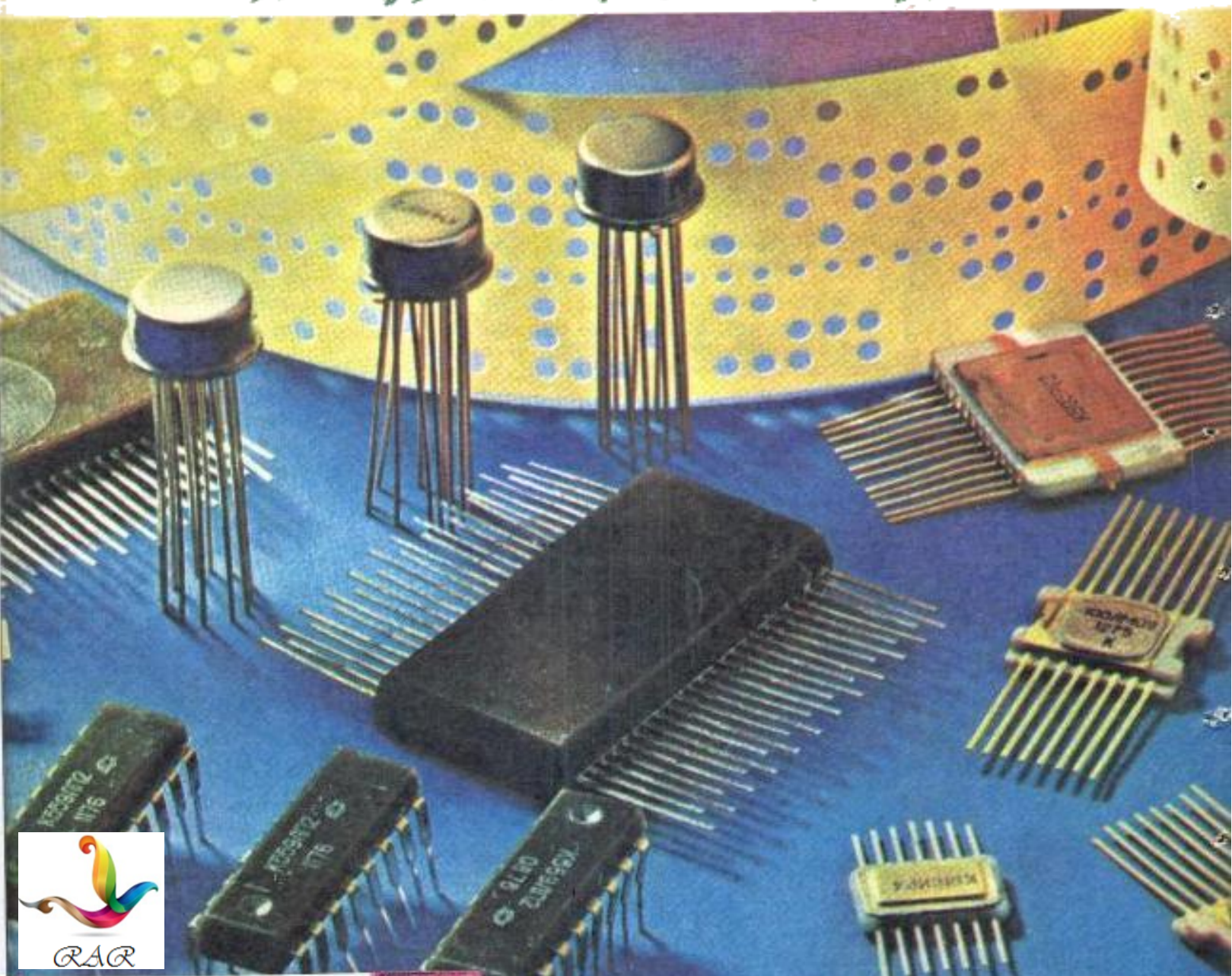


سری کتابهای دانش الکترونیک ۷



خودآموز الکترونیک

الکترونیک را با مطالعه سری کتابهای دانش الکترونیک فراگیرید



فهرست مطالب

بخش ۱

۶

اتصال موازی خازن ها

مقدمه

سیم پیچ

اتصال سری سیم پیچ ها

اتصال موازی سیم پیچ ها

ترانسفورمر

قطعات اکتیو

ترانزیستور

ترانزیستور چانکشن

ترانزیستور تک قطبی (یونی پولار)

مدارهای مجتمع خطی

مثال های فرضی

بخش ۲

۴۲

قطعات غیر خطی در مدار

دیود چانکشن

دیود زنر

دیود نوری

تریستور

ترایاک

مدارهای مجتمع دیجیتال

Mosfet

مثال های فرضی

بخش ۳

۵۰

مدارهای AC , DC

مدار دارای مقاومت

مدار دارای سیم پیچ

مدار دارای خازن

مدار سری دارای مقاومت و سیم پیچ R-L

مدار سری دارای مقاومت و خازن R-C

مدار سری دارای مقاومت - سیم پیچ و خازن

R-L-C

بخش ۲

۷

اتم و ساختمان آن

بخش ۳

۱۰

هدایت الکتریکی در جامدات

بخش ۴

۱۴

پارامترهای الکتریکی

پارامترهای ثابت

مقاومت (رزیستانس)

اندوکتانس

کاپاسیتانس

پارامترهای متغیر

جریان

ولتاژ

توان

امپدانس

ادمیتانس

مثال های فرضی

بخش ۵

۲۶

قطعات خطی در مدار

قطعات پسیو در مدار

مقاومت (رزیستور)

اتصال سری مقاومت ها

اتصال موازی مقاومت ها

خازن

اتصال سری خازن ها

مدارهای AC
مثال های فرضی

بخش ۱

استفاده از دیودها و ترانزیستورها
استفاده از دیودها
استفاده از ترانزیستورها
مثال های فرضی

بخش ۲

استفاده از مدارهای مجتمع
مدارهای مجتمع خطی
مدارهای مجتمع دیجیتال

TTL
CMOS

مثال های فرضی

بخش ۱۰

اصول اندازه گیری
اندازه گیری ولتاژ
اندازه گیری جریان
اندازه گیری توان

اندازه گیری در مدارهای دو قطبی
port

بخش ۱ مقدمه

الکترونیک یکی از محبوبترین موضوعات و بهترین تفریحات برای اغلب مردم می باشد. اکثر علاقمندان به الکترونیک به خاطر دو چیز به سمت این رشته جالب جذب می شوند. اول به خاطر قطعات و عناصر مختلف الکترونیک که در بازار موجود می باشند و دوم به خاطر وجود کتاب های مختلفی که در این زمینه موجود است. این کتاب ها علاوه بر معرفی قطعات مختلف طریقه های ساختن پروژه های مختلف را نیز به علاقمندان می آموزند.

همانطور که می دانید در هر رشته، برای افزایش اطمینان خاطر و مهارت باید زمینه ای کافی از آن را دارا بود. این موضوع در مورد الکترونیک نیز صدق می کند. الکترونیک را به عنوان یک رشته می توان از سطوح مختلفی مورد بررسی و مطالعه قرار داد. اغلب کتابهایی که در زمان حال در مورد الکترونیک می باشد یا در سطح نسبتاً بالایی قرار دارند و از روابط سنجیده ریاضی کمک گرفته اند و یا اینکه نسبتاً حجیم می باشند. بدیهی است که هر دو نوع این کتاب ها باعث محدودیت ارزش آنها میگردد. عملاً کتابهای مزبور برای بخصوص مبتدی ها غیر قابل استفاده می باشند.

کتابی که بدینوسیله به خدمتان عرضه می شود، با بیانی ساده به آموزش الکترونیک پرداخته و در حجمی کم کلمه اصطلاحات مورد نیاز برای مبتدیان را در اختیارتان می گذارد. برای اینکه درک این کتاب برای شما آسان تر گردد، سعی کرده ایم که استفاده از ریاضیات را در آن به حداقل برسانیم. تنها چیزهایی از ریاضیات که برای خواندن این کتاب مورد نیاز است، حساب و جبر ساده می باشد.

الکترونیک به مقدار زیادی با تئوری افقی وابسته است. طرز کار و رفتار هر قطعه الکترونیک بستگی به یکی از بدیده های اتمی دارد. بنابراین با دانستن اینکه در داخل اتم چه می گذرد، می توانید بهتر به طرز کار قطعات الکترونیک پی ببرید. به همین خاطر بخش دوم این کتاب را به اتم و اجزای متشکله آن اختصاص داده ایم. در این بخش خواننده با ساختمان اتم آشنا شده و در انتهای آن از الکترون و مشخصات آن آگاه خواهد گردید.

درک چگونگی هدایت الکتریکی در جامدات یکی دیگر از مباحث مهم الکترونیک مدرن می باشد که در ارتباط با قطعات الکترونیک دارای اهمیت بسیاری است. چگونگی هدایت الکتریکی در جامدات از جمله قطعات الکترونیک در بخش ۳ بحث خواهد شد.

در این بخش با توجه به آموخته های بخش ۲ مکانیسم هدایت الکتریسته در هادی ها و نیمه هادی ها را بررسی کرده و به تعریف آنها خواهیم پرداخت. در گوشه ای از این بخش خواهیم آموخت که عبور جریان الکتریکی در نیمه هادی ها به خاطر دو نوع حامل های بار الکتریکی یعنی الکترون ها و حفره ها می باشد. در بخش ۴ به بحث در مورد پارامترهای الکتریکی خواهیم پرداخت که رفتار مدارهای الکتریکی را تشریح می کنند.

تمام قطعات مدارهای الکترونیک را می توان به دو گروه قطعات خطی و غیر خطی تقسیم کرد. در بخش های ۵ و ۶ با خصوصیات این قطعات آشنا خواهیم شد. رفتار مدارهای ac و dc را در بخش ۷ بررسی خواهیم کرد.

در قسمت مربوط به مدارهای ac بحث کوتاهی در مورد تولید سیگنال ها خواهیم داشت

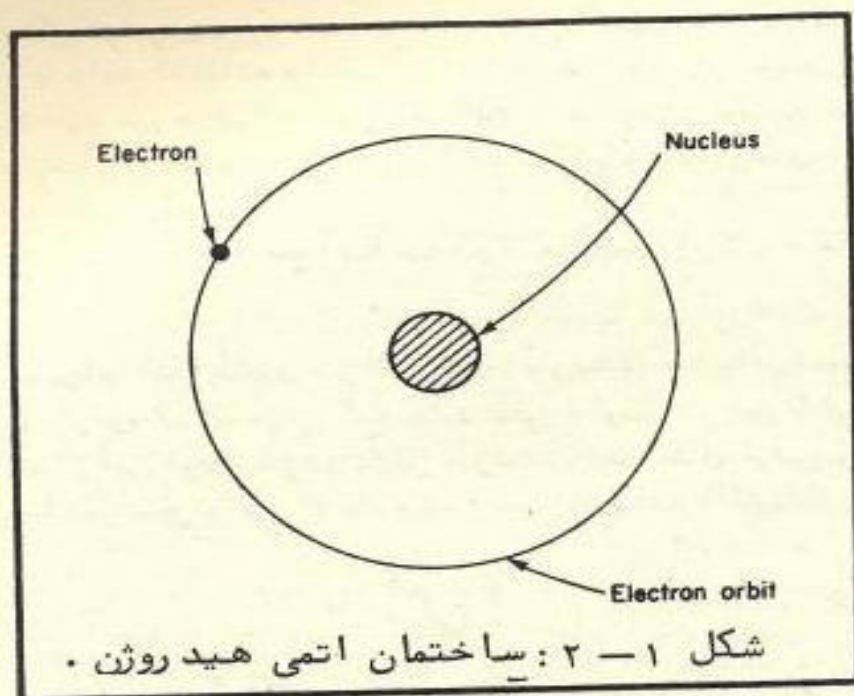
بخش ۸ برای مدارهای ترانزیستوری و دیودی تعیین یافته است. در این بخش با روش‌های بایاسینگ آشنا شده و موارد استفاده مختلف آنها را در مدارها یاد خواهیم گرفت. همانطور که می‌دانید در سالیهای اخیر، استفاده از مدارهای مجتمع افزایش بسیاری یافته است. این قطعات بسیار مهم هم در مدارهای آنالوگ و هم در مدارهای دیجیتال به مقدار زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در بخش ۹ با این مدارهای مجتمع آشنا شده و به بعضی از کاربردهای جالب آنها خواهیم پرداخت.

با توجه به اهمیت زیاد اندازه‌گیری در الکترونیک، در بخش ۱۰ با روشهای صحیح آن آشنا خواهیم شد. بسیاری از فرمولهای مهمی که جنبه عملی دارند در این کتاب ذکر شده‌اند. برای درک چگونگی استفاده از این فرمولها، در پایان هر بخش چند مثال فرضی را ارائه نموده‌ایم. برای آسانتر شدن محاسبات می‌توانید از یک ماشین حساب ساده الکترونیکی نیز استفاده کنید.

بخش ۲

اتم و اجزای تشکیل دهنده آن و پارامترهای الکتریکی

مادر زندگی روزمره عادت کرده‌ایم که اجسام را از لحاظ اندازه، شکل، وزن، مشاهده و بررسی کنیم. عمل بینائی توسط چشم انجام می‌گیرد و بدیهی است که چشم دارای محدودیت‌هایی است. برای مثال حد معینی برای دیدن و تشخیص ابعاد اجسام مختلف وجود دارد که از آن کمتر قابل دیدن یا تشخیص نیست. هر قدر ابعاد اجسام کوچکتر می‌گردد استعداد چشم در دیدن و تشخیص آنها کمتر شده و بالاخره از بین می‌رود. البته برای مبارزه با این مشکل میکروسکوپهای ایتیکی (نوری) و الکترونی ساخته شده‌اند که به مقدار بسیار زیادی می‌توانند به ما کمک کنند. ما وقتی که در این دنیای میکروسکوپی، عمیق‌تر نظر می‌کنیم باز نمی‌توانیم اجزای اساسی ماده، یعنی اتم را ببینیم. اما دلایل مختلفی در راه اثبات وجود آن موجود است. فیزیک اتمی یکی از شاخه‌های حالب علم است که در سازندگی با نابودی سرنوشت بشری موثر است. فیزیک اتمی که یکی از شاخه‌های علوم جدید بشمار می‌رود در طی ۱۰۰ سال اخیر پدید آمده و تکامل یافته است. با درک پدیده‌های اتمی می‌توان تعدادی از پدیده‌های ماکروسکوپی را بیان کرد. کلمه "ماکروسکوپی" در مورد اجسام بزرگی بکار می‌رود که به آسانی با چشم دیده می‌شوند. کلمه "الکترونیک" از نام یکی از اجزای تشکیل دهنده اتم، یعنی الکترون، مشتق شده است. علت این نامگذاری نیز این است که، بحث در مورد این شاخه از علوم بدون مراجعه به دنیای اولترامیکروسکوپی اتم ناقص باقی می‌ماند. مواد اصلی در محیط ما که سایر ترکیبات از آنها ساخته می‌شوند را عناصر می‌نامند. در حقیقت می‌توان گفت که عناصر شیمیایی عبارت از موادی هستند که فقط از یک نوع اتم ساخته شده‌اند. سایر مواد از ترکیب دو یا چند نوع از این عناصر ساخته می‌شوند. اتم کوچکترین ذره‌ای از یک ماده است که خصوصیات آن را دارا می‌باشد. عناصر را بر اساس ساختمان اتمی‌اشان طبقه‌بندی می‌کنند. هر عنصر دارای ساختمانی است که فقط مختص به خودش است. اتم‌ها را می‌توان واحدهای ساختمانی ابتدائی طبیعت دانست.



حال ساینید با دقت بیشتری به ساختمان اتم بپردازیم. ذراتی که اتم را می سازند ، شامل الکترون ، پروتون و نوترون می باشند . دو تا از خواص مهم این ذرات را که ما بیشتر بر آنها تکیه خواهیم کرد عبارتند از : جرم و بار الکتریکی .

همانطوری که می دانید جرم به مقدار ماده ای که موجود است ، گفته می شود . واحد جرم در دستگاه بین المللی (SI) کیلو گرم است . الکترون دارای جرمی است که فوق العاده کوچک است . این مقدار جرم آنقدر کوچک است که قوه تصور ما نمی تواند در درک آن ما را یاری دهد . جرم پروتون ۱۸۴۰ بار بزرگتر از جرم الکترون است . با اینحال این مقدار جرم نیز فوق العاده کوچک است . جرم نوترون برابر با جرم پروتون می باشد . آنچه در تعیین مقدار الکتریسیته دخالت دارد مقدار بار الکتریکی می باشد . واحد بار الکتریکی کولن است . الکترون دارای بار منفی ، پروتون دارای بار مثبت و نوترون فاقد بار است .

الکترونها ، پروتونها و نوترونها بطرز بسیار جالبی آرایش داده شده و ساختمان اتم را می سازند از کنارهم قرار گرفتن پروتون ها و نوترونها هسته پدید می آید . الکترونها دائماً بدور هسته در گردش می باشند . برای تصور بهتر ساختمان اتم می توان آن را با ساختمان منظومه شمسی مقایسه کرد . برای این منظور می توان خورشید را به جای هسته و سیارات را به جای الکترون ها فرض نمود . با کوچک کردن ابعاد منظومه شمسی به اندازه بسیار زیاد می توان مدل بسیار ساده ای از ساختمان اتم را بدست آورد .

ساده ترین اتم در طبیعت ، اتم هیدروژن است . هسته آن شامل یک پروتون است . این اتم همچنین دارای یک الکترون می باشد که بدور هسته می گردد . همانطوری که می دانید در یک اتم خنثی ، تعداد الکترونها برابر با تعداد پروتونها است .

شکل ۱-۲ ساختمان اتم هیدروژن را نشان می دهد .

عناصر را می توان بر حسب تعداد الکترونهایشان به ترتیب صعودی مرتب کرد . در اینصورت

می‌گوئیم که عناصر را بر حسب عدد اتمی‌شان مرتب کرده‌ایم. اتم هیدروژن که دارای یک الکترون است، دارای عدد اتمی ۱ می‌باشد. بعد از هیدروژن، نوبت به هلیوم می‌رسد که دارای ۲ الکترون است. بنابراین عدد اتمی آن ۲ می‌باشد. با اضافه شدن عدد اتمی، ساختمان اتم نیز پیچیده‌تر می‌شود.

مدل سیاره‌ای اتم، اولین بار توسط راترفورد پیشنهاد شد. این مدل بعدها توسط بوهر الکترونی‌هایی که بدور هسته می‌گردند، همیشه دارای فاصله معینی از آن می‌باشند. شعاع مداری هر کدام از الکترون‌ها، بستگی به مقدار انرژی آنها دارد. انرژی را می‌توانیم به صورت قابلیت انجام کار تعریف کنیم. واحد انرژی ژول است. در مورد الکترون‌ها و سایر ذرات باردار، بهتر است از واحد دیگری استفاده کرد. این واحد الکترون ولت است. رابطه نزدیکی بین ژول و الکترون-ولت وجود دارد و در صورت لزوم می‌توان به آسانی آنها را به هم تبدیل کرد. با افزایش تعداد الکترونی‌هایی که بدور هسته اتم می‌گردند، گروه‌های الکترونی باعث ایجاد پوسته‌های الکترونی می‌گردند. ترتیب قرار گرفتن پوسته‌ها با لایه‌های الکترونی را در شکل ۲-۲ نشان داده‌ایم. لازم به تذکر است، این است که هر کدام از این لایه‌های اصلی شامل چندین لایه فرعی می‌باشند (بغیر از نزدیک‌ترین لایه به هسته).

K	L	M	N	O	P	Q
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷

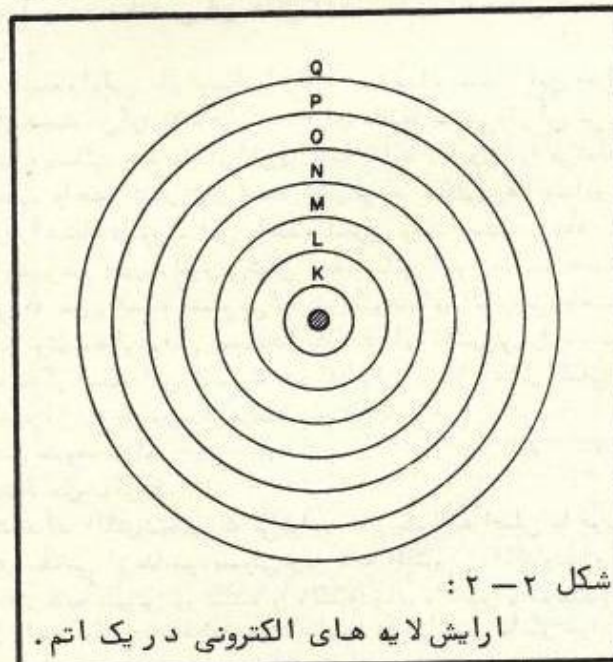
لایه‌های اصلی توسط حروف بزرگ و لایه‌های فرعی توسط حروف کوچک

مشخص می‌شوند. تعداد الکترونی‌هایی که می‌توانند در یک لایه اصلی یا فرعی جای گیرند، ثابت است. ذرات اتم‌های بعضی از عناصر، بیرونی‌ترین لایه الکترونی، الکترون‌های کمتری را دارا می‌باشند الکترون‌های موجود در لایه بیرونی پرنشده را مالکترون‌های والانس (ظرفیت) می‌نامند. این الکترون‌ها نقش مهمی را در مواد مختلف به عهده دارند و گاهی نیز بیانگر خواص مهم آنها می‌باشند. عناصر را بر حسب تعداد الکترون‌های والانس شان می‌توان در گروه‌های مختلفی طبقه‌بندی کرد. در اینصورت عناصری که تعداد الکترون‌های والانس‌شان یکی است، در یک گروه جای می‌گیرند ژرمانیوم و سیلیکون (سیلیسیم) از جمله عناصری هستند که به مقدار زیاد در ساختن نیمه هادی‌ها بکار می‌روند. این دو عنصر دارای ۴ الکترون والانس می‌باشند و در گروه چهارم (جدول مندلیف) جای گرفته‌اند.

تا اینجا یک اتم ایزوله و جدا از سایر اتم‌ها را مطالعه کردیم. بحث در مورد خواص میلیون‌ها اتمی که در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و یک تکه از عنصری را می‌سازند نیز جالب است. این اتم‌ها توسط نیروهای در کنار یکدیگر نگاه داشته می‌شوند. دانشمندان سه نوع مکانیسم پیوندی را تشخیص داده‌اند. این مکانیسم‌ها عبارتند از پیوندهای فلزی، یونی و کووالانس.

پیوندهایی که بیشتر در الکترونیک با آنها سروکار داریم، عبارتند از پیوندهای فلزی و کووالانس همانندوری که از نام پیوند فلزی معلوم می‌شود، این نوع پیوند در فلزات، مثلاً مس، دیده می‌شود. پیوند کووالانس نیز از جمله مکانیسم‌هایی است که در نیمه هادی‌هایی مانند ژرمانیوم و سیلیکون دیده می‌شوند. چهار عدد الکترونی که در خارجی‌ترین لایه اتم‌های ژرمانیوم و سیلیکون دیده می‌شوند به نگاهداری اتم‌های مزبور در کنار هم کمک می‌کنند. هر دو پیوندهای فلزی و کووالانس باعث ایجاد ساختمانی شبیه به ساختمان کریستالی می‌گردند. وقتی می‌گوئیم که جسمی دارای ساختمان کریستالی است که اتم‌های آن با نظم خاصی در کنار هم قرار گیرند و باعث ایجاد اشکال هندسی در آن گردند.

همانطوری که آگاهید و تجربه نشان داده، خصوصیات الکتریکی اجسام و مواد گوناگون از بسیاری لحاظ با هم متفاوت می باشند. بعضی از اجسام هادی خوب جریان الکتریسیته هستند.

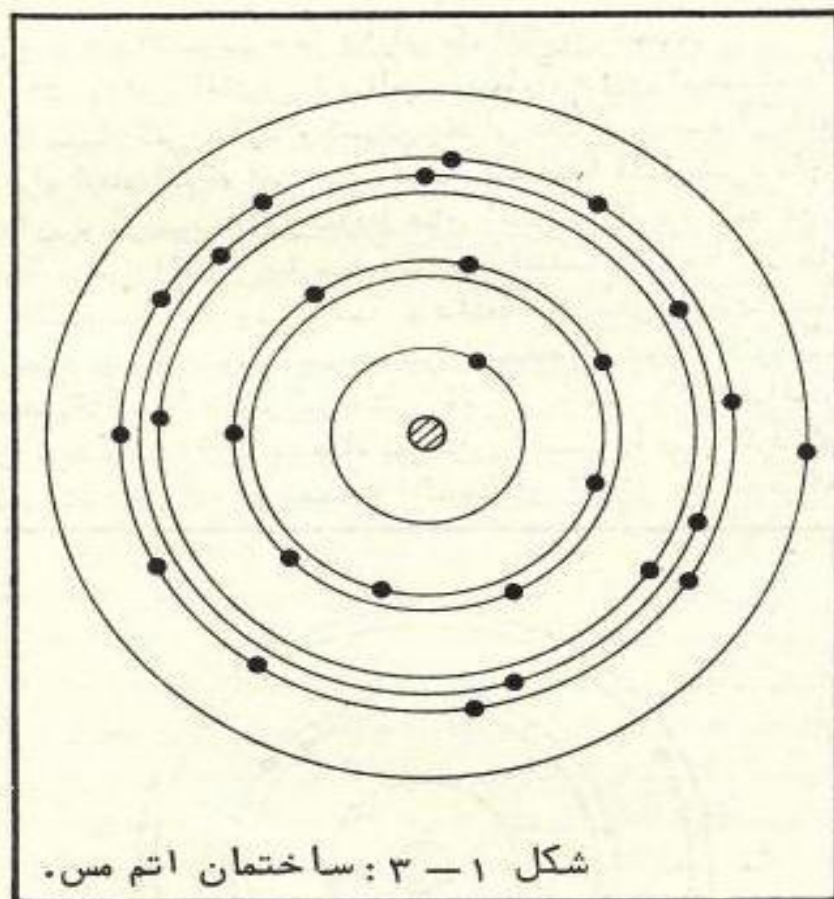


در صورتی که برخی دیگر چنین نیستند. همچنین اجسامی وجود دارند که از لحاظ رسانائی و هدایت الکتریکی بین هادی ها و غیر هادی ها قرار گرفته اند. این اجسام را نیمه هادی می نامند به خوبی آشکار است که خصوصیات هدایت الکتریکی اجسام، توسط تغییرات دما متأثر می شوند البته مقدار تغییرات این رسانائی نیز در اجسام گوناگون با هم فرق می کنند. تئوری اتمی علت رفتارهای مختلف الکتریکی اجسام گوناگون را به خوبی بیان می کند.

بخش ۳

هدایت الکتریکی در جامدات

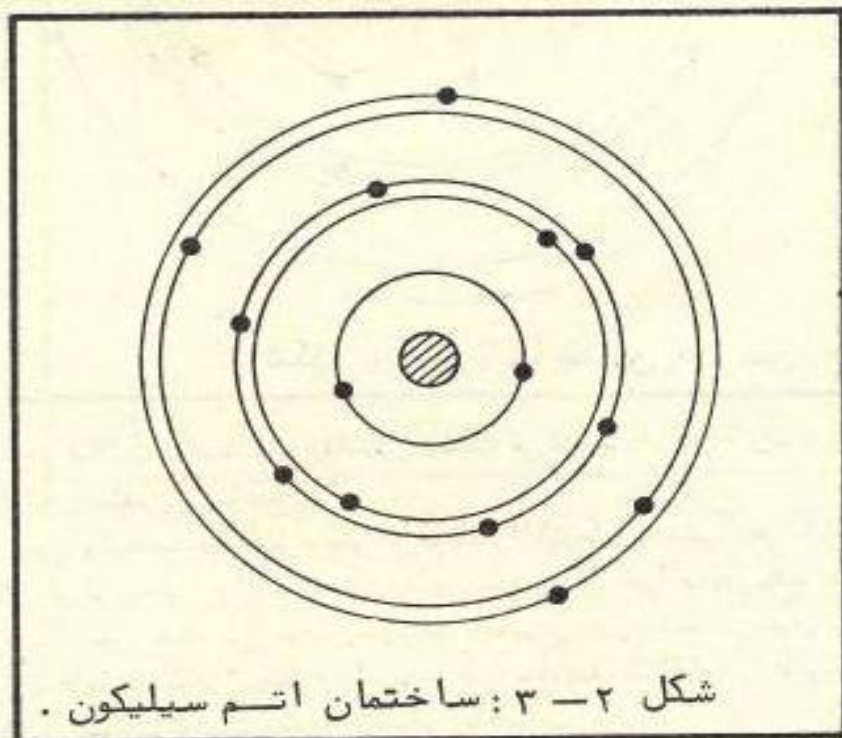
وقتی که بارهای الکتریکی به حرکت در می آیند، می گوئیم که هدایت الکتریکی انجام گرفته است. دیدیم که دو نوع از اجزای اتم دارای بار الکتریکی می باشند، این ذرات همان الکترون ها و پروتون ها می باشند. مقدار بار الکتریکی این دو نوع ذره با هم برابر است ولی در علامت با هم مخالفند. به عبارت دیگر الکترون دارای بار منفی و پروتون دارای بار مثبت است. وقتی که در اتم، تعداد الکترون ها و پروتون ها مساوی باشند، می گوئیم که اتم خنثی است. اغلب اتم های موجود در طبیعت از لحاظ بار الکتریکی خنثی می باشند. اگر به علی اتم



یک الکترون خود را از دست دهد، آن را یون مثبت می نامیم. از طرف دیگر، اگر یک اتم بخشی الکترون بگیرد آن را یون منفی می نامیم. از آنجائیکه در این وضعیت، اتم دیگر از لحاظ الکتریکی خنثی نمی باشد، می توانیم آن را به عنوان یک ذره باردار مورد بحث قرار دهیم. بدین ترتیب از حرکت یون ها نیز، جریان الکتریسته بوجود می آید. جرم یک یون چندین برابر جرم یک الکترون می باشد. به همین خاطر، اتم باردار (یون) دارای قابلیت تحرک کمتری است و در مقایسه با الکترون تقریباً بدون حرکت است البته در مورد مایعات، سرعت تحرک یونها بسیار زیاد است. در بحث در مورد هدایت الکتریکی در جامدات را می توان بطور مستقل از مکانیسم های هدایت در هادی ها و نیمه هادی ها انجام داد. هر ماده ای که بتواند جریان الکتریکی را به خوبی از خود گذردهد، هادی الکتریکی نامیده می شود. بدیهی است که در اینگونه مواد حرکت بارهای الکتریکی بدون مانع و اشکال انجام می گیرد. مس، آهن و آلومینیم از موادی هستند که می توان آنها را در این طبقه جای داد. تئوری اتمی در درک چگونگی هدایت الکتریکی در این مواد و بسیاری دیگر، می تواند کمک موثری به ما نماید.

معمولاً فلزات از هادی های خوب الکتریکی می باشند. اتم های یک فلز توسط مکانیسم پیوند فلزی در کنار یکدیگر قرار می گیرند. برای اینکه ببینیم واقعاً چه اتفاقی می افتد، برای مثال بیایید به اتم مس نگاهی بیاندازیم. ساختمان اتم مس را در شکل ۱-۳ نشان داده ایم. همانند سایر که دیده می شود، این اتم دارای ۲۹ الکترون است که به دور هسته می گردند. خارجی ترین لایه

الکترونی (لایه اصلی ۱) در اتم مس فقط دارای یک الکترون است، با توجه به ابعاد اتم، این الکترون در فاصله بسیاری دوری از هسته واقع شده است. بنا بر این هسته بر روی آن اثر بسیار کمی دارد و کمترین مقدار جاذبه را به آن اعمال می‌کند. حال فرض کنید در وضعیتی قرار گرفته ایم که این اتم توسط میلیون‌ها اتم مس دیگر احاطه شده است این اتم و سایر اتم‌های دیگر به خاطر تبادل‌های الکترونی که در لایه ۱ آنها صورت می‌گیرد در کنار هم باقی می‌مانند. این الکترون‌ها به هیچوجه اختصاص به اتم خاصی پیدا نمی‌کنند بلکه بی‌درین با سایر الکترون‌ها جا عوض می‌کنند و دائماً در حال حرکت می‌باشند. بدین ترتیب پیوندی که بین اتم‌های مس دیده می‌شوند، پیوند فلزی نامیده می‌شود. لازم به تذکر است که در تمام این لحظات، اتم مس از لحاظ الکتریکی خنثی باقی می‌ماند. اگر چه الکترون آخرین لایه اتم‌های مس تغییر محل می‌دهند، اما هیچگاه نمی‌توان اتمی را پیدا کرد که در اثر این تبادل الکترونی، به صورت یون مثبت درآید و تعداد الکترون‌های آن از ۲۹ عدد کمتر گردد. باید به



خاطر داشت که با کنده شدن یک الکترون از اتمی، تعداد پروتون‌های آن بیشتر از تعداد الکترون‌هایش می‌گردد و بنا بر این اتم بار مثبت پیدا می‌کند. آنچه که باعث می‌شود یک ماده‌ای را هادی خوب الکتریسیته بدانیم، همان الکترون‌های آزاد و سرگردانی است که در اتم مس به این گونه مواد، می‌توان الکترون‌های آزاد آنها را در مسیر معینی به حرکت درآورد. حال بیایید ببینیم که هدایت الکتریکی در نیمه‌هادی‌ها چگونه اتفاق می‌افتد. مهمترین مواد نیمه‌هادی عبارتند از ژرمانیوم و سیلیکون. این مواد جزو عناصر می‌باشند و در گروه ۴ جای دارند همانطوری که قبلاً اشاره کردیم، می‌توان عناصر را بر حسب تعداد الکترون‌های والانس شان به چندین گروه تقسیم کرد. وقتی که می‌گوئیم ژرمانیوم و سیلیکون متعلق به گروه چهار می‌باشند، منظورمان این است که اتم‌های این عناصر دارای ۴ الکترون والانس می‌باشند. همانطوری که دیدیم فقط یک نوع بار الکتریکی (یعنی الکترون) در مواد هادی، مس، فول

هدایت جریان الکتریسیته می باشد. در نیمه هادی ها، هدایت الکتریکی توسط دو نوع بار الکتریکی به نام های الکترون و حفره انجام می گیرد.

"حفره" نامی است که به جای خالی ناشی از کندن یک الکترون اطلاق می شود. این الکترون که از اتم مادر کنده شده باعث تولید یک حفره می گردد. از طرف دیگر می توان حفره ها را چیزهای فرضی دانست که وجودشان برای بیان خصوصیات نیمه هادی ها ضروری است. قبل از بحث در مورد هدایت الکتریکی در نیمه هادی ها بهتر است، ببینیم که چرا اتم های ژرمانیوم و سیلیکون در کنار یکدیگر باقی می مانند.

در اینجا چیزی که در مورد ژرمانیوم گفته می شود برای سیلیکون نیز صادق است. بنا بر این ما به بحث در مورد رفتار یکی از آنها می پردازیم. در نیمه هادی ها کاربرد سیلیکون بیشتر است، به همین خاطر در مورد آن بحث می کنیم. ساختمان اتم سیلیکون را در شکل ۲-۳ نشان داده ایم. این اتم دارای ۱۴ الکترون است که بدور هسته می گردند. ۴ عدد از این الکترون ها در لایه نیمه پر "M" قرار گرفته اند. در یک نمونه سیلیکون، میلیون ها اتم در کنار هم گرد آمده اند و تشکیل یک ساختمان کریستالی را داده اند. در این نمونه، الکترون های والانس هر اتم علاوه بر اینکه توسط خودشان جذب می شود، تحت تاثیر نیروی جاذبه هسته اتم های همسایه نیز واقع می شود. بدین ترتیب اتم های مجاور هم، الکترون های والانس را به اشتراک می گذارند و پیوندی را بوجود می آورند که اتم ها را در کنار هم نگاه می دارد. پیوندی که بدین ترتیب از به اشتراک گذاردن الکترون ها ناشی می شود، پیوند کووالانس نامیده می گردد. در سیلیکون خالص ساختمان هندسی - کریستالی کامل آن فقط در دمای صفر درجه کلوین دیده می شود. درجه کلوین مقیاسی است که اغلب توسط فیزیکدانان بکار می رود. این دما (صفر درجه کلوین) برابر با ۲۷۳- درجه سانتیگراد است. گاهی از اوقات به جای صفر درجه کلوین، از دمای صفر مطلق استفاده می شود که هیچ فرقی بین آنها وجود ندارد. در دمای صفر مطلق اتم ها تشکیل ساختمان های کریستالی مشکی را می دهند. در دمای بالاتر از صفر مطلق، انرژی حرارتی ناشی از محیط باعث به ارتعاش در آمدن اتم ها می گردد.

این ارتعاشها به نوبه خود باعث شکستگی هایی در پیوند های کووالانسی می گردند. همانطوری که قبلاً گفتیم، اتم های سیلیکون توسط پیوند های کووالانسی در کنار هم ثابت نگاه داشته می شوند. از شکسته شدن پیوند های کووالانسی، الکترون ها و حفراتی با تعداد مساوی پدید می آیند. علت این تساوی نیز بسیار روشن است. زیرا همانطور که اشاره کردیم، هر حفره ناشی از جای خالی الکترونی است که اتم را ترک می کند. این جفت های الکترون - حفره به عنوان حامل های بار الکتریکی عمل کرده و باعث انتقال الکتریسیته در نیمه هادی ها می گردند. خصوصیات مهم نیمه هادی ها از همین جفت های الکترون حفره ناشی می شوند. تولید جفت های الکترون حفره با افزایش دما، بیشتر می شود و همین امر علت حساس بودن نیمه هادی ها در مقابل حرارت را نشان می دهد.

سیلیکون خالص با تعداد الکترون‌ها و حفرات مساوی که تولید می‌کند، نمی‌تواند در ساختن قطعات نیمه هادی مفید باشد. لازم است که بطریقه‌ای تعدادی از بارهای الکتریکی (الکترون یا حفره) را کم یا زیاد کرد. برای مثال تعداد الکترون‌ها بیشتر از حفرات یا کمتر از آن گردند. این همان پدیده‌ای است که با اضافه کردن مقدار بسیار کمی از عناصر گروه ۳ یا ۵ به سیلیکون روی می‌دهد. این عمل با دقت بسیار زیاد در شرایط کاملاً کنترل شده انجام می‌گیرد. عناصر گروه ۳ یا ۵ که به نیمه هادی‌ها اضافه می‌گردند ناخالصی نامیده می‌شوند. عملی را که در طی آن ناخالصی‌ها را وارد نیمه هادی‌ها می‌کنند دوپینگ (تخدیر کردن) می‌گویند. اضافه کردن عناصر گروه ۳ به سیلیکون باعث تولید سیلیکون نوع p می‌گردد. در سیلیکون نوع n تعداد حفره‌ها بیشتر است ولی در سیلیکون نوع p تعداد الکترون‌ها بیشتر است. حضور این بارهای الکتریکی که الکترون‌ها و حفره‌ها حامل آنها می‌باشند باعث هدایت الکتریکی در نیمه هادی‌ها همانند نوری که دیدیم، این نوع سیلیکون است که نوع حامل‌های بار الکتریکی را تعیین می‌کند. همچنین دیدیم که هدایت الکتریکی در جامدات ناشی از حامل‌های بار الکتریکی است. بدین ترتیب ماده‌ای که فاقد بار الکتریکی و حامل‌های آن است، نمی‌تواند الکتریسته را هدایت کند. این مواد غیر هادی را (عایق) می‌گویند. هادی‌ها، نیمه هادی‌ها و عایق‌ها، هر سه دارای ارزش و اهمیت یکسانی در رشته الکترونیک می‌باشند.

بخش ۱ پارامترهای الکتریکی

هر کمیتی که بتواند خصوصیات، ساختمان و عمل یک مدار الکتریکی را بیان کند، یک پارامتر الکتریکی نامیده می‌شود. این جمله، تعریف وسیعی برای پارامترهای الکتریکی است و شامل هر دو کمیت‌های ثابت و متغیر می‌گردد. پارامترهای ثابت مورد بحث عبارتند از: رزیستانس، اندوکتانس و کاپاستیانس. باید گفت که این کمیت‌ها مشمول تغییر شرایط محیطی می‌شوند و به عبارت دیگر تغییرات محیط می‌تواند باعث تغییر آنها گردد. پارامترهای متغیری که در این بخش مورد مطالعه قرار خواهند گرفت شامل جریان، ولتاژ، توان، امپدانس و آدmittانس می‌باشند. از دو پارامتر متغیر جریان و ولتاژ می‌توان کمک گرفته و با استفاده از آنها سایر پارامترها را تعریف نمود.

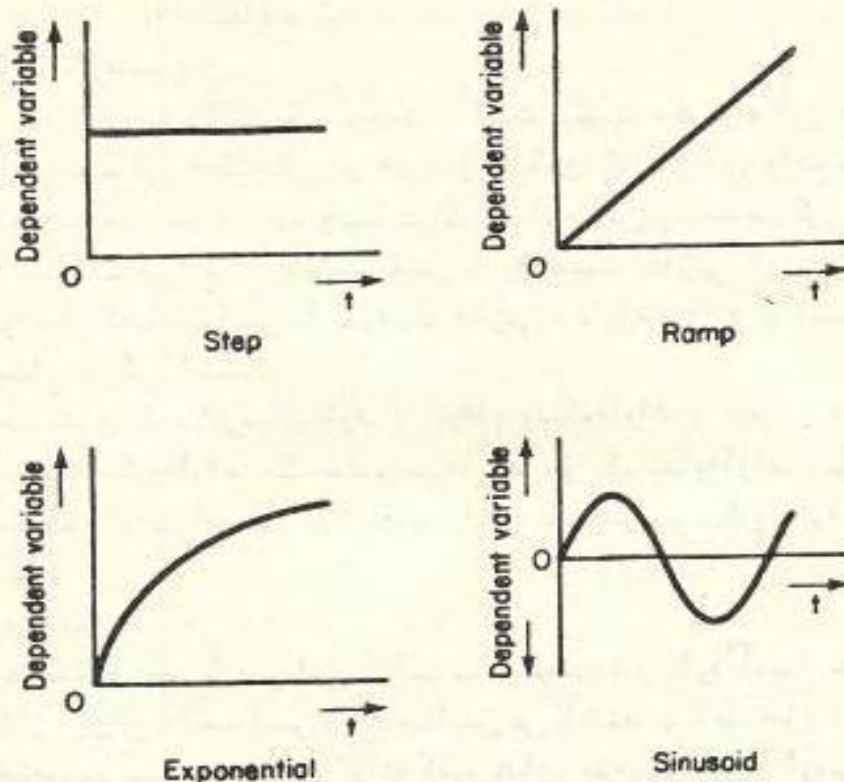
— پارامترهای ثابت:

— رزیستانس (مقدار مقاومت)

از بحث‌هایی که در مورد ساختمان اتم و هدایت الکتریسیته نمودیم، آموختیم که یک ماده شامل تعداد بسیار زیادی اتم است که در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند.

