وزارت علوم تحقیقات و فن‌آوری

دانشگاه فنی و حرفه‌ای (البرز)

دانشکده فنی شهید بهشتی کرج

نام درس:

مبانی برق و الکترونیک و کارگاه

مقطع:

کاردانی مکانیک خودرو

مدرس:

محمود محمدحسن

فهرست

مبانی الکتریسیته و مدارهای الکتریکی ۱
بار الکتریکی ۱
انواع بار الکتریکی ۱
شدت جریان الکتریکی ۲
ولتاژ یا اختلاف پتانسیل ۳
مدارهای الکتریکی ۴
تقسیم‌بندی مواد از نظر عبور جریان الکتریسیته ۴
مواد رسانا (هادی) ۴
مواد نیمه رسانا (نیمه هادی) ۴
مواد نارسانا (عایق) ۴
انواع جریان های الکتریکی ۵
جریان مستقیم DC ۵
جریان متناوب AC ۵
مقاومت الکتریکی ۶
انواع مقاومت‌ها ۶
مقاومت‌های ثابت ۶
۱ – مقاومت‌های فیلم کربن ۷
۲ - مقاومت لایه ای ۷
الف - مقاومت لایه کربنی ۷
ب - مقاومت لایه فلزی ۷
ج - مقاومت لایه اکسید فلز ۷
۲ - ب - مقاومت‌های فیلم فلزی ۸
۳ – مقاومت‌های سیمی ۸
۳ - الف - مقاومت آجری یا سرامیکی ۸
مقاومت‌های متغیر ۹
۱ – مقاومت‌های متغیر قابل تنظیم ۹
الف - پتانسیومتر ۹
ب - رئوستا ۹
۲ – مقاومت‌های متغیر وابسته (تابع) ۱۰
الف - ترمیستور یا مقاومت تابع به حرارت (TDR) ۱۰

PTC ۱۰
NTC ۱۰
ب - فتورزیستور یا مقاومت‌های تابع نور (LDR) ۱۰
ج - مقاومت وابسته به ولتاژ (VDR) ۱۱
د - مقاومت های وابسته به میدان مغناطیسی (MDR) ۱۱
مقاومت آرایه‌ای یا شبکه‌ای ۱۲
روش‌های نامگذاری مقاومت‌ها ۱۲
۱ - تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از مقدار نوشته شده بر روی مقاومت ۱۲
۲- تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از رمزهای حروف ۱۲
۳- تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از رمزنگاری عددی ۱۳
۴- تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از نوارهای رنگی ۱۳
خازن چیست ۱۵
ساختمان داخلی خازن ۱۵
انواع خازن ۱۵
خازن‌های ثابت ۱۶
خازن سرامیکی ۱۶
خازن‌های ورقه‌ای ۱۷
خازن‌های کاغذی ۱۷
خازن‌های پلاستیکی ۱۷
خازن‌های میکا ۱۸
خازن‌های الکترولیتی ۱۸
خازن آلومینیومی ۱۸
خازن تانتالیوم ۱۹
خازن متغیر ۲۰
تشخیص مقدار ظرفیت خازن ۲۰
۱ - تشخیص ظرفیت با کمک مقدار نوشته شده ۲۰
۲ - روش رمزهای عددی ۲۱
۳ - تشخیص مقدار ظرفیت با کمک نوارهای رنگی خازن ها ۲۱
محاسبه ظرفیت‌های خازن های پلی‌استر ۲۴
محاسبه ظرفیت‌های خازن های عدسی یا سرامیکی ۲۵
محاسبه تلرانس خازن ها بر اساس حروف ۲۵
سلف ۲۶
ساختمان سلف ۲۶
کوئل و سیستم جرقه‌زن خودرو ۲۷
دیود ۲۸
پیکربندی دیود ۲۸
پیکربندی مستقیم یا تغذیه مستقم ۲۸
پیکربندی معکوس ۲۸

دسته‌بندی کلی دیودها ۲۹
انواع دیود ۲۹
فتو دیود یا دیود نوری ۲۹
دیود نور دهنده LED ۳۰
دیود زنر ۳۰
دیودهای واراکتور یا خازنی ۳۱
دیود اتصال نقطه ای ۳۱
دیود تونلی ۳۲
دیود شاتکی ۳۲
تشخیص آند و کاتد و سالم بودن دیود ۳۳
تشخیص معیوب بودن دیودها از شکل ظاهری دیود ۳۴
ترانزیستور پیوند دوقطبی BJT ۳۵
ساختمان ترانزیستور ۳۵
نمای مداری و معادل دیودی ترانزیستور ۳۶
پیکربندی ترانزیستور ۳۶
جریان‌ها در ترانزیستور ۳۷
ولتاژها در ترانزیستور ۳۸
چگونگی عمل تقویت کنندگی در ترانزیستور ۳۸
آرایش‌های ترانزیستور ۳۹
آرایش امیتر مشترک C-E ۳۹
۲ - آرایش بیس مشترک C-B ۳۹
۳ - آرایش کلکتور مشترک C-C ۴۰
عملکرد ترانزیستور ۴۰
ترانزیستور در حالت قطع ۴۰
ترانزیستور در حالت اشباع ۴۱
کاربرد سادهی ترانزیستور به‌عنوان کلید ۴۱
تعیین پایه و نوع ترانزیستور به کمک اهم متر ۴۱
شکل ظاهری ترانزیستور ۴۲
گرماگیر ، رادیاتور ، هیت سینک ۴۳
مقادیر حد در ترانزیستور و استفاده از برگه‌ی داده‌ها ۴۳
ترانزیستور اثر میدان (FET) ۴۵
۱ - ترانزیستور اثر میدان پیوندی (JFET) ۴۵
۲ - ترانزیستور اثر میدان با گیت ایزوله (MOSFET) ۴۶
ماسفت نوع کاهشی یا تخلیه‌ای ۴۷
ماسفت نوع افزایشی ۴۷
ترانزیستور تک پیوندی UJT ۴۸
ترانزیستور اتصالی یک طرفه قابل برنامه ریزی (PUT) ۴۹
ویژگی های PUT ۴۹

دیاک- Diac ۵۰
تریستور- Thyristor یا SCR ۵۱
مدار تریستوری ۵۱
شرایط روشن شدن تریستور ۵۱
شرایط خاموش شدن تریستور ۵۲
کلید قابل کنترل سیلیکونی SCS ۵۲
یکسو سازهای سیلیکون کنترلی فعال شونده با نورLASCR ۵۲
شماتیک‌های نقشه ای انواع تریستور ۵۲
ترایاک - Triak ۵۳
مداری برای تست ترایاک ۵۳
تفاوت ترایاک و تریستور ۵۴
نماد مداری ترایاک ۵۴
مدارهای مجتمع یا IC ۵۵
آی‌سی چیست ۵۵
تاریخچه آی‌سی‌ها ۵۵
تکنولوژی‌های آی‌سی ۵۵
آیسی‌هایSMD ۵۶
انواع آی‌سی‌ها ۵۶
آی‌سی‌های آنالوگ ۵۶
آی‌سی ۵۵۵ ۵۷
آی‌سی‌های آنالوگ- دیجیتال ۵۷
میکروکنترلر ۵۷
آی‌سی‌های دیجیتال ۵۷
عملگرهای منطقی ۵۷
۱ - گیت نات (NOT Gate) ۵۸
۲ - گیت AND ۵۸
۳ - گیت NAND ۵۹
۴ - گیت OR ۵۹
۵ - گیت NOR ۶۰
۶ - گیت XOR ۶۰
۷ - گیت XNOR ۶۰
۸ - گیت بافر ۶۱
فلیپ فلاپ‌ها ۶۱
حافظه‌ها ۶۲
منابع ۶۳

مبانی الکتریسیته و مدارهای الکتریکی

بار الکتریکی

هرگاه کهربا و یا شانه‌ی پلاستیکی به پارچه پشمی مالیده شود اجسام سبک را به خود جذب می‌کند. برای تفسیر این پدیده، گوییم کهربا دارای بار الکتریکی شده است.

انواع بار الکتریکی

دو نوع بار الکتریکی وجود دارد، نوع باری که روی شانه و همچنین روی پارچه پشمی به وجود آمد را بنجامین فرانکلین، به ترتیب بارهای منفی و مثبت نامید.

با مالش دادن دو جسم به یکدیگر بار الکتریکی تولید نمی‌شود، بلکه چیزی از جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود. به‌طوری که یکی از اجسام صاحب مقدار بیشتری از این چیز شده و دیگری همان مقدار از آن را از دست می دهد. در اواخر قرن نوزدهم میلادی این چیز شناخته شد و عبارت است ازذرّهٔ بسیار سبکِ کوچک و دارای بار منفی که آن را الکترون می‌نامند. هر جسم مادّی از تعداد زیادی پروتون با بار مثبت که در هسته‌ی اتم‌ها قرار دارند، و تعداد بی-شماری الکترون با بار منفی که در مدارهای خارجی اتم‌ها در گردشند، تشکیل شده است. وقتی تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های جسم با هم مساوی باشند، جسم از نظر الکتریکی خنثی است.

فرض کنید بخواهیم جسمی بار منفی اضافی داشته باشد، دو راه موجود است:

یکی این‌که تعدادی ذرّه با بار منفی به آن اضافه کنیم، دوّم این‌که تعدادی ذرّه با بار مثبت از آن برداریم. هم‌چنین افزودن ذرّاتِ مثبت به جسمی یا برداشتن ذرّات منفی از آن باعث می شود که جسم دارای بار مثبت شود. در بیشتر حالات، کاهش یا افزایش ذرّات منفی الکترون باعث باردار شدن جسم می شود. یعنی جسمی که بار مثبت دارد، فقط الکترون از دست داده است و جسمی که بار منفی دارد به تعداد الکترون‌هایش اضافه شده است. پس منظور از بار، مقدار بار اضافی موجود در جسم است. (بار اضافی درصدِ بسیار کمی از بار کل مثبت یا منفی موجود در جسم را تشکیل می دهد.)

واحد طبیعی بار الکتریکی، بار یک الکترون یا پروتون است که بارشان برابر است که تقریباً برابر است با $e = 1.602 \times 10^{-19}$ و واحد آن کولن (C) است که :

$$1\,(c) = \frac{1}{e} = \frac{1}{1.602 \times 10^{-19}} = 6.24 \times 10^{18}\, electron$$

بارهای الکتریکی در مجاورت یکدیگر بر هم نیرو وارد می‌کنند، به طوری که اگر دو بار همنام باشند، نیرو دافعه و اگر غیرهمنام باشند، نیرو جاذبه خواهد بود.

برای دو بار نقطه ای نیروی جاذبه یا دافعه‌ی موثر با حاصل ضرب بارها متناسب و با مجذور فاصله‌ی آن‌ها نسبت عکس دارد. به طوری که

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

در این رابطه F نیرو بر حسب نیوتن (N) و q_1 و q_2 بارهای الکتریکی بر حسب کولن (C) و r فاصلهٔ بین دو ذرّه بر حسب متر می‌باشد. در این صورت k ضریب تناسب تقریباً برابر با $9\times10^9\left(\frac{N.m^2}{C^2}\right)$ است .

مثال ۱) هیدروژن از یک الکترون و یک پروتن تشکیل شده است، فرض کنید یک گرم هیدروژن تک اتمی داریم که تمام پروتون‌ها در قطب جنوب و تمام الکترون‌ها را در قطب شمال زمین قرار می‌دهیم. چه نیرویی از هر یک از این بارها بر دیگری وارد می‌شود؟

حل) یک گرم از هر اتم تعداد $۶,۰۲\times۱۰^{۲۳}$ اتم دارد، که این عدد برابر عدد آووگادرو می‌باشد.

$$q_e = 6.02\times10^{23}\times\left(-1.6\times10^{-19}\right) = -96320 \quad (C)$$
$$q_p = N\,P = 6.02\times10^{23}\times1.6\times10^{-19} = 96320 \quad (C)$$
$$F = k\frac{q_e\,q_p}{r^2} = 9\times10^{9}\times\frac{(-96320)(96320)}{(12800000)^2} \Rightarrow F = 510 \ (kN)$$

شدت جریان الکتریکی

بار در حال حرکت نشان دهنده‌ی جریان است. جریان موجود در یک سیم دارای مقدار و همچنین دارای جهت مربوطه است و آن مقدار باری است که در جهت معین از یک نقطه‌ی مشخص در واحد زمان گذشته باشد، به عبارت دیگر :

$$I(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

پس جریان یعنی تغییرات بار الکتریکی در واحد زمان.

شدت جریان را با حرف I نمایش داده و واحد اندازه‌گیری آن، آمپر(A) است. طبق تعریف؛ یک آمپر مقدار بار معادل یک کولن که در مدت زمان یک ثانیه در حال حرکت باشد.

چند نکته مهم:

- باری که بین لحظات t_0 تا t_1 منتقل می‌شود برابر است با :

$$dq(t) = i(t).dt$$

$$\int_{t_0}^{t} q(t) = \int_{t_0}^{t} i(t).dt$$

$$q(t) - q(t_0) = \int_{t_0}^{t} i(t).dt \;\Rightarrow\; q(t) = \int_{t_0}^{t} i(t).dt + q(t_0)$$

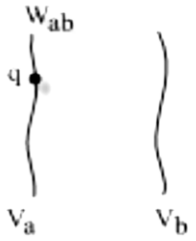
- برای نمایش جریان در یک هادی یک $\overrightarrow{\text{سهم}}$ در کنار هادی رسم کرده و مقدار جریان نیز بر روی سهم نوشته می‌شود.

دو شکل فوق اثرات مساوی و یکسان دارند و به عبارت دیگر با هم معادل هستند.

- با وجود اینکه می دانیم جریان در هادی فلزی از حرکت الکترونها ناشی می شود ، اما جهت سادگی تجزیه و تحلیل مدارها و بنابر قرار داد , جریان را حرکت بار مثبت در نظر می گیریم .

ولتاژ یا اختلاف پتانسیل

برای جابجایی بارهای الکتریکی (وجود جریان الکتریکی) نیاز به اختلاف پتانسیل است. اختلاف پتانسیل، مقدار انرژی پتانسیل بار واحد می باشد.



$$V_b - V_a = \frac{W_{ab}}{q}$$

$$W_{ab} = \int_a^b F.\,dx$$

تفاضل دو پتانسیل $V_a - V_b$ را اختلاف پتانسیل بین a و b نامیده و به صورت V_{ab} می نویسند. واحد اختلاف پتانسیل (V) است. یک ولت برابر یک ژول بر کولن می باشد. پس برای یک عنصر ولتاژ یا اختلاف پتانسیل دو سر عنصر، مقدار کار لازم جهت انتقال بار از سر a عنصر، و از طریق آن به سر b می باشد.

در مورد ولتاژ دو سر یک عنصر باید توجّه داشت که هم علامت‌های مثبت و منفی و هم مقدار ولتاژ دو سر یک عنصر را باید دو سر آن نوشت، تا مفهوم ولتاژ دو سر آن کامل شود. مثل یک باتری خودرو که پلاریته‌های باتری یعنی علامت‌های + و – دو سر باتری مشخص و ولتاژ آن ۱۲ ولت می‌باشد. یا دو سر کنتاکت‌های پریز برق منزل که فاز و نول آن مشخص و اختلاف پتانسیل یا ولتاژ آن ۲۲۰ V است.

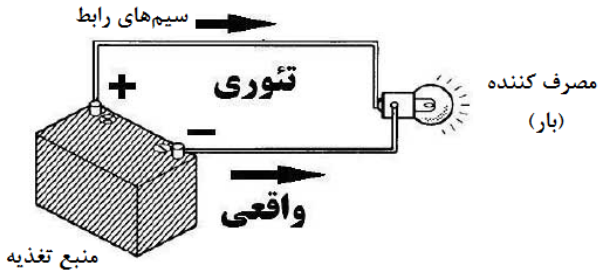
مدارهای الکتریکی

مسیر کاملی را که برای عبور جریان الکتریکی وجود دارد "مدار الکتریکی" گویند. هر مدار الکتریکی از اجزای اصلی زیر تشکیل شده است:

۱ – منبع تغذیه (باتری، دینامو، ژنراتور)

۲ – سیم‌های رابط

۳ – مصرف کننده (بار)



تقسیم‌بندی مواد از نظر عبور جریان الکتریسیته

مواد رسانا (هادی)

موادی که جریان الکتریسیته را به خوبی از خود عبور می‌دهند. الکترون‌های مدار خارجی[1] اتم این مواد ۱ تا ۳ الکترون می‌باشد و از آن‌ها برای تولید سیم‌های برق، پلاتین‌ها، رله‌ها و ... استفاده می‌شود. فلزاتی مانند: نقره، مس، طلا و ... هادی‌های خوبی هستند.

مواد نیمه رسانا (نیمه هادی)

این مواد نه رسانای خوب و نه عایق خوبی هستند. مدار خارجی آن‌ها دارای ۴ الکترون می‌باشد. معروف‌ترین نیمه هادی‌ها سیلسیم و ژورمانیم می‌باشند که از آن‌ها در ساخت دیودها، ترانزیستورها و مدارهای مجتمع (IC) استفاده می‌شود.

مواد نارسانا (عایق)

مواد عایق جریان برق را تا ولتاژ معینی از خود عبور نمی‌دهند. تعداد الکترون مدار خارجی آن‌ها ۵ تا ۸ الکترون می‌باشد. کاربرد این مواد در ساخت روکش سیم‌ها، عایق انبردست و پیچ گوشتی و ... می‌باشند.

[1] ElectroValance

انواع جریان های الکتریکی

جریان‌های متغیر (دینامیکی) در دو گروه زیر تعریف می شوند:

جریان مستقیم[۲] DC

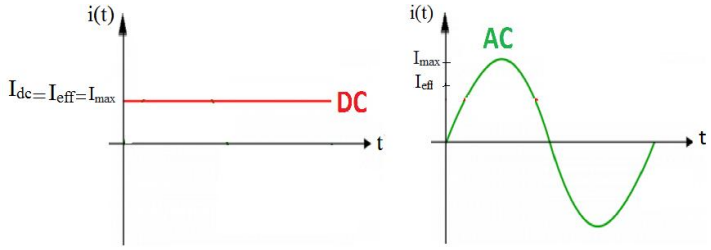
در این حالت دامنه جریان برق نسبت به زمان تغییر نمی‌کند. مانند جریان برقی که از باتری خودرو گرفته می‌شود.

جریان متناوب[۳] AC

حالتی از جریان الکتریکی که در آن جهت (و مقدار) جریان به صورت متناوب تغییرمی‌کند. مانند جریان برقی که در منزل استفاده می‌شود. شکل موج جریان در فواصل زمانی مشخصی تکرار می‌شود.

این زمان تکرار شونده یا مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک سیکل کامل شود را زمان تناوب (T) گویند و با ثانیه (s) اندازه گیری می‌شود.

به تعداد سیکل‌ها یا موج‌ها در مدت زمان یک ثانیه فرکانس (f) گویند. واحد اندازه‌گیری فرکانس سیکل در ثانیه (cps) یا هرتز (Hz) است.



جریان مستقیم DC جریان متناوب AC

با توجه به تغییرات لحظه‌ای جریان متناوب، مقدار موثر[۴] I_{eff} یا I_{rms} تعریف می‌شود. مقدار موثر جریانAC، مقداری است که اگر جریان مستقیم(DC) به همان اندازه داشته باشیم، در اثر عبور از مقاومت معینی همان مقدار حرارت را ایجاد می‌کند که جریان متناوب ایجاد کرده است. مقدار موثر نشان می‌دهد که چه مقدار از ولتاژ یا جریان AC یک شکل موج سینوسی متغیر با زمان، همان توانی را تولید می‌کند که یک مقدار DC خالص تولید خواهد کرد . اگر معادله ولتاژ شبکه برق سینوسی (کسینوسی) باشد، در این صورت مقدار موثر آن از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}\ rad/s$$

$$V(t) = V_{max} \times \cos(\omega t)$$

$$V_{rms} = V_{eff} = V_{max} \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.7071 \times V_{max}$$

[2] Direct Current = DC
[3] Alternating Current = AC
[4] Effective Value

مقاومت الکتریکی

مقاومت‌های الکتریکی[5] از مهم‌ترین و اصلی‌ترین اجزای هر مدار الکتریکی هستند که برای کاهش یا محدود شدن شدت جریان مدار به مقدار مشخص و یا افت میزان ولتاژ به مقدر معینی به کار می‌روند.

در مدارهای الکتریکی مقاومت را با حرف R نمایش داده و واحد اندازه گیری آن اهم و با امگا (Ω) نشان می-دهند. علامت اختصاری مقاومت به‌صورت یا است.

انواع مقاومت‌ها

مقاومت الکتریکی را به‌صورت ذیل تقسیم بندی می‌کنند:

مقاومت های ثابت

مقاومت‌های ثابت[6]، به مقاومت‌هایی گفته می‌شود، که مقدار آن ثابت و تغییر نکند.

[5] Resistance
[6] Fixed Resistors

۱ - مقاومت‌های فیلم کربن

مقاومت‌های فیلم کربنی[۷] یکی از پر استفاده‌ترین و ارزان‌ترین مقاومت‌ها است، که در مدارهای الکترونیکی به وفور استفاده می‌شوند. این مقاومت‌ها اغلب دارای تلرانس ۵ ٪± هستند و معمولا در توان‌های کوچک ساخته می‌شوند.

این مقاومت‌ها با پیچیده شدن یک لایه نازک کربنی دارای ناخالصی (فیلم کربن) به دور یک هسته سرامیکی ساخته می‌شوند. سپس دو سر مقاومت به ۲ قطعه رسانای کلاهی شکل دارای پایه متصل می‌گردد که پایه‌های قطعه را تشکیل می‌دهد، تا بتوان قطعه را بر روی برد لحیم نمود. در نهایت پوششی عایق روی مقاومت را می‌پوشاند و سپس کدهای رنگی بر روی آن درج می‌شود.

این نوع مقاومت ها به علت داشتن ضریب حرارتی بالا و تولید اغتشاش زیاد و ثبات کم در مدارات با حساسیت ودقت بالا کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲ - مقاومت لایه ای

مقاومت لایه ای ترکیبی از مقاومت های سیمی و کربنی است، که گزینه مقدار دقیق تر همراه با هزینه مناسب‌تر را پیش روی طراح قرار می‌دهد. مقاومت لایه‌ای به سه دسته تقسیم می‌شود:

الف - مقاومت لایه کربنی

در این نوع مقاومت‌ها از چند لایه کربن برای ایجاد خاصیت مقاومت الکتریکی استفاده می‌شود که با روکش لاکی پوشانده شده‌اند. بدنه‌ی این نوع مقاومت‌ها از جنس سرامیک است.

