

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# الکترونیک کاربردی

رشته الکتروتکنیک

زمینه صنعت

شاخه آموزش فنی و حرفه ای

شماره درس ۲۱۳۳

نصیری سوادکوهی، شهرام	۶۲۱
الکترونیک کاربردی / مؤلفان : شهرام نصیری سوادکوهی، شهرام خدادادی. - تهران :	۳۸۱ /
شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران، ۱۳۹۴.	الف ۴۷۵ ن
۱۲۲ص. : مصور. - (آموزش فنی و حرفه ای؛ شماره درس ۲۱۳۳)	۱۳۹۴
متون درسی رشته الکتروتکنیک، زمینه صنعت.	
برنامه ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا : کمیسیون برنامه ریزی و تألیف	
کتاب های درسی رشته الکتروتکنیک دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کاردانش	
وزارت آموزش و پرورش.	
۱. الکترونیک. الف. خدادادی، شهرام. ب. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون	
برنامه ریزی و تألیف کتاب های درسی رشته الکتروتکنیک. ج. عنوان. د. فروست.	

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز :

پیشنهادهای و نظرات خود را درباره محتوای این کتاب به نشانی  
تهران - صندوق پستی شماره ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتاب‌های درسی  
فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پیام‌نگار (ایمیل) [info@tvoccd.sch.ir](mailto:info@tvoccd.sch.ir)

وب‌گاه (وب‌سایت) [www.tvoccd.sch.ir](http://www.tvoccd.sch.ir)

پیام‌نگار (ایمیل) کمیسیون تخصصی رشته الکترونیک

[Tech@tvoccd.sch.ir](mailto:Tech@tvoccd.sch.ir)

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

## وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

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

نام کتاب : الکترونیک کاربردی - ۴۸۸/۳

مؤلفان : شهرام نصیری سوادکوهی، شهرام خدادادی

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

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

وب‌سایت : [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir)

رسام : سروش ذوالریاستین، فاطمه رئیس‌یان فیروزآباد

صفحه‌آرا : خدیجه محمدی

طراح جلد : علیرضا رضائی‌کُر

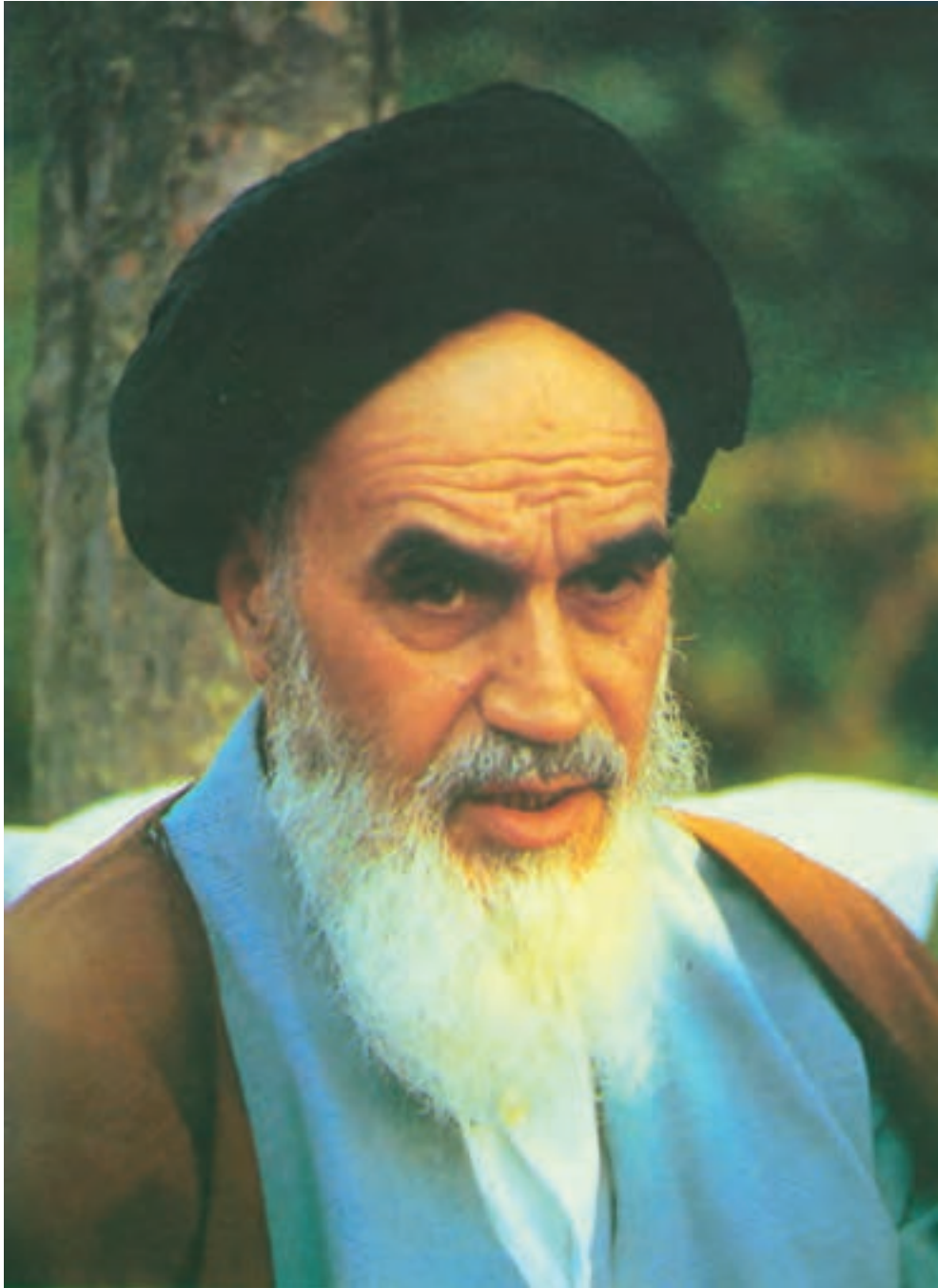
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروبخش)

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

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

سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ پانزدهم ۱۳۹۴

حق چاپ محفوظ است.



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

امام خمینی «قدس سرّه الشریف»



به منظور صرفه جویی در وقت و فراهم آوردن زمینه مناسب جهت تمرین بیش تر و درهم تنیدن فناوری اطلاعات (IT) با این موضوع درسی لازم است هنرآموزان محترم و هنجویان عزیز از نرم افزارهای EWB، Proteus، multisim یا هر نرم افزار مناسب دیگری که در دسترس قرار دارد برای آموزش فصل های مختلف کتاب استفاده نمایند. مدیران محترم هنرستان ها نیز در برنامه ریزی درسی هنرستان، قسمتی از زمان سایت رایانه را به این موضوع اختصاص دهند یا یک رایانه به همراه ویدئو پروژکتور برای کلاس های درس فراهم نمایند.

## فهرست

۲۰	۴-۱۲-۱- خازن های الکترولیتی	۱	فصل اول : اجزای ساده مدار (C- L - R)
۲۲	۱۳-۱- خازن های متغیر	۲	مقدمه
۲۲	۱۴-۱- تشخیص مقدار ظرفیت خازن	۵	۱-۱- مدار الکتریکی
۲۳	۱۵-۱- نوارهای رنگی خازن های تانتالیوم	۵	۱-۲- مقاومت الکتریکی (R)
۲۴	پرسش	۵	۱-۳- مشخصات مهم مقاومت ها
		۶	۱-۴- انواع مقاومت ها
۲۶	فصل دوم : آشنایی با مدارهای منطقی	۷	۱-۵- مقاومت های ثابت
۲۶	مقدمه	۷	۱-۵-۱- مقاومت های سیمی
۲۷	۱-۲- سیستم های آنالوگ و دیجیتال	۹	۱-۶- مقاومت های متغیر
۲۷	۱-۲-۱- سیستم آنالوگ	۹	۱-۶-۱- مقاومت های متغیر وابسته
۲۷	۱-۲-۲- سیستم دیجیتال	۱۲	۱-۷- استانداردهای مقاومت
۲۹	۲-۲- سطوح منطقی صفر و یک	۱۳	۱-۸- تشخیص مقدار اهم مقاومت ها
۳۰	۲-۳- دروازه های منطقی پایه	۱۵	۱-۹- سلف
۳۰	۱-۲-۳- دروازه AND - «و»	۱۷	۱-۱۰- خازن
۳۱	۲-۳-۲- دروازه OR - «یا»	۱۸	۱-۱۱- انواع خازن ها
۳۳	۲-۳-۳- دروازه NOT - «نفی»	۱۸	۱-۱۲- خازن های ثابت
۳۴	۲-۴- بررسی مدارهای منطقی	۱۸	۱-۱۲-۱- خازن های سرامیکی
۳۵	۲-۵- دروازه های منطقی ترکیبی	۱۹	۱-۱۲-۲- خازن های ورقه ای
۳۵	۲-۵-۱- دروازه منطقی NAND - «نفی و»	۲۰	۱-۱۲-۳- خازن های میکا

۳۶	۲-۵-۲ دروازه منطقی NOR – «نفی یا»
۳۷	۲-۵-۳ دروازه منطقی OR – انحصاری
۳۸	۲-۵-۴ دروازه منطقی NOR انحصاری (Exclusive OR – XOR)
۳۹	۲-۵-۶ اتحادهای ساده منطقی
۴۲	۲-۷-۲ شکل ظاهری و مدار داخلی چند آی سی
۴۳	۲-۸-۱ مدارهای ترکیبی
۴۳	۲-۸-۱ مدارهای رمزکننده (انکودر – encoder)
۴۳	۲-۸-۲ مدارهای رمزگشا (دیکودر – decoder)
۴۵	۲-۸-۳ واحد حافظه (memory)
۴۵	۲-۹-۲ ثبت کننده (رجیستر : Register)
۴۶	۲-۱۰-۲ شمارنده (Counter)
۴۸	پیش
۵۰	فصل سوم : دیود نیمه هادی
۵۰	۳-۱-۳ هدایت الکتریکی اجسام
۵۱	۳-۲-۲ الکترون های ظرفیت یا والانس
۵۱	۳-۳-۳ هادی ها
۵۱	۳-۴-۳ عایق ها
۵۲	۳-۵-۳ نیمه هادی ها
۵۲	۳-۶-۳ ساختمان اتمی سیلیکن و ژرمانیم
۵۲	۳-۷-۳ ساختمان کریستالی سیلیکن و ژرمانیم
۵۲	۳-۸-۳ پیوند اشتراکی (کووالانس) در اتم های سیلیکن و ژرمانیم
۵۳	۳-۹-۳ هدایت الکتریکی در سیلیکن و ژرمانیم خالص
۵۳	۳-۱۰-۳ ایجاد حفره
۵۴	۳-۱۱-۳ جریان الکترون های آزاد
۵۴	۳-۱۲-۳ جریان حفره ها
۵۵	۳-۱۳-۳ افزودن ناخالصی به کریستال نیمه هادی
۳-۱۴-۳	ناخالص کردن کریستال نیمه هادی با اتم پنج ظرفیتی (نیمه هادی نوع N)
۳-۱۵-۳	ناخالص کردن کریستال نیمه هادی با اتم سه ظرفیتی (نیمه هادی نوع P)
۳-۱۶-۳	اتصال P-N (دیود کریستالی)
۳-۱۷-۳	بایاس کردن اتصال P-N
۳-۱۸-۳	علامت اختصاری و شکل ظاهری دیود معمولی
۳-۱۹-۳	منحنی مشخصه ولت آمپر دیود در بایاس مستقیم
۳-۲۰-۳	منحنی مشخصه ولت آمپر دیود در بایاس معکوس
۳-۲۱-۳	بررسی دیود در حالت ایده آل
۳-۲۲-۳	تشخیص آند و کاتد و سالم بودن دیود به وسیله اهم متر
۳-۲۲-۳-۱	استفاده از اهم متر عقربه ای
۳-۲۲-۳-۲	استفاده از مولتی متر دیجیتالی
۳-۲۳-۳	مقادیر حد در دیود
۳-۲۳-۳-۱	حداکثر ولتاژ معکوس
۳-۲۳-۳-۲	حداکثر جریان مستقیم (IF)
۳-۲۳-۳-۳	حداکثر جریان بایاس مستقیم
۳-۲۳-۳-۴	تکراری (IFRM)
۳-۲۳-۳-۴	حداکثر جریان لحظه ای (IFSM)
۳-۲۴-۳	کاربرد دیود به عنوان یک سوساز
۳-۲۴-۳-۱	یک سو کننده نیم موج
۳-۲۴-۳-۲	طرز کار یک سو کننده نیم موج
۳-۲۵-۳	یک سو ساز تمام موج
۳-۲۵-۳-۱	یک سو ساز تمام موج با ترانس سر وسط
۳-۲۵-۳-۲	یک سو ساز تمام موج پل
۳-۲۵-۳-۳	یک سو ساز تمام موج پل به صورت مدار مجتمع
۳-۲۶-۳	میانگین ولتاژ دو سربار در یک سوسازی

۹۰	۴-۷-۱- آرایش امیتر مشترک C-E	۷۲	۳-۲۷- حداکثر ولتاژ معکوس دو سر هر دیود (PIV)
۹۱	۴-۷-۲- آرایش بیس مشترک C-B	۷۴	۳-۲۸- یک سوساز با صافی
۹۱	۴-۷-۳- آرایش کلکتور مشترک C-C	۷۴	۳-۲۸-۱- یک سوساز نیم موج با خازن صافی
	۴-۸- منحنی‌های مشخصه ترانزیستور در حالت		۳-۲۸-۲- یک سوساز تمام موج پل با خازن
۹۱	امیتر مشترک	۷۴	صافی (آداپتور)
۹۱	۴-۸-۱- منحنی مشخصه ورودی	۷۵	۳-۲۹- یک سوساز سه فازه
۹۱	۴-۸-۲- منحنی مشخصه انتقالی	۷۵	۳-۳۰- انواع دیودهای نیمه‌هادی
۹۲	۴-۸-۳- منحنی مشخصه خروجی	۷۵	۳-۳۰-۱- دیود زنر
۹۴	۴-۹- ترانزیستور در حالت قطع	۷۵	۳-۳۰-۲- منحنی مشخصه ولت آمپر زنر
۹۴	۴-۱۰- ترانزیستور در حالت اشباع	۷۶	۳-۳۰-۳- علامت اختصاری دیود زنر
۹۴	۴-۱۱- کاربرد ساده ترانزیستور به عنوان کلید	۷۶	۳-۳۰-۴- استاندارد ولتاژهای زنر
۹۵	۴-۱۲- تعیین پایه‌ها و نوع ترانزیستور به کمک اهم متر	۷۶	۳-۳۰-۵- توان زنر
۹۵	۴-۱۲-۱- استفاده از اهم متر عقربه‌ای	۷۶	۳-۳۰-۶- مدار معادل دیود زنر
۹۵	۴-۱۲-۲- استفاده از مولتی متر دیجیتالی	۷۷	۳-۳۰-۷- کاربرد دیود زنر
	۴-۱۳- مقادیر حد در ترانزیستور و استفاده از		۳-۳۰-۸- استفاده از زنر برای حفاظت دستگاه
۹۶	برگه داده‌ها	۷۸	در مقابل ولتاژ اضافی
۹۸	۴-۱۴- شکل‌ظاهری چند نمونه ترانزیستور و پایه‌های آن	۷۸	۳-۳۱- دیود نوردهنده LED
۹۹	۴-۱۵- تغذیه سرخود	۷۹	۳-۳۱-۱- کاربردهای LED
	۴-۱۶- تقویت کننده اولیه به صورت آرایش امیتر	۷۹	۳-۳۱-۲- دیود نورانی مادون قرمز IR
۱۰۰	مشترک		۳-۳۱-۳- نمایشگر هفت قطعه‌ای
	۴-۱۷- تثبیت کننده ولتاژ همراه با تقویت جریان	۷۹	(سیون سگمنت)
۱۰۰	ترانزیستوری	۸۰	۳-۳۲- چند مثال کاربردی
۱۰۰	۴-۱۸- ترانزیستور به عنوان منبع جریان	۸۳	پرسش
۱۰۱	۴-۱۹- سیستم اعلام حریق		
۱۰۲	پرسش	۸۵	<b>فصل چهارم : ترانزیستور BJT</b>
		۸۵	۴-۱- ساختمان ترانزیستور
۱۰۳	<b>فصل پنجم : عناصر نیمه‌هادی خاص</b>	۸۶	۴-۲- نمای مداری و معادل دیودی ترانزیستور
۱۰۳	مقدمه	۸۷	۴-۳- بایاس کردن ترانزیستور
۱۰۳	۵-۱- دیود چهار لایه (دیود شاکلی)	۸۹	۴-۴- جریان‌ها در ترانزیستور
۱۰۴	۵-۲- تریستور (SCR)	۸۹	۴-۵- ولتاژها در ترانزیستور
۱۰۶	۵-۳- تشخیص پایه‌های تریستور	۹۰	۴-۶- چگونگی عمل تقویت کنندگی در ترانزیستور
۱۰۶	۵-۴- تست تریستور	۹۰	۴-۷- آرایش‌های ترانزیستور

۵-۵ مدارهای ساده ترستوری	۱۰۶	۵-۱۳-۱ یک سو ساز تمام موج ترستوری	۱۱۷
۵-۶ دیاک	۱۰۸	تک فاز	
۵-۷ ساختمان ترایاک	۱۰۹	۵-۱۳-۲ یک سو ساز نیم موج ترستوری	
۵-۸ روشن کردن ترایاک (تریگر کردن ترایاک)	۱۱۰	سه فاز	۱۱۸
۵-۹ کاربرد ترایاک به صورت مدار دیمر	۱۱۱	۵-۱۳-۳ کنترل دور موتورهای dc	۱۱۸
۵-۱۰ کنترل دور موتور یونیورسال	۱۱۱	۵-۱۳-۴ کنتاکتور الکترونیکی	۱۱۹
۵-۱۱ ترانزیستور UJT	۱۱۲	۵-۱۳-۵ رگولاتور شارژ باتری	۱۱۹
۵-۱۱-۱ طرز کار UJT	۱۱۲	۵-۱۳-۶ کنترل اتوماتیک درجه حرارت	
۵-۱۱-۲ کاربرد UJT به صورت مولد موج		المان حرارتی	۱۲۰
دندانه ازه ای و پالس	۱۱۳	پرسش	۱۲۱
۵-۱۲ ترستور PUT	۱۱۵		
۵-۱۲-۱ کاربرد PUT	۱۱۵	منابع و مآخذ	۱۲۲
۵-۱۳ چند نمونه کاربرد نیمه هادی های خاص	۱۱۷		



## سخنی با همکاران

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

از هنرآموزان محترم تقاضا می‌شود که مطالب را براساس هدف‌های رفتاری تعیین شده در ابتدای هر فصل اجرا نمایند. ضمناً پیش‌نهادهای خود را به منظور 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 — مؤلفان

## هدف کلی

کاربرد قطعات الکترونیکی در رشته الکتروتکنیک

جدول زمان بندی پیشنهادی کتاب الکترونیک کاربردی

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

### اجزای ساده‌ی مدار (C-L-R)

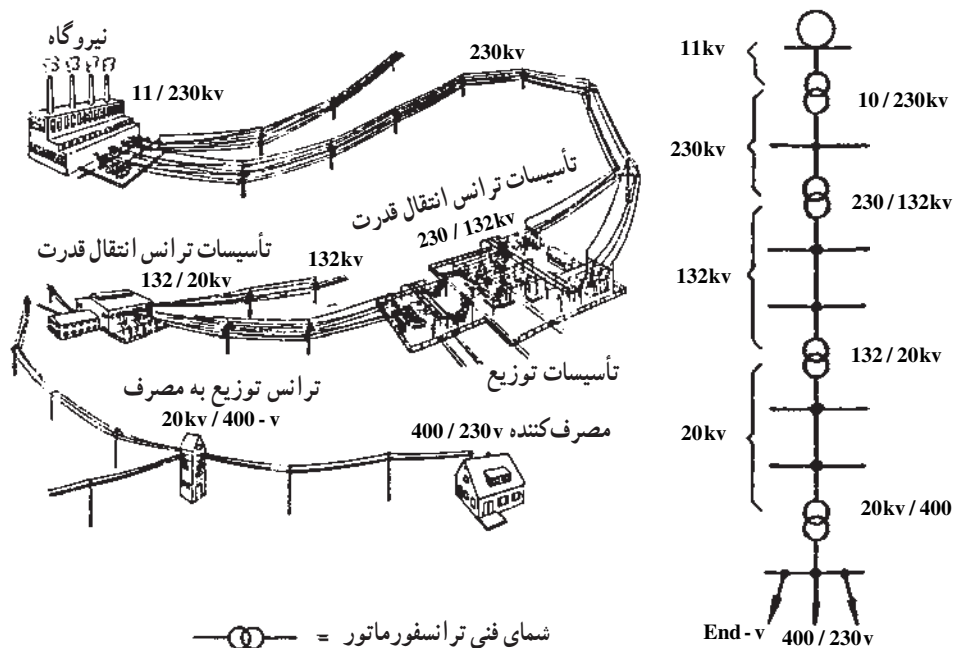
هدف‌های رفتاری: پس از پایان این درس از فراگیر انتظار می‌رود:

- ۱- حوزه‌ی عمل مدارهای قدرت و مدارهای الکترونیکی را شرح دهد.
- ۲- اجزای ساده‌ی مدارهای الکتریکی را نام ببرد.
- ۳- مقاومت را تعریف کند.
- ۴- مقاومت‌های استاندارد را نام ببرد.
- ۵- مقاومت‌های دقیق را شرح دهد.
- ۶- مقاومت وابسته به حرارت را شرح دهد و انواع آن را نام ببرد.
- ۷- مقاومت‌های وابسته به ولتاژ را تعریف کند.
- ۸- مقاومت‌های وابسته به نور را تعریف کند.
- ۹- مقاومت‌های وابسته به میدان را تعریف کند.
- ۱۰- سلف را تعریف کند و اجزای آن را نام ببرد.
- ۱۱- خازن را تعریف کند.
- ۱۲- انواع خازن‌ها را نام ببرد.
- ۱۳- انواع دی‌الکتریک خازن‌ها را نام ببرد.
- ۱۴- خازن‌های خشک را توضیح دهد.
- ۱۵- خازن‌های فرکانس بالا را شرح دهد.
- ۱۶- مشخصات خازن‌های الکترولیتی را شرح دهد.
- ۱۷- خازن‌های تانتالیوم را شرح دهد.
- ۱۸- چگونگی ثبت مشخصات خازن‌ها روی بدنه‌ی آن‌ها را توضیح دهد.

## مقدمه

مسکونی با ولتاژهای بالا ( $220V - 380V$ ) یا در حد کیلوولت (KV) کار می‌کنند و بدنه و قطعات به کار رفته در آن‌ها از ظرفیت چندانی برخوردار نیست. اغلب این وسایل به «وسایل قدرتی» یا «الکتروتکنیکی» مشهورند.

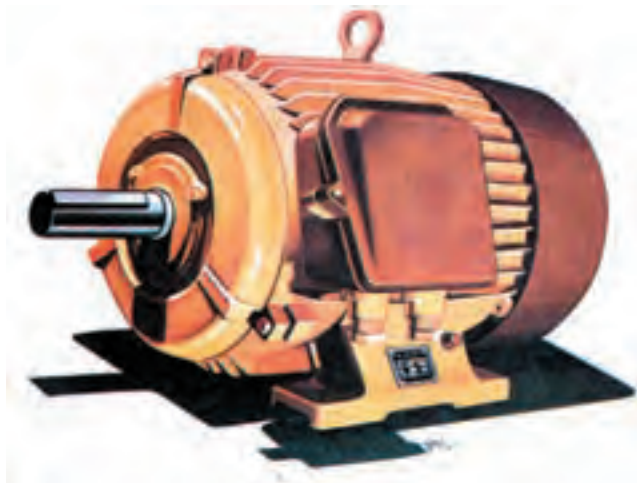
مجموعه‌ی وسایل الکتریکی‌ای که در زندگی امروزه از آن‌ها استفاده می‌کنیم به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند: گروه نخست، وسایلی هستند که در صنعت یا منازل



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



تابلوی مدارات فرمان کنتاکتوری



موتور الکتریکی

شکل ۱-۱- حوزه‌ی کاری رشته‌ی الکتروتکنیک

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



مجموع صوتی کامل (ست set)



رایانه ی کیفی<sup>۱</sup>



تلویزیون رنگی

ویدئو

دوربین فیلمبرداری



تلفن الکترونیکی



پردازنده ی الکترونیکی



تلفن همراه



شکل ۱-۲- نمونه ای از وسایل الکترونیکی

<sup>۱</sup> - Laptop Computer

و مدارهای پردازش سیگنال<sup>۱</sup> برای تأمین اهداف موردنیاز در کنترل سرو کار دارد. الکترونیک قدرت را می‌توان به صورت «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)<sup>۲</sup> کاربرد دارد که از آن جمله است: شارژکننده‌های باتری، دیمرها، مخلوط‌کن‌ها، جرثقیل و بالابرها، کنترل موتورها، کنترل قطار و محرک ژنراتورها.

در شکل ۱-۳ نمای داخلی یک کارخانه نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در این واحد از وسایل مختلف (الکتروتکنیکی و الکترونیکی) استفاده شده است.

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 راه‌اندازی الکترونیکی یا الکتروتکنیکی به تنهایی موجود نیست بلکه ترکیبی از این دو وسایل در آن به کار 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



شکل ۱-۳- نمای داخلی کارخانه تولید شیشه

در درس‌های تخصصی سال دوم با مفاهیم و تعاریف از آن‌ها در مباحث جدید از آن مفاهیم و تعاریف یاد می‌کنیم. خاصی آشنا شده‌اید که در این جا به منظور یادآوری و بهره‌گیری

۱- Signal

۲- High Voltage DC

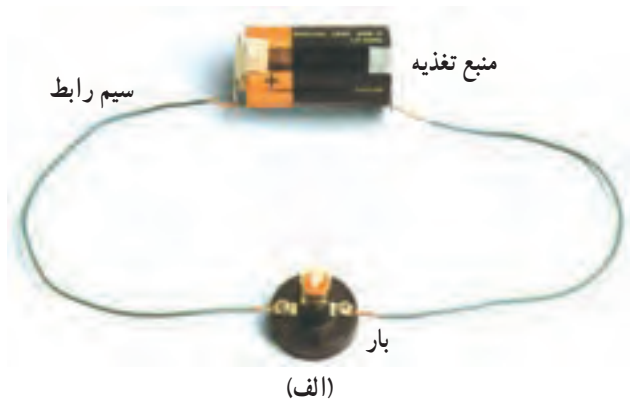


## ۱-۱- مدار الکتریکی

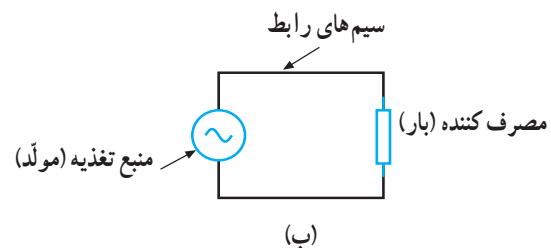
مسیر کاملی را که برای عبور جریان الکتریکی وجود دارد «مدار الکتریکی» گویند. هر وسیله‌ی الکتریکی برای این که بتواند کار کند ضروری است تا جریان الکتریکی از یک قطب تولید کننده (منبع) فرستاده شود و پس از عبور از وسیله‌ی مورد نظر و انجام کار به قطب دیگر مولد باز گردد.

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

- ۱- منبع تغذیه (باتری - ژنراتور)، ۲- سیم‌های رابط، ۳- مصرف کننده (بار)¹.
- در شکل ۱-۴ یک مدار الکتریکی کامل رسم شده است.

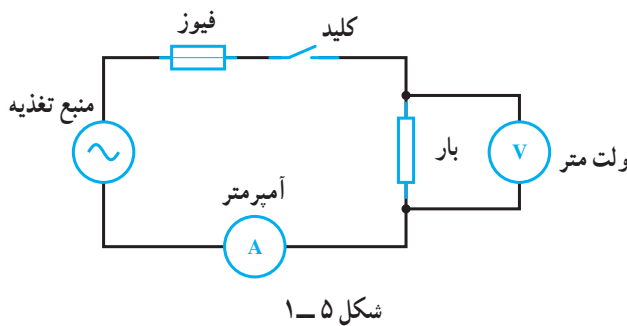


(الف)



شکل ۱-۴- مدار الکتریکی کامل (بسته)

با توجه به توضیح می‌توان چنین نتیجه گرفت که در مدارهای الکتریکی اجزای دیگری هم چون کلید، فیوز و وسایل اندازه گیری به کار می‌روند که جزء عناصر اصلی یک مدار به حساب نمی‌آیند. در شکل ۵-۱ اجزای اصلی یک مدار الکتریکی به همراه اجزای فرعی آن نشان داده شده است.



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 به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند.

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

## ۱-۲- مقاومت الکتریکی (R)²

مقاومت، عنصر یا قطعه‌ی الکتریکی است که سبب محدود شدن شدت جریان تولید شده در مدارات الکتریکی می‌شود. به عبارت دیگر، مقاومت با عبور جریان مخالفت می‌کند. واحد مقاومت اهم ( $\Omega$ ) است و آن را با حرف R نشان می‌دهند. مقاومت دارای انواع مختلف با ویژگی‌های خاص است که به طور جداگانه تشریح خواهد شد. علامت اختصاری مقاومت به صورت:  $\square$  یا  $\sim$  است.

## ۱-۳- مشخصات مهم مقاومت‌ها

۱- مقدار اهمی مقاومت: مهم ترین مشخصه‌ی یک مقاومت مقدار آن است که برحسب اهم ( $\Omega$ )، کیلو اهم ( $K\Omega$ ) یا مگا اهم ( $M\Omega$ ) بیان می‌شود. مقادیر کیلو و مگا را با این ضرایب می‌توان به اهم تبدیل کرد:

$$1\text{ K}\Omega = 10^3 \Omega \text{ و } 1\text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$$

۱- Load

۲- R= Resistor

$$P = \frac{V^2}{R} = R.I^2$$

مقدار این توان از رابطه‌ی

می‌آید. برای بالابردن ضریب اطمینان بهتر است پس از محاسبه‌ی توان از مقاومت با توان مجاز بالاتر استفاده نمود.

**۳- تolerانس:** مقدار واقعی یک مقاومت در عمل با مقداری که به‌وسیله‌ی سازنده قید می‌شود اختلاف دارد. این اختلاف «تولرانس» یا «درصد خطا» نامیده می‌شود و آن را برحسب درصد بیان می‌کنند. میزان خطا بستگی به تکنولوژی ساخت و دقت دستگاه‌های تولید مقاومت دارد. میزان درصد تولرانس معرف حد پایینی و حد بالایی مقدار مقاومت است؛ برای مثال اگر یک مقاومت  $100\Omega$  دارای تولرانس  $\pm 1\%$  باشد دارای مقداری بین  $90\Omega$  تا  $110\Omega$  اهم است که  $90\Omega$  را «حد پایینی» و  $110\Omega$  را «حد بالایی» گویند. مقدار تولرانس در مقاومت‌ها به‌صورت عدد بر روی مقاومت نوشته شده یا در مقاومت‌هایی با کد رنگی به‌وسیله‌ی رنگ بیان می‌شود. مقاومت‌ها را برحسب مقدار تولرانس به‌چهار دسته تقسیم می‌نمایند:

- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| ۱- مقاومت‌های معمولی (دارای تولرانس $\pm 5\%$ تا $\pm 20\%$ ).<br>۲- مقاومت‌های نیمه‌دقیق (دارای تولرانس $\pm 1\%$ تا $\pm 5\%$ ).<br>۳- مقاومت‌های دقیق (دارای تولرانس $\pm 0.5\%$ تا $\pm 1\%$ ).<br>۴- مقاومت‌های خیلی دقیق (دارای تولرانس کمتر از $\pm 0.5\%$ ). | انواع مقاومت‌ها از نظر تولرانس |
|--|--------------------------------|

## ۴-۱- انواع مقاومت‌ها

مقاومت‌های الکتریکی را به‌این صورت می‌توان تقسیم‌بندی نمود:

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



شکل ۱-۶

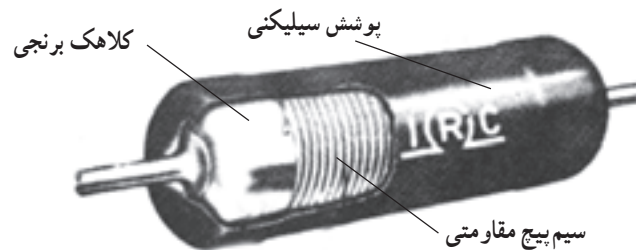


توضیح: در این تقسیم‌بندی از انواع مقاومت‌های ثابت، تنها به توضیحاتی درباره‌ی مقاومت‌های سیمی اکتفا شده و هم‌چنین از مجموعه‌ی مقاومت‌های متغیر، فقط مقاومت‌های وابسته بررسی شده است، زیرا در درس «مبانی برق» با سایر موارد آشنا شده‌اید.

## ۵-۱- مقاومت‌های ثابت

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

۱-۵-۱- مقاومت‌های سیمی: مقاومت سیمی<sup>۱</sup> از پچیدن 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٪ به منظور مقاومت دقیق<sup>۲</sup> (با توان  $\frac{1}{4}$  تا ۲ وات) ساخته می‌شوند. در شکل ۷-۱ چند نمونه مقاومت سیمی دیده می‌شود.



شکل ۷-۱- چند نمونه مقاومت سیمی

مدارهای صوتی و تصویری به منظور کاهش دهنده‌ی ولتاژ استفاده می‌شوند، اما امروزه با به کارگیری 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 همین دلیل، در بسیاری از مدارها به عنوان مقاومت

مقاومت‌های سیمی توان ۲ وات به بالا عموماً در یک محفظه مانند سیمان با مقطع مربع - مستطیل شکل ساخته می‌شوند و به «مقاومت‌های آجری» معروفند. شکل خاص محفظه‌ی مقاومت‌های آجری این امکان را فراهم می‌آورد که برای خنک کردن آن‌ها را بر روی ورقه‌ی فلزی خنک‌کننده (رادیاتور<sup>۳</sup>) قرار داد. مقاومت‌های آجری در

۱- Wire wound Resistor

۲- Precision wire wound Resistor

۳- Heat sink

متغیر نیز ساخته می‌شوند که در شکل ۱-۱۰ 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.



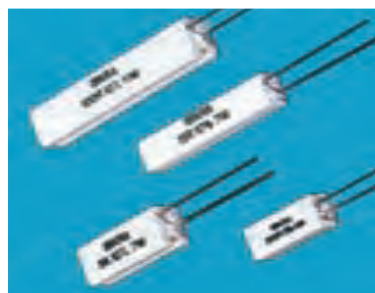
الف - مقاومت سیمی متغیر



ب - مقاومت سیمی متغیر (رئوستا)

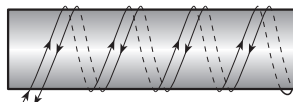
شکل ۱-۱۰

فیوزی<sup>۱</sup> استفاده می‌شود و به آن «مقاومت حفاظتی»<sup>۲</sup> نیز می‌گویند (شکل ۸-۱). این مقاومت‌ها در حالت عادی به صورت یک مقاومت معمولی عمل می‌کنند و چنان‌چه جریان عبوری آن از حد معینی بیش‌تر شود مانند یک فیوز قطع می‌شوند.



شکل ۸-۱ - مقاومت آجری

مقاومت سیمی به سبب «سیم پیچ 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 این گونه موارد توانسته‌اند با روش پیچیدن سیم به صورت دولایی یا بی‌فیلار<sup>۳</sup> 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 ۹-۱ پیچیدن سیم به روش بی‌فیلار، روی استوانه سرامیکی نشان داده شده است.



شکل ۹-۱ - پیچیدن سیم به روش دولایی (بی‌فیلار)

مقاومت‌های سیمی دارای انواع مختلفی هستند که اغلب براساس ساختمان داخلی آن‌ها نام‌گذاری شده‌اند که از جمله می‌توان مقاومت‌های سیمی با پوشش «آلومینیومی»، «سیلیکنی» و «سرامیکی» را نام برد. مقاومت‌های سیمی در قالب مقاومت‌های

۱ - Fusible Resistor

۲ - Safety Resistor

۳ - Bifilar

## ۱-۶- مقاومت‌های متغیر

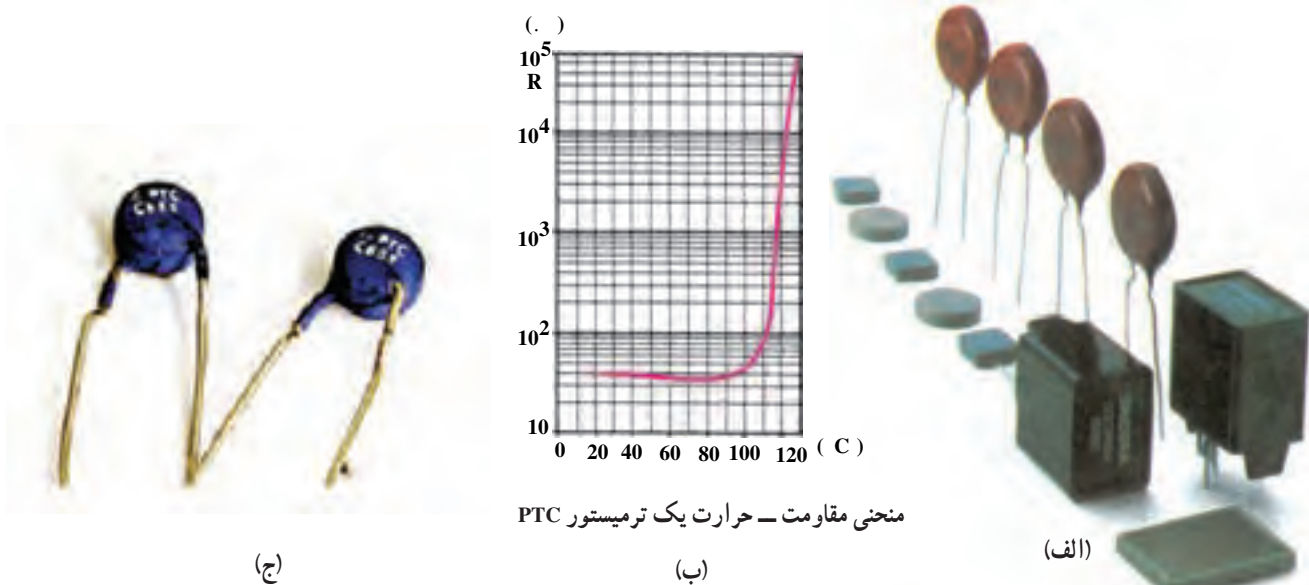
مقاومت‌های متغیر به مقاومت‌هایی اطلاق می‌شود که مقدارشان ثابت نبوده و قابل تغییر است.

### ۱-۶-۱- مقاومت‌های متغیر وابسته: به آن دسته

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

#### الف- مقاومت‌های تابع حرارت (ترمیستور)<sup>۱</sup>

مقدار اهم این مقاومت‌ها تابع حرارت است. یعنی، در اثر حرارت میزان مقاومتشان تغییر می‌کند. مقاومت‌های حرارتی را تحت عنوان «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



شکل ۱-۱۱

## ۲- ترمیستور با ضریب حرارتی منفی (NTC)<sup>۲</sup>:

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 به صورت غیرخطی و نزولی است. در شکل ۱-۱۲ منحنی مشخصه‌ی NTC و یک نمونه مقاومت NTC و در شکل ۱-۱۳ چند نمونه مقاومت «NTC»

۱- Thermally sensitive resistor = THERMISTOR

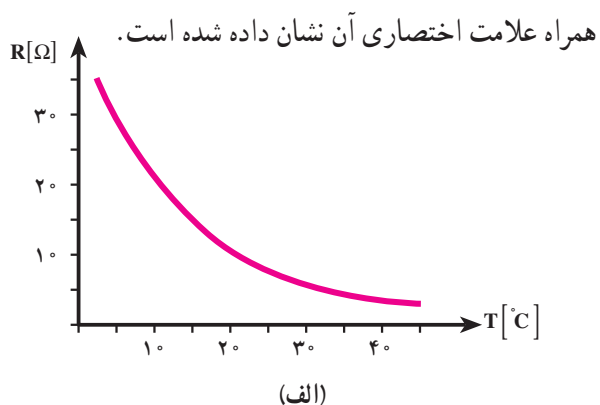
۲- Sensor

۳- PTC = Positive Temperature Coefficient

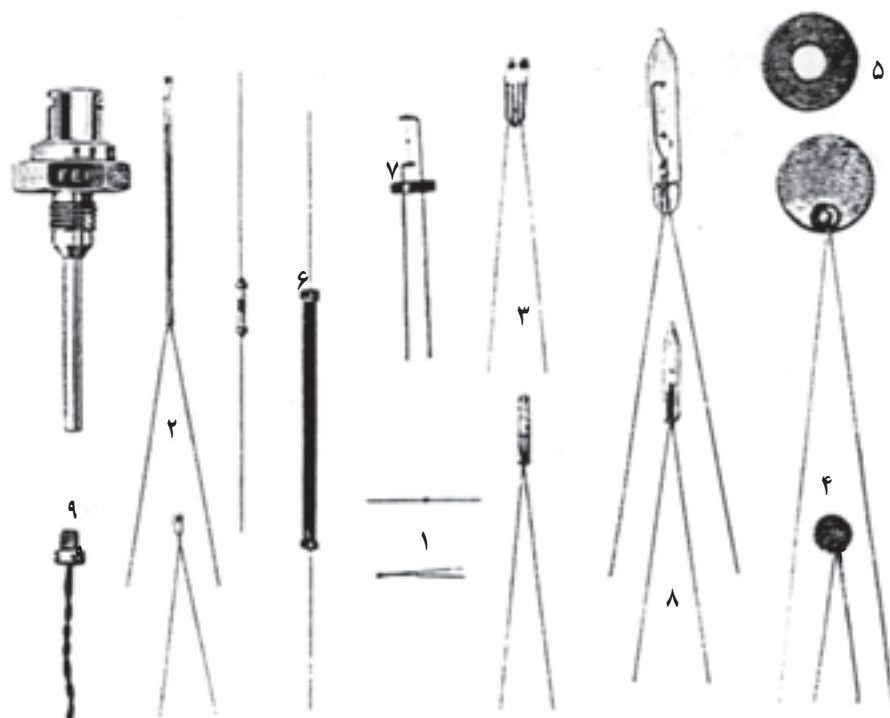
۴- NTC = Negative Temperature Coefficient



(ب)



شکل ۱۲-۱



(الف)

- ۱- نوع مهره ای
- ۲- پایه ی شیشه ای
- ۳- دارای مهره و پایه ی قابل تعویض
- ۴- نوع دیسکی
- ۵- نوع واشری
- ۶- نوع میله ای
- ۷- نوع گازی
- ۸- نوع شیشه ای (گاز - خلا)
- ۹- نوع مخصوص



(ب)

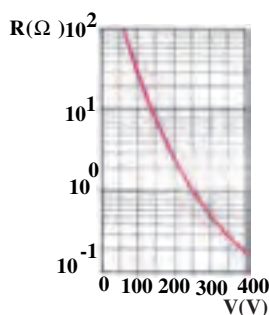


شکل ۱۳-۱ تصاویر ترمیستورهای عمومی NTC

**ب - مقاومت های تابع نور (LDR):**  
 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 مگا اهم) و در روشنایی دارای مقاومت کم (درحد کیلو یا اهم) است. مقاومت های LDR را «فتورزیستور» هم می نامند. برای این که نور روی عنصر مقاومتی

۱- علامت اختصاری PTC مشابه علامت اختصاری NTC است با این تفاوت که فقط به جای - علامت + گذاشته می شود.

۲- LDR = Light Dependent Resistor

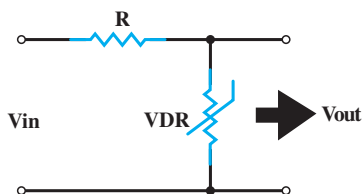


شکل ۱۶-۱- منحنی مقاومت - ولتاژ یک واریستور و نمای ظاهری چند واریستور مختلف

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

الف - تثبیت‌کننده‌های ولتاژ (شکل ۱۷-۱).

در مدار شکل ۱۷-۱ با 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.



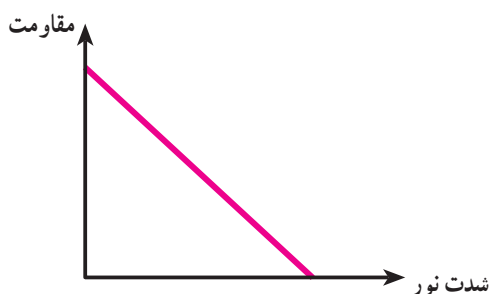
شکل ۱۷-۱- رگولاتور ولتاژ

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

فتورزیستور اثر گذارد معمولاً سطح ظاهری آن را با شیشه یا پلاستیک شفاف می‌پوشانند. در شکل ۱۴-۱ نمای ظاهری و علامت اختصاری و در شکل ۱۵-۱ منحنی تغییرات مقاومت نسبت به نور نشان داده شده است.



شکل ۱۴-۱- نمای ظاهری و علامت اختصاری یک فتورزیستور



شکل ۱۵-۱

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

### مقاومت‌های تابع ولتاژ ( $VDR$ ):<sup>۱</sup>

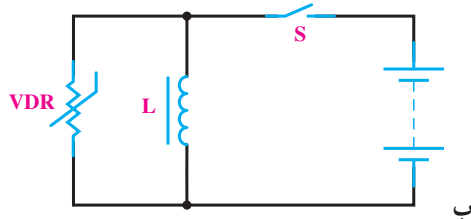
مقاومت‌های تابع ولتاژ ( $VDR$ ) مقاومت‌هایی هستند که متناسب با تغییر ولتاژ مقاومت آن‌ها تغییر می‌کند تا همواره ولتاژ یکسانی در مدار وجود داشته باشد. مقاومت  $VDR$  را تحت عنوان «واریستور»<sup>۲</sup> نیز می‌شناسند. مقدار اهم این مقاومت‌ها با ولتاژ رابطه‌ی معکوس دارد؛ یعنی با افزایش ولتاژ مقدار اهم آن‌ها کاهش می‌یابد. شکل ظاهری چند واریستور به همراه منحنی مشخصه‌ی تغییرات مقاومت نسبت به ولتاژ آن‌ها در شکل ۱۶-۱ نشان داده شده است.

۱-  $VDR$  = Voltage Dependent Resistor

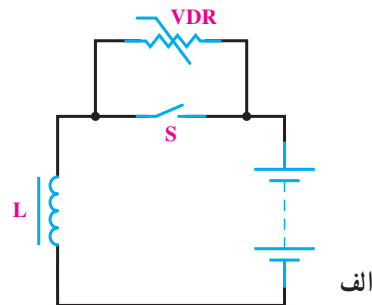
۲- VARISTOR



طریق VDR بسته می‌شود و کلید را در مقابل ولتاژ القایی سلف حفاظت می‌کند.



طبق شکل ۱۸-۱ 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



شکل ۱۸-۱ حفاظت کلید از ولتاژ القایی سلف با استفاده از واریستور

همان‌گونه که گفته شد مقدار مقاومت و تفرانس از جمله عوامل مهم انتخاب مقاومت هستند. درصد تفرانس سبب به وجود آمدن محدوده‌ای برای مقاومت می‌شود؛ برای مثال مقاومت ۱ کیلو اهمی با تفرانس ۱۰٪ می‌تواند از مقدار  $900\Omega$  تا  $1100\Omega$  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 تفرانس 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  $900\Omega$  و مقاومت بعد از آن نیز نمی‌تواند از  $1100\Omega$  کم‌تر باشد.

بنابراین با توجه به میزان تفرانس مقاومت‌ها، سری‌های استاندارد ی مختلفی موجود است. در این جا سه سری استاندارد مقاومتی آمده است:

سری E<sub>۶</sub> – این سری دارای ۶ قسمت و تفرانس مقاومت‌های آن ۲۰ درصد است.

سری E<sub>۱۲</sub> – این سری دارای ۱۲ قسمت و تفرانس مقاومت‌های آن ۱۰ درصد است.

سری E<sub>۲۴</sub> – این سری دارای ۲۴ قسمت و تفرانس مقاومت‌های آن ۵ درصد است.

### مقاومت‌های تابع میدان مغناطیسی (MDR)<sup>۱</sup>:

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.

### ۱-۷ استاندارد های مقاومت

قطعات تولیدی کارخانجات مختلف ممکن است در نقاط مختلف جهان استفاده شود؛ از این رو ضروری است که تمامی آن‌ها به منظور 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) مشخص می‌شود. این استاندارد خود شامل سری‌های مختلفی به شرح زیر است:

E<sub>6</sub> , E<sub>12</sub> , E<sub>24</sub>

<sup>۱</sup> – MDR = MAGNETIC Dependent Resistor

<sup>۲</sup> – از کلمه ی «European» به معنی اروپایی گرفته شده است.

جدول ۱-۱ تقسیم‌بندی هر سری را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱- تقسیم‌بندی یک دهه برای سه سری استاندارد

سری E۶				۱/۰				۱/۵				۲/۲				۳/۳				۴/۷				۶/۸																																																																											
سری E۱۲				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 E۲۴				۱/۰				۱/۱				۱/۲				۱/۳				۱/۵				۱/۶				۱/۸				۲				۲/۲				۲/۴				۲/۷				۳/۱۰				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 هر سری در مضارب  $10^\circ$  می‌توان مقادیر مختلفی از این سری‌ها را به دست آورد. برای مثال، با داشتن عدد پایه  $1/5$  می‌توان به مقاومت‌هایی که در این سری‌ها ساخته می‌شوند، ( $0/15\Omega$ ،  $1/5\Omega$ ،  $15\Omega$ ،  $150\Omega$ ،  $1500\Omega$ ،  $15k\Omega$ ،  $150k\Omega$  و  $1/5M\Omega$ ) پی برد. از سری‌های E<sub>۶</sub> و E<sub>۱۲</sub> و E<sub>۲۴</sub> برای استاندارد نمودن ظرفیت خازن‌ها و ضریب خودالقایی سلف‌ها نیز استفاده می‌شود. البته سری‌های دیگری نیز هم چون E<sub>۴۸</sub> و E<sub>۹۶</sub> و E<sub>۱۹۲</sub> وجود دارند.

## ۸-۱- تشخیص مقدار اهم مقاومت‌ها

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

۱- نوارهای رنگی

۲- رمزهای عددی

۳- نوشتن مقدار مقاومت

## ۱- تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از نوارهای

رنگی: مقاومت‌های توان کم دارای ابعاد کوچک هستند به همین دلیل مقدار مقاومت و تolerانس را به وسیله‌ی نوارهای رنگی مشخص می‌کنند که خود این روش به دو شکل صورت می‌گیرد:

الف- روش چهارنوازی ب- روش پنج‌نوازی.

