



آموزش الکترونیک بزبان ساده

سری کتابهای دانش الکترونیک « ۸ »

۱۰۰ روال

جدید



تألیف مهندس غلامحسین ادیسی

درس اول: مقدمه

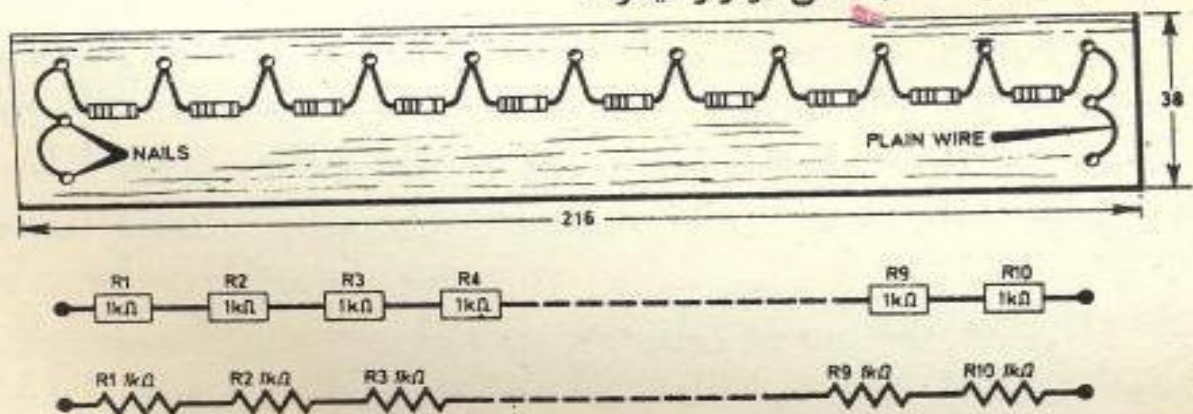
ابزار و وسایل لازم

چون شما در اینجا آزمایشاتی نیز انجام میدهید، باید ابزار و وسایلی فراهم کنید. این وسایل در درجه اول عبارتند از: هویه کوچک (حدود ۲۰ وات) انبر دست - دم باریک سیم چین - چکش کوچک - اره چوب بر - آچار - پیچ گوشتی - دریل کوچک - مقداری سیم و چند فیش و سیم رابط با اتصالهای مختلف.

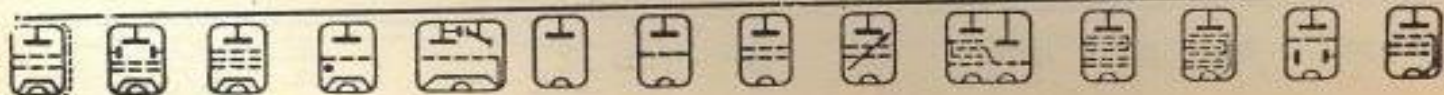
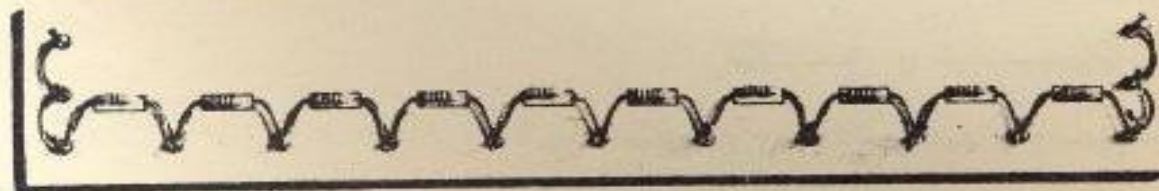
شما بعدها به یک دستگاه اندازه گیری (متر) احتیاج خواهید داشت که بتوانید با آن مقادیر مقاومتها و جریانها را اندازه بگیرید. ولی در ابتدا شما با این وسیله کاری نخواهید داشت زیرا یکی از هدفهای ما ساختن یک ولت متر الکترونیکی است که بعدها با آن کار خواهیم کرد. در آزمایشات خود به تعدادی مقاومت و خازن و ترانزیستور و همچنین به چند تخته آزمایش با ابعاد $305 \times 216 \times 15$ میلی متر و $610 \times 610 \times 4$ و چند تخته دیگر احتیاج دارید.

البته ما بعداً "در مورد کاربرد هر کدام از این وسایل صحبت خواهیم کرد و طرز کار آنها را خواهیم گفت. چون در آزمایشات احتیاج به لحیم کاری پیدا می کنید، بهتر است ابتدا مقداری تمرین لحیم کاری نمائید زنجیر مقاومتی

در آزمایشاتی که بعداً "بآنها خواهیم رسید به یک سری مقاومت احتیاج خواهیم داشت بدین منظور ما یک زنجیر مقاومتی می سازیم تا در همه آزمایشات خود از آن استفاده نمائیم. بر روی یک تخته ۱۱ میخ بکوبید و ۱۰ مقاومت یک کیلو اهم یک چهارم وات بین هر دو میخ مطابق شکل ۱ - ۱ لحیم نمائید. برای راحتی حمل و نقل دو تکه سیم در دو انتهای تخته بین دو میخ قرار دهید. پس سر هم قرار دادن مقاومتها بفرم فوق را "سری کردن مقاومتها" می گویند بعدها ما یک باتری ۹ ولت به دو انتهای این زنجیر مقاومتی وصل می کنیم جریان از قطب مثبت بطرف قطب منفی برقرار میشود.



سؤال مهمی که مطرح میشود اینست: آیا جریان در ضمن عبور از مقاومتها ضعیف می گردد؟ قبل از پاسخ به این سؤال احتیاج است که معنای "مثبت و منفی" بودن را بفهمیم.

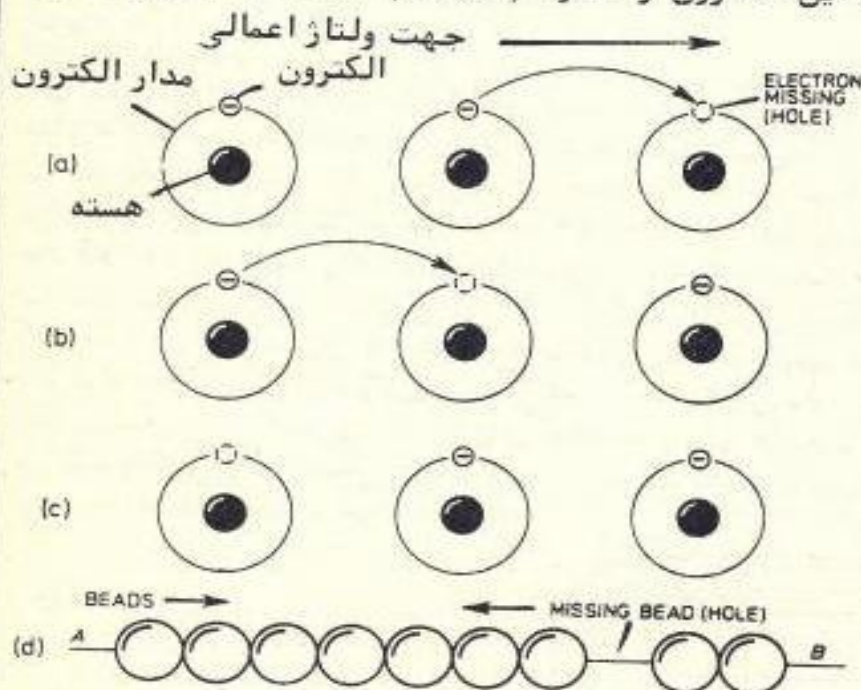


الکترون

از همان سالها پیش که فقط الکتريسيته از مالش مواد عایق بهم تولید میشد (الکتريسيته ساکن) می دانستند که دو نوع الکتريسيته وجود دارد. یک نوع آن از مالش یک میله لاکي به ابریشم و نوع دیگر از مالش میله شیشه ای به پشم گربه ایجاد می گردد. این دو نوع الکتريسيته با هم فرق دارند زیرا همدیگر را خنثی می کنند. دو نوع همنام به یکدیگر اضافه می کردند. از اینرو یک نوع آنرا الکتريسيته مثبت (الکتريسيته شیشه ای) و نوع دیگر را الکتريسيته منفي (الکتريسيته لاکي) نامیدند.

در آن هنگام نظریه ای وجود داشت که میگفت: هر ماده ای دارای بارهای مثبت و منفي می باشد. اگر بارهای مثبت آن بیشتر از منفي گردد آن جسم دارای الکتريسيته مثبت شده و اگر بار منفي بیشتر از مثبت شود جسم دارای الکتريسيته منفي می گردد. بعدها که الکترون کشف شد بنظر رسید که فقط یک نوع بار الکتريکی وجود دارد و همین یک نوع برای توضیح پدیده های فیزیکی راجع به الکتريسيته کافی است. تئوری هدایت در فلزات: الکترونهاي مدار خارجی اتم را میتوان بحرکت واداشت.

در شکل ۱-۲ الکترونهاي مدار خارجی فلز در اثر اعمال ولتاژ حرکت در آمده است. وقتی ترانزیستور اختراع شد فیزیکدانها متوجه شدند در بعضی از کریستالها جای بعضی الکترونها خالی می باشد و محل این الکترون را حفره (HOLE) نامیدند. میتوان چنین

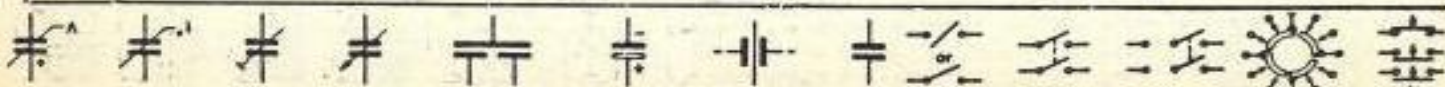


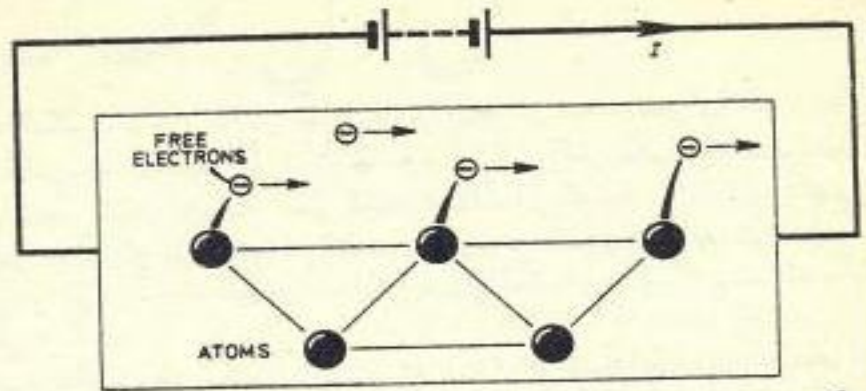
شکل ۱-۲

تصور کرد که الکترون این محل در اثر اعمال ولتاژ به یک اتم دیگر منتقل گردیده است (شکل ۱-۲).

چند سال بعد فیزیکدانان کشف کردند که در کریستال ژرمانیم و سیلیکون حفره ها و الکترونها میتوانند بهم برخورد کنند بدون اینکه همدیگر را خنثی نمایند. بار الکترون را منفي و در نتیجه بار حفره را مثبت اختیار نمودند.

در مدارهای مافرض برای این شده که جریان از قطب مثبت باطری شروع شده و پس از عبور از مسیر خود به قطب منفي بر می گردد. اما الکترونها که حامل بار الکتريکی هستند در جهت عکس حرکت





شکل ۳-۱

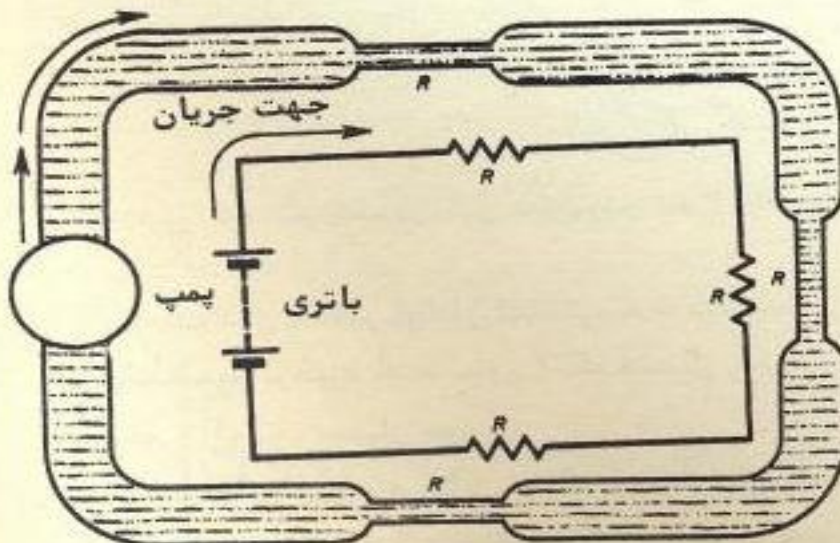
میکنند. در بعضی از کتب جریان الکتریکی را حرکت الکترون‌ها میدانند حال آنکه این خلاف واقعیت می‌باشد.

همانطور که گفته شد مادر این کتاب جریان الکتریکی عکس را جهت حرکت الکترون‌ها فرض کرده‌ایم.

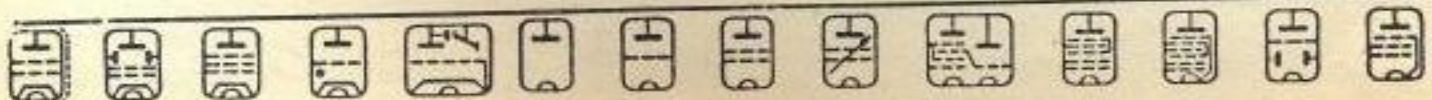
چون حفره‌ها دارای بار مثبت می‌باشند. میتوان حرکت حفره‌ها را جهت جریان الکتریکی دانست.

جریان در زنجیر مقاومتی

اگر یک پمپ در یک مسیر بسته قرار گرفته بطوریکه آب را در داخل این مسیر بگردش در بیاورد. واضح است که همان مقدار آبی که به پمپ میرسد از آن خارج می‌گردد و جریان آب در هر نقطه از مسیر یکی می‌باشد. اگر مسیر جریان آب شبیه شکل (۴-۱) باشد یعنی قطر لوله مسیر در نقاط مختلف یکی نباشد باز مطلب فوق صادق می‌باشد. اگر پمپ در هر دقیقه ۱۰ لیتر آب دریافت کند همین مقدار را در دقیقه در مسیر بگردش در می‌آورد. جریان آب درست شبیه جریان الکتریکی و پمپ در حکم باتری می‌باشد و میتوان گفت که جریان الکتریکی در یک مسیری که دارای مقاومت‌های مختلف (بطور سری) می‌باشد یکسان بوده و از یک مقاومت به مقاومت دیگر فرقی نمی‌کند زیرا الکترون دارای یک مقدار بار ثابت می‌باشد و امکان ندارد دو الکترون با بارهای مختلف بتوان یافت، چیزی که در این مدار ضعیف می‌شود ولتاژ می‌باشد بطوریکه اگر ولتاژ را در سر مثبت باتری ۹+ ولت بگیریم این مقدار در نیمه راه به ۴/۵+ ولت خواهد رسید.



شکل ۴-۱



اگر زنجیر مقاومتی را بین دو قطب یک باتری قرار دهید هر کدام از مقاومتها $\frac{1}{10}$ ولتاژ را مصرف میکنند. مطلب مهمی که در اینجا گفته شد ثابت بودن جریان در یک مسیر می باشد این مسیر را میتوان فعلاً "چنین آزمایش نمود:

آرستد دانشمند دانمارکی کشف کرد که جریان الکتریکی در اطراف خود میدان الکتریکی ایجاد می کند. اگر قطب نما در این میدان قرار دهید منحرف خواهد شد که البته این انحراف وقتی محسوس است که جریان چندین آمپر باشد که این جریان برای یک باتری ۹ ولت خیلی زیاد است. بهر حال در مدارهایی که جریان از چند آمپر ببالا باشد انحراف قطب نما در هر لحظه یک اندازه معین می باشد بنابراین باید جریان یک اندازه معین باشد.

لیست لوازم مورد نیاز جهت انجام آزمایشهای این کتاب

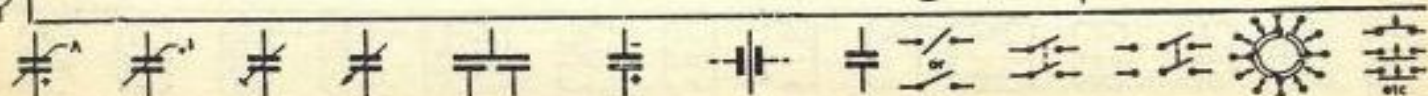
(همه $\frac{1}{4}$ وات و ۵ درصد)
مقاومتها

۱۰ اهم	۵ عدد	۱۰ کیلو اهم	۱۰ عدد
" ۳۳	۵ عدد	" " ۳۳	۵ عدد
" ۱۰۰	۵ عدد	" " ۱۰۰	۱۰ عدد
" ۳۳۰	۱۰ عدد	" " ۳۳۰	۵ عدد
۱ کیلو اهم	۲۰ عدد	۱ مگا اهم	۵ عدد
" ۳/۳	۱۰ عدد	" ۳/۳	۵ عدد

خازنها

۱ نانوفاراد	پولیستر	۵ عدد
" ۱۰	"	۵ "
" ۱۰۰	"	۵ "
۳۰۰ پیگوفاراد متغیر		۱ "
۱۰ میکروفاراد شیمیایی		۲ عدد
" ۱۰۰	"	۵ "
" ۱۰۰۰	"	۲ "
پتانسیومترها		

۱۰۰ کیلو لگاریتمی	۳ عدد
یک مگا اهم لگاریتمی	۱ عدد



۱۰ کیلو اهم خطی ۱ عدد

نیمه هادیها

عدد ۴	2N3702	عدد ۱۱	BC108
عدد ۲	دیود ژرمانیوم OAgO	عدد ۳	ZTX300
عدد ۶	دیود یکسوکننده 1N4001	عدد ۳	T1L20g دیود نورانی
عدد ۲	مقاومت وابسته (فتوسل)	عدد ۵	IN4148

(به نور)

دیگر وسایل

عدد ۱	لامپ ۳ / ۶ ولت	عدد ۱	میله ضریب
عدد ۱	میتزر	عدد ۱	بلندگو ۲۰ تا ۸۰ اهم
		عدد ۱۰	باتری ۱ / ۵ ولت

توجه

کتاب دوم "آموزش الکترونیک بزبان ساده" با عناوین زیربودی در اختیار شما خواهد بود :

درس چهاردهم - تقویت کنند هها (۲)

درس پانزدهم - مخابرات (۱)

درس شانزدهم - مخابرات (۲)

درس هفدهم - لاجیک گیتها و مدارها

درس هیجدهم - منابع تغذیه

درس نوزدهم - مبدلها (ترانس د یوسر)

درس بیستم - ریاضیات اندازه گیریها

با انضمام تستهای دوره ای و آزمایشهای مربوط به دروس *

درس دوم: تهیه وسایل

مدول ها

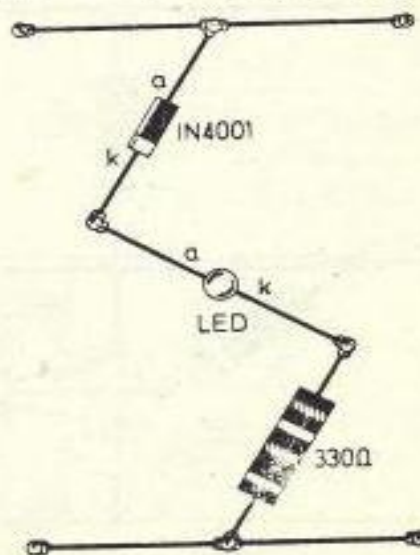
دراکتر آزمایشها مابه یکنوع ترانزیستور، دیود و احتیاج داریم. این وسایل در اثر حرارت زیاد ناشی از لحیم کاری خیلی زود صدمه دیده و خراب میشوند. بهمین خاطر آنها را روی تخته‌هایی سوار کرده و بعدا در تمام آزمایشها که لازم است از آنها استفاده خواهیم کرد.

برای اتصال این مدولها بهم از سیم رابط استفاده می‌کنیم. به این وسایل که روی تخته سوار کردیم مدول می‌گوئیم.

LED مدول

اولین مدول که میسازیم مدول یک دیود نورانی می‌باشد که به انگلیسی به آن *Light Emitting Diode* گفته می‌شود. این دیود در اثر عبور مقدار معینی جریان از آن نورانی میشوند (شکل ۱-۲). در حقیقت نوعی لامپ میباشد. "این دیود در جهت مستقیم بسته میشود." اگر این دیود را مستقیما به دو سر باتری وصل کنید در اثر عبور جریان زیاد از آن صدمه می‌بیند.

برای جلوگیری از چنین وضعی یک مقاومت ۳۳۰ اهم بطور سری با آن قرار میدهم که جریان را محدود کند. همچنین لازم بتذکر است که دیود نورانی وقتی روشن میشود که جریان در جهت



شکل ۱-۲

صحیح از آن عبور کند و اگر در خلاف جهت معمول از آن جریان بگذرد خواهد سوخت. برای حفاظت دیود در مقابل چنین عملی یک دیود دیگر سری با آن قرار میدهم که همیشه جریان را در جهت صحیح هدایت کند و در جهت معکوس جلوی آنرا بگیرد.

در شکل (۲-۲) سمت راست مونتاژ شده (مدول) این مدار نشان داده شده است که شما بایستی آنرا بسازید.

محل اتصالها را لحیم کنید و ورودی و خروجی را برای وصل سیم رابط منبج بکوبید.

مدول خازن

طبق شکل (۲-۳) یک خازن ۱۰۰۰ میکرو فارادی بردارید و بر روی تخته ای سوار نمائید و مدول خازن بسازید.

توجه داشته باشید که خازن فوق شیمیائی (الکتrolیت) بوده و سرهای آن مثبت و منفی دارد و بطور صحیح از آن استفاده کنید.

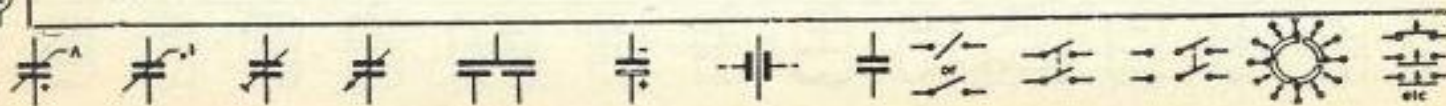
مدولهای ترانزیستوری

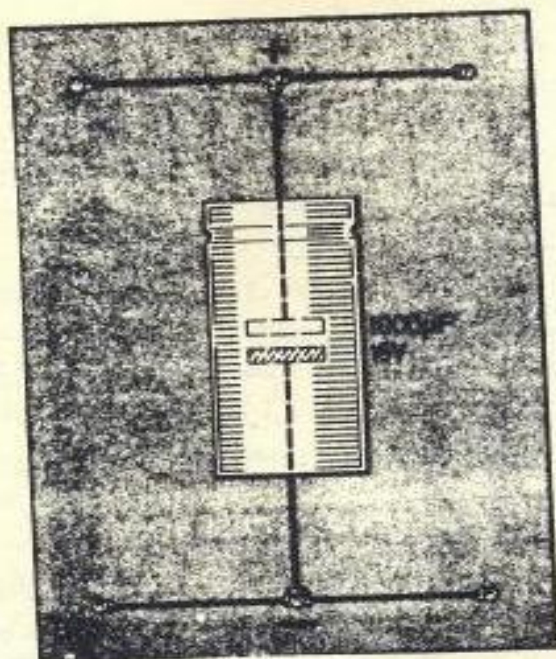
ترانزیستور یک تقویت کننده جریان است. ترانزیستور عنصری است سه پایه (شکل ۲-۳) که با عبور جریان کمی در مسیریایه (بیس) و پخش کننده (امیتور) اجازه عبور جریان زیادی (حدود ۱۰۰ مرتبه بیشتر) در مسیر جمع کننده (کلکتور) و امیتور را میدهد.

این تقویت را میتوان برای روشن کردن *L.e.d* بکار برد.

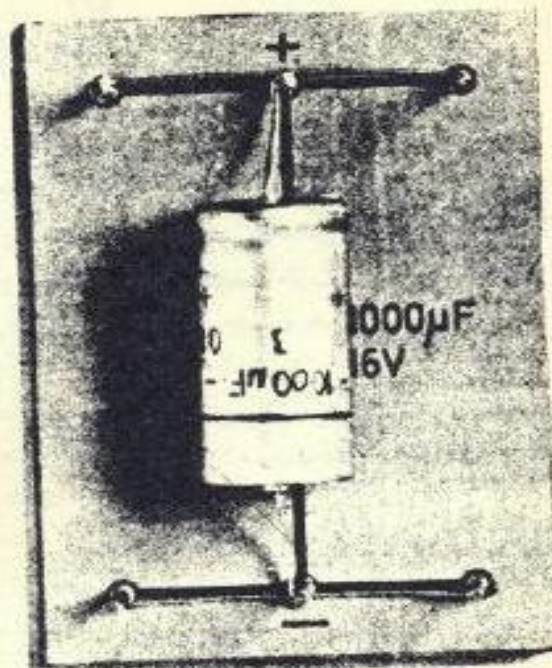


شکل ۲-۲



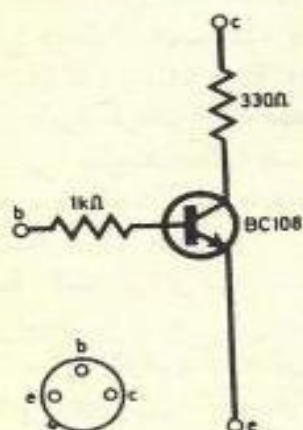


شکل
۲-۳

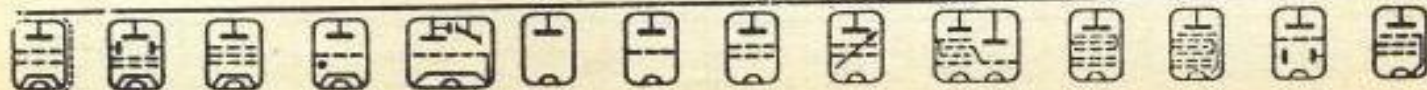
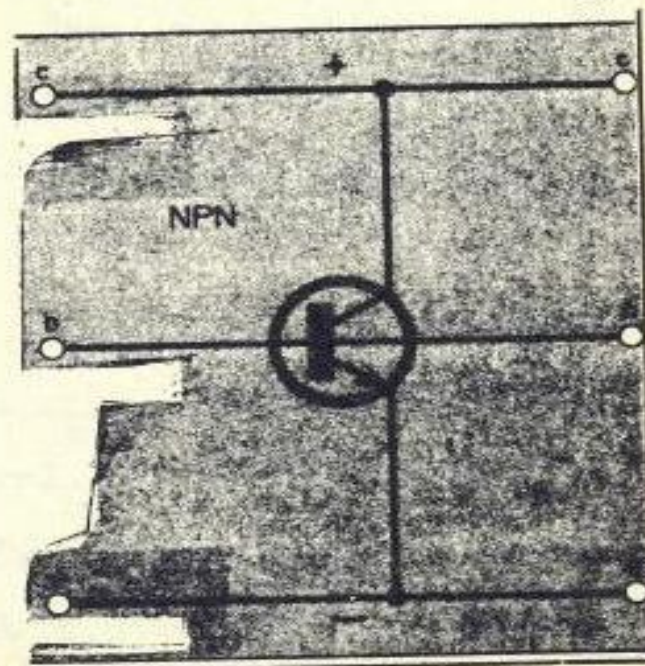
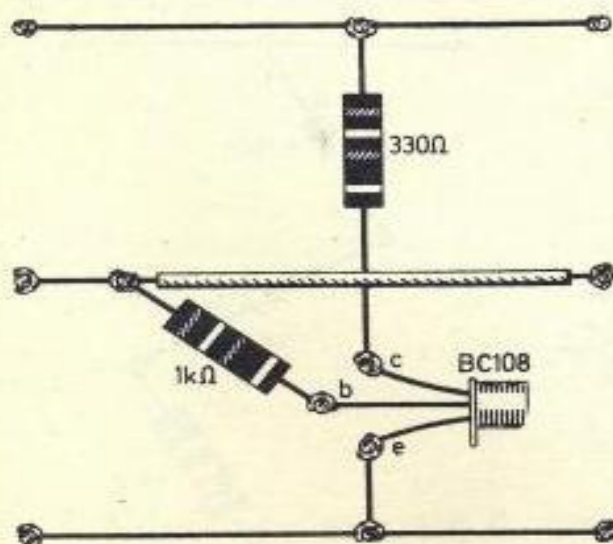


مادر آزمایشهای خود به سه مدول احتیاج داریم بنابراین سه مدول خواهیم ساخت دوتا با ترانزیستور منفی $N.P.N$ و یکی با ترانزیستور تیپ مثبت $P.N.P$ هرکدام از مدولها شامل یک ترانزیستور - دو مقاومت برای حفاظت ترانزیستور می باشند شکلهای (۲-۴ و ۲-۵)

در موقع اتصال و لحیم کاری ترانزیستور کاملاً دقت کنید که پایههای آن بطور صحیح قرار گیرد. $BC108$ در نزدیکی آمپتورش روی بدنه زایدهای دارد.



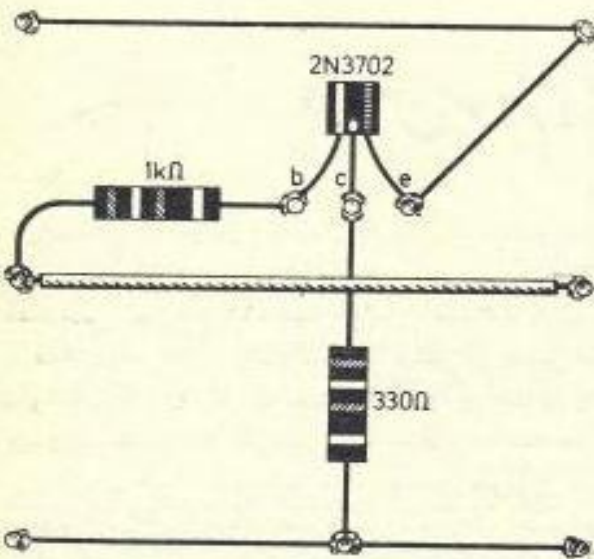
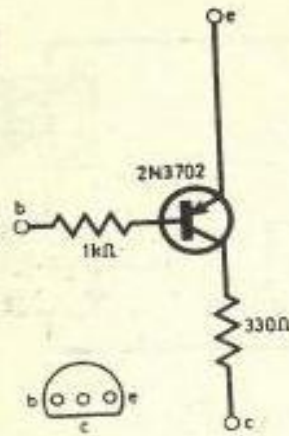
شکل ۲-۴



2N3702 یک نقطه رنگی برای مشخص کردن گلکتورش روی بدنه دارد.

حال شما می توانید مدول $L.e.d$ - زنجیر مقاومتی و یک مدول ترانزیستوری را طبق شکل های ۲-۶ / ۲-۷ بهم وصل کرده و محلی را در زنجیر مقاومتی پیدا کنید که $L.e.d$ روشن گردد و نتیجه را بخاطر بسپارید. همچنین می توانید مدار شکل (۲-۸) را تهیه کرده و آزمایش کنید. در این مدار از مدول خازن نیز استفاده شده است و بدین ترتیب می توانید اثر خازن را نیز مشاهده کنید

شکل ۵-۲



ج- در طرف آند دارند.

۲- در هنگام سیم بندی (مونتاژ) یک مدار نیم هادیها بایستی

الف- از ابتدا در مدار گذاشته شوند.

ب- در آخر سر در مدار گذاشته شوند.

ج- پس از قرار مقاومتها در مدار قرار گیرند.

۳- اگر یک باتری ۱۲ ولت، یک مقاومت ۲ کیلو اهم و یک مقاومت یک کیلو اهمی بطور سری قرار

گیرند، ولتاژ دوسر مقاومت ۱ کیلو اهمی چقدر است؟

الف- ۴ ولت

ب- ۶ ولت

ج- ۸ ولت

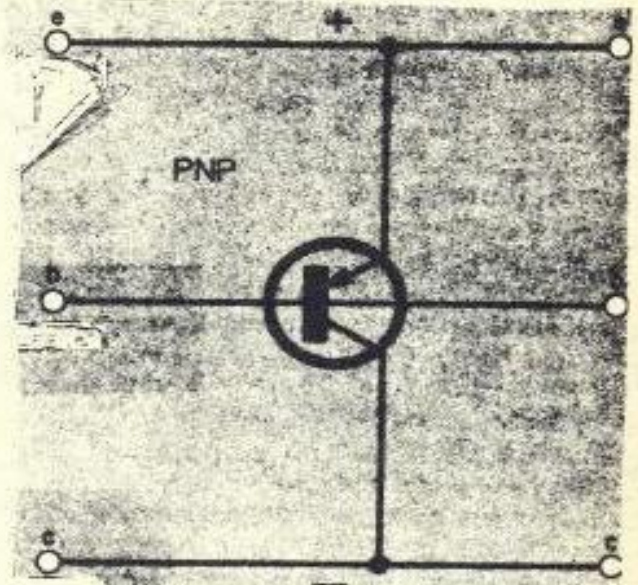
۴- یک خازن برای عبور ولتاژهای صوتی از $V_{dc} + 18$ تا $V_{dc} + 5$ بکار رفته است. کدامیک

از مقادیر زیر برای این خازن مناسب تر است؟

الف- ۱۰ میکروفاراد - شیمیایی

ب- ۵۶۰ پیکوفاراد - پلی استرین

ج- ۳/۳ میکروفاراد - شیمیایی



در این مدار خازن سبب میشود که $L.e.d$ مدت زمان بیشتری روشن بماند.

در پایان این قسمت سئوالاتی مطرح میشود که

سعی کنید پاسخ آنها را بیابید. پاسخ صحیح این

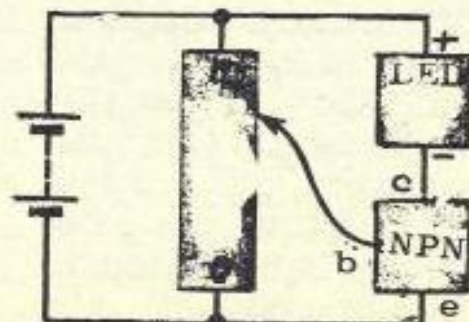
سئالات در درس بعدی خواهد آمد.

سئالات درس دوم

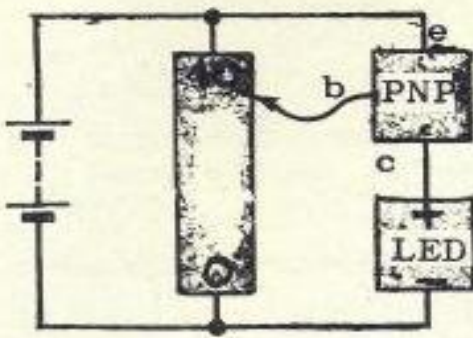
۱- اکثر دیودهای سیلیکونی یک خط در

الف- وسط دارند.

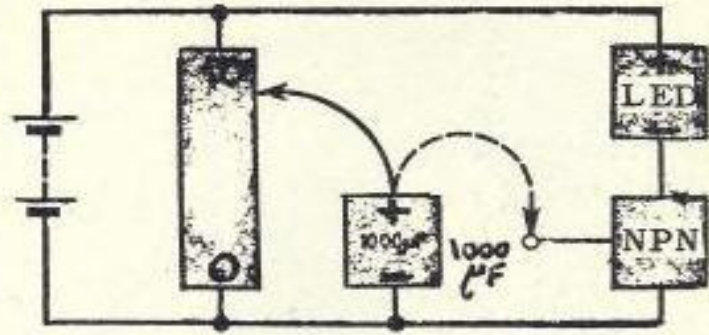
ب- در طرف کاتد دارند.



شکل ۵-۴



شکل ۷-۲



شکل ۸-۲

درس سوم: مقاومتها - خازنها

رابطه سه کمیت جریان، ولتاژ و مقاومت در شکل ۱ - ۳ آمده است خط یک اهم را در نظر بگیرید ملاحظه می کنید با ولتاژ ۸ ولت جریان ۸ آمپری خواهید داشت و همین ۸ ولت در مقاومت ۲ اهم جریان ۴ آمپری برقرار خواهد کرد یعنی حاصل ضرب جریان در مقاومت برابر ولتاژ می باشد. یکهاها (مقیاس ها)

در الکترونیک آمپر واحد نسبتا بزرگی است و اغلب ما با یک هزارم آن (میلی آمپر) و با یک میلیونیم آن (میکرو آمپر) سروکار داریم. با همین پیشوندهای میلی و میکرو میتوان میلی ولت (یک هزارم ولت) و میکرو ولت (یک میلیونیم ولت) را بیان کرد. در مورد مقاومتها اکثرا با مقادیر بزرگ سروکار داریم مثل کیلو اهم (هزار اهم) و مگا اهم (یک میلیون اهم).

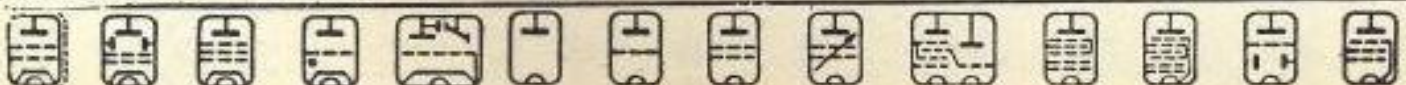
تولرانس - در الکترونیک همانند دیگر رشته های

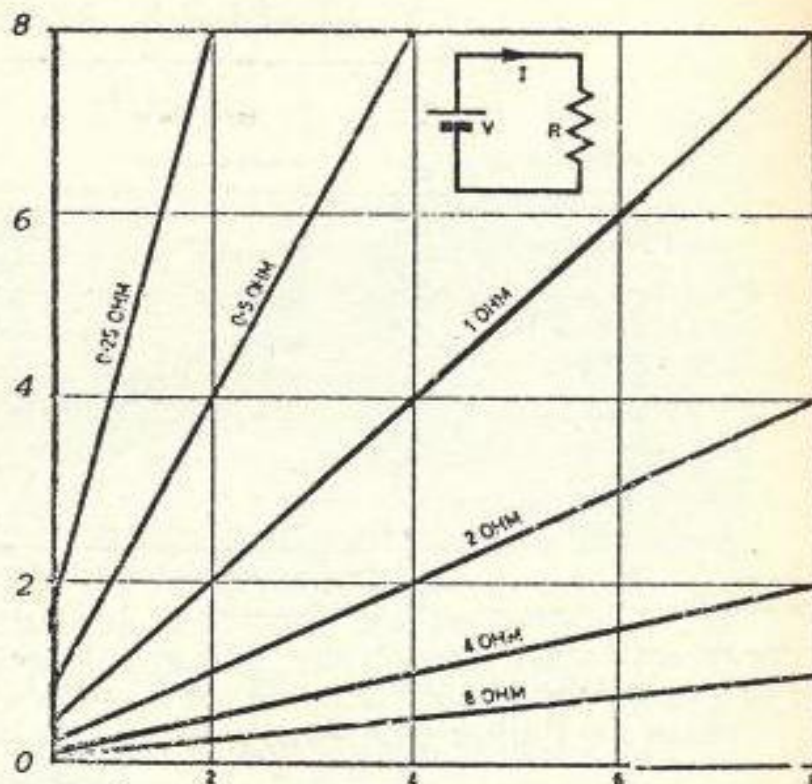
مهندسی برای دقت زیاد پول زیاد باید داد. به همین دلیل مقاومتها با مقادیر دقیق خیلی گران تمام میشوند. خوشبختانه در بیشتر مدارات مقدار خیلی دقیق لازم نیست مثلا اگر در مداری مقاومت ۱۰۰ اهمی لازم باشد میتوان از مقاومت ۱۱۰ اهمی یا ۹۰ اهمی هم استفاده کرد و همان نتیجه را گرفت. بنابراین با این حساب احتیاجی به مقادیر دقیق مقاومتها نداریم و به همین جهت هم مقدار مقاومتها را با یک درصد تفاوت بیان می کنند. این درصد تفاوت تولرانس (Tolerance)

جریان الکتریکی شبیه جریان مایعات میباشد، همانگونه که آب از لوله جریان می یابد جریان الکتریکی نیز در هادیها جریان می یابد.

میدانید که آب در هنگام عبور از مسیر خود با مقاومت کانال یا لوله ای که در آن جریان دارد روبروی میشود و هرچه لوله تنگتر باشد مقاومتش در مقابل آب بیشتری باشد و عبور جریان مشکل تر میشود و برای اینکه همانقدر آب که از مسیر معمولی می گذرد از مسیر تنگ هم بگذرد بایستی فشار آن زیادتر گردد. در یک مدار الکتریکی ولتاژ باتری شبیه (معادل) فشار آب و مقاومت الکتریکی شبیه مقاومت لوله یا مسیر عبور آب می باشد و از روی تشابه میتوان گفت: همانطور که لوله های با قطر کم که در مقابل جریان آب مقاومت بیشتری از لوله های گشادتر از خود نشان میدهند، سیم های با مقطع کم هم در مقابل جریان الکتریکی مقاومت بیشتری نسبت به سیم های با مقطع بیشتر دارند.

هرگاه یک مقاومت را در مداری که یک منبع ولتاژ وجود دارد قرار دهید مشاهده خواهید کرد که چطور در مقابل جاری شدن جریان ممانعت می کند (توسط آمپر متر)، این کمیت مقدار مقاومت یا رزیستانس نامیده میشود. هرچه طول سیم بیشتر شود مقدار مقاومت آنهم بیشتر خواهد بود و بطور خلاصه مقدار مقاومت یک هادی با طول سیم نسبت مستقیم و با سطح مقطع سیم نسبت عکس دارد یعنی هرچه سیم کلفت تر باشد در مقابل جریان الکتریکی مقاومت کمتری دارد.





شکل ۱-۳

گفته میشود و معرف درصد امکان اختلاف مقدار می شود. با استفاده از جدول ۱-۳ میتوان بدین بیان شده با مقدار واقعی مقاومت در مدار میباشد. مقادیر مقاومتها و تolerانس آنها را بدست آورید. مثلاً یک مقاومت ۱۰۰ اهم با تolerانس ۵ درصد می تواند مقاومتی بین ۹۵ تا ۱۰۵ اهم داشته باشد. مقادیر استاندارد - یکی از اولین چیزهایی که در

خازنها وسیله ذخیره بار الکتریکی می باشند. بازجوع به الکتریسته ساکن می دانید که با مالش یک میله پلاستیکی روی دستکش باردار شده می تواند خرده کاغذها را بخود جذب کند. می دانید که پلاستیک تا مدت کوتاهی بار خود را نگه می دارد و پس از این مدت دوباره بایستی آنرا به دستکش بمالید، اما خازن تا مدت قابل ملاحظه ای می تواند بار خود را نگه دارد.

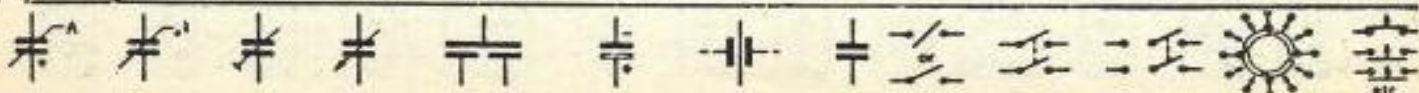
اکثر خازنها طوری ساخته شده اند که بتوان بار را در یک فضای کوچک ذخیره کرد. همانگونه که گفته شد بار را میتوان در عایقها ذخیره نمود.

در خازنها نیز اغلب از یک ورقه مواد عایق مثل کاغذ یا پلاستیک برای انبار کردن بار استفاده میشود. اتصالات خازن را با قرار دادن ورقه های هادی در بین عایقها بوجود می آورند (شکل ۲-۳) عایق بین صفحات بنام دی الکتریک (dielectric) می باشد که در حقیقت هادی است که اجازه میدهد میدان الکتریکی عبور کند.

جریان الکتریکی نمیتواند از خازن عبور کند

مدارات الکترونیکی توجه هر مبتدی را جلب می کند مقادیر مقاومتهاست که همه مقادیر مشخصی مثل ۲۷ کیلو اهم ۸۲ اهم ۵/۶ مگا اهم دارند. این اعداد کاملاً انتخابی هستند.