ب - مقاومت لایه فلزی

در این نوع مقاومت‌ها لایه فلز با بخار روی یک بدنه سرامیکی پوشانده شده است و با یک روکش لاکی آن را از تاثیرات عوامل محیطی حفاظت کرده‌اند.

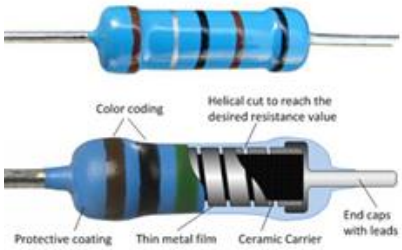
ج - مقاومت لایه اکسید فلز

در این نوع مقاومت‌ها از اکسید فلزهایی مانند اکسید قلع و روی یک لایه سرامیکی کشیده می‌شود و با روکش کردن آن تأثیرات گرما و نور و ... را ناچیز می‌کنند.

[7] Carbon Film Resistor

۲ - ب - مقاومت های فیلم فلزی

مقاومت‌های فیلم فلزی[۸] از نظر ساختمانی مانند مقاومت‌های فیلم کربن هستند با این تفاوت که به جای فیلم کربن از فیلم فلز استفاده می‌شود. نیکل کروم یا نیکروم (Ni-Cr) معمولا به عنوان ماده اصلی در ساخت فیلم فلز مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقاومت‌های فیلم فلز با دقت‌های بالا و معمولا با تلرانس‌های ٪۲ ، ٪۱ و ٪۰,۵ در بازار موجوداند. مقاومت‌های فیلم فلز دارای نویز کمی بوده و تاثیر دما بر روی آنها کم است و با دقت بالا، برای مدت طولانی قابل استفاه می‌باشند.



۳ – مقاومت‌های سیمی

مقاومت‌های سیمی[۹] از پیچیدن طول معینی سیم مقاومت‌دار از جنس آلیاژهای مختلف نیکل بر روی استوانه‌ای عایق از جنس سرامیک ساخته می‌شود. این مقاومت‌ها عموما برای توان‌های بالا (۲ تا ۲۵۰ وات) ساخته می‌شود. این نوع مقاومت با دقت بسیار بالا و تا تلرانس ٪۰,۰۵ ساخته می‌شود.

این نوع از مقاومت‌ها را نمی‌توان در مدارهای فرکانس بالا استفاده نمود. زیرا در صورت استفاده، در فرکانس‌های بالا سیم پیچیده شده خاصیت سلفی پیدا خواهد نمود و باعث ایجاد اختلال در عملکرد مدار خواهد شد.

۳ - الف - مقاومت آجری یا سرامیکی

مقاومت آجری نیز یکی از انواع مقاومت‌های سیمی است که مقاومت سیمی در داخل یک کاور سرامیکی قرار گرفته، و زیر این کاورهای سرامیکی با نوع خاصی از سیمان پر می‌شود. این مقاومت ها از ۱ وات تا ده‌ها وات در بازار موجود است. نکته‌ی حائز اهمیت این‌که، این نوع مقاومت در هنگام کار می‌تواند تا حد زیادی گرم و یا داغ شود و در هنگام طراحی مدار باید محل مناسبی برای نصب این مقاومت‌ها در نظر گرفت.

[8] Metal Film Resistor
[9] Wire Wound Resistor

مقاومت‌های متغیر

مقاومت‌های متغیر (**Variable Resistor**) به مقاومت‌هایی گویند که مقدارشان ثابت نبوده و قابل تغییر است.

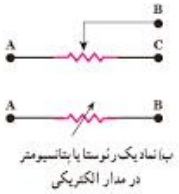
۱ – مقاومت‌های متغیر قابل تنظیم

الف – پتانسیومتر

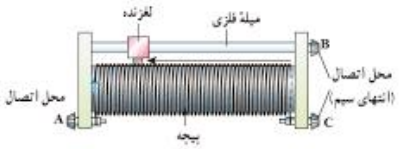
پتانسیومتر[10] یک مقاومت سه پایه است که با یک اهرم متحرک جهت کنترل یا تنظیم ولتاژ دلخواه در مدار استفاده می‌شود، ولی اگر تنها از دو پایه‌ی آن استفاده شود، می‌توان از آن به عنوان یک مقاومت متغیر یا رئوستا استفاده کرد. پتانسیومترها برای توان ۲ وات از نوع کربنی و برای توان‌های بالاتر از نوع سیمی ساخته می‌شود.

ب – رئوستا

رئوستا (Rheostat) دارای یک المان مقاومتی ، یک کنتاکت متحرک و یک کنتاکت ثابت می باشد که در مدارهای الکتریکی جهت کنترل یا تغییر جریان (دست یابی به جریان دلخواه) به کار می رود .



نماد یک رئوستا یا پتانسیومتر در مدار الکتریکی



الف) طرحی از ساختار یک رئوستای خطی

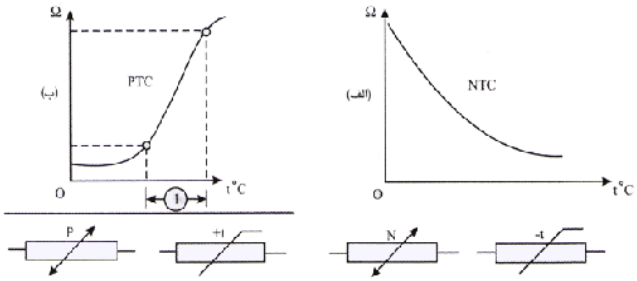
[10] Potentiometer

۲ - مقاومت‌های متغیر وابسته (تابع)

به آن دسته از مقاومت‌های متفیر وابسته گفته می‌شود که به وسیله‌ی عواملی از قبیل نور، حرارت، ولتاژ، میدان مغناطیسی و ... مقدار مقاومت‌شان تغییر کند. اگر چه همانند مقاومت های معمولی دارای ۲ پایه می‌باشند.

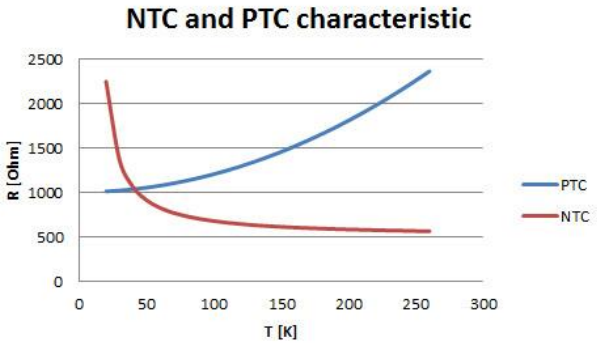
الف - ترمیستور یا مقاومت تابع به حرارت (TDR)

مقدار مقاومت های وابسته به حرارت یا ترمیستور[11] ، با تغییرات دما تغییر می‌کند، تغییر در مقاومت به ضریب حرارتی آن که مثبت یا منفی باشد ($\pm\alpha$) بستگی دارد. این نوع مقاومت‌ها دارای دو نوع PTC و NTC هستند.



PTC به معنی ضریب دمای مثبت[12] می باشد. یعنی مقاومت با افزایش دما، افزایش می‌یابد. مقدار مقاومت‌های PTC را در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بیان کرده و علاوه بر آن، دمایی را که در آن مقاومت PTC دو برابر می‌شود ، قید می‌کنند. به این دما ، دمای سوئیچ می‌گویند.

NTC دارای ضریب دمای منفی[13] می‌باشد که مقاومت آن با افزایش دما ، کاهش می‌یابد.

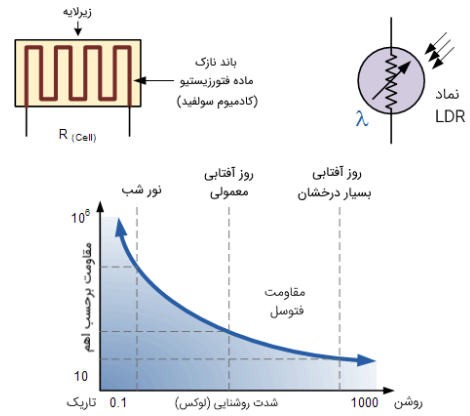


ب - فتورزیستور یا مقاومت‌های تابع نور (LDR)

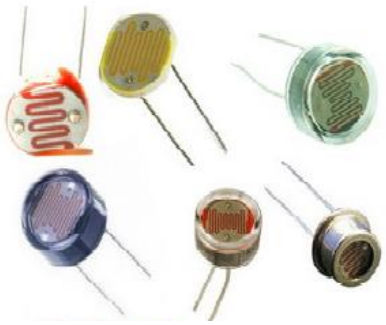
مقاومت‌های وابسته به نور و یا فتورزیستور، با تغییر شدت نور مقدارشان تغییر می‌کند. هرچه نور بیشتری به آن بتابد مقدار مقاومت کمتری خواهند داشت (مقاومتی در حدود ده اهم) و هر چه نور کمتری به آن برسد به مقدار مقاومت بیشتری حتی تا صدبرابر خواهد رسید (مقاومتی در حدود مگااهم)، برای اینکه نور بتواند براین نوع مقاومت اثر

[11] Temperature Dependent Resistor = TDR
[12] Positive Temperature Coefficient = PTC
[13] Negative Temperature Coefficient = NTC

بگذارد سطح آن را با شیشه و یا پلاستیک شفاف می‌پوشانند. رایج‌ترین سنسور نوری مقاومتی، سلول هادی نوری سولفید کادمیوم ORP12 است. این مقاومت وابسته به نور یک پاسخ طیفی در حدود ۶۱۰ نانومتر از ناحیه زرد تا نارنجی نور دارد. معمولا از این مقاومت در ساخت فوتوسل‌ها و تشخیص دهنده نور (نور سنج) استفاده می‌شود.



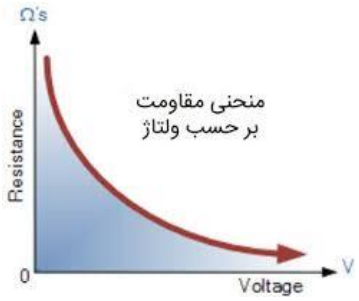
سلول مقاومت حساس به نور



چند نمونه مقاومت تابع نور یا LDR

ج – مقاومت وابسته به ولتاژ (VDR)

مقاومت وابسته به ولتاژ[۱۴] یا واریستور[۱۵] معمولا برای برای ثابت نگه‌داشتن ولتاژ و محافظت مدار در مقابل ولتاژ استفاده می‌شوند. واریستورها به پلاریته ولتاژ اعمال شده وابسته نیستند که این موجب می‌شود برای استفاده در مدارات AC مناسب باشند. مقاومت وابسته به ولتاژ با افزایش ولتاژ اعمالی کاهش می‌یابد.



د – مقاومت های وابسته به میدان مغناطیسی (MDR)

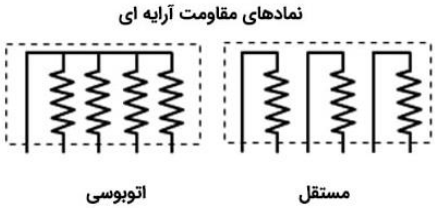
مقدار مقاومت‌های وابسته به میدان مغناطیسی[۱۶] وابسته به شدت میدان مغناطیسی است به‌طوری‌که هرچه تحت تاثیر میدان قوی تری قرار بگیرد، تغییرات اهمی آن شدیدتر خواهد بود. این نوع مقاومت، همراه با اعمال میدان مغناطیسی به شیوه‌ای تغییر می‌کند که اگر دما افزایش یابد، مقاومت آن‌ها کاهش می‌یابد چرا که در ساخت این نوع مقاومت‌ها از نیمه هادی‌هایی با ضریب حرارتی منفی استفاده شده است.

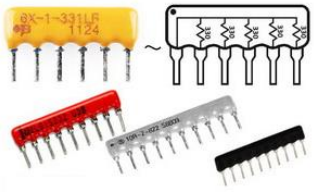
[14] Voltage Dependent Resistor = VDR
[15] Varistor
[16] Magnetic Dependent Resistor = MDR

معمولا در گوشی‌های تاشو هنگام بسته شدن و خاموش شدن ال‌سی‌دی از این نوع مقاومت‌ها استفاده می‌شود. در برنامه‌های قطب‌نما، جهت‌نما و برنامه‌های مشابه و هم‌چنین کیف‌های فلیپ کاور از این حسگر استفاده می‌شود.

مقاومت آرایه‌ای یا شبکه‌ای

مقاومت آرایه‌ای[17] متشکل از چندین مقاومت است که درون یک قالب قرار گرفته‌اند. مقاومت‌ها در قالب به دو صورت قرار می‌گیرند، یا مقاومت‌ها باهم ارتباطی ندارند و دو سر هریک از دیگری جداست و یا یکسر از همه‌ی آنها باهم یکی شده است. این مقاومت‌ها در دو نوع DIP و SMD موجودند و در مدارهایی که محدودیت فضا وجود دارد استفاده می‌شوند. در نوع دیپ، به‌خاطر شکل ظاهری، مقاومت شانه ای نیز می‌گویند. نمونه‌ی SMD مقاومت آرایه-ای در برخی از واحدهای الکترونیکی خودروها (ECU) استفاده شده است.





روش‌های نام‌گذاری مقاومت‌ها

۱ - تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از مقدار نوشته شده بر روی مقاومت

این روش در مقاومت‌های بزرگ استفاده می‌شود.

۲- تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از رمزهای حروف

در این روش حرف اول ضریب و حرف دوم به‌منظور ممیز استفاده می‌شود.

حرف	B	C	D	F	G	H	J	K	M
درصد تلرانس	0.1%	0.25%	0.5%	1%	2%	3%	5%	10%	20%

معمولا مقاومت‌های آجری دارای مقدار پایین هستند و مقدار آنها شامل ممیز می‌شود به همین منظور در بعضی از شرکت‌ها حروفی به منظور ممیز و به جای علامت آن به‌کار می‌رود.

[17] Array resistor

حروف	E یا R	K	M
ضریب	×1	$\times 10^3$	$\times 10^6$

مثال :

5R6K = 5.6 ±10% Ω

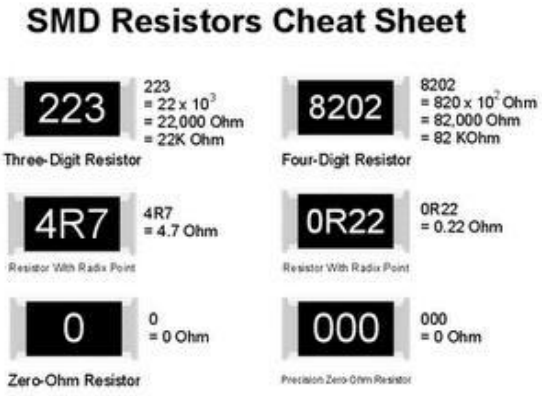
R25J = 0.25 ±5% Ω

47K J = 47 ±5% KΩ

مانند R2J2 = ۲/۲ Ω ±۱۰ که R مفهوم اعشار دارد و مفهوم اهم و J نیز به صورت قراردادی مفهوم ۵ درصد خطا می‌باشد.

۳- تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از رمزنگاری عددی

این روش برای شناسایی مقاومت‌های نصب سطحی (SMD) یا مقاومت‌های متغیر از نوع مولتی‌ترن به‌کار می‌رود. این مقاومت‌ها در تلرانس‌های ۱ و ۵ درصد موجودند، در این روش، تلرانس بر روی مقاومت نوشته نمی‌شود و فقط با توجه به تعداد عددها تلرانس تشخیص داده می‌شود. (سه رقمی ۵ درصد و چهار رقمی ۱ درصد می باشد).

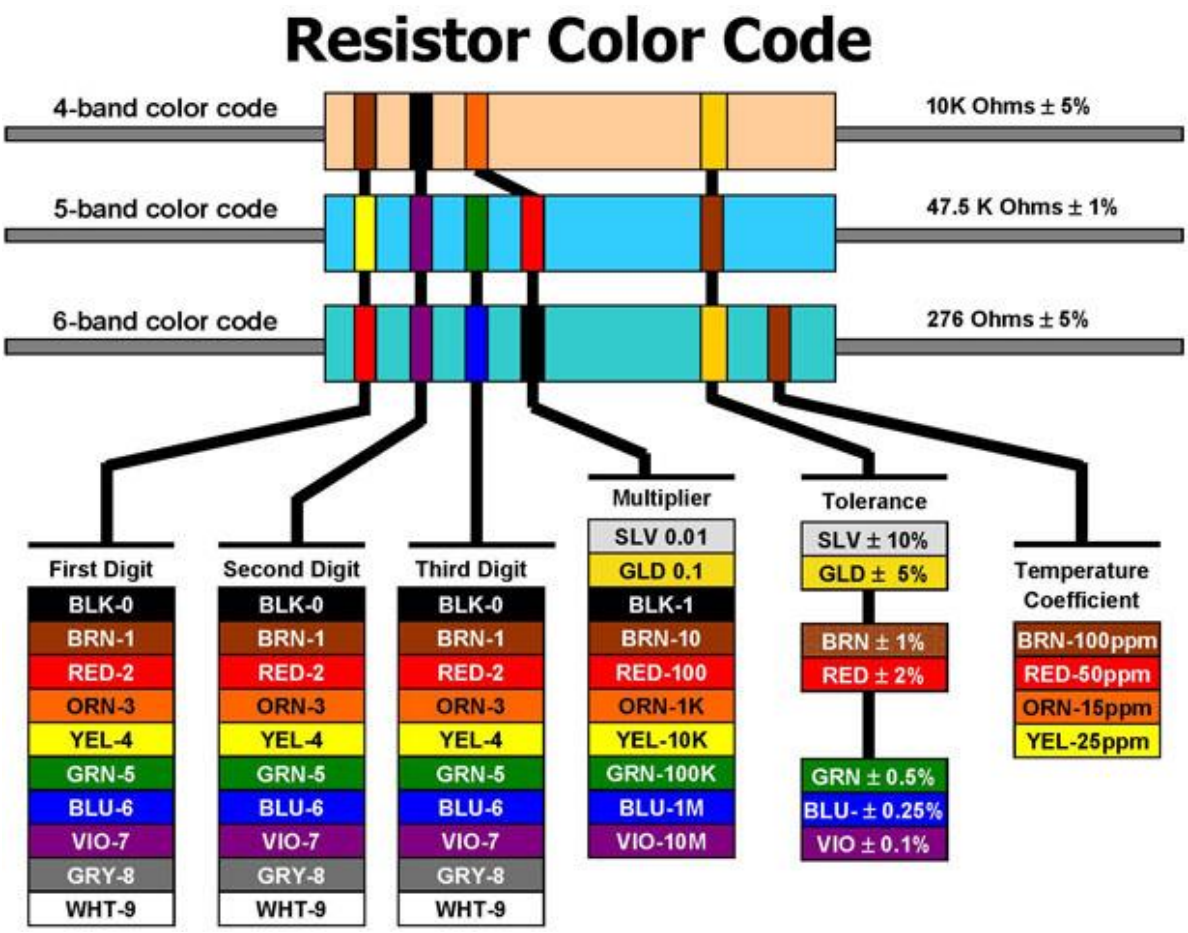


۴- تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از نوارهای رنگی

چون معمولاً ابعاد مقاومت‌ها کوچک می‌باشد، نوشتن مقاومت به صورت مستقیم روی آن‌ها کار سختی است. و یا شاید به مرور زمان مقدار اهم آن پاک شود، بنابراین با کمک نوارهای رنگی مقدار مقاومت مشخص می‌شود.
این روش به دو شکل چهار نواری و پنج نواری صورت می‌گیرد:

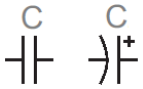
روش چهار نواری که معمول‌تر است، برای تعیین مقاومت‌هایی با تلرانس ۲٪ به بالا استفاده می‌شود. در این روش از دو رنگ اول برای عدد، رنگ سوم برای ضریب و رنگ چهارم برای تلرانس استفاده می‌شود. چنانچه مقاومت رنگ چهارم نداشته باشد، بی‌رنگ محسوب شده و تلرانس آن را ۲۰٪ در نظر می‌گیریم.

روش پنج نواری نیز برای مقاومت‌های دقیق وخیلی دقیق (تلرانس کم‌تر از ۲٪) استفاده می‌شود. در این روش از سه رنگ اول برای عدد، رنگ چهارم برای ضریب و رنگ پنجم برای تلرانس استفاده می‌شود.



خازن چیست

خازن المان الکتریکی است که انرژی الکتریکی را توسط میدان الکترواستاتیکی (بار الکتریکی) درخود ذخیره می‌کند.



خازن را با حرف C[۱۸] نمایش داده، ظرفیت آن را با فاراد F اندازه‌گیری می‌کنند.

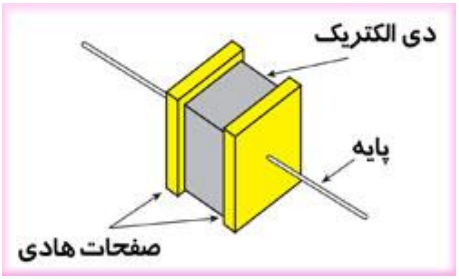
ساختمان داخلی خازن

ساختمان داخلی خازن از دو قسمت اصلی تشکیل می‌شود:

الف – صفحات هادی

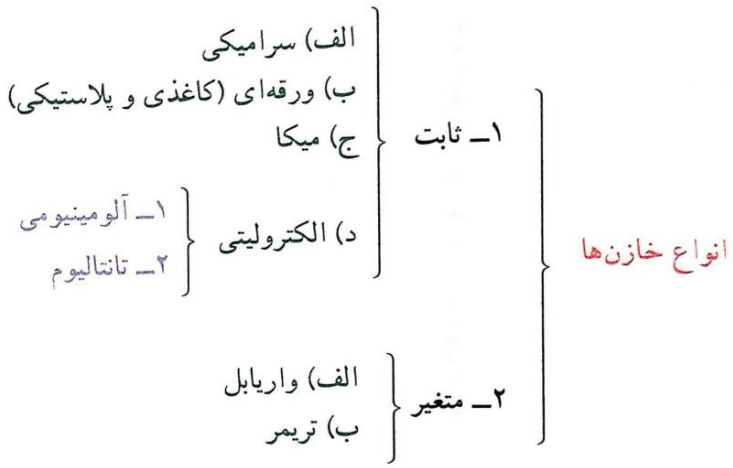
ب – عایق بین هادیها (دی الکتریک)

خازن از دو صفحه فلزی موازی (رسانا از جنس روی، آلومنیوم، نقره) تشکیل شده است که در بین صفحات عایق (دی الکتریک مانند هوا، کاغذ، میکا، پلاستیک، سرامیک، اکسید آلومنیوم، اکسید تانتالیوم) وجود دارد. شکل را ملاحظه نمایید.



