فهرست مطالب

- تاریخچه ۲
- اسیلوسکوپ ۷
- برد برد ۸
- مولتی متر ۸
- خازن ۹
- مقاومت ۱۵
- دیود ۲٤
- ترانزیستور ۳۳
- سلف ٤۱

تاریخچه

۱- اشعه هاي كاتدي و كشف الكترون
اگر جه بسياري از فيزيكدانان قرن ۱۹ ميلادي مانند فارادي، بر پايه علم شيمي و پديده هاي مشاهده شده در الكتروليز **مقاعدشده بودند** كه جريان الكتريكي شامل شاري از ذرات باردار است ، اما هنوز طبيعت اين بارها معلوم نشده بود. حتي براي اين مسأله ابتدايي كه بار ذرات مثبت بود يا منفي جواب دقيقي وجود نداشت.پاسخ اين سوالها و همچنين چگونگي ساختار اوليه مواد بايک سري آزمايشات معلوم شد كه آغاز آنها بررسي تخليه الكتريكي در لامپهاي خلع بود. با گذشت زمان مجموعه اي از اكتشافات انجام شد كه منجر به انقلاب تكنولوژيكي در قرن بيستم **شد.**

• **William Crookes(۱۸۳۲-۱۹۱۹)** وي كه در كودكي ثروت بزرگي را به ارث برد ، تمام تحقيقات خود را در آزمايشگاه خصوصي انجام داد.تحقيقات او در زمينه تخليه بار در گازها – كه در پي اختراع لامپ اشعه كاتدي **توسط** Pluecker **و** Hittorf **انجام‌شد** – و همچنين مشاهداتش **در مورد** اشعه كاتدي و فضاي تاريک دركاتد، **در** نهايت منجر به كشف اشعه ايكس و الكترون گشت. از ديگر اختراعات .Crookes راديو متر بود كه بر تيوري جنبشي در گازها تآكيد مي كرد. او بطور كنجكاوانه اي از معتقدان به نيروهاي فرا طبيعي بود و در دهه ۱۸۷۰ مدعي شد كه صحت پديده هاي مربوط به توانايي هاي ذهني را ثابت كرده است.بعد ازمدتي او درگير جنبش عرفاني شد و اسنادي مبني بر دور كردن شياطين و پليدي ها توسط وي موجود مي باشد. در سال ۱۸۹۷ از طرف ملكه ويكتوريا(كه خود از علاقه مندان به نيروهاي فرا طبيعي بود) به مقام نجيب زادگي ترفيع پيدا كرد و در سال ۱۹۰۹ به عنوان رييس انجمن دربار برگزيده شد.

• **Karl Ferdinand Braun (۱۸۵۰-۱۹۱۸)** زماني كه در پست رياست انستيتو فيزيک و همچنين استادي فيزيک در دانشگاه استراسبورگ بود موفق شد اولين نوسان سنج لامپ اشعه كاتدي كه در حال هدايت شاري از الكترونها به يک صفحه فلورسنت بود را نشان دهد كه اين امر خبر از نزديک بودن ساخت صفحه هاي نمايش تلويزيون مي داد.هر چند كه امروزه كمتر از او ياد مي شود ، اما او سهم بزرگي در پيشرفت الكترونيک داشت اوپي برد كه يكسو سازي در يک پيوند كريستال/ فلزي رخ مي دهد و اين كشف بعدها منجر به مطرح شدن گيرنده هاي كريستالي شد. در سال ۱۸۹۹ او تزويج سلفي غير تخليه اي را براي آنتن ها و همچنين آنتن پرتو مستقيم را مطرح كرد. او در سال ۱۹۰۹ به همراه Guglielmo Marconi موفق به دريافت جايزه نوبل شد. هنگامي كه امريكا وارد جنگ جهاني اول شد ، او براي درخواست حق ثبت يكي از اختراعاتش به نيو يورک رفته بود.پيش از پايان جنگ ، او به عنوان يک دشمن بيگانه توقيف شد و پس از مدتي **مرد.**

• **Wilhelm Conrad Roentgen (۱۸٤٥-۱۹۲۳)** او كه رييس انستيتو فيزيک و رييس بازنشسته دانشگاه Wurzburg **بود،درسال** ۱۸۹۵ كشف كرد كه بعضي تشعشعات ناشناخته ناشي از لامپ تخليه مي تواند موجب شود تا كريستال از خود نور (فلورس) پخش كند. او همچنين كشف كرد كه اين تشعشعات **مي توانند از اجسام جامد عبور** كنند و بر كاغذ حساس عكاسي تاثير بگذارند.او كه تنها كار مي كرد و پنهانكاري زيادي در كار خود داشت تحقيقات خود را به پايان رساند و هشت هفته بعد كشف خود را به طور رسمي اعلان كرد.در سال ۱۸۹٦ پس از اينكه صحت **علمي** و پزشكي تحقيقاتش معلوم شد ، كشف او به طور رسمي در دنيا منتشر شد. درطي چند هفته بعضي بيمارستانها اشعه ايكس را به كار گرفتند. پس از مدتي Roentgen به يكي از مشهور ترين دانشمندان دنيا مبدل گشت.او افتخارات زيادي را كسب كرد، از جمله جايزه اول نوبل در فيزيک و همچنين مقام نجيب زادگي (كه البته او از قبول اين مقام امتناع كرد).

• **Joseph John Thomson (۱۸۵٦-۱۹٤۰)** او که فرزند یک کتاب فروش منچستري بود در چهارده سالگي وارد کالج شد و در بیست و هشت سالگي به عنوان عضوي از انجمن سلطنتي انتخاب گشت و به مقام استادي آزمایشگاه Cavendish گماشته شد.کشف بزرگ او در سال ۱۸۹۷ و در طي درس بررسي اشعه هاي کاتدي رخ داد.Thomson مدارک قانع کننده اي ارائه کرد که نشان مي داد اشعه ها شامل ذرات باردار هستند.او نسبت بار به جرم را اندازه گیري کرد و توانست تخمین بزند که این جرم حدود ۱/۱۸۰۰ جرم اتم هیدروژن است.او با کشف الکترون جایزه نوبل را در سال ۱۹۰٦ دریافت کرد و دو سال بعد به مقام نجیب زادگي ترفیع داده شد. رادر فورد (Rutherford) در باره Thomson مي گوید:"او متشعشع ترین لبخند را دارد... هنگامي که در بحث کسي را شکست مي دهد."

• **Robert A. Milikan (۱۸٦۸-۱۹۵۳)** کارش را به عنوان استاد ادبیات در کالج Oberlinشروع کرد ولي پس از مدتي براي اینکه درآمد بیشتري کسب کند پذیرفت که به تدریس فیزیک بپردازد. پس از مدتي یک کمک هزینه تحصیلي دررشته فیزیک در کلمبیا را پذیرفت ، دوباره به این علت که این بهترین پشتیباني مالي براي او بود.کار دانشگاهي اودر دانشگاه شیکاگو در ابتدا فقط شامل تدریس بود و او تا نزدیک چهل سالگي به تحقیق جدي نپرداخت.سپس درسال ۱۹۰٦ او پیشرفتهایي درآزمایش Thomson حاصل کرد که منجر به ساخت دستگاهي شد که بار الکترون را به دقت اندازه گیري مي کرد.نتایجي که او بدست آورد درسال ۱۹۱۰ منتشر شد و آخرین شبهه در مورد تیوري اتمي مواد برطرف شد.درسال ۱۹۱٤ او نتایجي را منتشر کرد که بخواطر آنها جایزه نوبل را دریافت کرد: تعیین اندازه دقیق ثابت پلانک با استفاده از اثر فوتوالکتریک که بازبیني کننده نظریه اثر فوتوالکتریک Einstein درسال ۱۹۰۵ و طبیعت کوانتومي نور بود.

۲- تلگراف بي سیم

ماکسول در سال ۱۸٦۵ تیوري اي رامنتشر کرد که در آن الکترودینامیک ،(magnetodynamics) الکتریسیته القایي و فیزیک نور را به هم مربوط ساخت . در آن زمان این تیوري بطور گسترده مورد پذیرش واقع نشد. با وجود اینکه ماکسول یک محقق ماهر بودولي در چهارده سال باقي مانده عمرش تلاش نکرد تا وجود امواج الکترو مغناتیس را که در تیوریش پیشبیني کرده بود ثابت کند.با این حال دانشمند مشهور آلماني von Helmholtz که به تیوري ماکسول ایمان داشت ، شاگردش Hertz را به تلاش براي تولید و کشف تابش هاي الکترو مغناتیس ترغیب کرد. تلاشهاي Hertzسرآغازي براي ارتباطات بي سیم شد.

Heinrich Rudolf Hertz (۱۸۵۷-۱۸۹٤) او که استاد فیزیک Karlsruhe Polytechnic بود ،اولین فري بود که امواج رادیویي را در محیط آزمایشگاه پخش و دریافت کرد.در بین سالهاي ۱۸۸۵ تا ۱۸۸۹ ، او با استفاده از spark discharges به تولید امواج الکترومغناطیسي مي پرداخت.تشعشع کننده اي که هرتز ساخته بود شامل دو میله برقگیر یکنواخت بود که بین آنها یک فاصله احتراقي بود و صفحات خازني در انتهاي آنها قرار داشتند.گیرنده او در واقع یک حلقه اي از سیم بود که سوراخ کوچکي در داخل آن بود. هنگامي که تشعشع کننده (رادیاتور) تخلیه الکتریکي مي شد جرقه کوچکي در این سوراخ دیده مي شد.
Hertz در سن سي و شش سالگي بطور ناگهاني به خاطر یک تومور مغزي مرد، بدون اینکه بفهمد مخابره امواج در فواصل طولاني امکان پذیر بود.

Edouard Eugène Désiré Branly (۱۸٤٤-۱۹٤۰) اعتبار او در فرانسه به خاطر اختراع تلگراف بي سیم لست.درسال ۱۸۹۰، Branly استاد فیزیک دانشگاه کاتولیک در پاریس ، کشف کرد که براده هاي نرم روي و نقره که در معرض یک میدان ارسال جرقه قرار مي گیرند ، به هم مي چسبند و موجب افزایش رسانایي مي شوند که از این خصوصیت مي توان براي شناسایي وجود مخابره امواج استفاده کرد.Branly مخابرات رادیویي را از آزمایشگاه فراتر برد و ارسال و دریافت امواج را در فواصل زیاد ممکن ساخت.

• **Guglielmo Marconi (۱۸۷٤-۱۹۳۷)** او که در امتحانهاي ورودي آکادمي علوم دریایي ایتالیا و همچنین دانشگاه بولوگنا مردودشد اما به واسته یکي از دوستان خانوادگي اجازه شرکت در کلاسهاي درس و

آزمايشگاههاي دانشگاه را پيدا كرد.در سال ١٨٩٦ و در سن بيست و دو سالگي او يک سيستم مخابره راديويي را به ثبت رسانيد. درسالهاي بعد او تعداد قابل توجهي از اختراعاتش و همچنين طراحي هاي جديدي از سيستم هاي مخابره (كه قبلا ساخته شده بودند) را عرضه كرد. در سال ١٩٠١ Marconi موفق شد سيگنالهايي كه از آنسوي اقيانوس اطلس مخابره مي شدند را دريافت كند.دور از انصاف نيست اگر گفته شود Marconi به تنهايي در طي چند دهه پيشرفتهاي زيادي در مخابرات راديويي بوجود آورد. كمپاني دورنگاري (تلگرافي) بي سيم Marconi در مدت كوتاهي شبكه اي از ايستگاههاي ساحلي براي ارتباط كشتيها در انگليس بر قرار كرد.براي مدتي بيشتر از يک دهه ، كمپاني ماركني از انحصار تجهيزات راديويي ساحلي بهره مند بود و از بستن قرارداد با Lioyds (بزرگترين شركت بيمه انگليسي) براي بيمه كردن كشتي هايي كه از تجهيزات اين شركت استفاده مي كردند امتناع مي ورزيد. ماركني درسال ١٩٠٩ جايزه فيزيک نوبل را دريافت كرد.

٣-لامپ خلع

درسال ١٨٨٢ وقتي ادیسون يک جريان الكتريكي بين كاتد و آند در يک لامپ خلع را پديد آورد ، اين امر يک پديده مرموز به شمار مي رفت و هنوز درک نشده بود كه چگونه جريان الكتريكي مي تواند از خلع بگذرد. شناخت اشعه كاتدي توسط Thomson به عنوان جرياني از الكترونها معما را حل كرد و منجر به اختراع ديود ترميونيک توسط فلمينگ شد. اختراع تريود توسط DeForest ارتباطات راديويي را منقلب كرد.

(١٨٤٧-١٩٣١)Thomas Alva Ediso او صاحب ١٠٩٣ حق ثبت اختراع بود. او همچنين مخترع آزمايشگاه صنعتي تحقيقاتي مدرن بود.در سال ١٨٨٢ ، زماني كه يكي از مهندسانش به نام William Hammer ، "اثر ادیسون " را در طي درس آزمايشهايي در باره لامپ تابان مشاهده كرد، ادیسون به دلايلي كه بعدها نمي توانست توضيح دهد،اين كشف را پي گيري نكرد. اما همانطور كه بعدها تصديق كرد، در آن زمان او حتي قانو اهم را نمي دانست . اثر ادیسون به مدت پانزده سال بي توضيح ماند تا اينكه الكترون كشف شد.

(١٨٤٩-١٩٤٥) John Ambrose Fleming او ابتدا شاگرد ماكسول و بعدها مشاور ادیسون و بعد ماركني بود.در سل ١٩٠٤ فلمينگ بر اساس مشاهدات ادیسون مبني بر عبور جريان از فيلامان به يک آنود در يک حباب نوري و همچنين اكتشاف Thomson (كه اشعه هاي كاتدي شامل ذرات باردار هستند) ، اولين يكسوساز الكترونيكي يا همان ديود ويا مقدار فلمينگ را اختراع و به نام خود ثبت كرد.هدف از ساخت قطعه ردیابي امواج راديويي كه توسط جرقه توليد مي شدند بود. اين قطعه توانست جايگزيني براي بقيه قطعاتي شود كه توسط دانشمندان قبل از او براي ارتباطات راديويي استفاده مي شدند.فلمينگ در سال ١٩٢٩ به مقام نجيب زادگي ترفيع داده شد.

٤ – تلويزيون

پيشگامان تلويزيون روسها بودند, Nipkow كه يک ديسکِ دوار مكانيكي اختراع كرد و Rosing كه در سال ١٩٠٧ از يک Cathod Ray tube برای نمايش تصاويری از يک انتقال دهنده (Transmitter) مكانيكي استفاده كرد. در سال ١٩٢٣ در انگليس, John Logie Baird شروع به استفاده از ديسک هاي Nipkow در انتقال تلويزيوني كرد. در امريكا, شاگرد Rosing, Vladimir Zworykin, يک Patent براي ساخت تلويزيون الكتريكي به ثبت رساند (١٩٢٣), ولي اين پروژه توسط Westinghouse متوقف شد و Zworykin مجبور شد تا ١٩٣٠ براي حمايت RCA صبر كند. در سال ١٩٢٢, يک دانش آموز از Idaho, به نام Philo Farnsworth يک سيستم الكترونيكي اختراع كرد, و تا سال ١٩٢٧ موفق به ارسال تصاوير تلويزيوني شد. پيشرفت پروژهkinescope كه در RCA انجام مي شد, به علاوه يک قرارداد (License Agreement) بين RCA و Farnsworth در نهايت منتهي به ظهور اولين تلويزيون تجاري در آوريل ١٩٣٩ در نمايشگاه RCA در نيويورک گشت.

(١٨٨٨-١٩٤٦) John Logie Baird از دانشگاه Glascow فارغ التحصيل شد و تا مدتي براي شركت Glascow Electrical به عنوان مهندس كار مي كرد. در ١٩٢٠ وي با استفاده از ديسک مكانيكي Nipkow شروع به ساخت تلويزيون كرد. در ١٩٢٦ او اولين تلويزيون را ساخت. سپس به ساخت تلويزيون رنگي و استريو

پرداخت و موفق به ضبط سيگنال هاي ويديويي روي ديسک شد. از ۱۹۲۹ تا ۱۹۳۵ BBC از تلويزيون مكانيكي Baird استفاده مي كرد. در انتهای اين دوره از ساخت تلويزيونها, تا حدي از سيستمهاي الكترونيكي هم استفاده می شد. از آنجايي كه سيستمهاي مكانيكي به ۲۰۰ خط در هر frame محدود بودند, نتوانستند در برابر سيستمهاي الكترونيكي دوام بياورند.

Philo Taylor Farnsworth (۱۹۰۶-۱۹۷۱) هنگامی كه يک دانش آموز ۱۵ ساله بود, يک سيستم الكترونيكي اختراع كرد و آنرا به استاد شيمي خود عرضه كرد. درسال ۱۹۲۶, وی با استفاده از يک پشتيباني مالي شركتی براي ساخت تلويزيون تاسيس كرد. در ۱۹۲۷ وي موفق به ساخت اولين تلويزيون الكترونيكي شد و در سال ۱۹۳۶ استوديوي او به حدود ۵۰ خانواده در Philadelphia سرويس مي داد.

۵- رادار

در زمان قبل از جنگ جهاني دوم, تمامي قدرت هاي بزرگ در حال انجام پروژه هاي "سيستم هاي رديابي راديويي" بودند. هنگامی كه انگليسي ها مشغول ساخت سيستم تشخيص و رديابي هوايي بودند,آلمانها سيستم ناوبري هوايي می ساختند.اگر چه در ابتدا اين دستگاهها بر روي طول موجهايي در حد متر كار ميكردند اما بعدا در اثر پيشرفتهايي در سال ۱۹۳۹, اين كشورها موفق به ساخت سيستمهايي باطول موج هاي در حد سانتيمتر شدند.اين سيستم ها لازمه ساخت رادارهاي پيشرفته بودند. در سال ۱۹۴۰ در امريكا سرمايه گذاري بر روي آزمايشگاه رادار در MIT آغاز شد. بيش از ۱۳۰۰ مهندس و دانشمند در اين آزمايشگاه كار مي كردند و بيش از ۱۰۰ مدل رادار طراحي شد كه شامل سيستمهاي هشدار سريع, رادارهاي ضدهوايي, رادارهاي ضد زيردريايي, زميني, و رادارهايي براي نشانه گيري در بمباران می شدند.بيش از يک ميليون رادار در امريكا در زمان جنگ ساخته شد. آلمان و ژاپن در اين جنگ تكنولوژيک مغلوب بودند.

Robert Alexander Watson-Watt (۱۸۹۲-۱۹۷۳) وي از نوادگان James Watt بود, كه مدركش را در رشته مهندسي برق از دانشگاه St.Andrews, در اسكاتلند دريافت كرد و در سال ۱۹۱۵ شروع به كار در British civil service كرد, وي اولين Patent خود را كه يک سيستم رديابي راديويي بود در ۱۹۱۹ به ثبت رساند. در سالهاي بعد او نقش رهبري توسعه پروژه هاي رديابي راديويي هوايي را بازي مي كرد, كه همان سلاح مخفي در جنگ بريتانيا بود. درسال ۱۹۳۷, قبل از شروع جنگ, او به همراه همسرش عهده دار كاري خطرناک شدند : سفر به آلمان در لباسهاي بدل, براي پيدا كردن ايستگاههاي رادار در آلمان.