همچنین دانستیم که الکترون‌های خارجی‌ترین لایه اتم می‌توانند باعث انتقال الکترونیسته شوند. رزیستانس (مقاومت) پارامتری است که از حرکت بارهای الکتریکی جلوگیری می‌کند. بدین ترتیب حامل‌های بار الکتریکی قبل از تصادم با اتم دیگر جابجایی زیادی

شکل ۱-۴ :



سیگنال‌هایی که معمولاً با آنها مواجه می‌شویم

پیدا نمی‌کنند. این پدیده باعث افزایش تلفات انرژی به صورت حرارت و گرما می‌گردد. با افزایش مقدار مقاومت داخلی در یک ماده، تصادم الکترون‌های آزاد آن با اتم‌ها افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه تعداد کمتری الکترون آزاد برای انتقال الکتریسیته باقی می‌مانند. در این حالت مقدار بیشتری از انرژی الکتریکی به گرما تبدیل می‌شود. پارامتر رزیستانس در مقابل بارهای الکتریکی در حال حرکت، یکی از قوانین اولیه فیزیک است که در تمام مواد دیده می‌شود. مقدار مقاومت یک ماده مشخص در شرایط محیطی معلوم، ثابت است. برای اندازه‌گیری این کمیت احتیاج به یک واحد داریم. واحد اندازه‌گیری مقاومت اهم است. — اندوکتانس:

وقتی که یک بار الکتریکی به حرکت درمی‌آید، همراه با آن میدان مغناطیسی بوجود می‌آید. اگر مقدار حرکت بار الکتریکی در این وضعیت ثابت بماند، شدت نیروی مغناطیسی حاصل از آن نیز ثابت خواهد ماند. حال به هنگامی که مقدار حرکت بار یا بارهای الکتریکی تغییر پیدا کند، میدان مغناطیسی نیز بلافاصله مطابق با این تغییرات حرکت بار الکتریکی مخالف می‌کند. به عبارت دیگر با تغییر مقدار جریان الکتریکی از یک مدار می‌گذرد میدان مغناطیسی آن نیز تغییر کرده و تا حد امکان مانع از تغییرات جریان الکتریکی می‌گردد. این مخالفت در مقابل عبور و تغییر جریان را توسط پارامتری به نام اندوکتانس بیان می‌کنند. واحد اندوکتانس یا خاصیت القایی هانری

(II) است. یک هانری خاصیت خود القائی (اندوکتانس) مداری است که تغییری جریان یک آمپر در ثانیه باعث ایجاد نیروی محرکه القائی یک ولت در آن گردد. در عمل هانری واحد بسیار بزرگی است و بهتر است از واحدهای کوچکتر میلی هانری (mH) یا میکروهانری (μH) استفاده کرد.

— کاپاسیتانس (ظرفیت) :

هر جایی که مقداری بار الکتریکی وجود داشته باشد، همراه آن میدان الکتریکی نیز دیده می شود. این میدان الکتریکی بر هر بار دیگری که در آن واقع شده باشد، نیروی وارد می کند. به هنگام تشریح خصوصیات یک مدار: این پدیده یکی از پارامترهای مهم در بیان آن به حساب می آید. کاپاسیتانس یا خاصیت خازنی از پارامترهای مهم یک مدار می باشد. واحد کاپاسیتانس یا ظرفیت خازنی، فاراد (F) است. فاراد نیز مانند هانری، واحد بسیار بزرگی است.

در عمل ما از واحدهای کوچکتر میکروفاراد (μF)، پیکوفاراد (pF) و نانوفاراد (nF) استفاده می کنیم. یک میکروفاراد یک میلیونیم فاراد، و یک پیکوفاراد، یک میلیونیم میکرو فاراد، یا یک میلیونیم فاراد است. یک نانوفاراد، یک هزارم میکرو فاراد، یا یک هشتاد و یک میلیونیم فاراد است.

— پارامترهای متغیر:

پارامترهای متغیری که ما در این کتاب به بحث درباره آنها خواهیم پرداخت، شامل جریان، ولتاژ، توان، امپدانس و آدmittانس می باشند. اما قبل از انجام این کار لازم است نگاه مختصری به روشهای ارائه کمیت های متغیر بیاوریم.

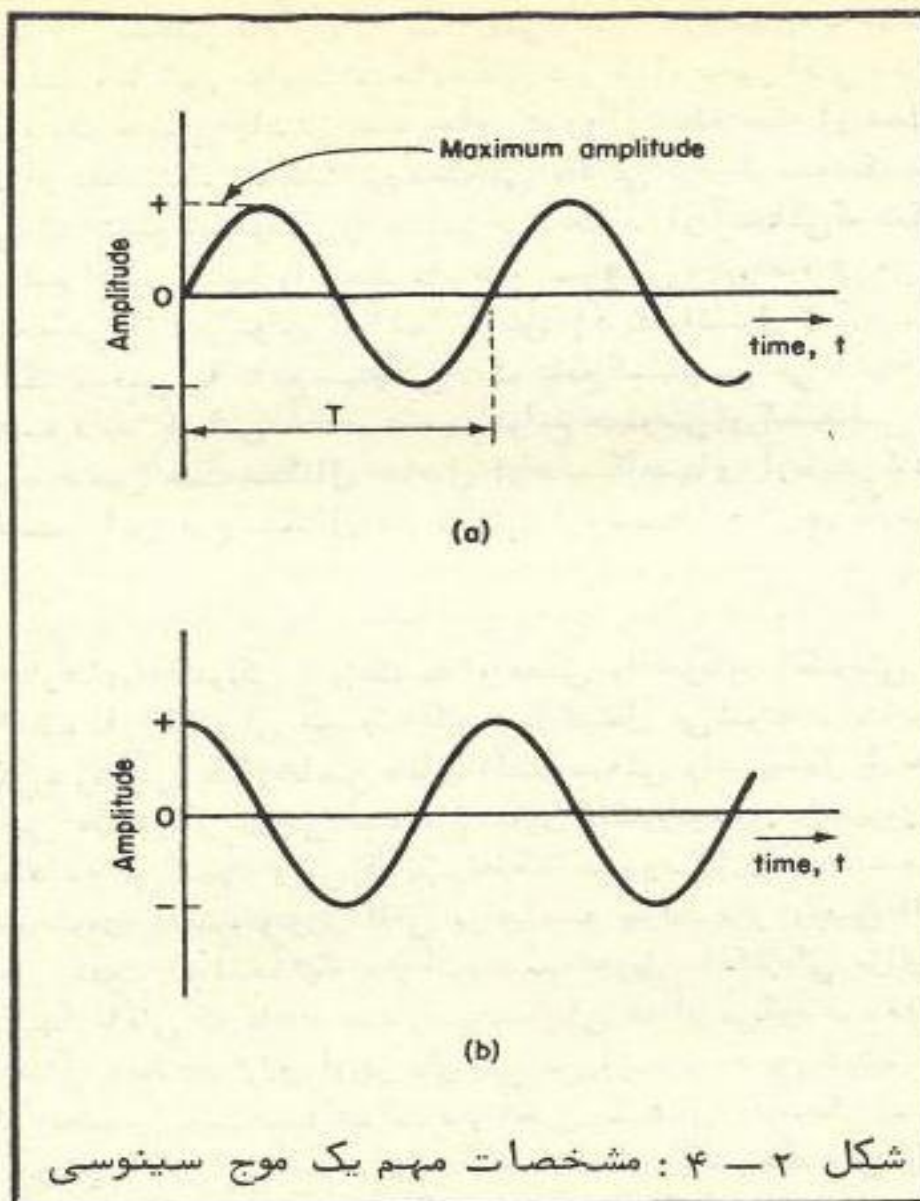
در بحث های مربوط به کمیت های متغیر، بهتر است ابتدا به تعریف متغیرهای مستقل و غیر مستقل پرداختیم و ببینیم که چگونه می توان آنها را از هم تشخیص دهیم. یک متغیر مستقل، متغیری است که بطور کامل "مستقل و بدون وابستگی با متغیرهای دیگر، تغییر پیدا می کند. زمان یکی از مثال های خوب برای متغیر مستقل است از طرف دیگر متغیر غیر مستقل یا وابسته، متغیری است که کاملاً "توسط متغیرهای دیگر تغییر پیدا می کنند و وابسته به آنها می باشند.

از جمله توابعی که اکثراً در مدارهای الکترونیک با آنها روبرو می شویم، می توان توابعی موجی (سیگنالی) پله ای (step)، شیبی (ramp)، نمائی (exponential) و سینوسی (sinusoidal) را نام برد. همانطور که گفتیم به هنگام بررسی مدارهای الکترونیک اغلب با یکی از این نوع سیگنال ها مواجه می شویم. این توابع موجی شکل در ارتباط با پارامترهای متغیری باشند که در رفتار مدار را توضیح می دهند. این سیگنال ها را در شکل ۱-۴ نشان داده ایم.

در دیاگرام هایی از این نوع که رابطه بین یک متغیر مستقل و یک متغیر غیر مستقل را نشان می دهند، معمول است که محور افقی را متغیر مستقل و محور عمودی را متغیر غیر مستقل فرض کرد.

در هر چهار دیاگرام که نشان داده ایم، متغیر مستقل زمان است که توسط محور افقی نمایش داده شده است.

تابع پلکانی یا پله ای، تابعی است که در زمان صفر، از مقدار صفر به مقدار معینی تغییر یابد. یک نمونه از تابع پلکانی که در عمل با آن مواجه می شویم، وقتی است که کلید



شکل ۲-۴ : مشخصات مهم یک موج سینوسی

منبع تغذیه را می‌بندیم و باتری یا منبع تغذیه را به مدار وصل می‌کنیم. تابع صعودی (رَمپ)، تابعی است که متناسب با زمان، بطور صعودی و خطی تغییر کند. این تابع به شکل سطح شیبدار و صاف می‌باشد. تابع دفاعی (اکسپونسیل) وابسته به ثابت ریاضی e می‌باشد. مقدار e برابر 2.718 است که اساس همان لگاریتم طبیعی است. تابع سینوسی، تابعی است که در آن بین متغیر مستقل و متغیر غیر مستقل، یک رابطه مثلثاتی وجود دارد. این تابع که شکل موجی آن سینوسی است، دارای اهمیت خاصی است و احتیاج به بحث و توجه بیشتری دارد. این تابع در شکل ۲-۴ با جزئیات بیشتری نشان داده شده است. تغییرات تابع سینوسی در امتداد محور عمودی را دامنه می‌نامند. توجه داشته باشید این منحنی از صفر شروع شده و به بالاترین مقدار مثبت خود می‌رسد. این منحنی پس از گذشت مدت زمان T دوباره به صفر می‌رسد. در اینجا زمان T را پریود موج (سیگنال) سینوسی می‌نامند. فرکانس f عبارت از تعداد پریودهای کامل در مدت زمان یک ثانیه می‌باشد. هر پریود را یک سیکل کامل نیز می‌نامند. ممکن است در مورد دامنه، از لغاتی مانند ماکزیمم دامنه و دامنه لحظه‌ای استفاده کنیم.

شکل ۲۵-۴ منحنی دیگری را نشان می‌دهد که شبیه به منحنی سینوسی —
 a ۲-۴ می‌باشد، با این تفاوت که جابجائی در طول محور افقی، در آن ایجاد شده
 است. به عبارت دیگر منحنی پائینی به جای شروع از نقطه صفر از محل ماگزیمم دامنه
 شروع شده است. از نقطه نظر ریاضیاتی، منحنی بالائی مربوط به یک تابع سینوسی است
 ولی منحنی پائینی یک تابع کسینوسی را نشان می‌دهد. از آنجائی که شکل هر دو این
 منحنی‌ها شبیه به هم است: آنها را تحت نام موج سینوسی، گروه‌بندی می‌کنیم. برای بدست
 آوردن شیب این منحنی‌ها، می‌توان از آنها مشتق (دیفرانسیل) گرفت. بنابراین —
 می‌بینیم که مشتق یک منحنی یا تابع سینوسی، یک تابع کسینوسی می‌باشد و بالعکس.
 بعدها خواهیم دید که این خاصیت مهم توابع سینوسی و کسینوسی دارای اهمیت
 بسیاری است و به همین علت سیگنال حاصل از دستگاههای آزمایش‌کننده یا تست،
 از نوع سینوسی است. این نوع سیگنال در بعضی از تست‌ها دارای کاربردهای ویژه‌ای
 است.

— جریان:

حرکت بار یا بارهای الکتریکی در یک مدار معین را جریان الکتریکی می‌نامند. در
 رساناها، قسمت اعظم بار الکتریکی توسط الکترون‌ها منتقل می‌شوند. بنابراین برای وجود
 یک جریان الکتریکی در مسیری یا مدار خاصی، باید الکترون‌های راد مسیر یا مدار به حرکت
 در آورد. برای این منظور از نیروئی به نام نیروی الکتروموتوری یا نیروی محرکه الکتریکی
 (الکتروموتیو) استفاده می‌کنیم. وقتی که یک قطعه سیم رسانا را به دو سر یک باتری
 می‌بندیم، می‌توانیم نیروی الکتروموتوری کافی برای به حرکت در آوردن الکترون‌های آزاد
 درون سیم را تأمین کنیم. از آنجائیکه در این سیم، جریان الکتریکی برای هدف خاصی
 بکارنرفته است و تنها عاملی که باعث محدودیت جریان مدار می‌گردد، مقاومت داخلی
 باتری است، این مثال فقط دارای ارزش تئوریک می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان ثابت
 کرد که نیروی الکتروموتوری باعث به حرکت در آمدن بارهای الکتریکی در مداری گردد
 واحد (شدت) جریان الکتریکی آمپر (A) است. در الکترونیک این واحد نسبتاً بزرگ
 است و از واحدهای فرعی کوچکتر آن استفاده می‌شود. این واحدهای کوچکتر که از واحد
 آمپر مشتق می‌شوند شامل میلی آمپر mA (یک هزارم آمپر)، میکرو آمپر μ A (یک میلیونیم آمپر)
 و نانو آمپر nA (یک میلیونیم میلی آمپر) می‌باشند. می‌توانیم برای آسانتر شدن کار
 بگوئیم که، یک آمپر برابر با ۱۰^۳ میلی آمپر یا ۱۰^۶ میکرو آمپر یا ۱۰^۹ نانو آمپر است.
 برای آن عده از خوانندگان که با این نوع اعداد آشنا نمی‌باشند، تذکر می‌دهیم که
 این اعداد را نمادهای علمی می‌نامند که شکل ساده‌ای از بیان اعداد نسبتاً بزرگ یا
 کوچک است. برای مثال ۱۰^۳ (ده به توان سه) شکل ساده شده عدد ۱۰۰۰ است
 ۱۰^۶ معرف عدد ۱۰۰۰۰۰۰ و ۱۰^۹ معرف عدد ۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ می‌باشند. در
 این روش، عددی که پائین قرار گرفته را پایه یا مبنا و عدد بالای آن را نمایا توان می‌گویند
 در اعداد بزرگ علامت، توان مثبت و در اعداد کوچک علامت آن منفی است (البته اعداد
 بزرگتر و کوچکتر از ۱). برای مثال عدد ۱۰^۳ معرف هزار (۱۰۰۰) و عدد ۱۰^{-۳}
 معرف یک هزارم (۰/۰۰۱) می‌باشند.

واحد اصلی بار الکتریکی، مقدار باری است که توسط یک الکترون حمل می‌شود.

از آنجائیکه جریانی که از یک مدار می‌گذرد، تحت تاثیر حرکت بارهای الکتریکی می‌باشد، آمپر به عنوان یک واحد نیز در ارتباط با حرکت بارهای مزبور است. با توجه به مطالب فوق می‌توان جریان یا شدت جریان الکتریکی را به صورت مقدار تغییر بار الکتریکی تعریف و بیان نمود. هر قدر این مقدار بزرگتر باشد، مقدار جریان نیز بیشتر خواهد بود. واحد بار الکتریکی کولن است. مقدار باری که در هر الکترون وجود دارد 1.6×10^{-19} کولن است.

آمر را در ارتباط با بار الکتریکی می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

یک آمپر عبارت از مقدار بار الکتریکی یک کولن است که در مدت زمان یک ثانیه از یک مدار می‌گذرد. بنابر این اگر در مدت زمان یک ثانیه، مقدار بار الکتریکی که از یک مدار معین می‌گذرد $1/5$ کولن باشد، جریان الکتریکی که از آن گذشته $1/5$ آمپر خواهد بود. همچنین اگر مقدار بار 2 کولن از یک مدار در مدت یک ثانیه بگذرد جریانی که از آن عبور کرده 2 آمپر خواهد بود. با توجه به اینکه جریان الکتریکی همان الکترونهاي در حال حرکت داخل مدار می‌باشند. می‌توان جریان مزبور و آمپر را در رابطه با الکترونهاي که از یک نقطه معین می‌گذرند بصورت ساده‌تری تعریف کرد. با توجه به اینکه می‌دانیم، مقدار بار الکتریکی هر الکترون 1.6×10^{-19} کولن است و هر آمپر نیز برابر با یک کولن ضربدر یک ثانیه می‌باشد، تعداد الکترونهاي که در شدت جریان یک آمپر در مدت یک ثانیه از نقطه معینی از مدار عبور می‌کنند را می‌توانیم محاسبه کنیم. برای این منظور کافی است که تناسبی تشکیل دهیم. این تناسب را با توجه به اینکه مقدار بار الکتریکی هر الکترون را می‌دانیم و همچنین می‌خواهیم تعداد الکترونهاي که مقدار بار 1 کولن را حمل می‌کنند را پیدا کنیم، تشکیل می‌دهیم. همچنین می‌توانیم از تقسیم مقدار بار 1 کولن بر مقدار بار هر الکترون، تعداد الکترونهاي را که شدت جریان 1 آمپر از مدار می‌گذرند را محاسبه کنیم. بدین ترتیب از تقسیم عدد 1 بر عدد 1.6×10^{-19} عدد 6.25×10^{18} بدست می‌آید. با این حساب می‌توان شدت جریان 1 آمپر را به صورت زیر تعریف کرد:

یک آمپر شدت جریانی است که باعث عبور 6.25×10^{18} عدد الکترون در مدت زمان

1 ثانیه از مقطع مدار می‌گردد. با مقایسه این عدد با اعداد معمولی در می‌یابیم که این تعداد الکترون واقعا "عدد بزرگی به حساب می‌آید."

— و لتاژ:

این لغت کلمه‌ای است که هم در زندگی روزمره و هم در رشته الکترونیک با آن بسیار زیاد برخورد می‌کنیم. وقتی که به یک مغازه الکتریکی مراجعه می‌کنیم و برای مثال به هنگام ساخت یک مدار الکترونیک، گاهی لازم می‌شود که مقدار ولتاژ را در نقاط مختلف مدار اندازه‌گیری کنیم. بدین ترتیب می‌بینیم که ولتاژ یکی از چیزهای مهمی است که باید مفهوم آن را درک کنیم.

قبلا دیدیم که برای به حرکت درآوردن یک یا چند الکترون در یک مسیر خاص احتیاج به نیروی الکتروموتوری (e.m.f) داریم. بدیهی است که در این مسیر ممکن است تصادم‌هایی پیش‌آید. باید توجه داشت که در این مسیر الکترونها و اتم‌هایی وجود دارند و احتمال تصادم زیاد است.

این عوامل (الکترونها و اتم‌های مزاحمی که در مسیر جریان الکتریکی وجود دارند)

در حقیقت همان خاصیت مقاومتی می باشند که در مواد مختلف دیده می شوند. اگر سطح مقطع مداری که الکترونهای آزاد در آن در حرکت می باشند کوچکتر شود، مسلم است که احتمال تصادمها نیز افزایش می یابد.

به عبارت دیگر، مقاومت الکتریکی سطح مقطع کوچکتر، بزرگتر می باشد. نیروی الکتروموتوری به مقابله با مقاومت برخاسته و راه را برای جریان الکتریکی هموار می سازد. نیروی الکتروموتوری همیشه در ارتباط با اختلاف پتانسیل ($p \cdot d$) یا ولتاژ می باشد. بین این دو نسبت مستقیمی وجود دارد.

هر قدر مقدار اختلاف پتانسیل بیشتر باشد، مقدار نیروی الکتروموتوری اعمال شده از منبع تغذیه یا باتری نیز بیشتر می گردد. بدین ترتیب مقدار این اختلاف پتانسیل معروف مقدار نیروی الکتروموتوری یا نیروی محرکه الکتریکی نیز می باشد. کلمه ولتاژ اغلب بجای اختلاف پتانسیل به کار می رود و دارای همان معنی است. واحد اختلاف پتانسیل الکتریکی ولت (v) است. یک ولت را بصورت زیر تعریف می کنیم:

یک ولت، اختلاف پتانسیل دو سر مداری است که مقاومت آن یک اهم و شدت جریان الکتریکی داخل آن یک آمپر است. — توان:

توان نیز مانند ولتاژ کلمه آشنائی برای ما است. مقدار توان یکی از کمیت های مهمی است که در ارتباط با وسایل الکتریکی ذکر آن ضروری است. یکی از سوالاتی که فروشندگان قطعات الکتریکی و الکترونیکی به هنگام فروش از خریدار می پرسند این است که وات قطعه مورد نظرتان چقدر باشد؟ وات، واحد توان (قدرت) است. این واحد در ارتباط با واحد دیگر انرژی، یعنی ژول می باشد. یک وات برابر با یک ژول بر ثانیه است. و این یکی از بهترین تعریفها برای توان می باشد. این تعریف بدین معنی است که از تقسیم ژول بر ثانیه می توانیم توان بر حسب وات را بدست آوریم. می توان گفت که توان عبارت است از سرعت مصرف انرژی و واحد آن وات است. اهمیت فیزیکی توان را در الکترونیک و الکتریسیته می توان بصورت زیر بیان کرده و آن را از نقطه نظر فیزیکی مورد بحث قرار داد. وقتی که در ماده ای که دارای مقاومت است، نیروی بر الکترونهاش وارد می کنیم و باعث جریان الکتریکی می گردیم، دمای آن بالا میرود. زیرا مقداری از انرژی الکتریکی به انرژی حرارتی تبدیل می شود. این پدیده در داخل جسم یا ماده مورد آزمایش رخ می دهد.

عامل اصلی که باعث این تبدیل انرژی می شود، همان برخوردها و تصادمهای بین الکترونها و الکترونها، و بین الکترونها و اتمها است. اگر جسم مذکور فاقد مقاومت بود، دیگر انرژی مصرف نمیشد و احتیاج به کلمه ای مانند توان نداشت. در اینجا باید بگوئیم که توان الکتریکی در ارتباط با ولتاژ و جریان نیز می باشد. زیرا جریانی که از یک مدار می گذرد و ولتاژی که به دو سر آن اعمال میشود، تحت تاثیر مقاومت مدار می باشند.

در حقیقت به همین خاطر است که با ضرب کردن ولتاژ در جریان، می توانیم مقدار توان را محاسبه کنیم. ما می توانیم این امر را بصورت معادله زیر نیز بیان کنیم:

$$P = VI \text{ watts}$$

با استفاده از قانون اهم که توسط جورج سیمون اهم پایه گذاری شده است و یکی از مهم ترین قوانین الکتریکی است، می توان توان الکتریکی را بصورت دیگری نیز تعریف و بیان کرد.

قانون اهم می تواند در یافتن رابطه ای که بین جریان الکتریکی یک مقاومت و ولتاژ د و سر آن وجود دارد، ما را کمک کند. این قانون می گوید که بین جریان و ولتاژ نسبت مستقیمی وجود دارد. اگر با افزایش مقدار کمیت یک متغیر معلوم، مقدار کمیت دیگر نیز افزایش یابد و یا با کم شدن آن مقدار دیگری نیز کم شود، می گوئیم که بین آنها نسبت مستقیم وجود دارد. بنابراین با استفاده از قانون اهم در می یابیم که مقدار جریان الکتریکی در یک مدار متناسب با اختلاف پتانسیل د و سر آن است. و این تناسب یا نسبت از نوع مستقیم است. در این ارتباط بین د و متغیر می توان از عددی استفاده کرد که مقدار آن ثابت است و آن را ثابت الکتریکی می نامند. با وارد کردن این عدد در تناسب می توان علامت بین د و متغیر را از تناسب به تساوی تغییر داد. این ثابت الکتریکی در قانون اهم مقاومت (رزیستانس) R است. قانون اهم را می توان بصورت زیر به شکل یک رابطه ریاضی یا معادله نیز بیان کرد:

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{معادله ۲-۴:}$$

با طرفین — و سادین کردن این معادله، می توان آن را به صورت زیر تغییر داد:

$$V = IR \quad \text{معادله ۳-۴:}$$

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{معادله ۴-۴:}$$

توان را با استفاده از قانون اهم می توان به صورت معادله های زیر نیز بیان کرد:

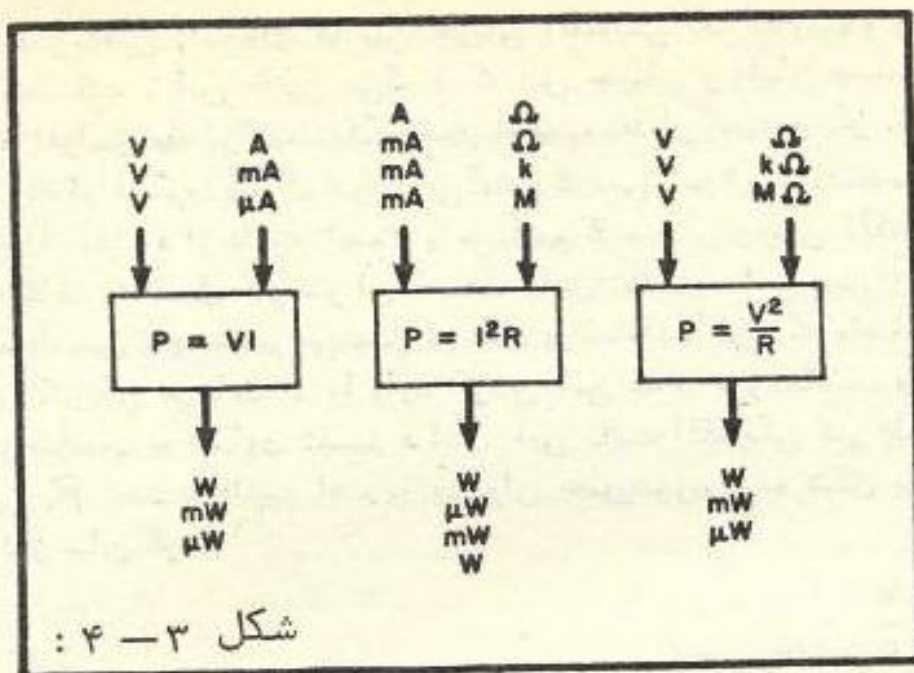
$$P = \frac{V^2}{R} \quad \text{معادله ۵-۴:}$$

$$P = I^2 R \quad \text{معادله ۶-۴:}$$

این معادلات را با استفاده از جایگزین کردن مقادیر مساوی آنها بدست آوردیم. یعنی با جانشین کردن معادله ۲-۴ به جای پارامتر I در معادله ۱-۴ توانستیم معادله ۵-۴ را نتیجه بگیریم و با جانشین کردن معادله ۳-۴ به جای پارامتر V در معادله ۱-۴ نیز نتوانستیم معادله ۶-۴ را بدست آوریم. در تمام معادله های فوق توان بر حسب وات، جریان بر حسب آمپر، ولتاژ بر حسب ولت، و مقاومت بر حسب اهم می باشند.

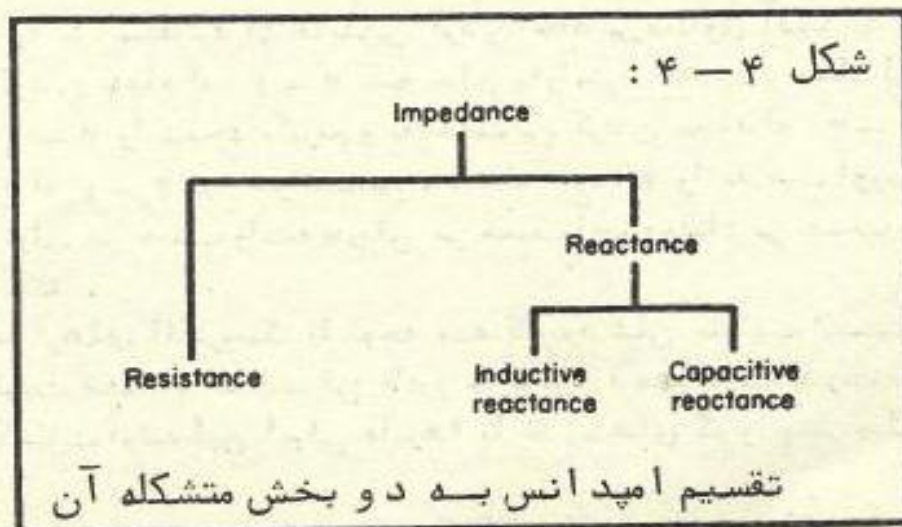
مقدار توان مدارهای الکترونیک با توجه به کاربردشان متفاوت است. طبقه خروجی یک آمپلی فایر (تقویت کننده) های — فی قادر به تولید ده ها وات قدرت می باشد — در صورتی که در طبقات اولیه این آمپلی فایرها با قدرتهای کم و چند میلی وات (mw) سروکار دارند.

از طرف دیگر مدارهای مجتمع CMOS که اغلب کاربرد دیجیتال دارند دارای مصرف بسیار کم در حدود چند میکرووات (w) می باشند. به هنگام استفاده از فرمول



یا معادله‌ای، ابتدا باید تمام مقادیر کمیت‌های معلوم را در معادله یا فرمول قرار داده، سپس آن را حل کرد. برای مثال اگر موضوع سزال جریان باشد، در فرمول‌های مربوطه I را مجهول فرض می‌کنیم و آن را بر حسب آمپر محاسبه کرده و بدست می‌آوریم. بهتر است واحدهای کمیت‌هایی را که بدست می‌آوریم را در جلوی‌شان بنویسیم.

به هنگام وارد کردن مقادیر و کمیت‌ها در فرمول‌ها، در مورد واحدها دقت کافی به عمل آورید و در صورت لزوم آنها را به واحدهای اصلی تبدیل کنید. برای مثال نمی‌توانید مقدار $1/1$ میلی‌آمپر را به همین صورت وارد فرمول کنید، بلکه باید آن را به واحد اصلی آن یعنی آمپر تبدیل کرده و محاسبات بعدی را انجام دهید. $1/1$ میلی‌آمپر برابر با 1×10^{-3} آمپر است. در مورد مقاومت‌ها هم باید این امر را رعایت کرد. برای مثال به جای مقدار 1 کیلو اهم در فرمول باید آن را بصورت 1×10^3 اهم نوشت. البته گاهی نیز می‌توان از این تبدیل‌ها چشم‌پوشی کرد. و در آخر تبدیل



نهایی آن را به واحد اصلی انجام داد. البته در مورد مقاومت و ولتاژ استثناهایی وجود دارد، که آنها را در شکل ۳-۴ نشان داده ایم. برای مثال در فرمول سمت چپ همین شکل، اگر ولتاژ بر حسب ولت و جریان بر حسب میلی آمپر باشد، واحد توان میلی وات خواهد شد و اگر ولتاژ بر حسب ولت، و شدت جریان بر حسب میکروآمپر باشد، واحد توان میکرووات خواهد شد. همچنین در فرمول وسطی این شکل اگر واحد مقاومت مگا اهم و واحد جریان میلی آمپر باشد، واحد توان وات خواهد شد. به هر حال برای اینکه گیج نشوید، بهتر است تمام کیفیت ها را به واحدهای اصلی خود یعنی وات، آمپر، ولت و اهم تبدیل کنید و سپس محاسبات لازم را انجام دهید. مستطیل هایی که در شکل ۳-۴ نشان داده شده اند، می توانند شما را در یافتن واحدها یاری کنند. هر کدام از این مستطیل ها دارای دو ورودی و یک خروجی می باشند. و به عبارت دیگر هر مستطیل برای هر دو کمیت ورودی دارای یک کمیت خروجی است. کمیت خروجی هر سه مستطیل موجود در این شکل توان است. برای اینکه استفاده از این شکل را بیاموزید به مستطیل سمت چپ نگاه کنید. در این بلوک، اگر ولتاژ و جریان بر حسب ولت و میلی آمپر باشند، توان بر حسب میلی وات خواهد بود.

محاسبات لازم را می توان بسادگی انجام داد و در صورت لزوم می توان از یک ماشین حساب کوچک که بتواند چهار عمل اصلی را انجام دهد، استفاده کرد. البته استفاده از ماشین هایی که دارای حافظه می باشند، راحت تر است. در این ماشین حساب ها می توان بعضی از پارامترها را به حافظه آن منتقل کرد و در مواقع ضروری آنها را وارد محاسبات زنجیری و پی در پی کرد. بدین ترتیب در وقت می توان صرفه جوئی نمود.

— امیدانس:

تلا* اموختم که مقاومت از حرکت جریان الکتریسیته معانعت می کنند. اندوکتانس و کاپاسیتانس نیز در شرائط خاصی می توانند چنین رفتار کرده و از عبور جریان جلوگیری کنند. مقاومت ناشی از پدیده های اندوکتانس و کاپاسیتانس را راکتانس می نامند و آن را با X نشان می دهند. مقاومت ناشی از اندوکتانس را راکتانس القایی (اندوکتیو) می نامند و با X_L آن را نشان می دهند. همچنین مقاومت ناشی از کاپاسیتانس را راکتانس خازنی (کاپاسیتیو) می نامند و با X_C آن را نشان می دهند. راکتانس نیز مانند رزیستانس (مقاومت) بر حسب اهم اندازه گیری می شود.

امیدانس کلمه ای است که ارتباط بین رزیستانس (مقاومت ساده) و راکتانس (مقاومت القایی و خازنی) را نشان می دهد. امیدانس، مقاومت ظاهری مدار را در مقابل عبور جریان بیان می کند. این مقاومت ظاهری در ارتباط با رزیستانس و یا راکتانس می باشد.

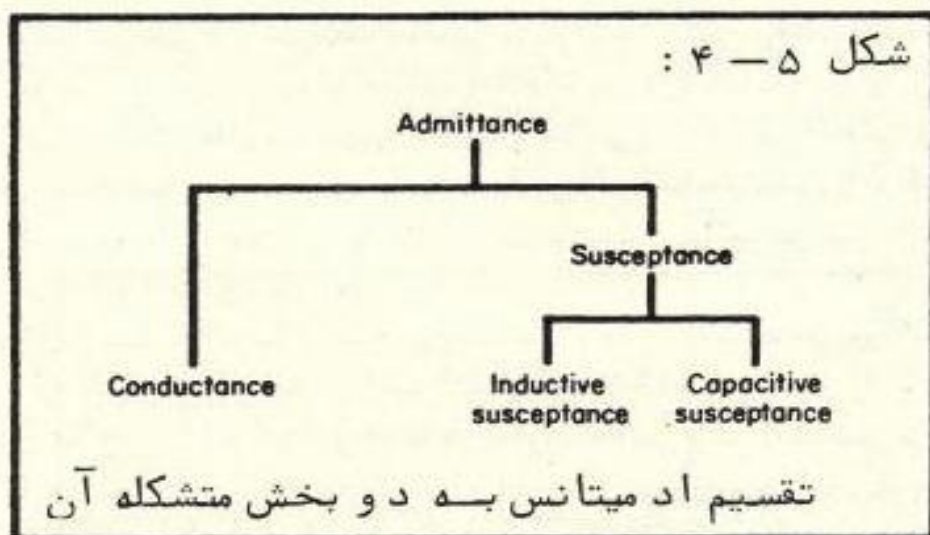
استفاده از کلمه امیدانس وقتی معنی دار است که شکل موجی جریان و ولتاژ مدار از نوع سینوسی می باشد. دلیل این امر هم این است که راکتانس تابعی از فرکانس است و فقط وقتی می توانیم از فرکانس صحبت کنیم که کمیت مزبور در واحد زمان دارای تغییرات سی클یک باشد. راکتانس القایی بطور مستقیم متناسب با مقدار اندوکتانس و فرکانس است. یعنی با افزایش مقدار اندوکتانس و یا فرکانس مدار، راکتانس القایی نیز افزایش می یابد. از طرف دیگر راکتانس خازنی، بطور معکوس متناسب با مقدار کاپاسیتانس (ظرفیت خازن) و فرکانس است. یعنی با افزایش مقدار کاپاسیتانس و یا فرکانس، مقدار راکتانس خازنی مدار کاهش می یابد. بنابر این راکتانس یک سیم پیچ در فرکانس بی نهایت، بی نهایت خواهد بود در صورتیکه

راکتانس یک خازن در فرکانس بی نهایت، صفر خواهد بود. این موضوع را در مورد فرکانس صفر نیز می توان بیان کرد. یعنی راکتانس سیم پیچ در فرکانس صفر، صفر می باشد و لسی راکتانس خازن در فرکانس صفر، بی نهایت است. همانطور که در شکل ۴-۴ می بینید - - - - - امیدانس را می توان به دو قسمت رزیستانس و راکتانس تقسیم کرد. این شکل بطور خلاصه مطالب فوق را بیان می کند.

— آد میتانس:

کلمه آد میتانس (پذیرش) دارای معنی کاملاً متضادی با امیدانس است. سهولت مدار و قابلیت بیشتر عبور جریان الکتریکی در آن را آد میتانس می نامند. پس می بینیم که امیدانس از عبور جریان ممانعت می کند ولی آد میتانس باعث سهولت عبور جریان می گردد. آد میتانس را مانند امیدانس می توان به دو قسمت تقسیم کرد که عبارتند از کند وکتانس (رسانائی) و سوسپتانس (استعداد و پذیرش الکتریسیته).

بر طبق تعریف کند وکتانس دارای معنی کاملاً معکوس با رزیستانس است و قابلیت رسانائی ساده الکتریسیته را در اجسام بیان می کند. کند وکتانس عکس رزیستانس است. برای آن عده از دوستانی که آگاهی کافی ندارند، می گوئیم که از تقسیم یک (۱) بر هر عدد می توان عکس آن را بدست آورد. برای مثال عکس ۵، عدد ۲/۵ است. همانطوری که گفتیم بین کند اکتانس و رزیستانس، نسبت عکس وجود دارد. همچنین بین راکتانس و سوسپتانس رابطه معکوس وجود دارد. آد میتانس، کند وکتانس و سوسپتانس را بر حسب زمینس و اندازه گیری می کنند. تقسیم آد میتانس را به کند وکتانس و سوسپتانس در شکل ۴-۵ نشان داده ایم. همانطوری که در این شکل می بینید، سوسپتانس نیز مانند راکتانس به دو قسمت تقسیم شده است. این دو قسمت را سوسپتانس القائی و سوسپتانس خازنی می نامند.



— مثال های فرضی :

مثال ۴-۱ :

سختال متناوبی دارای پریود ۱ میلی ثانیه است. فرکانس آن چقدر است؟

در اینجا فرکانس را از فرمول $f = \frac{1}{T}$ می توانیم بدست آوریم.

بنابر این :

$$f = \frac{1}{1 \times 10^{-3}} \text{ Hz} \quad \text{هرتز}$$

$$= 1000 \text{ Hz} \quad (\text{هرتز})$$

مثال ۲-۴ :
 سیگنال موجی شکل دارای فرکانس ۱ کیلو هرتز است. پریود آن را پیدا کرده و جواب را بر حسب میکرو ثانیه بیان کنید ؟

در اینجا پریود را می توان از فرمول $T = \frac{1}{f}$ بدست آورد .

بنابر این :

$$T = \frac{1}{10 \times 10^3} \text{ sec} \quad \text{ثانیه}$$

$$= 10^{-4} \text{ sec.} \quad \text{ثانیه}$$

برای تبدیل جواب به میکرو ثانیه ، آن را در 10^6 ضرب می کنیم :

بنابر این :

$$T = 10^{-4} \times 10^6$$

$$= 10^2 \mu S \quad \text{میکرو ثانیه}$$

مثال ۳-۴ :
 مقاومت موجود در مدار آمتریک طبقه تقویت کننده ترانزیستوری ۲/۷ کیلو اهم است ، ولتاژ دو سر این مقاومت ۲ ولت است . مقدار جریانی که از این مقاومت می گذرد را پیدا کنید ؟
 این مثالی است که ما باید در آن از قانون اهم استفاده کنیم . با استفاده از معادله

$$I = \frac{V}{R}$$

۲-۴ می دانیم که :

در اینجا اگر ولتاژ بر حسب ولت ، و مقاومت بر حسب کیلو اهم بیان شود ، واحد شدت جریان میلی آمپر خواهد بود . با جایگزاری مقادیر معلوم در فرمول ، جواب را بدست می آوریم :

$$I = \frac{2}{2.7} \text{ mA} \quad \text{میلی آمپر}$$

$$= 0.74 \text{ mA} \quad \text{میلی آمپر}$$

مثال ۴-۴ :
 ولتاژ دو سر یک مقاومت و جریانی را که از آن عبور می کند را اندازه گرفته و آنها را به ترتیب برابر ۵/۶ ولت و ۱ میلی آمپر بدست آوردیم . مقدار این مقاومت را پیدا کنید .
 در اینجا دوباره از قانون اهم استفاده می کنیم . با استفاده از معادله ۳-۴ داریم :

$$R = \frac{V}{I} \text{ ohms} \quad \text{اهم}$$

در این فرمول اگر ولتاژ بر حسب ولت و جریانی بر حسب میلی آمپر باشد ، مقاومت بر حسب کیلو اهم خواهد بود . بنابر این :

$$R = \frac{5.6}{1} \text{ k}\Omega \quad \text{کیلو اهم}$$

$$= 5.6 \text{ k}\Omega \quad \text{کیلو اهم}$$

مثال ۵-۴:

مقدار توان تلف شده در مقاومت مثال ۴-۴ را پیدا کنید ؟

با استفاده از معادله ۱-۴ می‌توانیم توان را از رابطه زیر بدست آوریم:

اگر در این فرمول ولتاژ بر حسب ولت و جریان بر حسب میلی آمپر باشد، توان بر حسب میلی وات خواهد شد. بنابراین،

$$P = VI \text{ watts} \quad \text{میلی وات}$$

$$P = 5.6 \times 1 \text{ mW} \\ = 5.6 \text{ mW}$$

مثال ۶-۴:

جریان الکتریکی که از یک مقاومت $2/7$ کیلو اهمی عبور می‌کند را اندازه گرفته و آن را برابر $4/5$ میلی آمپر بدست آوردیم. توان تلف شده در این مقاومت را پیدا کنید ؟

با استفاده از معادله ۶-۴ داریم:

$$P = I^2 R \text{ watts} \quad \text{وات}$$

در این فرمول، اگر جریان بر حسب میلی آمپر و مقاومت بر حسب کیلو اهم باشد، توان بر حسب میلی وات خواهد بود.

$$P = (2.5)^2 \times 2.7 \text{ mW}$$

بنابراین:

$$= 16.875 \text{ mW.}$$

بخش ۵

قطعات خطی در مدار

قطعاتی که در یک مدار الکترونیک بکار می‌روند را به دو دسته خطی و غیر خطی تقسیم می‌کنند. به قطعه‌ای خطی می‌گویند که رابطه بین ولتاژ و جریان در آن بصورت خطی باشد. یعنی افزایش یکی از پارامترهای متغییر در آن باعث تغییر متناسب در دیگری گردد. وقتی که می‌خواهیم رابطه بین ولتاژ و جریان را در مورد قطعات خطی به صورت نمودار رسم کنیم، با خط راستی مواجه می‌شویم که دارای شیب مشخصی است.

