

بسم الله الرحمن الرحيم

اصول فنی مکاترونیک که یک مهندس باید بداند

(مبانی مکاترونیک)

استاد درس : سید امیررضا فلاح مرتضی نژاد

بارم درس:

۱۴ نمره امتحان پایانی

۳ نمره میانترم

۳ نمره پروژه کلاسی (البته می توان وزن آن را روی امتحان پایانترم برد)

فصول :

۱- کسب اطلاعات فنی

۲- تحلیل مدارهای الکتریکی

۳- تحلیل مدارهای مخابراتی

۴- تحلیل نیروهای دینامیکی

۵- برنامه نویسی

مکاترونیک چیست؟

تعریف اصلی مکاترونیک توسط کمپانی به نام یاساکاوا تکامل یافته است. در اسناد کاربردی با نام تجاری یاساکاوا مکاترونیک به صورت زیر تعریف شده است: برگرفته از « ترونیک » برگرفته از مکانیسم و « مکا » کلمه مکاترونیک ترکیبی از الکترونیک است. یکی از تعاریف نقل شده در سال ۱۹۹۶ ارائه شده است و در آن مکاترونیک یک ترکیب هم افزایانه از مهندسی مکانیک و الکترونیک و کنترل کامپیوتر هوشمند در طراحی و تولید محصولات صنعتی و فرایندها تعریف شده است.



عناصر کلیدی در مکاترونیک

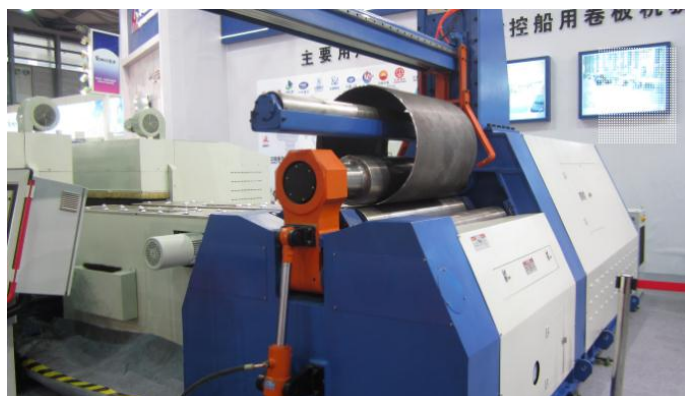
بررسی سیستم های مکاترونیکی را می توان به بخش های زیر تقسیم کرد:

۱. مدل سازی سیستم های فیزیکی
 ۲. سنسورها و عملگرها
 ۳. سیگنال ها و سیستم ها
 ۴. کامپیوترها و سیستم های منطقی
 ۵. نرم افزار و سیستم های جمع آوری دیتا
- به طور خلاصه مکاترونیک یک علم بین رشته ای متشکل از کامپیوتر ، الکترونیک و مکانیک است.

کاربردهای مکاترونیک

• ماشین های خم کن CNC

ورق فلزی را تحویل گرفته و قطعات خم شده را کامل تحویل می دهند و می توانند شکل های ورق فلزی را تحویل گرفته و قطعات خم شده را کامل تحویل دهند و می توانند شکل های ترکیبی را خم کنند.

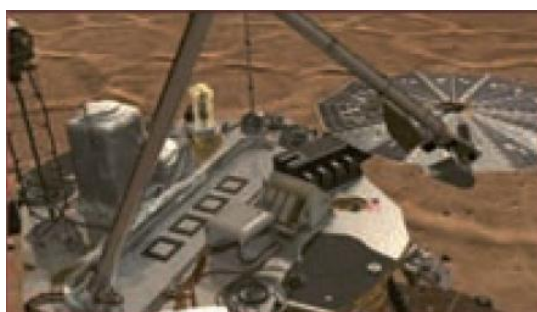




- کاربرد در تولید کارخانه های بسیار کوچک
- کارخانه های با اندازه رومیزی
- ساخت قطعات ریز با کارخانه های بسیار کوچک
- فضا، انرژی و مواد مصرفی را به شدت کاهش می دهند



- کاربرد در روبات های هوشمند
- سیستمی که در شکل روبرو مشاهده می کنید:
- ۳۴۰ پوند را حمل می کند، با سرعت ۴ مایل بر ساعت راه می رود، دارای قابلیت صعود کردن ، راه رفتن و دویدن است، در زمین های ناهموار حرکت می کند، کاربرد این روبات حمل تجهیزات به محل های دوردست در محیط های ناهموار است.



- کاربرد در اکتشافات فضایی
- مریخ پیمای فونیکس در شکل روبرو نشان داده شده است، که می تواند نمونه ها را به صورت اتوماتیک دریافت کرده و در محیط آزمایشگاهی که در آن تعبیه شده است ، تست نمونه ها را به صورت خودکار انجام دهد. مزیت این روبات نمونه برداری و تست خودکار نمونه ها است.



- کاربردهای پزشکی
- ضربان ساز: این وسیله برای بیمارانی که داری ضربان کند یا نامنظم هستند به کار می رود، این وسیله ضربان قلب را زمانی که نامنظم است تنظیم می کند.
- ایمپلنت ضد انقباض عضلانی: قلب را مانیتور کرده اگر دچار انقباض شد یا ایست کامل کرد با اعمال یک ولتاژ بالا به قلب یک شک می دهد تا به ریتم طبیعی خود بازگردد.



• کاربرد در حمل و نقل

سگ وی : یک دوچرخه الکتریکی است ، که از سنسور شیب و، میکروکنترلر، موتور و منبع تغذیه آنبرد بهره می گیرد. مزایای آن مبتنی بر احساس بودن است، یعنی حسی که از راننده برای جلو رفتن یا ایستادن می گیرد و به طور کلی برای جابه جایی شخصی بکارگرفته می شود.



• کاربردهای دفاعی

در تولید هواپیماهای بدون سرنشین ، این تکنولوژی بیشتر به منظور پیشرفت امنیت سربازان به کار گرفته می شودو این هواپیماها می توانند با کنترل از راه دور به پرواز در آیند.



• کاربرد در بهسازی

روشویی اتوماتیک از سنسورهای مجاورتی، مدار کنترل ،شیرهای الکترومکانیکی، منبع تغذیه مستقل ،مزایا آن کاهش انتشار میکروب ها با به کارگیری سیستم های بدون نیاز به لمس کردن. کاهش هدررفت آب با قطع اتوماتیک آن هنگامی که استفاده نمی شود.

• کوادکوپتر



کوادکوپتر (Quadrotor) یکی از انواع وسایل پهپاد است. کواد کوپترها زیر مجموعه دسته مالتی روتورها هستند که به دلیل کمک گرفتن از چهار پروانه برای نیروی پیشرانش، به عنوان کواد (چهار) کوپتر نامیده می شوند. کواد کوپترها به دلیل داشتن قدرت مانور فوق العاده و پروازهایی با تعادل بالا از کاربردهای بسیار گسترده برخوردارند.

کاربرد مکاترونیک در خودرو

سیستم ترمز ضد قفل (ABS) ، یکی از کاربردهای مکاترونیک در وسایل نقلیه است ، زمانی ماشین ها خیلی ساده بودند و ترمزهای معمولی قدیمی داشتند. افرادی که در آن زمان رانندگی می کردند برای کنترل خودروها در شرایط لغزنده آموزش می دیدند و از قفل شدن ترمزهایشان جلوگیری می کردند، که در پاره ای از موارد با خطای انسانی همراه بود، اما امروزه با افزایش وسایل نقلیه ، افزایش سرعت آنها و شلوغی جاده ها نیاز به بازنگری در این مدل بسیار احساس شد. به همین دلیل است که در سال های اخیر به خصوص از ۲۰۱۲ به بعد بیشتر خودروها از سیستم ترمز ABS استفاده کردند.

تاریخچه ABS

اولین ABS در ابتدای سال ۱۹۹۷ به عموم معرفی شد. مفهوم پایه آن همانند ABS ای بود که در طی سالها تا به امروز توسعه و نوآوری مستمر داشته است. یکی از برجسته ترین پیشرفت ها معرفی سیستم ضدقفل ترمز است که در هنگام اعمال نیرو ، فرایند ترمز کردن را به صورت ضربه ای انجام می دهد، این بدان معنا است که چرخ های خودرو شما به طور کامل قفل نمی شوند و به راننده امکان کنترل چرخ ها را در زمان ترمز کردن می دهد. این پیشرفت ها همچنین شامل سیستم کنترل کشش TCS و کنترل پایداری الکترونیکی ECS را به وجود آوردند که هردو آنها از تجهیزات الکتریکی هستند.

مقایسه ترمز معمولی با ABS

ترمزهای معمولی عملکرد بسیار ساده ای دارند .شما به سادگی پدال ترمز را فشار می دهید تا لنت های ترمز به صورت محکم چرخ را نگه داشته سرعت ماشین را کم کرده و در نهایت آن را متوقف کنید .با این وجود خطر لغزش ماشین شما را افزایش می دهد زیرا چرخ ها در حالت قفل قرار می گیرند و در حالی که ماشین رو به جلو حرکت می کند راننده نمی تواند هدایت خودرو را انجام دهد و در نتیجه احتمال ایجاد تصادف چند برابر است. در مقابل ترمزهای معمولی ABS اجازه می دهد تا تیرهای ماشین حتی بعد از اعمال نیروی کامل ترمز به حرکت خود ادامه دهند چرا؟ به خاطر اینکه راننده به طور کامل کنترل ماشین را از دست ندهد و هم زمان با اینکه سرعت کاهش می یابد مسیر حرکت در جاده هم حفظ می شود.



بیومکاترونیک



به بازگرداندن
عملکرد دست
کمک می کند



در مورد اشکال بالا چه می دانید؟
در پزشکی پروتز یک جانشین مصنوعی است برای قسمتی از بدن که از بین رفته است. این بخشی از رشته بیومکاترونیک است.

بیومکاترونیک :

یک علم بین رشته ای است که عناصر مکانیکی الکترونیکی علوم اعصاب و بخش هایی از ارگانیسم های بیولوژیکی را ادغام می کند. دستگاه های بیومکاترونیک باید بر مبنای کارکرد بدن انسان باشند به عنوان مثال چهار مرحله باید رخ دهد تا بدن قادر باشد پا را برای راه رفتن بلند کند. در ابتدا سیگنال های مغز به عضلات پا و ساق منتقل می شوند. بعد سلول های عصبی در پاها اطلاعات را برای تنظیم گروه عضلات یا مقدار نیروی مورد نیاز برای راه رفتن روی زمین به مغز ارسال می کنند. بسته به نوع سطح در حال حرکت مقادیر مختلف نیرو اعمال می شود. بعد از آن سلول های عصبی اسپینل (دوکی شکل) عضله پا احساس می کنند و موقعیت زمین را به مغز می فرستند در نهایت وقتی که پا برای قدم برداشته آماده می شود سیگنال هایی برای تنظیم پایین آمدن آن به عضلات پا و ساق فرستاده می شود.

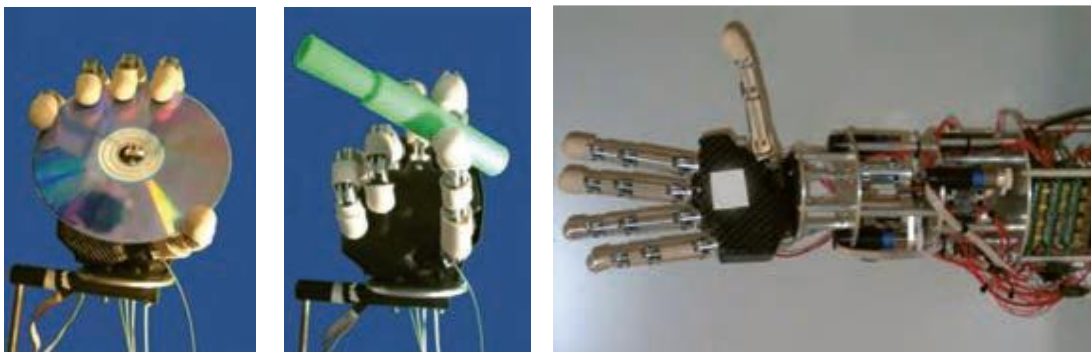
بیوسنسورها:

بیوسنسورها برای آنچه کاربر می خواهد انجام دهد استفاده می شوند. در برخی دستگاه ها (پروتزها) اطلاعات را می توان توسط سیستم عصبی کاربر یا سیستم ماهیچه ای ارسال کرد. این اطلاعات به وسیله بیوسنسورها به یک کنترل کننده مرتبط است که می تواند در داخل یا خارج از دستگاه بیومکاترونیکی قرار گیرد.

