ارزیابی :

امتحان نهایی ۷۰ درصد

حل تمرینات ۵ درصد

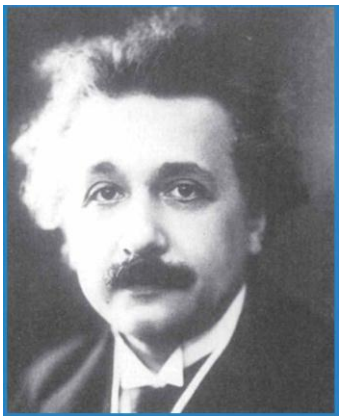
تمرینات کامپیوتری ۱۰ درصد

فعالیت های کلاسی ۵ درصد

امتحان کلاسی ۱۰ درصد

مراجع

اصول الکترونیک	دکتر سید محسن موسوی	انتشارات دانشگاه اصفهان
مرجع کامل الکترونیک (دو جلدی)	بهروز احمدی	انتشارات آیلار
تحلیل مدارهای الکترونیکی	مهدی همایون فرد	انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی



به خاطر داشته باشید هر چه در مدارس خود یاد می گیرید نتیجه کار نسل های بیشماری است که در اثر کوشش آرزومندانه همه مردم جهان به ثمر رسیده است و سپرده ای است در دست شما ، از آن استفاده ببرید و به آن بیفزایید تا روزی که آنرا با کمال امانت و وفاداری به فرزندانتان بسپارید .

آلبرت انشتین

تاریخچه الکترونیک

- **کشف الکترون در قرن ۱۹ :**

اگر چه بسیاری از فیزیکدانان قرن ۱۹ میلادی مانند فارادی، بر پایه علم شیمی و پدیده های مشاهده شده در الکترولیز متقاعد شده بودند که جریان الکتریکی شامل شاری از ذرات باردار است ، اما هنوز طبیعت این بارها معلوم نشده بود. حتی برای این مسأله ابتدایی که بار ذرات مثبت بود یا منفی جواب دقیقی وجود نداشت.پاسخ این سوالها و همچنین چگونگی ساختار اولیه مواد بایک سری آزمایشات معلوم شد که آغاز آنها بررسی تخلیه الکتریکی در لامپهای خلاء بود. با گذشت زمان مجموعه ای از اکتشافات انجام شد که منجر به انقلاب تکنولوژیکی در قرن بیستم شد.

- **تلگراف :**

ماکسول در سال ۱۸۶۵ تئوری ای را منتشر کرد که در آن الکترودینامیک ، الکتریسیته القایی و فیزیک نور را به هم مربوط ساخت . در آن زمان این تئوری بطور گسترده مورد پذیرش واقع نشد. با وجود اینکه ماکسول یک محقق ماهر بود ولی در چهارده سال باقی مانده عمرش تلاش نکرد تا وجود امواج الکترو مغناطیس را که در تئوریش پیش بینی کرده بود ثابت کند . با این حال دانشمند مشهور آلمانی von Helmholtz که به تئوری ماکسول ایمان داشت ، شاگردش Hertz را به تلاش برای تولید و کشف تابش های الکترو مغناطیس ترغیب کرد. تلاشهای Hertz سرآغازی برای ارتباطات بی سیم شد.

- **لامپ خلاء :**

در سال ۱۸۸۲ وقتی ادیسون یک جریان الکتریکی بین کاتد و آند در یک لامپ خلع را پدید آورد ، این امر یک پدیده مرموز به شمار می رفت و هنوز درک نشده بود که چگونه جریان الکتریکی می تواند از خلاء بگذرد. شناخت اشعه کاتدی توسط Thomson به عنوان جریانی از الکترونها معما را حل کرد و منجر به اختراع دیود ترمیونیک توسط فلمینگ شد. اختراع تریود توسط DeForest ارتباطات رادیویی را منقلب کرد.

- **تلویزیون :**

پیشگامان تلویزیون روسها بودند, Nipkow که یک دیسکِ دوار مکانیکی اختراع کرد و Rosing که در سال ۱۹۰۷ از یک Cathod Ray tube برای نمایش تصاویری از یک انتقال دهنده (Transmitter) مکانیکی استفاده کرد. در سال ۱۹۲۳ در انگلیس, John Logie Baird شروع به استفاده از دیسک های Nipkow در انتقال تلویزیونی کرد. در امریکا, شاگرد Rosing, Vladimir Zworykin, یک Patent برای ساخت تلویزیون الکتریکی به ثبت رساند (۱۹۲۳), ولی این پروژه توسط Westinghouse متوقف شد و Zworykin مجبور شد تا ۱۹۳۰ برای حمایت RCA صبر کند. در سال ۱۹۲۲, یک دانش آموز از Idaho, به نام Philo Farnsworth یک سیستم الکترونیکی اختراع کرد, و تا سال ۱۹۲۷ موفق به ارسال تصاویر تلویزیونی شد. پیشرفت پروژهkinescope که در RCA انجام می شد, به علاوه یک قرارداد (License Agreement) بین RCA و Farnsworth در نهایت منتهی به ظهور اولین تلویزیون تجاری در آوریل ۱۹۳۹ در نمایشگاه RCA در نیویورک گشت.

- **رادار :**

در زمان قبل از جنگ جهانی دوم, تمامی قدرت های بزرگ در حال انجام پروژه های "سیستم های ردیابی رادیویی" بودند. هنگامی که انگلیسی ها مشغول ساخت سیستم تشخیص و ردیابی هوایی بودند,آلمانها سیستم ناوبری هوایی می ساختند.اگر چه در ابتدا این دستگاهها بر روی طول موجهایی در حد متر کار میکردند اما بعدا در اثر پیشرفتهایی در سال ۱۹۳۹, این کشورها موفق به ساخت سیستمهایی باطول موج های در حد سانتیمتر شدند.این سیستم ها لازمه ساخت رادارهای پیشرفته بودند. در سال ۱۹۴۰ در امریکا سرمایه گذاری بر روی آزمایشگاه رادار در MIT آغاز شد. بیش از ۱۳۰۰ مهندس و دانشمند در این آزمایشگاه کار می کردند و بیش از ۱۰۰ مدل رادار طراحی شد که شامل سیستمهای هشدار سریع, رادارهای ضدهوایی, رادارهای ضد زیردریایی, زمینی, و رادارهایی برای نشانه گیری در بمباران می شدند.بیش از یک میلیون رادار در امریکا در زمان جنگ ساخته شد. آلمان و ژاپن در این جنگ تکنولوژیک مغلوب بودند.

- اختراع ترانزیستور :

قیاس بین دیود و دستگاه های Solid State مانند یکسو کننده اکسید مس و ردیابهای کریستالی در رادیو های اولیه, به وضوح از قبل مطرح بوده است . در دهه ۱۹۲۰, مخترعان زیادی سعی در ساخت دستگاههایی برای کنترل جریان در دیودهای Solid State و تبدیل آنها به triode انجام دادند، ولی تا بعد از جنگ جهانی دوم نتوانستند موفقیتی کسب کنند. در زمان جنگ, تلاش ها یی برای پیشرفت کریستالهای سیلیکون و ژرمانیوم برای استفاده به عنوان ردیاب در رادار انجام شد که به پیشرفتهایی در زمینه ساخت و فهم تئوری حالتهای مکانیکی کوانتومی حاملان موج در نیمه هادی ها منجر شد. بعد از آن دانشمندان از دامنه پیشرفتِ رادار ها به دامنه Solid State Device روی آوردند.

چرا الکترونیک ؟

تلفن همراه ، دوربین دیجیتال ، میکروپروسسور

ترانزیستور و مدار کوچک یکپارچه این امکان را به وجود آورد که رادیو های کوچک جیبی و تلویزیونهای کوچکتر با تصاویر بزرگتر ساخته شود. یک صنعت کاملا جدید پا به عرصه وجود گذاشت .امروزاز برکت دستگاه تنظیم قلب که با ترانزیستور کار می کند قلب بسیاری از بیماران به حال عادی می طپد. نا بینایان با کمک دستگاههای ترانزیستوری می توانند موانع را ببینند نوار قلبی بیمار بستری را به وسیله تلفن به کار شناس قلب در هر نقطه دنیا که باشد می فرستند .هواپیما های جت با سیستم هدایت سبک وزنی مجهز هستند و بالاخره همین مدار بسته یکپارچه است که امکانات سفر بشر به ماه را فراهم نمود.

مصرف ترانزیستور به طور روز افزونی رو به ازدیاد است .در رادیو،تلویزیون ،مدارات الکترونیکی ،هوا پیما ،رایانه ،پزشکی و موشک ترانزیستور استفاده می شود.در ابتدا وجود ترانزیستور باعث شد که ارتباطات تلفنی راه دور ،به طور مستقیم و بدون استفاده از اپراتور امکان پذیر شود.

برای اولین بار در تاریخ ،ارتباط بین دو شهر انگل وود و نیوجرسی با استفاده از ترانزیستور بر قرار شد.

بعد از اختراع ترانزیستور و به وجود آمدن انواع گوناگون آن مدارهای مجتمع اختراع شد. به این قطعات آی سی می گویند .آی سی ممکن گاهی صدها ترانزیستور ساخته شده باشد که داخل یک قطعه ۳ ×۱ سانتیمتری قرار گرفته اند .اختراع آی سی تحول عظیم دیگری را در صنعت الکترونیک به وجود آورد. در ادامه تحقیقات و پیشرفتهایی که در زمینه ساخت آی سی به دست آمد،آی سی های برنامه ریزی شده اختراع شدند در یک آی سی برنامه ریزی شده که ابعادی معادل ۸×۲ سانتیمتر دارد میلیونها حافظه وجود دارد.

اختراع رایانه های خانگی مدیون وجود آی سی هاست که همه به وجود ترانزیستور و اختراع آن مربوط می شود .

هر عملی را نمی توان بصورت دیجیتال انجام داد مثلاً نمی توان سیگنال 20µv را به یک گیت منطقی دیجیتال اعمال کرد بلکه بایستی ابتداء آنرا تقویت کرد .

مثال : در یک میکروپروسسور امروزی حدود ۱۰۰ میلیون ترانزیستور بر روی یک تراشه ای به ابعاد تقریبی 3cm×3cm با ضخامت چند صد میکرون ساخته می شود . با فرض اینکه اگر IC اختراع نشده بود و می خواستیم میکروسسور فوق را با ترانزیستور های گسسته بسازیم حجم پردازنده حاصل چقدر می شد ؟ فرض کنید حجم هر ترانزیستور 3mm×3mm3mm باشد . چنین پردازنده ای علاوه برمشکل حجم چه مشکل دیگری ایجاد می کند ؟ اگر هر ترانزیستور توان مصرفی 10µw داشته باشد توان مصرفی چنین پردازنده ای چقدر خواهد شد ؟

جواب :

$3mm \times 3mm3mm = 27mm^3$ حجم هر ترانزیستور

$27mm^3 \times 100\,000\,000 = 27 \times 10^8\ mm^3 \longrightarrow$ حجم پردازنده $\longrightarrow 2.7\ m^3$

$\sqrt[3]{2.7} = 1.4\ m$ هر ضلع پردازنده

سایر مشکلات : اتصلات زیاد ، کند عمل کردن ، قیمت ، وزن

اهمیت تقویت

قوانین مداری که از قبل باید بدانیم :

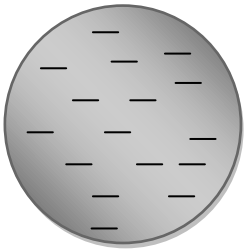
- قانون اهم
- KVL و KCL
- تونن و نورتن
- قضیه توان حداکثر
- تجزیه و تحلیل گره و مش
- کار با اعداد نمایی
- واحدهای دستگاه SI

چند مثال ساده

فیزیک نیمه هادی

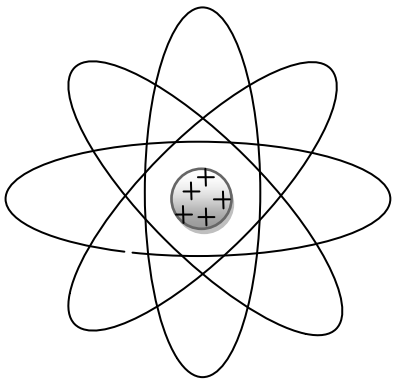
مدل اتمی

تامسون

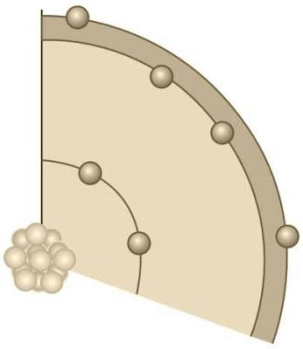


ابر بار مثبت

رادرفورد : به حرکت الکترون اشاره نشده است



مدل اتمی بوهر : در این مدل پروتونها و نوترونها در مرکز اتم قرار داشته والکترونها در مدارهای مختلفی به دور هسته در حال چرخش هستند . به مانند منظومه شمسی که خورشید در مرکز و سیارات به دور خورشید در حال چرخش هستند .