قطعات خطی را بدو دسته قطعات پاسیو (غیر فعال) و اکتیو (فعال) تقسیم می‌کنند. به قطعه‌ای پاسیو می‌گویند که در مدار اطراف خود نتواند باعث افزایش قدرت (توان) سیگنالی گردد. با توجه به این تعریف، مقاومت‌ها، خازن‌ها، سیم پیچ‌ها و تراנסفورمرها را می‌توان جزو قطعات پاسیو طبقه بندی کرد. به همین ترتیب به قطعه‌ای که در مدار اطراف خود باعث افزایش توان سیگنالی گردد، قطعه اکتیو می‌گویند. بر طبق این تعریف، لامپ ترمیونیک، ترانزیستور و دیود تونل جزو قطعات اکتیو می‌باشند. هر دو قطعات پاسیو و اکتیو در الکترونیک دارای کاربرد زیادی می‌باشند بنابراین شناختن این قطعات و رفتار آنها می‌تواند کمک مهمی برای درک مدارات الکترونیک باشد.

— قطعات پاسیو در مدار:

— مقاومت:

مقاومت قطعه‌ای است که دارای خاصیت رزیستانس (مقاومت ساده الکتریکی) می‌باشد مقاومتها در مدارهای مختلف بکار می‌روند و می‌توانند کارهای مختلفی را انجام دهند.

از مهمترین اینکارها می توان ، محدود کردن جریان و تضعیف ولتاژ را نام را برد . یک مقاومت باعث جذب و در نتیجه تضعیف انرژی الکتریکی می گردد . از آنجائیکه انرژی نده می تواند از بین برود و نه خود بخود بوجود می آید ، در می یابیم که مقدار انرژی الکتریکی جذب شده توسط مقاومت به انرژی حرارتی تبدیل شده و باعث افزایش دمای مقاومت و در نتیجه محیط می گردد .

از لحاظ فیزیکی این تبدیل انرژی به خاطر برخورد های الکترون ها به هم و اتم ها می باشد . افزایش مقدار تبدیل انرژی الکتریکی به حرارتی از یک مقدار معین به بعد باعث خرابی و آسیب دیدن مقاومت می گردد ، زیرا در این صورت حرارت تولید شده نمی تواند با سرعت کافی به محیط منتقل شود و در نتیجه باعث گرم شدن بیش از حد مقاومت می گردد به همین خاطر است که مقاومت ها را با قدرتهای متفاوت می سازند . مقاومتی که در مداری بکار گرفته می شود ، باید توانی بیش از توان مدار را دارا باشد تا آسیب نبیند .
— اتصال سری مقاومت ها :

وقتی که دو یا چند مقاومت را بطور سری به هم می بندیم ، مقدار کل مقاومت آنها افزایش می یابد . دیاگرام شکل ۱-۵ مداری را نشان می دهد که شامل یک باتری ، سه مقاومت ، و یک کلید است . تمام این قطعات در مدار مزبور بطور سری با هم بسته شده اند با بستن کلید مدار ، الکترون ها از ترمینال منفی باتری به حرکت در آمده و از طریق مسیری که شامل مقاومت های سری می گردد ، به ترمینال مثبت باتری میرسند . این مقاومت ها تنها مسیر ممکن و در دسترس برای عبور الکترون ها می باشند . جریانی که از هر کدام از مقاومت ها می گذرد با هم مساوی می باشند . به همین خاطر ، مقدار کل مقاومت در این مدار برابر با مجموع جبری هر کدام از مقاومت ها می باشد . بنابراین مقاومت کل در اتصال سری مقاومت ها از رابطه زیر بدست می آید :

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

معادله ۱-۵

این معادله برای هر تعداد مقاومتی که بطور سری به هم بسته می شوند ، با ارزش است . اگر مقدار مقاومت های سری موجود در مداری با هم برابر باشند ، داریم :

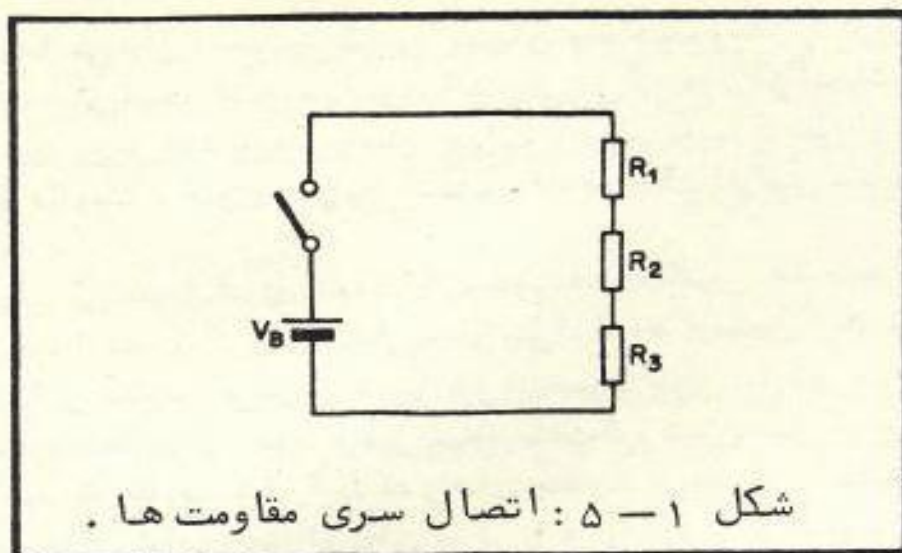
$$R_T = nR$$

معادله ۲-۵ :

در این معادله " n " معرف تعداد مقاومت هایی است که با هم بطور سری بسته شده اند و " R " هم نشان دهنده مقدار هر کدام از مقاومت ها است .

— اتصال موازی مقاومت ها :

وقتی که دو یا چند مقاومت را با هم بطور موازی می بندیم ، مقدار مقاومت کل آنها کاهش می یابد . مقدار این مقاومت کل ، کمتر از کوچکترین مقدار مقاومتی است که در مدار موجود می باشد . دیاگرام شکل ۲-۵ مداری را نشان می دهد که یک باتری ، یک کلید ، و سه مقاومت موازی است . وقتی که کلید این مدار را می بندیم ، الکترون ها با استفاده از سه مسیر مختلف از ترمینال منفی به سمت ترمینال مثبت می روند . این جریان الکتریکی به سه قسمت شده و هر قسمت از داخل یکی از مقاومت ها عبور می کند . مجموع جریان هایی که از این مقاومت های موازی می گذرد با کل جریان مدار برابر است . هر چقدر مقدار مقاومت ها بیشتر باشد ، جریان کمتری از آنها و در نتیجه مدار خواهد گذشت . به همین خاطر ، مقدار مقاومت کل مداری که در آن همه مقاومت ها بصورت موازی با هم می باشند ، برابر با جمع جبری عکس هر کدام از آنها است .



بنابر این مقدار مقاومت کل در اینجالت را می توان از معادله زیر بدست آورد :

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

معادله ۳-۵ :

این معادله در مورد هر تعداد مقاومتی که بصورت موازی بسته می شوند ، صادق است . اگر مقدار مقاومت ها در مدار موازی ، با هم مساوی باشند ، داریم :

$$\frac{1}{R_T} = \frac{n}{R}$$

معادله ۴-۵ :

در این معادله " n " معرف تعداد مقاومتها و " R " معرف مقدار هر کدام از آنها است . معادله ۴-۵ را می توان به صورت زیر تغییر داد .

$$R_T = \frac{R}{n}$$

معادله ۵-۵ :

اغلب به هنگام کارهای عملی ، می خواهیم که مقدار کل مقاومت ، دو مقاومت غیرمساوی را که بطور موازی با هم بسته شده اند را پیدا کنیم . یکی از راههای ساده برای اینکار استفاده از معادله ۳-۵ است . حال اگر مقاومت های R_1 و R_2 موضوع سؤال باشند از معادله زیر استفاده می کنیم :

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

معادله ۶-۵ :

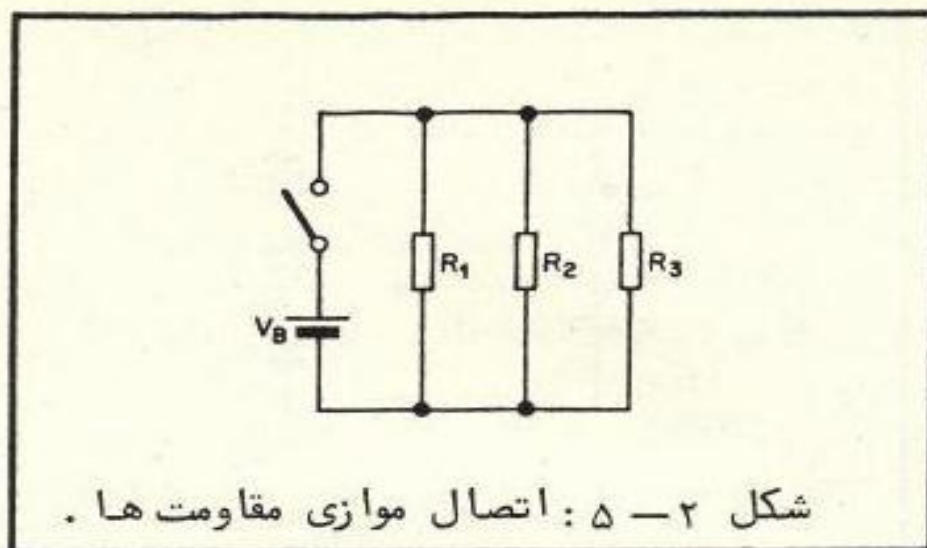
بعضی از مواقع مقدار مقاومت کل و همچنین مقدار یکی از مقاومتها را می دانیم و می خواهیم مقدار مقاومت دیگر را محاسبه کنیم . برای این منظور از فرمول های زیر استفاده می کنیم که شکل تغییر یافته ای از فرمول ۶-۵ می باشند :

$$R_1 = \frac{R_T R_2}{R_2 - R_T}$$

معادله ۷-۵ :

$$R_2 = \frac{R_T R_1}{R_1 - R_T}$$

وقتی که تعداد مقاومت های موازی از دو تجاوز کند ، باید از معادله ۳-۵ استفاده کنیم .



— خازن :

خازن دارای خاصیت ذخیره کنندگی بار الکتریکی است به عبارت دیگر خازن می تواند جریان الکتریکی را در خود ذخیره نماید .

ساده ترین شکل خازن شامل دو صفحه فلزی رسانا است که بین آنها یک لایه عایق یا دی الکتریک قرار گرفته است . بر خلاف مقاومت که انرژی الکتریکی را جذب می کند خازن می تواند انرژی الکتریکی را ذخیره کند . انرژی الکتریکی در خازن به شکل میدان الکتریکی ، ذخیره و نگهداری می شود .

میدان الکتریکی ، فضائی است که بار الکتریکی در آن تحت تاثیر نیروی الکتریکی قرار می گیرد . شدت میدان الکتریکی که بین دو صفحه خازن بوجود می آید ، متناسب با مقدار بار الکتریکی است که در آن ذخیره شده است . خازن ها دارای انواع و شکل های گوناگون می باشند . انتخاب هر کدام از خازن ها ، بستگی به کاربرد آنها دارد . همان طوری که در شکل ۳-۵ مشاهده می کنید ، خازن را بصورت دو خط موازی هم نشان می دهند . وقتی که در مورد خازن ها صحبت می کنیم ، با سه کمیت مهم مواجه می شویم اینها عبارتند از : بار الکتریکی (Q) ، ظرفیت (C) ، ولتاژ کار (V_W) . بین بار الکتریکی ، ظرفیت و ولتاژ کار در خازن رابطه زیر وجود دارد :

$$Q = VC \text{ coulombs} \quad \text{معادله ۵-۸ : کولن}$$

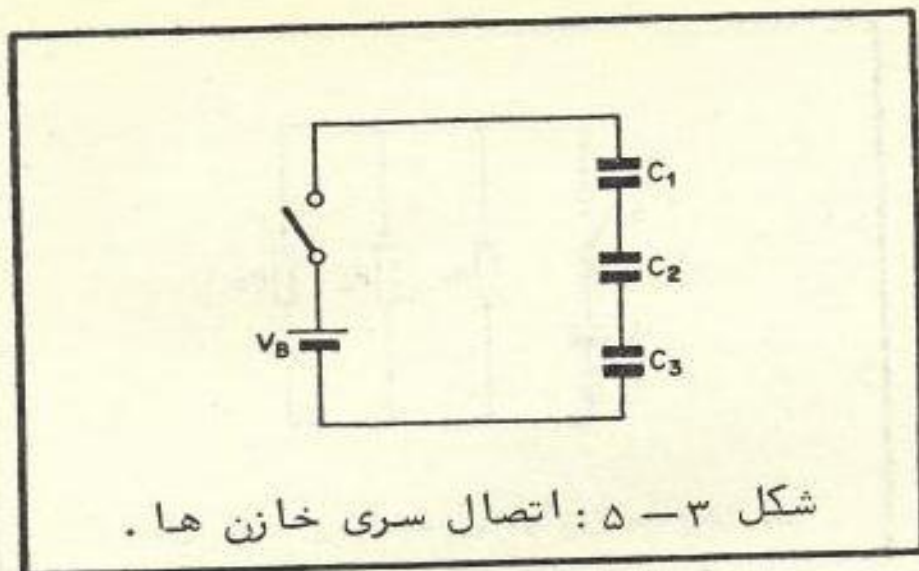
بین ابعاد خازن و ظرفیت آن و همچنین ولتاژ کارش ، نسبت مستقیمی وجود دارد . هر چقدر اندازه و سائز خازن بزرگتر باشد ، نشانه این است که ظرفیتش زیاد و ولتاژ کارش نیز بالا است . باید توجه داشت که تکنیک های ساخت و جنس دی الکتریک ها نیز نقش موثری در سائز خازن ها دارند .

— اتصال سری خازن ها :

ما می توانیم با بستن خازن ها به طور سری ، ظرفیت مورد نظرمان را بدست آوریم .

با بستن خازن ها به طور

سری ظرفیتشان کاهش می یابد و به عبارت دیگر ظرفیت کل آنها کمتر از کوچکترین ظرفیت خازن موجود در مدار می گردد . فرمول هایی که برای اتصال سری خازن ها نوشته میشود شبیه فرمول های مقاومت های موازی است . علت این تشابه این است که در خازن های



شکل ۳-۵: اتصال سری خازن ها .

سری، بار الکتریکی بین خازن ها پخش می شود . تجربیات نشان داده اند که در حالت سری، هر کدام از خازن ها می توانند مقدار مساوی بار الکتریکی را در خود ذخیره کنند . در حالت موازی مقاومتها دیدیم که ولتاژ دو سر هر کدام از آن ها با هم مساوی بود . این دلایل تشابهی وقتی آشکار می شوند که این مشاهدات در ارتباط با فرمول بار الکتریکی در خازن ها و ولتاژ دو سر مقاومت ها، بیان شوند .

برای درک، بهتر مطالب، شکل ۳-۵ را در نظر بگیرید . این شکل مداری را نشان می دهد که شامل یک باتری، یک کلید و سه خازن سری است . وقتی یک کلید بسته می شود، مقدار بار الکتریکی لازم برای هر کدام از خازن ها، با هم مساوی است . از آنجائیکه ولتاژ باتری در اینجا برابر با مجموع جبری ولتاژ دو سر هر کدام از خازن ها است، و ولتاژ آن برابر است با بار الکتریکی تقسیم بر ظرفیت خازن، فرمولی مانند معادله زیر را در مورد ظرفیت کل خازن های سری بدست می آوریم:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

معادله ۹-۵

وقتی که تعداد خازن های سری دو عدد باشد، ظرفیت کل آنها را می توان از معادله زیر بدست آورد :

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

معادله ۱۰-۵ :

پس می بینیم که در مورد دو خازن سری، ظرفیت کل را می توان از تقسیم حاصل ضرب ظرفیت ها بر حاصل جمع آنها بدست آورد . وقتی که تعداد خازن هایی که بطور سری به هم بسته شده اند برابر "n" باشد و ظرفیت آنها با هم مساوی باشد، ظرفیت کل را از معادله زیر بدست می آوریم:

$$C_T = \frac{C}{n}$$

معادله ۱۱-۵ :

— اتصال موازی خازن ها :

همانگونه که می توان با اتصال سری خازن ها، بعضی از ظرفیت های لازم را بدست آورد، اینکار را می توان با اتصال موازی خازن ها نیز انجام داد . در اتصال موازی خازن ها، ظرفیت کل برابر است با مجموع جبری ظرفیت هر کدام از خازن ها .

معادلاتی که در مورد خازن های موازی بکار می روند شبیه به معادله های مقاومت های سری است . این امر می تواند کمک موثری در به خاطر سپردن معادله ها بنماید . علت

این تشابه، تساوی ولتاژ در خازن ها و تساوی جریان در مقاومت ها است. این مشاهدات در ارتباط با فرمول بار الکتریکی در خازن و فرمول جریان در مقاومت است.

حال بیایید به بررسی مدار شکل ۴-۵ بپردازیم. با بسته شدن کلید، مقداری بار الکتریکی بر حسب ظرفیت هر خازن به آن منتقل می شود. بنابراین در حالت موازی اتصال خازن ها، اگر ظرفیت خازن ها یکی نباشند، بار الکتریکی آنها با هم مساوی نخواهند بود. اما، از آنجائیکه ولتاژ دو سر هر خازن با خازن دیگر و ولتاژ دو سر باتری مساوی است، و بار کل الکتریکی برابر با جمع جبری بار هر کدام از خازن ها است، فرمول زیر را برای ظرفیت کل خازن ها در حالت موازی نتیجه می گیریم:

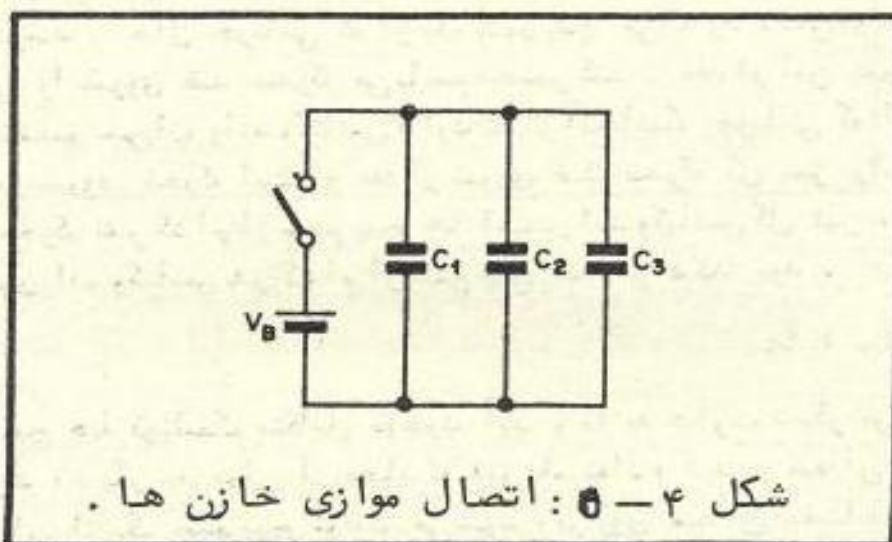
$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 \quad \text{معادله ۱۲-۵}$$

اگر "n" عدد خازن با ظرفیت مساوی به طور موازی با هم بسته شوند، ظرفیت کل آنها را می توان از فرمول زیر بدست آورد:

$$\text{معادله ۱۳-۵}$$

$$C_T = nC \quad \text{— سیم پیچ}$$

سیم پیچ قطعه ای است که دارای خاصیت اندوکتانس است. ساده ترین شکل سیم پیچ شامل چند دور سیم است. این ساختمان را کویل نیز می نامند. مقدار اندوکتانس بستگی به تعداد دور سیم پیچ و جنس هسته دارد. یکی از خواص مغناطیسی ماده که آن را نفوذ پذیری مغناطیسی (پرماییلیتی) نیز می نامند بر روی اندوکتانس سیم پیچ

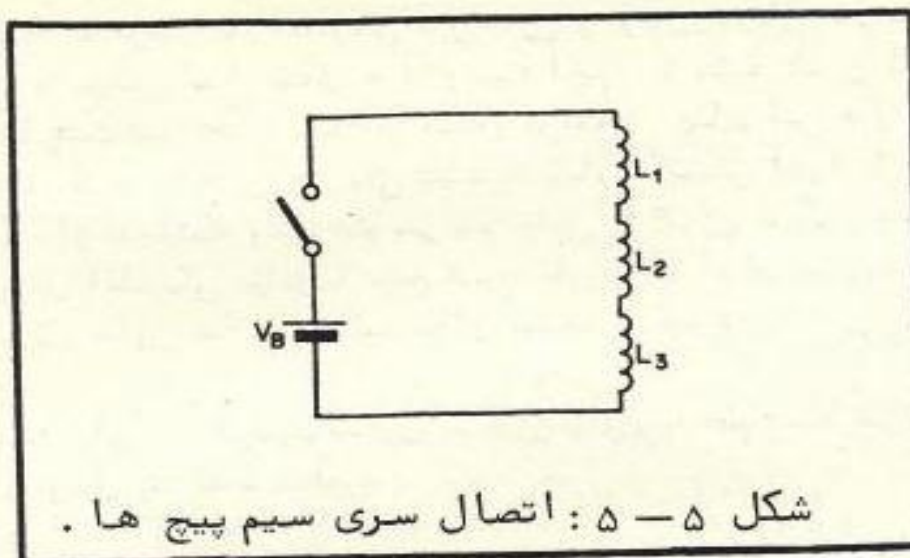


شکل ۴-۵: اتصال موازی خازن ها.

موثر است و یکی از عوامل تعیین کننده مقدار آن می باشد. در یک سیم پیچ معین، هر چه قدر مقدار نفوذ پذیری مغناطیسی بیشتر باشد، مقدار اندوکتانس نیز بیشتر می گردد. یک سیم پیچ با استفاده از خاصیت اندوکتانس می تواند انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کند. این انرژی در میدان مغناطیسی که توسط جریان الکتریکی تولید می شود، ذخیره می گردد. سیم پیچ نیز مانند خازن و مقاومت دارای کاربردهای فراوانی در الکترونیک می باشد. البته اغلب موارد استفاده از آن در مدارهای فرکانس رادیویی است.

— اتصال سری پیچ ها:

اندوکتانس کل حاصل از اتصال چند سیم پیچ بستگی به چگونگی اتصال و بستن آنها دارد. در صورتیکه سیم پیچ ها را طوری به هم ببندیم که برهم اثر مغناطیسی نگذارند، به آسانی می توانیم اندوکتانس کل آنها را حساب کنیم. شکل ۵-۵،



دیاگرامی است که در آن سه عدد سیم پیچ سری توسط یک کلید به یک باتری متصل می باشد فرض می کنیم که بین این سه سیم پیچ کوپلینگ (تزوید) مغناطیسی وجود ندارد . وقتی که کلید این مدار را می بندیم جریان شروع به ازدیاد می کند و با شیب (ضریب زاویه) ثابتی که توسط اندوکتانس کل کنترل می شود ، افزایش می یابد .

از آنجائیکه مقاومتی در کار نیست (البته در تئوری) ، مقدار جریان در زمان بینهایت باید به بینهایت برسد . حال جریانی که از یک سیم پیچ می گذرد ، نمی تواند بدون افزایش چیزی که آن را نیروی ضد محرکه می نامیم تغییر کند . مقدار این نیروی ضد محرکه بستگی به اندازه تغییر جریان و اندوکتانس دارد . از آنجائیکه جریانی که از سیم پیچ ها می گذرد تحت تاثیر نیروی محرکه است و مقدار نیروی ضد محرکه کل نیز برابر با مجموع جبری نیروی ضد محرکه هر کدام از سیم پیچ ها است ؛ اندوکتانس کل نیز در حالت سری برابر با مجموع جبری اندوکتانس هر کدام از سیم پیچ ها خواهند بود .

یعنی :

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3$$

معادله ۱۴-۵ :

اگر بین سیم پیچ ها کوپلینگ متقابل بوجود آید و یا به عبارت دیگر برهم انباشت مغناطیسی بگذارند ، دیگر نمی توان از معادله فوق استفاده کرد . میدان مغناطیسی که در اثر عبور جریان از یک سیم پیچ تولید می شود ، بر روی میدان مغناطیسی حاصل از سیم پیچ دیگر اثر می گذارد و بالعکس . در این وضعیت باید مقداری که " $2M$ " می باشد را به معادله فوق اضافه کرده و یا از آن کم نمود . " M " معرف اندوکتانس متقابل است و مقدار کوپلینگ مغناطیسی بین دو سیم پیچ را بصورت عددی بیان می کند . حالا سیم پیچ ها را می توان بر اساس جهت پیچیدگی شان ، بدو طریق به هم بست .

اگر این اتصال سری طوری باشد که نیروی ضد محرکه افزایش یابد (نسبت به وقتی که دو سیم پیچ از لحاظ مغناطیسی از هم جدا می باشند) ، گوئیم که آنها را در حالت موافق به هم بسته ایم . در این حالت علامت اندوکتانس متقابل مثبت خواهد بود .

اگر با سری بستن دو سیم پیچ ، مقدار نیروی ضد محرکه کاهش یابد ، علامت اندوکتانس متقابل منفی خواهد شد و در این حالت می گوئیم که سیم پیچ ها را در حالت مخالف به هم بسته ایم .

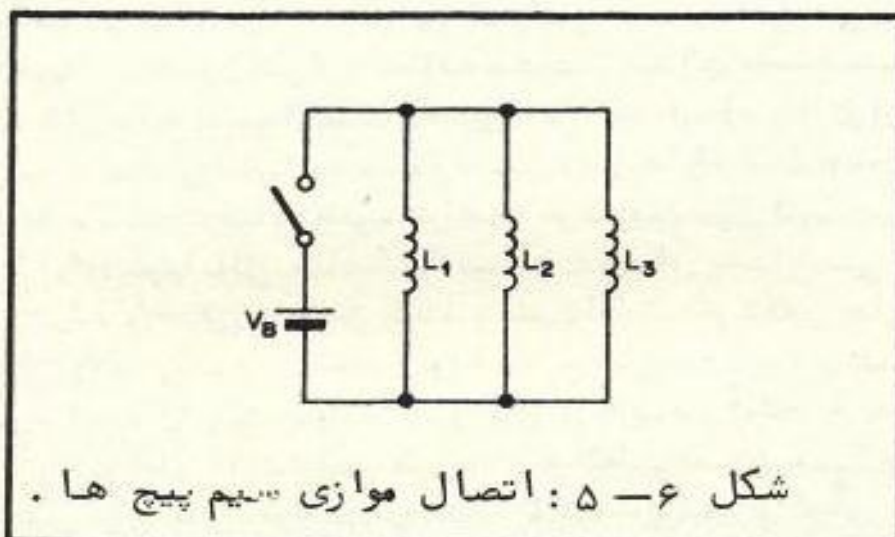
— اتصال موازی سیم پیچ ها :

دیاگرام شکل ۵-۶ مدار را نشان می دهد که سه عدد سیم پیچ موازی توسط یک کلید به باتری وصل شده اند . اگر این سیم پیچ ها بر هم هیچ اثر مغناطیسی نگذارند ، اندوکتانس کل را می توان از معادله زیر محاسبه کرد :

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

معادله ۵-۱۵ :

از دیدگاه نیروی ضد محرکه به آسانی می توان فرمول فوق را بدست آورد . وقتی که کلید بسته می شود ، جریانی شروع به عبور از سیم پیچ ها می کند و مقدار آن شروع به افزایش می کند تا به نقطه معینی که توسط اندوکتانس و ولتاژ تغذیه مشخص می شود برسد .



از این نقطه به بعد مقدار جریانی که از سیم پیچ ها می گذرد ثابت باقی می ماند . اگر اندوکتانس سیم پیچ های موجود در مدار با هم متفاوت باشند ، سرعت افزایش جریانی الکتریکی در هر کدام از آنها با دیگری فرق خواهد داشت ، اما نیروی ضد محرکه هر کدام از سیم پیچ ها با هم و با ولتاژ تغذیه برابر می باشند . این دلیل همراه با این حقیقت که جریان در هر یک از سیم پیچ ها نسبت عکس با اندوکتانس دارد به اراد ریافتن فرمول فوق یاری مینماید . لازم به تذکر است که این معادله شبیه به معادله اتصال موازی مقاومت ها است . مانند حالت قبل باز نیز می توانیم وضعیتی را در نظر بگیریم که سیم پیچ ها بر هم اثر مغناطیسی می گذارند و به عبارت دیگر دارای اندوکتانس متقابل هستند . هر کدام از این سیم پیچ های مدار می توانند بر سیم پیچ مجاورش اثر القایی بگذارد و بالعکس . البته در وضعیتی که اندوکتانس متقابل را با " M " نشان دهیم ، اندوکتانس کل سه سیم پیچ موازی را می توانیم از فرمول زیر بدست آوریم :

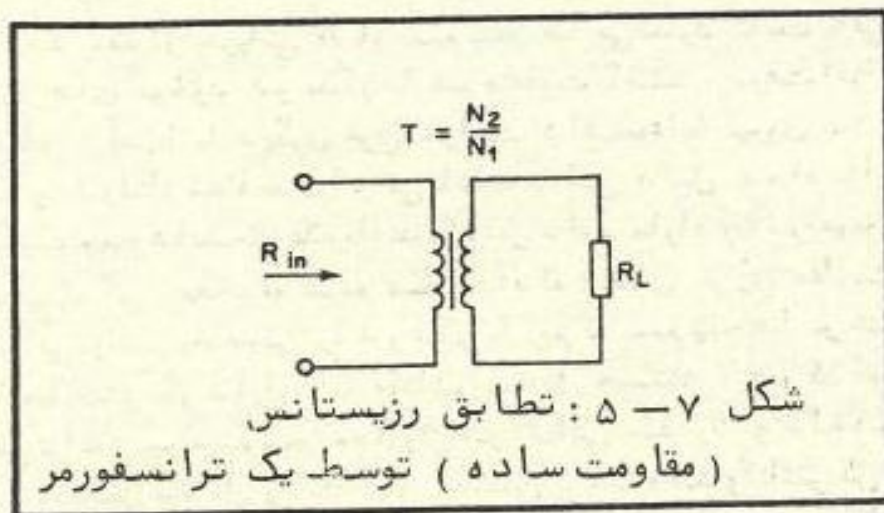
$$L_T = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \pm 2M}$$

معادله ۵-۱۶ :

علامت مخرج کسر منفی است وقتی که جهت سیم پیچ ها طوری باشد که اثر متقابل آنها همدیگر را تقویت کنند و وقتی مثبت است که اثر متقابل آنها بر یکدیگر در جهت عکس باشد . معمولاً در کتابها با گذاشتن نقطه ای در یکی از دو انتهای سیم پیچ ها جهت پیچیده شدن و در نتیجه علامت این ضریب را مشخص می کنند همانطوری که قبلاً اشاره کردیم ، وقتی که نیروی ضد محرکه بزرگتر از

حالتی است که سیم پیچ ها اثر مغناطیسی بر هم نمی گذارند و به اصطلاح از لحاظ القایی ایزوله هستند ، علامت اند و کتانس متقابل مثبت است و وقتی که نیروی ضد محرکه کوچکتر از حالت ایزوله القایی باشد ، علامت اند و کتانس منفی می باشد .
— ترانسفورمر :

وقتی که جریان الکتریکی از مداری عبور می کند ، در اطراف خود میدان مغناطیسی بوجود می آورد . این میدان می تواند بر الکترونهای آزاد مدار مجاور خود نیروی را وارد کرده و آنها را به حرکت در آورد . بدین ترتیب در مدار دوم نیز جریان الکتریکی پدید می آید . بدیهی است که برای القای الکتریسته ، میدان مغناطیسی باید تغییر پدید می آید . بدیهی است که برای القای الکتریسته ، میدان مغناطیسی باید تغییر پیدا کند . ترانسفورمر یکی از قطعات پاسیو مدار است که این پدیده در آن دیده می شود . اصولاً هر ترانسفورمری دارای دو سیم پیچ اولیه و ثانویه می باشد . با اعمال ولتاژ به اولیه جریان متغیری در آن ایجاد میشود . میدان مغناطیسی حاصل از این جریان نیز متناسب با آن شروع به نوسان میکند . همین عامل باعث ایجاد ولتاژی در دوسر ترمینال های سیم پیچ ثانویه می گردد . مقدار ولتاژ ثانویه بستگی به نسبت دورها و کوپلینگ مغناطیسی بین دو سیم پیچ دارد . اگر به دو سر ترمینال ثانویه ترانسفورمر باری متصل کنیم ، جریانی که از آن خواهد گذشت دارای نوساناتی متناسب با نوسانات میدان مغناطیسی می گردد این میدان با میدان اولیه و اصلی تداخل کرده و باعث ایجاد بی نظمی هایی در جریان حاصل از سیم پیچ اولیه می شود . همین اثر باعث افزایش امپدانس ترانسفورمر می گردد . یک ترانسفورمر ایده آل باید بتواند تمام توان موجود در اولیه را بدون هیچ افتی به ثانویه منتقل کند . در عمل مقاومت سیم مسی و تلفات مغناطیسی آهن (به عنوان هسته) باعث کاهش توان در ثانویه می گردند . بازده ترانسفورمر که آن را بصورت درصد



بیان میکنند . چگونگی انتقال قدرت را از اولیه بجه ثانویه ترانسفورمر نشان می دهد . در ترانسفورمرهایی که دارای هسته آهنی می باشند ، مقدار متوسط بازده بین ۷۰ تا ۹۰ درصد است .

ترانسفورمر یکی از اجزای بسیار مهم و مفید مدارهای الکترونیک و الکتریکی می باشد . با انتخاب مناسب نسبت دورهای اولیه و ثانویه می توان ولتاژ یا جریان را بطور دلخواه کم یا زیاد کرد .

افزایش ولتاژ در یک ترانسفورمر باعث کاهش جریان می‌گردد و بالعکس. این امر نشان می‌دهد که ترانسفورمر نمی‌تواند باعث افزایش بهره توان گردد. کاربرد دیگر ترانسفورمر در مجینگ (تطبیق) امپدانس می‌باشد: باید توجه داشت که نمی‌توان ترمینال‌های ورودی و خروجی دو مدار که متفاوت است را به یکدیگر متصل کرد. برای مثال ممکن است مقاومت یکی از مدارها بسیار زیاد و دیگری بسیار کم باشد. در اینجا می‌توان از ترانسفورمر برای تبدیل مقاومت یا امپدانس به مقدار مورد نظر، کمک گرفت. اگر همان طوری که در شکل ۵-۷ دیده می‌شود، ترانسفورمر به یک مقاومت بار (R_L) متصل شده باشد، مقاومت R_{in} یا امپدانس سیم پیچ اولیه یا ورودی را می‌توان با استفاده از معادله زیر بدست آورد:

$$R_{in} = \frac{R_L}{T^2}$$

معادله ۵-۱۷:

در این معادله، " T " معرف نسبت دورها است. عبارت از نسبت مقدار دور های سیم پیچ ثانویه (N_2) به تعداد دورهای سیم پیچ اولیه (N_1) است. معادله ۵-۱۷ نشان می‌دهد که اگر T کمتر از ۱ باشد، R_{in} بزرگتر از R_L می‌گردد. این وضعیت وقتی پیش می‌آید که تعداد دور سیم پیچ ثانویه کمتر از تعداد دور سیم پیچ اولیه باشد. اگر T بزرگتر از ۱ باشد، R_{in} کوچکتر از R_L می‌گردد. اگر T مساوی ۱ باشد، R_{in} مساوی با R_L خواهد شد. این مشاهدات نشان می‌دهند که با انتخاب مناسب نسبت دورها، می‌توانیم هر نوع مقاومت‌هایی را با هم تطابق داده یا به اصطلاح کج کنیم.

باید تاکید کنیم که ترانسفورمر قطعه است که در مدارهای ac به کار می‌رود و فقط در شرائط ac می‌توان به عنوان مجینگ امپدانس عمل کند.

قطععاتی که در این گروه جای می‌گیرند، عبارتند از: لامپ ترمیونیک، ترانزیستور دیود تونل. به علت اینکه لامپ ترمیونیک امروزه از ارزش کمتر برخوردار است و بتدریج جای خود را به دیود و ترانزیستور داده است، از بحث در این باره خودداری می‌کنیم. در عوض با دقت بیشتری به بحث در باره جزئیات ترانزیستور خواهیم پرداخت. همچنین از آنجائیکه دیود تونل دارای کاربردهای بسیار کمی برای مبتدیان و علاقمندان به الکترونیک است و کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد، در باره آن بحث نخواهیم کرد.

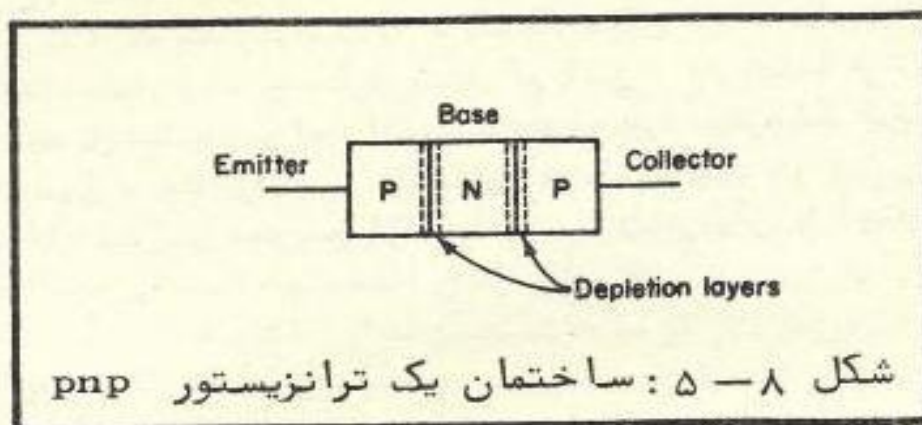
— ترانزیستور:

ترانزیستور فراوانترین نیمه هادی است که در بازار در دسترس می‌باشد. این قطعه دارای سه ترمینال است و در مدارهای مختلف دارای کاربردهای بسیار زیادی است. در بزرگترین طبقه بندی که می‌توان از ترانزیستور به عمل آورد، آن را به دو گروه بزرگ دو قطبی (بی پولار) و تک قطبی (یونی پولار) تقسیم می‌کنند. ترانزیستور دو قطبی قطعه‌ای است که اساس کار آن بر روی هر دو نوع حامل بار الکتریکی یعنی الکترون و حفره می‌باشد. در صورتیکه در ترانزیستور تک قطبی فقط یکی از دو نوع حامل بار الکتریکی (یعنی الکترون یا حفره) دیده می‌شود.

— ترانزیستور پیوندی (جانکشن):

ترانزیستور پیوندی مهمترین ترانزیستور در گروه ترانزیستورهای دو قطبی است.

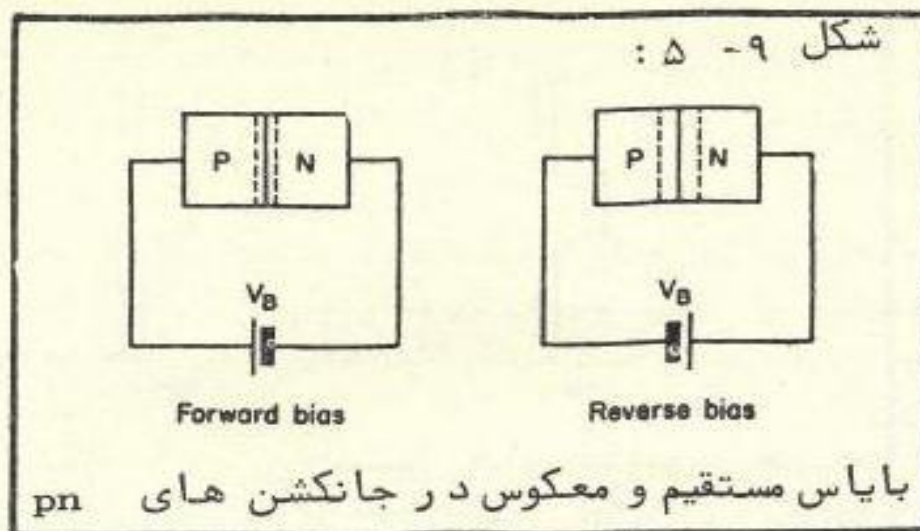
ساختمان اساسی یک قطعه (ترانزیستور) $p.n.p$ را در شکل ۸-۵ نشان داده ایم این نوع ترانزیستور (ترانزیستور $p.n.p$) شامل یک لایه نازک نیمه هادی نوع n است



که بصورت ساندویچی دو لایه نیمه هادی نوع p قرار گرفته است. وقتی که این لایه‌های نیمه هادی در کنار هم جای می‌گیرند، در محل اتصال‌شان با یکدیگر لایه ای بنام لایه تخلیه را بوجود می‌آورند. این لایه خالی از حامل‌های بار الکتریکی است. از آنجائیکه یک ترانزیستور دارای دو اتصال است، انتظار داریم که با دو ناحیه تهی مواجه شویم و این چنین نیز هست. به هنگام استفاده از ترانزیستور، لازم است که از پتانسیل (ولتاژ) های v_{be} (جریان ثابت یا پیوسته) استفاده کرد. این عمل را بایاسینگ (گرایش دادن) می‌نامند. یک پیوند pn را می‌توان به دو طریق مستقیم یا معکوس بایاس کرد. اثر اینکار در هر حالت، همان تغییر عرض لایه تخلیه است. بایاس مستقیم باعث کاهش پهنای آن و بایاس معکوس باعث افزایش پهنای (عرض) آن می‌گردد. یک پیوند pn را در شکل ۸-۶، هم در حالت بایاس مستقیم و هم در حالت بایاس معکوس نشان داده ایم. در حالت بایاس مستقیم، قطب باتری به بخش p و قطب منفی آن به بخش n متصل می‌شود. در حالت بایاس معکوس، قطب مثبت باتری به بخش p و قطب منفی آن به بخش n متصل می‌گردد. گرایش پیوند، مقدار جریانی که از آن می‌گذرد را مشخص می‌کند. گرایش مستقیم باعث افزایش جریان می‌گردد، در صورتیکه در شرائط ایده‌آل گرایش معکوس چنین نیست. اما به خاطر اثرات حرارتی و نقص‌هایی که در ساختمان نیمه هادی وجود دارند، در حالت گرایش معکوس جریان بسیار کمی از پیوند می‌گذرد این جریان را جریان نشست می‌نامند. برای اینکه یک ترانزیستور بتواند به عنوان یک قطعه خطی (لاینر) عمل کند، باید مطمئن گردید که پیوند های آن بطور صحیح و مناسب بایاس شده‌اند.