دست بیومکاترونیکی:

یک دست مصنوعی ایده آل باید منطبق بر الزامات یک ربات انسان نما باشد. باید قابلیت پوشیدن (استفاده) توسط کاربر را داشته باشد. به این معنی که به عنوان بخشی از بدن طبیعی انسان به کار گرفته شود و باید قابلیت حسی حرکتی مانند دست طبیعی داشته باشد و بتواند عملکرد مشابهی مانند دست طبیعی ارائه دهد مانند اکتشاف لمسی، درک و دستکاری

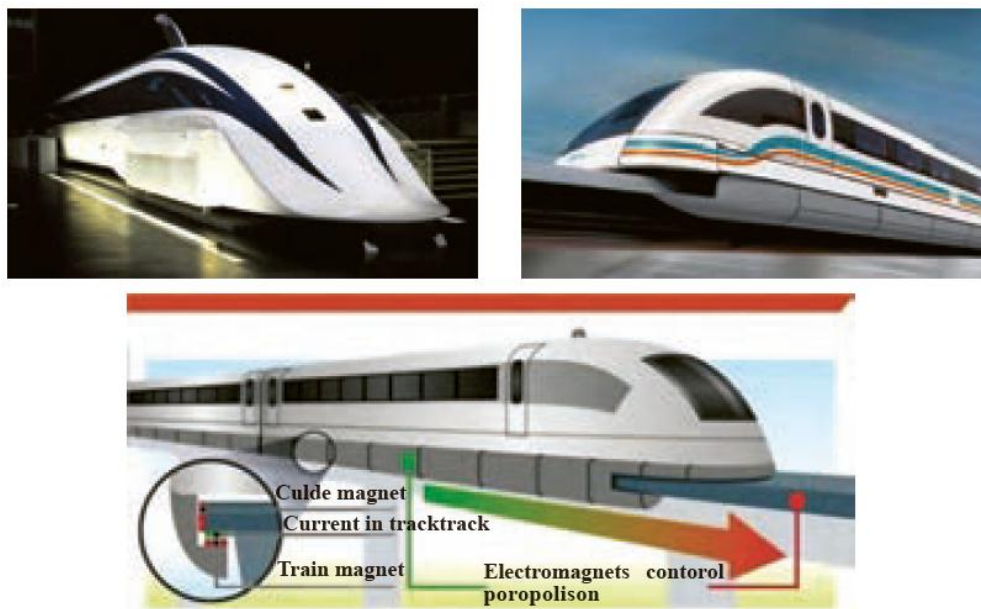
معماری سیستم عملگر:



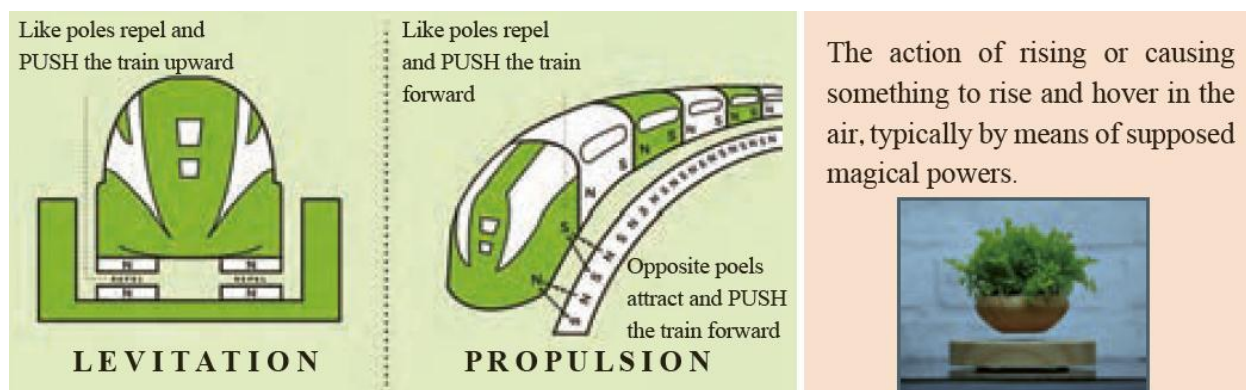
برای رعایت اندازه انگشت یک دست دو موتور کوچک در داخل محفظه کف دست و نزدیک بند هر انگشت قرار داده شده است. میکروموتورهای انتخاب شده میکرودرایوهای بدون تکان و روان هستند و حرکت دقیق خطی دارند. ویژگی های اصلی مکانیکی عملگرهای خطی در زیر آورده شده است:

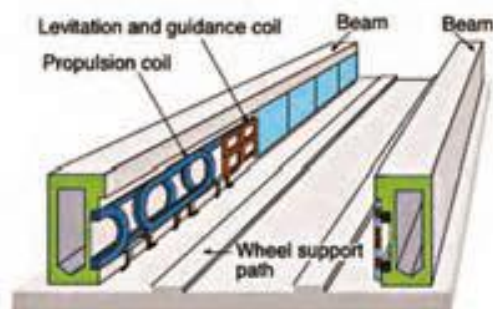
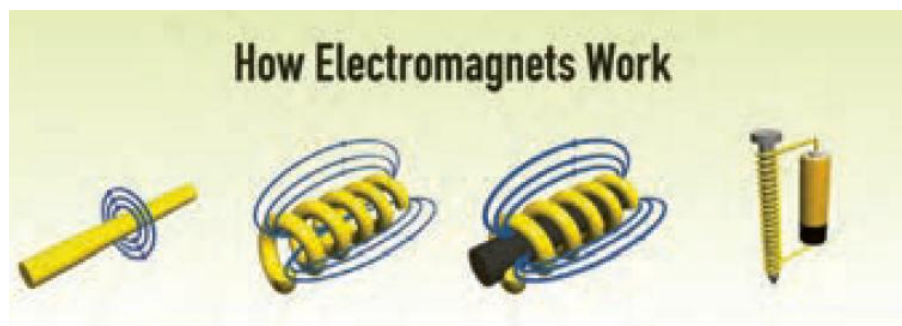
12 N	Nominal force
20 mm/s	Maximum speed
3.2 g	Weight
40 N	Maximum load (axial)
25 N	Maximum load (radial)
1:125	Transmission rate
3	Gear stages

مگلو: دستاورد بزرگ مکاترونیک



Maglev (برگرفته از تعلیق مغناطیسی) یک سیستم حمل و نقل ریلی است که از دو مجموعه مغناطیس استفاده می کند که یکی برای بلند کردن قطار از روی ریل (شناوری) و مجموعه دیگر برای حرکت قطار شناور با سرعت بالا و بدون اصطکاک است. در مسیرهای متوسط (معمولاً بین 200 تا 400 مایل) مگلو می تواند با قطارهای سریع السیر و هواپیما رقابت کند. **Maglev** کوتاه شده **Magnetic-levitation** (تعلیق مغناطیسی) است که در آن قطارها با استفاده از اصل دافعه مغناطیسی در مسیر شناور می شوند. هر آهنربا دارای دو قطب است. حالا اگر شما با دو آهنربای مغناطیسی بازی می کنید، متوجه خواهید شد که قطب های متضاد جذب می شوند، در حالی که قطب های مشابه همدیگر را دفع می کنند. این نیروی دافعه مغناطیسی در قطارهای **Maglev** استفاده می شود. اما به جای استفاده از آهنرباهای دائمی، از اصل الکترومغناطیس برای ایجاد آهنرباهای موقت قوی و بزرگ استفاده می شود. طبق قوانین فارادی هنگامی که یک جریان الکتریکی از طریق یک سیم پیچ عبور می کند، میدان مغناطیسی در اطراف سیم پیچ تولید می شود.



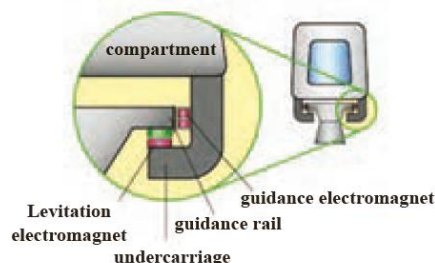
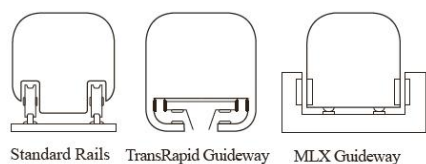


یک مگلو به سه بخش اصلی نیاز دارد:

۱. یک منبع بزرگ توان الکتریکی
۲. سیم پیچ های فلزی که در طول مسیر قرار گرفته اند.
۳. آهن رباهای هدایت کننده بزرگ که به قسمت زیرین قطار متصل هستند.

سیم پیچ های مغناطیس شده در امتداد خط، که مسیر هدایت (guideway) نامیده می شوند باعث دفع آهنرباهای بزرگ قرار گرفته در زیر قطار می شوند، که قطار را بین ۰.۳۹ تا ۳.۹۳ اینچ (۱ تا ۱۰ سانتی متر) بالای مسیر هدایت شناور می کند. هنگامی که قطار شناور است، منبع توان به سیم پیچ هایی که در داخل دیواره های مسیر حرکت قرار دارند اعمال می شود تا یک سیستم منحصر به فرد از میدان های مغناطیسی را ایجاد کند که قطار را در امتداد مسیر نگه داشته و به جلو هدایت می کند. جریان الکتریکی اعمال شده به سیم پیچ ها در دیواره های مسیر حرکت به طور مداوم تغییر می کند تا قطبیت سیم پیچ های مغناطیسی را تغییر دهد. این تغییر قطبیت موجب ایجاد میدان مغناطیسی در جلو قطار می شود تا آن را به جلو بکشد در حالی که میدان مغناطیسی پشت قطار بیشتر نیروی پیشروی را به وجود می آورد. قطار مگلو بر روی یک بالشتک هوا شناور می شود و این اصطکاک را از بین می برد. این کاهش اصطکاک و طراحی های آیرودینامیکی قطارها را قادر می سازد تا سرعت حمل و نقل بی سابقه ای، بیش از ۳۱۰ مایل بر ساعت (۵۰۰ کیلومتر بر ساعت) را به دست آورند.

مگلو چگونه کار می کند؟



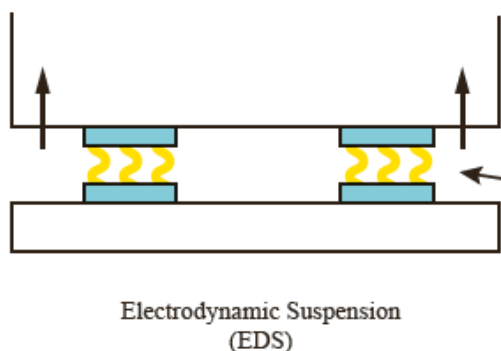
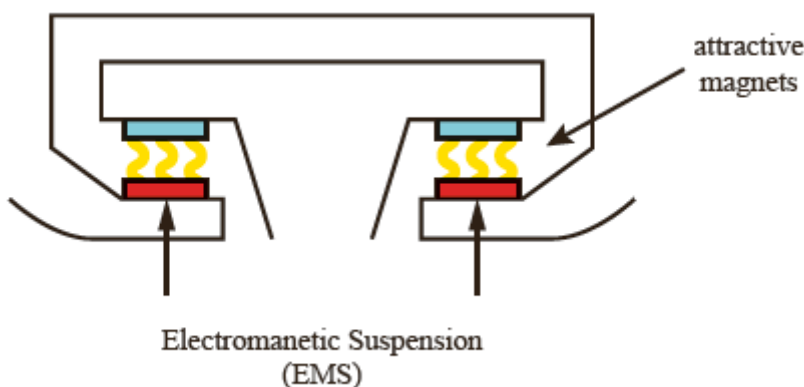
قطارهای مگلو هیچ چرخ یا ریلی ندارند همان طور که در ادامه نشان داده شده است، آنها دارای مسیر هدایت هستند و بدون هیچ گونه

تماسی با مسیر هدایت بر روی آن شناور می شوند. سه قسمت عمده برای عملکرد یک قطار مگلو عبارت اند از: تعلیق، نیروی محرکه و مسیر هدایت.

تعلیق یا شناوری

تعلیق عبارت است از توانایی قطار برای ایستادن در بالای خط حرکت. دو نوع مهم از تکنولوژی تعلیق وجود دارد:

تعلیق الکترومغناطیسی EMS (شکل صفحه بعد) از نیروی جاذبه الکترومغناطیسی بین مسیر هدایت و قطار برای ایجاد تعلیق استفاده می کند. مزایای این روش این است که ساده تر از تعلیق الکترودینامیکی (که بعد از این قسمت شرح داده شده است) اجرا می شود و تعلیق را در سرعت صفر هم حفظ می کند. نقاط ضعف این است که سیستم ذاتا ناپایدار است. در سرعت های بالا نگه داشتن فاصله مناسب بین قطار و مسیر هدایت دشوار است. اگر این فاصله حفظ نشود، قطار شناور نخواهد ماند و به مسیر هدایت برخورد کرده و به توقف منجر خواهد شد. برای این منظور، EMS نیاز به سیستم های کنترل فیدبک پیچیده برای اطمینان از اینکه قطار همیشه پایدار است، دارد.



تعلیق الکترودینامیکی EDS (شکل زیر)

از نیروی دافعه (مغناطیسی ابرسانایی) در مسیر

هدایت و قطار برای ایجاد تعلیق استفاده

می کند. آهنرباها در حالی که قطار در حال

حرکت است از روی هم عبور کرده و نیروی

دافعه ایجاد می کنند. مزایای این روش آن است

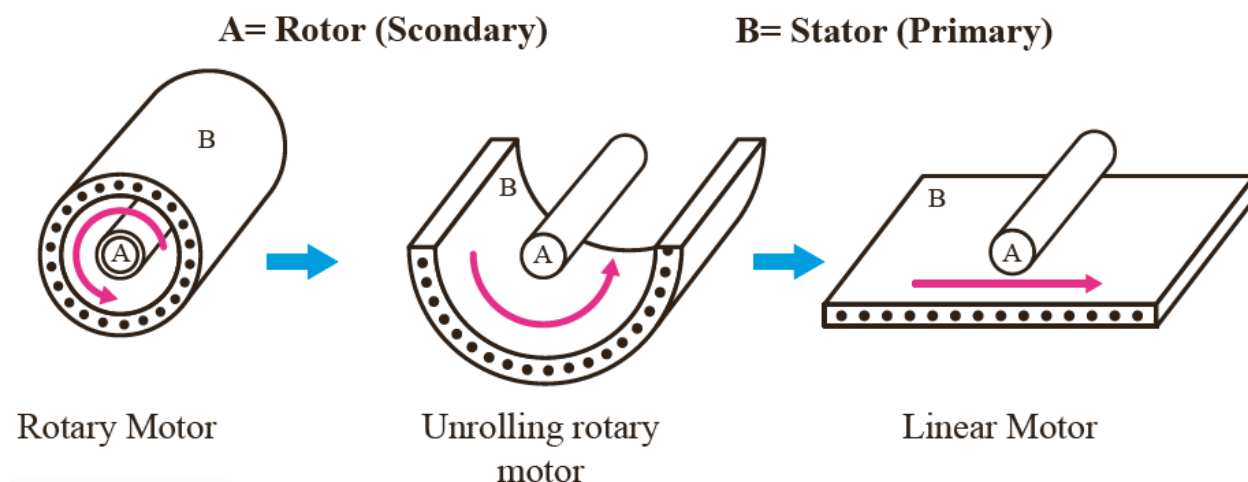
که در سرعت های بالاپایدار است. نگهداری فاصله

صحیح بین قطار و مسیر هدایت نگران کننده نیست. نقاط ضعف این است که باید سرعت کافی را برای

تعلیق قطار به دست آورد. علاوه بر این، این سیستم بسیار پیچیده و پرهزینه است.