Edward Mills Purcell (۱۹۱۲-۱۹۹۷) در شهري كوچک در Illinois به دنيا آمد.پدرش مديريت يک شركت محلي تلفن را به عهده داشت. Purcell مدرک BSEE را در Purdue اخذ كرد و سپس به فيزيک روي آورد. در دانشگاه Harvard به تدريس می پرداخت كه به آزمايشگاه تازه تاسيس رادار ملحق شدو عده دارر هبري تيمی شد كه بر روي سيستم هاي راداري با طول موج ۱ cm كار می كردند. در آن زمان تحقيقات علمی نشان داده بودند كه رطوبت هوا يک عامل محدود كننده مهم برای اين سيستم هاست.اين مطلب او را به كشفي در ۱۹۴۵ كه همانا ساخت nuclear magnetic resonance بود, هدايت كرد كه پايه اي براي تصويربرداري NMR در پزشكي شد. در ۱۹۵۲ وي جايزه نوبل را براي اين كشف دريافت كرد.

۶- ترانزيستورها

قياس بين ديود و دستگاه هاي Solid State مانند يكسو كننده اكسيد مس و رديابهاي كريستالي در راديو هاي اوليه, به وضوح از قبل مطرح بوده است . در دهه ۱۹۲۰, مخترعان زيادي سعي در ساخت دستگاههايي براي كنترل جريان در ديودهاي Solid State و تبديل آنها به triode انجام دادند، ولي تا بعد از جنگ جهاني دوم نتوانستند موفقيتی كسب كنند. در زمان جنگ, تلاش ها يي براي پيشرفت كريستالهاي سيليكون و ژرمانيوم براي استفاده به عنوان رديااب در رادار انجام شد كه به پيشرفتهايي در زمينه ساخت و فهم تئوري حالتهاي مكانيكي كوانتومي حاملان موج

در نيمه هادي ها منجر شد. بعد از آن دانشمندان از دامنه پيشرفتِ رادار ها به دامنه Solid State Device روي آوردند.

George Clarke Southworth (١٨٩٠-١٩٧٢) در شهري كوچک در Pennsylvania متولد شد. ليسانس و فوق ليسانس خود را از Grove City College دريافت كرد, و سپس براي دكترا به Yale رفت.وی از ابتدای تاسيس Bell Laboratories يعنی سال ١٩٣٤ تا زمان بازنشستگيش در اين شركت كار كرد. كار وي بر روي امواج هادي (Micro wave waveguides), انگيزه اي براي ساخت رادار شد. هنگامي كه او دريافت كه triode ها مانند رديابها در فركانس هاي microwave كار نخواهند كرد, به استفاده از رديابهاي كريستالي كه در اولين راديوها استفاده مي شدند, روي آورد. منبع او براي اين كار, راديوهاي دست دوم و پرگردوخاک مغازه هاي Manhattan بود!

William Bradford Shockley (١٩١٠-١٩٨٩) در لندن متولد شد, ولي در كاليفرنيا بزرگ شد و در Caltech و MIT تحصيل كرد. درسال ١٩٣٩ وي به آزمايشگاه Bell Telephone Laboratories ملحق شد. در ابتداي ١٩٣٩, Shockley شروع به يافتن راهي براي تبديل يكسوساز كريستالي به يک دستگاه تقويت كننده كرد. جنگ كار وي را قطع كرد, ولي كار او دوباره در ١٩٤٥ با بازگشت او به Bell Lab به عنوان رهبر تيم تحقيقاتي Solid State Physics شروع شد. اين گروه شامل Bardeen و Brattain مي شد كه ترانزيستور با اتصال نقطه اي (Point Contact Transistor) را اختراع كردند. Shockley ترانزيستور اتصالي (Junction) را چند هفته بعد اختراع كرد. Shockley داراي شخصيت ساينده اي بود و در نهايت Bardeen و Brattain درحالی كه آزرده شده بودند گروه را ترک كردند. در دهه ١٩٧٠, Shockely هنگامي كه تئوريي مبني بر دخالت عاملي ژنتيكي در هوشمندي را عرضه داشت طوفاني از انتقادها را برانگيخت. بر مبناي آن نژاد سياه پوستان به عنوان نژادي با ژن پست معرفي مي‌شد.

Walter H. Brattain (١٩٠٢-١٩٨٧) در چين بدنيا آمد و دريک مدرسه انگليسی زبان در Amoy به تحصيل پرداخت.دوران نوجوانی خود را در Washington سپری كرد. او مدارک علمی خود را از كالجWhitman ، دانشگاهOregon و دانشگاه Minnesota دريافت كرد. در سال ١٩٢٩ وی برای كار به Bell Laboratories رفت و تا شروع جنگ بر روی رفتار يكسو كننده های اكسيد مس تحقيق می كرد. بعد مشغول ساخت رديابِ رادار سيليكن شد.سپس دوباره به گروه فيزيک حالت جامد پيوست ، گروهی كه او و Bardeen ترانزيستور اتصال نقطه ای را اختراع كردند.هر چند Brittain يک آزمايشگر(experimentalist) حرفه ای بود و Bardeen يک تيوريسين اما آنها در آزمايشگاه بطور صميمانه ای با هم كار می كردند.

John Bardeen (١٩٠٨-١٩٩١) او فرزند رييس دانشكده پزشكی دانشگاه Wisconsin بود و درجه دكترای فيزيک رياضی (mathematical physics) را از دانشگاه Princeton دريافت كرد.استاد دانشگاه Minnesota بود ودر طی جنگ جهانی دوم بهترين فيزيكدان در Naval Ordnance Laboratory به حساب می آمد.بعد از جنگ توسط Bell Telephone Laboratory (با حقوق دو برابر) كرايه شدتا بر روی مسايل نظری در فيزيک حالت جامد كار كند.در سال ١٩٤٨ كار او منجر به اختراع ترانزيستور های اتصال نقطه ای شد كه نظريه quantum surface states of electrons شد كه بر مبنای آن ثابت شد كه لايه ای از بار در سطح آزاد نيمه هاديها وجود دارد. Bardeen درسال ١٩٥١ Bell Labs را برای رسيدن به درجه استادی در مهندسی الكترونيک و فيزيک در دانشگاه Illinois ترک كرد. در سال ١٩٥٦ او به همراه Shockleyو Brattain به علت اختراع مشترک ترانزيستور موفق به دريافت جايزه نوبل شد.وی همچنين در سال ١٩٧٢ به همراه Cooper و Schrieffer بخاطر نظريه ابر رسانايی جايزه نوبل را دريافت كردو بدين ترتيب اولين فردی بود كه دو جايزه نوبل را دريافت كرد.

اسیلوسکوپ

نوسان نما یا اسیلوسکوپ دستگاهی الکترونیکی است که امکان مشاهده ولتاژ را فراهم می کند .غالباً مقدار ولتاژ به صورت نموداری دوبعدی نمایش داده می‌شود که محور افقی زمان و محور عمودی آن ولتاژ است.
از نوسان نما عموماً برای نمایش دقیق موج استفاده می‌شود .علاوه بر دامنه، معمولاً نوسان نماها قادر به به اندازه گیری و نمایش دیگر پارامترها مانند عرض پالس، دوره تناوب و زمان بین دو حادثه (مانند وقوع دو پیک)هستند. اسیلوسکوپ وسیله اندازه گیری است، که کار آن نمایش ولتاژ بر حسب زمان است.

اصول عملکرد اسیلوسکوپ

اسیلوسکوپ در حقیقت رسامهای بسیار سریع هستند که سیگنال ورودی را در برابر زمان یا در برابر سیگنال دیگر نمایش می دهند .قلم این رسام یک لکه نورانی است که در اثر برخورد یک باریکه الکترون برخورد یک باریکه الکترون به پرده ای فلوئورسان بوجود می آید. به کمک مبدلها(ترانزیستورها)می توان به کمک مبدلها(ترانزیستورها)می توان جریان الکتریکی و کمیتهای دیگر فیزیکی و مکانیکی را به ولتاژ تبدیل کرد.

«اجزای اسیلوسکوپ»

لامپ پرتو کاتدی
قسمتهای مختلف لامپ پرتو کاتدی عبارتند از:
تفنگ الکترونی
صفحات انحراف دهنده
صفحه فلوئورسان
مولد مبنای زمان
مدارهای اصلی اسیلوسکوپ
سیستم انحراف قائم
سیستم انحراف افقی
همزمانی
مواد محو کننده
کنترل وضعیت
مدار کالیبره سازی

نحوه ی اندازه گیری با اسیلوسکوپ:

قبل ازشروع کار با اسیلوسکوپ باید دو کار انجام دهیم:
الف)تنظیمات اولیه :کلید های Gain Variable Control رو که به صورت کلیدی کوچکتر بر روی کلیدهای Volt/ DiV و(Time/ Div طوسی رنگ) وجود داره تا انتها در جهت عقربه های ساعت بچرخونید در اسیلوسکوپهای انالوگ کلیدهای کشویی رو به بالا وکلیدهای فشاری همه بیرون باید باشند.

ب)کلید سه حالته ی AC GND DC رو برای هر دو کانال در حالت GND قراربدید و با دستگیره ی Position محور عمودی رو روی صفر قرار بدید .بوسیله ی کلیدهای Intensity و Focus به ترتیب شدت نور و نازکی موج رو تنظیم کنید و بعد از تنظیم زمین کلیدها رو در وضعیت DC قرار بدید.

اندازه گیری ولتاژ (دامنه)
تعداد خونه های عمودی محصورشده رو از قله تا پایین ترین نقطه ی موج بشمارید و در Volt/Div اون کانال ضرب کنید .عدد به دست اومده اندازه ی دامنه ی P-P موج خواهد بود .به عنوان مثل اگر در حالتی که VOLT/DIV روی عدد ۲ و تعداد خانه های محصور شده توسط موج در راستای عمودی برابر ۳.٤ باشد انگاه برای بدست اوردن مقدار ولتاژاز ضرب این دو عدد داریم :دامنه(ولتاژ =)عدد volt/div تعداد خونه های عمودی×
٦.٦ = ۲ × ۳.٤ V

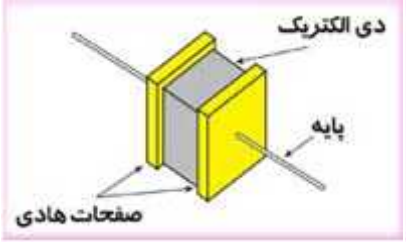
«برد بورد»
برد بورد Bread Board از تعداد زیادی سیم ردیف‌شده ی فلزی(معمولا مسی) ساخته‌شده است, که در زیر بورد ردیف‌شده اند.ردیف های فلزی همانند شکل زیر با هم موازی هستند.این ردیف ها سوراخ های روی بورد را به هم متصل می نمایند که باعث آسان ترشدن اتصل قطعات برای‌ساخت مدارها می‌شود .برای استفاده از برد بور) Bread Board (پایه های‌قطعات را در حفره های آن فرو میکنیم.هر حفره به یکی از ردیف های زیر بورد متصل‌شده است.
قطعاتی مثل آی سی ها به دلیل داشتن پایه های زیاد در ردیف های وسط برد بوردقرار میگیرند.

«مولتی متر»
مولتی متر Multimeter یک وسیله اندازه گیری است که توانایی اندازه گیری کمیت های الکتریکی ولتاژ ، جریان مقدار اهمی مقاومت را دارلست .بعضی از مولتی مترها می توانند فرکانس سیگنال متناوب و ظرفیت خازن را نیز اندازه بگیرند و همچنین به وسیله آنها می توان پایه های دیودها و ترانزیستورها را تشخیص داده و به‌سالم و و یا معیوب بودن آنها پی برد.همچنین به وسیله مولتی متر می توان اتصل های مدار را تست کرد.به این وسیله پی برد.همچنین به وسیله مولتی متر می توان اتصل های مدار را تست کرد.به این وسیله آوومتر نیز میگویند.
مولتیمترها یا آنالوگ و یا دیجیتال هستند.در نوع آنالوگ آنها معمولا از سیستم اندازگیری‌قلب گردان استفاده میشود در این سیستم با توجه به صفحه ی مندرج عقربه مقدار اندازه گیری‌شده را نشان میدهد .امامولتی متر دیجیتال کمیت های اندازه گیری‌شده را به صورت رقم و یا ارقامی بر روی صفحه نمایش نشان می دهد و معمولاً واحد کمیت اندازه گیری‌شده را نیز به طریق مناسبی نمایش می دهد.در هر دو نوع باید به رنج بندی مورد نظر شده را نیز به طریق مناسبی نمایش می دهد.در هر دو نوع باید به رنج بندی مورد نظر توجه نموده و با توجه به آن از دستگاه استفاده کرد.در انتخاب حالت جریان مستقیم و یا متناوب نیز باید دقت کرد.
امروزه مولتی مترهای دیجیتال نسبت به نوع آنالوگ بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند زیرا دارای‌طول عمر بیشتر ، دقت بالاتر و ارزانتر از نوع آنالوگ می باشند و همچنین بسیاری از آنها قابلیت اتصل به کامپیوتر را نیز دارند و لذا می توان با متصل کردن آنها به کامپیوتر و انتقل کمیت های اندازه گیری‌شده به کامپیوتر ، از این کمیت ها در برنامه های نوشته‌شده استفاده کرد و به این طریق دستگاه هایی را کنترل کرد.
در انواع مولتیمترها از یک سلکتور برای انتخاب رنجهای مختلف ولتاژ و جریان مستقیم ومتناوب استفاده میشود که معمولا در وسط مولتیمتر قرار دارد.

خازن

خازن چیست ؟ خازن (Capacitor)المانی است که انرژی الکتریکی را توسط یک میدان الکترواستاتیک در خود ذخیره می کند و تحت شرایطی این انرژی الکتریکی را آزاد می کند . خازن ها به اشکال گوناگون ساخته می شوند که پر استفاده ترین آنها در صنایع برق و الکترونیک خازن های مسطح هستند . این نوع خازن ها از دو صفحه هادی که بین آنها ماده عایقی قرار گرفته است تشکیل می شوند . در شکل (۱ (ساختمان یک خازن مسطح و در شکل (۲) علامت اختصاری آن نمایش داده شده است.

شکل ۱



شکل ۲

به صفحات خازن ، جوشن های خازن نیز می گویند که معمولا از آلومینیوم ، نقره ، قلع و روی ساخته می شوند . صفحات خازن در فاصله ای بسیار نزدیک به هم قرار می گیرند. عایق بین صفحات خازن معمولا از جنس هوا ، کاغذ ، میکا ، پلاستیک ، سرامیک ، اکسید آلومینیوم و اکسید تانتالیوم می باشد . به عایق بین صفحات خازن دی الکتریک می گویند . دی الکتریک ها انواع مختلفی دارند و با ضریب مخصوصی که نسبت به هوا سنجیده می شود ، معرفی می گردند . این ضریب را ضریب دی الکتریک می نامند . ضریب دی الکتریک هوا را ۱ در نظر می گیرند . **در جدول** (۱)مقدار ضریب دی الکتریک چند ماده عایق نمایش داده شده است.

نوع عایق	ضریب دی الکتریک
هوا	۱
میکا	۳ - ۸
سرامیک	۸۰۰ - ۱۲۰۰
پلی استر	۲.۵
اکسیدآلومینیوم	۷
اکسید تانتالیوم	۲۶
کاغذ	۲ - ٦
شیشه	۵.۵ - ۱۰
روغن	۲ - ۵
فیبر	۳ - ۵
کوارتز	۳.٤ - ٤.۲

پارافین	۲.۲ - ۲

ضریب دی الکتریک هر ماده نشان دهنده این است که خاصیت دی الکتریکی آن ماده چند برابر خاصیت دی الکتریکی هوا است . به عنوان مثال وقتی گفته می شود ضریب دی الکتریک سرامیک ۱۲۰۰ ۸۰۰ - **است مظور** این است که خاصیت دی الکتریکی سرامیک ۸۰۰ **تا** ۱۲۰۰ برابر بیشتر از خاصیت دی الکتریکی هوا می باشد . حال که با ساختمان خازن آشنا شدید یک بار دیگر به تعریف خازن بر می گردیم . گفتیم که خازن المانی است که انرژی الکتریکی را توسط یک میدان الکترواستاتیک در خود ذخیره می کند و تحت شرایطی این انرژی را آزاد می کند . **اما خازن چگونه** می تواند چنین عملی را انجام می دهد ؟ برای پاسخ به این سوال ابتدا باید با مفاهیم شارژ و دشارژ خازن آشنا شوید .

شارژ و شارژ خازن : قبل از اینکه به صفحات خازن ولتاژی اعمال شود ، هر یک از صفحات خازن از نظر بار الکتریکی خنثی هستند یعنی در هر یک از صفحات خازن تعداد الکترونها و پروتونها با هم برابر است . اما زمانی که یک منبع تغذیه DCبه دو سر خازن متصل می شود الکترونها از قطب منفی منبع تغذیه به طرف صفحه ای از خازن که به آن قطب متصل است شروع به حرکت می کنند و در نتیجه تعداد الکترونهای آن صفحه افزایش می یابد و همزمان همان تعداد الکترون از صفحه دیگر خازن به طرف قطب مثبت منبع تغذیه شروع به حرکت می کنند و در نتیجه تعداد الکترونهای آن صفحه کاهش می یابد و به این ترتیب در اثر حرکت الکترونها ، جریانی در مدار جاری می شود و گفته می شود خازن در حال شارژ شدن است . مقدار جریان مدار با ولتاژ دو سر خازن نسبت عکس دارد یعنی هر چه خازن بیشتر شارژ می شود ، جریان مدار کاهش بیشتری می یابد . این روند تا آنجا ادامه می یابد که ولتاژ دو سر خازن با ولتاژ دو سر منبع تغذیه برابر شود و پس از آن حرکت الکترونها متوقف شده و شارژ شدن خازن پایان می پذیرد . یعنی خازن به اندازه ولتاژ منبع تغذیه DC شارژ می شود . همانطور که ملاحظه فرمودید در یک خازن شارژ شده یکی از صفحات خازن دارای بار منفی (تراکم الکترون) و صفحه دیگر دارای بار مثبت (تراکم پروتون) می شود و همانطور که می دانید بین بارهای ناهمنام نیروی جاذبه ای وجود دارد که این نیروی جاذبه سبب ایجاد یک میدان الکتریکی بین این بارها می شود و در نتیجه بین صفحات شارژ شده یک میدان الکتریکی ایجاد می گردد که به دلیل اینکه بارهای ساکن سبب ایجاد این میدان الکتریکی شده اند به آن میدان الکترواستاتیک گفته می **شود** . تحت تاثیر این میدان الکترونها تمایل دارند خود را از صفحه دارای بار منفی به صفحه دارای بار مثبت رسانده و با پروتونها ترکیب شوند ، اما دی الکتریک بین صفحات خازن مانع این امر می شود و به این ترتیب یک انرژی الکتریکی توسط میدان الکترواستاتیک در خازن ذخیره می شود . البته همواره تعداد کمی از الکترونها می توانند از دی الکتریک عبور کرده و خود را به بارهای مثبت صفحه مقابل برسانند و جریان خیلی ضعیفی را در دی الکتریک برقرار کنند که این جریان ، جریان نشتی خازن نامیده می شود و مقدار آن بستگی به نوع دی الکتریک دارد و **اگر** خازن شارژ شده ای از مدار جدا گردد ، در اثر همین جریان نشتی به مرور زمان دشارژ می شود و این همان اتفاقی است که برای باتری هایی که بدون استفاده شدن ، پس از مدت زمانی غیر قابل استفاده می شوند می افتد . حال اگر دو پایه خازن شارژ شده و جدا شده از منبع تغذیه ، به یکدیگر متصل شوند ، الکترونها از صفحه دارای بار منفی به سمت صفحه دارای بار مثبت حرکت کرده و سبب دشارژ شدن خازن می شوند . بنابراین هنگامی که خازن شارژ می شود ولتاژ دو سر آن افزایش می یابد و زمانی که خازن دشارژ می شود ولتاژ دو سر آن کاهش می یابد . در ادامه به بررسی مهمترین مشخه خازن یعنی ظرفیت آن می پردازیم .