اکثر مقاومتها که معمولاً بکار میروند شامل اعداد زیرند که به سری E12 معروفند: ۱۰/ ۱۲/ ۱۵/ ۱۸/ ۲۲/ ۲۷/ ۳۳/ ۳۹/ ۴۷/ ۵۶/ ۶۸/ ۸۲ درصد از عدد قبلی بزرگتر است، بنابراین شما براحتی میتوانید آنها را بخاطر داشته باشید. از طرف دیگر می توانید هر مقاومتی که احتیاج دارد با ۱۰ درصد اختلاف که همان تolerانس مقاومت هم می باشد از این سری انتخاب نمائید. برای مقادیر بزرگتر و کوچکتر شما می توانید مقادیر مقاومتها را در اعداد ۱۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰ ضرب یا براینها تقسیم کنید مقدار مقاومتها معمولاً توسط نوارهای رنگی در روی آنها مشخص میشود که معرف اعداد از صفر یا نه می باشد و تolerانس آنها نیز با نوار چهارم نشان داده

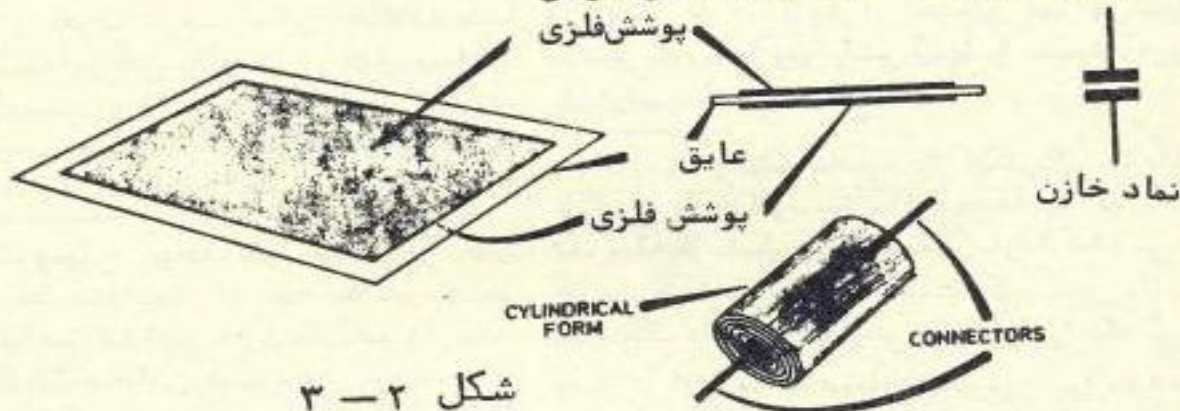


جدول ۱-۳ جدول رمز رنگی مقاومتها

رنگ	باند اول اولین رقم	باند دوم دومین رقم	باند سوم مضرب	باند چهارم تولرانس
Black	0	0	$\times 1$	—
Brown	1	1	$\times 10$	1%
Red	2	2	$\times 100$	2%
Orange	3	3	$\times 1000$	—
Yellow	4	4	$\times 10,000$	—
Green	5	5	$\times 100,000$	—
Blue	6	6	$\times 1,000,000$	—
Violet	7	7	$\times 10,000,000$	—
Grey	8	8	$\times 100,000,000$	—
White	9	9	$\times 1,000,000,000$	—
Gold	—	—	$\div 10$	5%
Silver	—	—	$\div 100$	10%

زیرا عایق جلوی آنرا می گیرد. اگر یک باتری به در مسیر می گردد.

دوسر خازن وصل گردد خازن تا ولتاژ باتری شارژ می شود و در اینحال اگر باتری را برداریم خازن در این شارژ باقی می ماند. یک خازن شارژ شده شبیه یک باتری عمل می کند و اگر به یک مقاومت وصل گردد بار ذخیره شده سبب جاری شدن جریان



شکل ۲-۳

پاسخ به سوالات درس دوم

۲- اگر $I=2$ آمپر و $V=20$ باشد مقاومت چقدر است؟

۳- جریان ۵ آمپری در یک مدار جریان دارد که مقاومت مسیر ۱۰ اهم می باشد ولتاژ چقدر است؟

۴- اگر ولتاژ ۱۲ ولت به دوسر مقاومت ۳ اهمی اعمال شود جریان چقدر خواهد شد.

۵- مطلوبست محاسبه مقدار جریانی که از مقاومت ۴۶ اهمی می گذرد اگر ولتاژ اعمال شده ۲۳ ولت باشد.

۱- طرف کاتد (ج)

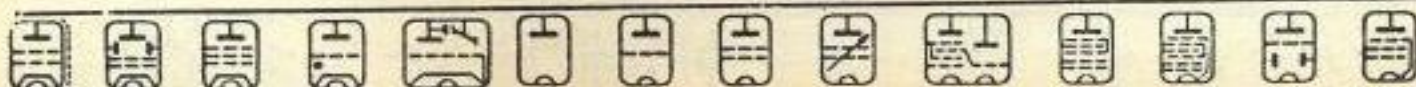
۲- (ب) - در آخر سرد مدار قرار گذاشته شوند.

۳- (الف) ۴ ولت

۴- (ج) $3/3$ میکرو فاراد - شیمیایی.

سوالات درس سوم

۱- $V=20$ ولت $I=10$ آمپر
مطلوبست محاسبه مقدار مقاومت.



درس چهارم: آزمایش

مقدار خازنها (ظرفیت الکتریکی)

اندازه الکتریکی یک خازن (کاپاسیتور) ظرفیت الکتریکی یا کاپاسیتانس نامیده میشود و آن مقدار باری است که ولتاژ یک ولت می تواند در آن ذخیره کند.

واحد ظرفیت الکتریکی فاراد می باشد و آن عبارتست از مقدار باری که بتواند در زمان یک ثانیه یک آمپر جریان از مدار عبور دهد.

فاراد واحد بسیار بزرگی است و در عمل میکروفاراد (یک میلیونیم فاراد)، نانوفاراد (هزار میلیونیم فاراد) و پیکوفاراد (میلیون میلیونیم فاراد) بکار میرود. ظرفیت الکتریکی خازنها با سطح صفحات خازنها نسبت مستقیم و با فاصله بین آنها نسبت عکس دارد.

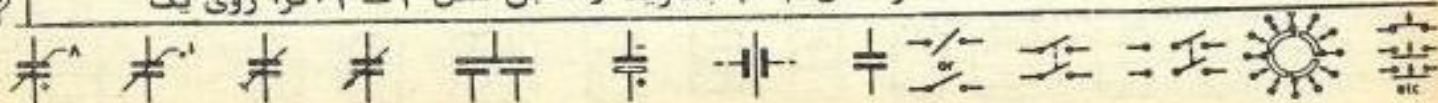
همه خازنها دارای ولتاژ کار (*Working Voltage*) هستند و این بیشترین ولتاژی است که خازن قابل به تحمل آنست و در صورت زیاد شدن ولتاژ از این حد، عایق آن از بین میرود. برای اینکه ظرفیت خازنهای شیمیایی زیاد شود از عایق اکسید آلومینیوم با حداکثر ضخامت ممکن استفاده میشود. بعضی از عایقها نسبت به عایقهای دیگر بار زیادتری ذخیره می کنند و ورقه اکسید یکی از اینهاست.

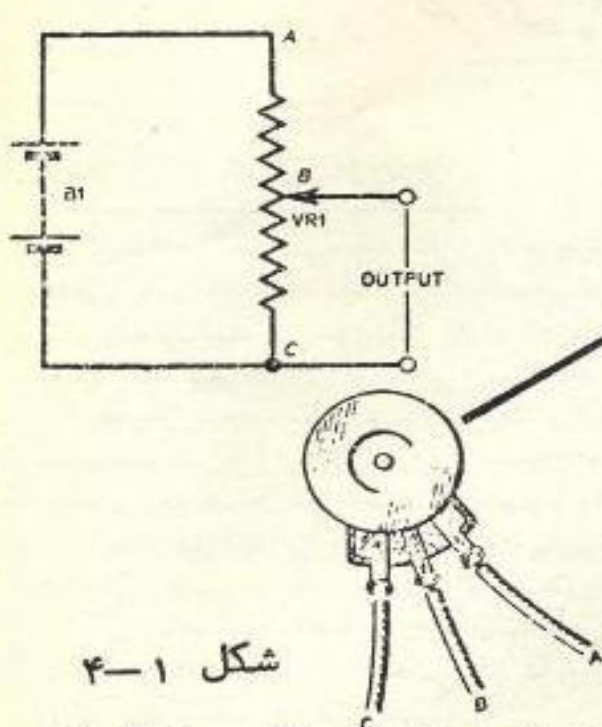
اگر ولتاژ معکوس به خازنهای شیمیایی اعمال شود عایق آن در ظرف چند ثانیه از بین میرود (می شکند) و جریان را باسانی از خود عبور خواهد داد. تانتالوم از آلومینیوم بهتر بوده ولی گرانتز تمام میشود. پتانسیومتر (مقاومت متغیر)

کلمه پتانسیومتر یعنی وسیله ای که ولتاژ را اندازه می گیرد و در عمل به مقاومت متغیری گفته میشود که دارای سه سر می باشد. کنترل حجم صدا (ولوم) در گیرنده های رادیو در واقع بعهده یک پتانسیومتر می باشد کلمه پات (*POT*) بیشتر بجای پتانسیومتر بکار میرود. برای درک بهتر می توانید به زنجیره مقاومتی که ساخته اید نگاه کنید: در این زنجیر ۱۰ مقاومت معادل بکار رفته و وقتی شما دوسر این زنجیر را به باتری وصل کنید یک ولت در دوسر هر مقاومت افت می کند. این زنجیر مقاومتی یک تقسیم کننده ولتاژ نامیده می شود. (*Voltage divider*) دلیل این نامگذاری روشن است چون اگر ۱۰ ولت به دوسر آن وصل گردد این ولتاژ به ولتاژهای ۱ / ۲ / ۳ و ۹ / ۱۰ ولت تقسیم می گردد. لازم به تذکر است که شما می توانید از ۱۰ مقاومت ۳۳۰ اهم (مساوی همدیگر) نیز این نتیجه را بگیرید.

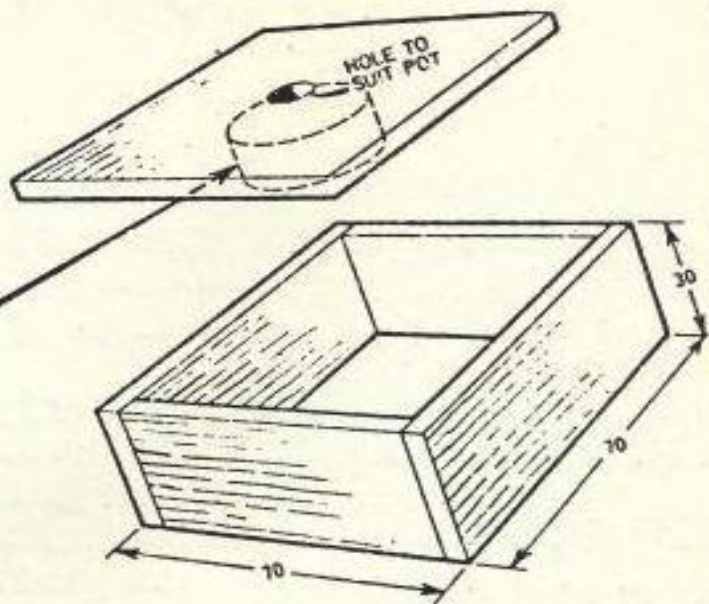
زنجیر مقاومتی شما ۱۰ مقاومت داشته و ۹ ولتاژ مختلف میدهد. اگر میخواهید فقط یک ولتاژ خروجی داشته باشید لازم است دو مقاومت بکار ببرید، با استفاده از مقاومت های مختلف ولتاژهای مختلف خواهید داشت. مزیت پتانسیومتر به زنجیر مقاومتی در اینست که زنجیر مقاومتی ولتاژهای نامیوسته (چندین ولتاژ مشخص) بیا میدهد ولی در پتانسیومتر ولتاژ خروجی پیوسته تغییر می کند. (شکل ۱-۴) یک مقاومت متغیر را نشان میدهد، سر *B* متغیر بوده و روی مقاومت حرکت می کند اگر *B* روی *C* قرار گیرد ولتاژ خروجی صفر خواهد داشت و اگر *A* بر *B* منطبق گردد تمامی ولتاژ *B1* در خروجی ظاهر می گردد. ساختن یک اندازه گیر ولتاژ

برای آزمایشات بعدی ما احتیاج به یک پات (*POT* پتانسیومتر) داریم برای ساختن این پات یک جعبه با ابعاد داده شده در شکل ۲-۴ بسازید و مطابق شکل ۳-۴ آنرا روی یک





شکل ۴-۱



شکل ۴-۲

مقاوا یا کاغذ بکشید و بر جعبه بچسبانید. مقاومتی که انتخاب می‌کنید حداقل ۱۰۰ کیلو اهم باشد و آنرا روی در جعبه محکم نمائید.

آزمایش: با استفاده از مدول‌هایی که دارید مداري مطابق شکل ۴-۴ مونتاژ نمائید. یک ولتاژ

غير مشخص (Unknown) به دوسر پات وصل کنید، حال آنقدر پتانسیومتر را تغییر دهید تا LED (دیود نورانی) روشن گردد. اگر ما بتوانیم یک ولت را روی این پات مشخص کنیم، خواهیم توانست صفحه پات را مدرج کرده (کالیبره) و یک اندازه‌گیر ولتاژ داشته باشیم.

برای اینکار زنجیر مقاومتی را به ولتاژ ۱۰ وصل کنید، در اینحال خروجیهای ۰ تا ۹ ولت خواهیم داشت. یک ولت را از آن گرفته و به دو سر A و C وصل نمائید، پتانسیومتر را تغییر دهید تا دیود نورانی روشن گردد این محل از پات را ۱ قرار داد کنید و بقیه صفحه را بدرجات مساوی تقسیم کرده و مدرج نمائید. اشکالی که دستگاه فوق (شکل ۴-۴) دارد در مصرف جریان آن می‌باشد. برای فهم بهتر مثالی می‌زنیم: فرض کنید جریان ۱۰ میلی آمپری برای روشن شدن دیود نورانی لازم است. ضریب تقویت جریان ترانزیستور را ۱۰۰ بگیرید در اینصورت ۰.۱ میلی آمپر (۱۰ تقسیم بر ۱۰۰) لازم است که به تقویت کننده اعمال شود که زیاد است.

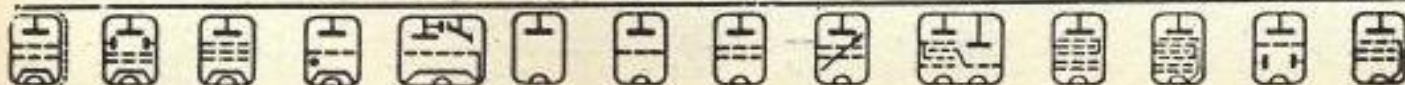
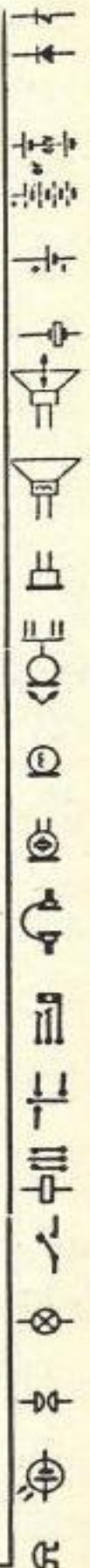
برای بهتر شدن بایستی ضریب تقویت دستگاه زیاد گردد و برای اینکار بایستی از دو طبقه ترانزیستور استفاده گردد تا دوبار عمل تقویت انجام گیرد و در نتیجه ضریب تقویت حاصل ضرب ضریب تقویت‌های دو ترانزیستور ($100 \times 100 = 10000$) خواهد شد و جریان مصرفی دستگاه یک میکروآمپر می‌گردد. اگر یک طبقه دیگر به تقویت کننده اضافه گردد باز جریان مصرفی کمتر خواهد بود. شکل دستگاه بادو ترانزیستور بفرم (۴-۵) می‌باشد.

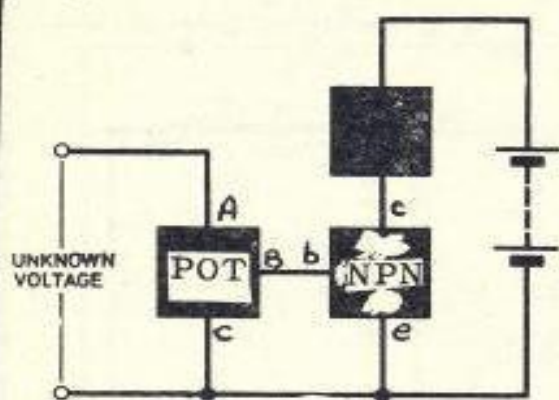
شکل حقیقی مدار در (۴-۶) آمده است و شما میتوانید آنها را مطابق شکل (۴-۷) روی یک صفحه سوار کرده و همه المانها را در یک جعبه قرار دهید.

بدینترتیب دستگاه اندازه‌گیر ولتاژ (Voltage Indicator) آماده است. شکل ترانزیستورها

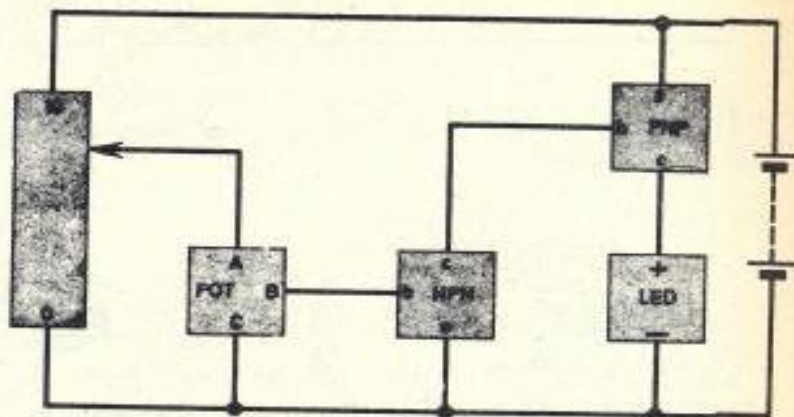
از زیر LED مصرفی در مدار در شکل (۴-۹) آمده است.

تولرانس خازنها- عامل اصلی در مشخص کردن تولرانس خازنها همانند مقاومتهاست. یکی از عاملها موادی است که کارخانه برای ساختن این المانها بکار می‌برد و عامل دیگر موضوع

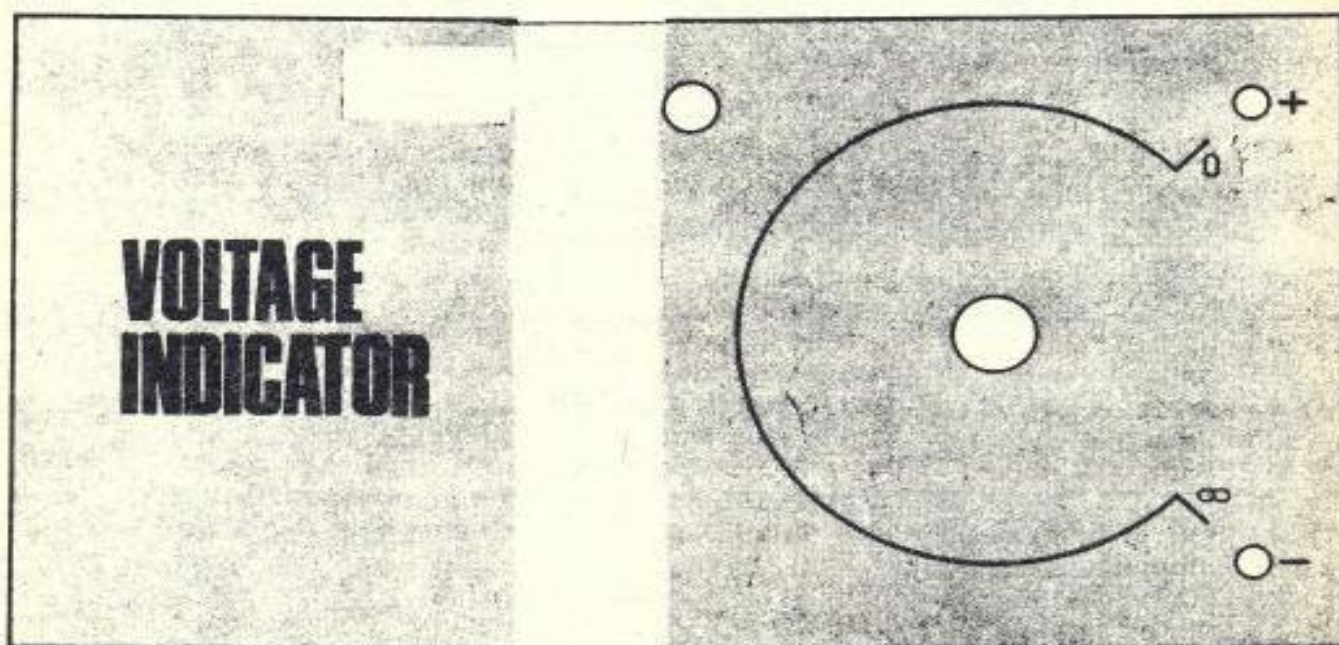




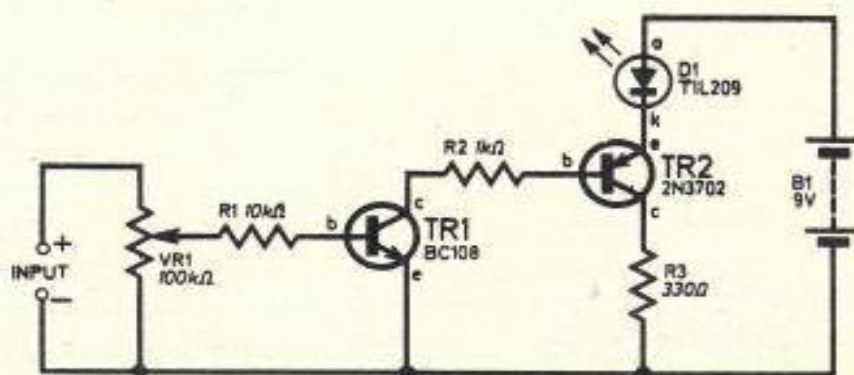
شکل ۴-۴



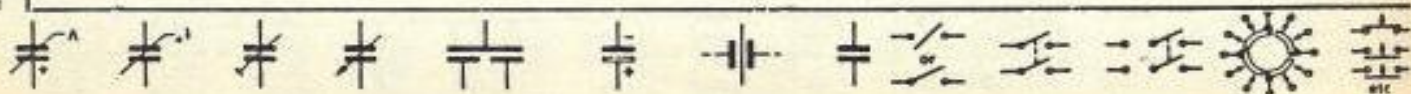
شکل ۴-۵



شکل ۴-۳



شکل ۴-۶



درس پنجم: مدارهای سری و موازی

در این درس مدارهای سری و موازی را مورد بحث قرار می‌دهیم ولی پیش از آن به چند موضوع مهم توجه کنید:

قانون اهم (Ohm's Law)

مدارهایی که مادر اینجا با آنها سروکار داریم با ولتاژهای $d.c$ از صفر تا ۱۰ ولت کار می‌کنند. اندازه‌گیر ولتاژ (VI) نمی‌تواند کمتر از ۰/۵ ولت را اندازه بگیرد، بنابراین در آزمایشها ما ولتاژها را بین ۱ تا ۱۰ ولت انتخاب می‌کنیم. در این مدارها جریانی که برقرار میشود از چند ده میلی آمپر تا کمتر از یک میکروآمپر می‌باشد.

برای اینکه رابطه بین ولتاژ - جریان - مقاومت را پیدا کنیم بشکل (۵-۱) توجه کنید. در این شکل ولتاژ یک ولت جریان یک آمپری در مقاومت یک اهم برقرار می‌سازد.

اگر شما دوتا از مقادیر سدگانه ولتاژ - جریان - مقاومت را بدانید خواهید توانست مقدار سوم را پیدا کنید، سه رابطه زیر برای محاسبه مقدار سوم بکار می‌رود.

$$\text{مقدار مقاومت} \times \text{جریان} = \text{ولتاژ}$$

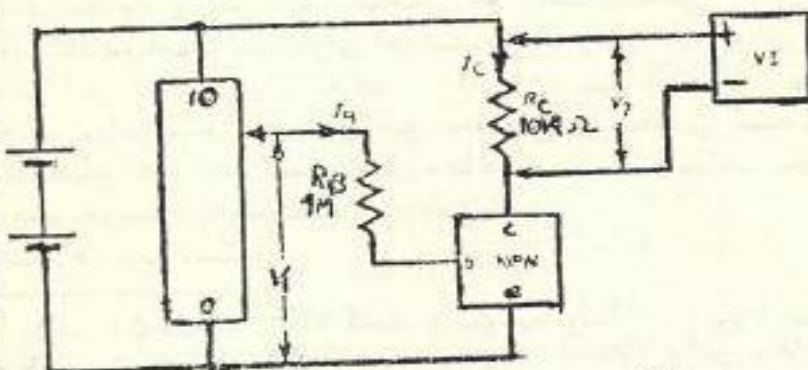
$$\text{مقدار مقاومت} \div \text{ولتاژ} = \text{جریان}$$

$$\text{جریان} \div \text{ولتاژ} = \text{مقدار مقاومت}$$

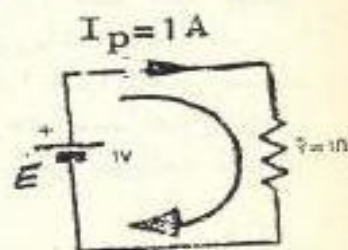
اینها روابط قانون اهم هستند که یکی از مفیدترین تئوری‌ها در الکترونیک می‌باشد.

تقویت جریان

شکل (۵-۲) مداری را نشان می‌دهد که مقدار تقویت (بهره $gain$) جریان را اندازه می‌گیرد. اندازه‌گیر ولتاژ را در اینجا برای اندازه گرفتن جریان بکار برده‌ایم. شاید بدانید که چطور جریان I_C که از مقاومت R_C می‌گذرد با اندازه‌گیر ولتاژ اندازه گرفته میشود؟ بله با دانستن مقدار R_C و ولتاژ دوسر آن با استفاده از قانون اهم می‌توان جریان را پیدا کرد. شما می‌توانید جدولی شبیه جدول زیر رسم کنید و مقادیر جریانی که بازای ولتاژهای مختلف بدست می‌آورید در آن یادداشت کنید.



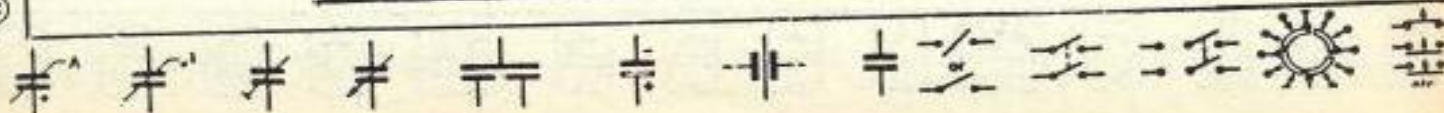
شکل ۵-۲

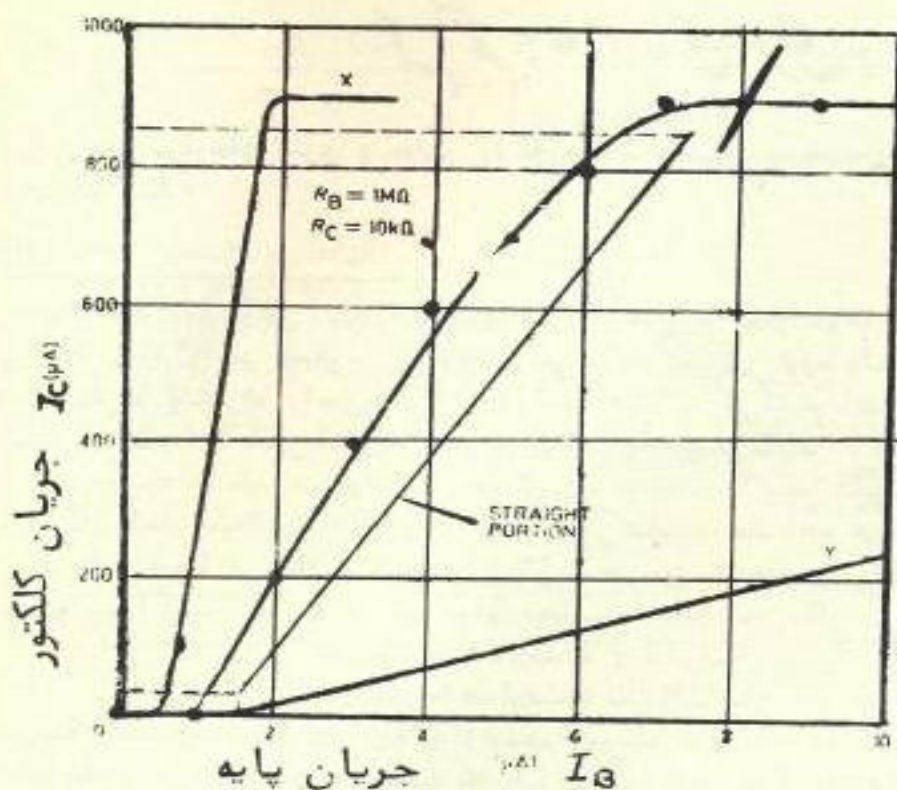


شکل ۵-۱

جدول ۵-۱

V_1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	V
V_2	0	0	2	4	6	7	8	9	9	9	9	V
$I_B = V_1 / R_B$				3								μA
$I_C = I_B / R_C$				500					900			μA





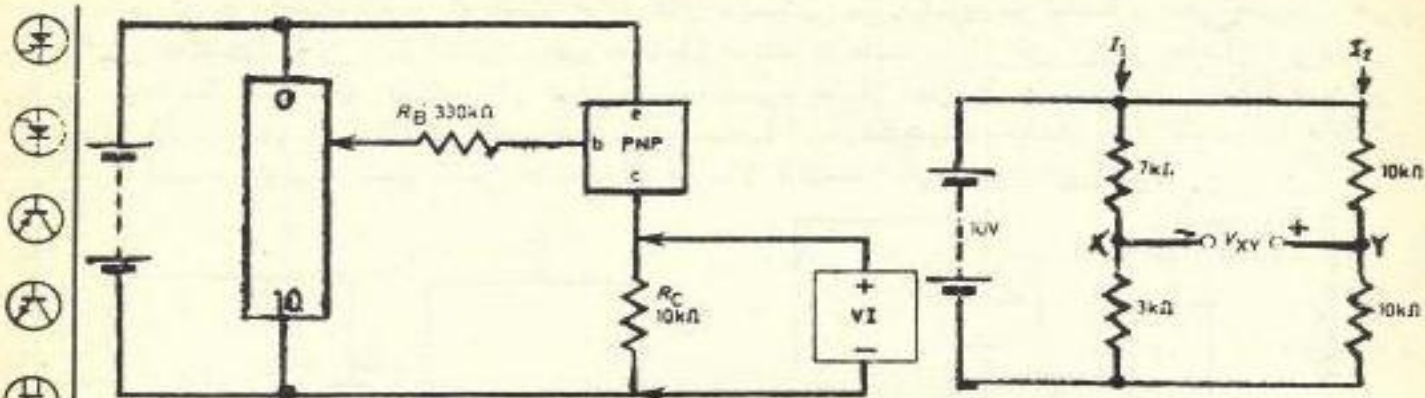
شکل ۳-۵

پس از پرکردن جدول می‌توانید منحنی تغییرات دو جریان I_C و I_B را برحسب همدیگر رسم کنید (شکل ۳-۵)

قسمت خطی آن ضریب تقویت را می‌دهد. در مدار یک تغییر ۶/۵ میکروآمپری در جریان I_B تغییری برابر ۸۵۰ میکروآمپر در I_C ایجاد می‌کند که در نتیجه ضریب تقویت جریان برابر نسبت این دو یعنی ۱۳۰ می‌باشد. قسمت افقی آن برای وقتی است که تمام ۹ ولت ولتاژ ورودی در دوسر R_C ظاهر شود. اگر شیب منحنی شما خیلی زیاد شد (منحنی x) مقدار R_B را به ۳/۳ مگا اهم افزایش دهید که در اینصورت بازای هر ۱ ولت V_{I1} جریان ۰/۳ میکروآمپر تولید می‌شود و اگر شیب منحنی کم است (منحنی y) R_B را به ۳۳۰ کیلو اهم تقلیل دهید که در اینحالت بازای افزایش هریک ولت V_{I1} جریان ۳ میکروآمپر زیاد خواهد شد. در این مدار ضریب تقویت $BC108$ بین ۱۰۰ تا ۸۰۰ می‌باشد. برای اندازه گرفتن ضریب تقویت ترانزیستور PNP زنجیر مقاومتی را معکوس کنید (شکل ۴-۵) توجه کنید مقدار R_B ۳۳۰ کیلو اهم شده است و این بخاطر اینست که ضریب تقویت ترانزیستور مادر اینحالت کمتر از ضریب تقویت ترانزیستور NPN می‌باشد. اختلاف پتانسیل

شکل (۵-۵) را نگاه کنید و بگوئید ولتاژ V_{X1Y} چقدر است. در مدارهایی این چنین دو جریان I_{I1} و I_{I2} کاملاً مستقل از هم هستند و این بخاطر اینست که هر زوج (۳+۷) کیلو اهم و (۱۰+۱۰) کیلو اهم مستقیماً به باتری وصل شده است و با حذف هر شاخه جریان شاخه دیگر تغییری نخواهد کرد.

شاخه اول شبیه زنجیر مقاومتی است که به دو قسمت ۳ و ۷ تقسیم شده است. پس ۷ ولت در مقاومت ۷ کیلو اهمی و ۳ ولت در مقاومت ۳ کیلو اهمی افت می‌کند شاخه دوم شامل دو مقاومت مساوی است پس ولتاژ ۱۰ ولت به دو قسمت مساوی می‌شود و افت ولتاژ برای هر کدام از مقاومت‌های ۱۰ کیلو اهمی ۵ ولت می‌باشد، در نتیجه ولتاژ بین x و y برابر اختلاف بین دو ولتاژ بوده و مساوی ۲ ولت خواهد بود. در الکترونیک این نوع ولتاژ را اختلاف پتانسیل می‌گویند.



شکل ۵-۵

شکل ۴-۵

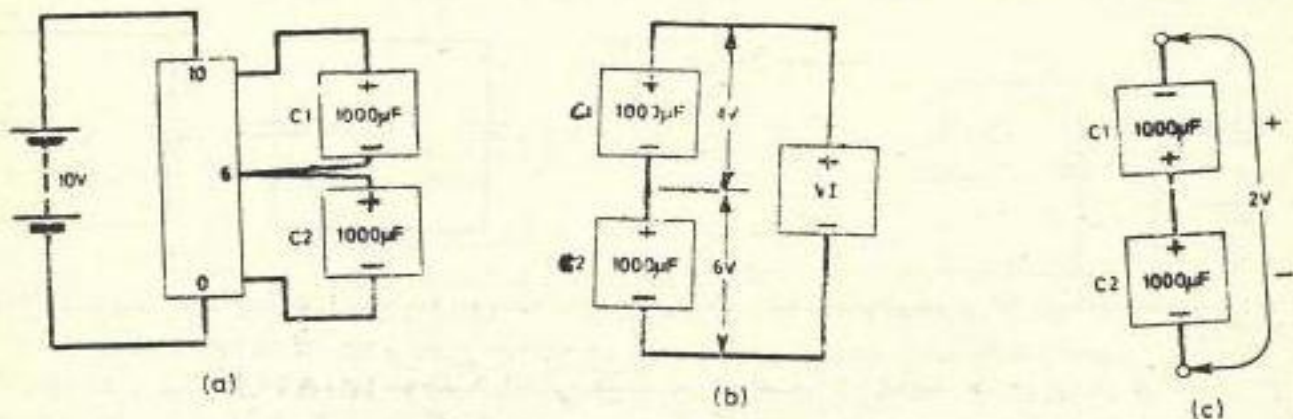
می‌توان گفت پتانسیل ولتاژ نقطه‌ای است مانند X یا Y وقتی که جریانی از آنها گرفته نمی‌شود. اگر باری به نقطه X یا Y وصل گردد یک جریان اضافی از یکی از مقاومتها خواهد گذشت (مثلاً از ۷ کیلو اهمی) و این سبب خواهد شد که ولتاژ بیشتری در این مقاومت افت کند. اختلاف ولتاژ دوسر یک مقاومت را که از آن جریانی می‌گذرد نیز اختلاف پتانسیل می‌نامند. البته واضح است که واحد اختلاف پتانسیل همان ولت می‌باشد.

اگر مقاومتها طوری انتخاب شوند که V_{XY} صفر باشد و در این حالت اگر X و Y را به هم وصل کنیم هیچ جریانی از این اتصال نخواهد گذشت. در این حالت گویند پل در حال تعادل است.

(Balanced bridge)

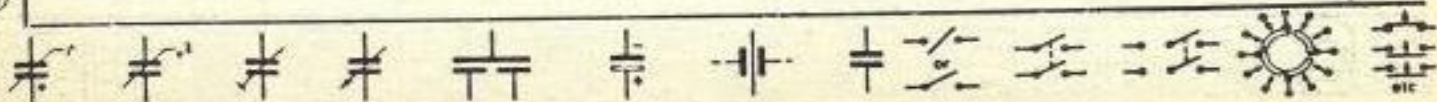
اتصالات سری

باتری را به دوسر زنجیر مقاومتی وصل نمائید اگر باتری ۲۰ ولتی باشد در دوسر هر مقاومت یک کیلو اهمی زنجیر مقاومتی یک ولت خواهیم داشت. حال دو مدول خازنی ۱۰۰۰ میکروفارادی که داریم در مدار شکل (۵-۶ a) بکار ببرید. دوسر $C1$ ۴ ولت و دوسر $C2$ ۶ ولت خواهد افتاد. اگر در این حال زنجیر مقاومتی را بردارید خواهید دید ولتاژ دوسر مجموع این خازنها (بطور سری) باز ۱۰ ولت خواهد بود.

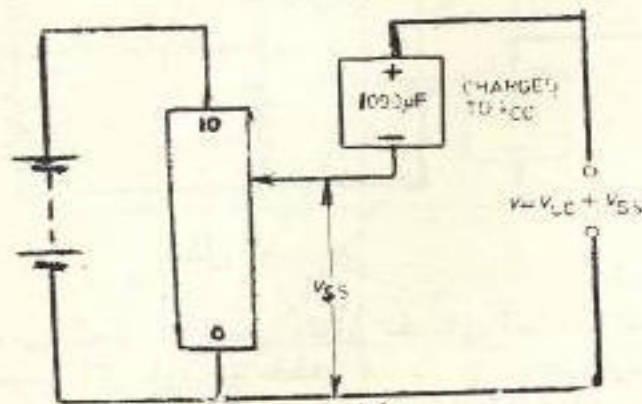


شکل ۵-۶

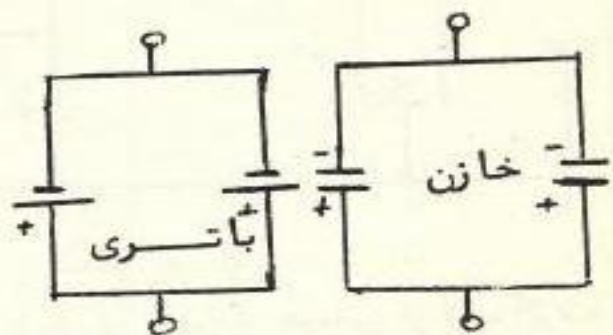
(پس ولتاژ خازنها در اتصال بفرم سری باهم جمع میشود).
بار دیگر خازنها را مطابق (۵-۶ a) بمدت ۳۰ ثانیه به باتری وصل کرده و سپس آنها را جدا کنید و طبق شکل (۵-۶ c) ببندید. مشاهده می‌کنید که اینبار مجموع ولتاژ خازنها ۲ ولت خواهد بود.



باید توجه داشته باشید که ولتاژ خازن‌های شیمیایی مثل باتری سر مثبت و منفی دارند. در شکل (۵-۶c) چون دو خازن بطور متقابل بسته شده‌اند ولتاژ کل برابر تفاضل دو ولتاژ می‌باشد. تا هنگامیکه جریانی از مدار کشیده نشود ولتاژ خازنها تغییری نخواهد کرد و هر خازنی ولتاژ خود را حفظ می‌کند. شما می‌توانید با اندازه‌گیر ولتاژ مقدار ولتاژ دوسر خازنها را کنترل کنید. دوطریق بهم بستن خازنها که در بالا ذکر شد اتصال سری گویند.

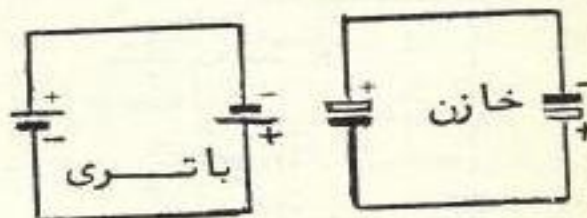
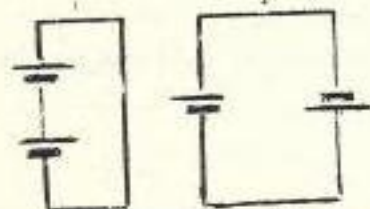


شکل ۵-۷

شکل ۵-۸ - الف
اتصالات موازی

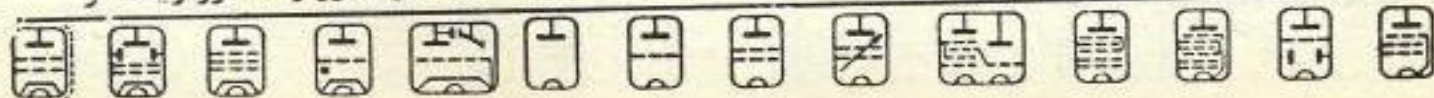
با شارژ کردن خازن ۱۰۰۰ میکروفاراد تا ولتاژ منبع و اضافه کردن آن بطور سری به مدار ولتاژ کل مدار تا دو برابر ولتاژ منبع خواهد رسید و اگر دو خازن را شارژ کرده و بطور سری در مدار قرار دهید ولتاژ مدار تا سه برابر ولتاژ منبع میرسد. کسانی که مدارهایی می‌بندند و آزمایشاتی انجام می‌دهند بایستی توجه داشته باشند که بعضی از اتصالات که غلط می‌باشند در مدارهایشان بوجود نیاید: مثلاً اتصال متقابل دو باتری یا دو خازن وقتی مجاز است که ولتاژ هر دو یکسان باشد در غیر اینصورت یکی در دیگری خالی (دشارژ) خواهد شد (۵-۸a). اتصال موازی بطریق شکل (۵-۸b) غلط می‌باشد و اصلاً مجاز نیست زیرا جریان خیلی زیادی در مدار بسته جاری می‌گردد و اگر درست دقت کنید این اتصال مثل اینست که ما دوسر باتری را بهم اتصال کوتاه کنیم (۵-۸c) و همچنانکه میدانید در اثر اتصال کوتاه کردن، انرژی باتری بشکل حرارت در خودش تلف خواهد شد. در مورد خازنها یک اتصال کوتاه ناگهانی ممکن است سبب از بین رفتن عایق خازن شود. برای مصارفی مثل "فلاش الکترونیکی" که لازم است خازن سریع

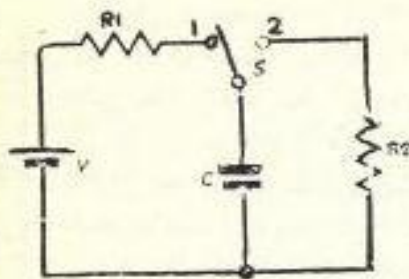
شکل ۵-۸ - ب



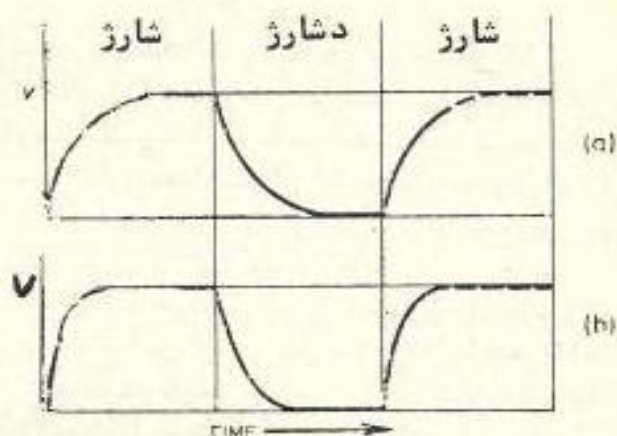
دشارژ شود، خازنهای بخصوصی مصرف میشود که مخصوص (دشارژ سریع) (Fast discharge) طرح شده‌اند.