نیروی محرکه :

نیروی محرکه نیرویی است که قطار را به جلو هدایت می کند. مگلو از یک موتور الکتریکی خطی برای دستیابی به نیروی محرکه استفاده می کند. یک موتور الکتریکی دوار معمولی از مغناطیس برای تولید گشتاور و چرخش محور استفاده می کند که از یک استاتور یا قسمت ساکن که روتور یا قسمت چرخان را احاطه کرده است، تشکیل شده است. استاتور برای تولید میدان مغناطیسی گردان استفاده می شود. این میدان یک نیروی چرخشی در روتور القا می کند که باعث چرخش روتور می شود. یک موتور خطی به طور ساده، یک موتور دوار باز شده است (شکل را ببینید) استاتور باز شده و روتور بر بالای آن قرار داده شده است. به جای میدان مغناطیسی گردان، استاتور یک میدان که در طول استاتور حرکت می کند تولید می کند. به طور مشابه به جای تولید یک نیروی چرخان، روتور یک نیروی خطی که آن را در طول استاتور حرکت می دهد، تجربه می کند. بنابراین یک موتور خطی الکتریکی به طور مستقیم نیرویی بر روی یک خط مستقیم تولید می کند. اگرچه این موتورها هنگامی می توانند نیرو تولید کنند که روتور در بالای استاتور قرار داشته باشد. هنگامی که روتور به انتها برسد حرکت آن متوقف می شود.

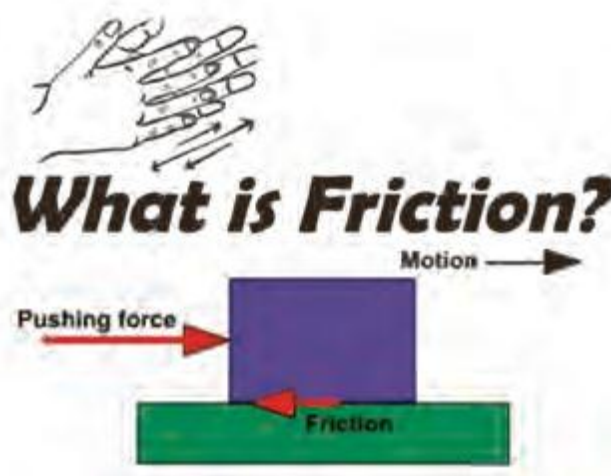


هنگام توصیف یک موتور خطی، در حالت استاندارد از اصطلاح «اولیه» به جای «استاتور» و «ثانویه» به جای «روتور» استفاده می کنیم. در قطارهای مگلو، ثانویه (رتور) به زیر قطار متصل می شود و اولیه (استاتور) در ریل (مسیر حرکت) می باشد. بنابراین میدان مغناطیسی به سمت مسیر هدایت است و باعث کشیدن قطار به دنبال آن می شود. لذا، طول کل مسیر مگلو می تواند بخشی از موتور قطار باشد. سیستمی که تاکنون توصیف شده است یک موتور القایی خطی (LMI) است.

مزایای مگلو :

مشهورترین جاذبه قطارهای مگلو این است که آنها می توانند سریع تر از قطارهای سنتی سفر کنند. فقط مگلو تجاری سرعت بالای شانگهای، که سریع ترین قطار موجود است سرعتی بیش از 50 مایل بر ساعت (80 کیلومتر بر ساعت) از سریع ترین قطار چرخ دار معمولی دارد. فقدان اصطکاک بین قطار و مسیر هدایت، بسیاری از محدودیت ها که قطارهای سنتی دارند را از بین می برد. دیگر ویژگی هایظریف تر نیز وجود دارد که باعث می شود مگلو جذاب باشد:

طول عمر: چرخ های معمولی و ریل ها در طول زمان تحت فشار زیادی قرار می گیرند. آنها باید به طور دوره ای جایگزین و تعمیر شوند تا بتوانند عملکرد مناسب داشته باشند در مگلو، هیچ تماسی بین قطار و مسیر هدایت وجود ندارد، بنابراین سایش به میزان قابل توجهی کمتر است. طول عمر قطعات مگلو به علت این واقعیت بسیار طولانی تر است. از لحاظ اقتصادی، این انگیزه بسیار خوبی است، زیرا تعمیر و نگهداری جزء فعالیت های پر هزینه و وقت گیر است.



ایمنی: این ممکن است به نظر غیرقابل درک باشد که این قطارها امن تر هستند، زیرا آنها بسیار سریع تر از همتایان چرخ دار خود می باشند. با این وجود این مسئله درست است. خروج از ریل در قطارهای مگلو تقریباً غیرممکن است. علاوه براین، آب و هوا مشکلی ایجاد نمی کند. از آنجا که قطارها دارای اصطکاک در حرکت نیستند، برف، یخ و باران به هیچ وجه تأثیری ندارد.

بهره وری انرژی: یکی دیگر از مزایای این نوع قطارها این است که این قطارها هیچ انرژی را برای اصطکاک از دست نمی دهند. این یک مزیت در کارایی می باشد. مصرف انرژی برای موفقیت یک سیستم حمل و نقل ضروری است. بخش عمده ای از هزینه های عملیاتی، صرف هزینه توان می شود. بنابراین این بسیار مهم است.

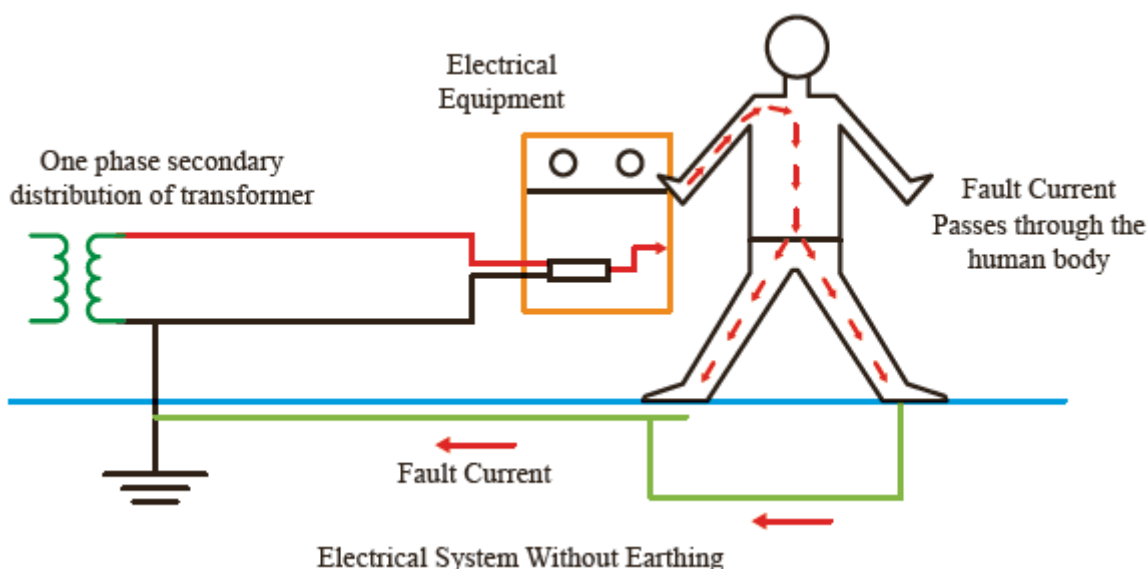
آلودگی صوتی: هنگام بررسی پروژه حمل و نقل، نویز (در محدوده معقول) به اندازه اقتصاد یا ایمنی مسئله بزرگی نیست. با این حال، کاهش نویز هنوز یک ویژگی مثبت محسوب می شود. قطارهای مگلو بی صدا تر از قطارهای معاصر هستند، بنابراین این نکته دیگری به نفع آنهاست.

معایب مگلو:

علی رغم خیلی از مسائل بالا، هنوز دلایلی وجود دارد که چرا قطارهای مغناطیسی در همه جا ساخته نمی شوند. شاید بزرگ ترین دلیل این است که مسیرهای مگلو با زیرساخت های راه آهن موجود سازگار نیستند. هر سازمانی که تلاش می کند یک سیستم مگلو را اجرا کند باید از ابتدا شروع به ساختن یک مجموعه کاملاً جدید از مسیرهای مورد نیاز کند. این شامل سرمایه گذاری اولیه بسیار بالاست. با وجودی که مسیرهای مدرن در طول زمان هزینه کمتری از مسیرهای ریلی قدیمی دارند، سخت است که برای هزینه های پیش رو توجیهی داشته باشیم. مشکل دیگر این است که قطارهای مگلو سریع حرکت می کنند، اما ممکن است این سرعت به اندازه کافی نباشد. کشورهای دارای ریل های با سرعت بالا در حال حاضر نمی خواهند میلیاردها دلار صرف اجرای یک سیستم کنند که تنها کمی بهتر از وضع موجود است.

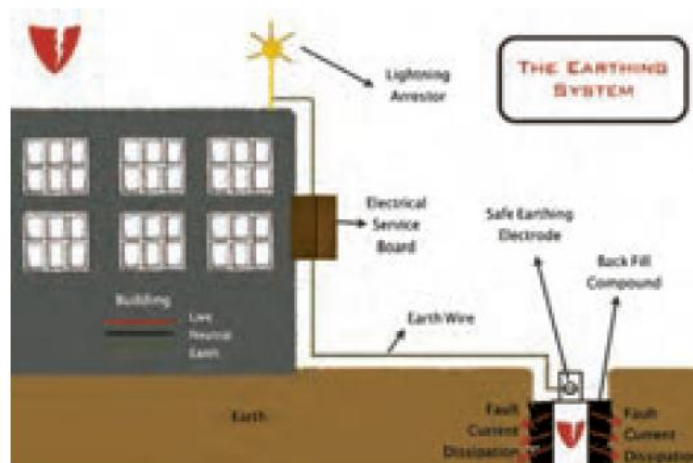
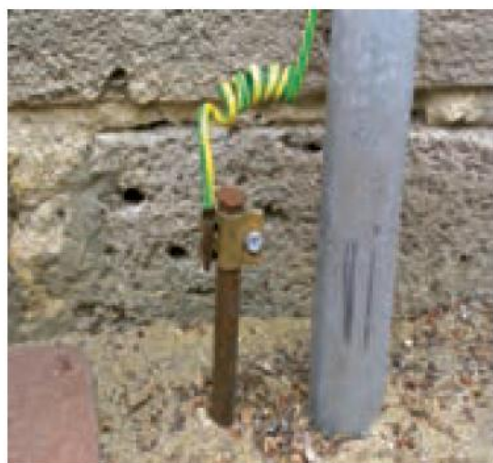
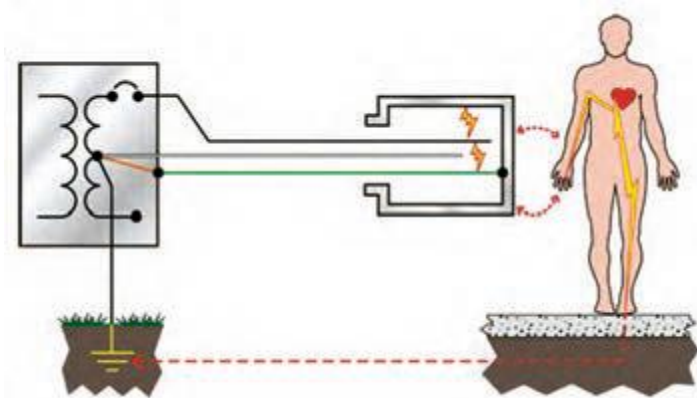
ارتینگ چیست و چرا به کار برده می شود؟

ارتینگ برای محافظت از شما در مقابل شوک الکتریکی استفاده می شود. این کار را با ایجاد یک مسیر (یک هادی حفاظتی) برای جریان خطای ایجاد شده به طرف زمین انجام می دهد. همچنین باعث می شود که دستگاه حفاظتی (یک فیوز یا بریکر) جریان الکتریکی دستگاه دارای خطا را قطع کند.



چرا ارتینگ در سیستم های الکتریکی نیاز است ؟

اگر یکی سیم حاوی جریان الکتریکی به بدنه دستگاه متصل شود سیم اتصال زمین یک مسیر امن برای جریان ایجاد می کند. اگر یک سیم حامل جریان در درون یک دستگاه مثل اجاق گاز شل شده و به بدنه دستگاه متصل شود شما دچار برق گرفتگی (سیم حامل جریان در درون) خواهید شد. مانند یک عامل ایمنی سیم زمین باید ضروری و اجباری باشد. سیم ارت یک اتصال الکتریکی بین قطعات فلزی بیرونی لوازم الکتریکی و یا تأسیسات و زمین دارای پتانسیل صفر است برای سطح خطرناکی از پتانسیل یا ولتاژ که زندگی کاربر را به خطر می اندازد.