انواع خازن

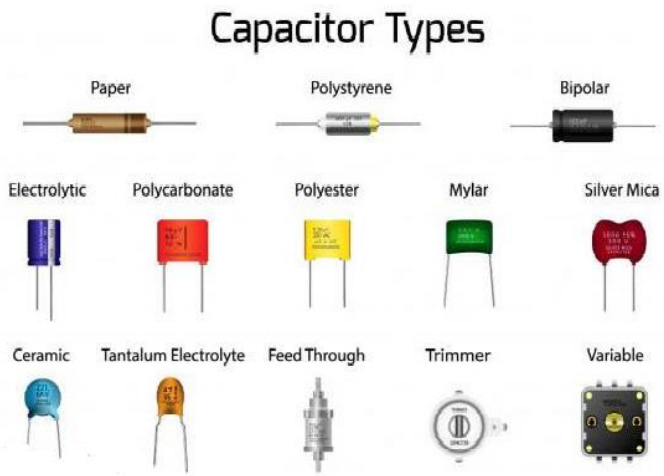
خازن‌ها به دو دسته‌ی ثابت و متغیر به صورت زیر تقسیم می‌شوند:



[18] Capacitor

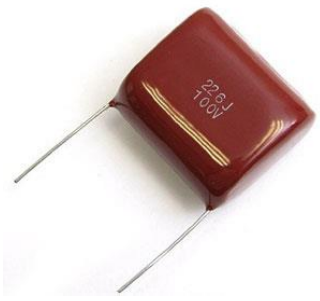
خازن‌های ثابت

این خازن‌ها دارای ظرفیت معینی هستند که در وضعیت معمولی تغییر پیدا نمی‌کنند. خازن‌های ثابت را بر اساس نوع ماده دی‌الکتریک به کار رفته در آنها تقسیم بندی و نام گذاری 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 را نام برد. اگر ماده 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 راه اندازی و یا اصلاح ضریب قدرت به کار می‌روند. بقیه خازن‌های ثابت دارای ویژگی‌های خاصی هستند.



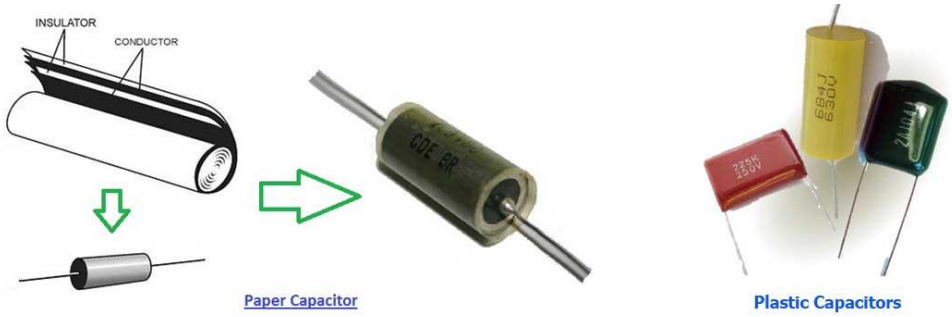
خازن سرامیکی

خازن سرامیکی معمول‌ترین خازن غیرالکترولیتی است که در آن دی‌الکتریک به‌کار رفته از جنس سرامیک است. ثابت دی‌الکتریک سرامیک بالا است، از این رو امکان ساخت خازن‌های با ظرفیت زیاد در اندازه کوچک را در مقایسه با سایر خازن‌ها به‌وجود آورده، در نتیجه ولتاژ کار آن‌ها بالا خواهد بود. ظرفیت خازن‌های سرامیکی معمولا بین ۵ پیکو فاراد تا ۰/۱ میکرو فاراد 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.



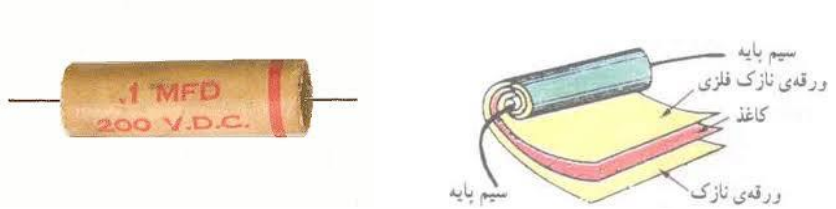
خازن‌های ورقه‌ای

در خازن‌های ورقه‌ای از کاغذ و مواد پلاستیکی به سبب انعطاف پذیری آن‌ها ، برای دی‌الکتریک استفاده می‌شود. این گروه از خازن‌ها خود به دو صورت خازن‌های کاغذی و خازن‌های پلاستیکی ساخته می‌شوند:



خازن‌های کاغذی

دی‌الکتریک این نوع خازن از یک صفحه نازک کاغذ متخلخل تشکیل شده که دی‌الکتریک مناسبی درون آن تزریق می‌گردد تا مانع از جذب رطوبت گردد. برای جلوگیری از تبخیر دی الکتریک درون کاغذ، خازن را درون یک قاب محکم و نفوذناپذیر قرار می‌دهند. خازن‌های کاغذی به علت کوچک بودن ضریب دی‌الکتریک، دارای ابعاد فیزیکی بزرگ هستند، اما از مزایای این خازن‌ها آن است که در ولتاژها و جریان‌های زیاد می‌توان از آن‌ها استفاده کرد.

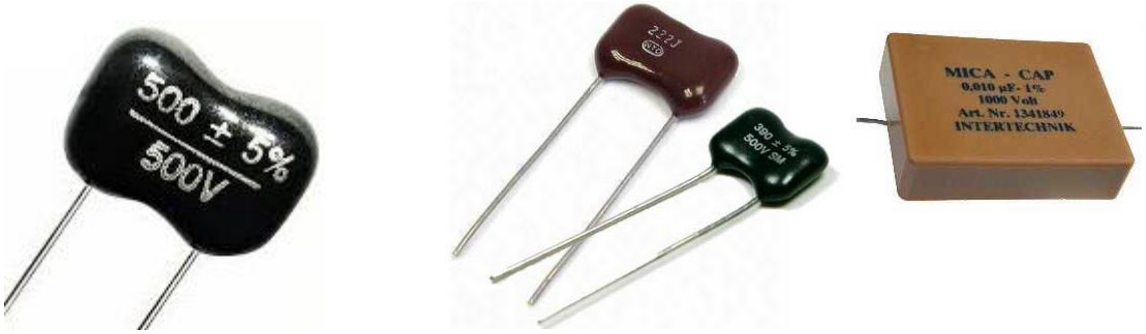


خازن‌های پلاستیکی

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 بسته بندی می‌شوند. 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 دی الکتریک‌هایی که در این خازن‌ها به کار می‌رود پلی‌استایرن است، از این رو به این خازن‌ها "پلی استر" گفته می‌شود که از جمله رایج‌ترین خازن‌های پلاستیکی است. ماکزیمم فرکانس کار خازن‌های پلاستیکی حدود یک مگا هرتز است.

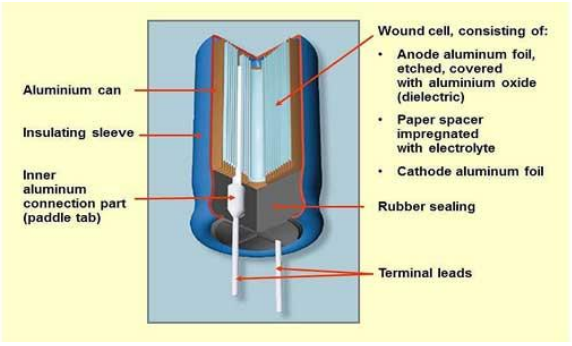
خازن‌های میکا

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 خازن‌های میکا تقریبا بین ۰/۰۱ تا ۱ میکرو فاراد است. از ویژگی‌های اصلی و مهم این خازن‌ها می‌توان داشتن ولتاژ کار بالا، عمر طولانی و کاربرد در مدارات فرکانس بالا را نام برد.



خازن‌های الکترولیتی

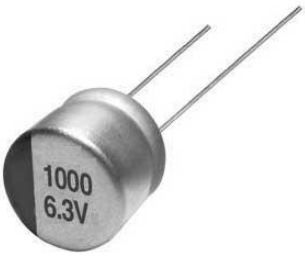
این نوع خازن‌ها معمولاً در رنج میکروفاراد هستند. نام دیگر این خازن‌ها، شیمیایی است. علت نامیدن آنها به این نام این است که دی الکتریک این خازن‌ها را به نوعی مواد شیمیایی آغشته می‌کنند که در عمل، حالت یک کاتالیزور را دارا می‌باشند و باعث بالا رفتن ظرفیت خازن می‌شوند. این خازن‌ها دارای پلاریته (قطب) یا پایه مثبت و منفی می‌باشند. اگر پایه‌های مثبت و منفی آن رعایت نشود، دی‌الکتریک آن از بین رفته و باعث آسیب به خازن و سوختن آن می‌شود. از این رو بر روی بدنه خازن کنار پایه منفی، علامت منفی – نوشته شده است. مقدار واقعی ظرفیت و ولتاژ قابل تحمل آن‌ها نیز روی بدنه درج شده است .خازن‌های الکترولیتی در دو نوع آلومینیومی و تانتالیومی ساخته می‌شوند.

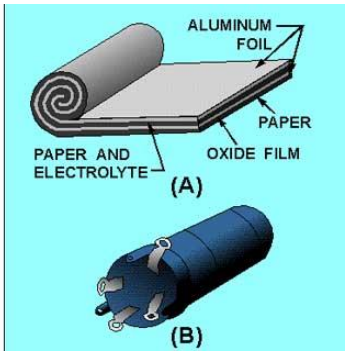


خازن آلومینیومی

این خازن همانند خازن‌های ورقه‌ای از دو ورقه آلومینیومی تشکیل شده است. یکی از این ورقه‌ها که لایه اکسید روی آن ایجاد می‌شود "آند" نامیده می‌شود و ورقه آلومینیومی دیگر نقش کاتد را دارد. ساختمان داخلی آن بدین صورت است که دو ورقه آلومینیومی به همراه دو لایه کاغذ متخلخل که در بین آن‌ها قرار دارند، هم زمان پیچیده

شده و سیم‌های اتصال نیز به انتهای ورقه‌های آلومینیومی متصل می‌شوند. پس از پیچیدن ورقه‌ها آن را درون یک الکترولیت مناسب که شکل‌گیری لایه اکسید را سرعت می‌بخشد، غوطه‌ور می‌سازند تا دو لایه 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.





خازن تانتالیوم

در این نوع خازن به جای آلومینیوم از فلز تانتالیوم استفاده می‌شود زیاد بودن ثابت دی الکتریک اکسید تانتالیوم نسبت به اکسید آلومینیوم (حدودا ۳ برابر) سبب می‌شود خازنهای تانتالیومی نسبت به نوع آلومینیومی درحجم مساوی دارای ظرفیت بیشتری باشند.

محاسن خازن تانتالیومی نسبت به نوع آلومینیومی بدین قرار است:

الف - ابعاد کوچکتر ب - جریان نشتی کمتر ج - عمر کارکرد طولانی

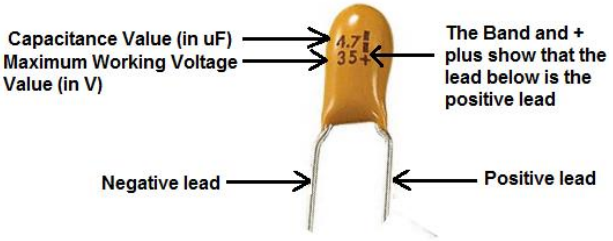
از جمله معایب این نوع خازن در مقایسه با خازنهای آلومینیومی عبارتند از:

الف - خازن‌های تانتالیوم گرانترند

ب - نسبت به افزایش ولتاژ اعمال شده در مقابل ولتاژ مجاز آن، همچنین معکوس شدن پلاریته حساس ترند.

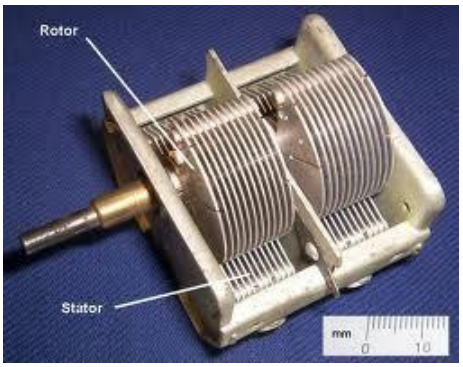
ج - قابلیت تحمل جریان‌های شارژ و دشارژ زیاد را ندارند.

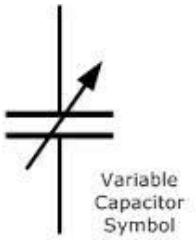
د - خازن‌های تانتالیوم دارای محدودیت ظرفیت هستند (حد اکثر تا ۳۳۰ میکرو فاراد ساخته می‌شوند).

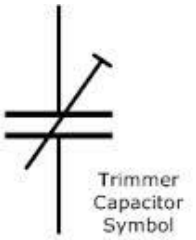


خازن متغیر

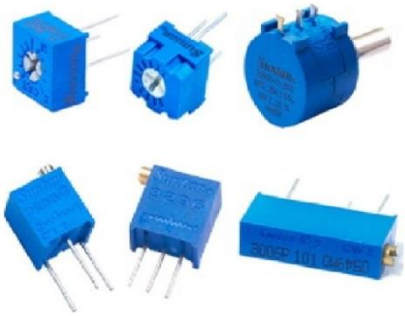
به طور کلی با تغییر سه عامل می‌توان ظرفیت خازن را تغییر داد؛ فاصله صفحات، سطح صفحات و نوع دی‌الکتریک اساس کار خازن متغیر برمبنای تغییر سطح مشترک صفحات خازن یا تغییر ضخامت دی‌الکتریک است، ظرفیت یک خازن نسبت مستقیم با سطح مشترک دو صفحه‌ی خازن دارد. خازن‌های متغیر عموما از نوع عایق هوا یا پلاستیک هستند. در شکل زیر دو نوع خازن متغیر را به همراه علایم اختصاری آن‌ها مشاهده می‌کنید. نوعی که به‌وسیله دسته‌ی متحرک (محور) عمل تغییر ظرفیت انجام می‌شود" واریابل" نامند و در نوع دیگر این عمل به وسیله پیچ گوشتی صورت می‌گیرد که به آن" تریمر" گویند. محدوده‌ی 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.







خازن واریابل مورد استفاده در رادیو



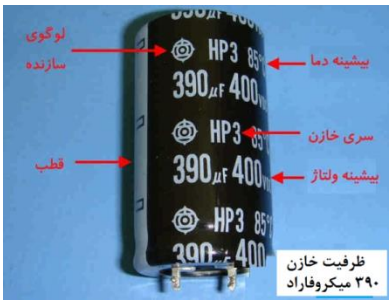
خازن تریمر آبی ۱۰ پیکوفاراد

تشخیص مقدار ظرفیت خازن

برای تعیین ظرفیت خازن از سه روش استفاده می‌شود:

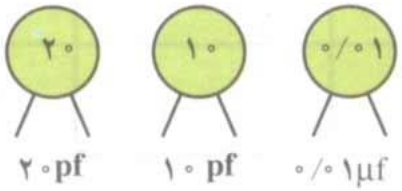
۱ – تشخیص ظرفیت با کمک مقدار نوشته شده

در این حالت مقدار عدد ظرفیت و واحد آن عیناً بر روی بدنه‌ی خازن قید می‌شود.



۲ - روش رمزهای عددی

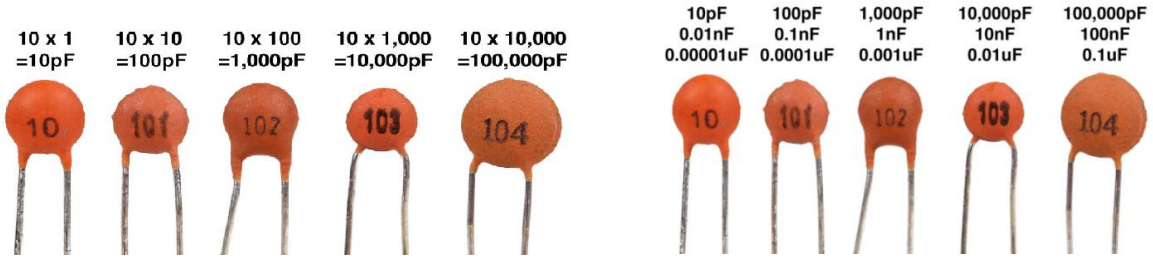
در اغلب مواقع واحد ظرفیت بر روی بدنه‌ی خازن قید نمی‌شود. دراین صورت چنان‌چه این عدد از یک کوچک‌تر باشد ظرفیت بر حسب میکرو فاراد و چنان‌چه عدد بزرگتر از یک باشد ظرفیت بر حسب پیکوفاراد است.



در حالتی که عدد ظرفیت بزرگ‌تر از واحد باشد، معمولا عدد ظرفیت به صورت یک عدد سه رقمی مشخص می‌شود. اولین رقم را رقم اول، دومین رقم را رقم دوم و سومین رقم ضریب یا تعداد صفر قرار خواهیم داد و واحد را نیز همان پیکوفاراد می‌گیریم. مقدار بدست آمده را می‌توان به واحدهای دیگر تبدیل نمود.

به عنوان مثال

ظرفیت خازنی که روی آن نوشته شده۵۰۳ برابر است با ۵۰۰۰۰ پیکوفاراد= ۵۰ نانوفاراد = ۰/۰۵ میکروفاراد



۳ - تشخیص مقدار ظرفیت با کمک نوارهای رنگی خازن ها

در خازن‌های پلیستر برای سال‌های زیادی از کدهای رنگی بر روی بدنه آن‌ها استفاده می‌شد. در این کدها سه رنگ اول ظرفیت و رنگ چهارم تلرانس (درصد خطا) را نشان می‌دهد. خازن‌های پلیستر امروزه به وفور در مدارات الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. این خازن‌ها در برابر حرارت زیاد معیوب می‌شوند و بنابراین هنگام لحیم‌کاری باید به این نکته توجه داشت.

ترتیب رنگی خازن‌ها به ترتیب زیر است:

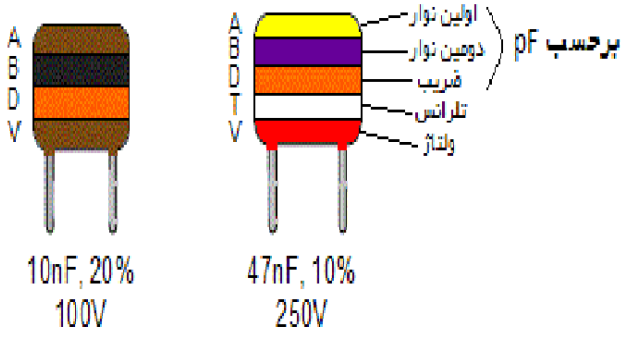
رنگ	رقم A	رقم B	ضریب D	تلرانس (T) > ۱۰pf	تلرانس (T) < ۱۰pf	ضریب دمایی (TC)
مشکی	۰	۰	x1	± ۲۰٪	± ۲,۰	
قهوه ای	۱	۱	x10	± ۱٪	± ۰,۱	-۳۳×۱۰$^{-۶}$
قرمز	۲	۲	x100	± ۲٪	± ۰,۲۵	-۷۵×۱۰$^{-۶}$
نارنجی	۳	۳	x1,000	± ۳٪		-۱۵۰×۱۰$^{-۶}$
زرد	۴	۴	x10,000	± ۴٪		-۲۲۰×۱۰$^{-۶}$
سبز	۵	۵	x100,000	± ۵٪	± ۰,۵	-۳۳۰×۱۰$^{-۶}$
آبی	۶	۶	x1,000,000			-۴۷۰×۱۰$^{-۶}$
بنفش	۷	۷				-۷۵۰×۱۰$^{-۶}$
خاستری	۸	۸	x0.01	+۸۰٪, -۲۰٪		
سفید	۹	۹	x0.1	± ۱۰٪	± ۱,۰	
طلایی			x0.1	± ۵٪		
نقره ای			x0.01	± ۱۰٪		

ولتاژ این خازن ها که با یک نوار رنگی حاوی یک متغیر و یا یک حرف شناخته می شود.

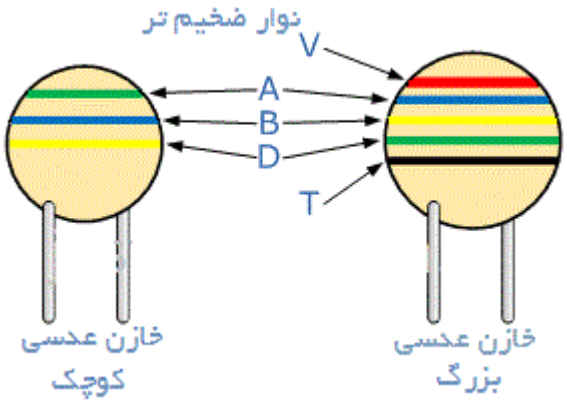
رنگ	Voltage Rating (V)				
	Type J	Type K	Type L	Type M	Type N
مشکی	۴	۱۰۰		۱۰	۱۰
قهوه ای	۶	۲۰۰	۱۰۰	۱,۶	
قرمز	۱۰	۳۰۰	۲۵۰	۴	۳۵
نارنجی	۱۵	۴۰۰		۴۰	
زرد	۲۰	۵۰۰	۴۰۰	۶,۳	۶
سبز	۲۵	۶۰۰		۱۶	۱۵
آبی	۳۵	۷۰۰	۶۳۰		۲۰
بنفش	۵۰	۸۰۰			
خاکستری		۹۰۰		۲۵	۲۵
سفید	۳	۱۰۰۰		۲,۵	۳
طلایی		۲۰۰۰			

Voltage Ratings By letters (V)	
H۱	۵۰
A۲	۱۰۰
T۲	۱۵۰
D۲	۲۰۰
E۲	۲۵۰
G۲	۴۰۰
J۲	۶۳۰

محاسبه ظرفیت های خازن های پلی استر



محاسبه ظرفیت های خازن های عدسی یا سرامیکی

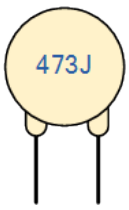


محاسبه تلرانس خازن ها بر اساس حروف

اکثر خازن های جدید، بر رویشان اعدادی قابل رویت است که اگر دقت کنید در آخر آن حروف نوشته شده است که آن نشان دهنده تلرانس خازن هاست. با توجه به جدول زیر - که نشان دهنده تلرانس بر اساس حروف لاتین می باشد - می توان تلرانس را به راحتی یافت.