حال به مدار شکل (۵-۹) توجه کنید: وقتی کلید در حالت "۱" باشد خازن از طریق $R1$ شارژ میشود. صبر کنید تا خازن کاملاً پر شود، سپس کلید را در وضعیت "۲" قرار دهید خازن از طریق مقاومت $R2$ خالی میشود. اگر مقدار خازن C زیاد باشد ولتاژ آن با هستگی کم میشود، همچنانکه با سرعت بیشتری نیز شارژ شده بود (ثابت زمانی کم می‌باشد). (۵-۱۰a) اگر آزمایش فوق را با خازنهای مختلف انجام دهیم تغییرات شارژ و دشارژ نشان میدهد که هرچه خازن بزرگتر باشد مقاومت خازنی اش کمتر می‌باشد. اگر کلید S طوری باشد که سریع باز و بسته شود یعنی خازن C مرتب پروخالی بشود مشاهده میشود که هرچه فرکانس شارژ و دشارژ زیاد تر





شکل ۹-۵



شکل ۱۰-۵

شود جریانی که از باتری کشیده میشود بیشتر خواهد بود بعبارت دیگر مقاومت مدار کمتر خواهد بود. پس مقاومت خازن فقط به مقدار خازن بستگی ندارد بلکه به فرکانس شارژ و دشارژ نیز وابسته است.

راکتانس و امپدانس Reactance-Impedance

مقدار مقاومت (رزیستانس) اسم کاملاً صحیحی نیست. وقتی خازنی کاملاً پر شد جریان مدار قطع می شود پس مقاومت مدار بینهایت است، بعلاوه کلمه مقاومت برای المانهای بکار میرود که انرژی را مصرف می کنند و چنانچه میدانید خازن خودش انرژی مصرف نمی کند بلکه آنرا ذخیره می کند، اگر مقاومت $R1$ را از مدار شارژ برداریم دیگر انرژی مصرف نمی شود و فقط انرژی از یک محل (باتری) به محل دیگر (خازن) انتقال می یابد. مقدار مقاومت عناصری از مدار که انرژی را ذخیره می کنند "راکتانس" می نامند.

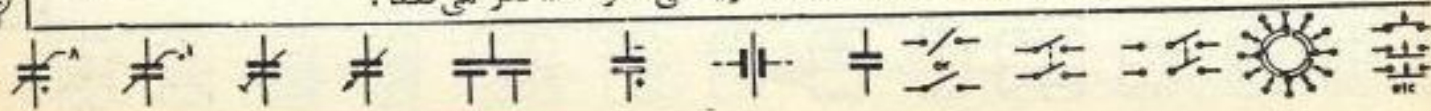
عناصری که انرژی ذخیره می کنند سلف (اندوکتانس) و خازن (کاپاسیتانس) می باشند. سلف انرژی را ب شکل میدان مغناطیسی و خازن بفرم میدان الکتریکی ذخیره می کند.

کلمه ای که در مورد هر سه عنصر (سلف - خازن - مقاومت) بکار میرود "امپدانس" می باشد. چنانکه دیده شد امپدانس خازن به فرکانس شارژ و دشارژ خازن بستگی دارد و با زیاد شدن فرکانس جریان جاری شده در مدار در یک زمان معین بیشتر شده و بنابراین امپدانس مدار کمتر خواهد بود.

مدارهای زمانی

سابقاً از زمان شارژ شدن خازنها استفاده عملی نکردیم و حالا میخواهیم از این زمان استفاده کنیم.

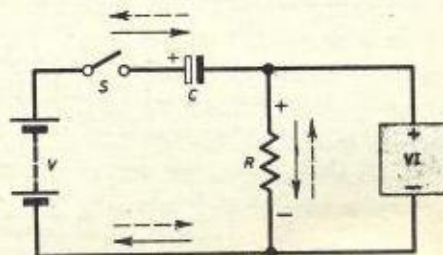
مدارهایی که در آنها خازنها شارژ میشوند یا در مقاومتی خالی (دشارژ) میشوند در الکترونیک کاربرد زیاد دارند. مثلاً در هنگام چاپ عکس در تارک خانه میتوان توسط یک خازن لامپی را فقط در مدت زمان شارژ روشن نگه داشت و این نور را برای چاپ عکس روی کاغذ حساس عکاسی بکاربرد. یا استفاده از یک سری مقاومت و خازن میتوان زمان روشن ماندن لامپ را تغییر داد. زمانی که برای شارژ شدن خازن لازم است بستگی به ولتاژ اعمال شده (V) مقدار مقاومت مدار (R) و مقدار خازن (C) دارد. میتوان آنالوژی (تشابه) آب در قسمت اول گفته شد برای توضیح آسانتر این مطالب بکار برد. پر شدن خازن در ابتدا سریع بوده و بتدریج آهسته میشود و اگر بخواهید خازن کاملاً پر شود بایستی زمانی طولانی صبر کنید بهمن خاطر وقتی از زمان شارژ شدن صحبت میشود از زمانی بنام دوسوم مدت زمان شارژ کامل نام برده میشود و در این مدت زمان خازن حدود $63/2$ درصد مقدار ظرفیت کاملش برمی شود. دلیل انتخاب $63/2$ درصد بار کامل فقط بخاطر اینست که محاسبات ریاضی ما را آسانتر می کند.



زمان رسیدن به $63/2\%$ درصد بار کامل برابر است با مقدار مقاومت (R) در مقدار خازن (C) اگر R برحسب مگا اهم و C برحسب میکروفاراد باشد مدت زمان برحسب ثانیه خواهد بود. بطور مثال اگر مقدار خازن 100 میکروفاراد و مقاومت یک مگا اهم باشد مدت 10 ثانیه لازم است تا خازن به $63/2\%$ درصد بار کاملش برسد. این بدان معناست که اگر ولتاژ باتری 100 ولت باشد 10 ثانیه طول می‌شود تا ولتاژ دوسر خازن $63/2\%$ ولت شود و اگر باتری ولتاژش 10 ولت باشد باز 10 ثانیه طول خواهد کشید تا ولتاژ دوسر خازن $6/32$ ولت شود.

بدین ترتیب مشاهده می‌شود که زمان رسیدن به $63/2\%$ درصد بار کامل به ولتاژ باتری بستگی ندارد بلکه به مقدار بار (ظرفیت خازن) بستگی دارد و این زمان شارژ $63/2\%$ درصد بنام ثابت زمانی ($Time-Constant$ معروف است. شما می‌توانید ثابت زمانی را با اندازه‌گیر ولتاژ که ساخته‌اید مشاهده کنید. برای اینکار مدار شکل ۱۰-۵ را مونتاژ کنید. بخاطر داشته باشید که اندازه‌گیر ولتاژ خود دارای یک مقاومت داخلی است که از 100 کیلو اهم تجاوز نمی‌کند. با اضافه کردن مقاومت R طبق شکل زمان شارژ شدن کاهش می‌یابد زیرا یک مسیر برای عبور جریان اضافه می‌گردد و بعبارت دیگر می‌توان گفت مقاومت معادل مدار که بطور سری با خازن قرار می‌گیرد کاهش می‌یابد. وقتی C در مدار قرار گیرد لامپ (LED) اندازه‌گیر ولتاژ برای مدتی روشن می‌ماند و سپس خاموش می‌شود. حالا برای روشن کردن لامپ اندازه‌گیر ولتاژ بایستی پلار تیه (علامت) دوسر مقاومت همانطور که در شکل نشان داده شده باشد که در این صورت جهت جریان در مقاومت از طرف مثبت به منفی (جهت فلش توپر) خواهد بود و در این حالت مشاهده می‌شود که جهت جریان از قطب مثبت باتری بطرف قطب مثبت خازن خواهد بود و این همان حالت عادی مدار است در حالیکه خازن در مدار نباشد یعنی آنرا اتصال کوتاه کرده باشیم و فقط مقاومت R در مدار باشد.

اما میدانیم که خازن عایق است و جریان نمی‌تواند از آن عبور کند. برای روشن شدن مطلب بالا دوباره به آنالوژی جریان آب و جریان الکتریکی برمی‌گردیم میدانید قطب مثبت باتری از قطب مثبت خازن الکترون جذب می‌کند و قطب منفی آن از خود الکترون دفع می‌کند و بطرف قطب منفی باتری می‌فرستند، بدین ترتیب جریان در جهت فلش خط چین خواهد بود. هر الکترون حامل بار الکتریکی است و وقتی بار همه الکترونها جمع شده در قطب منفی خازن برابر ولتاژ باتری شد دیگر الکترونی تغییر مکان نخواهد داد و خازن کاملاً شارژ شده است. چنین مدارهایی را می‌توان برای زمانهای (حدود ثانیه) برای برقراری جریان بکار برده اگر به زمانهای زیادتری حدود دقیقه احتیاج باشد بایستی مقادیر R و C را زیاد کرد. زیاد کردن R بهتر است زیرا برای زیاد کردن مقدار C بایستی از خازنهای شیمیایی که دقیق نیستند استفاده کرد و یا خازنهای کاغذی و پلاستیکی که گران هستند بکاربرد. البته در تئوری هر زمانی که لازم باشد با تغییر مقدار R و C می‌توان بدست آورد ولی معمولاً در عمل به زمانهای حدود چند میلی ثانیه تا چند میکرو ثانیه احتیاج است مثلاً در سیستم گیرنده‌های تلویزیونی اروپایی دوسر زمانی یکی برای پرئود تصویر ($frame$) حدود 20 میلی ثانیه و یکی برای پرئود خط ($line$) حدود 20 میکرو ثانیه بکار رفته است.



شکل ۱۰-۵

درس ششم: مقاومتها و انواع آنها

ساختمان فیزیکی اتمها در مواد مختلف هادی بودن یا نبودن آن ماده را مشخص می کند. پس بهتر است کمی درباره ساختمان اتمها صحبت کنیم تا مفهوم مقاومت بهتر دانسته شود: اتمهای مواد از یک هسته که شامل پروتون و نوترون است و تعدادی الکترون (تعداد الکترونها - تعداد پروتونها) که در چندین مدار بدور هسته می گردد تشکیل شده است. بحث ما برسر الکترونها می باشد، هرچه تعداد الکترونها مدار آخر کمتر باشد الکترونها موجود در این مدار آسانتر می توانند از این مدار بخارج بپرند و الکترون آزاد بشوند، الکترون آزاد قادر است جریان الکتریکی را در وقتی که ولتاژ به ماده اعمال میشود حمل کند. بنابراین انرژی الکتریکی با حرکت الکترونها آزاد از یک نقطه به نقطه دیگر انتقال داده میشود. بنابراین یک نکته مهم را بیاد داشته باشید.

"الکترونها مدار خارجی اتم را میتوان بحرکت واداشت".

بعضی از مواد در مقابل جریان الکتریکی مقاومت کمی و بعضی دیگر مقاومت زیادی از خود نشان میدهند. این ممانعت از عبور جریان بنام مقاومت (*Resistance*) نامیده میشود و واحد اندازه گیری مقدار مقاومت اهم (*OHM*) است و با Ω نشان داده میشود. دو هادی با شکل و اندازه یکسان ولی از مواد مختلف در مقابل جریان الکتریکی مقاومتها متفاوت دارند.

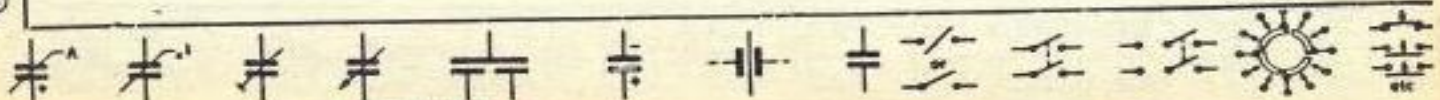
عبارت دیگر: مقاومت الکتریکی مواد به جنس آنها بستگی دارد

مس یکی از بهترین هادیهاست درجدول زیر مقاومت مخصوص (*Resistivity*) مواد مختلف نسبت به مس آورده شده است، (مقاومت مخصوص یک ماده عبارتست از مقدار مقاومت یک مکعب باابعاد یک سانتیمتر).

یک هادی وقتی مقاومتی برابر یک اهم دارد که وقتی پتانسیل یک ولت در دو سر آن اعمال شود جریان یک آمپری در آن جریان یابد.

مقاومت مخصوص مواد نسبت به مس	
مقاومت مخصوص	مواد
۱/۶	آلومینیوم (خالص)
۳/۷ - ۴/۹	برنج
۴/۴	کادمیوم
۱/۸	کروم
۱/۰۳	مس (سخت)
۱/۰۰	مس
۱/۴	طلا
۵/۶۸	آهن (خالص)
۱۲/۸	سرب
۵/۱	نیکل
۲/۸ - ۵/۴	فسفر برنز
۰/۹۴	نقره
۷/۶ - ۱۲/۷	فولاد
۶/۷	قلع
۳/۴	روی

گفته شد که تعداد الکترونها آزاد در یک ماده مقدار مقاومت (رزیستانس) آن ماده را مشخص می کند.



مقاومت همچنین به طول سیم یعنی طول مسیر الکترون‌ها بستگی دارد. هرچه طول کمتر باشد مقاومت کمتر می‌باشد.

برای جریان مستقیم و جریانهای متناوب (تا حدود چند مگا هرتز) مقدار مقاومت نسبت معکوس با سطح مقطع مسیر جریان (سیم) دارد. یعنی هرچه سطح مقطع هادی بیشتر باشد مقدار مقاومت آن کمتر میشود.

عواملی که در مقدار مقاومت یک هادی اثر دارد

الف: نوع و جنس ماده - این موضوع قبلاً توضیح داده شد.

ب: اثر سطح مقطع - اگر سطح مقطع یک هادی زیاد شود مقدار بیشتری الکترون می‌توانند از آن عبور کنند. بنابراین جریان زیادتری در اثر اعمال یک مقدار ولتاژ معین عبور می‌کند. عبارت دیگر ازدیاد سطح باعث کاهش مقدار مقاومت هادی می‌گردد.

قطر هادی‌هایی که در الکترون‌ها استفاده میشود کسری از اینچ می‌باشد و بنابراین قطر را بر حسب میل (Mil = یک هزارم اینچ) بیان می‌کنند.

ج: اثر طول - تعداد برخورد الکترون‌ها در طول هادی بطور مستقیم با طول بستگی دارد و هرچه این تعداد برخوردها بیشتر گردد انرژی بیشتری به حرارت (تلفات) تبدیل خواهد شد و در نتیجه انرژی منتقل شده در طول هادی کمتر می‌گردد و بالطبع جریان جاری شده در هادی برای یک مقدار ولتاژ اعمالی کمتر میشود یا عبارت دیگر مقاومت آن بیشتر می‌گردد.

سؤال ۱- اگر طول سیمی نصف گردد مقدار مقاومت آن چقدر خواهد شد؟

د: اثر درجه حرارت - در بعضی از مواد افزایش درجه حرارت باعث افزایش در مقدار مقاومت و در بعضی دیگر مواد افزایش حرارت سبب کاهش مقدار مقاومت می‌گردد. مقدار متغیر مقاومت برای تغییر یک درجه حرارت بنام "ضریب حرارتی" معروف است.

مواد نوع اول "ضریب حرارتی مثبت" و نوع دوم "ضریب حرارتی منفی" دارند. بعضی از مواد مثل آلیاژ کنستانتان (آلیاژ مس و نیکل به نسبت ۶۰ و ۴۰) و مانگانیست (آلیاژی از منگنز، مس و نیکل) ضریب حرارتی صفر دارند زیرا در برابر تغییرات درجه حرارت مقدار مقاومت آنها نسبتاً ثابت میماند.

سؤال ۲- اگر مقاومت دقیقی لازم باشد میتوان آنرا با ماده‌ای با ضریب حرارتی مثبت ساخت؟

اثر پوستی (Skin Effect)

مقاومت هادی‌ها در مقابل جریان متناوب با مقاومت آنها در برابر جریان مستقیم یکسان نیست. وقتی جریان متناوب باشد یک اثر داخلی سبب می‌گردد که جریان در قسمت خارجی هادی جریان یابد. این موضوع اثر سطح مقطع هادی را کاهش میدهد. در فرکانسهای صوتی این اثر ناچیز است ولی در فرکانسهای رادیویی اثر پوستی آنقدر زیاد است که عملاً "جریان از چند هزارم اینچ سطح هادی عبور خواهد کرد. بنابراین مقاومت در فرکانسهای رادیویی چندین برابر مقاومت در جریان مستقیم می‌باشد و این مقدار با افزایش فرکانس زیادتر می‌گردد.

پاسخ سؤال ۱- مقدار مقاومت نصف می‌گردد.

۲- نخیر بایستی از مواد با ضریب حرارتی صفر استفاده شود.

اگر سطح مقطع هادی نصف گردد مقدار مقاومت چقدر می‌گردد؟

اندازه سیم‌ها

برای کاربردهای مختلف هادی‌ها در اندازه‌های مختلف وجود دارد. بعضی از سیم‌ها ضخیم و بعضی دیگر بنازکی موی سر آدم می‌باشد. هر سیمی با شماره‌ای مشخص میشود که هرچه قطر سیم کمتر باشد شماره آن بالاتر است در جدول صفحه بعد مشخصات سیم‌ها داده شده است.

جدول سیم مسی

Wire Size A.W.G. (B&S)	Diam. in Mils	Circular Mil Area	Turns per Linear Inch		Cont. duty current single wire in open air	Feet per Pound, Bare	Ohms per 1000 ft. 25° C.	Current Carrying Capacity at 700 C.M. per Amp.	Diam. in mm.	Nearest British S.W.G. No.
			Enamel	S.C.E.						
1	289.3	83690	—	—	—	3.947	.1264	119.6	7.348	1
2	257.6	66370	—	—	—	4.977	.1593	94.8	6.544	3
3	229.4	52640	—	—	—	6.276	.2009	75.2	5.827	4
4	204.3	41740	—	—	—	7.914	.2533	59.6	5.189	5
5	181.9	33100	—	—	—	9.980	.3195	47.3	4.621	7
6	162.0	26230	—	—	—	12.58	.4028	37.5	4.115	8
7	144.3	20820	—	—	—	15.87	.5080	29.7	3.665	9
8	128.5	16510	7.6	—	7.1	20.01	.6405	23.6	3.264	10
9	114.4	13090	8.6	—	7.8	25.23	.8077	18.7	2.906	11
10	101.9	10380	9.6	9.1	8.9	31.82	1.018	14.8	2.588	12
11	90.7	8234	10.7	—	9.8	40.12	1.284	11.8	2.305	13
12	80.8	6530	12.0	11.3	10.9	50.59	1.619	9.33	2.053	14
13	72.0	5178	13.5	—	12.8	63.80	2.042	7.40	1.828	15
14	64.1	4107	15.0	14.0	13.8	80.44	2.575	5.87	1.628	16
15	57.1	3257	16.8	—	14.7	101.4	3.247	4.63	1.450	17
16	50.8	2583	18.9	17.3	16.4	127.9	4.094	3.69	1.291	18
17	45.3	2048	21.2	—	18.1	161.3	5.163	2.93	1.150	18
18	40.3	1624	23.6	21.2	19.8	203.4	6.510	2.32	1.024	19
19	35.9	1288	26.4	—	21.8	256.5	8.210	1.84	.912	20
20	32.0	1022	29.4	25.8	23.8	323.4	10.35	1.46	.812	21
21	28.5	810	33.1	—	26.0	407.8	13.05	1.16	.723	22
22	25.3	642	37.0	31.3	30.0	514.2	16.46	.918	.644	23
23	22.6	510	41.3	—	32.6	648.4	20.76	.728	.573	24
24	20.1	404	46.3	37.6	35.6	817.7	26.17	.577	.511	25
25	17.9	320	51.7	—	38.6	1031	33.00	.458	.455	26
26	15.9	254	58.0	46.3	41.8	1300	41.62	.363	.405	27
27	14.2	202	64.9	—	45.0	1639	52.48	.288	.361	29
28	12.6	160	72.7	54.6	48.5	2067	66.17	.228	.321	30
29	11.3	127	81.6	—	51.8	2607	83.44	.181	.286	31
30	10.0	101	90.5	64.1	55.5	3287	105.2	.144	.255	33
31	8.9	80	101	—	59.2	4145	132.7	.114	.227	34
32	8.0	63	113	74.1	62.6	5227	167.3	.090	.202	36
33	7.1	50	127	—	66.3	6591	211.0	.072	.180	37
34	6.3	40	143	86.2	70.0	8310	266.0	.057	.160	38
35	5.6	32	158	—	73.5	10480	335	.045	.143	39
36	5.0	25	175	—	77.0	13210	423	.036	.127	41
37	4.5	20	198	—	80.3	16660	533	.028	.113	41
38	4.0	16	224	116.3	83.6	21010	673	.022	.101	42
39	3.5	12	248	—	86.6	26500	848	.018	.090	43
40	3.1	10	282	131.6	89.7	33410	1070	.014	.080	44

استاندارد
بریتانیا

برای سیم مسی
در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

... تست شده است

(تست شده)

در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

تعداد دوری که در هر
اینج جای می گیرد

برای سیم مسی

برای سیم مسی

استاندارد
بریتانیا

انواع مقاومتها

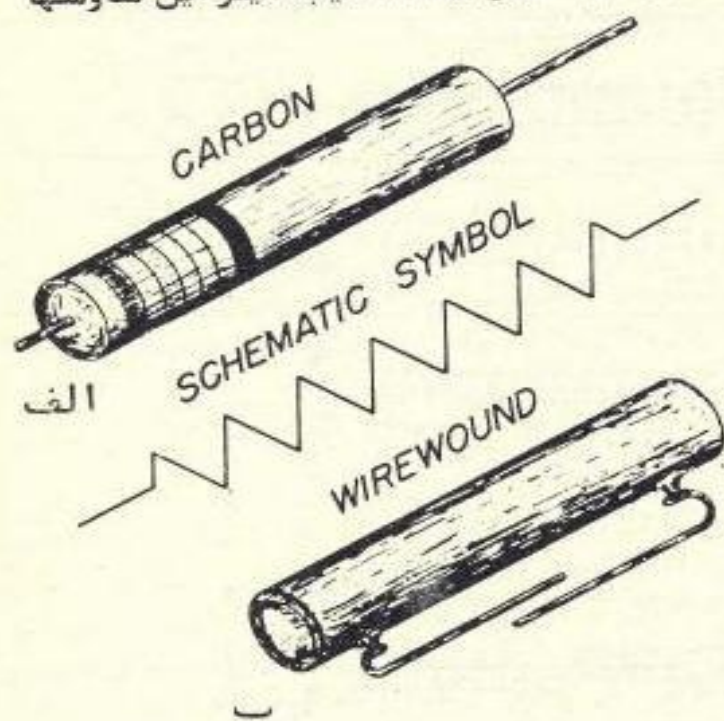
مقاومتها بر روشهای مختلف، هم برای مصارف ویژه و هم برای کاربردهای عمومی ساخته میشوند و میتوان آنها را بچهار دسته زیر تقسیم کرد:

- ۱- مقاومتهای ترکیبی
- ۲- مقاومتهای لایهای
- ۳- مقاومتهای سیمی
- ۴- مقاومتهای نیمه هادی.

در هر دسته روشهای گوناگونی رعایت میشود که هر روش هم مشخصه بخصوصی به مقاومت میدهد

Composition

یکی از پرمصرفترین مقاومتها نوع کربنی (ذغالی) است که در شکل ۴-۶ نشان داده شده است این نوع مقاومتها دارای سیمهایی است که در دو انتهای آن قرار گرفته است. این مقاومتها از مخلوط گرافیت و یک ماده عایق نسوز ساخته میشود. این مقاومتها ارزان و از نظر ساخت آسان است و تولرانس آنها آنقدر است که برای کارهای الکترونیکی کافی است. عیب این مقاومتها در این است که با گذشت زمان مقدار آنها تغییر میکند. عیب دیگر این مقاومتها محدودیت قدرت آنهاست.



شکل ۱-۶

۲- مقاومتهای سیمی Wirewound

مقاومتها را میتوان با استفاده از مقاومتهای سیمی برطرف کرد. (شکل ۶-ب)

مقاومتهای سیمی مقدار دقیق و قدرت بیشتر از مقاومتهای ذغالی دارند مادهای ک— معمولاً این نوع مقاومتها از آن ساخته میشود نمره آلمانی است که ترکیبی است از مس، نیکل و روی.

یکی از عیوب این نوع مقاومتها قیمت زیاد آنهاست. حدود قدرت این مقاومتها ۵ تا ۱۰۰ وات است. اندازه این مقاومتها دقیق است ولی در فرکانسهای زیاد نمیتوان از ضریب خود القاء آنها صرفنظر کرد از اینرو در این مورد از مقاومتهای کربنی استفاده می‌گردد.

۳- مقاومت‌های (لایه کربنی) Carbon Film

در این مقاومت‌ها یک لایه از کربن روی یک لوله یا میله سرامیکی کشیده میشود و سیم‌های اتصال مقاومت در دو انتهای این لایه پرس میشود. یک رنگ خنثی روی آن زده شده و نوارهای رنگی روی بدنه آن رسم می‌گردد. این مقاومت‌های مقادیر کمی دارند ولی دقیق هستند.

۴- مقاومت‌های لایه فلزی Metal Film

در این نوع مقاومت‌ها از لایه فلزی بجای لایه کربنی استفاده میشود. مزیت این مقاومت‌ها نسبت به مقاومت‌های لایه کربنی در این است که مقاومت‌های لایه فلزی را میتوان در توان‌های زیاد نیز ساخت. مقاومت‌های لایه کربنی دارای ضریب مقاومت منفی هستند ولی این مقاومت‌ها ضریب مقاومت مثبت دارند. این مقاومت‌ها تا حدود ۳ وات وجود دارند. از نظر تولید نویز مقاومت‌های لایه فلزی در مقام بهتری نسبت به مقاومت‌های لایه کربنی هستند.

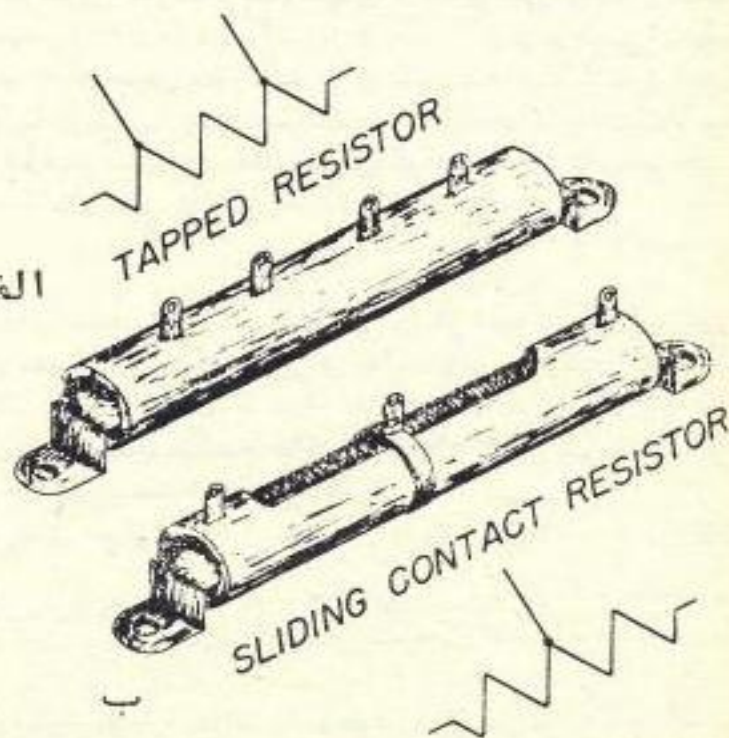
سؤال ۴ - میخواهیم یک مقاومت سیمی به مقاومت ۱۰۰ اهم بسازیم. میدانیم اگر ۲۰ متر سیم روی یک عایق پیچیده شود ۲۵ اهم مقاومت خواهد داشت، حال بگوئید برای مقاومت ۱۰۰ اهمی چقدر از همان نوع سیم لازم است؟
مقاومت‌های ثابت و متغیر

دو نوع مقاومت وجود دارد ثابت و متغیر. مقاومت ثابت از نظر مقدار مشخص و معین است مثلاً "مقاومت‌هایی که در شکل قبلی دیدید مقاومت‌های ثابت هستند مقاومت‌های شکل ۲ نیز مقاومت‌های ثابت‌اند. مقاومت‌های شکل ۲ بنام مقاومت‌های با سر وسط (Tapped) نامیده میشوند از این مقاومت‌ها چند مقدار ثابت میتوان گرفت. مقاومت‌های متغیر خود دو نوعند یکی بنام پتانسیومتر و دیگری بنام رئوستا. (شکل ۳). اختلاف این دو خیلی جزئی است. رئوستاها دوسر و پتانسیومترها سه سر دارند. یک سر رئوستا ثابت و یک سر متغیر دارند و در پتانسیومتر دوسر ثابت و یک سر متغیر است. بطور کلی رئوستا از نظر مقدار محدود و از نظر قدرت بالاست ولی پتانسیومتر برعکس از نظر مقدار وسیع و از نظر قدرت محدود است.

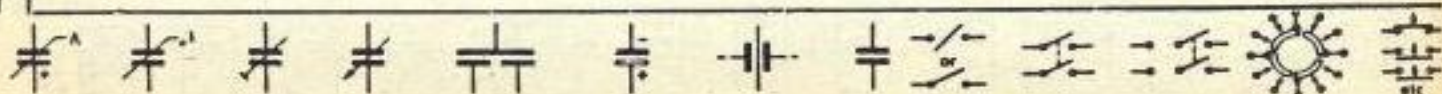
شکل ۲

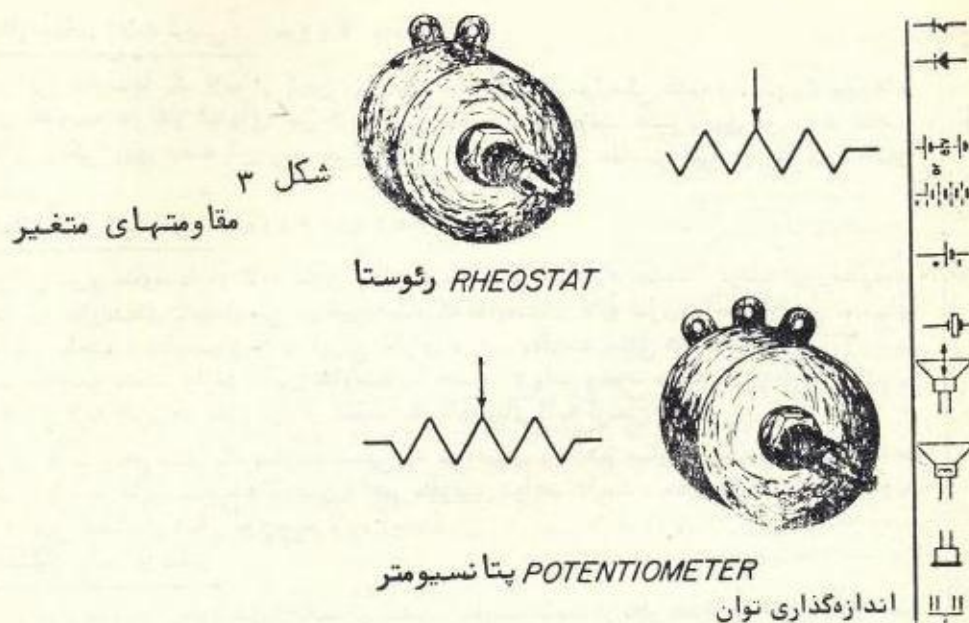
الف

مقاومت‌های با سر وسط



ب





وقتی جریان از مقاومت عبور میکند، حرارت در آن بوجود می‌آید. مقاومت باید قادر باشد که این حرارت را دفع کند. قابلیت دفع حرارت در یک مقاومت بستگی به سطح آن دارد. حداکثر توان یک مقاومت که توسط کارخانه سازنده معین میشود مشخص‌کننده آن است که این مقاومت بطور پیوسته تا چه حد میتواند توان تلف کند بدون آنکه مقدارش از حد نامی آن دور شود.

همانطور که گفته شد اندازه‌توان یک مقاومت بستگی به سطح آن دارد. مقاومت‌های سیمی نسبت به مقاومت‌های لایه‌ای اندازه بزرگتری دارند. مقاومت‌های لایه‌ای در توان‌های مختلف ساخته میشوند. این مقاومت‌ها از یک بیستم (۵/۰) وات تا ۵ وات و نوع ترکیبی از یک‌دهم تا ۲ وات ساخته میشوند. بعضی از انواع مخصوص مقاومت‌ها برای کاربردهای فرکانس رادیویی ساخته میشوند و دارای ولتاژ زیاد و وات (توان) زیاد هستند و تا ۱۰۰ وات یا بیشتر وجود دارند. مقاومت‌های سیمی تا ۲۰۰ وات ساخته میشوند. مقاومت‌های کم‌اهم از نوع سیمی هستند درجه حرارت قابل تحمل برای مقاومت‌های سیمی حداکثر ۲۵۰ درجه است.

اندازه‌گذاری ولتاژ

مقدار یک مقاومت مستقل از ولتاژ اعمال شده بآن نیست. وقتی ولتاژ اعمال شده به مقاومت زیاد گردد مقدار آن نیز تغییر می‌کند و معمولاً کم میشود. برای مقاومت‌های ترکیبی این مشخصه خیلی بدتر است.

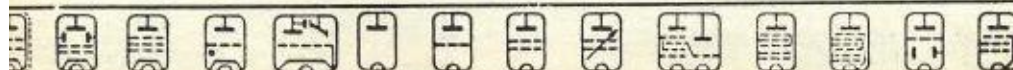
یک ضریب، ولتاژ مجاز یک مقاومت را مشخص میکند. ماکزیمم ولتاژ کار و ضریب ولتاژ یک مقاومت بستگی به مواد و ترکیب عناصر تشکیل دهنده مقاومت دارد.

مقاومت‌های با مقدار زیاد که در ولتاژهای خیلی بالا (مثلاً در ولتاژ بالا لامپ تلویزیون) مصرف میشوند از انواع خاصی هستند.

در جدول ۲- ابعاد و انواع مقاومت‌ها داده شده است.

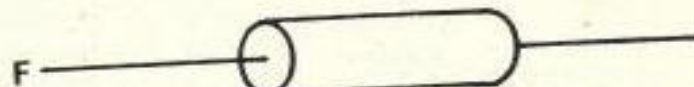
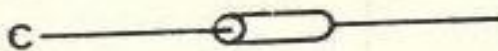
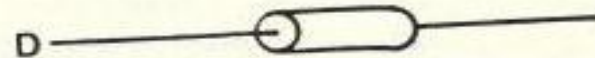
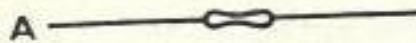
نوارهای رنگی روی مقاومت‌ها

بطور کلی دو سیستم برای نشان دادن مقدار مقاومت‌ها وجود دارد. یکی بنام "سیستم



جدول ۲

اندازه	نوع	اندازه گذاری برای وات		طول	قطر
		@ 40°C	@ 70°C		
A	Carbon Film		.05	4 mm	1.5 mm
B	Composition		.25	6.5 mm	2.3 mm
	Carbon Film		.25	7 mm	2.3 mm
	Metal Film		.25	7 mm	2.5 mm
	Metal Oxide		125/.25	7.2 mm	2.5 mm
	Composition		0.5	10 mm	3.5 mm
C	Carbon Film	0.5	0.33	9 mm	3 mm
	Composition	0.35	0.2	10.3 mm	4.3 mm
	Composition	0.5	0.25	11.5 mm	4.1 mm
D	Composition	0.35	0.2	12.7 mm	5.3 mm
	Carbon Film	0.5	0.25	11 mm	4 mm
	Metal Film		1.0	12 mm	5.5 mm
	Metal Oxide		0.25/0.5	11.2 mm	4.2 mm
	Composition	0.75	0.35	17.8 mm	4.1 mm
E	Carbon Film		1.0	14 mm	4.8 mm
	Composition	2.0	1.0	30 mm	7.8 mm
	Carbon Film		4.0	24 mm	8 mm



استاندارد " و دیگری بنام سیستم نقطه‌ای

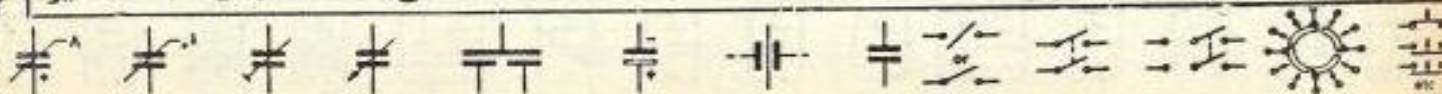
سیستم از نوارهای رنگی استفاده میشود .
سیستم استاندارد

در این سیستم چهار نوار رنگی در روی مقاومت چاپ میشود (شکل ۴ الف) . نوار اول و دوم مشخص کننده رقمهای اول و دوم و نوار سوم تعداد صفرها یا ضرب و نوار چهارم تولرانس را تعیین میکند . برای خواندن این نوارها از جدول (۳) استفاده کنید .
- پاسخ سؤال ۳ - مقدار مقاومت دو برابر میشود .
۴ - طول سیم را ۸۰ متر کنید (۴ برابر) .

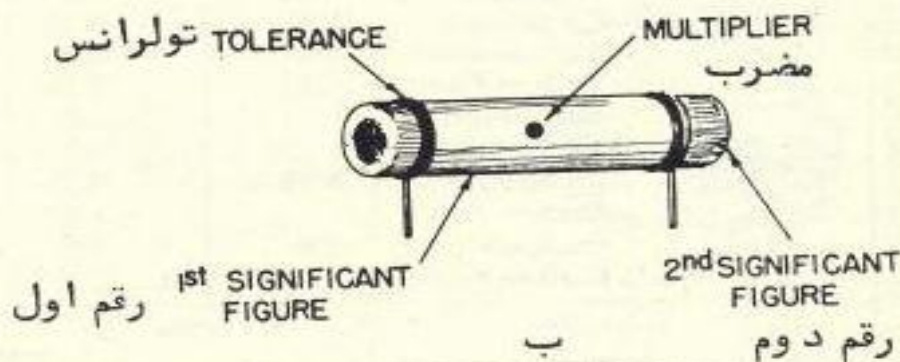
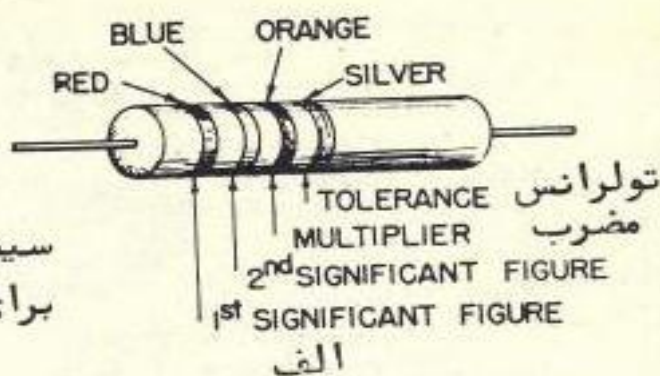
سیستم نقطه‌ای

این سیستم برای مقاومت‌های بفرم شکل (۴ - ب) بکار میرود . رنگها همانست که در جدول ۳ برای سیستم استاندارد آورده شده است ، منتها ترتیب نوارها رنگی در شکل (۴ - ب) نشان داده شده است .
تولرانس

در الکترونیک همچون رشته‌های دیگر مهندسی برای دقت زیاد پول بیشتر هم باید پرداخت بهمین علت مقاومت‌های خیلی دقیق خیلی گران هم تمام میشود ولی با توجه به اینکه در مدارهای عملی دقت زیاد لازم نیست و مثلاً " میتوان بجای مقاومت ۹۰ یا ۱۱۰ اهم مقاومت ۱۰۰ اهم بکار برد و همان نتیجه را گرفت بنابراین دیگر احتیاجی به المانهای با مقادیر



شکل ۴ -
سیستم های نوارهای رنگی
برای تعیین مقدار مقاومتها



Color	Significant Figure	Decimal Multiplier	Resistance Tolerance Percent ±
Black	0	1	---
Brown	1	10	---
Red	2	100	---
Orange	3	1,000	---
Yellow	4	10,000	---
Green	5	100,000	---
Blue	6	1,000,000	---
Violet	7	10,000,000	---
Gray	8	100,000,000	---
White	9	1,000,000,000	---
Gold	---	.1	5
Silver	---	.01	10
No Color	---		20

جدول ۳

دقیق نیست .

به همین جهت مقدار مقاومتها بایک درصد تفاوت بیان میشود که همان تولرانس است و معرف درصد امکان اختلاف مقدار بیان شده با مقدار واقعی مقاومت در مدار است. مثلاً "یک مقاومت ۱۰۰ اهم با تولرانس ۵ درصد می تواند مقداری بین ۹۵ تا ۱۰۵ اهم داشته باشد. اگر در یک مدار به مقاومتی با تولرانس ۱۰ درصد برخوردید میتوانید آنرا با مقاومتی به همین اندازه و با تولرانس کمتر مثلاً "۵ درصد عوض کنید ولی برعکس این کار ممکن نیست. حال ببینیم چرا این درصد تفاوت وجود دارد: ابتدا بسراغ کارخانه سازنده برویم، اگر به کاتالوگهای کارخانه های سازنده عناصر الکترونیکی نگاه کنید متوجه خواهید شد که انواع مختلف از مقاومت وجود دارد که از نظر ساختمان و اندازه متفاوتند. برای مثال سیمی لایه ای فلزی، کربنی و غیره. در یک چنین مقیاس وسیعی خیلی مشکل خواهد بود که سازنده بتواند مقدار دقیق تک تک مقاومتها کنترل شود. از طرفی با توجه به مطالبی که ذکر گردید: دقت زیاد در مدارهای الکترونیکی لازم نیست و صرف این وقت برای کنترل دقیق مقدار عناصر بیهوده خواهد بود. در نتیجه خیلی بهتر خواهد بود که سازنده عناصری را که به بازار عرضه می کند مقدار آنها را با درصدی (تولرانس) بیان دارد. برای اینکار یکبار که مثلاً "ده هزار مقاومت

تولید شد، بطور تصادفی تعدادی نمونه مثلاً " پانصد عدد از آنها را انتخاب کرده و تست می کنند و بدین ترتیب درصد تفاوتی برای آنها پیدا میشود که میتوان گفت تمامی این مقاومتها در این حدود خواهند بود.

وقتی مداری طرح میشود، طراح مقدار مقاومتها را دقیقاً " حساب میکند. مثلاً " با محاسبه مقدار مقاومتی را برابر $97/56$ اهم بدست می آورد چون هیچ سازنده ای چنین مقاومتی با این مقدار نمی سازد طراح نزدیکترین مقدار مقاومت موجود در بازار را با این مقدار انتخاب می کند که در این حالت 100 اهم است. درصدی که این مقاومت دارد معمولاً " 10 درصد است که در اینحال مقدار آن میتواند 90 تا 110 اهم باشد. اگر 5 درصد باشد مقدار آن حدود 95 تا 105 اهم خواهد بود.

در بعضی از مدارها مثل مدارهای زمانی احتیاج به تolerانس کم است مثل 2 درصد در اینجا تolerانس 10 درصد زیاد می باشد. مقادیر استاندارد مقاومتها

اکثر مقاومتها که معمولاً " بکار میروند شامل اعداد زیرند که به سری $E12$ معروفند. $10/12/15/18/22/27/33/39/47/56/68/82$ درصد عدد قبلی از عدد قبلی بیشتر است، بنابراین شما براحتی میتوانید آنها را بخاطر بسپارید. از طرفی میتوانید هر مقاومتی که احتیاج دارید با ده درصد تفاوت از این سری انتخاب کنید. برای مقادیر بزرگتر و کوچکتر اعداد فوق به توانهای 10 ضرب یا تقسیم میشود سؤال 5 - یک مقاومت 50 اهمی تolerانس 5 درصد دارد نوارهای رنگی روی آن چه رنگهایی است؟

سؤال 6 - در سیستم نقطه ای چه رنگهایی استفاده میشود؟

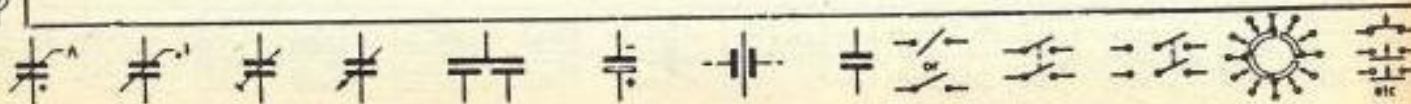
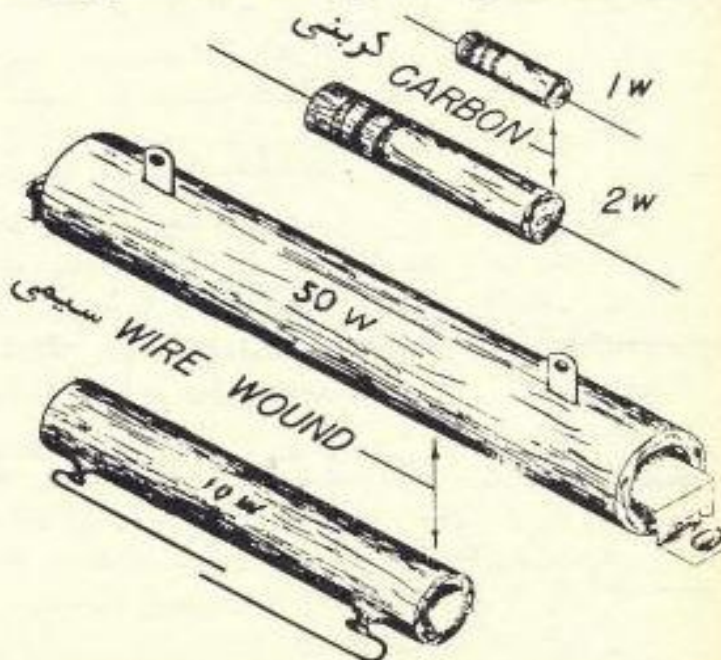
پاسخ سؤال 5 - نوارها عبارتند از سبز - سیاه - سیاه - و طلایی.