به لایه (مدار آخر) لایه ظرفیت یا لایه والانس گویند . به الکترونهایی که به دور هسته در حال چرخش هستند الکترونهای مقید در اتم گفته می شود . معمولاً با اعمال انرژی به اتم می توان برخی از الکترونهای مقید در مدار اتم را از اتم جدا کرد . به این الکترونها ، الکترونهای آزاد گفته می شود . معمولاً الکترونهایی که نزدیک هسته هستند بدلیل خاصیت جاذبه بیشتر نیازمند انرژی بیشتری جهت جدا شدن هستند نسبت به الکترونهایی که دورتر از هسته باشند . در واقع الکترونهای لایه آخر دارای کمترین جاذبه در میان سایر الکترونها هستند بنابراین زودتر از سایر الکترونها جدا می شوند .

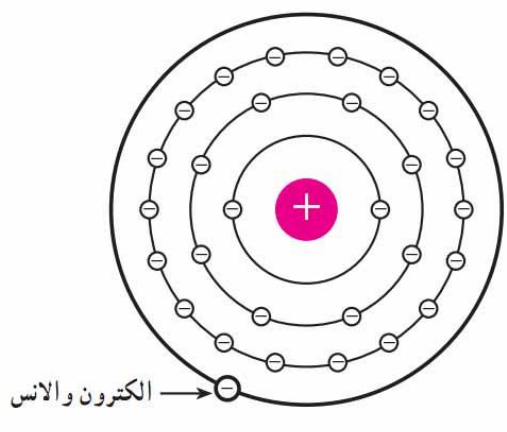
تقسیم بندی اجسام از نظر هدایت الکتریکی

۱- هادی ها (رساناها) مقاومت ویژه بسیار کوچک

۲- عایق ها (نا رسانا ها) مقاومت ویژه بسیار بزرگ

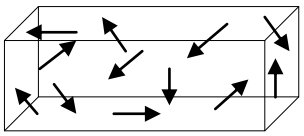
۳- نیمه هادی ها (نیمه هادی ها) مقاومت ویژه بین رساناها و عایق ها

رسانا ها اجسامی هستند که جریان الکتریکی را به راحتی از خود عبور می دهند مانند مس و آلومینیوم . بر طبق نظریه بوهر اتمی که در لایه آخر دارای یک الکترون باشد یک رسانا محسوب می شود .



همانطور که در شکل فوق دیده می شود اتم مس در لایه آخر دارای یک الکترون می باشد بنابراین با مقدار انرژی کمی که به این اتم می توان اعمال کرد ، می توان این الکترون را آزاد نمود .

با اعمال انرژی به اتم می توان وابستگی الکترونها به هسته را کاهش داد و آنها را از هسته جدا نمود . در شکل زیر قسمتی از یک کابل مسی دیده می شودکه در دمای متعادل محیط ($27^oC+273=300^oK$) قرار دارد . این دما می تواند تعداد زیادی از الکترونهای مقید در اتم مس را جدا و آنها را آزاد کند .



همانطور که در شکل دیده می شود الکترونهای آزاد می توانند به هر سمتی حرکت کنند . همانگونه که می دانیم جریان الکتریکی از حرکت الکترونهای آزاد بوجود می آید ولی مشاهده می شود که با وجود تحرک الکترونها در فلز مس هیچگونه ولتاژی بوجود نمی آید زیرا اگر تعدادی الکترون به سمتی حرکت کنند در همان لحظه تعداد دیگری به سمت مخالف حرکت کرده و این حرکات اثر همدیگر را خنثی می کنند .

می توان گفت که مدل اتمی معرفی شده می تواند تفاوت بین رساناها و عایق ها را مشخص کند اما نمی تواند برخی خصوصیات نیمه رساناها را توجیه کند از جمله :

- مقاومت ویژه رساناها با افزایش حرارت زیاد اما در نیمه رساناها کاهش می یابد .
- برخی الکترونها چرا مقید در هسته و برخی آزاد هستند ؟ کربن اگر بصورت بلور باشد نارسانا و اگر بصورت گرافیت باشد رسانا است

بنابراین بایستی به دنبال مدل کامل تری جهت پاسخ به پرسشهایی اینچنینی گشت .

نظریه کوانتومی

تابش از سطح اجسام :

اجسام در دمای بالا از سطح خود نور مرئی گسیل می کنند مانند ذغال افروخته یا فلز گداخته

از سطح همه اجسام در هر دمایی موج های الکترومغناطیسی گسیل می شود (تابش گرمایی)

دمای پایین : طول موج های ناحیه فراسرخ (طول موج های بلند) ممکن است آنرا نبینیم فقط دمای آنرا احساس می کنیم .

افزایش تدریجی دما : طول موج بلند به سمت طول موج کوتاهتر و نور مرئی

دمای خیلی بالا : نور قرمز رنگ

دمای خیلی خیلی بالاتر : نور سفید ، مجموعه طیف ها (رشته تنگستن)

نظریه پلانک (۱۹۰۰ میلادی) : انرژی تابشی جسم ، کوانتومی است (مقدار انرژی جسم که بصورت موج الکترومغناطیسی گسیل می کند به فرکانس موج الکترومغناطیسی بستگی دارد

$$E=nhf$$

n : عدد صحیح مثبت (تعداد کوانتوم)

hf : کوانتوم انرژی

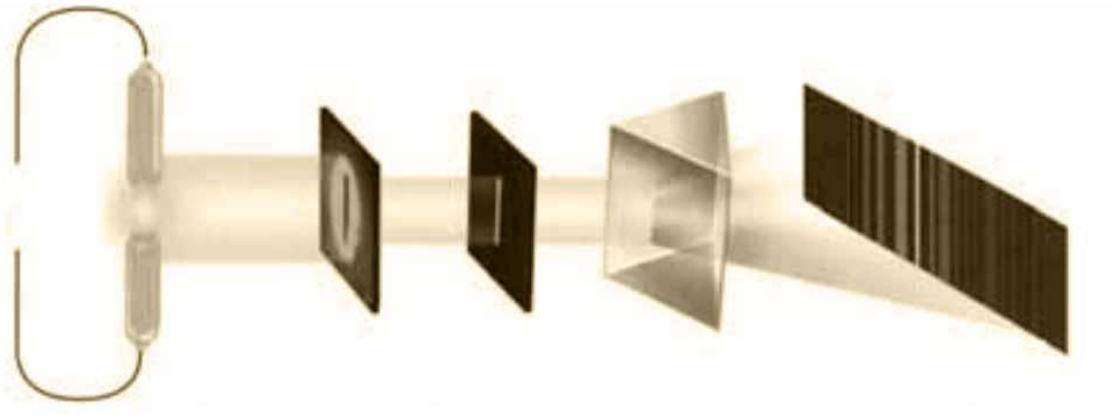
f : فرکانس

تعریف کوانتومی : کمیتهای گسسته را کوانتومی و کمترین مقدار یک کمیت کوانتومی را مقدار پایه یا کوانتوم آن کمیت می نامند . (مثلاً بار الکتریکی)

در بحث اتم ژول یکای بزرگی محسوب می شود بنابراین از الکترون ولت ev استفاده می شود . یک الکترون ولت برابر تغییر مقدار انرژی یک الکترون تحت ولتاژ یک ولت است .

$$1\ ev = 1.6\times10^{-19}\ j$$

طیف اتمی : طیف نور گسیل شده از بخار هر عنصر را طیف اتمی آن عنصر می نامند (طیف اتمی عنصرهای مختلف با هم فرق می کنند .)



مثلاً طیف اتمی جیوه خط هایی در ناحیه فرا بنفش دارد یعنی یک لامپ بخار جیوه مقدار زیادی نور فرا بنفش گسیل می کند که برای انسان مضر است . در لامپ های فلورسنت نیز بخار جیوه وجود دارد که دیواره لامپ را با یک ماده پوشانده تا نور سفید منتشر کند .

گازهای موجود در خورشید برخی طول موج های گسیل شده از خورشید را جذب می کنند و نبود آنها در طیف پیوسته خورشید به صورت خطوط سیاه و تاریک ظاهر می شود (طیف جذبی)

مقایسه اجسام مختلف از نظر تعداد الکترونهای آزاد در دمای محیط :

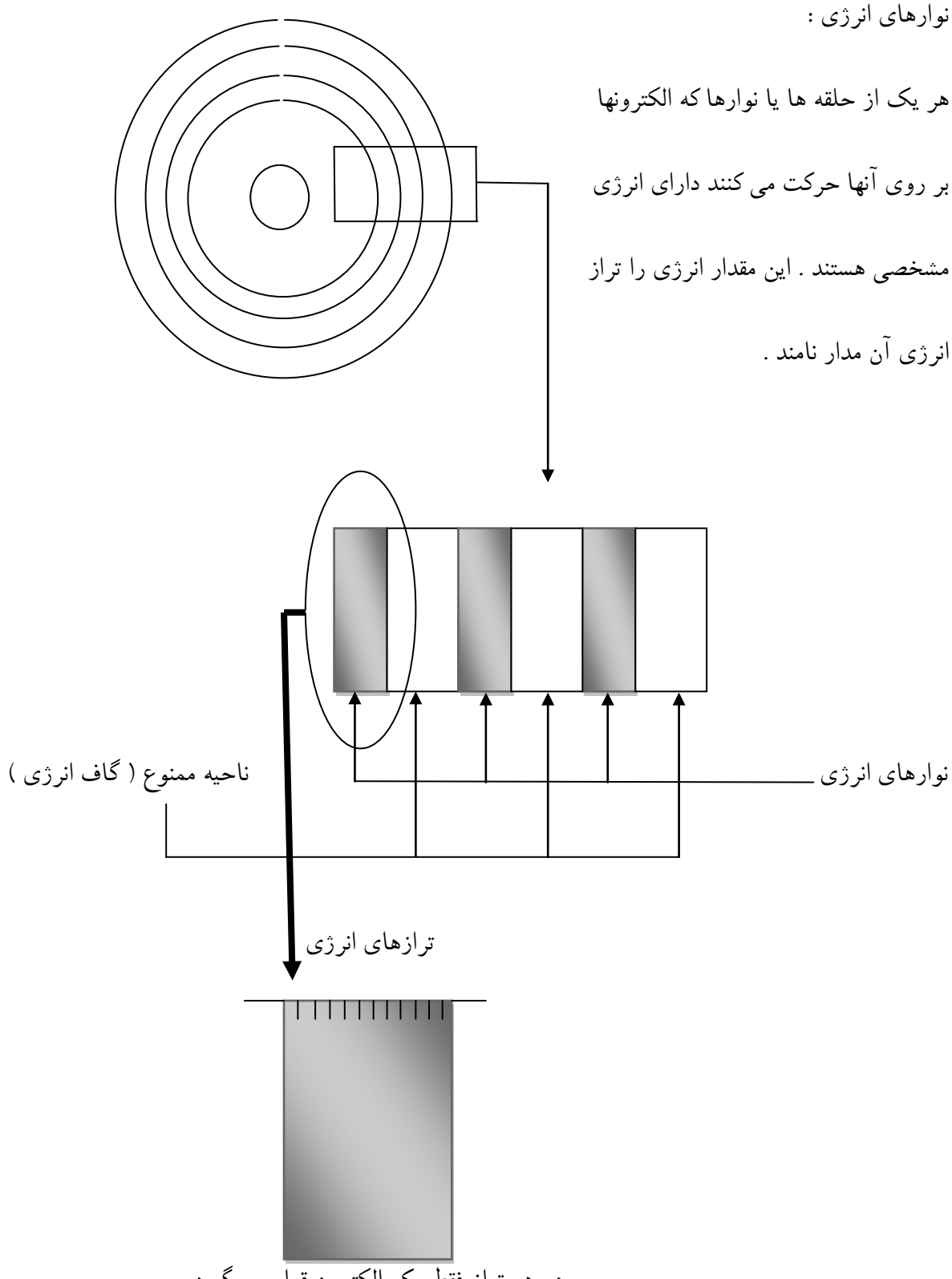
در یک رسانا با حجم $1cm^3$ به ازای 10^{24} اتم 10^{21} الکترون آزاد وجود دارد .

در یک نارسانا با حجم $1cm^3$ به ازای 10^{24} اتم 10^{3} الکترون آزاد وجود دارد .

در یک نیمه رسانا با حجم $1cm^3$ به ازای 10^{24} اتم 10^{10} الکترون آزاد وجود دارد .

نوارهای انرژی :

هر یک از حلقه ها یا نوارها که الکترونها بر روی آنها حرکت می کنند دارای انرژی مشخصی هستند . این مقدار انرژی را تراز انرژی آن مدار نامند .