روش چهارنوازی که معمول‌تر هم است برای تعیین مقاومت‌های با تolerانس  $2\%$  به بالا استفاده می‌شود. در این روش از دو رنگ اول برای عدد، رنگ سوم برای ضریب و رنگ چهارم برای تolerانس استفاده می‌شود. چنانچه مقاومت، رنگ چهارم نداشته باشد بی‌رنگ محسوب شده و تolerانس آن را  $20\%$  در نظر می‌گیریم. روش پنج‌نوازی نیز برای مقاومت‌های دقیق و خیلی دقیق (تولانس کم‌تر از  $2\%$ ) استفاده می‌شود.

در این روش سه رنگ اول معرف «عدد»، رنگ چهارم معرف «ضریب» و رنگ پنجم بیانگر «تولانس» است. نوارهای رنگی مقاومت‌های چهار رنگ و پنج‌رنگ در شکل ۱-۱۹ نشان داده شده است.

تولانس	ضریب	عدد	عدد	تولانس	ضریب	عدد	عدد
نوار پنجم	نوار چهارم	نوار سوم	نوار دوم	نوار اول	نوار پنجم	نوار چهارم	نوار سوم
سیاه	—	—	—	سیاه	—	—	—
قهوه‌ای	±۱	۱	۱	قهوه‌ای	±۱	۱	۱
قرمز	±۲	۲	۲	قرمز	±۲	۲	۲
نارنجی	۰۰۰	۳	۳	نارنجی	۰۰۰	۳	۳
زرد	۰۰۰۰	۴	۴	زرد	۰۰۰۰	۴	۴
سبز	±۰/۵	۵	۵	سبز	±۰/۵	۵	۵
آبی	±۰/۲۵	۶	۶	آبی	±۰/۲۵	۶	۶
بنفش	±۰/۱	۷	۷	بنفش	±۰/۱	۷	۷
خاکستری	۸	۸	۸	خاکستری	۸	۸	۸
سفید	۹	۹	۹	سفید	۹	۹	۹

شکل ۱۹-۱

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 ۰/۱ است.

مثال ۱: نوارهای رنگی مقاومتی، مطابق شکل روبه‌رو است، مقدار مقاومت و تولانس آن چه قدر است؟

$$\text{حل: } ۵۶ \times ۱۰^۳ = ۵۶ \text{K}\Omega \pm ۱۰$$

مثال ۲: اگر مقدار مقاومتی  $۵ - ۲/۲ \text{K}\Omega \pm ۲$  باشد کدهای رنگی آن را مشخص کنید.

حل: با توجه به جدول نوارهای رنگی می‌توان نوشت: (طلایی - قرمز - قرمز - قرمز)

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

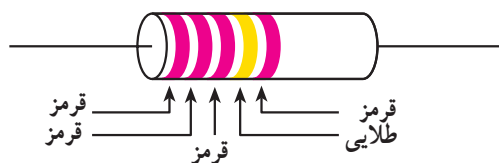
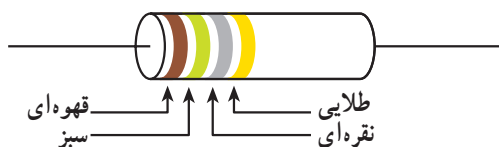
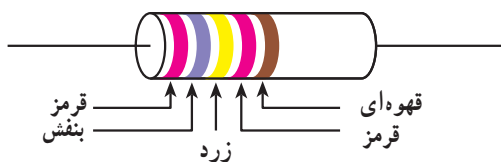
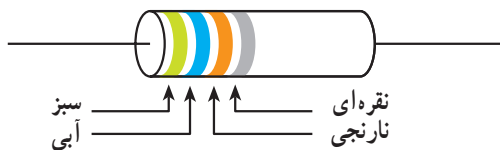
$$\text{حل: } ۲۷۴۰۰ \Omega \pm ۱ = ۲۷/۴ \text{K}\Omega \pm ۱$$

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

$$\text{حل: } ۱۵ \times ۰/۰۱ = ۰/۱۵ \Omega \pm ۵$$

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

$$\text{حل: } ۲۲۲ \times ۰/۱ = ۲۲/۲ \Omega \pm ۲$$





۲- تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از رمز حروف: روش دیگری که برای نشان دادن مقدار مقاومت‌ها به کار می‌رود استفاده از حروف خاصی است که به صورت رمز، مقدار و درصد تolerانس مقاومت را بیان می‌کند. در جدول ۱-۲ و ۱-۳ معانی حروفی که برای ضریب و تolerانس به کار می‌روند بیان شده است.

جدول ۱-۲- معنی حرف ضریب

حرف	R یا E	K	M
ضریب	$\times 1$	$\times (10)^3$	$\times (10)^6$

جدول ۱-۳- معنی حرف تolerانس

حرف	B	C	D	F	G	H	J	K	M
تolerانس	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.25\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 3\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

در این روش حرف اول نشان‌دهنده ضریب و حرف دوم تolerانس مقاومت است، چنانچه مقدار عددی مقاومتی دارای ممیز باشد از حرف اول علاوه بر مفهوم ضریب به عنوان ممیز هم استفاده می‌شود.

مثال ۱: مقدار و تolerانس مقاومتی که به صورت رمز روی آن  $5R6K$  نوشته شده چه قدر است؟

حل: با توجه به جدول داریم:  $R = 5/6\Omega \pm 10\%$

مثال ۲: مقدار اهم و تolerانس مقاومتی که به صورت رمز  $R27VF$  نشان داده شده را تعیین کنید:

حل:  $R = 0/27\Omega \pm 1\%$

مثال ۳: بر روی مقاومتی به صورت رمز  $2M2M$  نوشته شده است مقدار اهم و تolerانس آن چه قدر است؟

حل:  $R = 2/2M\Omega \pm 20\%$

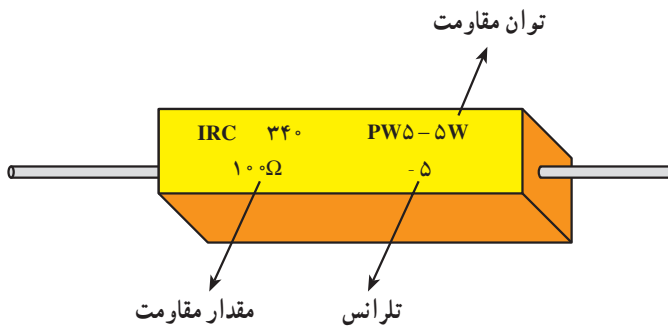
مثال ۴: معنای حروف رمز مقاومت  $22KK$  چیست؟

حل: K اول معرف  $K\Omega$

K دوم معرف  $10 \pm$  تolerانس

$R = 22K\Omega \pm 10\%$

۳- تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از مقدار نوشته شده: در این روش مقدار مقاومت و تolerانس آن مستقیماً روی مقاومت نوشته می‌شود؛ مانند مقاومت شکل ۱-۲۰.



شکل ۱-۲۰

## ۱-۹- سلف

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

**الف - سیم پیچ:** سیم پیچ از پیچیدن طول معینی از یک سیم هادی با روکش عایق بر روی یک پایه‌ی عایق شکل می‌گیرد.  
**ب - هسته:** قسمتی است که درون سیم پیچ قرار می‌گیرد تا مسیر مناسبی برای میدان مغناطیسی فراهم آورد. در فرکانس‌های بالا (۵۰ مگاهرتز به بالا) به علت استفاده از سلف‌های با خودالقایی کم جنس هسته از هوا است.

در شکل ۱-۲۱ نمونه‌هایی از سلف‌ها و ترانس‌های کوچک نشان داده شده است. در سلف‌های با خودالقایی زیاد در صورتی که هسته از هوا باشد ابعاد سلف بزرگ می‌شود، بنابراین، هسته‌ی مناسب در صنعت الکترونیک فریت‌ها هستند. در شکل ۱-۲۲ تعدادی از فریت‌های آماده برای سلف‌ها و ترانسفورماتورها نشان داده شده است. از سیم پیچ‌ها در ساختمان ترانسفورماتورها، موتورهای الکتریکی، فیلترها، بلندگو، میکروفون، گوشی و غیره استفاده می‌شود.

فریت: به طور کلی اصطلاح «فریت» به مواد سرامیکی ای در سلف‌ها بیش‌تر استفاده می‌شود در شمار فریت‌های نرم<sup>۱</sup> گفته می‌شود که دارای خواص فرومغناطیس باشند. فریتی که هستند.



شکل ۲۱-۱

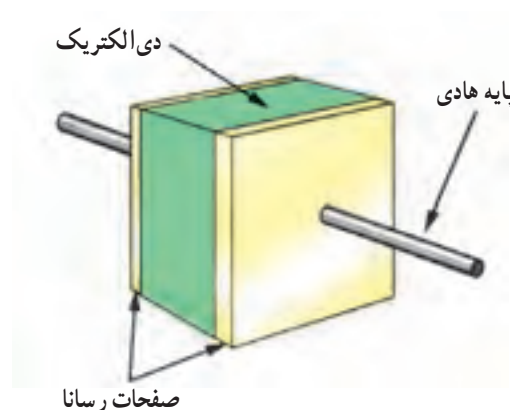


شکل ۲۲-۱ نمونه‌هایی از فریت‌های آماده برای سلف‌ها و ترانسفورماتورهای کوچک

فرمول فریت نرم  $MFe_2O_4$  - ۱

## ۱-۱-۱- خازن

خازن المانی است که انرژی الکتریکی را توسط میدان الکترواستاتیکی (بار الکتریکی) در خود ذخیره می‌نماید. ساختمان داخلی خازن از دو قسمت اصلی تشکیل شده است :  
الف - صفحات هادی ب - عایق بین هادی‌ها (دی الکتریک).



شکل ۱-۲۳

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 (دی الکتریک) از جنس هوا، کاغذ، میکا، پلاستیک، سرامیک، اکسید آلومینیوم و اکسید تانتالیوم استفاده می‌شود.

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

در جدول ۱-۴ مقدار ضریب دی الکتریک چند نوع عایق آمده است.

برای مثال، با دقت در جدول ۱-۴ می‌توان دریافت که خاصیت عایقی اکسید آلومینیوم ۷ برابر خاصیت عایقی هوا است.

جدول ۱-۴ - ضریب دی الکتریک چند ماده

نوع عایق	ضریب دی الکتریک
هوا یا خلأ	۱
اکسید آلومینیوم	۷
سرامیک	۸۰۰-۱۲۰۰
شیشه	۵/۵-۱۰
میکا	۳-۸
روغن	۲-۵
پلی استر	۲/۵
کوارتز	۳/۴ - ۴/۲
پارافین	۲-۲/۲
کاغذ	۲-۶
فیبر	۳-۵
اکسید تانتالیوم	۲۶

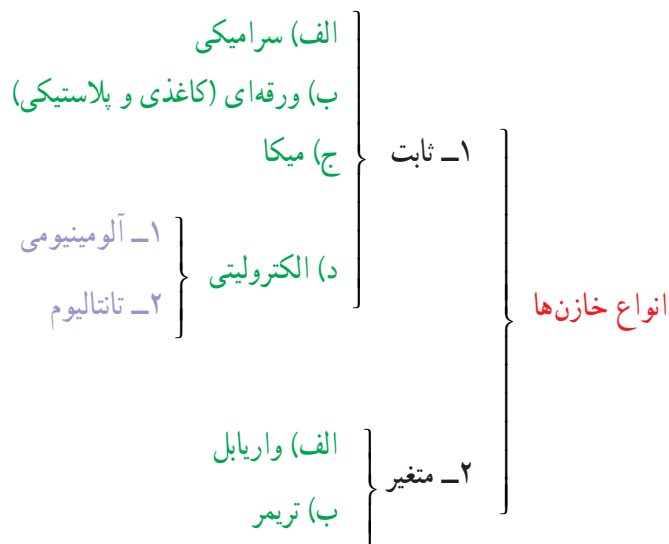
**توجه:** نیازی نیست هنجریان اعداد مندرج در جدول ۱-۴ را به خاطر بسپارند. در صورت طرح سؤال لازم است جدول در اختیار هنجو قرار گیرد.

## ۱۱-۱- انواع خازن‌ها

می‌شوند. خازن‌های ثابت و متغیر را نیز می‌توان به این صورت

تقسیم‌بندی نمود :

خازن‌ها به دو دسته کلی «ثابت» و «متغیر» تقسیم‌بندی



## ۱۲-۱- خازن‌های ثابت

### ۱۲-۱-۱- خازن‌های سرامیکی: خازن

سرامیکی<sup>۱</sup> معمول‌ترین خازن غیرالکترولیتی است که در آن دی‌الکتریک به کار رفته از جنس سرامیک است. ثابت دی‌الکتریک سرامیک بالاست؛ از این رو امکان ساخت خازن‌های با ظرفیت زیاد در اندازه‌ی کوچک را در مقایسه با سایر خازن‌ها به وجود آورده، در نتیجه ولتاژ کار آن‌ها نیز بالا خواهد بود. ظرفیت خازن‌های سرامیکی معمولاً بین ۵ PF تا ۱۰۰/۱۰۰۰۰ F است. این نوع خازن به صورت 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 ۱-۲۴ و ۱-۲۵ نمونه‌هایی از این خازن نشان داده شده است.

این خازن‌ها دارای ظرفیت معینی هستند که در وضعیت معمولی تغییر پیدا نمی‌کنند. خازن‌های ثابت را براساس نوع ماده‌ی دی‌الکتریک به کار 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»<sup>۱</sup> را نام برد.

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

۱- Film

۲- Ceramic capacitor



شکل ۲۴-۱ نمونه‌هایی از خازن سرامیکی



شکل ۲۵-۱ انواع خازن‌های سرامیکی و کاغذی



(الف)



(ب)

شکل ۲۶-۱ ساختمان داخلی و شکل ظاهری خازن کاغذی

## ۲-۱۲-۱ خازن‌های ورقه‌ای: در خازن‌های ورقه‌ای

از کاغذ و مواد پلاستیکی به سبب انعطاف‌پذیری آن‌ها، برای دی‌الکتریک استفاده می‌شود. این گروه از خازن‌ها خود به دو صورت ساخته می‌شوند.

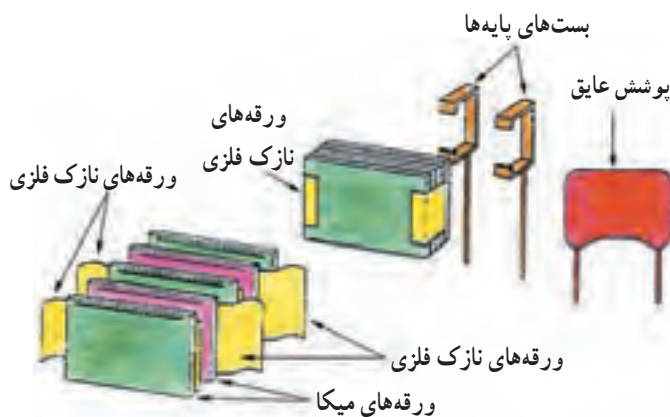
### الف - خازن‌های کاغذی: دی‌الکتریک این نوع خازن

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 ۲۵-۱ شکل ظاهری و در شکل ۲۶-۱ ساختمان داخلی خازن کاغذی نشان داده شده است.



خازن‌های میکا تقریباً بین ۱٪ 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. در شکل ۱-۲۸ تصویر ساختمان داخلی این خازن نشان داده شده است.



شکل ۱-۲۸- ساختمان داخلی خازن میکا

#### ۴-۱۲-۱- خازن‌های الکترولیتی: از خازن‌های

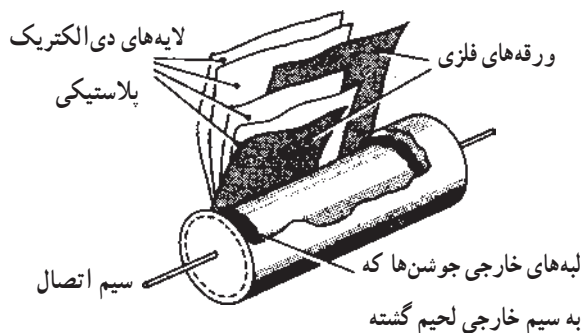
الکترولیتی به دلیل قابلیتی که در ساخت آن‌ها وجود دارد برای ظرفیت‌های بالا استفاده می‌کنند. داشتن ظرفیت زیاد در آن‌ها ناشی از به کار بردن یک لایه‌ی دی‌الکتریک نازک با ضخامت تقریبی کم (یک نانومتر) است. چنین لایه‌ای به وسیله‌ی یک عمل شیمیایی (اکسیداسیون) بر روی فلزات مناسب همچون آلومینیوم و تانتالیوم تشکیل 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 به صورت 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

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

امروزه این نوع خازن‌ها به دلیل داشتن مشخصات خوب در مدارات زیادی به کار 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 به کار می‌رود پلی استایرن<sup>۱</sup> است؛ از این رو به این خازن‌ها «پلی استرن» گفته می‌شود که از جمله رایج‌ترین خازن‌های پلاستیکی است. ماکزیم فرکانس کار خازن‌های پلاستیکی حدود یک مگاهرتز است. در شکل ۱-۲۷ ساختمان داخلی خازن پلاستیکی را

می‌بینید.



شکل ۱-۲۷- ساختمان خازن پلاستیکی

#### ۳-۱۲-۱- خازن‌های میکا: در این نوع خازن از

ورقه‌های نازک میکا در بین صفحات خازن (ورقه‌های فلزی - آلومینیوم) استفاده می‌شود و در پایان، مجموعه در یک محفظه قرار داده می‌شوند تا از اثر رطوبت جلوگیری شود. ظرفیت

هنگامی که ترمینال آند (صفحه آلومینیومی خالص تر) 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 ۱-۳۱ اندازه‌های مختلفی از خازن‌های آلومینیومی و علائم اختصاری آن نشان داده شده است.

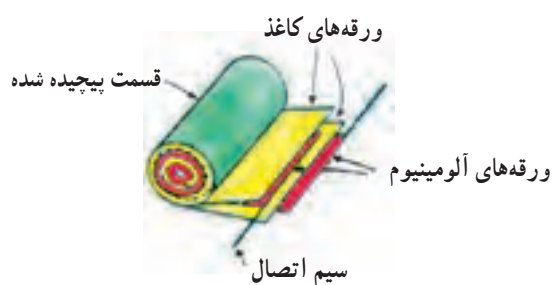


شکل ۱-۳۱- نمونه‌هایی از خازن‌های الکترولیتی و علائم اختصاری آن‌ها

**ب- خازن‌های تانتالیوم:** در این نوع خازن به جای 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.

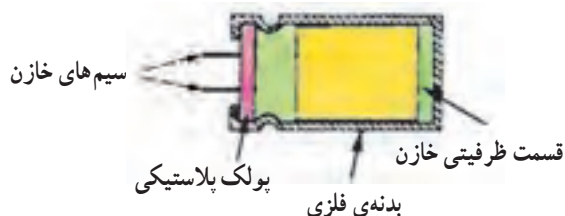
نمود. از این خازن‌ها در مدارات راه‌انداز موتورهای و مدارات نوسان‌ساز صوتی استفاده می‌شود. خازن‌های الکترولیتی در دو نوع «آلومینیومی» و «تانتالیومی» ساخته می‌شوند.

**الف- 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 بدین صورت 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 ۱-۲۹ نحوه‌ی پیچیدن ورقه‌ها را ملاحظه می‌کنید.



شکل ۱-۲۹- طرز قرار گرفتن 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.

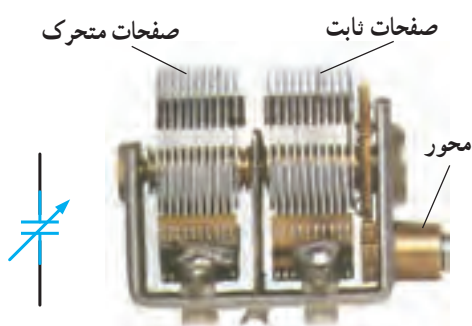


شکل ۱-۳۰- ساختمان داخلی خازن الکترولیتی

که به آن «تریمر»<sup>۲</sup> 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 - انواع خازن‌های تریمر و علامت اختصاری آن



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

شکل ۱-۳۳

### ۱-۱۴ - تشخیص مقدار ظرفیت خازن

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

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

۱- 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



شکل ۱-۳۲ - شکل ظاهری چند خازن تانتالیوم

محاسن خازن تانتالیومی نسبت به نوع آلومینیومی بدین قرار است:

الف - ابعاد کوچکتر ب - جریان نشتی کم تر ج - عمر کارکرد طولانی.

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

الف - خازن‌های تانتالیوم گران‌تر هستند،  
ب - نسبت به افزایش ولتاژ اعمال شده در مقابل ولتاژ مجاز آن، هم‌چنین معکوس شدن پلاریته حساس‌ترند،  
ج - قابلیت تحمل جریان‌های شارژ و دشارژ زیاد را ندارند،  
د - خازن‌های تانتالیوم دارای محدودیت ظرفیت هستند (حداکثر تا ۳۳۰ میکروفاراد ساخته می‌شوند).

### ۱-۱۳ - خازن‌های متغیر

به‌طور کلی 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 ۱-۳۳ دو نوع خازن متغیر را به همراه علامت اختصاری آن‌ها مشاهده می‌کنید. نوعی را که به وسیله‌ی دسته‌ی متحرک (محور) عمل تغییر ظرفیت انجام می‌شود «واریابل»<sup>۱</sup> نامند و در نوع دیگر این عمل به وسیله‌ی پیچ‌گوشی صورت می‌گیرد

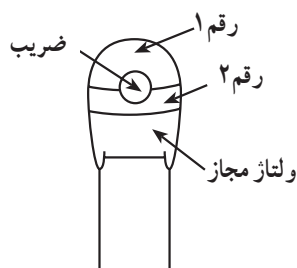
۱- Variable

۲- Trimmer



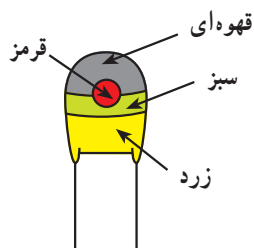
## ۱۵-۱- نوارهای رنگی خازن‌های تانتالیوم

تعیین مقدار ظرفیت خازن‌های تانتالیوم روش مخصوصی دارد که با توجه به شکل و جدول ۵-۱ چگونگی محاسبه‌ی ظرفیت این نوع خازن‌ها مشخص شده است.



جدول ۵-۱- جدول خازن تانتالیوم

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



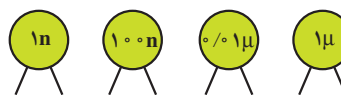
مثال: با توجه به کدهای رنگی مشخص شده در شکل روبه‌رو، ظرفیت خازن تانتالیوم را تعیین کنید.

حل: با توجه به جدول کدهای رنگی می‌توان نوشت:

$$C = 15 \times 10^2 = 1500 \mu F \text{ ظرفیت خازن}$$

$$V = 6 / 3 V \text{ ولتاژ خازن}$$

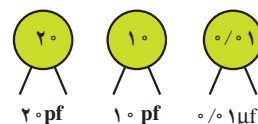
ظرفیت وجود ندارد (شکل ۳۴-۱).



شکل ۳۴-۱

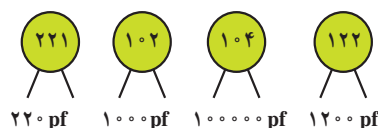
## ۲- روش رمزهای عددی: در اغلب مواقع واحد ظرفیت

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 ۳۵-۱).



شکل ۳۵-۱

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 به صورت یک عدد سه‌رقمی مشخص می‌شود که دو رقم اول «عدد» و رقم سوم «ضریب» (تعداد صفر) را مشخص می‌کند (شکل ۳۶-۱).



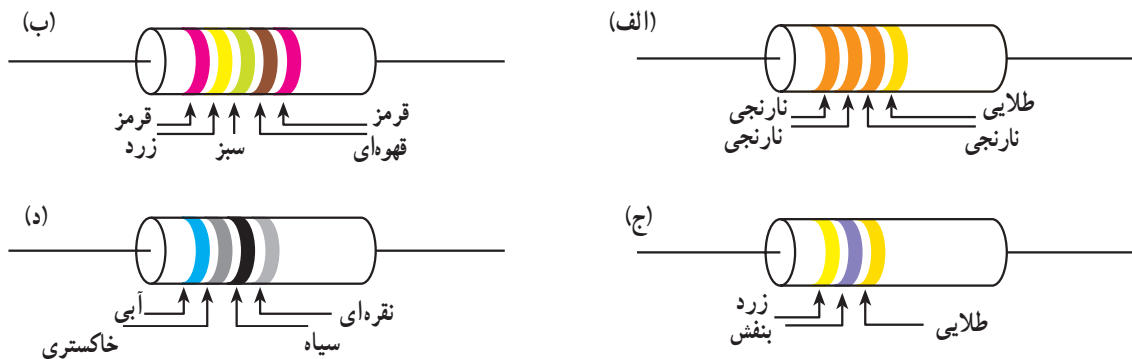
شکل ۳۶-۱

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.

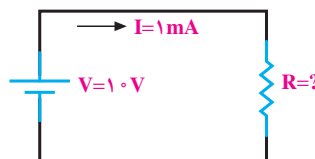
## ۳- تشخیص مقدار ظرفیت با کمک نوارهای رنگی:

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، تفراس 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.

- ۱- در بحث الکترونیک کاربردی منظور از بخش قدرت و فرمان در مدارهای الکتریکی چیست؟
- ۲- منظور از تفرانس در مقاومت‌ها چیست و به چند گروه تقسیم‌بندی می‌شود؟
- ۳- مقاومت حفاظتی به چه مقاومت‌هایی گفته می‌شود؟ چرا؟
- ۴- اصطلاح «بی‌فیلار» در مقاومت‌های سیمی به چه معناست؟
- ۵- مقاومت‌های PTC و NTC به چه مقاومت‌هایی گفته می‌شود؟
- ۶- محدوده‌ی تغییرات مقاومتی فتورزیستور چه قدر بوده، نحوه‌ی عملکرد آن چگونه است؟
- ۷- سری‌های استاندارد  $E_{63}$ ،  $E_{12}$  و  $E_{24}$  بیانگر چه مفهومی هستند؟ مختصراً توضیح دهید.
- ۸- مقدار و تفرانس مقاومت‌های زیر را تعیین کنید.

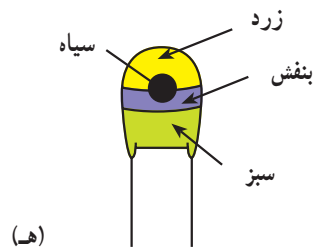
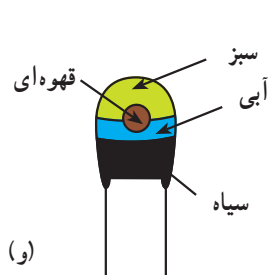
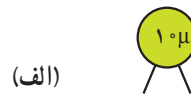


- ۹- در مدار شکل زیر اگر بخواهیم جریان مدار ۱ mA باشد چه مقاومتی مناسب است؟ (از نظر اهم و توان).



- ۱۰- چرا در سری  $E_{12}$  ضریب ۱/۱ و یا در سری  $E_{24}$  ضریب ۱/۴ وجود ندارد؟
- ۱۱- مقدار اهم و تفرانس مقاومت‌های زیر را تعیین کنید:
  - الف - ۴K۷J
  - ب - ۱M۱D
  - ج - ۸۱۰G
  - د - ۶۸KM
- ۱۲- سلف را تعریف کرده، توضیح دهید چرا در فرکانس‌های بالا سلف‌ها را بدون هسته‌ی آهنی می‌سازند؟
- ۱۳- منظور از دی‌الکتریک چیست؟ چهار دی‌الکتریک مناسب را نام ببرید.

- ۱۴- از جمله معایب خازن‌های سرامیکی چیست؟ کاربرد این خازن‌ها در کجاست؟
- ۱۵- انواع خازن‌های ورقه‌ای را نام برده، به اختصار درباره‌ی هریک توضیح دهید.
- ۱۶- خازن‌های قطبی به چه خازن‌هایی گفته می‌شود؟ چرا؟
- ۱۷- ساختمان داخلی انواع خازن‌های الکترولیتی را به اختصار توضیح داده، دو مورد از خصوصیات آن‌را بنویسید.
- ۱۸- خازن‌های تریمر و واریابل چگونه خازن‌هایی هستند؟
- ۱۹- ظرفیت خازن‌های زیر را تعیین کنید.



### آشنایی با مدارهای منطقی

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

- ۱- مفهوم کمیت‌های آنالوگ و دیجیتال را توضیح دهد.
- ۲- سطوح منطقی صفر و یک را برای ولتاژ شرح دهد.
- ۳- دروازه‌های منطقی AND، OR، NOT، NAND، NOR، XOR و XNOR را تعریف کند.
- ۴- به کمک کلیدها (سری - موازی) دروازه‌های منطقی AND، OR، NOT، XOR و XNOR را نمایش دهد.
- ۵- جدول صحت AND، OR، NOT، NAND، NOR، XOR و XNOR را رسم کند.
- ۶- تابع منطقی یک مسأله‌ی ساده را به فرم مجموع حاصل ضرب‌ها بنویسد.
- ۷- اتحادهای منطقی ساده را بنویسد.
- ۸- مدارهای ترکیبی رمزکننده (encoder) و رمزگشا (decoder) را به اختصار تعریف کند.
- ۹- فلیپ فلاپ را به منزله‌ی سلول حافظه، تعریف کند.
- ۱۰- رجیستر و شمارنده را تعریف کند.
- ۱۱- یک مدار کاربردی با شمارنده رسم کند.

مطالعه‌ی آزاد

#### مقدمه

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 ۱-۲ دو نوع مولتی‌متر آنالوگ و دیجیتال نشان داده شده است.  
مولتی‌متر آنالوگ



مولتی‌متر دیجیتال



شکل ۱-۲

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 به این موارد اشاره کرد:

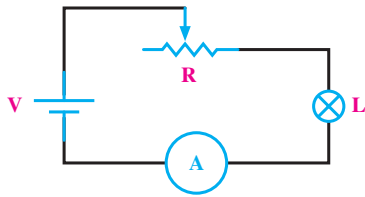
- الف - سرعت بالا در انجام کارها،
  - ب - دقت زیاد در انجام امور،
  - ج - داشتن حجم کم،
  - د - ساده بودن در دادن و گرفتن اطلاعات،
  - هـ - داشتن قابلیت تنوع در ساخت وسایل.
- دستگاه‌هایی که با این ویژگی‌ها کار می‌کنند «دیجتالی» و

## ۲-۱- سیستم‌های آنالوگ و دیجیتال

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

### ۲-۱-۱- سیستم آنالوگ<sup>۱</sup>: سیستم آنالوگ

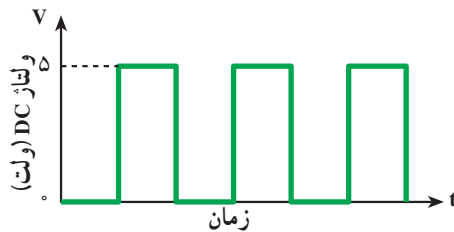
به سیستمی گفته می‌شود که در آن تغییرات سیگنال (موج کوچک) به‌صورت پیوسته است؛ یعنی اطلاعات یا شکل موجی که برای وسیله‌ی مورد نظر ارسال می‌گردد در تمامی لحظات وجود دارد و لحظه‌ی قطعی در شکل موج پدید نمی‌آید. شکل موج‌های ولتاژی که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است معرف سیگنال‌های آنالوگ هستند.



شکل ۲-۳

### ۲-۱-۲- سیستم دیجیتال: گروه دیگری از سیگنال‌ها

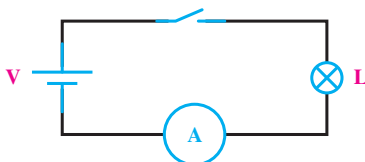
وجود دارند که دارای تغییرات پله‌ای و مجزا هستند و ولتاژ در آن‌ها بین دو مقدار حداقل و حداکثر تغییر می‌کند. سیستم‌هایی که با چنین ولتاژهایی کار می‌کنند «سیستم‌های دیجیتالی» گفته می‌شوند. از جمله دستگاه‌هایی که با این سیستم کار می‌کنند می‌توان مراکز تلفن، ماشین حساب‌ها یا رایانه را نام برد. در شکل ۲-۴ یک نمونه سیگنال دیجیتالی نشان داده شده است.



سیگنال با دو حالت مختلف (۰) و (۵) ولت

شکل ۲-۴- سیگنال دیجیتال

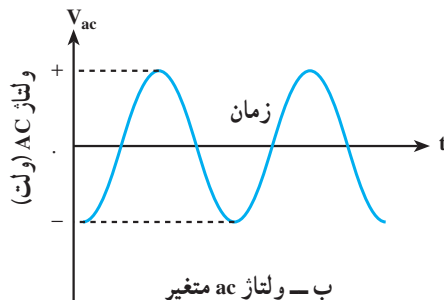
با کمک مدار داده شده در شکل ۲-۵ و قطع و وصل بی‌دری کلید و مشاهده‌ی نور لامپ یا اندازه‌گیری جریان آن به پله‌ای بودن تغییرات ولتاژ می‌توان پی‌برد، زیرا هنگام آزمایش با قطع و وصل کلید لامپ با ماکزیمم نور خود روشن و خاموش می‌شود؛ هم‌چنین عقربه‌ی آمپر متر نیز در هنگام وصل کلید خیلی سریع منحرف شده، حداکثر مقدار جریان مدار را نشان می‌دهد و در هنگام قطع نیز خیلی سریع به صفر می‌رسد.



شکل ۲-۵



الف- ولتاژ dc ثابت ۱۲ ولت



ب- ولتاژ ac متغیر

شکل ۲-۲- دو نوع سیگنال آنالوگ

با بستن مداری مطابق شکل ۲-۳ 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 آمپر متر به آهستگی منحرف می‌شود، می‌توان مفهوم پیوسته بودن شدت روشنایی لامپ را به‌خوبی دریافت نمود.

در شکل ۶-۲ تصویر چند وسیله‌ی آنالوگ و دیجیتالی نشان داده شده است.



حرارت سنج دیجیتالی

شمارنده‌ی دیجیتالی

ولت متر دیجیتالی



منبع تغذیه‌ی الکترونیکی با نشان دهنده‌ی هفت قطعه‌ای



ترموستات آنالوگ



منبع تغذیه‌ی الکترونیکی با وسایل اندازه‌گیری آنالوگ



آومتر دیجیتالی



(وسایل اندازه‌گیری آنالوگ) آمپر متر و ولت متر و وات متر تابلویی



ب - یک نمونه کنتور سه فاز



الف - یک نمونه کنتور یک فاز

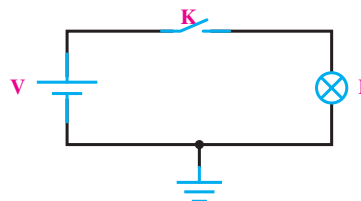
شکل ۲-۶ - تصویر چند وسیله آنالوگ و دیجیتال

## ۲-۲- سطوح منطقی صفر و یک

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 «۱-۰» معرف وجود و عدم وجود است. برای بیان مفاهیم و عبارات دیجیتالی به منظور خلاصه نویسی بیش تر از صفر و یک استفاده می شود.

البته باید دقت داشت که صفر و یک به کار رفته در مدارات دیجیتالی با صفر و یک عبارات جبری یکسان نیست. در مباحث دیجیتال ۰ و ۱ نشان دهنده ی 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\* (۱۵۷ و ۵۷) است. یکی از این مقادیر ولتاژی سطح ولتاژ ماکزیمم (۵ ولت) و سطح ولتاژ مینیمم (صفر ولت) است که در مدارات زیاد به کار می رود.

همان گونه که اشاره شد در مدارات دیجیتالی دو حالت موجود است که معمولاً برای بیان وضعیت کاری مدار به کار



شکل ۲-۷

می رود؛ مثلاً، برای نشان دادن روشن و خاموش بودن لامپ از اصطلاحات مختلفی استفاده می شود که در جدول ۲-۱ نشان داده شده است.

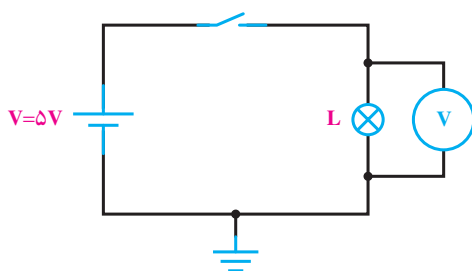
جدول ۲-۱

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

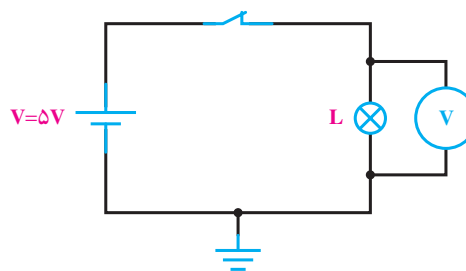
\* برخی از آی سی های دیجیتالی با ولتاژ ۵ ولت و برخی با ولتاژی از ۳ تا ۱۵ ولت کار می کنند.



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



قطع	وضعیت کلید (وضعیت مدار)
ولت	مقدار ولتاژ ولت متر (سطح ولتاژ)
°	وضعیت منطقی (مقدار منطقی)

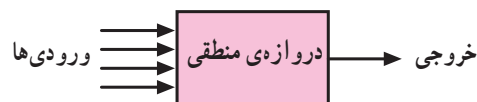


وصل	وضعیت کلید (وضعیت مدار)
ولت ۵	مقدار ولتاژ ولت متر (سطح ولتاژ)
۱	وضعیت منطقی (مقدار منطقی)

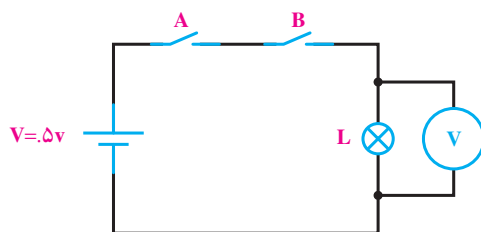
شکل ۸-۲

### ۲-۳-۲ دروازه‌های منطقی پایه

دروازه‌های منطقی مطابق شکل ۲-۹ عملگرهایی با یک یا چند ورودی و یک خروجی هستند.



شکل ۲-۹



شکل ۲-۱۰ مدار کلیدی دروازه‌ی AND

همان‌گونه که مشاهده می‌شود مدار کلیدی دروازه‌ی AND به صورت 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. به اختصار می‌توان چگونگی عملکرد مدار AND را برای حالت‌های مختلف به صورت جدول وضعیت ۲-۲ بیان کرد.

جدول ۲-۲ - 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

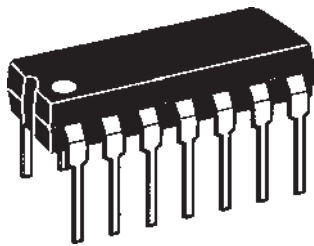
ساختمان داخلی دروازه‌های منطقی را مدارات و قطعات الکترونیکی هم‌چون دیودها، ترانزیستورها و ... تشکیل می‌دهند ولی برای ترسیم دروازه‌های منطقی از علامات اختصاری استفاده می‌کنیم.

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

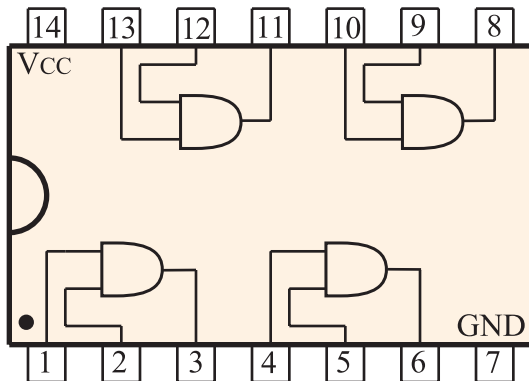
#### ۲-۳-۱-۲ دروازه‌ی AND - «و»؛ عملگر AND یا

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 باشند). مدار کلیدی این دروازه را به صورت شکل ۲-۱۰ می‌توان رسم نمود.





الف - شکل ظاهری

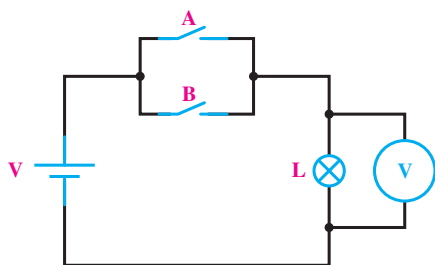


ب - شکل ظاهری و مدار داخلی یک نمونه IC دروازه AND

شکل ۱۲-۲

## ۲-۳-۲ دروازه‌ی OR - «یا»: عملگر OR یا

دروازه‌ی منطقی OR، به دروازه‌ای گفته می‌شود که خروجی آن در صورتی وجود خواهد داشت (یک می‌شود) که حداقل یکی از ورودی‌های آن وجود داشته باشد (یک باشد). نحوه‌ی عملکرد این دروازه را به صورت مدار کلیدی شکل ۱۳-۲ می‌توان رسم نمود.



شکل ۱۳-۲ مدار کلیدی دروازه‌ی OR

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

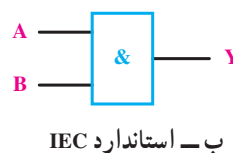
با توجه به مطالب یاد شده در جدول ۱-۲ می‌توان جدول وضعیت هر دروازه‌ای را به شکل ساده‌تر و با استفاده از «۰» و «۱» بیان نمود که اصطلاحاً به آن «جدول صحت» یا «جدول درستی»<sup>۱</sup> می‌گویند.

در جدول ۲-۳ قطع بودن کلید و خاموش بودن لامپ (۰)، وصل بودن کلید و روشن بودن لامپ (۱) در نظر گرفته شده است.

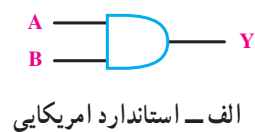
جدول ۲-۳ جدول صحت دروازه‌ی AND

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 علائم اختصاری همانند شکل ۱۱-۲ نشان می‌دهند.



ب - استاندارد IEC



الف - استاندارد امریکایی

شکل ۱۱-۲ علائم اختصاری دروازه‌ی AND

در شکل ۱۲-۲ شکل ظاهری IC<sup>۲</sup> 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 به منظور خلاصه‌نویسی

(.) حذف می‌شود.

$$Y = A.B$$

$$Y = AB$$

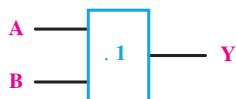
مشابه دروازه‌ی AND براساس حالات مختلف جدول ۲-۴ می‌توان جدول صحت دروازه‌ی OR را چنین نوشت :

جدول ۵-۲- جدول صحت دروازه‌ی OR

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

علائم اختصاری دروازه‌ی OR در شکل ۲-۱۵ نشان

داده شده است.



ب- استاندارد IEC

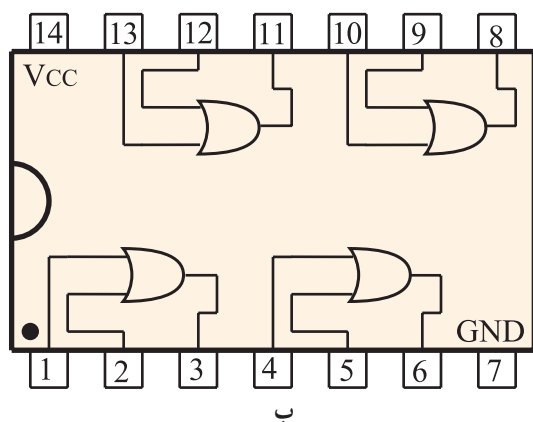
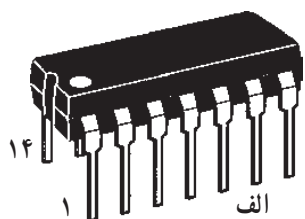


الف- استاندارد آمریکایی

شکل ۱۵-۲- علائم اختصاری دروازه OR

در شکل ۲-۱۶ شکل ظاهری IC و دروازه‌های داخل

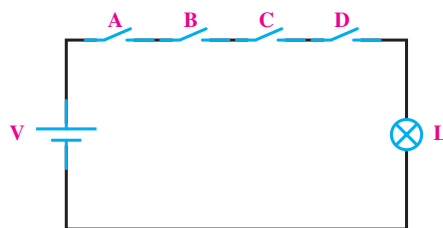
آن را مشاهده می‌کنید.



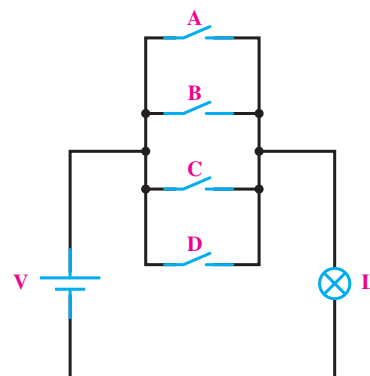
ب

شکل ۱۶-۲- شکل ظاهری و مدار داخلی یک نمونه IC دروازه‌ی OR

دروازه‌های AND و OR می‌توانند بیش از دو متغیر نیز داشته باشند. در شکل ۲-۱۴ مدار کلیدی این دروازه‌ها برای چهار متغیر نشان داده شده است.



الف- مدار کلیدی AND چهار متغیره



ب- مدار کلیدی OR چهار متغیره

شکل ۱۴-۲

همان‌گونه که در شکل ۲-۱۳ مشاهده می‌شود عملکرد

دروازه‌ی OR بدین شکل است :

در صورت وصل هر یک از کلیدها یا وصل هر دو کلید

لامپ روشن شده، ولت‌متر مقدار ۵ ولت را نشان می‌دهد.

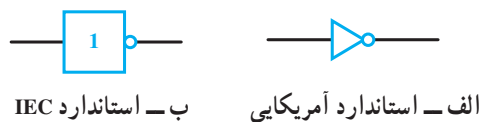
به‌طور خلاصه جدول وضعیت دروازه OR برای حالت‌های

مختلف را به‌صورت جدول ۲-۴ می‌توان نوشت.

جدول ۴-۲- جدول صحت دروازه‌ی OR

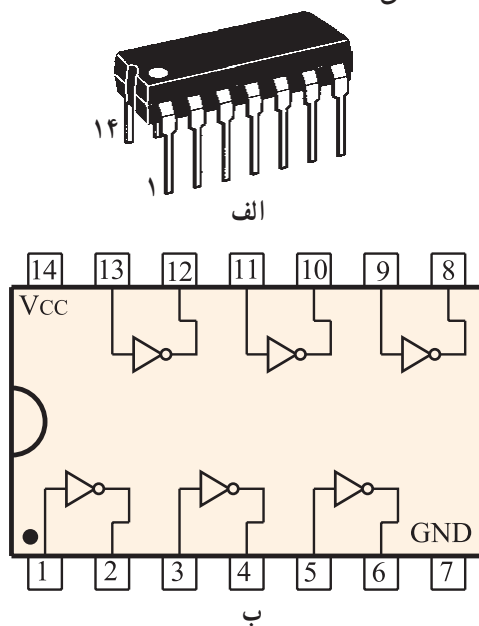
وضعیت کلید A	وضعیت کلید B	وضعیت لامپ L
قطع OFF	قطع OFF	قطع OFF
قطع OFF	وصل ON	وصل ON
وصل ON	قطع OFF	وصل ON
وصل ON	وصل ON	وصل ON

در شکل ۲-۱۸ علائم اختصاری دروازه‌ی NOT نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۸ علائم اختصاری دروازه‌ی NOT

در شکل ۲-۱۹ شکل ظاهری IC و دروازه‌های داخل آن را مشاهده می‌کنید.



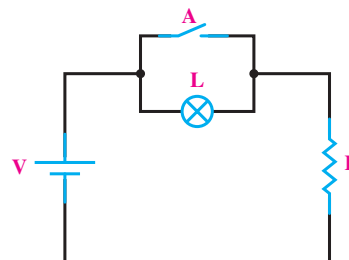
شکل ۲-۱۹ شکل ظاهری و گیت‌های داخلی یک نمونه IC گیت NOT

وضعیت خروجی نسبت به ورودی دروازه‌ی NOT را به صورت این رابطه‌ی منطقی بیان می‌کنند:  $Y = \bar{A}$  در هر کدام 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 تک‌فاز و سه‌فاز نیز به نوعی دیگر با این مفاهیم سرو کار داریم.

امروزه در صنعت از تجهیزاتی تحت عنوان کنترل‌کننده‌های منطقی<sup>۱</sup>، رله‌های قابل برنامه‌ریزی<sup>۲</sup>، راه‌اندازهای الکترونیکی<sup>۳</sup> برای

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

۲-۳-۳ دروازه‌ی NOT — «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 ۲-۱۷ می‌توان رسم کرد.



شکل ۲-۱۷ مدار کلیدی دروازه‌ی NOT

(علت استفاده از مقاومت R در شکل ۲-۱۷ برای این است که وقتی کلید A وصل شد باتری اتصال کوتاه نگردد.)

هم چنین براساس وضعیت‌های کلید می‌توان جدول وضعیت و جدول صحت آن‌را به صورت جداول ۲-۶ و ۲-۷ نوشت. البته می‌توان دروازه‌ی NOT را با یک کلید بسته که با یک لامپ سری شده است نیز نمایش داد.

جدول ۲-۶ جدول وضعیت NOT

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

جدول ۲-۷ جدول صحت NOT

A ورودی	Y خروجی
۰	۱
۱	۰

با توجه به توضیحات داده شده و شکل ۲۰-۲ می توان نتیجه گرفت که ضروری است با همه دروازه های منطقی آشنا شویم تا به کمک آن ها بتوانیم مدارهای منطقی را تحلیل و ترسیم کنیم.

## ۲-۴- بررسی مدارهای منطقی

هدف از آشنایی با دروازه های منطقی آن است که از آن ها در ساخت مدارهای منطقی استفاده شود. برای این که با چگونگی به کارگیری این دروازه ها آشنا شوید یک مثال به گونه ی طراحی مطرح می شود.

مثال ۱: یک کارخانه ی تولید برق، جریان سه بار را تأمین می کند اگر یکی از بارها روشن باشد تنها یک مولد لازم است. وقتی که بیش از یک بار روشن است باید مولد کمکی هم به کار بیفتد. مدار منطقی (فرمان) لازم برای به کار انداختن مولد کمکی را طرح کنید.