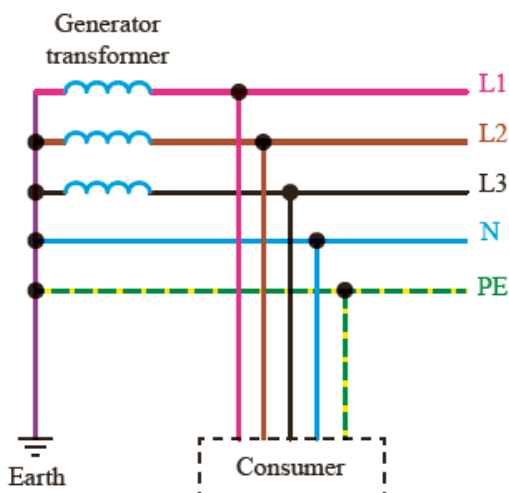
سیستم ارتینگ چگونه کار می کند؟

یک اختلاف، زمانی می تواند اتفاق بیفتد که هر جریان الکتریکی از طریق سیم زمین یا از بدن فرد به زمین (و به نقطه خنثی از طریق سیستم زمین) جاری گردد. جریان الکتریکی تنها زمانی برقرار می شود که مدار کامل باشد و بدن ما یک رسانای بزرگ جریان الکتریکی است.

ارتینگ و انواع آن

پنج نوع سیستم زمینی : TN_S ، TN_C_S ، TT ، TN_C و IT .
T - زمین (از واژه فرانسوی Terre) ، C - ترکیب شده ، S - جداگانه ، N - خنثی و I - ایزوله

شبکه TN

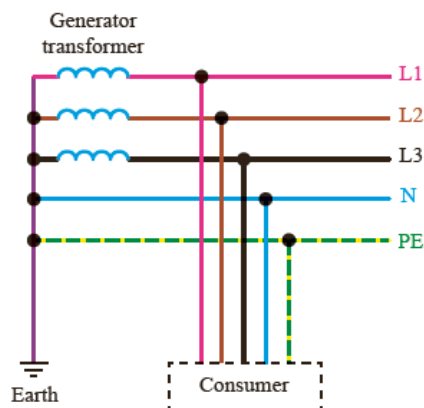


در سیستم زمین نوع TN ، یکی از نقاط طرف منبع (ژنراتور یا ترانسفورماتور) به زمین متصل است. این نقطه معمولاً نقطه ستاره در سیستم سه فاز است. بدنه دستگاه برق از طریق این نقطه زمین در سمت منبع به زمین وصل شده است. تصویر را ببینید.

در یاگرام بالا داریم :

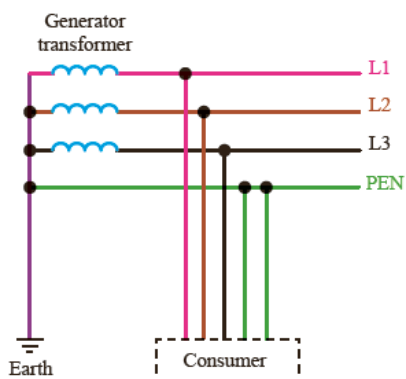
PE - به اختصار «حفاظت زمین» هادی است که به بدنه فلزی دستگاه های الکتریکی نصب شده را به زمین متصل می کند.

N - خنثی نامیده می شود. این هادی است که نقطه ستاره را در یک سیستم 3 فاز به زمین متصل می کند. سه زیرمجموعه از شبکه TN در زیر آورده شده است:



TN_S

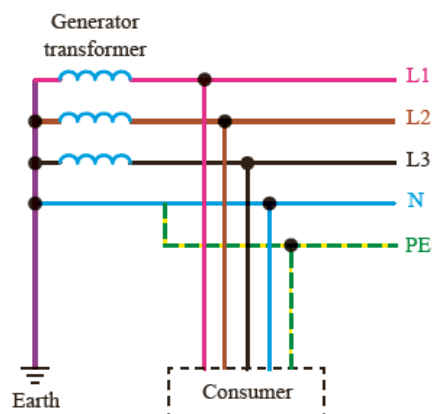
در این سیستم، هادی های جداگانه برای حفاظت زمین (PE) و نول از محل نصب مصرف کننده تا منبع می رود. آنها تنها در منبع اصلی برق به هم متصل هستند.



TN_C

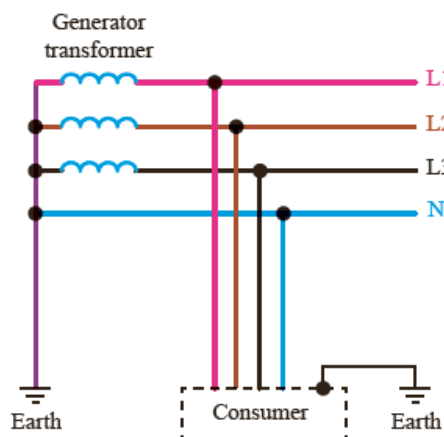
در این نوع ، یک هادی ترکیبی به نام PEN (Protective Earth Neutral) که به زمین متصل است، در منبع اصلی برق وجود دارد.

TN_C_S



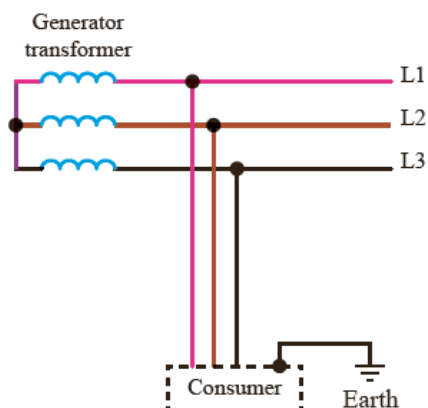
در این نوع سیستم زمین، بخشی از سیستم از یک هادی ترکیبی PEN برای ارتینگ استفاده می کند، در حالی که برای بخش باقی مانده از سیستم، از هادی جداگانه برای PE و N استفاده می شود. معمولاً، هادی ترکیبی PEN در نزدیکی منبع سیستم استفاده می شود.

شبکه TT



در سیستم زمین نوع TT، مصرف کننده اتصال زمین خود را در محل استفاده دارد، که مستقل از هر اتصال زمین در سمت منبع است. این نوع زمین در سیستم های مخابراتی ترجیح داده می شود، زیرا این سیستم از هر نویز با فرکانس بالا یا پایین از طریق سیم زمین متصل به تجهیزات جلوگیری می کند.

شبکه IT



در سیستم زمین IT، هیچ ارتباطی با زمین وجود ندارد این نوع سیستم از طریق اتصال زمین پایدار با امپدانس بالا انجام می شود.
(در قسمت مصرف کننده)

مقاومت زمین :

در سیستم های TN یا TT، مقاومت زمین در تمام زمین های تابعه باید حداقل ممکن باشد تا افزایش ولتاژ را بجای تمام هادی های دیگر به سمت زمین محدود کند. به خصوص حفاظت هادی PEN وقتی که خطایی

در یک فاز رخ می دهد. مقدار ۲ اهم در سیستم TN کافی است. اگر مقدار 2 اهم در خاک با رسانایی کم حاصل نشود شرایط زیر باید در نظر گرفته شود.

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50V}{U_0 - 50V}$$

R_E : مقاومت زمین کل در همه زمین های موازی سیستم.

R_B : کمترین مقاومت زمین فرض شده در بخش های رسانا که به هادی محافظت شده متصل نبوده و می تواند یک خطای زمین اتفاق بیافتد.

U_0 : نرخ ولتاژ (r.m.s) در برابر زمین.

انواع سیستم های زمین (از دید اجرا):

انواع مختلفی از سیستم زمین وجود دارد. روش های عمومی عبارت اند از:

ارت صفحه ای: یک ورق مس یا صفحه گالوانیزه در یک چاه زیر سطح زمین دفن می شود. الکتروود صفحه ای سیم های الکتریکی را به زمین متصل می کند.

ارت لوله ای: لوله های سوراخ شده فولادی گالوانیزه در داخل زمین، هادی های الکتریکی را به زمین متصل می کند.

ارت راد: شبیه به ارت لوله ای است. یک الکتروود مسی را جایگزین لوله می کند.

خواندن و درک موتور الکتریکی:

پلاک موتور معمولاً بر روی تمام موتورهای الکتریکی نصب می گردد. خواندن و درک پلاک موتور بعضی اوقات سخت است ولی ضروری است. در اکثر کشورها، برای تولیدکنندگان نمایش همه اطلاعات در پلاک موتور، الزامی است. اما اغلب این وضعیت نیست. با این حال، هنگامی که یک موتور برای مدت طولانی در حال کار است، اغلب ممکن نیست اطلاعات عملیاتی آن را تعیین کنید زیرا نام پلاک موتور اغلب از دست رفته یا رنگ آن رفته است.

ورودی برق:

۱- **ولتاژ:** این داده ها به شما می گوید که موتور در چه ولتاژی عمل می کند پارامترهای تعریف شده برای موتور مانند ضریب توان، بهره وری، گشتاور و جریان در ولتاژ و فرکانس خاصی صادق هستند.



هنگامی که موتور در ولتاژهای دیگر از ولتاژ نشان داده شده در پلاک استفاده می شود، عملکرد آن تحت تأثیر قرار خواهد گرفت.



۲- **فرکانس:** معمولاً برای موتورهای فرکانس ورودی 50 یا 60 هرتز است. اگر بیش از یک فرکانس بر روی پلاک مشخص شده باشد، پارامترهای دیگر که در فرکانس های مختلف ورودی متفاوت خواهند بود نیز بر روی پلاک نشان داده شده است.



۳- **فاز:** این پارامتر نشان دهنده تعداد خطوط برق AC است که موتور را تأمین می کنند. تک فاز و سه فاز به عنوان استاندارد مورد توجه قرار می گیرند.



۴- **جریان:** جریان نشان داده شده در پلاک مربوط به خروجی قدرت نامی همراه با ولتاژ و فرکانس است. جریان ممکن است در صورتی که فازها نامتعادل باشند یا اگر ولتاژ پایین تر از مقدار نشان داده باشد انحراف داشته باشد.



۵- بعضی از تولیدکنندگان از نوع برای تعریف موتور به عنوان تک فاز یا چند فاز، تک سرعت یا چند سرعت یا نوع ساخت و ساز استفاده می کنند. با این وجود، استانداردهای صنعت برای نوع وجود ندارد.

3-MOT MG 90SA2-24FF165-C2			
50 Hz	P ₂ 1,50 kW	No85807906	
	U 220-240D/380-415Y	V	
Eff. %	I _{in} 5.90/3.40	A	
82	I _{max} 6.50/3.75	A	
n 2860-2890	min	cos φ 0.85-0.79	
CL F	IP 55	0346	
DE 6305.2Z.C4 NDE 6205.2Z.C3			
EFF 2			
CE GRUNDFOS			

۶- ضریب توان: ضریب توان بر روی پلاک با نام «PF» یا «P.F» یا $\cos\phi$ نشان داده شده است. فاکتور قدرت عبارت از نسبت قدرت فعال (W) به قدرت ظاهری (VA) بیان شده به عنوان یک درصد می باشد.

ورودی مکانیکی:

۷- کیلووات یا اسب بخار: بیانگر خروجی مکانیکی موتور است که این توانایی برای ارائه گشتاور مورد نیاز برای بار در سرعت نامی است.

۸- سرعت بار کامل: سرعت Full-load سرعتی است که در آن گشتاور بار کامل با توان خروجی تحویل داده می شود. به طور معمول، سرعت بار کامل در RPM داده می شود. این سرعت گاهی اوقات سرعت لغزش یا سرعت روتور واقعی نامیده می شود.

Efficiency label			
Full-load speed			
Efficiency in percent		kW	
3-MOT MG 90SA2-24FF165-C2			
50 Hz	P ₂ 1,50 kW	No85807906	
	U 220-240D/380-415Y	V	
Eff. %	I _{in} 5.90/3.40	A	
82	I _{max} 6.50/3.75	A	
n 2860-2890	min	cos φ 0.85-0.79	
CL F	IP 55	0346	
DE 6305.2Z.C4 NDE 6205.2Z.C3			
			
 GRUNDFOS 			
Made in Hungary			

کارایی:

۹- راندمان: راندمان عبارت است از توان خروجی موتور تقسیم بر توان ورودی آن ضرب شده در ۱۰۰. بهره‌وری به صورت درصد بیان می‌شود. کارایی توسط سازنده تضمین شده است که در یک باند تolerانس خاص قرار دارد که بسته به استاندارد طراحی متفاوت است، به عنوان مثال IEC یا NEMA. بنابراین، هنگامی که عملکرد موتور را ارزیابی می‌کنید، به کمترین راندمان تضمین شده توجه کنید.

۱۰- دوره کار: این پارامتر طول زمان را تعیین می‌کند که موتور می‌تواند با ایمنی آن را انجام دهد. در بسیاری از موارد، موتور می‌تواند آن را به طور مداوم انجام دهد، که توسط S1 یا «Cont» در پلاک نشان داده شده است. اگر چیزی در پلاک موتور نشان داده نشود، موتور برای چرخه کار S1 طراحی شده است.