پیوند یا اتصال بیس-امیتر باید به صورت مستقیم بایاس شود، ولی پیوند بیس-کلکتور باید به صورت معکوس بایاس گردد. سوالی که در این مورد در مغزمان پیش می‌آید این است که چگونه جریان الکتریکی از پیوندی که بایاس معکوس شده است عبور می‌کند؟ این چیزی است که مربوط به عملکرد ترانزیستور می‌باشد و ما بزودی جواب آن را در قسمت اصول کار ترانزیستورها پیدا خواهیم کرد.

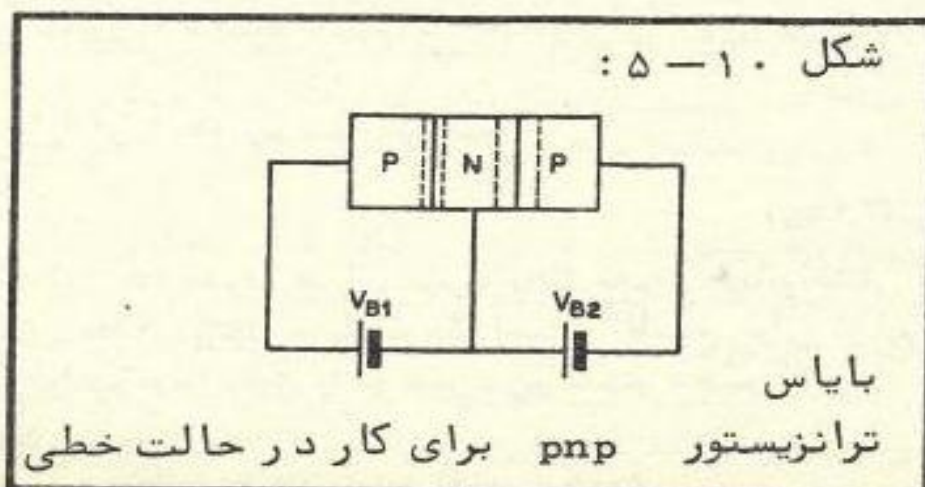
دیاگرام شکل ۸-۱۰ ترانزیستور pnp را نشان می‌دهد که طوری بایاس شده است که به هنگام کار مانند یک قطعه خطی عمل کند. در این ترانزیستور جانکشن پیوند-امیتر

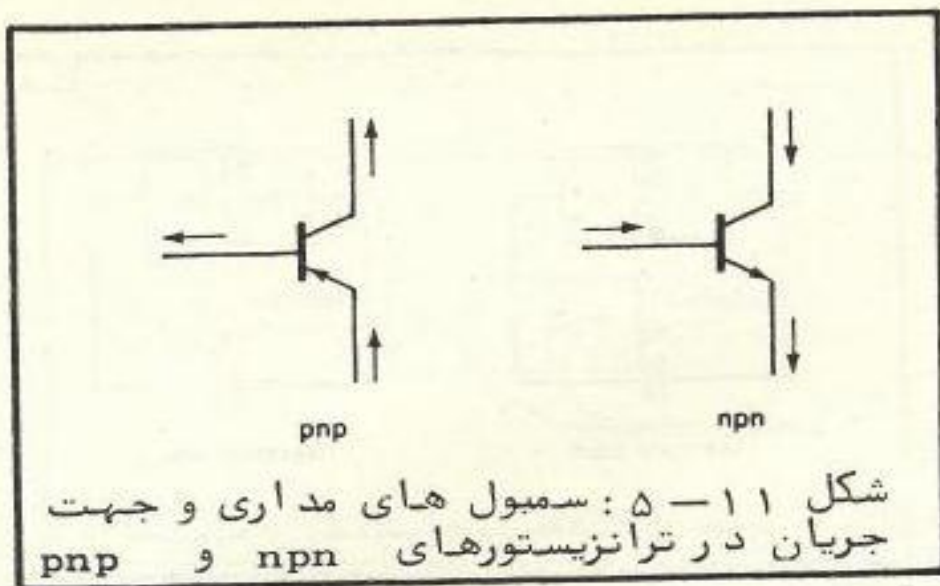


دارای بایاس مستقیم، و جانکشن بیس - کلکتور دارای بایاس معکوس است. عملکرد این ترانزیستور به صورت زیر است:

حفره هایی که از آمیتر وارد بیس می شوند، تحت تاثیر بایاس معکوس پیوند بیس - کلکتور شتاب پیدا می کنند و به کلکتور می رسند. این حفره ها که از پیوند بیس - کلکتور به سمت کلکتور جاروب شده اند، باعث ایجاد جریان الکترون ها در مدار خارجی آمیتر - کلکتور می گردند.

تمام حفره هایی که وارد محوطه بیس می شوند، نمی توانند به کلکتور راه یابند. بلکه بعضی از آنها با الکترونهایی که تعداد آنها در نیمه هادی نوع n بیشتر از حفره ها است، ترکیب شده و خنثی می گردد. به ازای هر حفره ای که در ناحیه بیس جذب الکترون ها می شود، یک الکترون از مدار خارجی بیس وارد ناحیه بیس می گردد. این پدیده ها باعث ایجاد جریان کوچکی از الکترون ها به سمت ترمینال بیس می گردند. باید تاکید کنیم که یک حفره به عنوان یک حامل یا ناقل بار الکتریکی فقط در پدیده های داخلی نیمه هادی معنی دار است. علت ایجاد جریان الکتریکی در مدار خارجی، همیشه الکترون ها می باشند. در شکل ۱۱-۵ جهت جریان را برای ترانزیستورهای npn و pnp نشان داده ایم. جریان آمیتر همیشه برابر با جمع جبری جریان های بیس و کلکتور





است. در مورد ترانزیستورهای npn نیز این چیزها صادق می باشند، به جز اینکه پولا رسته باتری و جهت جریان ها معکوس می باشند. برای وارد کردن ترانزیستور به مدار و استفاده از آن به عنوان یک قطعه اکتیو، سه راه وجود دارد. این امر به این بستگی دارد که کدام ترمنال ترانزیستور بین مدارهای ورودی و خروجی مشترک باشد. بدین ترتیب این سه حالت که اساس مدارهای الکترونیک را تشکیل می دهند، عبارتند از: بیس مشترک، امیتر مشترک و کلکتور مشترک.

در هر سه حالت مزبور به ترتیب بیس، امیتر و کلکتور به عنوان شاسی عمل می کنند. از ترانزیستور اغلب برای تقویت سیگنال ها استفاده می شود. بهره جریان ترانزیستور که توسط کارخانه سازنده ذکر می شود، به ما نشان می دهد که این قطعه تا چه اندازه در اینکار (تقویت سیگنال ها) تاثیر دارد.

اغلب در خصوصیات ترانزیستور، بهره جریان در حرکت امیتر مشترک نیز ذکر می شود. بهره جریان در مدار امیتر مشترک را با h_{fe} نشان می دهند. طبق تعریف بهره جریان در حالت امیتر مشترک، عبارت است از نسبت تغییرات جریان کلکتور به تغییرات جریان بیس. البته در این وضعیت جریان کلکتور معلوم است. بهره جریان مدار امیتر مشترک، کمیت بسیار مفیدی است. آشنائی با این کمیت، ما را قادر می سازد بتوانیم جریان کلکتور را با معلوم بودن جریان بیس محاسبه کنیم و مقدار مقاومت ورودی را پیدا کنیم. اگر جریان کلکتور را داشته باشیم، با استفاده از h_{fe} می توانیم جریان بیس را محاسبه کنیم.

جریان کلکتور را از رابطه زیر پیدا می کنیم:

معادله ۱۸-۵:

$$I_C = I_B h_{fe} + I_{CO} (1 + h_{fe})$$

در این معادله I_B معرف جریان بیس و I_{CO} معرف جریان نشتی است. در ترانز-یستورهای سیلیکون مقدار I_{CO} بسیار کوچک است و اغلب می توان از آن صرف نظر کرد. بنابراین می توانیم فرمول فوق را به صورت زیر تغییر دهیم:

معادله ۱۹-۵:

$$I_C = I_B h_{fe}$$

این معادله را می توانیم به صورت زیر تغییر دهیم:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{fe}}$$

مقدار مقاومت ورودی (امپدانس ورودی) در حالت های آمیتر مشترک و کلکتور مشترک را از فرمول زیر بدست می آوریم.

$$R_{in} = h_{fe} (R + r_e)$$

معادله ۲۱-۵:

در این معادله، r_e نشان دهنده مقدار مقاومت پیوندی بیس-امیتر در حالت بایاس مستقیم است، و R معرف مقاومت کل مدار خارجی آمیتر است.

مقدار مقاومت r_e بستگی به جریان امیتر دارد و از رابطه زیر بدست می آید:

$$r_e = \frac{25}{I_E}$$

معادله ۲۲-۵:

در این جا، I_E معرف جریان امیتر بر حسب میلی آمپر است.

— ترانزیستور تک قطبی:

دیدیم که اساس هدایت الکتریکی در ترانزیستورهای پیوندی بر پایه هر دو نوع حامل های بار الکتریکی بود. بر عکس، ترانزیستور تک قطبی (یونی پولار) فقط از یک نوع حامل برای حمل و انتقال جریان استفاده می کند.

ترانزیستورهای تک قطبی را ترانزیستورهای اثر میدانی FET نیز می نامند. این نام مخفف Field-effect-transistor می باشد. دو نوع

فت نیمه های اکسید فلز

که عبارتند از ترانزیستور فت پیوندی (JFET) و

MOSFET. این نام مخفف کلمات metal-oxide semiconductor fet

در این بخش فقط از ترانزیستور JFET بحث می کنیم و علت آن هم اهمیت آن از لحاظ کار برد خطی است. از mosfet که به عنوان یک قطعه سوئیچینگ دارای ارزش زیادی است، در بخش بعدی صحبت خواهیم کرد.

JFET دارای سه الکترود است. نام این الکترودها سورس، گیت و درین است

که معادل امیتر، بستر و کلکتور در یک ترانزیستور دو قطبی می باشند. هدایت جریان بین

الکترودهای سورس و درین را می توان توسط تغییر ولتاژ گیت نسبت سورس، کنترل کرد.

شکل ۱۲-۵ ساختمان اساسی و سمبول مداری یک JFET را نشان می دهد. از

این شکل می توان برای توضیح اصول کار آن کمک گرفت. ماده نیمه هادی از جنس (نوع)

n یا p است که از درازا توسط یک لایه نیمه هادی نوع p یا n (بترتیب) احاطه

شده است. بخشی از نیمه هادی که توسط لایه گیت احاطه شده است چانل (کانال)

نامیده می شود. به هر دو انتهای کانال الکترودهایی متصل می باشند که به درین و سورس

معروف هستند. در طرفین، پیوند که از تماس نیمه هادی لایه خارجی و کانال حاصل

شده است، یک ناحیه تخلیه تشکیل می شود. الکترودی به لایه خارجی وصل می شود که

معروف به گیت است.

در عملکرد عادی، جانکشن گیت به سورس دارای بایاس معکوس است. در نتیجه

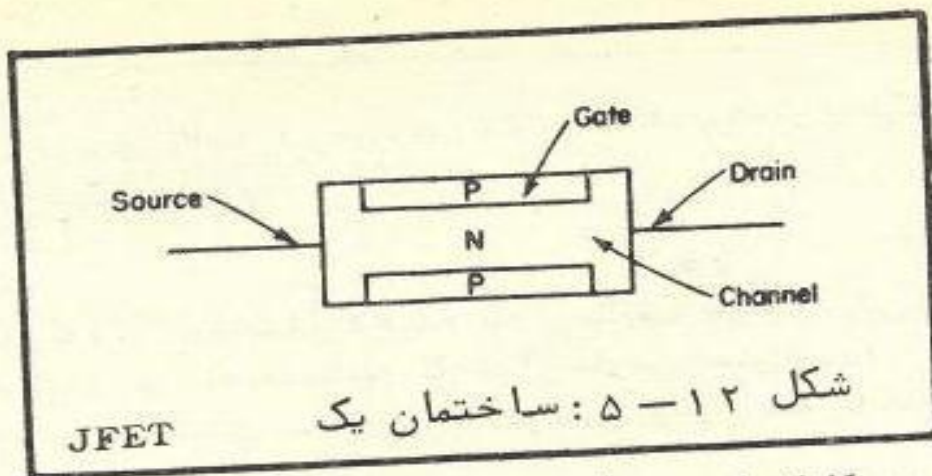
لایه تخلیه بیشتر در داخل چانل نفوذ کرده و مانع از عبور جریان در داخل چانل می گردد

در این حالت، جریان سورس به درین توسط گیت کنترل می شود. امپدانس ورودی در

الکترود گیت بسیار زیاد است، زیرا گیت نسبت به سورس دارای بایاس معکوس است. تنها

جریانی که از مدار گیت عبور می کند، جریان نشتی است که مقدار آن در قطعات و اجزای

سیلیکونی بسیار کوچک است. هدایت بین سورس و درین، بطور کامل به خاطر حامل های



عمده بار الکتریکی در کانال است. علت هدایت الکتریکی در یک JFET h-channel الکترونها و علت هدایت الکتریکی در یک JFET p-channel حفره ها می باشند .
 رابطه بین جریان درین (ID) و ولتاژ گیت به سورس VGS توسط روش هایی مشخص می شوند که از طرف کارخانه سازنده به کار گرفته می شوند . اگر پیوند از طریق دیفوزیون ساخته شده باشد ، می توان جریان درین را از معادله زیر بدست آورد :
 معادله ۲۳-۵ :

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

در این معادله ، IDSS عبارت از جریان درین در وقتی است که VGS برابر صفر است . VP را ولتاژ pinch-off می گویند .
 برای اینکه با معنی و اهمیت ولتاژ pinch-off آشنا شوید ، مطالب زیر را در نظر بگیرید . مادامیکه ولتاژ سورس - گیت برابر صفر است ، جریان درین متناسب با ولتاژ سورس درین افزایش می یابد . با افزایش VDS ، جریان درین نیز زیاد می شود . اما در یک نقطه معین از VDS ، ID بصورت خط افقی در می آید و دیگر افزایش نمی یابد و به عبارت دیگر ID دیگر نمی تواند پاسخگوی تغییرات بیشتر VDS باشد . مقدار VDS در این نقطه را ولتاژ pinch-off (VP) می نامند . بایاس کردن معکوس پیوند سورس - گیت توسط ولتاژی برابر با ولتاژ pinch-off ، می توانیم ID را به صفر برسانیم و از این موضوع نیز می توان برای تعریفی دیگر از ولتاژ pinch-off استفاده کرد . در مطالب فوق ، ولتاژ سورس گیت برابر صفر است . با ایجاد پتانسیل های مختلف بین سورس و گیت ، می توانیم مقادیر مختلفی برای ID در VB بدست آوریم .
 — مدارهای مجتمع خطی :

امروزه مدارهای مجتمع یا آی سی ها از مهمترین قطعات الکترونیک می باشند . مدار هایی که سابقاً با استفاده از تعداد زیادی قطعه جداگانه پاسیو و اکتیو ساخته می شد ، حالا در داخل یک قطعه کوچک به نام آی سی ساخته می شوند . قبلاً به ساختن ترانزیستورهای دو قطبی و تک قطبی آشنا شدیم . فهمیدیم که این قطعات با استفاده از مواد نیمه هادی نوع n و نوع p ساخته می شوند . همچنین دریافتیم که برای ساختن این قطعات باید نیمه هادی ها را به هم متصل کنیم یا به اصطلاح پیوند تشکیل دهیم . همانطوری که دیدیم تعداد پیوند ها در ترانزیستورها محدود است و بندرت از ۲ عدد تجاوز می کند . در حالیکه یک مدار مجتمع دارای تعداد زیادی پیوند است که بر روی یک قطعه نیمه هادی دیده می شوند . بعضی از این

جانکشن ها به عنوان ترانزیستور و دیود عمل می کنند ، در حالیکه بعضی دیگر قسمت های لازم را از هم ایزوله (جدا) می کنند . بدیهی است که در حالت ایزوله از گرایش معکوس که دارای مقاومت بسیار زیادی است استفاده می شود .

با ایجاد ناخالصی های کمی در بعضی از بخش های مدار مجتمع تراکم بارها ————— الکتریکی آنها را کم و زیاد کرده و از آنها به عنوان مقاومت استفاده می کنند . البته مطالب مذکور شکل بسیار ساده شده ای از مدارهای مجتمع را بیان می کند .

در حقیقت طراحی و ساخت مدارهای مجتمع یکی از زمینه های بسیار تخصصی در الکترونیک است . ساخت و طراحی مدارهای مجتمع مستلزم استفاده از تکنولوژی مدرن و بسیار ظریف است .

یک مدار مجتمع خطی ، قطعه ای است که می توان در حالت خطی کار کند . تقویت کننده های عملیاتی و ای — سی های رگولاتور (تنظیم کننده ولتاژ جریان برای تثبیت پارامتر های منابع تغذیه) مثال هایی از این نوع مدارهای مجتمع می باشند .
— مثال ها

مثال ۱ — ۵ :

سه مقاومت که مقادیر آنها ۱۲۰ ، ۱۸۰ ، ۲۲۰ اهم است بطور سری بسته شده اند مقدار مقاومت کل را پیدا کنید ؟

حل : مقاومت کل برای مقاومت های سری را می توانیم از معادله ۱ — ۵ محاسبه کنیم . بنا بر این :

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \quad R_T = 120 + 180 + 220 = 520 \text{ ohms.}$$

با جایگزین کردن مقادیر معلوم در معادله فوق ، جواب را بدست می آوریم :

مثال ۲ — ۵ :

سه مقاومت که مقادیرشان ۱۲۰ ، ۱۸۰ ، و ۲۲۰ اهم است را بطور موازی بسته ایم . مقدار مقاومت کل را پیدا کنید ؟

با استفاده از معادله ۳ — ۵ می توانیم مقدار مقاومت کل چند مقاومت موازی را پیدا کنیم . یعنی :

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \frac{1}{R_T} = \frac{1}{120} + \frac{1}{180} + \frac{1}{220}$$

$$= \frac{1}{1.2 \times 10^2} + \frac{1}{1.8 \times 10^2} + \frac{1}{2.2 \times 10^2} = \frac{1}{10^2} \left(\frac{1}{1.2} + \frac{1}{1.8} + \frac{1}{2.2} \right)$$

$$= \frac{1}{10^2} (0.83 + 0.55 + 0.44) = \frac{1.83}{10^2} \quad R_T = \frac{10^2}{1.83} = 54.5 \Omega$$

با جایگزین کردن مقادیر معلوم در فرمول فوق جواب ، را بدست می آوریم :

مثال ۳ — ۵ :

دو مقاومت که مقادیر آنها ۳۹ و ۴۷ اهم است ، بطور موازی بسته شده اند . مقدار مقاومت کل آنها را پیدا کنید ؟

از معادله ۵-۶ استفاده می‌کنیم:

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_T = \frac{39 \times 47}{39 + 47}$$

$$= 21.3\Omega$$

با جایگزین کردن مقادیر معلوم جواب را بدست می‌آوریم:

بخش ۱

قطعات غیر خطی در مدار

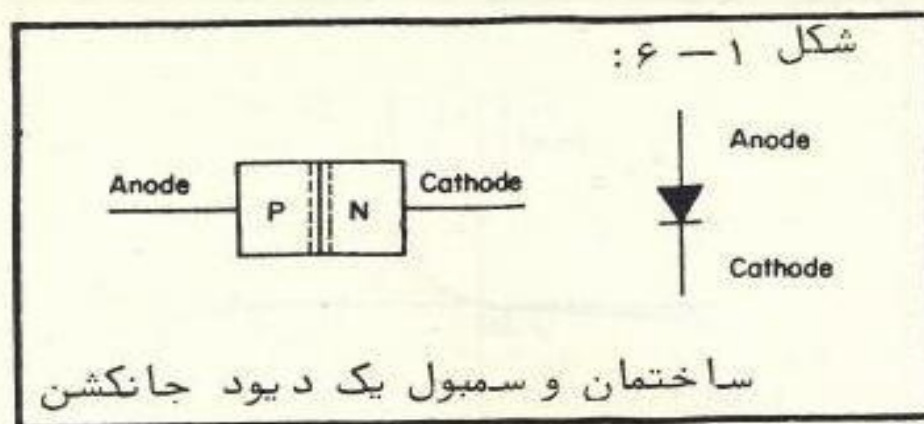
قطعه‌ای را که رابطه بین ولتاژ-جریان در آن بصورت خطی نیست را قطعه غیر خطی می‌نامند. این رابطه نه تنها بصورت خطی نمی‌باشد، بلکه خمیدگیها و بی‌نظمی‌هایی نیز در منحنی کار آنها دیده می‌شود. به عبارت دیگر، تغییرات مساوی در یک متغیر (برای مثال ولتاژ)، نمی‌تواند تغییرات مساوی را در متغیر دیگر بوجود آورد. نموداری که چنین رفتاری را بیان می‌کند، بصورت منحنی یا یک خط نامنظم می‌باشد. از آنجائیکه کاربرد عمده قطعات غیر خطی در مدارهای سوئیچینگ می‌باشد، این قطعات را المانهای سوئیچینگ (کلیدی) نیز می‌نامند. مهم‌ترین این قطعات شامل دیود معمولی، دیود زنر، تریستور، تریاک و مدارهای مجتمع دیجیتال می‌باشند. از هر دو نوع ترانزیستورهای دو قطبی و تک قطبی می‌توان به عنوان المانهای سوئیچینگ استفاده کرد.

— دیود پیوندی

ساختمان و سمبول مداری دیود پیوندی (اتصال) را در شکل ۱-۶ نشان داده ایم. این دیود شامل دو بخش نیمه هادی نوع n و p می‌باشد. این دو بخش در کنار یکدیگر قرار گرفته و تشکیل یک پیوند pn را می‌دهند. در طرفین نقطه تماس دو بخش نیمه هادی، یک ناحیه تخلیه تشکیل می‌شود. با بایاس کردن دیود، می‌توانیم پهنای این لایه را تغییر دهیم. یک دیود پیوندی را هم می‌توان بایاس مستقیم و هم بایاس معکوس نمود. به هنگام بایاس مستقیم، مقاومت داخلی دیود کم شده و باعث عبور جریان الکتریکی می‌گردد. این جریان توسط مقاومت سری که با دیود بسته می‌شود، محدود می‌گردد. شکل ۲-۶ دو طریقه بایاس کردن دیود پیوندی را نشان می‌دهد. هر دیود می‌تواند مقدار معینی جریان را از خود عبور دهد. بنابراین جریان داخلی دیود نباید از حد معینی که بستگی به ساختمان و جنس آن دارد، تجاوز کند. در شکل ۲-۶ یک مقاومت بطور سری با دیود بسته شده است. این مقاومت باعث محدود کردن جریان داخلی دیود می‌گردد و آن را از خطر آسیب دیدن و خراب شدن دور نگاه می‌دارد. اگر مقدار این مقاومت نسبت به مقاومت داخلی دیود (در حالت بایاس مستقیم) زیاد باشد، ولتاژ دو سر دیود به مقدار زیادی افت خواهد کرد. در این وضعیت به آسانی می‌توان جریان دیود را از معادله زیر بدست آورد:

معادله ۱-۶:

$$I = \frac{V}{R}$$

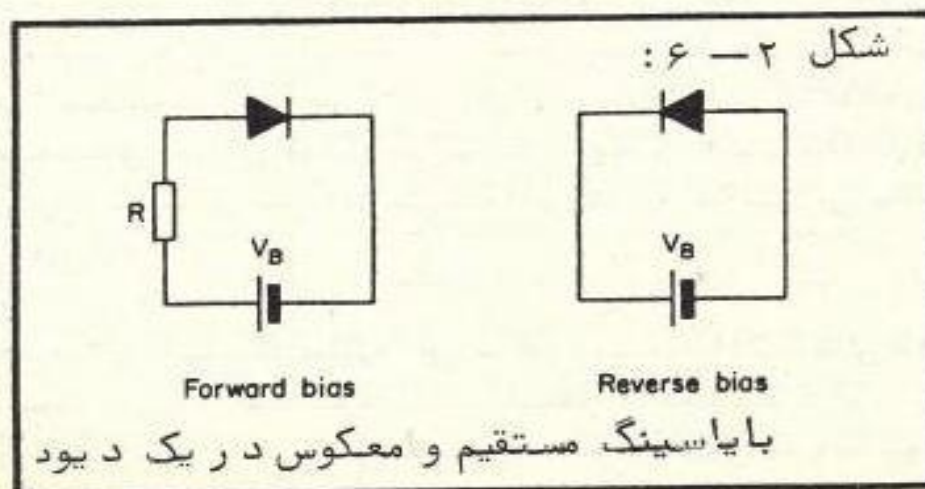


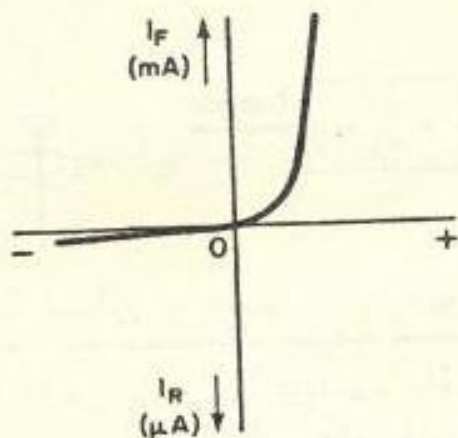
در بایاس مستقیم افت ولتاژ دوسر دیود ژرمانیوم بطور متوسط 0.3 / ولت است و لسی افت ولتاژ دیود سیلیکون، 0.6 / ولت است. این نکته را باید به خاطر سپرد، زیرا اغلب در مورد پیوندهای pn دارای بایاس مستقیم بکار می آید.

ماگزیم ولتاژ معکوسی که می توان بدو سر یک دیود پیوندی اعمال کرد، بستگی به ساختمان و طرح آن دارد. معمولاً مقدار این ولتاژ معکوس توسط کارخانه سازنده، ذکر می شود. ماگزیم ولتاژ معکوس دوسر یک دیود از پارامترهای مهمی است که باید به هنگام کار با آنها مورد توجه قرار داد. افزایش بیش از حد این ولتاژ معکوس، باعث افزایش ناگهان جریان معکوس می گردد، و اگر در این حالت مقاومت خارجی در مدار نباشد دیود آسیب خواهید دید.

رابطه ولتاژ و جریان در یک دیود پیوندی را در شکل ۳-۶ نشان داده ایم. این دیاگرام از طریق نمودار، تمام مطالب فوق را بیان می کند.

تا به حال از صحبت در مورد مکانیسم عمل خودداری نموده ایم. برای بحث در این مورد می توانیم از ساختمان اتمی و هدایت الکتریکی در جامدات کمک بگیریم. در وضعیت بایاس مستقیم، حفره ها که تعداد آنها در بخش p نیمه هادی بیشتر می باشد، از محل اتصال (پیوند) عبور کرده و وارد بخش n آن می گردند. همچنین الکترون ها که تعداد آنها در بخش p نیمه هادی بیشتر می باشد، از محل اتصال عبور کرده و وارد بخش n می گردند. این پدیده باعث انتشار هر دو نوع حامل بار الکتریکی و عبور آنها از ناحیه تخلیه و در نتیجه حرکت آنها به سوی ترمینال های دیود می گردد. در حین این





شکل ۳-۶: منحنی مشخصه ولتاژ به جریان در یک دیود جانکشن نمونه.

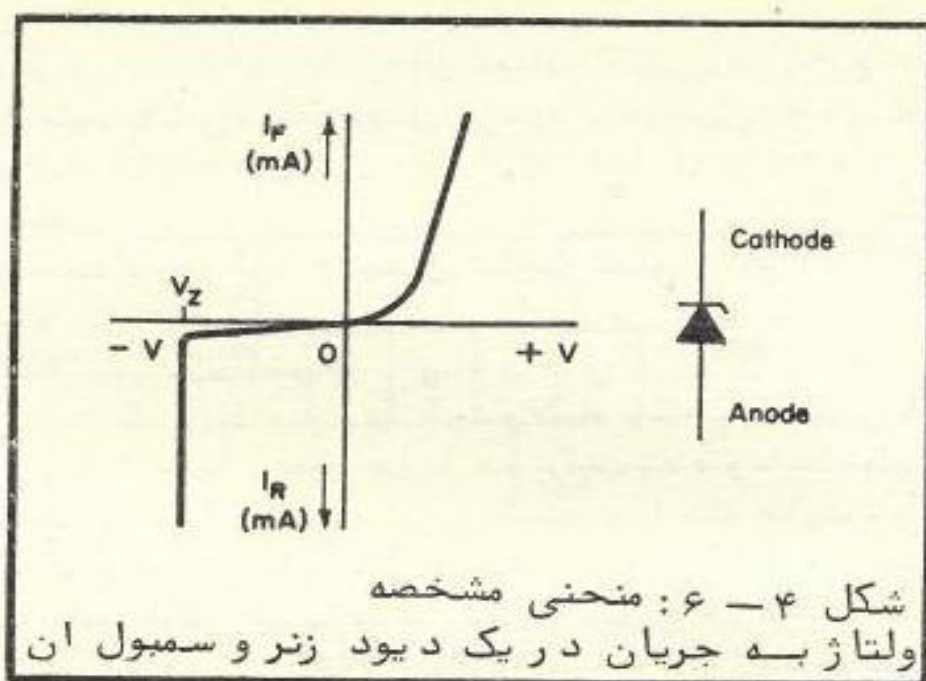
نقل و انتقال مقداری از الکترون‌ها و حفره‌ها با هم ترکیب می‌شوند. به ازای هر حفره‌ای که وارد بخش p می‌گردد، و با یک الکترون آن ترکیب می‌شود، یک الکترون از مدار خارجی وارد آن می‌شود و به همین ترتیب به ازای هر الکترونی که وارد بخش p می‌گردد، یک الکترون از دیود به مدار خارجی اعمال می‌شود. این پدیده‌ها باعث افزایش جریان مستقیم (منظور حالت بایاس مستقیم است) در دیود می‌گردند.

باید توجه داشته باشید که منظور از ترکیب الکترون با حفره، همان پدیده‌ای است که الکترون محل خالی در اتم دهنده الکترون (یون مثبت) را پر می‌کند، بنابراین تعریف محل خالی هر الکترون در اتم دهنده را حفره می‌نامند. مطلب را می‌توان از جهت دیگری نیز مورد بررسی قرار داد.

در هر پیوند $p-n$ ، مانعی وجود دارد که آن را پتانسیل مانع می‌نامند. این پتانسیل مانع از عبور جریان از پیوند (یا محل اتصال دو بخش نیمه هادی) می‌گردد. وقتی که یک جانکشن را در حالت بایاس مستقیم قرار می‌دهیم، در حقیقت باعث کاهش پتانسیل مانع می‌گردیم و به جریان اجازه عبور می‌دهیم. کاهش پتانسیل مانع باعث کاهش پهنای ناحیه تخلیه می‌گردد. در وضعیت بایاس معکوس، از عبور حامل‌های عمده به سبب الکتریکی مانع می‌شویم. در این حالت جریان نشتی بسیار کوچکی که ناشی از اثرات سطحی و گرمایی است، وجود می‌آید. این عوامل باعث تولید جفت‌های جدید الکترون-حفره و در نتیجه عبور جریان کوچکی می‌گردند. بدین ترتیب مشاهده می‌کنیم که در حالت بایاس معکوس، پتانسیل مانع افزایش پیدا می‌کند. افزایش این پتانسیل باعث افزایش پهنای ناحیه تخلیه می‌گردد.

— دیود زنر:

دیود زنر قطعه‌ای است که عملکرد آن بستگی به ولتاژ شکستش دارد. وقتی که برای ساختن پیوند pn از نیمه هادی‌هایی استفاده کنیم که دارای مقدار زیادی ناخالصی (منظور عناصر گروه ۳ یا ۵ می‌باشند که به سیلیکون یا ژرمانیوم اضافه می‌شوند) می‌باشند، ناحیه تخلیه موجود در آن از پهنای بسیار ضخیم خواهد شد.



همچنین مدان الکتریکی دوسر این لایه بسیار زیاد خواهد شد و پیوند (محل اتصال) در اثر اعمال ولتاژ شکست یا ولتاژی که در آن دیود زنر شروع به هدایت جریان می‌کند، بستگی به میزان ناخالصی‌ها دارد. ولتاژ شکست را با V_Z نشان می‌دهند. میزان دقیق ناخالصی‌هایی که به سیلیکون اضافه می‌گردند، دقیقاً توسط کارخانه سازنده کنترل می‌شود. این شکست پیوند pn یا به عبارت دیگر هدایت جریان در آن را (در وضعیت بایاس معکوس) شکست زنر می‌نامند. در یک پیوند می‌تواند نیز به خاطر یونیزاسیونی که از حرکت سریع الکترونهای پراانرژی ناشی می‌شود، دچار پدیده شکست (breakdown) گردد. این نوع شکست را شکست بهمنی (Avalanche breakdown) می‌نامند. در دیودهایی که در ولتاژ معکوس کمتر از ۵ ولت، هدایت جریان شروع می‌شود پدیده زنر باعث آن می‌شود. پدیده شکست بهمنی در ولتاژهای بالاتر دیده می‌شود.

منحنی مشخصه ولتاژ-جریان و سمبول مداری دیود زنر را در شکل ۴-۶ نشان داده ایم. یکی از کاربردهای اساسی دیود زنر، به عنوان تثبیت کننده ولتاژ در منابع تغذیه می‌باشد. یعنی با استفاده از این دیود می‌توان از تغییرات ولتاژ خروجی منابع تغذیه جلوگیری نمود. در این مورد بسیاری از موارد دیگر، این قطعه در ناحیه شکست منحنی (نقطه‌ای از منحنی که شیب تندی به پائین پیدا می‌کند)، عمل می‌کند. یکی از مشخصات چشم گیر این ناحیه این است که افزایش مقدار کمی از ولتاژ در آن می‌توان باعث افزایش بسیار زیاد جریان در آن گردد. ولتاژ شکست را با V_B نیز نمایش می‌دهند. با توجه به پدیده شکست، همیشه باید در انتخاب نوع دیود زنر برای مدار مورد نظر دقت کافی نمود. با توجه به ولتاژ شکست و توان، دیودهای زنر را می‌توان دسته بندی کرد. تمام دیودهایی که می‌توانند ولتاژ ثابت یا به اصطلاح رفرنسی را در اختیار ما گذارند، دیود زنر نامیده می‌شوند. حتی دیودهایی که ولتاژ شکست آنها بالاتر از ۸ ولت است و اساس کار آنها بر پدیده شکست بهمنی استوار است را نیز دیود زنر می‌نامند.

— دیود نورانی :

دیود نورانی یا LED (مخفف کلمات Light Emitting Diode) یکی از محبوب ترین نیمه هادی‌هایی است که در مدارهای مختلف بکار می‌رود. این دیود در اثر عبور جریان در وضعیت بایاس مستقیم روشن می‌شود. مهمترین موادی که در ساخت دیود های نورانی بکار می‌روند عبارتند از: گالیم، آرسنیک و فسفر.

گالیم عنصری است که به گروه ۳ جدول تناوبی تعلق دارد.

آرسنیک و فسفر جزو عناصر گروه ۵ جدول تناوبی می‌باشند.

طرز کار LED بصورت زیر است:

دیود نورانی مانند یک دیود پیوندی از دو طبقه مستقیم و معکوس بایاس می‌شود. در حالت بایاس مستقیم، الکترون‌ها و حفره‌ها با هم ترکیب شده و باعث تولید فوتون می‌گردند. فوتون‌ها جزو کمیت‌های تشکیل دهنده نور می‌باشند و یا به عبارت دیگر واحدهای مستقل انرژی داری را که انرژی نورانی را تشکیل می‌دهند، فوتون نامیده می‌شوند. تاکید می‌کنیم که این عمل تولید فوتون در دیودهای نوری به خاطر موادی است که در بالا به آنها اشاره شد و در حقیقت دیودهای پیوندی سیلیکون و ژرمانیوم نمی‌توانند چنین فوتون‌هایی را تولید کنند. رنگ نور منتشره از دیود نورانی بستگی به ترکیباتی دارد که در ساختمان آن بکار رفته‌اند. همچنین شدت نور حاصل از LED بستگی به مقدار جریانی دارد که در وضعیت بایاس مستقیم از آن عبور می‌کند. شدت نور LED ها را بر حسب میلی شمع (mc) اندازه می‌گیرند. از یک دیود نورانی، قرمز نمونه در شدت جریان ۱۰ تا ۱۰۰ میلی آمپر، می‌تواند شدت نور ۲/۰ تا ۳ میلی شمع را تولید کند.

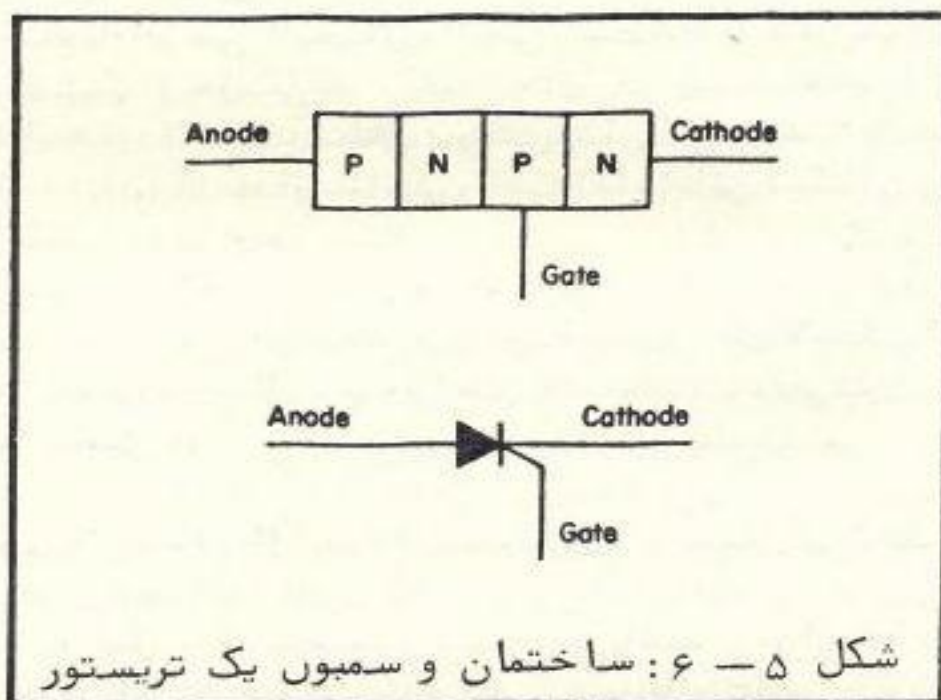
به هنگام استفاده از LED باید چند نکته را به خاطر داشت. اولین و مهم‌ترین آنها این است که افت ولتاژ دو سر یک LED در حالت بایاس مستقیم تفاوت زیادی با یک دیود پیوندی معمولی دارد. این ولتاژ تابعی از جریان بایاس مستقیم است، البته در مورد همه دیودهای نورانی. مقدار این افت ولتاژ ۱ تا ۲ ولت است. در محاسبات بهتر است این افت ولتاژ در حالت بایاس مستقیم را برابر ۸/۱ ولت فرض کرد. ماکزیمم قدرت در حالت بایاس مستقیم و ماکزیمم ولتاژ معکوس را که توسط کارخانه سازنده ذکر می‌شود را باید همیشه به خاطر داشت و به هنگام کار رعایت کرد.

می‌توان گفت که در اغلب موارد، شدت جریان ۱۰ میلی آمپر می‌تواند روشنایی مناسبی را در دیود نورانی تولید کند. از آنجائیکه افت ولتاژ دو سر LED در حالت بایاس مستقیم بسیار کمتر از ولتاژ تغذیه (باتری) است، باید از یک مقاومت سری با آن استفاده کرد. این مقاومت نه تنها باعث محدود کردن جریان می‌گردد، بلکه باعث افت ولتاژ اضافی نیز می‌شود. مقدار این مقاومت را به آسانی می‌توان با استفاده از قانون اهم بدست آورد. اگر ولتاژ تغذیه برابر V_S باشد و ولتاژ LED در وضعیت بایاس مستقیم برابر V_F باشد مقدار مقاومتی که برای کار در شدت جریان I میلی آمپر لازم است از تقسیم اختلاف این دو ولتاژ ($V_S - V_F$) بر جریان I بدست می‌آید.

— ترایستور:

ترایستور یا یکسو ساز سیلیکونی قابل کنترل (silicon-controlled Rectifier) یک نیمه هادی ۴ لایه‌ای با ۳ ترمینال می‌باشد. این قطعه نیمه هادی مشابه و هم‌مای تیراترون می‌باشد. تیراترون یک لامپ ترمیونیک یراز گاز است. این لامپ در همه زمینه‌ها

و کاربرد هاتوسط ترستور جایگزین شده است و فقط از نقطه نظر تاریخچه سی داری ارزش است. استفاده اصلی ترستور در کنترل قدرت یا توان است. این قطعه با توجه به کاربردهای جدیدی که در کنترل قدرت پیدا کرده است، از ارزش بیشتری برخوردار شده است. ساختمان و سمبول مداری ترستور را در شکل ۵-۶ نشان داده ایم. ترستور نیز مانند دیود، می تواند به عنوان کلید عمل کند.



برای سوئیچینگ یا هادی کردن ترستور می توان ولتاژی را به گیت آن اعمال کرد. همچنین با اعمال ولتاژی به آند، با توجه به اختلاف ولتاژی که بین آن و گیت پدید می آید، می توان ترستور افعال نمود. با بکار افتادن یا بسته شدن ترستور، دیگر نمی توان از طریق گیت آن را کنترل کرد و یا به عبارت دیگر با فعال شدن ترستور و با قطع کردن ولتاژ گیت نمی توان آن را خاموش کرده و از کار انداخت. بلکه باید ولتاژ ترمینال آند را قطع کرد و با وصل کردن مجدد آن، ترستور را به حالت اولش بازگرداند. ترستور یکی از مفیدترین قطعات در کنترل قدرت یا توان برق شهر (ac) می باشد. بر طبق تعریف، زمان هدایت برای هر سیکل از ولتاژ برق شهر در ترستور می تواند توانی را که به بار منتقل می شود را کنترل کند. این روش کنترل قدرت مانع از تلفات انرژی می شود، در صورتیکه استفاده از روش های دیگر مانند مقاومت های سری باعث تلفات انرژی بصورت حرارت می گردد.

— ترایاک:

قبلاً دیدیم که ترستور قطعه ای است که می تواند جریان را در یک جهت از خود عبور دهد. در کاربردهای کنترل قدرت، قطعه ای که بتواند جریان را از دو جهت عبور دهد، دارای ارزش زیادی است. ترایاک دارای این خاصیت است. با اعمال ولتاژهای مناسب به گیت ترایاک، این قطعه می تواند در طی نیم سیکل های مثبت یا منفی ولتاژ متناوب ورودی هادی گردد.

مقدار توانی که به بار منتقل می شود توسط کسر زمانی که ترایاک هادی می شود، کنترل می گردد.

ساختمان ترایاک را می توان متشکل از دو ترستور دانست که در کنار یکدیگر قرار گرفته اند و یکی نسبت به دیگری بطور معکوس بسته شده است. سمبول مداری ترایاک را در شکل ۶-۶ نشان داده ایم.