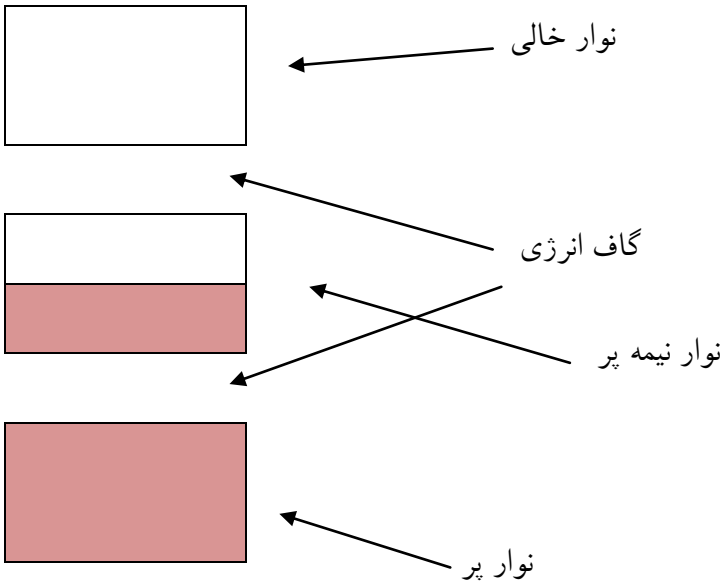


در هر تراز فقط یک الکترون قرار می گیرد

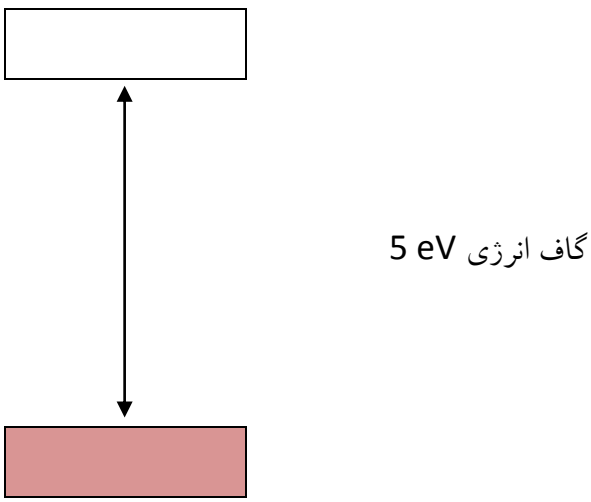
تعریف باند انرژی BAND GAP : میزان انرژی لازم جهت خارج کردن الکترون از لایه ظرفیت را گویند ΔG

ساختار نواری اجسام : الکترونهای نوارهای نیمه پر می توانند تحت تاثیر میدان الکتریکی تراز انرژی خود را عوض کنند و در رسانش شرکت کنند .

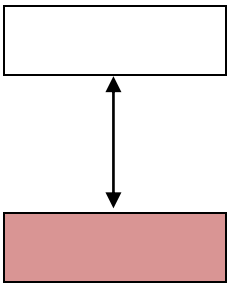
هادی ها (رسانا) تراز انرژی ظرفیت فاصله کمی با تراز انرژی الکترونهای آزاد دارد



عایق ها (نارسانا) تراز انرژی ظرفیت فاصله زیادی با تراز انرژی الکترونهای آزاد دارد



نیمه هادی ها (نیمه رسانا) تراز انرژی ظرفیت فاصله کمی با تراز انرژی الکترونهای آزاد دارد



گاف انرژی 1 eV

در شکل فوق در دو حالت رسانش ایجاد می شود :

الف – اگر بر اثر انرژی الکترون از نوار پر به نوار خالی برود ایجاد الکترون آزاد می کند .

ب – اگر در این حالت الکترونهای نوار پر که کمی خالی شده اند (بر اثر انرژی حالت الف) تراز انرژی خود را عوض کنند حرکت حفره خواهیم داشت .

- **هادی : روابط هادی ها ، تراز انرژی**
- **عایق**
- **نیمه هادی**

مواد نیمه هادی به سه صورت وجود دارند :

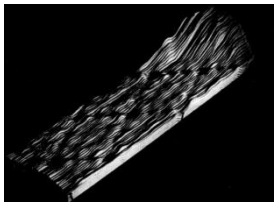
۱- معدنی : اتم سیلسیوم و ژرمانیوم ، گالیوم ، آرسانايد و ...

اینگونه مواد دارای سرعت جریان دهی بیشتر ، بازده بیشتر هستند ولی دارای دمای بالای پروسه ساخت و تحلیل مشکل تری می باشند .

۲- مواد آلی : ساختار کربنی دارند (ترکیبات هیدروکربونیک)

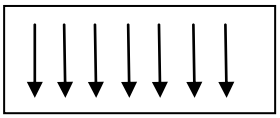
اینگونه مواد دارای دمای پایین تکنولوژی ساخت و تحت کنترل بودن مراحل ساخت می باشند ولی دارای سرعت کمتر ، جریان دهی کمتر و بازده کمتری هستند .

۳- مواد آلی – معدنی

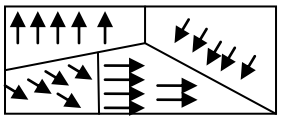


چینش داخلی مولکول ها در مواد جامد : (تفاوت در سرعت سرد شدن)

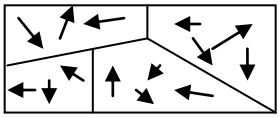
Single – crystal : بلور



Poly-crystal : پلی بلور



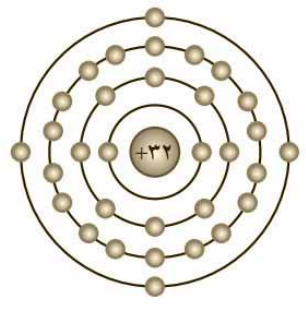
Amourph : درهم پیچیده

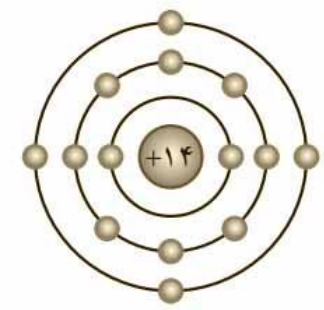


- **کریستال (بلور)**

جهت سرعت بالا و کیفیت بیشتر از بلور استفاده می شود زیرا بلور جریان را در یک سمت هدایت می کند ولی پلی بلور جریان را در جهت های مختلف هدایت کرده که باعث نویز و حرارت و ... می شود .

نیمه هادی ها در گروه چهارم جدول تناوبی قرار دارند : در لایه اخر دارای ۴ الکترون هستند . قبلاً گفتیم که علاوه بر سیلیکون وژرمانیم عناصر دیگر نظیر کربن و یا ترکیباتی مثل گالیم ،ارسند(Ga–As) می توانند به صورت نیمه هادی مورد استفاده قرار گیرند.اگر به اتمهای این عناصر انرژی کافی داده شود،در این صورت بعضی از این پیوندها شکسته شده و الکترونهای باند ظرفیت وارد باند هدایت شده و نظیر الکترون آزاد عمل می نمایند و به این ترتیب هدایت الکتریکی آن افزایش پیدا می کند.





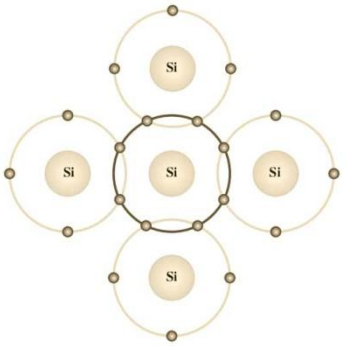
کربن بصورت گرافت و الماس (بلور)

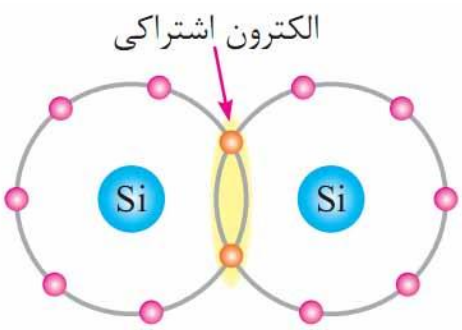
توریوم Th

زیرکونیوم Zn

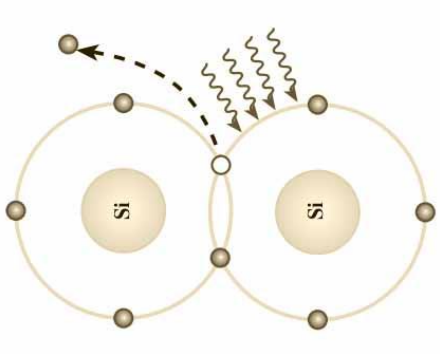
هافنیوم Hf و ....

سیلیکون برای حالت پایدار یا به ۲ پیوند دوگانه و یا به چهار پیوند یگانه احتیاج دارد .



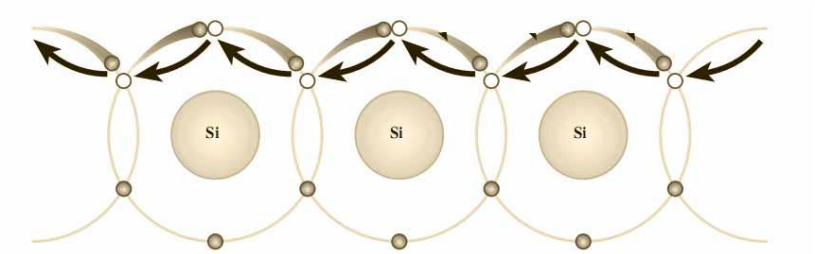


حرارت به کریستال سیلسیوم باعث لرزش اتمها و آزاد شدن الکترونها می شود



- **الکترون و حفره**
- **ترکیب مجدد و طول عمر**

قابلیت حرکت الکترونهای آزاد mobility از حفره ها بیشتر است . زیرا حرکت حفره یک حرکت مجازی است . حرکت حفره یک عمل ترکیب مجدد نیست زیرا الکترون ظرفیت داخل حفره افتاده است



- **چگونگی محاسبه جریان در نیمه هادی ها (حرکت الکترون)**

چگالی حجمی الکترون های آزاد = n : $\frac{\text{تعداد الکترونهای آزاد}}{cm^3}$

چگالی حجمی حفره ها = p : $\frac{\text{تعداد حفره ها}}{cm^3}$

سرعت حرکت الکترون $V=\mu_e . E$

E : شدت میدان الکتریکی

μ_e : قابلیت تحرک الکترون

چگالی حجمی × سرعت مایع = جریان مایع

چگالی جریان $J = V \times \rho$

$$\rho = n \times q$$

q : بار هر الکترون 1.6×10^{-19} C

$$J = (\mu_e \cdot E) \times (n \times q)$$

$$\boxed{J = \sigma \times E}$$

رابطه فوق نمایش نقطه ای قانون اهم است (I=G.V)

σ : رسانایی ویژه جسم

- **نیمه هادی ذاتی**

یک نیمه هادی خالص که در آن الکترونهای باند ظرفیت تشکیل پیوند کووالانسی می دهند یک عایق عمل می نمایند.در این حالت سطوح انرژی باند هدایت خالی است .

$$n = p = n_i$$

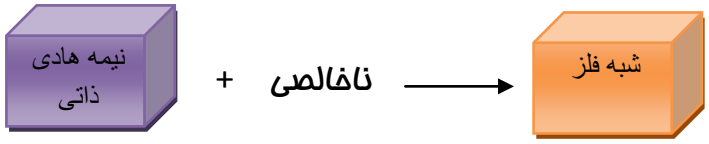
n_i **:** غلظت الکترونهای نیمه هادی ذاتی که در سیلسیوم ذاتی حدوداً 1.5×10^{10} الکترون در $1cm^3$ است .

$$n \times p = n_i^2$$

- **مولفه های جریان نیمه هادی ها (هدایتی :الکترون و حفره نفوذی)**

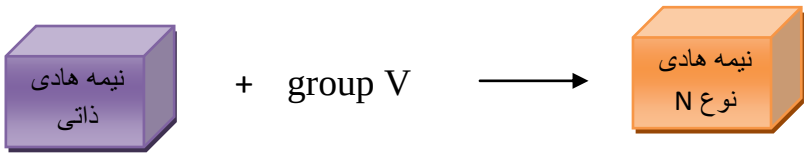
$$I_{\text{نیمه هادی}} = I_n + I_p$$

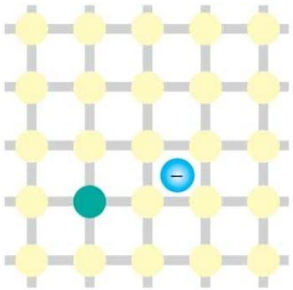
- **روشهای افزایش جریان n و p : ۱- نور و حرارت و ... ۲- دوپینگ (ناخالصی)**

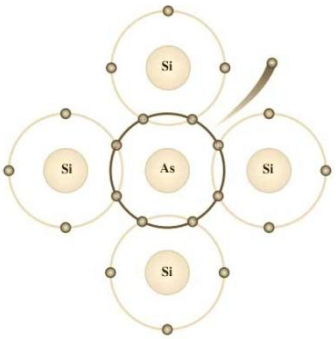


افزایش الکترونهای آزاد DONOR

جهت افزایش الکترونهای آزاد اتم های عناصر گروه پنج (پنج ظرفیتی) یعنی عناصری که در لایه آخر دارای ۵ الکترون هستند را به اتم نیمه هادی ذاتی اضافه می کنند . در این حالت ۴ الکترون آن یا چهار الکترون اتم نیمه هادی ذاتی در پیوند کووالانسی شرکت کرده و یک الکترون باقی خواهد ماند . عناصر گروه پنج شامل آرسنیک As ، آنتی موان sb و فسفر P می باشد .