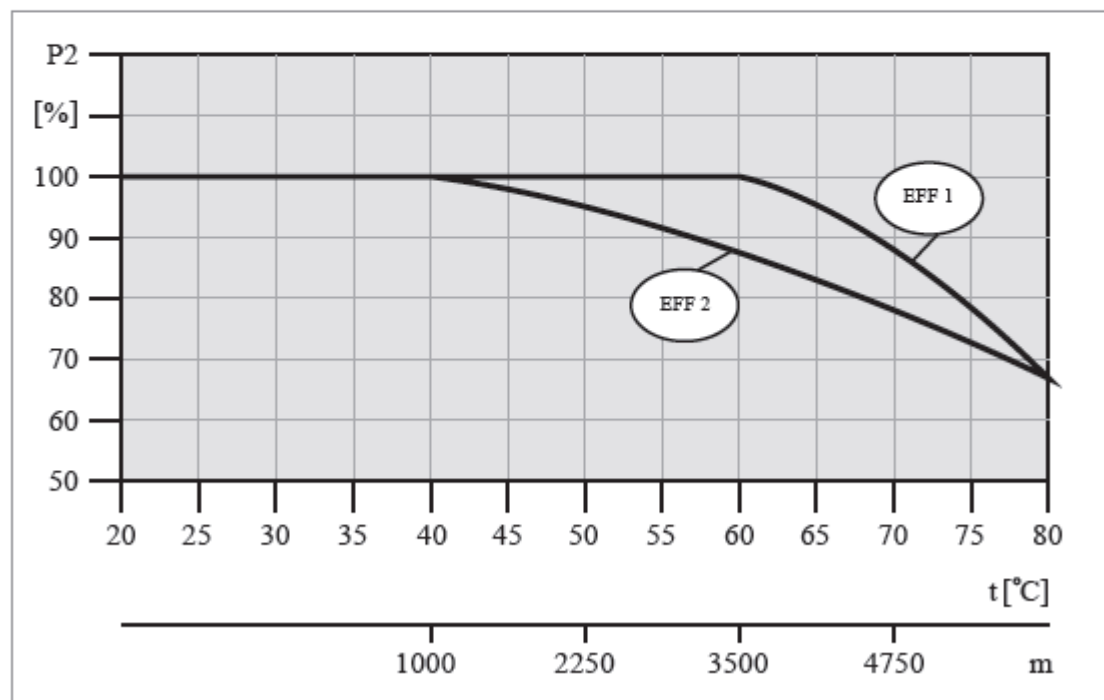
CE GRUNDFOS X EFF 2			
TYPE MAG 112-2-30T/55	CAT NO 34033000	PART NO 8311217	
0.3 kW / 0.41 hp	0.41 A	MAX. AMB. 40 °C	INS. F
ENCL. 475	EFF (100% FL) 85.7%	EFF (75% FL) 88%	
Hz 50	Hz 50	DUTY S1	IP55
VOLT 230-415/500-690	VOLT 230-415/500-690	VOLT 690	kg
AMP 1.1/0.4	AMP 10.5-8.6/1.5		
RPM 2900-2920	RPM 1470-1525		
COSφ 0.85-0.88	COSφ 0.87-0.88		
BRG D.E. 620672	R.D.E. 620672		
YEAR 2001	WEEK 28	SER. NO. 0001	
MADE IN CHINA			6314

قابلیت اطمینان:

۱۱- کلاس عایقی: کلاس عایق بیان طبقه‌بندی استاندارد تحمل حرارتی سیم‌پیچ موتور است. کلاس عایق یک حرف تخصیص یافته مانند «B» یا «F» است، بستگی به توانایی سیم‌پیچ در تحمل دمای کاری مشخص شده برای طول عمر مشخص دارد. حروف انتهایی الفبا دارای کلاس عایقی بهتری هستند. به عنوان مثال، کلاس «F» طول عمر بیشتری در دمای معین نسبت به کلاس «B» دارد.



۱۲- حداکثر درجه حرارت محیط: حداکثر دمای محیطی که موتور می تواند کار کند، گاهی در پلاک نشان داده می شود. اگر حداکثر ۴۰ درجه سانتی گراد برای موتور EFF۲ و به طور معمول ۶۰ درجه سانتی گراد برای موتور EFF۱ نیست. این موتور می تواند کار کند و با یک تیرانس در کلاس عایقی و در درجه حرارت حداکثر قرار گیرد.



۱۳- ارتفاع: این نشانه نشان می‌دهد حداکثر ارتفاع بالاتر از سطح دریا که در آن موتور در محدوده دمای طراحی خود باقی می‌ماند و تمام اطلاعات دیگر نشان داده شده در پلاک را از خود نشان می‌دهد.

ساخت و ساز:

۱۴- محفظه: Enclosure یک موتور را بر اساس درجه حفاظت آن از محیط زیست و روش خنک‌کنندگی آن طبقه‌بندی می‌کند. محفظه به عنوان IP یا ENCL بر روی پلاک نشان داده شده است.

۱۵- فریم (قاب): اطلاعات اندازه قاب بر روی پلاک یک بخش مهم از اطلاعات است. این ابعاد الگوی نصب سوراخ پایه و ارتفاع شفت را تعیین می‌کند. اندازه قاب معمولاً بخشی از نوع نام‌گذاری است که می‌تواند برای تفسیر آن دشوار باشد، زیرا شفت مخصوص یا تنظیمات نصب استفاده می‌شود.

۱۶- یاتاقان (بلبرینگ): بلبرینگ از اجزای موتور AC است که نیاز به نگهداری بیشتر دارد. اطلاعات معمولاً برای هر دو نوع بلبرینگ انتهای محرک موتور (DE) و بلبرینگ در مقابل انتهای محرک (NDE) ارائه می‌شود. علاوه بر اطلاعات فوق، پلاک NEMA دارای اطلاعات تکمیلی هستند. مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:

■ letter code

■ حروف طراحی

■ ضریب خدمات

۱۷- letter code: letter code یک جریان روتور قفل شده kVA را بر اساس هر اسب بخار تعریف می‌کند letter code متشکل از حروف A تا V هر چه کد دورتر از حروف A باشد، جریان راه‌اندازی در هر اسب بخار بالاتر است.

۱۸- کد طراحی: ویژگی‌های گشتاور و جریان موتور را پوشش می‌دهد. کد طراحی A,B,C,D دسته‌های مختلف را تعریف می‌کند. بیشتر موتورها از دسته A یا B هستند.

ویژگی گشتاور موتور A شبیه به ویژگی موتور طراحی B است با این تفاوت که جریان راه‌اندازی آن محدود نمی‌باشد. بنابراین، هنگام جایگزینی موتور در یک کار، مهم است که کد طراحی را بررسی کنید، زیرا برخی از تولیدکنندگان محصولات خود را با حروفی تعیین می‌کنند که استانداردهای صنعتی را در نظر نمی‌گیرند و ممکن است منجر به مشکلاتی شود.

۱۹- ضریب سرویس (خدمات): یک موتور طراحی شده برای کار در پلاک خود دارای ضریب سرویس ۱,۰ است. این به این معنی است که موتور می‌تواند با ۱۰۰٪ قدرت خود کار کند.

بعضی از برنامه‌ها نیاز به یک موتور دارند که می‌توانند از توان نامی تجاوز کنند. در این موارد موتور با ضریب سرویس ۱,۱۵ می‌تواند به کار برود. یک موتور دارای ضریب سرویس ۱,۱۵ می‌تواند با ۱۵ درصد بالاتر از توان نامی قید شده در پلاک خودش کار کند. با این حال، هر موتوری که به‌طور مداوم در یک ضریب سرویس بیش از ۱ کار می‌کند، عمر مفیدش در مقایسه با موتوری که در ضریب سرویس خودش کار می‌کند کاهش می‌یابد.

چگونه یک دیتاشیت را بخوانیم:

دیتاشیت‌ها دستورالعمل‌های آموزشی برای قطعات الکترونیکی هستند. آنها دقیقاً اجزای تشکیل‌دهنده و چگونگی استفاده از آنها را توضیح می‌دهند. متأسفانه این اسناد معمولاً توسط مهندسين برای مهندسان دیگر نوشته می‌شوند، و به همین دلیل اغلب خواندن آنها سخت است، مخصوصاً برای تازه واردها. با این وجود، دیتاشیت‌ها هنوز هم بهترین مکان برای پیدا کردن جزئیات مورد نیاز برای طراحی یک مدار و یا انجام یک کار هستند. محتویات دیتاشیت بسته به نوع قطعه دارای بخش‌های متفاوت خواهد بود، اما معمولاً بیشتر بخش‌های زیر را دارند.

صفحه اول معمولاً خلاصه‌ای از عملکرد و ویژگی‌های قطعه است. این جایی است که شما به سرعت می‌توانید توضیحات مربوط به عملکرد قطعه را پیدا کنید، مشخصات اولیه (اعداد که توصیف می‌کنند که چه بخشی نیاز دارد و چه کاری می‌تواند انجام شود) و گاهی اوقات یک بلوک دیاگرام عملکردی است که عملکرد داخلی آن را نشان می‌دهد. این صفحه اغلب اولین تأثیر شما را برای اینکه آیا بخش بالقوه برای پروژه شما کار خواهد کرد یا خیر، به شما ارائه می‌دهد.



3-Axis, $\pm 2\text{ g}/\pm 4\text{ g}/\pm 8\text{ g}/\pm 16\text{ g}$ Digital Accelerometer

ADXL345

FEATURES

- Ultralow power: as low as 40 μA in measurement mode and 0.1 μA in standby mode at $V_s = 2.5\text{ V}$ (typical)
- Power consumption scales automatically with bandwidth
- User-selectable resolution
 - Fixed 10-bit resolution
 - Full resolution, where resolution increases with g range, up to 13-bit resolution at $\pm 16\text{ g}$ (maintaining 4 mg/LSB scale factor in all g ranges)
- Embedded, patent pending FIFO technology minimizes host processor load
- Tap/double tap detection
- Activity/inactivity monitoring
- Free-fall detection
- Supply voltage range: 2.0 V to 3.6 V
- I/O voltage range: 1.7 V to V_s
- SPI (3- and 4-wire) and I²C digital interfaces
- Flexible interrupt modes mappable to either interrupt pin
- Measurement ranges selectable via serial command
- Bandwidth selectable via serial command
- Wide temperature range (-40°C to $+85^\circ\text{C}$)
- 10,000 g shock survival
- Pb free/RoHS compliant
- Small and thin: 3 mm $\times$ 5 mm $\times$ 1 mm LGA package

APPLICATIONS

- Handsets
- Medical instrumentation
- Gaming and pointing devices
- Industrial instrumentation
- Personal navigation devices
- Hard disk drive (HDD) protection
- Fitness equipment

GENERAL DESCRIPTION

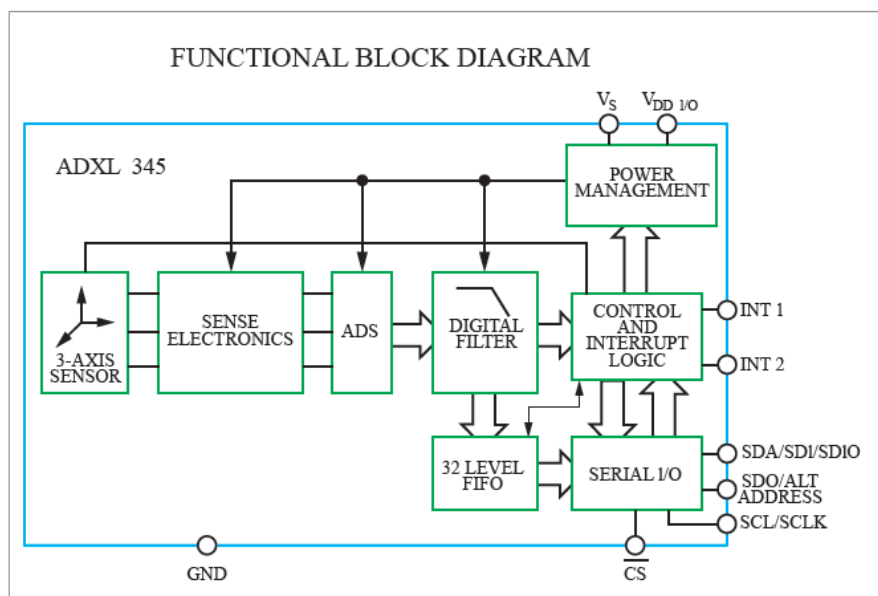
The ADXL345 is a small, thin, low power, 3-axis accelerometer with high resolution (13-bit) measurement at up to $\pm 16\text{ g}$. Digital output data is formatted as 16-bit two's complement and is accessible through either a SPI (3- or 4-wire) or I²C digital interface.

The ADXL345 is well suited for mobile device applications. It measures the static acceleration of gravity in tilt-sensing applications, as well as dynamic acceleration resulting from motion or shock. Its high resolution (4 mg/LSB) enables measurement of inclination changes less than 1.0° .