6 - بدنه سبز رنگ، انتها سیاه رنگ، و نقطه سیاه میباشد.

مقاومت های غیر خطی

مقاومت هایی که تا بحال بحث شد از قانون اهم تبعیت میکنند و بنام مقاومت های خطی معروفند یعنی مقاومت اهمی آنها با ولتاژ اعمال شده در دو سر آنها تغییر نمی کنند و با تغییر حرارت بطور خطی تغییر می کنند. مقاومت هایی هم هستند که از قانون اهم تبعیت نمی کنند.

شکل 5 - اندازه مقاومتها در رابطه وات آنهاست



مقاومت‌های وابسته به ولتاژ

مقاومت‌های وابسته به ولتاژ (VDR) مقدارشان با ولتاژ اعمالی بدو سر آنها بطور لگاریتمی تغییر میکند. هرچه ولتاژ بالاتر برود مقدار مقاومت آنها کمتر میشود. یکی از کاربردهای VDR ترمستورها

برخلاف مقاومت‌های وابسته به ولتاژ که فقط یک جهت هستند ترمستورها را هم میتوان با ضریب منفی و هم با ضریب مقاومت مثبت پیدا کرد.

ترmistورهای با ضریب مقاومت منفی که با (NTC) نشان داده میشوند از اکسید آهن یا نیکل تهیه میشوند.

ترmistورهای با ضریب مقاومت مثبت که با (PTC) نمایان میشوند دقیقاً "برعکس" NTC عمل میکنند. این مقاومتها وقتی سرد هستند مقاومت کمی دارند و با بالا رفتن درجه حرارت مقدار آنها زیاد می‌گردد.

مقاومت‌های وابسته به نور (فتوسل)

مقاومت‌های وابسته به نور یا مقاومت‌های نوری مقاومت‌هایی هستند که مقدارشان بسته به مقدار نوری که به آنها میرسد تغییر می‌کند.

مقاومت‌های نوری اغلب از سولفات کادمیم تهیه میشوند. این ماده در اثر نور الکترون آزاد میکند. مقاومت این مقاومتها در تاریکی حدود چند مگا اهم است و با زیاد شدن نور مقاومت آنها کم میشود بطوریکه در روشنایی حدود ۱۰۰۰ لوکس به مقدار چند اهم میرسد. پاسخ فرکانسی این مقاومتها جالب نیست. عبارت دیگر وقتی از تاریکی به روشنایی می‌رویم عمل آنها سریع است اما در وقتی که از روشنایی به تاریکی می‌رویم عمل کندتر می‌باشد. این مقاومتها بفرم مختصر به LDR نیز نشان داده میشوند.

تخفیف بی سابقه

۲۵٪ تخفیف برای کسانی که سری انتشارات این سازمان را یکجا خریداری کنند.

این کتابها عبارتند از:

۲ جلد

مجموعه مدار

۲ جلد

الکترونیک برای رادیو آماتورها

۱ جلد

طرح مدارات با آی - سی

قیمت پشت جلد کتابها فوق جمعا ۵۲۰ ریال است که با تخفیف

۴۰۰ ریال بفروش میرسد.

علاقه‌مندان مبلغ فوق را بعلاوه ۵۰ ریال هزینه پستی (جمعا ۴۵۰

ریال) برای ما ارسال دارند.

انتشارات دانش

درس هفتم: سیم پیچ و ترانسفورماتور

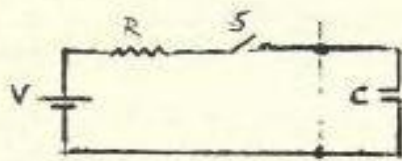
یکی از قطعات الکترونیکی که به نحو نسبتاً وسیعی در مدارهای مختلف مورد استفاده قرار میگیرد سیم پیچ است که معمولاً بوبین، اندوکتانس و سلف (خود القاء) نیز نامیده میشود. اگر دو سیم پیچ از نظر الکتریکی به یکدیگر کوپله شده باشند تشکیل یک ترانسفورماتور را میدهند.

امروزه از سیم پیچها بدلیل گران بودن نسبی، حجم و وزن زیاد، در دسترس نبودن مقادیر متفاوت و عیوب دیگر، حتی الامکان کمتر استفاده می شود. حتی بعضی مواقع برای تبدیل ولتاژی به ولتاژ بالاتر نیز از ترانس صرف نظر شده است (مثلاً برای تولید ولتاژ بالای تلویزیون). اما با این وجود هنوز هم در مدارات مختلف رادیو - تلویزیون (تقویت کنندهها صافی ها، نوسان سازها، ...) از سیم پیچ و ترانس به مقدار زیادی استفاده می شود.

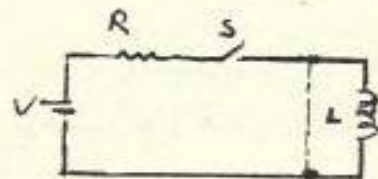
هرچند که سیم پیچ و ترانسفورماتور هر دو براساس قوانین الکترو مغناطیسی و فیزیکی یکسانی ساخته شده و کار می کنند. اما وظایف متفاوتی را در مدارها انجام میدهند. سیم پیچها معمولاً در مدارهای نوسان ساز و یا صافی بکار میروند در صورتیکه از ترانسفورماتور (که در مدارهای الکترونیکی غالباً "چک" و یا جعبه آی - اف نامیده میشود) برای بالا بردن جریان یا ولتاژ و یا مجزا کردن دو طبقه مختلف از یکدیگر استفاده می شود.

طرز کار سیم پیچ در مدار

طرز کار و مشخصه سیم پیچ یا بوبین برای ولتاژها و جریانهای ac و dc کاملاً برخلاف طرز کار خازن است. برای ولتاژها و جریانهای ثابت، خازن بصورت مدار باز عمل میکند در صورتیکه بوبین بصورت یک تکه سیم هادی دیده شده و بصورت اتصال کوتاه عمل می کند.



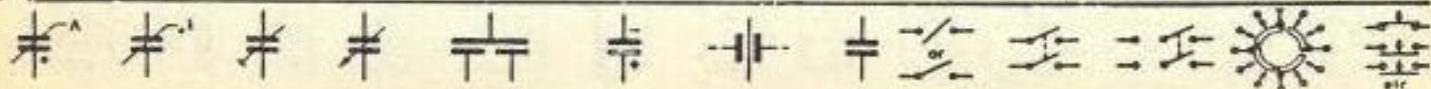
شکل ۱



شکل ۲

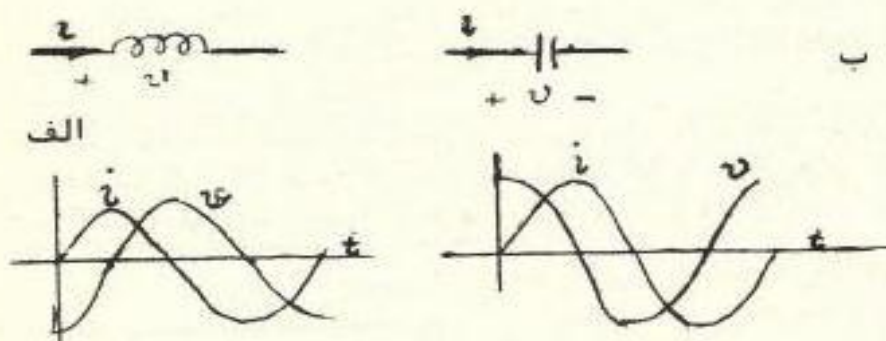
برای ولتاژها و جریانهای ضربه ای نیز نحوه کار آنها با یکدیگر متفاوت است. در مدار شکل ۱ هنگامیکه کلید S بسته میشود در لحظه اول خازن دارای مقاومت ظاهری صفر بوده و حداکثر جریان از مدار میگذرد (مقدار جریان در لحظه شروع توسط R محدود شده و برابر $\frac{V}{R}$ است). بتدریج که خازن شارژ میشود از مقدار جریان کاسته شده و به صفر میرسد. اما در مدار شکل ۲ بوبین در ابتدا با عبور جریان مخالفت کرده و مقاومت ظاهری بینهایت از خود نشان میدهد. بتدریج مقاومت ظاهری بوبین کم شده و مقدار جریان زیاد می شود تا اینکه در حالت ماندگار سیم پیچ مانند اتصال کوتاه عمل کرده "مقدار جریان برابر $\frac{V}{R}$ میگردد. لازم به تذکر است که اعمال فوق در زمانهای نسبتاً کوتاهی اتفاق افتاده و عملاً برای مدار خازن بعد از $4RC$ ثانیه و برای مدار سلف بعد از $4\frac{R}{L}$ ثانیه مدار به حالت ماندگار خود میرسد.

اثر خازن و سیم پیچ در مدارهای ac نیز عکس یکدیگر است. مقاومت ظاهری (امپدانس) خازن با بالا رفتن فرکانس کوچک شارژ می شود در صورتیکه مقاومت ظاهری سلف زیاد میگردد. همچنین جریان گذرنده از بوبین نسبت به ولتاژ دو سر آن به اندازه ربع سیکل (۹۰) پیش فاز است در صورتیکه برای خازن جریان نسبت به ولتاژ عقب بوده و به اندازه ۹۰ درجه پس فاز است (شکل ۳).



حال که تا اندازه‌ای به طرز کار سیم پیچ در مدار آشنا شدیم ببینیم که چرا چنین مشخصه‌ای از آن دیده می‌شود. بطوریکه میدانیم هنگامی که جریانی از یک سیم عبور میکند، در اطراف آن یک میدان مغناطیسی بوجود می‌آید. انرژی جریان در این میدان ذخیره شده و میدان تمایل خواهد داشت که از تغییر مقدار جریان ممانعت کند. برای اینکار میدان مغناطیسی در دو سر مدار (حلقه سیم) یک ولتاژ القاء کرده و توسط این ولتاژ با تغییر جریان مخالفت می‌کند. برای یک تکه سیم مقدار این ولتاژ القایی بسیار کوچک بوده و قابل تشخیص نیست. برای افزایش این ولتاژ که با افزایش مقدار اندوکتانس متناسب است سیم را بصورت حلقه حلقه روی یک استوانه که داخل آن عایق است می‌پیچند. مقدار اندوکتانس با واحدی بنام "هانری" سنجیده می‌شود که از لحاظ عددی برابر است با حاصل تقسیم ولتاژ القاء شده در دو سر سیم پیچ به میزان تغییرات زمانی (مشتق) جریان گذرنده از آن.

برای یک سیم پیچ معین مقدار اندوکتانس آن در همه حال ثابت است اما مقدار "مقاومت ظاهری" و یا امپدانس آن که با واحد اهم سنجیده می‌شود برای جریان‌ها و ولتاژهای متناوب به فرکانس نیز بستگی دارد. بطور کلی با زیاد شدن فرکانس مقدار مقاومت ظاهری زیاد شده و یا کم شدن آن مقدار مقاومت ظاهری کاهش می‌یابد. به بیان دقیق‌تر برای سیم پیچی با مقدار اندوکتانس L هانری در فرکانس f هرتز مقدار مقاومت ظاهری Z برابرست با: $Z = 2\pi fL$



شکل ۳ - ۷

سیم پیچ‌هایی را که در مدارهای مختلف بکار می‌روند میتوان برحسب نوع هسته آنها تقسیم بندی کرد:

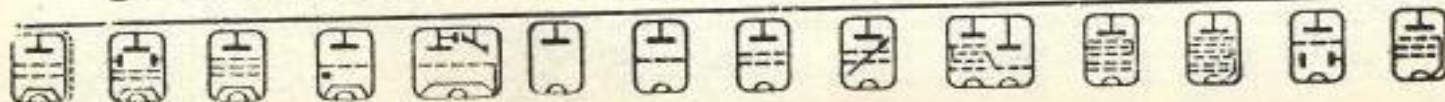
(الف): سیم پیچ‌هایی که دارای هسته نیستند و یا به عبارت صحیح‌تر هسته آنها از جنس هواست. این سیم پیچ‌ها معمولاً از حدود ده بیست دور سیم نسبتاً ضخیم تشکیل شده و معمولاً در قسمت‌های فرکانس بالا بکار می‌روند.

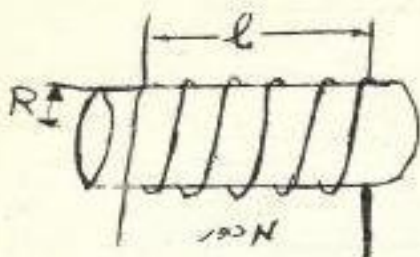
(ب): سیم پیچ‌های با هسته فریت: برای زیاد کردن خود القایی در سلف‌ها و یا در ترانس‌ها برای استفاده در فرکانس‌های کمتر معمولاً هسته‌ای از جنس فریت درون سیم پیچ قرار میدهند جنس این هسته برای فرکانس‌های مختلف فرق میکند و باید با در نظر گرفتن فرکانس نوع هسته را انتخاب کرد. مهمترین مورد استفاده این نوع سیم پیچ‌ها در مدار ورودی آنتن رادیوهاست. در این حالت هسته فریت علاوه بر زیاد کردن مقدار اندوکتانس بصورت آنتن نیز عمل میکند.

(ج): سیم پیچ‌های با هسته براده‌ای: سیم پیچ‌های قابل تنظیم معمولاً دارای هسته‌های متغیر بصورت پیچ هستند. هسته این سیم پیچ‌ها مخلوطی است از ذرات مغناطیسی، یک پودر عایق کننده و یک چسب نگهدارنده.

شکل مداری سیم پیچ‌ها و ترانس‌های مختلف در شکل زیر نشان داده شده است.

نوع دیگری از سیم پیچ‌ها که سابقاً برای قسمت‌های نوسان ساز و ورودی آنتن مورد استعمال زیادی داشتند به چوک فرکانس رادیویی یا RFC موسوم‌اند. قبل از استفاده از آنتن‌های فریت این سیم پیچ‌های RF داخل محفظه‌های فلزی قرار داشتند اما امروزه بدوراستوان‌هایی





شکل ۴

از جنس فریت با قطر نسبتاً زیاد پیچیده میشوند. معمولاً یک سیم پیچ برای باند موج متوسط و سیم پیچ‌های دیگر برای باند امواج کوتاه است. بدین ترتیب آنتن کاملاً مناسبی در داخل خود گیرنده تعبیه شده و احتیاج به آنتن خارجی از بین می‌رود.

برای تعیین مقدار اندوکتانس بوبین‌های مدارات رادیویی که معمولاً در یک ردیف و بشکل استوانه پیچیده می‌شوند از فرمول زیر میتوان استفاده کرد.

$$L = \frac{R^2 N^2}{9R + 10l} \quad (\text{میکروهانری})$$

در این رابطه L = مقدار اندوکتانس بر حسب میکروهانری R = شعاع استوانه بعلاوه نصف قطر سیم بر حسب اینچ l = طول سیم پیچ بر حسب اینچ N = تعداد دور سیم‌ها.

بکمک این رابطه میتوان از روی ابعاد فیزیکی یک سیم پیچ مقدار اندوکتانس آنرا بر حسب میکروهانری تعیین کرد و یا برای ساختن یک سیم پیچ با مقدار معین تعداد دورها و یا ابعاد سیم پیچ را تعیین نمود.

ترانسفورماتورها

همانطور که قبلاً نیز گفتیم سیم پیچ‌ها و ترانسفورماتورها براساس اصول فیزیکی یکسانی کار میکنند در ترانسفورماتورها جریان گذرنده از سیم پیچ اولیه باعث ایجاد یک میدان مغناطیسی میشود که این میدان در سیم پیچ ثانویه ولتاژی را القاء کرده و در صورتی که باری به مدار ثانویه متصل شود جریانی از آن خواهد گذشت. اگر تعداد دور سیم پیچ‌های اولیه برابر N_1 و تعداد دور سیم پیچ‌های ثانویه برابر N_2 باشد در این صورت روابط زیر بین ولتاژها و جریان برقرار خواهد بود.

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

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

در مدارات مختلف الکترونیکی ترانسفورماتور در انواع مختلف و برای مصارف مختلف بکار می‌روند. بعضی از انواع متداول عبارتند از:

(الف) : ترانس‌های پائین آورنده ولتاژ برق شهر در قسمت منبع تغذیه و همچنین چک‌های خروجی تقویت کننده‌های صوتی. این ترانس‌ها روی ورقه‌های آهنی بشکل I و E پیچیده میشوند. هیچگونه تغییری در آنها امکان نداشته و معمولاً توان گذرنده از آنها نسبت به بقیه مدار بیشتر است.

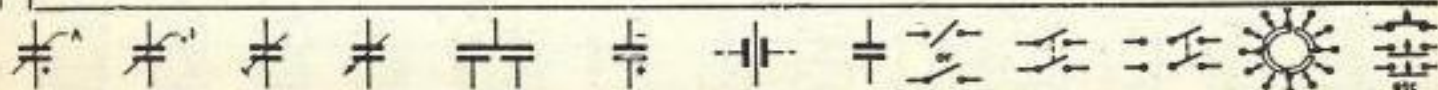
(ب) : جعبه‌های آی - اف : ترانسفورماتورهای آی - اف Intermediate Frequency = I.F



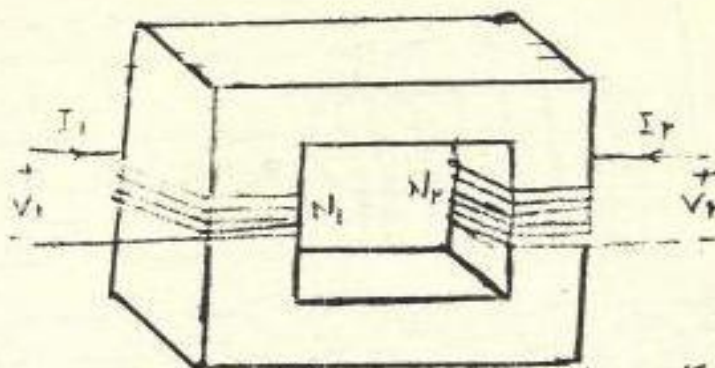
سیم پیچ



ترانس



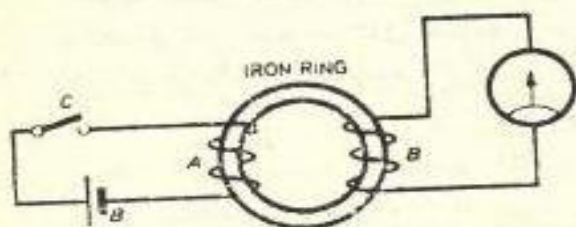
شکل ۵



فرکانس میانی) معمولا روی هسته‌های استوانه‌ای شکل پیچیده می‌شوند. عموماً "برای اینکه از کوپلاژ اضافی جلوگیری شود سیم‌پیچ‌ها با یکدیگر فاصله دارند. از آنجا که فرکانس کار در اینجا از فرکانس‌های صوتی بالاتر است، اندوکتانس این سیم‌پیچ‌ها از ترانس‌های صوتی کمتر بوده و بنابراین تعداد دورها نیز بسیار کمتر است. هسته جعبه‌های آی - اف از جنس پودر آهن بوده و بشکل پیچ ساخته می‌شود تا بتوان آنرا بسادگی بداخل سیم‌پیچ برده و یا از آن خارج کرد. با اینکار میتوان مدار را به نحو دقیقی تنظیم کرد. برای اجتناب از کوپلاژ سیم پیچ‌ها با سایر قسمت‌های مدار ترانسفورماتورهای آی - اف تقریباً همیشه در داخل محفظه‌های کوپله شده‌اند، امپدانس خروجی و ورودی آنها را با یکدیگر منطبق کرد. با اینکار ماکزیم انرژی از یک طبقه به طبقه بعدی انتقال داده می‌شود.

جعبه‌های آی - اف برحسب تعداد ورودی و خروجی‌ها و نیز مقدار اندوکتانس با رنگ‌های مختلف ساخته می‌شوند.

اندوکتانس (خاصیت القایی)



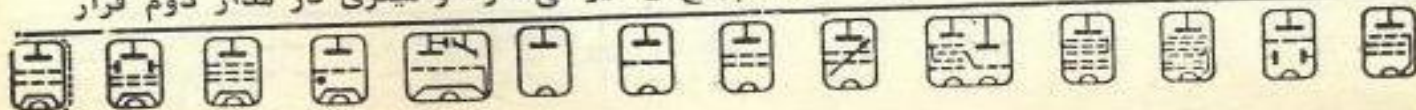
شکل ۶

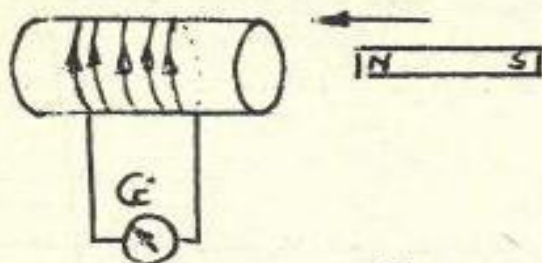
در قسمت‌های قبلی گفته شد که چطور اُرسند کشف کرد که جریان در سیم‌ها باعث انحراف عقربه قطب‌نما می‌گردد. در واقع جریان در هر جایی میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند و ما این موضوع را فقط در مورد سیم‌ها بیان کردیم.

اگر سیم را بفرم حلقه‌ای رویهم قرار دهید خواهید دید که میدان قویتر می‌شود و هرچه تعداد حلقه‌ها بیشتر گردد میدان بیشتر و شدیدتر خواهد شد.

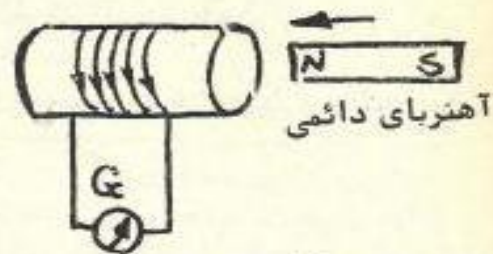
در آن موقع بنظر عده‌ای آمد که ممکن است عکس مطالب فوق نیز صحیح باشد یعنی میدان مغناطیسی نیز بایستی در هادی نزدیک خود جریان ایجاد کند. ولی چنین اتفاق نیافتاد و با قرار دادن مغناطیس در حوالی سیم‌پیچ جریانی در آن تولید نشد. بالاخره براین عمل توسط مایکل فاراده بعد از سالها مطالعه کشف شد. فاراده از آزمایشات خود نتیجه گرفت که ممکن است جریان القاء شده در سیم‌پیچ در اثر میدان مغناطیسی خیلی کوچک باشد و با وسایل اندازه‌گیری در آن موقع قابل اندازه‌گیری نباشد، بهمین دلیل درصدد برآمد تا مقدار این جریان را تا حد امکان افزایش دهد برای اینکار یک حلقه آهنی انتخاب نمود و دور آن چندین دور سیم در دو طرف حلقه پیچید (شکل ۶).

سیم‌پیچ (کویل) A توسط باتری B انرژی می‌گیرد، میدان حاصل از این انرژی در هسته آهنی متمرکز می‌شود و در نتیجه از داخل سیم‌پیچ B نیز می‌گذرد و میتری در مدار دوم قرار





شکل ۸



شکل ۷

گرفته شده تا عبور جریان را نشان دهد. فاراده مشاهده کرد که فقط در لحظه بستن کلید C عقربه میترم منحرف میشود و همچنین در هنگامیکه کلید باز میشود جریان بیشتری نسبت به هنگام بسته شدن نشان داده میشود. این مشاهده یکی از مهمترین پدیدههایی بود که تاکنون انجام شده است زیرا این مشاهده به اختراع دینامو، موتور الکتریکی، ترانسفورمر و بطور غیر مستقیم به اختراع رادیو انجامیده.

همانطور که فاراده تشخیص داد وقتی جریان در سیم پیچ B بوجود می آید که تغییری در میدان مغناطیسی سیم پیچ A داشته باشیم، عبارت دیگر میدان مغناطیسی متغیر است که جریان تولید میکند و میدان ثابت (Steady State) هیچ اثری در این حالت ندارد.

ممکن است این سؤال پیش آید که اگر فقط در هنگام قطع و وصل کلید جریان در مدار B وجود دارد پس وقتی کلید بسته است انرژی باتری چه میشود و بکجا میرود؟ وقتی کلید بسته شود انرژی باتری صرف برقرار کردن جریان در مدار میشود، مقاومت موجود در این مدار همان مقاومت سیم پیچ A می باشد پس میتوان گفت که همه انرژی تلف می گردد و یا صرف مغناطیس کردن هسته آهنی میشود (الکترمگنت).

نکته ای که در مورد سیم پیچ ها وجود دارد اینست که جریان در یک سیم پیچ میدان مغناطیسی تولید می کند و برعکس تغییرات میدان یک $e.m.f.$ نیروی الکتروموتوری (نیروی محرکه) در سیم پیچ B القاء می کند.

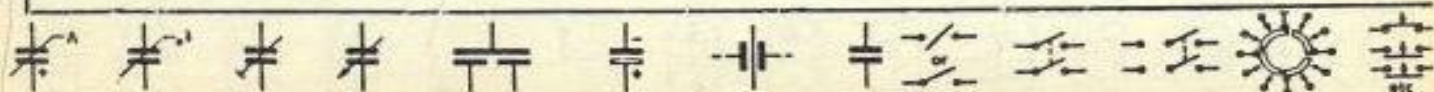
تغییرات جریان در یک سیم پیچ روی خود آن سیم پیچ نیز اثر دارد، واضح است که باید چنین باشد زیرا سیم پیچ در وسط میدان خودش قرار دارد.

سیم پیچ در مقابل روان شدن جریان مقاومت می کند و این کار را با تولید ولتاژی خلاف جهت ولتاژ منبع انجام میدهد که این ولتاژ جریانی خلاف جهت جریان تولید شده توسط منبع اصلی تولید می کند.

این ولتاژ را معمولاً نیروی ضد محرکه الکتریکی $back\ emf$ می گویند و در همه انواع وسایل اندوکیو از قبیل موتورهای الکتریکی اتفاق می افتد. مقدار این نیروی ضد محرکه الکتریکی بستگی مستقیم به تعداد دورهای سیم پیچ و همچنین به شدت تغییرات جریان دارد. توسط یک آهنربای دائم نیز میتوان همان عملی را انجام داد که مدار فوق انجام میدهد، برای اینکار بشکل ۷ توجه کنید آهنربای دائمی بجای طرف اول مدار شکل ۷ می باشد. در اثر حرکت دادن آهنر و عبور آن از میان حلقه های سیم پیچ جریان ضعیفی در سیم پیچ ایجاد میشود که این جریان توسط گالوانومتر (آمپر متر حساس) نشان داده میشود. اگر جهت سیم پیچ عوض گردد جهت انحراف عقربه گالوانومتر نیز عوض خواهد شد (شکل ۸).

در مدارات جریان متناوب (a.c.) با زیاد شدن فرکانس شدت تغییرات جریان زیاد میشود و چون مقدار نیروی محرکه زیاد میشود میتوان نتیجه گرفت که هرچه فرکانس زیادتر شود امپدانس سیم پیچ بیشتر خواهد شد.

قابلیت یک سیم پیچ برای تولید نیروی ضد محرکه الکتریکی معیاری است برای اندازه گیری اندازه سیم پیچ.



یک سیم پیچ که یک ولت نیروی ضد محرکه الکتریکی تولید کند و شدت تغییرات جریان در آن یک آمپر در ثانیه باشد اندوکتانس آن برابر یک هانری خواهد شد.
این موضوع نیز یاد آور می گردد که هرگاه در داخل سیم پیچ هسته آهنی قرار گیرد مقدار اندوکتانس بیشتر خواهد شد.

هسته های سیم پیچ

مقدار اندوکتانس هر سیم پیچ با قراردادن یک هسته آهنی (قریت) در داخل آن افزایش می یابد. جنس هسته های بکار رفته در ترانسفورمرهای تغذیه و فرکانس صوتی آلیاژ سیلیس-آهن و یا آلیاژهای مختلف دیگر می باشد. این هسته ها معمولاً از ورقه های فلزی که روی آنها از لایه های از یک عایق پوشیده شده ساخته میشوند.

این ورقه ها معمولاً اشکال مختلف مثل U, I, E و گاهی C می باشند. ورقه های آهنی را نمیتوان در فرکانسهای بالا HF بکاربرد و بجای آن از پودر آهن هسته استفاده می گردد.

پودر آهن برای فرکانسهای حدود ۱۰۰ کیلوهرتز تا ۱۰۰ مگاهرتز مناسب است. یکی از موارد استفاده قریت برای آنتن گیرنده موج متوسط و موج کوتاه می باشد. مقدار افزایش اندوکتانس یک سیم پیچ که در اثر وارد کردن هسته بوجود می آید بچندین عامل بستگی دارد.

در فرکانسهای باثین که جنس هسته از آلیاژهایی مثل مومنال می باشد مقدار اندوکتانس سیم پیچ با قراردادن هسته ده هزار تا صد هزار برابر افزایش می یابد ولی در فرکانسهای بالا (بیشتر از فرکانسهای رادیویی) مقدار افزایش اندوکتانس در اثر قراردادن هسته در داخل سیم پیچ حدوداً ۲ برابر می شود. وقتی درباره این نوع افزایش صحبت می شود کلمه پرمابیلیتی (Permeability) بکار میرود.

در عمل ما پرمابیلیتی موثر سرکار داریم و آن مقداری است که عملاً به مقدار اندوکتانس اضافه می گردد. زیرا در عمل ما مقداری فلو فراری داریم یعنی مقداری از میدان از داخل هسته عبور نمی کند.

مقدار پرمابیلیتی موثر به موقعیت هسته نیز بستگی دارد، عبارت دیگر با تغییر هسته در داخل سیم پیچ میتوان مقدار اندوکتانس آنرا تغییر داد که اینکار در بوبین های رادیو انجام می گردد.

سئوالات

۱- اگر فرکانس به ۳۰۰ هرتز افزایش یابد جریان چقدر خواهد بود:

الف - ۵۰ میلی آمپر

ب - ۹۰۰۰ میلی آمپر

ج - ۹ میلی آمپر

۴- مداری شامل یک مقاومت ۱۰

مگا اهمی و یک خازن ۱۰۰ میکروفارادی

است ثابت زمانی مدار برابر است با:

الف - ۱۰ ثانیه

ب - ۱ ثانیه

ج - ۱۰۰۰ ثانیه

۵- تلویزیون در آمریکا فرکانس

تصویرش ۶۰ تصویر در ثانیه است.

هر تصویر چه مدت طول می کشد:

الف - حدود ۱۷ میلی ثانیه

ب - حدود ۶۰ میلی ثانیه

ج - حدود ۲۰ میلی ثانیه

۱- جریانی که از مقاومت یک کیلو

اهمی می گذرد برابر خواهد بود با:

الف - یکی میلی آمپر بر ولت

ب - ۱۰ میلی آمپر بر ولت

ج - ۰/۰۰۱ میلی آمپر بر ولت

۲- یک خازن ۱۰ میکروفارادی را

تا ۸ ولت شارژ می کنیم و یکی دیگر را

تا ۳ ولت و سپس آنها را بطور سری

به هم می بندیم، در این صورت ولتاژ

معادل خواهد بود:

الف - ۵ ولت

ب - ۱۱ ولت

ج - ۲۴ ولت

۳- یک موج سینوسی با فرکانس

۱۰۰ هرتز و دامنه ولتاژ ۱ ولت به

دو سر خازنی اعمال میشود، جریانی

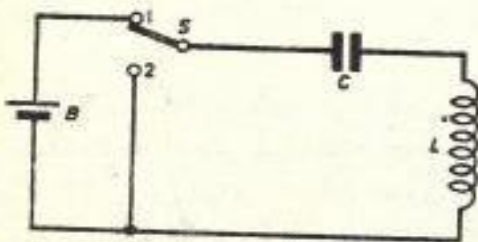
برابر ۳ میلی آمپر از آن می گذرد.

درس هشتم: مدارهای شامل سلف و خازن

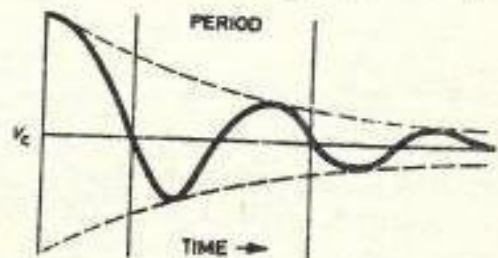
مدارهای تنظیم شده (Tuned Circuits)

سلف و خازن عناصری هستند که انرژی را در خود ذخیره می کنند. خازنها انرژی را بصورت بار الکتریکی و سلف ها بصورت مغناطیسی ذخیره می کنند.

میتوان یک سلف و یک خازن را مثل شکل ۸-۱ بهم وصل کرد. اگر کلید S برای مدتی در وضعیت ۱ قرار گیرد خازن C کاملاً شارژ میشود (تامقدار ولتاژ منبع). حال اگر کلید S در وضعیت ۲ قرار گیرد و خازن C در سلف L تخلیه (دشارژ) می گردد. بدین ترتیب ولتاژی در سلف القا میشود و این ولتاژ بنوبه خود جریانی تولید می کند که دوباره خازن را شارژ می کند و همینطور این عمل ادامه می یابد و اگر سلف و خازن خالص باشند یعنی هیچ تلفاتی نداشته باشند (مقدار مقاومتی) این عمل تا هنگامیکه کلید در وضعیت ۲ باشد ادامه خواهد داشت. در عمل سیم هایی که سیم پیچ ها از آن ساخته میشوند دارای مقاومتی است که در نتیجه هربار که جریان جاری می شود مقداری انرژی تلف می گردد و عمل شارژ و دشارژ ضعیف تر میشود. اگر این



شکل ۸-۱



شکل ۸-۲

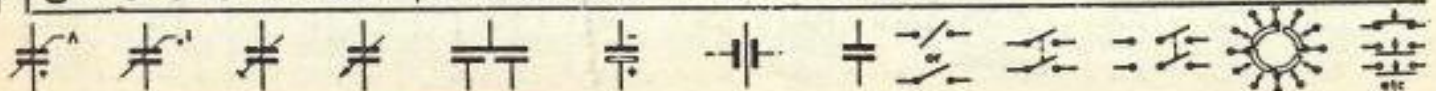
مقدار مقاومت کم باشد این نوسانات بآهستگی از بین میرود (میرایی شود) و می گویند مدار دارای ضریب مرغوبیت بالا است (علامت ضریب Q می باشد).

عمل بالا تشبیه مکانیکی هم دارد و آن پاندول می باشد. اگر شما وزنه پاندول را از وضعیت قائم آن منحرف کنید و آنرا رها کنید، میتوان گفت در اینحال شبیه مدار LC فوق می باشد که کلید S وضعیت ۲ را دارد. (یعنی C شارژ شده). اگر وزنه را رها کنید مثل اینست که کلید به وضعیت ۲ آمده است و انرژی ذخیره شده به پاندول امکان نوسان میدهد یعنی پاندول به وضع قائم خود میرسد و سپس به بالاترین محل در نقطه مقابل میرود و دوباره به وضعیت اولیه برمی گردد و این عمل ادامه می یابد. زمان هر نوسان کوتاهتر از نوسان قبلی خواهد بود و این بدین علت است که مقداری از انرژی صرف غلبه بر مقاومت هوا، اصطکاک نقطه آویز و دیگر اصطکاکها میشود. زمان یک نوسان کامل (رفت و برگشت به محل اولیه) رایک پریود گویند. در مدار LC پریود مدت زمانی است که طی آن خازن شارژ شده، سپس خالی شده و بعد دوباره شارژ می شود. در شکل ۸-۳ پریود مشخص شده و همچنین نشان داده شده که چطور ولتاژ خازن بازمان تغییر می کند. توجه کنید که لازم نیست پریود فاصله زمانی بین دوماکزیمم باشد. بطور کلی پریود عبارتست از فاصله زمانی بین دونقطه از منحنی که در یک وضعیت باشند.

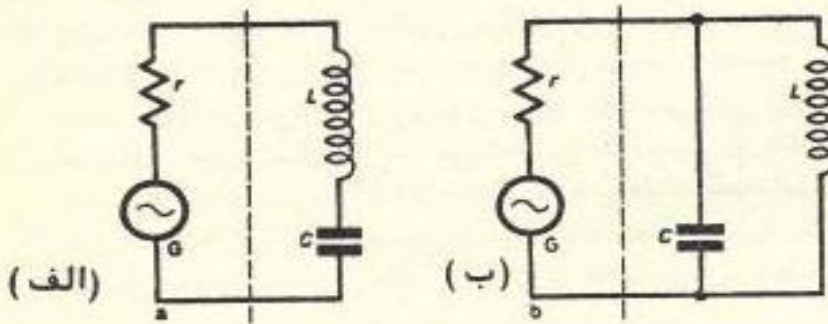
در مدار LC پریود به حاصلضرب L و C بستگی دارد. آسانتر خواهد بود که تعداد نوسانات را در یک ثانیه (واحد زمان) اندازه گیری کرد که به فرکانس موسوم است. البته مشخص است که

پریود و فرکانس عکس همدیگرند. مقدار فرکانس از فرمول $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ بدست می آید.

فرکانس نوسان مدار LC (مدار تنظیم شده) فرکانس طبیعی تشدید نامیده میشود. اگر مخلوطی از جریانه با فرکانسهای مختلف را به مدار اعمال کنیم انرژی بیشتر در فرکانسی



ذخیره می‌باشد که حوالی فرکانس طبیعی مدار باشد و بعد از چند ده یا چند صد هزار سیکل مقدار جریان یا ولتاژ در فرکانس طبیعی از بقیه بیشتر می‌شود و این همان عمل انتخاب فرکانس می‌باشد. توجه کنید که فرکانس طبیعی مدار به طبیعت مدار یعنی مقدار L و C بستگی دارد. وقتی یک مدار تنظیم شده که قابلیت آن برای ذخیره انرژی زیاد است می‌گویند میلی سلکتیو (Selective) است یا سلکتیویتی آن زیاد است. البته سلکتیویتی در گیرنده‌های رادیویی اهمیت زیاد دارد زیرا سیگنال‌های مختلف با فرکانس‌های مختلف توسط آنتن به مدار تنظیم شده می‌رسد و شنونده با تنظیم گیرنده بر روی ایستگاه مورد نظرش فقط به یکی از این



شکل ۳-۸

سیگنال‌ها اجازه عبور می‌دهد. حال ببینیم وقتی جریان متناوب به یک مدار تنظیم شده وارد می‌شود چه اتفاق می‌افتد. در شکل ۳-۸ سیگنال متناوب از طریق یک ژنراتور G می‌آید.

دو روش برای اتصال خازن و سلف وجود دارد در شکل (۳-۸ الف) همه جریان ژنراتور از L و C می‌گذرد. اگر ژنراتور در فرکانس طبیعی مدار کار کند مدار در مقابل جریان ژنراتور مقاومتی از خود نشان نخواهد داد. در فرکانس‌هایی غیر از فرکانس طبیعی مدار مقاومت مدار افزایش می‌یابد و مدار در مقابل عبور جریان با این فرکانس‌ها مقاومت نشان می‌دهد.

شکل (۳-۸ ب) یک حالت دیگر از اتصال L و C می‌باشد، در اینجا جریان بین خازن و سلف رد و بدل می‌شود بدون اینکه از ژنراتور بگذرد. در اینحال نیز مثل حالت سری سلف و خازن بایک جریان کم ژنراتور در فرکانس مناسب جریان زیادی در مدار سلف و خازن جاری می‌شود. در اینحال، مدار در فرکانس رزونانس دارای امپدانس زیادی می‌باشد و در فرکانس‌های غیر از

فرکانس طبیعی امپدانس مدار کم می‌شود.

مدار اول گاهی بنام مدار قبول کننده

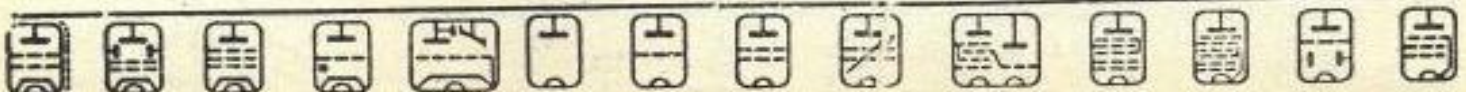
طبیعی براحتی جریان را قبول می‌کند ولی در الکترونیک بیشتر بنام مدار رزونانس سری معروف است. مدار دوم نیز گاهی بنام رد کننده

اکثراً بنام مدار رزونانس موازی می‌نامند.

رزونانس

از رزونانس اغلب اوقات در مدارهای تنظیم شده الکترونیکی صحبت می‌آید. در اینجا می‌خواهیم این موضوع را توضیح دهیم. در واقع کلمه رزونانت *Resonant* که طنین دار ترجمه شده در علم آکوستیک یا صدا استفاده می‌شود، مثلاً در مورد تن صدای افراد کلمه رزونانس که تشدید یا پیش صدا ترجمه شده دقیقاً به لوله‌های ارگ یا سیم‌های پیانو مربوط می‌شود. اگر شما در دهانه یک بطری خالی در جهت خاصی بدمید (فوت کنید) یک نت موسیقی تولید خواهد شد، این رزونانس است.

آنچه اتفاق می‌افتد چنین است در نفس شما مخلوطی از فرکانس‌های مختلف وجود دارد که سبب ارتعاش هوای بطری می‌گردد. موجی که از دمیدن شما در بطری حاصل می‌شود بطرف ته بطری می‌رود و پس از برخورد به ته آن منعکس گردیده و بطرف دهانه بطری برمیگردد که دهان شما در آنجاست.



اگر لحظه رسیدن موج برگشتی به دهانه، همزمان با لحظه‌ای باشد که شما دمیدن بعدی را تکرار میکنید، یک موج قویتری از ترکیب این موج برگشتی و دم دوباره شما حاصل میشود و دوباره بطرف ته بطری میرود و همین طور ادامه خواهد یافت.

این عمل شبیه اینست که کسی به پاندولی نیرو وارد نماید و این اعمال نیرو در زمانهای معینی باشد بطوریکه پاندول بطور دائم ادامه داشته باشد و تشدید گردد.

در الکترونیک اغلب ما به فرکانس بخصوصی احتیاج داریم. برای اینکار یک سلف و یک خازن را (مدار تنظیم شده) به یک تقویت کننده اتصال میدهند، البته این اتصال باید بصورت فیدبک مثبت باشد (شکل ۴-۸). این مدار معادل الکترونیکی دمیدن در بطری خالی میباشد.

در همه تقویت کننده‌ها، نویز الکتریکی (اغتشاش) بوجود می‌آید، یعنی، مخلوطی از فرکانسهای ناخواسته (تصادفی) تولید میشود.

چنانکه ملاحظه میکنید مدار LC از طریق مقاومت R فرکانس دلخواه را از خروجی تقویت کننده انتخاب کرده و دوباره به تقویت کننده اعمال میکند.

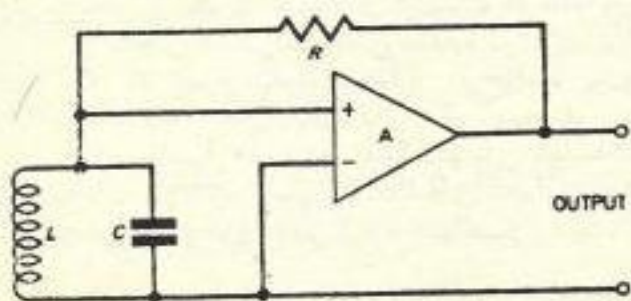
مدار LC انرژی زیادی در فرکانس رزونانس دارا میباشد و این انرژی را به تقویت کننده اعمال میکند. بدین ترتیب تا موقعی که انرژی زیادی از مدار کشیده شده و یا منبع تغذیه مدار انرژی دارد و یا زمانی که مدار خراب نشده نوسان ادامه خواهد داشت.