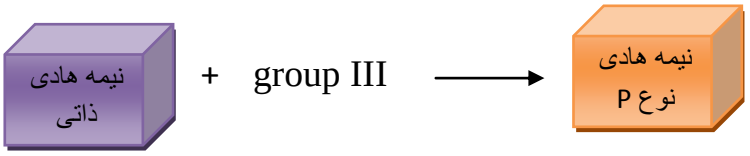
هر چقدر ناخالصی بیشتر اعمال شود میزان هدایت افزایش و مقاومت کمتر می شود .

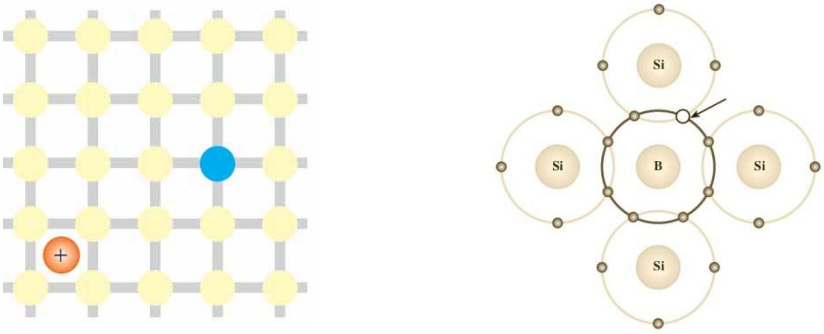
در این حالت حامل های اکثریت الکترون های آزاد و حفره ها حامل های اقلیت محسوب می شوند .

افزایش حفره ها ACCEPTOR

جهت افزایش حفره ها اتم های عناصر گروه سه (سه ظرفیتی) یعنی عناصری که در لایه آخر دارای ۳ الکترون هستند را به اتم نیمه هادی ذاتی اضافه می کنند . در این حالت ۳ الکترون آن یا چهار

الکترون اتم نیمه هادی ذاتی در پیوند کووالانسی شرکت کرده و یک حفره باقی خواهد ماند . عناصر گروه سه شامل آلومینیوم AL و برون Br و گالیم Ga می باشد .



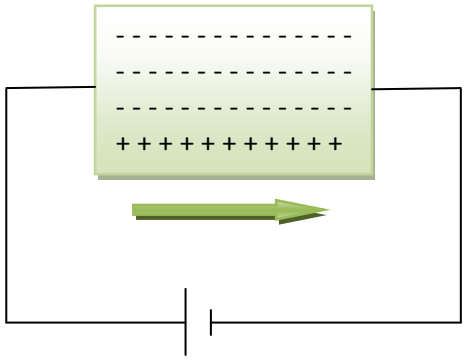


در این حالت حامل های اکثریت حفره ها و حامل های اقلیت الکترون های آزاد محسوب می شوند .

جریان در نیمه هادی های ناخالص

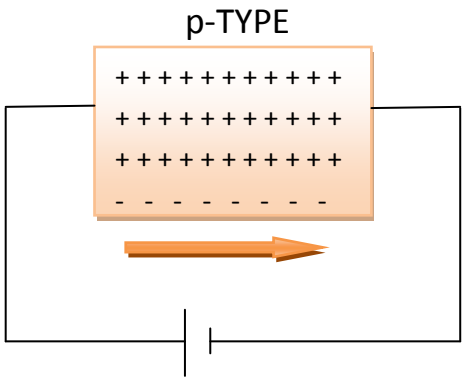
در شکل زیر همانطور که دیده می شود الکترونهای آزاد به سمت قطب مثبت باطری رفته و حفره ها به سمت راست رفته و با الکترونهای قطب منفی باطری بازترکیب می شوند .

n-TYPE



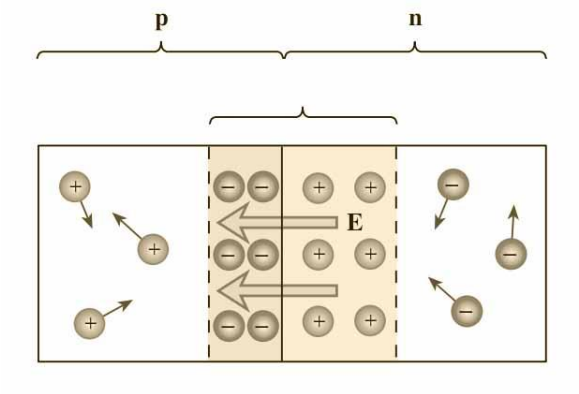
$$I_{\text{نیمه هادی}} = I_n + I_P \approx I_n$$

در شکل زیر نیز الکترونهای آزاد به جذب قطب مثبت باطری و حفره ها به سمت راست رفته و با الکترونهای قطب منفی باطری بازترکیب می شوند .

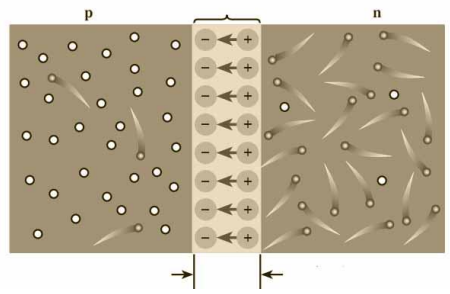


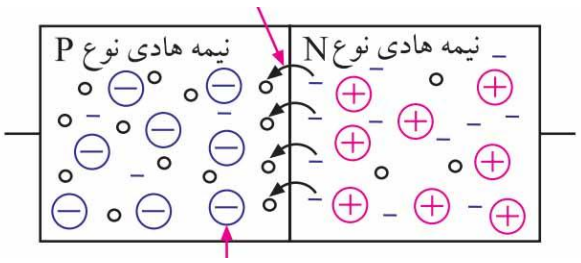
$$I_{\text{نیمه هادی}} = I_n + I_P \approx I_p$$

اتصال P-N (diode)



در شکل فوق همانطور که دیده می شود به خاطر نیروهای دافعه موجود در بین الکترونها ، الکترونهای آزاد ناحیه N مایل به عبور از محل اتصال و نفوذ به منطقه P هستند . هرگاه یک الکترون از محل اتصال عبور کند یک جفت یون بوجود می آید . این یونهای مثبت و منفی در کریستال ثابت هستند چرا که به علت پیوند کووالانت نمی توانند مانند الکترونهای آزاد حرکت نمایند . به این لایه وسط که تخلیه از الکترونهای آزاد و حفره ها است ، لایه تخلیه گویند .



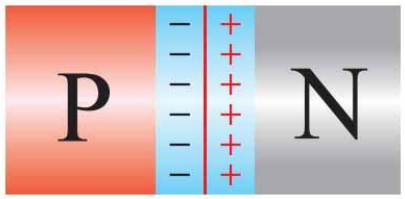


پتانسیل سد :

لایه تخلیه دارای میدانی است که با عبور الکترونهای آزاد از محل اتصال مخالفت می کند . مقدار نیروی این میدان با عبور هر الکترون از محل اتصال افزایش می یابد . عبور الکترونها به ناحیه P آنقدر ادامه می یابد تا تعادلی برقرار شود و موقعی فرا می رسد که میدان موجود دیگر اجازه عبور از محل اتصال به هیچ الکترونی را نخواهد داد . میدان الکتریکی ایجاد شده معادل ولتاژی است که به آن پتانسیل سد گویند . این ولتاژ قابل اندازه گیری با ولتمتر نیست زیرا این ولتاژ در لایه تخلیه ایجاد شده است نه در دو سر اتصال P-N . در دمای $25^{\circ}C$ این مقدار برای دیود ژرمانیوم $0.3\ V$ و برای دیود سیلسیوم $0.7\ V$ است .

$$V=E\times d$$

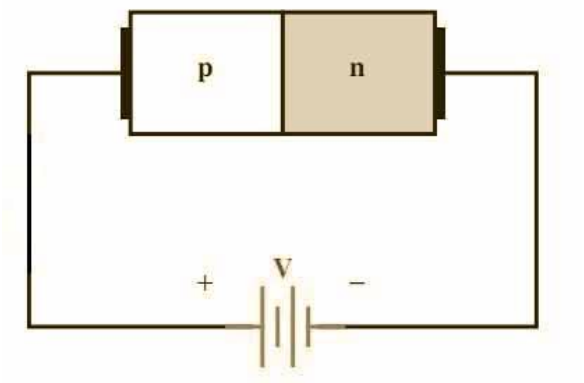
V : اختلاف ولتاژ دو پایه دیود E: شدت میدان الکتریکی d: پهنای لایه تخلیه



پتانسیل سد

بایاس مستقیم

در اتصال P-N اگر قطب مثبت باطری به نیمه هادی نوع P و قطب منفی باطری به نیمه هادی نوع N متصل شود بایاس را مستقیم گویند . در مدار شکل زیر اگر ولتاژ باطری بیشتر از $0.7\ V$ شود از اتصال ذکر شده یک جریان مطلوب عبور خواهد کرد .



مسیر حرکت الکترون که مسیر جریان الکتریکی را نشان می دهد به صورت زیر است :

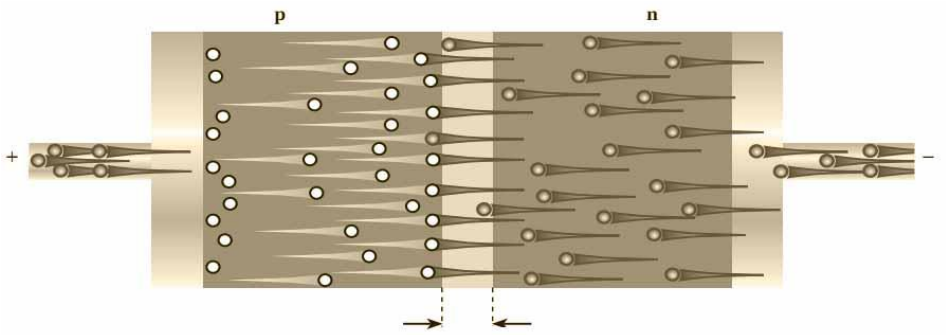
۱- پس از خروج از قطب منفی باطری از طریق سیم به انتهای سمت راست نیمه هادی نوع N وارد می شود .

۲- در نیمه هادی نوع N بصورت یک الکترون آزاد حرکت می کند .

۳- در لایه تخلیه با یک حفره ترکیب شده و تبدیل به یک الکترون ظرفیت می شود .

۴- در ناحیه P به عنوان یک الکترون ظرفیت حرکت می کند .

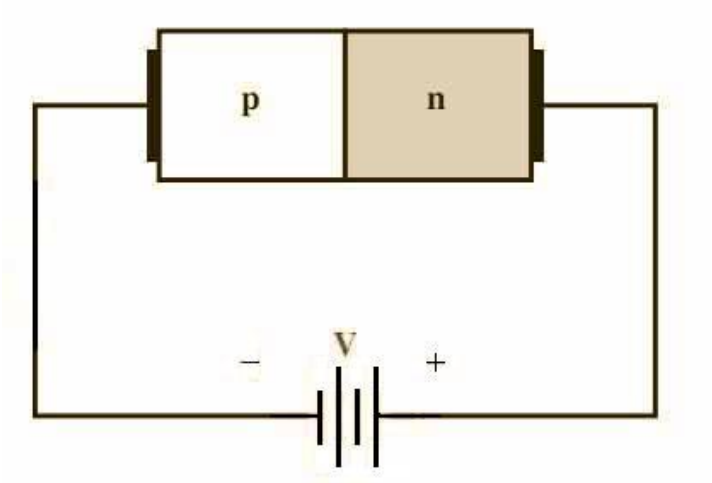
۵- پس از خروج از انتهای سمت چپ کریستال به قطب مثبت باطری وارد می شود .

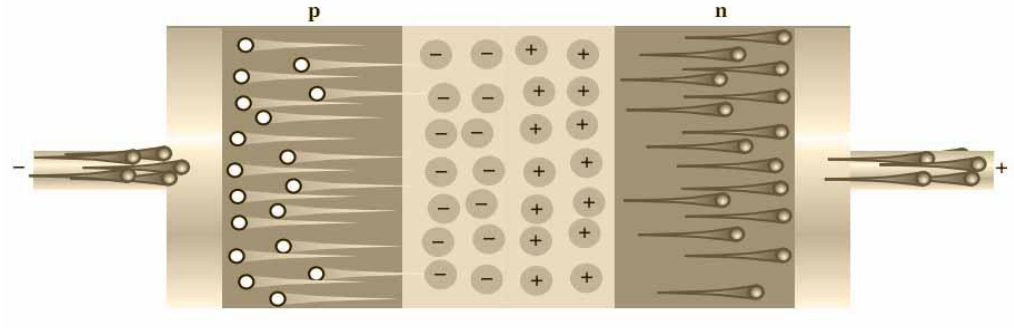


نکته : از آنجایی که قطب مثبت باطری حفره ها را از خود دور و قطب منفی باطری الکترونهای آزاد را از خود می راند بنابراین حفره ها و الکترونهای آزاد به سمت لایه تخلیه حرکت می کنند . در این حالت عرض لایه تخلیه کوچک می شود .