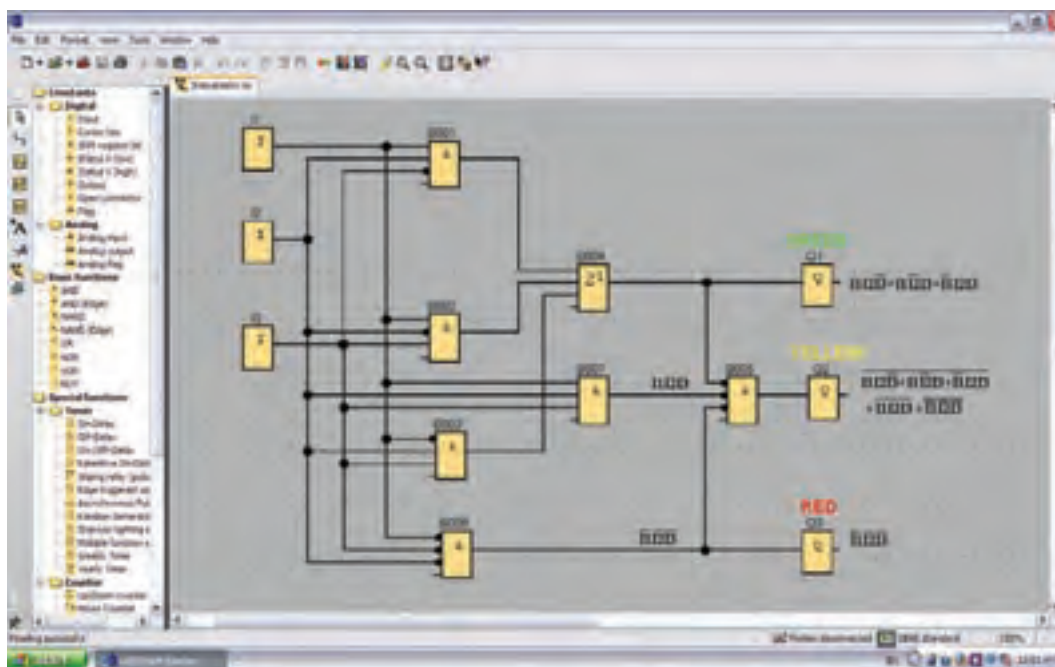
حل: برای رسم مدار منطقی لازم است ابتدا جدول صحت را تشکیل دهیم و سپس براساس آن عبارت منطقی بنویسیم. اگر سه بار A، B و C را ورودی و X را خروجی و فرمان مولد کمکی

کنترل و راه اندازی موتورهای سه فاز و تکفاز استفاده می شود که اصول حاکم در اغلب آن ها مدارهای منطقی است که پایه و مبنای این مدارها را نیز دروازه های منطقی تشکیل می دهند (شکل ۲۰-۲).



شکل ۲۰-۲

اگر بخواهیم از این تجهیزات استفاده کنیم ضروری است پیرامون منطق ۰ و ۱؛ عبارات، دروازه ها و مدارهای منطقی اطلاعاتی داشته باشیم. شکل ۲۰-۲ تصویر محیط نرم افزاری یک نمونه رله قابل برنامه ریزی که در آن از این دروازه های منطقی برای برنامه نویسی استفاده می شود، نشان داده شده است.



شکل ۲۰-۲

## ۵-۲- دروازه‌های منطقی ترکیبی

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

### ۱-۵-۲- دروازه‌ی منطقی NAND – «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 به وجود می‌آید. درواقع در دروازه‌ی NAND ابتدا متغیرها مشابه شکل ۲۳-۲ با یکدیگر AND شده و سپس NOT می‌شوند.



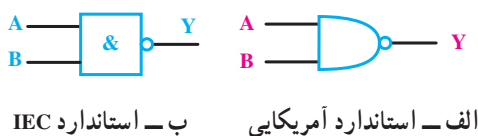
شکل ۲۳-۲

جدول صحت دروازه‌ی منطقی NAND مطابق جدول ۲۹-۲ است.

جدول ۲۹-۲- 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 علائم اختصاری شکل ۲۴-۲ نشان می‌دهند.



الف – استاندارد آمریکایی      ب – استاندارد IEC

شکل ۲۴-۲- علائم اختصاری دروازه‌ی NAND

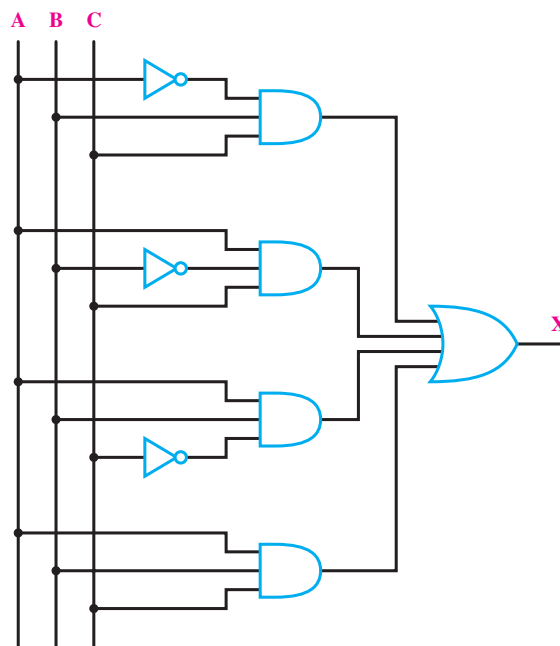
بنامیم در این صورت هرگاه دو یا سه بار روشن باشد خروجی باید یک (۱) شود. بنابراین خروجی مدار دارای جدول صحتی به صورت ۸-۲ و عبارت منطقی به صورت X خواهد شد.

جدول ۸-۲

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 ← $ABC$

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

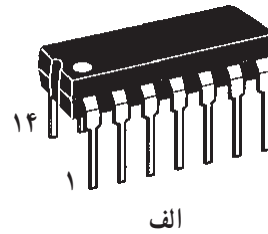
حال با توجه به جملات به دست آمده برای تابع خروجی می‌توان مدار منطقی را چنین رسم کرد.



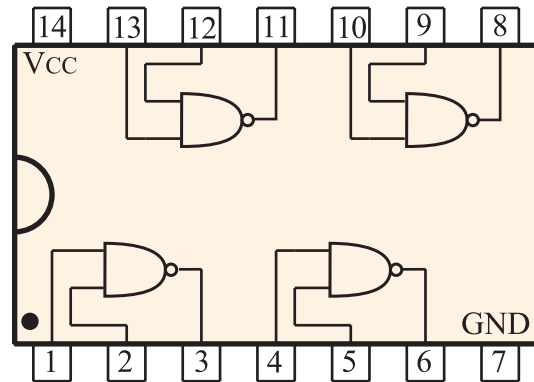
شکل ۲۲-۲

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.

در شکل ۲-۲۵ شکل ظاهری IC و دروازه‌های داخل آن را مشاهده می‌کنید.



الف



ب

شکل ۲-۲۵- شکل ظاهری و مدار داخلی یک نمونه IC دروازه‌ی NAND

رابطه‌ی منطقی دروازه‌ی NAND به صورت  $Y = \overline{A \cdot B}$

است.

۲-۵-۲- دروازه‌ی منطقی NOR «نفی یا» :

عملگر یا دروازه‌ی منطقی NOR به دروازه‌ای گفته می‌شود که خروجی آن زمانی وجود دارد که همه‌ی ورودی‌ها وجود نداشته باشند به عبارت دیگر دروازه‌ی NOR از ترکیب دو دروازه OR و NOT به وجود می‌آید. در واقع در دروازه NOR ابتدا متغیرها مشابه شکل ۲-۲۶ با یکدیگر OR شده و سپس NOT می‌شوند.



شکل ۲-۲۶

جدول صحت دروازه‌ی منطقی NOR مطابق جدول

۲-۱۰ است.

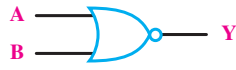
جدول ۲-۱۰- جدول صحت دروازه‌ی OR

ورودی	ورودی	خروجی
۰	۰	۰
۰	۱	۱
۱	۰	۱
۱	۱	۱

در نقشه‌های دیجیتالی این دروازه را با علائم اختصاری شکل ۲-۲۷ نشان می‌دهند.



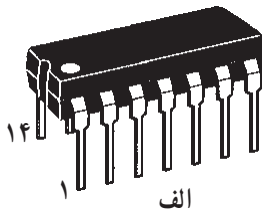
(ب) استاندارد IEC



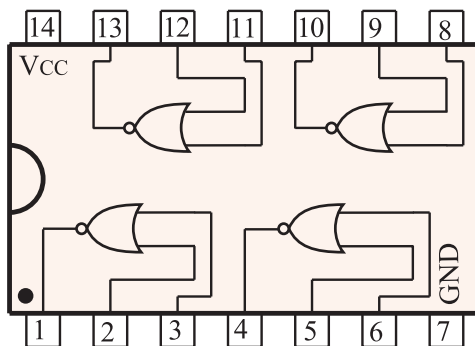
(الف) استاندارد آمریکایی

شکل ۲-۲۷- علائم اختصاری دروازه‌ی NOR

در شکل ۲-۲۸- شکل ظاهری IC و دروازه‌های داخل آن را مشاهده می‌کنید.



الف



ب

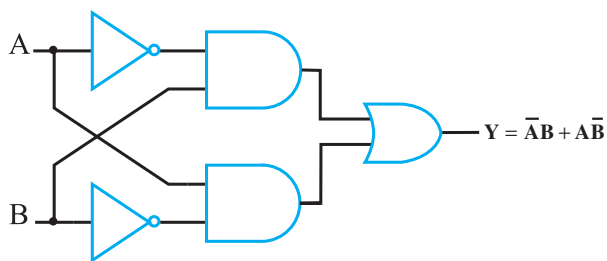
شکل ۲-۲۸- شکل ظاهری و مدار داخلی یک نمونه IC دروازه‌ی NOR

رابطه‌ی منطقی دروازه‌ی NOR به صورت

$Y = \overline{A + B}$  است.

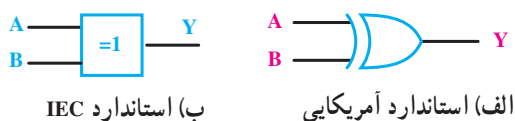


مدار معادل منطقی دروازه‌ی XOR با استفاده از دروازه‌های منطقی پایه به صورت شکل ۲-۳۰ است.



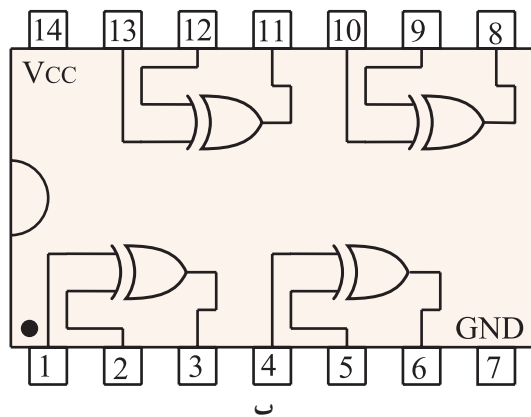
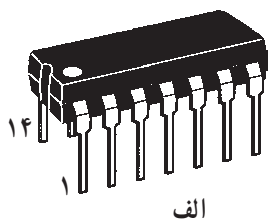
شکل ۲-۳۰

در نقشه‌ها و مدارهای منطقی دروازه‌ی XOR را با علائم اختصاری مشابه شکل ۲-۳۱ نشان می‌دهند.



شکل ۲-۳۱- علائم اختصاری دروازه‌ی XOR

در شکل ۲-۳۲ شکل ظاهری IC و دروازه‌های داخل آن را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲-۳۲- شکل ظاهری و مدار داخلی یک نمونه IC دروازه‌ی XOR

۳-۵-۲- دروازه‌ی منطقی 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 می‌گیرد) که دو ورودی آن با هم برابر نباشند یا به عبارتی دیگر دو ورودی در سطح منطقی مشابه نباشند. (دو ورودی مخالف باشند) جدول ۲-۱۱ صحت دروازه‌ی منطقی OR انحصاری (XOR) را نشان می‌دهد.

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

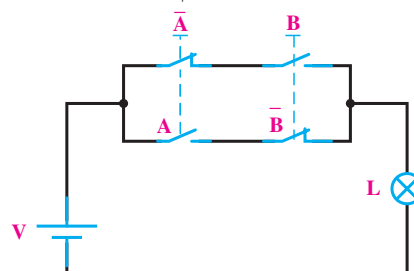
$$Y = \bar{A}B + A\bar{B}$$

جدول ۲-۱۱- جدول صحت دروازه‌ی XOR

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

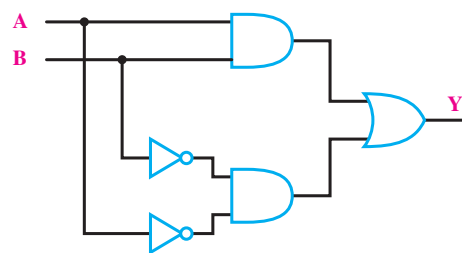
این تابع را به اختصار به صورت  $Y = A \oplus B$  نیز نشان می‌دهند.

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 به صورت شکل ۲-۲۹ می‌توان رسم کرد.



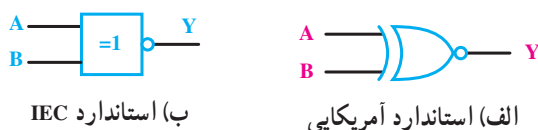
شکل ۲-۲۹- مدار کلیدی دروازه XOR

مدار معادل منطقی دروازه‌ی XNOR با استفاده از دروازه‌های منطقی پایه به صورت شکل ۲-۳۴ است.



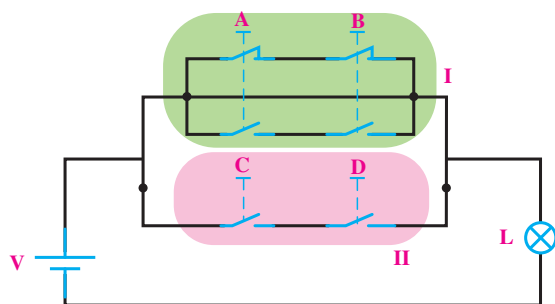
شکل ۲-۳۴

در نقشه‌ها و مدارهای منطقی دروازه‌ی XNOR را با علائم اختصاری شکل ۲-۳۵ نشان می‌دهند.



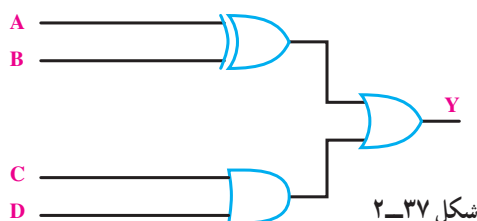
شکل ۲-۳۵ علائم اختصاری دروازه منطقی XNOR

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



شکل ۲-۳۶

حل: همانطوری که از مدار کلیدی مشخص است قسمت I مدار کلیدی دروازه XOR و قسمت II مدار کلیدی دروازه AND است که با یک دیگر به صورت موازی (OR) شده‌اند، پس مدار منطقی آن را به صورت شکل ۲-۳۷ می‌توان رسم کرد.



شکل ۲-۳۷

۴-۵-۲ 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 به عبارتی دیگر هر دو ورودی در سطح منطقی مشابه باشند (دو ورودی برابر باشند) جدول ۲-۱۲ جدول صحت دروازه‌ی منطقی NOR انحصاری (XNOR) را نشان می‌دهد.

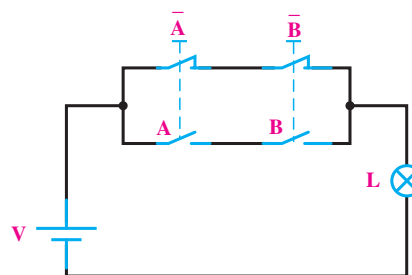
جدول ۲-۱۲ جدول صحت دروازه‌ی XNOR

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 به صورت زیر می‌توان نوشت:  $Y = \bar{A}\bar{B} + AB$

این تابع را به اختصار به صورت  $Y = A \odot B$  نیز نشان می‌دهند.

بر پایه‌ی مطلب اشاره شده در دروازه‌ی XOR مدار کلیدی دروازه‌ی XNOR را به صورت شکل ۲-۳۳ می‌توان رسم کرد.

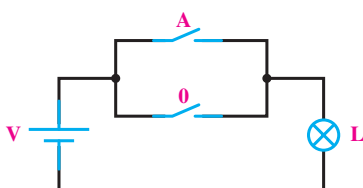
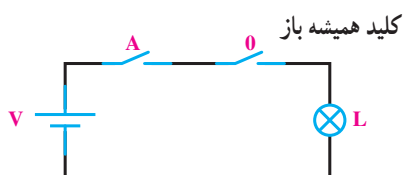


شکل ۲-۳۳

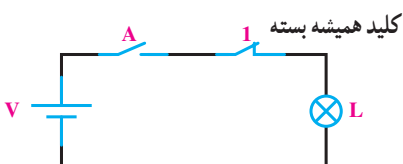
## ۶-۲ اتحادهای ساده‌ی منطقی

بنای طراحی مدارات منطقی بر مجموعه‌ای از اصول و تئوری‌ها استوار است که توسط شخصی به نام جرج بول تحت

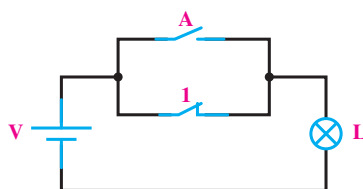
کلید همیشه باز  
کلید با قابلیت قطع و وصل  
۱- الف)  $A \cdot 0 = 0$   
مدار سری  
لامپ خاموش



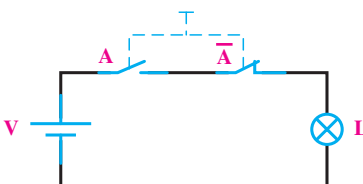
۱- ب)  $A + 0 = A$



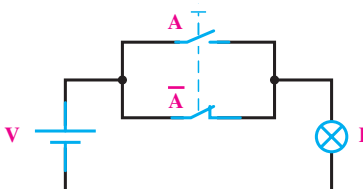
۲- الف)  $A \cdot 1 = A$



کلید همیشه بسته  
کلید با قابلیت قطع و وصل  
۲- ب)  $A + 1 = 1$   
مدار موازی  
لامپ روشن



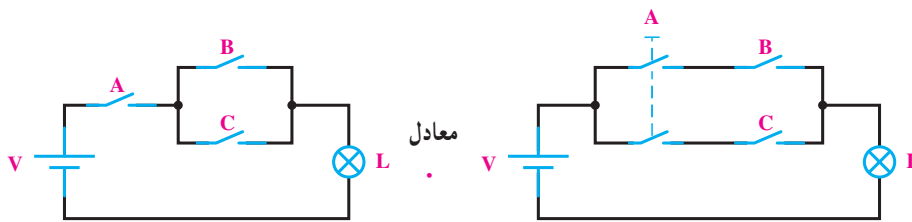
۳- الف)  $A \cdot \bar{A} = 0$



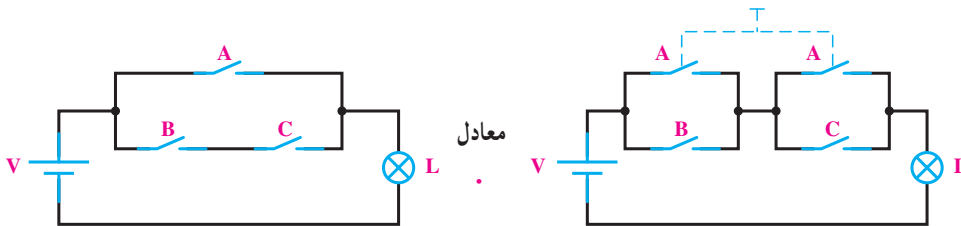
۳- ب)  $A + \bar{A} = 1$

عنوان جبر منطقی و به صورت یک سری اتحادهای ساده منطقی بیان گردید. برای تشریح این اتحادها از روش کلیدی و بدون این که وارد بحث ریاضی آن شویم استفاده شده است.

$$A.(B + C) = AB + AC \quad \text{۴- الف)}$$



$$A + B.C = (A + B).(A + C) \quad \text{۴- ب)}$$



۵- قانون دمورگان

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

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

جدول ۱۳-۲

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

همان‌گونه که در جدول ۱۳-۲ 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 ۱۳-۲ مشاهده می‌شود مدار باید در شش حالت عمل نماید.

مثال ۳: مدار منطقی (دیجیتالی) را به‌عنوان مدار فرمان

در یک سیستم صنعتی طوری طراحی کنید که هرگاه یک فاز یا دو فاز از سه فاز 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  $L_1, L_2, L_3$  از  $R, S, T$  برای نشان دادن فازها استفاده شده است.

حل: جدول صحت سیستم مورد نظر را با توجه

به خواسته‌های مسئله به‌صورت جدول ۱۳-۲ می‌توان نوشت. برای حل مسئله 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.

در صورتی که از عوامل مشترک فاکتور بگیریم عبارت منطقی خروجی به صورت زیر ساده خواهد شد.

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

①

①

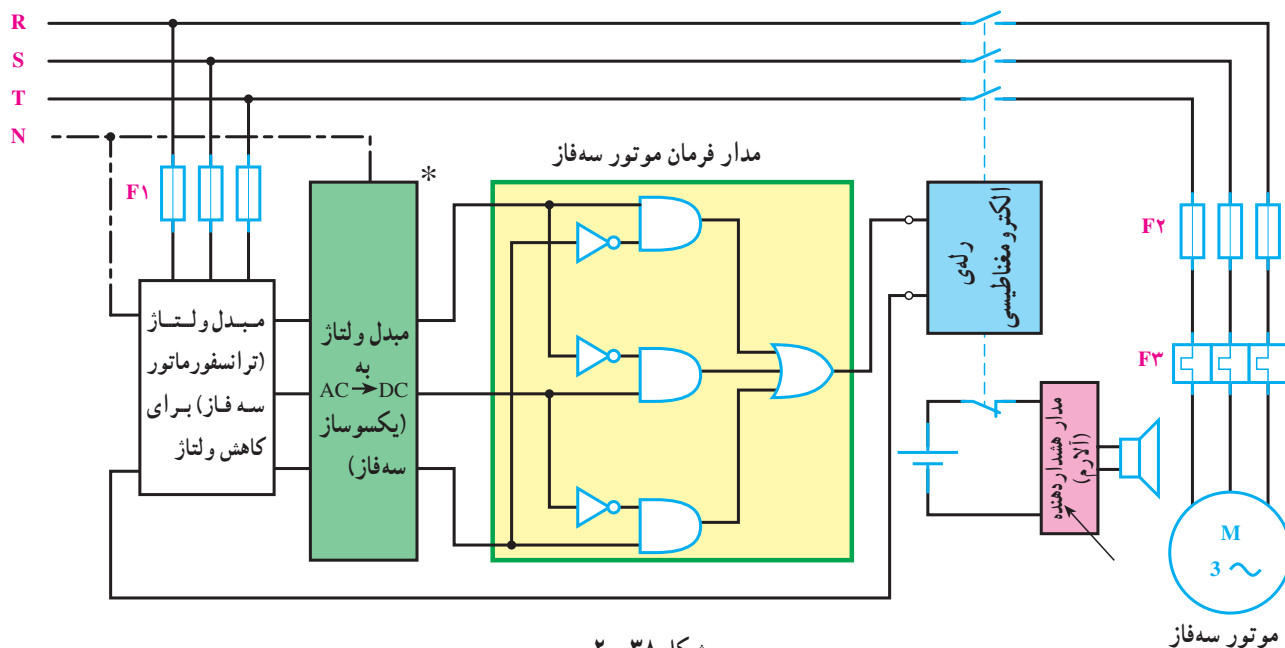
①

$$Y = \overline{R}T + S\overline{T} + R\overline{S}$$

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

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

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



شکل ۲-۳۸

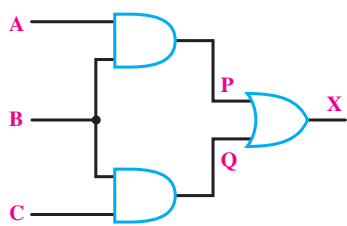
\* در فصول بعد با اصول کار مدارهای یکسوساز آشنا خواهید شد.

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

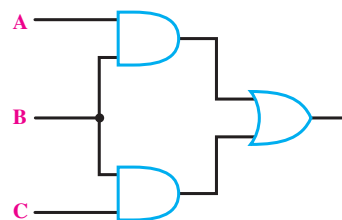
الف - به دست آوردن تابع منطقی،

ب - رسم مدار کلیدی.

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



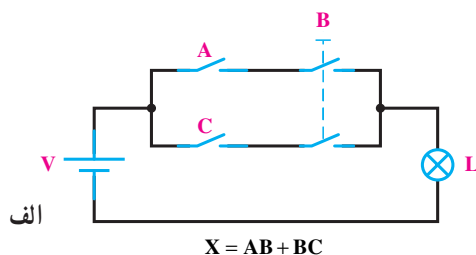
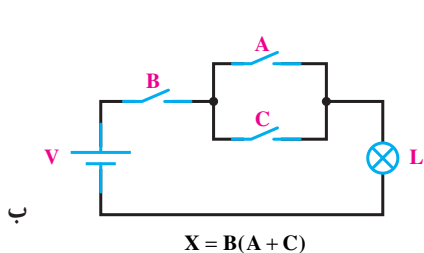
شکل ۲-۴۰



شکل ۲-۳۹

با توجه به عبارت به دست آمده برای مدار کلیدی آنرا به صورت شکل ۲-۴۱ الف و شکل ۲-۴۱ ب رسم می‌کنیم.

حل: ابتدا مطابق شکل ۲-۴۰ ورودی و خروجی هر مرحله را نام گذاری می‌کنیم؛ سپس روابط مربوط به هر مرحله را

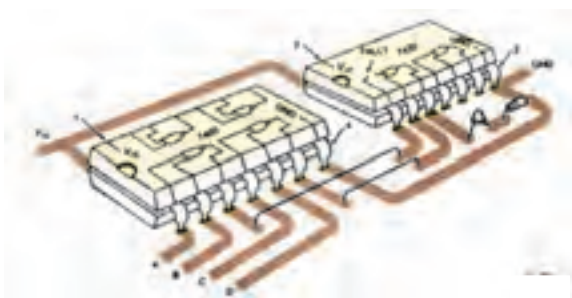


شکل ۲-۴۱

در عمل به گونه ای که آن ها را به صورت مستقل در مدارهای منطقی رسم می کنیم وجود ندارند بلکه در «مجموعه های بسته بندی»<sup>۱</sup> شده ای تحت عنوان «مدارهای مجتمع» یا «آی سی - IC»<sup>۲</sup> قرار دارند. در شکل ۲-۴۳ شکل ظاهری چند IC و در شکل ۲-۴۴ تصویر برش خورده ی یک IC نشان داده شده است.



شکل ۲-۴۳ - تصویر چند نمونه IC



شکل ۲-۴۴ - نحوه قرار دادن دو نمونه آی سی روی بُرد مدار چاپی

مثال ۵: مدار منطقی تابع داده شده F را پس از ساده سازی رسم کنید.

$$F = \bar{A} \bar{B} \bar{C} + \bar{A} \bar{B} C + \bar{A} B \bar{C} + \bar{A} B C + A \bar{B} \bar{C} + A \bar{B} C$$

حل: با کمی دقت در تابع داده شده می توان مشاهده کرد جملات ① و ②، ③ و ④، ⑤ و ⑥ دارای متغیرهای مشترکی هستند که با استفاده از اتحاد منطقی ۴- الف می توان به صورت زیر عمل فاکتورگیری را انجام داد.

$$F = \bar{A} \bar{B} \bar{C} + \bar{A} \bar{B} C + \bar{A} B \bar{C} + \bar{A} B C + A \bar{B} \bar{C} + A \bar{B} C$$

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

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

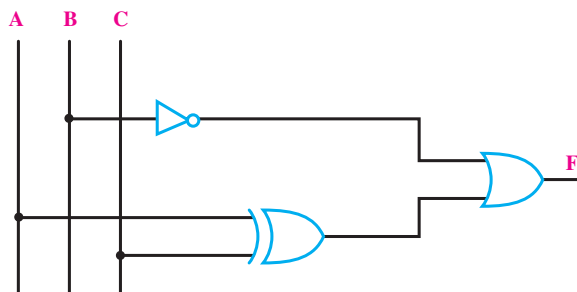
$$F = \bar{B}(\bar{A} + A) + B(\bar{A} C + A \bar{C})$$

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

حال با توجه به اتحاد منطقی ۴- ب می توان نوشت:

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

$$F = \bar{B} + \bar{A} C + A \bar{C} = \bar{B} + A \cdot C$$



شکل ۲-۴۲

## ۲-۷ - شکل ظاهری و مدار داخلی چند آی سی

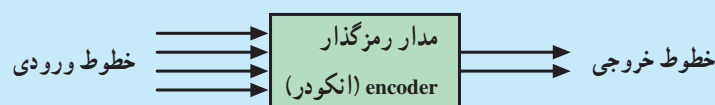
عملگر یا دروازه های منطقی «AND»، «OR» و «NOT»



## ۸-۲- مدارهای ترکیبی

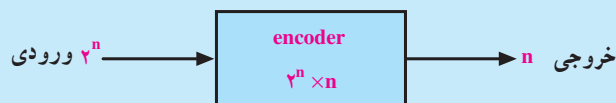
در بحث دیجیتال مداراتی هستند که از تعدادی دروازه‌های منطقی تشکیل شده‌اند و در هر لحظه از زمان خروجی آن‌ها به‌طور مستقیم به ورودی‌های آن در همان لحظه بستگی دارد و وضعیت ورودی‌ها و خروجی‌های قبلی هیچ تأثیری در وضعیت فعلی مدار ندارد. از جمله‌ی این مدارات می‌توان به این موارد اشاره کرد:

۸-۲-۱- مدارهای رمزکننده (انکودر — 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 ۲-۴۵ بلوک دیاگرام کلی از مدارات رمزگذار نشان داده شده است.



شکل ۲-۴۵

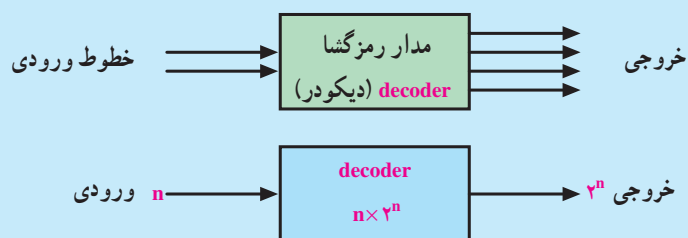
در یک مدار رمزگذار اگر  $n$  متغیر موجود باشد، در این صورت  $2^n$  خط ورودی و  $n$  خط خروجی در اختیار خواهد بود. نمونه‌ی کاربردی این مدارات را می‌توان در ماشین حساب‌ها، صفحه کلید کامپیوتر یا سیستم‌های مخابراتی (تلفن) نام برد. در شکل ۲-۴۶ علامت اختصاری این مدارات را می‌توان مشاهده کرد.



شکل ۲-۴۶

۸-۲-۲- مدارهای رمزگشا (دیکودر — decoder): چنان‌که اشاره شد در وسایل دیجیتالی، مانند ماشین حساب 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  $2^n$  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

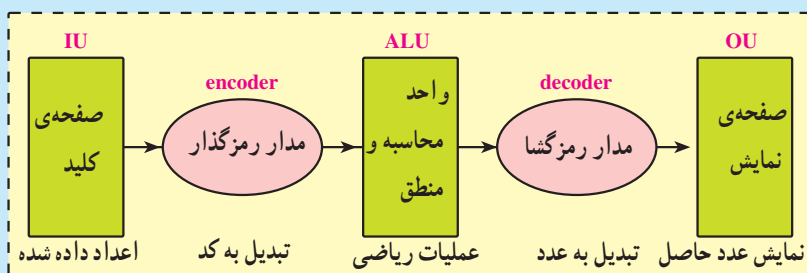
انکودر دانست. در شکل ۲-۴۷ بلوک کلی به همراه علامت اختصاری این مدارات را می‌توان مشاهده نمود.



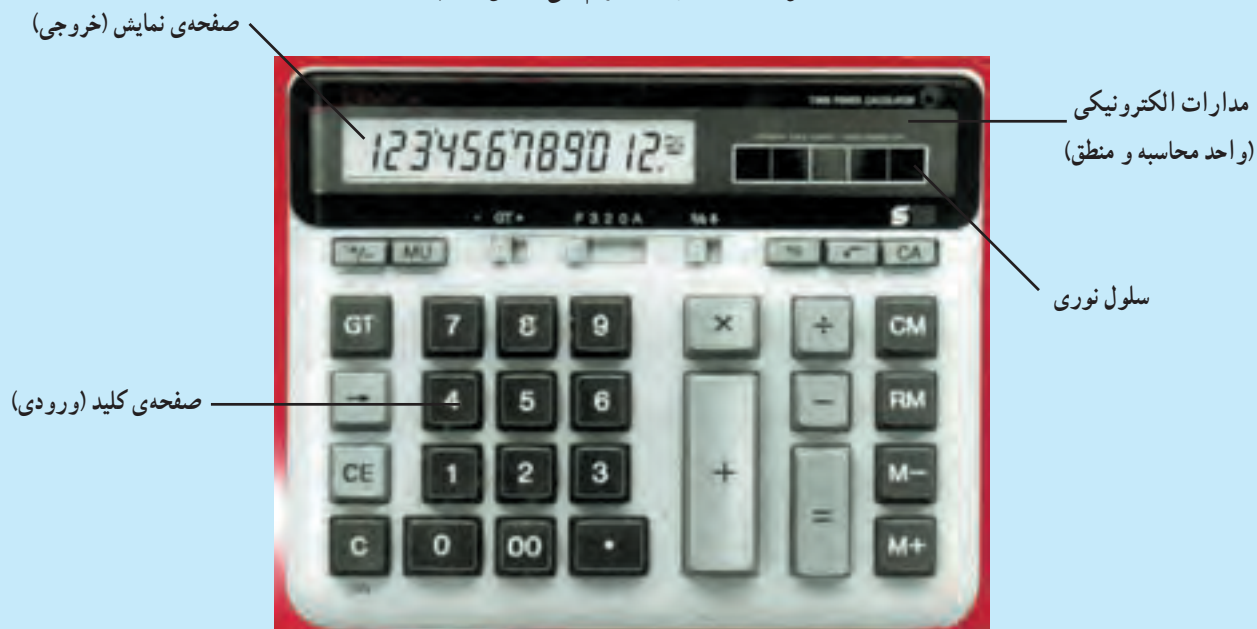
شکل ۲-۴۷

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 ماشین حساب وقتی به وسیله‌ی صفحه‌کلید عددی داده می‌شود، این عدد در داخل ماشین حساب توسط مدارات انکودر (رمزگذار) به کدهای صفر و یک تبدیل می‌شود یا وقتی که ماشین حساب عبارت را نمایش می‌دهد در واقع عمل تبدیل در داخل آن صورت گرفته که وظیفه مدارات دیکودر (رمزگشا) است.

مجموعه‌ی این فرایندها در شکل ۲-۴۸ و ۲-۴۹ نشان داده شده است.



شکل ۲-۴۸- بلوک دیاگرام کلی ماشین حساب



شکل ۲-۴۹

### ۳-۸-۲ واحد حافظه (memory): حافظه‌ها نمونه‌ای از مدارهای مهم در دیجیتال هستند.

این مدارها دارای ویژگی‌هایی هستند که به اختصار بیان شده است.

الف - قابلیت ثبت و ذخیره‌سازی اطلاعات ورودی را دارند.

ب - قابلیت انتقال اطلاعات ثبت شده را دارند.

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

این گونه مدارها اطلاعات «۰» و «۱» را به صورت ترتیبی دریافت کرده و ثبت می‌کنند.

از جمله ویژگی‌های دیگر این مدارها آن است که نه تنها به وضعیت ورودی‌های مدار (صفر و یک بودن آن‌ها) وابسته است، بلکه به وضعیت‌های 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 ۵۰-۲ بلوک (وضعیت نموداری) فلیپ فلاپ رسم شده است.

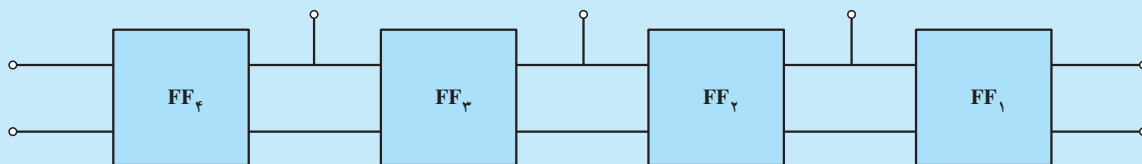


شکل ۵۰-۲ - نمودار فلیپ فلاپ

### ۹-۲ 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. به طور کلی هر مدار فلیپ فلاپ می‌تواند محل ذخیره‌سازی یک رقم (صفر یا یک) باشد. مدارات دیجیتالی خاصی که برای این منظور استفاده می‌شوند به مدارات «ثبت کننده» یا «رجیستر» معروف هستند.

به منظور ذخیره کردن چند صفر و یک در مدارات دیجیتالی مدارات رجیستری که از چند فلیپ فلاپ تشکیل شده‌اند به کار می‌روند. مدارات رجیستر یک نمونه از شکل‌های کاربردی مدارات فلیپ فلاپ هستند. در شکل ۵۱-۲ بلوک کلی از نحوه‌ی اتصال چند فلیپ فلاپ نشان داده شده است.



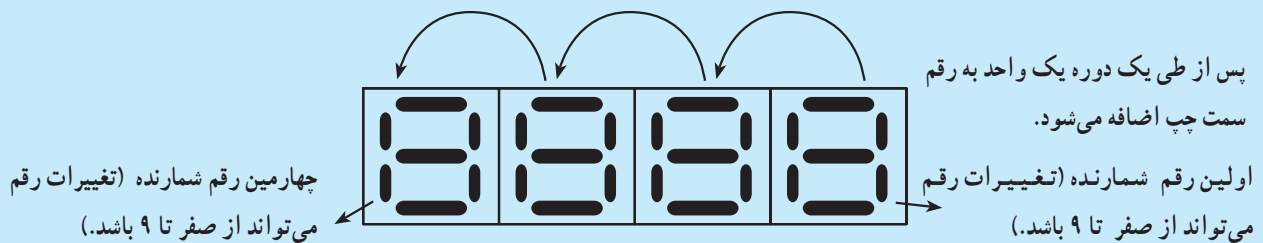
شکل ۵۱-۲ - بلوک دیاگرام کلی

فلیپ فلاپ‌ها باید به گونه‌ای به هم متصل شوند که اعداد صفر و یک قادر به ورود یا خروج از رجیسترها باشند؛ پس به طور خلاصه مجموعه‌ای از فلیپ فلاپ‌های متصل به هم که قادر به انتقال و ثبت اطلاعات هستند «شیفت رجیستر» نام دارند.

## ۱۰-۲- شمارنده (Counter)

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

براساس تعبیری دیگر می‌توان شمارنده را چنین معرفی کرد : شمارنده در واقع ثبات یا رجیستری است که به محض 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 سمت چپ اضافه شده و عمل شمارش مجدداً تکرار می‌شود (شکل ۵۲-۲).



شکل ۵۲-۲

در شکل ۵۳-۲ نمونه‌ای از وسایل شمارنده را مشاهده می‌کنید.



شکل ۵۳-۲

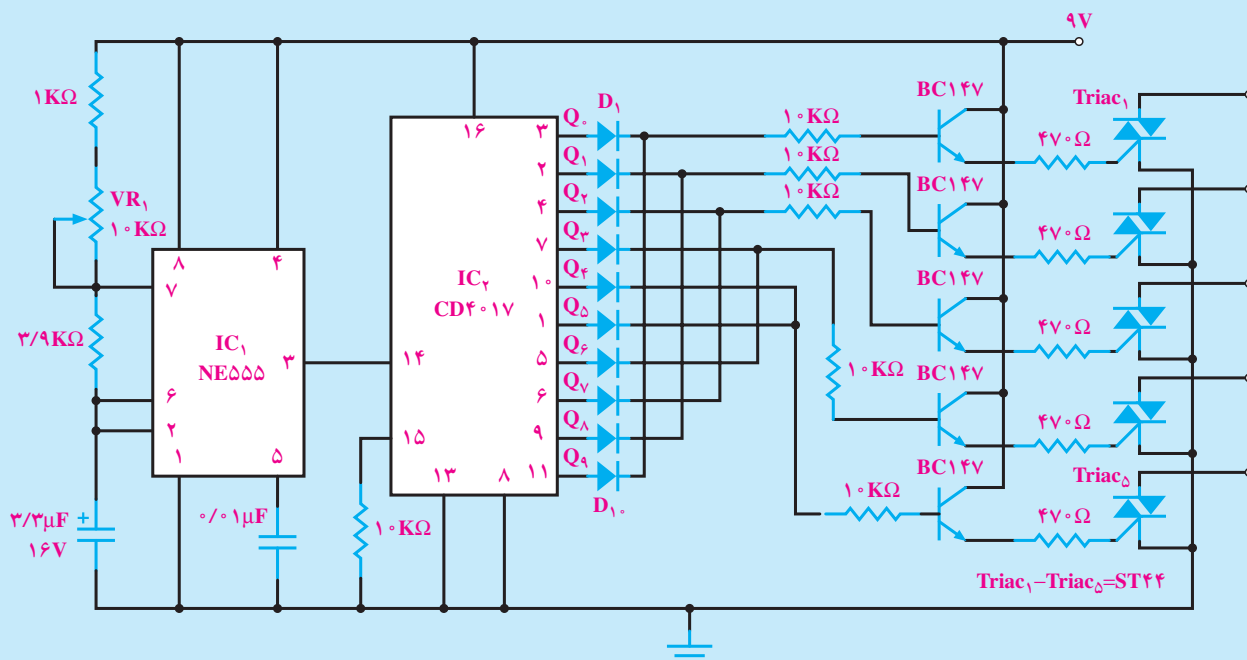
مدارات شمارنده در شکل کاربردی به دو صورت : «صعودی» و «نزولی» وجود دارند.

«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 ۵۴-۲ مدار رقص نوری 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.



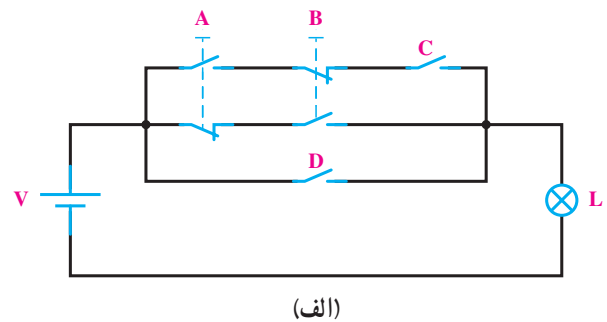
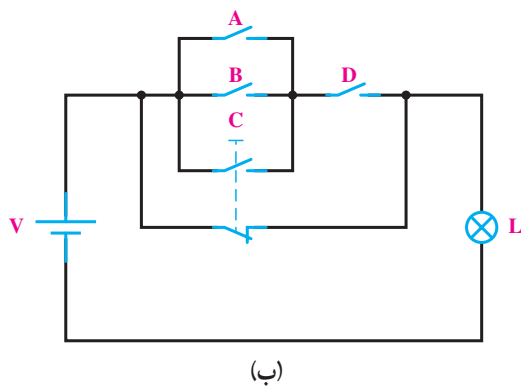
IC555 — زمان‌سنج (تایمر)

IC4017 — مقسم فرکانس (با نسبت ۱/۱۰)

BC147 — به صورت سویچ راه‌انداز گیت ترایاک‌ها

شکل ۵۴-۲ — مدار رقص نور

- ۱- سیستم‌های آنالوگ و دیجیتال را با رسم شکل موج توضیح دهید.
- ۲- منظور از سطوح ولتاژ و سطوح منطقی چیست؟
- ۳- دروازه‌ی منطقی AND را تعریف کرده، جدول صحت آن را بنویسید.
- ۴- دروازه‌ی منطقی OR را تعریف کرده، جدول صحت آن را بنویسید.
- ۵- دروازه‌ی منطقی NOT را تعریف کرده، جدول صحت آن را بنویسید.
- ۶- جدول وضعیت و مدار کلیدی هریک از دروازه‌های منطقی زیر را رسم کنید.  
الف- AND      ب- OR      ج- NOT
- ۷- مدار دو متغیره‌ای را به گونه‌ای طراحی کنید که اگر فقط یکی از ورودی‌های آن وجود داشت خروجی وجود داشته باشد (یک باشد).
- ۸- هریک از مدارهای کلیدی شکل ۵۵-۲ را تحلیل کرده، تابع منطقی آن را به دست آورید.

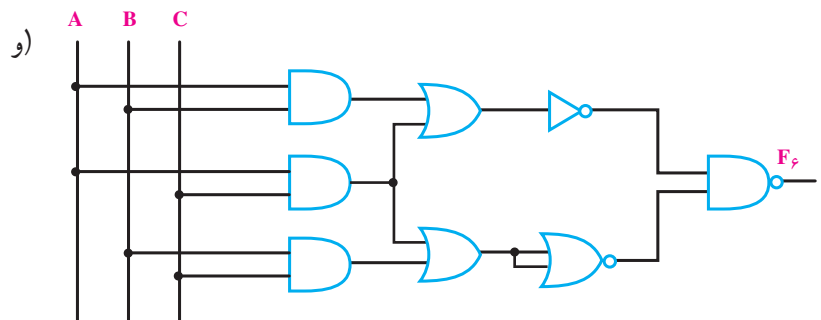
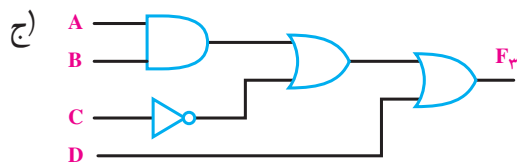
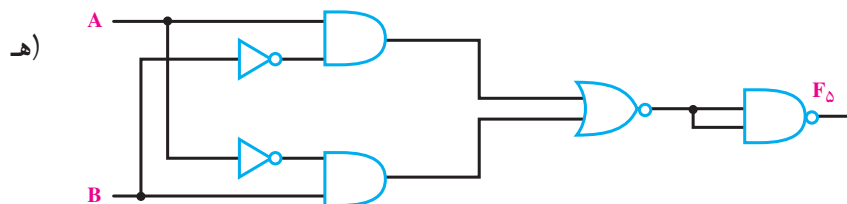
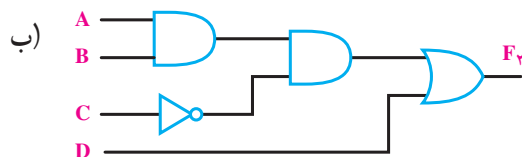
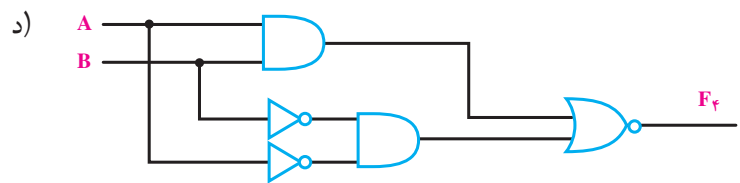
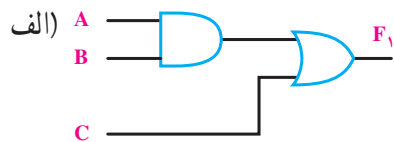


شکل ۵۵-۲

- ۹- هریک از توابع زیر را در نظر گرفته، خواسته‌های زیر را انجام دهید:  
الف - معادل کلیدی هر تابع را رسم کنید.  
ب - معادل منطقی یا دروازه‌ی عبارت‌های مقابل را رسم کنید.
- الف)  $F = A + BCD$   
 ب)  $F = A(B + C) + \bar{A}$   
 ج)  $F = A + BC + \bar{D}$



۱۰- مدارهای منطقی شکل ۵۶-۲ را تحلیل نموده و به سؤالات زیر پاسخ دهید.  
 الف - تابع منطقی خروجی‌های  $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5$  و  $F_6$  را به دست آورید.  
 ب - مدار کلیدی هریک از تمرین‌های الف، ب، ج را رسم کنید.



شکل ۵۶-۲

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

الف - NAND      ب - NOR

۱۲- 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 - مدار منطقی را به طور کامل و براساس تابع  $F_1$  رسم کنید.

ب - 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.

۱۳- مداری را طرح کنید که خروجی آن تابع رأی اکثریت یک هیئت داورى سه نفری باشد.

۱۴- با استفاده از قانون دمورگان معادل هریک از عبارات منطقی زیر را بدست آورده و مدار منطقی

آن‌ها را در استاندارد IEC رسم کنید.

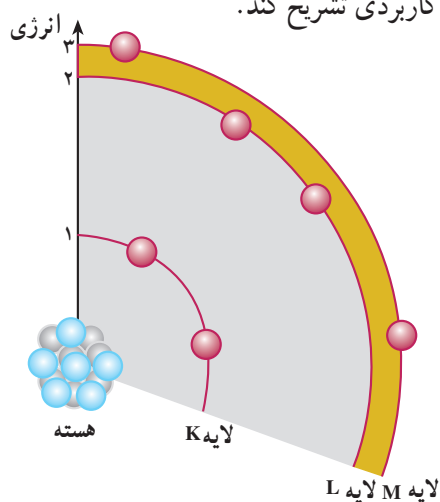
الف)  $F_1 = \overline{\overline{A}B + C}$

ب)  $F_2 = \overline{A \cdot B}$

## دیود نیمه هادی

هدف های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می رود :

- ۱- عناصر را از نظر هدایت الکتریکی بررسی کند.
- ۲- هادی ها و عایق ها و نیمه هادی ها را تعریف کند.
- ۳- عناصر گروه چهارم جدول تناوبی (سیلیکن و ژرمانیم) را معرفی کند.
- ۴- هدایت الکتریکی در نیمه هادی های سیلیکن و ژرمانیم را شرح دهد.
- ۵- نحوه ی افزایش هدایت در نیمه هادی های Si و Ge را توضیح دهد.
- ۶- نیمه هادی نوع P و N را تشریح کند.
- ۷- اتصال P و N را به عنوان یک دیود شرح دهد.
- ۸- دیود را به منزله ی یک کلید الکترونیکی ایده آل معرفی کند.
- ۹- چگونگی آزمایش و سالم بودن دیود را به کمک اهم متر شرح دهد.
- ۱۰- پارامترهای مهم در دیود (مقادیر حد) را شرح دهد.
- ۱۱- مشخصات دیود را از روی برگه ی مشخصات بخواند.
- ۱۲- کاربرد دیود را در یک سوسازی جریان متناوب به صورت نیم موج و تمام موج شرح دهد.
- ۱۳- مدار یک منبع تغذیه با ترانسفورماتور، یک سوساز و خازن صافی را رسم کند.
- ۱۴- دیود زبر و کاربرد آن در تثبیت ولتاژ را توضیح دهد.
- ۱۵- دیود نوردهنده (LED) را شرح دهد.
- ۱۶- کاربرد LED در نمایش اعداد و وضعیت کار سیستم ها را بیان کند.
- ۱۷- نقش دیود، آی سی رگولاتور و ... را در چند مثال کاربردی تشریح کند.



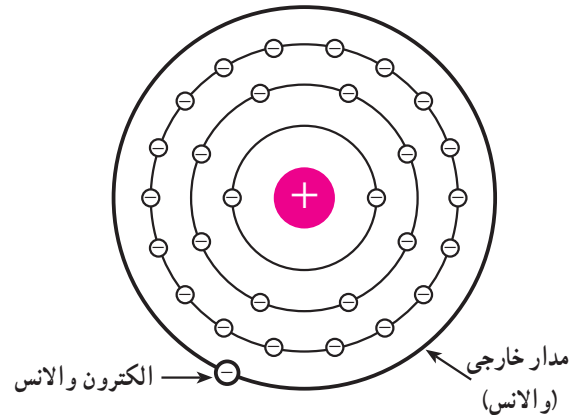
شکل ۳-۱

### ۳-۱- هدایت الکتریکی اجسام

اتم های عناصر دارای الکترون هایی هستند که در مدارهای مختلف به دور هسته در حال گردش اند. الکترون هایی که به هسته نزدیک تر هستند انرژی کمتری دارند، اما نیروی وارد شده از هسته بر آن ها بیش تر است و به آسانی نمی توان آن ها را از اتم جدا کرد. الکترون های آخرین مدار دارای انرژی بیش تر بوده، اما وابستگی کمتری به هسته ی اتم دارند. در شکل ۳-۱ مشاهده می کنید که هرچه فاصله ی الکترون از هسته بیش تر باشد انرژی آن هم بیش تر است.