ظرفیت خازن : ظرفیت هر خازن نشان دهنده توانایی خازن در ذخیره کردن بار الکتریکی است و بنا به تعریف ، ظرفیت خازن برابر است با مقدار بار الکتریکی که باید روی یکی از صفحات خازن جمع شود تا پتانسیل آن نسبت به صفحه دیگر به اندازه یک ولت افزایش یابد و به عبارت دیگر ، حاصل تقسیم بار الکتریکی (Q)ذخیره شده روی هر یک از صفحات خازن بر اختلاف پتانسیل (V) میان دو صفحه را ظرفیت خازن گویند . ظرفیت خازن را با حرف C نمایش می دهند که از کلمه Capacitanceبه معنی ظرفیت گرفته شده است . بنابراین میزان ذخیره شدن بار الکتریکی بر روی صفحات خازن ، به ظرفیت خازن بستگی دارد . یعنی در یک ولتاژ برابر ، خازنی که ظرفیت کمتری دارد ، بار کمتر و خازنی که ظرفیت بیشتری دارد ، بار بیشتری را در خود ذخیره می کند . واحد اندازه گیری ظرفیت خازن فاراد است که از نام مایکل فاراده گرفته شده است و آن عبارت است از نسبت یک کولن بار ذخیره شده درهر یک از صفحات خازن به اختلاف پتانسیل یک ولت اتصال داده شده است به دو سر خازن . بنابراین ظرفیت خازن را می توان از

رابطه زیر محاسبه نمود.

$$C = \frac{Q}{V}$$

که در این رابطه C ظرفیت خازن بر حسب فاراد (F) و Q بار یک صفحه بر حسب کولن (C) و V ولتاژ دوسر خازن بر حسب ولت (V) است . به عنوان مثال اگر به دو سر یک خازن ، یک ولتاژ DC با دامنه ۳۰ ولت اعمال شود و در اثر این ولتاژ ، ۶۰کولن بار در خازن ذخیره شود ، ظرفیت خازن چقدر است ؟

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{60\,(C)}{30\,(V)} = 2(F)$$

بنابراین ظرفیت این خازن ۲ فاراد است .
فاراد واحد بزرگی است و معمولا در کارهای عملی مورد استفاده قرار نمی گیرد . در عمل از واحدهای کوچکتری استفاده می شود که در جدول (۲) این واحدها نمایش داده شده اند .

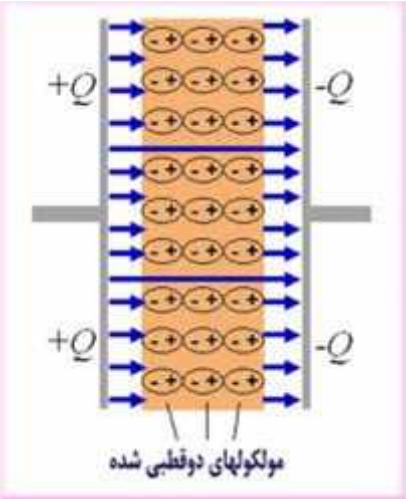
مقدار واحد بر حسب فاراد	علامت واحد	نام واحد
۰.۰۰۱	mF	میلی فاراد
۰.۰۰۰۰۰۱	µF	میکرو فاراد
۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۱	nF	نانوفاراد
۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱	pF	پیکو فاراد

جدول ۲

اما سوالی در اینجا مطرح می شود و آن این است که ظرفیت یک خازن به چه عواملی بستگی دارد ؟ در پاسخ باید گفت که ظرفیت یک خازن به عوامل مختلفی بستگی دارد که مهمترین این عوامل عبارتند از :
۱- مساحت صفحات خازن ۲- ثابت دی الکتریک خازن ۳- فاصله بین صفحات خازن

مساحت صفحات خازن : هر چه یک خازن دارای صفحات بزرگتری باشد ، ظرفیت بیشتری خواهد داشت . زیرا هر چه صفحات خازن بزرگتر باشند ، بار بیشتری روی آنها ذخیره می شود . بنابراین ظرفیت خازن با مساحت صفحات خازن نسبت مستقیم دارد ، یعنی با دو برابر شدن مساحت صفحات خازن ، ظرفیت خازن نیز دو برابر می شود و بر عکس ، در صورت نصف شدن مساحت صفحات خازن ، ظرفیت خازن نیز نصف می شود .
ثابت دی الکتریک خازن : هر چه ثابت دی الکتریک یک خازن بیشتر باشد ، آن خازن ظرفیت بیشتری خواهد داشت . علت این امر آن است که زمانی که یک دی الکتریک در یک میدان الکتریکی قرار می گیرد مولکولهای دی الکتریک تحت تاثیر میدان الکتریکی به صورت مولکولهای دو قطبی در می آیند . یعنی در هر مولکول دی الکتریک ، بارهای مثبت و منفی از یکدیگر فاصله گرفته و در دو محدوده مجزا قرار می گیرند و بین این بارهای مثبت و منفی

یک میدان الکتریکی ایجاد می شود . دو قطبی های حاصل در راستای میدان الکتریکی ایجاد شده بین صفحات خازن قرار می گیرند و همواره قطبهای منفی دو قطبی ها به سمت جوشن دارای بار مثبت و قطبهای مثبت دو قطبی ها به سمت جوشن دارای بار منفی قرار می گیرند .این وضعیت در شکل (۳) نمایش داده شده است .



شکل ۳

همانطور که در این شکل مشاهده می کنید در لبه سمت چپ دی الکتریک ، بارهای منفی دوقطبی ها جمع شده اند . بین این بارهای منفی و الکترونهای موجود در جوشن دارای بار مثبت ، نیروی دافعه ایجاد شده و الکترونهای موجود در جوشن دارای بار مثبت ، این جوشن را ترک می کنند و در نتیجه بار الکتریکی مثبت این جوشن افزایش می یابد . در لبه سمت راست دی الکتریک نیز بارهای مثبت دوقطبی ها جمع شده اند . این بارهای مثبت الکترونهای بیشتری را به طرف جوشن دارای بار منفی جذب می کنند و سبب افزایش بار منفی این جوشن می شوند . بنابراین استفاده از دی الکتریک باعث می شود بار الکتریکی بیشتری بر روی صفحات خازن ذخیره شود و یا به عبارتی استفاده از دی الکتریک باعث افزایش ظرفیت خازن می گردد .همانطور که می دانید زمانی که الکترونها در یک میدان الکتریکی قرار می گیرند ، در خلاف جهت میدان الکتریکی حرکت کرده و خود را به پلاریته مثبت می رسانند . در یک خازن نیز الکترونهای جوشن دارای بار منفی تمایل دارند که به وسیله میدان الکتریکی بین جوشن های خازن ، خود را به جوشن دارای بار مثبت برسانند اما استفاده از دی الکتریک تعداد زیادی از الکترونها را در رسیدن به این هدفشان ناکام می گذارد زیرا جهت میدان الکتریکی مولکولهای دوقطبی دی الکتریک در خلاف جهت میدان الکتریکی ایجاد **شده** بین جوشن های خازن است و مجموع میدان های الکتریکی مولکولهای دوقطبی سبب تضعیف میدان الکتریکی ایجاد شده بین جوشن های خازن می شود و در نتیجه فقط تعداد خیلی کمی از این الکترونها می توانند از دی الکتریک عبور کرده و و خود را به جوشن مقابل برسانند و سبب ایجاد جریان نشتی در خازن شوند . بنابراین هر چه در یک خازن از دی الکتریک بهتری استفاده شود ، الکترونهای کمتری می توانند از دی الکتریک عبور کنند و در نتیجه جریان نشتی خازن کمتر می شود . فلش هایی که در شکل (۳) رسم شده اند نشان دهنده میدان الکتریکی هستند . همانطور که در این شکل مشاهده می کنید میدان الکتریکی بین لبه های دی الکتریک و جوشن های خازن قوی و میدان الکتریکی بین دو جوشن خازن به سبب وجود دی الکتریک ضعیف است .

فاصله بین صفحات خازن : هر چه فاصله بین صفحات یک خازن کمتر باشد ، مقدار ظرفیت خازن بیشتر خواهد بود **و بر** عکس ، هر چه فاصله بین صفحات خازن بیشتر باشد ، خازن ظرفیت کمتری خواهد داشت و این یعنی اینکه مقدار ظرفیت خازن با فاصله بین صفحات آن نسبت عکس دارد . علت این امر این است که هر چه فاصله بین صفحات خازن کمتر باشد ، میدان الکترواستاتیک ایجاد شده بین دو صفحه خازن قوی تر می شود و در نتیجه تعداد

بیشتری از مولکولهای دو قطبی شده دی الکتریک در راستای میدان الکترواستاتیک بین صفحات خازن قرار می گیرند و این امر همانطور که قبلا گفته شد سبب افزایش ظرفیت خازن می شود .

البته علاوه بر موارد بالا ، عوامل دیگری نیز همچون درجه حرارت محیط ، فرکانس ولتاژ دو سر خازن و مدت زمان استفاده از خازن در میزان ظرفیت خازن مؤثرند ، اما میزان تاثیر آنها در مقایسه با موارد شرح داده شده ناچیز و نیز بستگی به شرایط و نحوه استفاده از خازن دارد.

با توجه به موارد ذکر شده ، میزان ظرفیت خازن را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود .

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

که در این رابطه ε ثابت دی الکتریک خازن ، A **مساحت صفحات خازن** و d فاصله بین صفحات خازن می باشد .

ثابت دی الکتریک هر خازن از رابطه زیر بدست می آید .

$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$$

که در این رابطه ε ثابت دی الکتریک خازن ، ε_r ضریب دی الکتریک خازن و ε_0 ثابت دی الکتریک هوا است که **مقدار آن برابر است با** :

$$\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \left[\frac{F}{m}\right]$$

به عنوان مثال ظرفیت خازنی که مساحت صفحات آن ۰.۰٤ متر مربع و فاصله صفحات آن ۰.۰۰۲ متر و نوع دی الکتریک به کار رفته در آن اکسید آلومینیوم است را محاسبه کنید.

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 7 \times 0.04}{0.002} = 1.239\ nF$$

بنابراین ظرفیت این خازن **۱.۲۳۹ نانوفاراد است** .
در ادامه به بررسی ضریب حرارتی خازن می پردازیم .

ضریب حرارتی خازن : بر روی بعضی از خازنها ضریبی به نام ضریب حرارتی خازن درج شده است . می خواهیم بررسی کنیم که منظور از این ضریب چیست ؟ ظرفیتی که بر روی هر خازن می نویسند ، ظرفیت آن خازن در **دمای** اتاق یعنی ۲۵ درجه سانتی گراد می باشد و اگر درجه حرارتی که خازن در آن کار می کند از ۲۵ درجه سانتی گراد بیشتر و یا کمتر شود ، ظرفیت خازن تغییر خواهد کرد . بر همین اساس معمولا بر روی خازنها ضریب حرارتی خازن را درج می کنند که این ضریب نشان دهنده این است که با تغییر درجه حرارت ، ظرفیت خازن چه تغییری می کند . اگر ضریب حرارتی خازن مثبت باشد ، افزایش درجه حرارت ، سبب افزایش ظرفیت خازن می شود و کاهش درجه حرارت ، سبب کاهش ظرفیت خازن می گردد . در صورتی که ضریب حرارتی خازن منفی باشد ، افزایش و کاهش درجه حرارت به ترتیب سبب کاهش و افزایش ظرفیت خازن می شود . البته به دلیل اینکه معمولا تغییرات درجه حرارت تاثیر ناچیزی بر روی ظرفیت خازن می گذارد ، در بسیاری از موارد ضریب حرارتی خازن مورد توجه قرار نمی گیرد و حتی بر روی بعضی از خازنها اصلا درج نمی شود . ضریب حرارتی **خازن بر حسب** PPM بیان می شود . در مواردی که ضریب حرارتی خازن بر روی آن نوشته می شود معمولا مثبت

و منفی بودن ضریب حرارتی خازن را با حروف P و N مشخص می کنند . به عنوان مثال عبارت N۵۰۰ به معنای ضریب حرارتی −۵۰۰PPM و عبارت P۳۰۰ به معنای ضریب حرارتی ۳۰۰ +PPM و عبارت NP۰ به معنای ضریب حرارتی صفر است .

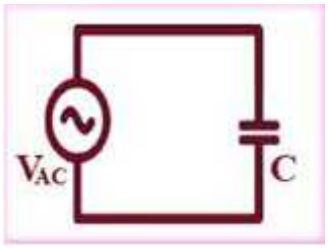
قبلا گفتیم که اگر به دو سر یک خازن یک ولتاژ DC اعمال کنیم خازن شروع به شارژ شدن می کند و جریانی در مدار برقرار می شود و هر چه خازن بیشتر شارژ می شود جریان بیشتر کاهش می یابد و سرانجام با شارژ شدن کامل خازن ، جریان مدار صفر می شود . اما اگر به دو سر خازن یک ولتاژ AC متصل کنیم چه اتفاقی روی می دهد ؟ در این حالت خازن مرتب شارژ و دشارژ می شود و سرعت شارژ و دشارژ شدن خازن به فرکانس ولتاژ AC بستگی دارد .در این حالت با اینکه جریانی از داخل خازن عبور نمی کند ولی اگر آمپرمتری در مدار داشته باشیم ، آمپرمتر عبور جریانی را از مدار نشان می دهد ، درست مانند اینکه مقاومتی در مدار قرار دارد و جریان را محدود می کند . مخالفت خازن در مقابل جاری شدن جریان را عکس العمل خازنی یا راکتانس خازنی و یا مقاومت خازنی می گویند و آن را با X_c نمایش می دهند . راکتانس خازنی به ظرفیت خازن و فرکانس ولتاژ دو سر خازن بستگی دارد .یعنی هر چه ظرفیت خازن و یا ولتاژ دو سر خازن بیشتر باشد راکتانس خازنی کمتر است و برعکس .

راکتانس خازنی را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود .

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c}$$

که در این رابطه X_c راکتانس خازنی بر حسب اهم ، f فرکانس ولتاژ دو سر خازن بر حسب هرتز و C ظرفیت خازن بر حسب فاراد است . به عنوان مثال در مدار شکل ٤

فرکانس مولد موج سینوسی ۱۰۰۰ هرتز و ظرفیت خازن ۱ میکروفاراد است . مقدار راکتانس خازنی را بدست آورید.



شکل ٤

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} = \frac{1}{2\pi \times 10^3 \times 10^{-6}} = 159\,\Omega$$

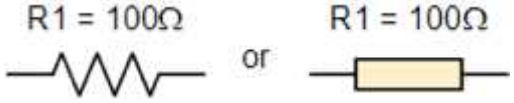
بنابراین در این مدار راکتانس خازنی ۱۵۹ Ω است.

مقاومت

مقاومت الکتریکی چیست ؟

به هر قطعه یا عنصری که در مقابل عبور جریان الکتریکی از خود مخالفت نشان می دهد مقاومت الکتریکی گفته می شود . مقاومت الکتریکی را با حرف R که از کلمه Resistor گرفته شده است نشان می دهند . واحد اندازه گیری مقاومت الکتریکی اهم است که آن را با علامت Ω نشان می دهند . مقاومت ها در صنایع برق و الکترونیک از اهمیت بالایی برخوردارند و بیشتر به منظور محدود کردن جریان و تقسیم جریان و نیز ایجاد ولتاژ های مختلف در مدارات به کار گرفته می شود.

علائم اختصاری مقاومت الکتریکی در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱

قاومت ها دارای مشخصه هایی هستند که این مشخصه ها برای طراحان مدارهای الکتریکی و الکترونیکی از اهمیت بالایی برخوردارند . مهمترین این مشخصه ها مقدار اهمی مقاومت یا همان مقدار مقاومت است و این مشخصه مقدار مقاومت را بر حسب واحد آن یعنی اهم بیان می کند و هر چه مقدار اهمی مقاومتی بیشتر باشد نشان دهنده این است که آن مقاومت در برابر عبور جریان الکتریکی از خود مخالفت بیشتری نشان می دهد و سبب افت جریان بیشتری در مدار می گردد . البته برای مقاومت های با مقدار اهمی زیاد معمولا از واحدهای بزرگتری مانند کیلو اهم (kΩ) و مگا اهم (MΩ) استفاده می کنند که مقدار آنها بر حسب اهم برابر است با:

۱MΩ=۱۰۰۰۰۰۰Ω و ۱kΩ=۱۰۰۰Ω

مشخصه بعدی ، توان مجاز مقاومت است و منظور از آن بیشترین توانی است که یک مقاومت به طور دائم می تواند تحمل کند . زمانی که از یک مقاومت جریان عبور می کند در اثر برخورد الکترونها با اتمهای تشکیل دهنده مقاومت ، الکترونها مقداری از انرژی خود را از دست می دهند و این انرژی به صورت گرما در مقاومت ظاهر می شود . گرمای ایجاد شده در داخل مقاومت باید از مقاومت خارج گردد وگرنه در اثر برخوردهای مکرر الکترونها با اتمهای تشکیل دهنده مقاومت ، گرمای زیادی در داخل مقاومت ایجاد می شود که سبب سوختن مقاومت می گردد . گرمای ایجاد شده در داخل مقاومت از طریق بدنه مقاومت به هوای اطراف منتقل می گردد و به این ترتیب از گرم شدن بیش از حد مقاومت و سوختن مقاومت جلوگیری می شود . اما نکته ای که باید مورد توجه قرار گیرد این است که توان مجاز هر مقاومت با مساحت بدنه مقاومت و یا به عبارتی با حجم مقاومت نسبت مستقیم دارد یعنی هر چه یک مقاومت دارای حجم بیشتری باشد در واحد زمان می تواند حرارت بیشتری را به محیط اطراف انتقال دهد و در نتیجه دارای توان مجاز بیشتری می باشد . توان مجاز مقاومتها را یا روی مقاومتها می نویسند و یا با توجه به حجم مقاومتها ، میزان توان مجاز مقاومتها مشخص می شود . توان مجاز مقاومتها را می توان از روابط زیر بدست آورد.

$$\text{Power (P)} = V \times I = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

که در این روابط P **توان مجاز مقاومت** ، V**ولتاژ دوسر مقاومت** ، Iجریان عبوری از مقاومت و R مقدار اهمی مقاومت می باشد .

به عنوان مثال اگر مقدار اهمی یک مقاومت ١٠ kΩباشد و این مقاومت حداکثر جریان ١٠mA را بتواند تحمل کند مقدار توان مجاز این **مقاومت چقدر است** ؟

$$P = I^2R = (10mA)^2 \times (10k\Omega) = \left(\frac{100}{1000000}\right) \times (10000) = 1w$$

بنابراین توان مجاز این مقاومت **١ وات است** .
همچنین با داشتن توان مجاز یک مقاومت می توان حداکثر جریان مجاز یک مقاومت به ازای یک ولتاژ معین را بدست آورد و یا می توان حداقل مقدار اهمی مجاز مقاومت را تعیین کرد . به عنوان مثال اگر به دو سر مقاومتی با **توان ١ وات** ، اختلاف پتانسیلی برابر ١٠ ولت اعمال کنیم حداکثر جریان مجاز گذرنده از این مقاومت چقدر خواهد بود ؟ و یا به عبارتی بیشترین جریانی که می تواند از این مقاومت عبور کند به شرطی که مقاومت آسیب نبیند چقدر است ؟ همچنین حداقل مقدار اهمی مجاز این مقاومت چقدر می تواند باشد ؟

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1w}{10v} = 100\,mA$$

بنابراین حداکثر جریان مجاز این مقاومت به ازای اختلاف پتانسیل **١٠ ولت ، برابر با ١٠٠** میلی آمپر می باشد یعنی اگر جریان گذرنده از این مقاومت از ١٠٠میلی آمپر بیشتر شود گرمای ایجاد شده در داخل مقاومت از حداکثر گرمایی که مقاومت می تواند تحمل کند بیشتر می شود و در این صورت مقاومت می سوزد . برای تعیین حداقل مقدار اهمی مجاز این مقاومت نیز می توان به شکل زیر عمل کرد .