	حرف	B	C	D	F	G	J	K	M	Z
Tolerance	C <10pF ±%	۰,۱	۰,۲۵	۰,۵	۱	۲				
	C >10pF ±%			۰,۵	۱	۲	۵	۱۰	۲۰	+۲۰-۸۰

برای مثال به خازن شکل زیر توجه کنید. حرف آخر آن که حرف "J" می باشد، که نشان دهنده تلرانس ٪۵± است. حال برای محاسبه ظرفیت خازن زیر مراحل زیر را انجام می دهیم.



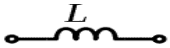
J = ±%5

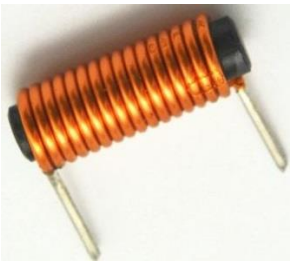
C = 47000 pf = 47 nf = 0.047 µF

C = 0.047±%5 µF

سلف

سلف المانی است که انرژی الکتریکی را توسط میدان الکترومغناطیسی در خود ذخیره می‌کند.

توانایی سلف برای ذخیره انرژی "ضریب خود القایی" گفته می‌شود، آن را با L نمایش داده، واحد آن نیز هانری (H) می‌باشد. در مدارهای الکتریکی سلف را به‌صورت  نمایش می‌دهند.



ساختمان سلف

سلف از دو قسمت اصلی تشکیل شده است.

الف - سیم‌پیچ

ب - هسته

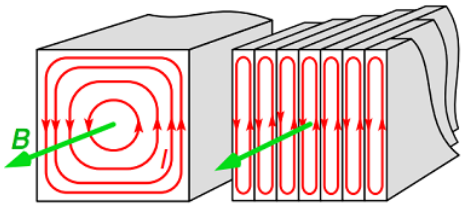
سیم‌پیچ از پیچیدن طول معینی از یک سیم هادی با روکش عایق بر روی یک پایه‌ی عایق شکل می‌گیرد.

هسته قسمتی است که درون سیم‌پیچ قرار می‌گیرد تا مسیر مناسبی برای میدان‌مفناطیسی فراهم آورد.

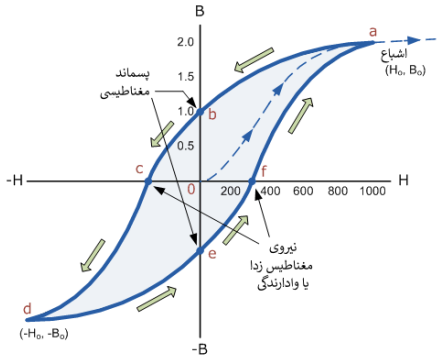
یک سلف معمولاً از یک سیم‌پیچ ساخته شده از یک ماده هادی - معمولاً سیم مسی - که بر روی هسته‌ای از هوا یا ماده‌ای فرومغناطیسی پیچیده شده، ساخته می‌شود. مواد تشکیل دهنده هسته با ضریب نفوذپذیری بیشتر از هوا، میدان مغناطیسی را افزایش داده و آن را کاملاً در سلف محبوس می‌کنند و به این وسیله باعث افزایش خودالقایی می‌شوند. به منظور جلوگیری از ایجاد جریان گردابی یا فوکو، سلف‌های فرکانس پایین مانند ترانسفورماتورها با هسته‌هایی از فولاد ورقه ورقه شده به نام ورقه‌های دینامو‌بلش، ساخته می‌شوند.

در فرکانس‌های بالا (۵۰ مگاهرتز به بالا) به علت سلف‌های با خودالقایی کم، جنس هسته از هوا است.

اما در فرکانس‌های بالاتر سلف‌های با خودالقایی زیاد، در صورتی که هسته از هوا باشد، ابعاد سلف بزرگ می‌شود. در این شرایط فریت‌های نرم به طور گسترده‌ای به عنوان هسته مورد استفاده قرار می‌گیرند. زیرا برخلاف آلیاژهای معمولی آهن، که در فرکانس‌های بالا انرژی زیادی را تلف می‌کنند، فریت‌ها تلفات زیادی ندارند و این به دلیل منحنی هیسترزیس باریک آن‌ها می‌باشد. و این‌که مقاومت اهمی این نوع هسته‌ها از برقراری جریان گردابی جلوگیری می‌کند.

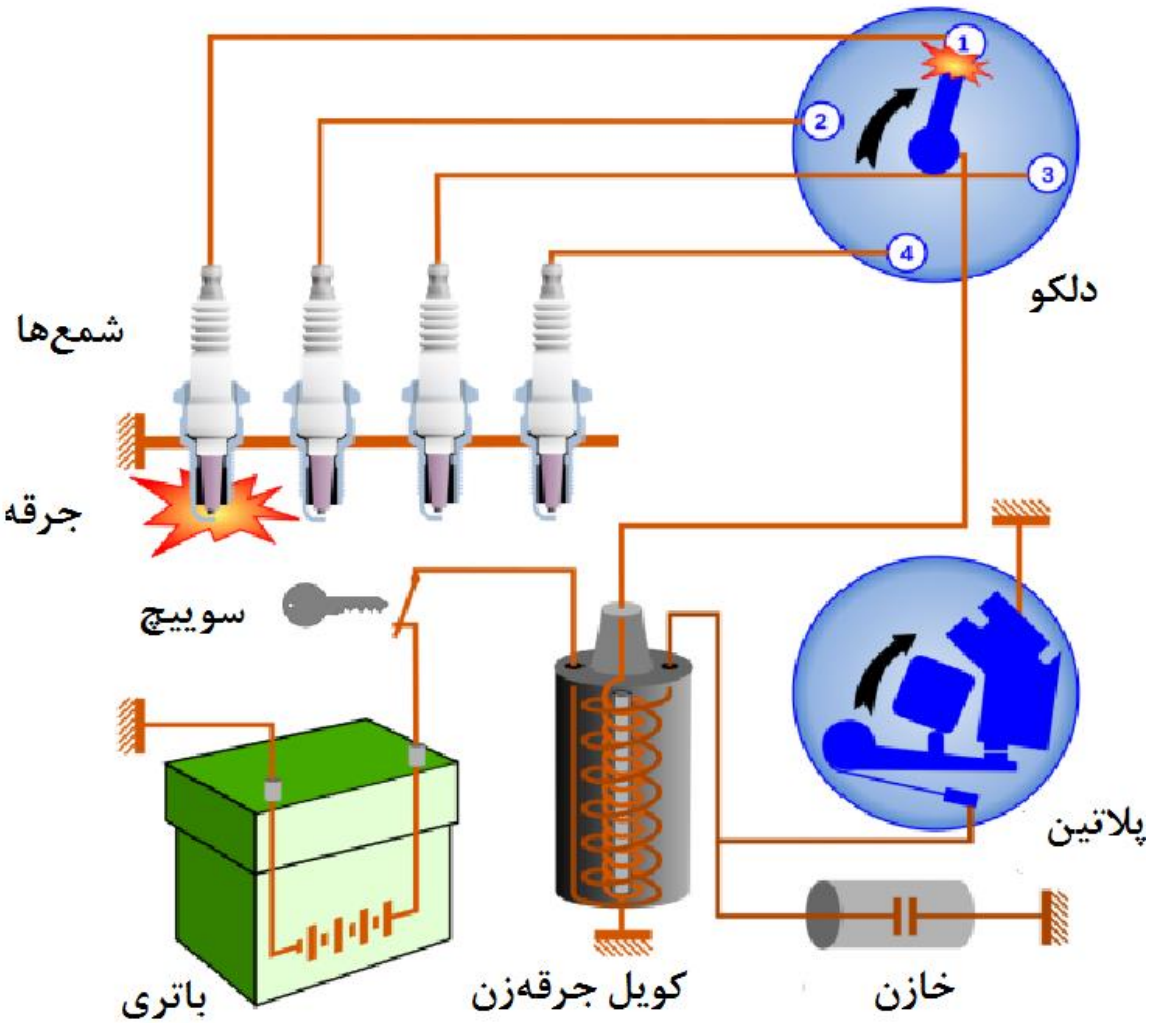


جریان گردابی یا فوکو (Eddy Current)

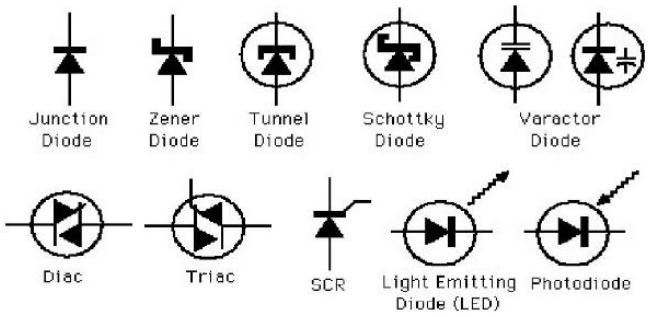


حلقه هیسترزیس یا منحنی مغناطیس شوندگی مواد

کوئل و سیستم جرقه‌زن خودرو

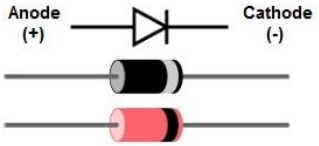


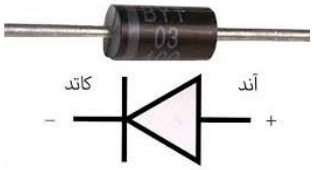
دیود



دیود یکی از المان های الکترونیکی است که جریان الکتریکی را در یک جهت از خود عبور می‌دهند و در جهت دیگر در مقابل عبور جریان از خود مقاومت نشان می‌دهد.
از لحاظ الکتریکی یک دیود هنگامی جریان را از خود عبور می دهد که شما با برقرار کردن ولتاژ در جهت درست (قطب مثبت باتری به آند و قطب منفی به کاتد) آنرا آماده کار کنید.

مقدار ولتاژی که باعث می‌شود تا دیود شروع به هدایت جریان الکتریکی نماید *ولتاژ آستانه* نامیده می‌شود که چیزی حدود ۰,۶ تا ۰,۷ ولت می‌باشد. دیودها معمولا از جنس سیلیسیم یا ژرمانیوم ساخته می‌شوند. که البته ولتاژ آستانه برای سیلیسم ۰,۶ ولت و برای ژرمانیوم حدود ۰,۲ ولت می‌باشد.





پیکربندی دیود

وصل کردن ولتاژ به دیود را پیکربندی یا بایاسینگ دیود می‌گویند. اعمال ولتاژدر دو سر پایه‌هایش دو حالت را پیش می‌آورد.

پیکربندی مستقیم یا تغذیه مستقم

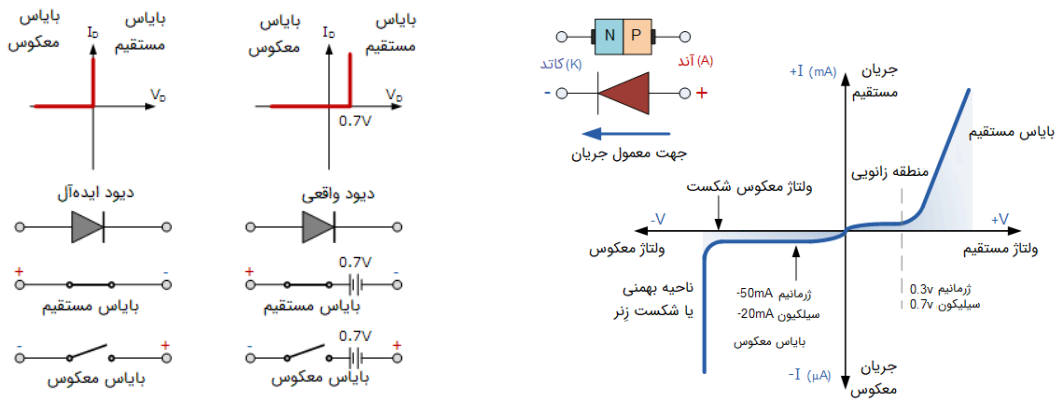
دراین حالت مثبت باتری به آند (قطب p) و منفی باتری به کاتد (قطب n) می‌خورد و باعث می‌شود تا جریان در دیود برقرار شود و ولتاژی حدود ۰,۶ ولت روی آن افت می‌کند.

پیکربندی معکوس

ولتاژ به دو سر دیود طوری وصل می‌شود که قطب مثبت آن به کاتد و قطب منفی آن به آند وصل گردد (پیکربندی معکوس دیود).

هنگامی که شما ولتاژ معکوس به دیود متصل می‌کنید جریانی از دیود عبور نمی‌کند، مگر جریان بسیار کمی که به جریان نشتی معروف است که در حدود چند μA یا حتی کمتر می‌باشد.

اما نکته مهم آنکه تمام دیودها یک آستانه برای حداکثر ولتاژ معکوس دارند که اگر ولتاژ معکوس بیش از آن شود دیود می‌سوزد و جریان را در جهت معکوس هم عبور می‌دهد. به این ولتاژ آستانه شکست گفته می‌شود.



دسته بندی کلی دیود ها

در دسته‌بندی اصلی، دیودها را به سه قسمت اصلی تقسیم می‌کنند، دیودهای سیگنال که برای آشکار سازی در رادیو به‌کار می‌روند و جریانی در حد میلی‌آمپر از خود عبور می‌دهند، دیودهای یکسوکننده که برای یکسوسازی جریان‌های متناوب بکاربرده می‌شوند و توانایی عبور جریانهای زیاد را دارند و دیود های زنر که برای تثبیت ولتاژ از آنها استفاده می‌شود.

انواع دیود

دیودها انواع بسیار زیادی دارند، ما در اینجا به چند مورد از مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌کنیم.

۱ - فتو دیود

۲ - دیودنور دهندهLED

۳ - دیود زنر

۴ - دیود خازنی (واراکتور)

۵ - دیود اتصال نقطه‌ای

۶ - دیود تونلی

۷ – دیود شاتکی

فتو دیود یا دیود نوری

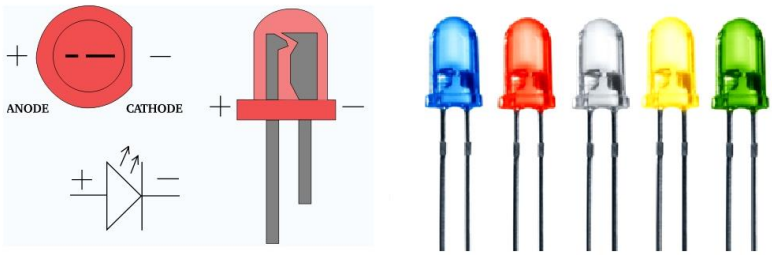
فتو دیود که به آن دیود نوری نیز می‌گویند مانند دیود معمولی از اتصال دو نیمه هادی نوع N و P ساخته می‌شود با این تفاوت که محل اتصال نیمه هادی‌ها، با مواد پلاستیکی سیاه پوشیده نمی‌شود بلکه برای این‌که نور به محل اتصال نیمه‌هادی‌ها برسد معمولاً آن محل را توسط شیشه و یا مواد پلاستیکی شفاف می‌پوشانند. روی اکثر فتو دیودها یک لنز بسیار کوچک نصب می‌شود تا نور تابیده شده به آن منطقه را متمرکز کرده و به‌محل پیوند برساند.

فتو دیود همیشه در پیکربندی معکوس به کار می‌رود و با تابش نور به محل اتصال نیمه‌هادی‌های آن، پیوندهای کووالانس موجود در ناحیه تخلیه در اثر انرژی نور تابیده شده شکسته شده و جریان معکوس فتو دیود افزایش می‌یابد. هر چه نور تابیده شده به محل اتصال نیمه هادی‌ها بیشتر باشد مقدار جریان معکوس فتو دیود بیشتر می‌شود و برعکس، هر چه نور تابیده شده به محل پیوند کمتر باشد مقدار جریان معکوس فتو دیود کمتر می‌شود.

فتو دیودها کاربردهای وسیعی در وسایل خانگی مانند پخش‌کننده CD ، تشخیص دود و لوازم پزشکی دارند. یکی از کاربردهای مهم فتو دیودها، در گیرنده مادون قرمز موجود در کنترل از راه دور وسایلی مانند تلویزیون و کولر است. در بسیاری دیگر از کاربردها نیز از فتو دیود یا فتو کانداکتور استفاده شود. هر کدام از انواع سنسورهای نوری ممکن است در اندازه‌گیری نور (در دوربین‌ها) و یا پاسخ به تغییر سطح نور (روشنایی اتوماتیک خیابان‌ها) به کار روند.

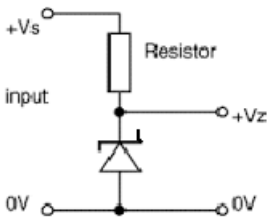
دیود نور دهنده LED

دیود نور دهنده با قرارگرفتن در پیکربندی مستقیم ودر حالی که شدت جریان به اندازه کافی باشد، شروع به تابش نور می‌کند. این نور در محل اتصال دو نیمه هادی و به دلیل آزاد شدن انرژی پیوندها در حین ترکیب و به صورت تابش تولید می‌شود، نور این قطعه به جنس به کار گرفته شده در نیمه هادی وابسته است. این دیود در رنگ و شکل های گوناگونی به چشم می‌خورد، از موارد استفاده این دیود می‌توان مواردی همچون گوشی موبایل، دستگاه‌های صوتی و تصویری و پنل های خودرو را نام برد. ولتاژهای کاری این دیود متفاوت، و معمولاً ۱,۷ یا ۳ یا ۵ ولت است.

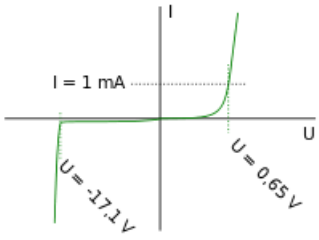


دیود زنر

دیود زنر، نوعی دیود است که نه تنها امکان عبور جریان در یک جهت، نظیر هر دیود دیگری را می‌دهد، بلکه در صورتی که ولتاژ از حد خاصی بیشتر شود، در پیکربندی معکوس نیز امکان عبور جریان در جهت عکس را می‌دهد. این حد ولتاژ، به عنوان ولتاژ زنر شناخته شده است و برای دیودهای زنر با ولتاژ شکست ۱,۸ تا ۲۰۰ ولت ثابت است. بنابراین، دیودهای زنر، از صدمه دیدن مدارها، جلوگیری می‌کنند. این دیودها، بیشتر برای کنترل ولتاژ در مدارهای الکتریکی، استفاده می‌شوند.



تهیه ولتاژ با زنر

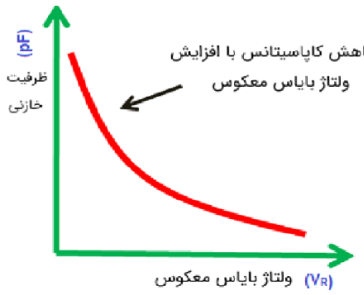


منحنی مشخصه دیود زنر

دیودهای واراکتور یا خازنی

دیود خازنی در واقع دیودی است که به جای خازن متغیر به‌کار می‌رود چون مقدار ظرفیت خازن آن با ولتاژ دو سر آن رابطه عکس دارد. دیودهای واراکتور، که دیودهای واریکاپ هم نامیده می‌شوند، دیودهایی با ظرفیت متغیر و اتصالات استاندارد p-n هستند که همیشه در پیکربندی معکوس عمل می‌کنند. در حالت پیکربندی معکوس، ظرفیت‌های متغیر هم‌زمان با ولتاژ متغیر نشان می‌دهند. با افزایش ولتاژ معکوس، ظرفیت دیود واراکتور کاهش می‌یابد. میزان ناخالصی، مقدار ظرفیت را کنترل می‌کند که به معنی ناخالصی بیشتر برای بازه‌ی ظرفیتی بیشتر دیود است. دیودهای واراکتور، عمدتاً در مدارهای فرکانس رادیویی استفاده می‌شوند که در آن‌ها برای تنظیم مدار، مثلاً در تجهیزات ارتباطی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. به همین دلیل به این دیودها، دیودهای تنظیم کننده نیز گفته می‌شود. در بعضی موارد از این دیود می‌توان به عنوان یکسوسازی استفاده کرد.

دیود واراکتور MVAM 109



نمودار تغییرات ظرفیت خازنی دیود واراکتور با تغییر ولتاژ بایاس معکوس

دیود اتصال نقطه ای

دیود های معمولی در پیکربندی معکوس ، یک ظرفیت خازنی در حدود PF را ایجاد می کنند. اگر بخواهیم این دیود ها را در فرکانس های بالا به کار ببریم ، به دلیل ظرفیت خازنی در پیکربندی معکوس ، جریان از مدار عبور می کند. زیرا در فرکانس بالا مقاومت معکوس دیود ، کم می شود.

از این رو باید ظرفیت خازنی دیودهایی را که در فرکانس بالا به کار می روند کم نمود. برای کم کردن ظرفیت خازن ، ساده ترین ، کم کردن سطح اتصال هادی ها است. لذا اتصال دیود های اتصال نقطه ای را برای فرکانس های بالا و جریان های کم می سازند.

در شکل زیر ساختمان ساده ی یک دیود اتصال نقطه ای را مشاهده می کنید:

برای ساختن این دیود ، کریستال نیمه هادی نوع N را معمولا از جنس ژرمانیوم انتخاب می کنند و یک سیم نازک مخصوص که خاصیت فنری داشته باشد به آن می چسبانند ، سپس یک جریان ضربه ای قوی از آن می گذرانند. در اثر این عمل اولا کریستال نوع N ذوب می شود و نک سیم در داخل آن فرو می رود. ثانیا در اطراف آن یک ناحیه ی بسیار کوچک P ایجاد می گردد.