## ۳-۲ الکترون‌های ظرفیت یا والانس<sup>۱</sup>

آخرین لایه‌ی هر اتم «لایه‌ی ظرفیت» یا «والانس» نام دارد و الکترون‌های این لایه نیز الکترون‌های ظرفیت یا والانس نام دارند. در شکل ۳-۲ اتم مس به همراه مدارهای آن، لایه‌ی والانس، هم‌چنین الکترون‌های لایه‌ی والانس نشان داده شده است.



شکل ۳-۲

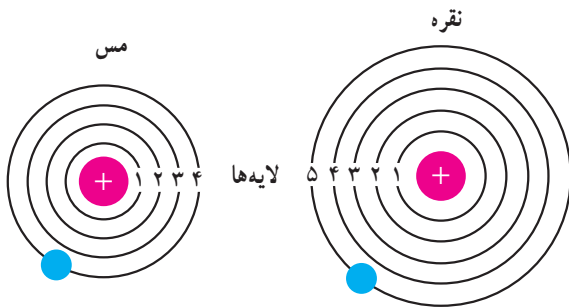
اگر الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت در مدار بزرگی به دور هسته در حال گردش باشند و نیروی جاذبه‌ای که از هسته به این الکترون‌ها وارد می‌شود خیلی ضعیف باشد - با انرژی اندکی که از خارج به این الکترون‌ها وارد می‌شود - الکترون‌ها از قید هسته آزاد می‌شوند. به الکترونی که از قید هسته آزاد می‌شود «الکترون آزاد» گویند.

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.

## ۳-۳ هادی‌ها<sup>۲</sup>

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 ۳-۳ ساختمان اتمی دو فلز نقره و مس را که فقط الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت آن‌ها رسم شده است، مشاهده می‌کنید. این فلزات هادی‌های خوبی هستند.

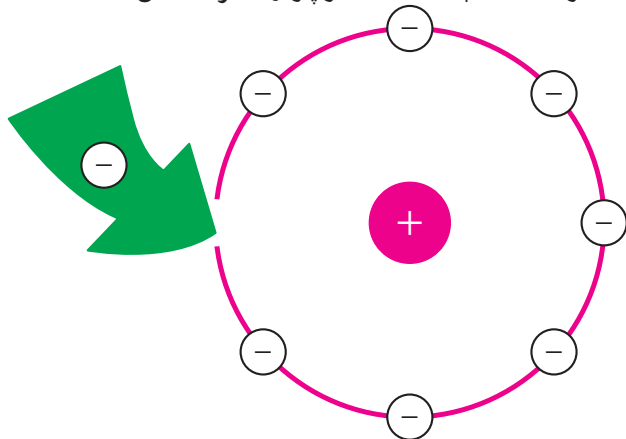


شکل ۳-۳

## ۳-۴ عایق‌ها<sup>۳</sup>

لایه‌ی والانس اتم عایق‌ها معمولاً از ۴ الکترون بیش‌تر و حداکثر ۸ الکترون دارند. چون انرژی به کاررفته در اتم عایق میان تعداد زیادی الکترون لایه‌ی ظرفیت تقسیم می‌شود، انرژی هر الکترون بسیار ناچیز است. این الکترون‌ها به سختی 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 ۳-۴ 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 ۳-۴

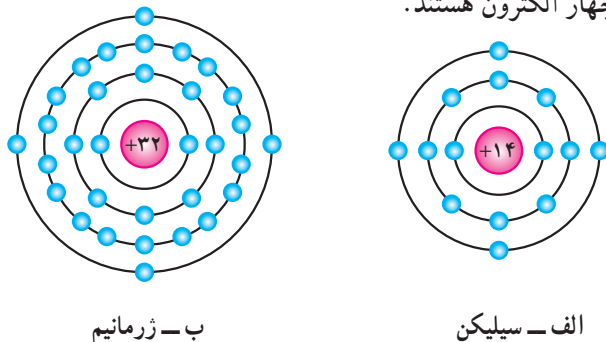
### ۵-۳- نیمه‌هادی‌ها<sup>۱</sup>

به عناصری که اتم‌های آن در مدار آخر خود چهار الکترون دارند «نیمه‌هادی» گویند. نیمه‌هادی‌ها در صفر مطلق ( $273^{\circ}\text{C}$ ) تقریباً عایق هستند. در درجه‌ی حرارت معمولی ( $25^{\circ}\text{C}$ ) 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.

### ۶-۳- 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 ۵-۳، ساختمان اتمی سیلیکن (Si) و ژرمانیم (Ge) نشان داده شده است.

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



شکل ۵-۳

### ۷-۳- ساختمان کریستالی سیلیکن و ژرمانیم

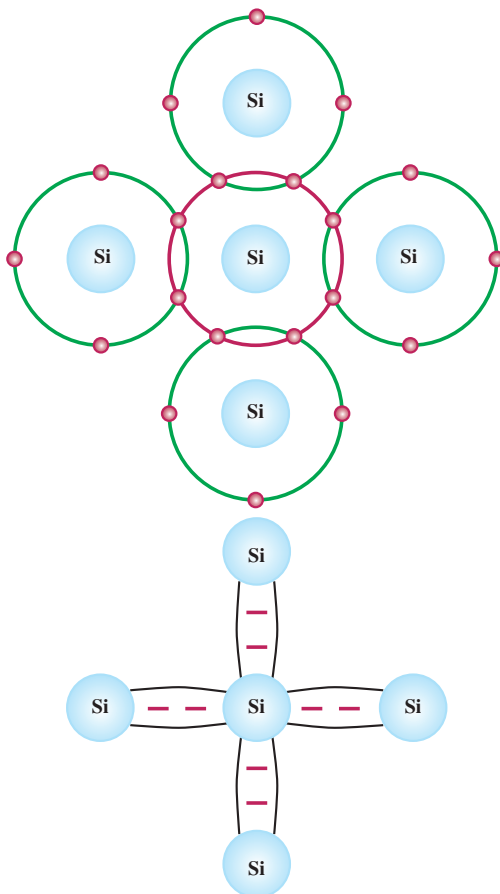
وقتی اتم‌های عناصر با نظم خاصی در کنار هم قرار می‌گیرند جسم جامدی را تشکیل می‌دهند که به آن «کریستال» گویند. ژرمانیم و سیلیکن نیز به‌صورت کریستال هستند.

### ۸-۳- پیوند اشتراکی (کووالانس)<sup>۲</sup> در اتم‌های

#### سیلیکن و ژرمانیم

هرگاه اتمی در مدار آخر خود دارای هشت الکترون باشد مدار آن کامل بوده، از نظر شیمیایی حالت پایداری پیدا می‌کند. نیمه‌هادی‌ها و عایق‌ها تمایل به دریافت 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 این منظور هر اتم یک الکترون با اتم مجاور به اشتراک می‌گذارد. (الکترون‌های ظرفیت هر اتم علاوه بر این که به دور هسته‌ی خود در گردش هستند، به دور هسته‌ی اتم مجاور هم گردش می‌کنند). این نوع پیوند بین اتم‌ها را «پیوند اشتراکی» یا «کووالانس» گویند. در شکل ۶-۳ پیوند اشتراکی بین اتم‌های سیلیکن را مشاهده می‌کنید.



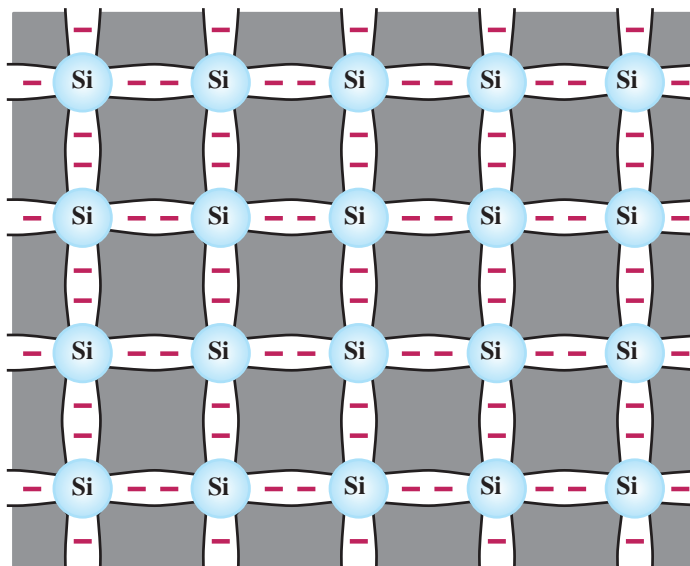
شکل ۶-۳

<sup>۱</sup> - Semiconductor = نیمه‌هادی

<sup>۲</sup> - Covalent Band

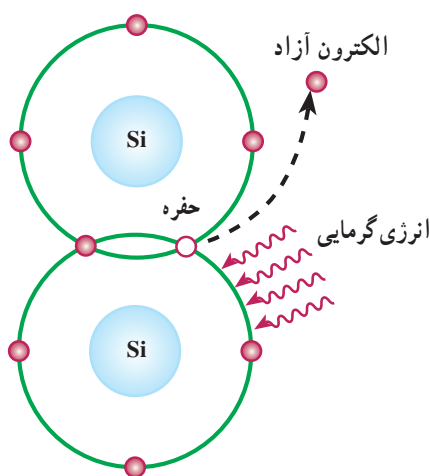
البته پیوند بین اتم‌های ژرمانیم نیز مشابه اتم‌های سیلیکن است. چون هر اتم در مدار آخر خود، هشت الکترون دارد دارای حالت پایدار بوده، در صفر مطلق کریستال سیلیکن و ژرمانیم الکترون آزاد ندارند و عایق هستند.

شکل ۷-۳ پیوند کووالانس در ساختمان کریستال را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۳

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 ۸-۳

### ۳-۹ هدایت الکتریکی در سیلیکن و ژرمانیم خالص

در صفر مطلق ( $-273^{\circ}\text{C}$ ) 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.

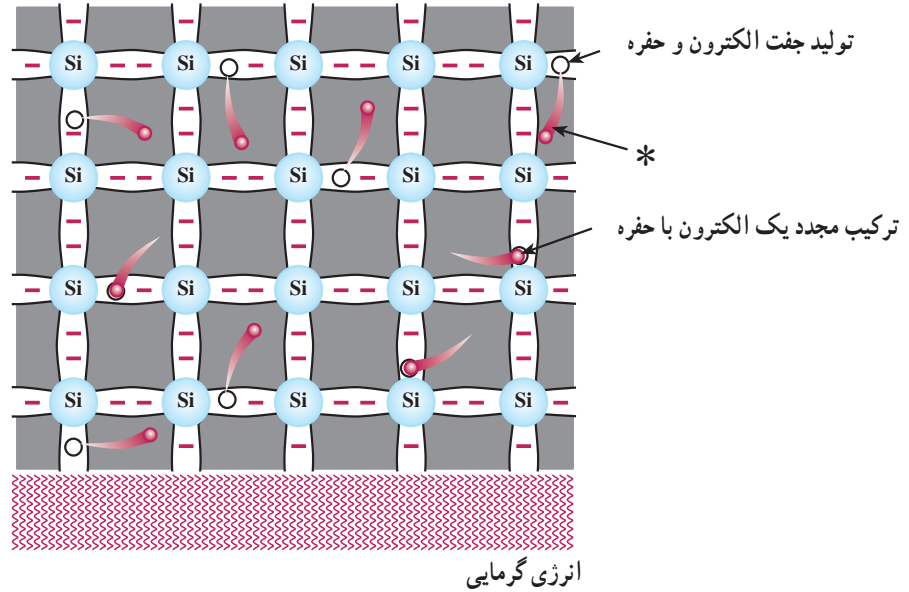
#### ۳-۱۰ ایجاد حفره<sup>۱</sup>

انرژی‌های خارجی نظیر حرارت می‌تواند باعث شکسته شدن پیوند شود و در نتیجه 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 ۸-۳

### ۳-۱۱- جریان الکترون‌های آزاد

اعمال نشود حرکت الکترون‌ها و جذب آن‌ها به وسیله‌ی حفره‌ها در کریستال به‌طور نامنظم ادامه می‌یابد. در شکل ۳-۹ کریستال سیلیکن، تولید الکترون، حفره و ترکیب مجدد الکترون، با حفره نشان داده شده است.

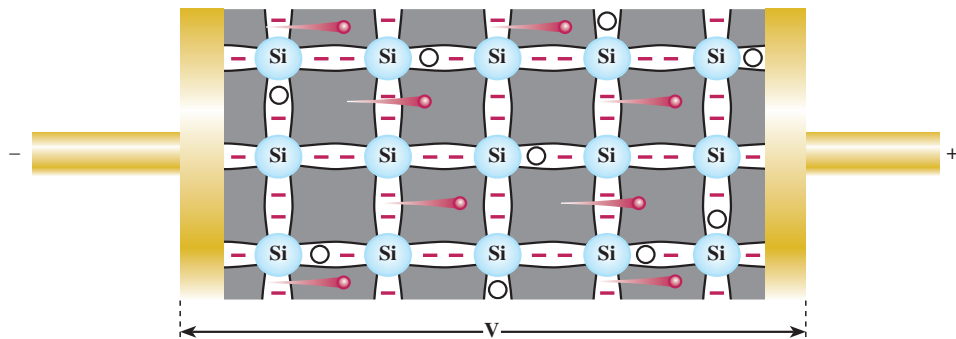
الکترون‌های آزاد شده در کریستال به‌صورت نامنظم حرکت می‌کنند. اگر به‌صورت اتفاقی الکترونی به حفره‌ای نزدیک شود جذب حفره می‌گردد. به این ترتیب، تا زمانی که نیرویی از خارج



شکل ۳-۹

و جریانی را در مدار به‌وجود می‌آورند که ناشی از حرکت الکترون‌هاست و به آن «جریان الکترون‌ها» گویند.

وقتی مطابق شکل ۳-۱۰ ولتاژی به دو سر کریستال اعمال شود، الکترون‌های آزاد به‌طرف قطب مثبت باتری حرکت می‌کنند



شکل ۳-۱۰

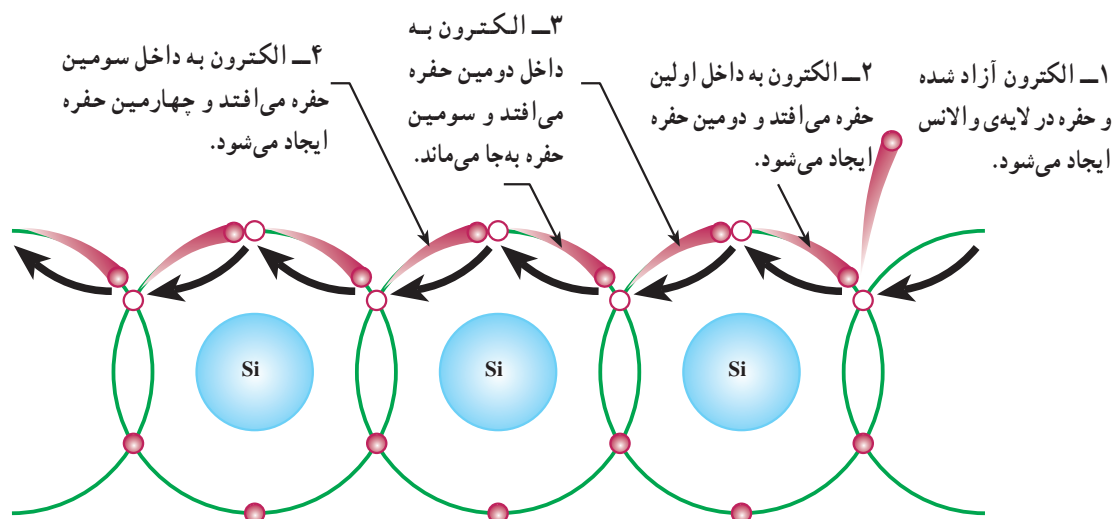
### ۳-۱۲- جریان حفره‌ها

الکترونی را جذب می‌کند، اما جای الکترون جذب شده حفره‌ی جدیدی ایجاد می‌گردد. به این ترتیب، به‌نظر می‌رسد وقتی الکترون از چپ به‌راست حرکت می‌کند حفره از راست به چپ در حرکت است.

جریان دیگری نیز در کریستال وجود دارد که ناشی از حرکت حفره‌هاست. وقتی در اتم حفره‌ای وجود دارد - به دلیل آن که حفره گرایشی به جذب الکترون دارد - از اتم مجاور،

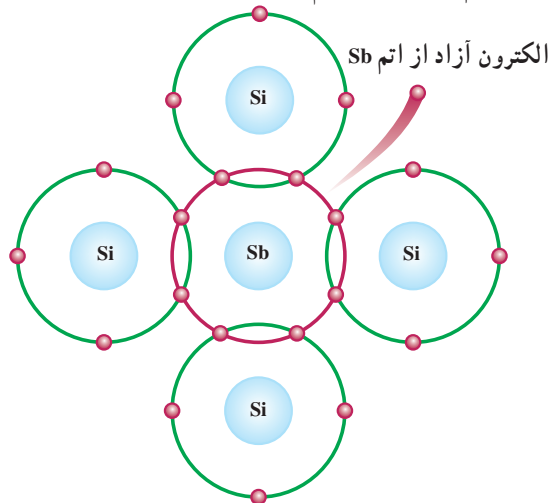
\* شکل که معرف الکترون آزاد است، قسمت دایره ( ) جهت حرکت الکترون را نشان می‌دهد.

شکل ۱۱-۳ تصویری از جهت حرکت الکترون‌ها و حفره‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۳

اتم ناخالصی یک الکترون آزاد در کریستال ایجاد می‌شود. با تنظیم مقدار اتم ناخالصی تعداد الکترون‌های آزاد کریستال را کنترل می‌کنند. علاوه بر الکترون‌های آزادی که از افزودن اتم ناخالصی در کریستال به وجود 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 به صورت یون مثبت درمی‌آید «اتم اهداکننده»<sup>۱</sup> نام دارد.



شکل ۱۲-۳

### ۱۳-۳ افزودن ناخالصی به کریستال نیمه‌هادی

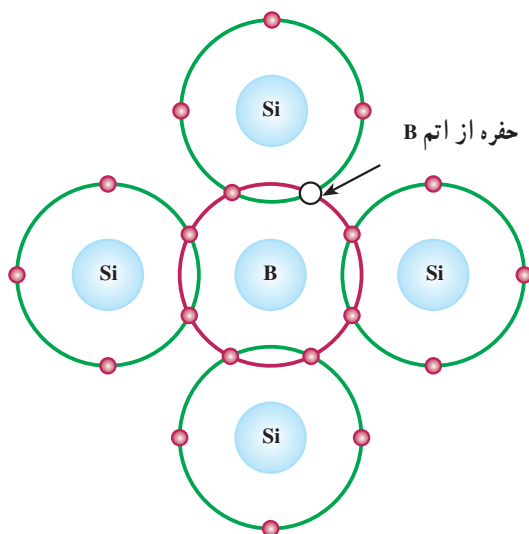
چون تعداد الکترون‌های آزاد و حفره‌های ایجاد شده در کریستال نیمه‌هادی ژرمانیم یا سیلیکن در اثر انرژی گرمایی به اندازه‌ی کافی نیست و از این نیمه‌هادی نمی‌توان برای ساختن قطعاتی نظیر دیود یا ترانزیستور استفاده کرد، برای افزایش هدایت نیمه‌هادی به آن ناخالصی اضافه می‌کنند. ناخالص کردن نیمه‌هادی به دو شکل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

### ۱۴-۳ ناخالص کردن کریستال نیمه‌هادی با اتم

پنج ظرفیتی (نیمه‌هادی نوع N)

هرگاه یک عنصر پنج ظرفیتی مانند آرسنیک (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 ۱۲-۳ 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 به راحتی از قید هسته آزاد می‌گردد و به صورت الکترون آزاد درمی‌آید؛ پس با افزودن هر





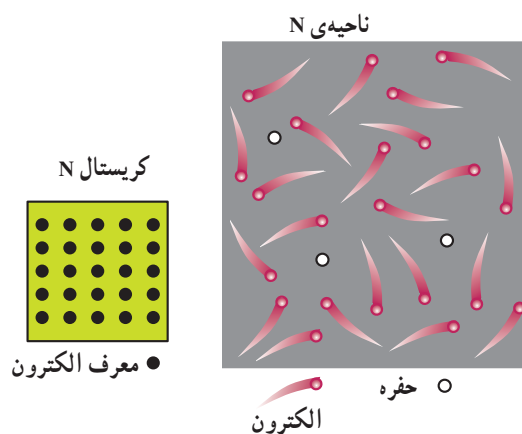
شکل ۱۴-۳

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. به اتم سه‌ظرفیتی که قادر است یک الکترون آزاد را جذب کند «اتم پذیرنده»<sup>۲</sup> گویند. اتم پذیرنده با دریافت الکترون به صورت یون منفی درمی‌آید. در اثر گرمای محیط تعداد اندکی الکترون نیز انرژی لازم را کسب می‌کنند و از هسته‌ی خود جدا می‌شوند و به صورت الکترون آزاد درمی‌آیند؛ بنابراین در کریستال علاوه بر تعداد زیادی حفره که حامل‌های اکثریت هستند، تعداد اندکی الکترون آزاد یعنی «حامل‌های اقلیت» نیز وجود دارند. به دلیل آن که حامل‌های اکثریت هدایت الکتریکی، حفره‌ها هستند و حفره‌ها مانند یک بار مثبت عمل می‌کنند، به این کریستال، کریستال نوع P<sup>۳</sup> گویند.

در شکل ۱۵-۳ الکترون‌ها و حفره‌های کریستال P و نمای مداری کریستال نشان داده شده است. البته کل کریستال P از نظر بار الکتریکی خنثی است.

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»<sup>۱</sup> می‌نامند.

در شکل ۱۳-۳ الکترون‌ها و حفره‌های کریستال N و شمای مداری آن نشان داده شده است. البته کل کریستال N از نظر بار الکتریکی خنثی است، زیرا بارهای مثبت و منفی آن باهم برابرند.



شکل ۱۳-۳

### ۱۵-۳- ناخالص کردن 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 ۱۴-۳ جای خالی الکترون نشان داده شده است.

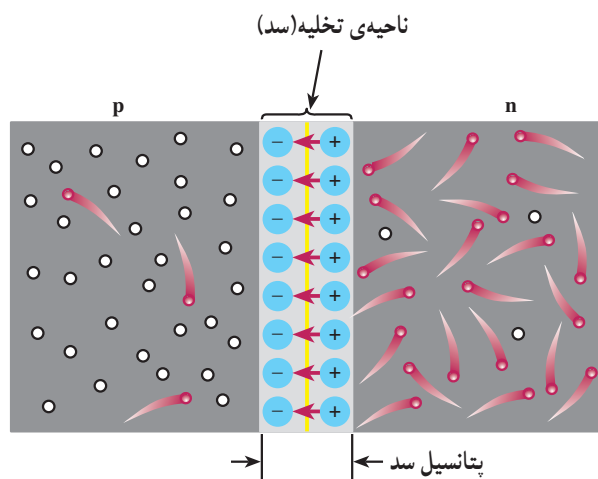
۱- N= Negative منفی

۲- Acceptor

۳- P=Positive

حفره‌ها در محل پیوند تعداد زیادی یون مثبت و منفی را ایجاد می‌کند. این یون‌ها در کریستال ثابت هستند، زیرا به علت پیوند کووالانس نمی‌توانند مانند الکترون‌های آزاد حرکت نمایند؛ سپس در محل پیوند ناحیه‌ای به نام «لایه‌ی تخلیه» به وجود می‌آید که در آن حامل‌های هدایت الکتریکی (الکترون‌ها و حفره‌ها) وجود ندارند. به ناحیه‌ی تخلیه ناحیه‌ی سد هم گفته می‌شود.

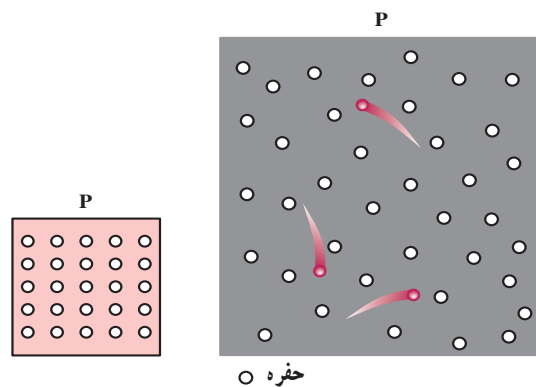
یون‌های مثبت و منفی در ناحیه‌ی تخلیه سبب ایجاد میدان الکتریکی می‌شوند. این میدان الکتریکی با عبور الکترون‌های آزاد از محل اتصال مخالفت می‌کند. هرگاه میدان ایجاد شده به حدی برسد که مانع عبور الکترون از محل اتصال گردد حالت «تعادل» به وجود می‌آید و به این صورت، «دیود کریستالی» ساخته می‌شود. در ناحیه‌ی تخلیه، ولتاژ ایجاد شده «پتانسیل سد» نام دارد. مقدار ولتاژ سد برای دیود سیلیکونی، حدود  $0.7V$  و ولت و برای دیود ژرمانیمی حدود  $0.2V$  ولت است. در شکل ۳-۱۷ ناحیه‌ی تخلیه و پتانسیل سد نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۷

### ۳-۱۷- بایاس کردن اتصال P-N

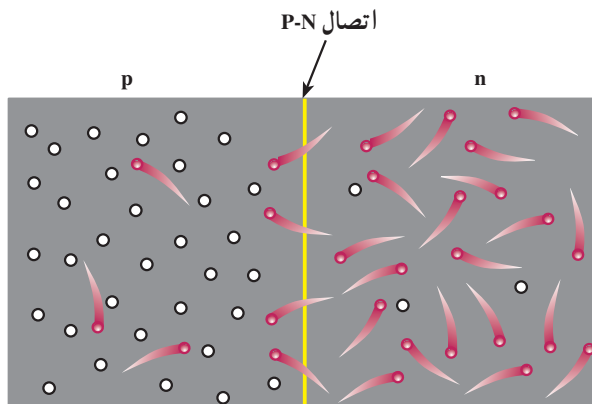
هرگاه به اتصال P-N ولتاژی اعمال کنیم گوییم آن را «بایاس» نموده‌ایم. بایاس کردن اتصال P-N به دو صورت «مستقیم» و «معکوس» انجام می‌گیرد:



شکل ۳-۱۵

### ۳-۱۶- اتصال P-N (دیود کریستالی)

هرگاه دو کریستال نیمه‌هادی نوع P و N به هم 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 این ترتیب، حفره‌هایی از بین می‌روند و الکترون‌های آزاد به صورت الکترون‌های ظرفیت درمی‌آیند. در شکل ۳-۱۶ ترکیب الکترون‌ها با حفره‌ها نشان داده شده است.

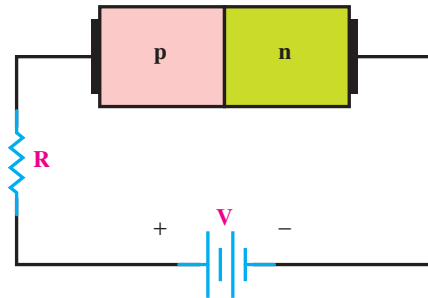


شکل ۳-۱۶

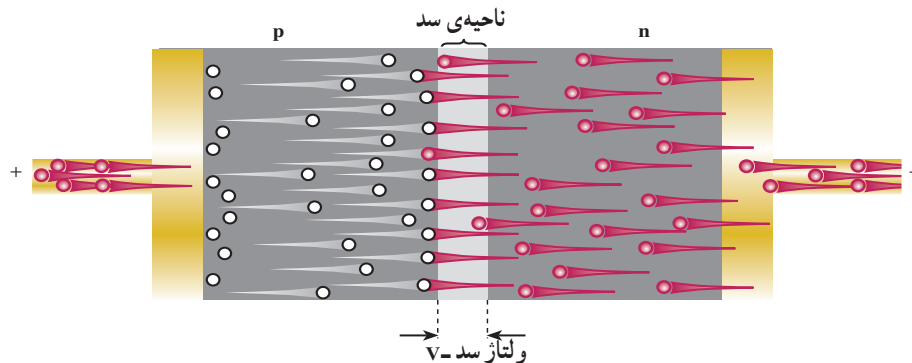
عبور یک الکترون از محل اتصال سبب ایجاد یک جفت یون می‌شود، زیرا وقتی الکترونی از ناحیه‌ی N به ناحیه‌ی P وارد می‌شود، در ناحیه‌ی N یک اتم پنج‌ظرفیتی الکترونی را از دست می‌دهد و به یون مثبت تبدیل می‌شود و در مقابل، در ناحیه‌ی P یک اتم سه‌ظرفیتی الکترونی را دریافت می‌کند و سرانجام، به یون منفی تبدیل می‌شود؛ از این رو، این ترکیب مجدد الکترون‌ها با

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 به نظر می‌آید حفره‌ها در کریستال P در جهت خلاف حرکت الکترون‌ها حرکت می‌نمایند و جریانی را به وجود می‌آورند. در شکل ۳-۱۹ حرکت الکترون‌ها و حفره‌ها نشان داده شده است.

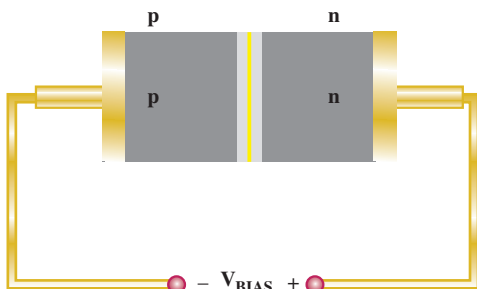
الف — بایاس مستقیم (بایاس موافق)<sup>۱</sup>: اگر قطب مثبت باتری را به نیمه‌هادی نوع P و قطب منفی باتری را به نیمه‌هادی نوع N وصل کنیم، این حالت اتصال ولتاژ را «بایاس مستقیم» یا «بایاس موافق» گویند. در شکل ۳-۱۸ این بایاس را مشاهده می‌کنید.



شکل ۳-۱۸



شکل ۳-۱۹



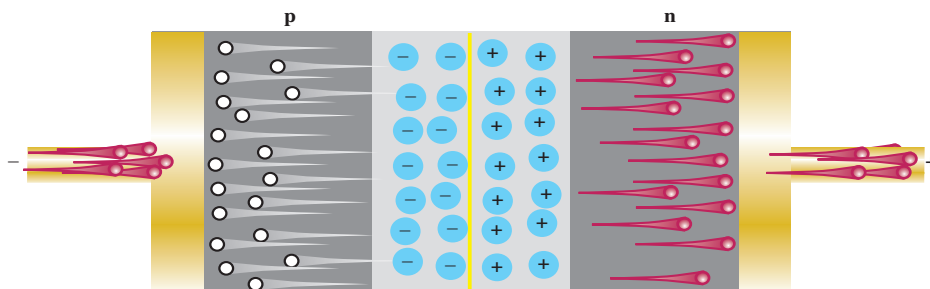
شکل ۳-۲۰

ب — بایاس معکوس (بایاس مخالف)<sup>۲</sup>: 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 ۳-۲۰ این حالت نشان داده شده است.

<sup>۱</sup> — Forward Bias

<sup>۲</sup> — Reverse Bias

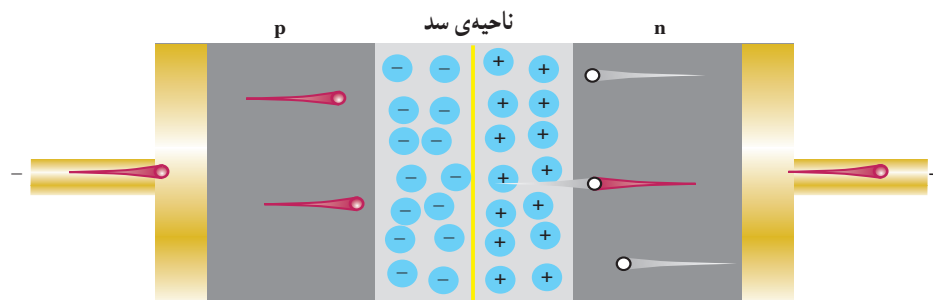
در این حالت قطب منفی باتری حفره‌ها را به سمت خود می‌کشد؛ هم‌چنین قطب مثبت باتری الکترون‌های آزاد را به سمت خود جذب می‌کند و به این ترتیب، حفره‌ها و الکترون‌های آزاد از ناحیه‌ی اتصال دور می‌شوند و عرض لایه‌ی تخلیه زیاد می‌شود. در شکل ۳-۲۱ این حالت نشان داده شده است.



ناحیه‌ی سد

شکل ۳-۲۱

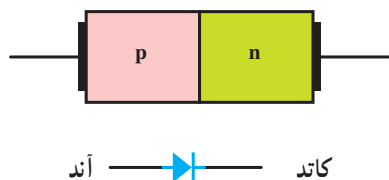
با دور شدن الکترون‌ها و حفره‌ها از منطقه‌ی تخلیه، پتانسیل سد در لایه‌ی تخلیه افزایش می‌یابد و هنگامی که ولتاژ معکوس اعمال شده و پتانسیل سد ناحیه تخلیه با هم برابر شدند عمل دور شدن الکترون‌ها و حفره‌ها متوقف می‌شود. در شکل ۳-۲۲ این حالت نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۲

### ۳-۱۸ علامت اختصاری و شکل ظاهری دیود معمولی

در شکل ۳-۲۳ ساختمان کریستالی و علامت اختصاری یک دیود معمولی نشان داده شده است.

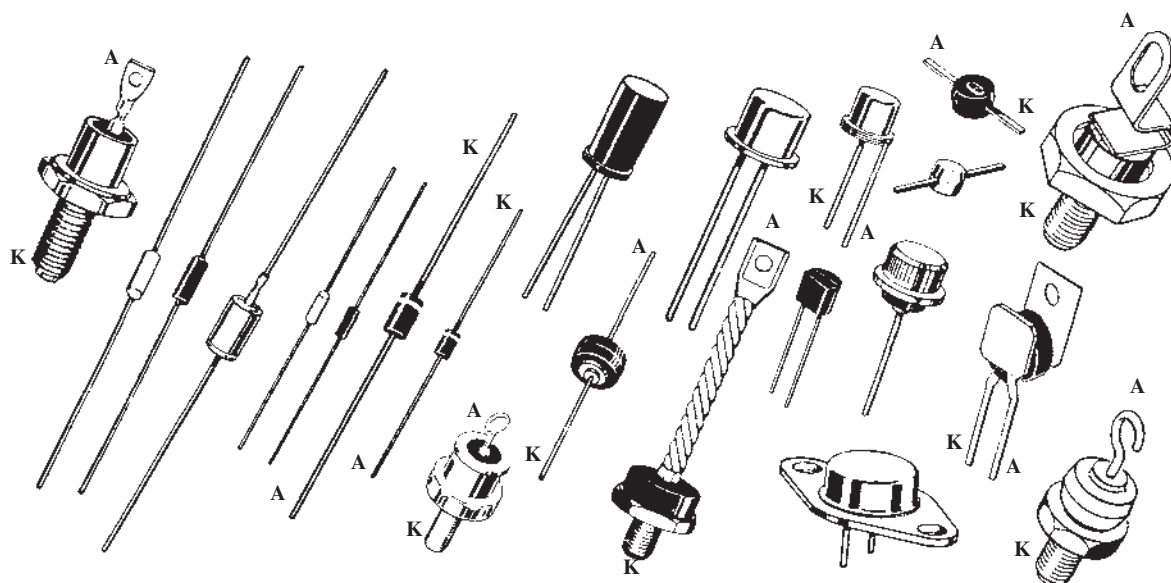


شکل ۳-۲۳

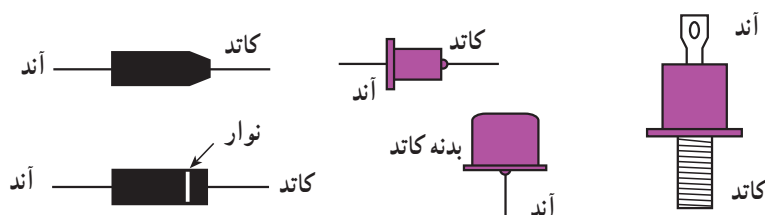
با بزرگ شدن ناحیه‌ی تخلیه جریان حامل‌های اکثریت صفر می‌شود. به دلیل انرژی حرارتی، حامل‌های اقلیت ایجاد شده در دو کریستال P و N از محل اتصال عبور می‌کنند و جریان ضعیفی را ایجاد می‌نمایند که به آن «جریان اشباع معکوس» یا «نشتی» می‌گویند. این جریان در درجه‌ی حرارت معین ثابت است و بستگی به ولتاژ معکوس ندارد، 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.

می‌کند. در شکل ۳-۲۴ شکل ظاهری چند دیود را مشاهده می‌کنید. در شکل ۳-۲۵ پایه‌های آند و کاتد از روی شکل ظاهری نشان داده شده است.

نیمه‌هادی نوع P «آند» و نیمه‌هادی نوع N «کاتد» نام دارد. همان‌گونه که دیده می‌شود علامت اختصاری دیود مانند یک پیکان از سمت آند به جانب کاتد بوده که معرف این نکته است که جریان قراردادی به راحتی از سمت آند به کاتد عبور



شکل ۳-۲۴

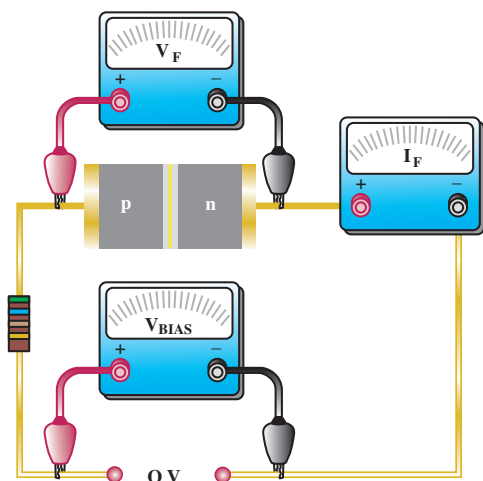


شکل ۳-۲۵

### ۳-۱۹- منحنی مشخصه‌ی ولت آمپر دیود در بایاس مستقیم

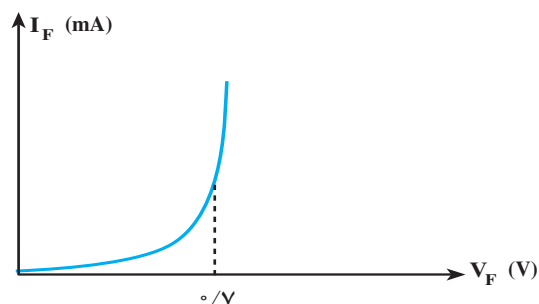
مستقیم

اگر به دو سر دیود ولتاژی به صورت بایاس مستقیم وصل کنیم و ولتاژ باتری را از صفر ولت افزایش دهیم و جریان عبوری از دیود را به وسیله‌ی میلی آمپر متری اندازه بگیریم، در ابتدا که ولتاژ صفر بوده جریان عبوری از دیود نیز صفر است (شکل ۳-۲۶).



شکل ۳-۲۶

در شکل ۳-۲۹ منحنی ولت آمپر در بایاس موافق نشان داده شده است.



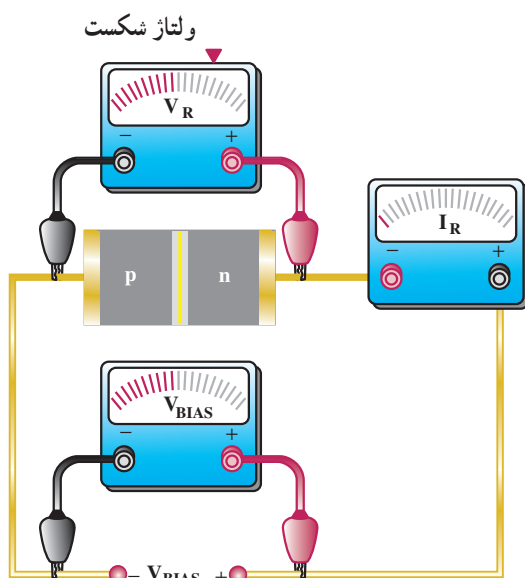
شکل ۳-۲۹

### ۳-۲۰- منحنی مشخصه‌ی ولت آمپر دیود در بایاس معکوس

اگر دیود را به طور 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 به سرعت افزایش می‌یابد و دیود آسیب می‌بیند.

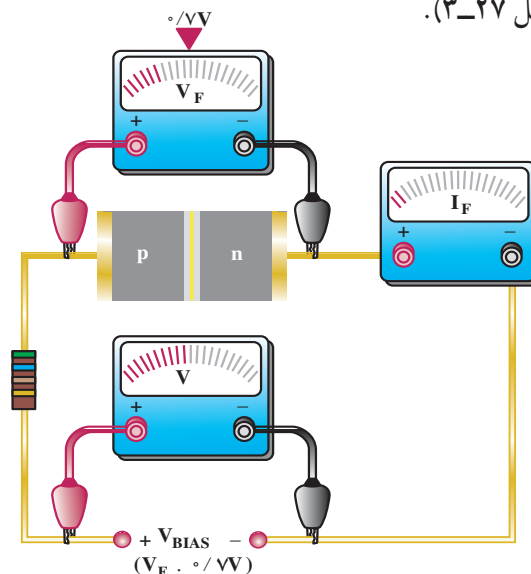
در شکل ۳-۳۰ ولتاژ بایاس مخالف که کم‌تر از ولتاژ شکست است نشان داده شده است.

سؤال: چرا در شکل ۳-۳۰ از مقاومتی مانند مدار شکل ۳-۲۸ استفاده نشده است؟



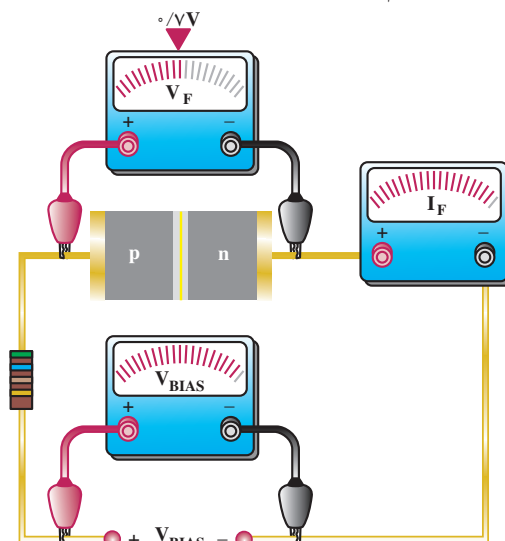
شکل ۳-۳۰

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 ۳-۲۷).



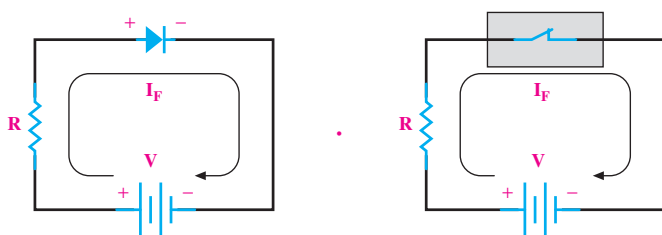
شکل ۳-۲۷

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 در نتیجه مقاومت معادل دیود کم می‌شود و سرانجام جریان عبوری از دیود به طور ناگهانی افزایش می‌یابد. برای محدود کردن جریان عبوری از دیود لازم است مقاومتی را با دیود سری کنیم (شکل ۳-۲۸).



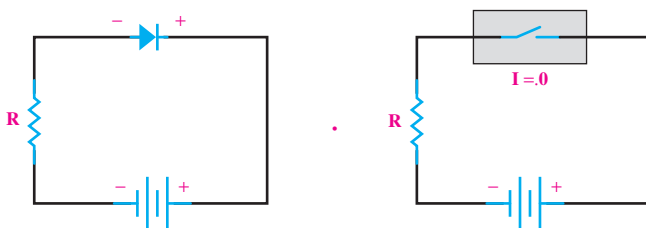
شکل ۳-۲۸

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 ۳-۳۳ دیود ایده‌آل در بایاس موافق نشان داده شده است. مقاومت  $R$  در مدار به عنوان محدود کننده جریان به کار رفته است.



شکل ۳-۳۳

هم‌چنین در شکل ۳-۳۴ معادل دیود ایده‌آل در بایاس مخالف نشان داده شده است:

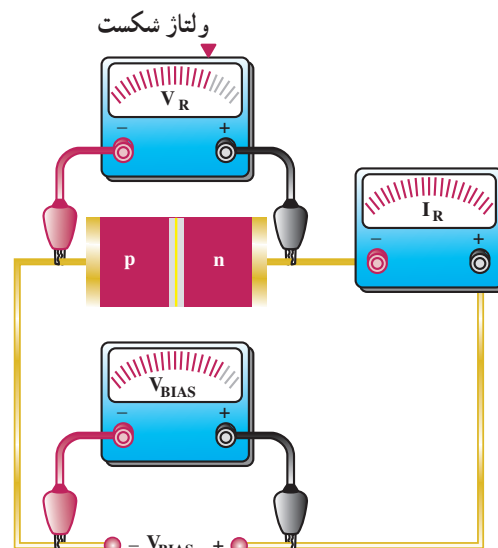


شکل ۳-۳۴

## ۳-۲۲- تشخیص آند و کاتد و سالم بودن دیود به وسیله‌ی اهم‌متر

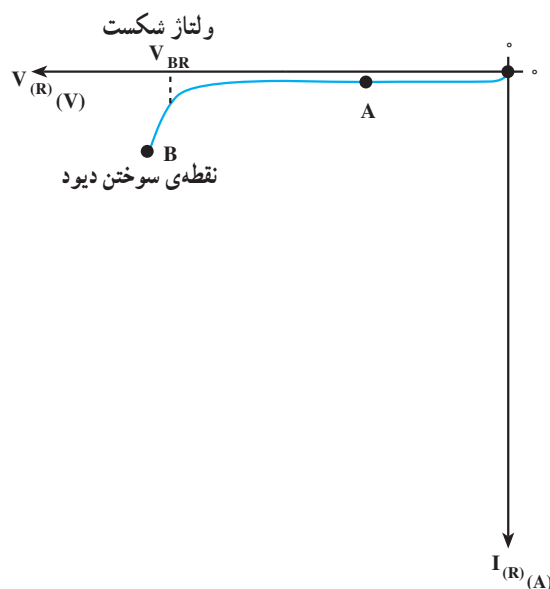
۳-۲۲-۱- استفاده از اهم‌متر عقربه‌ای: اگر اهم‌متر عقربه‌ای را به دو سر دیود وصل کرده و اهم آن را اندازه بگیرید، سپس اتصال دیود را برعکس کرده مجدداً اهم آن را اندازه بگیرید در یک حالت اهم‌متر، اهم کم و در حالت دیگر اهم‌متر، اهم زیاد را نشان می‌دهد واضح است در حالت اهم کم دیود به وسیله‌ی باتری داخلی اهم‌متر در بایاس مستقیم قرار گرفته است

در شکل ۳-۳۱ 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 ۳-۳۱

در شکل ۳-۳۲ منحنی مشخصه‌ی ولت‌آمپر دیود در گرایش معکوس نشان داده شده است.



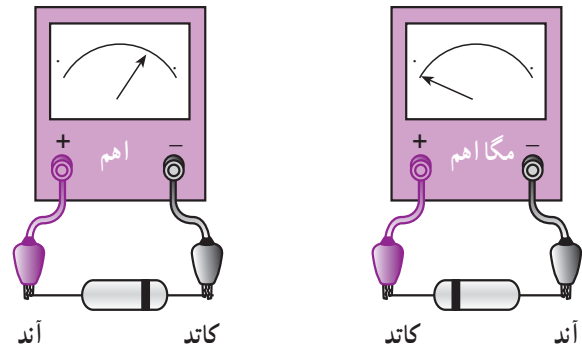
شکل ۳-۳۲

## ۳-۲۱- بررسی دیود در حالت ایده‌آل

چون دیود در بایاس مستقیم جریان را به راحتی عبور می‌دهد و در بایاس معکوس جریان بسیار ناچیز از دیود عبور



و در حالتی که اهم متر اهم زیاد را نشان می دهد دیود در بایاس معکوس قرار گرفته است که اصطلاحاً گفته می شود: «دیود از یک طرف راه می دهد و از طرف دیگر راه نمی دهد». در شکل ۳-۳۵ این دو حالت نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۵



شکل ۳-۳۶

اگر دیود در بایاس مخالف قرار گیرد، مولتی متر ولتاژ بایاس مخالف اعمال شده به وسیله ی دستگاه را در دو سر دیود نشان می دهد. این ولتاژ ممکن است ۱/۵ تا ۳ ولت باشد. در شکل ۳-۳۷ این حالت را مشاهده می کنید.



شکل ۳-۳۷

در حالتی که اهم متر اهم کم را نشان می دهد مثبت واقعی اهم متر به آند دیود و منفی واقعی اهم متر به کاتد دیود اتصال دارد. به این ترتیب، می توان آند و کاتد دیود را تعیین نمود. البته مقدار مقاومتی که اهم متر نشان می دهد به انتخاب کلید سلکتور اهم متر بستگی دارد.

اگر دیود معیوب باشد، ممکن است قطع شده باشد؛ در این صورت، در هر دو حالت اتصال اهم متر، اهم متر اهم بی نهایت را نشان می دهد. اگر دیود معیوب اتصال کوتاه شده باشد، در هر دو حالت اتصال اهم متر، اهم متر اهم صفر را نشان می دهد.

## ۲-۲۲-۳ استفاده از مولتی متر دیجیتالی: اغلب

مولتی مترهای دیجیتالی دارای وضعیت تست دیود هستند. هرگاه کلید سلکتور مولتی متر دیجیتالی را در وضعیت تست دیود قرار دهیم و دیود به وسیله ی مولتی متر در بایاس موافق قرار بگیرد مولتی متر دیجیتالی ولتاژ بایاس دیود را نشان می دهد که این ولتاژ برای دیودهای سیلیکونی حدود ۰/۷ ولت و برای دیودهای از جنس ژرمانیم حدود ۰/۲ ولت است. شکل ۳-۳۶ این حالت را نشان می دهد.

اگر دیود اتصال کوتاه باشد در هر دو وضع اتصال مولتی متر به دیود روی صفحه‌ی دستگاه ولتاژ صفر نشان داده خواهد شد. در شکل ۳۸-۳ این حالت نشان داده شده است.