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(10v)^2}{1w} = 100\,\Omega$$

بنابراین حداقل مقدار اهمی مجاز این مقاومت ١٠٠ اهم می باشد یعنی اگر مقدار اهمی این مقاومت کمتر از ١٠٠ اهم شود ، جریان گذرنده از مقاومت بیشتر از ١٠٠میلی آمپر می شود و در نتیجه مقاومت می سوزد .
مقاومت هایی که در صنایع الکترونیک مورد استفاده قرار می گیرند معمولا دارای توان هایی به شرح زیر می باشند :

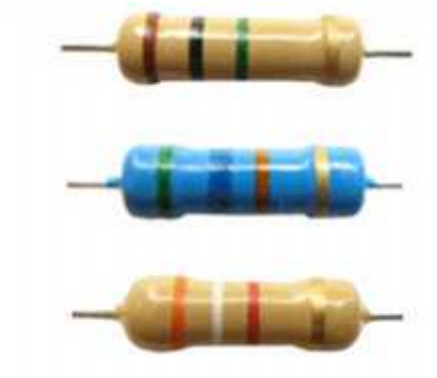
٠.١٢٥w , ٠.٢٥w , ٠.٥w , ١w , ٢w , ٣w , ٤w , ٥w

اما سومین مشخصه یک **مقاومت ، تلرانس** (Tolerance) آن مقاومت است . منظور از تلرانس یک مقاومت حداکثر خطای مجاز یک مقاومت نسبت به مقدار نامی آن مقاومت می باشد که معمولا بر حسب درصد بیان می شود و به عبارت دیگر تلرانس یک مقاومت ، محدوده مقدار واقعی آن مقاومت را مشخص می کند . به عنوان مثال فرض کنید مقاومتی با مقدار نامی ١ کیلو اهم و تلرانس ١٠٪داریم . در این صورت مقدار واقعی این مقاومت بین ١-kΩ (١kΩ×٪١٠) =٩٠٠Ω و ١kΩ+(١kΩ×٪١٠)=١١٠٠Ω می باشد . مقدار تلرانس مقاومت ها یا به صورت عدد بر روی مقاومت ها نوشته می شود و یا در مقاومت های با نوارهای رنگی به وسیله یک نوار رنگی مشخص می شود که در این رابطه در ادامه توضیحات کافی داده خواهد شد .

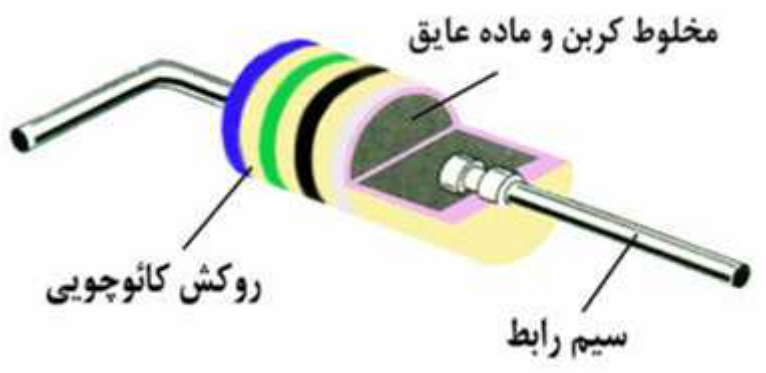
انواع مقاومت های الکتریکی:
مقاومت های الکتریکی به دو دسته کلی مقاومت های ثابت و مقاومت های متغیر تقسیم می شوند . مقاومت های ثابت مقاومت هایی هستند که مقدار اهمی آنها همواره ثابت است و مقاومت های متغیر مقاومت هایی هستد که مقدار اهم آنها قابل تغییر است . مقاومت های ثابت خود به سه دسته تقسیم می شوند که این سه دسته عبارتند از:

١-مقاومت های کربنی (ترکیبی)
٢-مقاومت های سیمی سیم پیچی شده)
٣-مقاومت های (لایه ای)

مقاومت های کربنی (ترکیبی):
مقاومت های کربنی در اکثر مدارات الکترونیکی مورد استفاده قرار می گیرند که علت این امر قیمت پایین ، زمخت بودن و کوچک بودن این نوع مقاومت ها می باشد . البته این نوع مقاومت ها دو ضعف عمده دارند ، یکی این که در اثر عبور جریان از این نوع مقاومت ها حرارت نسبتا زیادی درون این مقاومت ها ایجاد می گردد و به همین دلیل در مدارات با جریان زیاد نمی توانند مورد استفاده قرار گیرند و دیگر این که معمولا تلرانس های بالایی دارند . نمونه هایی از این نوع مقاومت در شکل (۲) نشان داده شده است . برای ساخت این نوع مقاومت ها معمولا پودر کربن را با مواد عایق مخلوط می کنند که نسبت مخلوط کردن این مواد مقدار اهمی مقاومت را تعیین می کند . سپس مخلوط حاصل را در یک استوانه کائوچویی قرار می دهند و دو سیم نیز برای اتصال مقاومت به مدار به دو سر مقاومت وصل می کنند همانند شکل . (۳)

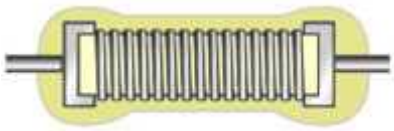


شکل ۲



شکل ۳

مقاومت های سیمی: (Wire Wound Resistor)
از پیچاندن سیم های مقاومت دار طویل به دور یک هسته ، مقاومت سیمی یا سیم پیچی شده ساخته می شود . معمولا یک روپوش سرامیکی یا پلاستیکی بر روی سیم های پیچیده شده بر روی هسته می کشند تا سیم ها آسیب نبینند . ساختمان داخلی مقاومت های سیمی در شکل های (٤)و (٥) نمایش داده شده است . همچنین نمونه ای از یک مقاومت سیمی در شکل (٦)نمایش داده شده است.



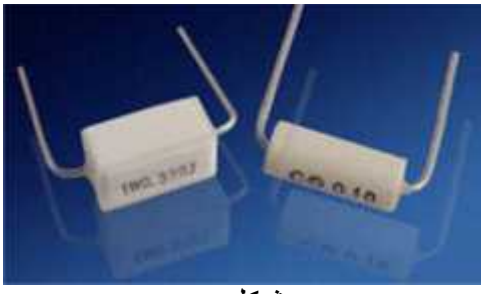
شکل ٤

شکل ٥

شکل ٦

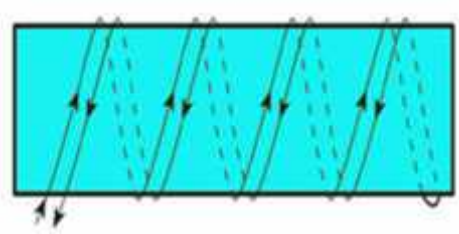
این نوع مقاومت ها در دو نوع قدرتی و دقیق ساخته می شوند . نوع قدرتی در محدوده توان های ۲ وات تا ۲۵۰ وات ساخته می شود و می تواند جریان های زیاد را از خود عبور دهد . نوع دقیق نیز در محدوده توان های ۰.۲۵ وات تا ۲ وات ساخته می شود و دارای تلرانس پایینی می باشد اما نمی تواند جریان های زیاد را از خود عبور دهد . معمولا اندازه فیزیکی مقاومت های سیمی که در جریان های زیاد مورد استفاده قرار می گیرند بزرگتر از اندازه فیزیکی مقاومت های سیمی است که برای کارهای دقیق و جریان پایین به کار می روند . مقاومت های سیمی قدرتی معمولا به شکل یک محفظه سیمان مانند که دارای سطح مقطع مربع یا مستطیل شکل است ساخته می شوند و به مقاومت های آجری معروفند . شکل خاص محفظه مقاومت های آجری این امکان را فراهم می آورد که برای خنک کردن آنها بتوان آنها را بر روی ورقه فلزی خنک کننده (Heat sink) قرار داد . در شکل (۷)نمونه ای از این نوع مقاومت نشان داده شده است . یکی از ویژگی های خوب مقاومت سیمی این است که به هنگام سوختن شعله ور نشده و همچنین پس از سوختن ، کاملا قطع می شود . به همین دلیل ، در بسیاری از مدارها به عنوان مقاومت فیوزی (Fusible Resistor)استفاده می شود و به آن مقاومت حفاظتی (Safety Resistor) نیز می گویند . زیرا این مقاومت ها در حالت عادی به صورت یک مقاومت معمولی عمل می کنند و چنان چه جریان عبوری از آن از حد معینی بیشتر شود مانند یک فیوز قطع می شوند . در شکل (۸) نمونه ای از این نوع مقاومت نشان داده شده است.

شکل ۷



شکل ۸

مقاومت سیمی به سبب دارا بودن سیم پیچ ، دارای خاصیت اندوکتانس (خودالقایی (بوده که این نوعی عیب برای آن محسوب می شود زیرا در فرکانس های بالا ، مقاومت سیمی نسبت به مقدار نامی خود ، مقاومت بیشتری از خود نشان می دهد . البته در این گونه موارد توانسته اند با روش پیچیدن سیم به صورت دولایی یا بی فیلار (Bifilar) تا حد زیادی این مشکل را برطرف نمایند . در این روش سیم های رفت و برگشت در کنار هم قرار گرفته و عبور جریان های مساوی و مخالف هم تا حد زیادی خاصیت خودالقایی را کاهش می دهد . در شکل (۹) پیچیدن سیم به روش بی فیلار بر روی استوانه عایق نشان دا ده شده است.



شکل ۹

مقاومت های لایه ای:

این نوع مقاومت ها ، ترکیبی از مقاومت های سیمی و کربنی می باشند ، یعنی دقت مقاومت های سیمی را دارند ولی از نظر اندازه و قیمت به مقاومت های کربنی نزدیکند . مقاومت های لایه ای را معمولا با رسوب دادن نوار نازکی از ماده مقاومت بر روی یک لوله عایق از جنس سرامیک یا شیشه درست می کنند . برای اتصال مقاومت به مدار ، به دو انتهای لوله دو سیم رابط وصل می کنند و برای محافظت مقاومت نیز تمام آن را با ماده عایقی روکش می کنند . مراحل ساخت مقاومت لایه ای در شکل (۱۰) نمایش داده شده است .

شکل ۱۰

مقاومت های متغیر نیز خود به دو دسته کلی مقاومت های قابل تنظیم و مقاومت های وابسته (تابع) تقسیم می شوند . مقاومت های متغیر قابل تنظیم عبارتند از:

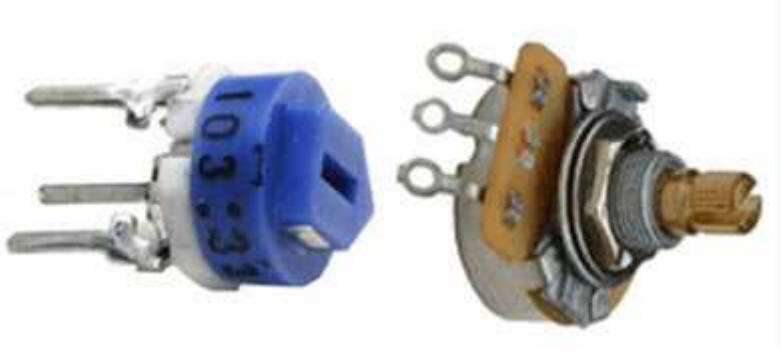
۱- پتانسیومتر

۲-رئوستا

پتانسیومتر : (Potentiometer)

پتانسیومتر از یک المان مقاومتی دوار که درون محفظه ای قرار گرفته ، تشکیل شده است . این المان مقاومتی ممکن است به صورت سیمی ، لایه ای و یا کربنی باشد . دو ترمینال به دو انتهای این المان مقاومتی متصل است که مقدار مقاومت بین این دو ترمینال همواره ثابت و برابر مقدار اهمی المان مقاومتی است . بین این دو ترمینال ، یک ترمینال دیگر وجود دارد که به یک کنتاکت متحرک متصل است و این کنتاکت متحرک می تواند بر روی المان مقاومتی حرکت کند و سبب تغییر مقاومت بین ترمینال وسط و هر یک از ترمینال های کناری گردد . برای حرکت کنتاکت

متحرک بر روی المان مقاومتی ، انتهای المان مقاومتی را به یک ولوم و یا به یک صفحه شیاردرا که توسط پیچ گوشتی قابل حرکت است متصل می کنند.

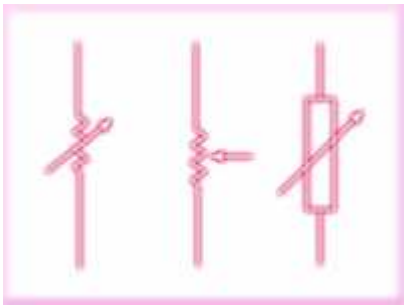


شکل ۱۱

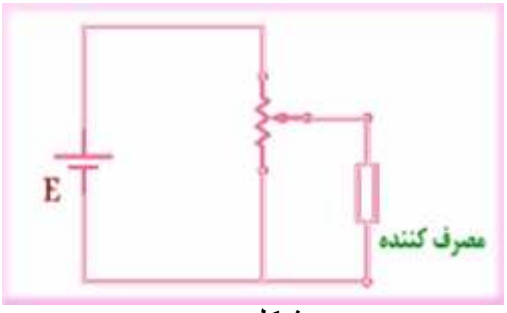
شکل ۱۲

تغییر مقاومت بین ترمینال وسط و یکی از ترمینال های کناری می تواند نسبت به چرخش ولوم و یا صفحه شیاردار ، خطی و یا غیر خطی باشد که بر این اساس پتانسیومتر را خطی و یا غیر خطی می نامند . در یک پتانسیومتر خطی به ازای تغییرات یکسان ولوم و یا صفحه شیاردار ، تغییرات مقدار مقاومت بین ترمینال وسط و هر یک از ترمینال های کناری یکسان خواهد بود . به عنوان مثال در یک پتانسیومتر خطی اگر به ازای چرخش ولوم پتانسیومتر از ۰ درجه تا ۹۰ درجه ، مقاومت بین ترمینال وسط و یکی از ترمینال های کناری از ۰ Ωبه ۱ kΩافزایش یابد ، در صورتی که ولوم پتانسیومتر از ۹۰ درجه تا ۱۸۰ درجه چرخانده شود مقاومت بین آن دو ترمینال از ۱ kΩبه ۲ kΩ افزایش خواهد یافت . معمولا مقدار مقاومت بین ترمینال های کناری پتانسیومتر و یا به عبارتی مقدار اهمی المان مقاومتی پتانسیومتر را بر روی آن می نویسند که اگر این مقدار با حرف B شروع شود نشان دهنده خطی بودن پتانسیومتر است و اگر این مقدار با حرف A شروع شود نشان دهنده این خواهد بود که پتانسیومتر ما یک پتانسیومتر غیر خطی است یعنی به ازای تغییرات یکسان ولوم و یا صفحه شیاردار ، تغییرات مقاومت بین ترمینال متحرک و هر یک از ترمینال های ثابت یکسان نخواهد بود بلکه این تغییرات به صورت غیر خطی خواهد بود و یا به عبارتی منحنی تغییرات مقاومت بین ترمینال های ثابت و متحرک نسبت به چرخش کنتاکت متحرک ، غیر خطی خواهد بود . پتانسیومتر بیشتر به منظور تقسیم ولتاژ در مدارات مورد استفاده قرار می گیرد . در شکل(۱۳ (علائم اختصاری

پتانسیومتر و در شکل (١٤) نحوه قرار گرفتن پتانسیومتر در مدار نمایش داده شده است . در شکل (۱۳) **منظور از** فلش ، ترمینال متصل به کنتاکت متحرک و دو سر دیگر ترمینال های ثابت هستند.



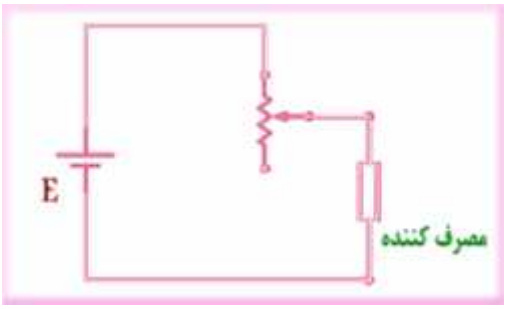
شکل ۱۳



شکل ١٤

رئوستا:

رئوستا همان پتانسیومتر است با یک تفاوت کوچک و آن این است که در رئوستا یکی از ترمینال های ثابت مورد استفاده قرار نگرفته و آزاد می ماند . به عبارتی رئوستا از یک المان مقاومتی ، یک کنتاکت متحرک و یک کنتاکت ثابت تشکیل شده است . رئوستا در مدارات به منظور تغییر جریان به کار می رود . در شکل (۱۵) **نحوه قرار گرفتن** رئوستا در مدار نمایش داده شده است.



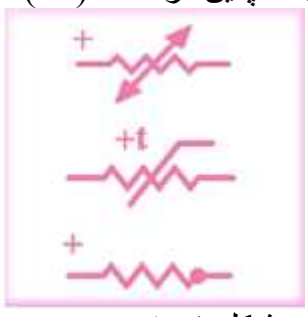
مقاومت های وابسته (تابع) به مقاومت هایی گفته می شود که مقدار آنها به عوامل مختلفی مانند حرارت ، نور ، ولتاژ و ... بستگی دارد . این مقاومت ها عبارتند از :

۱-مقاومت های تابع حرارت
۲-مقاومت های تابع نور
۳-مقاومت های تابع ولتاژ
٤-مقاومت های تابع میدان مغناطیسی

مقاومت های تابع حرارت:

مقدار اهم این نوع از مقاومت ها تابع حرارت است یعنی در اثر تغییر دما ، مقدار مقاومت آنها نیز تغییر می کند . به این نوع از مقاومت ها TDR نیز می گویند . از حروف اول کلمات عبارت Temperature Dependent Resistorبه معنای مقاومت تابع حرارت گرفته شده است .همچنین نام دیگر این مقاومت ها ترمیستور) (Thermistorمی باشد که این واژه نیز از عبارت Thermally Sensitive Resistor به معنای مقاومت حساس

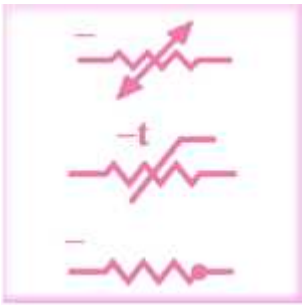
نسبت به حرارت گرفته شده است . ترمیستورها در دو نوع ساخته می شوند که این دو نوع عبارتند از :
الف) ترمیستور با ضریب حرارتی مثبت: (PTC)
مقدار اهم این نوع از مقاومت ها با افزایش دما ، افزایش می یابد . مقدار اهم مقاومت های PTC را در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد بیان می کنند . همچنین علاوه بر این مقدار ، دمایی را که در آن مقاومت PTCدو برابر می شود ، قید می کنند . به این دما ، دمای سوئیچ می گویند . در ضمن واژه PTC از حروف اول کلمات عبارت Positive Temperature Coefficientبه معنای ضریب حرارتی مثبت گرفته شده است . در شکل (۱۶)تصاویری از دو PTCنمایش داده شده است . همچنین در شکل (۱۷) علائم اختصاری PTCنمایش داده شده است.