دیود اتصال نقطه ای پرکاربرد 1N4148

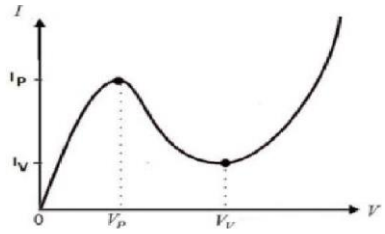
نمایش ساخت دیود اتصال نقطه‌ای

علامت اختصاری دیود اتصال نقطه ای

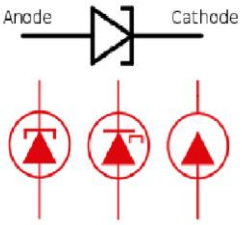
دیود تونلی

دیود تونلی از دو قطعه نیمه هادی نوع N و P که غالباً از جنس ژرمانیوم و گالیم آرسنید می‌باشند ساخته می‌شود. میزان ناخالصی نیمه هادی های N و P در دیود تونلی نسبت به دیود معمولی بسیار زیاد است (حدود چند هزار برابر)، که این موضوع خود باعث به وجود آمدن یک ناحیه تخلیه بسیار نازک در محل پیوند می‌شود که عرض آن حدود ۰٫۰۱ عرض ناحیه تخلیه در دیودهای معمولی است. ناحیه نازک باعث می‌شود که حامل‌های زیادی به جای این‌که در ولتاژهای پایین از آن عبور نمایند از آن تونل بزنند. همان‌طور که شکل منحنی مشخصه یک دیود تونلی مشاهده می‌کنید با افزایش ولتاژ موافق از صفر تا V_P ، بر خلاف دیود معمولی جریان عبوری تا I_P افزایش سریع دارد. از V_P به بعد با افزایش ولتاژ موافق تا V_V جریان کاهش سریع دارد. فاصله ولتاژ پیک تا ولتاژ دره را ناحیه مقاومت منفی می‌گویند.

جریان پیک در دیود تونلی می‌تواند بین چند میکروآمپر تا چند صد آمپر متغیر باشد در حالی که ولتاژ در دو سر دیود از حدود ۰٫۶ ولت تجاوز نمی‌کند. به همین دلیل است که اتصال ولتمتری با باتری ۱٫۵ ولت، به طور نادرست به دو سر دیود تونلی به آن صدمه می‌زند.



منحنی مشخصه دیود تونل

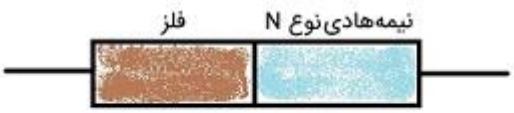


علامت اختصاری انواع دیود تونل

چند نمونه دیود تونل

دیود شاتکی[19]

همان‌طور که می‌دانیم، دیودهای معمولی، از اتصال دو پیوند نیمه‌هادی نوع N و نیمه‌هادی نوع P تشکیل می‌شوند اما دیود شاتکی یک وسیله تک‌قطبی است که در آن به جای استفاده از دو نوع نیمه هادی P-N متصل به هم، معمولاً از یک نوع نیم هادی سیلیسیم نوع N با یک اتصال فلزی مانند آلومینیوم، طلا- نقره یا پلاتین به جای نیمه‌هادی نوع P استفاده می‌شود.



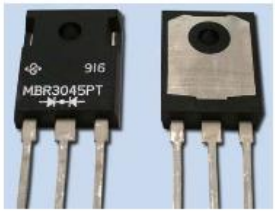
دیود شاتکی

دیود PN

دیود شاتکی نیمه هادی با افت ولتاژ پایین در حالت بایاس مستقیم و سرعت کلید زنی بسیار سریع می‌باشد. هنگام عبور جریان الکتریکی از دیود مقداری افت ولتاژ در دو سر دیود ظاهر می‌شود. در دیودهای سیلیکونی معمولی مقدار افت ولتاژ حدود ۰٫۶ تا ۰٫۷ ولت است در حالی که در دیود شاتکی افت ولتاژ حدود ۰٫۱۵ الی ۰٫۴۵ ولت است. به دلیل افت ولتاژ پایین در این نوع دیود می‌توان مدارهایی با سرعت کلید زنی بالا و کارایی بهتری طراحی کرد.

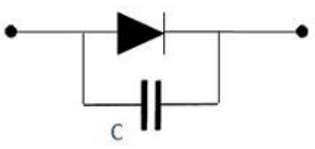
[19] Schottky diode

گاهی در یک دیود شاتکی ترکیب دو دیود معمولی استفاده می‌شود. این دیودها سه پایه دارد که یکی از آن ها، پایه مشترک است.



MBR3045PT
30 A , 45 V ,

دیود شاتکی سریع HER308
800 V , 3 A , 50 ns



مدار معادل تقریبی دیود شاتکی

سمبل دیود شاتکی

برخی از ویژگی‌های خاص دیود شاتکی، به صورت زیر است:

- در دیود شاتکی، به دلیل آنکه جریان از فلز به نیمه‌هادی نوع N گذر نمی‌کند، دیود مانند یک قطعه تک‌قطبی عمل می‌کند.
- فلز، هیچ حفره‌ای ندارد و باری را ذخیره نمی‌کند. به همین دلیل، دیود شاتکی خاصیت سوئیچینگ سریع با نویز کم را دارد.
- دیود شاتکی پتانسیل سد کمتری نسبت به دیود PN دارد.

تشخیص آند و کاتد و سالم بودن دیود

اغلب مولتی‌مترهای دیجیتالی دارای وضعیت تست دیود هستند. هرگاه کلید سلکتور مولتی‌متر دیجیتالی را در وضعیت تست دیود قرار دهیم و دیود به وسیله‌ی مولتی‌متر در بایاس موافق قرار گیرد مولتی متر دیجیتالی ولتاژ بایاس دیود را نشان می‌دهد که این ولتاژ برای دیودهای سیلیکنی حدود ۰,۷ ولت و برای دیودهای از جنس ژرمانیوم حدود ۰,۲ ولت است.

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

اگر دیود اتصال کوتاه باشد در هر دو وضع اتصال مولتی‌متر به دیود روی صفحه‌ی دستگاه ولتاژ صفر نشان داده خواهد شد.

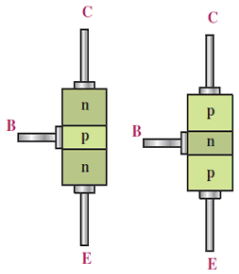
تشخیص معیوب بودن دیود ها از شکل ظاهری دیود

گاهی از شکل ظاهری دیودها می‌شود به معیوب بودن آن‌ها پی‌برد.

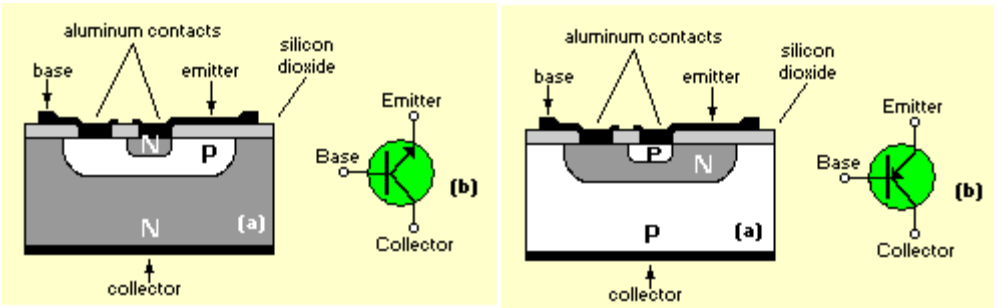
ترانزیستور پیوند دوقطبی BJT

ساختمان ترانزیستور

ترانزیستور معمولی از سه کریستال نوع P و N تشکیل یافته است. ترتیب قرار گرفتن کریستال های P و N در کنار هم به صورت شکل زیر می باشد:



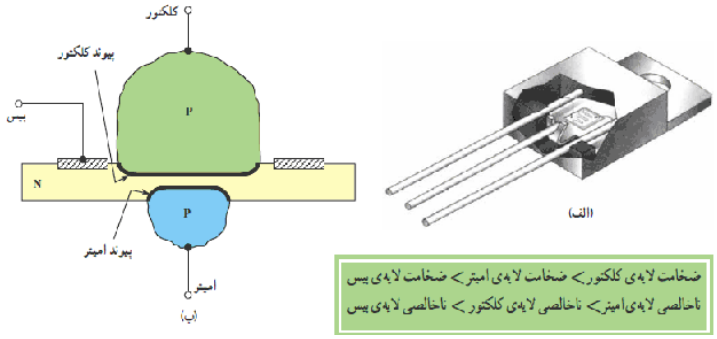
با توجه به شکل‌های بالا مشاهده می‌شود دو نوع ترانزیستور وجود دارد که به یکی NPN و دیگری PNP گفته می‌شود. سه پایه‌ی ترانزیستور نیز امیتر یعنی منتشر کننده، بیس به معنی پایه و کلکتور یعنی جمع کننده نام گذاری شده‌اند. در شکل زیر هم ساختمان داخلی ترانزیستور نشان داده شده است:



-NPN Bipolar Junction transistor section view (a), and graphic symbol (b).

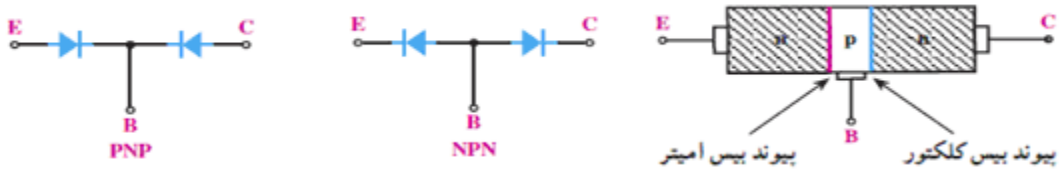
-PNP Bipolar Junction transistor section view (a), and graphic symbol (b).

کریستال P یا N که به صورت امیتر به کار می‌رود نسبت به لایه بیس و کلکتور دارای ناخالصی بیش‌تر است. ضخامت لایه 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 است، اما از بیس به مراتب بیش‌تر است. ضخامت لایه کلکتور از امیتر بیش‌تر است، زیرا تمام تلفات حرارتی ترانزیستور در کلکتور ایجاد می‌شود. در شکل زیر نسبت تقریبی لایه‌های ترانزیستور و نمونه‌ای از یک ترانزیستور ساخته شده نشان داده شده است.

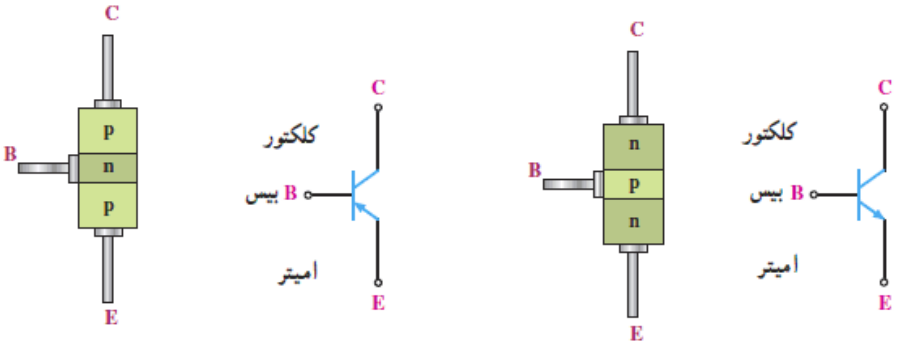


نمای مداری و معادل دیودی ترانزیستور

هرترانزیستور دارای دو محل پیوند P-N است. در شکل 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.

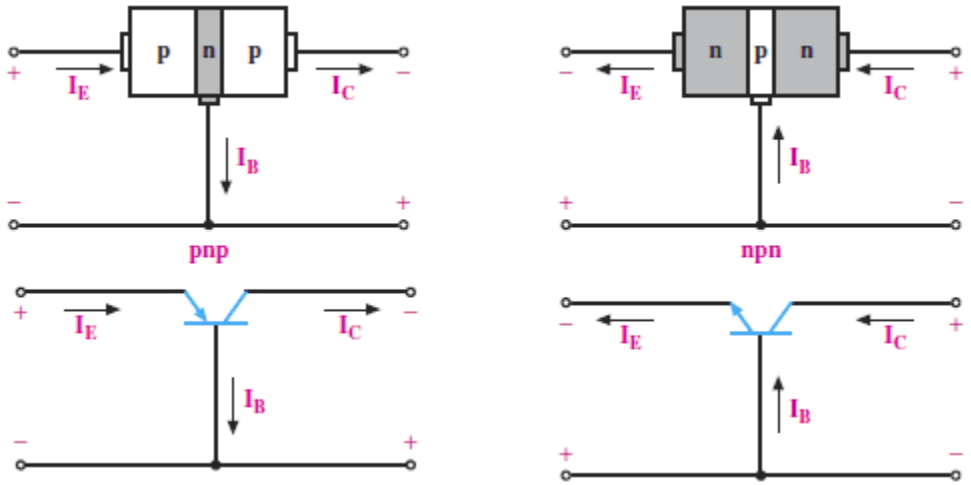


نمای مداری ترانزیستورهای NPN و PNP در شکل مشخص شده است:



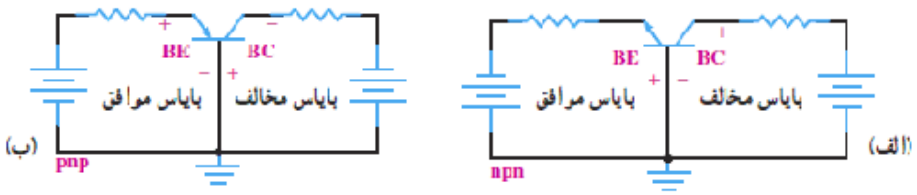
پیکربندی ترانزیستور

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. تغذیه‌ی پایه‌های ترانزیستور را پیکربندی ترانزیستور گویند. برای پیکربندی ترانزیستور به دو دیود امیتر بیس و کلکتور بیس ولتاژ DC اعمال می‌شود. چون ترانزیستور سه پایه دارد یکی از پایه‌ها را مشترک و دو پایه‌ی دیگر را یکی ورودی و دیگری خروجی در نظر می‌گیریم. در شکل زیر این حالت برای دو ترانزیستور نشان داده شده است.

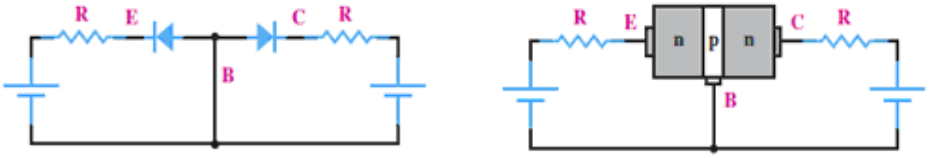


به سه حالت می توانیم به پایه های ترانزیستور ولتاژ اعمال کنیم.

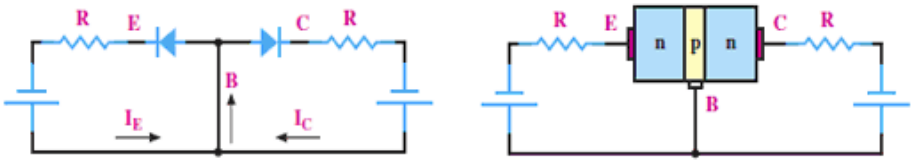
حالت اول : دیود امیتر بیس در پیکربندی موافق و دیود کلکتور بیس در پیکربندی مخالف که در شکل زیر نشان داده شده برای یک ترانزیستور NPN و PNP این حالت پیکربندی نشان داده شده است.



حالت دوم : اتصال بیس امیتر در پیکربندی مخالف و اتصال بیس کلکتور در پیکربندی مخالف است که در شکل زیر یک ترانزیستور NPN را در این حالت نشان داده ایم.



حالت سوم : اتصال بیس امیتر در پیکربندی موافق و اتصال بیس کلکتور در پیکربندی موافق که در شکل زیر نیز این حالت نشان داده شده است. دو جریان I_E و I_C در پایه‌ی بیس با یک دیگر جمع می‌شوند و جریان زیادی را در بیس ایجاد می‌کنند.

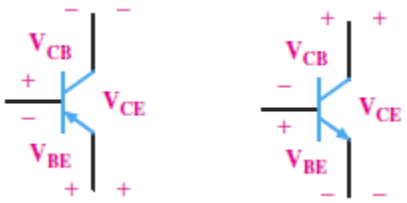


جریان ها در ترانزیستور

حامل‌های باری که از امیتر حرکت می‌کنند مقدار ناچیزی از آنها در بیس جریان بیس I_B را می‌سازند و بقیه‌ی حامل‌ها به کلکتور رسیده، جریان کلکتور I_C را تشکیل می‌دهند. از این رو می‌توان بیان نمود جریان I_E برابر با مجموع جریان بیس و جریان کلکتور است: یعنی $I_E = I_C + I_B$ در شکل زیر نیز جهت جریان‌ها در ترانزیستور مشخص گردیده است. با توجه به شکل پیکان روی امیتر معرف جهت قراردادی جریان است.

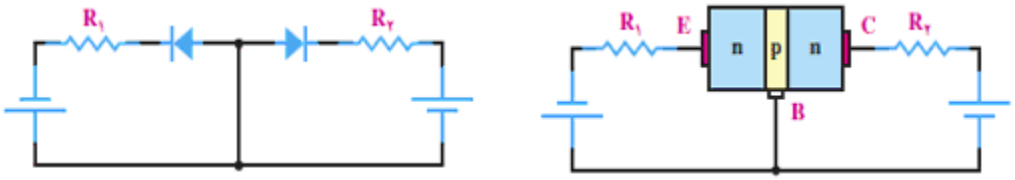
ولتاژها در ترانزیستور

اعمال ولتاژ DC به ترانزیستور برای پیکربندی آن، روی پایه‌های ترانزیستور افت ولتاژی ایجاد می‌کند. ولتاژی که بین پایه‌های بیس و امیتر ترانزیستور قرار می‌گیرد با V_{BE} نشان داده می‌شود. هم چنین ولتاژ بین کلکتور امیتر با V_{CE} و ولتاژ بین کلکتور بیس با V_{CB} مشخص می‌گردد. در شکل زیر این افت ولتاژها برای یک ترانزیستور نشان داده شده است:

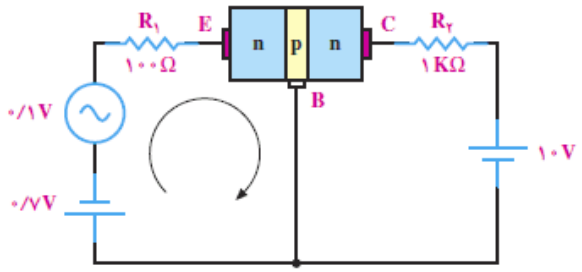


چگونگی عمل تقویت کنندگی در ترانزیستور

برای عمل تقویت در ترانزیستور ضروری است ابتدا ترانزیستور را از نظر DC پیکربندی کنیم. هم چنین لازم است دیود امیتر بیس پیکربندی موافق و دیود کلکتور بیس پیکربندی مخالف شود. شکل زیر این حالت پیکربندی را نشان می‌دهد. برای کنترل جریان امیتر مقاومت R_1 با امیتر سری شده است. مقاومت R_2 که با کلکتور سری شده است جریان کلکتور را کنترل می‌کند.



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



اگر مقاومت دینامیکی دیود امیتربیس را به هنگام اعمال سیگنال معادل ۲۰ اهم فرض کنیم در حلقه ی ورودی، جریان ناشی از سیگنال متناوب برابر است با:

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

همان گونه که بیان شد قسمت اعظم جریان امیتر از طریق کلکتور مسیر خود را می‌بندد. از این رو این جریان تقریباً از مقاومت R_2=1 KΩ که با کلکتور سری شده است عبور می‌کند و در دو سر مقاومت 1 KΩ افت ولتاژ متناوبی با دامنه ی U_R=0.83mA × 1 KΩ = 0.83V ایجاد می‌کند. افت ولتاژ متناوب دو سر مقاومت R_2 به مراتب بیشتر از ولتاژ متناوب ورودی بوده در نتیجه ورودی تقویت می‌شود. اگر ضریب تقویت ولتاژ را با Av نشان دهیم رابطه و مقدار آن برابر با:

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

پس سیگنال ورودی متناوب ۸,۳ مرتبه تقویت شده است. بدین ترتیب می‌توان گفت ترانزیستور عمل انتقال مقاومت را انجام داده و نام ترانزیستور نیز از همین عمل انتخاب شده، Transistor از ترکیب دو کلمه‌ی Transfer of Resistor انتخاب شده است.

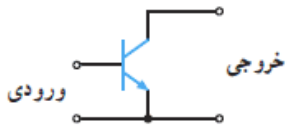
مهم: *ضریب تقویت جریان* یا *بهره جریان* (β) برابر با نسبت جریان خروجی به جریان ورودی $\beta = A_I = \frac{I_C}{I_B}$

آرایش‌های ترانزیستور

ترانزیستورها در مدار به سه صورت امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک به کار می روند.

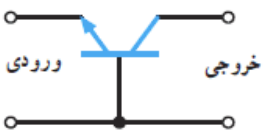
آرایش امیتر مشترک C-E

در این آرایش سیگنال ورودی به بیس امیتر ترانزیستور اعمال می‌شود و سیگنال خروجی از کلکتور امیتر ترانزیستور دریافت می‌گردد. چون پایه‌ی امیتر بین ورودی و خروجی مشترک است این آرایش را امیتر مشترک می‌نامند. همچنین این آرایش می‌تواند جریان و ولتاژ را تقویت کند.



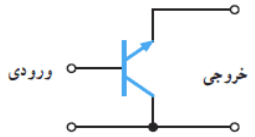
۲ - آرایش بیس مشترک C-B

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. این آرایش جریان را تقویت نمی‌کند، اما ولتاژ را تقویت می‌کند.



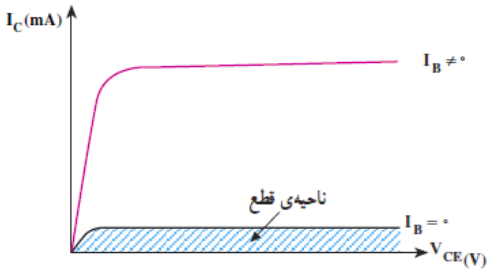
۳ - آرایش کلکتور مشترک C-C

در این آرایش پایه‌ی کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک است. یعنی سیگنال ورودی به بیس کلکتور اعمال می-شود و سیگنال خروجی از امیتر کلکتور دریافت می‌گردد. این آرایش ولتاژ را تقویت نمی‌کند، اما جریان را تقویت می‌کند.



عمل‌کرد ترانزیستور

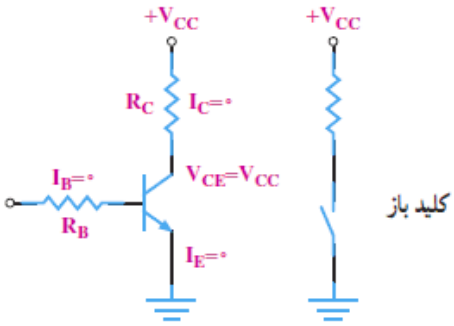
مطابق منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور، که رابطه‌ی بین جریان و ولتاژ خروجی به ازای ثابت بودن جریان ورودی را نشان می دهد، عمل‌کرد ترانزیستورهای BJT در سه ناحیه تعریف می‌شوند.