— مدارهای مجتمع دیجیتال :

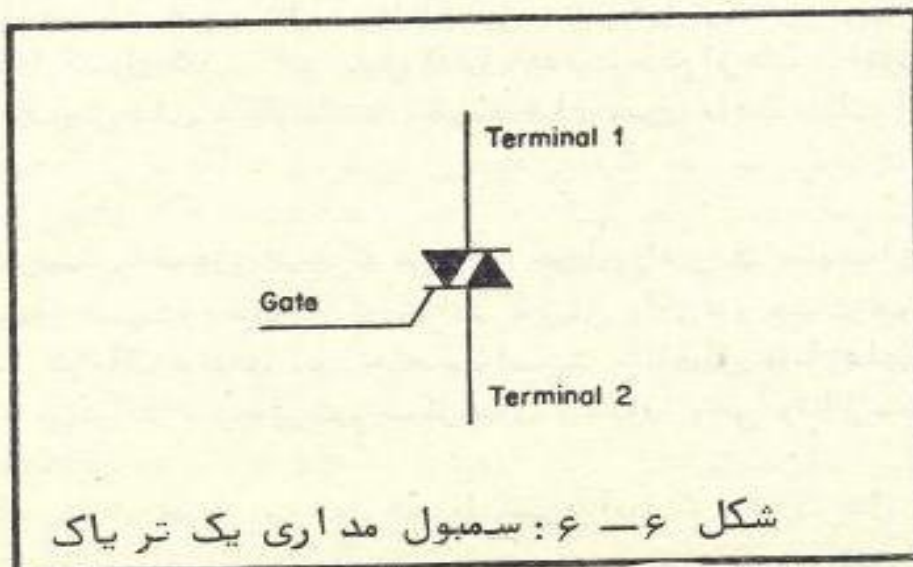
یک مدار مجتمع یا آی سی دیجیتال، المانی است که در مدار بصورت غیر خطی (non-linear) عمل می کند. ورودی های یک چیپ (قطعه یا پولک) دیجیتال نسبت به سیگنال های لاجیک (منطقی) واکنش نشان می دهند. یک سیگنال لاجیک، سیگنالی است که دارای یک مقدار یا ارزش واقعی است. این سیگنال می تواند صحیح (True) یا غلط (False) باشد.

در این نوع سیگنال، مقدار صحیح توسط یک ولتاژ بالا و مقدار غلط توسط یک ولتاژ پائین نشان داده می شوند. این مقادیر را توسط سمبول های لاجیکی 0 و 1 مشخص می کنند. در مدارهای دیجیتال دو نوع منطق یا لاجیک دیده می شود. این دو نوع عبارتند از منطق ترکیبی (combinational) و منطق ترکیبی (Sequential Logic).

منطق ترکیبی با استفاده از گیت ها میسر می شود. چهار گیت اصلی عبارتند از AND، NAND، OR، NOR.

این گیت ها به شکل مدار مجتمع در دسترس می باشند و از آن ها می توان به — برای طراحی سیستم های کامل لاجیک استفاده کرد. مدارهای ترکیبی Sequential آنها می هستند که دارای قابلیت حفظ و نگهداری علائم می باشند. این نوع مدارها — حافظه بوده و در داخل مدارهای مجتمع جای گرفته اند.

مدارهای مجتمع دیجیتال را می توان بر حسب تکنولوژی که در آنها بکار رفته، به — چند گروه طبقه بندی کرد. هر کدام از این گروه ها را خانواده می نامند. خانواده های مهم مدارهای مجتمع دیجیتال که امروزه دارای کاربرد بیشتری می باشند، عبارتند از : TTL، CMOS، مخفف، transistor-transistor-logic (منطق ترانزیستور —



— ترانزیستور است، در حالیکه $cmos$ مخفف $metal-oxide$ Semiconductor نیمه هادی فلز-اکسید مکمل) می باشد. آی سی های TTL بسیار اساس تکنولوژی دو قطبی (بی پولار) و آی سی های $CMOS$ بر اساس تکنولوژی تک قطبی (یونی پولار) ساخته می شوند. امروزه انواع و تعداد این آی سی ها بسیار زیاد است و هر نوعی دارای کاربرد مخصوص به خود است.

— مُس فت: ($MOSFET$)

قبلاً اشاره کردیم که ترانزیستورهای تک قطبی بر دو نوع می باشند که، $MOSFET$ و $JFET$ نام دارند.

اگرچه در هر دو این قطعات یک نوع حامل بار الکتریکی، باعث هدایت الکتریکی می شوند ولی تفاوت های بنیانی در ساختمان و مکانیسم عمل آنها وجود دارد. $JFET$ همانطور که از اسمش پیدا است، از لحاظ کار شبیه به ترانزیستورهای معمولی پیوندی است. هدایت الکتریکی در چانل $JFET$ بستگی به مقدار و عمق نفوذ ناحیه تخلیه در آن دارد. بدین ترتیب می توان جریان الکتریسیته در کانال را کنترل کرد. از طرف دیگر هدایت الکتریکی در $JFET$ بستگی به وجود لایه معکوس کننده حامل های بار الکتریکی دارد. سطح مقطع ساختمان یک ترانزیستور $n-channel MOSFET$ را در شکل ۷-۶ نشان داده ایم. بر روی یکی از سطوح زمینه نوع n ، ناحیه های نیمه هادی نوع p از طریق دیفوزیون یا انتشار ایجاد شده اند. این نواحی n به عنوان سورس و درین رفتار می کنند. هدایت الکتریکی بین سورس و درین توسط لایه معکوس کننده ای که به هنگام اعمال ولتاژ مناسب به الکترود گیت تولید می شود، کنترل می گردد.

گیت شامل یک الکترود فلزی است که بر روی زمینه واقع می شود و بین آن دو یک لایه اکسید دیده می شود. این لایه اکسید باعث ایزولاسیون (جدایی) بین گیت و زمینه p می گردد. الکترود فلزی، لایه عایق اکسید و زمینه مانند یک خازن با صفحات موازی عمل می کنند. اگر ولتاژی که بگیت اعمال می شود، نسبت به سورس مثبت باشد بر روی سطحی از زمینه که در تماس با لایه عایق می باشد، یک لایه منفی آشکار خواهد شد. این لایه را لایه معکوس می نامند. این لایه باعث هدایت الکتریکی بین سورس و درین می گردد.

وقتی که ولتاژی به الکترود گیت اعمال نمی شود، مقاومت بین سورس و درین بسیار زیاد است، زیرا پیوند های pn موجود در ترانزیستور تحت اثر بایاس معکوس واقع می شوند مقاومت ورودی $MOSFET$ بسیار زیاد است. علت اصلی این امر هم، وجود لایه عایق بین گیت و سورس است. کاربرد اصلی $MOSFET$ در مدارهای سوئیچینگ است.

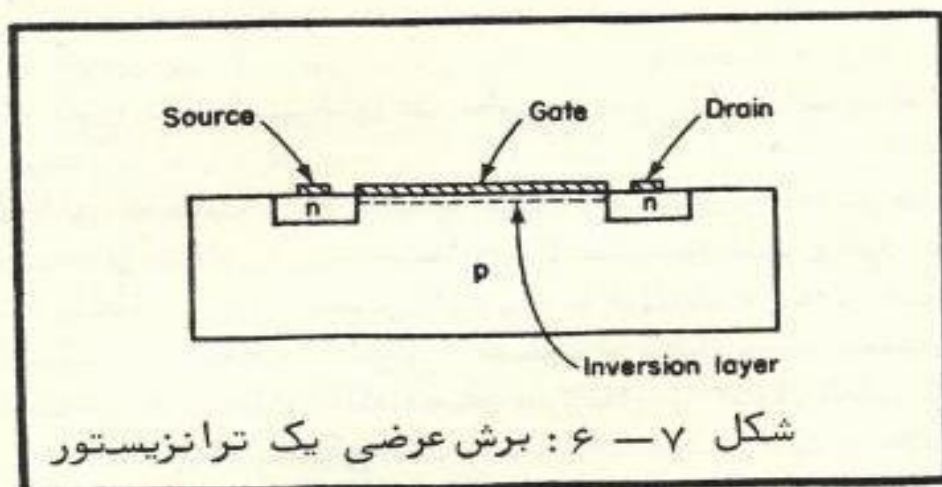
— مثال ها

مثال ۱-۶:

یک دیود پیوندی سیلیکون به دوسریک باتری ۱۵ ولتی متصل شده است. (البته در وضعیت بایاس مستقیم) یک مقاومت ۱۵ کیلو اهمی نیز برای محدود کردن جریان داخلی دیود، بطور سری با آن بسته شده است. مقدار جریانی را که از این مدار می گذرد را تخمین بزنید؟

حل: از آنجائیکه یک ولتاژ تغذیه بسیار بزرگتر از افت ولتاژ دوسر دیود سیلیکون (یعنی ۰/۶ ولت) است، جریانی که از مدار می گذرد بستگی به مقدار مقاومت سری دارد با استفاده از معادله ۱-۶ جواب را بدست می آوریم:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{15}{15k} = 1 \text{ mA}$$



مثال ۲-۶:

می‌خواهیم از یک دیود زener ۳/۳ ولت، در یک مدار با ولتاژ تغذیه ۱۵ ولت و جریان ۲ میلی‌آمپر استفاده کنیم. مقدار مقاومتی را که باید بطور سری با دیود بسته شود را محاسبه کنید؟

حل: مقاومتی که در اینجا باید استفاده شود، باید بتواند اختلاف ولتاژ بین ولتاژ زener و ولتاژ تغذیه را جذب کند. با استفاده از قانون اهم مقدار این مقاومت را حساب می‌کنیم:

$$R = \frac{V_B - V_Z}{I}$$

$$= \frac{15 - 3.3}{2 \text{ mA}} = \frac{11.7}{2}$$

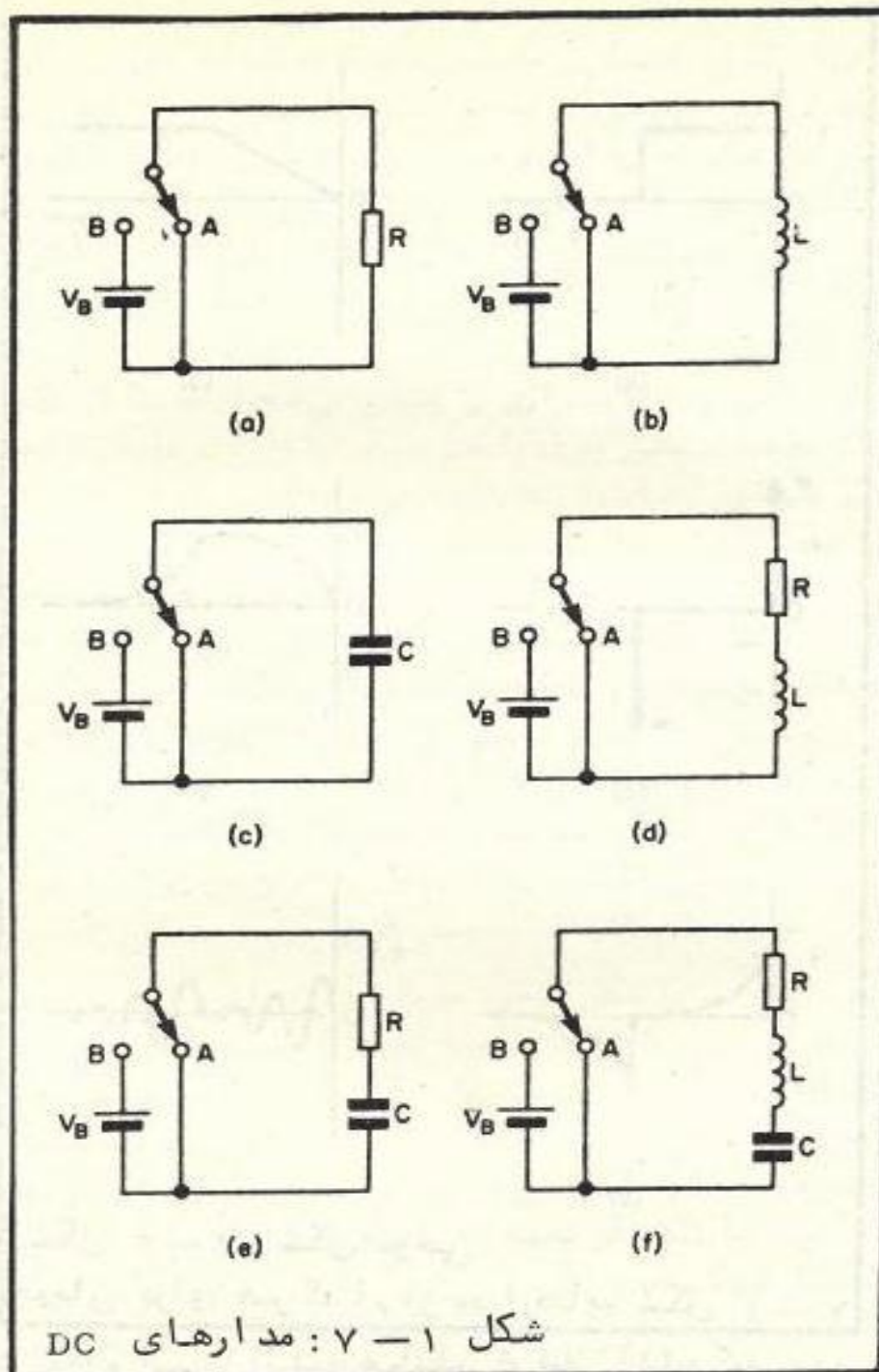
$$= 5.85 \text{ k}$$

در عمل چنین مقاومتی وجود ندارد و می‌توان از مقاومت استاندارد ۵/۶ کیلو اهم به جای آن استفاده کرد.

بخش ۲

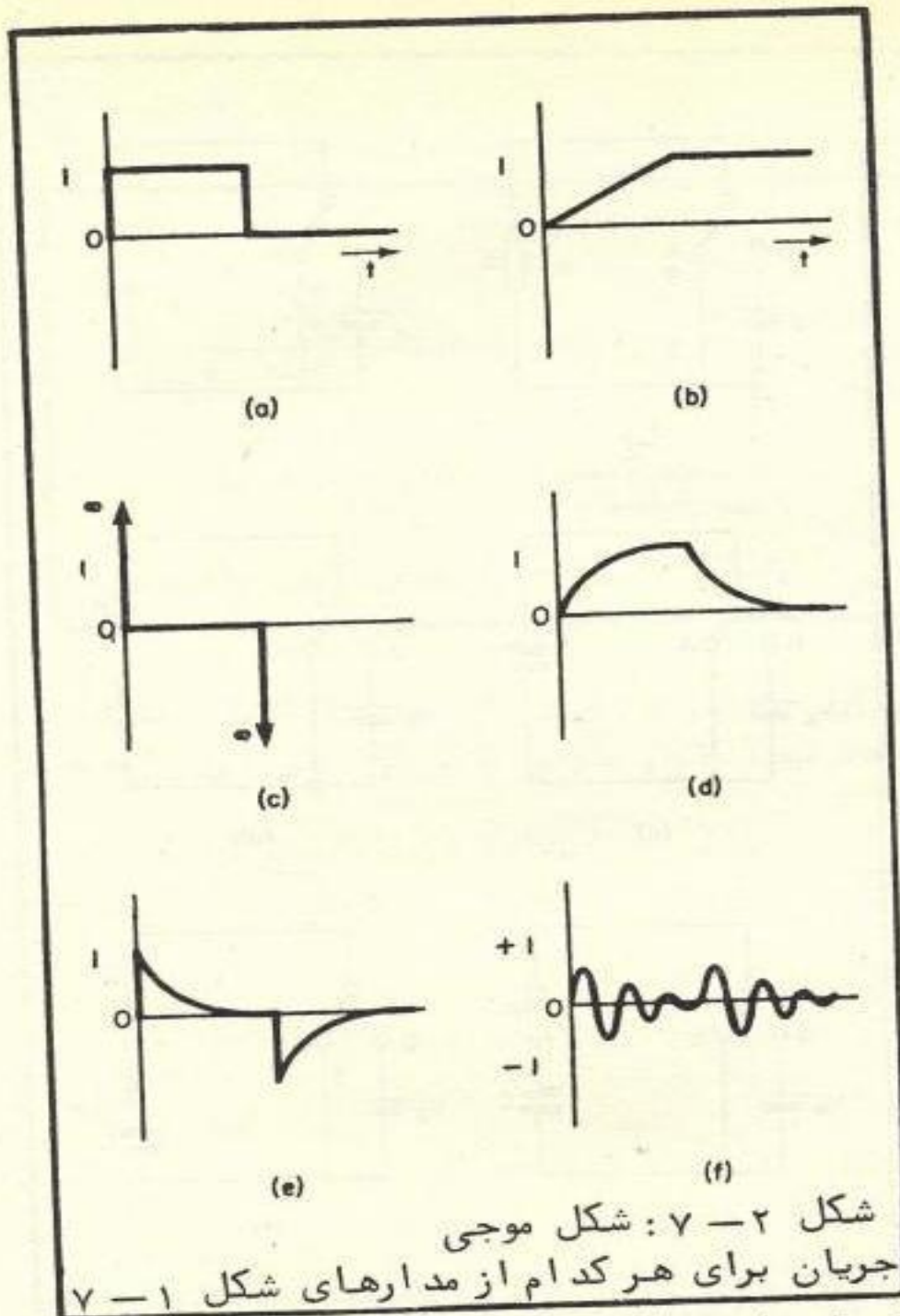
مدارهای AC و DC

مدار dc، مداری است که توسط ولتاژ dc یا ثابت، تغذیه و تحریک میشود. مدارهای متعددی وجود دارند که می‌توانیم آنها را در این گروه طبقه‌بندی کنیم. این مدارها را در شکل ۱-۷ نشان داده‌ایم. اما قبل از بحث درباره این مدارها، لازم است نگاه سریعی به دو قانون مهم بیاندازیم. این قوانین را، قوانین کیرشوف



(Kirchoff's laws) می‌نامند که چگونگی توزیع ولتاژ و جریان در مدارهای سری و در محل‌های اتصال چند قطعه را بیان می‌کنند .
قانون ولتاژ کیرشوف که از مهمترین قوانین فیزیک می‌باشد ، می‌تواند کمک موثری در محاسبات مدارهای الکترونیک بنماید .
قانون ولتاژ کیرشوف چنین می‌گوید :

ولتاژ منبع در هر مدار سری مساوی با جمع جبری افت ولتاژهای مربوط به هر مقاومت (موجود در آن مدار) می‌باشد . به عبارت دیگر با جمع کردن مقدار ولتاژهای دو سر هر مقاومت با یکدیگر می‌توان ولتاژ کل تغذیه در آن مدار سری را پیدا کرد . با توجه به قانون اهم که می‌تواند با دریافتن ولتاژ دو سر یک مقاومت یاری کند ، کاربرد قانون



ولتاژ کیرشف بسیار ساده است. البته همانطور که قبلاً اشاره کردیم، می‌توانیم مقاومت و جریان را که جزو پارامترهای معلوم می‌باشند را وارد فرمول اهم کنیم و مقدار ولتاژ را پیدا کنیم.

قانون جریان کیرشف می‌گوید که، جمع جبری جریان‌هایی که وارد یک نقطه (نقطه اتصال) شده و آن را ترک می‌کنند، برابر صفر است. به عبارت دیگر مقدار جریان‌هایی که وارد نقطه می‌شوند و سپس از آن خارج می‌گردند، با هم برابر است. حال بیایید به مدارهای موجود در شکل ۱-۷ بازگردیم. در هر کدام از این مدارها، با تغییر کلید به وضعیت B، باتری وارد مدار می‌گردد.

اعمال ولتاژ باتری به این ترتیب مشابه با تهیه جریانی برای تحریک ورودی آن است حال باید ببینیم که با بسته شدن کلید و یا تغییر وضعیت آن به حالت B و گذشتن

زمان ثابتی، چه اتفاقی در مدارها رخ می دهد. با دانستن این امر، می توانیم رفتار مدارهای مختلف را درک کنیم. همچنین باید ببینیم که با تغییر وضعیت کلید به حالت A، پس از گذشتن مقدار زمان معینی که بعداً بیشتر بحث خواهد شد، رفتار مدارها چگونه است. از آنجائیکه در تمام مدارهای موجود در این شکل تغییرات ولتاژ متناسب با تغییرات جریان است، بهتر است فقط تغییرات جریان را مورد بحث و بررسی قرار دهیم. شکل موجی جریان برای هر کدام از مدارهای شکل ۱-۷ را در شکل ۲-۷ نشان داده ایم.

— مدار دارای مقاومت:

دیاگرام شکل a ۱-۷، مداری را نشان می دهد که شامل یک مقاومت، کلید و یک باتری است. این قطعات بطور سری با هم بسته شده اند. باید تاکید کنیم که تمام قطعات مورد نظر در این مدار را ایده آل فرض کرده ایم. یک قطعه ایده آل، قطعه ای است که فقط خاصیت اختصاصی مربوط به خود را بروز می دهد. برای مثال، در عمل یک باتری در مدار دارای مقاومت داخلی نیز می باشد و علاوه بر اینکه به عنوان منبع ولتاژ جریان عمل می کند، مانند یک مقاومت نیز رفتار کرده و از عبور جریان ممانعت می کند. همچنین مقاومت های موجود در مدار می توانند اندوکتانس کمی از خود بروز دهند، مخصوصاً اگر از نوع سیمی باشند. بعضی از خازن ها نیز دارای خاصیت اندوکتانس می باشند و این خاصیت در فرکانس بالا دارای اهمیت زیادی است و می تواند باعث ایجاد مشکلاتی گردد. به این ترتیب مشاهده می کنیم که اغلب قطعاتی که مادر عمل، از آنها استفاده می کنیم، ایده آل نمی باشند. با این حال با فرض کردن ایده آل بودن قطعات بهتر می توانیم مدارهای مربوط به آنها را بررسی کنیم.

دیاگرام شکل a ۲-۷ شکل موجی جریان در مدار دارای مقاومت (a ۱-۷) را نشان می دهد. همانطوری که می بینید، با تغییر وضعیت کلید به حالت B، جریان بلافاصله افزایش یافته و مادامیکه به همان حالت باقی است، مقدار جریان ثابت است. با تغییر وضعیت کلید به حالت A و در نتیجه باز شدن مدار، مقدار جریان بلافاصله به صفر کاهش می یابد. این امر، یکی از خواص بسیار مهم مدارهای دارای مقاومت را نشان می دهد. به عبارت دیگر تغییر بلافاصله و فوری جریان در مدارهای مقاومتی، از مهمترین خواص آنها می باشند.

مقدار جریان در این مدار، به هنگامی که کلید در وضعیت B است، از معادله زیر بدست می آید:

$$I = \frac{V}{R} \text{ amperes}$$

معادله ۱-۷:

— مدار دارای سیم پیچ:

شکل b ۱-۷، مداری را نشان می دهد که شامل یک کلید، باتری و یک سیم پیچ است. این قطعات بطور سری با هم بسته شده اند.

شکل موجی جریان برای این مدار را در دیاگرام b ۲-۷ نشان داده ایم. این دیاگرام، وضعیت جریان را به هنگام بسته شدن کلید و به عبارت دیگر تغییر وضعیت آن به B را نشان می دهد. همانطوری که می بینید، تغییر جریان در ابتدا فوری نیست بلکه بصورت خطی و سبب دار افزایش پیدا می کند. علت این امر همانطوری که قبلاً دیدیم مقاومتی است که یک سیم پیچ در مقابل تغییر جریان از خود نشان می دهد. از لحاظ

تئوری مانعی در راه این افزایش جریان (بصورت خطی) وجود ندارد و باید تا بی نهایت افزایش پیدا کند. با افزایش جریان، انرژی ذخیره شده در سیم پیچ نیز افزایش می یابد. مقدار جریان این مدار در وضعیتی که کلید در حالت B است را از معادله زیر بدست می آوریم:

$$I = \frac{V}{L} t \text{ amperes}$$

معادله ۷-۲:

در این معادله، V نشان دهنده ولتاژ باتری بر حسب ولت و L نشان دهنده اندوکتانس سیم پیچ بر حسب هانری است.

انرژی ذخیره شده در سیم پیچ را می توان از رابطه زیر بدست آورد:

معادله ۷-۳:

$$E = \frac{1}{2} L I^2 \text{ joules}$$

با تغییر مجدد کلید به حالت A، باتری از مدار خارج شده و در نتیجه جریان مدار به صفر کاهش می یابد. ولی با توجه به مقدار انرژی ذخیره شده در سیم پیچ، این کاهش سریع نیست. بدین ترتیب که با آزاد شدن این انرژی ذخیره شده در مدار ایجاد می شود. این جریان از تبدیل انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی اطراف سیم پیچ ناشی می گردد. وقتی که جریان الکتریکی از مدار فاقد مقاومت عبور می کند انرژی نیز اتلاف نمی شود. بنابراین انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی در شرائط ایده آل، باید بدون تغییر باقی بماند. ولی مقاومت کمی که در عمل مدار از خود نشان می دهد، مانع از اینکار می گردد.

— مدار دارای خازن:

دیاگرام شکل ۷-۱۰، یک خازن، یک کلید و یک باتری را نشان می دهد که به طور سری با هم بسته شده اند. شکل موجی جریان در این مدار را در شکل ۷-۲۰ نشان داده ایم. این شکل، وضعیت جریان را با باز و بسته شدن کلید نشان می دهد وقتی که کلید در وضعیت B است، خازن شارژ (پر) می گردد. از لحاظ تئوری این عمل در مدت زمان صفر انجام می گیرد. همانطوری که از منحنی مربوط به این مدار درک می شود، مقدار جریان در زمان صفر باید به بی نهایت برسد. ولی همانطوری که قبلاً اشاره کردیم ما در عمل با قطعات ایده آل سروکار نداریم و عواملی مانند مقاومت داخلی باتری مانع از اینکار می باشند.

این جریان سپس در همان مدت زمان صفر از بی نهایت به صفر کاهش می یابد. تابعی که بتواند این وضعیت را بیان کند، ایمپالس (ضربه) نامیده می شود. با تغییر وضعیت کلید به A، باتری از مدار خارج شده و دوسر خازن به هم متصل می گردد این عمل باعث دشارژ (تخلیه) خازن و ایجاد جریانی در مدار می گردد. باز نیز از لحاظ تئوری این تخلیه در مدت زمان صفر انجام می پذیرد و به عبارت دیگر جریان در شرائط ایده آل، در مدت زمان صفر از صفر به بی نهایت رسیده و دوباره به صفر کاهش می یابد اما اینبار جهت مخالف با حالت قبل است. در اینجا نیز شکل موجی جریان نشان دهنده ایمپالس است.

با شارژ شدن خازن توسط باتری، ولتاژ دوسر خازن در مدت زمان صفر برابر با ولتاژ در مدت زمان صفر انجام می گیرد، نباید جریانی از مدار عبور کند، زیرا لازمه عبور جریان از یک مدار وجود اختلاف پتانسیل یا ولتاژ در آن است. در عمل، شارژ خازن احتیاج به زمان دارد و در این مدت که خازن پر می شود، جریانی از مدار یا خازن عبور می کند. با

شارژ کامل خازن، مقدار این جریان به صفر می‌رسد. همانطوری که اشاره کردیم، با تغییر وضعیت کلید به حالت B، ولتاژ دوسر خازن نیز ثابت می‌ماند. با باز شدن کلید و به عبارت دیگر تغییر آن به وضعیت A، ولتاژ دوسر خازن سرعت به صفر می‌رسد.

— مدار دارای مقاومت و سیم پیچ (R - L):
 دیاگرام شکل ۷-۱۵، یک مقاومت سیم پیچ، کلید و یک باتری را نشان می‌دهد که بطور سری با هم بسته شده‌اند. شکل موجی جریان مربوط به این مدار را در شکل ۷-۲۵ نشان داده‌ایم. این شکل، وضعیتی را نشان می‌دهد که ابتدا کلید در وضعیت است و پس از زمان معینی به وضعیت A تغییر می‌کند. همانطوری که از شکل استنباط می‌گردد، با بسته شدن کلید به حالت B، منحنی جریان با مقیاس و انحنای معینی شروع به افزایش می‌کند. با گذشت زمان، مقدار افزایش جریان کاهش یافته و بالاخره ثابت باقی می‌ماند.

یک خاصیت مهم مدار R-L ثابت زمانی است که با T نمایش داده می‌شود. ثابت زمانی بنابر تعریف، عبارت است از مدت زمانی که طول می‌کشد تا جریان به مقدار نهایی خود برسد. اگر با همان سرعت اولیه (مماس بر منحنی در نقطه شروع) به تغییر خود ادامه دهید. در عمل وقتی که جریان به ۶۳٪ مقدار نهایی خود رسید، می‌گوئیم که ۱ ثابت زمانی سپری شده است. ثابت زمانی T را با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌کنیم:

$$T = \frac{L}{R} \text{ seconds}$$

معادله ۷-۴:

در این معادله، L اندوکتانس بر حسب هانری و R مقاومت بر حسب اهم است. این معادله نشان می‌دهد که ثابت زمانی را می‌توان با تغییر اندوکتانس سیم پیچ یا رزیستانس مقاومت، یا هر دو تغییر داد، در عمل باید توجه داشت که با افزایش مقاومت ثابت زمانی کاهش می‌یابد و بالعکس.

وقتی که مقدار مقاومت، صفر باشد، ثابت زمانی برابر بی‌نهایت می‌گردد و مدار به شکل ۷-۱۵ در می‌آید. اگر مقدار مقاومت برابر بی‌نهایت گردد، ثابت زمانی صفر می‌شود و مدار را می‌توان به صورت شکل ۷-۱۵ خلاصه کرد. مقدار جریان در هر لحظه i_t پس از حرکت (تغییر) کلید به وضعیت B را می‌توان از معادله زیر محاسبه کرد:

$$i_t = \frac{V}{R} \left(1 - e^{(-t/T)} \right)$$

معادله ۷-۵:

۷. میانگر ولتاژ باتری بر حسب ولت، R نشانه مقدار مقاومت بر حسب اهم، L اندوکتانس بر حسب هانری، T ثابت زمانی بر حسب ثانیه که برابر با L/R است و عدد ثابتی است که برابر ۲/۷۱۸ است.

در معادله ۷-۵، مقدار $e^{(-t/T)}$ با گذشت زمان کوچکتر و کوچکتر می‌گردد و بالاخره در زمان نامحدود به صفر می‌رسد. در عمل پس از گذشتن ۴ ثابت زمان (۴T) مقدار $e^{(-t/T)}$ بسیار کوچک می‌گردد، بطوری که می‌توان از آن صرف نظر کرد. در این حالت جریانی که از مدار می‌گذرد، فقط توسط مقاومت محدود می‌گردد. این جریان را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$I = \frac{V}{R}$$

معادله ۷-۶:

ولتاژ دوسر سیم پیچ در هر لحظه پس از تغییر کلید به حالت B را می توان از معادله زیر محاسبه کرد :

$$V_L = V_B e^{(-t/T)} \quad \text{معادله ۷-۷:}$$

با استفاده از این معادله در می یابیم که V_L وقتی حداکثر مقدار را داراست و یا وقتی برابر با ولتاژ باتری است که مقدار T کوچک باشد. بطوری که با قرار دادن $T=0$ در معادله، بخش نمائی آن برابر ۱ می گردد و در نتیجه معادله را می توان به صورت $V_L = V_B$ ساده کرد.

وقتی که $T = \infty$ است، بخش نمائی معادله برابر صفر می گردد. این امر همان وضعیتی را نشان می دهد که پس از گذشت مدت زمان بی نهایت پیش می آید. در این وضعیت، ولتاژ دوسر سیم پیچ برابر صفر می گردد.

تغییر وضعیت کلید به A، باعث عبور جریان و ادامه آن در همان جهت قبلی می گردد. اما در اینجا به جای اندوختن ثابت زمانی میزان نقصان جریان را کنترل می کند. این جریان پس از مدت زمان نامحدود یا بی نهایت باید به صفر برسد. در عمل جریان پس از گذشت ۴ ثابت زمانی به صفر می رسد.

مقدار جریان در هر لحظه i پس از تغییر کلید به A را می توان از معادله زیر محاسبه نمود :

$$i_t = \frac{V}{R} e^{(-t/T)} \quad \text{معادله ۷-۸:}$$

وقتی که مقدار $T=0$ می گردد، بخش نمائی معادله برابر ۱ می گردد و بدین ترتیب مقدار جریان مزبور را می توان از تقسیم ساده ولتاژ باتری به مقاومت بدست آورد. البته این جریان، مقدار جریانی است که در لحظه $T=0$ یعنی وقتی که کلید تازه به وضعیت A تغییر یافته، از مدار عبور می کند. این جریان برابر با مقدار جریان در آخرین لحظات وضعیت B کلید می باشد.

با تغییر کلید به وضعیت A، ولتاژ دوسر سیم پیچ را منفی فرض می کنیم. این ولتاژ، بصورت نمائی کاهش یافته و به صفر می رسد. در این وضعیت، ولتاژ در هر لحظه از t را می توان از معادله زیر بدست آورد:

$$V_L = -V_B e^{(-t/T)} \quad \text{معادله ۷-۹:}$$

— مدار دارای مقاومت و خازن (RC) :

دیاکرام شکل ۷-۱ مدار را نشان می دهد که شامل یک مقاومت، خازن یک کلید و یک باتری است. این قطعات بطور سری با هم بسته شده اند. شکل ۷-۲ سیگنال موجی شکل حاصل از تغییر وضعیت کلید از B به A را نشان می دهد. وقتی که کلید را در حالت B قرار می دهیم، جریانی که مقدار آن توسط مقاومت تعیین می شود، از مدار عبور می کند. مقدار این جریان را به آسانی می توان با استفاده قانون اهم محاسبه کرد. این امر نشان می دهد، که در همان لحظه اولی که کلید بسته می شود، خازن به صورت هادی الکتریسته عمل کرده و باعث عبور جریان می شود. با گذشت زمان، جریان شروع به نقصان می کند. مقدار این کاهش جریان، توسط یک ثابت زمانی تعیین می شود. این جریان بالاخره در زمان بی نهایت، به صفر می رسد. این حقیقت که پس از گذشت مدت زمان کافی، جریان به صفر می رسد، نشان می دهد که در این مدت زمان، خازن به عنوان مدار باز عمل کرده و از عبور جریان ممانعت می کند. ثابت زمانی یک مدار RC را

می توان از رابطه زیر بدست آورد :

در این معادله ساده ، C ظرفیت خازن بر حسب فاراد ، و R مقدار مقاومت بر حسب اهم است . با تغییر کلید به وضعیت A ، خازن دوباره به صورت مدار کوتاه عمل کرده و در یک لحظه باعث عبور جریان می گردد . این اتفاق در همان لحظه اولی که کلید بسته می شود ، اتفاق می افتد . این جریان ناشی از تخلیه الکتریکی خازن است .

شکل موجی این مدار ، نشان می دهد که درست قبل از تغییر وضعیت کلید به A ، ولتاژ دوسر خازن برابر با ولتاژ باتری است . در این لحظه جریانی که از مدار می گذرد تقریباً به صفر می رسد . مقدار جریان در هر لحظه T پس از تغییر وضعیت کلید به

$$i_t = -\frac{V}{R} e^{(-t/T)} \quad \text{A را می توان از معادله زیر محاسبه نمود :}$$

معادله ۷-۱۰ :

این معادله ، تغییری را در جهت جریان نشان می دهد . با رسیدن جریان از یک

مقدار منفی به صفر ، ولتاژ دوسر خازن از یک مقدار مثبت ، بصورت نمایی ، به صفر می رسد . اندازه تغییر هر دو پارامتر متغیر بستگی به مقدار ثابت زمانی دارد .

ولتاژ دوسر خازن در هر لحظه T پس از تغییر کلید به حالت B را می توان از رابطه زیر حساب کرد :

$$V_C = V_B (1 - e^{(-t/T)})$$

معادله ۷-۱۱ :

ولتاژ دوسر خازن در هر لحظه T پس از تغییر کلید به حالت A را می توان از

$$V_C = V_B e^{(-t/T)}$$

رابطه زیر بدست آورد :

معادله ۷-۱۲ :

بعضی از مواقع با وضعیت هائی مواجه می شویم که یک مقاومت اضافی بدوسر خازن بسته شده است . وجود این مقاومت فقط باعث کاهش مقدار نهائی ولتاژ دوسر خازن در حالت شارژ کامل می گردد . بعلاوه ثابت زمانی مربوطه نیز کاهش می یابد . باید توجه داشت که این دو عدد مقاومت موجود در مدار به عنوان مقسم (تقسیم کننده) ولتاژ باتری عمل می کنند . در محاسبه ثابت زمانی ، معادل موازی این دو مقاومت را به عنوان مقاومت موثر بدست می آوریم .

— مدار سری دارای مقاومت ، سیم پیچ و خازن : (RLC)

دیگرام شکل ۷-۱۴ یک مقاومت ، یک سیم پیچ ، یک خازن ، یک کلید و یک باتری را

نشان می دهد که بطور سری با هم بسته شده اند . شکل ۷-۲ ، شکل موجی جریان

برای مدار فوق را نشان می دهد . این منحنی ، وضعیتی را نشان می دهد که ابتدا کلید

در حالت B است و سپس به حالت A تغییر می یابد .

مبتدیانی که اشنائی کمی با الکترونیک دارند ، به آسانی می توانند این مدار را

بشناسند . همانطوری که به احتمال زیاد می دانید ، این مدار را مدار سری رزونانس

(تشدید) می نامند . حال بیایید ببینیم که چگونه این مدار توسط یک ولتاژ ورودی تحریک

شده و بکار می افتد . با تغییر کلید به وضعیت A ، یک تغییر سینوسی در جریان مدار

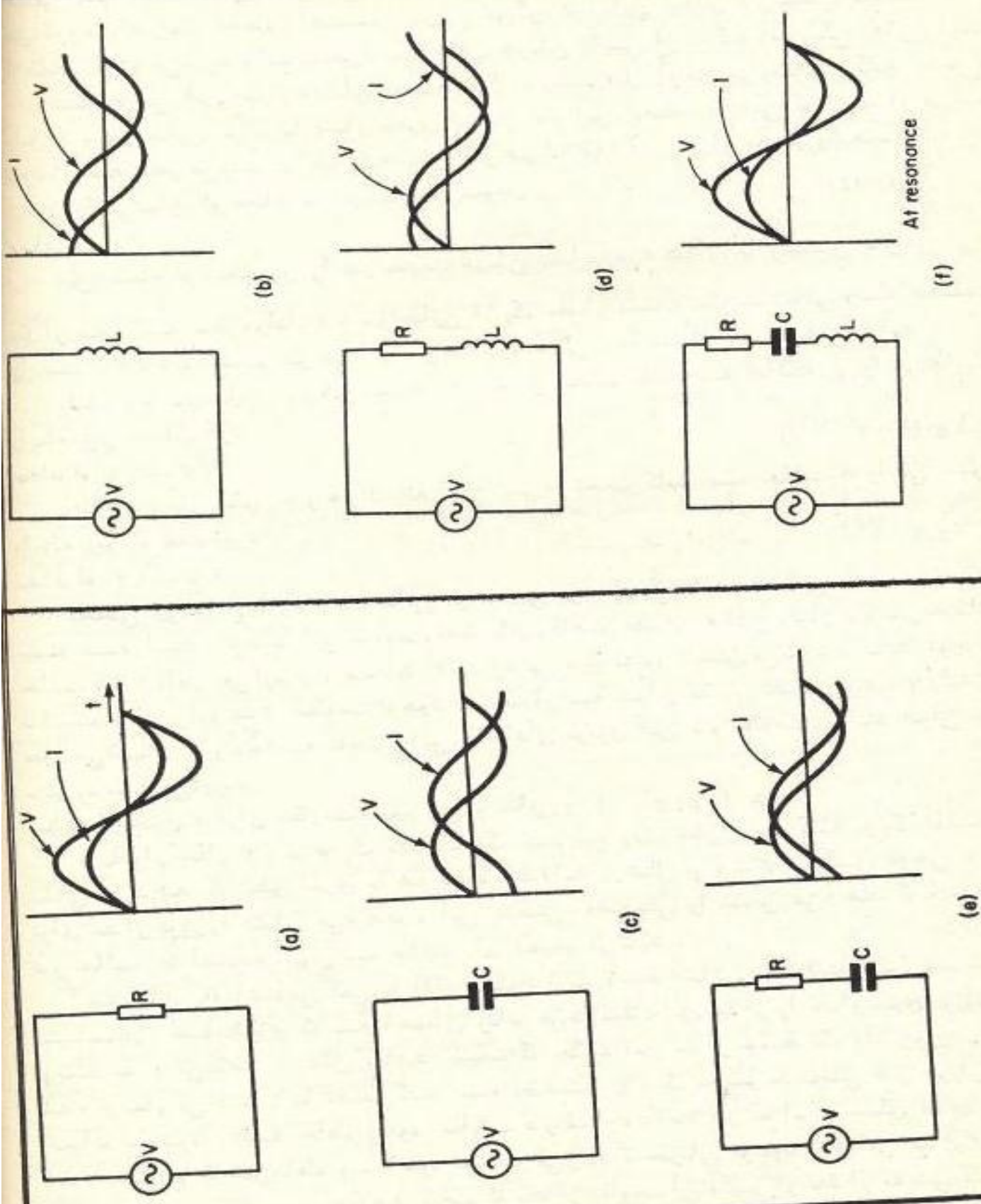
ایجاد می شود . به خاطر وجود مقاومت در مدار ، دامنه هر کدام از سیکل های تولید

شده بتدریج کاهش یافته و بالاخره به صفر می رسد . جریان موجود در این مدار فقط وقتی

شکل سینوسی به خود خواهد گرفت که مقدار مقاومت آن ، کمتر از مقدار معینی که آن را

مقاومت بحرانی Critical Resistance می گویند ، گردد .

شکل ۳-۷: مدارهای AC و شکل موجی سیگنال های آنها



اگر مقدار این مقاومت برابر با مقاومت بحرانی باشد، موج‌های سینوسی تولید شده حداکثر دامنه را دارا خواهند بود. مقدار این دامنه به صورت نمائی کاهش می‌یابد. اگر اندازه مقاومت بزرگتر از مقدار بحرانی باشد، پاسخ مدار بسیار کند و ضعیف خواهد بود. آن عده از خوانندگانی که دارای اوسیلوسکوپ هستند، به آسانی می‌توانند مطالب فوق را تجربه کنند.