نوسان سازهای از نوع LC انواع مختلف دارند. معمولترین و ساده ترین آن نوسان سازی است که یک ترانزیستور در آن بکار رفته است. در این نوع نوسان ساز یک نکته قابل توجه وجود دارد و آن اینست که همانطور که میدانید یک ترانزیستور تنها نمیتواند سیگنال تقویت شده‌ای هم فاز با سیگنال ورودیش تولید کند، چون خروجی تقویت کننده یک طبقه‌ای 180° درجه با ورودیش اختلاف فاز دارد یعنی وقتی مقدار ورودی منفی است خروجی مثبت است و برعکس این فرم تقویت کننده با این فرم کاربرد بدرد نوسان ساز نمی‌خورد زیرا چیزی که از خروجی می‌آید و به

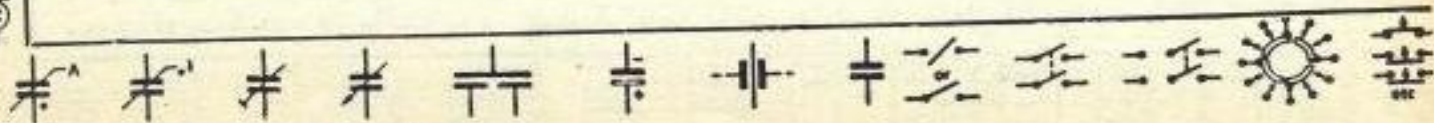
ورودی اعمال میشود در فاز مخالف است با آنچه که در ورودی وجود دارد و بدین ترتیب بجای اینکه ورودی را تقویت کنند آنرا تضعیف خواهد نمود. برای اینکه خروجی، ورودی را یاری دهد، لازم است که آنچه از خروجی تقویت کننده حاصل میشود معکوس گردد و بعد به ورودی اعمال گردد.

یک روش برای معکوس کردن سیگنال بکاربردن عنصری است بنام ترانسفورمر یا ترانسفورماتور. اصول کار ترانسفورمرها در قسمت‌های هشت و نه توضیح داده شده است. هرگاه سیم پیچ A بجای اینکه با باتری (ولتاژ ثابت) تحریک گردد با ولتاژ متناوب تحریک شود. میدان حاصل از آن نیز متغیر خواهد بود. این میدان متغیر در سیم پیچ B القاء شده و ولتاژ متغیری در آن ایجاد خواهد نمود.

سیم پیچ B ایزوله بوده و میتوان هر کدام از سرهای آنرا به زمین وصل نمود. اگر یک سر آنرا به زمین وصل کنیم ولتاژی که در سردیگرش وجود دارد میتواند هم فاز با ولتاژ در سیم پیچ A و یا در فاز مخالف آن باشد. بدین ترتیب از این مدار میتوان بعنوان یک معکوس کننده فاز استفاده کرد.

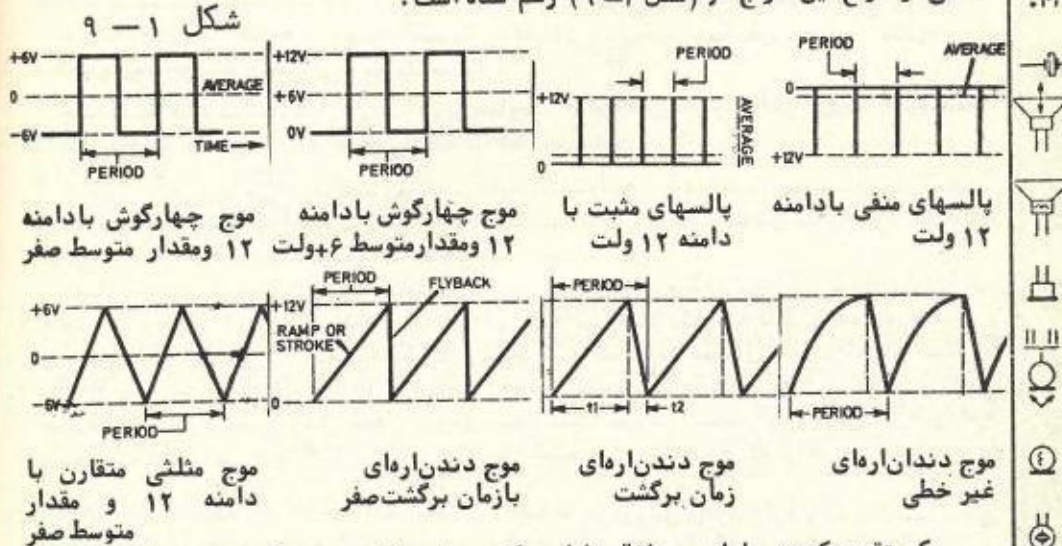


شکل ۴-۸

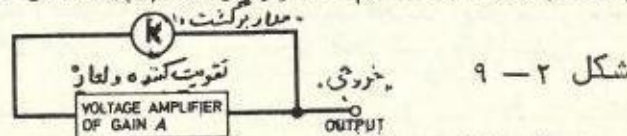


درس نهم: نوسان سازها

نوسان سازها مداراتی هستند که سیگنالهای متناوب سینوسی و یا غیر سینوسی نظیر موج مربعی - دندانه‌ای - مثلثی - پالس - چهارگوش و غیره تولید میکنند بعضی از انواع این امواج در (شکل ۹-۱) رسم شده است.



یک تقویت کننده ولتاژ معمولاً دارای یک ورودی خارجی و یک خروجی است ولی نوسان سازها بدون سیگنال ورودی ولتاژ دائم را به ولتاژ متناوب تبدیل می کنند، درحقیقت قسمتی از خروجی را بعنوان ورودی مصرف می کنند و بعبارت دیگر ورودی داخلی دارند. در (شکل ۹-۲) ساختمان عمومی نوسان سازها نشان داده شده است. مدار برگشت (فیدبک) میتواند یک تقسیم کننده و ولتاژ یا یک پیچیده شامل خازن و سلف و ... باشد.



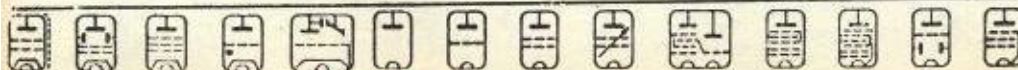
در حال تعادل و برقرار بودن نوسان میبایست سیگنال برگشت با سیگنال ورودی برابر باشد. این نوع تغذیه برگشت را تغذیه برگشت مثبت (فیدبک مثبت) گویند. میتوان یک نوسان ساز را تقویت کننده‌ای دانست که دارای خروجی ناپایدار است. رابطه‌ای که در مدارهای تغذیه برگشت برقرار است چنین میباشد:

$$A' = \frac{A}{1 - KA}$$

که A بهره تقویت کننده در حالت بدون فیدبک و K کسری از خروجی است که به تقویت کننده اعمال میگردد. بهره تقویت کننده در حالت با فیدبک میباشد. در نوسان سازها برای اینکه نوسان تولید شود بایستی مخرج فوق صفر گردد یعنی بهره مدار بینهایت شود زیرا تقویت کننده‌ای که دارای بهره بینهایت است دیگر احتیاج به ورودی ندارد. اگر مخرج کسر فوق صفر گردد خواهیم داشت:

$$K = \frac{1}{A}$$

و این نشان میدهد که چه کسری از ولتاژ خروجی برای تولید نوسان لازم است. مثلاً اگر بهره تقویت کننده در حالت بدون فیدبک ۱۰۰ باشد مقدار K برابر یک صدم خواهد شد.



تا اینجا مطالب زیادی در باره تئوری مدارهای تنظیم شده، سیم پیچ ها و فاز یاد گرفتید و حالا وقت آنست که از تئوری به عمل پردازیم.

حال شروع به آزمایش میکنیم و به مدارهای عملی، نوسانسازها روی می آوریم. ابتدا باید یک سیم پیچ بسازیم. شرح ساختن یک سیم پیچ در شکل ۳ - ۹ آمده است. ملاحظه میکنید که یک سیم پیچ روی سیم پیچ دیگر پیچیده شده است. این فرم سیم پیچی سبب خواهد شد که میدانی که در داخل یکی متمرکز است از داخل سیم پیچ دوم نیز بگذارد. سیم پیچ ها روی هسته ای از آهن بقطر ۱۰ سانتی متر و بقطر ۹ میلی متر پیچیده میشوند. قبل از پیچیدن سیم پیچ ها، روی میله را بایک کاغذ ضخیم یا مقوای نازک بپوشانید و آنرا محکم کنید و نوار چسب بزنید. برای سیم پیچ A حدود ۴۰ دور و برای B حدود ۳۰ دور از سیم روپوشدار بپیچید. جهت پیچیدن دو سیم پیچ باید در یک جهت باشد و سرهای سیم پیچ ها را باندازه ۱۵ سانتی متر اضافه بگیرید که بتوانید به المانهای، دیگر اتصال دهید، سرهای سیم پیچ ها را طوری محکم کنید که باز نشوند. سیم پیچ A را ما بعنوان سلف مدار LC استفاده خواهیم کرد. برای خازن C میتوانید از یک خازن پلیستر (Polyester) و یا پولی استرین Polystyrene استفاده کنید و مقدار ظرفیت آنرا ۱۰ نانوفاراد اختیار کنید.

وقتی این مدار LC را بطور صحیح به ترانزیستور وصل کنید با توجه به آنچه در مورد ترانسفورمر معکوس کننده فاز گفته شده باید مدار به نوسان درآید.

سیم پیچ A در مدار کلکتور قرار میگیرد زیرا کلکتور را خروجی گرفته ایم و سیم پیچ B را به پایه ترانزیستور وصل خواهد شد.

ساده ترین فرم اتصال در شکل (۴ - ۹ الف) آمده است. این مدار به همین صورت کار نخواهد کرد زیرا هیچ چیزی برای روشن کردن ترانزیستور وجود ندارد.



شکل ۳ - ۹

سیم پیچ - مطمئن شوید که سرهای سیم ها لخت شوند.

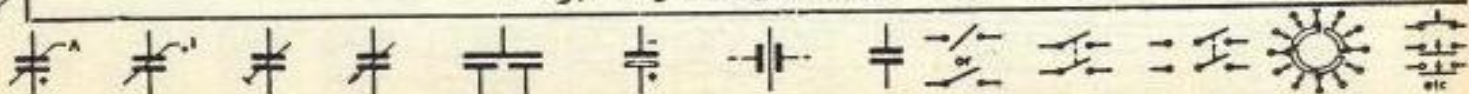
چهار روش برای اتصال سیم پیچ ها به ترانزیستور، اولی کار نخواهد کرد - دومی خیلی شدید روشن میشود - سومی قانع کننده میباشد ولی در مقابل جریان متناوب مقاومت نشان میدهد و چهارمی این عیب را هم ندارد.

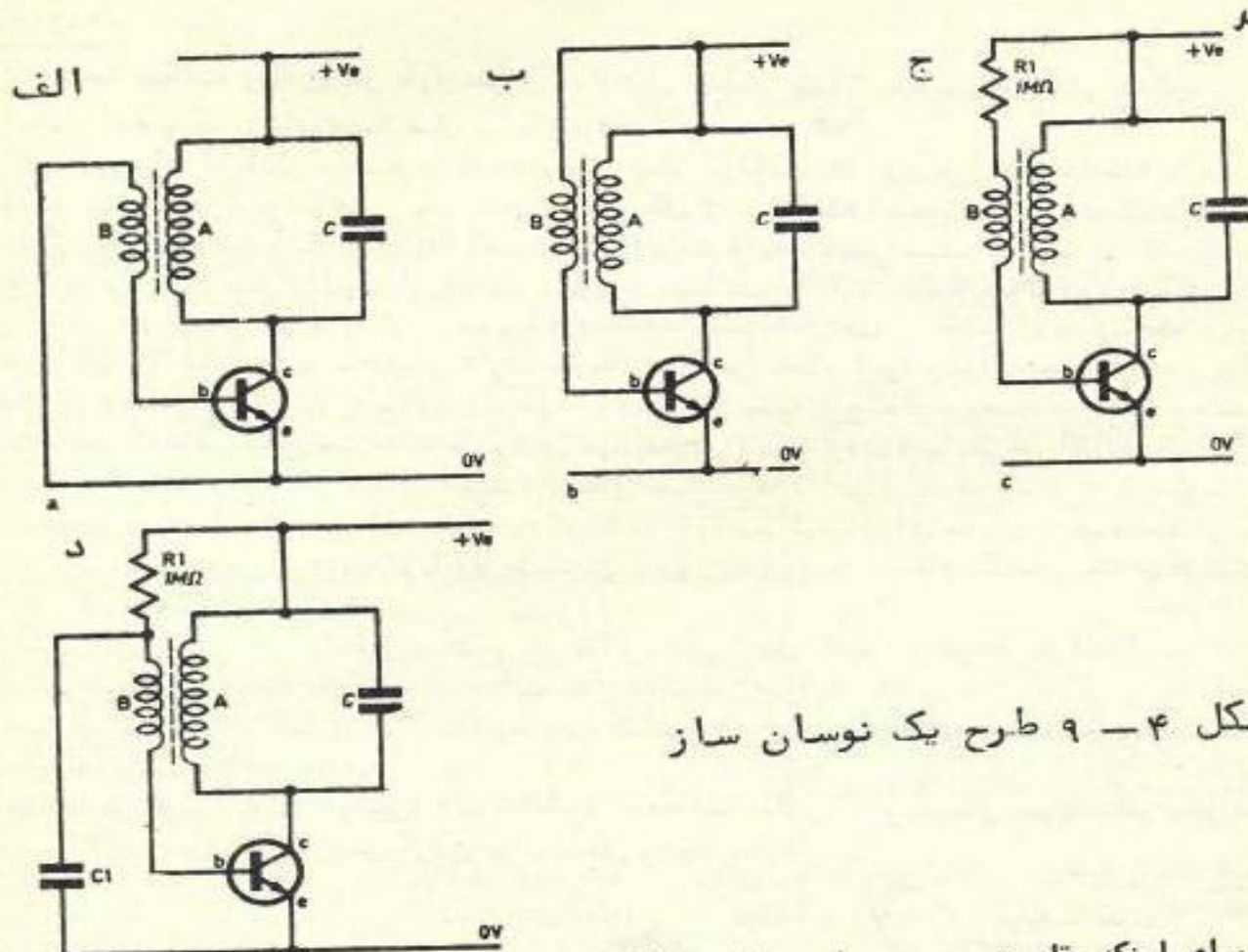
مدار ساده دیگر شکل ۴ - ۹ - ب میباشد که در آن یک سر سیم پیچ بجای اینکه به زمین وصل شود به قطب مثبت باتری وصل شده است. در این مدار ترانزیستور بشدت روشن میشود و باز این عیب مدار است.

روش معمولی برای روشن کردن ترانزیستور اینست که جریان کمی به پایه ترانزیستور اعمال شود و این همان کاری است که در تقویت جریان میکنیم.

شکل (۴ - ۹ ج) اینکار را برای شما خواهد کرد. اما هنوز قانع کننده نمی باشد زیرا مقدار مقاومت R1 زیاد بوده و باعث میشود که مقدار جریان متناوب که در اثر القاء از سیم پیچ A در B بوجود میآید بشدت کاهش یابد.

مسیر جریان متناوب از پایه از امیتر و سپس بطرف باتری و مقاومت R1 و بعد برگشت به سیم پیچ میباشد. باتری مانعی در مقابل جریان متناوب نخواهد بود.

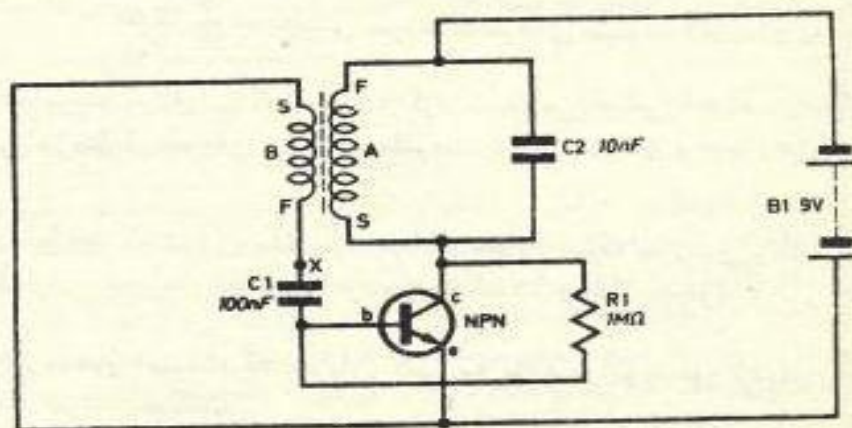




شکل ۴ - ۹ طرح یک نوسان ساز

برای اینکه مقاومت مسیر جریان متناوب را کم کنیم و سبب شویم جریان راحتتر جاری گردد خازن $C1$ را بمدار اضافه میکنیم (۴ - ۹ - ۵). هرچه مقدار خازن $C1$ بیشتر باشد در مقابل جریان متناوب مقاومت کمتری نشان میدهد. در اینحالت مسیر جریان متناوب عبارت خواهد بود از: پایه - امیتر و برگشت به سیم پیچ B از طریق خازن $C1$ بدون اینکه از مقاومت $R1$ بگذرد.

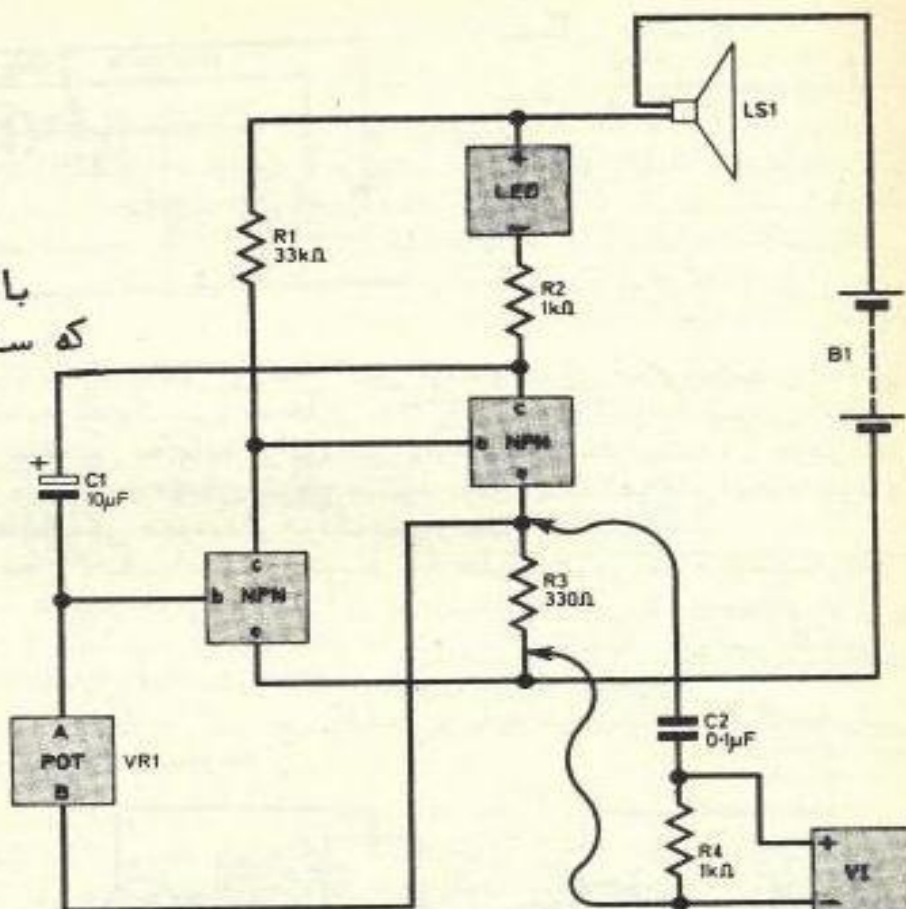
شکل ۵ - ۹ مدارهای یک نوسان ساز



آزمایش ۲

مدار شکل ۱۰ - ۱۹ را ببندید در این مدار ترانزیستورها مثل کلید عمل می کنند، بطوریکه زمان بسته و باز شدن آنها با زمان شارژ و خالی شدن خازن $C1$ تعیین میشود و متناوباً "LED (اندازه گیر ولتاژ) روشن و خاموش میشود و صدای "کلیک" از بلندگو شنیده میشود.

شکل ۶-۹
با استفاده از مدول‌هایی
که ساخته‌اید یک نوسان ساز
مونتاز کنید



تغییر مقدار $C1$ مشاهده خواهید کرد که هرچه مقدار $C1$ بیشتر شود شدت صدا کردن بلندگو آهسته‌تر خواهد شد (پریود زیاد میشود) وقتی پریود زیاد باشد شما میتوانید روشن و خاموش شدن LED را ببینید و در پریودهای کم بلندگو مثل بار رفتار خواهد کرد و سوت می‌کشد.

با پریودهای خیلی کم (فرکانس زیاد) دیگر شما چیزی از بلندگو نخواهید شنید زیرا فرکانس صدای تولید شده قابل شنیدن نمی‌باشد و بآن مافوق صوت (اولتراسونیک) گویند. در این حالت‌ها گویند مدار در حال نوسان است و با نزدیک کردن یک رادیو ترانزیستوری به مدار خواهید دید صدای سوت از رادیو شنیده میشود وقتی کلید مدار نوسان ساز را باز کنید دیگر صدایی از رادیو شنیده نخواهد شد، این موضوع نشان میدهد که صدا (نویز) از نوسان ساز شما نتیجه شده است و بدینترتیب شما از رادیو خود بعنوان یک مبدل فرکانس اولتراسونیک به فرکانس قابل شنیدن استفاده کرده‌اید.

نوسانسازهای سینوسی

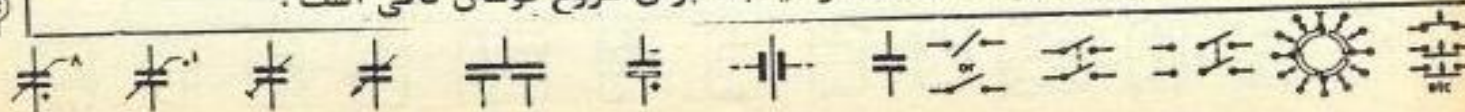
باید دانست که تولید موج کاملاً "سینوسی غیرممکن است زیرا ترانزیستورها وسایل کاملی نیستند. ولی سعی میشود که تا سرحد امکان خروجی به موج سینوسی نزدیک باشد. مدار فیدبک راطوری طرح می‌کنند که مقدار K فقط در یک فرکانس معین صحیح باشد و این فرکانس نوسان میباشد.

مدار تشدید LC که قبلاً توضیح داده شده میتواند یک چنین فرکانسی را تولید کند. مدار شکل (۷-۹) نوسانسازی است که میتواند موج سینوسی تولید کند.

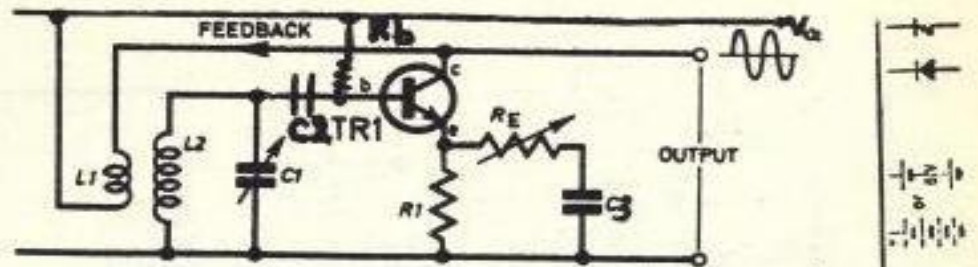
خازن متغیر $C1$ و سیم پیچ $L2$ مدار رزونانس را تشکیل میدهند، فرکانس از رابطه:

$$f = 1 / \sqrt{2\pi LC1}$$

بدست می‌آید تقویت‌کننده از نوع امیتر مشترک بوده و بهره آن با RE کنترل و گرایش آن با Rb و $R1$ تأمین میگردد. فیدبک توسط القابین $L1$ و $L2$ ایجاد میشود و فرض ما براینستکه مقدار فیدبک برای شروع نوسان کافی است.

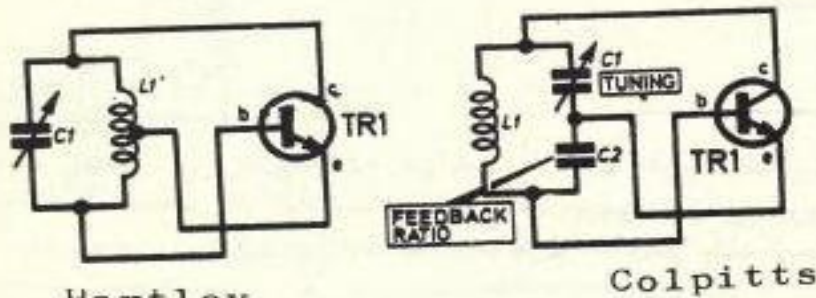


شکل ۷ - ۹ نوسان ساز سینوسی



چطور نوسان شروع میشود؟

درابتداء که کلید وصل میشود یک پالس از $L1$ عبور کرده و نیروی الکتروموتوری ضعیفی در $L2$ القا مینماید که یک نیرو به خازن $C1$ رانده شده و موج سینوسی کوچکی تولید میگردد. چون این موج سینوسی به پایه ترانزیستور وارد میشود تقویت شده و دوباره به $L1$ میرسد و سیکل بالا تکرار میگردد و نوسان شروع میشود برای اینکه اعوجاج ایجاد شود و فرم موج از سینوسی خارج نگردد بایستی بهره مدار در یک مقدار معین تنظیم گردد. خازن $C2$ از اتصال کوتاه شدن پایه ترانزیستور توسط $L2$ جلوگیری می کند. نوسانسازهای سینوسی انواع گوناگون دارند. دونهوع خیلی معمول آن نوسانساز هارتلی (Hartley) و دیگری کولپیتس (Colpitts) میباشد. در نوسانساز هارتلی مدار تشدید LC بین کلکتور و پایه قرار گرفته و تغذیه برگشت باتقسیم القاء مدار تشدید موازی صورت میگیرد. در نوسانساز کولپیتس نیز مدار تشدید LC بین کلکتور و پایه ترانزیستور قرار گرفته ولی فیدبک باتقسیم خازن مدار تشدید انجام میشود.



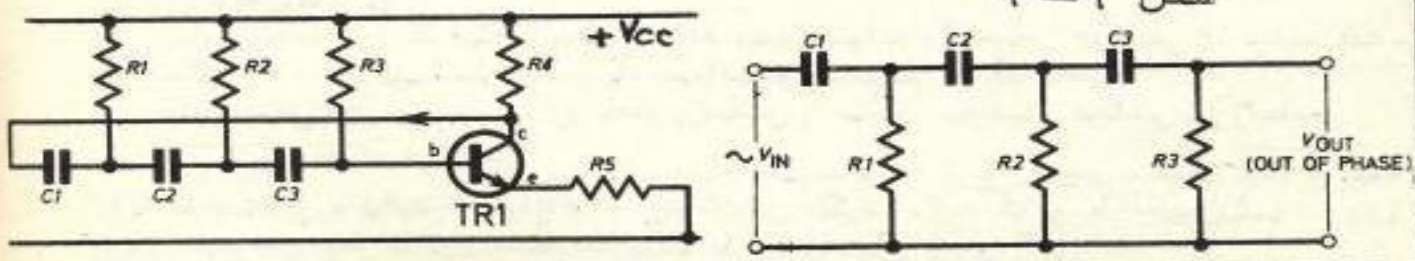
شکل ۸ - ۹ نوسان سازهای کولپیتس و هارتلی

نوسانسازهای سینوسی

همانطوریکه میدانید یک مدار RC تنها میتواند تغییر فازی کمتر از ۹۰ درجه تولید کند اگر سیکنالی از دو طبقه بگذرد کمی کمتر از ۱۸۰ درجه تغییر فاز مییابد و سه طبقه RC تغییر فازی کمتر از ۲۷۰ درجه ایجاد مینماید. در شکل (۹-۹) اگر همه مقاومتها برابر و خازنها نیز مساوی همدیگر باشند درفرکانس $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}}$ تغییر فاز درست برابر ۱۸۰ خواهد بود و خروجی $\frac{1}{29}$ ورودی خواهد بود.

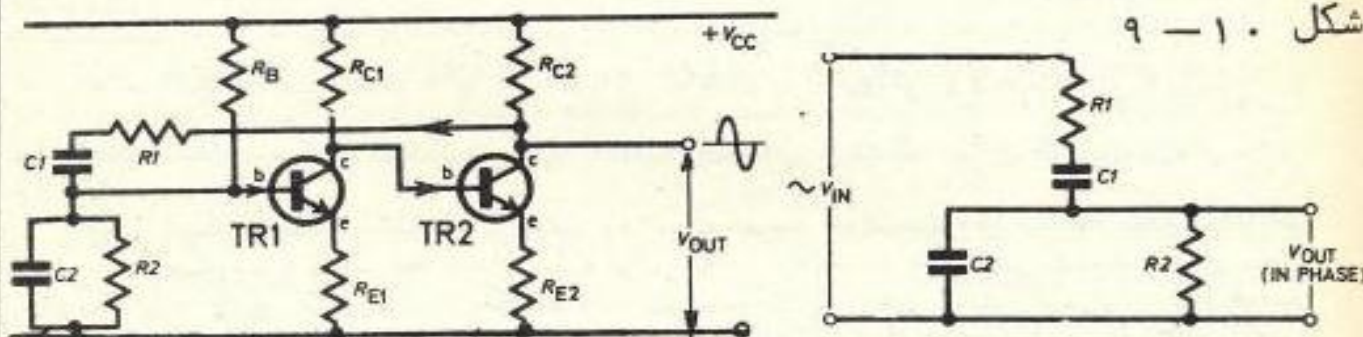
برای تبدیل این مدار به نوسانساز کافی است که خروجی آن به ورودی یک تقویت کننده ۱۸۰ درجه تغییر فاز ایجاد می کند که در نتیجه کلا ۳۶۰ درجه تغییر فاز خواهد بود و تغذیه برگشت مثبت میباشد و چون $KA=1$ است نوسان ایجاد میگردد.

شکل ۹ - ۹



مدار شکل (۹-۱۰) مدار پل وین می باشد. این مدار در فرکانس $f = \frac{1}{2\pi RC}$ دارای خروجی کاملاً همفاز با ورودی و از لحاظ مقدار یک سوم آن می باشد. این مدار نیز چنانچه در شکل (۹-۱۰) نشان داده شده برای نوسان سازی بکار برده شده است. تقویت کننده اصلی از دو طبقه تشکیل شده و دارای ضریب بهره ۳ و صفر درجه اختلاف فاز بین ورودی و خروجی می باشد (دو طبقه آمیتر مشترک) که در نتیجه فیدبک مثبت بوده و شرط نوسان سازی نیز برقرار است.

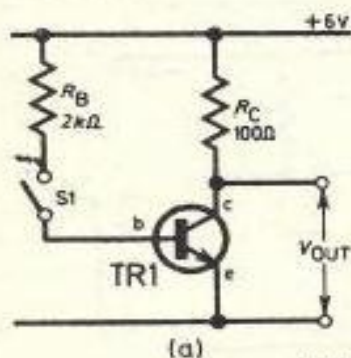
شکل ۹-۱۰



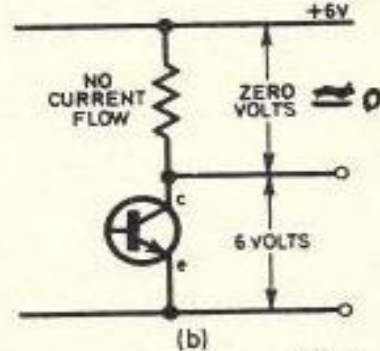
مدارات تولید پالس

تولید موجهایی نظیر آنچه که در شکل (۹-۱) دیده شد محتاج اینست که ترانزیستورها در شرایط خاصی کار کنند یعنی گرایش پایه آنها باید طوری باشد که آنها را یا در هدایت کامل و یا در خاموشی کامل نگهداشت بعبارت دیگر ترانزیستور مانند یک کلید کار کند. در اینحال ورودی ترانزیستور یک سیگنال دائمی نیست بلکه یک محرک (تریگر) می باشد که ترانزیستور را مجبور می سازد از حالت خاموشی به هدایت و یا برعکس تغییر حالت دهد. در (۹-۱۱ الف) یک ترانزیستور بایک کلید در پایه اش نشان داده شده و در شکلهای (۹-۱۱ ب) خروجی ترانزیستور را در دو حالت باز و بسته بودن کلید نشان میدهد. سئوالی که پیش می آید اینست که چرا خود کلید را برای اینکار بکار نمی برند و عمل ترانزیستور در اینجا چیست؟

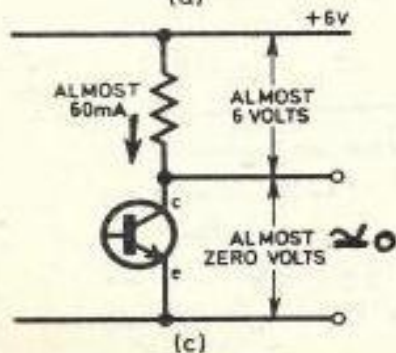
شکل ۹-۱۱ الف مدار مولد پالس



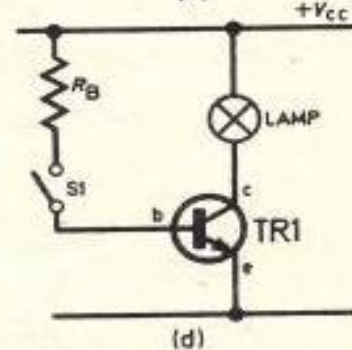
(a)



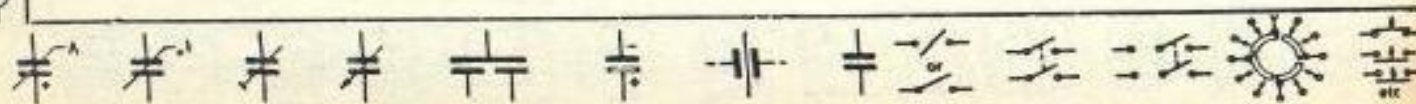
(b)



(c)



(d)



بایک نگاه به مدار میتوان دریافت که با یک جریان کم در پایه ترانزیستور (کلید) میتوان جریان خیلی بیشتری را در خروجی مدار ایجاد کرد. درثانی هیچ کلید مکانیکی نمیتواند سرعت ترانزیستور باز و بسته شود. اینگونه مدارها را طوری طرح میکنند که وقتی ترانزیستور روشن است درحالت اشباع (Saturation) باشد. دراینحال تقریباً "تمامی ولتاژ در مقاومت R_O افت میکند و ولتاژ بین کلکتور و امیتر نیز تقریباً "صفر خواهد بود". درحالت اشباع اگر چه جریان زیادی از ترانزیستور می‌گذرد ولی بواسطه اینکه ولتاژ دوسر آن کم است ترانزیستور گرم نمیشود.

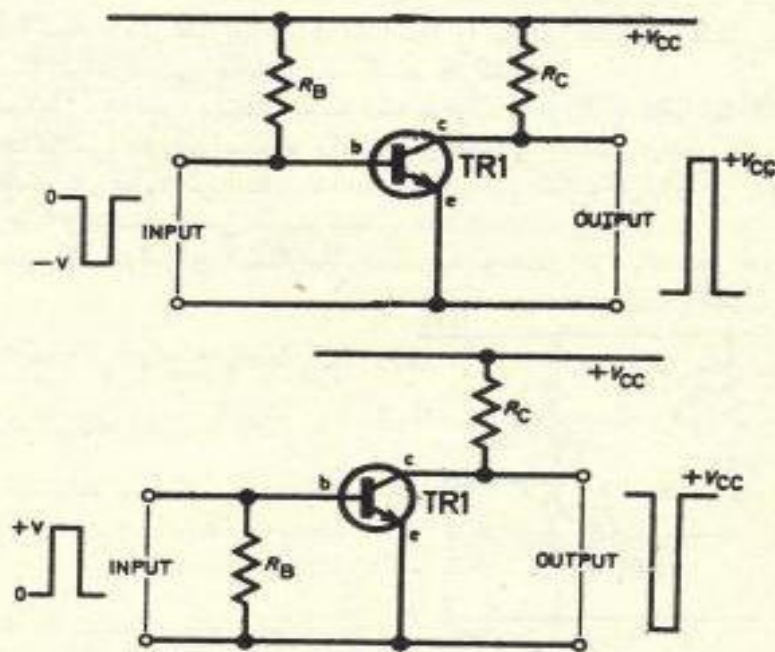
طرح مدار

برای طرح چنین مداری شکل (۹-۱۱) باتری را بشرولتی و لامپ را نیز ۶ ولت و ۶۰ میلی آمپر انتخاب میکنیم. ترانزیستور را BC107 انتخاب کرده گه دارای ضریب بهره‌ای برابر ۲۰۰ باشد.

برای اینکه مطمئن باشیم ترانزیستور به اشباع میرسد ضریب بهره را یکدهم مقدار واقعی‌اش یعنی ۲۰ میگیریم و درنتیجه جریان پایه برابر $3 = 20 \div 60$ میلی آمپر میشود و چون دوسر مقاومت پایه $5/4 = 6/0.6$ ولت میباشد پس مقاومت پایه طبق قانون اهم برابر ۲ کیلو اهم میشود درعمل در پایه ترانزیستور کلید بکار نمیرود بلکه ترانزیستور را توسط پالسی که به پایماش وارد میشود روشن و خاموش می‌کنند.

در شکل (۹-۱۲) دونمونه مدار عملی تولید پالس آمده است

شکل ۹-۱۲
دو مدار عملی تولید پالس



پاسخ سوالات درس هفتم

- ۱- یک میلی آمپر برولت (الف)
- ۲- ۵ ولت (الف)
- ۳- ۹ میلی آمپر (ج)
- ۴- ۱۰۰۰ ثانیه (ج)
- ۵- ۱۷ میلی ثانیه (الف)

درس دهم: دیود و ترانزیستور، قسمت اول - نیمه هادیها

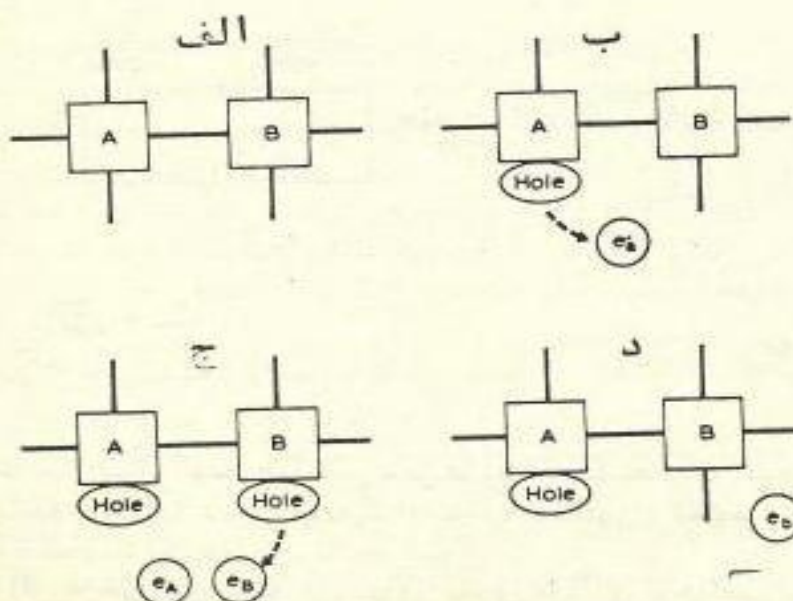
قبل از اینکه به بحث درباره دیودها وارد شویم باید دید که نیمه هادیها چه هستند و چگونه عمل میکنند.

هدایت عبارتست از حرکت الکترونها در یک جهت کلی در یک ماده، مادهای که اجازه میدهد الکترونها در درونش حرکت آزادانه داشته باشند بنام هادی (Conductor) نامیده میشود. آن موادی که اجازه حرکت به الکترونها در دورنشان نمیدهند بنام عایقها (Insulators) موسومند. پس میتوان گفت الکترونها درجه هدایت یک جسم را تعیین میکنند. آن الکترونهايي مسئول هدایت جریان هستند که از هسته اتم فاصله بیشتری دارند و در پوسته خارجی اتم در حرکت اند. این الکترونها بنام الکترونهاي ظرفیت یا والانس نامیده میشوند که به انگلیسی به آنها Valence یا Bonding میگویند. تعداد این الکترونها در هر اتم دو یا سه می باشد. توجه داشته باشید که معنی هدایت این نیست که الکترونها را از یک طرف یک جسم حرکت کنند و به انتهای دیگر هادی بروند اگر چه این حالتی است برای یک هادی خوب.

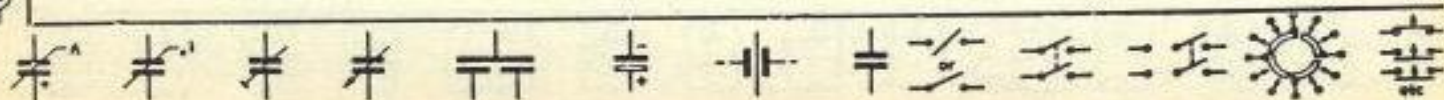
ممکن است یک الکترون از یک اتم جدا شود و جای آن در اتم خالی بماند که در اینحالت گویند یک حفره (Hole) در اتم بوجود آمده است. همچنین ممکن است اتمهای مجاور باهم الکترونهايي از دست بدهند. همچنین امکان دارد که یک الکترون از یک اتم جدا شود و در آن حفره ای بوجود آورد و همین الکترون جای یک حفره در اتم مجاورش را پر کند یعنی الکترون بدین صورت حرکت کرده است و الکترونی که از اتم اخیر جدا شده به حرکت خود ادامه دهد.

این موضوع در شکل ۱ نشان داده شده است. مثلاً در شکل (۱-ج) هر دو اتم A و B یک الکترون از دست داده اند و در هر کدام یک حفره ایجاد شده است. در شکل (۱-د) الکترون جدا شده از اتم A جای حفره موجود در اتم B را پر کرده و الکترون جدا شده از اتم B به حرکت خود ادامه میدهد. این یک بیان کلی برای هدایت می باشد، چنانکه ملاحظه شد ممکن است یک الکترون در مسیر حرکت خود در حفره های دیگری جای دیگر و الکترون دیگری به حرکت ادامه دهد (شبه مسابقه دوی امداد). البته در یک هادی خوب تمام الکترونهاي ظرفیت کاملاً از کشش هسته اتم آزاد هستند و میتوانند حرکت کنند.

نکته ای که لازم به توجه است این است که الکترونها دارای بار الکتریکی منفی هستند که



شکل ۱-۱۰

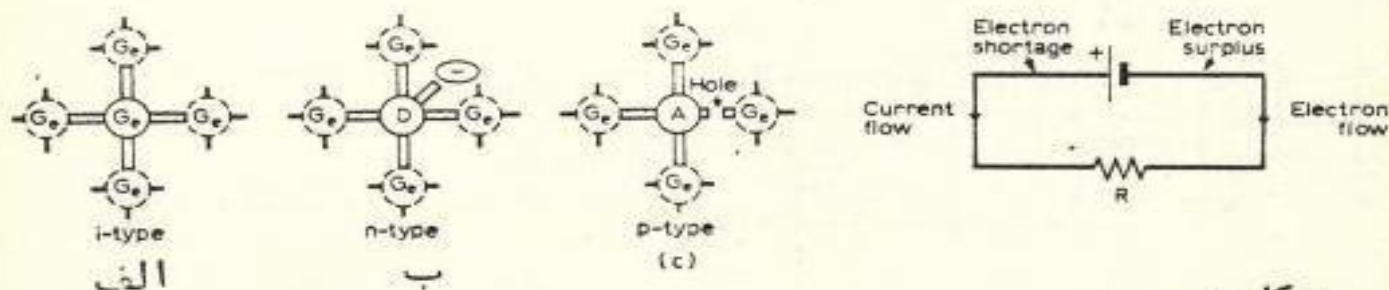


مقدار این بار را برابر یک الکترون ولت (ev) می نامند و حرکت یک تعداد الکترون در یک جهت معادل است با جهت بارهای مثبت در جهت مخالف آن حرکت. این حقیقت در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل یک باتری و یک مقاومت یک مدار الکتریکی ساده تشکیل داده است. در قطب منفی باتری تعداد قابل ملاحظه‌ای الکترون وجود دارد که از مقاومت گذشته و بطرف قطب مثبت باتری میروند. قطب مثبت را میتوان انباره الکترونها بحساب آورد. در واقع باتری فقط سبب پمپ کردن الکترونها از قطب مثبت به قطب منفی می باشد. یعنی الکترونها که از قطب منفی بطرف قطب مثبت آمده‌اند توسط باتری از قطب مثبت به قطب منفی باز گردانده میشود و این عمل باز گرداندن از مدار داخلی باتری صورت میگیرد. جریان الکتریکی از قطب مثبت باتری شروع شده از مقاومت گذشته و بطرف قطب منفی باتری میرود یعنی جهت جریان الکتریکی خلاف جهت حرکت الکترونهاست.