شکل (۱۶)

شکل (۱۷)

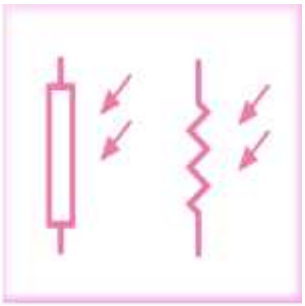
ب) ترمیستور با ضریب حرارتی منفی: (NTC)
مقدار اهم مقاومت های NTC با افزایش دما ، کاهش می یابد . در اینجا نیز واژه NTC از حروف اول کلمات عبارت Negative Temperature Coefficient به معنای ضریب حرارتی منفی گرفته شده است . . در شکل (۱۸) تصویری از یک نمونه NTC نمایش داده‌شده است . همچنین در شکل (۱۹ (علائم اختصاری NTC نمایش داده‌شده است.



شکل (۱۸)

شکل (۱۹)

مقاومت های تابع نور:
مقدار اهم این نوع از مقاومت ها به شدت نور تابیده شده به سطح مقاومت بستگی دارد . این مقاومت ها در فضای تاریک دارای مقاومت خیلی زیاد (در حد مگا اهم) و در روشنایی دارای مقاومت کم (در حد کیلو اهم و یا اهم) می باشند . به این مقاومت ها فتورزیستور و همچنین LDR نیز می گویند . از حروف اول کلمات عبارت Light Dependent Resistorبه معنای مقاومت تابع نور گرفته شده است . برای اینکه نور بر روی المان مقاومتی فتورزیستور اثر گذارد ، سطح ظاهری آن را با شیشه و یا پلاستیک شفاف می پوشانند . از این مقاومت ها در مدارات الکترونیکی به عنوان تشخیص دهنده نور)نورسنج) استفاده می شود . در شکل (۲۰) تصاویری از چند LDR و در شکل (۲۱)علائم فنی آن نمایش داده شده است.



مقاومت های تابع ولتاژ:

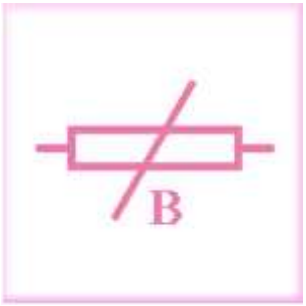
مقدار اهم این نوع از مقاومت ها با ولتاژ رابطه معکوس دارد . یعنی با افزایش ولتاژ ، مقدار اهم آن ها کاهش می یابد . به این نوع از مقاومت ها واریستور (Varistor)و همچنین VDR نیز می گویند VDR . از حروف اول کلمات عبارت Voltage Dependent Resistor به معنای مقاومت تابع ولتاژ گرفته شده است . نکته قابل توجه در مورد واریستورها این است که واریستورها به پلاریته ولتاژ اعمال شده وابسته نیستند که این خود مزیتی برای این نوع مقاومت ها محسوب می شود زیرا برای استفاده در مدارات AC بسیار مناسب هستند . در شکل (۲۲) تصویری از یک نمونه VDR و در شکل (۲۳ (علامت اختصاری آن نمایش داده شده است.

شکل(۲۲)

شکل (۲۳)

مقاومت های تابع میدان مغناطیسی:

در اثر اعمال میدان مغناطیسی بر این مقاومت ها ، مقدار اهم آنها تغییر می کند . به این مقاومت ها MDR نیز می گویند که این واژه از حروف اول کلمات عبارت Dependent Resistor Magnetic به معنای مقاومت تابع میدان مغناطیسی گرفته شده است . نکته قابل توجه در مورد این مقاومت ها این است که چون در ساخت این مقاومت ها از نیمه هادی هایی با ضریب حرارتی منفی استفاده شده است بنابراین در صورت افزایش دما ، مقدار اهم این مقاومت ها کاهش می یابد . در شکل (۲٤) علامت اختصاری MDR نمایش داده شده است.



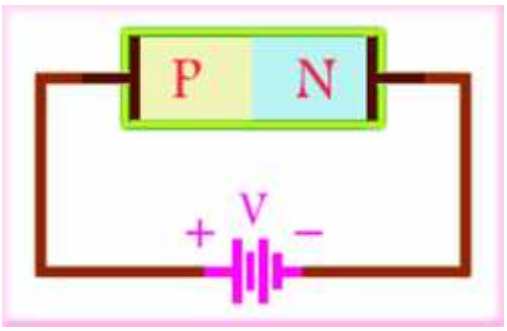
شکل (۲٤)

دیود

دیودها از نیمه هادی های نوع N و P ساخته می شوند . (برای آشنایی با نیمه هادی ها ، به صفحه آشنایی با نیمه هادی ها از همین وب سایت مراجعه فرمایید . (هرگاه دو کریستال نیمه هادی نوع N و P به هم اتصال یابند الکترونهای آزاد نیمه هادی نوع N که در نزدیکی محل اتصل P–N قرار دارند به منطقه P نفوذ می نمایند و با حفره های کریستال نوع P ترکیب می شوند و به این ترتیب حفره هایی از بین می روند و الکترونهای آزاد به صورت الکترون های ظرفیت درمی آیند . عبور یک الکترون از محل اتصال سبب ایجاد یک جفت یون می شود زیرا وقتی الکترونی از ناحیه N به ناحیه P وارد می شود در ناحیه N یک اتم پنج ظرفیتی الکترونی را از دست داده و به یون مثبت تبدیل می شود و در مقابل ، در ناحیه P یک اتم سه ظرفیتی الکترونی را دریافت می کند و به یون منفی تبدیل می شود . به این ترتیب در اثر عبور تعداد زیادی الکترون از محل اتصال نیمه هادی ها ، در محل پیوند تعداد زیادی یون مثبت و منفی ایجاد می شود . این یون ها در کریستال ثابت هستند زیرا به علت پیوند کووالانس بین الکترونهای اتم ها ، نمی توانند مانند الکترونهای آزاد حرکت کنند . بنابراین در محل پیوند ناحیه ای به نام لایه تخلیه به وجود می آید که در آن حامل های هدایت الکتریکی یعنی الکترونها و حفره ها وجود ندارند . به ناحیه تخلیه ، ناحیه سد هم گفته می شود . یون های مثبت و منفی در ناحیه تخلیه سبب ایجاد میدان الکتریکی می شوند . این میدان الکتریکی با عبور الکترونهای آزاد از محل اتصال مخالفت می کند . هرگاه میدان ایجاد شده به حدی برسد که مانع عبور الکترون از محل اتصال گردد حالت تعادل به وجود می آید و به این صورت دیود کریستالی ساخته می شود . ولتاژ ایجاد شده در ناحیه تخلیه ، پتانسیل سد نامیده می شود . در شکل (۱) ساختمان دیود نمایش داده شده است.

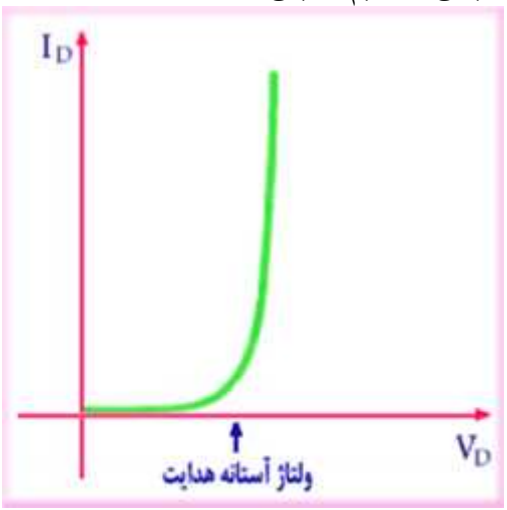
در این شکل یون های مثبت ومنفی در ناحیه تخلیه و میدان الکتریکی ایجاد شده بین یون ها و همچنین نیمه هادی های نوع N و P به خوبی نمایش داده شده است . در این شکل دایره های سفید رنگ ، بیانگر حفره ها و دایره های دنباله دار قرمز رنگ ، بیانگر الکترونهای آزاد در حال حرکت هستند . در ادامه می خواهیم به بررسی این موضوع بپردازیم که اگر ولتاژی به دو سر اتصال P–N اعمال شود چه اتفاقی روی می دهد .

بایاس کردن اتصال : P–N هرگاه به دو سر اتصال P–N ولتاژی اعمال کنیم گوییم آن را بایاس نموده ایم . بایاس کردن اتصل P–N به دو صورت مستقیم و معکوس انجام می گیرد .
بایاس مستقیم : (Forward Bias) اگر قطب مثبت منبع تغذیه را به نیمه هادی نوع P و قطب منفی منبع تغذیه را به نیمه هادی نوع Nوصل کنیم ، دیود را در بایاس مستقیم یا موافق قرار داده ایم . در شکل (۲) بایاس مستقیم دیود نمایش داده شده است.



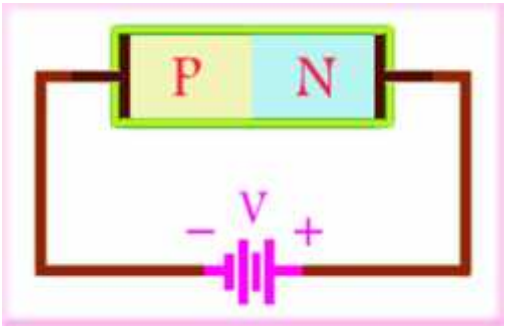
شکل ۲

هنگامی که میدان الکتریکی ناشی از منبع تغذیه ، میدان الکتریکی پتانسیل سد را خنثی می کند ، منطقه تخلیه و پتانسیل سد از بین می رود و الکترونهای کریستال N به سمت محل پیوند رانده می شوند . این الکترونها وارد کریستال نوع P شده و در اثر ترکیب با حفره ها به الکترون ظرفیت تبدیل می شوند . الکترونهای ظرفیت از حفره ای به حفره دیگر می روند تا به انتهای کریستال و سرانجام به قطب مثبت منبع تغذیه می رسند . چنین به نظر می رسد که حفره ها در کریستال نوع P در خلاف جهت حرکت الکترونها حرکت می کنند و جریانی را به وجود می آورند ، در حالی که عملاً آنها بدون حرکت هستند . در بایاس مستقیم دیود ، اگر ولتاژ دو سر دیود را به تدریج از صفر افزایش دهیم ، در ابتدا جریان کمی از مدار عبور خواهد کرد .همین که ولتاژ دو سر دیود به حدود ولتاژ تماس پیوند P–Nرسید جریان شروع به افزایش می نماید . این ولتاژ حدی را ولتاژ آستانه هدایت دیود می گویند . در شکل (۳) منحنی مشخصه ولت – آمپر دیود در بایاس مستقیم نمایش داده شده است.



شکل ۳

بایاس معکوس : (Reverse Bias) اگر قطب مثبت منبع تغذیه را به کریستال نوع N**وقطب** منفی آن را به کریستال نوع P متصل کنیم ، دیود را در بایاس معکوس یا مخالف قرار داده ایم . در شکل (٤) بایاس معکوس دیود نمایش داده شده است.



شکل ٤

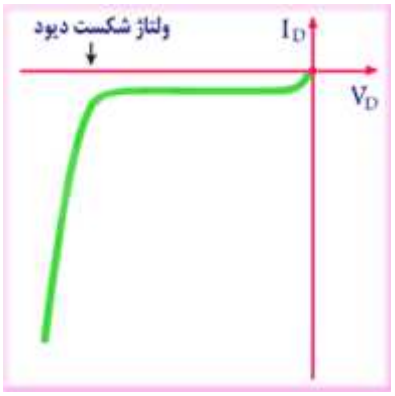
در این حالت الکترونهایی از قطب منفی منبع تغذیه وارد نیمه هادی نوع P می شوند و با حفره های مجاور ناحیه تخلیه ترکیب می شوند و به این ترتیب سبب افزایش عرض ناحیه تخلیه در نیمه هادی نوع P می شوند . همچنین در نیمه هادی نوع N ، الکترونهای اطراف ناحیه تخلیه جذب قطب مثبت منبع تغذیه می شوند و آن نواحی از الکترون تهی می شود و به این ترتیب در نیمه هادی نوع N نیز عرض ناحیه تخلیه افزایش می یابد . با افزایش ناحیه تخلیه ، پتانسیل سد نیز افزایش می یابد و این افزایش پتانسیل سد آنقدر ادامه می یابد تا پتانسیل سد با ولتاژ منبع تغذیه برابر

شود و پس از آن عرض ناحیه تخلیه ثابت خواهد ماند . علت این امر این است که زمانی که پتانسیل **سد با ولتاژ منبع** تغذیه برابر می شود در نیمه هادی نوع N ، نیروی دافعه بین یون های منفی و الکترونهای قطب منفی منبع تغذیه مانع نزدیک شدن این الکترونها به ناحیه تخلیه می شود و در نتیجه عرض ناحیه تخلیه در این نیمه هادی ثابت می **ماند** . همچنین در نیمه هادی نوع P نیز ، نیروی جاذبه بین یون های مثبت و الکترونهای اطراف ناحیه تخلیه ، مانع دور شدن این الکترونها از این نواحی می شود و در نتیجه در این نیمه هادی نیز عرض ناحیه تخلیه ثابت می ماند . البته توجه داشته باشید که در بایاس معکوس دیود ، جریان بسیار ضعیفی از دیود عبور می کند که جهت این جریان از طرف کاتد به طرف آند است و علت برقراری این جریان در دیود این است که در بایاس معکوس دیود ، در ناحیه تخلیه یک میدان الکتریکی قوی ایجاد می شود . تحت تأثیر این میدان و نیز انرژی حرارتی محیط ، بعضی از پیوند های کووالانسی بین یون ها و اتم ها شکسته شده و الکترونهایی آزاد می شوند . الکترونهای آزاد شده در خلاف جهت میدان حرکت کرده و خود را به قطب مثبت منبع تغذیه می رسانند . بعضی از این الکترونها در طول مسیر خود با حامل های اقلیت نیمه هادی نوع N یعنی حفره ها ترکیب می شوند و در اثر شکسته شدن پیوندها یی ، مجدداً همان تعداد الکترون آزاد می شود که به طرف قطب مثبت منبع تغذیه حرکت می کنند . هم زمان در نیمه هادی نوع P نیز ، حامل های اقلیت که الکترونها هستند وارد ناحیه تخلیه شده و با حفره های ایجاد شده ترکیب می شوند و همان تعداد الکترون از منبع تغذیه وارد نیمه هادی نوع P می شود و به این ترتیب جریان ضعیفی در دیود جاری می شود که به آن جریان اشباع معکوس دیود می گویند . بنابراین ، این حامل های اقلیت نیمه هادی ها هستند که سبب برقراری جریان اشباع معکوس در دیود می شوند . مقدار جریان اشباع معکوس دیود به درجه حرارت محیط وابسته است و پس از به اشباع رسیدن جریان معکوس دیود ، افزایش ولتاژ معکوس در مقدار آن تأثیری ندارد . اما آیا می توان هر مقدار ولتاژ معکوسی را به دو سر دیود وصل کرد ؟ این موضوع را در ادامه و تحت عنوان ولتاژ شکست معکوس دیود مورد بررسی قرار می دهیم .

ولتاژ شکست معکوس دیود : زمانی که ولتاژ معکوس دو سر دیود از یک مقدار مشخصی بیشتر شود جریان معکوس دیود به سرعت و به شدت افزایش می یابد و این جریان زیاد ، حرارت زیادی در دیود تولید می کند که سبب سوختن دیود می شود . به پدیده ای که در این حالت رخ می دهد پدیده شکست و به ولتاژی که در آن ، این پدیده آغاز می شود ولتاژ شکست معکوس دیود می گویند . پدیده شکست دیود می تواند حاصل یکی از دو پدیده شکست ضرب بهمنی و یا شکست زنر باشد که در ادامه به بررسی آنها می پردازیم .

پدیده شکست ضرب بهمنی : دیدیم که در بایاس معکوس دیود با زیاد شدن ولتاژ معکوس ، عرض ناحیه تخلیه بیشتر می شود و همچنین شدت میدان الکتریکی در این ناحیه افزایش می یابد . حال اگر ولتاژ معکوس دیود به مقدار خاصی برسد ، در اثر میدان الکتریکی قوی ایجاد شده ، حامل های اقلیت نیمه هادی نوع P در خلاف جهت میدان شروع به حرکت کرده و به سرعت شتاب می گیرند . این حامل ها با شتاب گرفتن خود می توانند با شدت زیاد با یون ها و اتم های واقع در ناحیه تخلیه برخورد نموده و ضمن شکستن پیوندهای کووالانس آنها ، تعدادی حامل جدید را نیز آزاد نمایند . حامل های جدید نیز تحت تأثیر میدان الکتریکی زیاد در ناحیه تخلیه قرار گرفته و پس از برخورد با یون ها و اتم های دیگر ، حامل های بیشتری را از پیوندهای کووالانس آنها جدا می سازند . بنابراین تعداد حامل هایی که می توانند در ایجاد جریان دخالت کنند بطور ناگهانی افزایش یافته و باعث افزایش سریع جریان می شوند . این پدیده را که موجب افزایش ناگهانی جریان معکوس دیود می شود ، پدیده شکست ضرب بهمنی گویند .

پدیده شکست زنر : با زیاد شدن ولتاژ معکوس دیود ، شدت میدان الکتریکی در ناحیه تخلیه ممکن است به حدی برسد که بتواند مستقیماً پیوندهای کووالانسی موجود در این ناحیه را شکسته و الکترونهای زیادی را آزاد نماید . در این حالت جدا شدن الکترونها ناشی از برخورد سایر الکترونها با آنها نبوده ، بلکه ناشی از تأثیر مستقیم میدان الکتریکی ناحیه تخلیه بر آنها است . این پدیده نیز باعث افزایش سریع جریان معکوس دیود می شود .
در شکل (0) منحنی مشخصه ولت – آمپر دیود در بایاس معکوس نمایش داده شده است.



مقادیر حد در دیودها : برخی از کمیت های دیود اگر از میزان ماکزیمم بیشتر شوند به دیود آسیب می رسانند . مقادیر ماکزیمم این کمیت ها مقادیر حد دیود نام دارند . برخی از مقادیر حد که در کتاب مشخصات دیودها آورده می شوند و با توجه به طراحی می توان از آنها استفاده نمود عبارتند از :

۱-حداکثر ولتاژ معکوس : حداکثر ولتاژی که در بایاس معکوس می تواند در دو سر دیود قرار گیرد بطوری که دیود آسیب نبیند ، حداکثر ولتاژ معکوس دیود نام دارد . معمولاً چهار پارامتر برای حداکثر ولتاژ معکوس قید می شود که این چهار پارامتر عبارتند از :

الف) حداکثر ولتاژ معکوس : DC حداکثر ولتاژ DC اعمال شده به دو سر دیود در بایاس معکوس که دیود می تواند تحمل کند را حداکثر ولتاژ معکوس DC می گویند و آن را با V_R نمایش می دهند .

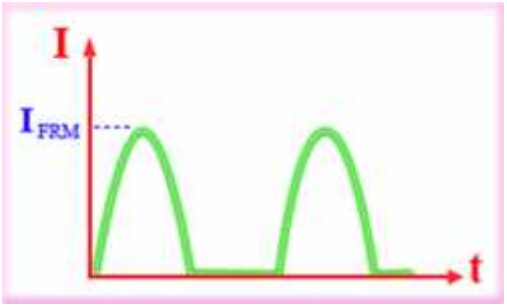
ب) حداکثر ولتاژ معکوس مؤثر : حداکثر ولتاژ مؤثری که به صورت معکوس می تواند در دو سر دیود قرار گیرد به طوری که دیود آسیب نبیند و آن را با $V_{R(rms)}$نمایش می دهند .

ج) ولتاژ معکوس قابل تحمل در وضعیت کار عادی : حداکثر ولتاژ معکوس قابل تحمل توسط دیود در وضعیت کار عادی را ولتاژ معکوس قابل تحمل در وضعیت کار عادی می گویند و آن را با V_{RWM} نمایش می دهند .