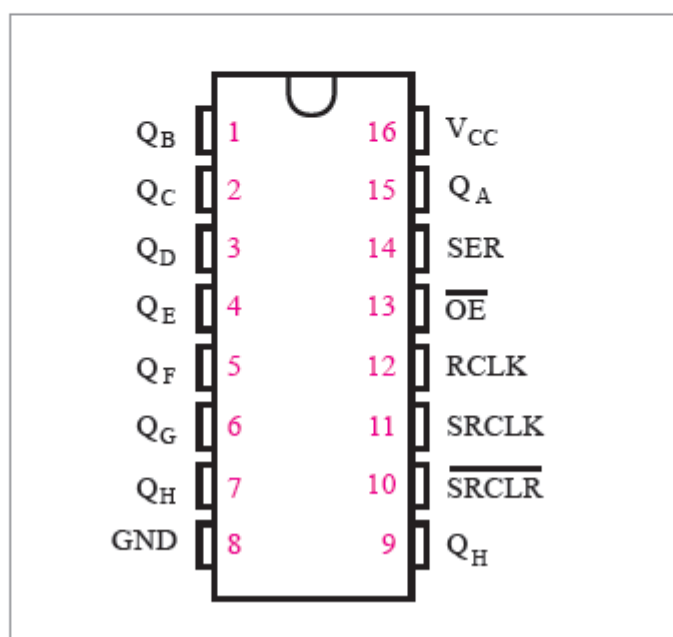
Several special sensing functions are provided. Activity and inactivity sensing detect the presence or lack of motion and if the acceleration on any axis exceeds a user-set level. Tap sensing detects single and double taps. Free-fall sensing detects if the device is falling. These functions can be mapped to one of two interrupt output pins. An integrated, patent pending 32-level first in, first out (FIFO) buffer can be used to store data to minimize host processor intervention.

Low power modes enable intelligent motion-based power management with threshold sensing and active acceleration measurement at extremely low power dissipation.

The ADXL345 is supplied in a small, thin, 3 mm $\times$ 5 mm $\times$ 1 mm, 14-lead, plastic package.

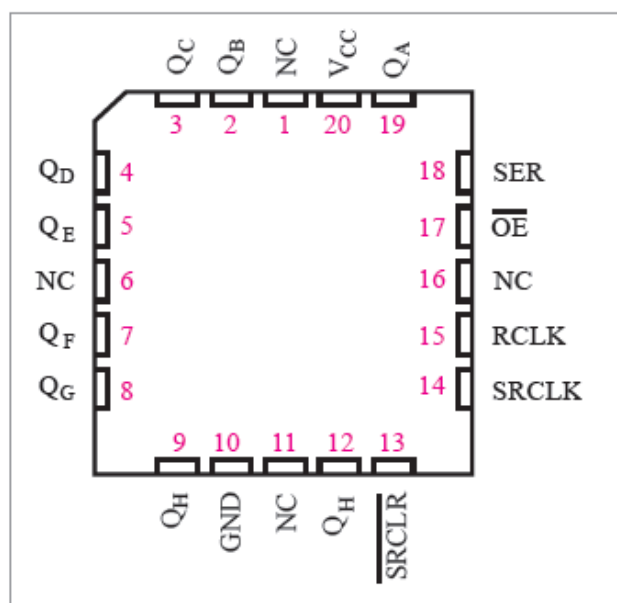


Pinout محل و عملکرد پایه‌های قطعه را از لحاظ فیزیکی در پکیج‌های مختلف نشان می‌دهد. توجه داشته باشید به علامت‌های خاص روی قطعه برای تعیین جایی که پین ۱ است. (این برای وقتی که می‌خواهید قطعه را در مدار قرار دهید مهم است.) و اینکه چگونه پایه‌ها نامگذاری می‌شوند. (در قطعه زیر شماره پایه‌ها عکس جهت عقربه‌های ساعت شماره‌گذاری شده‌اند) بعضی از علامت‌های اختصاری را اینجا پیدا می‌کنید.



VCC: is the supply voltage (commonly 5V or 3.3V), CLK is clock, CLR is clear, OE is output enable

اگر کنار نام یک پین علامت ستاره وجود دارد یا بالای نام آن خط کشیده شده است به این معناست که آن پین از نوع active low می باشد و با ولتاژ 0V فعال می گردد. در مقابل active high که با Vcc فعال می شود.



جداول جزییات مشخصات الکتریکی در ادامه آمده است. این اغلب ماکزیمم مقادیر مطلق را نشان می دهد که قطعه می تواند قبل از آسیب دیدن مقاومت کند. هرگز از این موارد تجاوز نکنید.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS	
Table 2.	
Parameter	Rating
Acceleration	
Any Axis, Unpowered	10,000 g
Any Axis, Powered	10,000 g
V _s	-0.3 V to +3.6 V
V _{ccio}	-0.3 V to +3.6 V
Digital Pins	-0.3 V to V _{ccio} + 0.3 V or 3.6 V, whichever is less
All Other Pins	-0.3 V to +3.6 V
Output Short-Circuit Duration (Any Pin to Ground)	Indefinite
Temperature Range	
Powered	-40°C to +105°C
Storage	-40°C to +105°C

شما همچنین بیشتر شرایط عملیاتی توصیه شده را در جدول خواهید دید. این ممکن است شامل محدوده ولتاژ و جریان برای توابع مختلف، اطلاعات زمان‌بندی، محدوده دما، باس آدرس، و دیگر اطلاعات مفید عملکردی باشد.

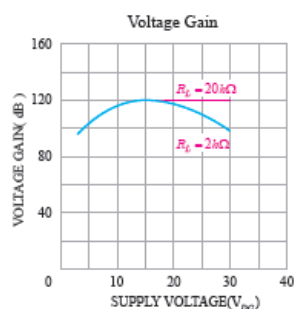
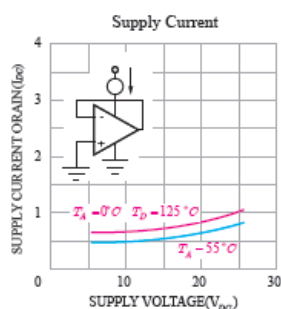
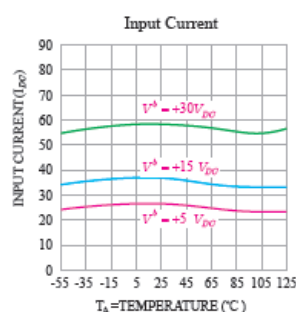
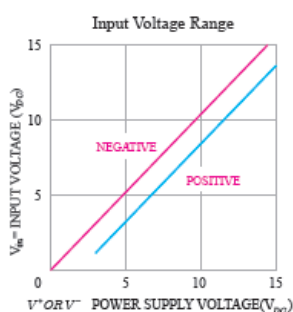
7.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾

		SN54HC595				SN74HC595				UNIT	
		MIN	NOM	MAX		MIN	NOM	MAX			
V_{CC}	Supply voltage	2	5	6		2	5	6		V	
V_{IH}	High-level input voltage	$V_{CC} = 2\text{ V}$			1.5						V
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$			3.15						
		$V_{CC} = 6\text{ V}$			4.2						
V_{IL}	Low-level input voltage	$V_{CC} = 2\text{ V}$			0.5			0.5			V
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$			1.35			1.35			
		$V_{CC} = 6\text{ V}$			1.8			1.8			
V_I	Input voltage	0		V_{CC}		0		V_{CC}		V	
V_O	Output voltage	0		V_{CC}		0		V_{CC}		V	
Δt_{IV}	Input transition rise or fall time ⁽²⁾	$V_{CC} = 2\text{ V}$			1000			1000			ns
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$			500			500			
		$V_{CC} = 6\text{ V}$			400			400			
T_A	Operating free-air temperature	-55		125		-40		85		°C	

- (1) All unused inputs of the device must be held at V_{CC} or GND to ensure proper device operation. See the TI application report, Implications of Slow or Floating CMOS Inputs, SC00A004.
- (2) If this device is used in the threshold region (from $V_{IL}\text{ max} = 0.5\text{ V}$ to $V_{IH}\text{ min} = 1.5\text{ V}$), there is a potential to go into the wrong state from induced grounding, causing double clocking. Operating with the inputs at $t_I = 1000\text{ ns}$ and $V_{CC} = 2\text{ V}$ does not damage the device; however, functionally, the CLK inputs are not ensured while in the shift, count, or toggle operating modes.

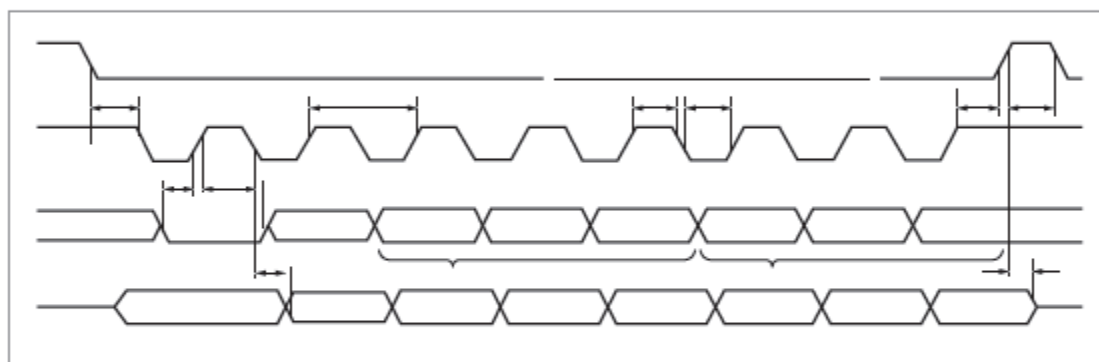
برخی از قطعات دارای یک یا چند نمودار هستند که عملکرد قطعه در برابر معیارهای مختلف (ولتاژ منبع، درجه حرارت، و غیره) را نشان می‌دهند.



جداول نشان می‌دهد که چگونه تغییر ورودی یک قطعه الکترونیکی بر خروجی آن تأثیر می‌گذارد.

«H» به این معنی است که ورودی یک منطقی است (معمولاً V_{CC})، «L» به معنای صفر منطقی (معمولاً GND) است، «X» به این معناست که تراشه اهمیتی نمی‌دهد که ورودی چیست (ممکن است H یا L باشد) یک فلش به این معنی است که شما باید وضعیت آن پین را از L به H یا H به L با توجه به جهت فلش تغییر دهید. این یک ورودی «clocking» نامیده می‌شود و بسیاری از تراشه‌ها برای عملکرد مناسب به این کار متکی هستند.

دیاگرام‌های زمانی نشان می‌دهد که چگونه داده‌ها باید از قطعه ارسال و دریافت شوند و سرعت ارسال/دریافت آن چقدر باشد. اینها معمولاً با ورودی‌ها و خروجی‌های مختلف به صورت خطوط افقی قرار می‌گیرند و نشانگر حالت گذرای منطقی است که در همان زمان در خطوط رخ می‌دهد.



قطعات پیچیده اطلاعات کاربردی زیادی دارند. این بستگی به قطعه دارد، اما ممکن است شامل توضیحات عملکرد پین‌ها، نحوه ارتباط با قطعه، لیست دستورات، جداول حافظه و غیره باشد. این اطلاعات اغلب بسیار مفید است، بنابراین آن را به دقت بخوانید:

ADXL345

I²C

With $\overline{CS}$ tied high to V_{DDIO} , the ADXL345 is in I²C mode, requiring a simple 2-wire connection as shown in Figure 8. The ADXL345 conforms to the UM10204 I²C-Bus Specification and User Manual, Rev. 03—19 June 2007, available from NXP Semiconductor. It supports standard (100 kHz) and fast (400 kHz) data transfer modes if the timing parameters given in Table 11 and Figure 10 are met. Single- or multiple-byte reads/writes are supported, as shown in Figure 9. With the SDO/ALT ADDRESS pin high, the 7-bit I²C address for the device is 0x1D, followed by the R/W bit. This translates to 0x3A for a write and 0x3B for a read. An alternate I²C address of 0x53 (followed by the R/W bit) can be chosen by grounding the SDO/ALT ADDRESS pin (Pin 12). This translates to 0xA6 for a write and 0xA7 for a read.

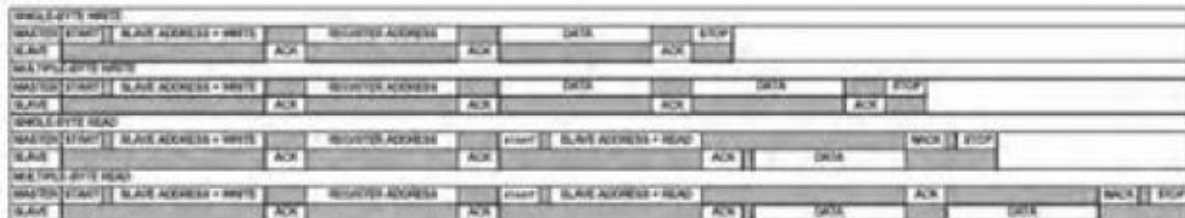
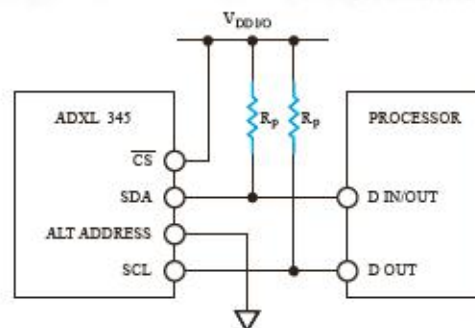
If other devices are connected to the same I²C bus, the nominal operating voltage level of these other devices cannot exceed V_{DDIO} by more than 0.3 V. External pull-up resistors, R_p , are necessary for proper I²C operation. Refer to the UM10204 I²C-Bus Specification and User Manual, Rev. 03—19 June 2007, when selecting pull-up resistor values to ensure proper operation.

Table 10. I²C Digital Input/Output Voltage

Parameter	Limit ^a	Unit
Digital Input Voltage		
Low Level Input Voltage (V_{IL})	$0.25 \times V_{DDIO}$	V max
High Level Input Voltage (V_{IH})	$0.75 \times V_{DDIO}$	V min
Digital Output Voltage		
Low Level Output Voltage (V_{OL}) ^b	$0.2 \times V_{DDIO}$	V max

^a Limits based on characterization results; not production tested.