مقدار مقاومت بحرانی را از رابطه زیر محاسبه می‌کنیم:

$$\text{معادله } ۷-۱۳:$$

— مدارهای AC :

یک مدار ac، مداری است که توسط یک ولتاژ متناوب، تحریک یا فعال شود شکل موجی این ولتاژ از نوع سینوسی است. روش تحریک مدارها توسط یک ولتاژ سینوسی و بررسی رفتار آنها ایده‌آل‌ترین و مناسبترین راه برای آزمایش و تست آنها است. به همین خاطر موج سینوسی به عنوان سیگنال تست دارای ارزش زیادی است. باید به خاطر داشت که ولتاژها و جریان‌های موجود در نقاط مختلف یک مدار خطی که توسط یک سیگنال سینوسی تحریک شده است، از نوع سینوسی می‌باشند. موج سینوسی محرک و سیگنال سینوسی که در یک نقطه از مدار دیده می‌شوند، می‌توانند فقط در اندازه دامنه و فاز با هم متفاوت باشند. دیاگرام شکل ۷-۳ ما را در درک اهمیت لغت فاز کمک می‌کند. لغت فاز نشان‌دهنده مقدار جابجائی یک سیگنال با سیگنال دیگر در محور افقی نمودار است. این پارامتر را بر حسب درجه یا رادیان اندازه می‌گیرند. برای تبدیل درجه به رادیان و بالعکس، باید به خاطر داشت که هر 360° (دویی) رادیان برابر با 2π (پی) ثابتی است که برابر با $2\pi/360$ است. با دانستن فرکانس، می‌توانیم اختلاف فاز را بر حسب واحدهای زمان نیز بیان کنیم. فوریر، ریاضی

ریاضیدان معروف نشان داده که هر سیگنال بدون توجه به پیچیدگی آن، مرکب از چندین موج سینوسی با دامنه و فاز معین است. این موضوع، بیانگر یکی از مهمترین واقعیات علم الکترونیک است.

این امر نشان می‌دهد که یک مدار خطی که برای تولید یک سیگنال غیر سینوسی طرح شده است را می‌توان با استفاده از تحریکات سینوسی آزمایش کرد.

مقدار موثر یا rms که اختصار root-mean-square است در سیگنال‌های سینوسی دارای ارزش خاصی است. به همین دلیل بهتر است کمی در باره آن صحبت کنیم. ولتاژ موثر یک سیگنال سینوسی عبارت از ماگزیم مقدار دامنه‌ای است که بر عدد ثابتی تقسیم می‌گردد. این عدد $1/\sqrt{2}$ می‌باشد. به عبارت دیگر ولتاژ موثر در یک سیگنال سینوسی یا متناوب برابر با ولتاژ پیوسته (dc) ای است که به هنگام عبور یک جریان معین از یک مقاومت معین، به یک اندازه انرژی گرمائی تولید کنند. با استفاده از معادله زیر می‌توانیم، مقدار ولتاژ موثر را حساب کنیم:

$$V_{rms} = \frac{V_m}{1.414}$$

معادله ۷-۱۴:

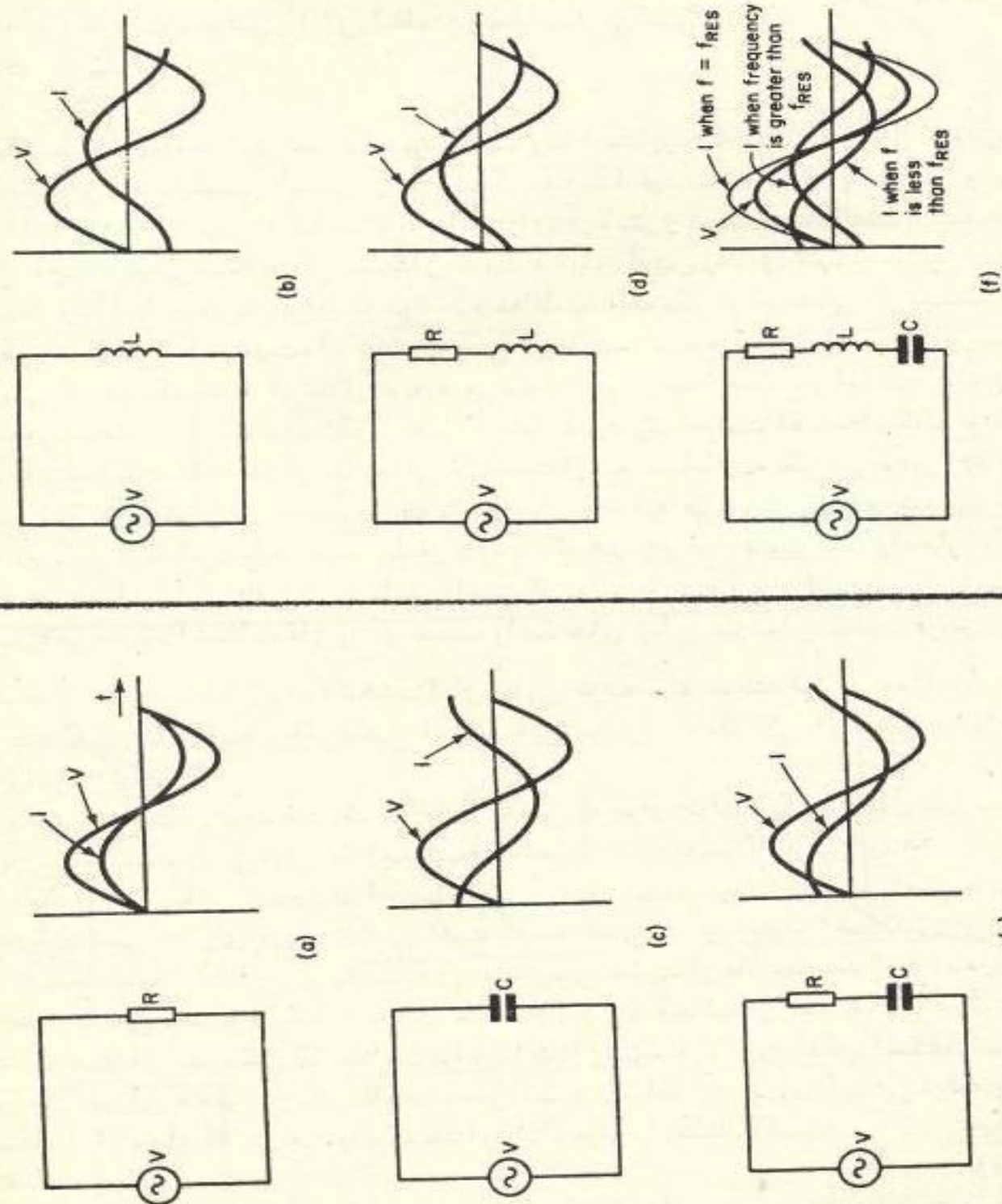
اگر مقدار rms معلوم باشد و بخواهیم مقدار ماگزیم را پیدا کنیم، باید مقدار rms را در $1/\sqrt{2}$ ضرب کنیم، یعنی:

$$V_m = 1.414 V_{rms}$$

معادله ۷-۱۵:

بهترین مثال برای سیگنال سینوسی جریان برق شهر است. ولتاژ موثر (rms) برق

شکل ۴-۷: چند مدار که توسط سیگنال های سینوسی تحریک شده اند



شهر ۲۳۰ ولت و فرکانس آن ۵۰ هرتز است.

در مورد مدارهای ac دو چیز مهم وجود دارد که باید بدقت مورد بررسی قرار گیرند. اول رابطه بین ولتاژ و جریان، دوم اثر فرکانس بر جریان و ولتاژ و سر قطعات

موجود در مدار. دیاگرام شکل ۴-۷ چند مدار را نشان می دهد. هر کدام از این مدارها توسط یک مولد سینکال سینوسی تحریک می شوند. شکل موجی ولتاژ و جریان حاصل از هر کدام از مدارهای مزبور را در کنارشان نشان داده ایم.

دیاگرام شکل ۴-۷ مداری را نشان می دهد که فقط دارای یک مقاومت است. رفتار مقاومت در این مدار بسیار شبیه به رفتار آن در مدارهای ac است. این مقاومت از عبور جریان مانع شده و باعث محدود شدن آن می گردد. چند چیز مهمی که در مورد این مدار وجود دارد، این است که بین ولتاژ و جریان هیچ اختلاف فازی دیده نمی شود و به عبارت دیگر این دو پارامتر با هم، هم فاز می باشند. با استفاده از نمودار موجی شکل جریان و ولتاژ می توان به مطلب پی برد.

فرکانس در این مدار (مدار دارای مقاومت) بر روی جریان اثری ندارد. مقدار جریان را به آسانی می توان با استفاده از قانون اهم بدست آورد.

دیاگرام شکل ۴-۷ b مداری را نشان می دهد که فقط شامل یک سیم پیچ است. شکل موجی جریان و ولتاژ نشان می دهند که این دو پارامتر با هم، هم فاز نمی باشند در حقیقت بین ولتاژ و جریان اختلاف فاز ۹۰ درجه یا $\frac{\pi}{2}$ رادیان وجود دارد. این پدیده بیانگر یکی از خصوصیات مهم سیم پیچ در جریان متناوب است.

مقدار جریان در این مدار تابع فرکانس است. بدین ترتیب که با افزایش فرکانس، جریان کمتری از سیم پیچ و در نتیجه مدار عبور می کند. با این همه، باز نیز می توان از قانون اهم برای یافتن مقدار جریان استفاده کنیم. فقط در این قانون کافی است به جای R از راکتانس القایی استفاده نمائیم. راکتانس القایی (X_L) را می توانیم از معادله زیر بدست آوریم:

$$X_L = \omega L \quad \text{معادله ۱۶-۷}$$

با وارد کردن این معادله در فرمول قانون اهم، معادله زیر بدست می آید: $I = \frac{V}{\omega L}$
این معادله نشان می دهد که جریان با فرکانس و اندوکتانس نسبت معکوس دارد. هر گونه افزایش در فرکانس یا اندوکتانس باعث کاهش مقدار جریان می گردد.

دیاگرام شکل ۴-۷ c، مداری را نشان می دهد که شامل فقط یک خازن است. این مدار نیز توسط یک سینکال سینوسی تحریک شده است. شکل موجی جریان و ولتاژ در اینجا نیز نشان می دهد که این دو پارامتر هم فاز نمی باشند. در این حالت، جریان نسبت به ولتاژ به اندازه ۹۰ درجه یا $\frac{\pi}{2}$ رادیان عقب تر است. مقدار جریان در این مدار بستگی به فرکانس و ظرفیت خازن دارد. مانند حالت قبل از قانون اهم می توانیم برای یافتن مقدار جریان استفاده کنیم. تنها کاری که در این مورد باید انجام دهیم جایگزین کردن R با راکتانس خازنی (X_C) است. راکتانس خازنی را می توانیم با استفاده از معادله زیر بدست آوریم:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad \text{معادله ۱۷-۷}$$

با وارد کردن X_C در فرمول قانون اهم، معادله زیر بدست می آید:

$$I = \omega CV \quad \text{معادله ۱۸-۷}$$

این معادله نشان می دهد که بین جریان و فرکانس، و همچنین جریان و ظرفیت خازن نسبت مستقیم وجود دارد. هر گونه افزایشی در این دو می تواند باعث افزایش مقدار

جریان گردد .

خوب تا اینجا به مطالعه مدارهای ساده‌ای پرداختیم که فقط شامل یک عنصر یا قطعه پاسیو (غیرفعال) بود . باید توجه داشت که با بکارگیری چند عدد از این قطعات می‌توان به نکات جالبی برخورد کرد . اول بیایید مدار RL را بررسی کنیم .

دیاگرام شکل ۷-۴۵ مدار RL را نشان می‌دهد که شامل یک مقاومت و یک سیم پیچ است . این قطعات بطور سری با هم بسته شده اند و توسط یک سیگنال سینوسی تحریک می‌شوند . با توجه به نمودار شکل موجی ولتاژ و جریان می‌بینیم که در اینجا دیگر بین این دو پارامتر (ولتاژ و جریان) اختلاف فاز ۹۰ درجه وجود ندارد . اختلاف فاز بین این دو کمتر از ۹۰ درجه است . در حقیقت این وجود مقاومت است که باعث کاهش اختلاف فاز شده است . وقتی که مقاومت و راکتانس از لحاظ عددی با هم مساوی می‌شوند وضعیت جالبی پیش می‌آید . در این حالت ، اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان برابر با ۴۵ درجه می‌گردد . با افزایش مقدار مقاومت ، این زاویه باز نیز هرچه بیشتر کاهش می‌یابد و بالاخره وقتی که مقدار مقاومت نسبت به راکتانس بسیار بزرگ می‌گردد ، اختلاف فاز به مقدار تقریبی صفر می‌رسد . در این وضعیت مدار طوری رفتار می‌کند که گویی فقط دارای مقاومت است . به منظور محاسبه جریان در یک مدار RL ابتدا باید امپدانس آن را پیدا کنیم . مقدار امپدانس را با استفاده از معادله زیر حساب می‌کنیم :

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

معادله ۷-۱۹ :

با جایگزین کردن Z به جای R در قانون اهم می‌توانیم مقدار جریان را محاسبه کنیم :

$$I = \frac{1}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$$

یعنی معادله ۷-۲۰ :

دیاگرام شکل ۷-۴۵ یک مدار RC را نشان می‌دهد که توسط یک سیگنال سینوسی تحریک شده است . با توجه به شکل موجی ولتاژ و جریان ، باز هم می‌بینیم که اختلاف فاز بطور دقیق برابر با ۹۰ درجه نیست . در اینجا ولتاژ نسبت به جریان به اندازه کمتر از ۹۰ درجه جلوتر است . وقتی که مقاومت و راکتانس خازنی با هم برابر می‌شوند ، اختلاف فاز به ۴۵ درجه می‌رسد . افزایش بیشتر مقدار مقاومت باعث کاهش هر چه بیشتر اختلاف فاز می‌گردد . وقتی که مقدار مقاومت نسبت به راکتانس خازنی بسیار بزرگ است ، اختلاف فاز برابر صفر می‌گردد . در این حالت نیز رفتار مدار طوری است که گویی فقط دارای مقاومت است . در اینجا نیز برای تعیین مقدار جریان باید ابتدا مقدار امپدانس را محاسبه کنیم . مقدار امپدانس برای یک مدار RC را از رابطه زیر بدست می‌آوریم :

معادله ۷-۲۱ :

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$$

با جایگزینی R توسط Z در قانون اهم ، مقدار جریان در یک مدار RC را از معادله زیر بدست می‌آوریم :

معادله ۷-۲۲ :

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$$

دیاگرام شکل ۴-۷، یک مدار RLC را نشان می‌دهد که توسط یک مولد سیگنال سینوسی تحریک شده است. این مدار به مدار تشدید سری معروف است. این مدار در فرکانس معینی حداقل مقاومت را پیدا می‌کند. مقدار این مقاومت در حالت تشدید مدار برابر با اندازه مقاومت موجود در مدار می‌گردد. به عبارت دیگر وقتی که یک مدار تشدید در فرکانس خاصی تشدید می‌گردد مقدار مقاومت خازن و سیم پیچ به حداقل می‌رسد. این مطلب را به این صورت نیز می‌توانیم بحث کنیم که در فرکانس خاصی که آن را فرکانس تشدید می‌نامیم، راکتانس‌های خازنی و القائی همدیگر را خنثی کرده و برابر صفر می‌گردند. بدین ترتیب مقاومت کل مدار برابر مقدار مقاومت یا رزیستانس R می‌گردد. همانطوری که انتظار داریم، بین ولتاژ و جریان در فرکانس تشدید، اختلاف فازی دیده نمی‌شود. همان گونه که قبلاً اشاره کردیم این فرکانس خاص را فرکانس تشدید یا رزونانس می‌نامند. اگر مقدار فرکانس از فرکانس تشدید تجاوز کند، اندوکتانس مدار باعث ایجاد اختلاف فاز می‌گردد، بطوری که جریان از لحاظ فاز به ولتاژ پیشی می‌گیرد. اگر مقدار فرکانس از فرکانس تشدید کمتر باشد، کاپاسیتانس یا خاصیت خازنی مدار باعث پیشی گرفتن ولتاژ بر جریان می‌گردد. از این خاصیت مهم مدارهای تشدید می‌توانیم در تشخیص فرکانس‌های مختلف استفاده کنیم. با توجه به از بین رفتن راکتانس خازنی و القائی در حالت رزونانت، مدار جریان بیشتری می‌کشد و به عبارت دیگر مصرف جریان به مقدار ماگزیمم خود می‌رسد. با کاهش مقدار مقاومت، می‌توانیم قابلیت انتخاب فرکانس مدار را افزایش دهیم. بدین ترتیب مدار فقط در فرکانس تشدید فعال خواهد بود و سایر فرکانس‌ها را رد خواهد کرد مقدار امپدانس مدار RLC در هر فرکانس را می‌توانیم با استفاده از معادله زیر بدست آوریم:

$$|Z| = \sqrt{\left\{ R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2 \right\}} \quad \text{معادله ۲۳-۷}$$

با وارد کردن معادله فوق در قانون اهم به آسانی می‌توانیم مقدار جریان در هر فرکانس را محاسبه کنیم:

$$I = \frac{V}{\sqrt{\left\{ R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2 \right\}}}$$

معادله ۲۴-۷:

مقدار جریان در حالت تشدید را به آسانی با استفاده از فرمول زیر بدست می‌آوریم.

$$I_R = \frac{V}{R}$$

معادله ۲۵-۷:

مثال‌های فرضی:

مثال ۱-۷:

یک مقاومت ۱۰ کیلو اهم و یک مقاومت ۴/۷ کیلو اهم بطور سری با هم به دو سر یک منبع تغذیه ۱۰۵c ولتی بسته شده‌اند. جریان مدار و ولتاژ دو سر هر کدام از خازن‌ها را محاسبه کنید؟

حل: جریان مدار را با استفاده از قانون اهم بدست می‌آوریم، یعنی:

ولتاژ دوسر هر کدام از مقاومت ها را بازنیز با استفاده از قانون اهم محاسبه می کنیم. ولی اینبار ولتاژ مجهول، و مقدار جریان و مقاومت معلوم است. بنابراین:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{10}{10K + 4.7K} = 0.68 \text{ mA}$$

ولتاژ دوسر مقاومت ۱۰ کیلو اهمی بدین صورت محاسبه می شود:

$$V = IR \quad V = 0.68 \text{ mA} \times 10 \text{ k} = 6.8 \text{ V}$$

و ولتاژ دوسر مقاومت ۴/۷ کیلو اهمی نیز بصورت زیر بدست می آید:

$$V = 0.68 \text{ mA} \times 4.7 \text{ k} = 3.2 \text{ V}$$

مثال ۲-۷:

یک مدار سری RC شامل یک مقاومت ۱ مگا اهم و یک خازن ۱ میکروفاراد کاملاً خالی است. ثابت زمانی مدار را پیدا کرده و جریان اولیه ای را که به هنگام اتصال یک باتری ۱۰ ولتی به مدار ایجاد می شود را محاسبه کنید.

حل:

ثابت زمانی برای یک مدار RC سری را با استفاده از فرمول زیر پیدا می کنیم:

$$T = CR$$

با قرار دادن مقادیر معلوم در معادله فوق، ثابت زمانی را محاسبه می کنیم:

$$T = 1.0 \times 10^{-6} \times 1.0 \times 10^6 = 1 \text{ sec}$$

جریان اولیه مدار را می توانیم با استفاده از قانون اهم بدست آوریم:

$$I = \frac{V}{R}$$

با جایگزاری مقادیر معلوم، جواب را پیدا می کنیم:

$$I = \frac{10}{1 \times 10^6} \text{ amps} = \frac{10}{1 \times 10^6} \times 10^6 \mu\text{A}$$

$$= 10 \mu\text{A}$$

مثال ۳-۷:

مقدار ماکزیمم یک ولتاژ متناوب برابر ۶ ولت است. مقدار rms آن را پیدا کنید؟

با استفاده از معادله ۷-۱۴ داریم:

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_p}{1.414}$$

با وارد کردن مقدار معلوم ولتاژ ماکزیمم در معادله فوق جواب را پیدا می کنیم:

$$V_{\text{rms}} = \frac{6}{1.414} = 4.24 \text{ V}$$

یک مدار سری شامل یک مقاومت ۱ اهمی و یک سیم پیچ ۱ میلی هانری است.
رآکتانس سیم پیچ در فرکانس ۱ کیلوهرتز را محاسبه کرده و امپدانس مدار در همان فرکانس را پیدا کنید ؟

حل :

با استفاده از معادله ۱۶ - ۷ می توانیم رآکتانس را بدست آوریم :

$$X_L = 2\pi fL$$

با وارد کردن مقادیر در این معادله داریم :

$$X_L = 2 \times 3.142 \times 1 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-3} = 6.28 \text{ ohms}$$

با استفاده از معادله ۱۹ - ۷ ، مقدار امپدانس مدار را بدست می آوریم :

$$|Z| = \sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)}$$

با وارد کردن مقادیر معلوم در معادله بالا ، جواب را بدست می آوریم :

$$Z = \sqrt{(10^2 + 6.28^2)} = 11.8 \text{ ohms}$$

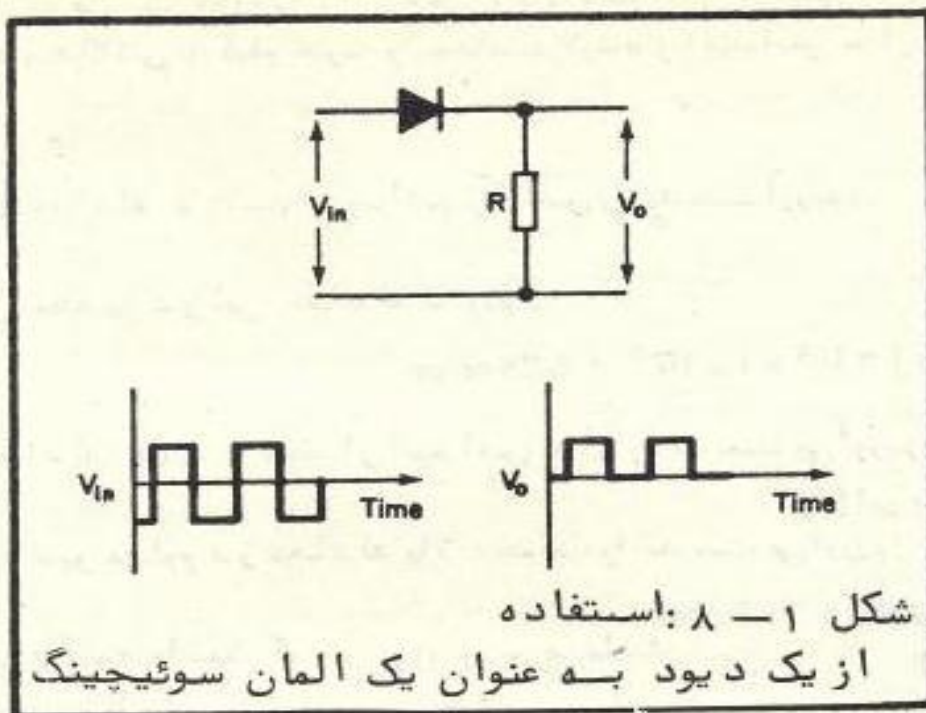
توجه : به خاطر داشته باشید که $\omega = 2\pi f$ می باشد .

بخش ۱

استفاده از دیودها و ترانزیستورها

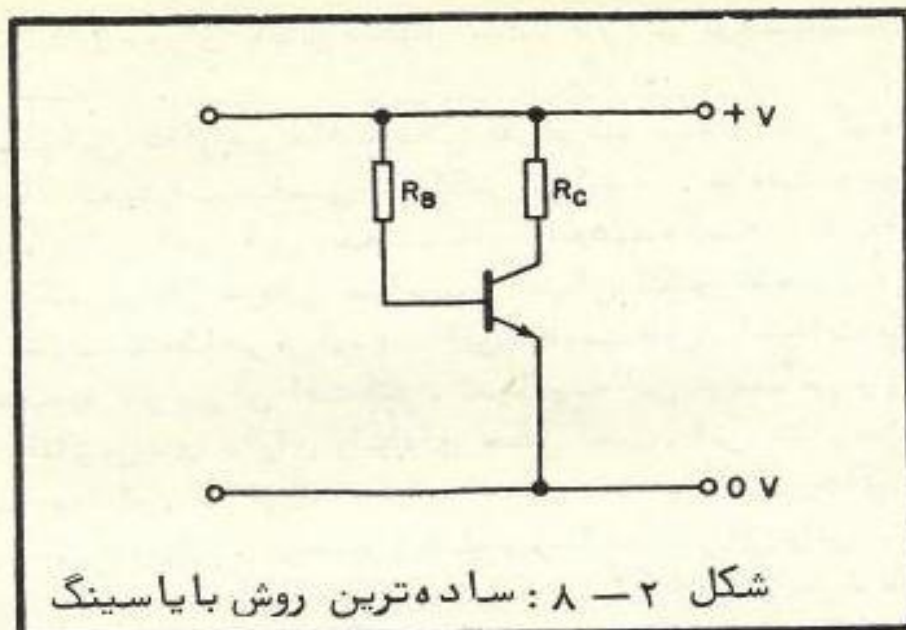
— استفاده از دیودها :

دیودها از قطعاتی می باشند که در مدارهای مختلف دارای کاربردهای بسیاری می باشند . در تمام این کاربردها ، یکی از مشخصات اصلی دیود یعنی قابلیت هدایت الکتریکی در یک جهت و مقاومت زیاد در جهت دیگر ، دارای اهمیت بسیاری است . یکسو سازی ، آشکار سازی ، کلپینگ (قیچی کردن و برش سیگنال) ، و ایزولاسیون (جداسازی) بین بار و منبع تغذیه چند عدد از کاربردهای دیود در مدارهای الکترونیک می باشد . به هنگام استفاده از دیود پیوندی ، مسائل مهمی وجود دارد که باید آنها را مورد توجه قرار داده و رعایت کرد . همانطوری که می دانید ، یک دیود معمولی عبارت از یک پیوند pn می باشد . یک لایه تهی یا خالی از بار الکتریکی در وسط نیمه هادی یا بین نواحی p و n یا به عبارت دیگر در محل پیوند (اتصال) دیده می شود . این لایه به هنگام بایاسینگ از لحاظ عرض یا پهنا تغییر پیدا می کند . وقتی که دیود بایاس مستقیم می یابد ، از پهنای لایه تهی آن کاسته شده و مقاومت الکتریکی آن کاهش می یابد . ولی به هنگام بایاس معکوس بر پهنای این لایه افزوده شده و در نتیجه مقاومت الکتریکی آن نیز افزایش بسیار زیادی می یابد . کارخانه سازنده دیود ، همیشه مقدار ماکزیمم جریانی را که دیود در وضعیت بایاس مستقیم می تواند از خود عبور داده و سالم بماند را ذکر می کند . ماکزیمم ولتاژ معکوس که در وضعیت بایاس معکوس می توان به دیود اعمال کرد رانیز همراه با سایر پارامترهای مهم ذکر می کنند . قدرت یا توان دیود نیز از پارامترهای مهمی است که باید به هنگام کاربرد آن مورد توجه قرار داد .



از بحث‌های قبلی امان دریافتیم که هرگاه ولتاژ معکوس دو سر دیود از یک حد معینی تجاوز کند، پیوند گسسته خواهد شد. این پدیده در دیودهای زبرک‌مک‌مبه‌سی در تثبیت ولتاژ می‌نماید ولی در دیودهای معمولی باعث آسیب دیدن و خرابی آنها می‌گردد. در کاربردهای معمولی، ما عموماً می‌خواهیم دیودی داشته باشیم که به هنگام بایاس مستقیم مانند یک مدار کوتاه، و به هنگام بایاس معکوس مانند یک مدار باز عمل کند.

دیود مورد نظر ما باید به آسانی بتواند جریان مورد نیاز را در اختیارمان قرار داده و هرگونه ولتاژ معکوس موجود در مدار را تحمل کند. در عمل، توان یا قدرت دیود توسط ماگزیمم جریان، و ماگزیمم ولتاژ معکوس توسط ولتاژ شکست پیوند محدود می‌شوند. یک دیود نمونه سوئیچینگ باید بتواند جریان ۷۵ میلی آمپر را در حالت بایاس مستقیم از خود عبور دهد و ولتاژ معکوس موجود در مدار را تحمل کند. دیودهایی که در یکسو سازها (رکتیفایرها) بکار می‌روند باید بتوانند جریان و ولتاژ معکوس بیشتری را تحمل کنند. در یکسو سازهای دارای خازن صافی، باید مقدار ماگزیمم جریان و ولتاژ معکوس ماگزیمم را مورد توجه قرار داد. در این مدارهای یکسو ساز، وقتی که دیود هادی می‌گردد، در یک لحظه کوتاه خازن مانند یک مدار کوتاه عمل کرده و باعث عبور جریان نسبتاً زیادی می‌گردد. دیود یا دیودهای موجود در مدار یکسو ساز باید بخوبی بتوانند این جریان را تأمین نمایند، بدون اینکه آسیبی به آنها برسد. در این یکسو سازها، وقتی که دیود هادی نمی‌باشد، ولتاژ ذخیره شده در خازن صافی که می‌تواند بیش از دو برابر ولتاژ ماگزیمم ورودی باشد، به عنوان ولتاژ معکوس به دیود اعمال می‌گردد. در این حالت لازم است که ولتاژ معکوس ماگزیمم دیود بیش از دو برابر ولتاژ ماگزیمم ورودی باشد. در کاربردهای سوئیچینگ، شکل سیگنال‌های ورودی و خروجی مدار را باید مورد توجه قرار دهیم. در این نوع مدارها، جهت دیود در شکل سیگنال خروجی بسیار مؤثر می‌باشد. شکل ۱-۸ مداری را نشان می‌دهد که در آن یک دیود به عنوان یک عنصر



سوئیچینگ بکار رفته است. در این مدار وقتی که ولتاژ ورودی بیش از $V/6$. ولت گردد ، دیود بایاس مستقیم یافته و باعث عبور جریان خواهد شد . وقتی که ولتاژ ورودی به دیود منفی گردد ، دیود بایاس معکوس یافته و از عبور جریان ممانعت می‌کند . با معکوس کردن ترمینال‌های دیود ، می‌توانیم مدار سوئیچینگ را بسازیم که ولتاژهای منفی را عبور داده و ولتاژهای مثبت را حذف کند . بدین ترتیب می‌توان توسط یک دیود به عنوان یک قطعه سوئیچینگ ، بخشی از سیگنال ورودی را حذف کرده و بخش دیگر را عبور داد . در حالت اول (شکل ۱-۸) نیم سیکل‌های مثبت از دیود عبور کرده و نیم سیکل‌های منفی حذف می‌گردند . با استفاده از یک ولتاژ متغیر ، می‌توانیم ولتاژ هدایت (ولتاژی که در حالت بایاس مستقیم دیود شروع به هدایت الکتریکی می‌کند) دیود را پیدا کنیم .

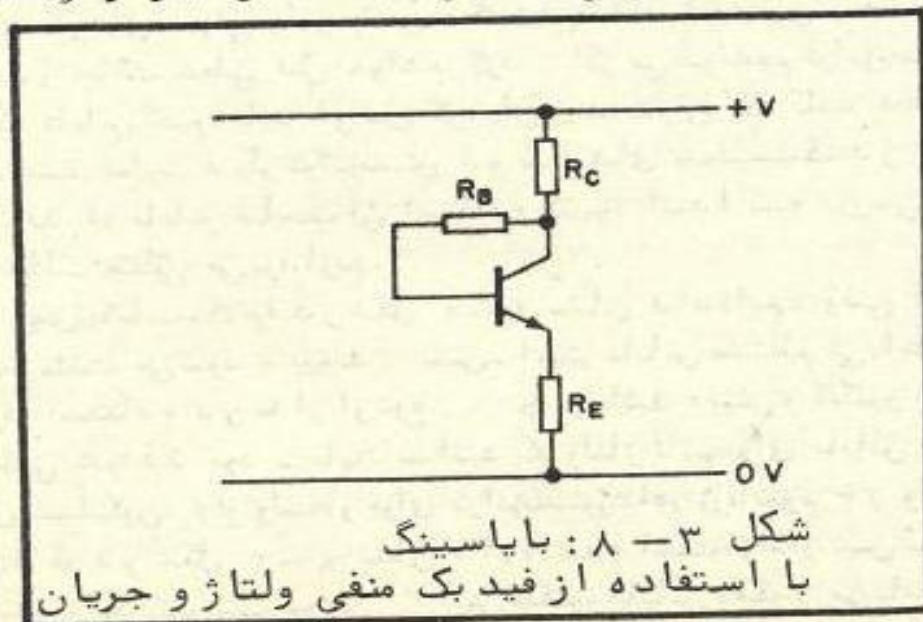
— استفاده از ترانزیستورها :

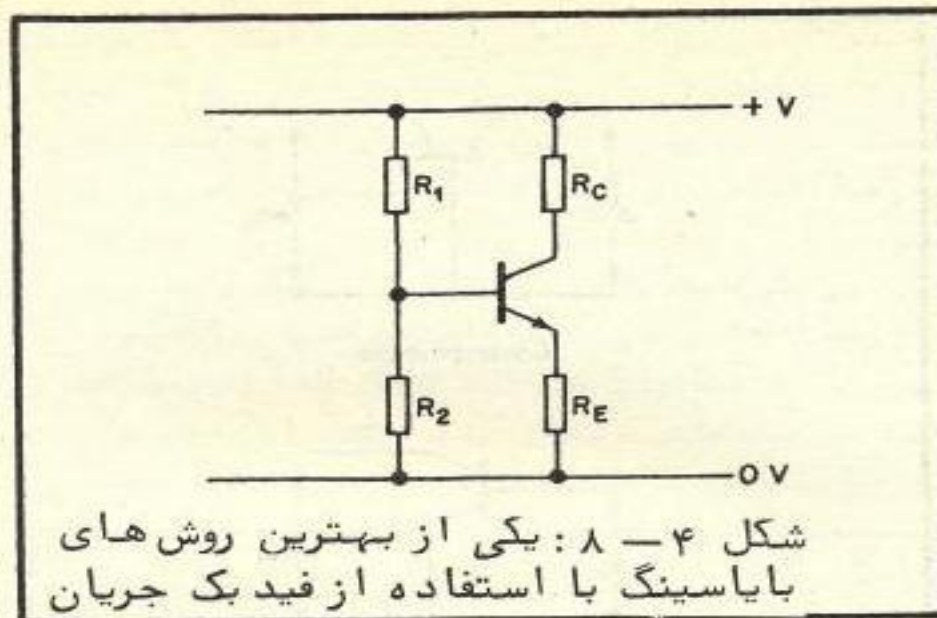
اولین قدم در استفاده صحیح از ترانزیستورها ، بایاسینگ مناسب آنها است . روش بایاسینگ ترانزیستورها بستگی بسیار به کاربرد آنها دارد . به هنگام بایاسینگ ترانزیستور در مدارهای آمپلی فایر (تقویت کننده) باید اطمینان پیدا کنیم که مدار بطور صحیح و در حالت خطی عمل خواهد کرد . اگر می‌خواهیم ترانزیستوری را در یک مدار سوئیچینگ بایاس کنیم ، باید از عمل کرد آن به عنوان یک کلید قطع و وصل کننده مطمئن باشیم . به عبارت دیگر ترانزیستور در مدارهای سوئیچینگ در حالت غیر خطی عمل می‌کند و باید از بایاس مناسب آن استفاده کنیم . ابتدا به بررسی روش‌های ممکن بایاسینگ در حالت خطی می‌پردازیم .

ساده‌ترین روش بایاسینگ را در شکل ۲-۸ نشان داده‌ایم . وقتی که ولتاژ بیس نسبت به امیتر مثبت می‌شود ، پیوند بیس-امیتر بایاس مستقیم می‌یابد . اگر ترانزیستور مورد استفاده در مدار از نوع pnp باشد ، بیس و کلکتور نسبت به امیتر دارای ولتاژ منفی خواهد بود . باید بدانید که ولتاژ لازم برای بایاس مستقیم ترانزیستورهای سیلیکون $V/6$ ولت ، و برای ترانزیستورهای ژرمانیوم $V/3$ ولت است . در ترانزیستور npn که در شکل ۲-۸ نشان داده شده است ، ولتاژ بیس نسبت به کلکتور باید منفی باشد . بدین ترتیب پیوند بیس-کلکتور بایاس معکوس می‌یابد . بنابراین

مشاهده می‌کنید که در این روش بایاسینگ، پیوند بیس-امیتر دارای بایاس مستقیم و پیوند بیس-کلکتور دارای بایاس معکوس است. در این نوع بایاسینگ، جریان کلکتور تابع جریان بیس است.

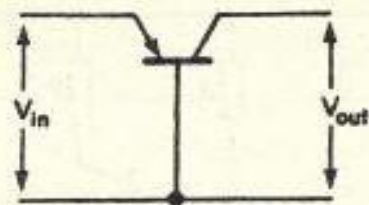
وقتی که می‌گوئیم این مدار در حالت خطی کار می‌کند، یعنی هر گونه تغییر جریان در بیس باعث ایجاد تغییرات متناسبی در کلکتور می‌گردد. مقاومت موجود در مدار بیس به همین منظور و برای تامین این وضعیت بکار گرفته شده است. با بکارگیری یک مقاومت در مدار کلکتور، ولتاژ خروجی متناسب با جریان کلکتور تغییر پیدا می‌کند. این ولتاژ در دوسر مقاومت RC ظاهر می‌گردد. این مقاومت طوری انتخاب می‌شود که فقط بخشی از ولتاژ تغذیه دوسر آن افت کند. تنها به این ترتیب می‌توان مطمئن شد که ولتاژ خروجی با ولتاژ ورودی دارای رابطه‌ای خطی است. این مدار ساده که بخوبی با ترانزیستورهای سیلیکون کار می‌کند، برای استفاده با ترانزیستورهای ژرمانیوم مناسب نیست. جریان نشتی در یک ترانزیستور ژرمانیوم بسیار بیشتر از ترانزیستور سیلیکون است و مقدار این جریان به ازای هر ۱۰ درجه سانتیگراد افزایش دما، دو برابر می‌شود. بدین ترتیب جریان کلکتور بستگی شدیدی به دما پیدا می‌کند و نقطه کار آن به آسانی با دما دچار تغییر می‌گردد. نقطه کار ترانزیستور توسط ولتاژ امیتر-کلکتور و جریان کلکتور مشخص می‌شود. با مدار ساده موجود در شکل ۲-۸ نمی‌توان اثر جریان نشتی بر نقطه کار ترانزیستور ژرمانیوم را کاهش داده و به حداقل رساند. و به همین دلیل این مدار برای ترانزیستورهای ژرمانیوم مناسب نبوده و توصیه نمی‌گردد. جریان نشتی در ترانزیستورهای سیلیکون نمی‌تواند باعث ایجاد اشکال گردد. اگرچه سرعت افزایش جریان نشتی در ترانزیستورهای سیلیکون نسبت به ترانزیستورهای ژرمانیوم بیشتر است، ولی مقدار آن در ترانزیستورهای سیلیکون بسیار کوچک و قابل گذشت است. اما ولتاژ بیس-امیتر در یک ترانزیستور سیلیکون نسبتاً به دما حساس می‌باشد و این موضوع حقیقتی است که باید به هنگام بایاسینگ مورد توجه قرار گیرد. هر مداری که تغییرات ولتاژ بیس-امیتر باعث تغییر جریان کلکتور ترانزیستور نگردد، برای استفاده از ترانزیستورهای سیلیکون مناسب و قابل قبول است. مدار ساده شکل ۲-۸ از این نظر مناسب می‌باشد. با اضافه کردن یک مقاومت به مدار امیتر ترانزیستور و بستن



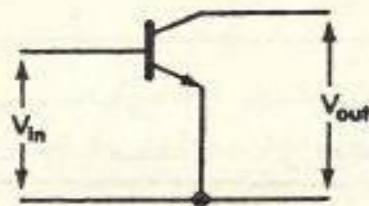


انتهای مقاومت بیس به کلکتور، می‌توان بر ثبات مدار افزود. این نوع بایاسینگ را در شکل ۳-۸ نشان داده‌ایم. در این مدار، هر دو فیدبک جریان و ولتاژ از نوع منفی می‌باشند. و به اصطلاح مدار دارای فیدبک منفی است. فیدبک کله‌ای است که به برگشت بخشی از سیگنال خروجی به ورودی اطلاق می‌شود. اگر فیدبک باعث تضعیف شدید سیگنال ورودی گردد، آن را فیدبک مثبت می‌نامند. اگر فیدبک باعث تضعیف سیگنال ورودی گردد آن را فیدبک منفی می‌نامند. با اینکه فیدبک منفی باعث ثبات بیشتر مدار می‌گردد ولی در عوض باعث کاهش ضریب تقویت آن می‌شود. زیرا همان‌طور که اشاره کردیم در فیدبک منفی، سیگنال فیدبک از سیگنال ورودی کم شده و باعث کاهش آن می‌گردد. با کاهش مقدار سیگنال ورودی، سیگنال خروجی نیز کاهش می‌یابد. در مدار شکل ۳-۸، مقاومت بیس به کلکتور ترانزیستور متصل شده است و به عنوان فیدبک منفی ولتاژ عمل می‌کند. با اضافه کردن یک مقاومت به مدار امیتر، نیز می‌توانیم فیدبک جریان را فراهم کنیم. این فیدبک نیز از نوع منفی است. جریانی که از این مقاومت عبور می‌کند باعث ایجاد ولتاژی در دو سر آن می‌گردد و این ولتاژ باعث کنترل ولتاژ بیس امیتر می‌گردد. اگر مقدار این جریان توسط عواملی مانند دما تغییر یابد، فیدبک منفی بلافاصله باعث تصحیح آن خواهد شد. بدین ترتیب که فیدبک با تغییر ولتاژ بیس امیتر، تغییر جریان را جبران می‌کند. از آنجائیکه جریان امیتر تابع ولتاژ بیس-امیتر است، و به آسانی می‌توان آن را کنترل کرد. همچنین با توجه به اینکه جریان کلکتور تقریباً مساوی با جریان امیتر است. با کنترل جریان امیتر نیز می‌توانیم جریان کلکتور را کنترل کنیم. حال می‌توانیم با توجه به مطلب فوق، علت برتری این مدار بر مدار ساده قبل را دریافته و عملکرد آن را از نقطه نظر فیدبک منفی درک کنیم.

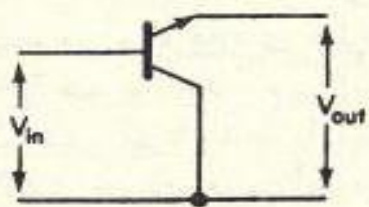
نوع دیگر بایاسینگ که از یک مقاومت اضافی دیگر کمک می‌گیرد را در شکل ۴-۸ نشان داده‌ایم. این مدار نسبت به مدارهای دیگر دارای عملکرد بهتری است. این مدار فقط دارای فیدبک منفی جریان است. عملکرد بهتر آن به علت شبکه مقسم ولتاژی است که در مدار بیس دیده می‌شود. وجود این شبکه، باعث وابستگی کمتر جریان کلکتور به جریان نشستی می‌گردد.