این سه ناحیه عبارت‌اند از، ناحیه قطع، ناحیه فعال و ناحیه اشباع

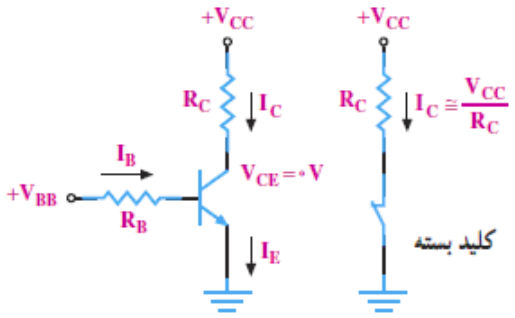
ترانزیستور در حالت قطع

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



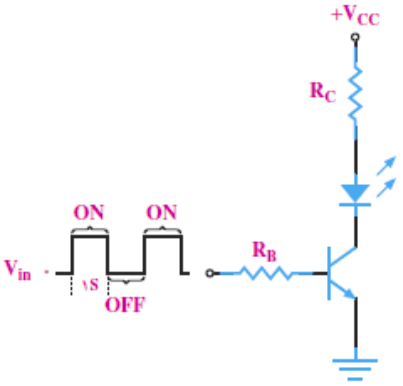
ترانزیستور در حالت اشباع

وقتی بیس امیتر ترانزیستور را پیکربندی موافق کنیم و I_B را افزایش دهیم، I_C هم افزایش می یابد، زیرا $I_C=ß.I_B$ است. هرگاه I_c به حداکثر مقدار خود برسد، Icmax ولتاژ کلکتور امیتر صفر و ترانزیستور در حالت اشباع است. ترانزیستور در حالت اشباع به طور ایده‌آل مانند یک کلید بسته عمل می‌کند.



کاربرد ساده‌ی ترانزیستور به‌عنوان کلید

در شکل زیر نیز یک کاربرد ساده ترانزیستور به منزله‌ی کلید نشان داده شده است. به بیس ترانزیستور موجی مربعی با پریود ۲ ثانیه اعمال شده است. در نیم پریودی که موج ورودی صفر است 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 آن را روشن می‌کند بدین ترتیب LED یک ثانیه روشن و یک ثانیه خاموش بوده، چشمک می‌زند.



تعیین پایه و نوع ترانزیستور به کمک اهم متر

از مولتی متر دیجیتالی در وضعیت آزمایش دیود برای آزمایش ترانزیستور استفاده می‌کنند. مانند حالت آزمایش دیود، وقتی دیود بیس امیتر یا دیود بیس کلکتوردر پیکربندی موافق قرار گیرند ولتاژ پیکربندی موافق دیود روی صفحه نمایش نشان داده خواهد شد. در پیکربندی مخالف ولتاژ پیکربندی مخالف دیود روی صفحه ی نمایش ظاهر می‌شود. درشکل های زیر حالت‌های گوناگون را مشاهده می‌کنید:

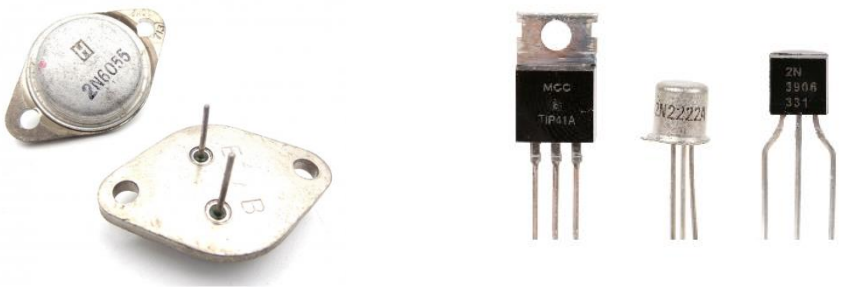
در یک ترانزیستور معیوب اگر اتصال بیس امیتر یا اتصال بیس کلکتور آن قطع باشد در این‌صورت مولتی‌متر ولتاژ پیکربندی مخالف را نشان می‌دهد. مانند شکل های زیر:

در صورت اتصال کوتاه بودن بیس امیتر یا بیس کلکتور مولتی‌متر ولتاژ صفر را نشان خواهد داد. برای این حالت امکان دارد یک یا دو نیمه هادی ترانزیستور آسیب دیده باشد.

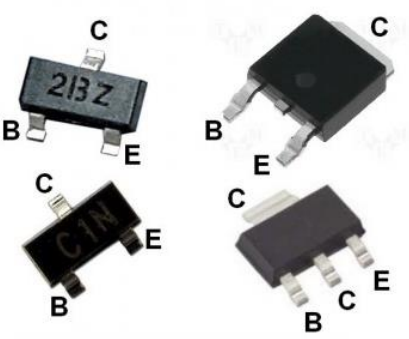
شکل ظاهری ترانزیستور

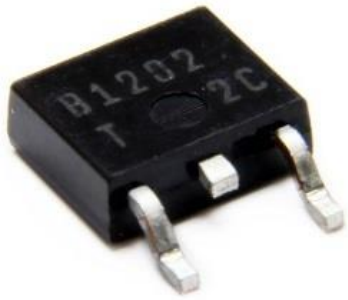
مانند همه قطعات دیگر، ترانزیستور نیز دارای مدل های DIP و SMD است.

مدل دیپ یک قطعه نیمه استوانه‌ای با ۳ پایه است و باید از روی دیتاشیت پایه‌های آن را تشخیص داد.



مدل اس ام دی هم مانند سایر المان ها بسیار کوچک است و دارای ۳ پایه در طرفین قطعه است.





گرماگیر ، رادیاتور ، هیت سینک

معمولا در پشت ترانزیستورهای قدرت و توان بالا صفحات فلزی قرار داره که متصل به پایه کلکتور هست، به این دلیل به کلکتور متصل شده چون بیشترین جریان از کلکتور عبور میکنه. این صفحات گرما را دفع می‌کنند و دارای یک سوراخ برای اتصال ترانزیستور به یک گرماگیر یا هیتسینک یا رادیاتور است.

هیت سینک یک قطعه فلزی از جنس معمولا آلومینیوم است. هیت سینک‌ها معمولا داری پره‌هایی هستند که باعث تماس بیشتر با هوا می‌شود و در نتیجه گرمای بیشتری دفع می‌کند و ترانزیستور را خنک‌تر می‌کند.

هیت سینک TO3 مخصوص ترانزیستورهای قابلمه ای

مقادیر حد در ترانزیستور و استفاده از برگه ی داده ها

هر ترانزیستور نیز برای مقادیر الکتریکی مشخص 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 عبارت اند از:

۱. $V_{CE\ max}$: این پارامتر حداکثر ولتاژ مجاز بین کلکتور وو امیتر ترانزیستور را مشخص می کند.
۲. $V_{CB\ max}$: نشان دهنده ی حداکثر ولتاژ مجاز معکوس بین کلکتور و بیس ترانزیستور است.
۳. $V_{EB\ max}$: ولتاژ قابل تحمل دیود بیس امیتر ترانزیستور را در حالت معکوس بیان می کند.
۴. $I_{C\ max}$: نشانگر حداکثر جریان مجاز کلکتور ترانزیستور است.
۵. P_{max} : حداکثر توان قابل تحمل برای ترانزیستور است که به صورت حرارت تلف می شود.

۶. $T_{J\,max}$: حداکثر درجه حرارتی است که در محل اتصال کلکتور بیس یک ترانزیستور می‌تواند تحمل کند.

۷. F_g : فرکانس حد، فرکانسی است که β به ازای آن به اندازه‌ی 3dB کم‌تر از فرکانس صفر هرتز می‌شود.

۸. Ft : فرکانس قطع، مقدار فرکانسی است که به ازای آن بتا برابر با یک خواهد شد.

تصویر زیر نمونه ای از جدول مشخصات حد یک ترانزیستور و سایر اطلاعات آن می باشد. این جدول مربوط به کتاب زیر است. Tower's international Transistor selection

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

شماره‌ی ترانزیستور

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

شکل ظاهری و ابعاد مراجعه شود به ضمیمه‌ی C

اطلاعات مربوط به پایه‌های ترانزیستور به ضمیمه‌ی B مراجعه شود

حداکثر ولتاژ کلکتور ـ بیس

حداکثر ولتاژ کلکتور ـ امیتر

حداکثر ولتاژ معکوس امیتر ـ بیس

حداکثر جریان کلکتور

حداکثر درجه حرارت مجاز محل پیوند برحسب درجه سانتی‌گراد

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

معادل امریکایی

معادل اروپایی

نام کارخانه‌ی سازنده

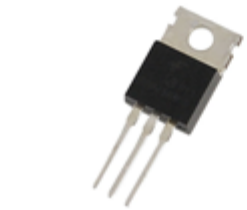
کاربرد

ضریب تقویت جریان به‌ازای این جریان بایاس

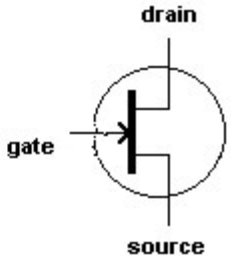
حداکثر ظرفیت خازن بین لایه‌ی بیس و کلکتور
P = پیکو فاراد N = نانوفاراد

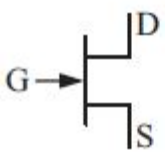
فرکانس قطع ترانزیستور مگاهرتز = M
کیلوهرتز = K گیگاهرتز = G

ترانزیستور اثر میدان (FET)

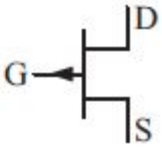


ترانزیستور اثر میدان FET





N کانال FET



P کانال FET

همانگونه که از نام این المان مشخص است، پایه کنترلی آن جریانی مصرف نمی‌کند و تنها با اعمال ولتاژ و ایجاد میدان درون نیمه هادی، جریان عبوری از FET کنترل می‌شود. به همین دلیل ورودی این مدار هیچ گونه اثر بارگذاری بر روی طبقات تقویت قبلی نمی‌گذارد و امپدانس بسیار بالایی دارد.

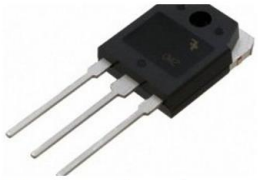
فت دارای سه پایه با نام های درِین (D) و سورس (S) و گیت (G) است که پایه گیت، جریان عبوری از درین به سورس را کنترل می‌نماید. فت‌ها دارای دو نوع N کانال و P کانال هستند. در فت نوع N کانال زمانی که گیت نسبت به سورس مثبت باشد جریان از درین به سورس عبور می‌کند فت‌ها معمولاً بسیار حساس بوده و حتی با الکتریسیته ساکن بدن نیز تحریک می‌گردند. به همین دلیل نسبت به نویز بسیار حساس هستند.

معمولاً مقاومت بین پایه درین و گیت از مقاومت پایه درین و سورس بیشتر است که از این طریق می توان پایه درین را از سورس تشخیص داد.

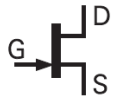
دو نوع اصلی ترانزیستور اثر میدان وجود دارد؛ ترانزیستور اثر میدان پیوندی[۲۰] یا JFET و ترانزیستور اثر میدان با گیت ایزوله[۲۱] یا IGFET که معمولاً با نام ترانزیستور اثر میدان نیمه‌هادی اکسید فلز[۲۲] یا MOSFET نامیده می‌شود.

۱ - ترانزیستور اثر میدان پیوندی (JFET)

در ترانزیستورهای اثر میدات پیوندی (JFET) در اثر میدان، با اعمال یک ولتاژ به پایه گیت میزان جریان عبوری از دو پایه سورس و درین کنترل می‌شود.



ترانزیستور اثر میدان پیوندی JFET



JFET N

JFET P

[20] Junction Field Effect Transistor = JFET
[21] Insulated-gate Field Effect Transistor = IGFET
[22] Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor = MOSFET

دو پیکربندی اصلی برای ترانزیستور اثر میدان وجود دارد JFET کانال N و JFET کانال P

N - JFET رسانایی کانال بزرگتری (مقاومت کوچکتری) نسبت به P - JFET معادل خود دارد، زیرا الکترون‌ها در مقایسه با حفره‌ها تحرک بیشتری در یک رسانا دارند. این موضوع، N - JFET را یک رسانای کارآمدتری نسبت به مشابه P - JFET قرار می‌دهد.

از دیدگاهی دیگر این ترانزیستورها در دو نوع افزایشی و تخلیه‌ای ساخته می‌شوند.

تفاوت اساسی بین JFET وBJT ، این است که وقتی پیوند JFET بایاس معکوس می‌شود، جریان گیت عملاً صفر است، در حالی که جریان بیس BJT همیشه مقداری بزرگتر از صفر خواهد بود.

ترانزیستورهایJFET تقریباً استفاده‌ای ندارند چون جریان دهی آنها محدود است و به سختی مجتمع می‌شوند.

۲ - ترانزیستور اثر میدان با گیت ایزوله (MOSFET)

نوع دیگری از ترانزیستورهای اثر میدان وجود دارد که ورودی گیت آن‌ها، از نظر الکتریکی نسبت به کانال حامل جریان عایق شده است و به همین دلیل، ترانزیستور اثر میدان با گیت ایزوله[۲۳] یا IGDET نامیده می‌شود. در این آموزش، با این نوع ترانزیستور با نام ماسفت آشنا می‌شویم.

متداول‌ترین FET با گیت ایزوله IGFET که در کاربردهای مختلفی به کار می‌رود، ترانزیستور اثر میدانی نیمه‌رسانای اکسید فلز یا ماسفت MOSFET است. IGFET یا MOSFET یک ترانزیستور اثر میدان کنترل شده با ولتاژ بوده و با JFET تفاوت دارد و این تفاوت، یک الکترود گیت «اکسید فلز» است که از نظر الکتریکی نسبت به نیمه‌هادی اصلی کانال N یا کانال P با یک لایه بسیار نازک از ماده عایق کننده (معمولاً اکسید سیلیکون) جدا شده است. این الکترود گیت فلز ایزوله شده، مانند یک خازن عمل می‌کند و سبب می‌شود مقاومت ورودی ماسفت بسیار بزرگ و در محدوده مگااهم باشد.

از آن‌جایی که ترمینال گیت از نظر الکتریکی از کانال اصلی گذر جریان بین درین و سورس جدا است، مانند جی‌فت هیچ جریانی از گیت عبور نمی‌کند و ماسفت نیز مانند یک مقاومت کنترل شده با ولتاژ عمل می‌کند که در آن، جریان گذرنده از کانال اصلی، متناسب با ولتاژ ورودی است. همچنین، مشابه جی‌فت، ماسفت‌ها نیز مقاومت ورودی بسیار بزرگی دارند و می‌توانند به سادگی مقادیر زیادی از بار استاتیکی را جمع کنند. بنابراین، اگر ماسفت به دقت محافظت نشود یا به درستی مورد استفاده قرار نگیرد، آسیب خواهد دید.

ماسفت‌ها قطعاتی با سه ترمینالِ گیت(Gate) ، درین (Drain) و سورس (Source) هستند.

این ترانزیستورها دارای دو نوع ماسفت کانال P یا PMOS و ماسفت کانال N یا NMOS هستند که تکنولوژی استفاده از دو نوع آن در یک مدار تکنولوژی CMOS نام دارد.

[23] Insulated Gate Field Effect Transistor = IGFET

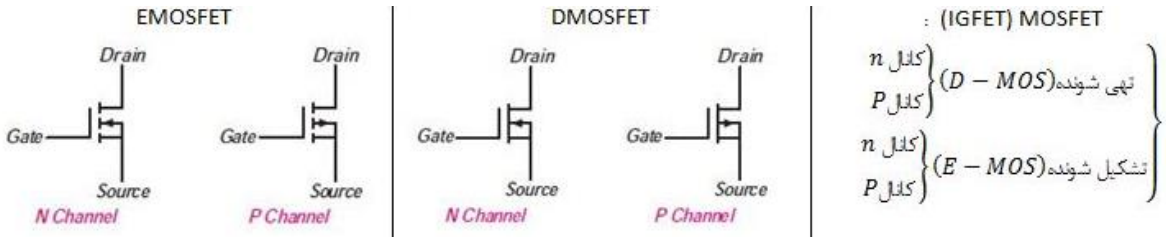
ماسفت‌ها به دو فرم اساسی زیر در دسترس هستند:

ماسفت نوع کاهشی یا تخلیه‌ای[۲۴]

در این نوع، برای خاموش (OFF) کردن ترانزیستور، باید ولتاژ گیت - سورس (V_{GS}) را به آن اعمال کرد. ماسفت مد کاهشی، معادل با یک کلید بسته[۲۵] است.

ماسفت نوع افزایشی[۲۶]

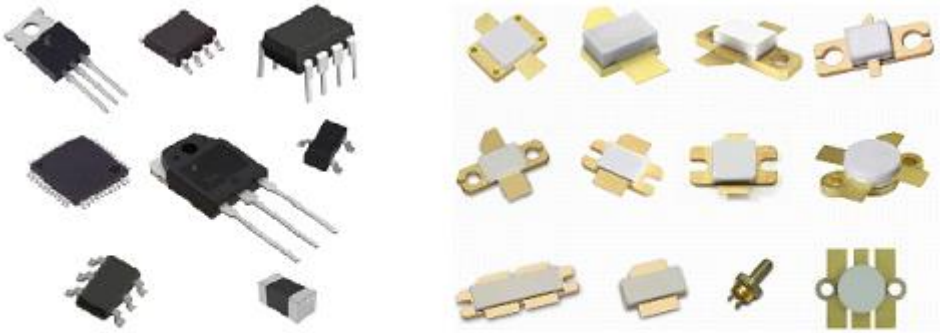
در این نوع، برای روشن (ON) کردن ترانزیستور، باید ولتاژ گیت - سورس (V_{GS}) را به آن اعمال کرد. ماسفت مد افزایشی، معادل با یک کلید باز[۲۷] است.



این ترانزیستورها امروزه بسیار کاربرد دارند زیرا براحتی مجتمع می‌شوند و فضای کمتری اشغال می‌کنند. همچنین مصرف توان بسیار ناچیزی دارند.

به تکنولوژی‌هایی که از دو نوع ترانزیستورهای دوقطبی BJT و Mosfet در آن واحد استفاده می‌کنند، Bicmos می‌گویند.

نقطه کار ترانزیستورهای MOSFET نسبت به دما حساس است وتغییر می‌کند. بنابراین بیشتر در کلیدزنی[۲۸] به‌کار می‌روند.

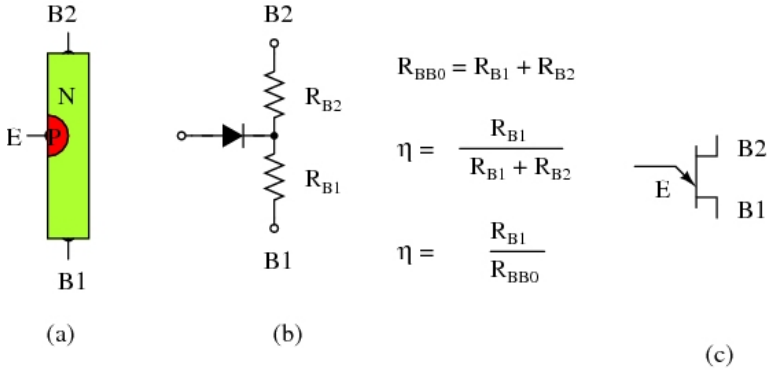


ترانزیستور MOSFET

[24] Depletion-mode MOSFET
[25] Normally Closed
[26] Enhancement-mode MOSFET
[27] Normally Open
[28] Switching

ترانزیستور تک پیوندی UJT

UJT یا ترانزیستور تک پیوندی گونه‌ای از قطعات الکترونیک قدرت است که در مدارات فرمان تریستورها مورد استفاده قرار می‌گرفت، UJT از نظر ساختاری شبیه یک دیود معمولی است و از یک پیوند P-N ساخته شده است. اما در UJT برخلاف دیود معمولی به شبکه‌ی کریستالی N به جای یک پایه دو پایه متصل شده است. (تصویر a۱). این پایه‌ها B۱ و B۲ و پایه‌ی سوم امیتر و مقاومت بین این دو پایه R_{BBO} نام دارد. به خاطر آرایش خاص این قطعه، UJT در قسمتی از منحنی جریان - ولتاژ خود دارای مقاومت منفی می‌باشد.



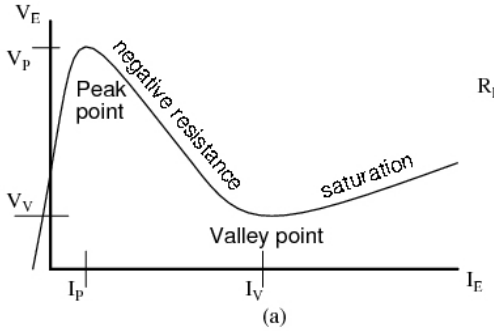
تصویر ۱ - ترانزستور تک پیوندی

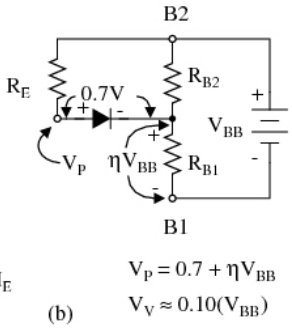
همانطور که در تصویر a۲ مشاهده می‌شود با افزایش ولتاژ امیتر تا ولتاژ قله (Vp) جریان هم زیاد می‌شود، اما پس از رسیدن به Vp وارد ناحیه مقاومت منفی می‌شویم و با افزایش جریان ولتاژ شروع به کاهش می‌کند تا به ولتاژ دره (Vv) برسد Ip و Iv به عنوان مثال برای UJT از نوع 2n2647 به ترتیب برابر با ۲ میکروآمپر و ۴ میلی آمپر می‌باشد Vv در حدود ۱۰ درصد ولتاژ V_{BB} می‌باشد.

از خاصیت مقاومت منفی UJT می‌توان برای ساخت نوسانسازی با خروجی تقریبا سوزنی استفاده کرد.

به علت بعضی نقاط ضعف، UJT منسوخ شده است. امروزه از PUT که یک ترانزیستور UJT قابل‌برنامه‌ریزی می‌باشد، استفاده می‌شود.