پس در حالتی که مولتی متر ولتاژ بایاس موافق دیود را نشان می‌دهد، سیم منفی (سیم مشترک یا Com) روی کاتد و سیم مثبت به آن دیود وصل است. اگر دیود ناسالم و قطع باشد، در هر دو وضع اتصال مولتی متر به دیود، روی صفحه‌ی آن ولتاژ باتری داخلی نشان داده می‌شود. در شکل ۳۸-۳ این دو حالت دیده می‌شود.



شکل ۳۸-۳



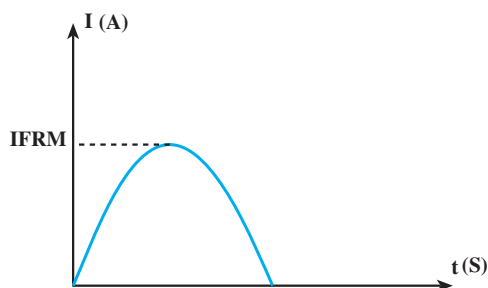
شکل ۳۹-۳

## ۲۳-۳- مقادیر حد در دیود

دیود را روی گرماگیر نصب نمود (کارخانه‌ی سازنده، نصب روی گرماگیر را مشخص می‌سازد).

### ۳-۲۳-۳- حداکثر جریان بایاس مستقیم تکراری

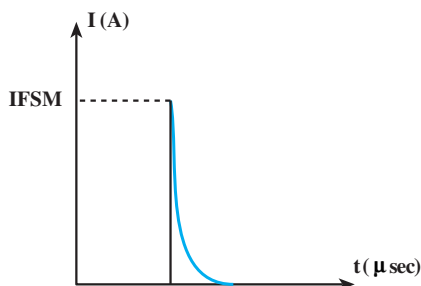
(IFRM)<sup>۵</sup>: حداکثر جریانی است که به صورت تکرار سیکل‌ها در گرایش مستقیم می‌تواند از دیود عبور کند. در شکل ۳-۴۰ این جریان را مشاهده می‌کنید.



شکل ۳-۴۰

### ۳-۲۳-۴- حداکثر جریان لحظه‌ای (IFSM)<sup>۶</sup>:

حداکثر جریانی که در زمان بسیار کوتاه (حدود چند میکروثانیه) می‌تواند از دیود عبور کند؛ به گونه‌ای که به دیود آسیب نرسد، «IFSM» نام دارد. در شکل ۳-۴۱ این جریان نشان داده شده است.



شکل ۳-۴۱

برخی از کمیت‌های 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:

### ۳-۲۳-۱- حداکثر ولتاژ معکوس: حداکثر ولتاژی

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

#### الف- ولتاژ معکوس (VR)<sup>۱</sup>: حداکثر ولتاژ DC

اعمال‌شده به دو سر دیود در بایاس معکوس که دیود می‌تواند تحمل کند، VR نام دارد.

#### ب- ماکزیمم ولتاژ معکوس تکرار سیکل‌ها

(VRRM)<sup>۲</sup>: حداکثر ولتاژ معکوس که به صورت تکرار سیکل‌ها در دو سر دیود قرار می‌گیرد؛ به گونه‌ای که دیود آسیب نبیند «VRRM» نام دارد.

#### ج- ولتاژ معکوس قابل تحمل در وضعیت کار

عادی (VRWM)<sup>۳</sup>: حداکثر ولتاژ معکوس در وضعیت کار عادی VRWM نام دارد.

### ۳-۲۳-۲- حداکثر جریان مستقیم (IF)<sup>۴</sup>: حداکثر

جریان DC یا متوسط که می‌توان از دیود در گرایش مستقیم عبور داد؛ به گونه‌ای 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 به خوبی دفع نشود باید

۱- VR = Reverse voltage

۲- VRRM = Peak Repeatative Reverse voltage

۳- VRWM = Working Peak Reverse Voltage در حال کار

۴- IF = Forward current

۵- IFRM = Maximum Repeatative Peak forward current

۶- IFSM = Maximum Surge current

در جدول ۳-۱ یکی از برگه داده‌های دیود را مشاهده

می‌کنید.

جدول ۳-۱

TYPE	Manufacturer	Germanium Cllicon	$V_R$	$I_F$	$I_{FRM}$	$T_j$	$R_{thj-a}$	$I_F$	$V_F$	$C_D$	$V_R$	$t_{rr}$	$I_F$	$V_R$	$R_L$	USE	CASE
			V	mA	mA	C	C/W	mA	V	pF	V	sec	mA	V	$\Omega$		
1N91	$G_e$	G	۶۵	۱۵۰	۲۵A	۱۰۵		۱۰۰	۰.۳۸							۸	شکل ظاهری و ابعاد دیود
شماره دیود																	
نام کارخانه‌ی سازنده																	
جنس دیود																	کاربرد
سیلیسیم S																	
ژرمانیم G																	
ماکزیمم ولتاژ معکوس مجاز																	مقاومت بار و ولتاژ معکوس و ولتاژ معکوس و جریان عبوری از مدار به‌ازای زمان بازیابی دیود این مقدار ولتاژ معکوس ظرفیت خازن محل اتصال PN به ازای مقدار ولتاژ معکوس ردیف بالا افت ولتاژ دوسر دیود به وجود می‌آید.
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 به وجود می‌آید.																	

توجه: نیازی نیست هنجریان اعداد و اصطلاحات جدول‌های ۳-۱ و ۳-۲ را به خاطر بسپارند.

در جدول ۳-۲ بعضی داده‌های دیودهای معمولی ۱N۴۰۰۱ تا ۱N۴۰۰۷ آورده شده است.

جدول ۳-۲

واحد	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	حروف اختصاری	
ولت V	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	$V_{RRM}$ $V_{RWM}$ $V_R$	حداکثر ولتاژ معکوس تکراری حداکثر ولتاژ معکوس در حال کار حداکثر ولتاژ معکوس DC
ولت V	۶۰	۱۲۰	۲۴۰	۴۸۰	۷۲۰	۱۰۰۰	۱۲۰۰	$V_{RSM}$	ولتاژ ماکزیمم معکوس غیر تکراری
ولت V	۳۵	۷۰	۱۴۰	۲۸۰	۴۲۰	۵۶۰	۷۰۰	$V_{R(rms)}$	ولتاژ معکوس مؤثر
آمپر A	۱/۰							$I_F$	معدل جریان یکسو شده در بایاس موافق در درجه حرارت محیط $T_A = 25^\circ C$
آمپر A	۳۰ (for 1 cycle)							$I_{FSM}$	حداکثر جریان لحظه‌ای غیر تکراری
C درجه سانتی‌گراد	-۶۵ to +۱۷۵							$T_j$	درجه حرارت پیوند

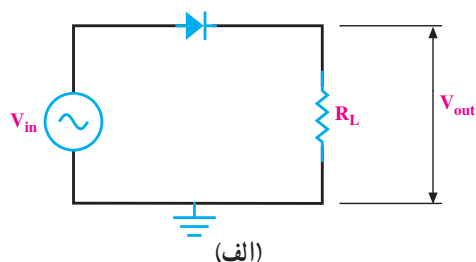
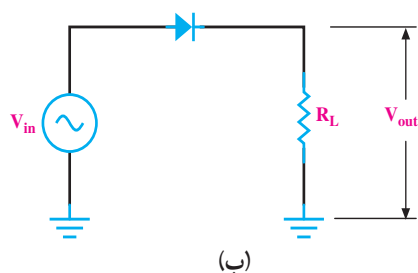
### ۳-۲۴ کاربرد دیود به عنوان یک سو ساز

«مدارهای یک سو کننده دیودی» مدارهایی هستند که ولتاژ متناوب را به یک ولتاژ مستقیم (یک طرفه) تبدیل می نمایند، زیرا دیود از یک طرف جریان را عبور می دهد و از جهت دیگر، جریان قطع است. عناصر اصلی مدارهای یک سو کننده دیود است. به طور کلی سه نوع یک سو کننده ی تک فاز وجود دارد.

#### ۳-۲۴-۱ یک سو کننده ی نیم موج: ساده ترین

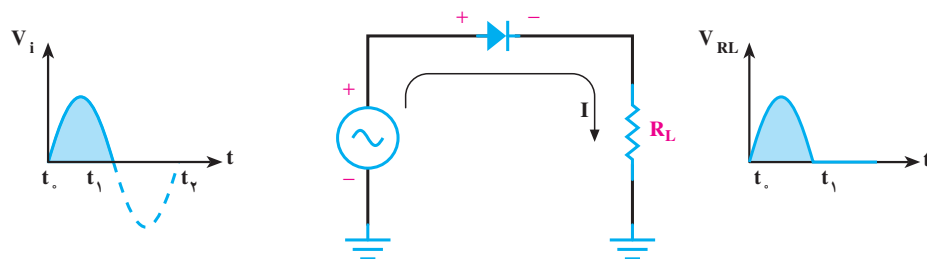
مداری که به کمک آن می توان جریان متناوب را به جریان یک طرفه تبدیل نمود یک سو کننده ی نیم موج است. در شکل ۳-۴۲ الف مدار یک سو کننده ی نیم موج نشان داده شده است.

علامت  $\equiv$  نشانه ی اتصال زمین است. تمام اتصال زمین ها در یک مدار به وسیله ی خطوط ارتباطی به هم وصل هستند. پس شکل ۳-۴۲ الف را می توان به صورت شکل ۳-۴۲ ب نیز رسم کرد.



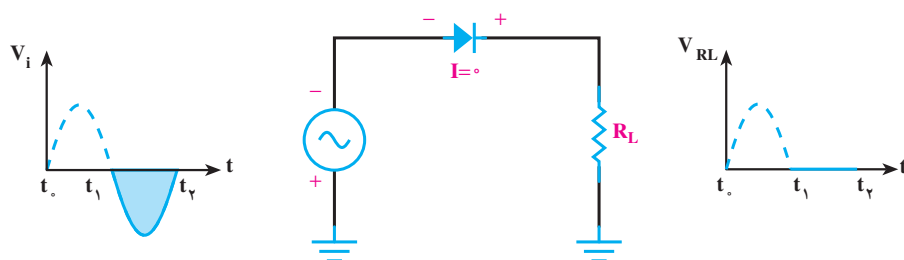
شکل ۳-۴۲

۲-۲۴-۳- طرز کار یک سوکننده‌ی نیم‌موج: با توجه به شکل ۳-۴۳ در زمان  $t_0$  تا  $t_1$  یعنی در نیم سیکل مثبت موج ورودی، آند دیود نسبت به کاتد 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 ۳-۴۳).

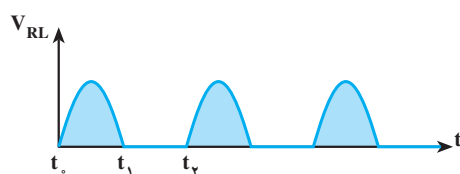


شکل ۳-۴۳

در زمان  $t_1$  تا  $t_2$  دیود در گرایش معکوس قرار دارد و ولتاژی پدید نمی‌آید (شکل ۳-۴۴). به‌طور کلی شکل موج دوسر جریانی عبوری از دیود صفر است؛ از این‌رو در دو سر بار افت بار مانند شکل ۳-۴۵ است.

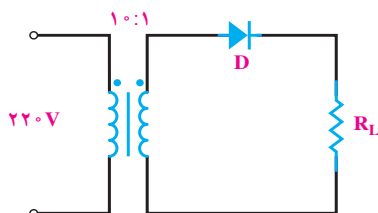


شکل ۳-۴۴



شکل ۳-۴۵

۳-۴۶ مدار یک سوکننده‌ی نیم‌موج را با ترانسفورماتور مشاهده معمولاً برای تولید موج یک‌سو شده از برق شهر (از یک ترانسفورماتور) استفاده می‌کنند. ترانسفورماتور به کاررفته معمولاً کاهنده است تا برق شهر را به ولتاژی کم‌تر تبدیل کند. در شکل

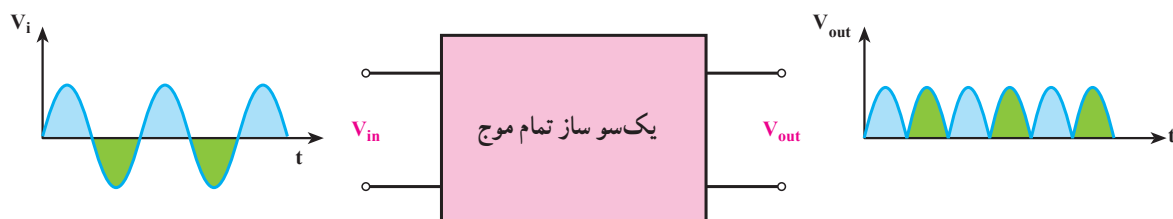


شکل ۳-۴۶

### ۳-۲۵- یک سوساز تمام موج

سیکل از بار جریان عبور می‌کند. در شکل ۳-۴۷ بلوک دیاگرام مدار یک سوساز تمام موج به همراه شکل موج‌های ورودی و خروجی آن نشان داده شده است.

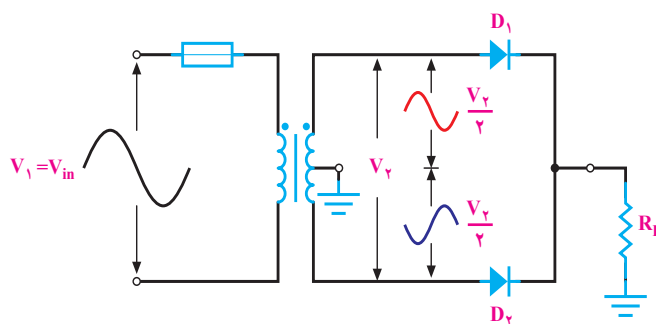
در یک سوساز تمام موج بر خلاف یک سوساز نیم موج که فقط در یک نیم سیکل جریان از بار عبور می‌کند - در تمام



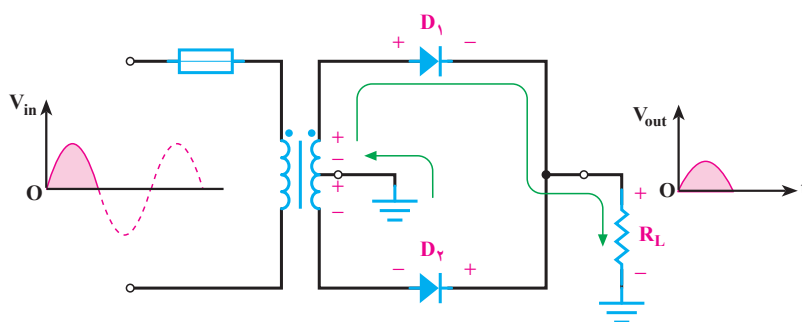
شکل ۳-۴۷

را نشان می‌دهد. در نیم سیکل 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 ۳-۴۹ از دیود  $D_1$  عبور کرده و در دو سر  $R_L$  افت ولتاژی به وجود می‌آورد.

یک سوساز تمام موج به دو صورت طراحی می‌شود. ۳-۲۵-۱- یک سوساز تمام موج با ترانس سروسط: شکل ۳-۴۸ تصویری از مدار یک سوساز تمام موج با ترانس سروسط و شکل موج سرهای ثانویه نسبت به سروسط



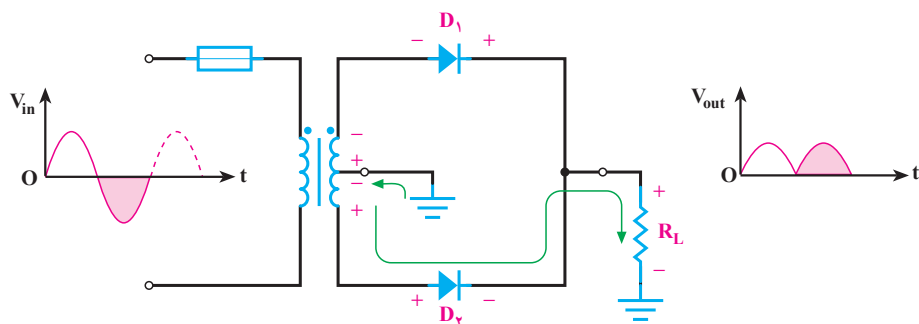
شکل ۳-۴۸



شکل ۳-۴۹

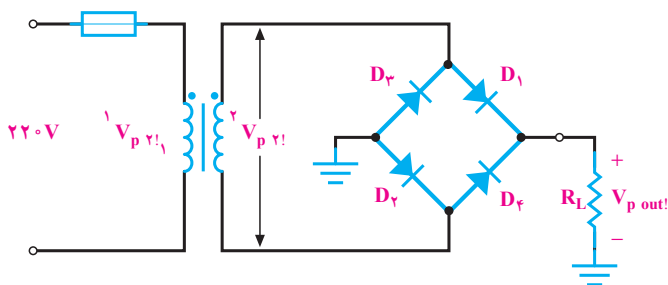


در نیم سیکل بعدی آند دیود  $D_1$  منفی و آند دیود  $D_2$  مثبت است؛ از این رو دیود  $D_1$  قطع و دیود  $D_2$  وصل است و در نتیجه شکل موج ولتاژ دوسر بار یک سو شده می باشد. جریان مطابق شکل ۳-۵۰ از دیود  $D_2$  و بار  $R_L$  عبور می کند.



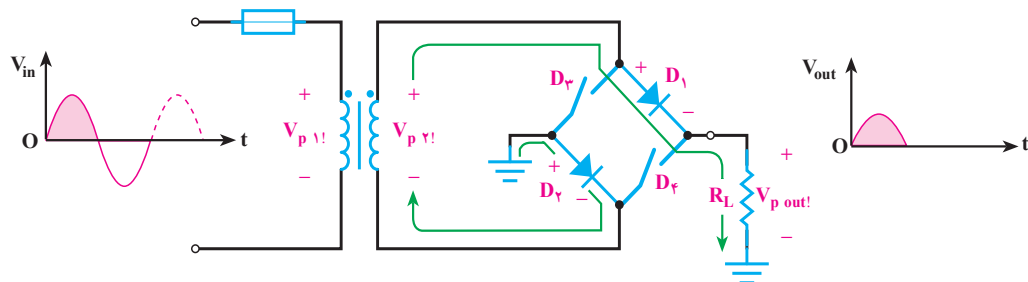
شکل ۳-۵۰

۳-۲۵-۲ یک سوساز تمام موج پُل: مدار یک سوساز تمام موج پل مطابق شکل ۳-۵۱ است.



شکل ۳-۵۱

در نیم سیکل اول دیودهای  $D_1$  و  $D_2$  وصل و دیودهای  $D_3$  و  $D_4$  قطع هستند (شکل ۳-۵۲).

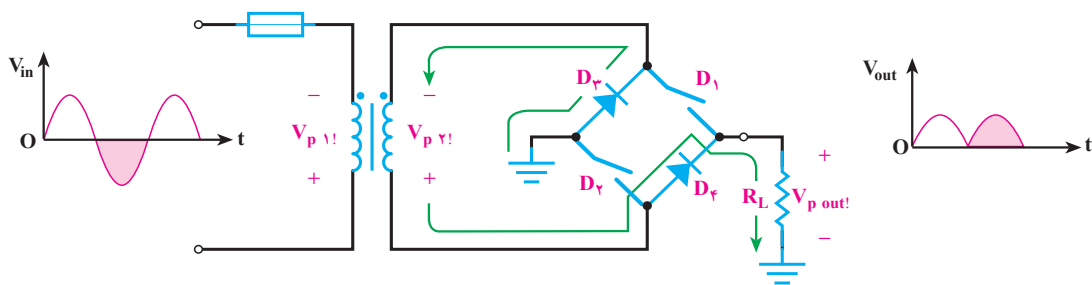


شکل ۳-۵۲

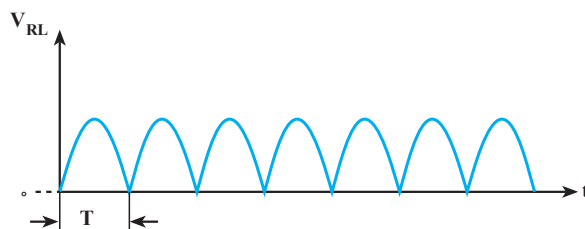
۱- منظور از  $V_{P(1)}$  ماکزیمم (پیک) ولتاژ اولیه ترانسفورماتور است.

۲- منظور از  $V_{P(1)}$  ماکزیمم (پیک) ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور است.  $V_p = \text{Peak Voltage}$

جریان مطابق شکل از دیودها و بار  $R_L$  می‌گذرد. در  $D_3$  و  $D_4$  و بار  $R_L$  می‌گذرد. از این رو شکل موج دوسر بار نیم‌سیکل دوم دیودهای  $D_1$  و  $D_2$  قطع و دیودهای  $D_3$  و  $D_4$  به صورت شکل ۳-۵۳- ب است. وصل هستند و جریان مطابق شکل ۳-۵۳- الف از دیودهای



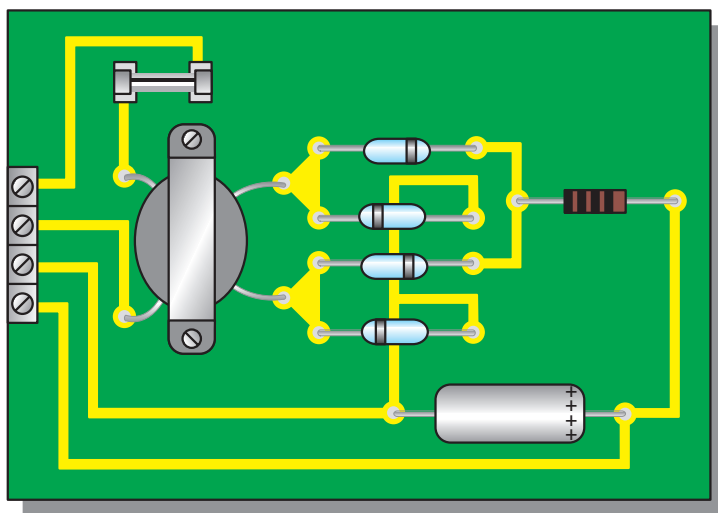
(الف)



(ب)

شکل ۳-۵۳

در شکل ۳-۵۴ برد مدارچاپی یک‌سوساز تمام موج پل (فیوز) در اندازه‌ی واقعی نشان داده شده است. به همراه سایر قطعات آن (ترانس، خازن صافی، مقاومت بار و



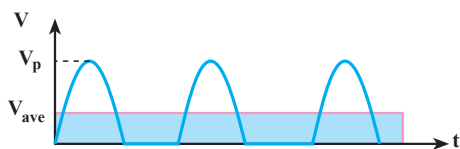
شکل ۳-۵۴

به دست می‌آید. در یک‌سوساز تمام موج میانگین ولتاژ دوبرابر یک‌سوساز نیم موج است:

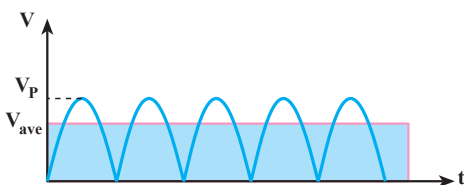
$$V_{ave} = \frac{2V_P}{\pi} = 0.636 V_P$$

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

در شکل ۳-۵۶ و ۳-۵۷ میانگین ولتاژ دو سربار یک‌سو شده نیم موج و تمام موج را ملاحظه می‌کنید.



شکل ۳-۵۶ میانگین ولتاژ دوسر بار یک‌سوساز نیم موج

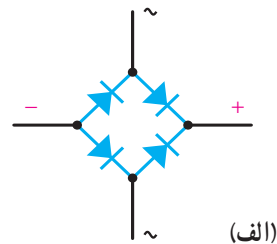


شکل ۳-۵۷ میانگین ولتاژ دوسر بار یک‌سوساز تمام موج

### ۳-۲۷ حداکثر ولتاژ معکوس دوسر هر دیود (PIV)<sup>۱</sup>

در مدارهای یک‌سوساز، در نیم‌سیکلی که دیود قطع است حداکثر ولتاژی که در دو سر دیود افت می‌کند «PIV» نام دارد. در جدول ۳-۴ مدار سه نوع یک‌سوسازی به همراه 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.

۳-۲۵-۳ یک‌سوساز تمام موج پل به صورت مدار مجتمع: در شکل ۳-۵۵ الف و ب نمای ظاهری و مدار داخلی یک‌سوساز پل و در تصویر ۳-۵۵ ج مدار یک‌سوساز پل به صورت مدار مجتمع نشان داده شده است.



(ب)



(ج)

شکل ۳-۵۵

### ۳-۲۶ میانگین ولتاژ دوسر بار در یک‌سوسازی

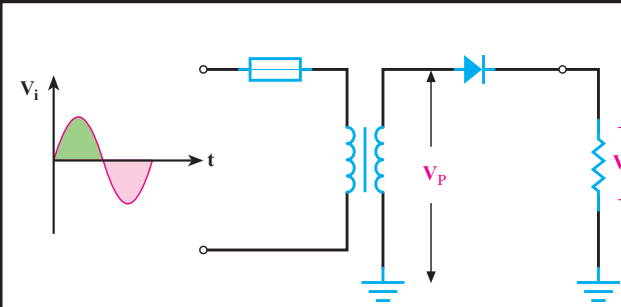
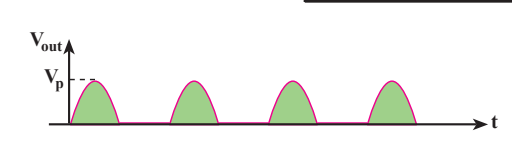
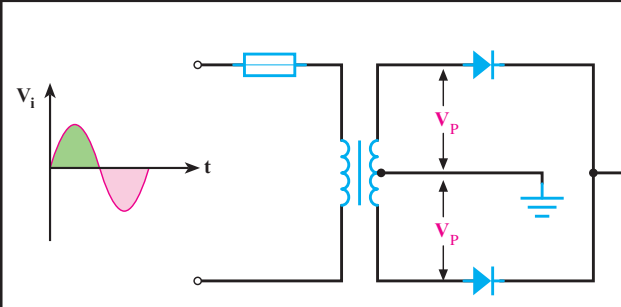

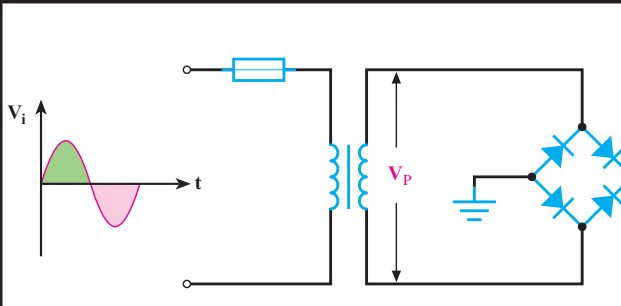

اگر به وسیله‌ی ولت متر DC ولتاژ دوسر بار را اندازه بگیریم، ولت متر میانگین ولتاژ را نشان می‌دهد. میانگین ولتاژ در

$$V_{ave} = \frac{V_P}{\pi} = 0.318 V_P$$

یک‌سوساز نیم موج از رابطه‌ی

<sup>۱</sup> - PIV = Peak inverse voltage حداکثر ولتاژ معکوس

جدول ۳-۴

 <div data-bbox="261 572 631 735"> <math display="block">V_{out} = V_{dc} = V_{ave} = \frac{V_p}{\pi}</math> <math display="block">PIV = V_p</math> </div>	<p>یک سوساز نیم موج</p> <p>شکل موج خروجی</p> 
 <div data-bbox="261 1103 631 1267"> <math display="block">V_{out} = V_{dc} = V_{ave} = \frac{2V_p}{\pi}</math> <math display="block">PIV = 2V_p</math> </div>	<p>یک سوساز تمام موج</p> <p>شکل موج خروجی</p> 
 <div data-bbox="261 1635 631 1798"> <math display="block">V_{out} = V_{dc} = V_{ave} = \frac{2V_p}{\pi}</math> <math display="block">PIV = V_p</math> </div>	<p>یک سوساز تمام موج پل</p> <p>شکل موج خروجی</p> 

۱-  $V_{(ave)} = V(\text{average})$  میانگین ولتاژ

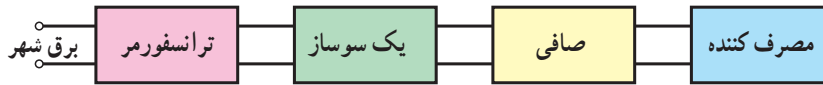
۲-  $V_p$  حداکثر ولتاژ ثانویه ترانس

۳-  $PIV = \text{Peak inverse voltage}$  حداکثر ولتاژ معکوس

### ۳-۲۸- یک سوساز با صافی

تغییر (بدون ضربان) نیاز دارند؛ از این رو، از صافی برای این منظور استفاده می‌کنیم. در شکل ۳-۵۸ بلوک دیاگرام یک منبع تغذیه با صافی نشان داده شده است.

ولتاژ به دست آمده از مدار یک سوساز نیم موج و تمام موج یک طرفه هستند، اما این موج‌ها تغییراتی نیز دارند. دستگاه‌های برقی و الکترونیکی برای تغذیه‌ی خود به ولتاژی DC و بدون

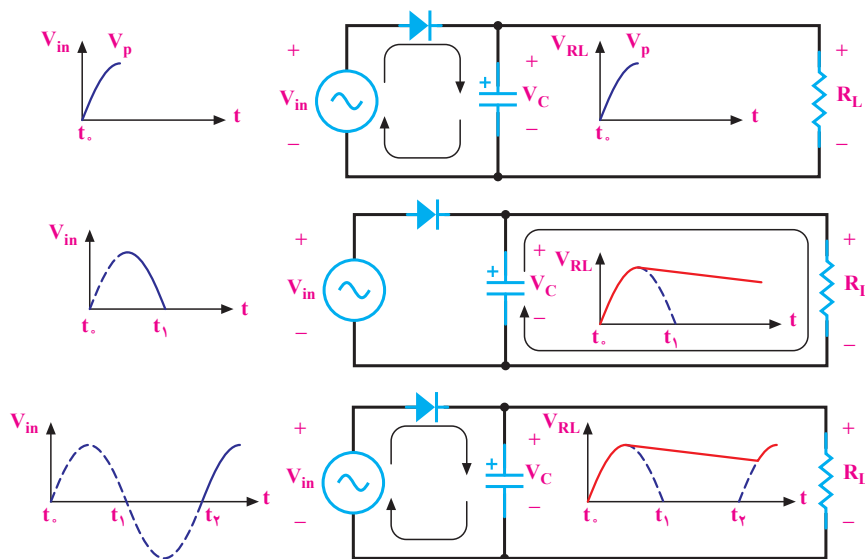


شکل ۳-۵۸

شکل موج دو سر بار در لحظات مختلف نشان داده شده است.

#### ۳-۲۸-۱- یک سوساز نیم موج با خازن صافی:

در شکل ۳-۵۹ مدار یک سوساز نیم موج با خازن صافی و

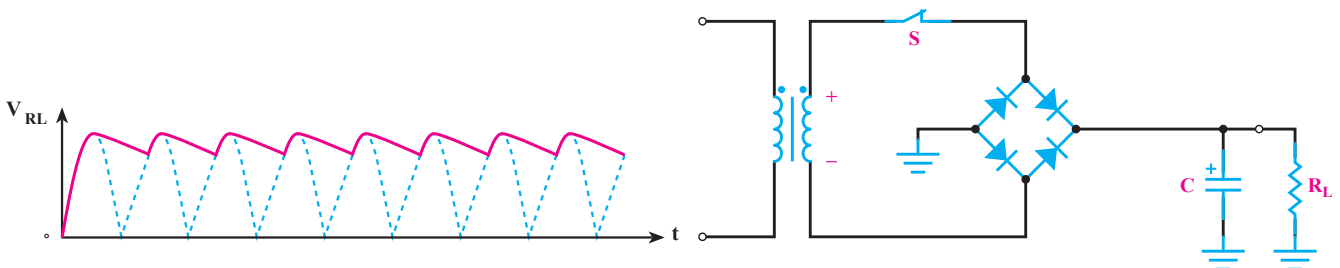


شکل ۳-۵۹

موج با خازن صافی نشان داده شده است و در شکل ۳-۶۱ نیز تصویر موج دوسر بار را مشاهده می‌کنید.

#### ۳-۲۸-۲- یک سوساز تمام موج پل با خازن

صافی (آداپتور): در شکل ۳-۶۰ مدار یک سوساز تمام

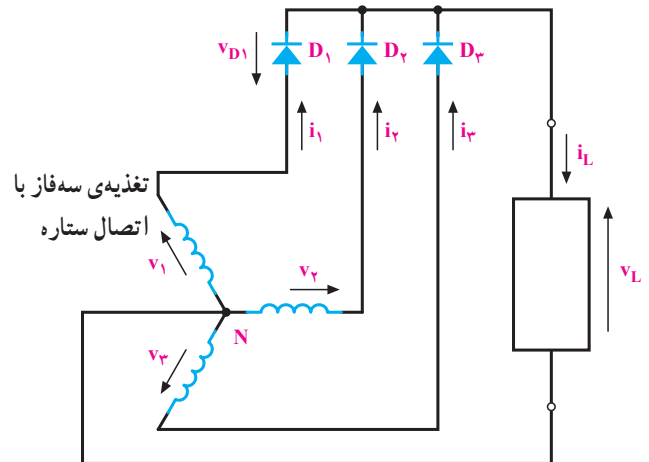


شکل ۳-۶۱

شکل ۳-۶۰

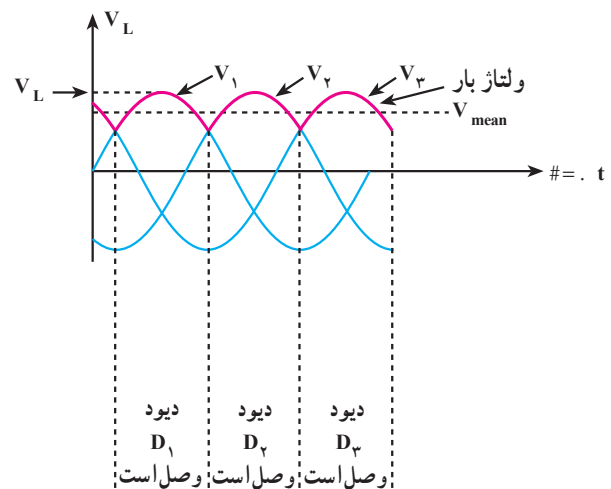
### ۳-۲۹- یک سوساز سه فازه

در یک سوسازی جریان‌های سه فازه نیز می‌بایست مشابه جریان‌های تک‌فاز در مسیر هر فاز از یک یا دو دیود استفاده کرد. شکل ۳-۶۲ مدار «یک‌سوساز سه فازه‌ی نیم موج» را نشان می‌دهد که در مسیر هر فاز آن از یک دیود استفاده می‌شود. در شبکه سه فازه، هر فاز در طی یک فاصله  $120^\circ$  درجه نسبت به دو فاز دیگر مثبت‌تر است. لذا در هر  $120^\circ$  درجه یک دیود وصل شده و جریان از طریق آن دیود از بار می‌گذرد.



شکل ۳-۶۲

در شکل ۳-۶۳ شکل موج ولتاژ هر فاز و شکل موج ولتاژ دو سر بار به همراه وضعیت هدایت دیود رسم شده است.



شکل ۳-۶۳

### ۳-۳۰- انواع دیودهای نیمه‌هادی

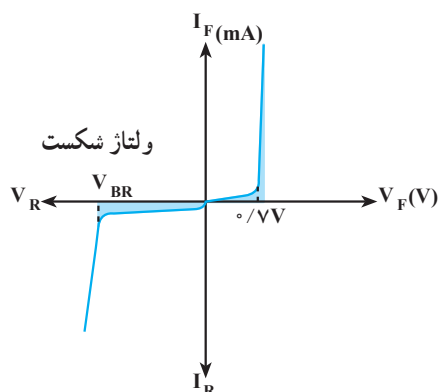
دیودهای نیمه‌هادی از لحاظ نوع کار، مشخصه و زمینه‌ی کاربرد دارای انواع مختلفی هستند. تعدادی از این انواع عبارت‌اند از: دیود اتصال نقطه‌ای، دیود زنر، دیود نوردهنده، دیود نوری، دیود خازنی، دیود تونلی و نظایر آن. به‌منظور استفاده‌ی خاص از جمله منابع تغذیه، دو نوع دیود زنر و دیود نوردهنده را تشریح می‌کنیم.

#### ۱- ۳-۳۰- 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.

#### ۲- ۳-۳۰- منحنی مشخصه‌ی ولت آمپر زنر: در

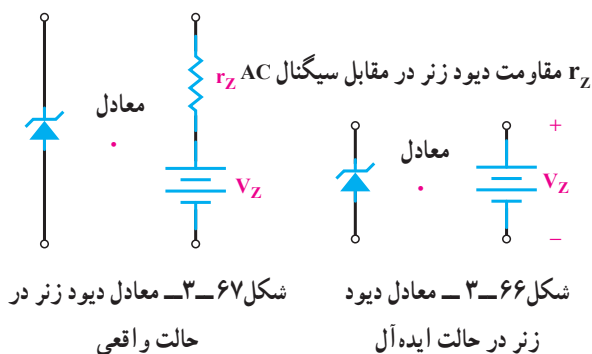
شکل ۳-۶۴ منحنی مشخصه‌ی ولت آمپر دیود زنر نشان داده شده است: در بایاس موافق مشخصه‌ی این دیود مانند یک دیود معمولی سیلیکنی است. در بایاس مخالف تا ولتاژ خاصی به نام ولتاژ شکست، جریان بسیار ناچیز نشستی از دیود می‌گذرد، اما در ولتاژ شکست جریان عبوری از دیود افزایش یافته و ولتاژ



شکل ۳-۶۴

بگذرد به گونه‌ای که به زنر آسیب نرساند، به توان زنر بستگی دارد. توان زنر از رابطه‌ی  $P_z = V_z \cdot I_z$  به دست می‌آید. هر دیود زنر برای توان ماکزیمم معینی ساخته می‌شود. این توان معمولاً از ۱۵۰ وات تا ۵۰ وات است. با مشخص بودن توان زنر و ولتاژ زنر حداکثر جریان عبوری از زنر از رابطه‌ی  $I_{z\max} = \frac{P_z}{V_z}$  به دست می‌آید.

**۳-۳-۶ مدار معادل دیود زنر:** اگر در ناحیه‌ی شکست، ولتاژ دو سر زنر را کاملاً ثابت در نظر بگیریم می‌توان یک دیود زنر را به گونه‌ی ایده‌آل، معادل یک باتری در نظر گرفت. در شکل ۳-۶۶ معادل ایده‌آل زنر را مشاهده می‌کنید. اما دیود زنر به صورت واقعی معادل یک مقاومت و یک ولتاژ DC که مقدارش مساوی با ولتاژ شکست زنر است. در شکل ۳-۶۷ معادل واقعی دیود زنر نشان داده شده است.

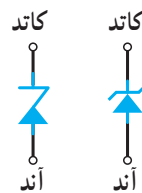


شکل ۳-۶۷ معادل دیود زنر در حالت واقعی

شکل ۳-۶۶ معادل دیود زنر در حالت ایده‌آل

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.

**۳-۳-۳ علامت اختصاری دیود زنر:** دیود زنر در مدارها به دو صورت مطابق شکل ۳-۶۵ نشان داده می‌شود.



شکل ۳-۶۵

**۳-۳-۴ استاندارد ولتاژهای زنر:** دیود زنر در ولتاژهای شکست مختلف مطابق استاندارد سری E ساخته می‌شود. دو سری استاندارد  $E_{12}$  و  $E_{24}$  متداول تر است. ولتاژ زنر معمولاً از ۲/۴ ولت تا ۲۰۰ ولت ساخته می‌شود. سری  $E_{12}$  دارای تolerانس ۱۰ درصد و سری  $E_{24}$  دارای تolerانس ۵ درصد است. معمولاً تolerانس همراه ولتاژ شکست روی دیود نوشته می‌شود. حرف C برای تolerانس ۵ درصد و حرف D برای تolerانس ۱۰ درصد به کار می‌رود؛ برای مثال دیود زنر BZX۳۲/C۳۷۹ دارای ولتاژ شکست ۳/۹ ولت و تolerانس ۵ درصد است.

**۳-۳-۵ توان زنر:** جریانی که در بایاس معکوس از دیود می‌گذرد، در محل اتصال P-N حرارت ایجاد می‌کند. حداکثر جریانی که ممکن است از دیود زنر در بایاس معکوس

مطالعه‌ی آزاد

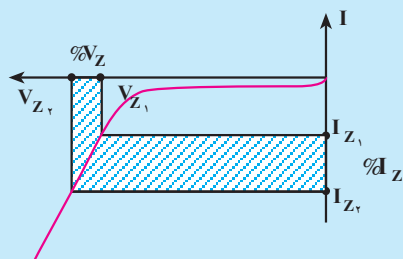
### مقاومت دینامیکی زنر

مقاومت دینامیکی زنر از رابطه‌ی  $r_z = \frac{\%V_z}{\%I_z}$  به دست

می‌آید. شکل ۳-۶۸ تصویری است از چگونگی محاسبه‌ی مقاومت دینامیکی زنر.

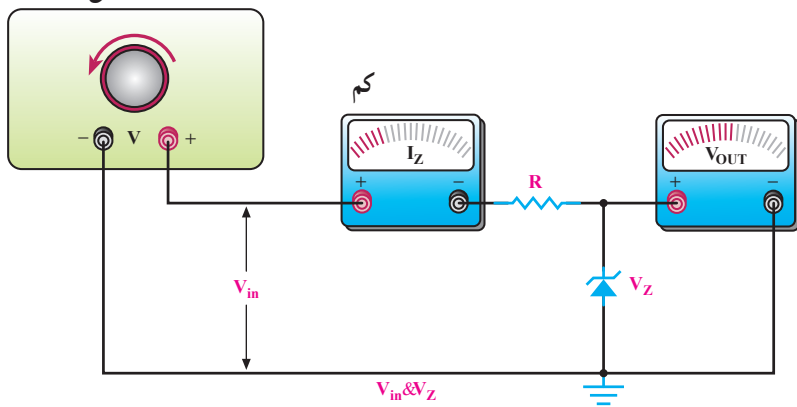
$$\%V_z = V_{zr} - V_{z1}$$

$$\%I_z = I_{zr} - I_{z1}$$





## منبع تغذیه‌ی DC

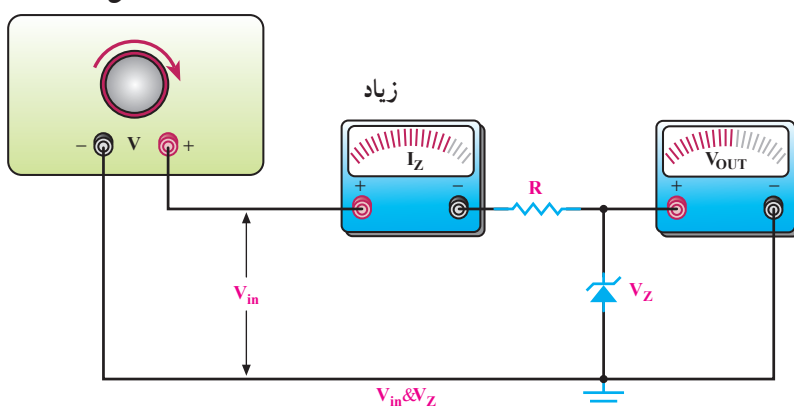


شکل ۶۹-۳

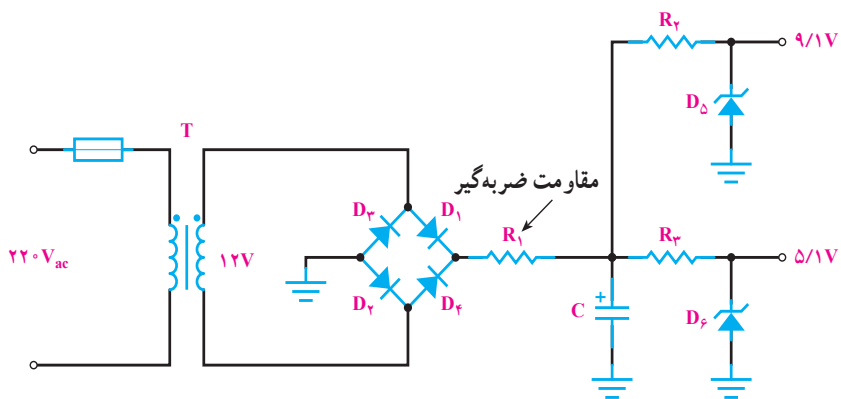
۷-۳۰-۳- کاربرد دیود زنر:

معمولی‌ترین کاربرد دیود زener 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 زener استفاده می‌کنیم. برای کنترل جریان زener مقاومتی را با آن سری می‌کنیم. در شکل ۳-۶۹ و ۳-۷۰ منظور از تثبیت ولتاژ نشان داده شده است.

## منبع تغذیه‌ی DC

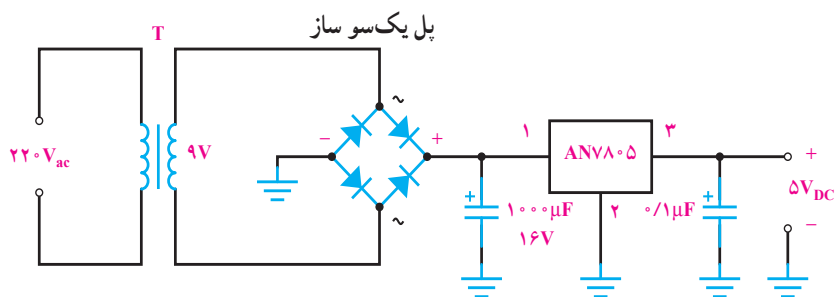


شکل ۷۰-۳

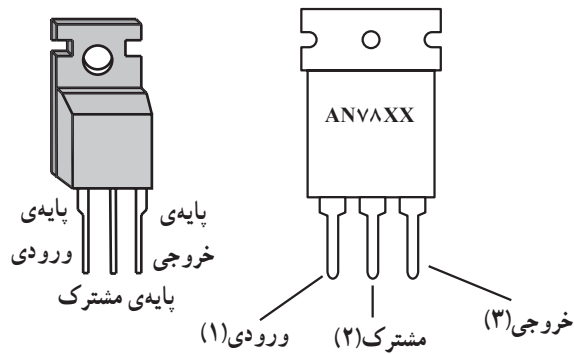


شکل ۷۱-۳

اگر منبع ولتاژ کم شود جریان زنر کم می شود، اما ولتاژ دو سر زنر ثابت می ماند. اگر منبع ولتاژ زیاد شود جریان زنر زیاد می شود، اما ولتاژ دو سر آن ثابت می ماند. البته لازم است برای تثبیت ولتاژ، ولتاژ منبع از ولتاژ شکست زنر بیش تر باشد تا دیود زنر در ناحیه ی شکست خود کار کند. در شکل ۷۱-۳ مدار منبع تغذیه ی ۹/۱ ولت و ۵/۱ ولت توسط زنر نشان داده شده است. البته امروزه به جای استفاده از زنر برای تثبیت ولتاژ از «آی سی رگولاتور» استفاده می کنند. آی سی های رگولاتور در ولتاژها و جریان های مختلف وجود دارند. شکل ۷۲-۳ تصویری است از یک مدار منبع تغذیه با آی سی رگولاتور.



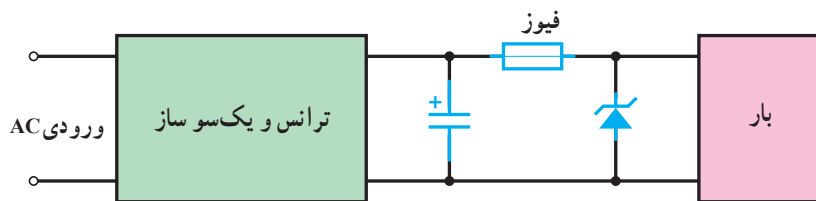
شکل ۷۲-۳



شکل ۳-۷۳

آی‌سی‌های رگولاتور دارای امتیازاتی هستند؛ برای مثال در مقابل اتصال کوتاه شدن خروجی یا جریان کشیدن بیش از اندازه محافظت شده‌اند. در ضمن، این آی‌سی‌ها دارای حجم کم هستند. ولتاژ خروجی بعضی از آی‌سی‌های رگولاتور می‌تواند متغیر باشد. سری ANV8XX دارای سه پایه، و ولتاژ خروجی آن‌ها ثابت است. در شکل ۳-۷۳ 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 ۶ ولت، شماره‌ی ۷۸۱۲ دارای ولتاژ خروجی ۱۲ ولت، و شماره‌ی ۷۸۱۵ دارای ولتاژ خروجی ۱۵ ولت است. حداکثر جریان خروجی این آی‌سی‌ها یک آمپر است.



شکل ۳-۷۴

۸-۳۰-۳- استفاده از زنر برای حفاظت دستگاه در مقابل ولتاژ اضافی: در شکل ۳-۷۴ مدار حفاظت رسم شده است.

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 به صورت حرارت آزاد می‌شود. در دیود نوردنده انرژی آزاد شده به صورت نور است. برای این منظور، در ساختمان دیود از ترکیب عناصری نظیر P، 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 ۳-۷۵ ترکیب الکترون و حفره و آزاد شدن نور را نشان می‌دهد.

در اثر عواملی نظیر افزایش ولتاژ شبکه یا اتصال ثانویه به اولیه‌ی ترانس، ولتاژ خروجی منبع تغذیه افزایش می‌یابد. این افزایش ولتاژ می‌تواند به بار 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 قرار گرفته هادی می‌شود و جریان آن به‌طور ناگهانی زیاده‌تر شده در نتیجه، جریان زیاد سبب سوختن فیوز و قطع ولتاژ به دو سر بار می‌شود.

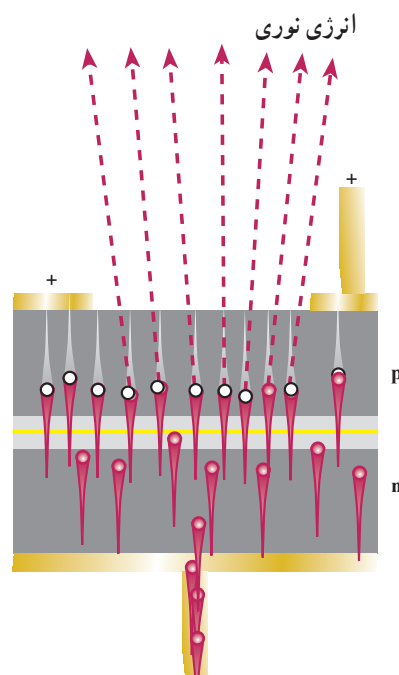
### ۳-۳۱- دیود نوردنده LED<sup>۱</sup>

این دیود وقتی در بایاس مستقیم قرار می‌گیرد با عبور

۱- LED = Light Emitting diode

اگر افت ولتاژ دو سر دیود را  $V_F$  در نظر بگیریم مقدار مقاومت  $R$  از رابطه‌ی  $R = \frac{V_S - V_F}{I_F}$  به دست می‌آید.  $V_F$  افت ولتاژ دو سر دیود بوده که معمولاً حدود ۱/۵ تا ۳ ولت است. مقدار دقیق این افت ولتاژ به میزان 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.