Common-base



Common-emitter



Common-collector

شکل ۵ - ۸ : سه حالت برای عملکرد ترانزیستور

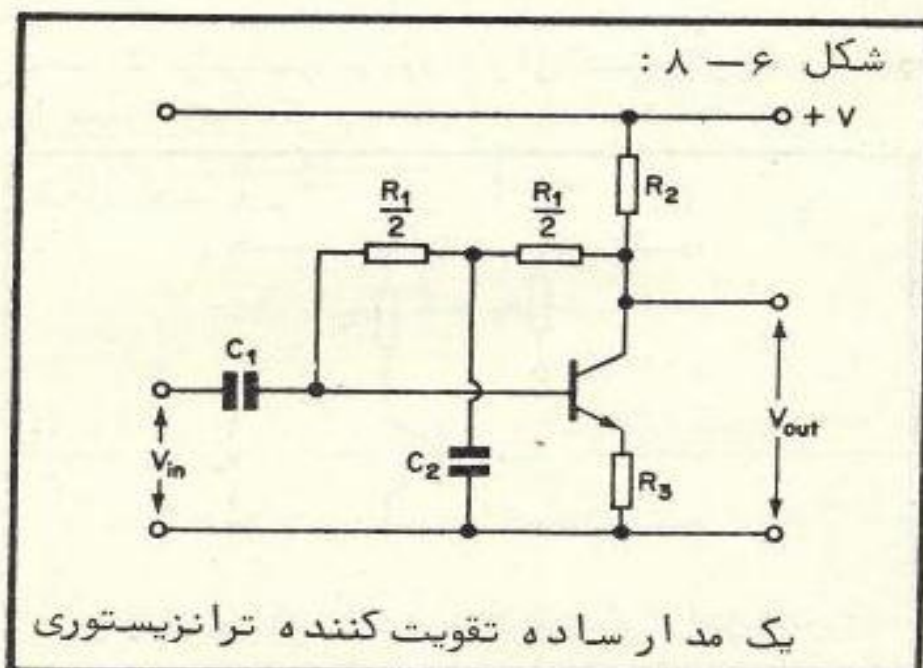
به همین دلیل این روش بایاسینگ بخصوص در مورد ترانزیستورهای ژرمانیوم بکار می رود .

حال که با روشهای بایاسینگ آشنا شدید ، بیایم ببینیم که چگونه می توان از ترانزیستور در طبقات آمپلی فایر یا تقویت کننده استفاده کرد . برای این منظور سه راه وجود دارد . در هر کدام از این روشها ، یکی از ترمینالهای ترانزیستور را بین خروجی و ورودی مشترک فرض کرده و هر کدام از دو ترمینال دیگر را به عنوان ورودی و خروجی بکار می گیرند . بدین ترتیب با سه آرایش مختلف مواجه می شویم که بیس - مشترک ، امیتر - مشترک و کلکتور - مشترک نام دارند . این سه آرایش را در شکل ۵ - ۸ نشان داده ایم از آنجائیکه در اینجا مدارها را از نقطه نظر سیگنالها مورد بحث قرار می دهیم ، مدارهای بایاس آن ها را برای آسانتر شدن کار ، حذف کرده ایم .

مدار بیس - مشترک می تواند ، به مقدار زیاد باعث تقویت ولتاژ گردد . مقاومت ورودی این مدار نسبتاً کم است . و همین امر در بعضی از کاربردها یک عیب مهم به حساب می آید . مدار امیتر - مشترک بهترین و کارآمدترین مدار به حساب می آید ، زیرا هم

باعث تقویت جریان و هم باعث تقویت ولتاژ می‌گردد. با اعمال یک فیدبک منفی مناسب به این مدار می‌توان به آسانی مقاومت ورودی آن را در حد دلخواه تنظیم کرد. مدار کلکتور مشترک که به امیتر-فالور (دنبال کننده امیتر) معروف است، به عنوان طبقه تبدیل کننده امپدانس دارای ارزش خاصی است. مقاومت ورودی آن زیاد و مقاومت خروجی آن کم است.

دیagram شکل ۸-۶ یک طبقه تقویت کننده امیتر مشترک را نشان می‌دهد. شروع بایاسینگ این مدار تقویت کننده مانند شکل ۸-۳ است. باید توجه داشته باشید که در اینجا مقاومت بیس به دو مقاومت جداگانه تفکیک شده است و نقطه وسط آنها توسط یک خازن به شاسی یا خط مشترک متصل شده است. این عمل برای جلوگیری از ایجاد سیگنال فیدبک منفی، انجام شده است. یکی از عواملی که توسط فیدبک منفی شانس



(موازی) کاهش می‌یابد، امپدانس ورودی است و این امر برای آمپلی فایری که در فرکانس های بسیار کم عمل می‌کند، نا مطلوب است. وقتی که مقاومت ورودی کم باشد، باید خازنی که در ورودی نصب می‌شود، بسیار بزرگ و به عبارت دیگر ظرفیت باشد. فرکانس قطع پائینی (cut off) در این طبقه از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$f = \frac{1}{2\pi R_{in} C_1}$$

معادله ۸-۱ :

مقاومت ورودی R_{in} را بطریق زیر می‌توان پیدا کرد :

این مقاومت ورودی شامل دو بخش موازی است. اولین بخش، شامل مقاومتی است که صرف نظر از مقاومت بایاس، در ترمینال بیس دیده می‌شود.

مقدار این مقاومت بستگی به ضریب تقویت جریان امیتر مشترک (h_{fe})، و مقاومت کل کوپله نشده (undecoupled) در پایه امیتر دارد. این مقاومت کل شامل مقاومت داخلی امیتر (r_e) و R_3 است. از آنجائیکه مقدار I_e معلوم است، مقدار r_e را می‌توان با استفاده از معادله ۲۲-۵ (معادله‌ای که در بخش ۵ دیده می‌شود) بدست آورد. اگر مقدار مقاومت R_3 نسبت به r_e بسیار بزرگ باشد، در این صورت می‌توان از r_e صرف نظر کرد.

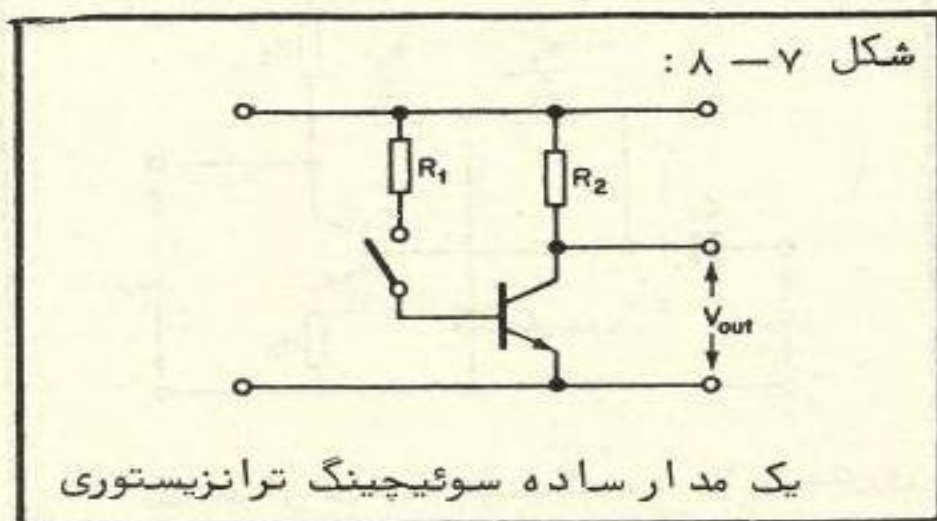
دومین بخشی که در مقدار مقاومت ورودی مدار موثر است، R_2 و R_1 می باشند همچنین باید فرض کرد که راکتانس خازن C_2 نسبت به راکتانس $R_1 R_2$ در پائین ترین فرکانس مورد نظر، بسیار کوچک باشند این دو بخش موازی باعث تعیین مقدار مقاومت ورودی مدار می گردند.

معادله ۸-۱ را می توان نسبت به C تغییر داد. از این معادله می توان به برای محاسبه مقدار ظرفیت خازن ورودی در فرکانس مطلوب ω دسی بل استفاده کرد. این معادله چنین است:

$$C = \frac{1}{2\pi f R_{in}}$$

معادله ۸-۲:

خوب تا اینجا حالت خطی عملکرد ترانزیستور را مورد بحث و بررسی قرار دادیم. ولی همانطوری که قبلاً اشاره کردیم، از ترانزیستور می توان در حالت غیر خطی نیز استفاده کرد در این صورت می گوئیم که ترانزیستور به عنوان یک کلید عمل می کند. دیاگرام شکل ۸-۷ مداری را نشان می دهد که ترانزیستور موجود در آن به عنوان کلید عمل کرده و به اصطلاح این مدار را مدار سوئیچینگ می نامند.



در این مدار، وقتی که کلید موجود در مدار بیس باز است و جریانی از ترمینال بیس نمی گذرد، ترانزیستور در حالت قطع است و در نتیجه هیچ جریانی از کلکتور عبور نمی کند. در این حالت ولتاژ کلکتور تقریباً برابر با ولتاژ تغذیه است.

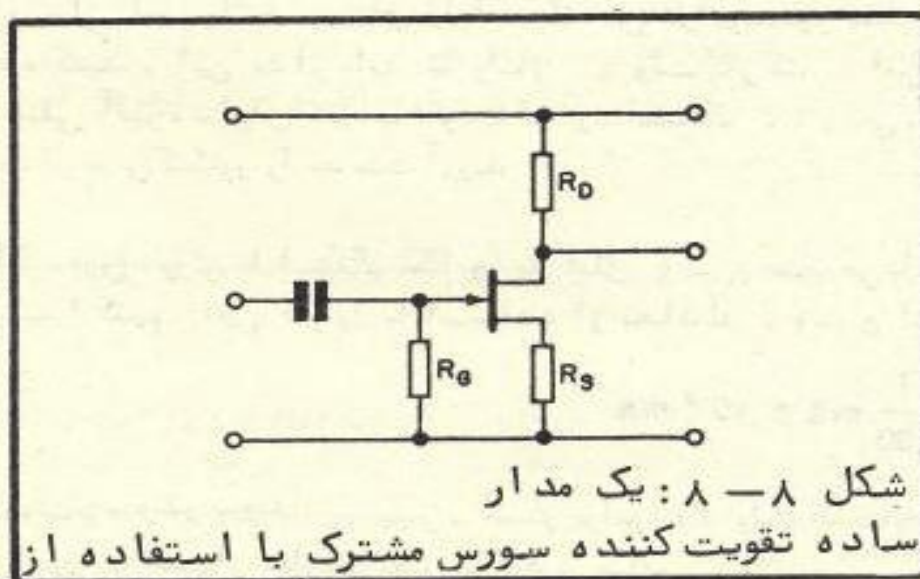
وقتی که کلید بسته می شود، جریانی از بیس می گذرد که باعث بکار افتادن و در نتیجه هدایت ترانزیستور میگردد. در این حالت که ولتاژ کلکتور-امیتر پائین و برابر با ولتاژ اشباع ترانزیستور است، می گوئیم که ترانزیستور روشن است.

همچنین در این وضعیت، تمام ولتاژ تغذیه بدو سر مقاومت R_L یا R_2 افت می کند. تا بحال به بررسی مدارهای ترانزیستوری دو قطبی (بی پولار) پرداختیم. در مورد ترانزیستورهای تک قطبی (یونی پولار) نیز مسائل مهمی وجود دارد که باید ذکر شود.

از آنجائیکه اصول عملکرد ترانزیستورهای تک قطبی در مقایسه با ترانزیستورهای دو-قطبی تفاوت زیادی دارد، طریقه بایاسینگ آنها نیز با هم متفاوت است.

دیاگرام شکل ۸-۸ یک ترانزیستور n-channel JFET را نشان می دهد که به عنوان یک تقویت کننده سورس-مستترک بکار گرفته شده است. از آنجائیکه در این مدار

پیوند ورودی دارای بایاس معکوس است، مقاومت ورودی آن نیز بسیار زیاد است. این خاصیت در اکثر مدارهای خطی ترانزیستورهای تک قطبی دارای ارزش زیادی است. اندازه بایاس معکوس توسط مقدار مقاومت مدار سورس تعیین می شود. یک جریان سورس معین باعث ایجاد یک ولتاژ معلوم در دوسر این مقاومت می گردد و این همان ولتاژ موثر بین سورس و گیت می باشد. چون جریانی که در مدار گیت جاری می شود جزئی است و بطور کامل مربوط به پدیده های ناشی است، مقاومت بین گیت و خط ولتاژ صفر بسیار زیاد خواهد بود، بدون اینکه باعث ایجاد اختلال و بی نظمی در نقطه



کار ترانزیستور گردد. بنا بر این ظرفیت خازن ورودی برای فرکانس کم، بطور قابل توجهی کوچک خواهد بود.

به هنگام استفاده از هر ترانزیستور، باید حتماً پارامترهای مختلف آن که توسط کارخانه سازنده ذکر می گردد را مورد توجه قرار داد. همچنین در مورد جریان درین، ولتاژهای بین الکترودها باید پارامترهای لازم را رعایت نمود. توان ترانزیستوری که در مداری مورد استفاده قرار می گیرد نیز دارای اهمیت بسیاری است.

در مورد ترانزیستورهای قدرت باید از هیت سینک (رادیاتور) های مناسبی استفاده کرد. این هیت سینک ها باید بتوانند سرعت حرارت تولید شده توسط ترانزیستور را به هوای مجاور خود منتقل کنند. بهتر است قبل از بکارگیری یک ترانزیستور یا دیود، اطلاعاتی که در دفترچه راهنمای آن یا کتابهای مرجع ذکر می گردد را بدقت مورد بررسی قرار داد.

مثال ها

مثال ۸-۱:

کاتد یک دیود پیوندی سیلیکون به ترمینال منفی یک باتری ۱۰ ولتی وصل شده است. آند آن توسط یک مقاومت $2/8$ کیلو اهم به ترمینال مثبت باتری بسته شده است. جریان دیود را تعیین کنید؟

حل:

چون کاتد دیود به ترمینال منفی و آند آن به ترمینال مثبت باتری بسته شده است

دیود دارای بایاس مستقیم است. همانطوری که می دانید، افت ولتاژ د و سریک دیود سیلیکون در وضعیت بایاس مستقیم، ۰/۶ ولت است. جریان توسط مقاومت سری محدود شده و از تقسیم ولتاژ د و سر آن بر مقدار مقاومت آن بدست می آید.

$$I = \frac{10 - 0.6}{8.2} \text{ mA} = \frac{9.4}{8.2} = 1.15 \text{ mA}$$

مثال ۲-۸:

می خواهیم: یک ترانزیستور را طوری بایاس کنیم که ولتاژ کلکتور-امیتر برابر ۳ ولت و جریان کلکتور برابر ۱ میلی آمپر باشد. برای بایاسینگ این ترانزیستور فقط از یک مقاومت در مدار بیس استفاده کنید. این مدار باید با ولتاژ ۱۰ ولت کار کند. این ترانزیستور در جریان کلکتور ۱ میلی آمپر، دارای ضریب تقویت امیتر-مستمر ۱۰۰ می باشد. جریان بیس، مقدار مقاومت مدار بیس کلکتور را بدست آورید؟

حل:

با توجه به مطالب فوق، روش بایاسینگ مطابق با شکل ۲-۸ متن می باشد. ابتدا باید جریان بیس را پیدا کنیم. این کار را با استفاده از معادله ۲-۵ انجام می دهیم

$$I_b = \frac{I_c}{h_{fe}} = \frac{1}{100} \text{ mA} = 10^{-2} \text{ mA}$$

می دانیم که افت ولتاژ د و سر پیوند بیس-امیتر برابر ۰/۶ ولت است. بنابراین ولتاژی که باعث عبور جریان بیس از مقاومت بیس می گردد برابر ۰/۶-۱۰ می باشد. با استفاده از قانون اهم مقدار مقاومت بیس (R_B) را محاسبه می کنیم:

$$R_B = \frac{10 - 0.6}{10^{-2} \text{ mA}} \text{ k}\Omega = \frac{9.4}{10^{-2}} \text{ k}\Omega = 940 \text{ K}$$

نزدیکترین مقدار استاندارد به این مقاومت، ۱ مگا اهم می باشد. چون ولتاژ کلکتور-امیتر ۳ ولت است. مقدار افت ولتاژ د و سر مقاومت کلکتور (R_C) برابر $V_C - V_E = 10 - 3 = 7$ می گردد. باز نیز از قانون اهم استفاده کرده و مقاومت کلکتور را محاسبه می کنیم:

$$R_C = \frac{7}{1 \text{ mA}} = 7 \text{ K}\Omega$$

نزدیکترین مقدار استاندارد به این مقاومت، ۸/۶ کیلو اهم است.

مثال ۳-۸:

یک طبقه تقویت کننده دارای مقاومت ورودی ۴۷ کیلو اهم است. می خواهیم خازن ورودی را طوری انتخاب کنیم که در فرکانس ۴۰ هرتز دارای بهره ۳ دسی بل باشد. ظرفیت خازن ورودی را پیدا می کنیم:

$$C = \frac{1}{2\pi f R_{in}} = \frac{1}{2\pi \times 40 \times 47 \times 10^3} \text{ F}$$

$$= \frac{10^2 \mu\text{F}}{2\pi \times 40 \times 47 \times 10^3} = 0.085 \mu\text{F}$$

مثال ۴-۸ :

یک طبقه تقویت کننده امیتر مشترک، در مدار امیتر دارای یک مقاومت غیر دکوپله می باشد. h_{fe} ترانزیستور موجود در مدار برابر ۱۰۰ است.

مقاومت ورودی مدار را، با صرف نظر کردن از اثرات موازی (شانت) حاصل از بایاسینگ

پیدا کنید ؟ در مورد اثر دکوپلینگ مقاومت امیتر نیز بحث نمائید ؟
حل :

مقاومتی را کوپله نشده می گوینده که سیگنال به شکل ولتاژی در دوسر آن ظاهر گردد با وصل کردن یک خازن، که رآکتانس آن حداقل یک دهم مقدار مقاومت مزبور است، به دوسر مقاومت امیتر، دکوپلینگ مورد نیاز فراهم می شود.

وجود یک مقاومت غیر دکوپله باعث افزایش مقاومت ورودی می گردد. این موضوع را می توان توسط معادله ۲۱-۵ نیز بیان نمود :

$$R_{in} = h_{fe} (R + r_e)$$

مقاومت داخلی امیتر (r_e) تابع جریان کلکتور است و با استفاده از رابطه زیر بدست می آید :

دکوپلینگ مقاومت امیتر، باعث کاهش مقدار مقاومت ورودی، و افزایش بهره مدار می گردد. این بهره را می توان از تقسیم مقاومت بار کلکتور بر مقاومت غیر دکوپله امیتر بدست آورد. مقدار مقاومت کلکتور در مقایسه با مقاومت امیتر زیاد بزرگ نیست.

$$r_e = \frac{25}{1 \text{ mA}} = 25 \Omega$$

$$R_{in} = 100(25 + 100) = 12500 = 12.5 \text{ k}\Omega$$

بخش ۹

استفاده از مدارهای مجتمع

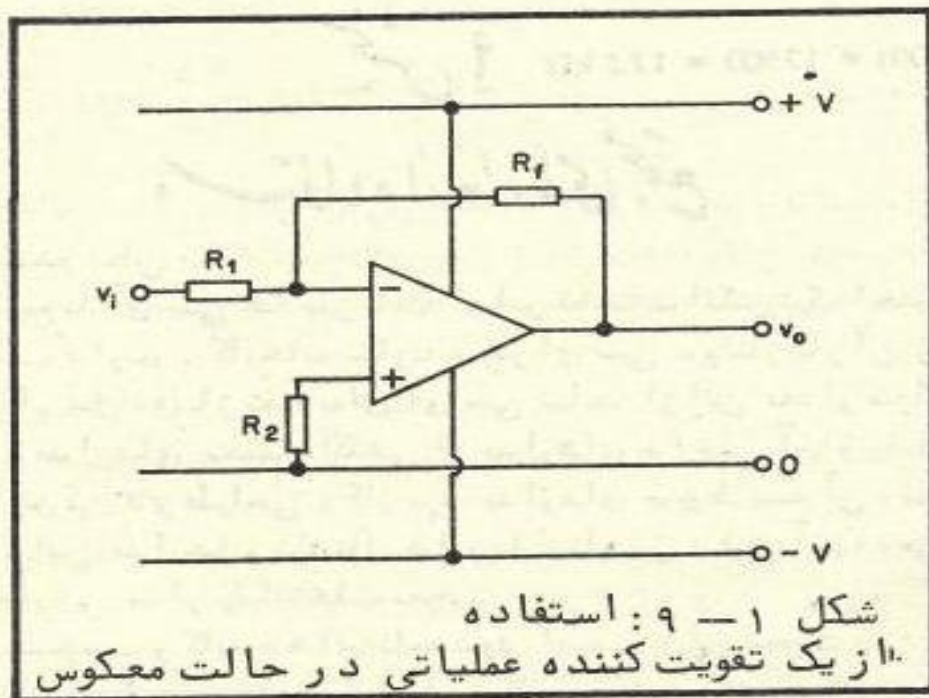
— مدارهای مجتمع خطی :

مدارهای مجتمع یا آی سی ها نیز مانند سایر قطعات الکترونیک احتیاج به یک منبع تغذیه dc مناسب دارند. کارخانه سازنده هر آی سی، ولتاژ کار آن را نیز مشخص می کند. به هنگام عمل، ولتاژ تغذیه ای آی سی نباید از این مقدار تجاوز کند. به هنگام استفاده از مدارهای مجتمع، آگاهی از مدارهای داخلی آن و وضعیت ترمینال های آن می تواند کمک بزرگی در طراحی و کاربرد مدارهای مربوط به آن، نماید. بعضی از مواقع با آگاهی از این مدارها و ترمینال ها و با شناختن دقیق آنها، می توان بطور مناسب قطعات خارجی مدار را انتخاب نمود.

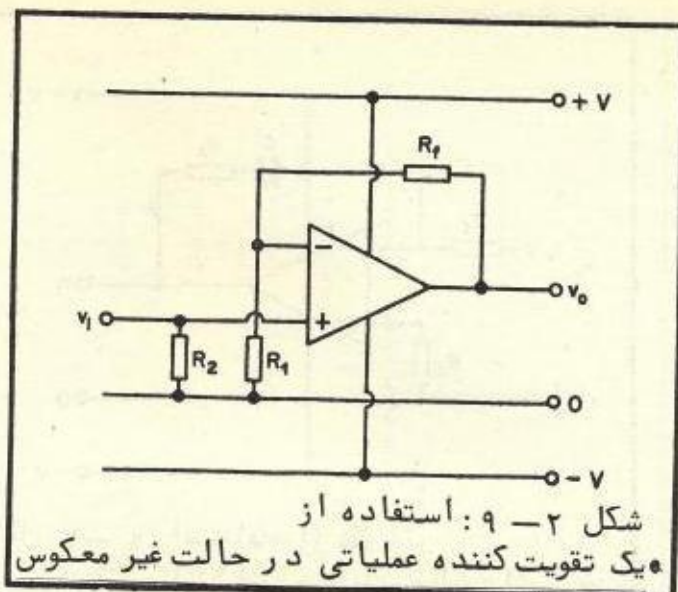
با توجه به محبوبیت و کاربردهای نامحدود آی سی های تقویت کننده عملیاتی op-amp ما بحث امان را بر روی این نوع آی سی ها متمرکز می کنیم. تقویت کننده های عملیاتی که بطور اختصار op-amp نیز نامیده می شوند و به این نام نیز معروف می باشند، آی سی های تقویت کننده با بهره زیاد می باشند. از این قطعات برای انجام اعمال ریاضی نیز استفاده می شود. باید توجه داشت که این خصوصیت آی سی های تقویت کننده

عملیاتی، عامل اصلی محبوبیت آنها در بین علاقمندان الکترونیک نمی باشند. این کاربردها شامل هر دو نوع مدارهای خطی و غیر خطی می گردد. امکان بحث دقیق و کامل هر کدام از این کاربردها، در اینجا میسر نیست. بنابراین موضوع صحبت امان را بر کاربردهایی قرار می دهیم که اکثراً با آنها مواجه می شویم. تقویت سیگنال یکی از موارد استفاده آپ-آپ می باشد. آمپلی فایرهای عملیاتی اینکار را بخوبی می توانند انجام دهند. بعداً خواهیم دید که چگونه از یک آپ-آپ برای این منظور استفاده می کنیم. تولید سیگنال یا عمل نوسان سازی یکی دیگر از کارهای بسیار مهمی است که آپ-آپ ها می توانند انجام دهند. با استفاده از تقویت کننده های عملیاتی می توانیم، ساده ترین مدارهای نوسان ساز را طراحی کرده و مونتاژ کنیم. بعدها در این مورد بحث بیشتری خواهیم نمود. یک آپ-آپ معمولاً دارای دو ترمینال ورودی و یک ترمینال خروجی است. یکی از ترمینال های ورودی را ورودی معکوس کننده و دیگری را ورودی غیر معکوس کننده می نامند. ورودی معکوس کننده را با علامت - (منفی) ورودی غیر معکوس کننده را علامت + (مثبت) نشان می دهند. این علائم، بسادگی رابطه بین سیگنال ورودی و خروجی را نشان می دهند. البته این رابطه از نظر پلاریته یا مثبت و منفی بودن سیگنال ها می باشد. اگر سیگنال موجود در ورودی معکوس کننده، مثبت باشد، انتظار داریم که سیگنال خروجی منفی گردد. همچنین اگر سیگنال موجود در ورودی غیر معکوس کننده مثبت باشد، انتظار داریم که سیگنال خروجی هم مثبت گردد. به هنگام استفاده از یک آپ-آپ به عنوان یک آمپلی فایر یا تقویت کننده، می توانیم از هر کدام از ورودی ها استفاده کنیم. اگر برای این منظور از ورودی غیر معکوس آن استفاده کنیم، مقدار بهره را از رابطه زیر بدست می آوریم:

$$A = \frac{R_f}{R_1}$$



دیگرام مداری این تقویت کننده را در شکل ۱-۹ نشان داده ایم. استفاده از معادله فوق برای تعیین بهره مدار شکل ۱-۹ بسیار ساده است و نباید اشکالی در استفاده از آن پیش آید. روش معمولی که در اینجا بکار می رود این است که، ابتدا مقدار مناسبی



برای مقاومت R_f فرض می‌کنیم و سپس با توجه به بهره مورد نظرمان، مقدار R_f را پیدا می‌کنیم.

مقدار مقاومت R_2 تقریباً برابر با معادل موازی R_1 و R_f می‌باشد. البته این موضوع برای وضعیتی است که امپدانس ورودی مدار را پائین و از نوع کوپل فرض کرده باشیم. اگر ورودی مدار از نوع کوپل ac باشد، R_2 برابر با R_f می‌گردد. اگر از ورودی غیر معکوس آی سی استفاده کنیم، بهره مدار برابر می‌گردد با:

$$A = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

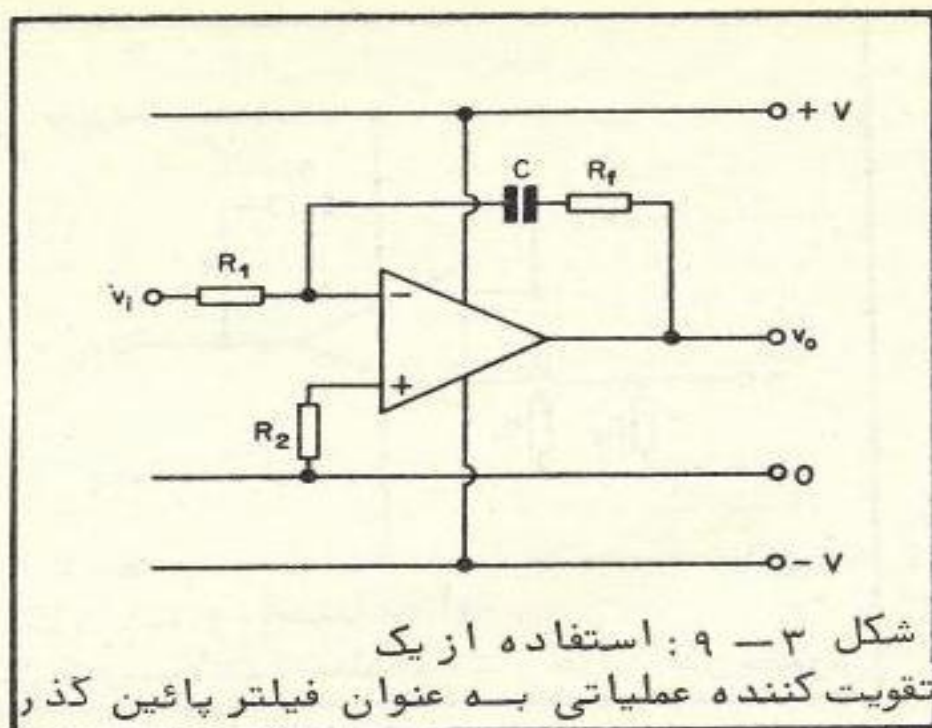
معادله ۲-۹: مدار شکل ۲-۹ این حالت را نشان می‌دهد. این معادله نیز بسیار شبیه به معادله ۱-۹ است، با این تفاوت که به طرف راست آن عدد ۱ اضافه شده است. هرچقدر مقدار بهره مدار را بیشتر بگیریم، اشتباه حاصل از صرف نظر کردن عدد ۱ نیز کوچکتر خواهد بود. روش محاسبه مقدار مقاومت‌ها مانند حالت پیش است.

اغلب احتیاج به تقویت کننده‌ای پیدا می‌کنیم که پاسخ فرکانس آن معلوم باشد استفاده از آپ-آمپ برای این منظور مناسب است. با انتخاب صحیح مقادیر R_C می‌توان پاسخ فرکانس مورد نظر را بدست آورد. R_1 و R_f به تنهایی یا هر دو می‌توانند در مقدار R_C جایگزین شده و در تعیین پاسخ فرکانس موثر باشند. فرض کنید، احتیاج به آمپلی فایری داریم، که پاسخ آن پائین تر از یک فرکانس معین، بیش از ۶ دسی بل برآکتاو باشد این منظور را به آسانی می‌توان توسط مدار ۳-۹ حصول کرد. فرکانس شکست، یا به عبارت دیگر فرکانسی که پاسخ در آن بیش از ۳ دسی بل گردد را از معادله زیر بدست می‌آوریم:

$$f = \frac{1}{2\pi C R_f}$$

معادله ۳-۹:

مدار موجود در شکل ۳-۹، مداری است که پاسخ آن در بالاتر از یک فرکانس خاص شروع به افزایش می‌کند. فرکانس شکست یا قطع در این حالت برابر با معادله زیر است:



شکل ۳-۹: استفاده از یک تقویت کننده عملیاتی به عنوان فیلتر پائین گذر

$$f = \frac{1}{2\pi C R_1}$$

معادله ۴-۹:

مدار شکل ۴، مداری است که باعث افزایش پاسخ از یک فرکانس معین به پائین می گردد. مدار شکل ۴-۹ باعث کاهش پاسخ از یک فرکانس معین به بالا می گردد. فرکانس شکست برای شکل ۴-۹ از معادله زیر بدست می آید:

$$f = \frac{1}{2\pi C R_1}$$

معادله ۵-۹:

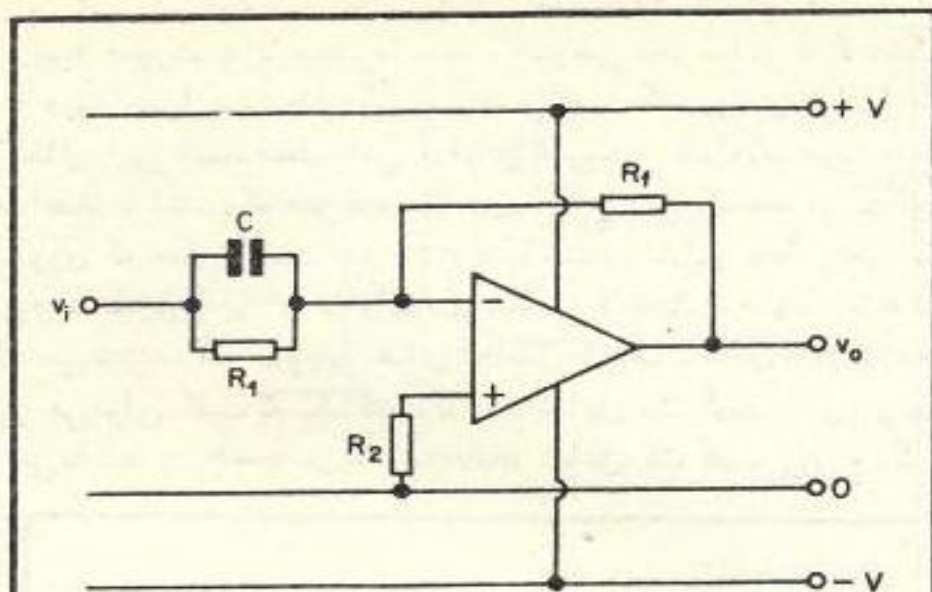
$$f = \frac{1}{2\pi C R_f}$$

فرکانس شکست برای مدار شکل ۴-۹ از رابطه زیر حساب می شود:

معادله ۶-۹:

استفاده از آی سی های آپ - امپ، وقتی که یک منبع تغذیه dc با ترمینال های مثبت، منفی و صفر در دسترس است بسیار آسان است. گاهی از اوقات، چنین منبع تغذیه ای در اختیار نداریم و باید از یک منبع تغذیه با ترمینال های مثبت و صفر استفاده کنیم اینکار را می توان با استفاده از شکل ۷-۹ انجام داد. همانطوری که در این شکل می بینید، برای این منظور باید تغییراتی در مدار ایجاد کرد. در این شکل، خازن های C1 و C2 به عنوان خازن های بلوکینگ عمل می کنند. مقدار ظرفیت C1 باید طوری باشد، که در پائین ترین فرکانس مورد نظر در مقایسه با R2 راکتانس کوچکتری را دارا باشد. همچنین راکتانس خازن C2 باید کوچکتر از R1 باشد.

از تقویت کننده های عملیاتی می توان برای تولید سیگنال های گوناگون استفاده کرد. شکل ۸-۹ مداری را نشان می دهد که به عنوان مولد سیگنال سینوسی عمل می کند. باید توجه داشت که هر نوسانساز تشکیل شده است از یک تقویت کننده یا آمپلی فایر و یک شبکه فیدبک مثبت. به هنگام نوسانسازی، بخشی از سیگنال خروجی توسط شبکه فیدبک وارد ورودی شده و باعث تداوم عمل نوسانسازی می گردد. در اینجا بخش آمپلی فایر باید بتواند به اندازه کافی باعث تقویت سیگنال گردد و بدینوسیله عمل تولید مجدد سیگنال ادامه یابد. شبکه فیدبک در این نوسانساز بسیار شبیه به مدار "پل وین" است.



شکل ۴-۹: استفاده از یک تقویت کننده عملیاتی به عنوان فیلتر بالا گذر

از آنجائیکه نوع فیدبک در این مدار، مثبت است اختلاف فاز حاصل از آن نیز صفر می باشد بدین ترتیب آمپلی فایر نباید باعث تغییر فاز گردد. به همین منظور از ترمینال ورودی غیر معکوس آی سی استفاده کرده ایم. در این نوع نوسانسازها، فرکانس نوسانساز از رابطه زیر بدست می آید:

$$f = \frac{1}{2\pi CR}$$

معادله ۷-۹:

حداقل بهره بخش آمپلی فایر در این نوع نوسانسازها، باید ۳ دسی بل باشد. برای ایجاد ثبات در دامنه موج سینوسی و ثابت نگاه داشتن بهره، از فیدبک منفی استفاده می کنیم. البته در این حالت ثبات در دامنه و بهره، فقط در یک فرکانس خاص امکان پذیر خواهد بود. حال اگر با تغییر مقادیر مدار پل وین باعث تغییر فرکانس گردیم، چگونه می توانیم ثبات لازم را فراهم کنیم. برای این منظور در شبکه فیدبک منفی از یک تریستور استفاده می کنیم.

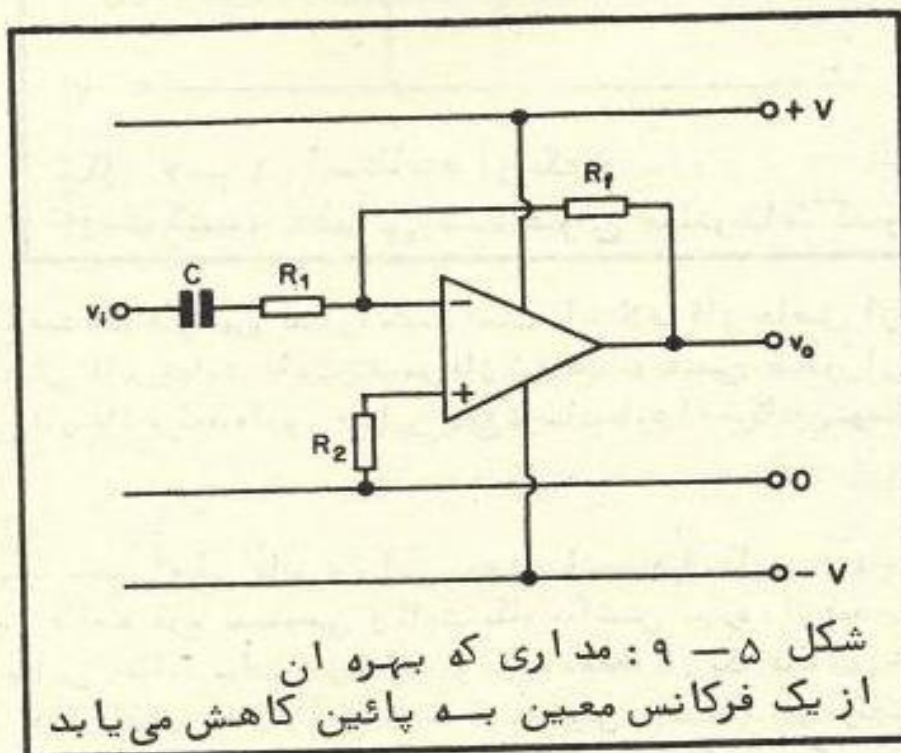
از آمپلی فایرهای عملیاتی برای تولید سیگنال مربعی شکل نیز می توانیم استفاده کنیم. در اینجا دوباره از فیدبک مثبت استفاده می شود. اما در این مورد شبکه فیدبک فقط شامل یک مقاومت است. در این نوع نوسانساز نیز پریود و فرکانس توسط مقدار RC کنترل می شود. مدار این نوسانساز مربعی را در شکل ۹-۹ نشان داده ایم.

— مدارهای مجتمع دیجیتال:

— TTL:

با استفاده از آی سی های خانواده TTL می توان یک سری اعمال لاجیک گوناگون را انجام داد. بعدها این کارها را مورد بحث بیشتری قرار خواهیم داد. توابع لاجیک توسط کیت های NAND، AND و NOR و لاجیک انجام می گیرند. یک گیت قطعه یا بخشی است که دارای دو یا چند ورودی و یک خروجی است. هر گیت به عنوان یک عنصر لاجیک (منطق) عمل می کند. یک گیت AND وقتی دارای خروجی است که

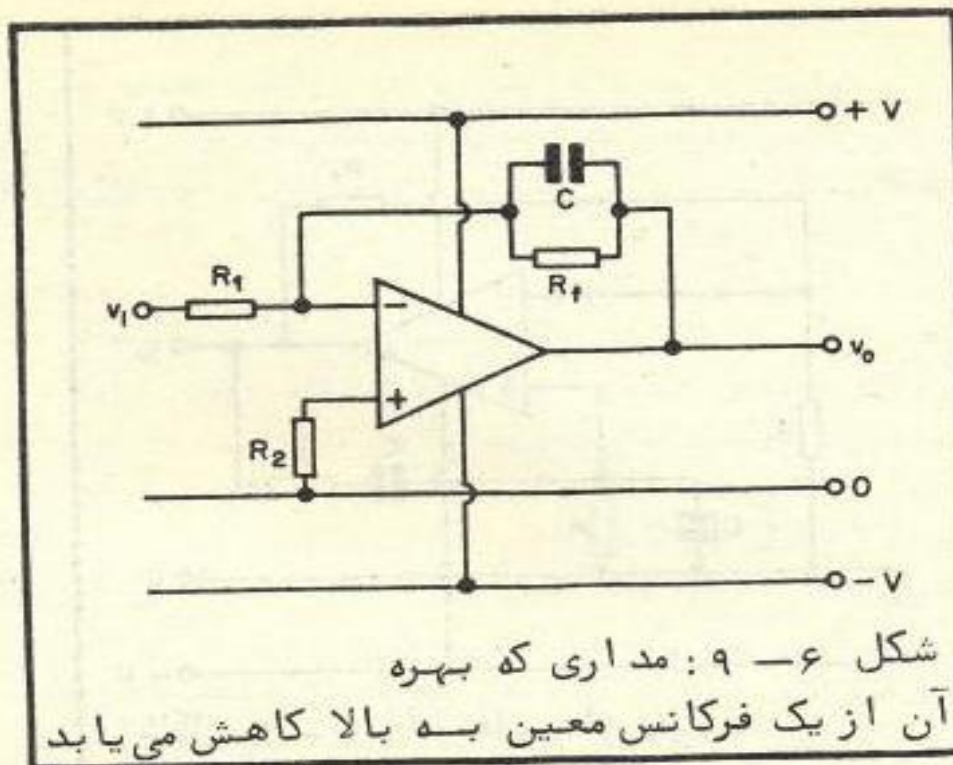
تمام ورودی های آن در یک سطح لاجیک معلوم قرار گرفته باشند و به عبارت دیگر وقتی که تمام ورودی ها به صورت ۱ لاجیک باشند، خروجی نیز برابر ۱ لاجیک می گردد. بیائید یک گیت AND با دو ورودی را در نظر بگیریم. فرض کنید که ورودی ها را با حروف A و B مشخص کرده ایم. حال این گیت فقط وقتی دارای خروجی خواهد بود یا به اصطلاح خروجی بالائی خواهد داشت که هر دو ورودی A و B در یک مقدار معلوم لاجیک باشند. یک گیت OR همانطوری که ممکن است حدس زده باشید، فقط و فقط وقتی دارای خروجی است که یکی از ورودی های A یا B دارای یک مقدار لاجیک معلوم باشد. توابع NAND و NOR وقتی تشکیل می شوند که خروجی های حاصل از گیت های OR NOR معکوس یا ففسی گردند. بنابراین می توان گفت که یک گیت NAND شامل یک گیت AND و یک اینورتر (معکوس کننده) می باشد. همچنین یک گیت NOR شامل یک گیت OR و یک اینورتر است.