^b The limit is given only for $V_{DDIO} < 2$ V. When $V_{DDIO} > 2$ V, the limit is 0.4 V max.



TIME START IS EITHER A RESTART OR A STOP FOLLOWED BY A START.

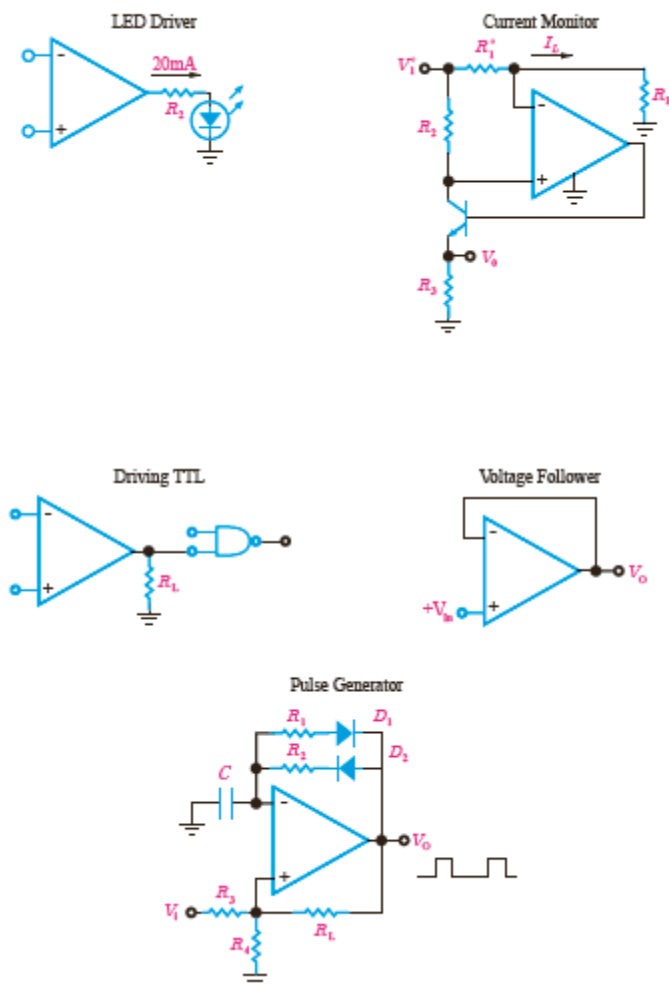
NOTES

1. THE SHADED AREAS REPRESENT WHEN THE DEVICE IS LISTENING.

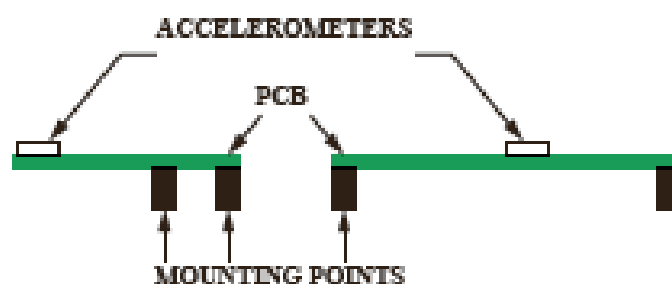
PC Device Addressing

بعضی از دیتاشیت‌ها شامل بلوک‌های نمونه برای مدارهای مختلف است که می‌توانند در اطراف آن ساخته شوند. اینها اغلب بلوک‌های بسیار مفید برای پروژه‌های جالب هستند، بنابراین مطمئن شوید از این طریق به آنها نگاه کنید:

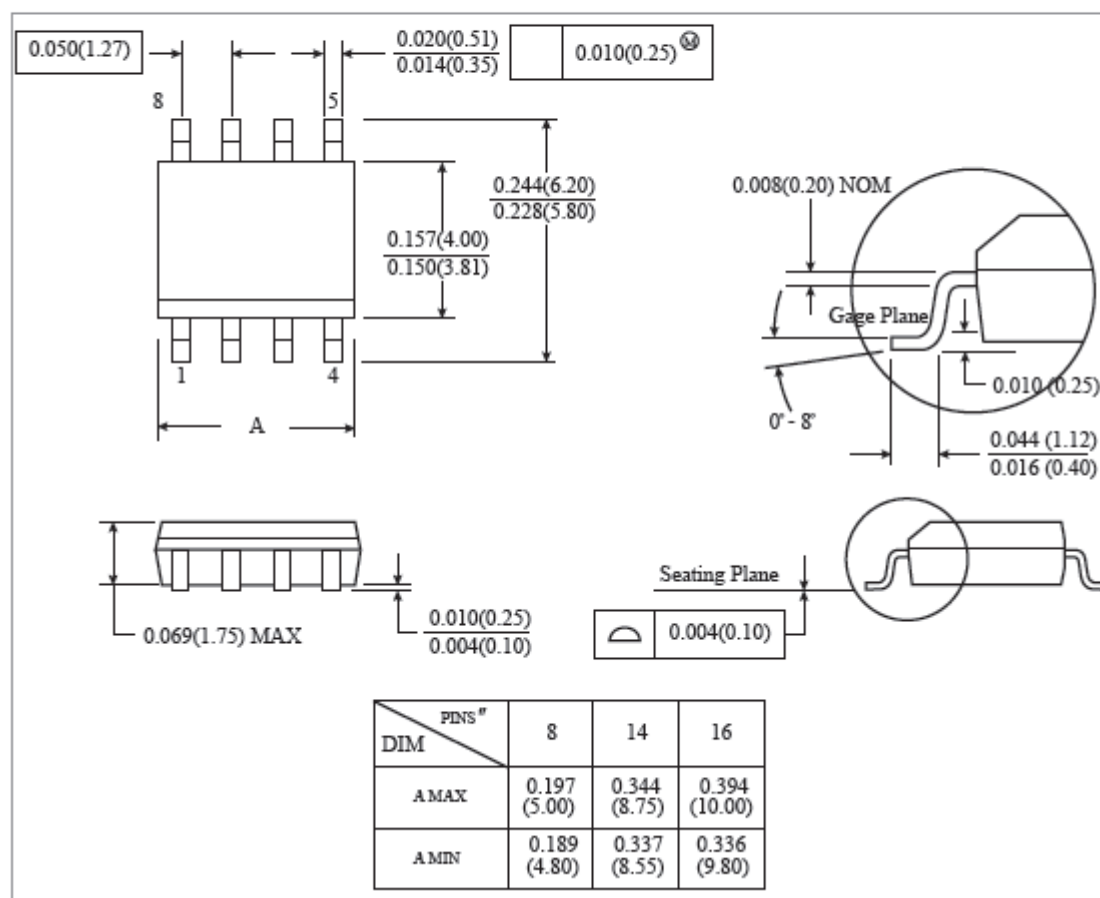
Typical Single - Supply Applications ($V_o = 5.0 V_{dc}$)



برخی از قطعات به نحوه به کارگیری در یک مدار حساس هستند و دیتاشیت‌ها با توجه به layout قطعه را ارائه می‌دهند. این می‌تواند شامل تکنیک‌های کاهش نویز، برخورد با مسائل حرارتی، ملاحظات مکانیکی نصب باشد که مانند شتاب‌سنج زیر از آنها استفاده کند.



در پایان بسیاری از دیتاشیت‌ها اطلاعات بسته‌بندی وجود دارد که ابعاد دقیقی از پکیج‌های قابل دسترس برای قطعه الکترونیکی را فراهم می‌کند. این برای طرح PCB بسیار مفید است.



در نهایت، تعداد کمی از کاربران به درستی اشاره کرده‌اند که دیتاشیت‌ها درست مثل هر چیز دیگری دارای اشتباهاتی است. برای کاهش این احتمال، قبل از انجام هرگونه کار جدی، مطمئن شوید که آخرین نسخه دیتاشیت‌ها را دارید. هنگام کار با قطعه جدید برای اولین بار، و یا هنگام تصمیم‌گیری برای استفاده از پروژه خود، ایده بسیار خوبی است که دیتاشیت مربوط به آن قطعه را از ابتدا تا انتها بخوانید.

سیستم کنترل :

اکنون یک فرآیند کلی برای طراحی یک سیستم کنترل را توصیف می‌کنیم. یک سیستم کنترل متشکل از اجزای متصل شده برای رسیدن به هدف مورد نظر طراحی شده است. برای درک هدف یک سیستم کنترل بهتر است که نمونه‌هایی از سیستم‌های کنترل را در تاریخ بررسی کنید. این سیستم‌های اولیه شامل بسیاری از ایده‌های بازخوردی است که امروزه استفاده می‌شوند.

مهندسی کنترل مدرن شامل به‌کارگیری طراحی سیستم کنترل برای بهبود فرآیند تولید، بهره‌وری استفاده از انرژی و کنترل خودرو پیشرفته (از جمله حمل و نقل سریع) می‌باشد. ما این کاربردهای بسیار جالب مهندسی کنترل را بررسی می‌کنیم و این موضوع قسمتی از مکاترونیک را معرفی می‌کند.

بنابراین یک جزء یا پروسه کنترل می‌تواند توسط یک بلوک نمایش داده شود همان‌طور که در شکل ۱-۱ نمایش داده شده است. رابطه ورودی-خروجی رابطه علت و اثر فرآیند است که پردازش سیگنال ورودی را برای ارائه یک سیگنال خروجی اغلب با تقویت قدرت نشان می‌دهد. یک سیستم کنترل حلقه باز از یک کنترلر یا یک عملگر کنترلی برای رسیدن به پاسخ مورد نظر استفاده می‌کند همان‌طور که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. یک سیستم حلقه باز یک سیستم بدون فیدبک است.

سیستم‌های کنترلی

اکنون یک فرآیند کلی برای طراحی یک سیستم کنترل را توصیف می‌کنیم. یک سیستم کنترل متشکل از اجزای متصل شده برای رسیدن به هدف مورد نظر طراحی شده است. برای درک هدف یک سیستم کنترل بهتر است که نمونه‌هایی از سیستم‌های کنترل را در تاریخ بررسی کنید. این سیستم‌های اولیه شامل بسیاری از ایده‌های بازخوردی است که امروزه استفاده می‌شوند.

مهندسی کنترل مدرن شامل به‌کارگیری طراحی سیستم کنترل برای بهبود فرآیند تولید، بهره‌وری استفاده از انرژی و کنترل خودرو پیشرفته (از جمله حمل و نقل سریع) می‌باشد. ما این کاربردهای بسیار جالب مهندسی کنترل را بررسی می‌کنیم و این موضوع قسمتی از مکاترونیک را معرفی می‌کند.

بنابراین یک جزء یا پروسه کنترل می‌تواند توسط یک بلوک نمایش داده شود همان‌طور که در شکل ۱-۱ نمایش داده شده است. رابطه ورودی-خروجی رابطه علت و اثر فرآیند است که پردازش سیگنال ورودی را برای ارائه یک سیگنال خروجی اغلب با تقویت قدرت نشان می‌دهد. یک سیستم کنترل حلقه باز از یک کنترلر یا یک عملگر کنترلی برای رسیدن به پاسخ مورد نظر استفاده می‌کند همان‌طور که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. یک سیستم حلقه باز یک سیستم بدون فیدبک است.

سیستم کنترل حلقه باز از یک عملگر به صورت مستقیم و بدون استفاده از فیدبک برای کنترل پروسه استفاده می‌کند.

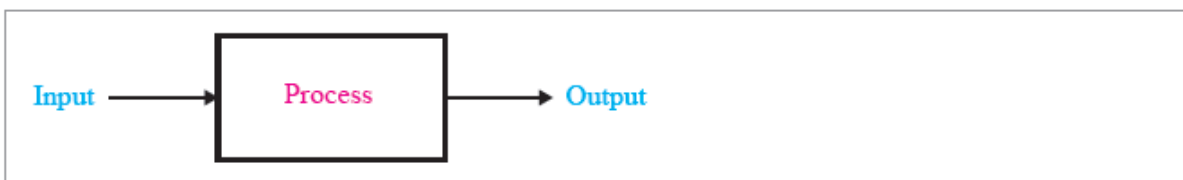


Figure 1.1 Process to be controlled.



Figure 1.2 Open-loop control system (with feedback).