د) ماکزیمم ولتاژ معکوس تکرار سیکل ها : حداکثر ولتاژ معکوسی که به صورت تکرار سیکل ها می تواند در دو سر دیود قرار بگیرد بطوری که دیود آسیب نبیند را ماکزیمم ولتاژ معکوس تکرار سیکل ها می گویند و آن را با V_{RRM}نمایش می دهند .

۲-حداکثر جریان مستقیم : به حداکثر جریان DC یا متوسط که می توان از دیود در گرایش مستقیم عبور داد به گونه ای که دیود آسیب نبیند حداکثر جریان مستقیم دیود می گویند و آن را با I_F نمایش می دهند . در اثر عبور این جریان در محل اتصال P–N حرارت ایجاد می شود . اگر در هوای آزاد ، حرارت ایجاد شده در دیود خوب دفع نشود دیود را روی گرماگیر نصب نمود .

۳- حداکثر جریان تکرای : حداکثر جریانی که به صورت تکرار سیکل ها در بایاس مستقیم در دیود جاری می شود را حداکثر جریان تکراری دیود می گویند و آن را با I_{FRM} نمایش می دهند . در شکل (٦) یک نمونه جریان تکراری نمایش داده شده است.

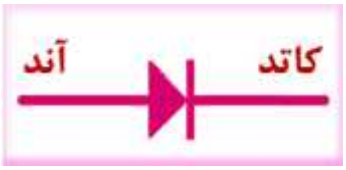


شکل ٦

٤ -حداکثر جریان لحظه ای : حداکثر جریانی که در زمان بسیار کوتاه (حدود چند میکروثانیه) می تواند از دیود عبور کند به گونه ای که به دیود آسیب نرسد را حداکثر جریان لحظه ای دیود گویند و آن را با I_{FSM} نمایش می دهند .

٥ - درجه حرارت محل پیوند : حداکثر حرارتی که در یک دیود ، در محل پیوند نیمه هادی های N و P می تواند ایجاد شود به طوری که به دیود آسیب نرسد و آن را با T_j نمایش داده می شود .

انواع دیود : دیودها انواع مختلفی دارند که در ادامه به بررسی آنها می پردازیم .
دیود معمولی : دیودهای معمولی سیلیسیمی در بایاس مستقیم و به ازای ولتاژهای کمتر از ۰.۵ ولت جریانی را از خود عبور نمی دهند . اگر ولتاژ بایاس بین ۰.۵ تا حدود ۰.٦٥ ولت شود ، جریان ضعیفی در دیود برقرار می شود و اگر ولتاژ بایاس بیشتر از این مقدار شود جریان دیود به طور ناگهانی افزایش می یابد . بنابراین ولتاژ آستانه هدایت دیود معمولی سیلیسیمی حدود ۰.٦٥ ولت می باشد .دیودهای معمولی ژرمانیومی دارای ولتاژ آستانه هدایت ۰.۲ ولت می باشند . این دیودها در بایاس مستقیم ، به ازای ولتاژ بایاس کمتر از ۰.۱ ولت جریانی را از خود عبور نمی دهند و اگر ولتاژ بایاس بین ۰.۱ تا ۰.۲ولت شود ، جریان ضعیفی در دیود برقرار می شود و در صورتی که مقدار ولتاژ بایاس از ۰.۲ ولت بیشتر شود ، جریان دیود به طور ناگهانی افزایش می یابد . دیودهای معمولی دارای ولتاژ شکست معکوس بالایی هستند که مقدار ولتاژ شکست معکوس هر نوع دیود توسط کارخانه سازنده آن مشخص می شود .
دیودهای معمولی ، از نظر شکل ظاهری انواع مختلفی دارند اما علامت اختصاری همه آنها یکسان است . در شکل (۷) علامت اختصاری دیود معمولی نمایش داده شده است.



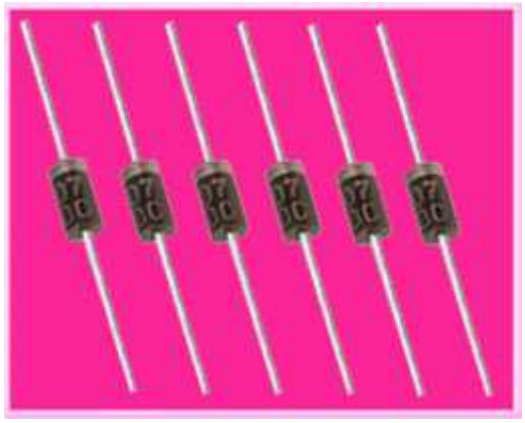
شکل ۷

در شکل (۷) ، علامت مثلث ، جهت جریان قراردادی در دیود به ازای بایاس مستقیم را نشان می دهد . همچنین نیمه هادی نوع P ، آند و نیمه هادی نوع N ، کاتد نام گذاری شده است و شرط هدایت دیود این است که ولتاژ آند حداقل به اندازه ولتاژ آستانه هدایت دیود ، بیشتر از کاتد باشد . معمولاً بر روی دیود ، پایه کاتد توسط یک نوار رنگی و یا یک نقطه مشخص می شود و گاهی نیز بر روی دیود علامت اختصاری آن را درج می کنند که در این صورت تشخیص پایه های دیود مطابق شکل (۷) می باشد . تعدادی از دیودهای معمولی که کاربرد زیادی دارند دیودهای ۱N٤۰۰۱تا ۱N٤۰۰۷هستند . این دیودها در مدارهای مختلف از جمله در مدارهای یکسوساز به وفور مورد استفاده قرار می گیرند . در جدول شماره (۱) این دیودها از نظر مقادیر حد ، با یکدیگر مقایسه شده اند.

حروف اختصاری	۱N٤۰۰۱	۱N٤۰۰۲	۱N٤۰۰۳	۱N٤۰۰٤	۱N٤۰۰٥	۱N٤۰۰٦	۱N٤۰۰۷	واحد
V_{RRM}	٥۰	۱۰۰	۲۰۰	٤۰۰	٦۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	ولت

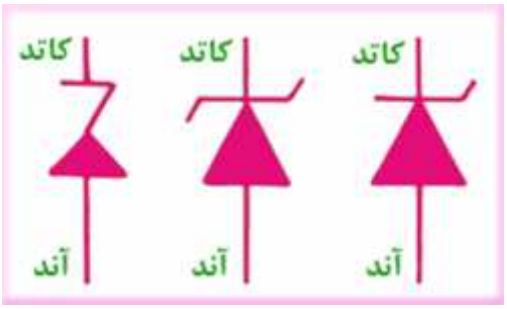
V_{RWM} V_R								
V_{RSM}	۶۰	۱۲۰	۲۴۰	۴۸۰	۷۲۰	۱۰۰۰	۱۲۰۰	ولت
$V_{R(rms)}$	۳۵	۷۰	۱۴۰	۲۸۰	۴۲۰	۵۶۰	۷۰۰	ولت
I_F	۱							آمپر
I_{FSM}	۳۰برای یک سیکل							آمپر
T_j	− ۶۵ to +۱۷۵							درجه سانتی گراد

در شکل (۸) تصویری از چند دیود معمولی N۴۰۰۷ ۱نمایش داده شده است.



شکل ۸

دیود زنر : (Zener Diode) دیود زنر هم مانند دیود معمولی از اتصال دو کریستال P و N ساخته می شود . جنس نیمه هادی های این دیود از سیلیسیم بوده و در بایاس موافق مانند یک دیود معمولی سیلیسیمی عمل می کند . بر خلاف دیود های معمولی که در بایاس مخالف ، در منطقه شکست آسیب می بینند ، دیودهای زنر به گونه ای ساخته می شوند تا بتوانند در منطقه شکست کار کنند . وقتی ولتاژ بایاس مخالف دیود زنر را به تدریج افزایش دهیم ، در یک ولتاژ خاص دیود شروع به هدایت می کند. ولتاژی که دیود زنر به ازای آن در بایاس معکوس هادی می شود به ولتاژ شکست زنر معروف است . در کارخانه های سازنده دیود زنر ، با تنظیم میزان ناخالصی در این دیودها ، دیودهایی با ولتاژ های شکست مختلف ساخته می شوند . با هادی شدن دیود در ولتاژ شکست دیود ، ولتاژ دو سر دیود تقریباً ثابت می ماند و جریان عبوری از دیود افزایش می یابد . از این خاصیت دیود زنر برای تثبیت ولتاژ استفاده می شود . منحنی مشخصه ولت – آمپر دیود زنر شبیه به منحنی مشخصه ولت – آمپر دیود معمولی است . در شکل (۹ (**علائم** اختصاری دیود زنر نمایش داده**شده است.**



شکل ۹

استاندارد ولتاژهای زنر :دیود زنر در ولتاژهای شکست مختلف مطابق استاندارد سری E ساخته می شود . دو سری **استاندارد** $E_{۱۲}$ و $E_{۲٤}$ **متداول تر است . ولتاژ زنر معمولاً از ۲.٤ ولت تا ۲۰۰** ولت ساخته می شود. سری $E_{۱۲}$ دارای **تلرانس ۱۰ درصد و** سری $E_{۲٤}$ دارای تلرانس **۵ درصد است** . معمولاً تلرانس همراه با ولتاژ شکست بر روی دیود نوشته می شود . حرف C برای تلرانس **۵ درصد و حرف** D برای تلرانس ۱۰ درصد به کار می رود .

توان دیودهای زنر : جریانی که در بایاس معکوس ، از دیود زنر عبور می کند اگر زیاد شود باعث سوختن دیود می شود . زیرا این جریان باعث به وجود آمدن حرارت در محل پیوند P–N می شود . حداکثر جریانی که به ازای آن ، دیود معیوب نمی شود بستگی به توان زنر و ولتاژ شکست زنر دارد . توان دیود زنر از رابطه زیر به دست می آید.

که در این رابطه P_Z توان دیود زنر ، V_Zولتاژ شکست زنر و I_Z حداکثر جریانی است که می تواند در بایاس معکوس از دیود زنر عبور کند . بنابراین در صورت داشتن توان زنر و ولتاژ شکست آن ، می توان با استفاده از فرمول بالا حداکثر جریانی که می تواند در بایاس معکوس از دیود عبور کند به طوری که دیود آسیب نبیند را به دست آورد . دیددهای زنر معمولاً برای توان های **۰.۱۵ ولت تا ۵۰** وات ساخته می شوند . در شکل (۱۰)یک نمونه دیود زنر توان پایین و در شکل (۱۱)نیز یک نمونه دیود زنر توان بالا نمایش داده شده است.

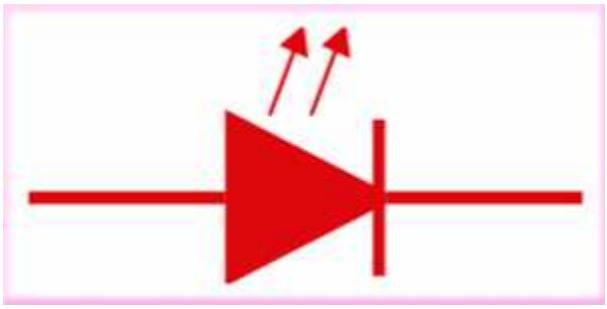
شکل (۱۰)

شکل (۱۱)

ضریب حرارتی دیود زنر :مقدار ولتاژ دیود زنر در اثر گرما تغییر می کند . کارخانجات سازنده برای هر دیود زنر ضریبی را تعیین می کنند که این ضریب بیانگر این است که به ازای تغییر حرارت به اندازه یک درجه ، ولتاژ زنر چه تغییری می کند . این ضریب را ضریب حرارتی دیود زنر می نامند . ضریب حرارتی دیود زنر با ولتاژ شکست ۵.۱ ولت تا ۵.٦ولت تقریباً صفر است و برای ولتاژهای کمتر از این مقدار ضریب حرارتی منفی و برای ولتاژهای بیشتر از این مقدار ضریب حرارتی مثبت می باشد .

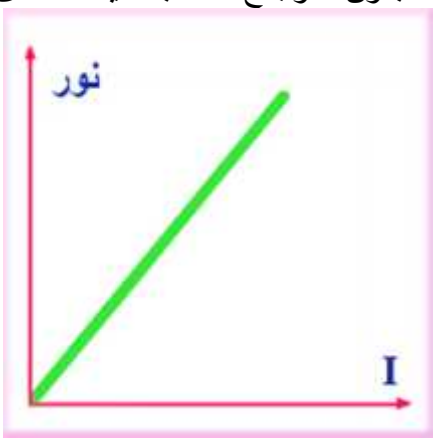
دیود نور دهنده یا : LED واژه LEDاز عبارت Light Emitting Diode به معنای دیود منتشر کننده نور گرفته شده است . دیود نور دهنده از دو نیمه هادی نوع N و P ساخته شده است . هرگاه این دیود در بایاس مستقیم قرار گیرد و جریان به اندازه کافی باشد ، دیود از خود نور تولید می کند . نور تولیدی در محل اتصال نیمه هادی های N و Pایجاد می شود . رنگ نور تولیدی به جنس نیمه هادی های استفاده شده در دیود بستگی دارد و این دیودها معمولاً دارای نورهایی به رنگ های آبی ، قرمز ، زرد ، نارنجی ، سفید و سبز هستند . نور تولید شده ، نتیجه بعضی از ترکیبات بین الکترونها و حفره ها می باشد که به صورت پالس های نور ظاهر می شود . لازم به تذکر است که این عمل برای دیودهای معمولی نیز اتفاق می افتد ولی در این دیودها فرکانس نور تولید شده به اندازه ای است که نور قابل رؤیت نمی باشد . بیشترین نور در محل اتصال نیمه هادی های نوع N و P تولید می شود زیرا در این محل ، الکترونها و حفره های بیشتری با یکدیگر ترکیب می شوند . در شکل (۱۲) تصویری از چند LED و در شکل (۱۳) علامت اختصاری آن نمایش داده شده است.

شکل ۱۲



شکل ۱۳

در شکل (۱٤) منحنی نور تولید شده توسط دیود نور دهنده ، نسبت به جریان عبوری از آن نمایش داده شده است . همانطور که مشاهده می کنید این منحنی کاملاً خطی است . بنابراین به وسیله دیود نور دهنده می توان سیگنال های الکتریکی را به نور تبدیل نمود و آنها را به روشهای مختلف از جمله با استفاده از فیبرهای نوری ارسال کرد و در انتهای مسیر مجدداً نور دریافت شده را که بدون اعوجاج است به سیگنال های الکتریکی تبدیل نمود.

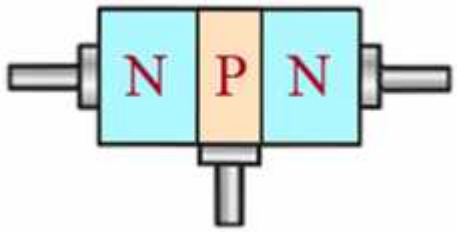


شکل ۱٤

مقدار نوری که از دیود نور دهنده خارج می شود به وسیله شکل فیزیکی آن کنترل می شود . شکل نیم کره ای قادر به خارج کردن نور بیشتری است و به همین دلیل این شکل فیزیکی بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد . اما استفاده از دیود نور دهنده مزایای زیادی دارد از جمله کوچک بودن اندازه آن ، داشتن عمر کارکرد بالا حدود یکصد هزار **ساعت** ، داشتن سرعت بالا در قطع و وصل نور ، تلفات حرارتی کم ، داشتن ولتاژ کار کم (بین ۱.۷ **تا** ۳.۳ **ولت**) ، مصرف جریان کم حدود چند میلی آمپرو داشتن توان کم حدود ۱۰ **تا** ۱۵۰ میلی وات.

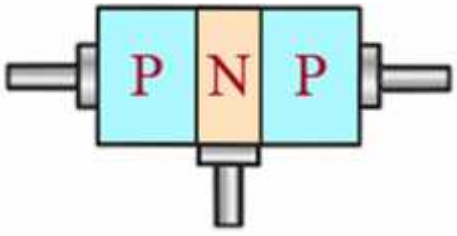
ترانزیستور

ترانزیستور یکی از پرکاربردترین قطعات در صنعت الکترونیک است که با اختراع آن در سال ۱۹۴۷ میلادی تحولی عظیم در صنعت الکترونیک به وقوع پیوست . ترانزیستور معمولی ، یک المان سه قطبی معمولی است که از سه عدد نیمه هادی نوع N و P تشکیل شده است . (برای آشنایی با نیمه هادی ها ، به صفحه آشنایی با نیمه هادی ها از همین وب سایت مراجعه فرمایید . (این نیمه هادی ها به دو شکل می توانند در کنار هم قرار گیرند .
الف) دو نیمه هادی نوع N در دو طرف و یک نیمه هادی نوع P در وسط قرار می گیرند که در این حالت ترانزیستور را NPN می نامند . در شکل (۱) نمایی از ساختمان این نوع ترانزیستور نمایش داده شده است.



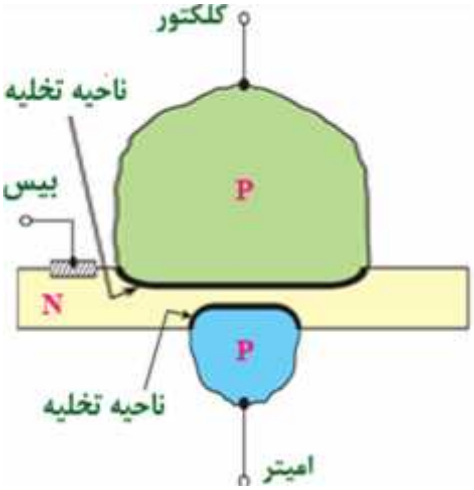
شکل ۱

ب) دو نیمه هادی نوع P در دو طرف و یک نیمه هادی نوع N در وسط قرار می گیرند که در این حالت ترانزیستور را PNP می نامند . در شکل (۲) نمایی از ساختمان این نوع ترانزیستور نمایش داده شده است.



شکل ۲

پایه های ترانزیستور را امیتر (Emitter) ، بیس (Base)و کلکتور (Collector) می نامند که امیتر را با حرف E ، بیس را با حرف B و کلکتور را با حرف C نمایش می دهند .
نیمه هادی نوع N یا P که به عنوان امیتر به کار می رود ، نسبت به لایه های بیس و کلکتور دارای ناخالصی بیشتری می باشد . ضخامت این لایه حدود چند ده میکرون است و سطح تماس آن نیز بستگی به فرکانس کار و قدرت ترانزیستور دارد .
لایه بیس نسبت به لایه های کلکتور و امیتر دارای ناخالصی کمتری است و ضخامت آن نیز به مراتب کمتر از ضخامت لایه های امیتر و کلکتور می باشد و عملاً از چند میکرون تجاوز نمی کند .
ناخالصی لایه کلکتور از لایه امیتر کمتر و از لایه بیس بیشتر است . ضخامت این لایه به مراتب بزرگتر از ضخامت لایه امیتر می باشد زیرا تقریباً تمامی تلفات حرارتی ترانزیستور در لایه کلکتور ایجاد می شود . سطح تماس لایه کلکتور با لایه بیس حدوداً نه برابر سطح تماس لایه امیتر با لایه بیس می باشد .
در شکل (۳) تصویری از نسبت تقریبی ضخامت و سطح تماس لایه های ترانزیستور نمایش داده شده است.

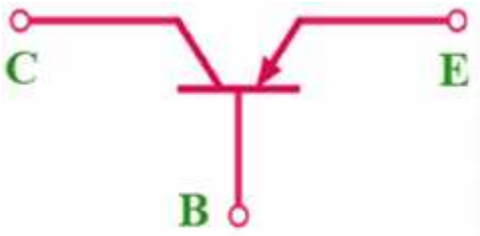


شکل ۳

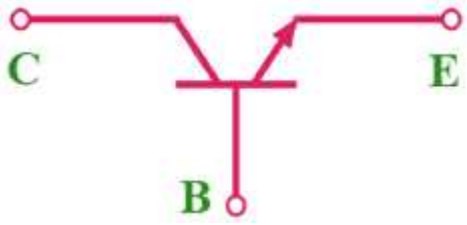
این نوع ترانزیستورها را به اختصار BJT می نامند که از عبارت Bipolar Junction Transistor به معنای ترانزیستور پیوندی دوقطبی گرفته شده است . در شکل (٤) یک نمونه ترانزیستور BJT نمایش داده شده است.