بطور خلاصه:
الکترونهای ظرفیت در هادیها (و هادیهای با کمی مقاومت) از اتم جدا میشوند در حالی که در عایقها این الکترونها شدیداً به اتمها وابسته‌اند.
یک موضوع مهم دیگر که لازم بود در اینجا گفته شود این است که ببنیم اثر حرارت در اجسام چیست و در هدایت هادیها چه اثر دارد و بر عایقها چه تاثیر می‌گذارد. افزایش حرارت در یک هادی سبب کاهش مقدار هدایت آن میشود. دلیل این خیلی ساده است. وقتی حرارت یک جسم بالا میرود الکترونهای انرژی پیدا می‌کنند و به جنب و جوش (ارتعاش) می‌آیند و این ارتعاشات از حرکت الکترونهای آزاد جلوگیری میکنند.
وقتی یک عایق را حرارت دهید بدون تغییر باقی میماند تا جائیکه به درجه حرارتی برسد که بشکند (Break dawn) و به هادی تبدیل شود زیرا در این درجه حرارت معین الکترونها از اتمها جدا میشوند.

نیمه هادیها

نیمه هادیها ماده‌ای است که از نظر دسته بندی بین هادیها (رساناها) و عایقها (نارساناها) قرار دارد. عبارت دیگر، نیمه هادی یک هادی با مقاومت زیاد است (در درجه حرارت اطاق) بعنوان مثال، مقاومت مخصوص نقره (هادی خوب) حدود یک میلیون اهم برسانتیمتر مکعب می‌باشد در صورتیکه مقاومت مخصوص ژرمانیوم خالص (نیمه هادی) حدود ۶۰ اهم برسانتیمتر مکعب است و از آن شیشه (عایق) ۱۰ میلیون اهم برسانتیمتر مکعب می‌باشد.
نیمه هادیها در حقیقت عایقهایی هستند که درجه حرارت شکست آنها پائین است و در



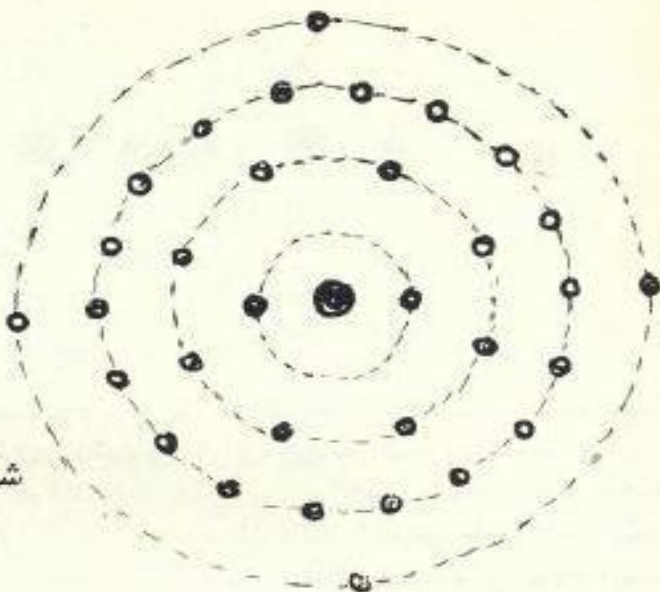
شکل ۲ - ۱۰

شکل ۳ - ۱۰

هنگامیکه سرد شوند همانند عایقها رفتار میکنند و در درجه حرارت حدود ۷۵ درجه سانتیگراد ژرمانیوم (۱۵۰ درجه سانتیگراد برای سیلیکون) مقاومت مخصوص ایندو آنقدر پائین می‌آید که ماده همانند یک هادی عمل می‌کند.
اگر داخل این نیمه هادیهای خالص مقداری ناخالصی تزریق کنیم خواص آنها بطور عجیبی

شکل ۵ اتم ژرمانیوم ساده شده

شکل ۴ - ساختمان اتم ژرمانیوم



تغییر خواهد کرد مثلاً "مقاومت مخصوص آنها و تغییر در برابر درجه حرارت آنها تغییر خواهد نمود. برای اینکه ببینیم چرا این چنین میشود لازم است کمی دقیقتر در ساختمان نیمه هادیها مطالعه کنیم.

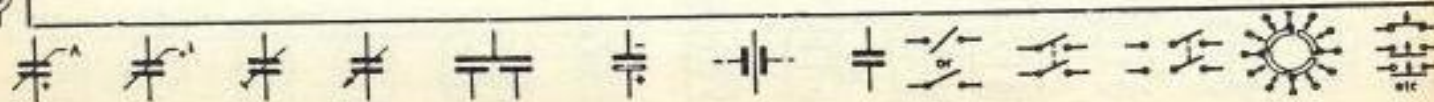
ژرمانیوم که یک نیمه هادی است چهار الکترون ظرفیت و ساختمان کریستالی دارد که هر الکترون آن با اتم مجاورش به اشتراک گذاشته شده است. زوج الکترونیهای ظرفیت در طول سه بعد بطور متقارن مرتب قرار گرفته اند. شکل ۳ کریستال ژرمانیوم (برای سادگی را در دو بعد نشان میدهد.

فرض کنید یک ناخالصی در ساختمان کریستالی ژرمانیوم وارد میشود. اگر این ناخالصی آرسینک یا فسفر که در مدار آخرشان دارای ۵ الکترون هستند باشند وقتی که این اتم جای یکی از اتم های ژرمانیوم را در ساختمان کریستالی بگیرد، الکترون آزاد در ساختمان حاصل میشود. برای فهم بهتر ابتدا ساختمان اتم ژرمانیوم را توجه کنید (شکل ۴ - ۵) - نمایش ساده شده اتم ژرمانیوم شکل ۶ - طرز تشکیل یک بند (اتصال دو الکترون) در دو اتم ژرمانیوم و شکل ۷ - ساختمان کریستالی ژرمانیوم بطور سه بعدی و شکل ۸ - ساختمان کریستال ژرمانیوم در دو بعد نمایش داده شده است.

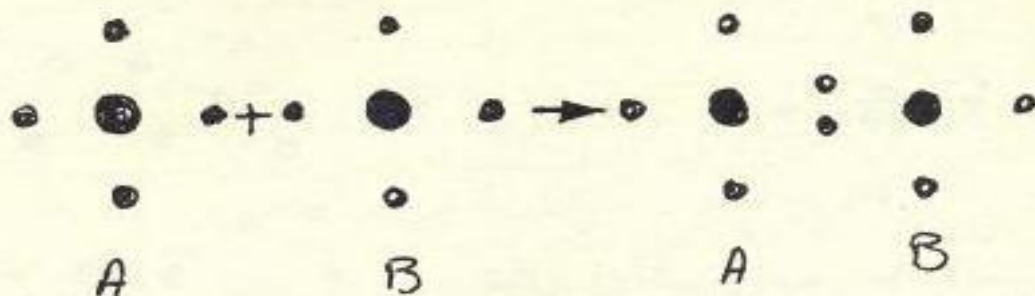
برگردیم به مطلب اصلی: گفتیم اگر یک اتم ناخالصی مثل آرسینک وارد ساختمان کریستالی ژرمانیوم کنیم چون یک الکترون آزاد در ساختمان بازای ورودی هر اتم آرسینک حاصل میشود پس رسانندگی (مقدار هدایت) کریستال تغییر می کند زیرا چنانچه میدانید رسانندگی یک کریستال ژرمانیوم به تعداد الکترونیهای آزاد و حفره های آن دارد. شکل (۳ ب) نشان میدهد که چطور یک اتم آرسینک جای یک اتم ژرمانیوم را گرفته و الکترون آزاد آن نیز نشان داده شده است. چون در ساختمان کریستال ژرمانیوم الکترون آزاد پیدا شده همیشه آماده است این الکترون آزاد خود را از دست بدهد به همین علت به آن دهنده، الکترون یا دثور (*donor*) گویند.

بعبارت صحیح تر ناخالصی هایی مثل آرسینک و فسفر را که در مدار آخرشان ۵ الکترون دارند بنام ناخالصی های دهنده (*donor Impurities*) نامند. این الکترون آزاد که در ساختمان کریستالی ژرمانیوم وجود دارد نسبت به هسته کشش کمی دارد و ارتباط آنها خیلی ضعیف است.

ژرمانیومی که بدین صورت ناخالص شده و بار منفی پیدا کرده بنام ژرمانیوم نوع N شناخته میشود ژرمانیوم نوع N دارای تعداد زیادی الکترونیهای آزاد است.



شکل ۶



ژرمانیوم نوع

حال اگر بجای آرسینک یا فسفر یک اتم ایندیوم ، بر یا آلومینیوم در ساختمان کریستالی ژرمانیوم وارد کنیم چه میشود؟ ایندیوم مانند ژرمانیوم دارای ۴ لایه الکترونی است منتها در مدار آخرش سه الکترون دارد (الکترونهاى ظرفیت) . بنابراین براحتی میتوان در ساختمان کریستالی ژرمانیوم آنرا جای داد . بالطبع چون اتم ایندیوم در لایه آخرش دارای سه الکترون است فقط میتواند سه بند (ارتباط الکترونی) با اتمهای ژرمانیوم تشکیل دهد و در نتیجه یک ساختمان ناکامل حاصل میشود که دارای یک حفره (Hole) می باشد یعنی تمایل دارد یک الکترون بگیرد تا کامل شود .

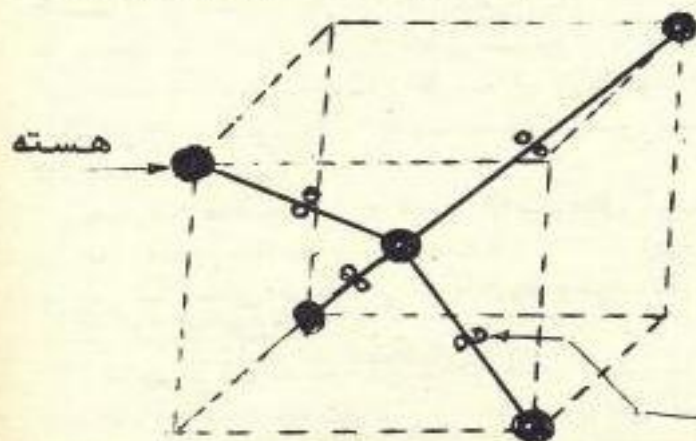
اتمهایی نظر ایندیوم ، بر و آلومینیوم را وقتی در ساختمان کریستال ژرمانیوم وارد میشوند بوجود می آورند را ناخالصیهای گیرنده یا پذیرنده (Acceptor = اکسپتور) گویند . در اثر حرارت الکترونها جای حفرهها را می گیرند و محل حفرهها دائم در تغییر است و مانند این است که حفرهها حرکت میکنند .

ژرمانیومی که بدینصورت ناخالص گردیده و بار مثبت پیدا کرده ژرمانیوم نوع P گویند . (ژرمانیوم نوع P دارای تعداد زیاد حفره (کمبود الکترون) آزاد است .) مقدار هدایت (رسانندگی) ژرمانیوم نوع P بستگی به چگالی حفرهها (مقدار حفرهها در واحد جسم) دارد ، که بدو صورت زیر در ساختمان کریستالی آن پدید می آیند .
الف) : یا وارد کردن اتمهای ناخالصی در درون کریستال ژرمانیوم که بازای هر اتم ناخالصی یک حفره بوجود می آید .

ب) : در اثر شکسته شدن بندهای بین اتمهای ژرمانیوم .

شکل (۳ - ج) نمایش یک ژرمانیوم نوع P می باشد . در اینجا یک الکترون مورد نیاز است تا ساختمان کریستال کامل شود .

بنابراین دو نوع مهم از ژرمانیوم ناخالص شده وجود دارد یکی نوع N که توسط اعمال ناخالصی پذیرنده حاصل شده و دیگری نوع P که با اعمال ناخالصی گیرنده تشکیل شده است . الکترونها براحتی میتوانند در نوع P و N حرکت کنند بطوریکه در دسته هادیها قرار میگیرند .



شکل ۷

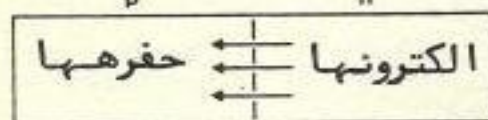
(بند) الکترونهاى ظرفیت

شکل ۸

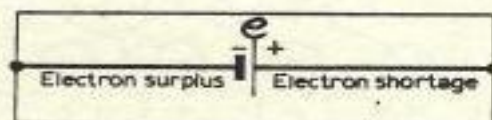
بنابراین با اعمال ناخالصی هر اتم خالص ژرمانیوم، ژرمانیوم که یک نیمه هادی می باشد تبدیل به یک ماده هادی می گردد.

پیوند (اتصال) $P-N$

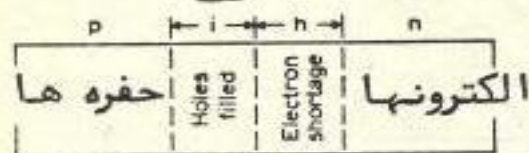
هرگاه یک تکه ژرمانیوم خالص (نیمه هادی) را با تزریق ناخالصی های پذیرنده و دهنده کاری



الف



ج



ب

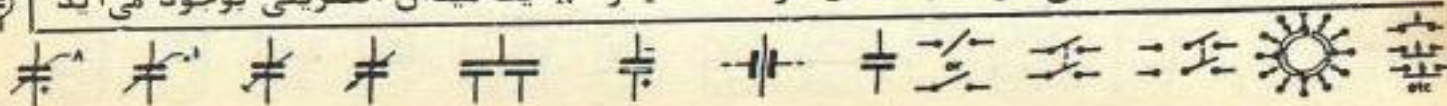
شکل ۹ نمایش جاری شدن
جریان در یک پیوند $P-N$

کنیم که نیمی از آن به نوع P و نیمی دیگر به نوع N تبدیل گردد گویند پیوند $P-N$ تشکیل شده است ($P-N$ Junction) البته میتوان اینکار را با آلیاژ کردن عناصر نوع P و N نیز انجام داد.

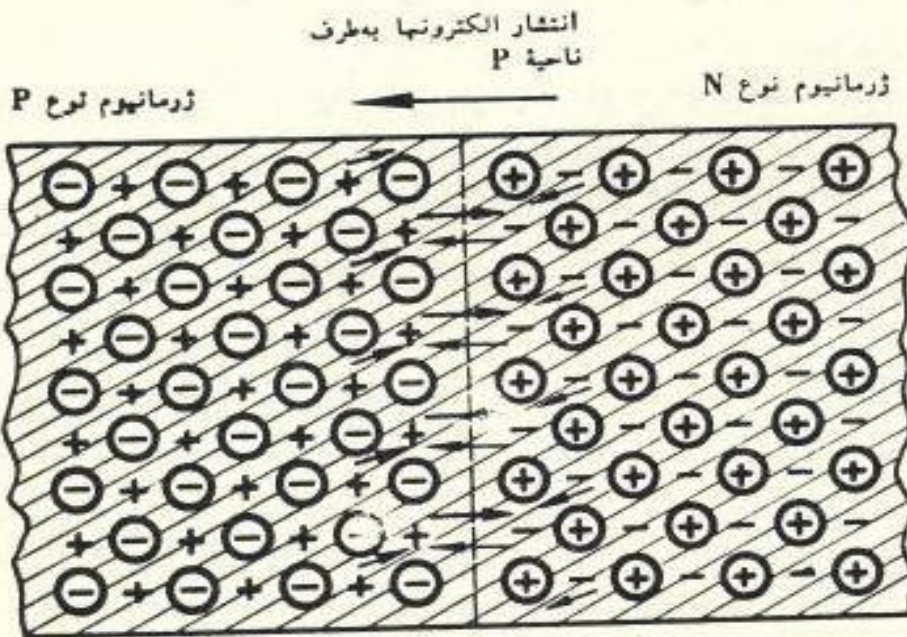
تقریباً "بمحض اینکه این پیوند تشکیل گردد بعضی از الکترونها از لایه N عبور کرده و به لایه P نفوذ می کنند بطوریکه تعدادی از حفرهای لایه P توسط الکترونها لایه N پر می شود. البته این حفرها نزدیکترین حفرها به محل پیوند می باشند زیرا الکترونها مسیر زیادی را در حالت عادی نمیتوانند طی کنند. بدین ترتیب با این نقل و انتقالات در یک ناحیه ژرمانیوم خالص در قطعه نوع P بوجود می آید که در شکل ۹ با حرف (i) نشان داده شده است که این ناحیه مقاومت قابل ملاحظه ای دارد. چون الکترونها سرعت و فولتاژ (بمحض تشکیل پیوند) از لایه N به لایه P میروند یک تعادل (در یک درجه حرارت معین) بوجود می آید. به شکل ۹ توجه کنید تا این موضوع را بهتر درک کنید.

چون الکترونها از لایه N به لایه P تغییر مکان داده اند در ناحیه N کمبود الکترون و در ناحیه P ازدیاد الکترون حاصل میشود. بعبارت دیگر نیمه N پیوند $P-N$ نسبت به نیمه P بار مثبت پیدا میکند. (به شکل ۹ و ۱۰ و ۱۱ توجه کنید). چنانکه مشاهده می کنید در شکل (۹-ج) این مثبت و منفی شدن پیوند که توسط یک باتری نشان داده شده است. مقدار ولتاژ این باتری در حدود نیم ولت است و به پتانسیل اتصال ($Contact Potential$) موسوم است (این مقدار را بخاطر داشته باشید). خلاصه میکنیم:

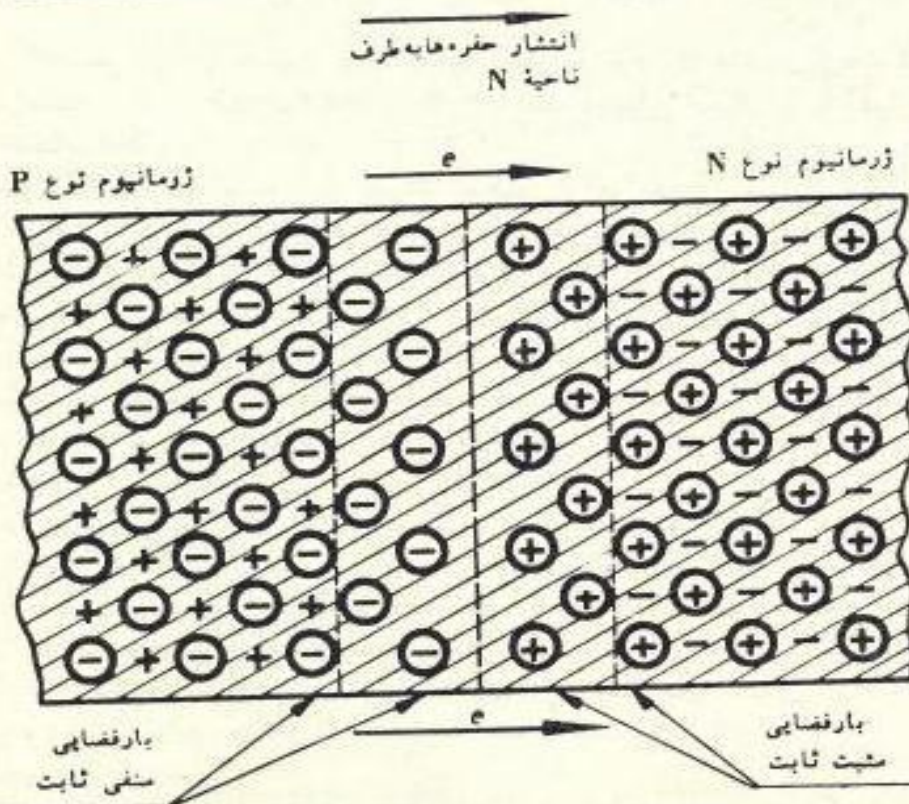
در غیاب ولتاژ خارجی در محل اتصال دو قطعه P و N یک میدان الکتریکی بوجود می آید



که این میدان چون سدی از انتشار الکترونها از ناحیه N به ناحیه P جلوگیری میکند به این سد در اصطلاح (سد پتانسیل) گویند. این ناحیه باریک در محل اتصال دو قطعه در حدود یک میکرون پهنا دارد و میتوان این ناحیه را بصورت عایق کامل در نظر گرفت. زیرا در این ناحیه هیچ حامل بار متحرک یافت نمیشود. در اینجا لازم به خاطر نشان کردن یک موضوع مهم است که بعداً از آن استفاده خواهیم کرد و آن این است که چون این ناحیه باریک شبیه عایق کامل است میتوان یک ظرفیت به آن نسبت داد که ضخامت عایق خازن بستگی به پهنای پیوند دارد. حال اثر اعمال یک پتانسیل (میدان) خارجی را بر پیوند مطالعه کنیم:



شکل ۱۰



اثر ولتاژ خارجی روی پیوند

فرض کنید جهت اعمال ولتاژ خارجی شبیه شکل ۱۲ باشد یعنی قطب مثبت باتری به قطعه N اتصال داشته باشد. این فرم اتصال ولتاژ خارجی به پیوند را گرایش معکوس یا $(Reverse\ bias)$ گویند. در اینجا پتانسیل (میدان) خارجی E هم جهت با میدان داخلی e است و بنابراین اثر آنرا تقویت میکند. در این شرایط جریان کمی جاری می گردد زیرا سد پتانسیلی پیوند از انتشار جریان جلوگیری میکند و الکترونهای آزاد قادر به انتشار از طرف N به طرف P نخواهند بود یعنی در این حالت پیوند هدایت کمی دارد و رساننده نیست.

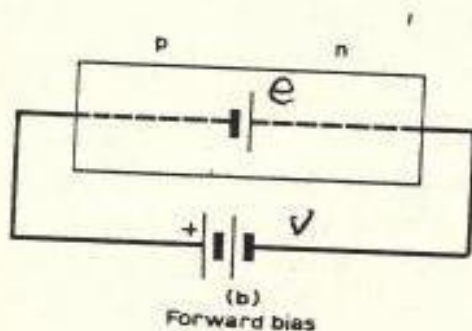
ممکن است به نظر برسد که در این حالت هیچ جریانی نباید از مدار بگذرد ولی همچنانکه ذکر گردید جریان ضعیفی از مدار عبور می کند. وجود این جریان در مدار باعث عبور تعداد معدودی الکترون آزاد که در اثر شکسته شدن بندهای میان اتمها بوجود آمده اند از قطعه P به قطعه N و تعداد معدودی حفره از قطعه N به قطعه P می باشد. تعداد الکترونهای آزاد در قطعه P و حفره های متحرک در قطعه N با افزایش درجه حرارت زیاد می گردد، از اینرو جریان فوق با ازدیاد درجه حرارت بالا خواهد رفت.

حال اگر جهت ولتاژ خارجی را معکوس کنیم بطوریکه قطب مثبت باتری به قطعه P و قطب منفی آن به قطعه N اتصال داشته باشد. (شکل ۱۳) سد پتانسیل (ناحیه تخلیه) شکسته میشود و الکترونهای آزادانه از قطعه N به قطعه P می روند. این نوع اتصال ولتاژ خارجی را به پیوند $P-N$ گرایش مستقیم یا $(Forward\ bias)$ گویند. عبارت دیگر میدان E با میدان داخلی e پیوند مخالفت میکند و بدین ترتیب جریانی در مدار برقرار میشود که نشان میدهد پیوند در این شرایط هدایت کننده (رساننده) است. (میدان E در اثر پتانسیل خارجی پدید می آید).

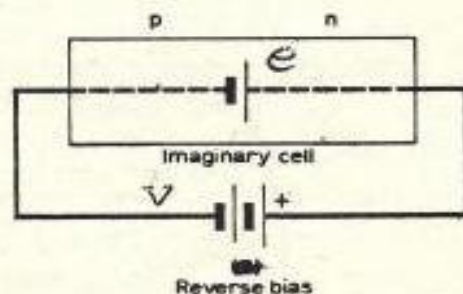
بنابراین میتوان گفت پیوند $P-N$ مانند یک یکسو کننده $(Rectifier)$ رفتار میکند. این پیوند ساده $P-N$ در صنعت کاربردهایی فراوانی پیدا نموده است و در انواع مختلف نیز تهیه می گردد از نوع ساده ای بنام سبیل گربه ای گرفته تا نوع قدرت آن که میتواند صدها آمپر جریان را تحمل کند.

دیود سبیل گربه ای یا $(Cat's\ whisker)$ که بنام دیود میکسری یا دیود اتصال نقطه ای $(Point\ Contact)$ معروف است دیودی است برای آشکارسازی.

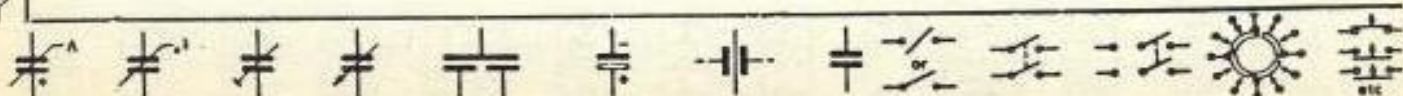
غیر از ژرمانیوم نیمه هادی دیگری که معروف است و از آن نیز در ساختن نیمه هادیها استفاده میشود سیلیکون است این نیمه هادی نیز دارای چهار الکترون ظرفیت در لایه آخرش میباشد.



شکل ۱۳ - گرایش مستقیم



شکل ۱۲ - گرایش معکوس



درس یازدهم: دیود و تریستور قسمت دوم - دیودها

در اینجا مختصری درباره دیود و انواع آن توضیح می‌دهیم:

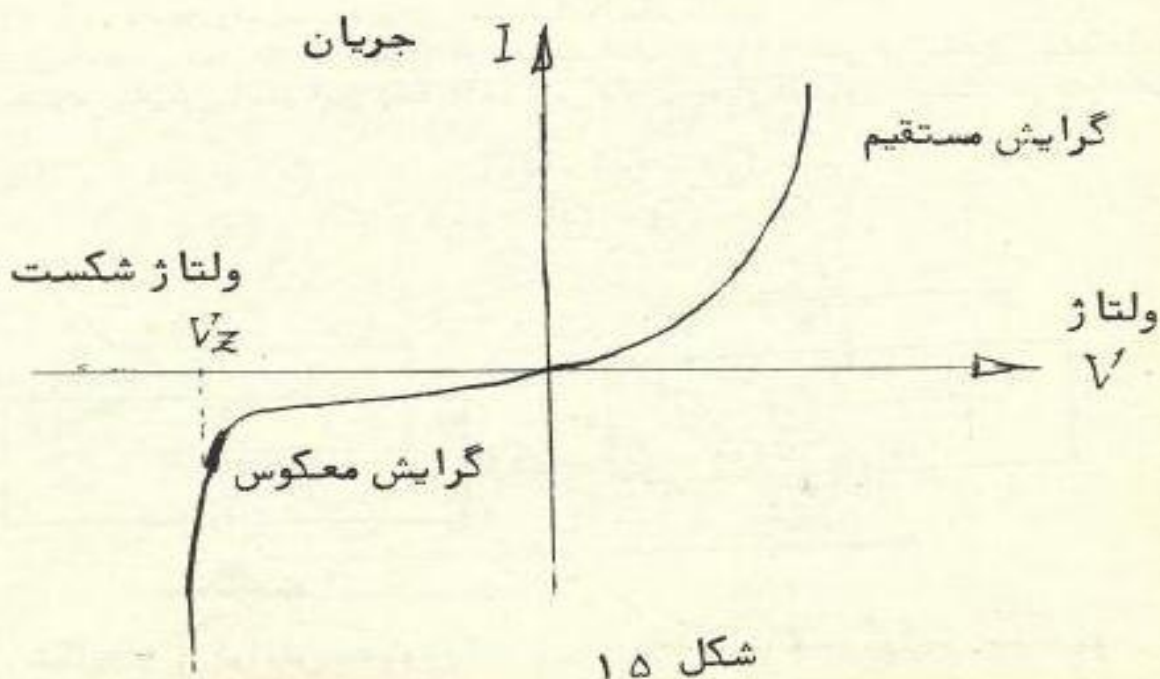
دیود المانی است دارای مشخصه‌ای که از لحاظ الکتریکی نامتقارن است (بشکل ۱۵ توجه کنید) این مشخصه برای اولین بار در سال ۱۸۷۱ توسط براون کشف شد و پدیده‌ای است نسبتاً قدیمی. همانطور که از این مشخصه پیداست دیود برحسب پلاریته ولتاژی (جهت قطب‌های ولتاژ) که بآن اعمال میشود دارای دو گرایش مستقیم و معکوس می‌باشد. دیود در گرایش مستقیم جریان برق را براحتی از خود عبور میدهد در حالیکه در گرایش معکوس مقابل جریان برق مقاومت زیادی از خود نشان میدهد. دیود وظیفه آشکارسازی دیود ترموایونیک را انجام دهد. دیود دارای مصارف زیادی در صنعت الکترونیک میباشد که یکسوزی و آشکارسازی و عمل کلید زنی (سوئیچینگ) چند نمونه از آنهاست.

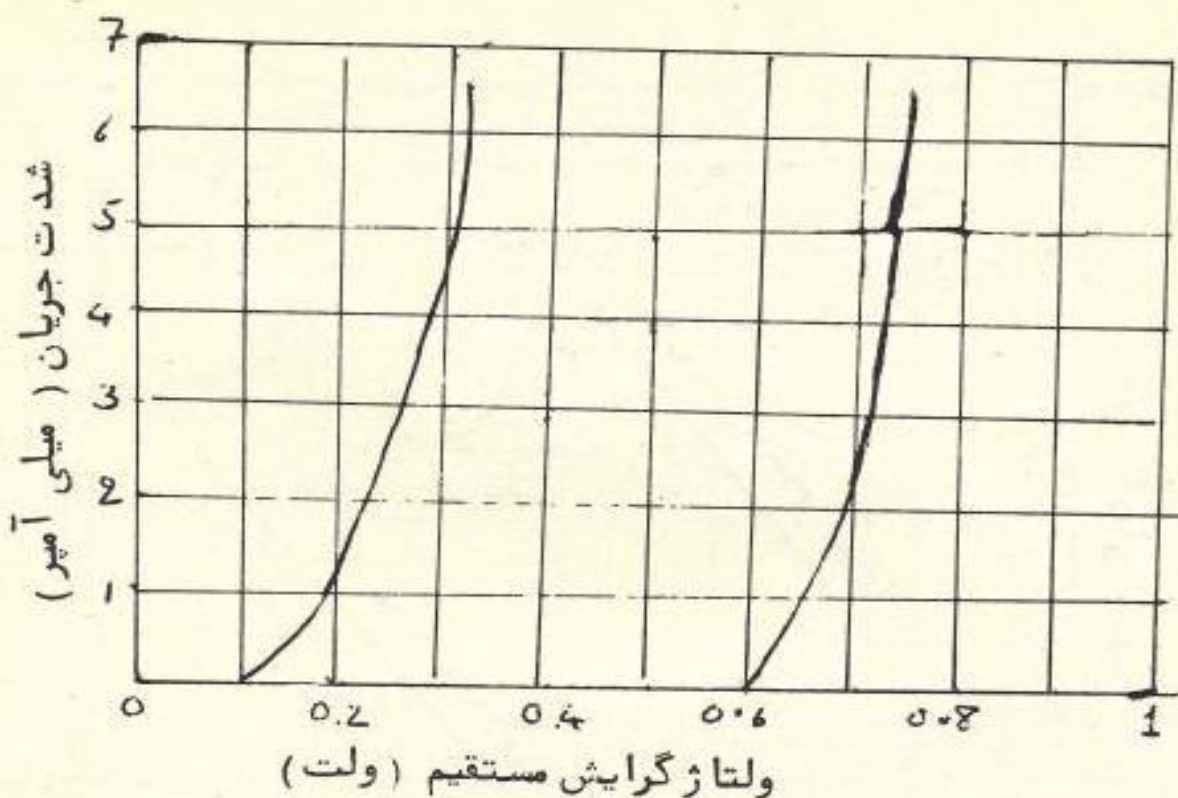
باین جهت دیودها برحسب احتیاج و مورد استعمال آن دارای ساختمان و مشخصات مختلفی می‌باشد.

دیودهای نیمه هادی از جنس سیلیکون و ژرمانیوم میباشد. مشخصه ولت آمپر حرارتی این دو نوع دیود بعلت ساختمان کریستالی آنها متفاوت است.

لازم به توضیح است که نام دیود از این جا ناشی میشود: که وقتی لامپهای الکترونی ساخته میشوند برای نامگذاری آنها از تعداد الکترودهایشان استفاده کردند بدینصورت که ابتدا عددی که نشاندهنده تعداد الکترودهای (قطبها) آن می‌باشد به یونانی و سپس پسوند آد به آن اضافه میشود مثل تریود (Triode) یعنی سه قطبی یا پنتود (Pentode) یعنی پنج قطبی. دیود (Diode) نیز بمهنی لامپی است که دو قطب دارد. شکل ۱۶ مشخصه ولت آمپر دیود سیلیکونی و ژرمانیومی را در گرایش مستقیم مقایسه کرده و نشان میدهد.

همانطور که از شکل ۱۶ میتوان تشخیص داد یک دیود ژرمانیوم تقریباً از یکدهم تا ۰/۲ ولت شروع به هدایت میکند در صورتیکه دیود سیلیکونی از حدود ۰/۶ تا ۰/۷ ولت شروع به هدایت جریان می‌نماید. از این خاصیت برای تشخیص جنس دیود بوسیله آزمایش استفاده می‌شود.





یک دیود ایده‌آل در گرانش معکوس بایستی مقاومت بینهایت را نشان دهد و جریان از آن رد نشود ولی همچنانکه قبلاً دیدید بعلت ایجاد ناقل‌های اقلیت بر اثر حرارت محیط یک دیود در گرانش معکوس هم جریان از خود عبور میدهد که در مقابل درجه حرارت بسیار حساس است. جریان معکوس یک دیود ژرمانیومی در حدود چند میکرو آمپر و جریان معکوس از آن یک دیود سیلیکونی در حدود چند میلی آمپر می‌باشد.

شکل ۱۷ رابطه حرارتی جریان معکوس دیود را برای دو دیود سیلیکونی و ژرمانیومی نشان میدهد. با هر ۱۰ درجه سانتیگراد افزایش درجه حرارت محیط جریان معکوس دیود تقریباً دو برابر میشود. در گرانش معکوس اگر ولتاژ دوسر دیود را کم کم زیاد کنید در یک ولتاژ معین مقاومت دیود یکباره کاهش یافته و جریان را بشدت از خود عبور میدهد و در اصطلاح گویند که دیود می‌شکند و پس از آن ولتاژ دوسر دیود نسبتاً ثابت می‌ماند. (بشکل ۱۵ توجه کنید). این ولتاژ ثابت را ولتاژ شکست یا ولتاژ زرنر (Zener) گویند.

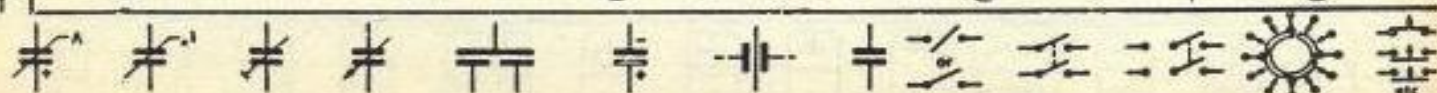
مکانیزم شکستن دیود را میتوان توسط دو پدیده شکست بمعنی (Electron Avalanche) و اثر زرنر توضیح داد. باین علت ولتاژ شکست را ولتاژ زرنر هم میگویند و دیود زرنر در این ناحیه کار می‌کند و کاربرد آن برای بدست آوردن ولتاژ ثابت است. در اینجا انواع دیودها و موارد استعمال و مختصری درباره ساختمان آنها و خلاصه‌ای از هر کدام آورده میشود.

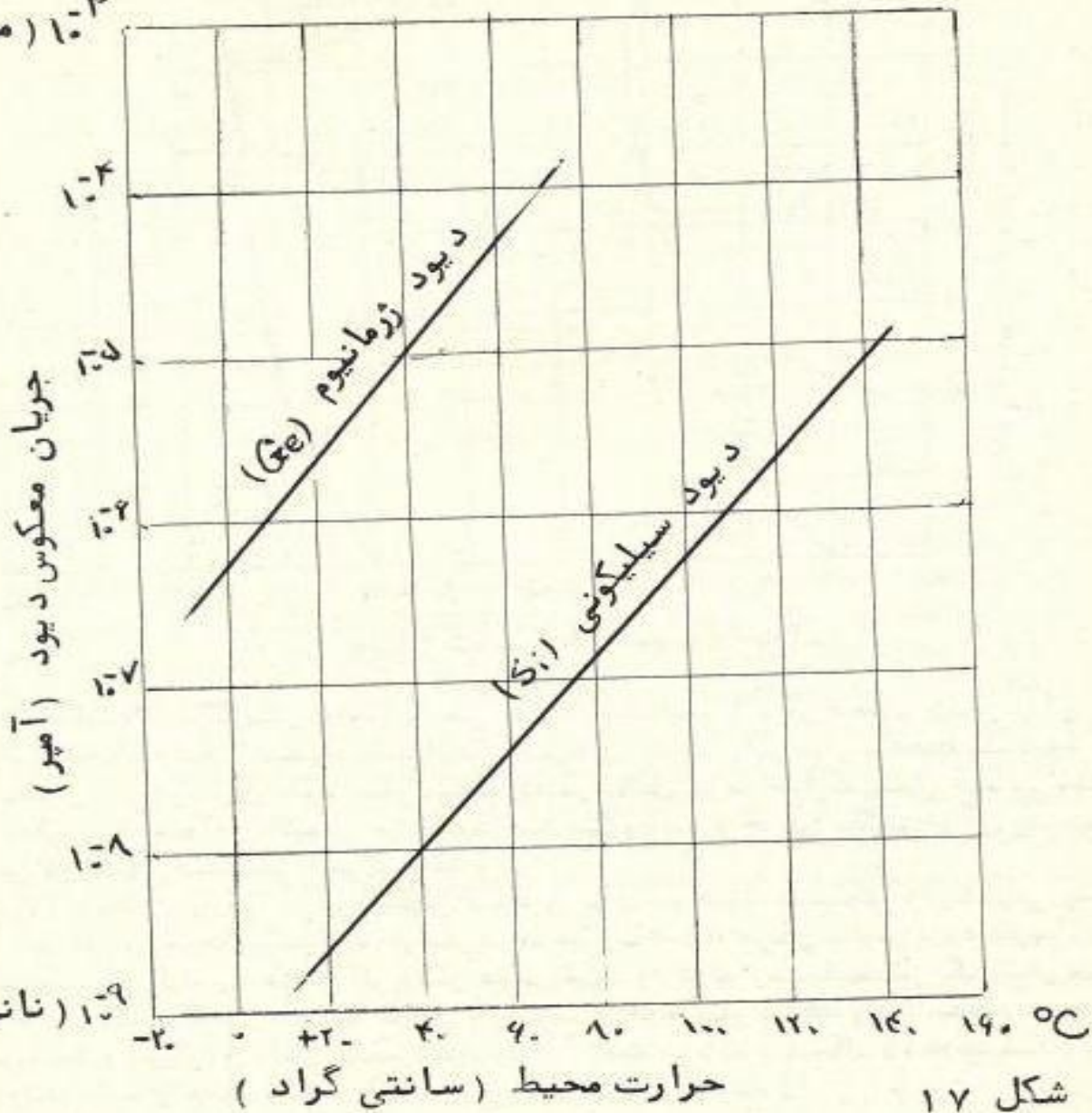
۱- دیود اتصال نقطه‌ای (Point Contact)

این دیود بنام دیود میکسر (مخلوط کننده) و همچنین بنام دیود سیل گرهای نیز معروف است دادن نام سیل گرهای به این دیود بخاطر شکل خاص ساختمان آن میباشد.

طرز ساختن این دیود بدین صورت است که یک تکه کوچک نیمه هادی نوع N را گرفته و بآن یک سیم فلزی بشکل سیل گر (سوزن) اتصال می‌دهند. (شکل ۱۸) و قبل از آنکه مورد استفاده قرار بگیرد یک جریان قوی از دیود می‌گذرانند، اثر این جریان قوی این است که تکه

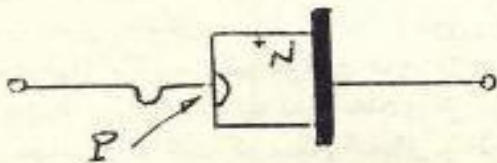
نیم هادی از نوع N را به نیمه هادی از نوع P تبدیل میکند و در این صورت یک پیوند $P-N$ واقعی خواهیم داشت که سطح اتصال و ظرفیت آن خیلی کمتر از سایر پیوندهای $P-N$ می‌باشد



۱۰^{-۳} (میلی آمپر)

و این خاصیت به این دیود امکان استفاده در فرکانسهای خیلی زیاد را میدهد. از این دیود جریان زیاد میتوان گذراند که البته در فرکانسهای خیلی زیاد کمتر لازم میشود از دیود جریان زیاد کشیده شود. این دیود قدیمترین دیود نیمه هادی است و موارد استعمال آن تبدیل فرکانس، مدولاسیون و دمدولاسیون را میتوان نام برد. این دیود هم از جنس ژرمانیوم و هم سیلیکون موجود است.

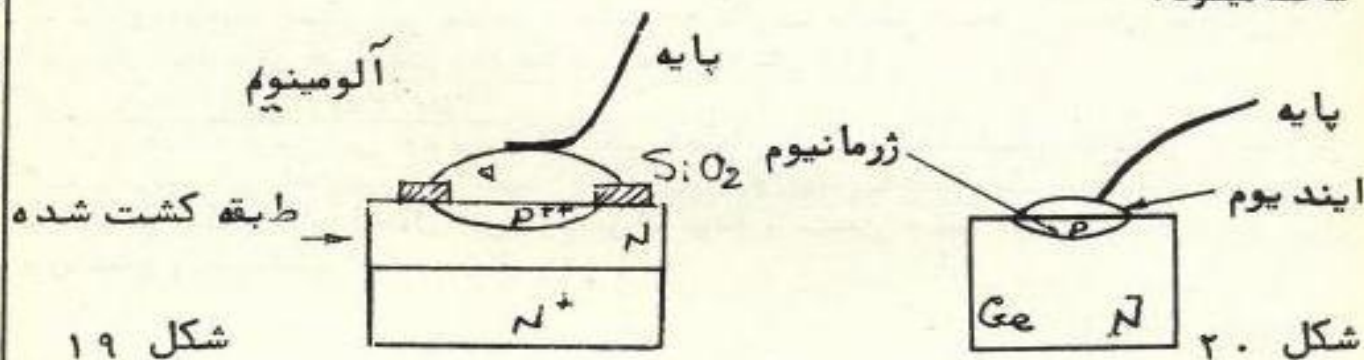
۲- دیود کلید زنی یا سوئیچینگ (Switching Diode)
این دیود از نوع اتصال صفحهای است (Planar) که این نوع اتصال را نیز در زیر توضیح میدهد:



شکل ۱۸

برروی یک قطعه سیلیکون نوع N^+ یک لایه دیگر از سیلیکون نوع P کشت می کنند. سپس توسط ماسک های مختلف و یا تکنیک های عکاسی ساختمان دیود که در شکل ۱۹ نشان داده شده بوجود می آید. تولید این دیود نسبتاً ساده بوده و چون سطح دیود توسط اکسید سیلیس SiO_2 پوشیده میشود دارای اطمینان زیادی می باشد.

دیود سوئیچینگ دارای مشخصه خوب برای کاربردهای کلیدی می باشد و از جنس سیلیکون ساخته میشود.



۳- دیود ولتاژ ثابت یا زener (Zener Diode)

این دیود نیز از نوع اتصال صفحه ای است که در بالا توضیح داده شده است و بیشتر از جنس سیلیکون است. این دیود دارای مشخصه شکست زener خوب است و از آن برای بدست آوردن ولتاژ ثابت استفاده می کنند.

۴- دیود جریان ثابت یا "CRD"

ساختمان این دیود نیز از نوع اتصال صفحه ای است و اکثراً از جنس سیلیکون می باشد. این دیود دارای مشخصه جریان ثابت $Field\ effect$ است و از آن برای بدست آوردن جریان ثابت استفاده می شود.

۵- دیود با ظرفیت متغیر

این دیود بنام واری کاپ یا وارکتور هم موسوم است که از کلمات *Variable Capacitor* استفاده شده است. این دیود برحسب ولتاژ اعمالی در دو سرش ظرفیت های مختلف دارد و مورد استعمال آن در مدولاسیون اف-ام (FM) و کنترل اتوماتیک فرکانس (AFC) و تیونرهای تمام الکترونیکی و کنترل فرکانس اسیلاتور یا ولتاژ (VCO) است آن به سه نوع تهیه میشود آلایژی (Alloy) اتصال صفحه ای و آلایژی نفوذی (*Diffusion Alloy*) نوع آلایژی معمولاً از جنس ژرمانیوم و دو نوع دیگر از جنس سیلیکون است.