۳-۳۱-۲ دیود نورانی مادون قرمز IR<sup>۱</sup>: 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.

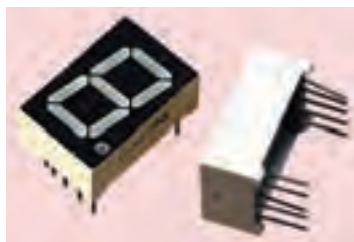


شکل ۳-۷۵

۳-۳۱-۳ نمایشگر هفت قطعه‌ای<sup>۲</sup> (سیون سگمنت): اگر هفت قطعه LED به فرم خاص در کنار هم قرار گیرند به شکل عدد ۸ انگلیسی درمی‌آیند که به وسیله‌ی آن می‌توان اعداد از ۰ تا ۹ انگلیسی نیز حروف A, b, C, d, E و F را نمایش داد.



شکل ظاهری نمایشگر هفت قطعه‌ای با نقطه‌ی اعشار به صورت شکل ۳-۷۸ است. نمایشگر هفت قطعه‌ای به دو صورت «آند مشترک»<sup>۲</sup> و «کاتد مشترک»<sup>۴</sup> ساخته می‌شود. در نوع آند مشترک، آند هفت دیود به هم وصل‌اند و یک اتصال به صورت آند مشترک بوده، هر کاتد دارای یک اتصال جداگانه است.



شکل ۳-۷۸

علامت اختصاری دیود نوردهنده به صورت شکل ۳-۷۶

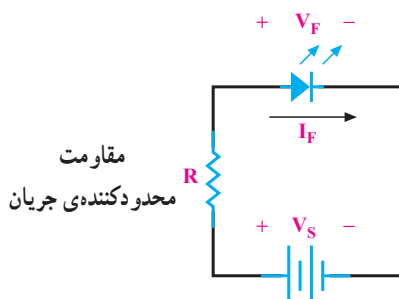
است.



شکل ۳-۷۶

۳-۳۱-۱ کاربردهای LED: معمولاً از LED در

قسمت نشانگر روشن بودن دستگاه‌های برقی و الکترونیکی به جای لامپ کم‌مصرف استفاده می‌کنند. در شکل ۳-۷۷ طرز قرار گرفتن LED را در این مدارها ملاحظه می‌کنید. اغلب برای کنترل جریان LED مقاومت  $R$  را با آن سری می‌کنند.



شکل ۳-۷۷

<sup>۱</sup> IR = Infra Red

<sup>۲</sup> 7-Segment

<sup>۳</sup> Common Anode

<sup>۴</sup> Common Cathode

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

حل:

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

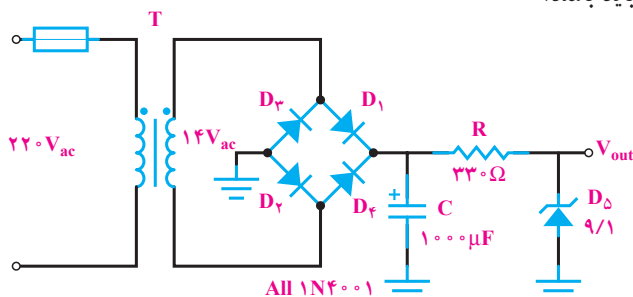
$$V_P = \sqrt{2} V_e = \sqrt{2} \times 10 = 1/41 \times 10 = 14/1 \text{ ولت}$$

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

$$PIV = V_P = 14/1 \text{ ولت}$$

مثال ۲: مدار یک منبع تغذیه ۹ ولت ثابت را رسم

کنید. در صورت ایده آل بودن دیودها ولتاژ کار خازن چند ولت باید باشد؟



شکل ۳-۸۲

حل: مدار مانند شکل ۳-۸۲ است.

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

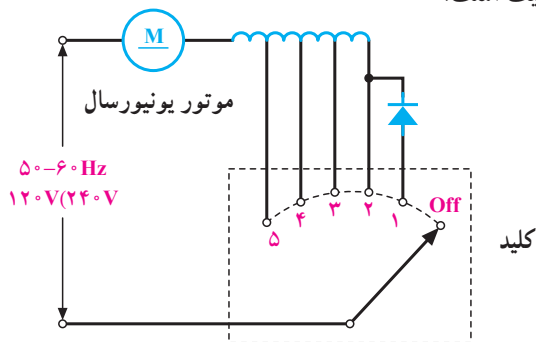
$$V_P = 14 \times 1/41 = 19/74$$

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

باشد.

مثال ۳: در شکل ۳-۸۳ مدار الکتریکی یک همزن

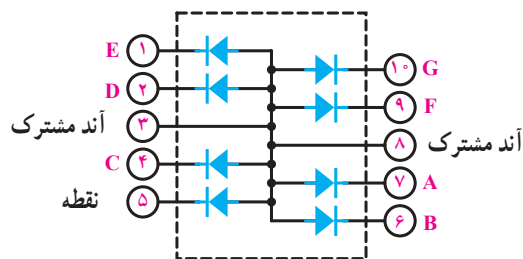
۵ سرعته رسم شده است، تعیین کنید کمترین دور موتور در کدام وضعیت است؟



شکل ۳-۸۳

در شکل ۳-۷۹ نمایشگر هفت قطعه ای آند مشترک را

ملاحظه می کنید.



شکل ۳-۷۹

در نوع کاتد مشترک کاتد همه ی دیودها به هم وصل اند و

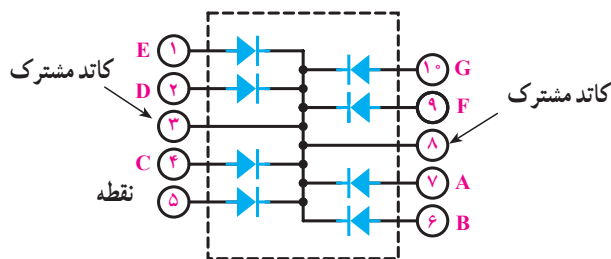
اتصال به صورت کاتد مشترک وجود دارد. آندها دارای اتصال

جداگانه می باشند. هر LED با حروف A, B, C, D, E, F, و G

نشان داده می شوند. در شکل ۳-۸۰ نمایشگر هفت قطعه ای

کاتد مشترک نشان داده شده است. معمولاً در مدار، برای کنترل

جریان، مقاومتی (حدود  $150 \Omega$ ) در مسیر هر دیود سری می کنند.



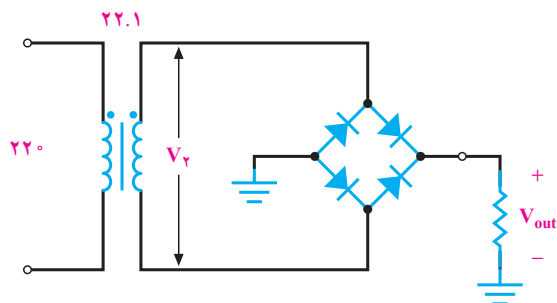
شکل ۳-۸۰

۳-۳۲ چند مثال کاربردی

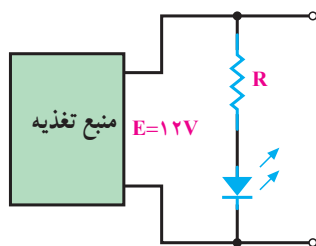
مثال ۱: در شکل ۳-۸۱ اگر ترانس دارای نسبت

دور ۱: ۲۲ باشد، میانگین ولتاژ دو سر بار و PIV هر دیود چه قدر

است؟ (دیودها ایده آل هستند)



شکل ۳-۸۱



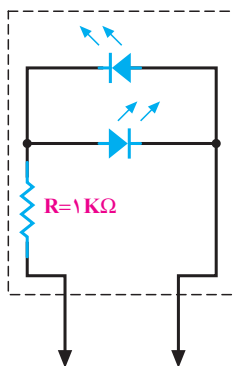
شکل ۳-۸۵

**حل:** برای این منظور ولتاژ دوسر LED را ۲ ولت ( $V_F = 2$ ) و جریان عبوری از آن را برای نور مناسب

$I_F = 10 \text{ mA}$  در نظر می‌گیریم:

$$R = \frac{E - V_F}{I_F} = \frac{12 - 2}{10 \text{ mA}} = 1 \text{ K}\Omega$$

**مثال ۷:** مدار آزمایش فیوز: برای آزمایش سالم بودن فیوزها مثلاً فیوزهای اتومبیل بدون آن که بخواهیم فیوز را از مدار خارج کنیم می‌توان از مدار شکل ۳-۸۶ استفاده نمود.



شکل ۳-۸۶

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 به هم وصل شده‌اند. مدار قطب خاصی ندارد و جهت وصل مدار به فیوز فرقی نمی‌کند.

**حل:** کم‌ترین دور موتور در وضعیت یک کلید است. در این حالت تعداد دور سیم‌پیچی که در مدار قرار می‌گیرد با وضعیت ۲ یکی است. فقط دیود با سیم‌پیچ سری شده است؛ از این رو، سبب یک‌سو شدن برق متناوب و کاهش مقدار مؤثر ولتاژ اعمالی به موتور می‌شود و سرعت موتور کاهش می‌یابد.

**مثال ۴:** حداکثر ولتاژ معکوس (PIV) دیود در مثال

«۳» چه قدر باید انتخاب شود.

**حل:** اگر برق ورودی دارای ولتاژ ۲۴۰ ولت باشد،

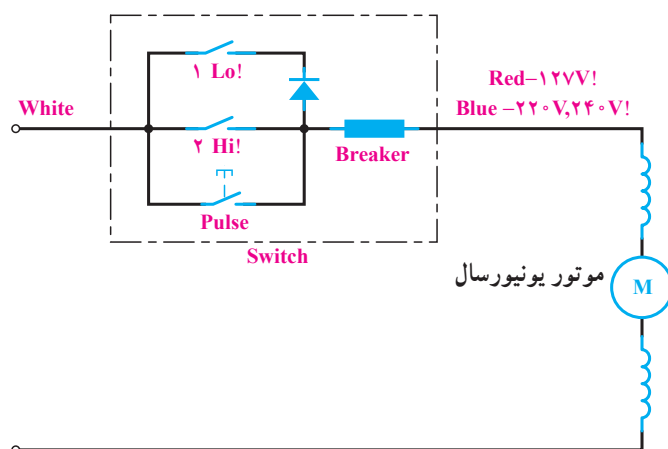
حداکثر ولتاژ  $V_P$  برابر:

$$PIV = V_P$$

ولت  $V_P = \sqrt{2} V_e = \sqrt{2} \times 240 = 338.4$  است.

**مثال ۵:** در شکل ۳-۸۴ مدار الکتریکی آب‌میوه‌گیری

رسم شده است. نقش دیود در مدار چیست؟



شکل ۳-۸۴ مدار الکتریکی آب‌میوه‌گیری

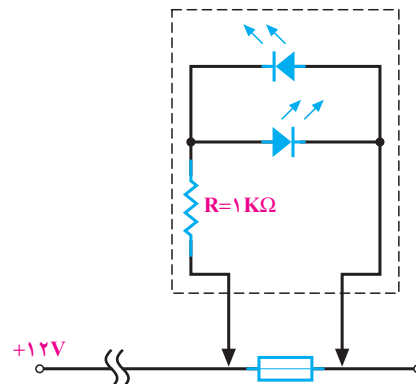
**حل:** وقتی کلید 1 (LO) وصل می‌شود دیود در مدار

قرار می‌گیرد، برق ورودی یک‌سو شده و دور موتور را کم می‌کند (وضعیت دور کم).

**مثال ۶:** در شکل ۳-۸۵ برای منبع تغذیه  $E = 12$

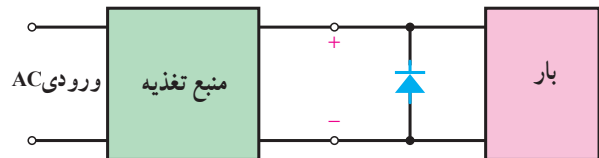
ولت R را طوری محاسبه کنید که LED نور مناسب داشته باشد.

در شکل ۸۷-۳ نحوه‌ی اتصال مدار را به دو سر فیوز مشاهده می‌کنید.



شکل ۸۷-۳

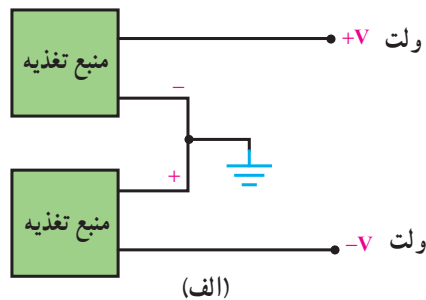
مثال ۸: برای حفاظت منابع تغذیه در مقابل ولتاژ القایی معکوس در مصرف‌کننده‌های سلفی از یک دیود استفاده می‌کنیم (شکل ۸۸-۳).



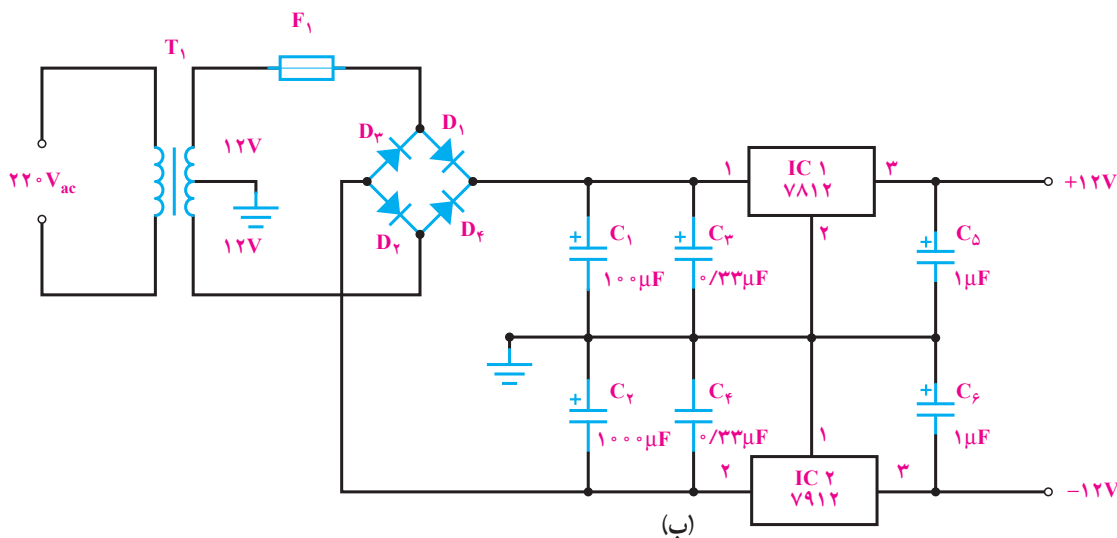
شکل ۸۸-۳

دیود در حالت عادی در بایاس مخالف قرار داشته 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 ۸۹-۳ الف بلوک دیاگرام چگونگی ایجاد ولتاژ قرینه رسم شده است. برای تهیه ولتاژ متقارن  $\pm V$  ولت می‌توان از مدار یکسوساز با صافی خازنی استفاده نمود، سپس با قراردادن دو آی سی رگولاتور AN78XX و AN79XX در خروجی یکسوساز و صافی ولتاژ متقارن را ایجاد کرد. آی سی رگولاتورهای سری AN78XX در پایه خروجی ولتاژ ثابت مثبت و سری AN79XX ولتاژ ثابت منفی را ایجاد می‌نمایند. شکل ۸۹-۳ ب مدار الکترونیکی تهیه ولتاژ متقارن  $\pm 12$  ولت را نشان می‌دهد. خازن‌های  $C_3$  و  $C_4$  و  $C_5$  و  $C_6$  برای حذف پارازیت‌های فرکانس بالا در مدار به کار رفته‌اند.



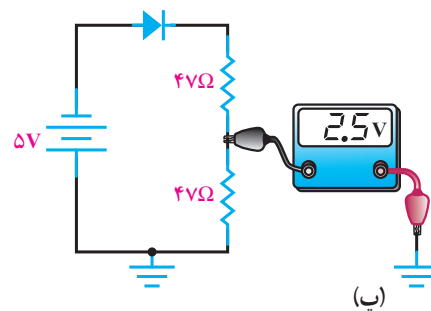
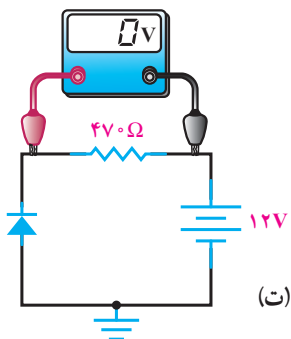
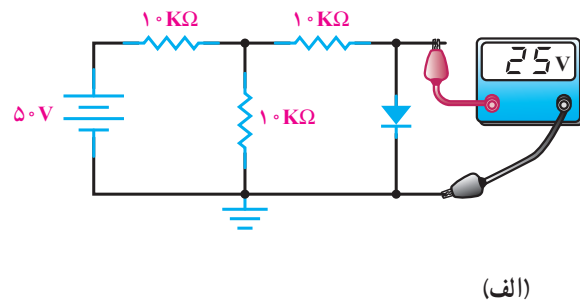
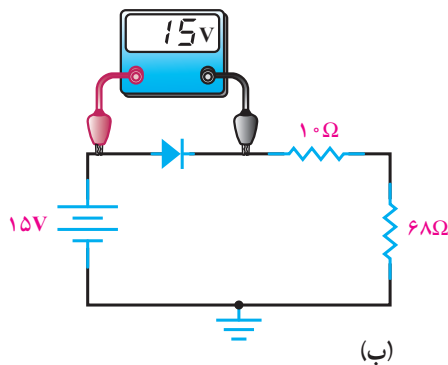
(الف)



(ب)

شکل ۸۹-۳ بلوک دیاگرام و مدار الکترونیکی منبع تغذیه‌ی متقارن

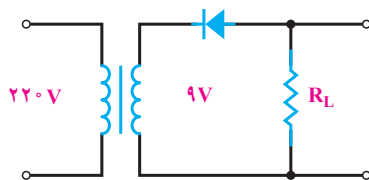
- ۱- عناصر موجود در طبیعت از نظر هدایت الکتریکی به چند دسته تقسیم‌بندی می‌شوند؟ نام ببرید.
- ۲- نقره هادی تر است یا مس؟ چرا؟
- ۳- الکترون‌های لایه والانس سیلیکن با انرژی کم‌تر از قید هسته آزاد می‌شوند یا ژرمانیم؟ چرا؟
- ۴- چگونگی حرکت الکترون‌ها و حفره‌ها را با هم مقایسه کنید.
- ۵- چگونگی تشکیل کریستال نوع N و نوع P را شرح دهید.
- ۶- از روی علائم ظاهری دیودها، چگونه می‌توان آند و کاتد دیودها را تشخیص داد؟
- ۷- چرا در بایاس مستقیم مقاومتی با دیود سری می‌کنند؟
- ۸- معادل کلیدی یک دیود ایده‌آل را در بایاس مستقیم و معکوس رسم کنید.
- ۹- مقادیر حد در دیودها را نام ببرید.
- ۱۰- در شکل ۳-۹۰ با توجه به مقدار ولتاژ ولت‌متر شرح دهید که آیا دیودها سالم هستند یا معیوب؟ در صورت معیوب بودن باز هستند یا اتصال کوتاه؟



شکل ۳-۹۰

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

۱۲- شکل موج دو سر بار در شکل ۳-۹۱ را رسم کنید. میانگین ولتاژ دو سر بار و PIV دیود را محاسبه کنید. (دیود ایده‌آل در نظر گرفته شده است.)



شکل ۳-۹۱

۱۳- اثر صافی خازنی در مدار یک‌سوساز نیم‌موج و تمام‌موج چیست؟ شرح دهید.

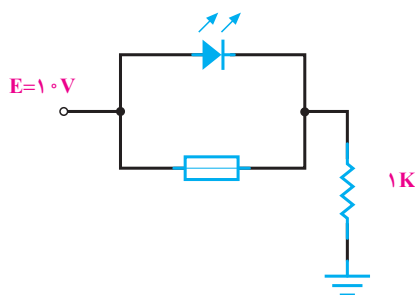
۱۴- مدار یک منبع تغذیه ۶ ولت را با صافی و رگولاتور ساده زener رسم کنید.

۱۵- ولتاژ دو سر دیود زener در بایاس مستقیم پس از وصل چقدر است؟

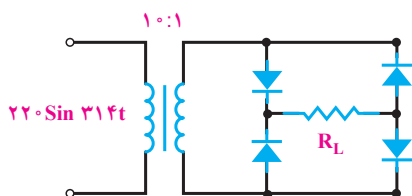
۱۶- دیود زenerی با توان ۳ وات و ولتاژ شکست ۶ ولت حداکثر چه جریانی را تحمل می‌کند؟

۱۷- آیا افت ولتاژ دو سر LED در بایاس مستقیم مانند دیود معمولی سیلیسیومی است؟

۱۸- کار مدار شکل ۳-۹۲ را شرح دهید.



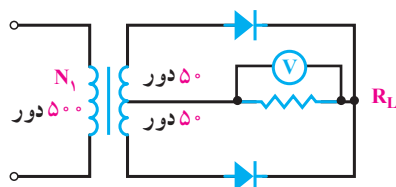
شکل ۳-۹۲



شکل ۳-۹۳

۱۹- در شکل ۳-۹۳ میانگین ولتاژ دو سر بار

و PIV هر دیود را محاسبه کنید. (دیودها ایده‌آل هستند.)



شکل ۳-۹۴

۲۰- در شکل ۳-۹۴ اگر ولت متر DC، ۱۴

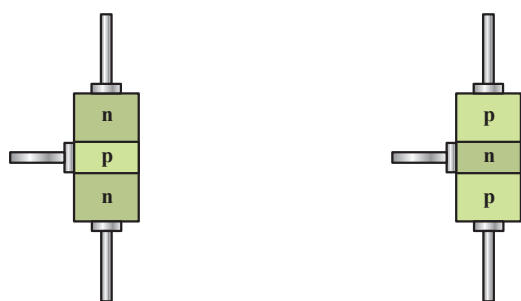
ولت را نشان دهد، ولتاژ مؤثر اولیه ترانسفورماتور را محاسبه کنید. (دیودها ایده‌آل هستند.)



## ترانزیستور BJT

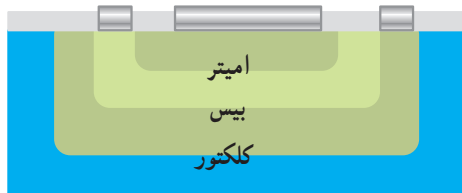
هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود:

- ۱- اتصال سه‌گانه‌ی PNP و NPN را تعریف کند.
- ۲- بایاسینگ ترانزیستور را شرح دهد.
- ۳- وابستگی جریان کلکتور به جریان بیس را توضیح دهد.
- ۴- عمل کرد ترانزیستور به عنوان انتقال‌دهنده‌ی مقاومت را شرح دهد.
- ۵- کاربرد ترانزیستور در حالت قطع و اشباع را بیان نماید.
- ۶- مدارهای ساده ترانزیستوری را تحلیل کند.



شکل ۴-۱

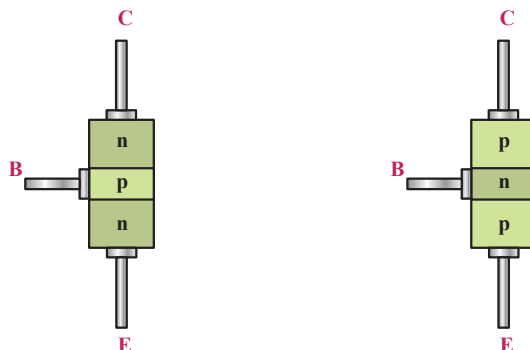
شکل ۴-۲ پایه‌ها و طرز قرارگرفتن نیمه‌هادی‌ها را در ساختمان ترانزیستور نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲

۴-۱- ساختمان ترانزیستور  
ترانزیستور معمولی از سه کریستال نوع P و N تشکیل یافته است. ترتیب قرارگرفتن کریستال‌های P و N در کنارهم به صورت شکل ۴-۱ است.

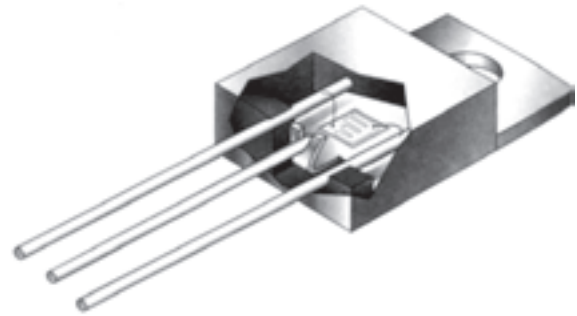
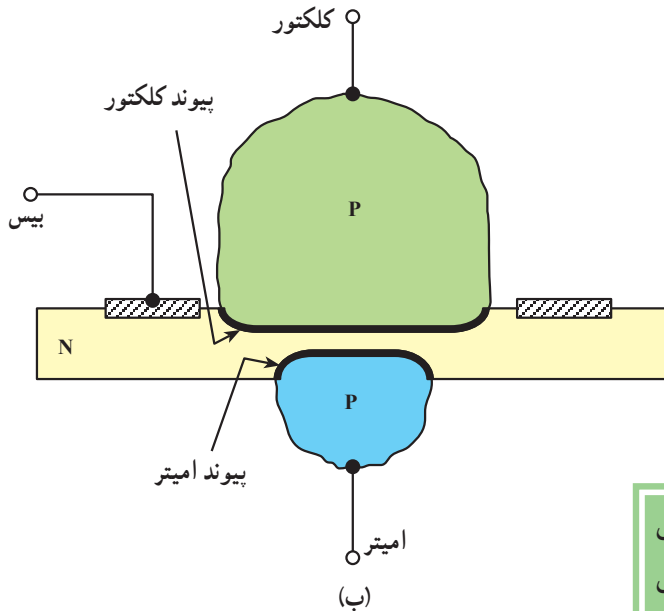
با توجه به شکل مشاهده می‌شود دو نوع ترانزیستور وجود دارد که به یکی «NPN» و دیگری «PNP» گفته می‌شود. سه پایه‌ی ترانزیستور نیز: «امیتر»<sup>۱</sup> یعنی منتشر کننده، «بیس»<sup>۲</sup> یعنی پایه و «کلکتور»<sup>۳</sup> یعنی جمع کننده نام گذاری شده‌اند.



کریستال P یا N که به صورت «امیتر» به کار 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 بسیار کم‌تر 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 ۳-۴ نسبت تقریبی لایه‌های ترانزیستور و نمونه‌ای از یک ترانزیستور ساخته شده نشان داده شده است. این نوع ترانزیستور به اختصار «BJT» 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)

ضخامت لایه‌ی کلکتور < ضخامت لایه‌ی امیتر < ضخامت لایه‌ی بیس  
ناخالصی لایه‌ی امیتر < ناخالصی لایه‌ی کلکتور < ناخالصی لایه‌ی بیس

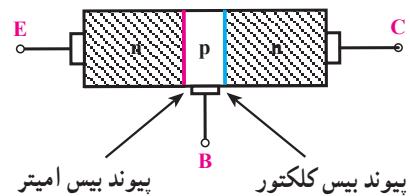
شکل ۳-۴

## ۴-۲- نمای مداری و معادل دیودی ترانزیستور

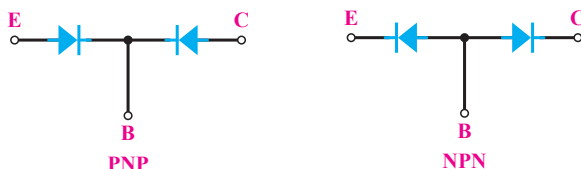
هر ترانزیستور دارای دو محل پیوند P-N است. در شکل

۴-۴ دو محل پیوند نشان داده شده است.

هر اتصال P-N معادل یک دیود بوده از این رو می‌توان یک ترانزیستور را معادل دو دیود نشان داد. در شکل ۴-۵ معادل دیودی هر ترانزیستور نشان داده شده است.

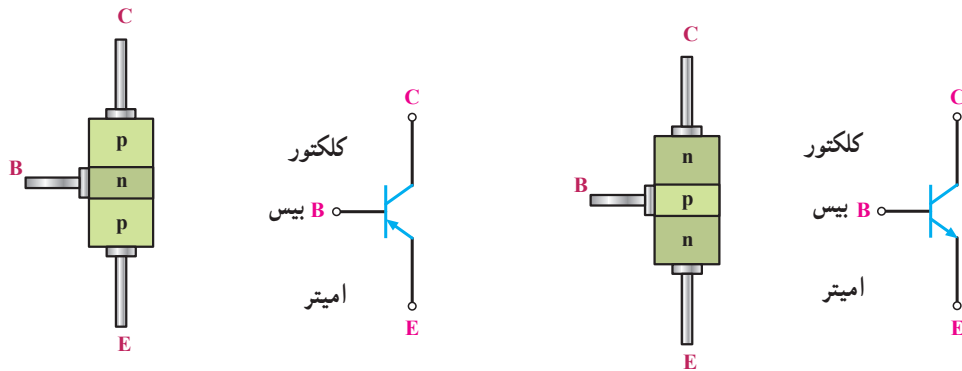


شکل ۴-۴



شکل ۴-۵

نمای مداری ترانزیستورهای PNP و NPN در شکل ۴-۶ مشخص شده است.

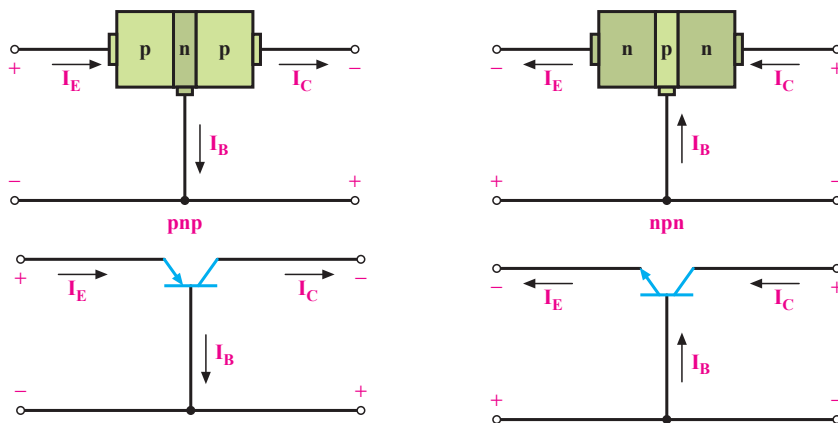


شکل ۴-۶

### ۴-۳- بایاس کردن ترانزیستور

برای این که بتوانیم از ترانزیستور به صورت تقویت کننده یا کلید و نظایر آن استفاده کنیم باید ابتدا ترانزیستور را با ولتاژ DC تغذیه کنیم. تغذیه نمودن پایه های ترانزیستور را بایاس کردن «ترانزیستور» گویند. برای بایاس کردن ترانزیستور به دو دیود

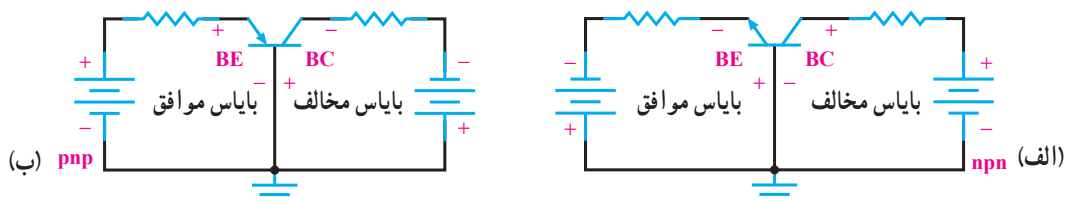
امیتریس و کلکتوریس ولتاژ DC اعمال می شود. چون ترانزیستور سه پایه دارد یکی از پایه ها را مشترک و دو پایه ی دیگر را یکی ورودی و دیگری خروجی در نظر می گیریم. در شکل ۴-۷ این حالت برای دو نوع ترانزیستور PNP و NPN نشان داده شده است.



شکل ۴-۷

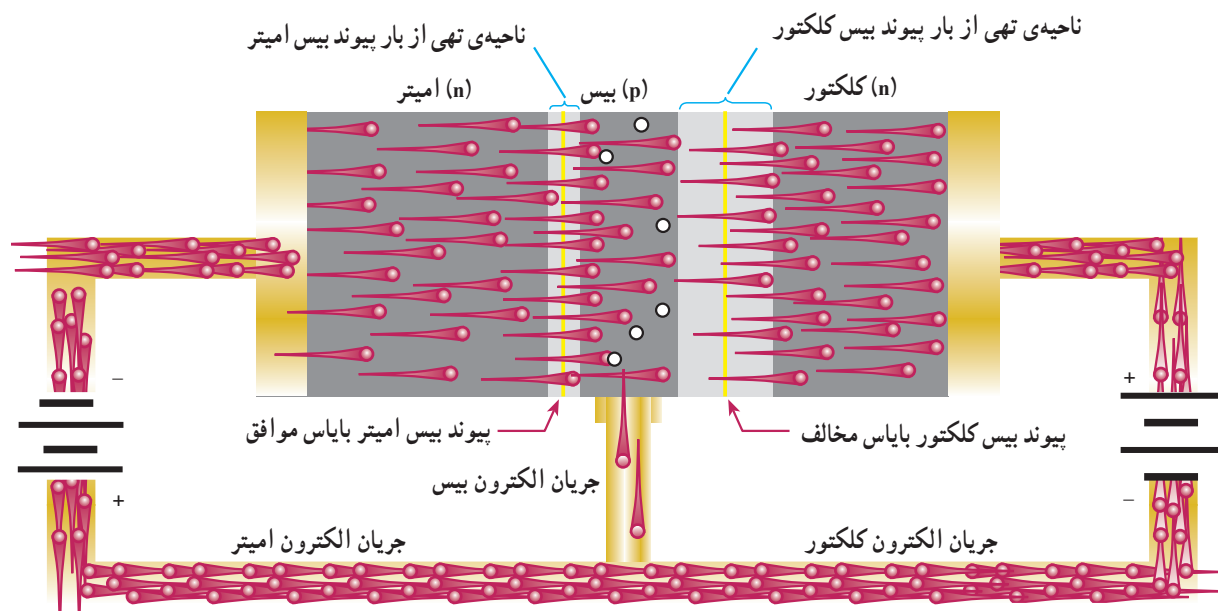
کلکتوریس در بایاس مخالف که در شکل ۸-۴ برای یک ترانزیستور PNP و NPN این حالت بایاس نشان داده شده است.

به سه حالت می توانیم به پایه های ترانزیستور ولتاژ اعمال کنیم. حالت اول: دیود امیتریس در بایاس موافق و دیود



شکل ۴-۸

در شکل ۴-۹ نیز یک ترانزیستور NPN و این حالت بایاس روی کریستال‌های آن مشخص شده است.

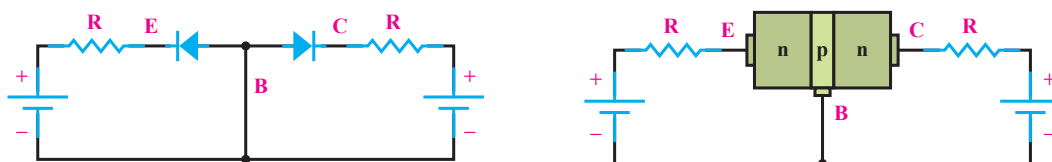


شکل ۴-۹

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 در کلکتور افزایش می‌یابد. الکترون‌های نیمه‌هادی نوع N در امیتر به وسیله‌ی قطب منفی باتری به سمت 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 به گونه‌ی الکترون‌های ظرفیت، پایه‌ی بیس را ترک نموده، به قطب مثبت باتری می‌روند. به علت کم بودن درصد ناخالصی در بیس تعداد کمی از الکترون‌ها ممکن است با حفره‌های بیس ترکیب شوند. درصد زیادی از الکترون‌ها (تقریباً

بیش از ۹۵ درصد آن‌ها) تحت نیروی جاذبه‌ی قطب مثبت باتری که به پایه‌ی کلکتور وصل است به کلکتور رسیده، جذب قطب مثبت باتری کلکتور می‌شوند. به طور خلاصه می‌توان بیان نمود: منبع ولتاژ وصل شده به بیس - امیتر، الکترون‌های امیتر را به بیس می‌راند، به علت باریک بودن لایه‌ی بیس و درصد ناخالصی کم آن کم‌تر از حدود ۵ درصد الکترون‌ها از بیس خارج می‌شوند و بیش از حدود ۹۵ درصد الکترون‌ها به منطقه‌ی کلکتور نفوذ کرده، جذب قطب مثبت منبع کلکتور می‌شوند و بدین ترتیب، جریان زیاد را در کلکتور ایجاد می‌کنند.

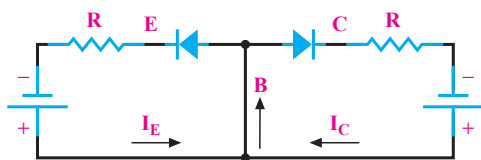
**حالت دوم:** اتصال بیس امیتر در بایاس مخالف و اتصال بیس کلکتور در بایاس مخالف است که در شکل ۴-۱۰ یک ترانزیستور NPN را در این حالت بایاس مشاهده می‌کنید.



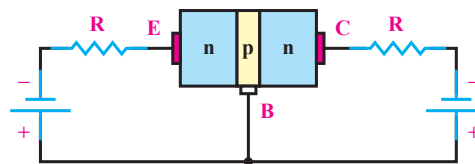
شکل ۴-۱۰

**حالت سوم:** اتصال بیس آمیتر در بایاس موافق و اتصال بیس کلکتور در بایاس موافق که در شکل ۴-۱۱ این حالت نشان داده شده است.

دو جریان  $I_E$  و  $I_C$  در پایه‌ی بیس با یکدیگر جمع می‌شوند و جریانی زیادی را در بیس ایجاد می‌کنند (شکل ۴-۱۱).



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 آمیتر به سمت بیس و کلکتور حرکت نمی‌کند و در نتیجه، جریان آمیتر و کلکتور صفر خواهد بود (البته از عبور جریان اشباع معکوس ناشی از عبور حامل‌های اقلیت صرف نظر شده است).



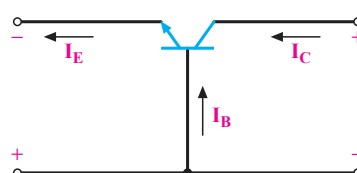
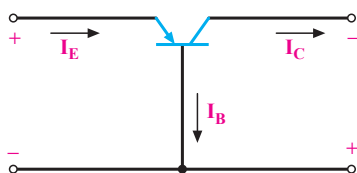
شکل ۴-۱۱

جریان بیس و جریانی کلکتور است: یعنی  $I_E = I_C + I_B$  در شکل ۴-۱۲ جهت جریان‌ها در ترانزیستور NPN و PNP مشخص گردیده است.

با توجه به شکل مشاهده می‌شود پیکان روی آمیتر معرف جهت قراردادی جریان است.

#### ۴-۴- جریان‌ها در ترانزیستور

حامل‌های باری که از آمیتر 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 آمیتر ( $I_E$ ) برابر با مجموع



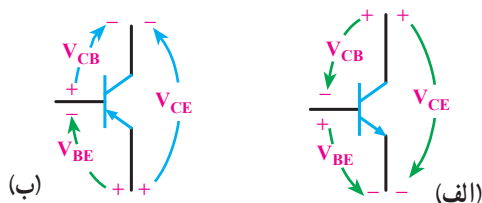
شکل ۴-۱۲

ترانزیستور برقرار است:

#### ۴-۵- ولتاژها در ترانزیستور

اعمال ولتاژ DC به ترانزیستور برای بایاس نمودن آن، روی پایه‌های ترانزیستور افت ولتاژی ایجاد می‌کند. ولتاژی که بین پایه‌های بیس آمیتر ترانزیستور قرار می‌گیرد با  $V_{BE}$  نشان داده می‌شود؛ همچنین ولتاژ بین کلکتور آمیتر با  $V_{CE}$  و ولتاژ بین کلکتور - بیس با  $V_{CB}$  مشخص می‌گردد. در شکل ۴-۱۳ این افت ولتاژها برای یک ترانزیستور NPN و PNP نشان داده شده است. در هر ترانزیستور همواره رابطه زیر بین ولتاژ پایه‌های

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

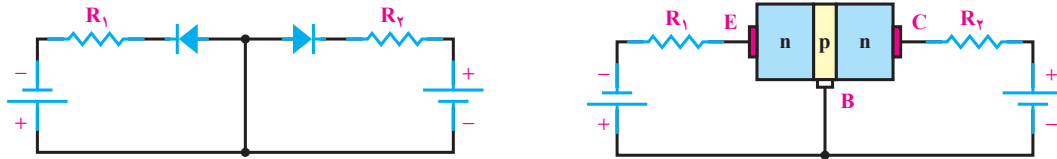


شکل ۴-۱۳

## ۴-۶- چگونگی عمل تقویت‌کنندگی در ترانزیستور

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

شکل ۴-۱۴ این حالت بایاس را نشان می‌دهد. برای کنترل جریان آمیتر مقاومت  $R_1$  با آمیتر سری شده است. مقاومت  $R_2$  که با کلکتور سری شده است جریان کلکتور را کنترل می‌کند.



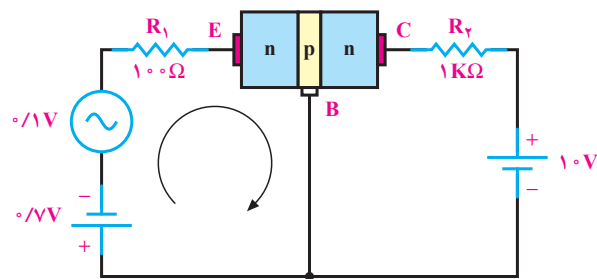
شکل ۴-۱۴

برای مثال، مطابق شکل ۴-۱۵ یک سیگنال سینوسی با دامنه‌ی ۱/۰ ولت به ورودی ترانزیستور اعمال می‌کنیم. البته ورودی، آمیتر و خروجی، کلکتور در نظر گرفته شده است و پایه‌ی بیس بین ورودی و خروجی مشترک است.

$$A_V = \frac{\text{دامنه‌ی سیگنال خروجی}}{\text{دامنه‌ی سیگنال ورودی}} = \frac{0.83}{0.1} = 8.3$$

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  $R_1$  می‌گذرد تقریباً همی این مقدار جریان از مقاومت  $R_2$  هم عبور می‌کند. این عمل تنها به‌وسیله‌ی ترانزیستور صورت گرفته است. بدین ترتیب، 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 of Resistor' انتخاب شده است.

برای مثال، مطابق شکل ۴-۱۵ یک سیگنال سینوسی با دامنه‌ی ۱/۰ ولت به ورودی ترانزیستور اعمال می‌کنیم. البته ورودی، آمیتر و خروجی، کلکتور در نظر گرفته شده است و پایه‌ی بیس بین ورودی و خروجی مشترک است.



شکل ۴-۱۵

اگر مقاومت دینامیکی دیود آمتریس را به‌هنگام اعمال سیگنال معادل  $20\Omega$  فرض کنیم در حلقه‌ی ورودی، جریان ناشی از سیگنال متناوب برابر است با:

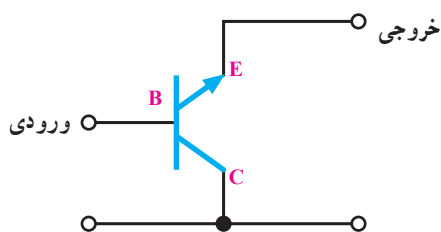
$$I = \frac{0.1}{100 + 20} = 0.00083 A = 0.83 mA$$

همان‌گونه که بیان شد قسمت اعظم جریان آمیتر از طریق کلکتور مسیر خود را می‌بندد؛ از این رو، این جریان تقریباً از مقاومت  $R_2 = 1K\Omega$  که با کلکتور سری شده است عبور می‌کند و در دو سر مقاومت  $1K\Omega$  افت ولتاژ متناوبی با دامنه‌ی  $V_R = 0.83 mA \times 1K\Omega = 0.83 V$  افت ولتاژ ایجاد می‌کند.

## ۴-۷- آرایش‌های ترانزیستور

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

۴-۷-۱- آرایش آمیتر مشترک C-E: در این آرایش سیگنال ورودی به بیس آمیتر ترانزیستور اعمال می‌شود و

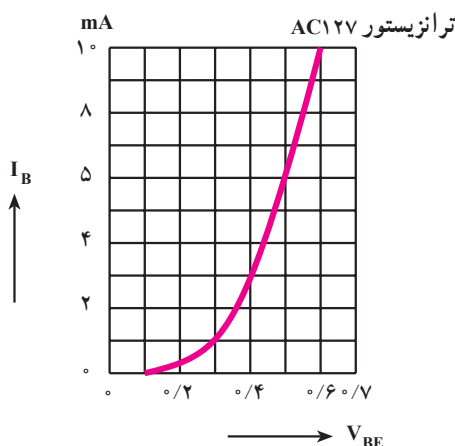


شکل ۴-۱۸

## ۸-۴-۱ منحنی‌های مشخصه‌ی ترانزیستور در حالت امیتر مشترک

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

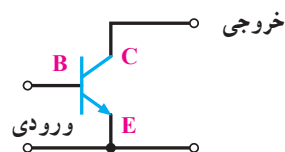
۱-۸-۴-۱ منحنی مشخصه‌ی ورودی: در آرایش امیتر مشترک، ورودی بیس امیتر ترانزیستور است. منحنی تغییرات جریان ورودی ( $I_B$ ) نسبت به تغییرات ولتاژ ورودی ( $V_{BE}$ ) به ازای ثابت بودن  $V_{CE}$  «منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور» نام دارد. این منحنی مانند منحنی مشخصه‌ی یک دیود معمولی در بایاس موافق است. (شکل ۴-۱۹)



شکل ۴-۱۹ منحنی مشخصه ورودی یک ترانزیستور از جنس ژرمانیم

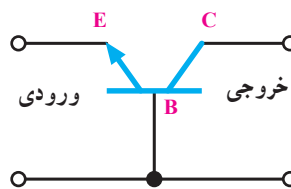
۲-۸-۴-۲ منحنی مشخصه‌ی انتقالی: منحنی مشخصه‌ی بین جریان ورودی ( $I_B$ ) و جریان خروجی ( $I_C$ ) به ازای ثابت بودن  $V_{CE}$  «منحنی مشخصه‌ی انتقالی» نام دارد.

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 ۴-۱۶ این آرایش را بدون رسم سایر قطعات آن مشاهده می‌کنید. این آرایش می‌تواند جریان و ولتاژ را تقویت کند.



شکل ۴-۱۶

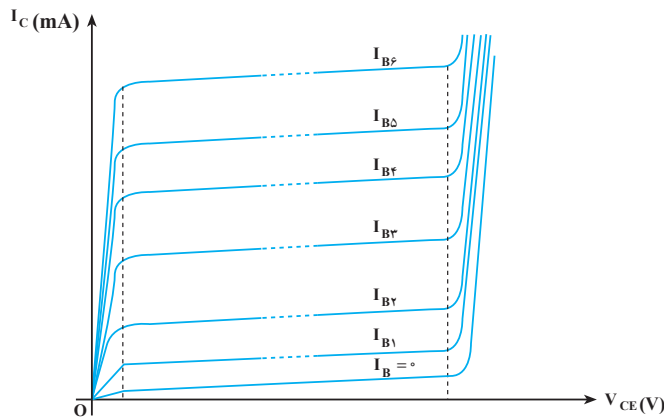
۲-۷-۴-۲ آرایش بیس مشترک C-B: در این آرایش، پایه‌ی بیس بین ورودی و خروجی مشترک است؛ یعنی سیگنال ورودی به امیتر بیس اعمال می‌شود و سیگنال خروجی از کلکتور بیس دریافت می‌گردد. در شکل ۴-۱۷ این آرایش به‌طور ساده نشان داده شده است. این آرایش جریان را تقویت نمی‌کند، اما ولتاژ را تقویت می‌کند.



شکل ۴-۱۷

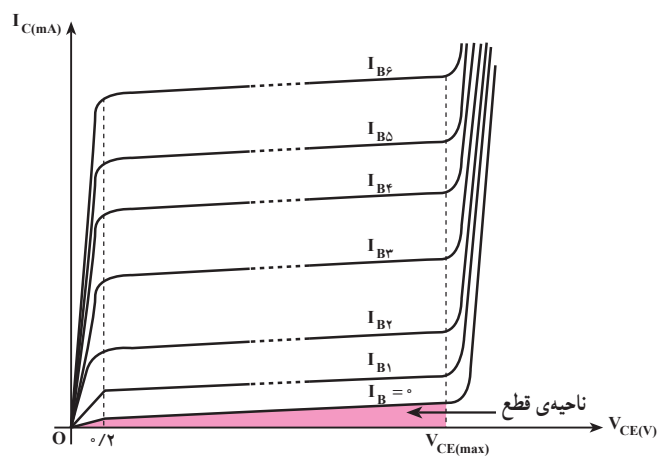
۳-۷-۴-۳ آرایش کلکتور مشترک C-C: در این آرایش پایه‌ی کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک است؛ یعنی سیگنال ورودی به بیس کلکتور اعمال می‌شود و سیگنال خروجی از امیتر، کلکتور دریافت می‌گردد. در شکل ۴-۱۸ این آرایش به‌طور ساده نشان داده می‌شود. این آرایش ولتاژ را تقویت نمی‌کند، اما جریان را تقویت می‌کند.

است؛ از این رو، منحنی مشخصه‌ی خروجی، منحنی تغییرات  $I_C$  نسبت به  $V_{CE}$  به‌ازای ثابت بودن  $I_B$  است. در شکل ۴-۲۱ این منحنی مشخصه به‌ازای  $I_B$  های مختلف نشان داده شده است.



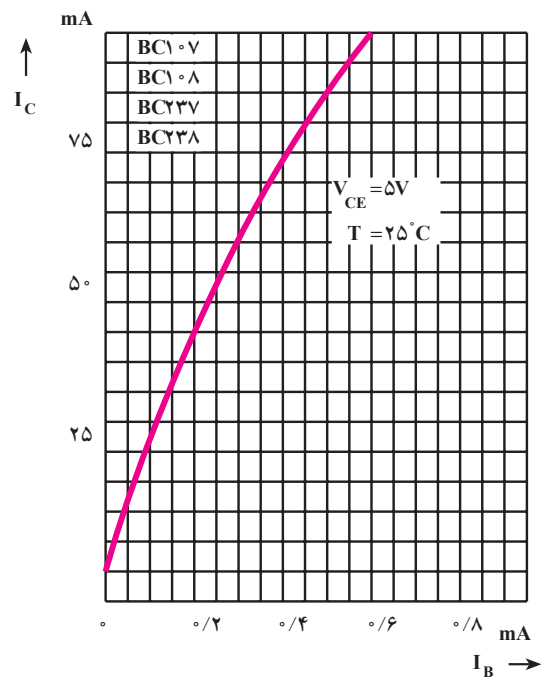
شکل ۴-۲۱

این منحنی مشخصه شامل چند ناحیه‌ی مختلف است: **ناحیه‌ی قطع:** در ناحیه‌ی قطع جریان بیس صفر است. اگر از جریان ناچیز نشتی صرف نظر کنیم جریان کلکتور هم صفر است، شکل ۴-۲۲.