2N2647 - Unijunction Transistor (UJT), 2 A, 1 µA, 10 mA, TO-18, 3 Pin, 125 °C





تصویر ۲ - منحنی جریان-ولتاژ UJT

ترانزیستور اتصالی یک طرفه قابل برنامه ریزی (PUT)

ترانزیستور اتصالی یک طرفه قابل برنامه‌ریزی[۲۹] یا PUT از خویشاوندان نزدیک خانواده تریستور است. PUT ساختاری چهار لایه درست مثل توریستورها دارد و سه ترمینال به نام های آند (A) ، کاتد (K) و دروازه (G) مانند تریستورها دارد. با این حال برخی از نویسندگان آن را UJT قابل برنامه‌ریزی می‌نامند فقط به این دلیل که خصوصیات و پارامترهای آن شباهت زیادی با ترانزیستورهای یک کاره دارد. پارامترهایی مانند نسبت خاموش شدن ذاتی (η) ، ولتاژ اوج (Vp) و غیره را می توان با کمک دو مقاومت خارجی برنامه‌ریزی کرد. در UJT ، پارامترهایی مانند Vp ، η و غیره ثابت هستند و ما نمی‌توانیم آن را تغییر دهیم. کاربرد PUT در آتش تریستور، مدارهای پالس و مدارهای زمان بندی است. رایج ترین نوع PUT مدل 2N6027 است و در بسته پلاستیکی TO-92 موجود است. نمودار بلوک داخلی و نماد مدار PUT در زیر نشان داده شده است.

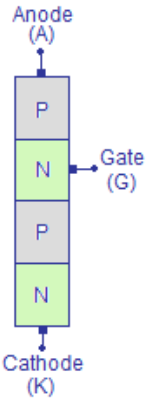


Fig 1: PUT internal block diagram

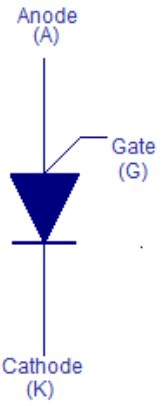
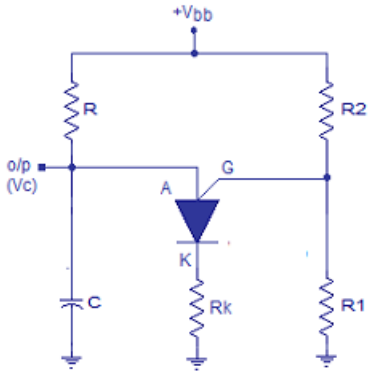


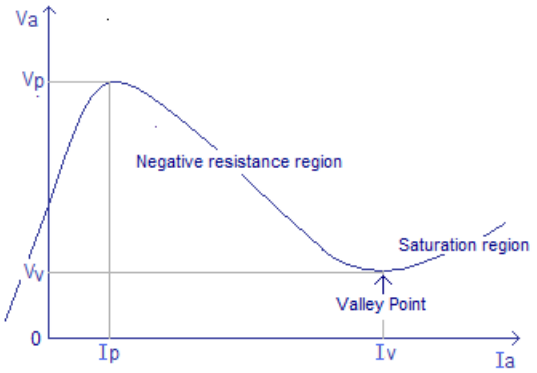
Fig 2: PUT circuit symbol

ویژگی های PUT

مشخصه PUT در واقع رابطه‌ای بین ولتاژ آند Va و جریان آند Ia است. نمودار مداری و نمودار مشخصه PUT در زیر نشان داده شده است.



شکل مداری جهت تولید موج در PUT



منحنی مشخصه ولتاژ بر حسب شدت جریان PUT

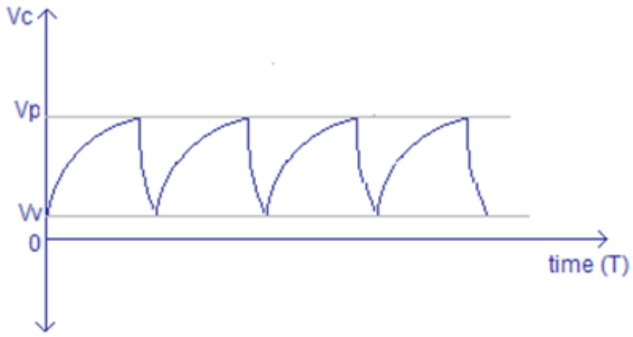
[29] Programmable Uni Junction Transistor = PUT

به طور معمول آند PUT به یک ولتاژ مثبت و کاتد به زمین وصل می‌شود. این دروازه یا گیت به محل اتصال دو مقاومت خارجی R1 و R2 متصل است که یک شبکه تقسیم ولتاژ را تشکیل می‌دهد. مقدار این دو مقاومت که نسبت به حالت خنثی ذاتی[۳۰] (η) و ولتاژ اوج PUT (Vp) را تعیین می‌کند.

شکل زیر شکل موج دوسر خازن را نشان می‌دهد، که بیانگر نقش اسیلاتوری در PUT است. فرکانس نوسانات یک نوسان‌ساز PUT را می‌توان با معادله زیر بیان کرد:

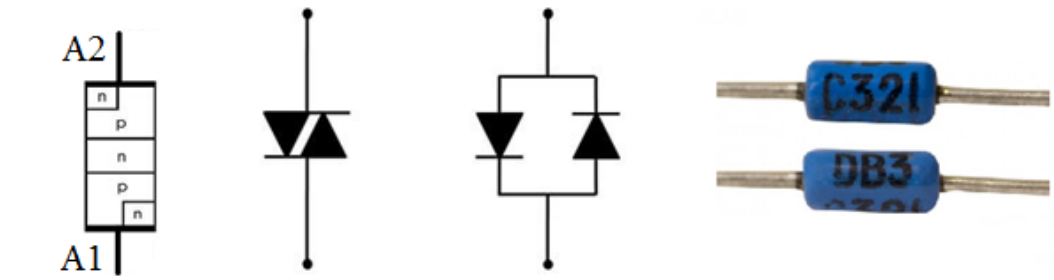
$$F = 1 / (RC \ln (1 / (1-\eta)))$$

در جایی که F فرکانس باشد ، η نسبت خاموش شدن ذاتی است ، R مقاومت و C خازن است.



شکل موج ولتاژ دو سر خازن در PUT

دیاک– Diac



ساختمان دیاک | سمبول دیاک | مدار معادل دیاک | دیاک DB3 دیاک ۳۲ ولت ۵ نانو ثانیه

دیاک دوسردارد و کارش به این صورت است :

تا زمانی‌که ولتاژدوسرآن به حد ولتاژ شکست نرسد، جریانی را عبورنمی دهد، وقتی ولتاژ دوسرآن به حد ولتاژ شکست رسید، جریان را هدایت می کند ضمن اینکه ولتاژ دوسرآن نیز کاهش می یابد، از موارد استفاده دیاک برای ایجاد پالس هایی برای کنترل ۱۰ ترایاک می باشد ، برای انتخاب یک دیاک ، جریان و ولتاژشکست آن درنظر گرفته می شود، برای تست دیاک با مالتیمتر عقربه ای درحالت اهم و روی کیلو اهم دو سرآن را ازهردوطرف اندازه می گیریم که ازهیچ طرف نباید اهمی نشان دهد. دیاک بیشتر در ولتاژ های بالا، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

[30] intrinsic stand off ratio

تریستور – Thyristor یا SCR

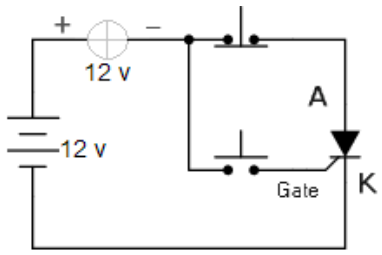
ساختمان کریستالی

چند نمونه SCR

یکسو سازهای سیلیکون کنترلی[31] یا SCR که به نام تریستور مفروف است، مانند یک دیود با یک پایه اضافی به نام گیت است، دو شرط برای به کارافتادن تریستور باید مهیّا باشد: اول این‌که آند به مثبت و کاتد به منفی وصل باشد (تغذیه مستقیم)، دوم اینکه به پایه گیت آن فرمان داده شود (تحریک شود) دراین صورت تریستور جریان را هدایت می‌کند و با یک فرمان تریستور شروع به هدایت جریان کرده و با قطع فرمان، همچنان به کارش ادامه می‌دهد. تریستور در دو نوع گیت مثبت و گیت منفی وجود دارد، برای شناسایی آن باید به کتاب مشخصّات مراجعه نمود. در واقع تریستور مانند کلیدی است که ازطریق گیت کنترل می شود، ازتریستور درمدارات شارژ، کنترل دور، کنترل نور و ... استفاده می‌شود، تست تریستور همانند ترایاک است ضمن اینکه تست آن با مالتیمتر همیشه امکان ندارد یا مطمئن نیست. تریستور هم مانند ترایاک نوع نوری آن هم وجود دارد که گیت آن به نورحساس است، فرق مابین تریستور و ترایاک اینست که، ترایاک مثل یک والو دو طرفه است ولی تریستور مانند یک والو یک طرفه است و کاتد و آند آن باید جایشان در مدار مشخص باشد یعنی + و - آن رعایت گردد.

مدار تریستوری

درشکل زیر یک مدار نمونه با تریستور را می‌بینید، دراین مدار وقتی منبع تغذیه را روشن کنیم یا، لامپ روشن نخواهد شد، با فشاردادن کلید روشن و رها کردن آن، گیت تریستور تحریک شده و لامپ روشن می شود و روشن می‌ماند برای خاموش کردن لامپ کلید خاموش را قطع و وصل می‌کنیم که لامپ خاموش شده و خاموش می‌ماند.



شرایط روشن شدن تریستور

برای این‌که یک تریستور روشن یا در وضعیت هدایت قرار گیرد، باید شرایط زیر را داشته باشد:

- ولتاژ آند نسبت به کاتد مثبت و در نتیجه جریان در جهت مستقیم عبور می کند.
- اعمال یک پالس مثبت آنی به گیت (ولتاژ گیت بیشتر از ولتاژ کاتد) منجر به ON شدن تریستور شود.
- برای اینکه تریستور در حالت ON بماند، جریان آند باید به اندازه کافی زیاد باشد.

[31] Silicon Controlled Rectifiers = SCR

پس از روشن‌شدن تریستور، اختلاف ولتاژ آند-کاتد V_{AK} بسیار ناچیز، و مقدار آن حدودا صفر در نظر گرفته میشود. پس می‌توان گفت، تریستور روشن مشابه اتصال‌کوتاه عمل می‌کند.

شرایط خاموش شدن تریستور

برای خاموش شدن تریستور باید یکی از شرایط زیر برقرار شود:

- ولتاژ آند نسبت به کاتد منفی شود.
- جریان عبوری از آند قطع شده و یا به مقداری کمتر از مقدار بحرانی[۳۲] برسد.

در یک تریستور روشن، تنها اگر جریان گیت صفر شود، خاموشی رخ نمی دهد.

برای خاموش کردن تریستورها به روش اول: دو پیوند از سه پیوند تریستور، باید در بایاس معکوس و پیوند سوم بایاس مستقیم داشته باشد.

برای خاموش کردن تریستورها به روش دوم: باید از جریان بحرانی آند یا آستانه[۳۳]، عبور کنیم که در این حالت تریستور به حالت بایاس مستقیم برمی‌گردد.

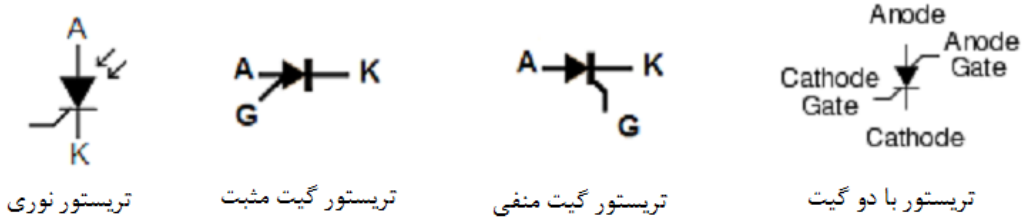
کلید قابل کنترل سیلیکونی SCS

کلید قابل کنترل سیلیکونی[۳۴] یا (SCS) که به آن تریستور دو گیتی نیز می‌گویند، یک عنصر ۴ لایه و یک تریستور با دو گیت منفی و مثبت است. در SCS از تحریک مثبت و منفی برای عملکرد تریستور استفاده می‌شود.

یکسو سازهای سیلیکون کنترلی فعال شونده با نور LASCR

یک‌سوساز سیلیکونی کنترلی فعال شونده با نور[۳۵] یا LASCR یکی دیگر از انواع تریستور است که با تابش مستقیم نور به تراشه سیلیکونی روشن می‌شود. ساختمان گیت طوری طراحی شده که به حد کافی حساس باشد تا توسط منابع نور عملی تریگر شود.

شماتیک های نقشه ای انواع تریستور

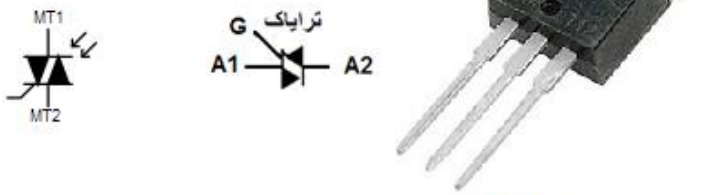


تریستور نوری — تریستور گیت مثبت — تریستور گیت منفی — تریستور با دو گیت

[32] Minimum Holding Current
[33] Holding current
[34] Silicon Controlled Switch = SCS
[35] Light Activated Silicon Controlled Rectifiers

ترایاک – Triak

ترایاک به معنی تریود جریان متناوب[۳۶] است. این قطعه به عنوان تریستور دوطرفه[۳۷] نیز شناخته می‌شود.

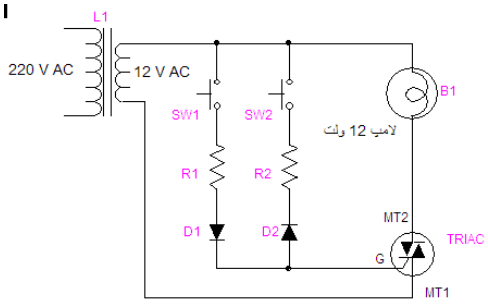


ترایاک BTA16 - 600B

ترایاک یک نیمه هادی با عملکردی مشابه یک جفت تریستور SCR است که به طور موازی و معکوس به یکدیگر متصل شده‌اند. در واقع دو گیت به هم وصل شده و آند یک دستگاه به کاتد دیگری متصل است. این طراحی به ترایاک اجازه می‌دهد که بین هر دو نیمه یک موج AC سوئیچ کرده و جابجا شود.

ترایاک از شش قطعه P و N ساخته شده و دارای ۳ پایه است ، از ترایاک برای کنترل جریان متناوب استفاده می-شود وانتخاب آن برحسب ولتاژ و آمپر است و دراندازه‌های گوناگون وجود دارد، ، برای شناسایی یک ترایاک و پایه-های آن باید به کتاب مشخصات یا نرم افزارهای مرتبط مراجعه کنید، بعد از شناسایی ترایاک و پایه‌های آن برای تست با اهم متر دو پایه آن از هیچ طرف نباید اهمی نشان دهند و پایه سوم با یکی از دو پایه قبلی از یک طرف باید اهمی نشان دهد، ترایاک را ممکن است نتوان با اهم متر تست کرد برای اطمینـــــان باید آن را در مدار به طور عملی آزمایش نمود. ضمنا نام گــزاری پایه‌های ترایاک ممکن است یکـــی از روش‌های سمت چپ باشد و برای استفاده رعایت پایه‌ها (به جز گیت) لازم نیست. ترایاک کاربردهای فراوانی دارد مانند : دیمرها، مدارات کنترل دستگاه‌های خنک کننده، بعضی از محافظ‌های یخچال و فریز که به جای رله از ترایاک استفاده می‌شود و همچنین در مدار کنترل پنکـه‌هایی که کنترل از راه دور دارند. ترایاک نوع نوری هم وجود دارد که گیت آن به نورحسّاس است. ترایاک مانند یک والو دو طرفه است چون هردو نیم سیکل موج را عبور میدهد. با توجّه به توضیحات، برای در مدار قرار دادن یک ترایاک کافی است پایه گیت را شناسایـی کنیم، گیت باید جایش درمدار ثابت و مشخص باشد ولی جای دو پایه دیگر را می‌توان با هم جابجا نمود.

مداری برای تست ترایاک



[36] Triode for alternate current
[37] Bi- directional trial thermistor or bilateral triode thyristor

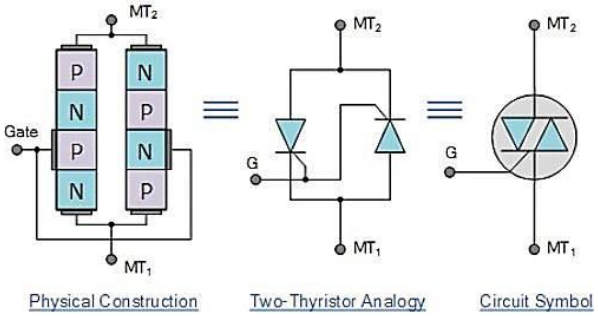
در مداری شکل بالا ولتاژ متناوب توسط ترانس به ۱۲ ولت متناوب تبـــــــدیل شده و برای روشن و خاموش کردن لامپ به سر لامپ و ترایاک وصل شده است، دراین مدار وقتی سویچ ۱ یا ۲ وصل شود، لامپ نصفه روشن می‌شود. ولی اگر هردو سویچ همزمان وصل شوند، لامپ کامل روشن می‌شود. دیودها باعث می‌شوند تا فقط در نیم سیکل به گیت ترایاک وصل شود. درنتیجه اگرهردو سویچ وصل شوند، سیکل کامل به گیت ترایاک رسیده و لامپ کامل روشن می شود. مقدارمقاومت‌های ۱ و ۲ بین ۱۰۰ تا ۲۲۰ اهم در نظرگرفته شده است و نوع دیودها هم معمولی مثلا ۴۱۴۸ هستند، ترایاک هم می‌تواند یک ترایاک معمولی ۱۰۰ ولت ۲ آمپر باشد.

تفاوت ترایاک و تریستور

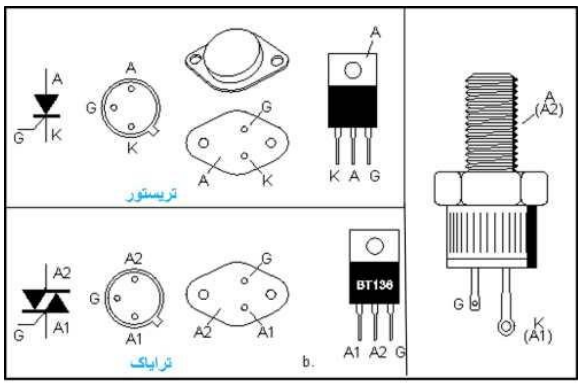
در مداری که در آن از یک تریستور معمولی استفاده شده، تنها از نیمی از موج سیسنوسی استفاده می‌شود. به این معنی که نمی‌توان از هر دو طرف یک سیکل استفاده کرد و برای استفاده از هر دو نیمه، دو تریستور مورد نیاز است. در حالی که تنها با استفاده از یک ترایاک می‌توان هر دو نیمه موج AC را کنترل کرد. پس برخلاف تریستور SCR، ترایاک می‌تواند جریان را در هر دو جهت عبور دهد.

نماد مداری ترایاک

نماد ترایاکی که در مدار استفاده می‌شود، ویژگی دو طرفه بودن آن را نشان می‌دهد و شکل آن از نماد دو تریستور معکوس تشکیل شده است.

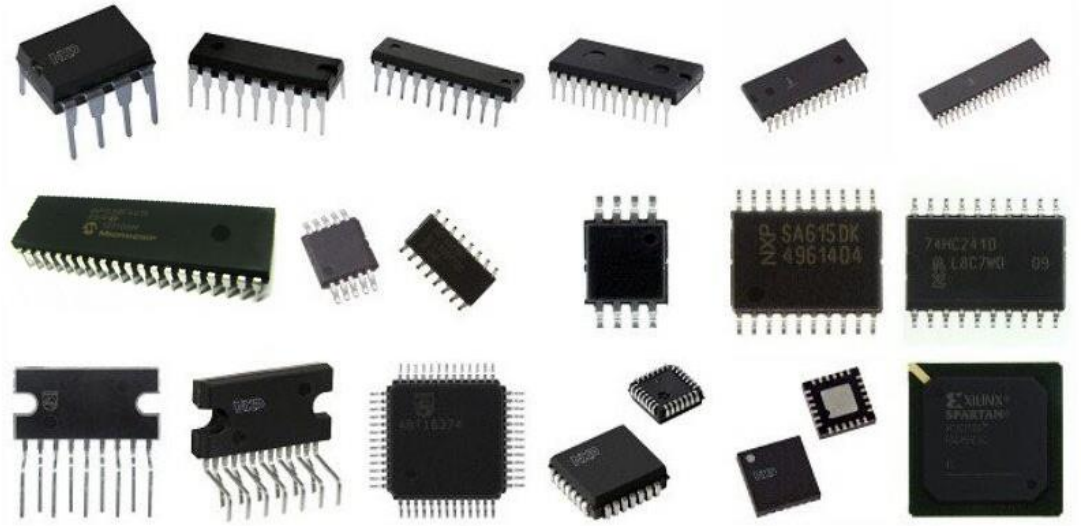


یک ترایاک نیز مانند یک تریستور، سه پایه دارد ولی نمادگذاری پایه ها کمی متفاوت است. گیت به عنوان یک تریگر برای روشن کردن دستگاه عمل می کند. پایه‌های دیگر به شکل A_1[38] و A_2 یا MT_1[39] و MT_2 نامگذاری می‌شوند. باید بدانیم دو پایه MT_1 و MT_2 ویژگی‌های مشابهی دارند.



[38] Anodes
[39] Main Terminals

مدارهای مجتمع یا IC



آی‌سی چیست

آی‌سی نام قطعه ای پرکاربرد در صنعت الکترونیکی می‌باشد که تقریبا در تمامی مدارات استفاده می‌شود، آی‌سی مخفف کلمه مدار مجتمع می‌باشد، یعنی یک مدار الکترونیکی خاص را به‌صورت یک پکیج کوچک یا یک تراشه درآورده و نام آن را آی‌سی گذاشته‌اند.

تاریخچه آی‌سی‌ها

آی‌سی در سال ۱۹۵۹ توسط دانشمندانی از یک شرکت به نام فرچایلد طراحی شد که برای بار اول به صورت یک مدار مجتمع ساده سطحی طراحی شده بود که ایده اولیه ساخت یک نیمه هادی با این قابلیت را در ذهن دانشمندان استارت زد، یک آی‌سی می‌تواند هر عمل الکترونیکی را انجام دهد و با استفاده از این قطعه مدارات بسیار ساده‌تر و سریع‌تر ساخته می‌شوند.