۶- دیود نورانی یا منتشر کننده نور

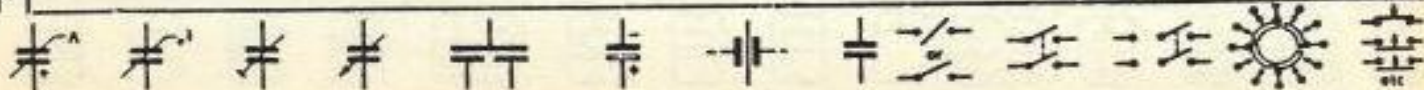
این دیود معمولاً با LED شناخته میشود که از حروف (*Light Emitting Diode*) می آید. از این دیود برای نمایش (*Display*) استفاده میشود. ساختمان آن نوع اتصال صفحه ای است.

۷- دیود نوری یا فتودیود

دیود نوری (*Photo Diode*) دارای حساسیت در مقابل نور است و در اثر مقدار نور دریافتی مقاومت آن تغییر میکند ساختمان این دیود نیز اتصال صفحه ای است که از جنس سیلیکون بوده و همچنین از نوع آلایژی نیز یافت میشود که از جنس ژرمانیوم است.

۸- دیود اساکي یا دیود تانل

دیود اساکي (نام سازنده) یا دیود تانل (*Tunnel Diode*) برای مصارف ویژه ای از جمله تقویت نوسان سازی (اسیلایسون) و سوئیچینگ است. این دیود دارای مشخصه مقاومت منفی است و بروس آلایژی (ژرمانیوم) تهیه می گردد.



۹- دیود منبع تغذیه

این دیود برای یکسو سازی در منابع تغذیه استفاده میشود و قابلیت تحمل جریان زیاد را دارد و معمولاً از جنس سیلیکون یا گت می شود.

در خاتمه لازم است درباره دیود نوع آلایژی و نوع آلایژی نفوذی توضیح مختصری داده شود

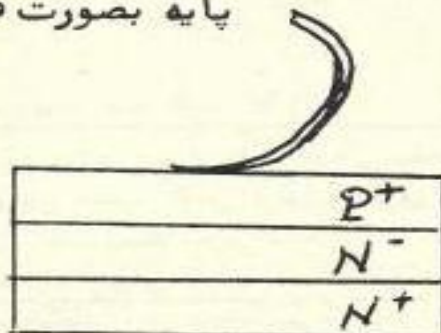
نوع "Alloy"

برای درست کردن آلایژ از فلز ایندیوم استفاده میشود. خاصیت ژرمانیوم نوع این است که دارای مقاومت بسیار کمی میباشد و بالنتیجه مقاومت داخلی دیود را میتوان کوچک نمود. این نوع دیود برای جریانهای زیاد مناسب است. (شکل ۲۰).

نوع "Diffusion Alloy"

برای درست کردن این نوع دیود (از نظر ساختمانی) یک قطعه سیلیکون نوع N اختیاری میکنند و بر روی آن ناخالصی پُر را نفوذ (Diffuse) میدهند یک طبقه یکنواخت نوع P بوجود می آید. سطح اتصال این نوع بزرگ بوده و بهمین جهت این نوع دیود نیز برای جریانهای زیاد مناسب است. (شکل ۲۱).

پایه بصورت فنر



شکل ۲۱

زمین		موج سنج (ویومتر)	
شاسی یا بدنه		گالوانومتر	
باتری		سیم پیچ یا اندوکتور	
باتریها		سیم پیچ متغیر	
میتز بطور کلی		سیم پیچ با هسته فرومغناطیس	
آمپر متر		سیم پیچ با هسته دو تکه	
ولت متر			

درس دوازدهم: دیود و ترانزیستور، قسمت سوم - ترانزیستور

قبل از وارد شدن به فرمولها بایستی دید که یک ترانزیستور چیست، ساختمان آن چگونه است و عمل تقویت را چگونه انجام میدهد.

ترانزیستور پیوندی

یک ترانزیستور پیوندی *Junction Transistor* اساساً از یک قطعه نیمه هادی ژرمانیوم یا سیلیکون که با تکنیکهایی دو طرف آنرا از نوع *N* و وسط از *P* (برای ترانزیستور *PNP*) و یا طرفین آنرا از نوع *P* و وسط آنرا از نوع *N* (برای ترانزیستور *PNP*) می سازند. بنابراین ترانزیستور از سه قطعه ژرمانیوم یا سیلیسیوم تشکیل یافته است. این سه قطعه سه الکتروود ترانزیستور را می سازند که بنامهای امیتر = پخش کننده، پایه = بیس و کلکتور = جمع کننده می باشند. (شکل ۲۲)

ترانزیستور *PNP* خیلی متداول تر است ولی کم ترانزیستور نوع *NPN* نیز متداول می گردد. ما در اینجا مطالب خود را برای ترانزیستور *PNP* بیان میداریم، و بخاطر داشته باشید تمام مطالبی که گرفته میشود برای ترانزیستورهای *NPN* نیز صحیح می باشد فقط باید جهت ولتاژها را عوض کنید و بجای حفرهها، الکترونها را در نظر بگیرید.

نماد یا سمبلی که برای ترانزیستورها در نظر گرفته میشود در شکلهای ۲۵ تا ۲۸ آمده است در شکل ۲۳ ساختمان ترانزیستور در شکل ۲۴ الکتروودهای ترانزیستور با لامپ تریود مقایسه شده در شکلهای ۲۵ و ۲۶ نماد ترانزیستور *PNP* در دو فرم مختلف که در کتابهای مختلف استفاده میشود نشان داده شده است. فرق ترانزیستورهای پیوندی *PNP* و *NPN* در شکلهای ۲۷ و ۲۸ نمایش داده شده است. ترانزیستورها معمولاً به دو روش گرایش یا بایاس (*Bias*) میشوند. عمل گرایش دادن به ترانزیستور یعنی آماده کار نمودن آن، زیرا ترانزیستورها را باید با اعمال ولتاژهای مستقیم آماده تقویت سیگنالهای متناوب (صحت، موزیک) نمود.

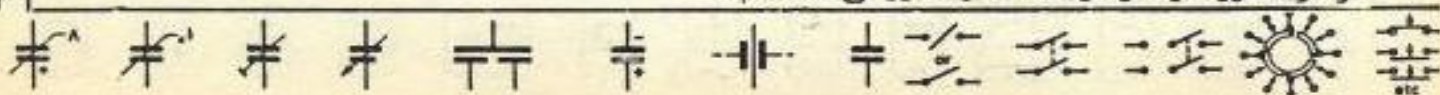
شکل ۲۸ و ۲۲ طرز اعمال ولتاژهای مستقیم را به ترانزیستور *NPN* نشان میدهد. وقتی اتصال پایه قطع گردد فقط جریان ضعیفی که همان جریان نشتی (*Leakage*) می باشد از ترانزیستور می گذرد. اگر پایه بطور مثبت تغذیه گردد (بمقدار E_B) اتصال *PN* امیتر - پایه بطور مستقیم گرایش می یابد و الکترونها از امیتر بطرف پایه نشر میشود. در اینجا ناحیه پایه خیلی باریک است، بطوریکه تعداد زیادی از الکترونها از این ناحیه (پایه) عبور کرده و به کلکتور میرسند، وجود ولتاژ کلکتور امیتر (E_C) به این امر کمک می کند و آنرا تسریع می نماید. نسبت مقدار الکترونهايي که از پایه عبور میکنند و به کلکتور میرسند نسبت به مقدار الکترونهايي که از امیتر منتشر شده و به پایه آمده است کمی از واحد کوچکتر است و با حرف آلفا (α) نشان داده میشود که مقدار معمولی آن حدود ۰/۹۸ می باشد. باقیمانده الکترونها (۰/۰۲) از اتصال پایه بیرون می رود و جذب منبع تغذیه پایه - امیتر (E_B) می گردند.

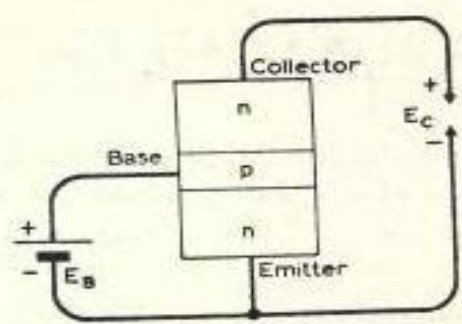
بدین ترتیب ملاحظه می کنید که یک جریان کوچک (I_B) که در پایه جریان می یابد سبب جریان خیلی بیشتر (I_C) که در کلکتور جریان می یابد و این همان چیزی است که تقویت (*Amplification*) نامیده میشود.

نسبت تغییرات کوچک در I_C به تغییرات معادلش در I_B را بهره جریان (*Current gain*) ترانزیستور در یک نقطه کار بخصوص گویند و با حرف بتا (β) نمایش داده میشود. اکثر ترانزیستورها بهره جریانی حدود ۵۰ دارند بعداً " نشان داده میشود که:

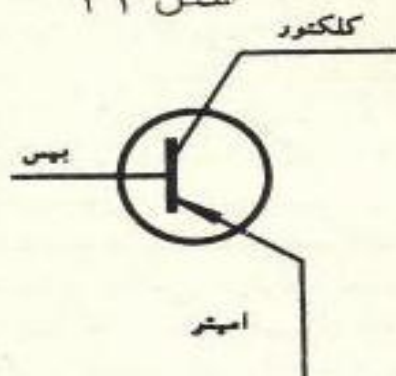
$$\beta = \alpha / (1 - \alpha)$$

طرز ساخت ترانزیستور
ترانزیستورها بروشهای مختلف ساخته میشوند و ما در اینجا اصول کلی که در ساخت ترانزیستور در نظر گرفته میشود بررسی میکنیم.

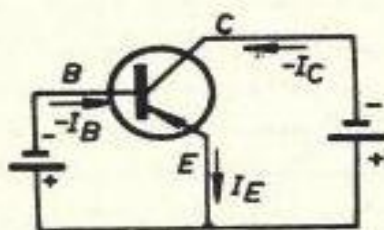




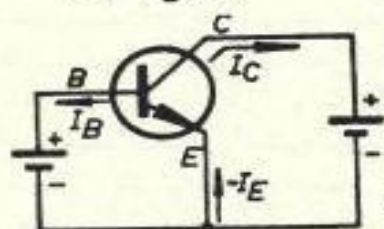
شکل ۲۲



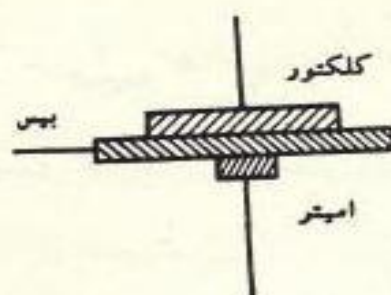
شکل ۲۵



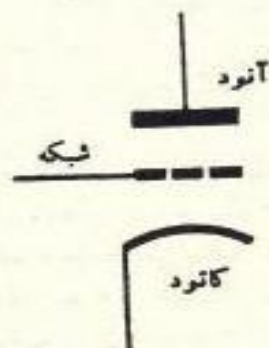
شکل ۲۷



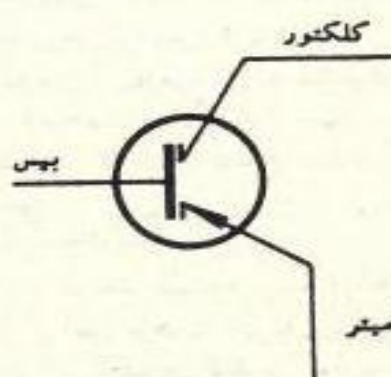
شکل ۲۸



شکل ۲۳



شکل ۲۴

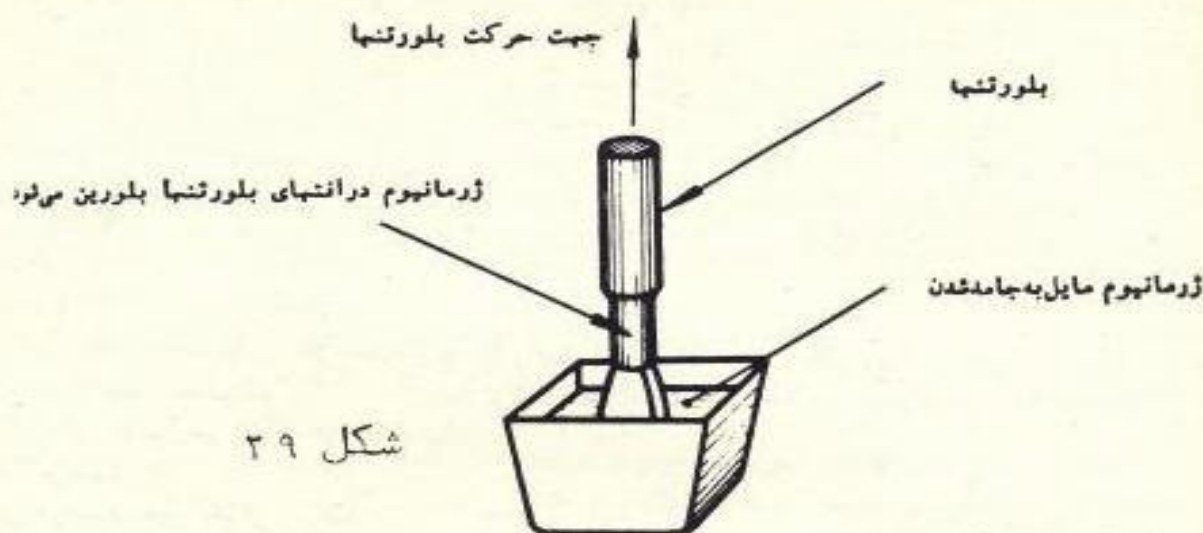


شکل ۲۶

پس از تهیه ژرمانیوم و یا سیلیسیوم خالص بایستی آنها را ذوب نمود ما در اینجا ساخت ژرمانیوم نوع N را شرح میدهیم.

پس از ذوب ژرمانیوم خالص مقداری ناخالصی به آن می افزایند و بعد دمای آنرا تا مقداری بالاتر از نقطه ذوب سرد میکنند. حال یک قطعه بلور (کریستال) ژرمانیوم خالص را در سیال فرو می برند و با هستگی آنرا بالا می کشند.

ژرمانیوم مذاب که با بلور خالص در تماس است به صورت یک بلور کریستالیزه در می آید. بدین صورت، بلور بطور پیوسته تا آنجا که ظرف خالی شود، بالا کشیده میشود (شکل ۲۹). برای ساختن ترانزیستورهای نظیر $OC41$ یک بلور خالص ژرمانیوم نوع N به ترتیب فوق تهیه میشود و سپس با اره کردن آنرا به صورت لایه هایی بنام ویفر (Wafer) در می آروند و بعداً به دو طرف این قطعه های ژرمانیوم نوع P پیوند میزنند.

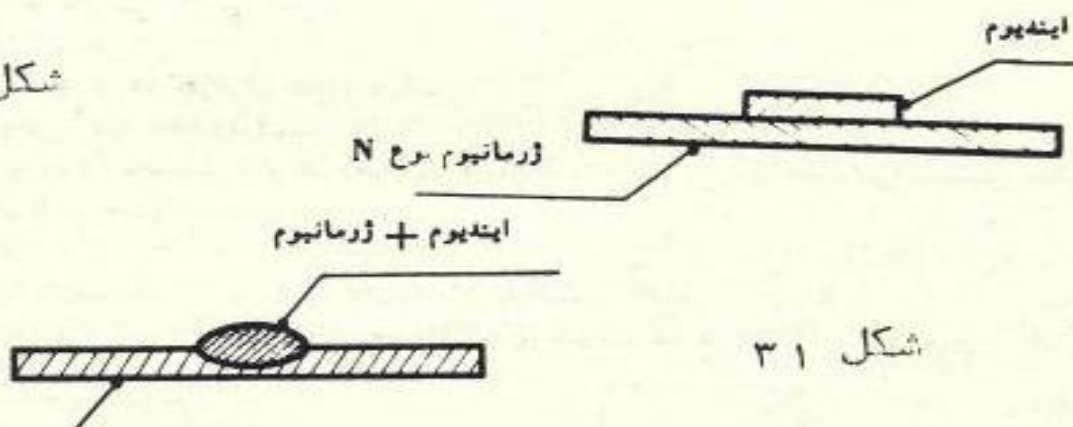


شکل ۲۹

ساخت ترانزیستورهای پیوندی

یک قطعه کوچک ایندیوم را روی ویفر (Wafer) ژرمانیوم نوع N قرار می‌دهند (شکل ۳۰) و مجموعه را در اجاقی می‌گذرند و دمای آنرا بتدریج تا حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد بالا

شکل ۳۰

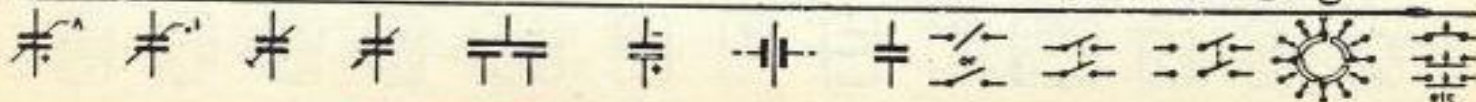
ژرمانیوم نوع N

می‌برند. ایندیوم در دمای ۱۰۰ درجه ذوب می‌گردد در نتیجه مقداری ژرمانیوم در آن ذوب می‌شود تا محلول اشباع گردد. در خلال سرد کردن، محلول اشباع شده بصورت بلور در می‌آید و ژرمانیوم نوع P بدست می‌آید (شکل ۳۱) و بدین ترتیب یک پیوند نوع $P-N$ حاصل می‌شود. در طرف دیگر ویفر نوع N نیز همین کار را تکرار می‌کنند و بدین ترتیب یک پیوند نوع $P-N$ نیز در طرف دیگر تشکیل می‌شود. در نتیجه پیوند $P-N-P$ (ترانزیستور) ساخته می‌شود. البته دو عمل فوق (پیوند ایندیوم در دو طرف ویفر) همزمان انجام می‌گیرد.

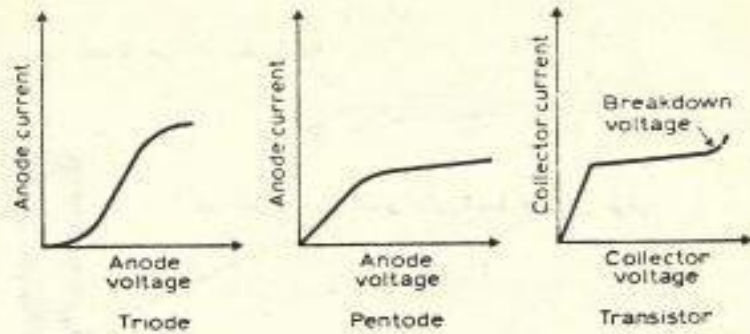
عمل تقویت

کلکتور ترانزیستور مطابق است با آنود ($Anode$) یک لامپ تریود. همچنین پایه در مقابل شبکه و امیتر در مقابل کاتد تریود می‌باشد. روش اعمال ولتاژهای گرایش به ترانزیستور نوع NPN شبیه لامپ تریود است ولی از آن ترانزیستور PNP متفاوت است. در اینجا لازمست دو تفاوت مهم بین مشخصات لامپها و ترانزیستورها را تذکر داد. الف: ترانزیستورها دارای جریان پایه محدود و بالطبع امپدانس ورودی کم هستند ولی لامپها چنین نیستند.

ب: منحنی ولتاژ جریان کلکتور یک ترانزیستور به دو ناحیه تقسیم می‌شود یکی ناحیه خطی و دیگری ناحیه ثابت. لامپها مشخصه‌ای متفاوت از این دارند. برای آگاهی بیشتر به منحنی‌های شکل ۳۲ مراجعه نمایید.



شکل ۳۲



ترانزیستورها را میتوان در سه فرم (آرایش) در مدارها بکار برد، این سه نوع آرایش عبارتست از: امیتر مشترک (Common Emitter) کلکتور مشترک و پایه مشترک. این مدارها را بطور مفصلتر شرح خواهیم داد. مزایای ترانزیستورها

مزایای ترانزیستور بقرار زیرند:

- ۱- ترانزیستورها با ولتاژهای پائین کار میکنند.
- ۲- بسبب اندازه کوچک ترانزیستورها دستگاهها در حجم کوچک تهیه میشوند.
- ۳- عمر آنها زیاد است.
- ۴- از نظر قدرت نیز کارایی بالایی دارند.

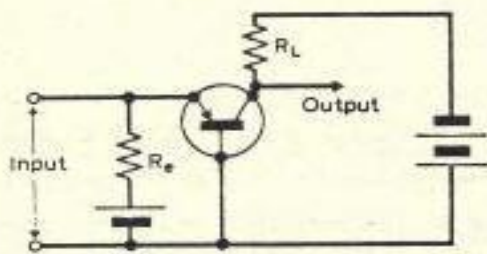
محدودیت‌های ترانزیستورها

- ۱- مشخصه آنها با درجه حرارت تغییر میکند.
- ۲- قدرت خروجی آنها محدود است.

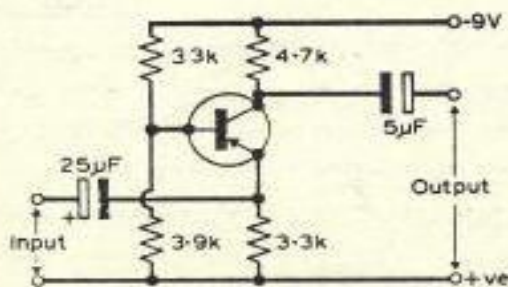
- ۳- امپدانس ورودی محدود دارند بعبارت دیگر امپدانس ورودی خود ترانزیستور حدی دارد و از آن بالاتر نمیتواند برود.

آرایش پایه مشترک

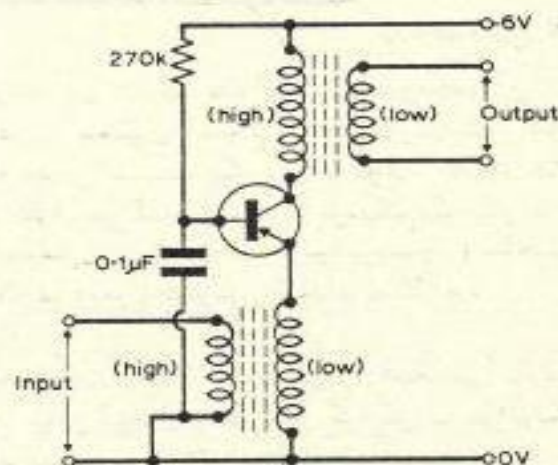
تقویت کننده پایه مشترک Common Base یا کلکتور فالور Follower نظیر مدار لامپی شبکه مشترک Common Grid برای تقویت در فرکانسهای وی - اف - اف و



(a) تئوری



(b) عملی AF



(c) Practical RF

شکل ۳۳

یو - اچ - اف (UHF-VHF) بکار میرود، همچنین برای تطبیق امپدانس استفاده میشود یعنی بین یک امپدانس پائین (ورودی) و یک امپدانس بالا (خروجی) قرار میگیرد. مدارهای تئوری و عملی این فرم آرایش در شکل ۳۳ آمده است.

تقویت جریان A_I برابر است با نسبت تغییرات کوچک جریان کلکتور I_C به تغییر معادل آن در جریان پایه I_B که برابر آلفا می باشد. تقویت ولتاژ AV نیز برابر است با تغییر کوچک ولتاژ خروجی به تغییر معادل آن در ولتاژ ورودی و چون از قانون اهم داریم $V=IR$ که میتوان تقویت ولتاژ را بصورت زیر نوشت:

$$\frac{I_C}{I_E} \times \frac{R_L}{r_{IN}} = \alpha \frac{R_L}{r_{IN}}$$

تقویت قدرت یا بهره قدرت AP برابر است با حاصلضرب تقویت جریان ولتاژ یعنی:

$$AP = \alpha^2 \frac{R_L}{r_{IN}} = \alpha \cdot AV$$

امپدانس ورودی چنین تعریف میشود. تغییرات کوچک در ولتاژ بین پایه و امیتر به تغییر معادل آن در جریان امیتر که با استفاده از قانون اهم خواهیم داشت:

$$e_{be} = i_e (r_{IN} + R_S) = i_e r_{IN} + i_e R_S$$

$$\therefore i_e r_{IN} = e_{be} - i_e R_S$$

$$\therefore r_{IN} = \frac{e_{be}}{i_e} - R_S$$

نشان داده میشود که امپدانس کلی مدار r_{IN} برابر است با امپدانس ورودی ترانزیستور و امپدانس منبع ورودی R_S امپدانس ترانزیستور با تغییرات مقاومت بار تغییر میکند. امپدانس خروجی پایه مشترک r_{out} برابر است با تغییرات کوچک در ولتاژ کلکتور پایه به تغییر معادل در جریان کلکتور. این مقادیر با افزایش امپدانس منبع زیاد می گردند. مثالها

شکل ۳۴ یک تطبیق دهنده امپدانس است که یک امپدانس ۲۰۰ اهمی (میکروفون قاب متحرک) را به امپدانس ۱۰ کیلو اهمی (ورودی تقویت کننده ترانزیستوری ۲۴ ولتی) تبدیل میکند. در این مدار ترانزیستوری با آلفای ۰/۹۹ استفاده شده است (قدرت متوسط). مطلوبست تعیین مقادیر تقریبی (الف) - بهره جریان، (ب) - بهره ولتاژ، (ج) - بهره قدرت مدار، فرض کنید مقاومت ورودی ترانزیستور ۲۰۰ اهم است $(r_{IN} + 200)$

الف) : بهره جریان همان مقدار آلفا یعنی ۰/۹۹ می باشد.

$$AV = \alpha \frac{R_L}{r_{IN}} = 0.99 \times \frac{10000}{200} = 50$$

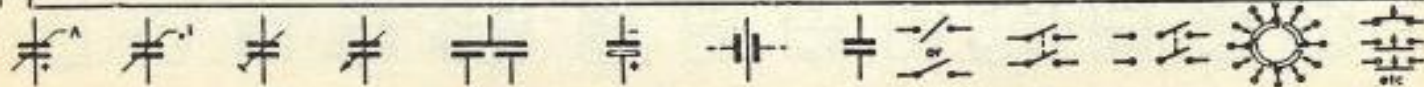
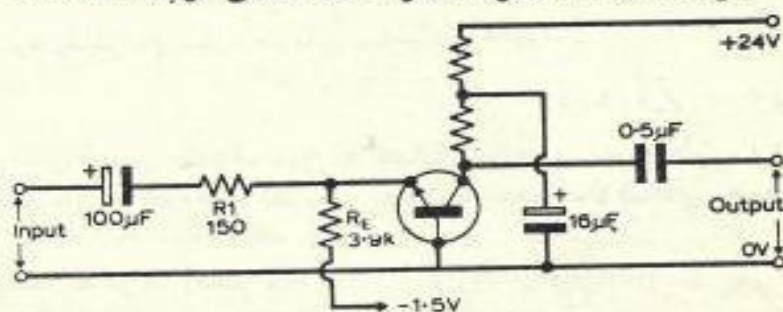
ب) : بهره ولتاژ تقریباً :

ج) : بهره قدرت

$$AP = A_I \times A_V = 0.99 \times 50 = 50$$

توجه کنید که مقاومت بار تا حد امکان کوچک شده است تا امپدانس ورودی پائین بیاید و نیز

شکل ۳۴



مقاومت R_I سری با ورودی قرار گرفته تا امپدانس خروجی ترانزیستور افزایش یابد (تا حدود ۱۰۰ کیلو اهم). البته این مقدار با مقاومت بار موازی قرار میگیرد. و مقاومت کلی حدود ۱۰ کیلو اهم که مورد نیاز هم هست میرسد.

آرایش امیتر مشترک

ترانزیستور معمولاً در آرایش امیتر مشترک یکبار برده میشود. مدارهای تئوری و عملی این فرم آرایش در شکلهای ۳۵ و ۳۶ نشان داده شده است. در شکل ۳۵ شرایط استاتیکی مدار یعنی ولتاژها و جریانهای مستقیم را ملاحظه می کنید. وقتی بهره بالا مورد نیاز است چه در فرکانسهای صوتی و چه رادیویی از این تقویت کننده استفاده میشود. این مدار بندرت در فرکانسهای خیلی بالا (VHF) کاربرد پیدا می کند. زیرا مدارهای پایه مشترک در این فرکانسها پایدارتر هستند و بهره بزرگتری نیز دارند.

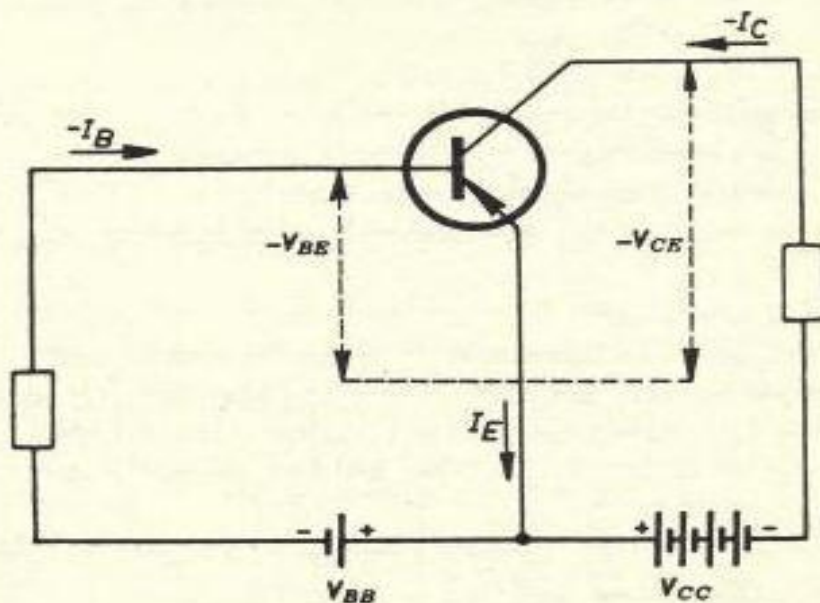
بهره جریان مدار امیتر مشترک معمولاً با بتا (β) نمایش داده میشود که رابطه آن با آلفا چنین است: $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$ که آلفا برابر است با نسبت جریان کلکتور به جریان امیتر یعنی $\alpha = \frac{i_c}{i_e}$ با توجه به قانون اول کیرشوف (Kirchoff) داریم:

$$i_e = i_o + i_b$$

$$\therefore \alpha = \frac{i_c}{i_c + i_b} \therefore \alpha (i_c + i_b) = i_c$$

$$\frac{i_c}{i_b} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \beta$$

شکل ۳۵



بنابراین اگر آلفا برابر ۰/۹۸ باشد مقدار بتا از رابطه بالا ۴۹ خواهد شد. شبیه آنچه برای آرایش پایه مشترک گفتیم، در اینجا نیز بهره ولتاژ را میتوان بدست آورد:

$$AV = \frac{i_e \times RL}{i_b \times r_{in}} \approx \beta \left(\frac{RL}{r_{in}} \right)$$

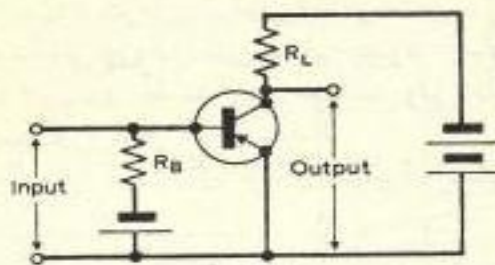
بهره توان برابر است با حاصلضرب بهره ولتاژ در بهره جریان بنابراین داریم:

$$AP = \beta (AV) = \beta^2 \left(\frac{RL}{r_{in}} \right)$$

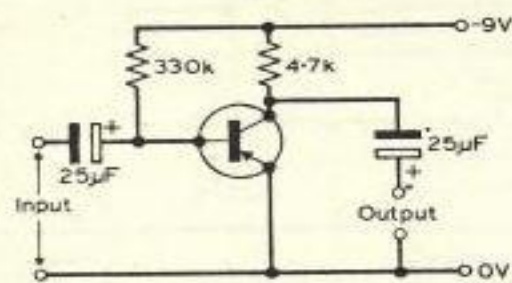
شبیه مدار کاند مشترک در لامپها، آرایش امیتر مشترک نیز به سیگنال ورودی تغییر فاز ۱۸۰ درجه میدهد. یعنی بین دو سیگنال ورودی و خروجی تقریباً ۱۸۰ درجه اختلاف فاز وجود دارد.

امپدانس ورودی بسادگی بدست می آید که برابر است با:

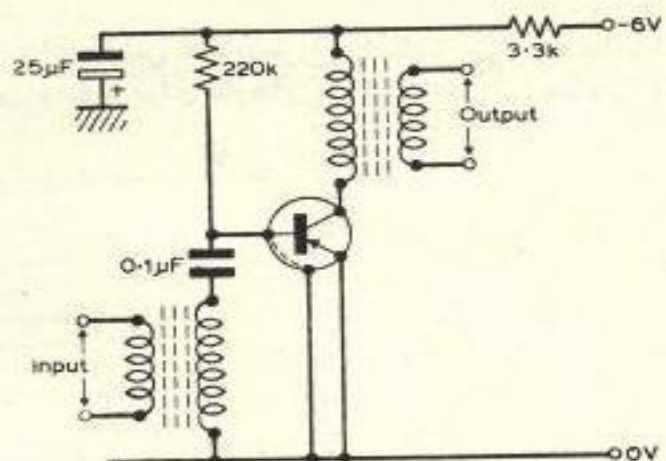
$$r_{in} = \left(\frac{e b e}{i_b} - R_s \right)$$



(a) تئوری



(b) عملی AF



(c) عملی RF

شکل ۳۶

این مقدار کمی حدود یک کیلو اهم می باشد (در ترانزیستورهای کوچک برای فرکانسهای صوتی). که کمی بیش از امپدانس ورودی مدار پایه مشترک است. این امپدانس با افزایش مقاومت باز کاهش می یابد.

مثال:

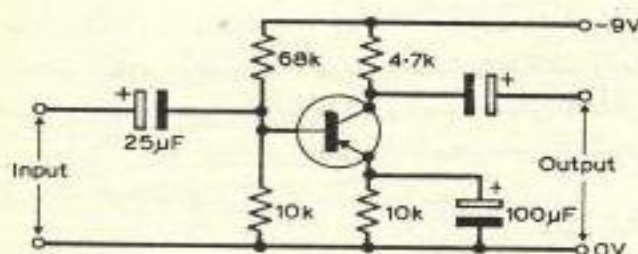
شکل ۳۷ اولین طبقه تقویت کننده صوتی یک رادیو ترانزیستوری را نشان میدهد. مطلوبست

(الف): بهره جریان.

(ب): بهره ولتاژ.

(ج): بهره توان.

در صورتیکه آلفای ترانزیستور ۰/۹۸۳ و امپدانس ورودی آن یک کیلو اهم باشد. (از اثر بار بر طبقه صرف نظر کنید).



شکل ۳۷

حل:

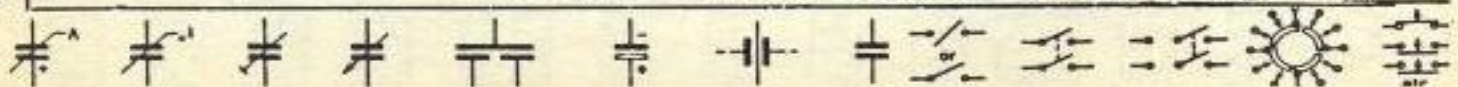
$$\alpha = 0.983 \therefore \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{0.983}{0.017} = 58 \quad \text{(الف): بهره جریان}$$

$$\text{Voltage gain} = \beta \times \frac{R_L}{r_{IN}} = \frac{58 \times 4.7 \times 10^3}{1 \times 10^3} = 273 \quad \text{(ب): بهره ولتاژ}$$

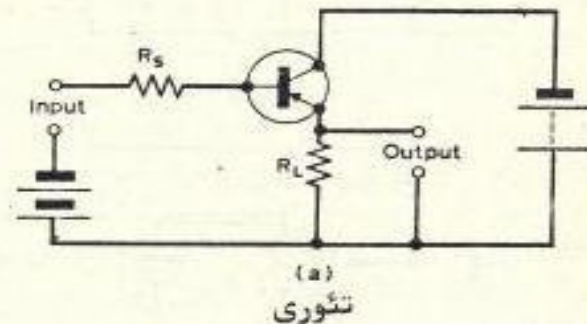
$$\text{Power gain} = \beta \times A_V = 58 \times 273 = 15834 \quad \text{(ج): بهره توان}$$

آرایش کلکتور مشترک

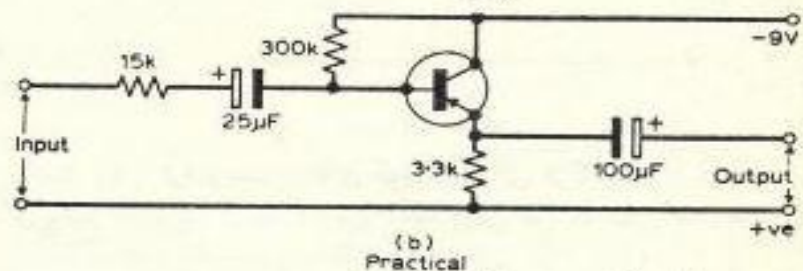
این سومین فرم آرایش ترانزیستور بنام امیتر فالور نیز معروف است و از آن برای تطبیق یک امپدانس بالا به یک امپدانس پائین استفاده می گردد. این فرم معمولاً در مدارها کمتر یافت می گردد زیرا بهره توانش کوچک و بهره ولتاژش از واحد کمتر است. بهره جریان آن



حدود بهره جریان آرایش آمیتر مشترک است. امیدانس ورودی این مدار حدود $\frac{\beta}{R_L}$ و امیدانس خروجیش از رابطه $\frac{R_S}{\beta}$ پیدامیشود. اگرچه این روابط تقریبی هستند ولی با این وجود برای کارهای ما کافی اند زیرا مقادیر دقیق بندرت مورد نیاز ما هستند. در شکل ۳۸ مدارهای کلکتور مشترک عملی و تئوری نشان داده شده است.



شکل ۳۸



منحنی‌های مشخصه ترانزیستور

برای طرح مدارهای ترانزیستور اغلب محتاج منحنی‌های مشخصه ترانزیستورها می‌باشیم. این منحنی‌های مشخصه در کاتالوگ ترانزیستورها داده شده‌اند. در اینجا طرز بدست آوردن این منحنی‌ها را بیان می‌کنیم. منحنی‌هایی که در کاتالوگ‌ها داده میشوند بعضی مربوط به آرایش آمیتر مشترک و برخی مربوط به پایه مشترک هستند. منحنی‌های مربوط به ترانزیستور تمامی در شکل ۳۹ داده شده است. منحنی یک تغییرات جریان کلکتور برحسب ولتاژ کلکتور آمیتر، منحنی دوم رابطه جریان کلکتور و جریان پایه، منحنی سوم تغییرات جریان پایه برحسب ولتاژ پایه - آمیتر و منحنی چهارم رابط ولتاژ پایه - آمیتر را برحسب ولتاژ کلکتور آمیتر بیان میدارد. برای رسم منحنی تغییرات جریان کلکتور برحسب ولتاژ کلکتور - آمیتر مدار شکل ۴۱ را ترتیب میدهیم.

در این مدار بازای جریانهای مختلف پایه (توسط R_2 این جریان تنظیم میشود) ولتاژ کلکتور - آمیتر را (بین ۱۰ - صفر ولت) تغییر میدهند و جریان‌های متناظر آنها یادداشت می‌شود. بدین ترتیب منحنی‌های شکل ۴۰ بدست خواهد آمد. بکمک این مشخصه (منحنی) میتوان پارامترهای زیر را تعیین و تشریح نمود.

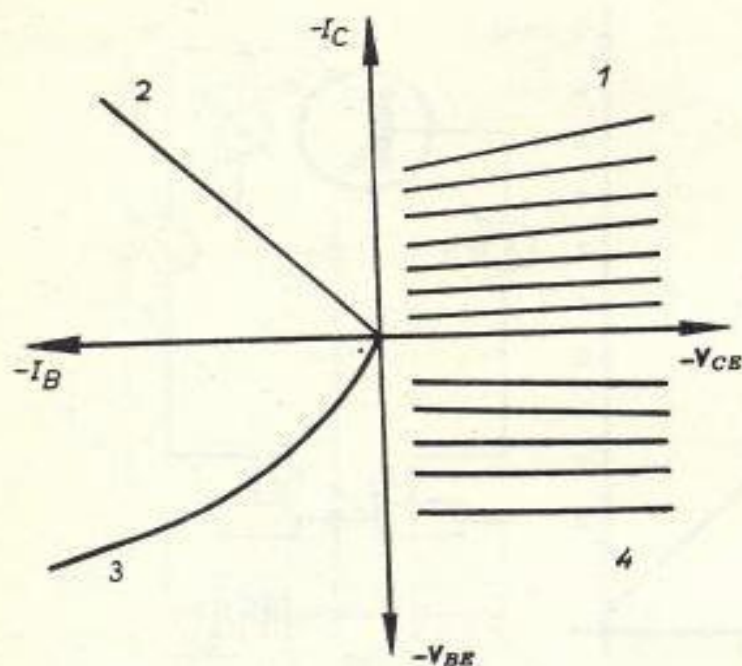
۱- امیدانس خروجی ترانزیستور

۲- بهره جریان ترانزیستور.

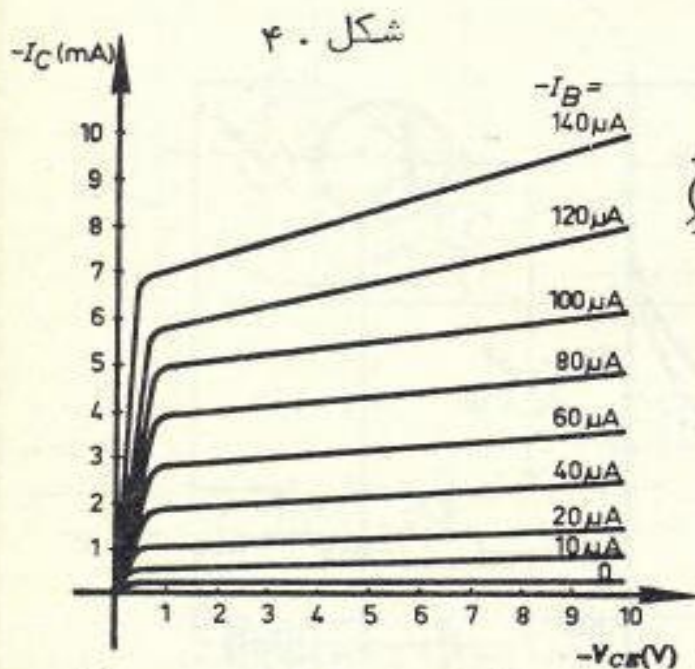
۳- خط بار ترانزیستور.

نحوه تشریح پارامترهای فوق به بحث دیگری موکول میگردد.