بایاس معکوس

در اتصال P-N اگر قطب مثبت باطری به نیمه هادی نوع N و قطب منفی باطری به نیمه هادی نوع P متصل شود بایاس را معکوس گویند . از آنجایی که قطب مثبت باطری الکترون های آزاد را از جذب و قطب منفی باطری حفره ها را جذب خود می کند بنابراین حفره ها و الکترونهای آزاد از محل اتصال دور می شوند . در این حالت عرض لایه تخلیه بزرگ می شود . این عمل زمانی متوقف می شود که پتانسیل لایه تخلیه با ولتاژ معکوس اعمال شده مساوی گردد .



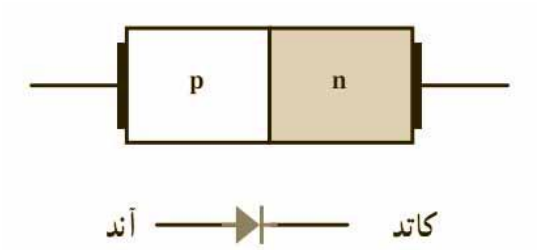


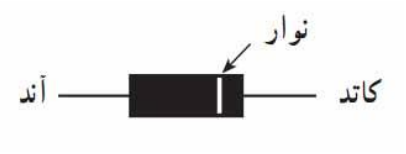
جریان اشباع معکوس

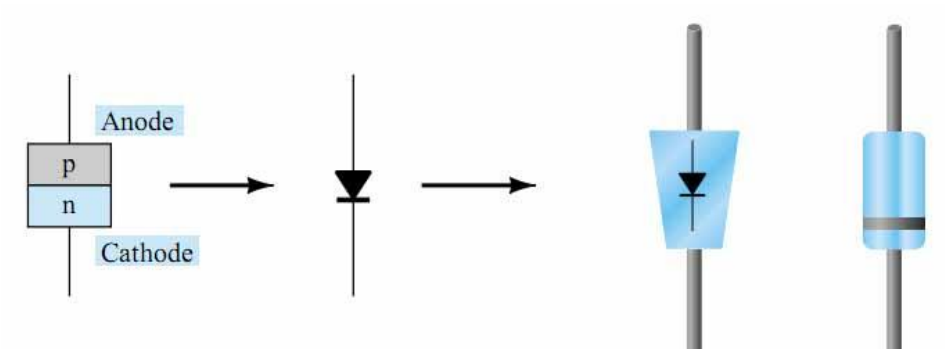
از آنجایی که انرژی حرارتی دائماً درحال ایجاد زوج الکترون – حفره (حامل های اقلیت) در لایه تخلیه بصورت تصادفی است بنابراین یک جریان ضعیف پیوسته ای در مدار بایاس معکوس خواهیم داشت . توجه داشته باشید که این جریان ناشی از حامل های اقلیت است (حفره در نوع N و الکترون آزاد در نوع P)

نکته : عوامل موثر بر جریان اشباع معکوس عبارتند از : حرارت ، درصد ناخالصی ، سطح مقطع

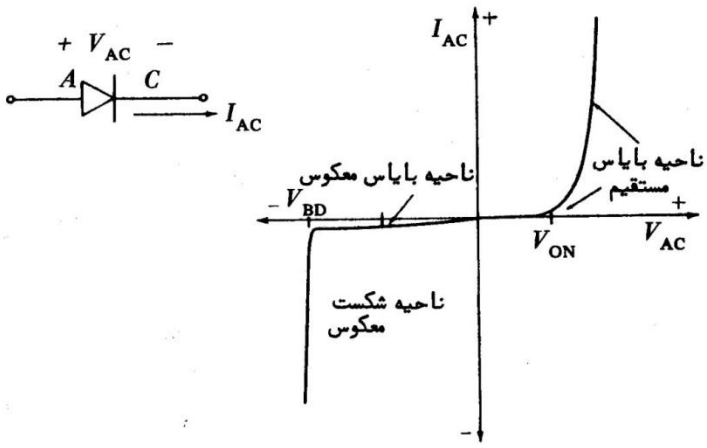
نماد مداری دیود







مشخصه ولت-آمپری دیود (غیرخطی)



$$I_D=I_S(e^{Vd/\eta vt}-1)$$

جهت ولتاژهای بیشتر از V_{ON} یا همان V_γ به ازای تغییرات کوچکی در ولتاژ ، جریان به شدت افزایش می یابد . در بایاس معکوس با افزایش ولتاژ معکوس جریان افزایش یافته تا به اشباع برسد I_S

نکته ۱ : ولتاژ حرارتی $V_T(25^OC)=26mV$

نکته ۲ : پارامتر η وابسته به جنس دیود

$\eta=1$ مدار مجتمع

$\eta=2$ بصورت مجزا

$$1<\eta<2$$

نکته ۳ :

If $V_D>>26mV$ then $I_D=I_S\, e^{Vd/\eta vt}$

ولتاژ شکست

چنانچه ولتاژ معکوس دیود را خیلی زیاد افزایش دهیم به نقطه ای خواهیم رسید که جریان معکوس دیود به طور ناگهانی شروع به افزایش سریع می نماید . V_{BD}

شکست بهمن

در حالت معکوس یک جریان کم به خاطر حامل های اقلیت وجود دارد وقتی ولتاژ معکوس را افزایش می دهیم باعث می شود که حامل های اقلیت سریعتر حرکت نمایند . وقتی این حامل ها انرژی کافی داشته باشند با الکترونهای مدار ظرفیت برخورد کرده و در نتیجه می توانند تولید الکترونها و حفره های بیشتری نمایند . این حامل ها به جمع دیگر حامل های اقلیت پیوسته و با اتمهای دیگر الکترونها برخورد می کنند و یک افزایش تصاعدی از حامل های اقلیت را بوجود می آورند .

شکست زنر

با افزایش ولتاژ معکوس میدان الکتریکی در لایه تخلیه ممکن است به حدی برسد که بتواند مستقیماً پیوندهای کوالانسی اتمهای سیلیکون را در این ناحیه شکسته و الکترونها و حفره های زیادی را بوجود آورد .

مثال : در یک پیوند P-N با جریان اشباع معکوس $I_S=1.77\times10^{-17}$ A ، جریان پیوند را به ازای $V_D=300mV$ و $v_D=800mV$ در دمای 300^oK را بدست آورید . $\eta=1$

$I_D=I_S(e^{Vd/\eta vt}-1)= 1.77\times10^{-17}(e^{300/26}-1)=1.81$ PA

$I_D=I_S(e^{Vd/\eta vt}-1)= 1.77\times10^{-17}(e^{800/26}-1)=408\ \mu A$

مثال : دیودی در بایاس مستقیم کار می کند . فرض کنید می خواهیم جریان آن ۱۰ برابر شود ولتاژ دیود چقدر بایستی افزایش یابد ؟

$$V_D=V_T \ln \frac{I_D}{I_S} = V_T \ln \frac{10I_D}{I_S} = V_T \ln \frac{I_D}{I_S} + V_T \ln 10 = V_D + V_T \ln 10 = V_D + 60\ mV$$

تمرین : اگر ولتاژ دیود 120mV افزایش یابد جریان آن چند برابر می شود ؟

مثال : مساحت پیوند دیودی که در بایاس مستقیم کار می کند ۱۰ برابر می شود :

الف – اگر ولتاژ دیود ثابت بماند جریان آن چند برابر می شود ؟

ب – اگر جریان دیود ثابت بماند ولتاژ آن چقدر تغییر می کند ؟

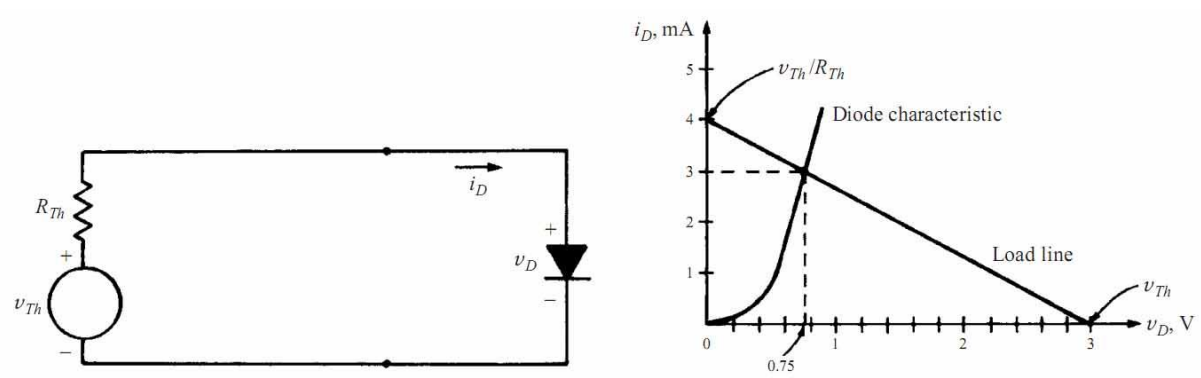
$I_S \alpha A$

$I_{D1}=10I_S e^{Vd/vt} = 10\ I_D$

$V_D=V_T \ln \frac{I_D}{10\ I_S} = V_T \ln \frac{I_D}{I_S} - V_T \ln 10 = V_T \ln \frac{I_D}{I_S} - 60\ mV$

روش ترسیمی

معمولاً این روش در مدارهایی که یک عنصر غیرخطی دارند کاربرد دارد .

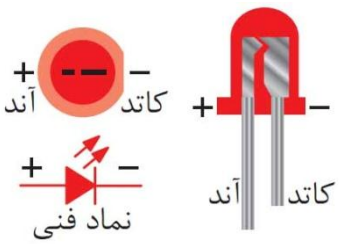


جواب از تقاطع معادله خط بار $V_D=V_T-I_DR_T$ و نمودار دیود بدست می آید .

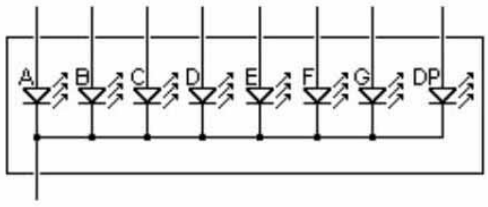
دیودهای خاص

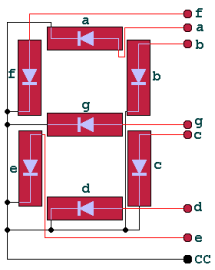
دیود زنر : دیودهای یکسوساز و سیگنال هیچگاه نبایستی در منطقه شکست قرار گیرند چرا که احتمال خرابی آنها وجود دارد اما دیود زنر نوعی دیود است که به گونه ای ساخته می شود تا بتواند در منطقه شکست کار کند . از کاربردهای آن در مدارهای تثبیت کننده ولتاژ جهت ثابت نگه داشتن ولتاژ در مقابل تغییرات برق شهر یا تغییرات بار می باشد . این دیود همیشه بصورت معکوس در مدارها بکار می رود .

دیود نورانی LED : جهت ساخت LED ها عناصری از قبیل آرسنیک فسفر و گالیم استفاده می شود که عمل آزاد سازی انرژی در آنها به صورت نور با طول موج های مختلف می باشد و همیشه بصورت مستقیم بایاس می شود . اغلب LED ها موجود در بازار با جریان ۵ تا ۳۰ میلی آمپر نور کافی ایجاد می کنند . حداکثر ولتاژ قابل تحمل آنها ۵ ولت است و اغلب در نشانگرهای دستگاههای الکترونیکی بکار می روند .



نمایشگر هفت قسمتی 7-SEGMENT : از هفت عدد LED بصورت شکل زیر و در دو نوع کاتد مشترک و آند مشترک ساخته می شود .

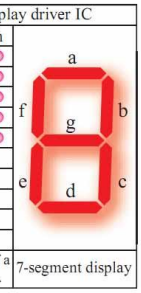




Outputs from the 4026 counter and display driver IC

Sequence	a	b	c	d	e	f	g	h
0	●	●	●	●	●	●		●
1		●	●					●
2	●	●		●	●		●	●
3	●	●	●	●			●	●
4		●	●			●	●	●
5	●		●	●		●	●	
6	●		●	●	●	●	●	
7	●	●	●					
8	●	●	●	●	●	●	●	
9	●	●	●	●		●	●	

● = LED on. The labels a-g refer to the segments of a display; output h is used to drive other counters.



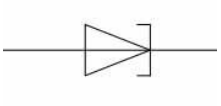
7-segment display

دیود نوری (فوتو دیود) : این دیود برعکس LED کار می کند و برای عملکرد بایستی به آن نور تابیده شود . در دیود نوری یک دریچه شیشه ای شبیه به یک عدسی عمل کرده و باعث می شود نور تابیده شده به محل اتصال برخورد کند و تابش نور باعث جدا شدن تعدادی از حامل ها و عبور جریان خواهد شد . این دیود به صورت معکوس بایاس می شود .

