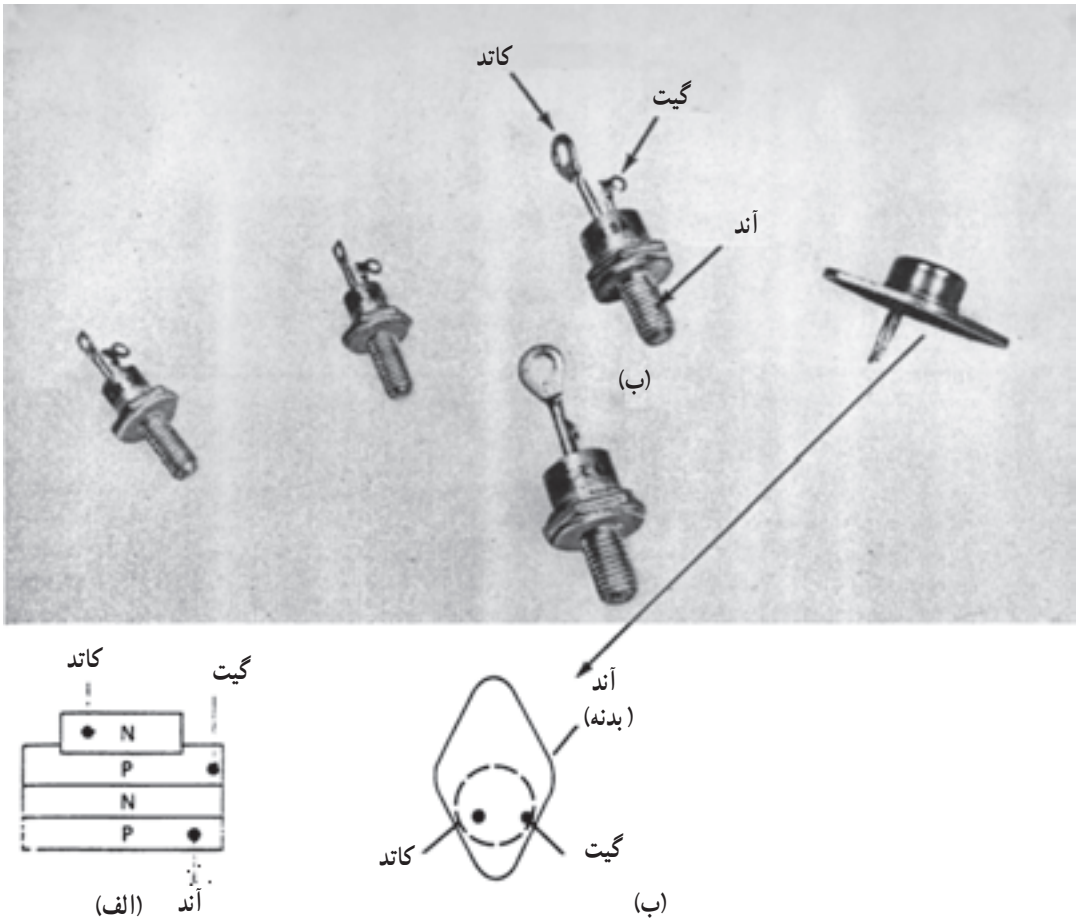


شکل ۵ــ۵ــ ساختمان داخلی، شکل ظاهری و علامت اختصاری تریستور

۱ــ SCR = Silicon Controlled Rectifier

۲ــ G = Gate

در شکل ۶ــ۵ تصویر چند تریستور نشان داده شده است.



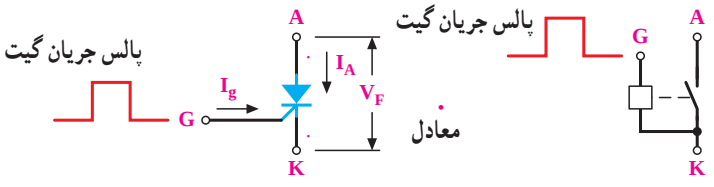
شکل ۶ــ۵ ــ الف ــ ساختمان اصلی (داخلی) یک‌سوکننده‌ی کنترل سیلیکونی ، ب ــ شکل ظاهری

به‌طور کلی تریستور مشابه دیود دارای دو پایه‌ی آند و کاتد است ؛ با این تفاوت که در تریستور یک پایه‌ی ورودی کنترل‌کننده موسوم به «گیت» وجود دارد که زمان عمل و هدایت تریستور را کنترل می‌کند. دیود معمولی جریان را فقط هنگامی که بایاس مستقیم است هدایت می‌کند، اما تریستور جریان مدار را به‌دو صورت می‌تواند هدایت کند :

الف ــ هرگاه ولتاژ آند نسبت به کاتد مثبت باشد، به‌طوری که بر ولتاژ سد لایه‌های میانی P و N غلبه کند (مانند دیود).

ب ــ در صورتی که ولتاژ مثبتی بین آند و کاتد وجود داشته باشد و جریانی نیز به پایه‌ی گیت تزریق شود تریستور هدایت خواهد کرد.

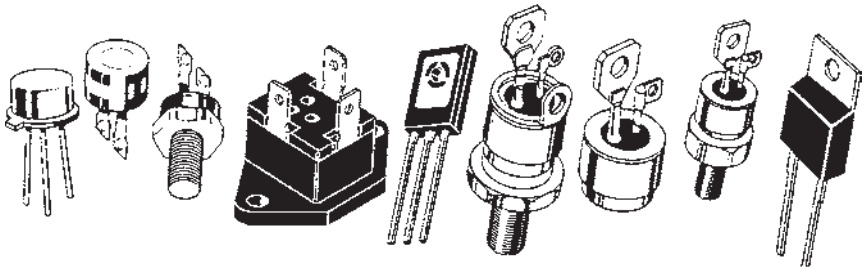
درواقع تریستور، مشابه کلیدی است که کنترل آن از طریق گیت امکان‌پذیر است (شکل ۷ــ۵).



شکل ۷ــ۵

از این قطعه به‌صورت تنظیم‌کننده‌ی جریان بار مصرف‌کننده و قطع و وصل کننده در انواع مدارات کنترل‌کننده استفاده می‌شود که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به شارژ باتری‌ها، کنترل نور و کنترل دور اشاره کرد.

شکل ۸ ــ۵ نمونه‌های دیگری از اشکال مختلف تریستورهاست.



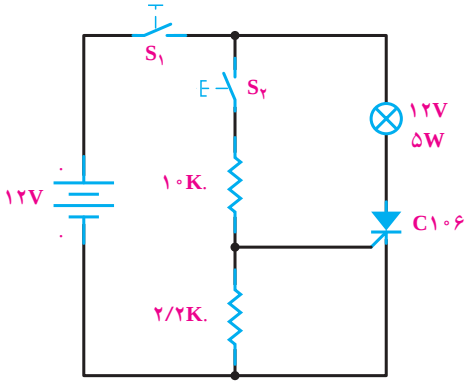
شکل ۸ ــ۵

۳ــ۵ــ تشخیص پایه‌های تریستور

تعیین پایه‌های تریستور از روی شکل ظاهری، غیرممکن بوده، هم‌چنین استفاده از اهم‌متر روش مطمئن و کلی نیست ؛ از این‌رو بهترین روشی که برای تشخیص پایه‌های تریستور توصیه می‌شود استفاده از کتاب مشخصات است.

۴ــ۵ــ تست تریستور

در این روش با کمک مداری مطابق شکل ۹ــ۵ و به‌وسیله‌ی آزمایش به سالم‌بودن تریستور می‌توان پی‌برد.



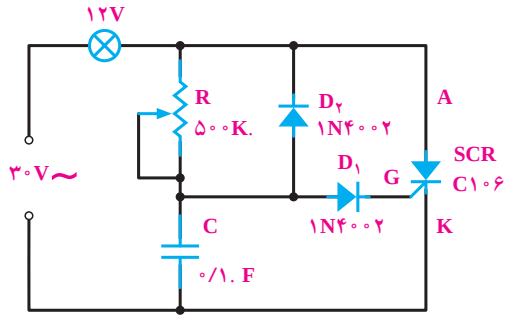
شکل ۹ ــ۵

در این مدار با اتصال کلید S_1 جریان از یک سمت به لامپ و آند تریستور می‌رسد، اما چون تریستور در وضعیت هدایت قرار ندارد جریانی از آند به کاتد عبور نمی‌کند و لامپ خاموش است. به‌محض این‌که کلید S_2 وصل شود جریانی از طریق مقاومت ۱۰ کیلواهمی به گیت تریستور اعمال شده، درنتیجه سبب می‌شود تا تریستور عمل کند و جریانی از سمت آند آن به سمت کاتد فرستاده شود و بدین‌ترتیب، لامپ روشن می‌شود ؛ حتی با قطع کلید S_2 نیز در همان حال باقی می‌ماند، زیرا جریان لازم برای پایدار ماندن تریستور در حالت وصل کلید S_2 تأمین شده و تریستور مانند کلید بسته در همان وضعیت باقی می‌ماند. از این آزمایش می‌توان نتیجه‌گرفت که تریستور مورد نظر سالم است. درصورتی‌که واکنش‌هایی به‌غیر از موارد اشاره شده داشته باشیم نشان‌دهنده‌ی خرابی تریستور است.