شکل ۴-۲۲

در شکل ۴-۲۰ این منحنی نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۰

طبق تعریف ضریب تقویت جریان ( $\beta$ ) 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.

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

**۳-۸-۴- 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 ( $V_{CE}$ )

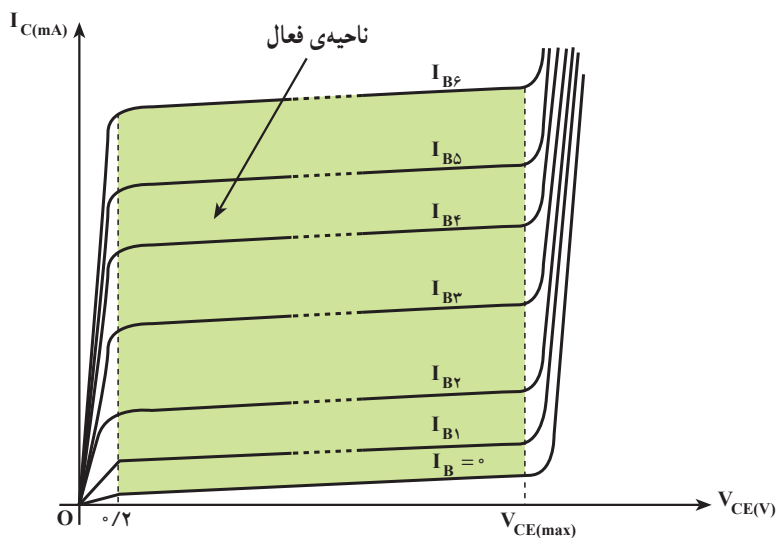


است و تغییرات جزئی در  $V_{CE}$  تغییرات بسیار زیادی را در جریان کلکتور ایجاد می‌کند. در این ناحیه  $I_C$  و  $I_B$  تقریباً در حداکثر مقدار خود قرار دارند و  $V_{CE}$  بسیار ناچیز و تقریباً نزدیک صفر است، شکل ۲۳-۴ — الف ناحیه فعال و شکل ۲۳-۴ — ب ناحیه اشباع را روی منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور نشان می‌دهد.

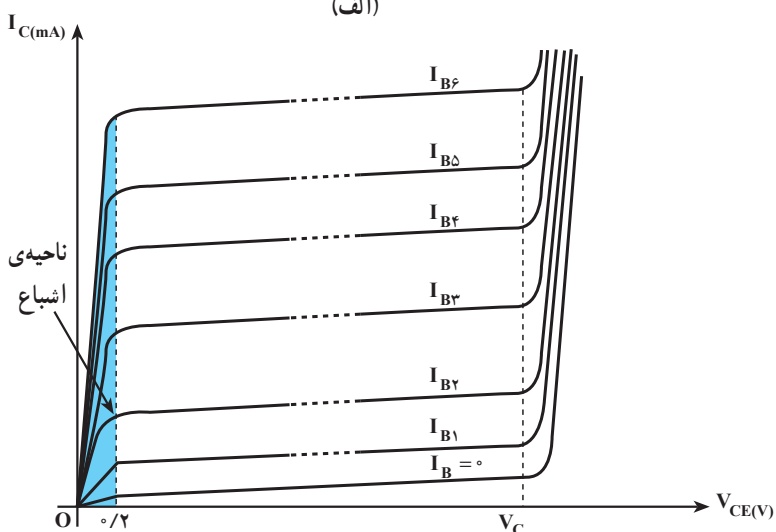
**ناحیه‌ی فعال:** ناحیه‌ی فعال محدوده‌ی کار عادی ترانزیستور است. در این ناحیه معمولاً دیود امیتریس در بایاس موافق و دیود کلکتوریس در بایاس مخالف قرار دارد؛ بنابراین، قسمت اعظم حامل‌های انتشار یافته از امیتر جذب کلکتور شده‌اند؛ در نتیجه تغییرات ولتاژ کلکتور امیتر تأثیر چندانی در جریان کلکتور ندارد. **ناحیه‌ی اشباع:** در این ناحیه ترانزیستور در حال هدایت

#### 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.



(الف)

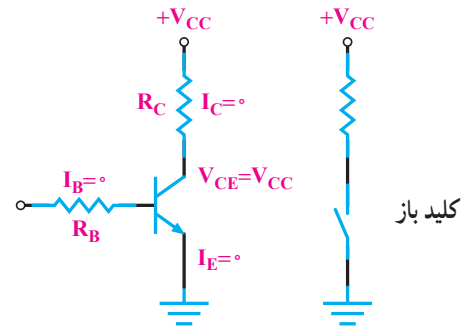


(ب)

شکل ۲۳-۴

#### ۴-۹- ترانزیستور در حالت قطع

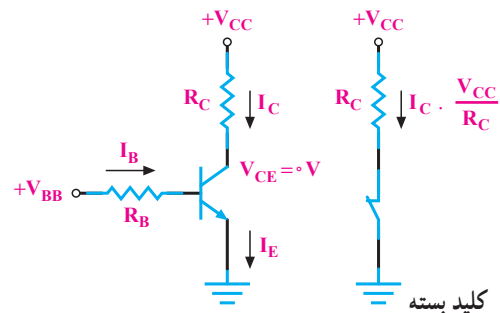
در شکل ۴-۲۴ یک ترانزیستور در حالت قطع نشان داده شده است. در این حالت بیس بایاس نشده است؛ از این رو  $I_B = 0$  بوده، در نتیجه  $I_C$  هم صفر است. در دوسر  $R_C$  هیچ افت ولتاژی نداریم و همه‌ی ولتاژ منبع یعنی  $V_{CC}$  در دوسر کلکتور-امیتر ترانزیستور افت می‌کند. در این حالت ترانزیستور مانند یک کلید باز است:



شکل ۴-۲۴

#### ۴-۱۰- ترانزیستور در حالت اشباع

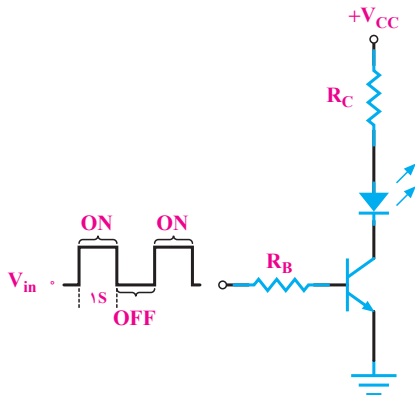
وقتی بیس امیتر ترانزیستور را بایاس موافق کنیم و  $I_B$  را افزایش دهیم،  $I_C$  هم افزایش می‌یابد، زیرا  $I_C = \beta I_B$  است. هرگاه  $I_C$  به حداکثر مقدار خود برسد،  $(I_{Cmax} = \frac{V_{CC}}{R_C})$  ولتاژ کلکتور-امیتر صفر و ترانزیستور در حالت اشباع است. ترانزیستور در حالت اشباع به طور ایده‌آل مانند یک کلید بسته عمل می‌کند (شکل ۴-۲۵).



شکل ۴-۲۵

#### ۴-۱۱- کاربرد ساده‌ی ترانزیستور به عنوان کلید

در شکل ۴-۲۶ یک کاربرد ساده‌ی ترانزیستور به منزله‌ی کلید نشان داده شده است. به بیس ترانزیستور موجی مربعی با پریود ۲ ثانیه اعمال شده است. در نیم‌پریودی که موج ورودی صفر و ترانزیستور قطع است؛ از این رو، 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؛ بدین ترتیب، LED یک ثانیه روشن و یک ثانیه خاموش بوده، چشمک می‌زند.

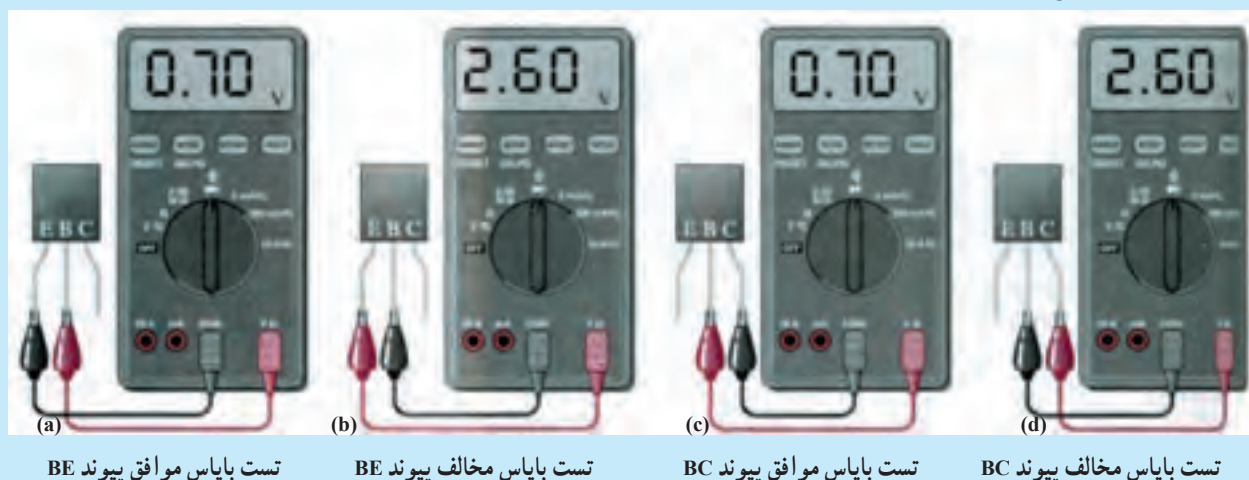


شکل ۴-۲۶

## ۴-۱۲- تعیین پایه‌ها و نوع ترانزیستور به کمک اهم‌متر

۴-۱۲-۱- 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 به وسیله‌ی اهم‌متر، زیاد است، این پایه بیس ترانزیستور است. با مشخص شدن بیس نوع ترانزیستور را می‌توان تعیین نمود. حالتی که اهم‌متر اهم کم را نشان می‌دهد اگر سیم منفی واقعی اهم‌متر به بیس وصل باشد نوع ترانزیستور مثبت (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.

۴-۱۲-۲- استفاده از مولتی‌متر دیجیتال: 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 قرار گیرند 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 ۴-۲۷ حالت‌های گوناگون را مشاهده می‌کنید.



شکل ۴-۲۷



در یک ترانزیستور معیوب اگر اتصال بیس‌امیتر یا اتصال بیس‌کلکتور آن قطع باشد در این صورت مولتی‌متر ولتاژ بایاس مخالف را نشان می‌دهد. در شکل ۴-۲۸ این حالت نشان داده شده است.

شکل ۴-۲۸

در صورت اتصال کوتاه بودن بیس آمیتر یا بیس کلکتور مولتی متر ولتاژ «صفر» را نشان خواهد داد (شکل ۴-۲۹).



شکل ۴-۲۹

### ۴-۱۳- مقادیر حد در ترانزیستور و استفاده از برگه داده‌ها

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

- ۱-  $V_{CEmax}$  : این پارامتر حداکثر ولتاژ مجاز بین کلکتور و آمیتر ترانزیستور را مشخص می‌کند.
- ۲-  $V_{CBmax}$  : نشان‌دهنده‌ی حداکثر ولتاژ مجاز معکوس بین کلکتور و بیس ترانزیستور است.
- ۳-  $V_{EBmax}$  : ولتاژ قابل تحمل دیود بیس آمیتر ترانزیستور را در حالت معکوس بیان می‌کند.
- ۴-  $I_{Cmax}$  : نشانگر حداکثر جریان مجاز کلکتور ترانزیستور است.
- ۵-  $P_{max}$  : حداکثر توان قابل تحمل برای ترانزیستور است که به‌صورت حرارت تلف می‌شود.
- ۶-  $T_j$  : حداکثر درجه‌ی حرارتی است که در محل اتصال کلکتور بیس یک ترانزیستور می‌تواند تحمل کند.

۷- فرکانس حد  $f_g$  : مقدار فرکانسی است که ( به‌ازای آن به‌اندازه‌ی  $\frac{1}{\sqrt{4}}$  یا ۳dB کم‌تر از فرکانس

صفر هرتز می‌شود.

۸- فرکانس قطع  $f_T$  : مقدار فرکانسی است که به‌ازای آن  $\beta = 1$  ( می‌شود.

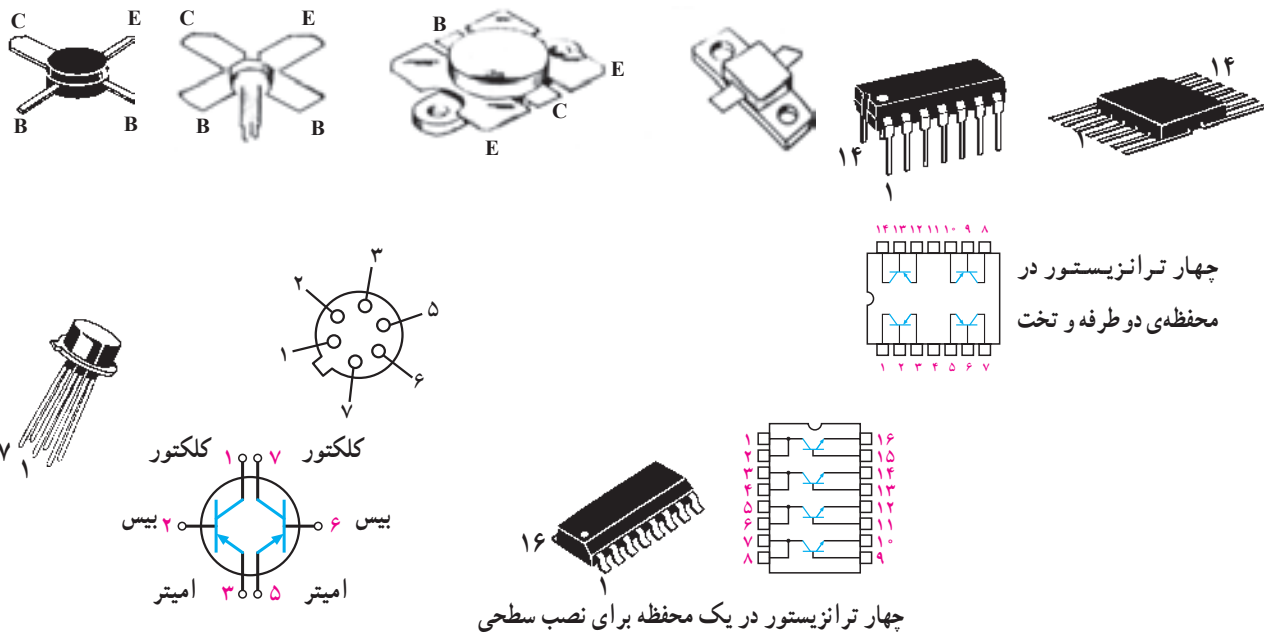
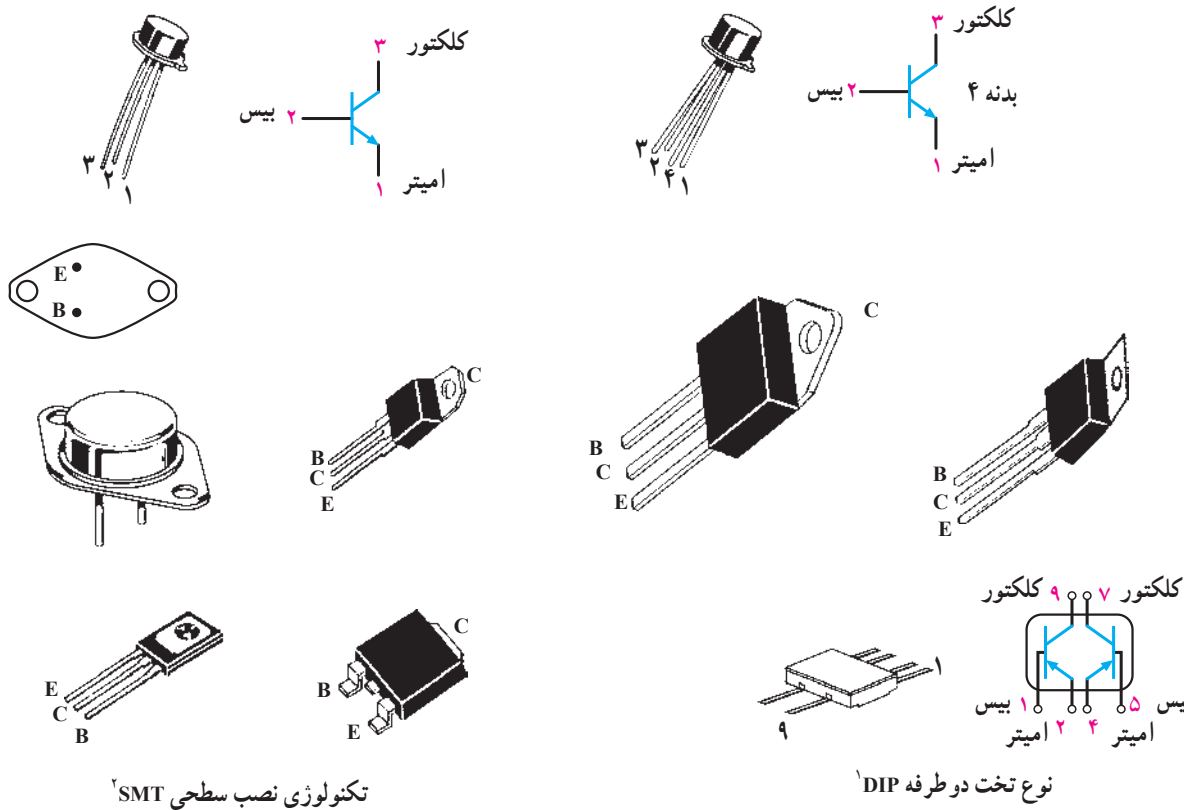
در جدول ۴-۱ نمونه‌ای از جدول مشخصات حد ترانزیستورها و سایر اطلاعات آن آورده شده است.

این جدول مربوط به کتاب «Tower's international Transistor selector» است.

جدول ۴-۱

Transistor Number	PM OA LT	Package	LEAD INFO	VEB MAX	VCE MAX	VCB MAX	I <sub>C</sub> MAX	T <sub>J</sub> MAX	PTOT	F <sub>T</sub> MIN	C <sub>OB</sub> MAX	H <sub>FE</sub>	H <sub>FE</sub> BIAS	USE	MFR	EUR EQUIV	USA EQUIV
BC ۱۰۷	NS	TO۱۸	L۰۱	۵۰	۴۵	۶	۱۰۰mA	۱۷۵C	۳۰۰ mWF	۱۵۰ M	۵۰P	۱۱۰ MN	۲mA	ALG	MUB	BC ۱۰۷	۲N ۹۲۹
نوع و شماره ی ترانزیستور	معادل امریکایی																
جنس ترانزیستور																	
N = NPN P = PNP S = سیلیسیم G = ژرمانیوم																	
شکل ظاهری و ابعاد مراجعه شود به ضمیمه ی C																	
اطلاعات مربوط به پایه های ترانزیستور- به ضمیمه ی B مراجعه شود																	
حداکثر ولتاژ کلکتور - بیس																	
حداکثر ولتاژ کلکتور - امیتر																	
حداکثر ولتاژ معکوس امیتر - بیس																	
حداکثر جریان کلکتور																	
حداکثر درجه حرارت مجاز محل پیوند برحسب درجه سانتی گراد																	
حداکثر توان مجاز ترانزیستور C : با گرماگیر در هوای آزاد در ۲۵ C MW = میلی وات F = در هوای آزاد در ۲۵ C H : در هوای آزاد با گرماگیر فلزی W = وات	معادل اروپایی																
	نام کارخانه ی سازنده																
	کاربرد																
	ضریب تقویت جریان به ازای این جریان بایاس																
	حداکثر ظرفیت خازن بین لایه ی بیس و کلکتور P = پیکو فاراد N = نانوفاراد																
	فرکانس قطع ترانزیستور M = مگاهرتز K = کیلوهرتز G = گیگاهرتز																

۱۴-۴- شکل ظاهری چند نمونه ترانزیستور و پایه‌های آن

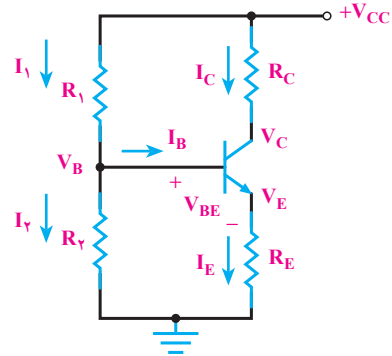


\\_ DIP = Dual in line package

↳ SMT = Surface Mounted Technology

#### ۴-۱۵- تغذیه‌ی سرخود

در شکل ۴-۳۰ تغذیه‌ی DC ترانزیستور به صورت بایاس سرخود را مشاهده می‌کنید. مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  تقسیم‌کننده ولتاژ هستند و منبع  $V_{CC}$  را تقسیم ولتاژ می‌کنند، تا ولتاژ بیس ترانزیستور را تأمین نمایند.



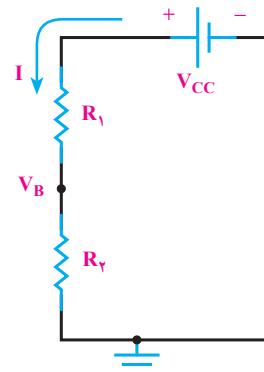
شکل ۴-۳۰

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 ۴-۳۱ 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.



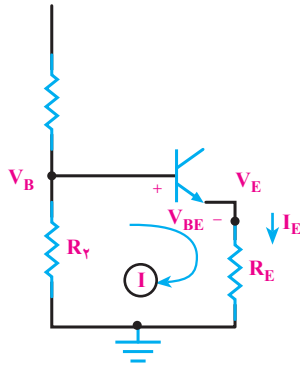
شکل ۴-۳۱

با عبور جریان  $I_E$  از  $R_E$ ، افت پتانسیل  $R_E \cdot I_E$

به‌وجود می‌آید و پتانسیل امیتر نسبت به زمین ( $V_E$ ) تأمین

می‌شود. برای به‌دست‌آوردن  $V_E$  می‌توان در حلقه (I) در شکل ۴-۳۲ معادله KVL را نوشت.

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

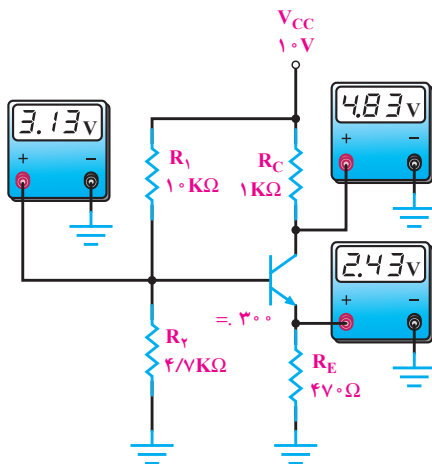


شکل ۴-۳۲

با معلوم بودن  $V_E$  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 ( $I_C \approx I_E$ ) با معلوم بودن  $I_C$  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.

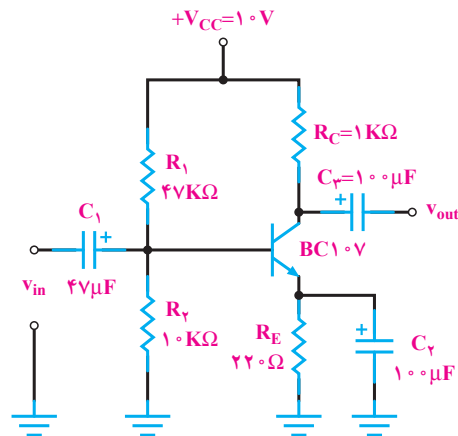
در شکل ۴-۳۳ این بایاس با مقادیر ولتاژ نقاط مختلف آن، نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۳

## ۴-۱۶- تقویت کننده‌ی اولیه به صورت آرایش امیتر مشترک

مدار تقویت کننده‌ی اولیه<sup>۱</sup> (Pre - Amp) در شکل ۴-۳۴ رسم شده است. این تقویت کننده دارای آرایش امیتر مشترک بوده، تغذیه‌ی DC آن به صورت بایاس سرخود است.  $C_1$  و  $C_2$  «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 از نظر سیگنال متناوب ورودی اتصال کوتاه می‌کند تا سیگنال متناوب ورودی در  $R_E$  افت نماید و بهره‌ی ولتاژ مدار زیاد شود.



شکل ۴-۳۴

## ۴-۱۷- تثبیت کننده‌ی ولتاژ همراه با تقویت جریان ترانزیستوری

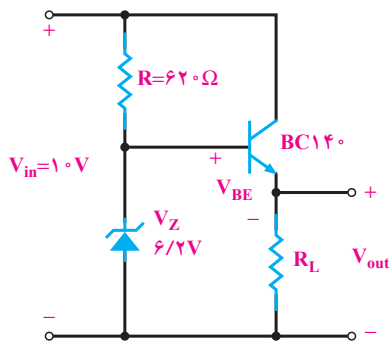
در شکل ۴-۳۵ بلوک دیاگرام یک منبع تغذیه با رگولاتور (تثبیت کننده‌ی ولتاژ) رسم شده است.



شکل ۴-۳۵

کار رگولاتور ولتاژ، ثابت نگه داشتن ولتاژ خروجی است. در رگولاتور شکل ۴-۳۵ می‌توان از یک مدار ساده‌ی

ترانزیستوری به صورت شکل ۴-۳۶ استفاده کرد.

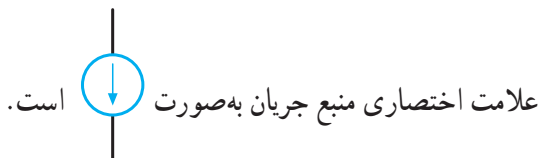


شکل ۴-۳۶

آرایش ترانزیستور به صورت کلکتور مشترک است. کلکتور مشترک دارای تقویت جریان زیاد است. ولتاژ خروجی از رابطه‌ی:  $V_O = V_Z - V_{BE}$  به دست می‌آید. چون  $V_Z$  و  $V_{BE}$  ثابت اند لذا  $V_O$  هم ثابت است. برای مثال اگر  $V_{BE} = 0.7V$  و  $V_Z = 6.2V$  باشد، ولت  $V_O = 6.2 - 0.7 = 5.5$  است و  $V_O$  روی  $5.5$  ولت ثابت می‌ماند. باید ولتاژ خروجی صافی بیش‌تر از  $V_Z$  باشد تا زener در ناحیه‌ی شکست خود کار کند. اگر ولتاژ خروجی صافی نوسان داشته باشد  $V_O$  روی  $5.5$  ولت ثابت بوده و تغییر نمی‌کند.

## ۴-۱۸- ترانزیستور به عنوان منبع جریان

منبع جریان مداری است که به بار جریان ثابت می‌دهد.



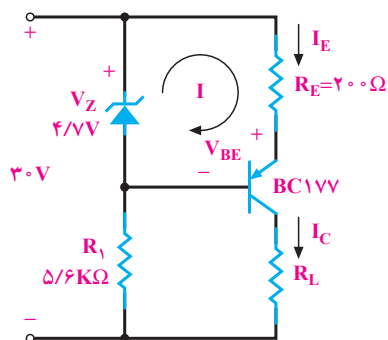
در شکل ۴-۳۷ مدار یک منبع جریان ترانزیستوری رسم شده است. با نوشتن معادله‌ی KVL در حلقه‌ی I می‌توان

$$I_E = \frac{V_Z - V_{BE}}{R_E} \quad \text{نوشت } R_E I_E + V_{BE} - V_Z = 0 \quad \text{در نتیجه}$$

است چون  $V_Z$  و  $V_{BE}$  و  $R_E$  تقریباً ثابت هستند.  $I_E$  هم تقریباً ثابت است، چون  $I_C \approx I_E$  است؛ از این رو  $I_C$  یعنی جریانی که



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.

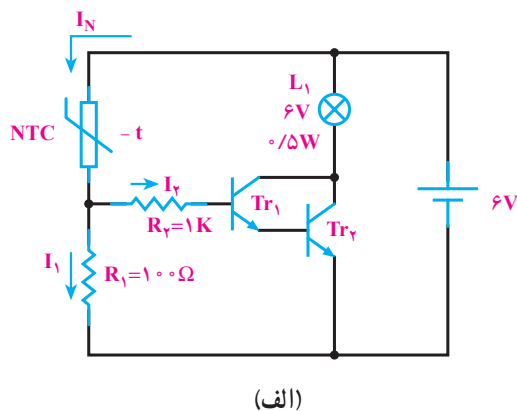


شکل ۴-۳۷

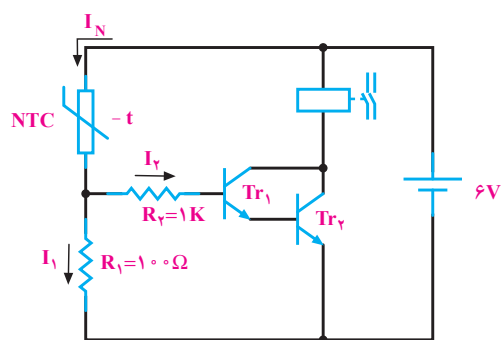
#### ۴-۱۹- سیستم اعلام حریق

در شکل ۴-۳۸ الف مدار یک سیستم اعلام حریق ساده

رسم شده است.



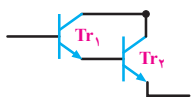
(الف)



(ب)

شکل ۴-۳۸

با افزایش حرارت مقاومت ترمیستور NTC کاهش می‌یابد و جریان عبوری از آن زیاد شده و در نتیجه جریان‌های  $I_T$  و  $I_1$  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

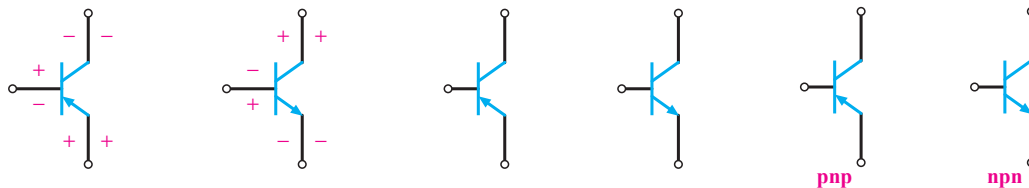


ایجاد می‌کند و سبب می‌شود جریان کم در بیس ترانزیستور  $Tr_1$  به جریان زیادی در کلکتور ترانزیستور  $Tr_2$  تبدیل شود و به این ترتیب می‌توان در این حالت لامپ‌های با توان بیشتر یا موتورهای با توان متوسط را نیز روشن نمود.

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 (۴-۳۸-ب) بهره بگیریم.

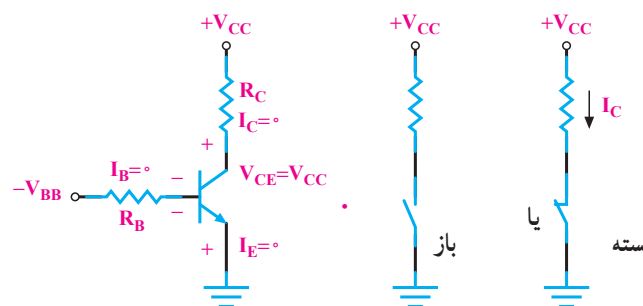
$$Tr_1 = Tr_2 = 2N3053 \text{ یا } BC140$$

- ۱- ساختمان ترانزیستور را شرح دهید.
- ۲- بایاسینگ ترانزیستور را شرح دهید.
- ۳- در مورد انتخاب نام ترانزیستور توضیح دهید.
- ۴- شمای مداری و معادل دیودی ترانزیستور NPN و PNP را رسم کنید.
- ۵- پایه‌ها و جهت قراردادی جریان و ولتاژهای ترانزیستورهای شکل ۴-۳۹ را تعیین کنید.



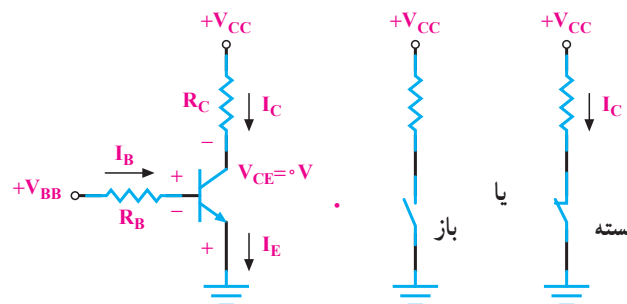
شکل ۴-۳۹

- ۶- ترانزیستور شکل ۴-۴۰ آیا معادل یک کلید باز است یا کلید بسته؟



شکل ۴-۴۰

- ۷- ترانزیستور شکل ۴-۴۱ معادل یک کلید باز است یا بسته؟



شکل ۴-۴۱

- ۸- مدار یک ترانزیستور NPN را با تغذیه‌ی سرخود رسم کنید.
- ۹- منبع جریان را تعریف کنید و شکل مدار منبع جریان ترانزیستوری را رسم نمایید.
- ۱۰- چند کاربرد ترانزیستور را نام ببرید.

## عناصر نیمه‌هادی خاص

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

- ۱- قطعات نیمه‌هادی چهارلایه را تعریف کند.
- ۲- ترستور را به صورت یک دیود قابل کنترل شرح دهد.
- ۳- SCR را با کلید مقایسه کند.
- ۴- تست SCR را از نظر سالم بودن و پایه‌ها تشریح کند.
- ۵- مدار ساده‌ی ترستوری را توضیح دهد.
- ۶- «Triac» را به صورت یک کلید قابل کنترل با جریان AC شرح دهد.
- ۷- چگونگی روشن کردن Triac را تشریح کند.
- ۷- Diac را به صورت یک دیود AC شرح دهد.
- ۹- PUT و UJT را تشریح کند.
- ۱۰- مدارهای کاربردی ساده (منبع تغذیه، یک‌سوساز با SCR و ...) را شرح دهد.

### مقدمه

و شکل موج یک‌سو شده‌ی خروجی در اختیار ما نبود، اما به کارگیری مدارات یک‌سوساز کنترل‌شده این امکان را به وجود می‌آورد که بتوانیم تأثیر و تغییراتی را در وضعیت شکل موج خروجی ایجاد نماییم. در این گونه مدارات از دیودهای یک‌سوساز خاصی استفاده می‌شود که برای بررسی و توضیح آن‌ها لازم است تا ساختمان داخلی این نیمه‌هادی‌ها را بشناسیم.

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. به طور کلی مدارات یک‌سوساز را از نظر عناصر به کار رفته، هم‌چنین چگونگی عملکرد به سه دسته می‌توان تقسیم نمود:

### ۱-۵- دیود چهارلایه (دیود شاکلی)

این دیود خاص از چهار لایه‌ی نیمه‌هادی PNPN که به طور سری و به تناوب از نوع P و N هستند درست شده است. همان گونه که در شکل ۵-۱ مشاهده می‌شود دو لایه‌ی خارجی

۱- مدارات یک‌سوساز کنترل نشده (دیودی)،

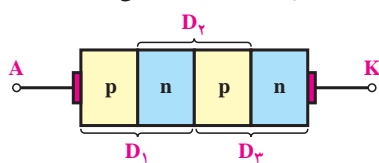
۲- مدارات یک‌سوساز نیمه‌کنترل شده (دیودی و

ترستوری)،

۳- مدارات یک‌سوساز تمام کنترل شده (ترستوری).

مدارات یک‌سوسازی که در فصل‌های پیشین بررسی

شدند از جمله مدارات یک‌سوساز کنترل نشده بودند، زیرا مقدار

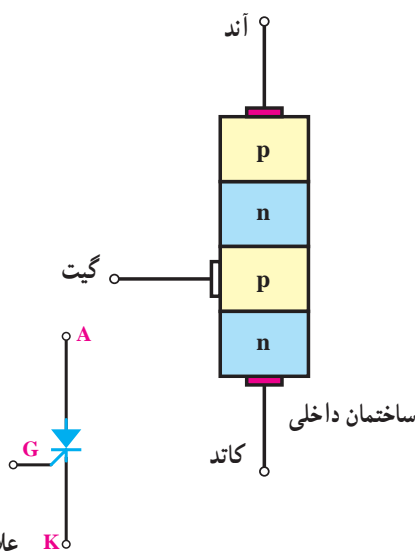


شکل ۵-۱

نخواهد کرد؛ زیرا دیودهای  $D_1$  و  $D_3$  در بایاس مخالف قرار گرفته، 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 ۵-۳ و ۵-۴ ولتاژ مدار را افزایش دهیم تا به مقداری بیش تر از ولتاژهای شکست دیودهای  $D_2$  یا  $D_1$  و  $D_3$  برسد. این عمل در قطعات خاص هم چون ترستور، دیاک، تریاک و... انجام می شود.

## ۵-۲- ترستور (SCR)

ترستور یا SCR<sup>۱</sup> یک عنصر نیمه هادی چهار لایه - با ساختمان داخلی PNPN - بوده، شامل سه پیوند PN است. رفتار آن نیز مانند دیودهای چهار لایه است. برای هادی شدن ترستور، چون اعمال ولتاژ زیاد به دوسر یک دیود چهار لایه مشکل و در بعضی موارد غیر ممکن است، برای رفع این عیب در ساختمان SCR یک پایه که به لایه ی P میانی متصل می شود در نظر گرفته شده که اصطلاحاً به آن «گیت» (G) یا «پایه ی فرمان» یا «پایه ی آتش زنه» گفته می شود. در شکل ۵-۵ ساختمان داخلی و علامت اختصاری یک SCR (ترستور گیت کادی) را مشاهده می کنید.



شکل ۵-۵- ساختمان داخلی، شکل ظاهری و علامت اختصاری ترستور

این نیمه هادی بدین صورت است که اولین لایه از نوع P، آند (A) و آخرین لایه از نوع N، کاتد (K) نام دارد.

در واقع با توجه به شکل ۵-۱ می توان گفت: مدار معادل این نیمه هادی از سه دیود  $D_1$  و  $D_2$  و  $D_3$  تشکیل شده است که آن را به صورت شکل ۵-۲ الف نیز می توان نشان داد. علامت اختصاری دیود شاکی به صورت شکل ۵-۲ ب است.

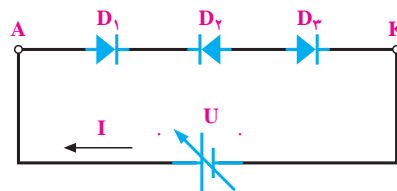


شکل ۵-۲- الف



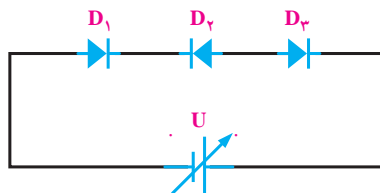
شکل ۵-۲- ب

در صورت اعمال ولتاژ بر دوسر این نیمه هادی ها (بایاس کردن نیمه هادی) جریانی از آن عبور نمی کند، زیرا همان گونه که در شکل های ۵-۳ و ۵-۴ ملاحظه می شود، اگر بایاس دیود به صورت شکل ۵-۳ باشد دیودهای  $D_1$  و  $D_3$  در بایاس موافق



شکل ۵-۳

و دیود  $D_2$  در بایاس مخالف قرار می گیرد؛ هم چنین اگر نیمه هادی را به صورت شکل ۵-۴، اتصال دهیم، جریانی از مدار عبور

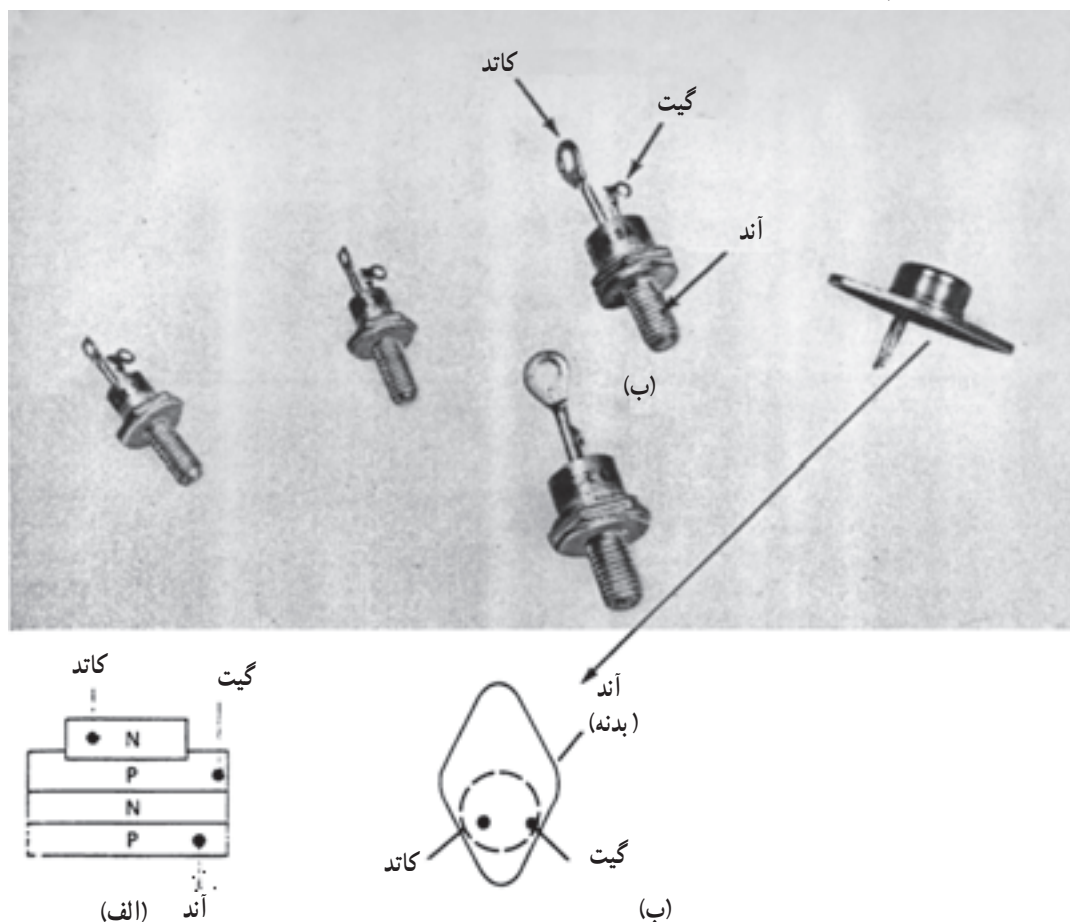


شکل ۵-۴

<sup>۱</sup> SCR = Silicon Controlled Rectifier

<sup>۲</sup> G = Gate

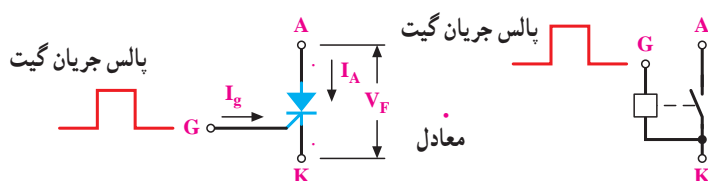
در شکل ۵-۶ تصویر چند ترستور نشان داده شده است.



شکل ۵-۶ - الف - ساختمان اصلی (داخلی) یک سوکننده‌ی کنترل سیلیکونی ، ب - شکل ظاهری

که بر ولتاژ سد لایه‌های میانی P و N غلبه کند (مانند دیود).  
ب - در صورتی که ولتاژ مثبتی بین آند و کاتد وجود داشته باشد و جریانی نیز به پایه‌ی گیت تزریق شود ترستور هدایت خواهد کرد.  
درواقع ترستور، مشابه کلیدی است که کنترل آن از طریق گیت امکان‌پذیر است (شکل ۵-۷).

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



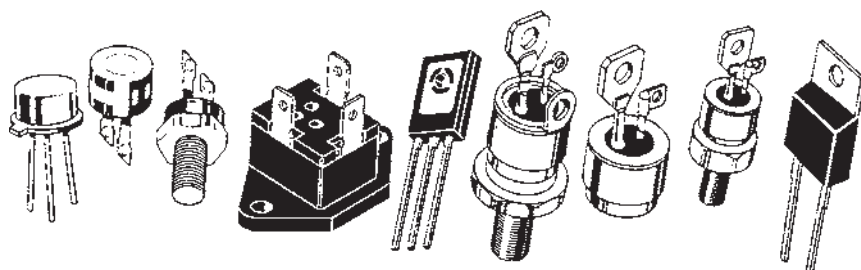
شکل ۵-۷

از این قطعه به صورت تنظیم کننده ی جریان بار مصرف کننده و قطع و وصل کننده در انواع مدارات کنترل کننده استفاده می شود که از جمله ی آن ها می توان به شارژ باتری ها، کنترل نور و کنترل

دور اشاره کرد.

شکل ۸-۵ نمونه های دیگری از اشکال مختلف

تریستور هاست.



شکل ۸-۵

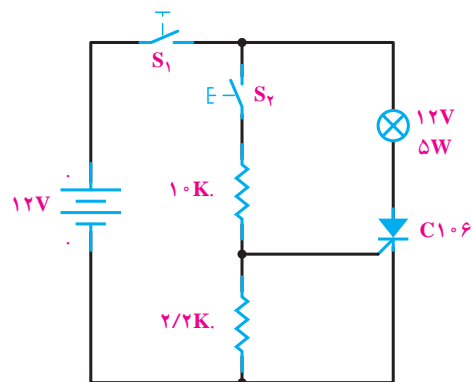
مقاومت  $10^6$  کیلو اهمی به گیت تریستور اعمال شده، در نتیجه سبب می شود تا تریستور عمل کند و جریانی از سمت آند آن به سمت کاتد فرستاده شود و بدین ترتیب، لامپ روشن می شود؛ حتی با قطع کلید  $S_1$  نیز در همان حال باقی می ماند، زیرا جریان لازم برای پایدار ماندن تریستور در حالت وصل کلید  $S_1$  تأمین شده و تریستور مانند کلید بسته در همان وضعیت باقی می ماند. از این آزمایش می توان نتیجه گرفت که تریستور مورد نظر سالم است. در صورتی که واکنش هایی به غیر از موارد اشاره شده داشته باشیم نشان دهنده ی خرابی تریستور است.

### ۵-۳- تشخیص پایه های تریستور

تعیین پایه های تریستور از روی شکل ظاهری، غیر ممکن بوده، هم چنین استفاده از اهم متر روش مطمئن و کلی نیست؛ از این رو بهترین روشی که برای تشخیص پایه های تریستور توصیه می شود استفاده از کتاب مشخصات است.

### ۵-۴- تست تریستور

در این روش با کمک مدار ی مطابق شکل ۵-۹ و به وسیله ی آزمایش به سالم بودن تریستور می توان پی برد.



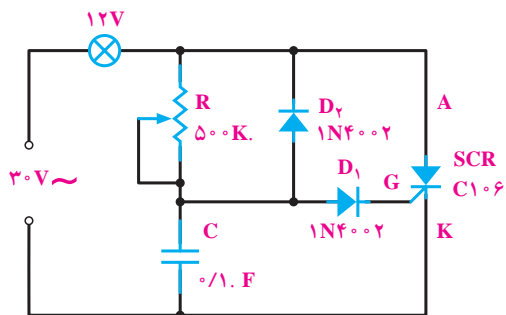
شکل ۵-۹

در این مدار با اتصال کلید  $S_1$  جریان از یک سمت به لامپ و آند تریستور می رسد، اما چون تریستور در وضعیت هدایت قرار ندارد جریانی از آند به کاتد عبور نمی کند و لامپ خاموش است. به محض این که کلید  $S_1$  وصل شود جریانی از طریق

### ۵-۵- مدار های ساده ی تریستوری

مدار های مختلفی را می توان نام برد که از خصوصیت SCR در طراحی آن ها استفاده شده است. در این جا چند نمونه از آن ها را بررسی می کنیم:

#### ۵-۵-۱- مدار دایمر: در شکل ۵-۱۰ مدار یک

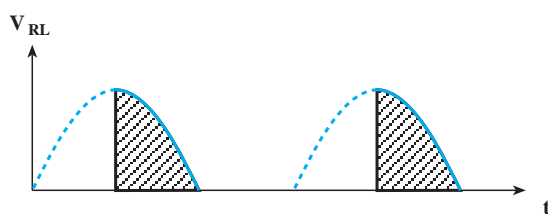


شکل ۵-۱۰

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. به این ترتیب، با تغییر  $R_1$  می‌توان در هر لحظه بین  $0^\circ$  تا  $90^\circ$  تریستور را هادی نمود.

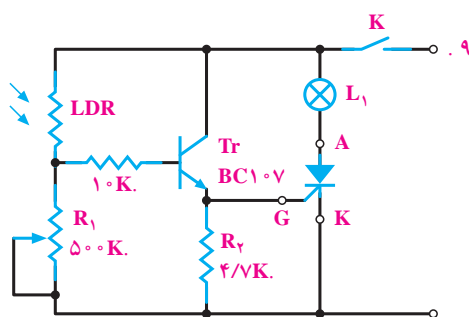
با هادی شدن SCR جریان از طریق SCR از بار عبور نموده در دو سر آن افت می‌کند. در شکل ۵-۱۲ ولتاژ دوسر  $R_L$  را در زاویه‌ی آتش  $90^\circ$  مشاهده می‌کنید. در این مدار رسیدن به زوایای بیشتر از  $90^\circ$  امکان‌پذیر نیست به دلیل این که مقادیر موج در زوایای  $90^\circ$  تا  $180^\circ$  قبلاً به وجود آمده‌اند. در نیم‌سیکل منفی SCR قطع است.



شکل ۵-۱۲

### ۵-۵-۳ کاربرد مقاومت تابع نور و SCR

به عنوان چشم الکترونیک: در شکل ۵-۱۳ مدار چشم الکترونیک رسم شده است. چشم الکترونیک مداری است که نسبت به نور حساس بوده، عکس العمل نشان می‌دهد.

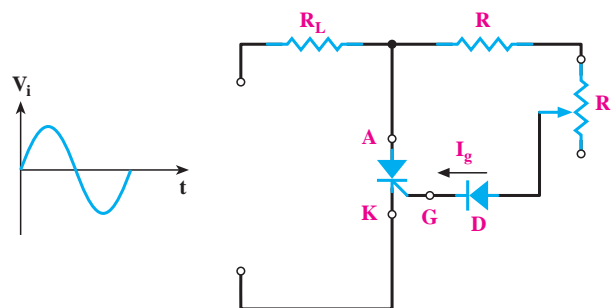


شکل ۵-۱۳

دیمر<sup>۱</sup> 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 به حدود  $1/4$  ولت رسید ( $7/0$  ولت برای وصل  $D_1$  و  $7/0$  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 وصل شدن 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 می‌شود. در نیم‌سیکل مثبت بعدی ابتدا خازن دشارژ، سپس از طریق R مجدداً شارژ می‌شود و عمل وصل SCR تکرار می‌شود. به این 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  $180^\circ$  درجه از سیگنال ورودی کنترل کنیم.