زوج نوری (اپتوکوپلر) :

دیود خازنی (ورکتور) :

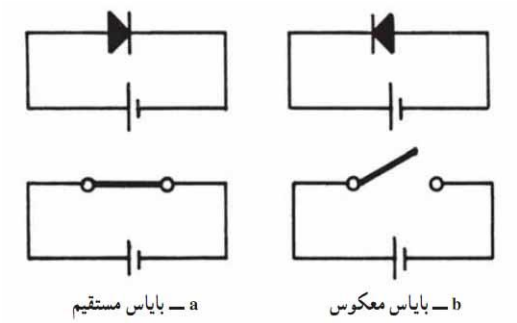
دیود تونل :

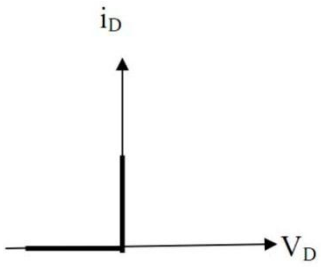


تحلیل مدارهای دیودی :

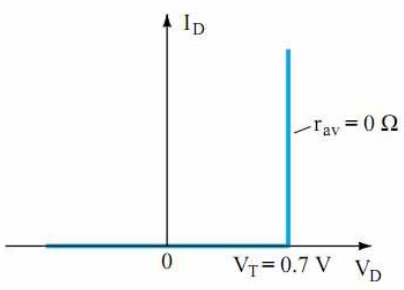
تقریب دیودها

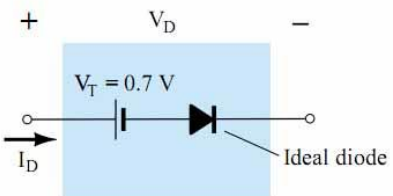
تقریب نوع اول (مدل ایده ال)





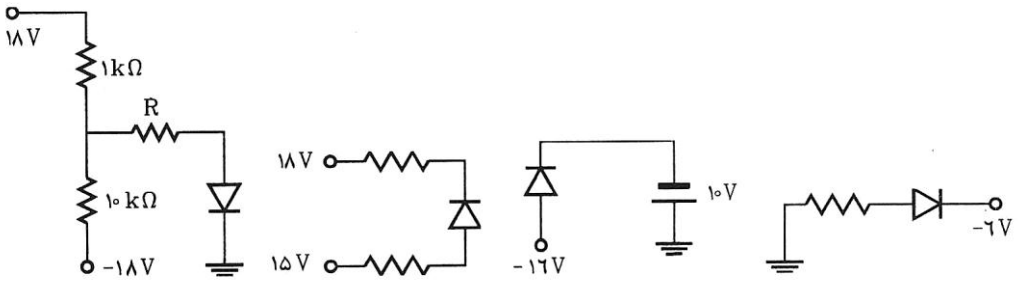
تقریب نوع دوم

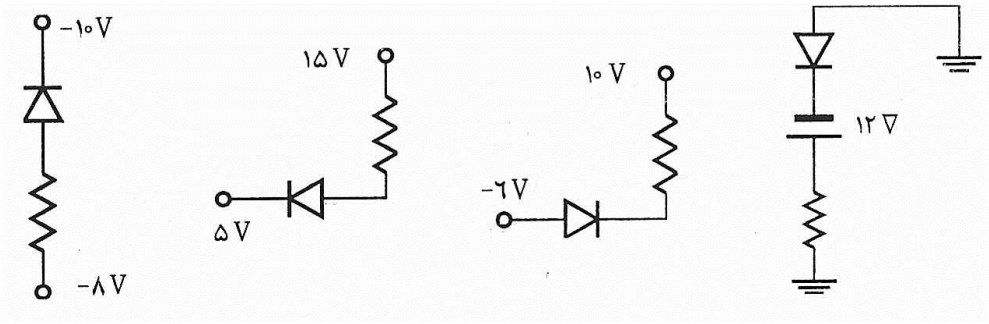




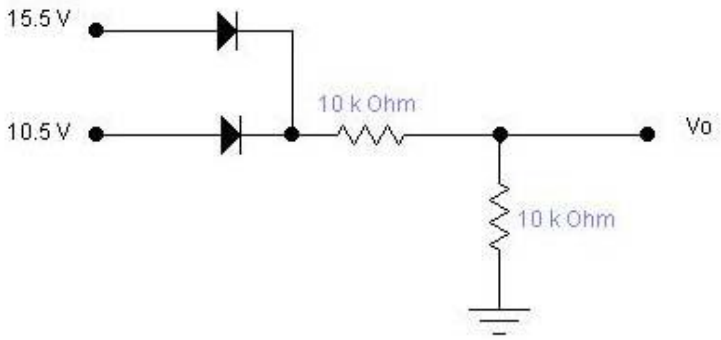
روش حل مدارهای دیودی

مثال ۱ : در شکل های زیر کدام دیود روشن و کدام خاموش است (دیودها ایده ال هستند)



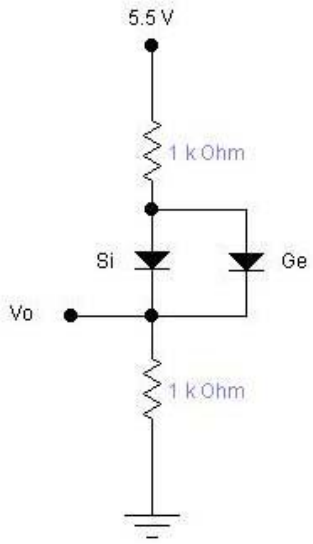


مثال : در مدار روبرو V_O چقدر است ؟ $V_\gamma = 0.5v$



مثال : در مدار شکل زیر V_O را بدست آورید .

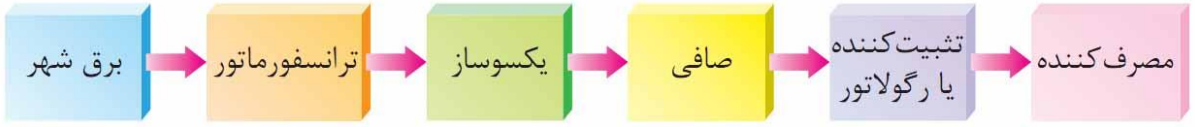
$V_\gamma(Si) = 0.5V$
$V_\gamma(Ge) = 0.3V$



چند مثال دیگر

کاربرد مدارهای دیودی

طراحی منبع تغذیه DC :



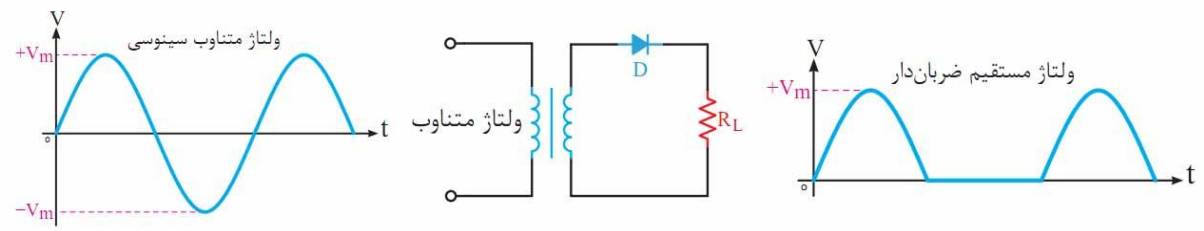
یکسو ساز ها :

۱- یکسو ساز نیم موج

۲- یکسو ساز تمام موج ترانس سر وسط

۳- یکسو ساز تمام موج پل

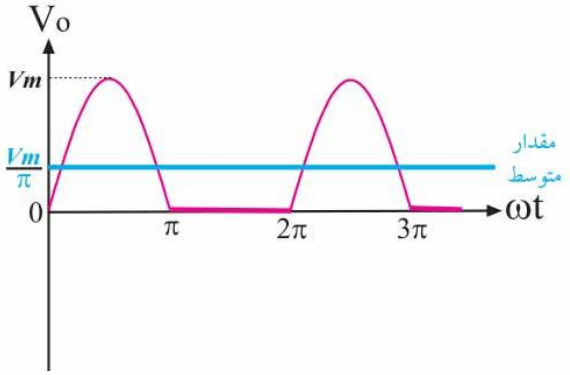
یکسو ساز نیم موج :



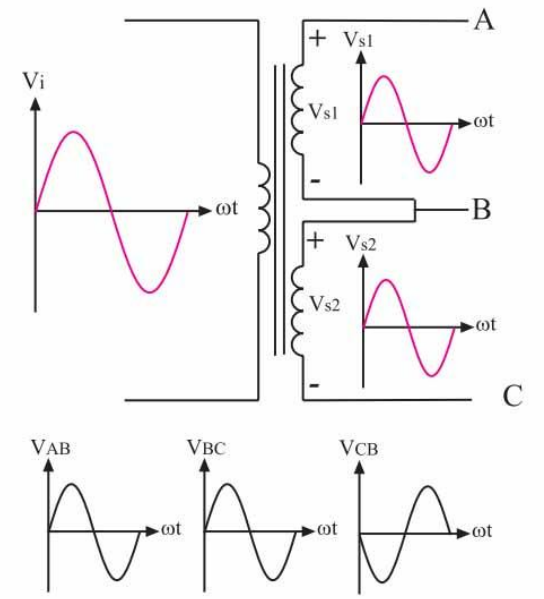
$F_{OUT} = F_{IN}$

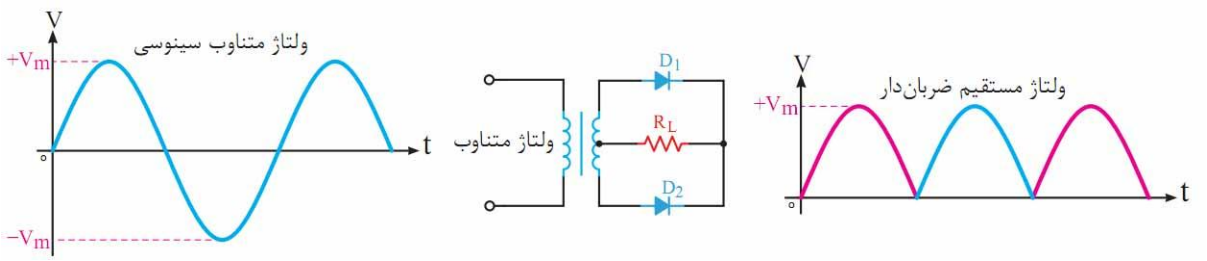
$V_{DC} = \frac{V_m}{\pi}$

$PIV = V_m$ حداکثر ولتاژ معکوس دیود



یکسو ساز تمام موج ترانس سر وسط :

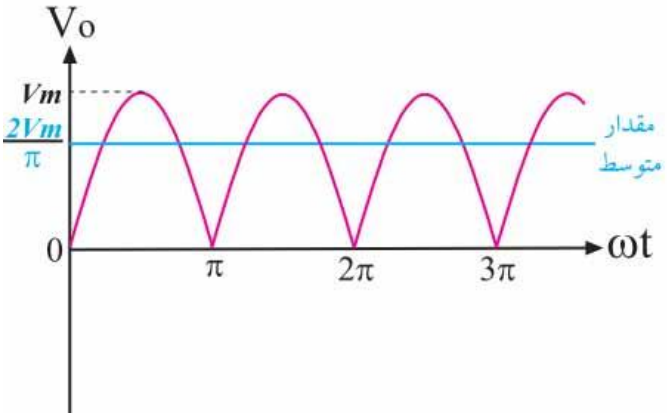




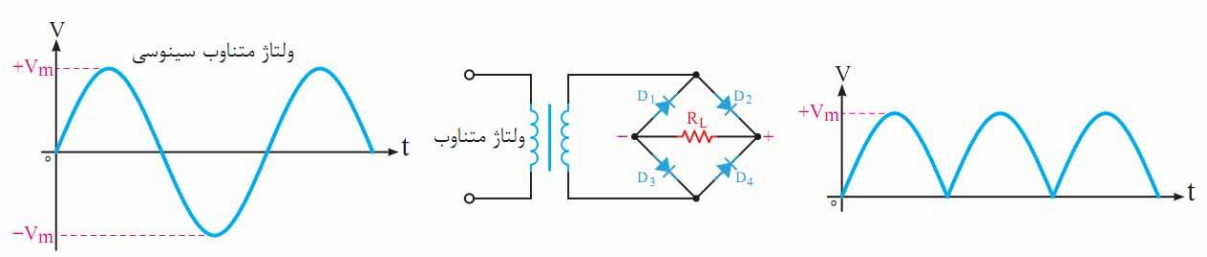
$F_{OUT} = 2\ F_{IN}$

$V_{DC} = \frac{2\ V_m}{\pi}$

$PIV = 2\ V_m$



یکسو ساز تمام موج پل

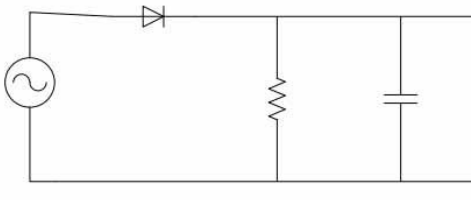


$F_{OUT} = 2\ F_{IN}$

$V_{DC} = \frac{2\ V_m}{\pi}$

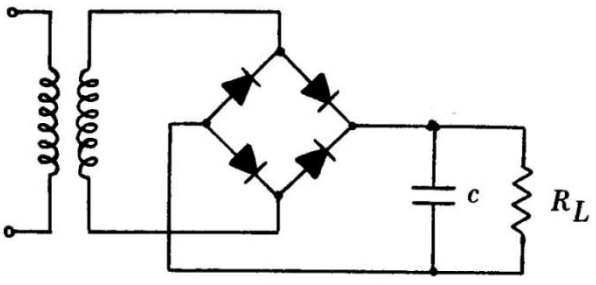
$PIV = V_m$

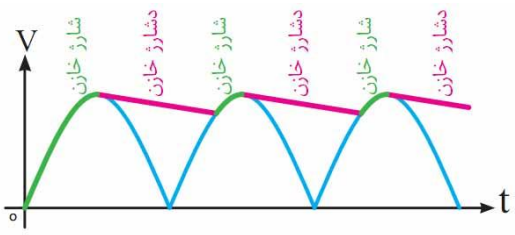
فیلتر نیم موج :



ولتاژ بار تقریباً ثابت است (شبیه به DC) تنها اختلاف تغییرات کمی است که در اثر شارژ و دشارژ خازن ایجاد می شود به این تغییرات ریپل گویند .