۵ ــ۵ــ مدارهای ساده‌ی تریستوری

مدارهای مختلفی را می‌توان نام برد که از خصوصیت SCR در طراحی آن‌ها استفاده شده است. در این‌جا چند نمونه از آن‌ها را بررسی می‌کنیم :

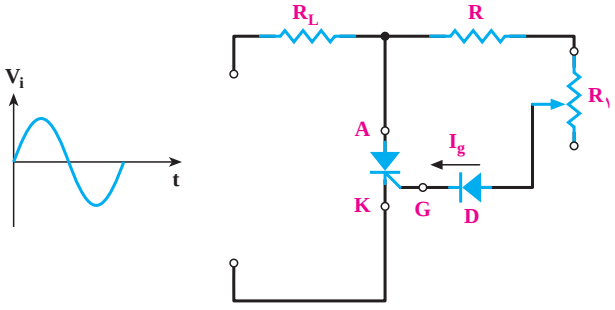
۱ــ ۵ ــ۵ــ مدار دیمر: در شکل ۱۰ــ۵ مدار یک



شکل ۱۰ــ۵

دیمر[1] با استفاده از SCR نشان داده شده است. در نیم‌سیکل مثبت که آند SCR نسبت به کاتد آن مثبت‌تر است باید SCR وصل شود. برای وصل شدن SCR باید گیت آن را تحریک نمود. خازن C از طریق R شروع به شارژ می‌کند، وقتی ولتاژ آن به‌حدود ۱/۴ ولت رسید (۰/۷ ولت برای وصل D_1 و ۰/۷ ولت برای تحریک گیت SCR)، در این لحظه D_1 وصل و هدایت می‌کند و جریان از گیت تریستور می‌گذرد و SCR وصل می‌شود. با وصل‌شدن SCR جریان از لامپ گذشته، لامپ روشن می‌شود؛ با صفر شدن نیم‌سیکل مثبت، SCR قطع می‌شود و در تمام زمان نیم‌پریود منفی، SCR خاموش خواهد بود. در نیم‌سیکل منفی دیود D_2 وصل بوده، خازن C را شارژ می‌کند. دیود D_1 که در این نیم‌سیکل قطع است، مانع اعمال ولتاژ منفی خازن به گیت SCR می‌شود. در نیم‌سیکل مثبت بعدی ابتدا خازن دشارژ، سپس از طریق R مجدداً شارژ می‌شود و عمل وصل SCR تکرار می‌شود. به‌این ترتیب، با تغییر مقاومت R می‌توانیم در نیم‌پریود مثبت، ولتاژ شارژ خازن را در حدود وسیعی کنترل نموده، سرانجام جریان بار را بین صفر تا ۱۸۰درجه از سیگنال ورودی کنترل کنیم.

۲ــ ۵ ــ۵ــ مدار کنترل جریان: در شکل ۱۱ــ۵ مداری نشان داده می‌شود که قادر است زاویه‌ی هدایتی بین ۰ تا ۹۰ درجه داشته باشد. هدایت تریستور را زاویه‌ی آتش (.) می‌نامند. در نیم‌سیکل مثبت دیود D وصل می‌کند و سبب عبور جریان در گیت SCR می‌شود. البته مقاومت‌های R و R_1 جریان

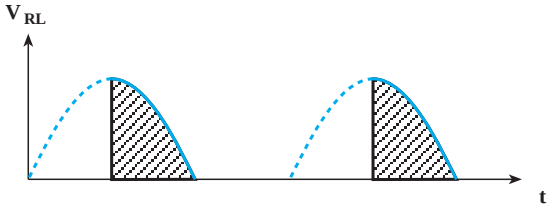


شکل ۱۱ــ۵

گیت را کنترل می‌نمایند. افزایش R_1 سبب کاهش جریان گیت شده و زمان تحریک، به تأخیر می‌افتد.

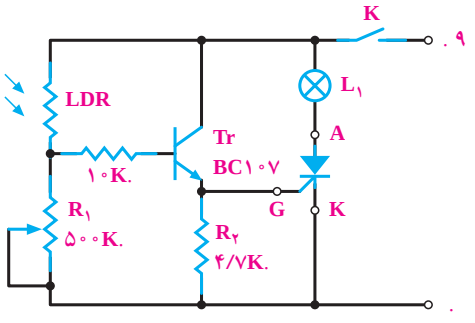
با کاهش مقاومت R_1 جریان گیت افزایش می‌یابد و SCR می‌تواند زودتر روشن شود. به‌این ترتیب، با تغییر R_1 می‌توان در هر لحظه بین ۰ تا ۹۰ تریستور را هادی نمود.

با هادی شدن SCR جریان از طریق SCR از بار عبور نموده در دو سر آن افت می‌کند. در شکل ۱۲ــ۵ ولتاژ دو سر R_L را در زاویه‌ی آتش ۹۰ مشاهده می‌کنید. در این مدار رسیدن به زوایای بیشتر از ۹۰ امکان‌پذیر نیست به دلیل این‌که مقادیر موج در زوایای ۹۰ تا ۱۸۰ قبلاً به وجود آمده‌اند. در نیم‌سیکل منفی SCR قطع است.



شکل ۱۲ــ۵

۳ــ ۵ ــ۵ ــ کاربرد مقاومت تابع نور و SCR به‌عنوان چشم الکترونیک: در شکل ۱۳ــ۵ مدار چشم الکترونیک رسم شده است. چشم الکترونیک مداری است که نسبت به نور حساس بوده، عکس‌العمل نشان می‌دهد.



شکل ۱۳ــ۵

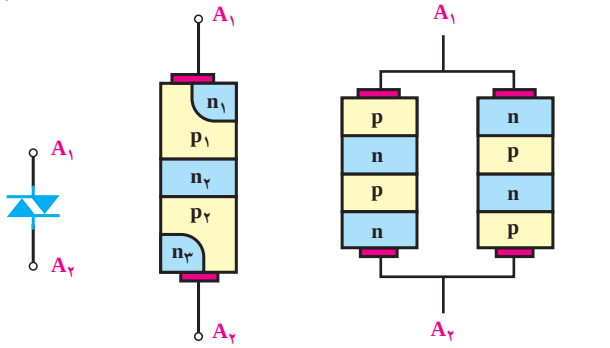
۱ــ dimmer به مداراتی که می‌توانند نور لامپ را کنترل کنند، تاریک کننده یا دیمر گویند.

وقتی نور به مقاومت LDR نمی‌تابد مقاومت آن زیاد بوده و چون جریانی از بیس ترانزیستور نمی‌گذرد، Tr قطع است. به‌محض تابش نور مقاومت LDR کم می‌شود ؛ درنتیجه، جریان عبوری از LDR زیاد شده ترانزیستور Tr را فعال می‌کند. عبور جریان از امیتر ترانزیستور سبب تحریک گیت SCR و روشن‌شدن آن شده و لامپ L_1 روشن می‌گردد. مقاومت متغیر ۵۰۰K. برای تنظیم ولتاژ بین دو پایه بیس و امیتر ترانزیستور یا به‌عبارت دیگر حساسیت مدار نسبت به نور در مدار به‌کار رفته است.

۶ــ۵ــ دیاک[1]

دیاک یک قطعه الکترونیکی است که معادل آن را به‌صورت دو دیود چهار لایه‌ی موازی و معکوس مانند شکل۱۴ــ۵ــ الف می‌توان نشان داد. دیاک در هر دو جهت تحریک می‌شود. درواقع دیاک دیود جریان متناوب بوده و دارای دوپایه است. واژه‌ی «diac» اختصارشده‌ی دیود جریان متناوب **diode ac** است.

ترتیب لایه‌های نیمه‌هادی دیاک به‌همراه علامت اختصاری آن در شکل ۱۴ــ۵ نشان داده شده است. این قطعه دارای دوپایه است که تحت عنوان آند یک (A_1) و آند دو (A_2) می‌شناسیم.



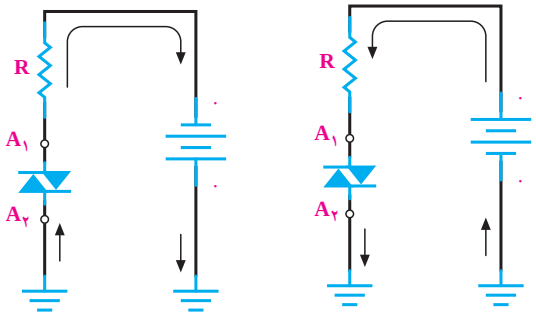
الف ــ لایه‌های تفکیک شده ب ــ ساختمان داخلی ج ــ علامت اختصاری

شکل ۱۴ــ۵ــ ساختمان داخلی و علامت اختصاری دیاک

چون این دو پایه هیچ تفاوتی با یک‌دیگر ندارند در عمل معمولاً روی پایه‌های آن اسمی مشخص نشده است.

امتحان سالم‌بودن دیاک را به‌وسیله‌ی اهم‌متر نمی‌توان انجام داد، زیرا اهم‌متر از هر دو طرف مقدار مقاومت . را نشان می‌دهد. ولتاژهای شکست (ولتاژ هدایت) دیاک‌ها بین ۲۵ تا ۴۲ ولت است. نوع متداول آن دارای ولتاژ شکست ۳۵ . ولت است.

نحوه‌ی عملکرد دیاک چنین است : تا زمانی‌که آند (۱) نسبت به آند (۲) مثبت است لایه‌های نیمه‌هادی مورد استفاده P_1 و n_2 و P_2 و n_3 هستند و وقتی آند (۲) نسبت به آند (۱) مثبت است لایه‌های مورد استفاده P_2 ، n_2 ، P_1 و n_1 هستند. در شکل ۱۵ــ۵ چگونگی هدایت جریان در دو بایاس مختلف یک دیاک نشان داده شده است.