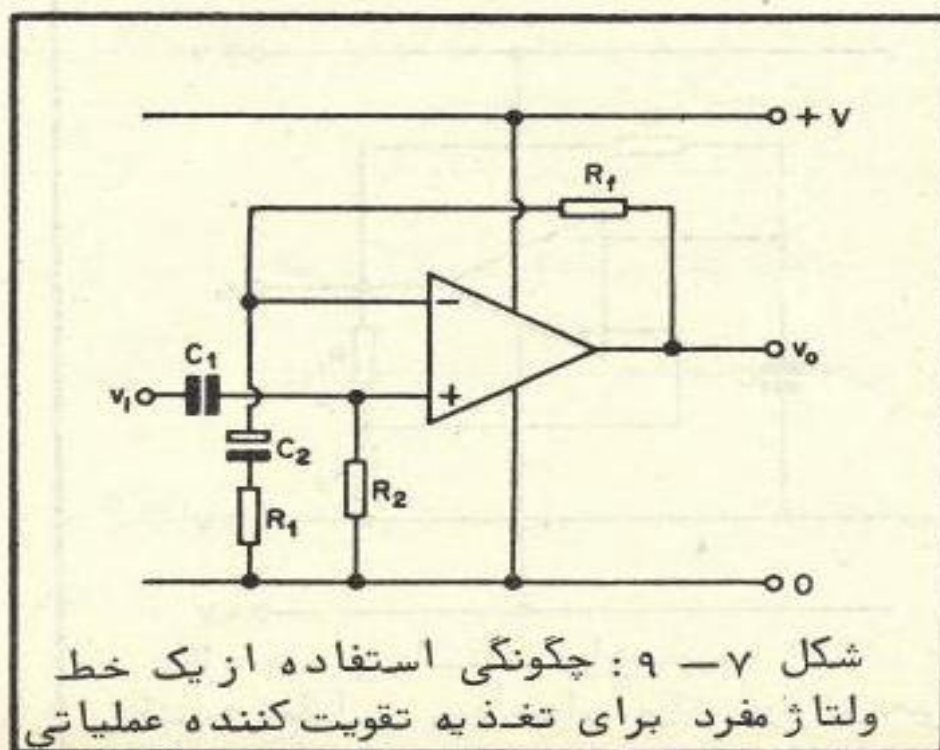
یک چیپ (قطعه یا آی سی) لاجیک معمولی دارای پوششی پلاستیکی است و شامل ۱۴ ترمینال یا پایه است. تعداد گیتها و تعداد ورودی های هر گیت بستگی به تعداد پایه های آی سی دارد. دو گیت که هر کدام دارای دو ورودی می باشند، سه گیت که هر کدام دارای سه ورودی هستند، چهار گیت با چهار ورودی و یک گیت با ۸ ورودی از جمله قسمت هایی هستند که به شکل یک قطعه کوچک پلاستیکی با ۱۴ پایه به بازار عرضه می شوند.

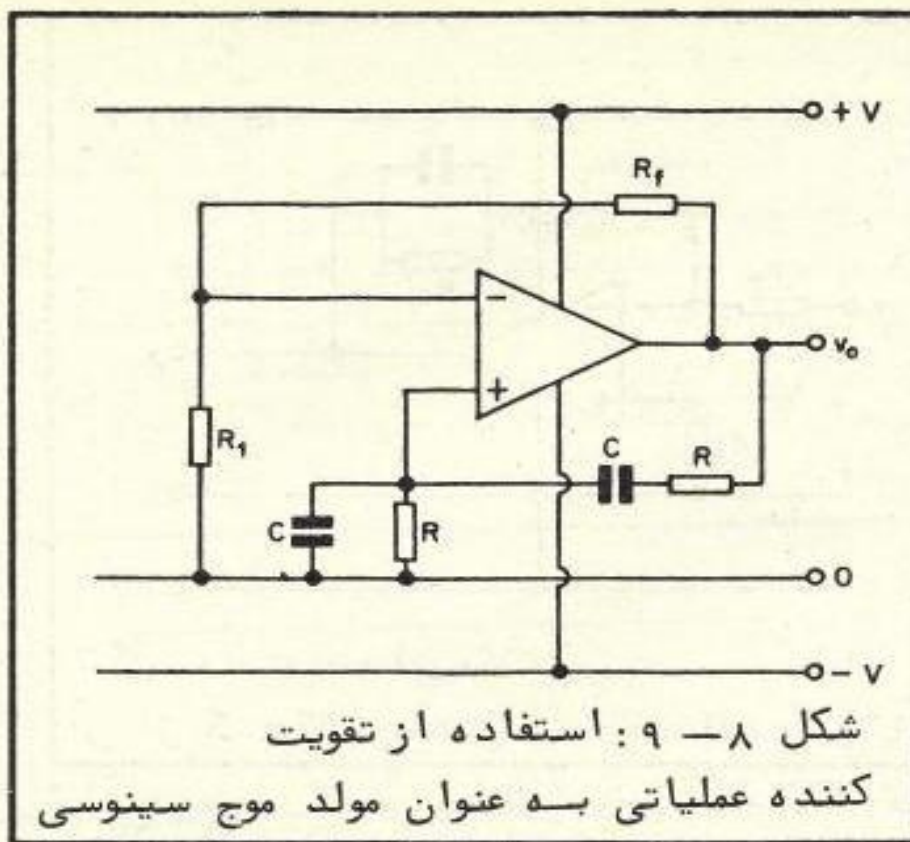
با توجه به عملکرد این نوع آی سی، آنها را بصورت های ۱۴، ۱۶، ۲۴، یا ۴۰ - پایه ای به بازار عرضه می کند. باید یادآوری کنیم که خانواده TTL شامل آی سی های بسیاری می گردد که امروزه دارای کاربردهای زیادی می باشند.

یک آی سی TTL با استفاده از ولتاژ تغذیه ای ۵ ولت کار می کند. باید توجه داشت که میزان خطای قابل قبول این ولتاژ می تواند حداکثر ۵٪ $\pm$ باشد. بنابراین باید توجه که مقدار ولتاژ تغذیه از ۵ ولت تجاوز نکند. مصرف جریان این



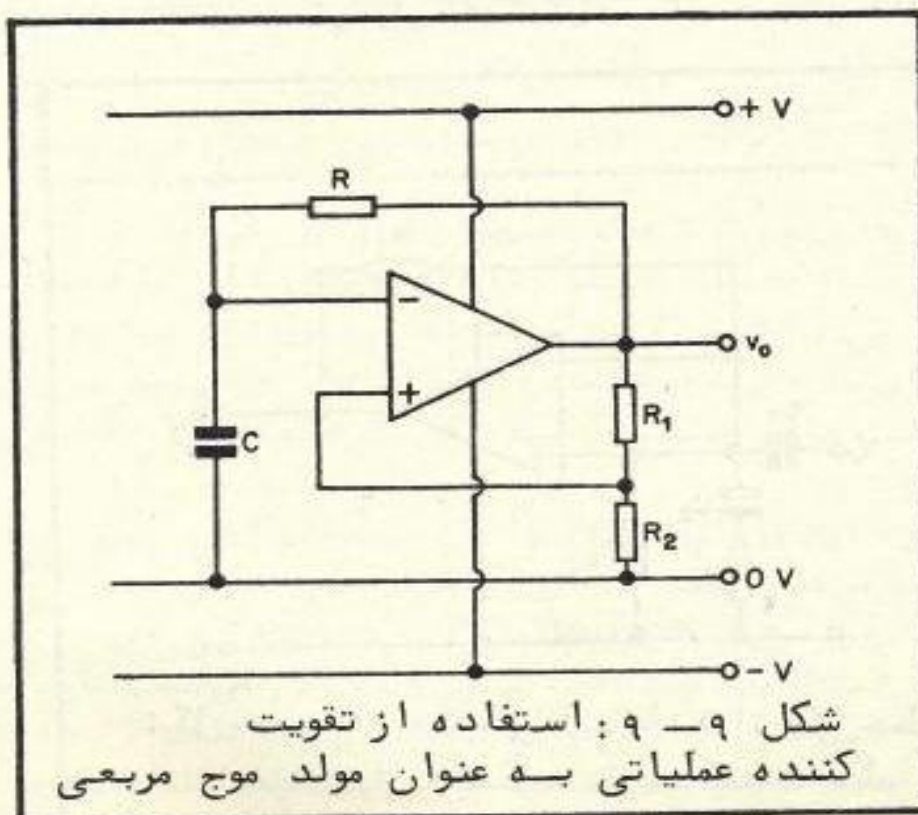
مدارهای مجتمع بستگی به طبیعت آن و مدار خارجی آن دارد. توان یا قدرت این آی سی ها در حدود چند ده میلی وات است. به هنگام استفاده از گیت ها، لازم است تا ورودی هایی که مورد استفاده قرار نمیگیرند را به یکی از ورودی های مورد استفاده متصل کرد یا آن ها را به خط تغذیه ± 5 ولت بست. از یک گیت AND یا OR می توان به عنوان یک اینورتر استفاده کرد. برای این منظور کافی است که ورودی های هر گیت را به هم ببندیم. به هنگام بستن گیت ها به هم باید تعداد آنها را مورد نظر قرار داد. برای مثال خروجی حاصل از یک گیت TTL





را حداکثر می توان به ده عدد ورودی گیت های دیگر متصل نمود . در غیر این صورت اگر از این عدد تجاوز کند ، سطوح یا ولتاژهای لاجیک دچار تغییر خواهند شد و مدار مورد نظر به خوبی کار نخواهد کرد .

CMOS



آی سی های CMOS به آندسته از مدارات مجتمع اتلاف می شود که دارای مصرف بسیار کم جریان می باشند و می توانند با هر ولتاژ بین ۳ تا ۱۵ ولت بخوبی کار کنند. باید بگوئیم که توان هر کیت CMOS در حدود چند میکرو وات است و این امر در طراحی و ساخت سیستم های بزرگ الکترونیک مزیت بزرگی به حساب می آید. کیت های مورد استفاده در اینجا نیز مانند کیت های قبلی می باشند. آی سی های CMOS از لحاظ شکل بسیار به آی سی های TTL شبیه می باشند.

از آنجائیکه مقاومت ورودی قطعات CMOS بسیار زیاد است، احتمال اینکه الکتریسته ساکن وارد بخش های ورودی شده و آنها را خراب کند وجود دارد. علت این امر بسیار ساده است. همانطوری که گفتیم مقاومت ورودی این مدارهای مجتمع بسیار زیاد است، همینطور مقدار جریان الکتریسته ساکن که به ورودی اعمال می گردد بسیار کوچک است با قرار دادن این دو مقدار در قانون اهم، مقدار ولتاژ حاصل از آن بیش از ۱۰۰ ولت می باشد. این ولتاژ باعث خرابی لایه عایق بین گیت و سایر بخش های نیمه هادی می گردد برای جلوگیری از این کار باید مقاومت کم اهمی را به ورودی آی سی بست تا مسیر جریان الکتریسته ساکن را عوض کند و یا از یک دیود زنر که ولتاژ شکست آن پائین تر از ۱۰۰ ولت است استفاده کرد. بعضی از آی سی های CMOS مروزه در داخل دارای یک دیود زنر کوچک می باشند.

با توجه به این مطلب، به هنگام کار با این آی سی ها باید احتیاط لازم را رعایت کرد و از لمس مستقیم پایه ها اجتناب نمود. برای احتیاط این قطعات را در داخل بسته بندی هائی قرار می دهند که هادی الکتریسته می باشند. بدین ترتیب احتمال وجود اختلاف پتانسیل بین پایه های آی سی از بین رفته و احتمال خراب شدن آی سی نیز از بین می رود.

— مثال ها

مثال ۱-۹:

می خواهیم از یک آپ-آمپ در حالت غیر معکوس استفاده کنیم. بهره این مدار برابر ۱۰ دسی بل است. اگر مقدار مقاومت فید بک ۱۰۰ کیلو اهم باشد، مقدار مقاومتی که

باید بین ورودی معکوس و خط صفر ولت بسته شود را محاسبه کنید ؟
حل :

با استفاده از معادله ۲-۹ مقدار بهره را می توان بدست آورد :

$$A = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

این معادله را می توانیم به صورت زیر تغییر دهیم:

$$R_1 = \frac{R_f}{A - 1}$$

حالا مقادیر معلوم را در معادله فوق جایگزین کرده و جواب را بدست می آوریم:

$$R_1 = \frac{100 \text{ k}}{10 - 1} = 11.1 \text{ k}\Omega$$

مثال ۲-۹:

شبکه فید بک در یک مدار آپ-آمپ شامل یک خازن ۱٪ میکرو فاراد و یک مقاومت ۱۵

کیلو اهم است. سیگنال ورودی به ترمینال ورودی معکوس آبی سی اعمال می شود. مقدار فرکانس شکست را محاسبه کرده و در باره پاسخ مدار، بحث کنید:

حل: با استفاده از معادله ۳-۹، فرکانس قطع یا شکست را می توانیم از رابطه زیر حساب کنیم:

$$f = \frac{1}{2\pi c R_f} = \frac{1}{2\pi \times 0.02 \times 10^{-6} \times 15 \times 10^3} = 530.5 \text{ Hz}$$

پاسخ این مدار در فرکانسهای پائین تر از فرکانس قطع، به اندازه ۶ دسی بل بر اکتاو (عدد ۸) افزایش می یابد. ۶ دسی بل بر اکتاو معادل ۲۰ دسی بل بر ۱۰ است

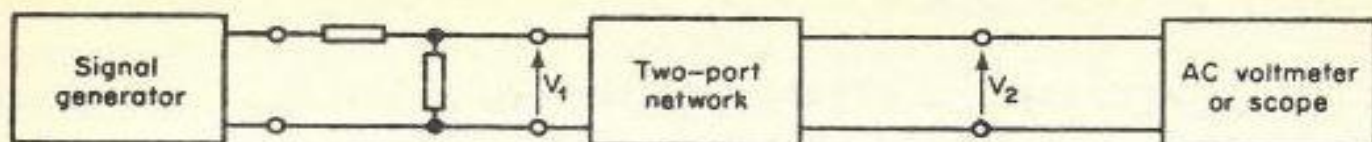
بخش ۱۰

اصول اندازه گیری

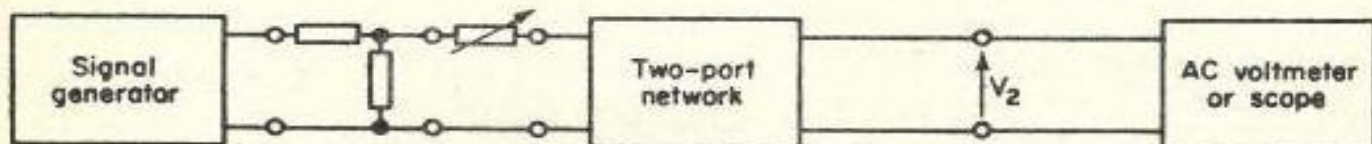
با اندازه گیری پارامترهای مختلف یک مدار الکترونیک، می توانیم به چگونگی کارکرد آن پی ببریم. با استفاده از متدهای مختلف اندازه گیری می توان پارامترهای ثابت یا متغیر را اندازه گرفت. وسایل اندازه گیری مختلف می توانند، ما را در سنجش این پارامترها کمک کنند. در مورد کاربرد صحیح ابزارهای اندازه گیری، باید چند نکته را رعایت کنیم. اولین و مهمترین این نکات این است که، برای هر نوع اندازه گیری باید از وسیله مناسبی استفاده کرد. وسیله اندازه گیری نباید به صورت بار ناخواسته بر روی مدار یا سیستم تحت آزمایش عمل کند. وقتی که وسیله اندازه گیر مان جریان زیادی از مدار تحت آزمایش بکشد، می گوئیم که بعنوان بار عمل می کند. از آنجائیکه این پدیده باعث تغییر رفتار مدار یا قطعه تحت آزمایش می گردد، وجود آن مضر و نا مطلوب است. در این حالت اندازه گیری هایی که ما انجام می دهیم نمی تواند صحیح باشد. در صورتیکه، بروز این پدیده غیر قابل اجتناب باشد، باید چگونگی آن را مورد بررسی قرار داده و شناخت. بدین ترتیب شاید بتوانیم با اعمال ضریب معینی به نتیجه حاصل از اندازه گیری آن را تصحیح کنیم. یکی از چیزهایی که به هنگام اندازه گیری معمولاً تاکید زیادی بر آن نمی شود، محل قرار گرفتن اسباب های تست و اندازه گیری بر روی میز کار است بهترین ترتیب برای این منظور به صورت زیر است: بهتر است وسایلی مانند سیگنال ژنراتور (مولد سیگنال) را در سمت چپ، و اوسیلوسکوپ و مولتی متر را در سمت راست خود قرار دهیم. بهترین جا برای منبع تغذیه، قسمت کاملاً "روبروی میز به شما است. به هنگام اندازه گیری، یاد داشت و استفاده صحیح نتایج بسیار مهم است. باید در خواندن پارامترهای اندازه گیری شده نیز دقت کافی نمود.

— اندازه گیری ولتاژ:

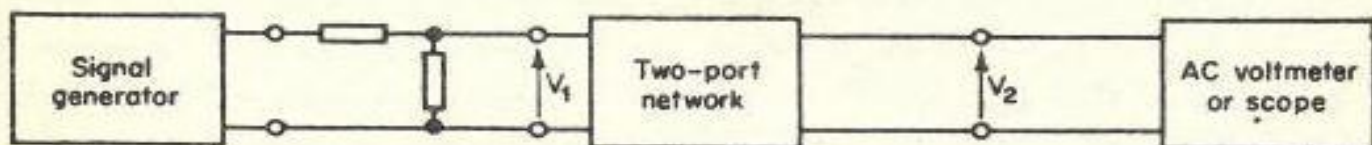
به هنگام اندازه گیری ولتاژ باید مطمئن باشیم که امدانس ورودی ولت متر یا مولتی متر به اندازه کافی بزرگتر از امپانس دوسر قطعه یا مدار مورد آزمایش باشد. در عمل



شکل ۱ - ۱۰: اندازه گیری بهره یک مدار.



شکل ۲ - ۱۰: اندازه گیری مقاومت ورودی یک مدار



شکل ۳ - ۱۰: اندازه گیری پاسخ فرکانس یک مدار

بهتر است که امپدانس ورودی اسباب اندازه گیر بیش از ۱۰ برابر امپدانس مدار یا قطعه تحت آزمایش باشد. در این صورت خطای حاصل از پدیده‌هایی چون دامپینگ و ... حدود ۱۰ درصد خواهد بود.

همانطوری که قبلاً اشاره کردیم، امپدانس عبارت است از مقدار مقاومت ظاهری مدار که هم شامل مقاومت ساده الکتریکی رزیستانس و هم راکتانس الکتریکی می‌باشد. در اندازه گیری ولتاژ dc، امپدانس همان مقاومت ساده الکتریکی را شامل می‌شود ولی در اندازه گیری ولتاژ ac، امپدانس هم شامل مقاومت ساده الکتریکی (رزیستانس) و هم راکتانس می‌گردد. عموماً راکتانس موجود در مدار به خاطر وجود کاپاسیتانس است. اگر امپدانس مداری که ولتاژ آن را اندازه می‌گیریم، دارای راکتانس بیشتری نسبت به رزیستانس باشد. ولتاژ اندازه گیری شده توسط دستگاه کمتر از مقدار واقعی خواهد بود. چون راکتانس خازنی دارای نسبت معکوس با فرکانس است، مقدار آن در فرکانس صفر برابر بی‌نهایت خواهد بود.

با افزایش فرکانس مقدار راکتانس کاهش یافته و نسبت به رزیستانس کمتر می‌گردد. این پدیده باعث می‌شود که ولتاژ قابل اندازه گیری توسط ولت‌متر با افزایش فرکانس محدود گردد. به همین خاطر است که ولت‌مترهای معمولی نمی‌توانند مقدار واقعی ولتاژ را در فرکانس‌های زیاد اندازه بگیرند.

— اندازه‌گیری جریان:

جریان را به دو طریق می‌توان اندازه گرفت. در روش دوم ولتاژ دو سر یک مقاومت معلوم را اندازه گرفته و با استفاده از قانون اهم مقدار جریان را محاسبه می‌کنند. در حالت اول باید مطمئن باشیم که با ورود آمپرتر به مدار، هیچ تغییری در مقدار جریان ایجاد نمی‌شود. به عبارت دیگر مقاومت اسبابی که مقدار شدت جریان را اندازه می‌گیرد

باید در حالت ایده‌ال صفر باشد. در عمل کافی است که مقاومت آمپرتر کمتر از مقاومت کل مدار باشد.

در حالت دوم ولت متری که برای اندازه‌گیری ولتاژ د و سر مقاومت بکار می‌بریم باید دارای مقاومت بیشتری در مقایسه با مقاومت معلوم باشد.

مقاومتی که به منظور اندازه‌گیری جریان مدار بکار می‌رود، باید دارای رزیستانس کمتری نسبت به مدار تحت آزمایش باشد. این مقاومت با مدار سری می‌گردد و ولتاژ د و سر آن اندازه‌گیری می‌شود.

— اندازه‌گیری توان:

در یک مدار ac می‌توان "توان" را با ضرب کردن ولتاژ و جریان در هم محاسبه کرد. در بخش‌های قبل با فرمول‌های توان آشنا شدید. با استفاده از این فرمول‌ها در می‌یابیم که اگر مقدار مقاومت مدار معلوم باشد، می‌توانیم با داشتن ولتاژ یا جریان آن، توان را محاسبه کنیم. این موضوع برای علاقمندان الکترونیک بسیار مهم است. اندازه‌گیری توان در مدارهای ac که در آن ولتاژ و جریان هم فاز می‌باشند، بسیار آسان است. در اینجا امیدانس مورد سوال، برابر با مقاومت ساده الکتریکی در مدار است. ولتاژ د و سر این امیدانس را می‌توان توسط یک ولت متر ac یا اوسیلوسکوپ اندازه گرفت. توان موثر را از تقسیم مربع ولتاژ موثر بر مقدار مقاومت بدست می‌آوریم.

توان ماگزیم را می‌توان از تقسیم ولتاژ ماگزیم بر اندازه مقاومت بدست آورد. اگر در جریان متناوب، بین ولتاژ و جریان اختلاف فاز وجود داشته باشد، برای محاسبه توان باید مقدار اختلاف فاز را وارد محاسبات فوق نماییم.

— اندازه‌گیری در مدارهای دو قطبی (port):

مداری را که دارای یک جفت ترمینال ورودی و یک جفت ترمینال خروجی است را مدار دو (2) پورت می‌نامند. هر کدام از جفت ترمینال‌ها را در اینجا یک قطب می‌نامیم. در این نوع مدارها می‌توانیم چندین اندازه‌گیری انجام دهیم. این سنجش‌ها شامل بهره، مقاومت ورودی، مقاومت خروجی، پاسخ فرکانس و ... می‌گردد.

بهره یا ضریب تقویت این نوع مدارها را از تقسیم ولتاژ خروجی بر ولتاژ ورودی بدست می‌آوریم. البته در اینجا با ولتاژهای سینوسی سروکار داریم.

شکل ۱-۱۰ چگونگی اندازه‌گیری بهره را نشان می‌دهد. در اینجا مدار توسط یک سیگنال سینوسی که بوسیله یک سیگنال ژنراتور مناسب تولید می‌شود، تحریک می‌گردد. بین سیگنال ژنراتور و مدار تحت آزمایش یک مقاومت سری قرار داده‌ایم. این مقاومت به همراه مقاومت دیگری که بطور موازی با سیگنال ژنراتور و مدار قرار گرفته، علاوه بر تطابق امیدانس باعث تضعیف سیگنال حاصل از سیگنال ژنراتور نیز می‌گردند. این عمل برای اجتناب از تحمیل اضافه بار به ورودی مدار تحت آزمایش لازم است. ولتاژ سینوسی که در ترمینال‌های خروجی مدار مورد آزمایش ظاهر می‌گردد با استفاده از یک ولت متر مناسب یا اوسیلوسکوپ اندازه‌گیری می‌شود. اگر ولتاژ خروجی مدار مورد نظر بیش از ولتاژ ورودی آن باشد، آن را آمپلی فایر یا تقویت کننده می‌نامیم. اگر ولتاژ خروجی کمتر از ولتاژ ورودی باشد مدار تحت آزمایش را attenuator یا تضعیف کننده می‌نامیم. بهره یک مدار تقویت کننده بیش از یک (واحد) و بهره یک مدار تضعیف کننده کمتر از یک است. معمولاً بهره را بر حسب دسی بل اندازه می‌گیرند. اگر مقدار بهره را به صورت عدد N بیان

کنیم، مقدار آن را بر حسب دسی بل از رابطه $N = 20 \log$ بدست می‌آید. از آنجائیکه لگاریتم ۱ در مبنای ۱۰ برابر صفر می‌باشد، بهره واحد یا ۱ برابر صفر دسی بل است. مقاومت ورودی مداری که دارای دو ترمینال ورودی و دو ترمینال خروجی است را به طریقه زیر اندازه می‌گیریم. برای این منظور سیگنالی را به ورودی مدار اعمال می‌کنیم و ولتاژ خروجی حاصل از آن را اندازه می‌گیریم. همانطوری که در شکل ۱-۲ می‌بینید، یک مقاومت متغیر بین سیگنال ژنراتور و مدار تحت آزمایش نصب شده است. این مقاومت را طوری میزان می‌کنیم که ولتاژ خروجی نصف گردد. حال با فرض اینکه فرکانس سیگنال آزمایشگر به اندازه کافی کم است، از اثرات رآکتیو (ری اکتیو) چشم پوشی می‌کنیم. در این حالت مقاومت ورودی مدار مورد آزمایش برابر است با مقدار مقاومت متغیر. مقاومت خروجی را بطریقه زیر پیدا می‌کنیم. ترمینال های ورودی مدار مورد آزمایش را توسط یک سیگنال سینوسی با یک ولتاژ معین تحریک می‌کنیم. ترمینال های خروجی مدار را به دو نوبت به دو مقاومت با مقدار معلوم می‌بندیم. ولتاژ دوسر این مقاومت ها را با استفاده از یک ولت متر مناسب اندازه می‌گیریم.

حال با استفاده از معادله زیر می‌توان مقدار مقاومت خروجی R_0 مدار را پیدا کرد:

$$R_0 = \frac{V_2 - V_1}{\frac{V_1}{R_1} - \frac{V_2}{R_2}} \quad R_2 > R_1$$

طرز اندازه‌گیری پاسخ فرکانس را در شکل ۳-۱۰ نشان داده‌ایم. در حالیکه دامنه سیگنال های حاصل از سیگنال ژنراتور ثابت است، فرکانس آن را در یک باند معین مرحله به مرحله تغییر داد و در هر مرحله ولتاژ خروجی را یادداشت می‌کنیم. نتایج حاصل از این آزمایش را بر روی یک نمودار پیاده کرده و به صورت منحنی نمایش می‌دهیم. بهره یک فرکانس خاص را به عنوان مرجع انتخاب کرده و بهره سایر فرکانس ها را نسبت به آن سنجیده و بر حسب دسی بل بیان می‌کنیم. برای تقویت کننده فرکانس صوتی، فرکانس مرجع برابر ۱ کیلوهرتز است.



یونی پارت الکترونیک

با همکاری مجرب ترین مهندسين آغاز فعالیت خود را اعلام میدارد.
علاقه‌مندان به کیت‌های الکترونیک می‌توانند از هم‌اکنون اقدام به خرید: کیت‌های داخلی و کیت‌های آموزشی نمایند.
قسمت خدمات یونی پارت

فروش قطعات الکترونیک و دیمر فینگر تاج تعمیرات ویدئو و تبدیل سیستم‌های رنگی و تعمیرات صنعتی.

خیابان ولی عصر - نرسیده به تجریش، فروشگاه برک طبقه دوم،

تلفن: ۲۷۶۸۳

ضمائم

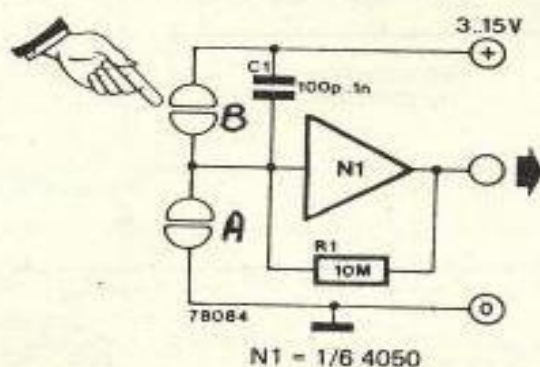
مدارهای عملی در الکترونیک



super-simple touch switch

تاج سوئچ خیلی ساده

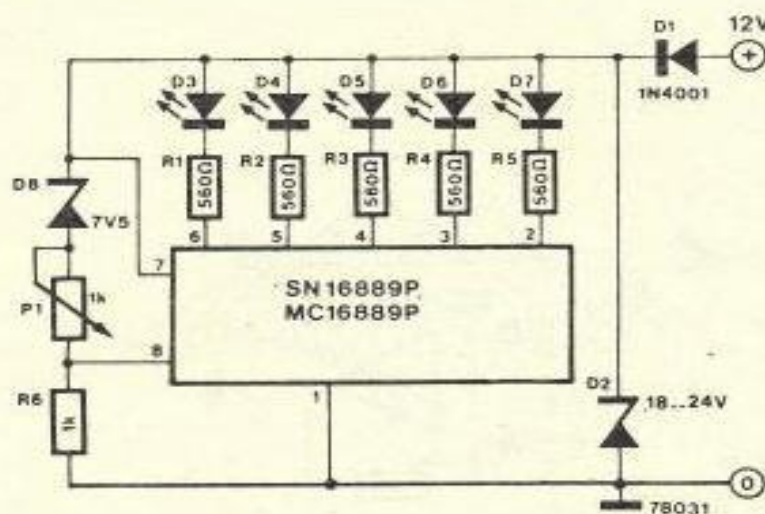
حتماً " طرحهای بسیاری در مورد تاج سوئچ یعنی کلیدهایی که با لمس کردن بکار می افتند ، دیده اید ولی با این وجود این طرح بسیار ساده است و با حداقل المانها ساخته شده است . در اکثر تاج سوئچ ها یک زوج گیت نند (NAND) که به یک فیلیپ فلاپ متصل شده بکار رفته است ولی این مدار فقط از یک بافر غیر معکوس کننده سی - ماس (CMOS buffer) یک خازن و یک مقاومت بهره گرفته است . وقتی کنتاکت A با انگشت لمس گردد ، ورودی گیت N1 به ولتاژ پائین میرود و در نتیجه خروجی آن نیز ولتاژ پائین (Low) میرود . وقتی کنتاکت رها گردد ، ورودی N1 از طریق R1 در همان حالت می ماند . وقتی کنتاکت B لمس گردد ، ورودی N1 به ولتاژ بالا (High) میرود و در نتیجه خروجی آن نیز ولتاژ بالا پیدا خواهد کرد که بالطبع حتی اگر کنتاکت رها هم گردد باز خروجی حالت خود را حفظ خواهد کرد . بدین ترتیب شما یک تاج سوئچ خواهید داشت .



automotive voltmeter

متر ولت

کسانی که به یادگیری نواختن پیانو اشتغال دارند با متر ولت آشنا هستند. متر ولت کار ساعت را میکند که یک پاندول دارد و میشود آنرا برای نواختن تعداد معینی ضربه در دقیقه تنظیم نمود. این تعداد ضربات سرعتی که باید پیانو نواخته شود، مشخص میکند. اگرچه متر ولت های مکانیکی هنوز استفاده میشوند، ولی متر ولت های الکترونیکی جالبتر میباشند. مدار متر ولتی که در اینجا آمده خیلی ساده و پیاوردار می باشد. N1 و N2 و N3 یک مولتی وایبراتور آستانبل را تشکیل داده اند. توسط P1 فرکانس سیگنال خروجی بین ۶ / ۰ تا ۴ هرتز قابل تغییر است در حالیکه توسط P2 پهنای پالس خروجی تنظیم میگردد. P3 نیز کنترل حجم صدا (ولوم) متر ولت می باشد. این پتانسیومتر مقدار جریان گذرنده از بلند گویا بین ۵ / ۰ آمپر و ۵۰ میلی آمپر تغییر میدهد. در خروجی از یک ترانزیستور دارلینگتون استفاده گردیده است. مصرف دستگاه خیلی کم است بطوریکه یک باتری ۵ / ۴ ولتی معمولی مدتها دوام خواهد داشت.



شدن پلاریته باتری و D2 دیود زبر بوده که برای حفاظت مدار در مقابل ولتاژهای گذرای باتری می باشد. D8 صفر مدار را تعیین میکند، بطوریکه شروع کار مدار از ۵ / ۹ ولت است. این مدار با استفاده از P1 کالیبره میشود بطوریکه دیودهای نورانی در ولتاژهای تعیین شده درجدول

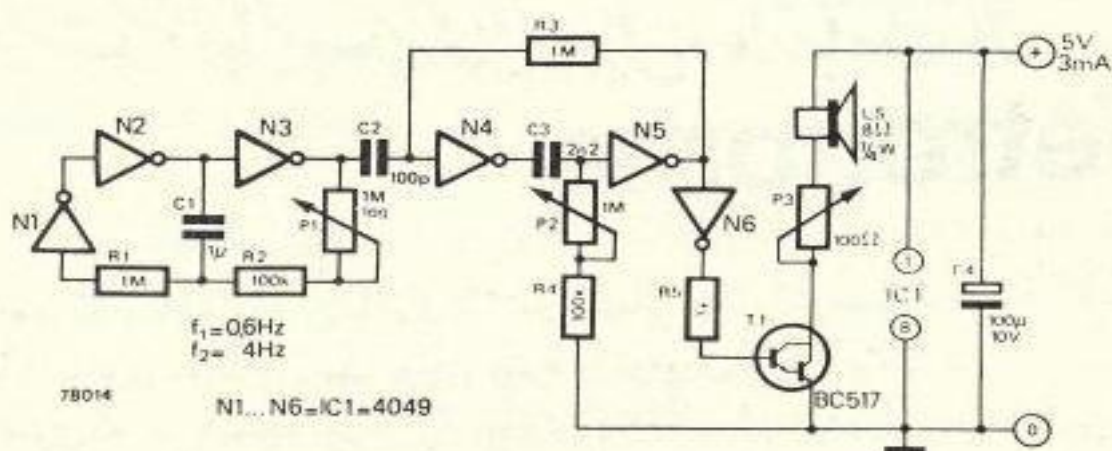
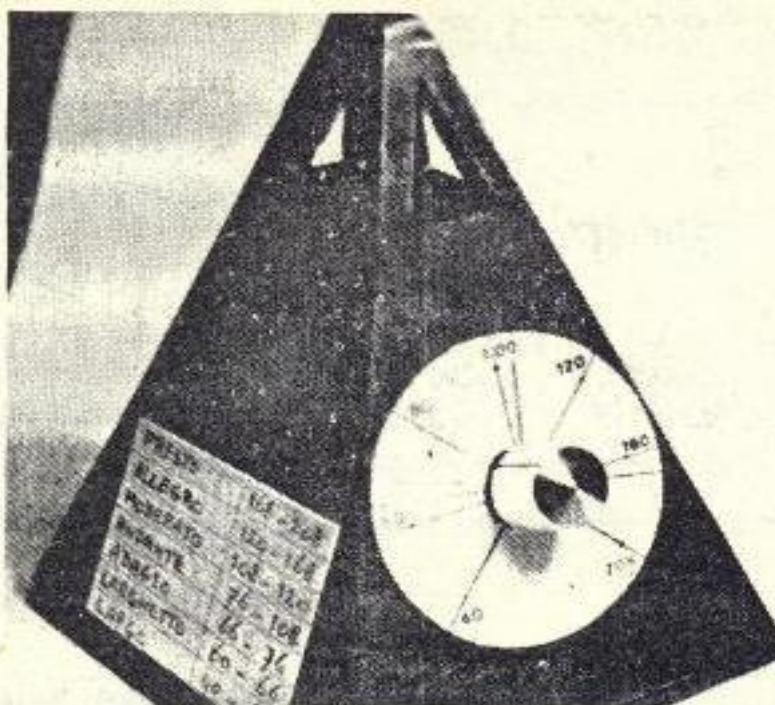
داده شده روشن خواهند شد .

دیود نورانی D7 حدود ۱۵ ولت رامعین میکند یعنی وقتی این دیود روشن شود نماینده آن است که شارژ بیش از حد مجاز می باشد و یک عیب در رگولا تور ولتاژ اتومبیل وجود دارد . این دیود را بهتر است به رنگ قرمز انتخاب کنید . D6 مشخص میکند که باتری در شارژ کامل است ، رنگ سبز برای این دیود مناسب است .

روشن شدن D5 معرف مناسب بودن شارژ است ولی کامل نیست . این دیود را میتوانید زرد رنگ بگیرید . D4 و D3 معرف پائین بودن مقدار شارژ و عیب رگولا تور ولتاژ است که اینها را نیز قرمز انتخاب کنید . جدول ولتاژهایی که دیودها معرف آنها هستند .

ولت متر جالب برای اتومبیل و مدار یک تاک metronome

میدانید که سالم بودن باتری تأثیر مهمی بر کاراتومبیل دارد . برای کنترل ولتاژ باتری معمولاً " یک ولت متره راتومبیل لازم است . ولت متری که در اینجا شرح آن میروود متفاوت از دیگر ولت مترهایی است که تاکنون دیده اید . این ولت متر خیلی ساده با یک آی - سی و چند دیود ساخته میشود . با این ولت متر میتوانید شارژ اضافی باتری و افت ولتاژ آنرا تشخیص دهید . با یک ولت متر آنالوگ مثلاً " قاب متحرک میتوانید ولتاژ باتری را پیوسته کنترل نمائید ، متعهد راتومبیل ولتاژ حدود ۹ تا ۱۵ ولت مد نظر است . بهمین جهت در این ولت متر از پنج دیود نورانی استفاده شده که روشن شدن هر کدام معرف یک حالت باتری است . در مورد این قبیل ولت مترها از آی - سی های مختلفی میتوان استفاده نمود مثلاً " UAA180 و UAA170 ساخت کمپانی زیمنس که ۱۲ یا ۱۶ دیود نورانی در آنها استفاده میشود . آی - سی این مدار SN16889P تغذاس میباشد که به ۵ دیود نورانی (LED)



احتیاج دارد. دیودهای $D1$ و $D2$ رل حفاظت مدار را برعهده دارند. $D1$ دیود معمولی است

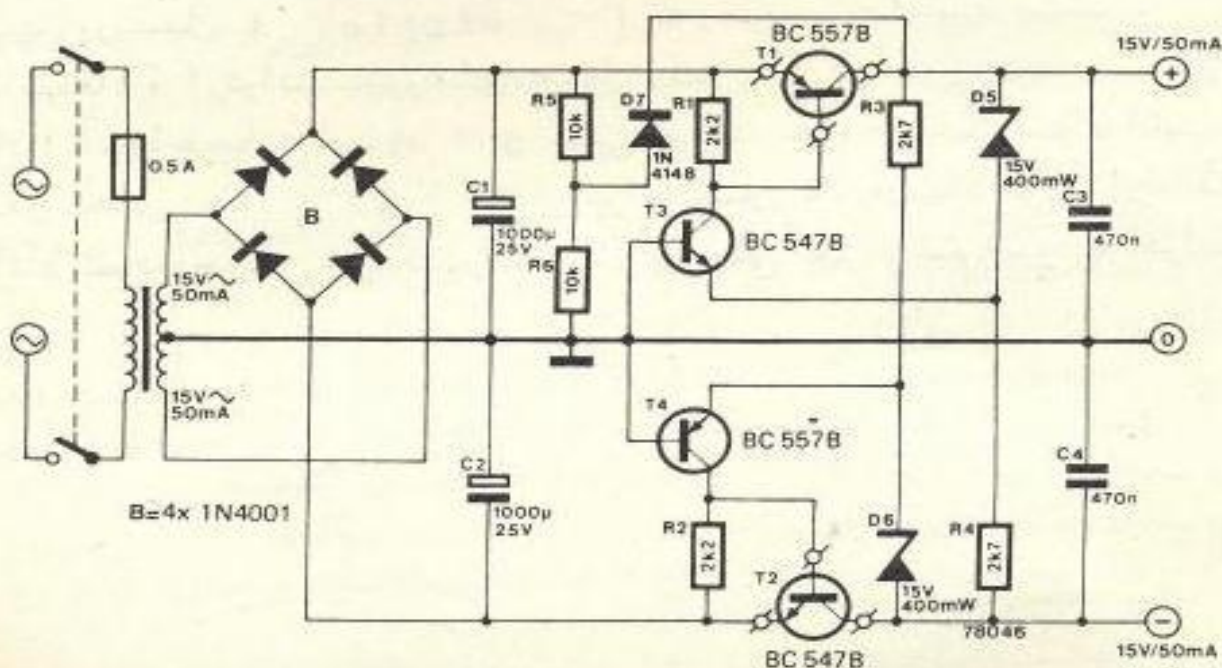
symmetrical $\pm 15\text{ V}/50\text{ mA}$ supply

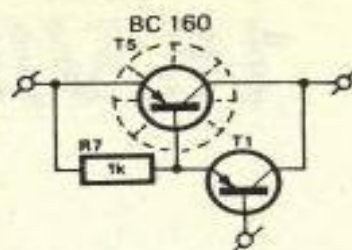
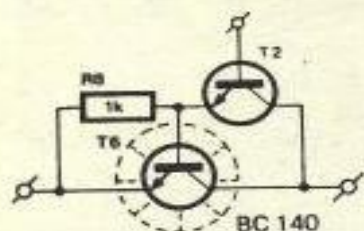
منبع تغذیه با ولتاژ متقارن

اگرچه آی-سی‌های رگولا تور ولتاژ اکنون بسیار د رمدا رهای منبع تغذیه مورد استفاده دارند ، ولی با این وجود این مدار منبع تغذیه مناسب و ارزان است که کاربرد های زیاد میتواند داشته باشد .

طرز کار مدار خیلی ساده است . ترانسفورمر ویل دیود به همراه خازنهای C1 و C2 ولتاژ غیر رگوله حدود ± 20 ولت تهیه میکنند . برای ولتاژ منفی و مثبت د ورگولا تور مجزا وجود دارد که طرز کارشان شبیه هم است ، بنابراین فقط طرز کار رگولا تور مثبت شرح داده میشود .

جریان مثبت د ریک ترانزیستور رگولا تور سری جریان می یابد . د رد و سـر دیود زنر D5 ولت می افتد ، سربالای این دیود حدود $+15$ ولت و سر پائینی آن حدود صفر ولت خواهد شد . چنانچه ولتاژ خروجی رگولا تور بخواهد پائین بیفتد ، سر پائین دیود زنر از صفر کمتر خواهد شد و د ر نتیجه





ترانزیستور T3 جریان بیشتری خواهد کشید . در نتیجه ترانزیستور T1 در پایه جریان بیشتری دریافت کرده و بشدت بناحیه هدایت می رود بطوریکه ولتاژ خروجی رگولا تور صعود میکند . اگر ولتاژ خروجی رگولا تور خیلی بالا باشد ، عملی عکس فوق اتفاق می افتد : پتانسیل سرپائین D5 بالا می رود و T3 جریان کمتری می کشد ، T1 به ناحیه قطع رفته و ولتاژ خروجی افت خواهد کرد . طرز عمل تغذیه منفی بهمین روش میباشد .

چون D5 و D6 گرایش (بایاس) خود را از خروجی تغذیه دریافت میدارد ، R5 و R6 و D7 بایستی به مدار اضافه گردد تا مدار خود شروع بکار کند (Self-Starting) . گرایش اولیه حدود ۱۰ ولت توسط این المانها از تغذیه تثبیت نشده (غیررگوله) تامین میگردد . یکبارکه ولتاژ خروجی به مقدار نرمال خود برسد D5 گرایش معکوس یافته و از رسیدن رپل (Ripple) به خروجی جلوگیری میکند .

با استفاده از ترانزیستورهای معمول نظیر BC107 - BC177 یا معادل آنها جریانی حدود ۵۰ میلی آمپر در خروجی خواهید داشت . بهر حال بجای T1 و T2 میتوان ترانزیستور قدرت بالا تر (دارلینگتون) استفاده نمود و جریان خروجی را تا ۵۰۰ میلی آمپر (نیم آمپر) افزایش داد .