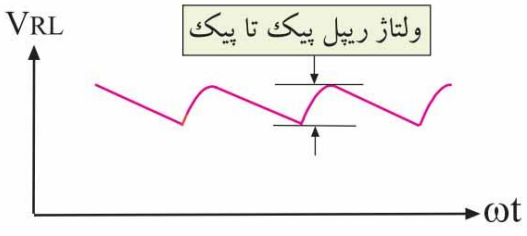
فیلتر تمام موج :





در این مدار خازن در مقایسه با نرخ تکرار دو برابر شارژ می شود در نتیجه مدت زمان تخلیه آن نصف حالت نیم موج می باشد . به این ترتیب مقدار ریپل خیلی کمتر بوده و ولتاژ DC خروجی به مقدار پیک ولتاژ نزدیکتر است .

محاسبه ولتاژ ریپل :



وقتی دیود خاموش است خازن جریان بار را تامین می کند که تقریباً معادل یک دوره تناوب T است .بنابراین بار از دست رفته خازن برابر :

$Q=I_{DC}.T$

$V_R=\frac{Q}{C}=\frac{I_{DC}\cdot T}{C}=\frac{I_{DC}}{f\cdot C}$

$V_{O\,DC}=V_M-\frac{V_R}{2}=V_M-\frac{I_{DC}}{2f\cdot C}$ نیم موج

$V_{O\,DC}=V_M-\frac{I_{DC}}{4f\cdot C}$ تمام موج

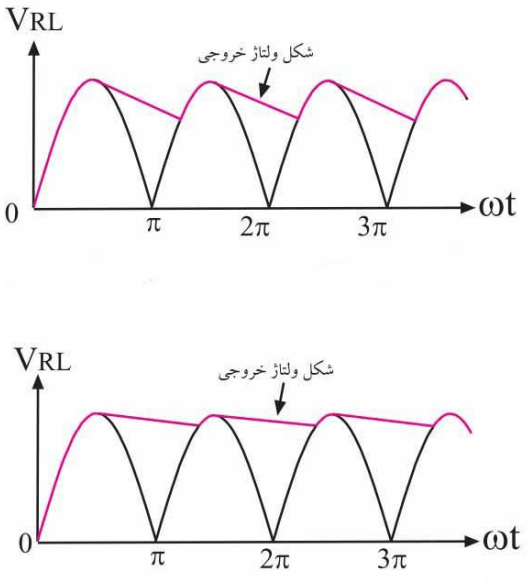
مثال : فرض کنید جریان بار در یک یکسوساز پل برابر ۱۰۰ میلی آمپر و ظرفیت خازن فیلتر در آن ۴۷۰ میکروفاراد باشد با فرض فرکانس ۵۰ هرتز ولتاژ ریپل را محاسبه کنید .

$V_R=\frac{I_{DC}}{f\cdot C}=\frac{10mA}{4\times50\times470\times10^{-6}}=0.21\ V$

تمرین : فرض کنید یک مدار یکسو ساز پل با ولتاژ موثر ۱۸ ولت موجود باشد اگر خازن فیلتر ۴۷۰ میکرو فاراد و مقاومت بار ۱ کیلو اهم باشد ولتاژ DC خروجی را با فرض فرکانس ۵۰ هرتز بدست آورید .

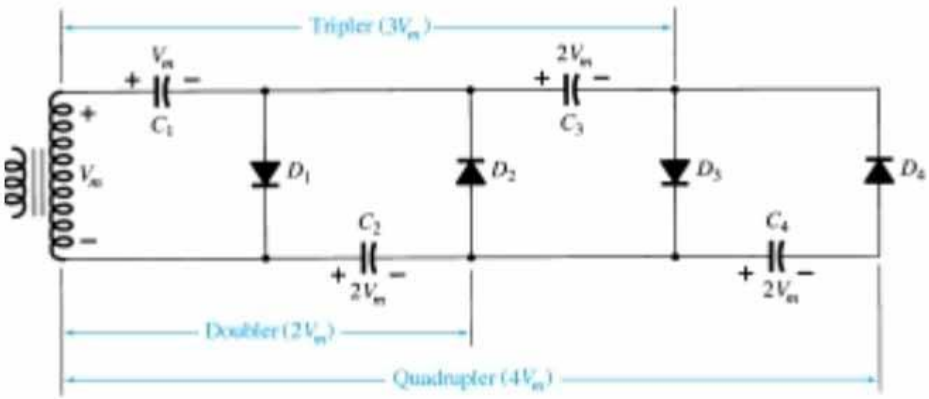
تمرین : مقدار خازن فیلتر جهت یکسوساز تمام موج جهت توان ۲ وات با ولتاژ ۳/۶ ولت به یک تلفن همراه طراحی و تعیین کنید . مقدار ریپل ولتاژ نبایستی از ۰/۲ ولت بیشتر باشد . فرکانس را ۶۰ هرتز در نظر بگیرید .

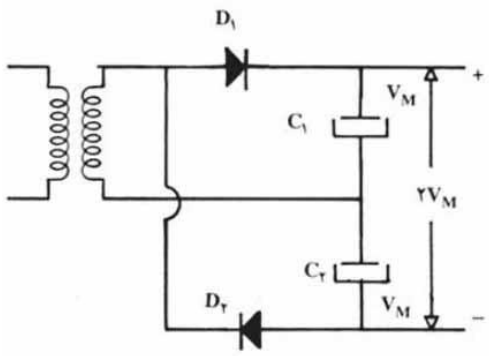
تاثیر افزایش ظرفیت خازن بر ولتاژ ریپل

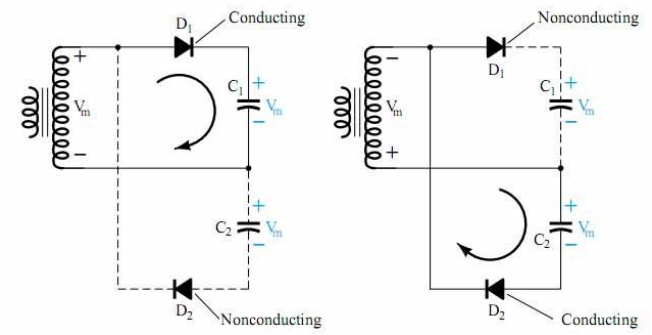


مدارهای چند برابر کننده ولتاژ :

چند برابر کننده ها به عنوان منبع تغذیه در مدارهایی که ولتاژ بالا اما جریان پایین احتیاج دارند بکار می رود

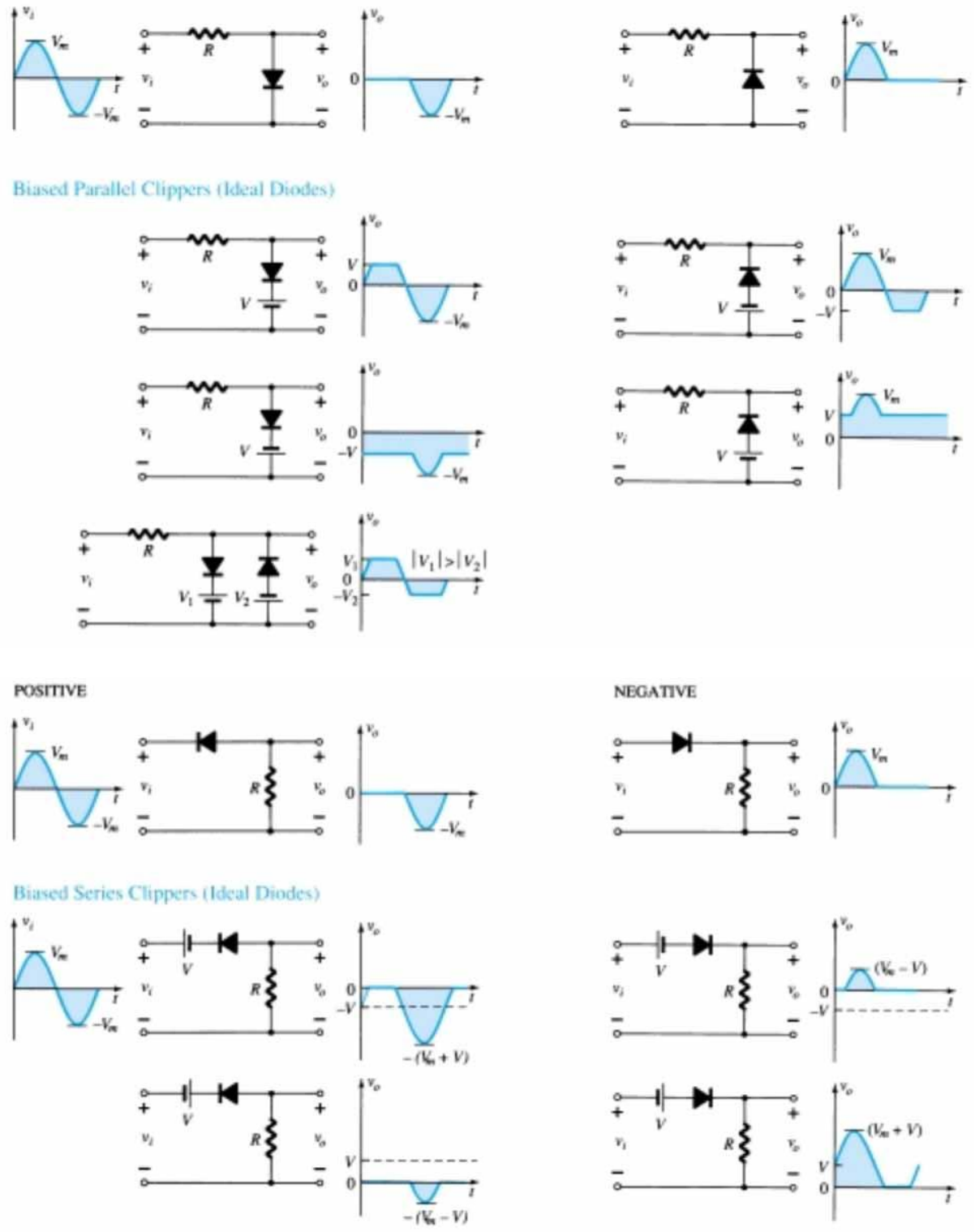






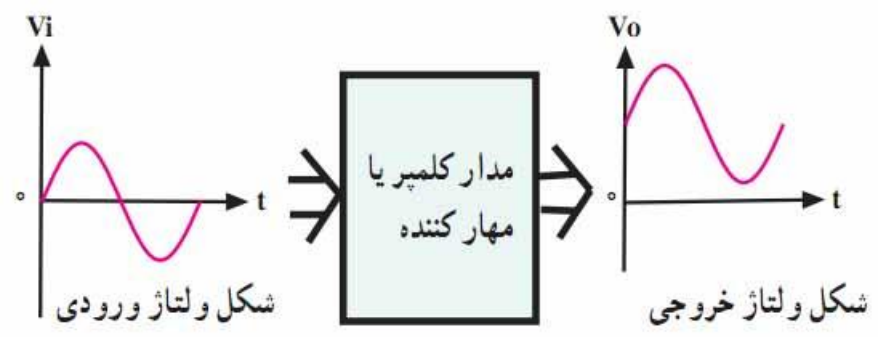
مدارهای محدود کننده :

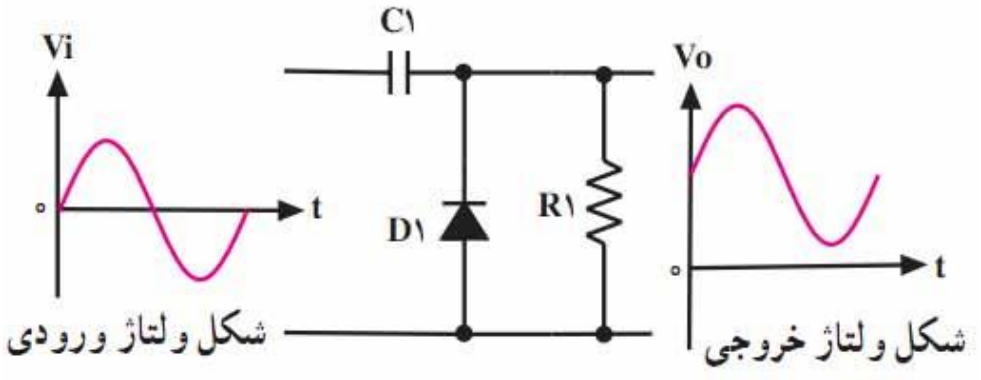
این مدارها ولتاژ بالاتر و یا پایین تر از سطح معینی را حذف می کنند

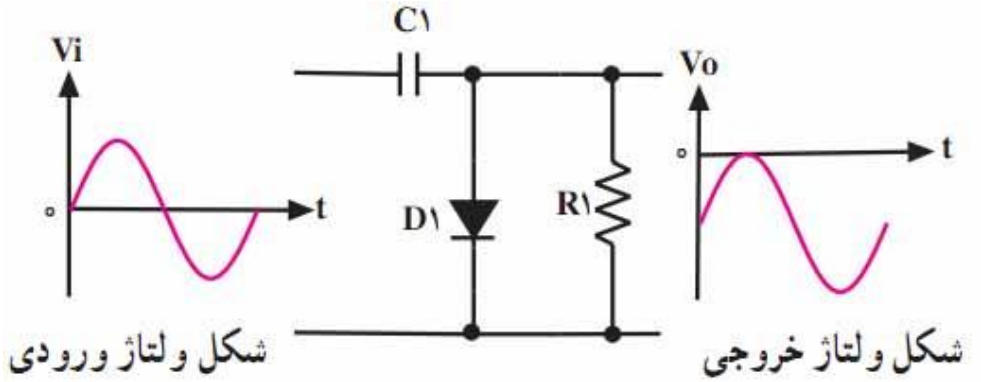


مدارهای مهار کننده (جهش)

مدار مهار کننده DC یک ولتاژ DC به سیگنال اضافه می کنند .