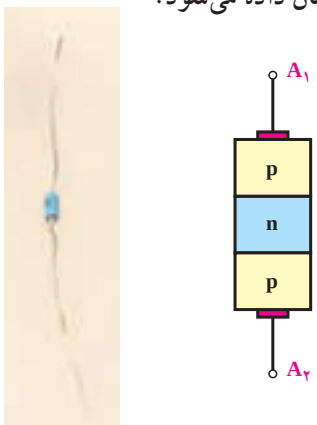


الف ــ بایاس از A_2 به A_1 ب ــ بایاس از A_1 به A_2

شکل ۱۵ــ۵

بزرگ‌ترین مزیت و کاربرد دیاک استفاده در ولتاژهای AC است، زیرا از هر دو سو هدایت می‌کند (نیم‌سیکل منفی و نیم‌سیکل مثبت). از دیاک به‌عنوان عنصر فرمان در مدارهای کنترل‌کننده‌ی توان نیز استفاده می‌شود.

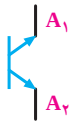
نمونه‌ی دیگری از دیاک وجود دارد که به‌صورت سه لایه PNP است (شکل ۱۶ــ۵)، اما از نظر علامت اختصاری مانند دیاک ۵ لایه نشان داده می‌شود.



شکل ۱۶ــ۵ــ ساختمان دیاک سه‌لایه به همراه شکل واقعی

۱ــ DIAC

در مدارات الکترونیکی دیاک را با علامت اختصاری شکل ۱۷ــ۵ نیز نشان می‌دهند.

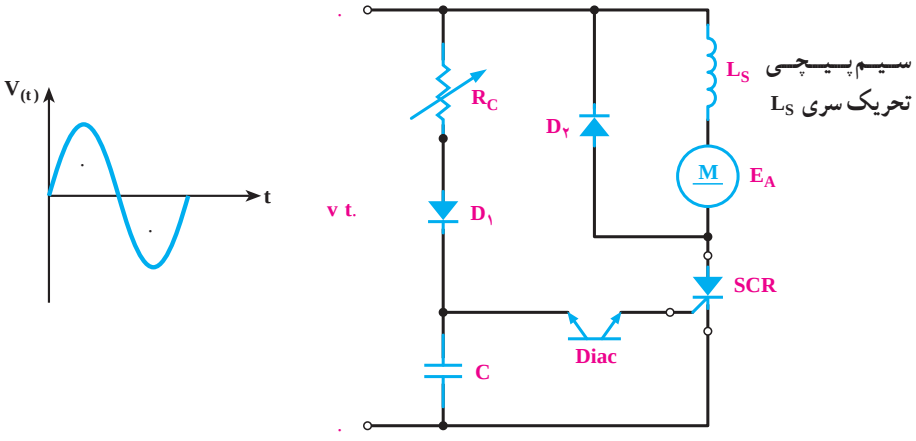


شکل ۱۷ــ۵ــ علامت اختصاری دیگری از دیاک سه لایه

در شکل ۱۸ــ۵ یک مدار کاربردی برای دیاک نشان داده شده است.

طرز کار مدار شکل ۱۸ــ۵ بدین‌صورت است : هرگاه نیم‌سیکل مثبت به مدار اعمال شود جریان از طریق مقاومت متغیر R_C و دیود D_1 به خازن C می‌رسد و شارژ آن آغاز می‌گردد. هنگامی که ولتاژ دو سر خازن به ولتاژ هدایت دیاک، ۳۵ ولت برسد دیاک (DIAC) شروع به هدایت می‌کند و جریان را به گیت تریستور رسانده آن را تحریک می‌کند. در این صورت SCR هادی می‌شود و جریان را هدایت کرده، موتور شروع به حرکت می‌کند.

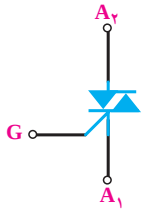
در نیم‌سیکل منفی چون دیود D_1 بایاس مخالف می‌شود ؛ پس جریانی به خازن و دیاک نمی‌رسد، اما موتور می‌تواند جریان خود را از طریق مسیر دیود D_2 (انرژی سیم‌پیچ L_S) دریافت نموده و به‌حرکت خود ادامه دهد. با تغییر مقدار مقاومت R_C در واقع زاویه‌ی آتش تریستور، به عبارت دیگر مقدار مؤثر ولتاژ اعمال شده به موتور کم و زیاد می‌شود و درنتیجه دور نیز متناسب با آن تغییر می‌کند.



شکل ۱۸ــ۵ ــ کنترل‌کننده‌ی موتور اونیورسال نیم‌موج

۷ــ۵ ــ ساختمان ترایاک[1]

ترایاک معادل دو SCR یکی «گیت آندی» و دیگری «گیت کاتدی» است که به‌طور موازی به‌هم بسته شده‌اند. این قطعه قادر است در هر دو نیم‌سیکل عمل کنترل را انجام دهد. در نیم‌سیکل مثبت معادل SCR گیت کاتدی و در نیم‌سیکل منفی معادل SCR گیت آندی عمل کنترل را انجام می‌دهند. در شکل ۱۹ــ۵ نمای مداری ترایاک نشان داده شده است.

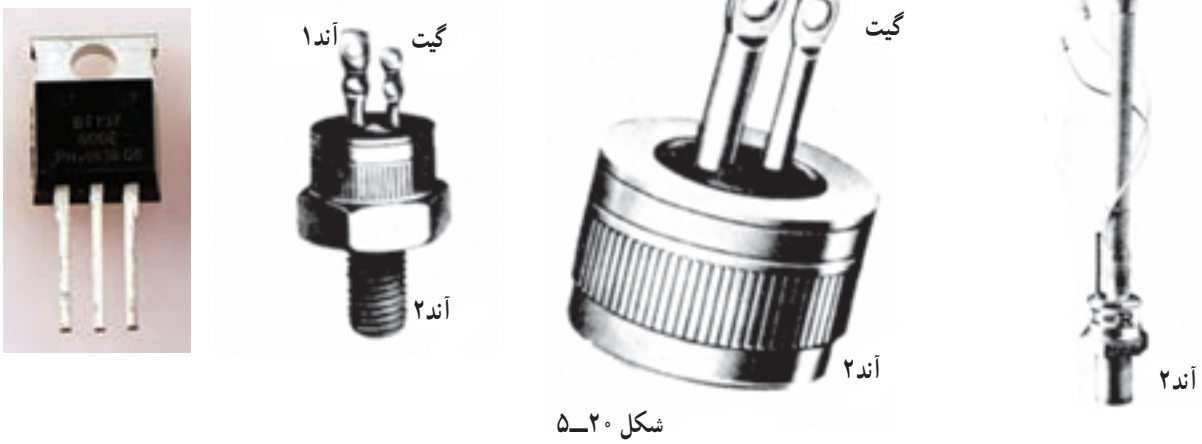


شکل۱۹ــ۵ ــ علامت اختصاری ترایاک

۱ــ TRIAC

پایه‌های ترایاک «آند یک» (A_1) و «آند دو» (A_2) و «گیت» (G) نام دارند. در شکل ۲۰ــ۵ تصویر ظاهری چند ترایاک رسم شده است.

عمل تحریک توسط پایه‌ی گیت انجام می‌گیرد.

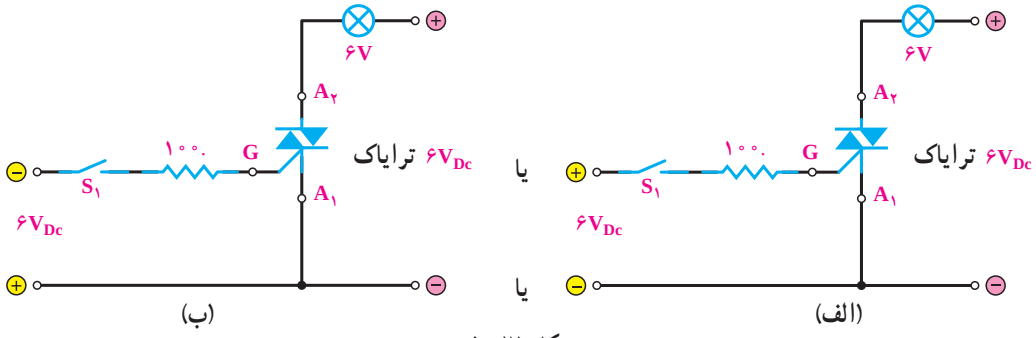


شکل ۲۰ــ۵

۸ ــ۵ــ روشن کردن ترایاک (تریگر کردن ترایاک)

ترایاک را می‌توان با چهار روش وصل نمود.

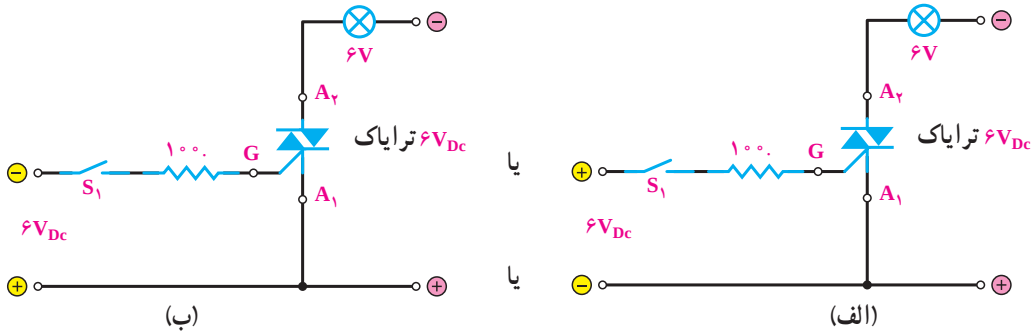
الف ــ اگر A_2 نسبت به A_1 به پتانسیل مثبت وصل شود و گیت نیز نسبت به A_1 ولتاژ مثبت یا منفی وصل گردد ترایاک تحریک شده و وصل می‌شود (شکل ۲۱ــ۵ ــ الف و ب).