شکل ٤

در مدارها برای نشان دادن ترانزیستور از علامت اختصاری آنها استفاده می کنند . در شکل (٥) علامت اختصاری ترانزیستور PNP و در شکل (٦) علامت اختصاری ترانزیستور NPN نمایش داده شده است . جهت فلش در علامت اختصاری ترانزیستور ، نشان دهنده جهت قراردادی جریان در پیوند بیس – امیتر است.

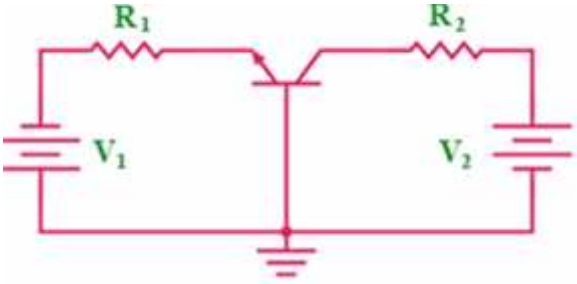


شکل ٥



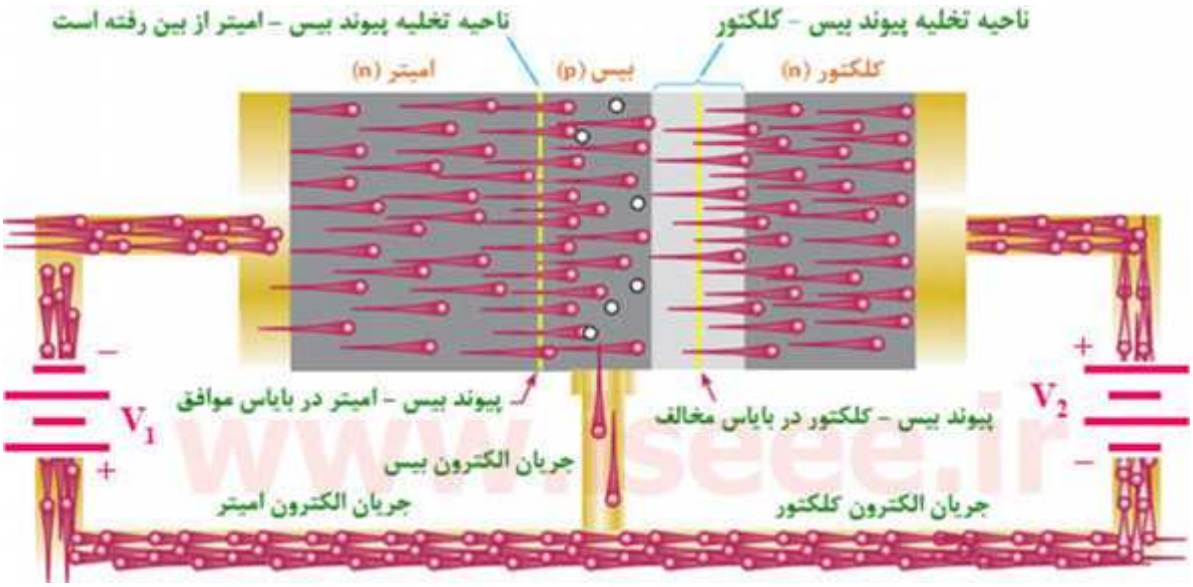
شکل ٦

بایاسینگ ترانزیستور : به منظور فعال کردن ترانزیستور در مدار ، ابتدا باید ترانزیستور را از نظر ولتاژ DC تغذیه کرد . عمل تغذیه ولتاژ پایه های ترانزیستور را بایاسینگ ترانزیستور می گویند . برای اینکه ترانزیستور عمل تقویت جریان و یا تقویت ولتاژ را به درستی انجام دهد باید اتصال بیس – امیتر در بایاس مستقیم و اتصال بیس – کلکتور در بایاس معکوس باشد . در شکل (۷)این نوع بایاسینگ برای یک ترانزیستور NPN نمایش داده شده است .



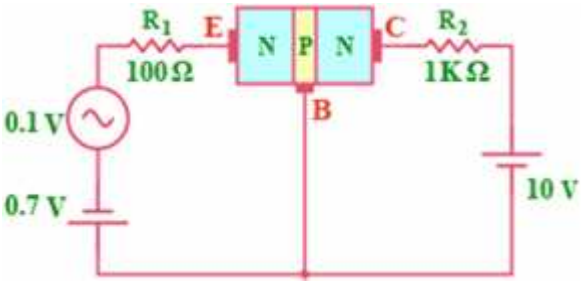
شکل ۷

چون پیوند بیس – امیتر ، در بایاس مستقیم است ناحیه تخلیه پیوند بیس – امیتر از بین می رود)جهت آشنایی با اتصال نیمه هادی ها و ایجاد ناحیه تخلیه بین آنها و نیز تأثیر بایاس مستقیم و معکوس بر ناحیه تخلیه ، به صفحه دیود از همین وب سایت مراجعه فرمایید) و الکترونهای قطب منفی منبع تغذیه V_1 **پس از عبور از مقاومت** R_1 که به منظور کنترل جریان مورد استفاده قرار گرفته ، وارد لایه امیتر می شوند و پس از عبور از لایه امیتر خود را به لایه بیس می رسانند . اما در این زمان با توجه به اینکه پیوند بیس – کلکتور در بایاس معکوس است و عرض ناحیه تخلیه این پیوند زیاد است انتظار می رود که تمامی الکترونهای موجود در لایه بیس از طریق پایه بیس خود را به قطب مثبت منبع تغذیه V_1 برسانند و هیچ الکترونی از لایه بیس وارد لایه کلکتور نشود اما در عمل چنین اتفاقی نمی افتد بلکه قسمت اعظم الکترونهای موجود در لایه بیس وارد لایه کلکتور می شوند و پس از عبور از این لایه و مقاومت R_2خود را به قطب مثبت منبع تغذیه V_2 می رسانند و فقط تعداد کمی از الکترونهای موجود در لایه بیس ، خود را از طریق پایه بیس به قطب مثبت منبع تغذیه V_1 می رسانند . علت این عمل این است که اولاً ولتاژ پایه کلکتور بیشتر از ولتاژ پایه بیس است و این ولتاژ قادر است الکترونهای موجود در لایه بیس را به طرف خود جذب کند . ثانیاً لایه بیس بسیار نازک است و الکترونها به محض وارد شدن به لایه بیس ، جذب کلکتور می شوند . ثالثاً سطح کلکتور **حدود ۹** برابر بزرگتر از سطح امیتر است لذا احاطه کامل بر ورود الکترونهای وارد شده به بیس داشته و تقریباً تمامی آنها را جذب می کند . رابعاً ناخالصی بیس کم است و در نتیجه الکترونهای وارد شده به بیس ، کمتر با حفره ها ترکیب می شوند و تعداد زیادی از آنها به صورت الکترون آزاد باقی می مانند . با توجه به مطالب فوق تقریباً بیش از ۹۰% الکترونهایی که وارد بیس می شوند مدار خود را از طریق کلکتور می بندند . در شکل (۸) نسبت تقریبی تقسیم الکترونها بین امیتر ، کلکتور و بیس نمایش داده شده است.



شکل ۸

حال که با بایاسینگ صحیح ترانزیستور آشنا شدید می خواهیم بررسی کنیم که ترانزیستور چگونه عمل تقویت کنندگی را انجام می دهد . برای تقویت یک سیگنال الکتریکی توسط ترانزیستور ، باید سیگنال الکتریکی را به ورودی ترانزیستور داده و از خروجی ترانزیستور ، سیگنال تقویت شده را دریافت کنیم . در شکل (۹)مدار مربوط به تقویت سیگنال الکتریکی توسط ترانزیستور نمایش داده شده است.



شکل ۹

در این شکل پایه بیس به عنوان پایه مشترک بین ورودی و خروجی و پیوند امیتر – بیس به عنوان ورودی و پیوند کلکتور – بیس به عنوان خروجی آن در نظر گرفته شده است . پیوند بیس – امیتر در بایاس مستقیم است و لذا مقاومت آن کم می باشد اما پیوند بیس – کلکتور در بایاس معکوس بوده و لذا مقاومت زیادی دارد . حال یک مقاومت مثلاً ۱۰۰ اهمی را جهت کنترل جریان در ورودی ترانزیستور با اتصال بیس – امیتر سری می نماییم . از آن جایی که اتصال کلکتور – بیس در بایاس معکوس می باشد لذا سری کردن یک مقاومت زیاد مثلاً ۱ کیلو اهمی ، اثر چندانی روی ترانزیستور ندارد . یک سیگنال متناوب با دامنه مثلاً ۰.۱ ولت را به ورودی ترانزیستور اعمال می کنیم . ولتاژ امیتر – بیس را نیز حدود ۰.۷ ولت انتخاب می کنیم زیرا ۰.۷ ولت ، پیوند امیتر – بیس را کاملاً هادی می کند . ولتاژ کلکتور – بیس را نیز حدود ۱۰ ولت انتخاب می کنیم و چون پیوند کلکتور – بیس در بایاس معکوس است لذا هیچ گونه اشکالی در مدار به وجود نمی آید . حال اگر مقاومت دینامیکی پیوند امیتر – بیس را مثلاً ۲۰ اهم فرض کنیم جریانی که در پیوند امیتر – بیس برقرار می شود برابر است با:

$$I = \frac{0.1V}{100\Omega + 20\Omega} = 0.83mA$$

همانطور که قبلاً گفته شد قسمت اعظم جریان گذرنده از پیوند امیتر – بیس از طریق کلکتور مسیر خود را می بندد و لذا این جریان از کلکتور و مقاومت یک کیلو اهمی که با کلکتور سری شده است نیز عبور می کند و در دو سر مقاومت یک کیلو اهمی افت ولتاژ متناوبی ایجاد می شود که مقدار آن برابر است با:

$$V = 0.83mA \times 1K\Omega = 0.83V$$

همانطور که مشاهده می کنید این ولتاژ خیلی بیشتر از ولتاژ متناوب ورودی است .لذا می توان سیگنال تقویت شده را از دو سر مقاومت یک کیلو اهمی دریافت کرد . ضریب تقویت یا بهره ولتاژ این مدار از رابطه زیر بدست می آید.

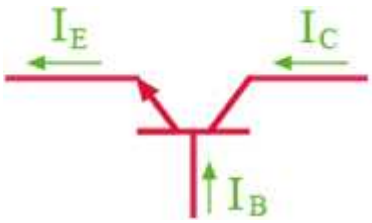
$$A_V = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی}}{\text{دامنه سیگنال ورودی}} = \frac{0.83\,V}{0.1\,V} = 8.3$$

بنابراین با طراحی مدارات ترانزیستوری و با تغییر مقاومت ها می توان دامنه سیگنال را به هر مقدار دلخواه تقویت نمود . همانطور که مشاهده کردید جریانی که از مقاومت ۱۰۰ اهمی عبور کرد از مقاومت یک کیلو اهمی نیز عبور می نماید و این عمل ، توسط ترانزیستور انجام می شود . لذا می توان گفت که ترانزیستور در یک جریان ثابت عمل انتقال مقاومت را انجام می دهد . نام ترانزیستور نیز از همین عمل ترانزیستور یعنی انتقال مقاومت گرفته شده است یعنی کلمه Transistor از عبارت Transfer of resistor به معنای انتقال مقاومت گرفته شده است .

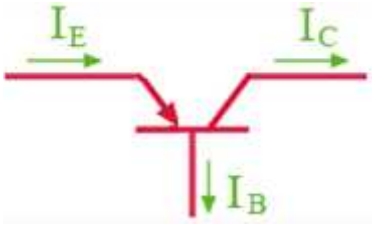
جهت جریان در ترانزیستور : جریانی را که از کلکتور عبور می کند با I_C و جریانی را که از بیس عبور می کند با I_Bو جریانی را که از امیتر عبور می کند با I_E نمایش می دهند . همانطور که قبلاً گفته شد جریانی که از امیتر عبور می کند به دو انشعاب تقسیم می شود . قسمت بسیار کمی از جریان امیتر از بیس و قسمت اعظم آن از کلکتور عبور می کند و لذا جریان امیتر برابر است با جریان بیس به علاوه جریان کلتکور یعنی داریم:

$$I_E = I_B + I_C$$

برای سادگی و درک جهت جریان ، معمولاً جهت قراردادی جریان را در نظر می گیرند . در جهت قراردادی ، جریان از قطب مثبت منبع تغذیه خارج شده و پس از عبور از مدار خارجی به قطب منفی آن وارد می شود . در شکل (۱۰) جهت قراردادی جریان در ترانزیستور NPN و در شکل (۱۱) جهت قراردادی جریان در ترانزیستور PNP نمایش داده شده است.



شکل ۱۰



شکل ۱۱

نامگذاری ولتاژ ترانزیستور : قبلاً گفتیم که برای استفاده از ترانزیستور باید اول بایاسینگ ترانزیستور را تأمین کنیم . ولتاژهایی که به این منظور به قسمت های مختلف ترانزیستور اعمال می شود با هم فرق می کنند . این ولتاژها به این ترتیب نامگذاری می شوند که ولتاژی که بین پایه های بیس و امیتر قرار دارد با V_{BE} ، ولتاژی که بین پایه های کلکتور و بیس قرار دارد با V_{CB} ، ولتاژی که بین پایه های کلکتور و امیتر قرار دارد با V_{CE} ، ولتاژ منبع تغذیه

کلکتور را با V_{CC} و ولتاژی که انرژی بیس را تأمین می کند با V_{BB} نشان می دهند . بین ولتاژهای پایه های ترانزیستور رابطه زیر برقرار است.

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

تأثیر درجه حرارت بر ترانزیستور : افزایش درجه حرارت بیشتر بر روی جریان معکوس پیوند بیس – کلکتور نسبت به جریان های دیگر اثر می گذارد . با توجه به اینکه پیوند بیس – کلکتور در بایاس مخالف قرار دارد جریان بسیار ضعیفی که عامل آن حامل های اقلیت هستند از کلکتور به طرف بیس جاری می شود و افزایش درجه حرارت باعث می شود که تعداد بیشتری از پیوندها شکسته شده و الکترون های بیشتری آزاد گردند و در نتیجه جریان معکوس پیوند بیس – کلکتور افزایش می یابد . این جریان را جریان قطع کلکتور نامیده و آن را با I_{CO} یا I_{CBO} نمایش می دهند .

مقادیر حد در ترانزیستورها : هر المان نیمه هادی ، از جمله ترانزیستور ، برای مقادیر الکتریکی مشخصی ساخته می شود . مثلاً هر ترانزیستوری را برای تحمل توان مشخصی می سازند . اگر مقادیر الکتریکی اعمال شده به ترانزیستور بیشتر از آنچه کارخانه سازنده مشخص کرده است باشد ، ترانزیستور معیوب می شود . این مقادیر الکتریکی به مقادیر حد معروفند . کارخانجات سازنده ، حداکثر مقدار مجاز مقادیر الکتریکی را مشخص می کنند . مهمترین این مقادیر عبارتند از :

۱- حداکثر ولتاژ کلکتور – امیتر : این پارامتر ، حداکثر ولتاژ مجاز بین پایه های کلکتور و امیتر را مشخص می کند و آن را با V_{CEmax} نمایش می دهند .

۲-حداکثر جریان کلکتور : حداکثر جریانی است که ترانزیستور می تواند در دمای مشخص شده از طرف کارخانه سازنده ، تحمل کند و آن را با I_{Cmax} نمایش می دهند .

۳-حداکثر توان : حداکثر توانی است که می تواند در یک ترانزیستور به صورت حرارت تلف شود و آن را با P_{max} نمایش می دهند .

٤-حداکثر درجه حرارت محل پیوند : حداکثر درجه حرارتی است که در محل اتصال کلکتور – بیس ، ترانزیستور می تواند تحمل کند و آن را با T_j نمایش می دهند .

نامگذاری ترانزیستورها : برای نامگذاری ترانزیستورها ، سه روش مشهور در دنیا وجود دارد اگر چه تعدادی از کارخانجات در گوشه و کنار دنیا از سیستم نامگذاری خاصی استفاده می کنند . این سه روش عبارتند از -۱ : **روش** ژاپنی -۲روش اروپایی -۳روش آمریکایی

روش ژاپنی : در این سیستم ، نامگذاری ترانزیستور را با عدد ۲ شروع کرده و به دنبال آن حرف S را می آورند . **بعد از حرف و عدد ۲ S**، یکی از حروف C ، B، Aو D را قرار می دهند که هر یک مفاهیمی به شرح زیر دارند
حرف A :این حرف نشان دهنده این است که ترانزیستور **از نوع** PNP بوده و در فرکانس های بالا نیز می تواند کار کند .
حرف B :این حرف نشان دهنده این است که ترانزیستور از نوع PNP بوده و در فرکانس های کم می تواند کار کند

حرف C: این حرف نشان دهنده این است که ترانزیستور از نوع NPN بوده و در فرکانس های بالا نیز می **تواند** کار کند .
حرف D : این حرف نشان دهنده این است که ترانزیستور از نوع NPN بوده و در فرکانس های کم می تواند کار کند

بعد از این حروف تعداد ۲ یا ۳ یا ٤ رقم قرار می گیرد که با مراجعه به جدول مشخصات ترانزیستورها ، می توان مقادیر مشخصه های الکتریکی آن را بدست **آورد** .در این سیستم ، حروف روی ترانزیستور ، مشخص کننده جنس نیمه هادی به کار رفته (ژرمانیوم یا سیلیسیم) و همچنین حدود قدرت آن نمی باشد . مثلاً المان ۲ SC۸۲۹**نشان** دهنده ترانزیستور از نوع NPN با محدوده فرکانسی بالا می باشد . لازم به تذکر است که بر روی اکثر ترانزیستورها **، حرف** ۲ Sرا قید نمی نمایند . مثلاً C۸۲۹ همان ۲ SC۸۲۹می باشد .

روش اروپایی : در نامگذاری به روش اروپایی ، تا سال ۱۹٦۰ ، ترانزیستور را با حروف OC **و** OD و با دو ، سه یا چهار عدد به دنبال آنها مشخص می کردند که OCبرای ترانزیستورهای کم قدرت و OD برای ترانزیستورهی قدرت به کار می رفت مانند . OC۷۲ در این روش نامگذاری ، نوع ترانزیستور و جنس نیمه هادی به کار رفته در آن و نیز محدوده فرکانسی آن مشخص نبود . از سال ۱۹٦۰ به بعد ، سیستم نامگذاری ترانزیستورها تغییر کرد . بدین نحو که ترانزیستورهای به کار رفته در رادیو و تلویزیون و یا در وسایل الکتریکی عمومی بیشتر با دو حرف و سه شماره و ترانزیستورهای خاص با سه حرف و دو شماره مشخص می شوند مانند ترانزیستور BUX۳۸که این ترانزیستور در فرکانس های رادیویی با جریان و ولتاژ زیاد به کار برده می شود . در ادامه روش نامگذاری با دو حرف و سه شماره که کاربرد بیشتری دارد بیان خواهد شد .
روش نامگذاری با دو حرف و سه شماره : در این روش حرف اول نشان دهنده جنس نیمه هادی است که اگر ژرمانیوم باشد با حرف A و اگر سیلیسیم باشد با حرف B مشخص می شود . برای حرف دوم نیز از حروف S ، L، F، D، Cو یا U استفاده می نمایند که معانی هر یک از این حروف به شرح زیر است :

C :ترانزیستور کم قدرت با فرکانس کار کم
D :ترانزیستور قدرت با فرکانس کار کم .
F :ترانزیستور کم قدرت با فرکانس کار زیاد .
L :ترانزیستور قدرت با فرکانس کار زیاد .
S :ترانزیستور کم قدرت که به عنوان سوئیچ به کار می رود .
U : ترانزیستور قدرت که به عنوان سوئیچ به کار می رود .