دیود زنر و تثبیت کننده ولتاژ :

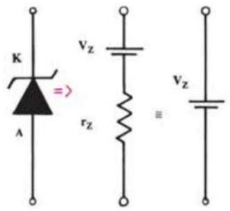
بر طبق مشخصه دیود های زنر در سه منطقه کار می کنند : منطقه مستقیم ، منطقه خاموش ، منطقه شکست

در دو حالت اول دیود زنر مانند دیود معمولی عمل می کند .

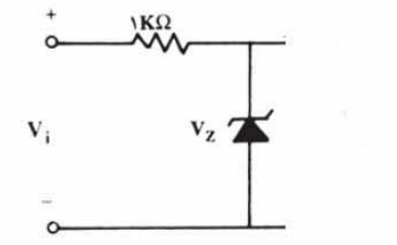
تقریب های دیود زنر در منطقه شکست :

۱- ایده ال : در این مدل دیود زنر با یک باطری مدل می شود .

۲- تقریب نوع دوم : در این مدل دیود زنر با یک باطری و یک مقاومت مدل می شود .



مثال : در مدار شکل زیر اگر دیود زنر دارای ولتاژ شکست ۱۰ ولت باشد و منبع ورودی بین ۲۰ الی ۴۰ ولت تغییر کند حداقل و حداکثر جریان زنر را بدست آورید .

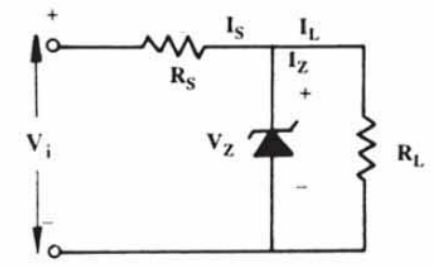


$I_{Zmin}=\frac{20-10}{1k}=10mA$

$I_{Zmax}=\frac{40-10}{1k}=30mA$

در شکل فوق هر چقدر ولتاژ منبع ورودی بیشتر شود جریان زنر بیشتر می شود اما در مقدار ولتاژ خروجی تغییری ایجاد نمی شود .

شرط دیود زنر برای قرار گرفتن در منطقه شکست :



$V_{TH}=\frac{R_L}{R_L+R_S}V_i$ if $V_{TH}>V_Z$ Z=Break

در مدار فوق R_S به عنوان مقاومت محدود کننده جریان زنر بکار رفته است در این حالت ریپل خروجی برابر :

$$V_{R(out)}=\frac{R_Z}{R_Z+R_S}V_{R(in)}$$

مثال : در مدار تثبیت کننده زنری مقادیر زیر را داریم :

$R_S=270\Omega$ $R_L=1K\Omega$ $V_Z=10V$ $V_i=18V$

موارد زیر را بدست آورید :

الف – آیا زنر در منطقه شکست قرار دارد یا خیر ؟

ب – جریان زنر را بدست آورید .

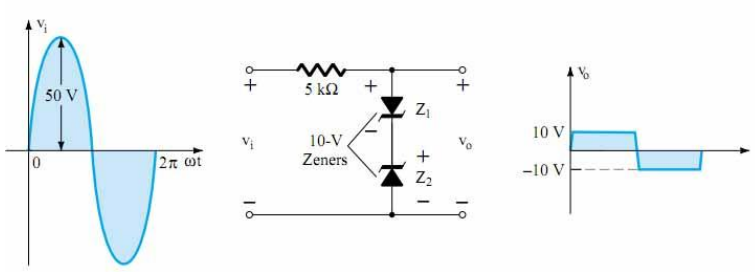
$$V_{TH}=\frac{R_L}{R_L+R_S}V_i=\frac{1K}{1K+270}\times 18=14.2>10$$

$I_S=\frac{18-10}{270}=29.6mA$ $I_L=\frac{V_L}{R_L}=\frac{10}{1K}=10mA$ I_Z=29.6-10=19.6mA

مثال : در مدار تثبیت کننده زنری اگر مقاومت زنر 8.5 اهم و مقاومت محدود کننده جریان زنر 270 اهم باشد در صورتی که ریپل ولتاژ ورودی ۲ ولت باشد ریپل بار چقدر خواهد شد ؟

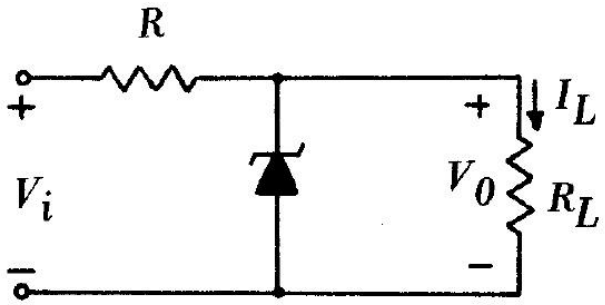
$$V_{R(out)}=\frac{R_Z}{R_Z+R_S}V_{R(in)}=\frac{8.5}{270+8.5}\times 2=61mV$$

مثال : مدار زیر چه عملی را انجام می دهد ؟



تنظیم کننده ولتاژ زنری :

در مدارهای رگولاتور زنری بایستی تغییرات ورودی (نوسانات ورودی) و تغییرات بار را نیز در نظر گرفت .



الف – ابتداء فرض می کنیم وردی ثابت و فقط بار تغییر می کند . هدف محاسبه محدوده مقاومت بار می باشد .

$$R_{L\,max} = \frac{V_Z}{I_{L\,min}} \qquad R_{L\,min} = \frac{V_Z}{I_{L\,max}}$$

$$I = \frac{V_I - V_Z}{R} \quad cte$$

$$KCL: \; I_L = I - I_Z$$

$$I_{L\,min} = I - I_{Z\,max} = \frac{V_I - V_Z}{R} - I_{Z\,max}$$

$$I_{L\,max} = I - I_{Z\,min} = \frac{V_I - V_Z}{R} - I_{Z\,min}$$

ب– اما در عمل ورودی نیز تغییر می کند .

$$I_{L\,min} = \frac{V_{I\,max} - V_Z}{R} - I_{Z\,max}$$

$$I_{L\,max} = \frac{V_{I\,min} - V_Z}{R} - I_{Z\,min}$$

مثال : در مدار تنظیم کننده زنری دیود زنر دارای ولتاژ شکست 4.8V با محدوده جریان I_{ZK}=0.2mA و $I_{Z\,max}$ =7mA است . اگر $R_L = 1K\Omega$ و $V_I = 10 \pm 1V$ باشد حداقل و حداکثر مقدار را برای ثابت ماندن ولتاژ در 4.8V بدست آورید .

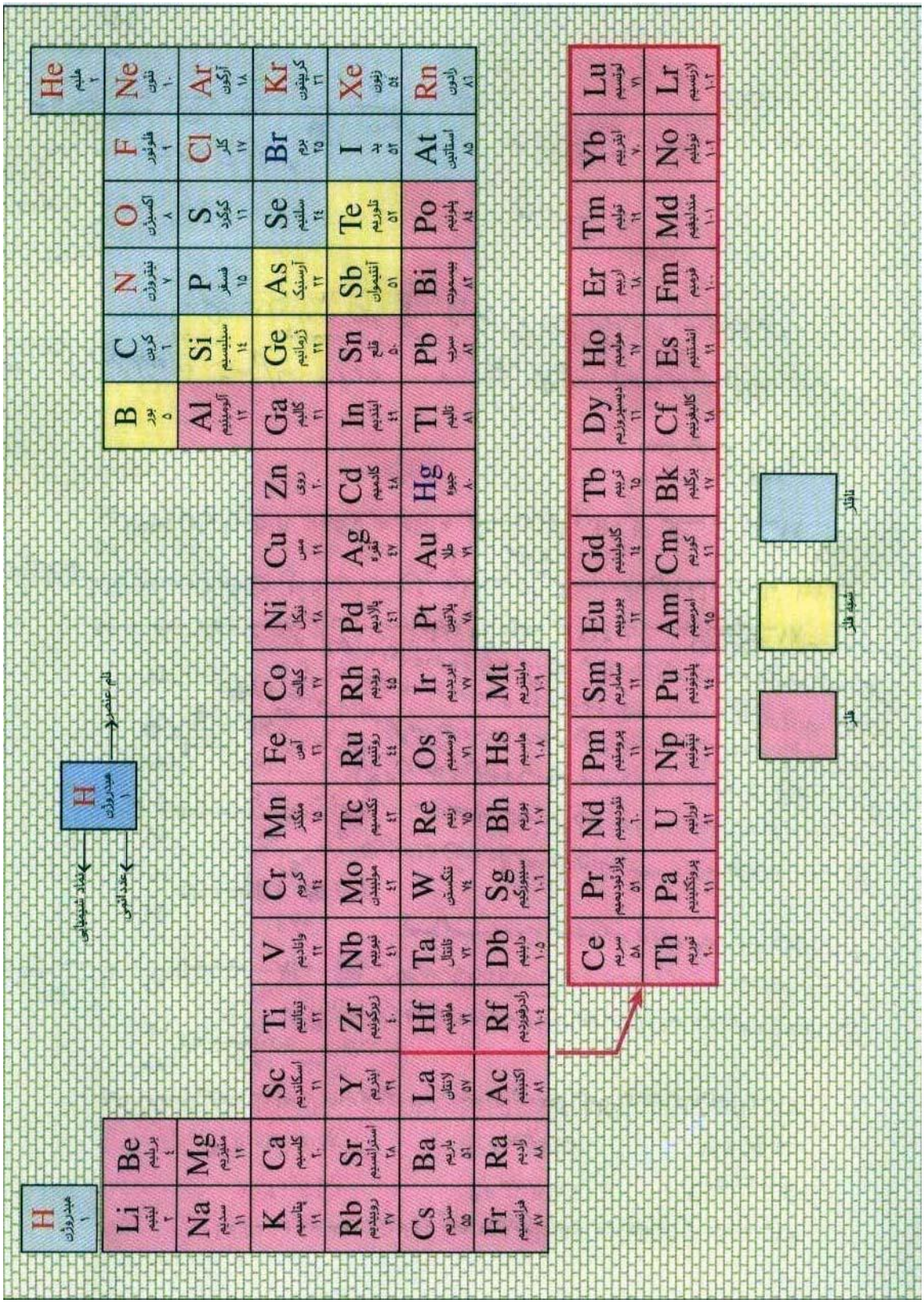
$$I_{L\ min} = \frac{V_{I\ max} - V_Z}{R} - I_{Z\ max} = \frac{11-4.8}{1} - 7 = -0.8mA$$

از آنجایی که مقدار جریان فوق منفی بده است آمده است نشان دهنده آنست که از نظر حد بالای مقومت بار محدودیتی وجود ندارد

$$I_{L\ max} = \frac{V_{I\ min} - V_Z}{R} - I_{ZK} = \frac{9-4.8}{1} - 0.2 = 4mA \qquad R_{L\ min} = \frac{V_Z}{I_{L\ max}} = \frac{4.8}{4} = 1.2K$$

$$R_L \geq 1.2K\Omega$$

مثال :


H
هیدروژن
۱
نماد شیمیایی
H
هیدروژن
۱
عدد اتمی
نام عنصر
Li Be B C N O F Ne
Na Mg Al Si P S Cl Ar
K Ca Sc Ti V Cr Mn Fe Co Ni Cu Zn Ga Ge As Se Br Kr
Rb Sr Y Zr Nb Mo Tc Ru Rh Pd Ag Cd In Sn Sb Te I Xe
Cs Ba La Hf Ta W Re Os Ir Pt Au Hg Tl Pb Bi Po At Rn
Fr Ra Ac Rf Db Sg Bh Hs Mt
Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu
Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr
He
Ne Ar Kr Xe Rn
فلز
شبه فلز
نافلز