شکل ۲۱ــ۵

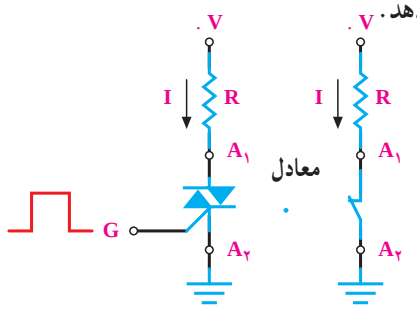
در شکل مشاهده می‌کنید اگر کلید S_1 وصل شود گیت نیز تحریک می‌شود و در حالت ایده‌آل ترایاک مانند یک کلید وصل عمل کرده، جریان از لامپ عبور می‌کند.

ب ــ اگر A_2 نسبت به A_1 به پتانسیل منفی وصل شود و گیت نیز نسبت به A_1 به ولتاژ مثبت یا منفی وصل گردد، ترایاک تحریک شده و وصل می‌شود. در شکل ۲۲ــ۵ــ الف و ب این حالت‌ها را مشاهده می‌کنید.



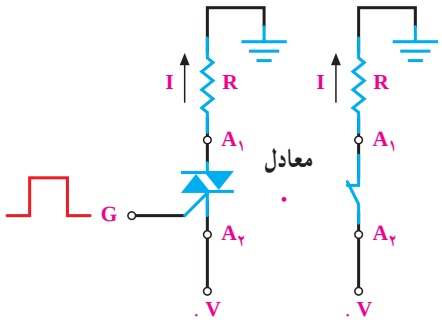
شکل ۲۲ــ۵

البته بهتر است هنگامی که A_1 نسبت به A_2 مثبت‌تر است گیت نسبت به A_2 تحریک شود. شکل ۲۳ــ۵ این حالت را نشان می‌دهد.



شکل ۲۳ــ۵

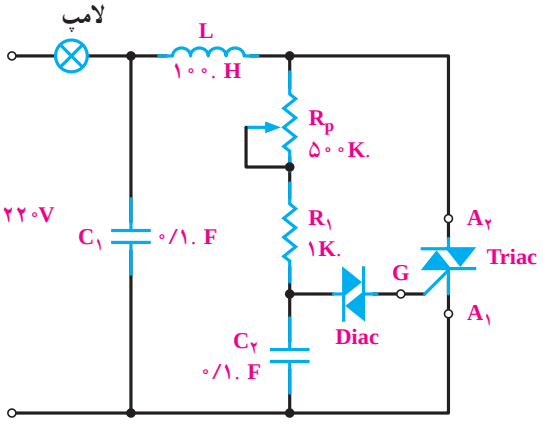
اگر A_2 نسبت به A_1 مثبت‌تر باشد گیت نسبت به A_1 تحریک می‌شود. در شکل ۲۴ــ۵ این حالت را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲۴ــ۵

۹ــ۵ــ کاربرد ترایاک به‌صورت مدار دیمر

در شکل ۲۵ــ۵ مدار یک دیمر برای کنترل روشنایی نشان داده شده است.



شکل ۲۵ــ۵

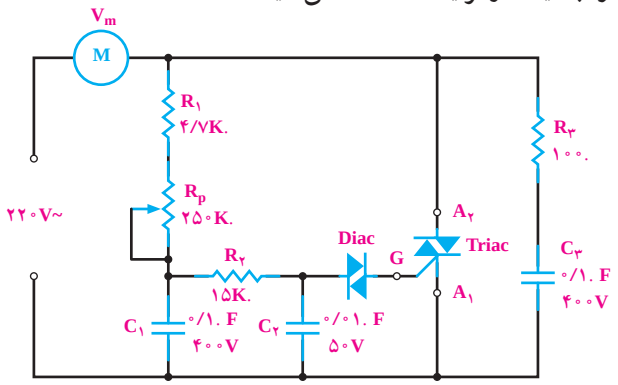
در دیمر چون جریان به‌صورت ناگهانی، ضربه‌ای و به‌طور مرتب قطع و وصل می‌شود، مقدار زیادی پارازیت به‌اطراف خود پخش می‌کند. خازن C_1 و سلف L برای حذف پارازیت است و از عبور پارازیت‌های فرکانس بالا به شبکه جلوگیری می‌کنند.

با تغییر پتانسیومتر زاویه‌ی برش و درنتیجه ولتاژ مؤثر دو سر بار را می‌توان تغییر داد. وقتی ولتاژ شارژ خازن C_2 به‌اندازه‌ی ولتاژ شکست دیاک رسید، دیاک وصل می‌کند؛ هم‌چنین خازن در داخل گیت به‌صورت ضربه‌ای خالی می‌شود و ترایاک را وصل می‌کند. این عمل عیناً در دو نیم‌سیکل مثبت و منفی تکرار می‌شود.

در مراکز صنعتی اگر بخواهند زاویه‌ی برش را به‌صورت اتوماتیک کنترل کنند باید به‌وسیله‌ی مداری پالس‌های الکتریکی کنترل‌پذیر ایجاد نمایند. یکی از این قطعات به‌منظور ایجاد پالس ترانزیستور UJT است.

۱۰ــ۵ــ کنترل دور موتور یونیورسال

در مدار شکل ۲۶ــ۵ کنترل کننده‌ی دور موتور یونیورسال را با دیاک و ترایاک مشاهده می‌کنید.

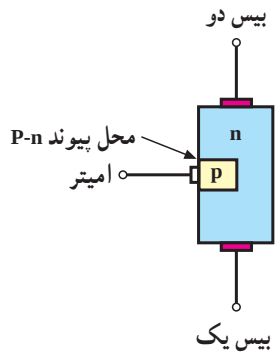


شکل ۲۶ــ۵

با شارژ خازن C_2 وقتی ولتاژ دو سر آن به‌اندازه‌ی ولتاژ شکست دیاک رسید، دیاک وصل می‌کند؛ هم‌چنین خازن در داخل گیت ترایاک به‌صورت ضربه‌ای خالی می‌شود و ترایاک وصل می‌کند. با تغییر R_p زمان شارژ خازن را می‌توان تغییر داد. هرچه خازن دیرتر شارژ شود زمان وصل ترایاک به تأخیر افتاده، ولتاژ مؤثر در دو سر موتور کم و دور موتور کم می‌شود. مقاومت R_3 با خازن C_3 به‌منظور حذف پارازیت‌های ایجاد شده به شبکه است.

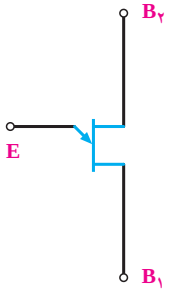
۱۱ــ۵ــ ترانزیستور UJT

UJT[1] یک نوع ترانزیستور تک‌اتصالی است. در ساختمان این ترانزیستور یک قطعه‌ی کوچک کریستال، نوع P روی یک کریستال نوع N متصل شده است (شکل ۲۷ــ۵).



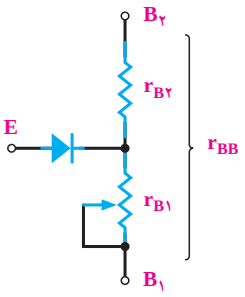
شکل ۲۷ــ۵

در شکل ۲۸ــ۵ علامت اختصاری UJT رسم شده است.



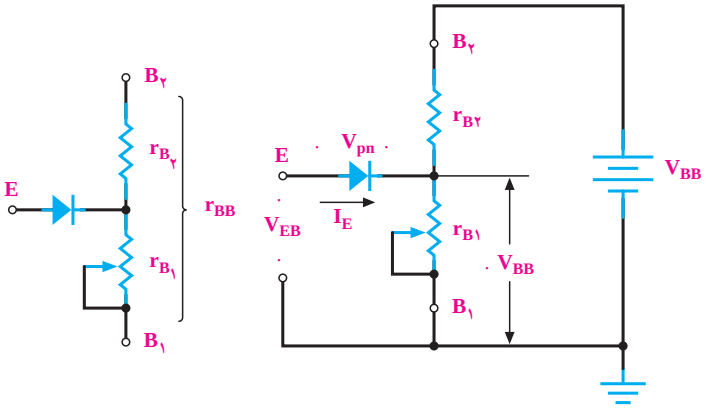
شکل ۲۸ــ۵

پایه‌های UJT «بیس یک» (B_1)، بیس دو (B_2) و «امیتر» (E) نام دارند. UJT فقط دارای یک اتصال P-N است. دو پایه‌ی بیس یک و بیس دو نسبت به‌هم مانند یک مقاومت هستند. مقاومت بین B_1 و B_2 را به r_{BB} نشان می‌دهند. مقدار r_{BB} برای UJTهای مختلف حدود ۴ کیلواهم تا ۱۰ کیلواهم است. امیتر نسبت به B_1 و B_2 مانند دیود عمل می‌کند. در شکل ۲۹ــ۵ مدار معادل UJT رسم شده است.