تکنولوژی‌های آی‌سی

تَراشه[40] یا مدار مجتمع[41] به مجموعه‌ای از مدارات الکترونیکی اطلاق می‌گردد که با استفاده از مواد نیمه‌رسانا (عموماً سیلیکون همراه با میزان کنترل شده‌ای ناخالصی) در ابعادی کوچک (معمولاً کمتر از یک سانتی متر مربع) ساخته می‌شود. طراحان در ساخت آی‌سی‌ها سعی می‌کنند به جای سلف و خازن و مقاومت، از ترانزیستور استفاده کنند. مثلاً به‌جای خازن از ترانزیستور در بایاس معکوس استفاده می‌کنند. و یا در جایی که مقاومت بزرگی مثلاً در حد مگا اهم نیاز دارند باز از ترانزیستور استفاده می‌کنند. چون در حجمی که مقاومت جا می‌گیرد می‌توان چند ترانزیستور جای داد. هر تراشه معمولاً حاوی تعداد بسیار زیادی ترانزیستور می‌باشد که با استفاده از فناوری پیچیده‌ای در داخل یک لایه از سیلیکن همگون و با ضخامتی یکنواخت و بدون ترک تزریق شده‌اند.

[40] Chip
[41] Integrated circuit = IC

آی‌سی‌های SMD

برخی از آی‌سی‌ها را به‌صورت ریزتراشه می‌سازند تا فظای کمتری را اشغال نمایند به آن‌ها SMD گفته می‌شود، این آی‌سی‌ها دارای پایه‌های زیادی بوده، و بیش‌تر از نوع میکروکنترلر یا میکروپروسسور می‌باشند و به‌عنوان مغز مدارات هستند. این آی‌سی لحیم‌کاری حساسی دارند که دست به سختی قادر به انجام آن می‌باشد و اکثراً توسط دستگاه‌ها در مدار قرار می‌گیرند.

ATMEGA8A-AU SMD

SMD - IC APW7142

انواع آی‌سی‌ها

آی‌سی‌ها دارای دسته بندی گوناگونی از جمله میکروکنترلرها، میکروپرسسورها، پردازشگرها، کانورتورها، مبدل آنالوگ به دیجیتال یا **A-D** و مبدل دیجیتال به آنالوگ یا **D-A** ، حافظه ها **FPGA , CPLD** , و ده‌ها دسته دیگر نام برد. آی‌سی‌ها به سه دسته کلی دیجیتال، آنالوگ و آنالوگ - دیجیتال تقسیم می‌شوند.

آی‌سی‌های آنالوگ

واژه آنالوگ یک واژه یونانی به معنای نسبی می‌باشد. سیگنال‌های آنالوگ به صورت پیوسته هستند و اطلاعات به طور نامنظم روی موج سوار شده و منتشر می‌شوند. به دلیل پیوستگی، اگر اختلالی در قست کوچکی از این انتقال رخ دهد، آن قسمت حذف شده و اطلاعات ناقص به دست فرد مقابل می‌رسد. این امواج می‌تواند از روی نوار خوانده و یا تقویت شوند و برای تولید صدا به بلندگوها فرستاده شوند.

آی‌سی‌های آنالوگ بیشتر در مدارهای تغذیه و مخابرات به صورت سطحی به عنوان مدارهای پایه و راه‌انداز[۴۲] عمل می‌کنند. مانند؛ منبع تغذیه، تقویت کننده RF[۴۳] ، تقویت کننده IF[۴۴] و تقویت‌کننده AF[۴۵] ، نوسان‌ساز[۴۶] ،آشکارساز

10.5 v < Vi < 35 v L7808CV رگولاتور

IC 555
آی‌سی تایمری

[42] Driver
[43] Radio Frequency
[44] Intermediate Frequency
[45] Audio Frequency
[46] Oscillator

آی‌سی ۵۵۵

آی‌سی تایمر ۵۵۵ یکی از پرکاربردترین آی‌سی‌هایی است که کاربردهای متنوعی دارد است. این آی‌سی دارای دقت فوق العاده زیاد و خطای کم بوده و به‌وسیله‌ی آن می‌توان تایمرهایی از مدت زمان‌های کم تا چندین ساعت را ایجاد کرد. در بیش‌تر مدارات از این قطعه برای ایجاد پالس با فرکانس‌های متفاوت استفاده می‌گردد.

آی‌سی‌های آنالوگ- دیجیتال

AD7656BSTZ

مبدل آنالوگ به دیجیتال ۶ کاناله ۱۶ بیت

DAC0800LCN

مبدل دیجیتال به آنالوگ ۱ کاناله ۸ بیت

میکروکنترلر

یک میکروکنترلر، مدار مجتمع کوچکی است که از یک CPU[۴۷] کوچک، و اجزای دیگری نظیر نوسان‌ساز کریستالی، تایمر، درگاه‌های ورودی و خروجی آنالوگ و دیجیتال و حافظه تشکیل شده‌است.

میکروکنترلرها عموما برای کاربردهای کوچک طراحی می‌شوند، بنابراین برخلاف ریزپردازنده‌ها در این جا مهمترین مسائل، سادگی و مصرف کم توان است.

آی‌سی‌های دیجیتال

به مدارهای AND , OR, NOT ؛ گیت‌های منطقی می‌گویند. اگر این گیت‌ها توسط تکنولوژی‌های مدار مجتمع در حجم وسیعی بر روی یک تراشه ساخته شوند، به آن آی‌سی دیجیتال می‌گویند. مدارات مجتمعی که شامل ترانزیستورهای BJT و قطبی باشند را با نام TTL[۴۸] و مدارات مجتمعی که شامل ترانزیستورهای Nmos و Pmos هستند را Cmos می‌نامند. ترکیب این دو تکنولوژی را با نام BiCmos می‌شناسند.

عملگرهای منطقی

در دنیای دیجیتال که مبتنی بر کدهای باینری (دو دویی) است همه چیز در ۰ و ۱ یا خاموش و روشن و یا Low و High خلاصه می‌شود. منطق دیجیتال ترکیبی از صفر و یک‌ها است. این ترکیب‌ها را عملگرهای منطقی[۴۹] گویند.

در تصویر جدول زیر مشاهده می‌شود، هرگاه در انتهای Gate یک دایره و یا بالای نمایش الگوریتمی یک خط صاف قرار داشت، این‌ها به معنی نقیض است. نقیض یعنی معکوس، مثلاً روشن و خاموش نقیض هم‌دیگرند.

[47] Central Processor Unit
[48] Transistor Transistor Logic
[49] Logic Operators

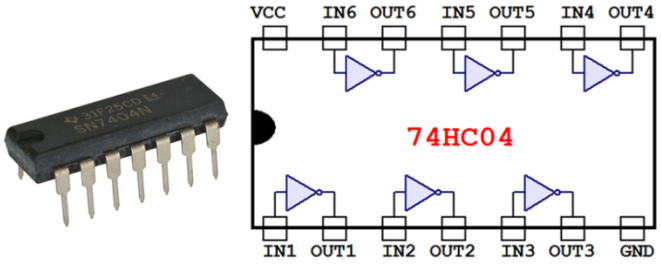
عملگرهای منطقی Logic Gates

نماد عملگر							
نام عملگر	NOT	AND	NAND	OR	NOR	XOR	XNOR
نمایش الگوریتم	$\overline{A}$	AB	$\overline{AB}$	$A + B$	$\overline{A + B}$	$A \oplus B$	$\overline{A \oplus B}$
جدول درستی	A O 0 1 1 0	A B O 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1	A B O 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0	A B O 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1	A B O 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 1 0	A B O 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 0	A B O 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 1 1
توصیف	خروجی نقیض ورودی است	خروجی زمانی 1 است که هر دو ورودی با هم 1 باشند	خروجی زمانی 1 است که هر دو ورودی با هم 1 نباشند	خروجی زمانی 1 است که حداقل یکی از ورودی ها 1 باشند	خروجی زمانی 1 است که هیچکدام از ورودی ها 1 نباشند	خروجی زمانی 1 است که ورودی ها غیر یکسان باشند	خروجی زمانی 1 است که ورودی ها یکسان باشند

اکنون هر یک از این گیت‌ها (Gate) را با جزییات بیشتری بررسی می‌کنیم.

۱ - گیت نات (NOT Gate)

این گیت به سادگی هر ورودی را نقیض (معکوس) کرده و خارج می‌کند. یعنی اگر ورودی صفر باشد خروجی ۱ و برعکس اگر ورودی ۱ باشد خروجی ۰ می‌شود. برای انجام عملی این پروژه ساده از 74HC04 یا همان IC7404 که یک آی‌سی که دارای ۶ جفت معکوس کننده[50] است، استفاده می کنیم. البته ممکن است از یک جفت تا ۶ جفت آن به‌کار آید. پین‌بندی[51] آی‌سی ۷۴۰۴ به‌صورت زیر است:



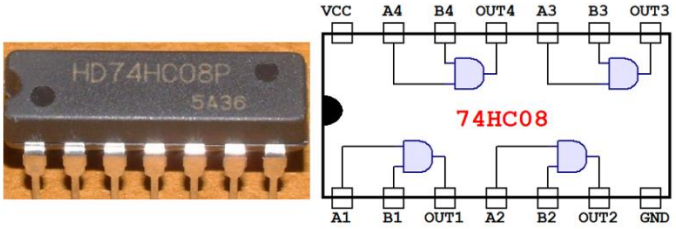
پین‌بندی پایه آی‌سی گیت NOT 74HC04

۲ – گیت AND

این گیت زمانی در خروجی ۱ می‌دهد که هر دو ورودی‌اش یک باشند. اصولاً گیت AND می‌تواند چندین ورودی بگیرد اما فقط یک خروجی دارد. و زمانی خروجی یک است که تمام ورودی‌ها برابر با یک باشند. برای نمایش کار گیت AND می‌توانیم از آی سی 74HC08 یا همان IC7408 استفاده کنیم. این آی‌سی دارای ۴ کوپل گیت ANDاست البته ممکن است از یک تا ۴ کوپل آن به‌کار آید.

[50] Inverter
[51] Pin Out

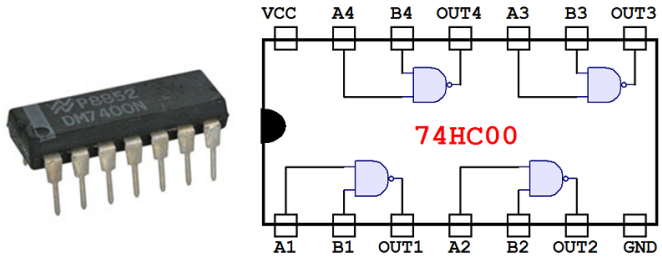
پین بندی آی‌سی ۷۴۰۸ به‌صورت زیر است:



پین‌بندی پایه آی‌سی گیت AND 74HC08

۳ - گیت NAND

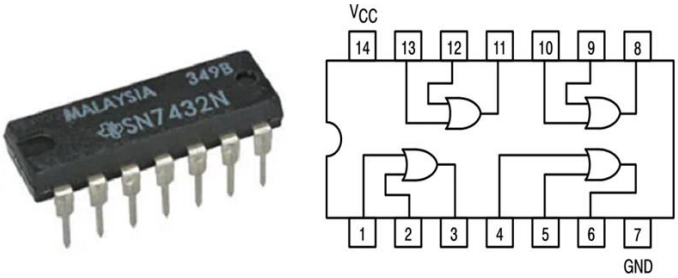
همانطور که در جدول بالا می بینید گیت NAND یا همان NOT AND معکوس گیت AND است. یعنی چه؟ یعنی در گیت AND خروجی زمانی برابر یک است که هر دو ورودی هم زمان یک باشند. پس در گیت NAND خروجی زمانی برابر یک است که هر دو ورودی هم زمان یک نباشند.
برای طراحی گیت NAND می توان از آی سی 74HC00 یا همان IC7400 استفاده نمود که پین‌بندی آن به صورت زیر است:



پین‌بندی پایه آی‌سی گیت NAND 74HC00

۴ – گیت OR

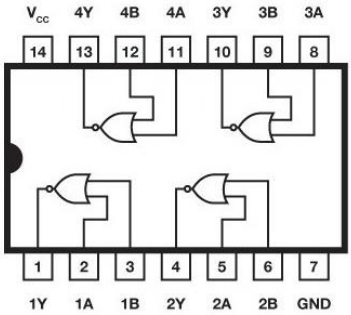
گیت OR یا همان "یا" مانند گیت AND دارای حداقل دو ورودی و فقط یک خروجی است و زمانی خروجی آن برابر یک است که حداقل یکی از ورودی‌ها یک باشد. پس زمانی خروجی آن صفر است که هیچ کدام از ورودی‌ها یک نباشند. برای این منظور از آی‌سی 74HC32 یا همان IC7432 می‌توان استفاده کرد. پین‌بندی این آی‌سی به‌صورت زیر است:



پین‌بندی پایه آی‌سی گیت OR 74HC32

۵ - گیت NOR

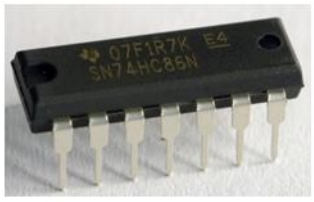
گیت NOR یا همان NOT OR معکوس گیت OR است. یعنی زمانی خرجی برابر یک است که هیچ کدام از ورودی‌ها یک نباشند. برای این عملگر از آی‌سی 74HC02 یا همان ۷۴۰۲ استفاده می‌شود.

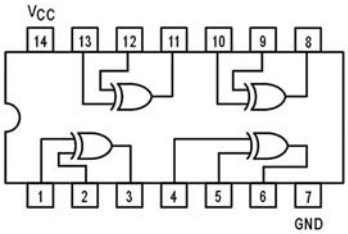


پین‌بندی پایه آی‌سی گیت NOR 74HC4520 یا SN7402N

۶ - گیت XOR

عملگر XOR یا Exclusive OR یکی دیگر از عمل‌گرهای منطقی است و زمانی خروجی یک دارد که ورودی های آن یکسان نباشند و اگر ورودی‌ها همه با هم یکسان بودند خروجی آن برابر با صفر خواهد شد. برای این عمل‌گر می‌توان از آی سی 74HC86 یا همان IC7486 استفاده نمود.

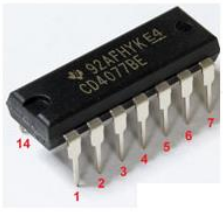


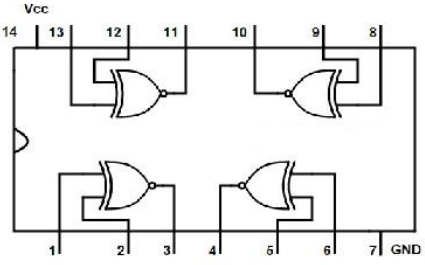


پین‌بندی و راهنمای پایه آی‌سی گیت XOR 74HC86

۷ - گیت XNOR

عمل‌گر منطقی XNOR یا به عبارت دیگر Exclusive Not OR دقیقاً معکوس XOR می‌باشد یعنی زمانی خروجی آن یک است که همه‌ی ورودی‌های آن یکسان باشند. از آی‌سی CD4077 استفاده می‌شود.

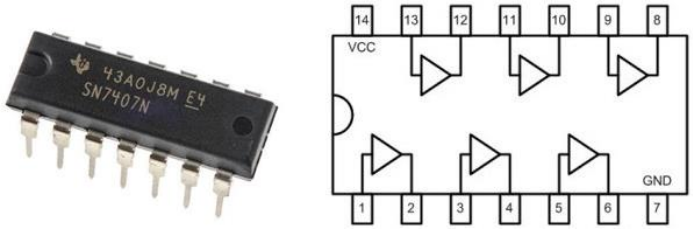




پین‌بندی و راهنمای پایه آی‌سی گیت XNOR CD4077

۸ - گیت بافر

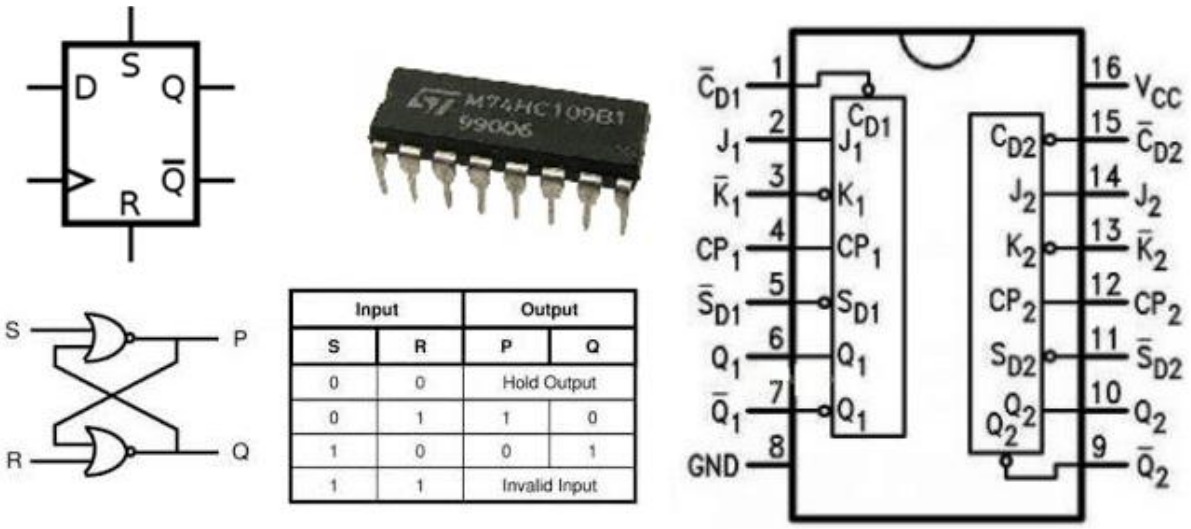
buffer در زبان انگلیسی به معنی حائل میان دو چیز می‌باشد. کاربرد گیت‌های بافر برای فاصله گذاری میان دو مدار یا دو قطعه از مدار است به طوری که امپدانس‌ها روی همدیگر تاثیری نگذارند. این گیت‌ها دقیقا کار گیت‌های NOTرا انجام می‌دهند، با این تفاوت که دیگر خروجی را معکوس نمی‌کنند. خروجی یک بافر منطقی دیجیتال تنها زمانی در سطح یک منطقی قرار دارد که ورودی آن نیز در حالت یک منطقی باشد، در غیر این صورت ورودی دارای منطق صفر است.



پین‌بندی و دیاگرام منطقی آی‌سی بافر SN7407

فلیپ فلاپ‌ها

در الکترونیک و کامپیوتر، فلیپ‌فلاپ یک نوع مدار مجتمع دیجیتال است که می‌تواند به عنوان یک بیت حافظه عمل کند. یک فلیپ‌فلاپ می‌تواند شامل دو سیگنال ورودی، صفر یا یک در پایه ورودی باشد. در ضمن یک فلیپ‌فلاپ دارای یک پایه زمانی [۵۲]و یک خروجی [۵۳]و دو پایه Set و Reset می‌باشد.



پین‌بندی و راهنمای پایه آی‌سی فلیپ‌فلاپ 74HC109

[52] clock
[53] out put

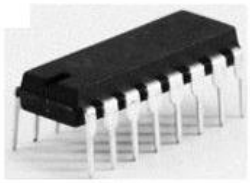
حافظه ها

بعضی از آی‌سی‌ها به گونه‌ای از لایه‌های سیلیکون بهره می‌برند که می‌توانند حتی به عنوان حافظه مورد استفاده قرار گیرند. نمونه‌ای از این آی‌سی‌ها ROM[۵۴] نام دارد. همانگونه که از اسم این نوع تراشه معلوم است فقط اطلاعات آن قابل خواندن است و امکان تغییرات در آن وجود ندارد. از این نوع ای‌سی برای مدارات اصلی کامپیوتر نیز استفاده می‌شود همان قسمت از حافظه که به‌آن ROM نیز می‌گویند.

در مقابل آی‌سی‌های EPROM[۵۵] این نوع چیپ حافظه قابلیت پاک شدن و برنامه ریزی مجدد را دارد که می توان اطلاعات داخل آن را توسط نور فرابنفش پاک کرد و دوباره برنامه‌ریزی کرد. از آنجا که نور خورشید دارای اشعه فرابنفش می باشد معمولا حافظه EPROM را با پلاستیک یا کریستال می پوشانند تا به طور تصادفی در معرض نور خورشید قرار نگیرد و اطلاعات آن پاک نشود.

EEPROM[۵۶] نسخه جدید تر EPROM می باشد. اطلاعات EEPROM را با جریان الکتریکی می‌توان پاک کرد .برای پاک کردن اطلاعات روی EEPROM و برنامه‌ریزی مجدد، نیاز به جدا کردن آن از روی مدار نیست. (مانند فلش مموری و BIOS[۵۷] کامپیوتر).

EPROM
Erasable Programmable
Read-Only Memory



EEPROM
Electrically Erasable Programmable
Read-Only Memory

[54] Read Only Memory
[55] Erasable Programmable Read Only Memory
[56] Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
[57] Basic Input-Output System = نرم افزاری که دستورالعمل‌های سیستم عامل را به فرامینی به / از اجزای کامپیوتر تبدیل می‌کند.

منابع

1 - https://barghnews.com/0006Jk

2 - http://www.circuitstoday.com/programmable-ujt

3 - https://www.ivarmajidi.ir/electronic/thyristor-scr-diac-triak.html

4 - http://electronic-tarfand.blog.ir

5 - https://blog.faradars.org

6 - http://lktra.blogsky.com/1394/11/03/post-63

7 - http://vivaprog.com/logic_gates/

۸ - الکترونیک قدرت - تالیف: دکتر علی مطلبی و مهندس مهرزاد ازقندی

۹ - الکترونیک قدرت - تالیف: پروفسورمحمد ه. رشید

۱۰ - مبانی الکترونیک، جلد اول، ویرایش دوم، تالیف: سیدعلی میرعشقی، ناشر؛ شیخ بهایی، ۱۳۹۲

۱۱ - عرضه تخصصی قطعات الکترونیکی و الکترونیکی، سازمان چاپ و نشر کتب درسی، ۱۳۹۶

۱۲ - ساخت پروژه (برد الکترونیکی دستگاه)، سازمان چاپ و نشر کتب درسی، ۱۳۹۶

۱۳ - الکترونیک کاربردی، سازمان چاپ و نشر کتب درسی، ۱۳۹۴