### ۵-۵-۲ مدار کنترل جریان: در شکل ۵-۱۱

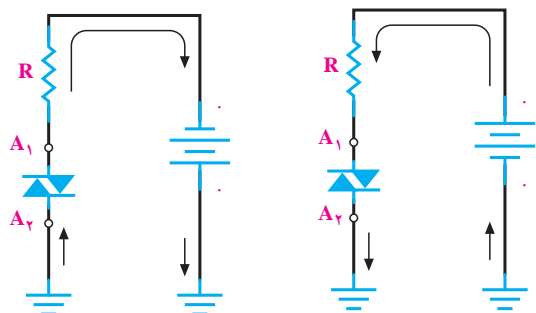
مداری نشان داده می‌شود که قادر است زاویه‌ی هدایتی بین  $0^\circ$  تا  $90^\circ$  درجه داشته باشد. هدایت تریستور را زاویه‌ی آتش ( $\alpha$ ) می‌نامند. در نیم‌سیکل مثبت دیود D وصل می‌کند و سبب عبور جریان در گیت SCR می‌شود. البته مقاومت‌های R و  $R_1$  جریان



شکل ۵-۱۱

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

است. نوع متداول آن دارای ولتاژ شکست ۳۵ ولت است. نحوه‌ی عملکرد دیاک چنین است: تا زمانی که 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  $P_1$ ،  $n_2$ ،  $P_2$  و  $n_3$  هستند. در شکل ۵-۱۵ چگونگی هدایت جریان در دو بایاس مختلف یک دیاک نشان داده شده است.

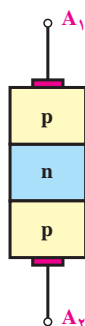


الف - بایاس از  $A_2$  به  $A_1$       ب - بایاس از  $A_1$  به  $A_2$

شکل ۵-۱۵

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

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



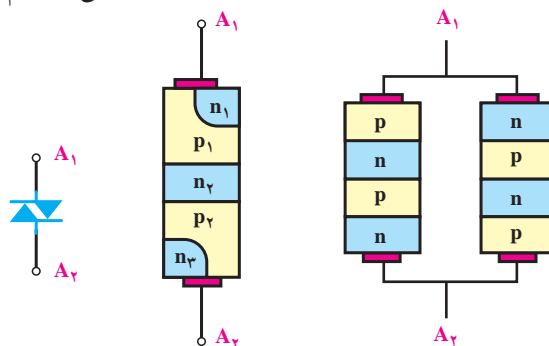
شکل ۵-۱۶ - ساختمان دیاک سه‌لایه به همراه شکل واقعی

وقتی نور به مقاومت LDR نمی‌تابد مقاومت آن زیاد بوده و چون جریانی از بیس ترانزیستور نمی‌گذرد،  $Tr$  قطع است. به محض تابش نور مقاومت LDR کم می‌شود؛ در نتیجه، جریان عبوری از LDR زیاد شده ترانزیستور  $Tr$  را فعال می‌کند. عبور جریان از امیتر ترانزیستور سبب تحریک گیت SCR و روشن شدن آن شده و لامپ  $L_1$  روشن می‌گردد. مقاومت متغیر  $50^\circ K$  برای تنظیم ولتاژ بین دو پایه بیس و امیتر ترانزیستور یا به عبارت دیگر حساسیت مدار نسبت به نور در مدار به کار رفته است.

## ۵-۶- دیاک<sup>۱</sup>

دیاک یک قطعه الکترونیکی است که معادل آن را به صورت دو دیود چهار لایه‌ی موازی و معکوس مانند شکل ۵-۱۴ الف می‌توان نشان داد. دیاک در هر دو جهت تحریک می‌شود. در واقع دیاک دیود جریان متناوب بوده و دارای دو پایه است. واژه‌ی «diac» اختصار شده‌ی دیود جریان متناوب **diode ac** است.

ترتیب لایه‌های نیمه‌هادی دیاک به همراه علامت اختصاری آن در شکل ۵-۱۴ نشان داده شده است. این قطعه دارای دو پایه است که تحت عنوان آند یک ( $A_1$ ) و آند دو ( $A_2$ ) می‌شناسیم.



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

شکل ۵-۱۴ - 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 سالم بودن دیاک را به وسیله‌ی اهم‌تر نمی‌توان انجام داد، زیرا اهم‌تراز هر دو طرف مقدار مقاومت را نشان می‌دهد. ولتاژهای شکست (ولتاژ هدایت) دیاک‌ها بین ۲۵ تا ۴۲ ولت



در مدارات الکترونیکی دیاک را با علامت اختصاری شکل ۵-۱۷ نیز نشان می‌دهند.



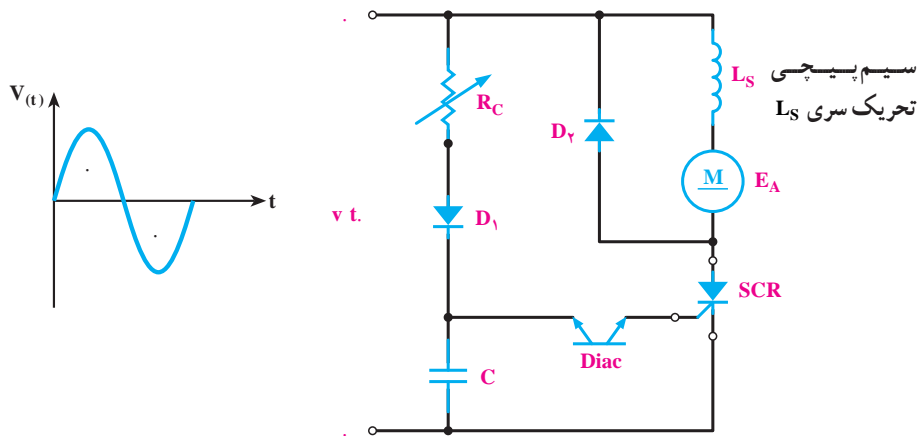
شکل ۵-۱۷ علامت اختصاری دیگری از دیاک سه لایه

در شکل ۵-۱۸ یک مدار کاربردی برای دیاک نشان داده شده است.

طرز کار مدار شکل ۵-۱۸ بدین صورت 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 ترستور رسانده آن را تحریک می‌کند. در این صورت SCR هادی می‌شود و جریان را هدایت کرده، موتور شروع به حرکت می‌کند.

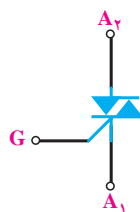
در نیم‌سیکل منفی چون دیود  $D_1$  بایاس مخالف می‌شود؛ پس جریانی به خازن و دیاک نمی‌رسد، اما موتور می‌تواند جریان خود را از طریق مسیر دیود  $D_2$  (انرژی سیم‌پیچ  $L_S$ ) دریافت نموده و به حرکت خود ادامه دهد. با تغییر مقدار مقاومت  $R_C$  در واقع زاویه‌ی آتش ترستور، به عبارت دیگر مقدار مؤثر ولتاژ اعمال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



شکل ۵-۱۸ کنترل‌کننده‌ی موتور اونیورسال نیم‌موج

## ۵-۷ ساختمان ترایاک<sup>۱</sup>

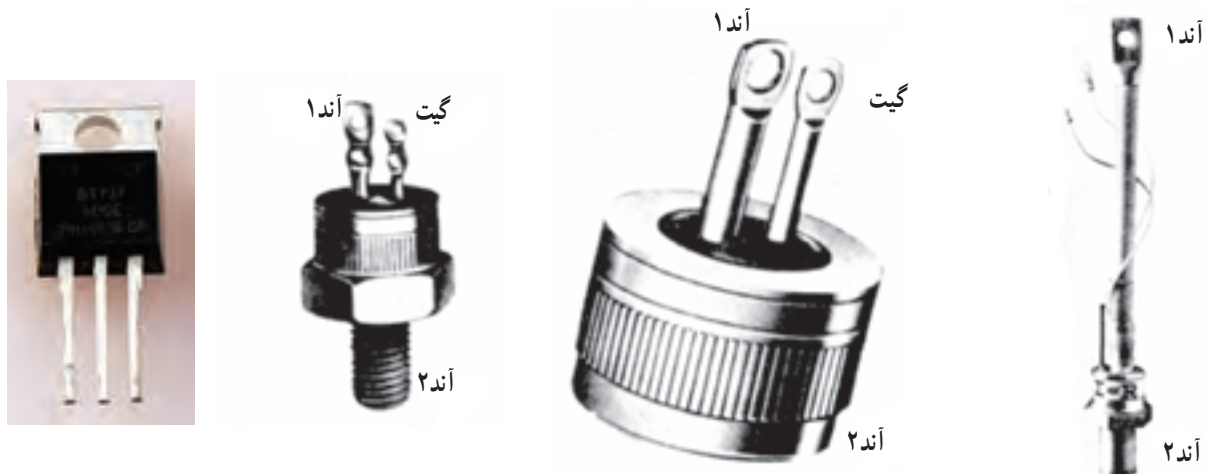
ترایاک معادل دو SCR یکی «گیت آندی» و دیگری «گیت کاتدی» است که به‌طور موازی به هم بسته شده‌اند. این قطعه قادر است در هر دو نیم‌سیکل عمل کنترل را انجام دهد. در نیم‌سیکل مثبت معادل SCR گیت کاتدی و در نیم‌سیکل منفی معادل SCR گیت آندی عمل کنترل را انجام می‌دهند. در شکل ۵-۱۹ نمای



شکل ۵-۱۹ علامت اختصاری ترایاک

مداری ترایاک نشان داده شده است.

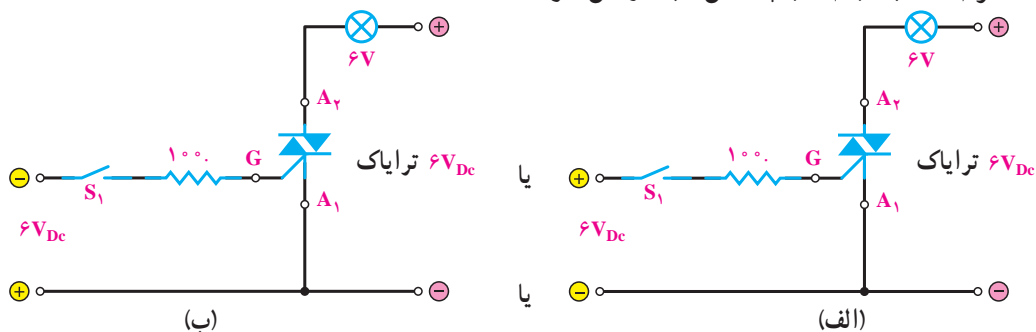
پایه‌های تریایک «آند یک» ( $A_1$ ) و «آند دو» ( $A_2$ ) و «گیت» ( $G$ ) نام دارند. در شکل ۵-۲۰ تصویر ظاهری چند تریایک رسم شده است. عمل تحریک توسط پایه‌ی گیت انجام می‌گیرد.



شکل ۵-۲۰

۸-۵- روشن کردن تریایک (تریگر کردن تریایک) و گیت نیز نسبت به  $A_1$  ولتاژ مثبت یا منفی وصل گردد تریایک تحریک شده و وصل می‌شود (شکل ۵-۲۱- الف و ب).

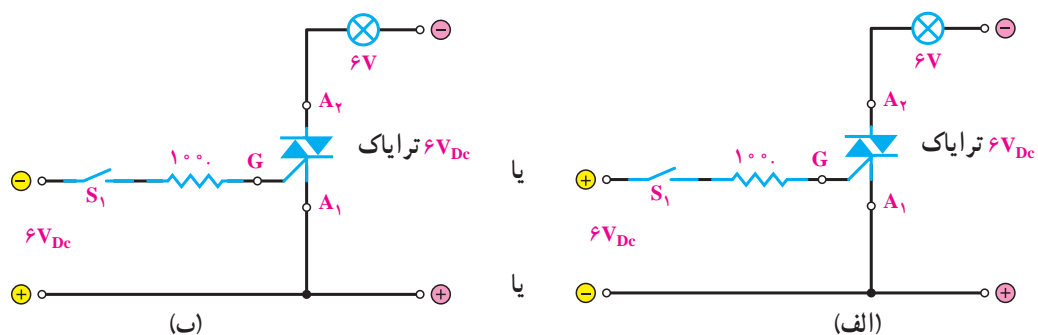
تریایک را می‌توان با چهار روش وصل نمود.  
الف- اگر  $A_2$  نسبت به  $A_1$  به پتانسیل مثبت وصل شود



شکل ۵-۲۱

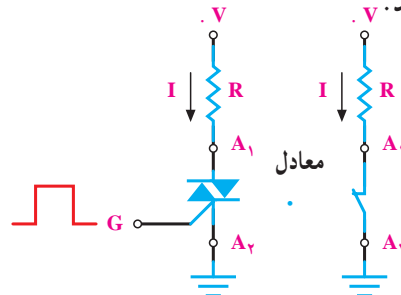
در شکل مشاهده می‌کنید اگر کلید  $S_1$  وصل شود گیت نیز تحریک می‌شود و در حالت ایده‌آل تریایک مانند یک کلید وصل عمل کرده، جریان از لامپ عبور می‌کند.

ب- اگر  $A_2$  نسبت به  $A_1$  به پتانسیل منفی وصل شود و



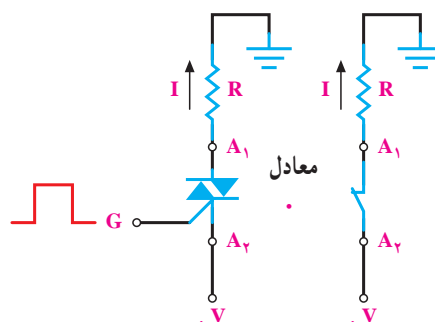
شکل ۵-۲۲

البته بهتر است هنگامی که  $A_1$  نسبت به  $A_2$  مثبت تر است گیت نسبت به  $A_2$  تحریک شود. شکل ۵-۲۳ این حالت را نشان می دهد.



شکل ۵-۲۳

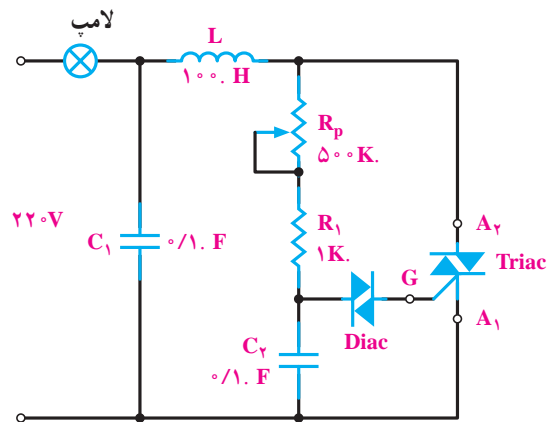
اگر  $A_2$  نسبت به  $A_1$  مثبت تر باشد گیت نسبت به  $A_1$  تحریک می شود. در شکل ۵-۲۴ این حالت را مشاهده می کنید.



شکل ۵-۲۴

## ۵-۹ کاربرد تریاک به صورت مدار دیمر

در شکل ۵-۲۵ مدار یک دیمر برای کنترل روشنایی نشان داده شده است.

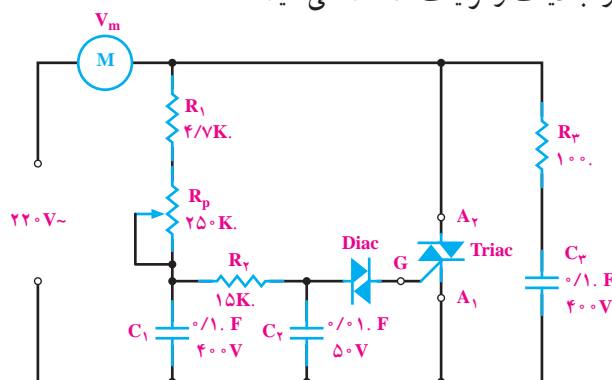


شکل ۵-۲۵

در دیمر چون جریان به صورت ناگهانی، ضربه ای و به طور مرتب قطع و وصل می شود، مقدار زیادی پارازیت به اطراف خود پخش می کند. خازن  $C_1$  و سلف  $L$  برای حذف پارازیت است و از عبور پارازیت های فرکانس بالا به شبکه جلوگیری می کنند. با تغییر پتانسیومتر زاویه ی برش و در نتیجه ولتاژ مؤثر دو سر بار را می توان تغییر داد. وقتی ولتاژ شارژ خازن  $C_2$  به اندازه ی ولتاژ شکست دیاک رسید، دیاک وصل می کند؛ هم چنین خازن در داخل گیت به صورت ضربه ای خالی می شود و تریاک را وصل می کند. این عمل عیناً در دو نیم سیکل مثبت و منفی تکرار می شود. در مراکز صنعتی اگر بخواهند زاویه ی برش را به صورت اتوماتیک کنترل کنند باید به وسیله ی مداری پالس های الکتریکی کنترل پذیر ایجاد نمایند. یکی از این قطعات به منظور ایجاد پالس ترانزیستور UJT است.

## ۵-۱۰ کنترل دور موتور یونیورسال

در مدار شکل ۵-۲۶ کنترل کننده ی دور موتور یونیورسال را با دیاک و تریاک مشاهده می کنید.

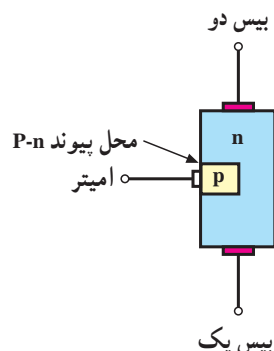


شکل ۵-۲۶

با شارژ خازن  $C_2$  وقتی ولتاژ دو سر آن به اندازه ی ولتاژ شکست دیاک رسید، دیاک وصل می کند؛ هم چنین خازن در داخل گیت تریاک به صورت ضربه ای خالی می شود و تریاک وصل می کند. با تغییر  $R_p$  زمان شارژ خازن را می توان تغییر داد. هرچه خازن دیرتر شارژ شود زمان وصل تریاک به تأخیر افتاده، ولتاژ مؤثر در دو سر موتور کم و دور موتور کم می شود. مقاومت  $R_3$  با خازن  $C_3$  به منظور حذف پارازیت های ایجاد شده به شبکه است.

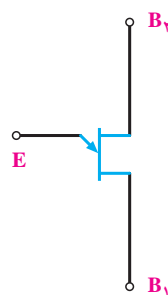
## ۵-۱۱- ترانزیستور UJT

UJT<sup>۱</sup> یک نوع ترانزیستور تک اتصالی است. در ساختمان این ترانزیستور یک قطعه‌ی کوچک کریستال، نوع P روی یک کریستال نوع N متصل شده است (شکل ۵-۲۷).



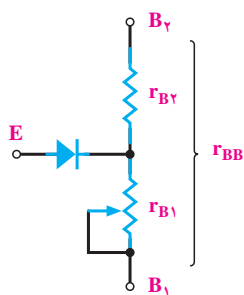
شکل ۵-۲۷

در شکل ۵-۲۸ علامت اختصاری UJT رسم شده است.



شکل ۵-۲۸

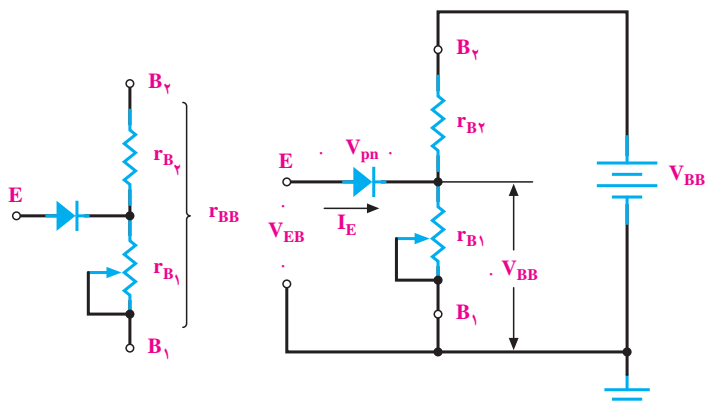
پایه‌های UJT «بیس یک» ( $B_1$ )، بیس دو ( $B_2$ ) و «امیتر» ( $E$ ) نام دارند. UJT فقط دارای یک اتصال P-N است. دو پایه‌ی بیس یک و بیس دو نسبت به هم مانند یک مقاومت هستند. مقاومت بین  $B_1$  و  $B_2$  را به  $r_{BB}$  نشان می‌دهند. مقدار  $r_{BB}$  برای UJT‌های مختلف حدود ۴ کیلو اهم تا ۱۰ کیلو اهم است. امیتر نسبت به  $B_1$  و  $B_2$  مانند دیود عمل می‌کند. در شکل ۵-۲۹ مدار معادل UJT رسم شده است.



شکل ۵-۲۹

### ۵-۱۱-۱- طرز کار UJT: هرگاه منبع ولتاژ $V_{BB}$

را مطابق شکل ۵-۳۰ به دو پایه‌ی  $B_1$  و  $B_2$  وصل کنیم، به علت مقاومت زیاد بین دو بیس ( $B_2$  تا  $B_1$ ) جریان کمی از منبع کشیده می‌شود؛ هم‌چنین منبع ولتاژ  $V_{BB}$  بین دو مقاومت  $r_{B_1}$  و  $r_{B_2}$  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 ۵-۳۰

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

$$\therefore \frac{r_{B_1}}{r_{B_1} + r_{B_2}}$$

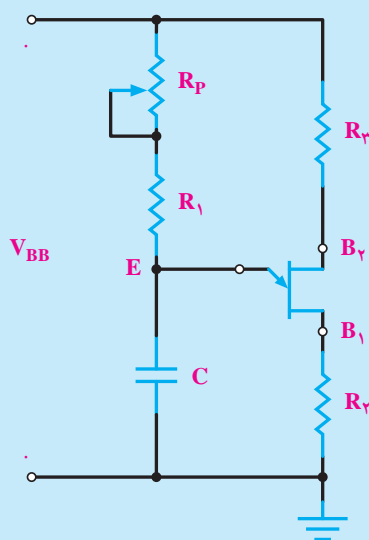
$$V_{r_{B_1}} \therefore V_{BB}$$

اگر ولتاژ اعمال شده به امیتر نسبت به  $B_1$  به حدی 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

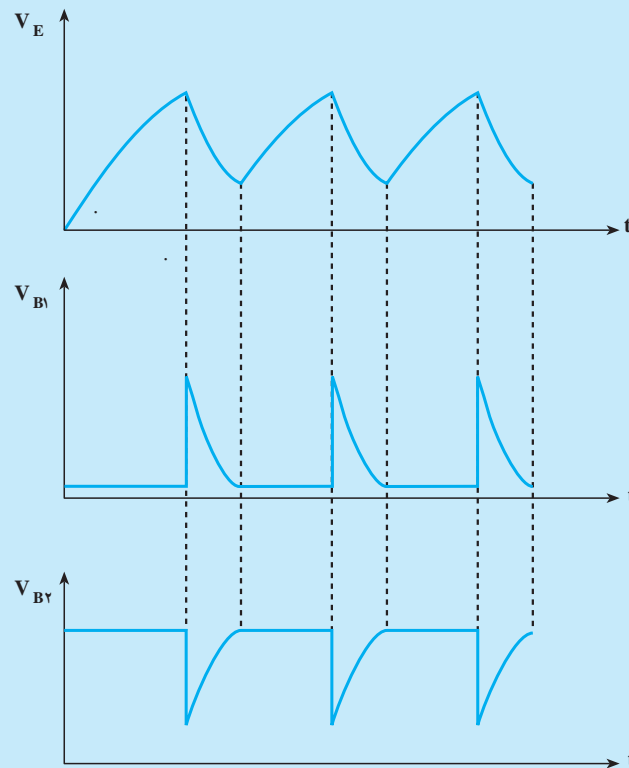
## ۵-۱۱-۲- کاربرد UJT به صورت مولد موج دندان‌ه‌ای و پالس: در شکل ۵-۳۱ مدار مولد

موج (اسیلاتور یا نوسان‌ساز) با UJT رسم شده است.



شکل ۵-۳۱

خازن C از طریق  $R_1$  و  $R_p$  شروع به شارژ می‌کند و ولتاژ دو سر خازن یعنی ولتاژ E به تدریج افزایش می‌یابد. هر وقت ولتاژ امیتر (E) به حدی 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-بیس یک به سرعت 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 مولد موج (اسیلاتور) UJT در حال کار است، سه نوع موج با فرکانس برابر، اما شکل‌های مختلف ایجاد می‌کند. در شکل ۵-۳۲ این سه موج رسم شده است.



شکل ۵-۳۲

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 پایه  $B_1$  در هنگام شارژ خازن بسیار ناچیز و حدود صفر بوده زیرا جریان عبوری از  $R_2$  بسیار ناچیز است، اما به هنگام دشارژ خازن جریان  $R_2$  زیاد می‌شود. ولتاژ  $B_2$  در ابتدا زیاد است و به هنگام عمل کردن UJT تا زمانی که خازن در حال دشارژ است از پایه  $B_2$  نیز جریان عبور می‌نماید و ولتاژ آن کاهش می‌یابد. با دشارژ خازن و قطع جریان این ولتاژ افزایش می‌یابد. از موج دندانه‌ای ارّه‌ای ایجاد شده، در دستگاه‌هایی نظیر اسیلوسکوپ یا تلویزیون استفاده می‌کنند. پالس‌های ایجاد شده را نیز برای تحریک گیت عناصری نظیر ترستور و ترایاک به کار می‌برند.

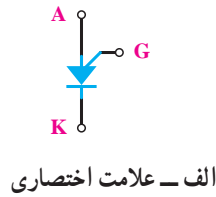
برای ساختن مدار می‌توان این مقادیر را به کار برد :

$$V_{BB} \cdot 10 \text{ ولت} \quad R_p \cdot 500 \text{ K} \quad R_1 \cdot 1 \text{ K} \quad C \cdot 10 \text{ nF}$$

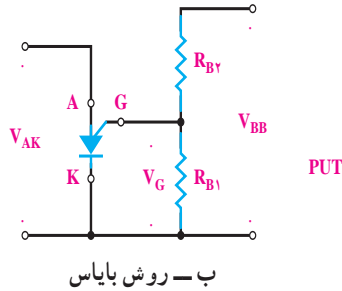
$$R_2 \cdot 100 \quad R_3 \cdot 1/5 \text{ K} \quad \text{UJT} \cdot 2\text{N}2646$$

## ۵-۱۲- ترانزیستور PUT

PUT<sup>۱</sup> یا ترانزیستور تک قطبی قابل برنامه ریزی، یک ترانزیستور سه پایه است که ساختمان داخلی آن از چهار لایه ی متناوب از نیمه هادی های نوع P و N تشکیل شده است. برخلاف تشابه اسمی که بین PUT و UJT (ترانزیستور تک قطبی) وجود دارد، ساختمان داخلی و شیوه ی کار کاملاً متفاوتی دارند. در شکل ۵-۳۳ الف و ب ساختمان PUT و معادل دیودی آن نشان داده شده است.



الف - علامت اختصاری



شکل ۵-۳۴

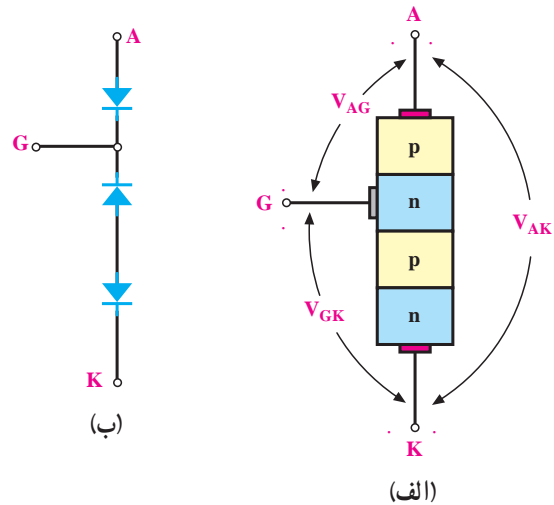
PUT نسبت به UJT دارای امتیازاتی است که عبارت اند

از:

- الف - ولتاژ شکست آن، بالاتر است.
  - ب - قادر به کار در ولتاژهای پایین است.
  - ج - پالس های خروجی آن دارای ولتاژ بالاتری است.
  - د - ولتاژ تحریک آن قابل برنامه ریزی است.
  - ه - قیمت آن کم و اندازه ی حقیقی آن کوچک است.
- از جمله کاربردهای PUT می توان به این موارد اشاره کرد:
- ۱- ساخت تایمرها در مدارات شارژر،
  - ۲- افزایش راندمان مولد (با کنترل ولتاژ  $V_{BB}$ ).

### ۵-۱۲-۱- کاربرد PUT: بلوک دیاگرام کلی این

سیستم در شکل ۵-۳۵ نشان داده شده است. این سیستم سرعت نوار نقاله را کنترل می کند؛ یعنی به گونه ای عمل می کند که طی یک زمان مشخص تعدادی معین از اجسامی که در فواصل نامساوی از هم قرار دارند از مقابل نقطه ای خاص در روی خط تولید عبور کنند.

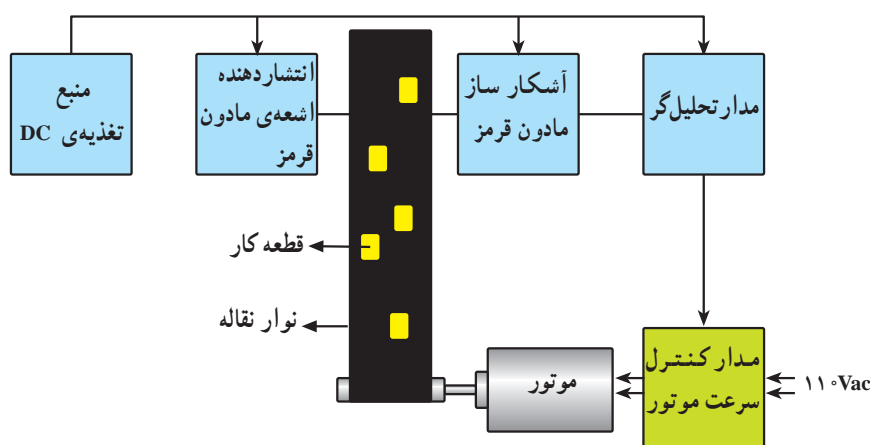


شکل ۵-۳۳

این قطعه دارای چهار لایه ی PnPn و یک گیت است که به لایه ی نوع n میانی اتصال دارد. علامت اختصاری PUT و اصول بایاس آن در شکل ۵-۳۴ مشاهده می شود.

همان گونه که از علامت اختصاری آن استنباط می شود این قطعه نیز در واقع SCR از نوع گیت آندی است. اصطلاح «برنامه ریزی» از این رو برای PUT به کار می رود چون به کمک مقاومت های بایاس آن  $R_{B1}$  و  $R_{B2}$ ، هم چنین  $V_{BB}$  می توان آن را کنترل کرد. برای تحریک این نوع SCR باید به گیت ولتاژ منفی حدود ۷/۰ ولت نسبت به آند اعمال کرد.

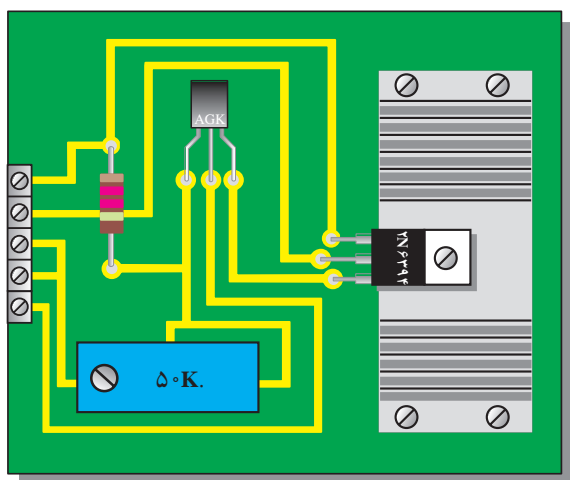
<sup>۱</sup> PUT = Programmable Unijunction Transistor



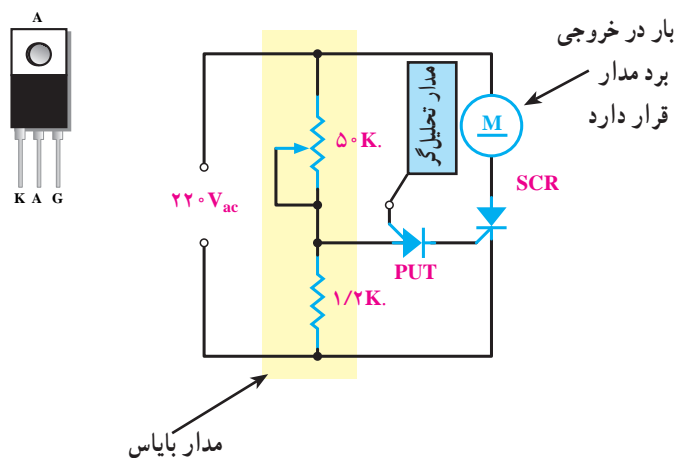
شکل ۵-۳۵

این ولتاژ نسبی توسط مدار تحلیل‌گری برای گیت PUT که در روی برد مدار کنترل سرعت است به کار 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 ترستور 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 به گونه‌ی اتوماتیک بتوان تنظیم کرد. شکل ۵-۳۷ تصویری است از برد مدار چاپی به همراه قطعات نصب‌شده‌ی روی آن.

هرگاه جسمی که روی تسمه‌ی نقاله‌ی متحرک قرار دارد از مقابل آشکار ساز نوری عبور کرده، مانع از عبور اشعه‌ی مادون قرمز 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<sup>۱</sup> نوری عبور می‌کنند بیش‌تر باشد ولتاژ بالاتر خواهد بود. این ولتاژ در مدار برای کنترل دور موتور به کار رفته و باعث تنظیم سرعت موتور الکتریکی می‌شود. در شکل ۵-۳۶ این مدار نشان داده شده است. توجه داشته باشید که بایاس PUT می‌تواند روی گیت یا آند انجام شود.



شکل ۵-۳۷



شکل ۵-۳۶



## ۱۳-۵- چند نمونه کاربرد نیمه‌هادی‌های خاص

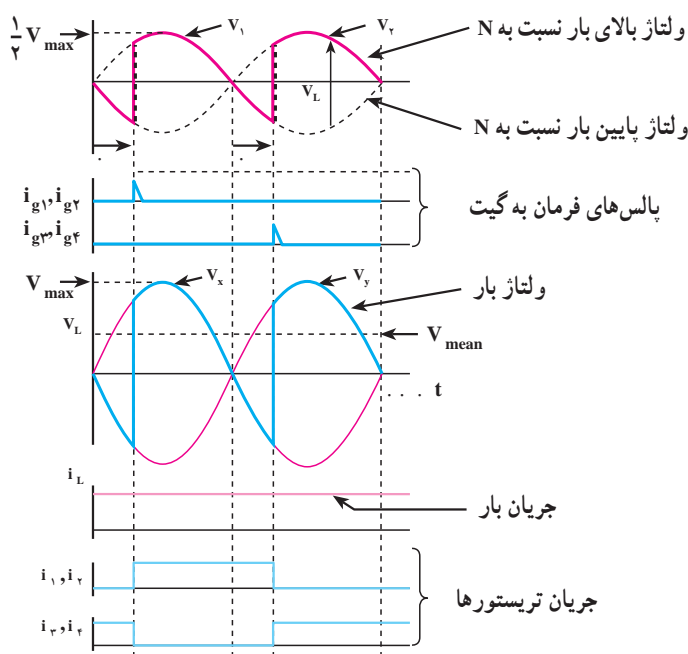
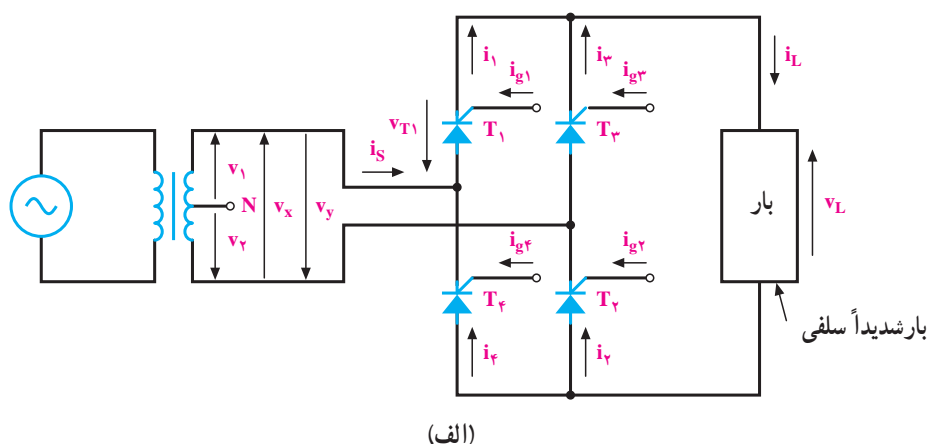
در این فصل با چند قطعه نیمه‌هادی خاص (الکترونیک قدرت) مانند SCR ؛ DIAC ؛ TRIAC ؛ UJT و PUT آشنا شده‌اید و در هر قسمت حداقل یک نمونه کاربردی برای هر یک از آن‌ها تشریح شده است. اما به جهت آشنایی بیشتر با زمینه‌های استفاده از این قطعات مدارهای متفاوت دیگری معرفی و بررسی شده‌اند.

### ۱-۱۳-۵- 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 ۵-۳۸ مدار و شکل موج‌های ولتاژ و جریان دوسر بار ( $i_L$  و  $v_L$ )؛ 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.

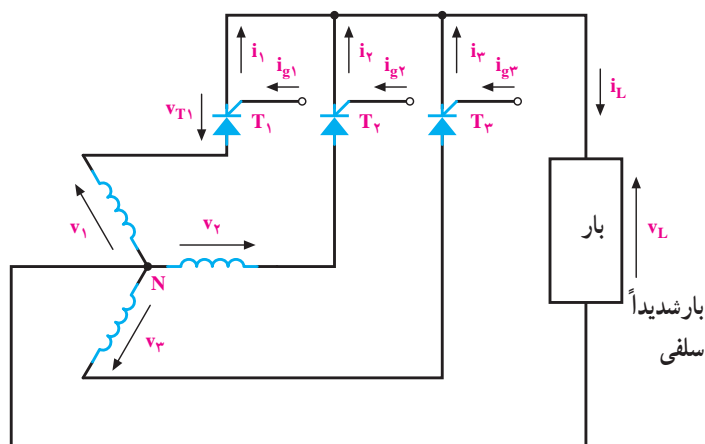


شکل ۵-۳۸

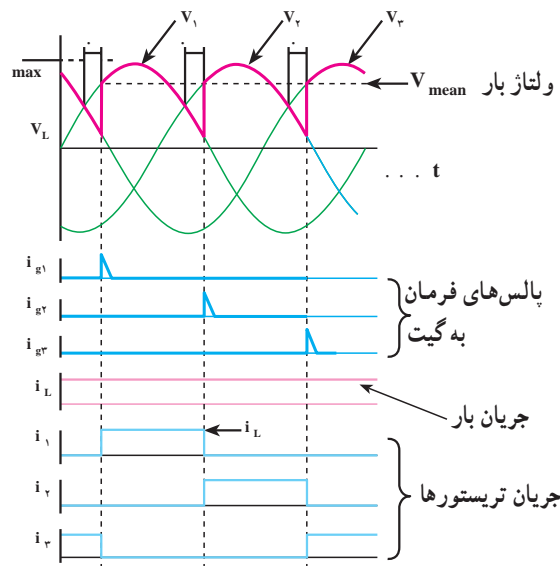
لازم به ذکر است که در بار اهمی خالص قسمت منفی ولتاژ بار ( $v_L$ ) حذف می‌شود و شکل موج جریان بار ( $i_L$ ) نیز مشابه شکل موج ولتاژ بار خواهد شد.

### ۵-۱۳-۲ یک سوساز نیم موج تریستوری سه فاز:

اصول کار این مدار نیز مانند یک سوساز نیم موج تک فاز است؛ با این تفاوت که در این مدار با فرستادن جریان به گیت هر تریستور می‌توان آن را در وضعیت وصل قرار داد. همان گونه که در شکل ۵-۳۹ مشاهده می‌شود هر فاز نسبت به دو فاز دیگر در هر  $120^\circ$



الف - اتصال مدار



ب - شکل موج‌ها با زاویه تأخیر آتش کوچک

شکل ۵-۳۹ مدار سه فاز تمام کنترل شده‌ی نیم موج تریستوری

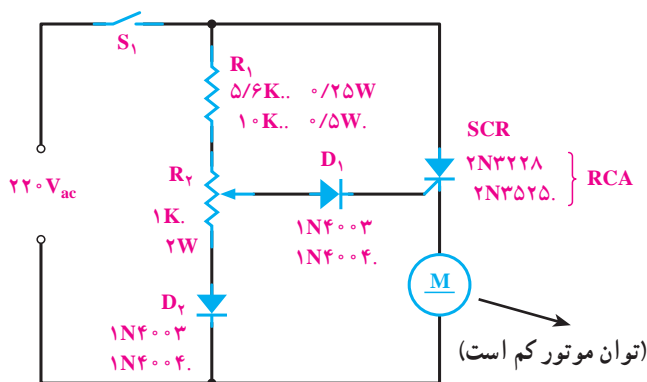
درجه مثبت تر است؛ بنابراین، تریستوری که در مسیر آن فاز قرار می‌گیرد، آند آن نسبت به کاتد مثبت تر است؛ پس در این فاصله می‌توان جریان تحریکی را به گیت آن تریستور فرستاد تا عمل هدایت را انجام دهد. در شکل ۵-۳۹ وضعیت جریان‌های تحریک ( $i_g$ ) جریان‌های عبوری از هر تریستور ( $i_1$  تا  $i_3$ ) ولتاژ و جریان دوسر بار ( $V_L$  و  $I_L$ ) در زاویه‌ی آتش ( $\alpha$ ) 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  $120^\circ$  درجه تابع یکی از تریستورها است.

### ۵-۱۳-۳ کنترل دور موتورهای dc: در شکل

۵-۴۰ مدار ی نشان داده شده است که در آن موتور جریان مستقیم به گونه‌ی سری با تریستور قرار گرفته 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. در نتیجه، سرعت موتور نیز کاهش می‌یابد. پس به این 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.

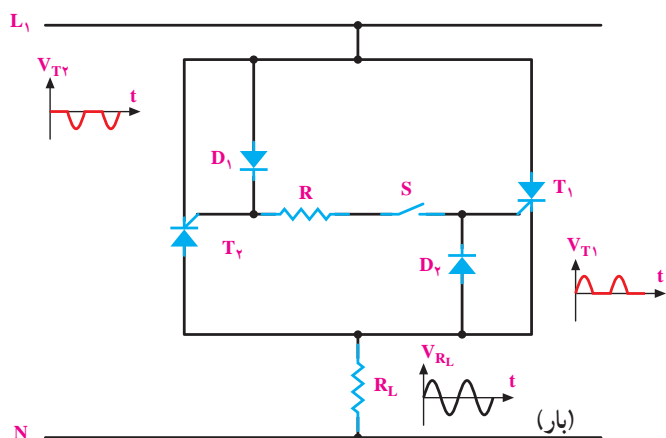


شکل ۵-۴۰

در شکل ۵-۴۱ تصویر دو کنترل کننده‌ی دور موتورهای (ac و dc) نشان داده شده است.



شکل ۵-۴۱

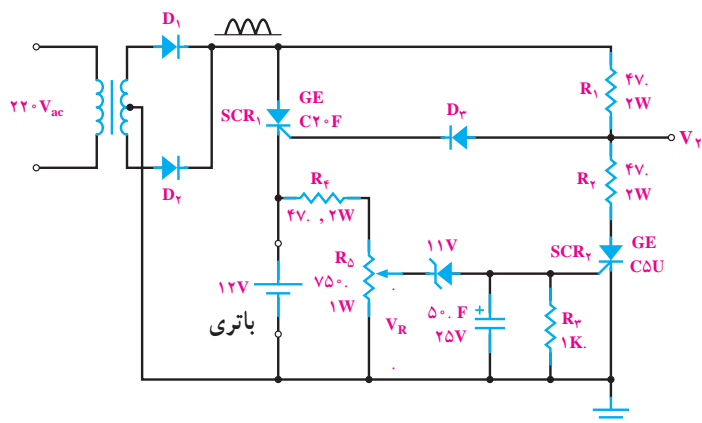


شکل ۵-۴۲

در این مدار دیودهای  $D_1$  و  $D_2$  به عنوان یک سوکننده و به منظور کنترل جریان گیت ترستورها به کار برده شده‌اند. در نیم سیکل مثبت  $D_1$  و  $T_1$  در بایاس موافق و در نیم سیکل منفی  $D_2$  و  $T_2$  در بایاس موافق قرار دارند. بدین ترتیب، برای هادی شدن هر ترستور کافی است کلید  $S$  فشار داده شود. در این صورت، جریان از طریق هر ترستور به بار خواهد رسید. از این مدار هنگامی استفاده می‌شود که تریاک موجود نباشد، زیرا عملکرد آن مانند تریاک است.

#### ۵-۱۳-۵- رگولاتور شارژ باتری: از جمله

کاربردهای مشهور SCR در رگولاتورهای شارژ باتری است. اجزا و عناصر اصلی چنین مداری در شکل ۵-۴۳ دیده می‌شود.



شکل ۵-۴۳- رگولاتور شارژ باتری

#### ۵-۱۳-۴- کنتاکتور الکترونیکی: در مدارات

الکترونیکی از ترکیب دو ترستور مخالف موازی می‌توان ترکیبی را ساخت که به صورت 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- زمان جواب گرفتن از آن‌ها بسیار کوتاه است.
- ب- قطع دائم مدار در زمانی که جریان در آن صفر شود.
- ج- کنتاکت‌های فلزی در آن وجود ندارند.
- د- این سیستم بی‌سر و صدا کار می‌کند.
- ه- امکان فرستادن فرمان برای قدرت‌های کوچک یا خیلی بزرگ وجود دارد (مانند ماشین‌های جوش کاری).

شکل ۵-۴۲ تصویری از مدار کنتاکتور الکترونیکی

است.

دارد. ولتاژ متناوب ورودی (برق شهر) به وسیله‌ی مدار پُل یک‌سوساز تمام موج یک‌سو می‌شود و از طریق مقاومت  $R_1$  به مدار کنترل اعمال می‌گردد. مقدار موج یک‌سو شده به وسیله‌ی دیود زنر روی  $20^\circ$  ولت تثبیت می‌شود.  $R_2$  به گونه‌ای 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. در نتیجه، گیت UJT تحریک نمی‌شود و UJT 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. زیاد شدن مقاومت NTC سبب افزایش ولتاژ امیتر – 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. در نتیجه از المنت جریان عبور نموده آن را گرم می‌کند.

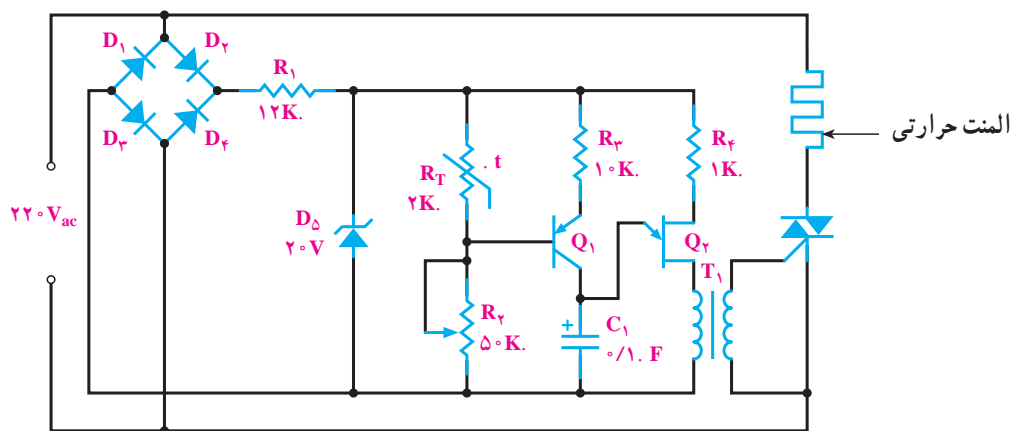
هرگاه حرارت المنت از حد تعیین شده تجاوز کند مقاومت NTC آن قدر کاهش می‌یابد که سبب قطع  $Q_1$  و در نهایت، موجب قطع ترایاک می‌شود، این امر جریان المنت را قطع می‌کند و سبب خنک شدن آن می‌شود.

طرز کار مدار بدین صورت است که ابتدا ولتاژ متناوب به وسیله‌ی 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 تریتستور  $SCR_1$  به منظور تحریک اعمال می‌شود. با روشن شدن  $SCR_1$  شارژ باتری آغاز خواهد شد. در شروع شارژ ولتاژ کم باتری به صورت 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 به حدی می‌رسد که ولتاژ دو سر مقاومت  $R_5$  (VR) به اندازه‌ای می‌رسد که می‌تواند دیود زنر و  $SCR_2$  را روشن کند. با هادی شدن دیود زنر و رسیدن جریان به گیت، تریتستور  $SCR_2$  روشن و مدار از طریق دو مقاومت  $R_1$ ،  $R_2$  و  $SCR_2$  بسته می‌شود که در نتیجه ولتاژ خروجی یک‌سوساز بین آن‌ها تقسیم خواهد شد. در این حالت هم‌چنین ولتاژ دوسر مقاومت  $R_2$  (گره  $V_2$ ) به اندازه‌ای نیست که تریتستور  $SCR_1$  را روشن کند؛ از این‌رو مدار  $SCR_1$  قطع می‌گردد و عمل شارژ به صورت اتوماتیک متوقف می‌شود.

#### ۵-۱۳-۶- کنترل اتوماتیک درجه‌ی حرارت المان

حرارتی: در شکل ۵-۴۴ 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 به همراه مقاومت  $R_2$  بایاس بیس ترانزیستور  $Q_1$  را به عهده



شکل ۵-۴۴

- ۱۲۱

## منابع و مأخذ

- ۱ – Electronic devices by: T.L.floyd(2000 – میلادی) (MCGraw-Hill)
- ۲ – خرازی، سعید. اصول الکترونیک، ۱۳۷۸. مجتمع فنی تهران.
- ۳ – خلیج، بهرام. نظریان، فتح الله. الکترونیک عمومی. وزارت آموزش و پرورش.
- ۴ – لندر، سریل. ۱۳۷۵. الکترونیک صنعتی. معتمدی نژاد، میرفاضلی، شفیعی. انتشارات خراسان
- ۵ – مطلبی، علی. الکترونیک صنعتی. ۱۳۶۳. انتشارات دانش و فن
- ۶ – نسلسکی، اشتاد. ۱۳۷۸. قطعات و مدارات الکترونیک. دکتر قدرت سپیدنام و ... انتشارات خراسان
- ۷ – ویکرز، ویلیام. ۱۳۷۵. مدار منطقی. مهندس انواری و مهندس سینا. انتشارات پرهام