شکل ۲۹ــ۵

۱ــ۱۱ــ۵ــ طرز کار UJT: هرگاه منبع ولتاژ V_{BB} را مطابق شکل ۳۰ــ۵ به دو پایه‌ی B_1 و B_2 وصل کنیم، به‌علت مقاومت زیاد بین دو بیس (B_1 تا B_2) جریان کمی از منبع کشیده می‌شود؛ هم‌چنین منبع ولتاژ V_{BB} بین دو مقاومت r_{B_2} و r_{B_1} تقسیم ولتاژ می‌گردد. افت ولتاژ دو سر r_{B_1} یعنی ولتاژ کاتد دیود E (امیتر) و B_1 (بیس شماره‌ی ۱) برابر است با :



شکل ۳۰ــ۵

$$Vr_{B_1} = \left(\frac{r_{B_1}}{r_{B_1} + r_{B_2}}\right) V_{BB}$$

$$\eta = \frac{r_{B_1}}{r_{B_1} + r_{B_2}}$$

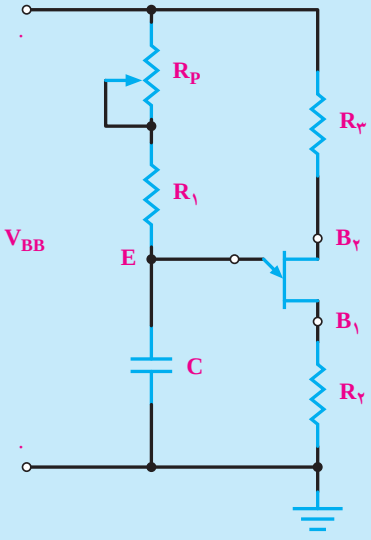
$$Vr_{B_1} = \eta V_{BB}$$

۱ــ UJT - Uni Junction Transistor

اگر ولتاژ اعمال شده به امیتر نسبت به B_1 به‌حدی برسد که دیود امیتر وصل کند (این ولتاژ که ولتاژ «آتش‌امیتر» نام دارد برابر ولتاژ وصل دیود . V_{BB} . است)، بارهای کریستال P وارد منطقه‌ی کریستال N می‌شوند و مقاومت r_{BB} به سرعت کاهش می‌یابد و از منبع V_{BB} جریان زیاد کشیده می‌شود.

مطالعه‌ی آزاد

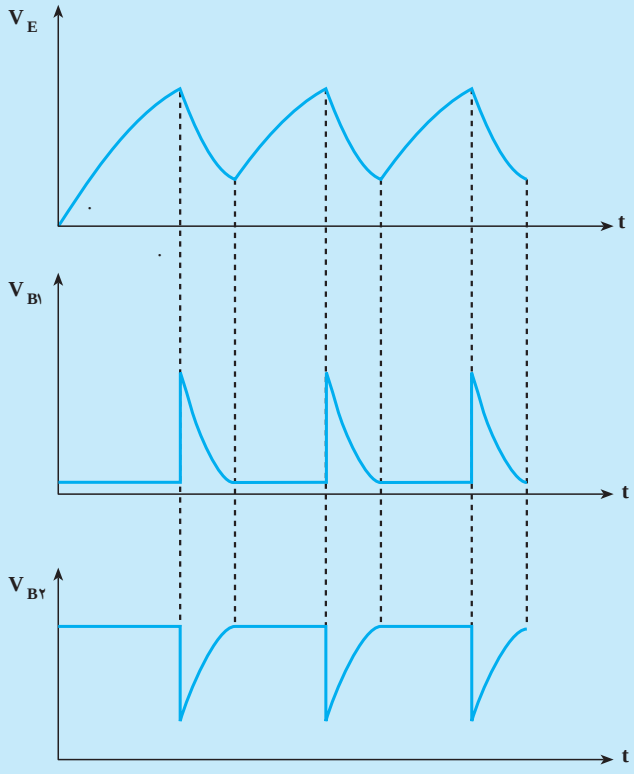
۲ــ۱۱ــ۵ــ کاربرد UJT به‌صورت مولّد موج دندانه ارّه‌ای و پالس: در شکل ۳۱ــ۵ مدار مولّد موج (اسیلاتور یا نوسان‌ساز) با UJT رسم شده است.



شکل ۳۱ــ۵

خازن C از طریق R_1 و R_p شروع به شارژ می‌کند و ولتاژ دو سر خازن یعنی ولتاژ E به‌تدریج افزایش می‌یابد. هر وقت ولتاژ امیتر (E) به‌حدی برسد که بتواند UJT را هادی کند، دیود امیتر وصل می‌کند و مقاومت B_2 نسبت به B_1 کاهش می‌یابد. خازن C از طریق امیتر ــ بیس یک به‌سرعت دشارژ می‌گردد. برای کنترل جریان دشارژ خازن مقاومت R_2 در مدار قرار دارد. با دشارژ خازن C و کاهش ولتاژ آن دیود امیتر در UJT قطع می‌شود. این عمل شارژ و دشارژ خازن پی‌درپی تکرار می‌شود.

وقتی مولّد موج (اسیلاتور) UJT در حال کار است، سه نوع موج با فرکانس برابر، اما شکل‌های مختلف ایجاد می‌کند. در شکل ۳۲ــ۵ این سه‌موج رسم شده است.



شکل ۳۲ــ۵

شکل موج امیتر (V_E) منحنی شارژ و دشارژ خازن C است (شارژ خازن از طریق مقاومت‌های R_1 و R_p و دشارژ آن از طریق مقاومت R_2 است). ولتاژ روی پایه‌ی B_1 در هنگام شارژ خازن بسیار ناچیز و حدود صفر بوده زیرا جریان عبوری از R_2 بسیار ناچیز است، اما به‌هنگام دشارژ خازن جریان R_2 زیاد می‌شود. ولتاژ B_2 در ابتدا زیاد است و به‌هنگام عمل کردن UJT تا زمانی که خازن در حال دشارژ است از پایه‌ی B_2 نیز جریان عبور می‌نماید و ولتاژ آن کاهش می‌یابد. با دشارژ خازن و قطع جریان این ولتاژ افزایش می‌یابد.

از موج دندانه‌ی ارّه‌ای ایجاد شده، در دستگاه‌هایی نظیر اسیلوسکوپ یا تلویزیون استفاده می‌کنند. پالس‌های ایجادشده را نیز برای تحریک گیت عناصری نظیر تریستور و ترایاک به‌کار می‌برند.

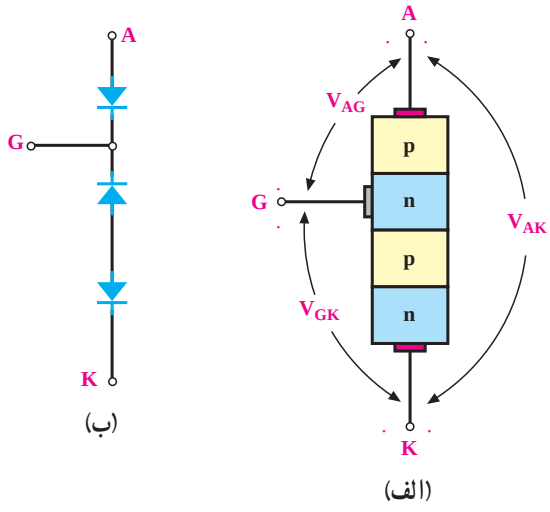
برای ساختن مدار می‌توان این مقادیر را به‌کار برد :

V_{BB} . ۱۰ ولت R_P . ۵۰۰K. R_1 . ۱K. C . ۱۰nF

R_2 . ۱۰۰. R_3 . ۱/۵K. UJT . ۲N۲۶۴۶

۱۲ــ۵ــ تریستور PUT

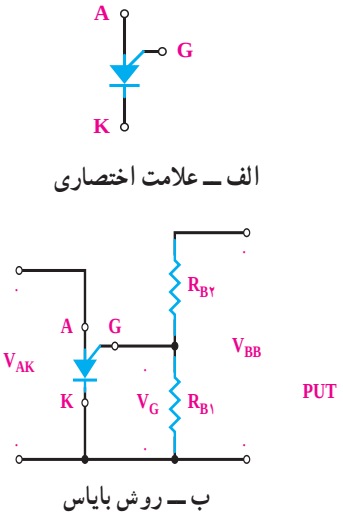
PUT[1] یا ترانزیستور تک‌قطبی قابل برنامه‌ریزی، یک تریستور سه‌پایه است که ساختمان داخلی آن از چهار لایه‌ی متناوب از نیمه‌هادی‌های نوع P و N تشکیل شده است. برخلاف تشابه اسمی که بین PUT و UJT (ترانزیستور تک‌قطبی) وجود دارد، ساختمان داخلی و شیوه‌ی کار کاملاً متفاوتی دارند. در شکل ۳۳ــ۵ــ الف و ب ساختمان PUT و معادل دیودی آن نشان داده شده است.



شکل ۳۳ــ۵

این قطعه دارای چهار لایه‌ی PnPn و یک گیت است که به لایه‌ی نوع n میانی اتصال دارد. علامت اختصاری PUT و اصول بایاس آن در شکل ۳۴ــ۵ مشاهده می‌شود.

همان‌گونه که از علامت اختصاری آن استنباط می‌شود این قطعه نیز در واقع SCR از نوع گیت آندی است. اصطلاح «برنامه‌ریزی» از این رو برای PUT به‌کار می‌رود چون به‌کمک مقاومت‌های بایاس آن R_{B_1} و R_{B_2}، هم‌چنین V_{BB} می‌توان آن را کنترل کرد. برای تحریک این نوع SCR باید به گیت ولتاژ منفی حدود ۰/۷ ولت نسبت به آند اعمال کرد.



شکل ۳۴ــ۵

PUT نسبت به UJT دارای امتیازاتی است که عبارت‌اند از :

الف ــ ولتاژ شکست آن، بالاتر است.

ب ــ قادر به کار در ولتاژهای پایین است.

ج ــ پالس‌های خروجی آن دارای ولتاژ بالاتری است.

د ــ ولتاژ تحریک آن قابل برنامه‌ریزی است.

هـ ــ قیمت آن کم و اندازه‌ی حقیقی آن کوچک است.