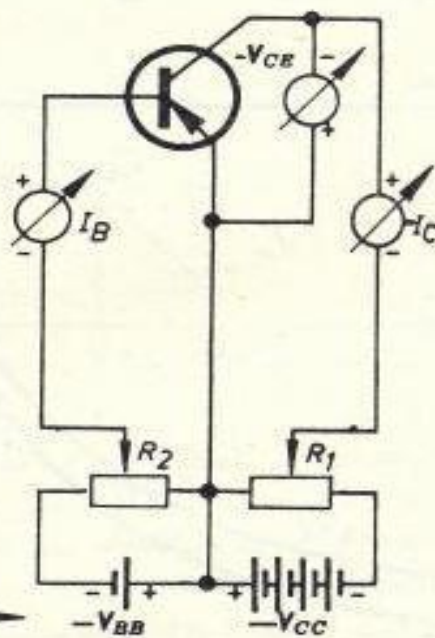
برای رسم منحنی تغییرات جریان کلکتور برحسب جریان پایه مدار شکل ۴۳ را ترتیب دهید. ولتاژ کلکتور - آمیتر را در مقدار مشخصی قرار دهید (ولت متر این ولتاژ را اندازه می‌گیرد). سپس جریان پایه توسط پتانسیومتر R_2 تغییر داده میشود و تغییرات متناظر جریان کلکتور



شکل ۳۹



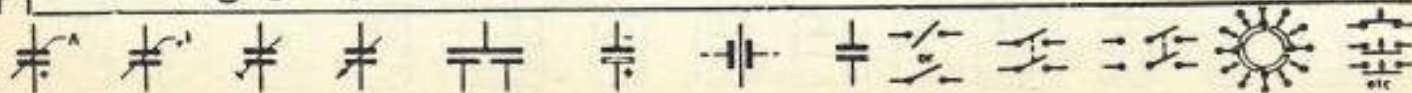
شکل ۴۰

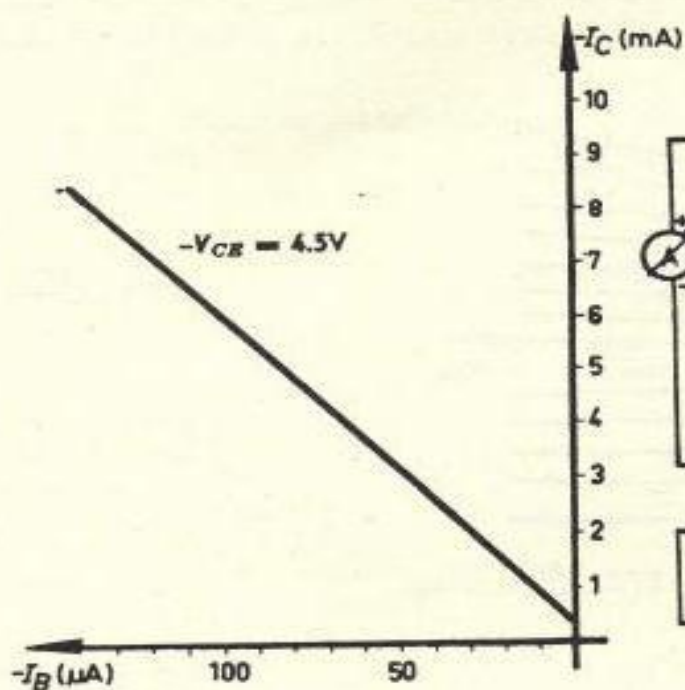


شکل ۴۱

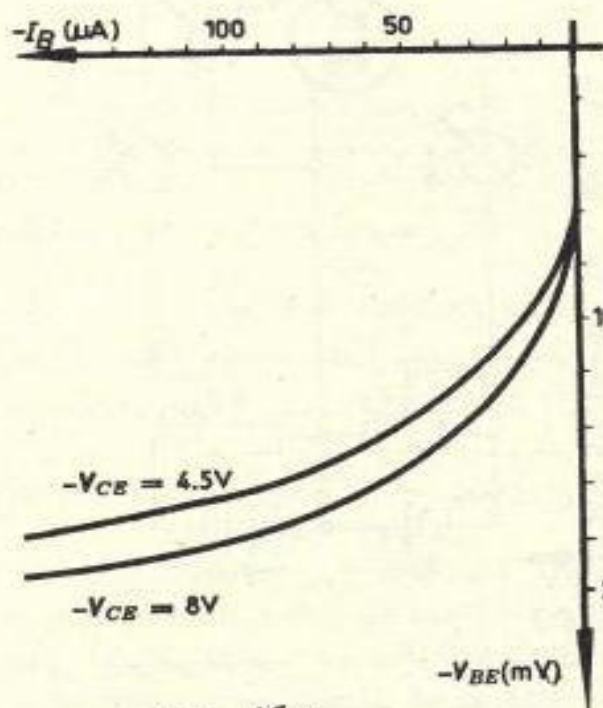
توسط میلی آمپر متر موجود در مدار کلکتور خوانده میشود. بدین صورت منحنی شکل ۴۲ حاصل می گردد. این منحنی خیلی کم به ولتاژ کلکتور - امیتر (V_{CE}) بستگی دارد، از این نظر این منحنی فقط برای یک مقدار از ولتاژ کلکتور - امیتر رسم میشود. بهره جریان ترانزیستور را میتوان از منحنی فوق بدست آورد.

مدار شکل ۴۵ را ترتیب دهید. توسط این مدار منحنی شکل ۴۴ را میتوانید رسم کنید. ولتاژ امیتر - کلکتور را در مقدار ثابتی قرار دهید و سپس توسط R_2 ولتاژ پایه امیتر را تغییر دهید و جریان پایه را توسط میکرو آمپر متر اندازه بگیرید. ولتاژ پایه - امیتر توسط میلی ولت متر اندازه گیری میشود. برای مقادیر مختلف ولتاژ کلکتور - امیتر یک منحنی رسم می گردد. از روی این مشخصه رفتار مدار ورودی تعیین میشود. بطور دقیق تر اینکه از روی این منحنی ها تعیین امیدانس ورودی مدار و مطالعه خط بار ورودی ترانزیستور امکان می یابد.

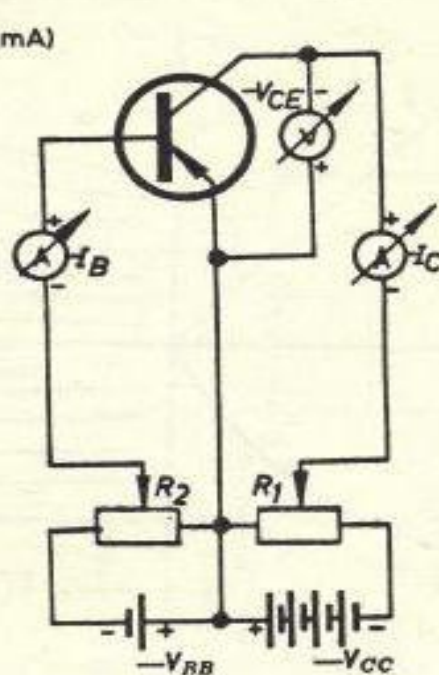




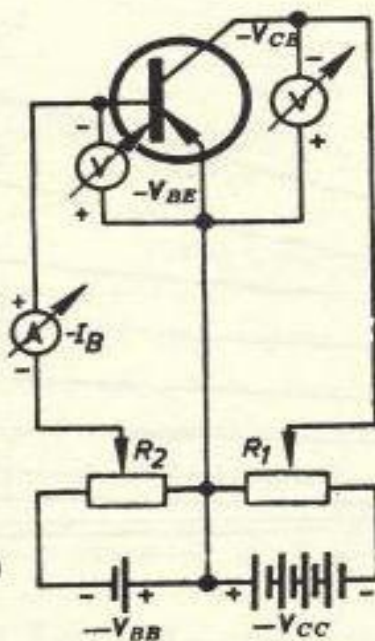
شکل
۴۲



شکل
۴۴



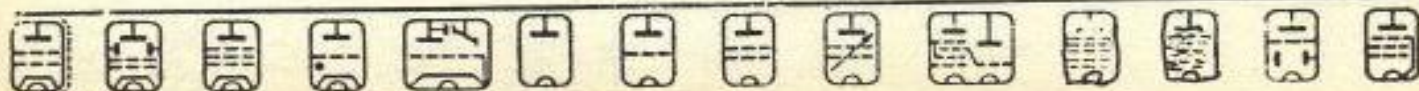
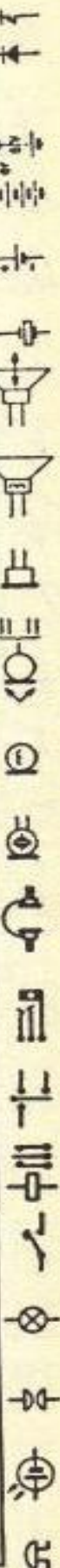
شکل
۴۳

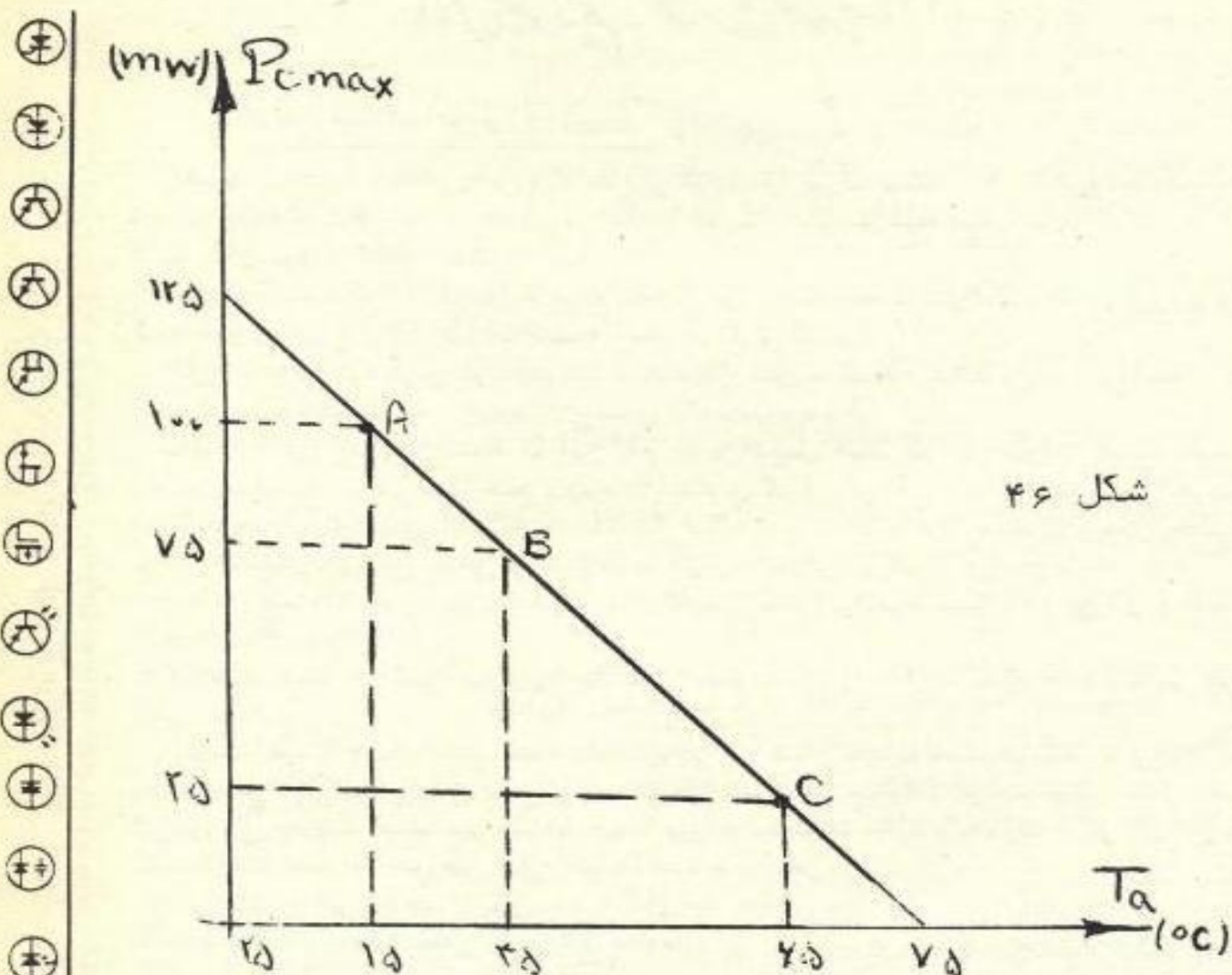


شکل
۴۵

نحوه محاسبات فوق را میتوان با مراجعه به کتب الکترونیک دقیقاً " مطالعه کنید . یک نکته قابل تذکر این است که این مشخصات ترانزیستورها در اثر تغییرات درجه حرارت تغییر می کنند .

یک مشخصه دیگر ترانزیستورها معروف است و در کاتالوگها رسم میشود و در طراحی مورد استفاده قرار میگیرد، مشخصه ای است که نشاندهنده ماکزیمم قدرت تلف شده مجاز در کلکتور (P_{emax}) بصورت تابعی از درجه حرارت محیط (T_a) میباشد. این مشخصه در شکل ۴۶ نشان داده شده است .





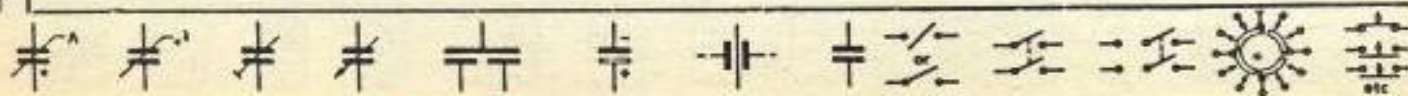
شکل ۴۶

تشریح منحنی

فرض کنید درجه حرارت محیط ۳۵ درجه سانتیگراد باشد، یک خط عمودی از یک نقطه محور افقی که مربوط به ۳۵ درجه سانتیگراد است، خارج می‌کنیم، این خط، نقطه A را روی منحنی بدست می‌دهد. مقدار نظیر این نقطه روی محور عمودی برابر ۱۰۰ میلی وات می‌باشد که عبارتست از ماکزیمم توان تلف شده می‌باشد.

اگر درجه حرارت محیط به ۴۵ درجه سانتیگراد برسد مقدار ماکزیمم توان تلف شده مجاز برابر ۷۵ میلی وات میشود. به همین ترتیب برای درجه حرارت ۶۵ درجه سانتیگراد، قدرت تلف شده مجاز ماکزیمم فقط ۲۵ میلی وات است.

پس میتوان گفت که ماکزیمم قدرت تلف شده توسط ترانزیستور، بستگی به درجه حرارت محیط دارد و با افزایش درجه حرارت، این مقدار کم میشود. ماکزیمم قدرت تلف شده در کلکتور ترانزیستور به قدرت خروجی مربوط میشود که آنهم به درجه حرارت بستگی دارد.



درس سیزدهم: تقویت کننده‌ها (۱)

تقویت کننده‌ها Amplifiers

تقویت کننده دستگاهی است که مقادیر کوچک را بزرگ میکند. در الکترونیک کمیت‌هایی که تقویت میشوند عبارتند از جریان، ولتاژ و قدرت. تقویت کننده‌ها نیز می‌توانند هر کدام از کمیت‌های فوق را تقویت کنند.

تقویت کننده‌ها از باتریها یا منبع تغذیه انرژی میگیرند تا بتوانند سیگنال ورودی را تقویت کنند. برای شروع از یک تقویت کننده ولتاژ شروع می‌کنیم.

یکی از پرکاربردترین نوع تقویت کننده‌ها، تقویت کننده عملیاتی یا آپریشینال آمپلیفایر است که بطور اختصار به OP-AMP نشان داده میشود.

نامیدن این تقویت کننده به این نام بدین دلیل است که این تقویت کننده طرح شده تا بتواند عملیات ریاضی مثل جمع، ضرب، انتگرال گیری را با آن انجام دهد. این تقویت کننده در کامپیوتر آنالوگ مورد استفاده زیاد دارد. در تقویت کننده‌ها سیگنال ورودی خیلی کوچک بوده و سیگنال خروجی خیلی بزرگ و شاید هزارها برابر بزرگتر از ورودی باشد.

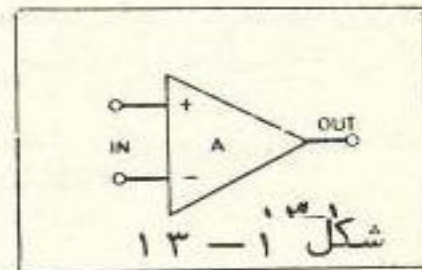
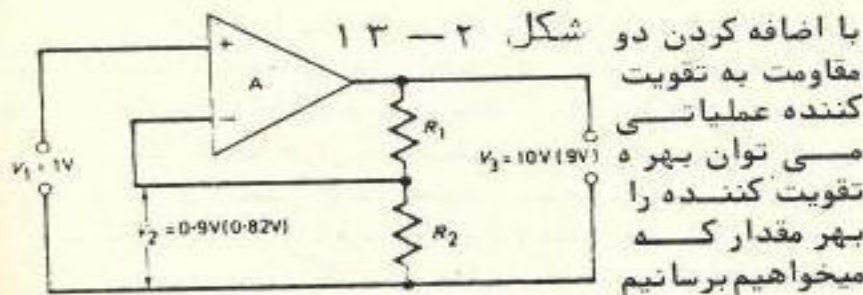
نشانه استاندارد برای نمایش این تقویت کننده مثلی است بادو ورودی و یک خروجی (شکل ۱-۱۳)

علامت مثبت و منفی در ورودیها معنی معمولیشان را ندارند بلکه جهت تغییر خروجی را نشان میدهند.

علامت مثبت چنین معنی میدهد که خروجی در همان جهتی تغییر می‌کند که ورودی تغییر می‌نماید یعنی اگر این ورودی منفی شود خروجی نیز منفی میشود. علامت منفی چنین معنی دارد که خروجی تقویت کننده در خلاف جهت ورودی تغییرات دارد، بعبارت دیگر اگر این تغییرات مثبت باشد تغییرات خروجی منفی خواهد بود و برعکس.

این عمل تغییر علامت (پلاریته) سیگنال به "معکوس شدن فاز" یا (Phase Inversion) نامیده میشود. ورودی منفی را ورودی معکوس (Inverting Input) و ورودی مثبت را

ورودی غیر معکوس (Noninverting Input) گویند و ما در اینجا برای سادگی آنها را با نامهای مثبت و منفی ذکر خواهیم کرد.



حال اگر ورودی مثبت را به خروجی متصل کنیم چه اتفاق می‌افتد؟ تغییرات کوچک در ولتاژ خروجی به ورودی میرسد و تقویت شده و مقدار بزرگتری می‌شود و در خروجی ظاهر میشود و دوباره این تغییرات تقویت شده و در ورودی ظاهر شده و اگر ۲ ولت به هر دو ورودی اعمال گردد ۲ ولت ورودی منفی ۲ ولت در ورودی مثبت را خنثی میکند و مثل اینست که هیچ ولتاژی به ورودیها اعمال نشده و خروجی بدون تغییر می‌ماند.

این نوع تقویت کننده را تقویت کننده تفاوت Differential Amplifier یا دیفرانسیل آمپلیفایر گویند زیرا به تفاوت دو ورودی پاسخ میدهد.

فرض کنید بهره تقویت کننده ۱۰۰ باشد و شما احتیاج دارید ولتاژ یک ولت را تقویت کرده و به ۱۰ ولت برسد یعنی به بهره ۱۰ احتیاج دارید. میتوانید تقویت کننده را طبق شکل ۱۳-۲ طوری ترتیب دهید که بهره مؤثرش ۱۰ شود. در این شکل دو مقاومت R_1 و R_2 را به تقویت کننده اضافه کرده‌ایم (فیدبک یا تغذیه برگشت).

نسبت دو مقاومت R_1 و R_2 را باید طوری بگیرید که ولتاژ ۰/۹ به ورودی منفی برگشت داده شود که در نتیجه مقدار ورودی مؤثر به تقویت کننده برابر خواهد بود با تفاوت دو ورودی که برابر است با یکدهم ولت. وقتی یکدهم ولت در ۱۰۰ ضرب گردد یعنی ۱۰۰ بار تقویت شود خروجی مورد نیاز که ۱۰ ولت است حاصل می‌شود. برای بدست آوردن بهره مؤثر فوق تقسیم کننده ولتاژ R_1, R_2 باید ولتاژ خروجی را به عددی حدود ۱۱ تقسیم‌کنند (چرا؟). تا اینجا ما هیچ کاری انجام نداده‌ایم جز اینکه ولتاژ ورودی را تا ۰/۱ ولت تضعیف کرده‌ایم.

زیبایی فیدبک منفی وقتی معلوم میشود که اثرش را در هنگامیکه بهره تقویت کننده کاهش می‌یابد ملاحظه شود.

فرض کنید بهره تقویت کننده به ۵۰ کاهش یابد، طبیعتاً "خروجی بایستی به ۵ ولت تقلیل یابد اما چنانکه از اعداد داخل پیرانتر در شکل ۱۳-۲ ملاحظه میکنید مقدار خروجی ۹ ولت میشود. یعنی با بودن فیدبک منفی اثر تغییرات پارامترهای ترانزیستورها و دیگر المانهای مدار و منبع تغذیه، تقویت کننده نمیتواند بهره ثابتی داشته باشد ولی فیدبک منفی این موضوع را امکان پذیر می‌کند. فیدبک منفی خواص دیگری هم دارد مثل کاهش اعوجاج.

تقویت کننده‌های عملیاتی دارای بهره‌ای حدود ۱۰۰۰۰ می‌باشند. اغلب در کانالوگها بهره مدار بار (Open Loop) داده میشود و آن عبارتست از بهره بدون فیدبک که به دسی‌بل داده میشود. بهره ولتاژ ۱۰۰۰۰ برابر ۸۰ دسی‌بل می‌باشد.

امپدانس ورودی Input Impedance -

تاکنون در بحث تقویت کننده‌ها صحبتی از امپدانس ورودی نکردیم و سیگنال ورودی را ولتاژ گرفتیم. در واقع امپدانس ورودی تقویت کننده را خیلی خیلی بزرگ فرض کرده‌ایم. در عمل، امپدانس ورودی تقویت کننده‌ها بقدری است که بایستی مورد توجه قرار گیرند. اگر این امپدانس خیلی کم باشد بطور خیلی مؤثر روی سیگنال ورودی اثر خواهد کرد. دلیل آنست که بیشتر سیگنالهایی که به ورودی تقویت کننده داده میشود از منابع تولید سیگنال مثل: میکروفون، آنتن، پیک آپ گرام، هد ضبط و غیره می‌آیند که خودشان دارای امپدانس داخلی قابل ملاحظه‌ای هستند.

این چنین منابع سیگنال را میتوان معادل یک مولد ولتاژ V_S بطور سری با یک امپدانس R_S دانست (شکل ۱۳-۳)

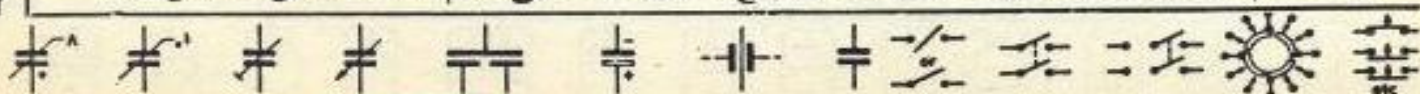
وقتی این منبع سیگنال به تقویت کننده‌ای با امپدانس ورودی R_a وصل گردد جریانی در این مسیر جاری میشود. در اینجا فقط ولتاژ دوسر R_a به تقویت کننده میرسد و قسمت دیگر ولتاژ در R_S یعنی داخل خود منبع تلف خواهد شد.

برای حداقل رساندن تلفات سیگنال در داخل خود مولد لازم است که R_S در مقایسه با R_a کوچک باشد

با توجه به شکل خواهید دید که دو مقاومت R_S و R_a تشکیل یک تقسیم کننده ولتاژ را میدهند که خروجیش در دوسر R_a ظاهر میشود. بنابراین اگر مقدار R_S دو برابر مقدار R_a باشد دوسوم ولتاژ منبع تلف خواهد شد.

تطبیق امپدانس Impedance-Matching

در هنگام کار کردن با تقویت کننده‌ها موضوع دیگری که خیلی مهم است تطبیق داشتن یک



طبقه با طبقه دیگر می باشد .

وقتی صحبت از تطبیق یک منبع با یک تقویت کننده میشود منظور اینست که امپدانس ورودی تقویت کننده باندازه کافی زیاد باشد تا ولتاژ واقعی منبع به تقویت کننده برسد . تقویت کنندههای ترانزیستوری در عمل که امپترشان به زمین وصل شده دارای امپدانس ورودی از چند کیلو اهم تا چند صدکیلو اهم دارد و در حالیکه امپتر مستقیما به زمین وصل نشده باشد امپدانس ورودی آن حدود چندین مگا اهم خواهد بود . منابع سیگنال که دارای امپدانس داخلی کوچکی هستند میتوانند مشکلی ایجاد کنند ، نه بخاطر اینکه تطبیق آنها با تقویت کننده مشکل است بلکه باین دلیل که این منابع معمولا ولتاژ کمی تحویل میدهند .

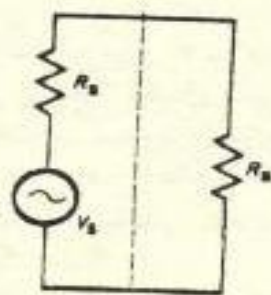
خود ترانزیستورها ولتاژ کمی بفرم اغتشاش یا نویز الکتریکی تولید می کنند و این نویز با ولتاژهای کم تداخل می کند .

یک مثال عملی از منبع تولید سیگنال میکروفون می باشد که دارای امپدانس داخلی حدود ۳۰ اهم است . این منبع ولتاژی حدود چند ده میکرو ولت میدهد . خوشبختانه ترانسفورمر در اینجا کمک می آید .

بیاد دارید که ولتاژ در ثانویه یک ترانسفورمر متفاوت از ولتاژ در اولیه آن میباشد . بطور صحیح تر بگوئیم : دو ولتاژ اولیه و ثانویه متناسب با تعداد دورها می باشد مثلا اگر تعداد دور سیم پیچ های ثانویه ۱۰ برابر تعداد دورهای سیم پیچ های اولیه باشد ، ولتاژ ثانویه نیز ۱۰ برابر ولتاژ اعمال شده به اولیه خواهد بود .

بنابراین ولتاژ ۱۰ میکرو ولت حاصل از میکروفون با استفاده از ترانسفورمر فوق به ۱۰۰ میکرو ولت در ثانویه خواهد رسید .

از نظر اصولی ترانسفورمرها را با هر نسبت دوری میتوان بکار برد و در نتیجه ولتاژی بمراتب بالاتر از ولتاژ فوق نیز میتوان از ثانویه ترانسفورمر بگیریم (شکل ۴-۱۳) از طرف دیگر وقتی ترانسفورمر را به منبع سیگنال وصل کنیم ، دیگر امپدانس مثلا میکروفون ۳۰ اهم نخواهد بود بلکه خیلی بیشتر از ۳۰ اهم می باشد و باز این مقدار به نسبت دورهای ترانسفورمر بستگی دارد مثلا وقتی ترانسفورمری با نسبت دور ۱۰ (تعداد دور ثانویه به تعداد دور اولیه) بکار ببریم ، امپدانس که در طرف ثانویه از میکروفون دیده میشود برابر امپدانس میکروفون ضربدر مجذور نسبت دورها خواهد شد . یعنی $30 \times 10 \times 10$ یا ۳۰۰۰ اهم . اگر نسبت دورها ۱۰۰ گردد امپدانس دیده شده در طرف دوم برابر ۳۰۰ کیلو اهم خواهد بود . این امپدانس افزایش یافته بایستی با امپدانس ورودی تقویت کننده مقایسه شود و از این نظر محدودیتی در افزایش امپدانس منبع سیگنال داریم . همین ملاحظات را در مورد خروجی تقویت کننده داریم . در مورد هر تقویت محدودیتی از نظر مقدار جریان یا ولتاژی که تحویل میدهد وجود دارد و این

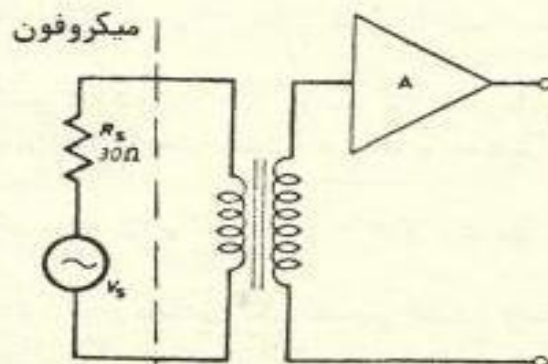


تقویت کننده منبع

تقویت کننده فقط
با امپدانس ورودی
نشان داده شده

شکل

۳-۱۳



با استفاده از یک ترانسفورمر،
خروجی میکروفون افزایش
می یابد

شکل

۴-۱۳

حداقل مقدار مقاومتی را که بعنوان بار میتوان به تقویت کننده وصل کرد مشخص می کند . مادر آینده در این باره بیشتر بحث خواهیم کرد .

تقویت کننده های ولتاژ Voltage Amplifiers

یک تقویت کننده ولتاژ در شکل (a-5-13) نشان داده شده است . مقاومت بار برای جریان مستقیم $R_L (dc)$ می باشد که جریان کلکتور از آن میگذرد .

این جریان همراه با سیگنالی که تقویت میشود کم و زیاد می گردد و این تغییرات جریان تغییراتی در افت ولتاژ در دوسر R_L بوجود می آورد .

در جریان متناوب (ac) تقویت کننده ها (مثل تقویت کننده های صوتی) این تغییرات ولتاژ همان سیگنال خروجی می باشد .

ولتاژ خروجی ac و dc توسط خازن C از هم جدا میشوند . این خازن ، خازن کویلاژ

می باشد که به جریان متناوب اجازه عبور میدهد ولی جلوی جریان مستقیم را می گیرد . همانطور

که گفته شد مقاومت بار از نظر جریان مستقیم R_L می باشد ولی از نظر جریان متناوب ، چون

خازن C مثل اتصال کوتاه عمل می کند ، مقاومت بار برابر مقاومت معادل R_1 و R_2 می باشد

که بطور موازی قرار می گیرند و ما آنرا با R نشان میدهم . چون امپدانس داخلی باتری خیلی

کم است میتوان باتری را از نظر جریان متناوب اتصال کوتاه فرض نمود .

همچنانکه دیدیم دو جریان متناوب و مستقیم با هم مخلوط شده اند . هر تقویت کننده ای با

مصرف انرژی باتری سیگنال ورودی را تقویت یا عبارت دیگر بزرگ می کند . باتری جریان مستقیم

تولید میکند و سیگنال ورودی معمولاً بصورت جریان متناوب می باشد ، این دو جریان در تقویت

کننده باهم مخلوط میشوند . در اینجا ما علاقهای به جریان مستقیم نداریم بلکه توجه خود را به

جریان متناوب معطوف میداریم .

برای بررسی مساله فوق که مخلوطی از جریانهای متناوب و مستقیم در مدار وجود دارد

میتوان اثرات جریان متناوب و مستقیم را بطور جداگانه بررسی نمود یعنی میتوانیم پس از بررسی

مدار در جریان مستقیم از وجود آن در مدار صرف نظر کرده و مدار را در جریان متناوب مورد

بررسی و مطالعه قرار دهیم .

موضوع دیگر در مطالعه مساله فوق اینست که چون جریان متناوب از دو سیکل کاملاً شبیه بهم

تشکیل یافته میتوان گفت : آنچه که برای نیم سیکل مثبت جریان متناوب صادق است برای نیم

سیکل منفی نیز صحیح خواهد بود .

پس ما میتوانیم مطالعه خود را از نظر جریان متناوب فقط در یک نیم سیکل مثلاً نیم سیکل

مثبت بررسی کنیم و همه آنچه را که می یابیم برای نیم سیکل منفی نیز صحیح بگیریم با در نظر

گرفتن اینکه فقط جهت جریانها و علامتهای ولتاژ (پلاریته) عوض میشود . خلاصه می کنیم :

بررسی یک مدار به دو قسمت تقسیم میشود :

۱- بررسی از نظر جریان مستقیم (پیدا کردن نقطه کار) .

۲- بررسی از نظر جریان متناوب (فقط در نیم سیکل مثبت) .

ما میتوانیم به ترانزیستور بعنوان یک منبع جریان متناوب نگاه کنیم که جریان را از کلکتورش به

بیرون می فرستد و از آمپرش دریافت میدارد . جهت جریان و پلاریته های ولتاژ در شکل ۵-۱۳

نشان داده شده اند .

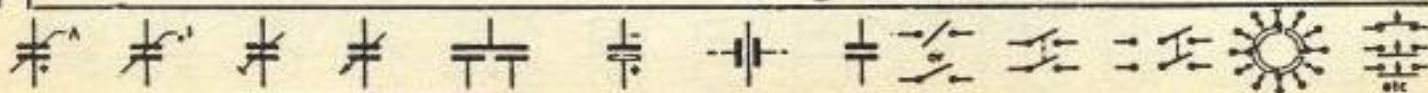
همانطور که ذکر شد در بررسی از نظر جریان متناوب مقدار مقاومت بار برابر معادل دو

مقاومت R_1 و R_2 که بطور موازی قرار دارند می باشد و بنابراین مدار (a-5-13) از نظر

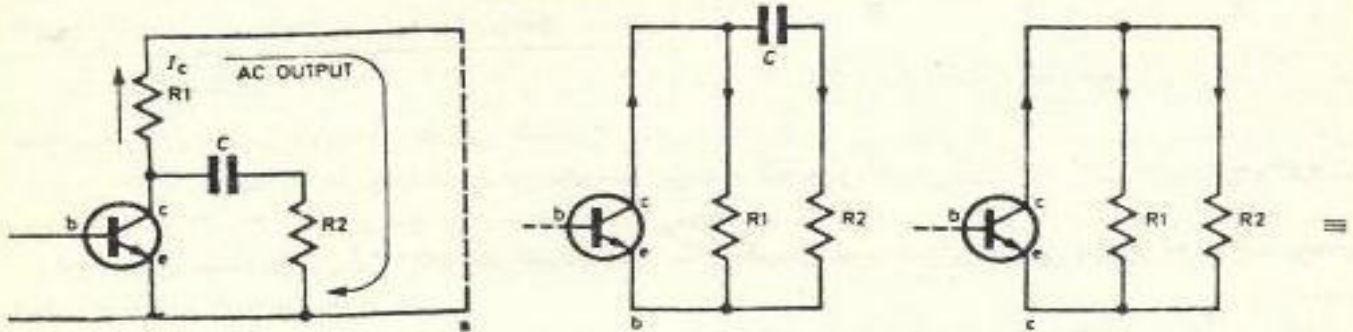
جریان متناوب بفرم (a-5-13) درمی آید .

پس میتوان چنین در نظر گرفت که ترانزیستور جریان را به داخل دو مقاومت R_1 و R_2

میراند ، اگر R_1 کوچکتر از R_2 باشد جریان بیشتر از داخل R_1 عبور خواهد کرد و اگر R_2 کوچکتر باشد جریان بیشتر از آن می گذرد .



چون در اینجا به مقاومتهای موازی برخوردیم بهتر است پیش از ادامه بحث کمی درباره مقاومتهای موازی و طرز پیدا کردن معادل آنها مطالعه کنیم.



شکل ۸-۱۳

اینک سوالات این درس

۱- یک سیگنال منفی به ورودی منفی یک تقویت کننده عملیاتی اعمال میشود. خروجی آن برابر خواهد بود یا :

الف - برابر خواهد بود یا :

الف - مثبت

ب - منفی

ج - صفر

۲- تغییر میدان مغناطیسی در یک سلف :

الف - جریان در آن القاء می کند.

ب - ولتاژ در آن القاء می کند.

ج - هیچ چیز در آن القاء نمیشود.

۳- مدار قبول کننده عبارتست از :

الف - سلف و خازن بطور موازی

ب - سلف و خازن بطور سری

ج - مقاومت خازن بطور موازی

۴- وقتی میگویند که سیم پیچ ها کاملاً کوبله شده اند که :

الف - آنها محکم رویهم پیچیده شوند.

ب - کاملاً پهلوی هم پیچیده شوند.

ج - تمامی میدان یکی از داخل دیگری بگذرد.

۵- برای جریان متناوب امپدانس باتری :

الف - خیلی کم است.

ب - خیلی زیاد است.

ج - هیچکدام.

۶- مقاومت ۲ اهمی یا ۴ اهمی بطور موازی :

الف - ۶ اهم

ب - ۲ اهم

ج - ۱/۳۳ اهم

۷- مقاومت بار در کلکتور ترانزیستور ۱ کیلو

اهم و مقاومت گرایش بین پایه و کلکتور ۲۲۰

کیلو اهم میباشد. اگر ولتاژ کلکتور در حدود

نصف ولتاژ منبع تغذیه باشد مقدار تقویت

جریان مستقیم چقدر است.

الف - ۲۲۰

ب - ۱۰۰

ج - ۲۲۰/۱۰۰۰

۸- تعداد دور سیم

پیچ اولیه یک ترانسفورمر

۱۰۰ و تعداد دور ثانویه

آن ۴۰۰ میباشد. اگر

مقاومت ۳ اهمی در اولیه

آن قرار گیرد در ثانویه

مقدار مقاومتی که دیده

میشود برابر است یا :

الف - ۱۲ اهم

ب - ۵/۷۵ اهم

ج - ۴۸ اهم

ترانزیستورهای FET

پیوست

ترانزیستور با اثر میدان

ترانزیستورهای با اثر میدان (Field Effect Transistor, FET) تحول بزرگی در الکترونیک پدید آورده‌اند. دستگاه‌ها و سیستم‌هایی که تاکنون امکان ساخت آنها با ترانزیستورهای دو قطبی وجود نداشت را فقط با لامپ‌های خلاء می‌شد ساخت. اکنون این پدیده جدید الکترونیک اوضاع را عوض کرده است.

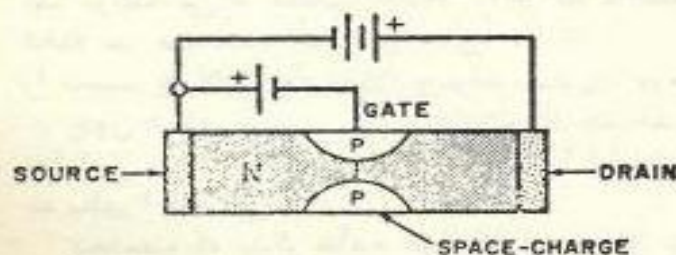
بسیاری از مزایا و خصوصیات ترانزیستورهای دو قطبی و لامپ‌های خلاء سه قطبی (تریودها) یک جا در FET جمع شده است. FET بسیار به ترانزیستورهایی که با امواج ضعیف کار می‌کنند نزدیک است. چون ولتاژ کار آنها کم است و کمترین مقدار انرژی ممکن را به مصرف می‌رسانند. امپدانس ورودی FET زیاد است و تا چندین مگا اهم قابل کنترل است. بعضی از ترانزیستورهای با اثر میدان قادرند چندین وات قدرت بدهند ولی از آنجایی که ضریب حرارتی آنها منفی است گرفتن حرارتشان (خنک کردنشان) مشکل است.

بطور کلی FET نیمه‌هادی‌ای است که مانند یک مقاومت متغیر رفتار کند. بطوریکه در شکل ۱ نشان داده شده است، جریان مابین منبع (Source) و کشنده الکترون (Drain) جریان می‌یابد و با ولتاژی که روی دو قسمت P بطور همزمان اعمال می‌شود، کنترل می‌گردد. وقتی که بایاس زیاد می‌شود، محوطه دور گیت (Gate) را تحت فشار الکتریکی قرار می‌دهد در نتیجه جریان از منبع به کشنده الکترون کم شده و تقریباً صفر می‌شود. از آنجایی که میدان گیت مستقیماً بر جریان منبع به کشنده اثر می‌گذارد، نام ترانزیستور با اثر میدان (FET) برای انتخاب شده است.

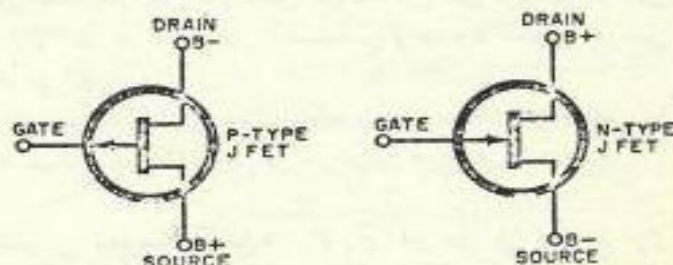
انواع ترانزیستورهای با اثر میدان

امروزه، اساساً، دو نوع ترانزیستور با اثر میدان در مدارها بکار می‌رود. پرمصرف‌ترین آنها ترانزیستور با اثر میدان اتصالی (FET) است که اتصال گیت آن مستقیم است. نوع دیگر، ترانزیستور با اثر میدان اکسید فلزی (MOS FET) است که گیت آن بطور الکتریکی عایق شده و به همین دلیل گاهی اوقات، ترانزیستور با اثر میدان با گیت عایق شده (IG FET) نیز نامیده می‌شوند.

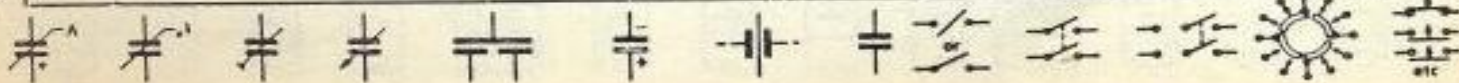
ترانزیستور با اثر میدان اتصالی دو نوع است نوع P و نوع N (شکل ۲ را ببینید). ترانزیستور با اثر میدان اتصالی نوع N از نظر بستن ولتاژها و بایاس، همانطور که در شکل ۳



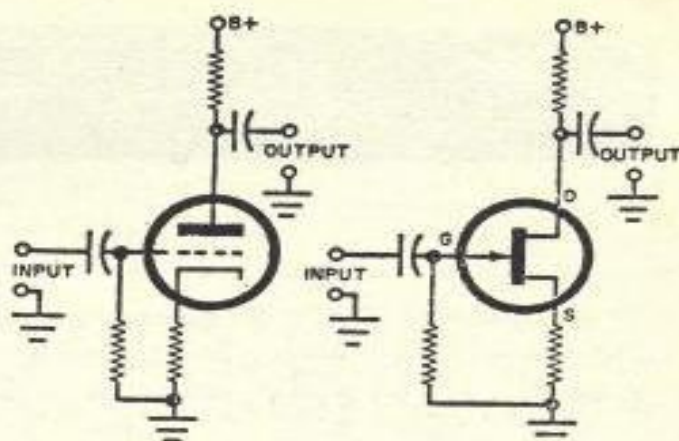
شکل ۱ - FET مانند مقاومت متغیر کار می‌کند و گیت آن مستقیماً بر جریان منبع به کشنده اثر می‌گذارد.



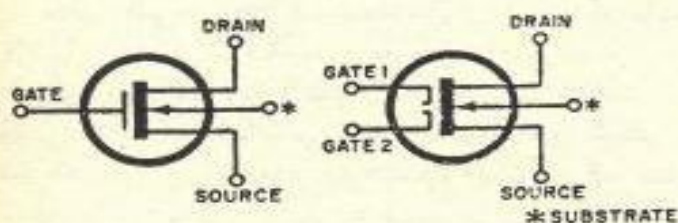
شکل ۲ - علائم الکتریکی ترانزیستوری با اثر میدان نوع P (سمت چپ و نوع N (سمت راست) را نشان می‌دهد.



شکل ۳ - طرز بایاس کردن JEET ، نوع و لامپ خلاء سه قطبی را نشان میدهد .



نشان داده شده است ، بسیار شبیه لامپ خلاء سه قطبی است .
ترانزیستور با اثر میدان اکسید فلزی که نیمه‌هادی بسیار مورد نیازی است ، امپدانس ورودی خیلی نزدیکتری به لامپ‌های خلاء سه قطبی دارد . این ترانزیستورها را میتوان با امپدانس ورودی حدود چندصد مگا اهم ، که خارج از توان ترانزیستورهای با اثر میدان معمولی است ، ساخت . چنانکه در شکل ۴ نشان داده شده است دو نوع ترانزیستور با اثر میدان اکسید فلزی (MOS FET) وجود دارد . شکل سمت چپی نوع تک گیتی Single-gate و شکل سمت راستی دو گیتی (Dual-gate) است .



شکل ۴ - علائم الکتریکی MOSFET با یک گیت و با گیت دوگانه را نشان میدهد .

بدنه اصلی MOSFET (Substrate) ها معمولاً از داخل به منبع متصل شده‌است چنانچه از داخل متصل نشده باشد ، از خارج به منبع یا شاسی (زمین) متصل میشود . به هنگام در دست گرفتن و کار کردن با MOSFET ها دقت بسیاری باید مبذول داشت چون امپدانس ورودی آنها آنقدر زیاد است و عایق گیت آنها آنقدر نازک است که هر شارژ ساکنی (مثل الکتریسیته ساکن بدن) که به گیت آنها اعمال شود میتواند اکسید عایق کننده گیت را از بین برد و قطعه را خراب کند .

اگر بخواهیم ، در تیونرهای FM, AM و تلویزیون ، دو موج با فرکانس متفاوت را در حالیکه جدایی دو موج حفظ شود ، بطور غیر خطی مخلوط کنیم ، MOSFET می‌تواند مخلوط‌کننده یک مرحله‌ای با کیفیت بسیار عالی به ما تقدیم کند که این درضمن مهمترین مورد مصرف این قطعه نیز میباشد . همچنین حین کار MOSFET کمترین اغتشاش و مدولاسیون عرضی را نسبت به لامپ‌های خلاء و ترانزیستورها بوجود می‌آورد .

چون فضای موثر MOSFET ها حدود ده برابر فضای موثر یک ترانزیستور دو قطبی با توانایی جریانی یکسان است ، آنها را تکی بسته بندی می‌کنند (زیر سرپوش قرار می‌دهند) نه بطور اجتماعی .

بحاست که تذکر داده شود که FET ها به عنوان تقویت کننده r, f در مقابل امواج قوی مصون از Overload هستند . بعضی از FET ها چنان متقارن ساخته شده‌اند که پایه‌های منبع Source و کشته Drain آنها قابل تعویض (جابجایی) هستند . چند سال گذشته شاهد پیشرفت‌های شگرفی در زمینه نیمه‌هادی‌ها بوده‌ایم دیدن اینکه در آینده تحقیقات و اکتشافات چه مسیری را دنبال خواهد کرد ، بسیار جالب خواهد بود .