سه شماره بعد ، نشان دهنده سری ترانزیستور می باشد که با استفاده از این سه شماره و جدول مشخصات ، می توان مشخصات الکتریکی ترانزیستور را بدست آورد . به عنوان مثال مشخصات ظاهری ترانزیستور BC۱۰۷ **عبارت لست از :**
B: جنس ترانزیستور از سیلیسیم می باشد .
C: ترانزیستور کم قدرت بوده و در فرکانس کم می تواند کار کند .
مشخصات الکتریکی را با مراجعه به کتاب مشخصات ترانزیستور و پیدا کردن جدول مربوطه به دست می **آورند** .
در این سیستم نامگذاری ، نوع ترانزیستور یعنی NPN و یا PNP بودن آن ، از روی حروف ترانزیستور مشخص نیست .

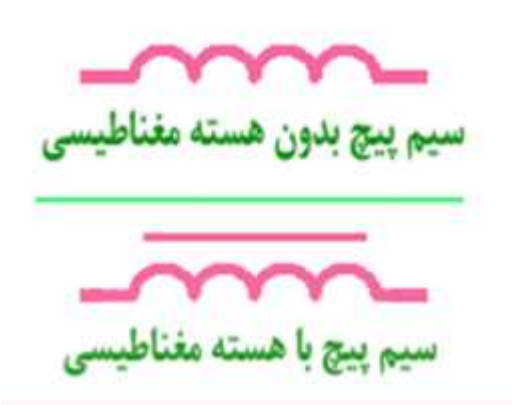
روش آمریکایی : در این روش نامگذاری ، ترانزیستور را با حرف و عدد ۲ Nمشخص می کنند و تعدادی رقم به عنوان شماره سری به دنبال آن می آورند که با توجه به این ارقام و با استفاده از جدول مشخصات ترانزیستورها ، مشخصات الکتریکی ترانزیستور را بدست می آورند . به عنوان مثال ترانزیستور N۳۰۵۵۲ ، یک ترانزیستور قدرت است که در فرکانس های کم کار می کند.

بوبین (سلف)

هرگاه از یک سیم جریان عبور کند در اطراف سیم یک میدان مغناطیسی ایجاد می شود . اگر مقدار جریان ثابت باشد ، شدت میدان مغناطیسی در هر نقطه از اطراف سیم ثابت خواهد بود . همچنین در این حالت جهت میدان مغناطیسی نیز همواره ثابت خواهد بود . اما در صورتی که مقدار جریان متغیر باشد ، در اطراف سیم یک میدان مغناطیسی متغیر ایجاد خواهد شد . یعنی در این حالت شدت و جهت میدان مغناطیسی پیوسته تغییر می کند . اما در هر حال شدت میدان مغناطیسی ایجاد شده ، در هر لحظه در نزدیکی سیم بیشتر است و هر چه از سیم دورتر شویم میدان مغناطیسی ضعیف تر می شود . حال اگر یک سیم راست را پیچیده و به شکل فنر درآوریم ، با عبور جریان از آن ، میدان مغناطیسی اطراف حلقه های این سیم پیچ با هم جمع شده و یک میدان مغناطیسی قوی تر را تشکیل می دهند که این میدان مغناطیسی شبیه به میدان مغناطیسی اطراف یک آهن ربای دائم می باشد . به این سیم پیچ ، بوبین یا سلف نیز می گویند . در شکل های (۱) و (۲) (تصاویری از چند سیم پیچ نمایش داده شده است . در شکل (۳) نیز علامت اختصاری سیم پیچ نمایش داده شده است.

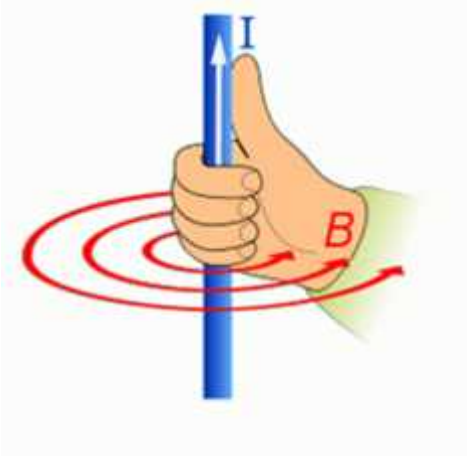
شکل ۱

شکل ۲

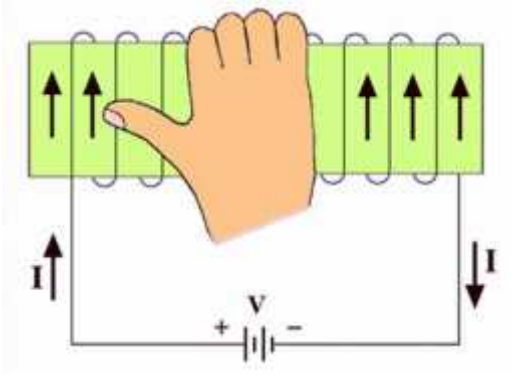


شکل ۳

جهت میدان مغناطیسی ایجاد شده در اطراف یک سیم راست حامل جریان را می توان از قانون دست راست بدست آورد . بر اساس این قانون اگر مطابق شکل (٤) سیم راست حامل جریان را به گونه ای در دست راست بگیریم که انگشت شست در جهت جریان باشد ، جهت خم شدن چهار انگشت دیگر ، جهت میدان مغناطیسی در اطراف سیم را نشان می دهد . برای تعیین جهت میدان مغناطیسی در داخل یک سیم پیچ نیز می توان از قانون دست راست استفاده کرد . بر اساس این قانون اگر مطابق شکل (٥) سیم پیچ را طوری در دست راست بگیریم که جهت چهار انگشت در جهت جریان باشد ، انگشت شست جهت میدان مغناطیسی در داخل سیم پیچ را نشان می دهد .فلش های موجود در شکل (٥) جهت جریان در سیم پیچ را نشان می دهد.



شکل ٤



شکل ٥

معمولاً سیم ها را بر روی هسته می پیچند . هسته می تواند از جنس مواد مغناطیسی و یا غیر مغناطیسی باشد . در مواردی که میدان ایجاد شده توسط سیم پیچ به اندازه کافی قوی باشد از هسته های غیر مغناطیسی یا همان مواد عایق استفاده می کنند و در سایر موارد از هسته های مغناطیسی استفاده می شود . استفاده از هسته های مغناطیسی باعث می شود که کلیه خطوط میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط سیم پیچ از داخل سیم پیچ گذشته و تلفات خطوط میدان به حداقل برسد و در نتیجه سبب قوی تر شدن میدان مغناطیسی می شوند . در مواردی که نیازی به هسته های مغناطیسی نباشد و سیم پیچ به اندازه کافی ضخیم باشد به طوری که بتواند حالت خود را حفظ کند ، می توان از هسته استفاده نکرد و یا به عبارتی هسته در این حالت هوا خواهد بود . به سیم پیچ هایی که دارای هسته فلزی هستند و تعداد دور استانداردی سیم دارند ، در اصطلاح چوک (Choke) می گویند . مانند چوک مهتابی که معمولاً به اشتباه آن را ترانس مهتابی می گویند . در ادامه به بررسی خاصیت خودالقایی سلف می پردازیم .

زمانی که از یک هادی جریان متناوبی عبور می کند در یک نیم سیکل جریان متناوب ، یک میدان مغناطیسی در اطراف سیم پیچ ایجاد می شود و سپس به تدریج از بین می رود . در نیم سیکل بعدی نیز میدان مغناطیسی در جهت مخالف ایجاد می شود و سپس به تدریج از بین می رود و این روند ادامه می یابد . زمانی که میدان مغناطیسی در حال ایجاد شدن است ، خطوط میدان مغناطیسی از مرکز هادی به طرف خارج گسترش می یابد و میدان مغناطیسی در حال گسترش به وسیله هادی قطع می شود و در نتیجه در دو سر هادی ولتاژی القا می شود . با کم شدن میدان مغناطیسی و قطع شدن خطوط میدان توسط هادی ، مجدداً ولتاژی در هادی القا می شود . بنابراین افزایش و یا کاهش جریان در هادی ، سبب گسترش و یا فروکش کردن میدان مغناطیسی در اطراف هادی می شود و متناسب با تغییرات میدان ، ولتاژی در دو سر هادی القا می گردد . این خاصیت را خودالقایی می گویند . توجه داشته باشید که اگر جریان عبوری از هادی ثابت باشد ، میدان مغناطیسی ایجاد شده نیز ثابت خواهد بود و لذا ولتاژی در دو سر هادی القا نمی شود . ولتاژ القا شده در هادی دارای مقدار و جهت است . مقدار این ولتاژ به میزان تغییرات شدت میدان مغناطیسی و اندوکتانس هادی بستگی دارد . تغییرات میدان مغناطیسی نیز خود وابسته به سرعت تغییرات جریان و یا به عبارتی وابسته به فرکانس جریان و همچنین وابسته به مقدار جریان است . افزایش فرکانس جریان سبب افزایش ولتاژ القا شده و کاهش فرکانس جریان سبب کاهش ولتاژ القا شده می گردد . مقدار جریان نیز با ولتاژ القا شده در دو سر هادی رابطه مستقیم دارد . یعنی هر چه شدت جریان عبوری از هادی بیشتر باشد ، میدان مغناطیسی ایجاد شده در دو سر هادی قوی تر و هرچه شدت جریان کمتر باشد ، میدان مغناطیسی ایجاد شده نیز ضعیف تر خواهد بود . اما برای تعیین جهت ولتاژ القا شده در دو سر هادی از قانون لنز استفاده می شود . طبق قانون لنز جهت ولتاژ القایی همواره به گونه ای است که با عامل به وجود آورنده اش مخالفت می کند .یعنی هنگامی که جریان افزایش می یابد ، جهت ولتاژ القایی به گونه ای است که با افزایش جریان مخالفت می کند و هنگامی که جریان کاهش می یابد ، جهت ولتاژ القایی به گونه ای است که با کاهش جریان مخالفت می کند . بنابراین همواره ولتاژ داده شده به دو سر سیم پیچ با ولتاژ القا شده در سیم پیچ ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارد . یعنی با زیاد و کم شدن ولتاژ داده شده به دو سر یک سیم پیچ در یک جهت ، ولتاژ القا شده در سیم پیچ در جهت مخالف آن زیاد و کم می شود . در ادامه در رابطه با اندوکتانس سیم پیچ صحبت می کنیم .

اندوکتانس سیم پیچ : در مورد اندوکتانس سیم پیچ باید گفت که اندوکتانس مهمترین مشخصه یک سیم پیچ و در حقیقت یکی از خصوصیات فیزیکی یک سیم پیچ است که مقدار آن وابسته به جنس هسته سیم پیچ ، تعداد دور سیم پیچ ، طول سیم پیچ و سطح مقطع سیم پیچ است و طبق تعریف ، اندوکتانس هر سیم پیچ نشان می دهد که به ازای یک آمپر در ثانیه تغییر در جریان ، چند ولت در سیم پیچ القا می شود . مقدار اندوکتانس هر سیم پیچ از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$L = \frac{\mu A N^2}{l}$$

که در این رابطه μ پرمابلیته هسته و یا قابلیت نفوذپذیری هسته بر حسب هانری است و نشان دهنده توانایی هسته در متمرکز کردن خطوط میدان مغناطیسی در درون هسته است . پرمابلیته همه اجسام را نسبت به پرمابلیته هوا می سنجند . به این ترتیب که پرمابلیته هوا را یک فرض کرده و پرمابلیته دیگر اجسام را نسبت به آن می سنجند . یعنی به هر جسمی یک عدد به نام ضریب پرمابلیته نسبت می دهند که این عدد نشان دهنده این است که پرمابلیته این جسم چند برابر پرمابلیته هواست و از ضرب این عدد در پرمابلیته هوا ، پرمابلیته آن جسم بدست می آید. در رابطه فوق همچنین A سطح مقطع هسته بر حسب متر مربع ، Nتعداد دور سیم پیچ و l طول سیم پیچ بر حسب متر می باشد . با توجه به مطالب فوق ، ولتاژ القا شده در سیم پیچ از رابطه زیر بدست می آید.

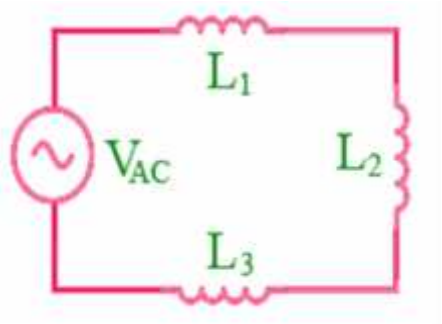
$$V = L \frac{di}{dt}$$

یعنی میزان ولتاژ القایی برابر است با حاصلضرب اندوکتانس سیم پیچ در تغییرات لحظه ای جریان نسبت به زمان . اما زمانی که یک سیم پیچ در یک مدار DC قرار می گیرد به دلیل ثابت بودن میدان مغناطیسی اطراف سیم پیچ ، ولتاژی در دو سر سیم پیچ القا نمی شود و تنها تأثیر آن در مدار ، در لحظات باز و بسته شدن مدار می باشد که در این زمانها ، ولتاژی در دو سر سیم پیچ القا می شود بطوری که با افزایش و کاهش جریان در سیم پیچ مخالفت می کند . البته خود سیم پیچ یک مقاومت اهمی نیز دارد که به دلیل ناچیز بودن مقدار آن ، معمولاً از آن صرفنظر می شود . اما زمانی که یک سیم پیچ در یک مدار AC قرار می گیرد به دلیل متغیر بودن میدان مغناطیسی اطراف سیم پیچ ، همواره یک ولتاژ القایی متغیر که نسبت به ولتاژ داده شده به سیم پیچ ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارد در دو سر سیم پیچ ایجاد می شود که این ولتاژ القایی همواره سبب کاهش جریان می گردد درست مانند اینکه یک مقاومت اهمی در مدار وجود دارد و جریان را تضعیف می کند . این مقاومت سیم پیچ در برابر جریان را مقاومت القایی سیم پیچ می گویند و آن را با X_L نمایش می دهند . مقدار مقاومت القایی به اندوکتانس سیم پیچ و فرکانس جریان عبوری از سیم پیچ بستگی دارد . مقدار مقاومت القایی از رابطه زیر بدست می آید .

$$X_L = 2\pi F L$$

که در این رابطه X_L مقاومت القایی سیم پیچ بر حسب اهم ، 2π **عدد ثابت** ، Fفرکانس جریان عبوری از سیم پیچ بر حسب هرتز و L اندوکتانس سیم پیچ بر حسب هانری است .

اتصال سیم پیچ ها به صورت سری و موازی :اگر تعدادی سیم پیچ را همانند شکل (٦)به صورت سری به یکدیگر وصل کنیم ، اندوکتانس کل برابر مجموع اندوکتانس های موجود در مدار خواهد بود . یعنی داریم:



شکل ٦

$$L_t = L_1 + L_2 + L_3$$

در این رابطه t ار کلمه total به معنای کل ، گرفته شده است.

به عنوان مثال اگر در شکل (٦ ، L۱=۲mH و L۲=۳mH و L۳=۵mH باشند مقدار اندوکتانس کل چقدر است ؟

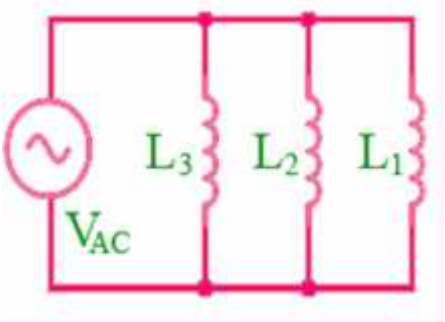
$$L_t = 2\,mH + 3\,mH + 5\,mH = 10\,mH$$

بنابراین مقدار اندوکتانس کل برابر با ۱۰ mHمی باشد.

مچنین در این حالت مقاومت القایی کل نیز برابر مجموع مقاومت های القایی تمامی سیم پیچ ها خواهد بود . یعنی داریم :

$$X_{Lt} = X_{L1} + X_{L2} + X_{L3}$$

حال اگر سیم پیچ ها مطابق شکل (۷)به صورت موازی به هم وصل شوند ، اندوکتانس کل از رابطه زیر محاسبه می **شود.**



شکل ۷

همانطور که از رابطه بالا مشاهده می شود در این حالت اندوکتانس کل ، از تک تک اندوکتانس های سیم پیچ های مدار کمتر است .

به عنوان مثال اگر در شکل (۷ ، L۱=۱mH و L۲=٤mH و L۳=۵mH ، مقدار اندوکتانس کل چقدر است ؟

$$\frac{1}{L_t} = \frac{1}{1\,mH} + \frac{1}{4\,mH} + \frac{1}{5\,mH} = \frac{20+5+4}{20\,mH} = \frac{29}{20\,mH} \quad \rightarrow \quad L_t = 690\,\mu H$$

بنابراین مقدار اندوکتانس معادل برابر ٦٩٠ μH است که این مقدار از اندوکتانس تک تک سیم پیچ ها کمتر است.

همچنین در این حالت مقاومت القایی معادل از رابطه زیر بدست ی آید.

$$\frac{1}{X_{Lt}} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}}$$

که این رابطه نیز نشان می دهد که در این حالت مقاومت القایی کل ، از مقاومت القایی تک تک سیم پیچ ها کمتر است .

البته روابط بالا در صورتی برقرار هستند که بین سیم پیچ ها ، القای متقابل وجود نداشته باشد . القای متقابل زمانی به وجود می آید که دو سیم پیچ طوری در نزدیکی یکدیگر قرار گیرند که میدان مغناطیسی متغیر تولید شده توسط هر یک از سیم پیچ ها ، سیم پیچ دیگر را قطع کند و سبب تغییر میدان مغناطیسی آن سیم پیچ و در نتیجه تغییر اندوکتانس و ولتاژ القا شده در آن گردد . در این صورت روابط مربوط به اندوکتانس و مقاومت القایی که در بالا بیان شد ، صادق نبوده و نیاز به تغییراتی پیدا می کنند . برای مشخص کردن میزان القای متقابل بین دو سیم پیچ ، پارامتری به نام اندوکتانس متقابل به این صورت تعریف می شود که هرگاه جریانی با نرخ تغییر یک آمپر بر ثانیه ، ولتاژی برابر با یک ولت در سیم پیچ القا کند ، اندوکتانس متقابل دو سیم پیچ برابر با یک هانری می باشد . مقدار اندوکتانس متقابل دو سیم پیچ بستگی به اندوکتانس هر یک از سیم پیچ ها و همچنین ضریب کوپلاژ بین دو سیم پیچ دارد و از رابطه زیر بدست می آید.

$$L_M = K\sqrt{L_1 \times L_2}$$

که در این رابطه L_1 و L_2 اندوکتانس های هر یک از دو سیم پیچ و K ضریب کوپلاژ است . ضریب کوپلاژ پارامتری بدون واحد است که می تواند مقداری بین صفر و یک داشته باشد . هرگاه کلیه خطوط میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط یک سیم پیچ ، از سیم پیچ دیگر عبور کند مقدار K برابر یک و چنانچه دو سیم پیچ کاملاً از هم دور باشند و یا طوری قرار گرفته باشند که خطوط میدان مغناطیسی هیچ یک از آنها از دیگری عبور نکند ، مقدار K صفر خواهد بود.