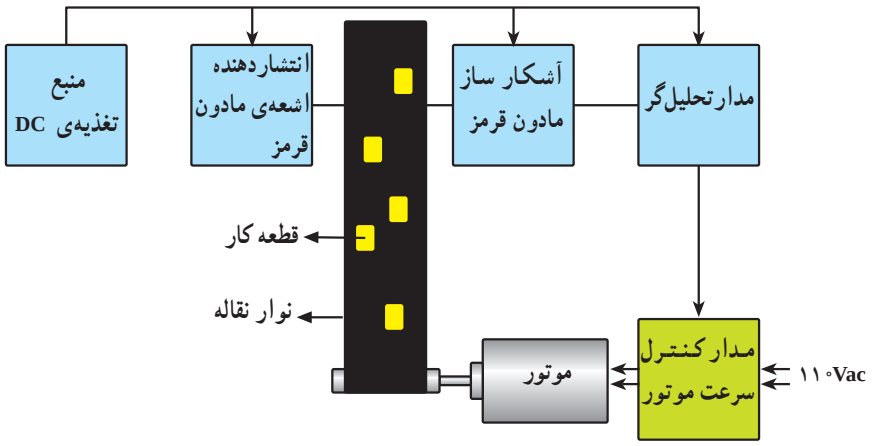
از جمله کاربردهای PUT می‌توان به این موارد اشاره کرد :

۱ــ ساخت تایمرها در مدارات شارژر،

۲ــ افزایش راندمان مولد (با کنترل ولتاژ V_{BB}).

۱ــ۱۲ــ۵ ــ کاربرد PUT: بلوک دیاگرام کلی این سیستم در شکل ۳۵ــ۵ نشان داده شده است. این سیستم سرعت نوار نقاله را کنترل می‌کند ؛ یعنی به‌گونه‌ای عمل می‌کند که طی یک زمان مشخص تعدادی معین از اجسامی که در فواصل نامساوی از هم قرار دارند از مقابل نقطه‌ای خاص در روی خط تولید عبور کنند.

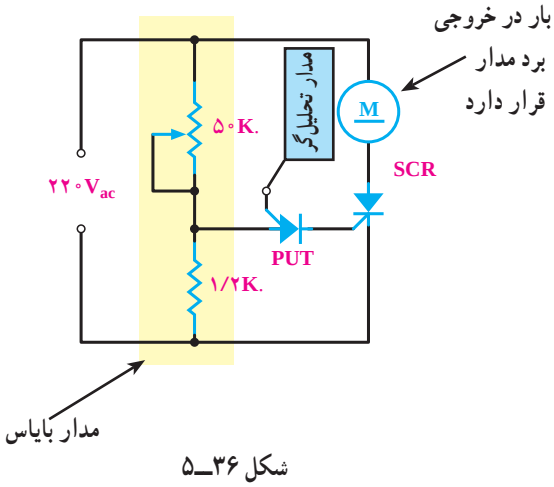
۱ــ PUT = Programmable Unijuntion Transistor



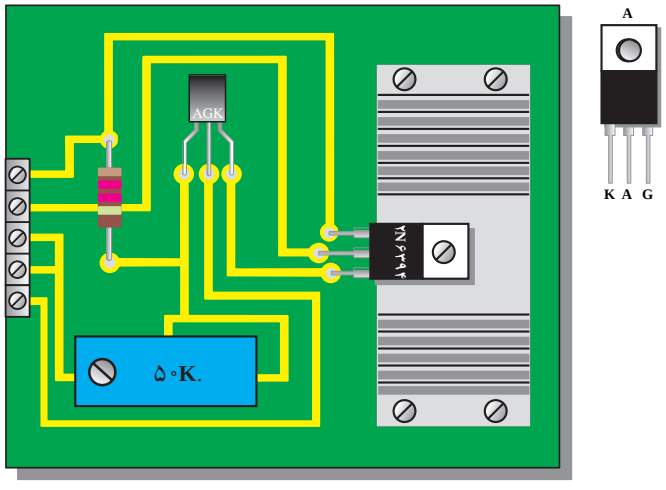
شکل ۳۵ــ۵

هرگاه جسمی که روی تسمه‌ی نقاله‌ی متحرک قرار دارد از مقابل آشکارساز نوری عبور کرده، مانع از عبور اشعه‌ی مادون‌قرمز شود شمارنده‌ی دیجیتالی یک شماره می‌اندازد. بعد از مدت‌زمان خاص این شماره‌های جمع‌شده از طریق مدار تحلیل‌گر به یک ولتاژ مناسب تبدیل می‌شود. هرچه تعداد اجسامی که از جلوی حس‌کننده‌ی[1] نوری عبور می‌کنند بیش‌تر باشد ولتاژ بالاتر خواهد بود. این ولتاژ در مدار برای کنترل دور موتور به‌کار رفته و باعث تنظیم سرعت موتور الکتریکی می‌شود. در شکل ۳۶ــ۵ این مدار نشان داده شده است. توجه داشته باشید که بایاس PUT می‌تواند روی گیت یا آند انجام شود.

این ولتاژ نسبی توسط مدار تحلیل‌گری برای گیت PUT که در روی برد مدار کنترل سرعت است به‌کار می‌رود. این ولتاژ سبب می‌شود تا گیت PUT تحریک شود و در نقطه‌ای از موج ac هدایت کند. در صورتی که ولتاژ گیت PUT زیاد شود تریستور دیرتر روشن می‌شود و مقدار متوسط قدرت کم‌تری به موتور می‌دهد و سرعت آن را کاهش می‌دهد. اگر ولتاژ گیت PUT کاهش یابد SCR زودتر روشن می‌شود. این روند باعث می‌شود تا سرعت موتور را به‌گونه‌ی اتوماتیک بتوان تنظیم کرد. شکل ۳۷ــ۵ تصویری است از برد مدار چاپی به‌همراه قطعات نصب‌شده‌ی روی آن.



شکل ۳۶ــ۵



شکل ۳۷ــ۵

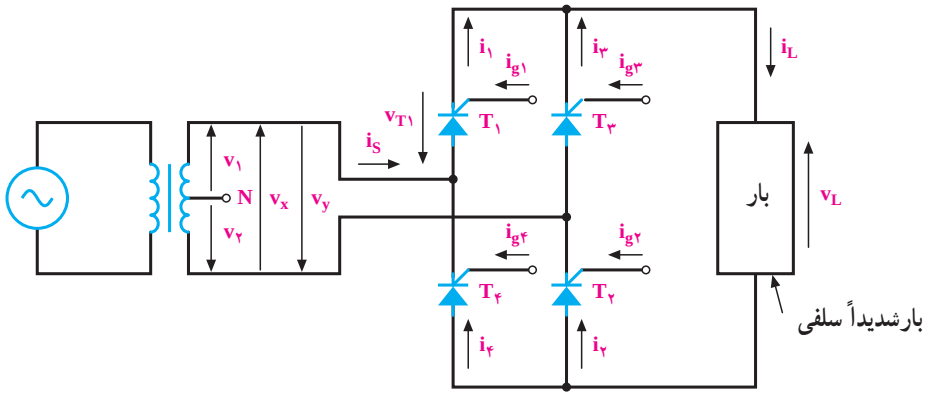
۱ــ Sensor

۱۳ــ۵ــ چند نمونه کاربرد نیمه‌هادی‌های خاص

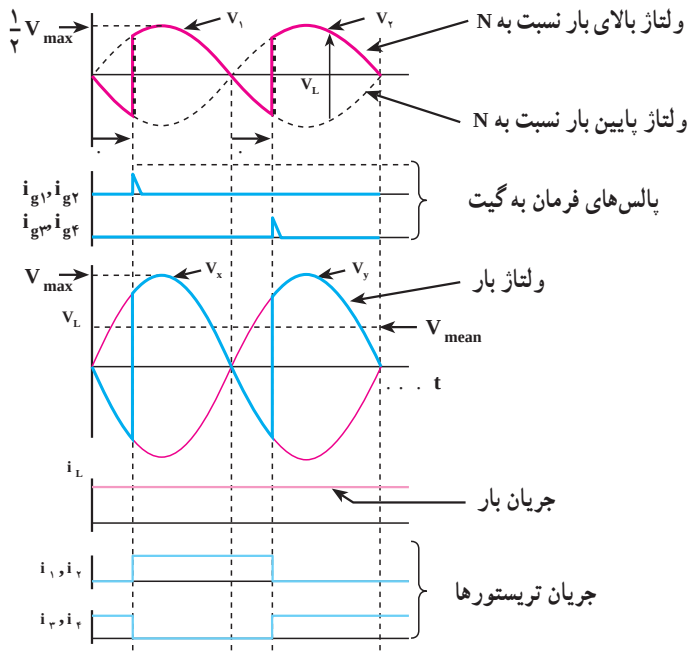
در این فصل با چند قطعه نیمه‌هادی خاص (الکترونیک قدرت) مانند SCR ؛ DIAC ؛ TRIAC ؛ UJT و PUT آشنا شده‌اید و در هر قسمت حداقل یک نمونه کاربردی برای هریک از آن‌هاتشریح شده است. اما به‌جهت آشنایی بیشتر با زمینه‌های استفاده از این قطعات مدارهای متفاوت دیگری معرفی و بررسی شده‌اند.

۱ــ۱۳ــ۵ــ یک‌سوساز تمام موج تریستوری تک‌فاز: این مدار با همان شرایط کاری و مشابه مدار یک‌سوسازی دیودی عمل می‌کند یعنی در هر نیم‌سیکل دو تریستور عمل هدایت جریان را انجام می‌دهند. با این تفاوت که در مدارهای یک‌سوسازی تریستوری از طریق یک مدار فرمان و با اعمال پالس‌های همزمان به گیت تریستورها می‌توان عمل هدایت را در لحظه‌ی دلخواه انجام داد و بر روی شکل موج خروجی اثر گذاشت.

در شکل ۳۸ــ۵ مدار و شکل موج‌های ولتاژ و جریان دوسر بار (v_L و i_L) ؛ جریان‌های تحریک (i_g) و جریان عبوری از هر تریستور (i_1 تا i_4) نشان داده شده است. چون بار با خاصیت سلفی زیاد است، شکل موج جریان بار بدون ضربان می‌باشد.



(الف)

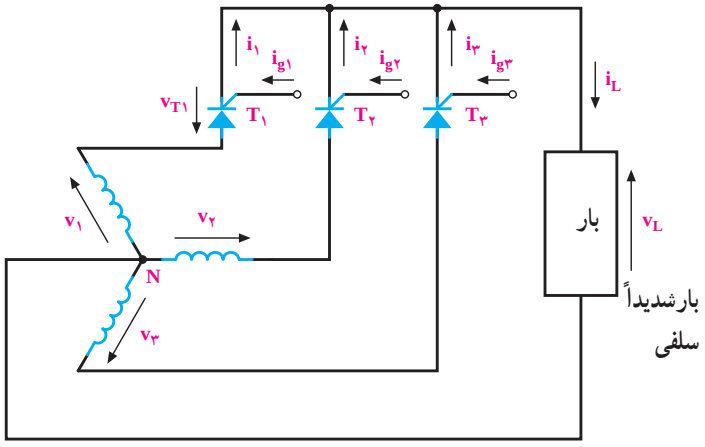


(ب)

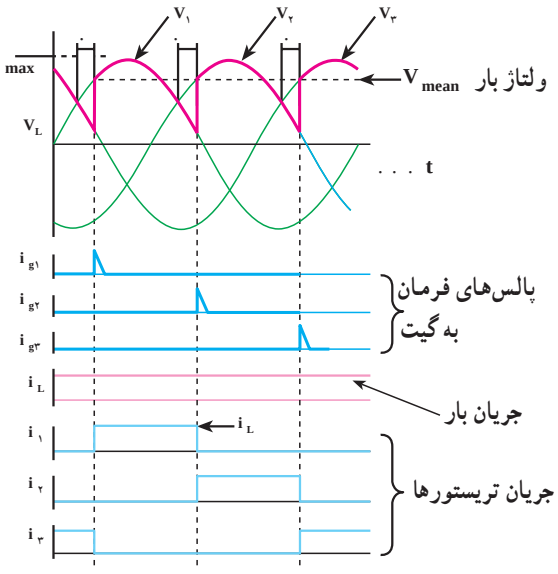
شکل ۳۸ــ۵

لازم به ذکر است که در بار اهمی خالص قسمت منفی ولتاژ بار(v_L) حذف می‌شود و شکل موج جریان بار(I_L) نیز مشابه شکل موج ولتاژ بار خواهد شد.

۲ــ۱۳ــ۵ــ یک‌سوساز نیم‌موج تریستوری سه‌فاز: اصول کار این مدار نیز مانند یک سوساز نیم‌موج تک‌فاز است؛ با این تفاوت که در این مدار با فرستادن جریان به گیت هر تریستور می‌توان آن را در وضعیت وصل قرار داد. همان‌گونه که در شکل ۵ــ۳۹ مشاهده می‌شود هر فاز نسبت به دو فاز دیگر در هر ۱۲۰



الف ــ اتصال مدار



ب ــ شکل موج‌ها با زاویه‌ی تأخیر آتش کوچک

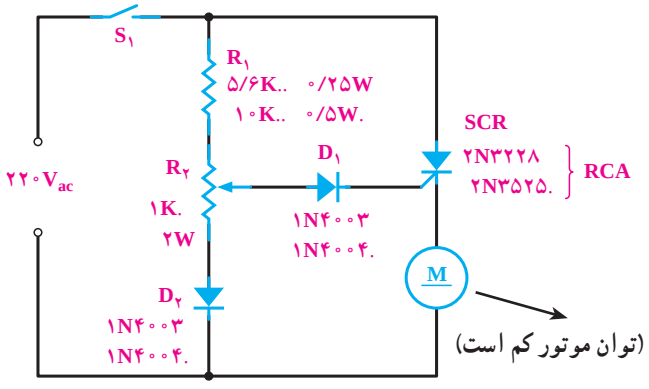
شکل ۵ــ۳۹ ــ مدار سه‌فاز تمام کنترل شده‌ی نیم‌موج تریستوری

درجه مثبت‌تر است؛ بنابراین، تریستوری که در مسیر آن فاز قرار می‌گیرد، آند آن نسبت به کاتد مثبت‌تر است؛ پس در این فاصله می‌توان جریان تحریکی را به گیت آن تریستور فرستاد تا عمل هدایت را انجام دهد. در شکل ۵ــ۳۹ وضعیت جریان‌های تحریک (i_g) جریان‌های عبوری از هر تریستور (i_1 تا i_3) ولتاژ و جریان دو سر بار (V_L و I_L) در زاویه‌ی آتش (.) نشان داده شده است.

در لحظاتی که جریان به گیت هر تریستور اعمال می‌شود (i_g) مسیر جریان بار (I_L) از طریق آن تریستور بسته می‌شود پس شکل موج جریان بار هر ۱۲۰ درجه تابع یکی از تریستورها است.

۳ــ۱۳ــ۵ــ کنترل دور موتورهای dc: در شکل ۵ــ۴۰ مداری نشان داده شده است که در آن موتور جریان مستقیم به‌گونه‌ی سری با تریستور قرارگرفته است.

مدار فرمان تریستور را مقاومت‌های R_1، R_2 و دیودهای D_1 و D_2 تشکیل می‌دهند؛ برای مثال اگر مقدار مقاومت R_2 را افزایش دهیم جریان عبوری از گیت تریستور کم شده، SCR دیرتر تحریک می‌شود. درنتیجه، سرعت موتور نیز کاهش می‌یابد. پس به‌این ترتیب می‌توانیم با تغییر در مقدار مقاومت R_2، جریان تحریک گیت تریستور را تغییر دهیم که با این کار سرعت موتور نیز تغییر می‌کند.



شکل ۵ــ۴۰

در شکل ۴۱ــ۵ تصویر دو کنترل کننده‌ی دور موتورهای (dc و ac) نشان داده شده است.

شکل ۴۱ــ۵

۴ــ۱۳ــ۵ــ کنتاکتور الکترونیکی: در مدارات الکترونیکی از ترکیب دو تریستور مخالف موازی می‌توان ترکیبی را ساخت که به‌صورت کلید یا رگولاتورهای فازی به کار می‌روند. اصطلاحاً به این مدارات «کنتاکتورهای الکترونیکی» گویند. کنتاکتورهای الکترونیکی نسبت به کنتاکتورهای الکترومغناطیسی دارای این مزایا هستند :

الف ــ زمان جواب گرفتن از آن‌ها بسیار کوتاه است.

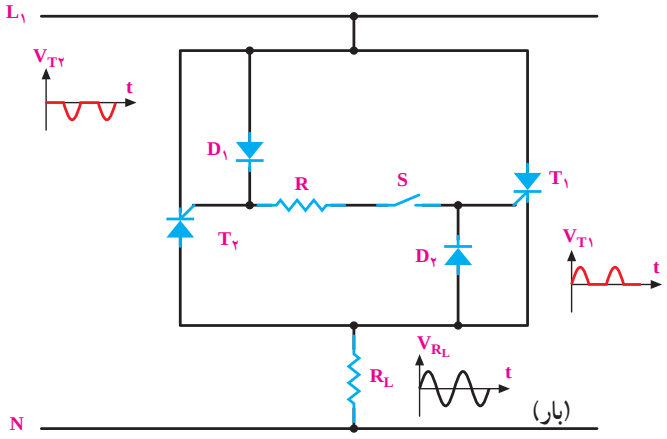
ب ــ قطع دائم مدار در زمانی که جریان در آن صفرشود.

ج ــ کنتاکت‌های فلزی در آن وجود ندارند.

د ــ این سیستم بی‌سر و صدا کار می‌کند.

هـ ــ امکان فرستادن فرمان برای قدرت‌های کوچک یا خیلی بزرگ وجود دارد (مانند ماشین‌های جوش‌کاری).

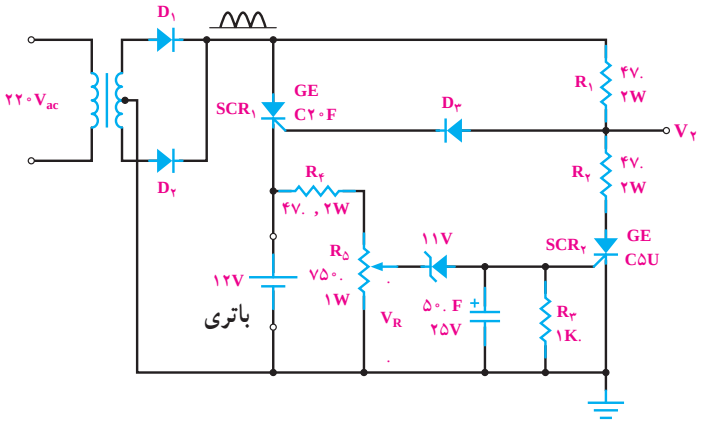
شکل ۴۲ــ۵ تصویری از مدار کنتاکتور الکترونیکی است.



شکل ۴۲ــ۵

در این مدار دیودهای D_1 و D_2 به‌عنوان یک‌سوکننده و R به‌منظور کنترل جریان گیت تریستورها به‌کار برده شده‌اند. در نیم‌سیکل مثبت D_1 و T_1 در بایاس موافق و در نیم‌سیکل منفی D_2 و T_2 در بایاس موافق قرار دارند. بدین‌ترتیب، برای هادی شدن هر تریستور کافی است کلید S فشار داده شود. در این‌صورت، جریان از طریق هر تریستور به‌بار خواهد رسید. از این مدار هنگامی استفاده می‌شود که ترایاک موجود نباشد، زیرا عملکرد آن مانند ترایاک است.

۵ــ۱۳ــ ۵ ــ رگولاتور شارژ باتری: از جمله کاربردهای مشهور SCR در رگولاتورهای شارژ باتری است. اجزا و عناصر اصلی چنین مداری در شکل ۴۳ــ۵ دیده می‌شود.



شکل ۴۳ــ۵ ــ رگولاتور شارژ باتری

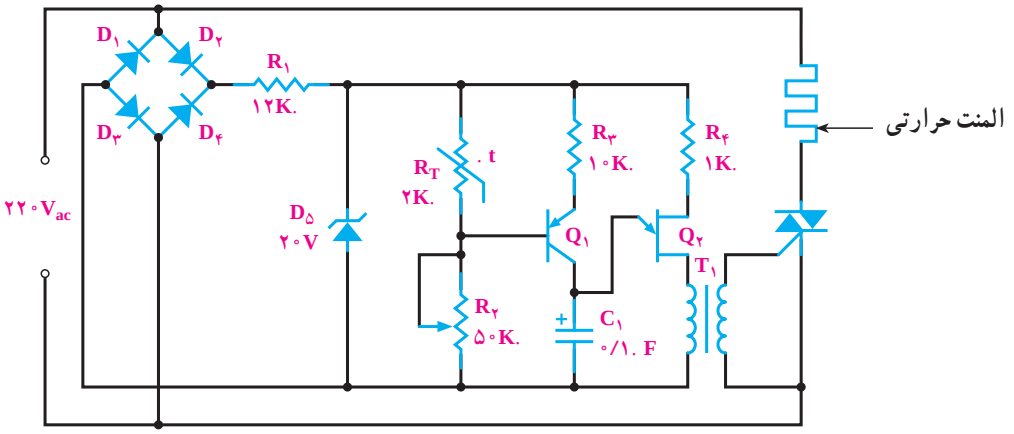
طرز کار مدار بدین صورت است که ابتدا ولتاژ متناوب به‌وسیله‌ی دیودهای D_1 و D_2 یک‌سو شده و به آند SCR_1، هم‌چنین از طریق مقاومت R_1 و دیود D_3 به گیت تریستور SCR_1 به‌منظور تحریک اعمال می‌شود. با روشن شدن SCR_1 شارژ باتری آغاز خواهد شد. در شروع شارژ ولتاژ کم باتری به‌صورت یک افت ولتاژ کوچک در بین دو مقاومت R_4 و R_5 تقسیم می‌شود. این ولتاژ ابتدا نمی‌تواند دیود زنر را که در بایاس معکوس است به هدایت ببرد.

با ادامه‌ی عمل شارژ، ولتاژ باتری به‌حدی می‌رسد که ولتاژ دو سر مقاومت R_5(VR) به‌اندازه‌ای می‌رسد که می‌تواند دیود زنر و SCR_2 را روشن کند. با هادی‌شدن دیود زنر و رسیدن جریان به گیت، تریستور SCR_2 روشن و مدار از طریق دو مقاومت R_1 ، R_2 و SCR_2 بسته می‌شود که درنتیجه ولتاژ خروجی یک‌سوساز بین آن‌ها تقسیم خواهد شد. در این‌حالت هم‌چنین ولتاژ دوسر مقاومت R_2 (گره V_2) به‌اندازه‌ای نیست که تریستور SCR_1 را روشن کند ؛ از این‌رو مدار SCR_1 قطع می‌گردد و عمل شارژ به‌صورت اتوماتیک متوقف می‌شود.

۶ــ۱۳ــ۵ــ کنترل اتوماتیک درجه‌ی حرارت المان

حرارتی: در شکل ۴۴ــ۵ مدار کنترل کننده‌ی اتوماتیک درجه‌ی حرارت المان حرارتی نشان داده شده است. یکی از قطعات مدار مقاومت با ضریب حرارتی منفی (NTC) است. این مقاومت حرارتی به‌همراه مقاومت R_2 بایاس بیس ترانزیستورQ_1 را به‌عهده دارد. ولتاژ متناوب ورودی (برق شهر) به‌وسیله‌ی مدار پُل یک‌سوساز تمام موج یک‌سو می‌شود و از طریق مقاومت R_1 به مدار کنترل اعمال می‌گردد. مقدار موج یک‌سو شده به‌وسیله‌ی دیود زنر روی ۲۰ ولت تثبیت می‌شود. R_2 به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که Q_1 در درجه‌ی حرارت معین که از قبل تعیین شده قطع گردد. وقتی Q_1 قطع است، خازن C_1 نمی‌تواند شارژ کند. درنتیجه، گیت UJT تحریک نمی‌شود وUJT قطع می‌گردد. با قطع UJT پالسی ایجاد نمی‌شود تا گیت ترایاک را تحریک کند ؛ از این‌رو ترایاک قطع و المنت حرارتی خنک خواهد بود. با خنک بودن المنت حرارتی NTC که بدنه‌ی آن به المنت نزدیک است خنک می‌گردد و مقاومت آن زیاد می‌شود. زیادشدن مقاومت NTC سبب افزایش ولتاژ امیتر ــ بیس Q_1 شده، Q_1 وصل می‌شود ؛ هم‌چنین جریان کلکتور Q_1 خازن C_1 را شارژ می‌کند، با شارژ خازن، گیت UJT تحریک می‌شود و UJT وصل می‌کند. پالس ایجاد شده گیت ترایاک را تحریک می‌کند و ترایاک وصل می‌شود. درنتیجه از المنت جریان عبور نموده آن را گرم می‌کند.

هرگاه حرارت المنت از حد تعیین‌شده تجاوز کند مقاومت NTC آن‌قدر کاهش می‌یابد که سبب قطع Q_1 و در نهایت، موجب قطع ترایاک می‌شود، این امر جریان المنت را قطع می‌کند و سبب خنک‌شدن آن می‌شود.



شکل ۴۴ــ۵

پرسش

۱ــ ساختمان داخلی و اساس کار دیود چهارلایه را توضیح دهید.
۲ــ ساختمان داخلی SCR را توضیح داده، شرایط هدایت آن‌را بنویسید.
۳ــ با رسم مدار روش آزمایش تریستور را توضیح دهید.
۴ــ مدار کنترل جریان تریستوری را رسم نموده، طرز کار آن‌را توضیح دهید.
۵ ــ نقش مقاومت $R_۲$ و ترانزیستور Tr در مدار چشم الکترونیک چیست؟
۶ــ «دیاک» چیست و نحوه‌ی بایاس آن چگونه است؟
۷ــ نقشه‌ی مدار کنترل‌کننده‌ی دور موتور اونیورسال نیم‌موج را رسم کرده، طرز کار آن‌را توضیح دهید.
۸ ــ روشهای روشن کردن ترایاک را به‌همراه رسم مدارهای مربوط شرح دهید.
۹ــ نقش خازن $C_۱$ ، $C_۲$ و DIAC در نقشه‌ی دیمر (کاربرد ترایاک) چیست؟
۱۰ــ ساختمان داخلی UJT را به همراه رسم علامت اختصاری آن توضیح دهید.
۱۱ــ مدار بایاس ترانزیستور UJT را رسم کرده، طرز کار آن‌را توضیح دهید.
۱۲ــ تریستور گیت آندی (PUT) را از نظر ساختمان داخلی توضیح دهید.
۱۳ــ مزایای PUT نسبت به UJT را برشمارید و کاربردهای آن را تشریح کنید.
۱۴ــ مدارهای یک‌سوساز کنترل‌شده (تریستوری) نیم‌موج و تمام موج را برای حالات زیر رسم نموده، شکل موج ولتاژ خروجی مدار را برای زاویه‌ی آتش ۳۰ . . رسم کنید.
الف ــ تک‌فاز ب ــ سه‌فاز
۱۵ــ نقش دیود $D_۱$ در مدار کنترل دور موتور dc چیست؟
۱۶ــ مدار کنتاکتور الکترونیکی را رسم نمایید و به این سؤالات پاسخ دهید.
الف ــ طرز کار ب ــ زمینه‌ی کاربردی ج ــ رسم شکل موج‌های ورودی و خروجی
۱۷ــ در مدار رگولاتور شارژ باتری، نقش دیود $D_۳$ و مقاومت $R_۵$ و تریستور $SCR_۲$ چیست؟
۱۸ــ در نقشه مدار کنترل‌کننده‌ی اتوماتیک درجه‌ی حرارت یک المان حرارتی شکل ۴۴ــ۵، نقش عناصر NTC، $Q_۱$ ، $Q_۲$ ، $D_۵$ و $T_۱$ چیست؟

منابع و مآخذ

۱ ــ Electronic devices by: T.L.floyd(2000 ــ (میلادی ــ (MCGraw-Hill)

۲ــ خرازی، سعید. اصول الکترونیک، ۱۳۷۸. مجتمع فنی تهران.

۳ــ خلج، بهرام. نظریان، فتح الله. الکترونیک عمومی. وزارت آموزش و پرورش.

۴ــ لندر، سریل. ۱۳۷۵. الکترونیک صنعتی. معتمدی‌نژاد، میرفاضلی، شفیعی. انتشارات خراسان

۵ ــ مطلبی، علی. الکترونیک صنعتی. ۱۳۶۳. انتشارات دانش و فن

۶ــ نشلسکی، اشتاد. ۱۳۷۸. قطعات و مدارات الکترونیک. دکتر قدرت سپیدنام و . . . انتشارات خراسان

۷ــ ویکرز، ویلیام. ۱۳۷۵. مدار منطقی. مهندس انواری و مهندس سینا. انتشارات پرهام