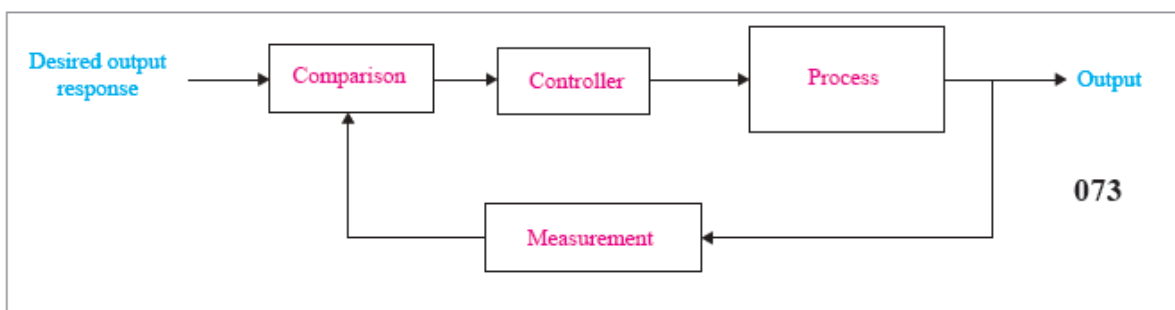
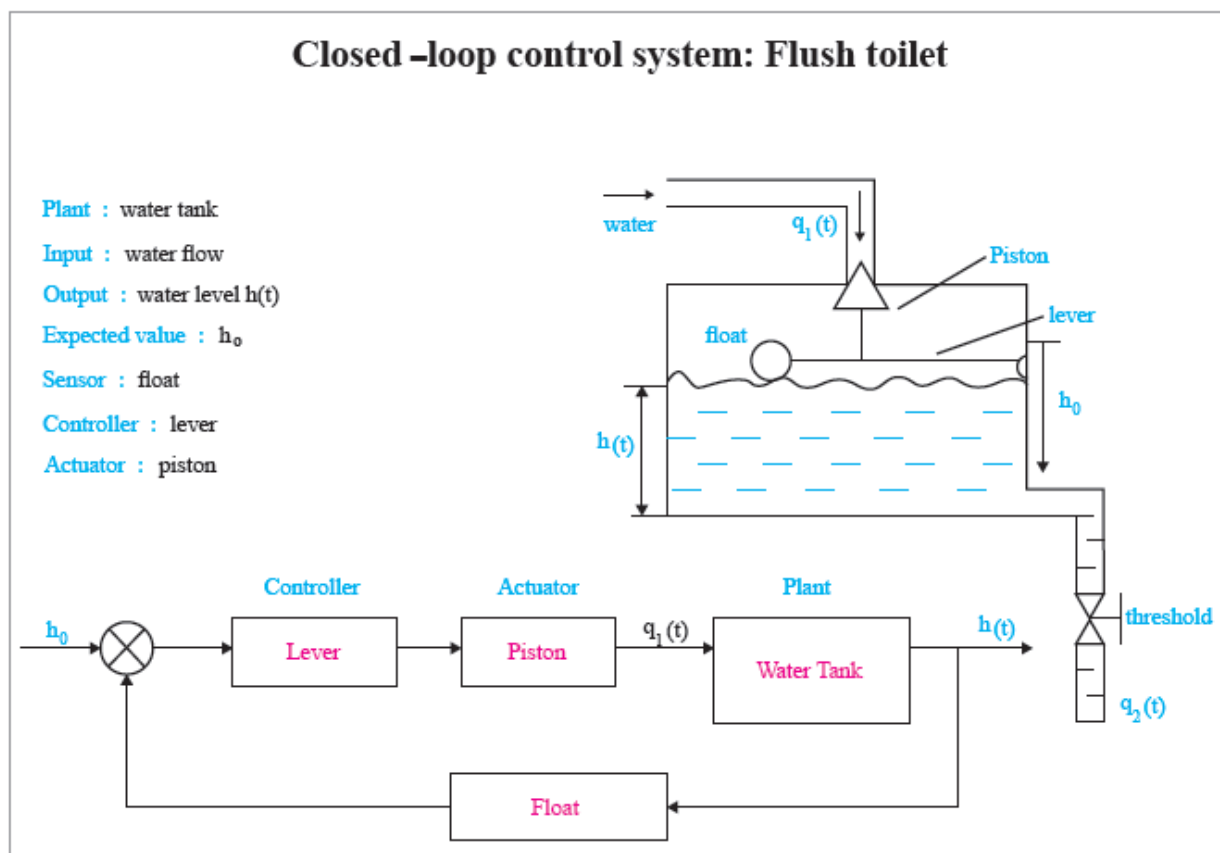


Figure 1.3 Closed-loop feedback control system (with feedback).

در مقابل یک سیستم حلقه باز سیستم کنترل حلقه بسته از یک معیار اضافی از خروجی واقعی برای مقایسه خروجی واقعی و پاسخ مورد نظر استفاده می‌کند. یک سیستم کنترل حلقه بسته ساده در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.

سیستم کنترل حلقه بسته اغلب از یک تابع بین خروجی و ورودی مرجع برای کنترل فرآیند استفاده می‌کند. اغلب اختلاف بین خروجی فرآیند تحت کنترل و ورودی مرجع تقویت می‌شود و برای کنترل فرآیند استفاده می‌شود به طوری که تفاضل مورد نظر به طور مداوم کاهش یابد. مفهوم فیدبک پایه‌ای برای تجزیه و تحلیل و طراحی سیستم است.



تاریخچه کنترل اتوماتیک

اولین کنترل کننده فیدبک اتوماتیک که در فرآیند صنعتی به کار رفت در گاورنر flyball جیمزوات بود که در سال ۱۷۶۹ برای کنترل سرعت موتور بخار ایجاد شد. دستگاه مکانیکی در شکل ۴-۱ نمایش داده شده است. سرعت شفت خروجی را اندازه‌گیری کرده و حرکت توپ‌های معلق را با سرعت برای کنترل شیر و مقدار

بخار ورودی موتور به کار می‌گیرد. با افزایش سرعت وزن توپ افزایش می‌یابد و از محور شفت دور می‌شود بنابراین شیر بسته می‌شود. وزن معلق به توان موتور بستگی دارد بنابراین باعث می‌شود اندازه‌گیری سرعت دقیق نباشد. اولین سیستم کنترل فیدبک که روس‌ها مدعی ساخت آن هستند سیستم تنظیم‌کننده شناور سطح آب است. تنظیم‌کننده سطح آب در شکل ۵-۱ نشان داده شده است. شناور سطح آب را شناسایی می‌کند و دریچه ورودی آب به دیگ را کنترل می‌کند.

FIGURE 1.4

Watt's flyball governor.

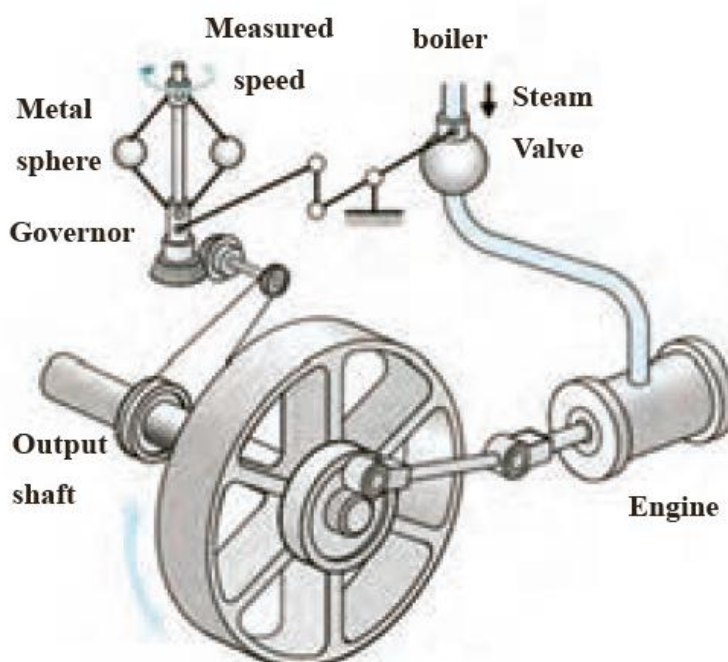
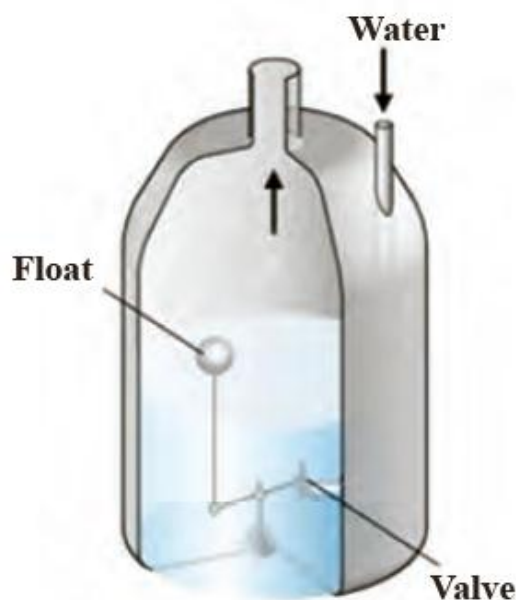


FIGURE 1.5

Water-level float regulator.



مثال هایی از سیستم های کنترل مدرن

۱- سیستم کنترل هدایت اتومبیل:

کنترل فیدبک یک واقعیت بنیادی از صنعت و جامعه مدرن است. رانندگی خودرو یک کار دلپذیر است وقتی که به دستورات راننده سریع و اتوماتیک پاسخ داده شود. بسیاری از خودروها هدایت و ترمز قوی دارند که از تقویت کننده های هیدرولیکی برای تقویت نیروی ترمز یا هدایت چرخ ها استفاده می کنند.

بلوک دیاگرام یک سیستم کنترل ساده هدایت اتومبیل در شکل ۱-۶ آمده است. خطای سیستم با اندازه گیری و مقایسه هدف واقعی و هدف موردنظر سیستم محاسبه می شود.

این اندازه گیری با فیدبک هایی از چشم (بینایی) و جابه جایی بدن به دست می آید. یک فیدبک اضافی هم از هدایت فرمان توسط دست وجود دارد (سنسور). این سیستم فیدبک یک نسخه آشنا از سیستم کنترل فرمان در یک خط دریایی یا کنترل پرواز در یک هواپیمای بزرگ است. سیستم های کنترل در یک دنباله حلقه بسته عمل می کنند همان طور که در شکل ۱-۷ نمایش داده شده است. با استفاده از یک سنسور دقیق خروجی اندازه گیری شده برابر خروجی واقعی سیستم است. اختلاف بین خروجی واقعی و خروجی در نظر گرفته شده مساوی با خطایی می باشد که توسط ادوات کنترلی مانند تقویت کننده تنظیم می شود. خروجی دستگاه کنترل باعث می شود که محرکه فرآیند را تعدیل کند تا خطا را کاهش دهد. به عنوان مثال اگر یک کشتی در حال حرکت نادرست به سمت راست باشد سکان برای هدایت کشتی به سمت چپ فعال می شود. سیستم نشان داده شده در شکل ۱-۷ یک سیستم کنترل فیدبک منفی است زیرا خروجی از ورودی کم می شود و اختلاف به عنوان سیگنال ورودی به تقویت کننده قدرت می دهد. کاربرد بسیار مهم دیگری از تکنولوژی کنترل در کنترل خودروی مدرن است. سیستم های کنترل برای تعلیق فرمان و کنترل موتور استفاده شده اند. بسیاری از اتومبیل های جدید دارای سیستم هدایت چهار چرخ و سیستم کنترل ضد لغزش می باشند.

FIGURE 1.6

(a) Automobile steering control system. (b) The driver uses the difference between the actual and the desired direction of travel to generate a controlled adjustment of the steering wheel.

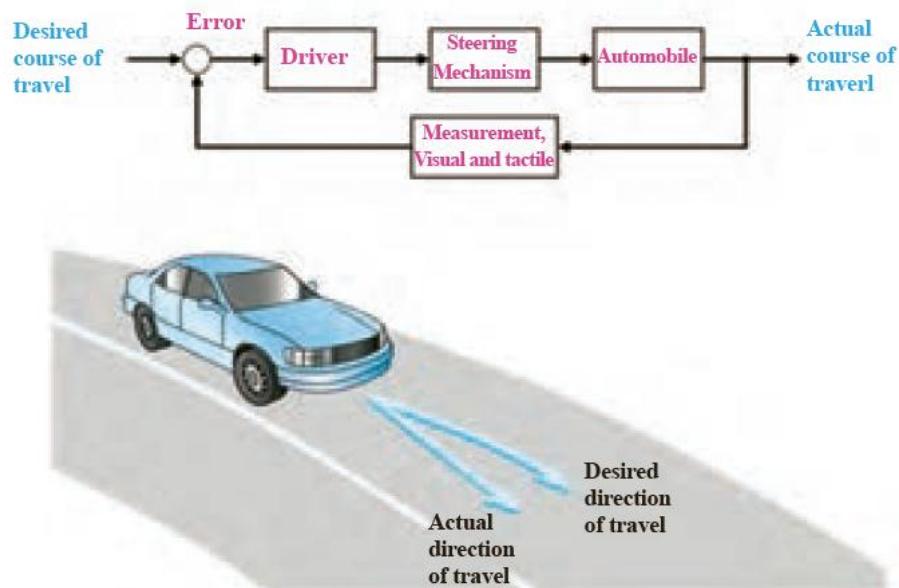
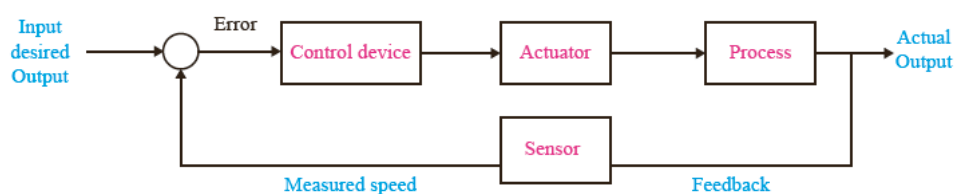


FIGURE 1.7

A negative feedback system block diagram depicting a basic closed-loop control system. The control device is often called a “controller.”



۳- سیستم کنترل ۳ محوره:

یک سیستم کنترل ۳ محوره برای بازبینی (بررسی) کیت‌های نیمه‌هادی در شکل ۱-۸ نشان داده شده است. این سیستم یک موتور خاص برای حرکت هر محور برای رسیدن به موقعیت مورد نظر در محور X-Y-Z به کار می‌گیرد. هدف این است که حرکت صحیح و دقیق در هر محور را انجام دهیم. این سیستم کنترل یک صنعت مهم برای صنعت نیمه‌هادی‌ها است.

۴- دست رباتیک ماهر dexterous

سیستم کنترل کاربردهای زیادی در آزمایش‌های پزشکی، تشخیصی پروتزها و سیستم‌های بیولوژیکی دارد. سیستم‌های کنترلی از سطح سلولی تا سیستم‌های عصبی

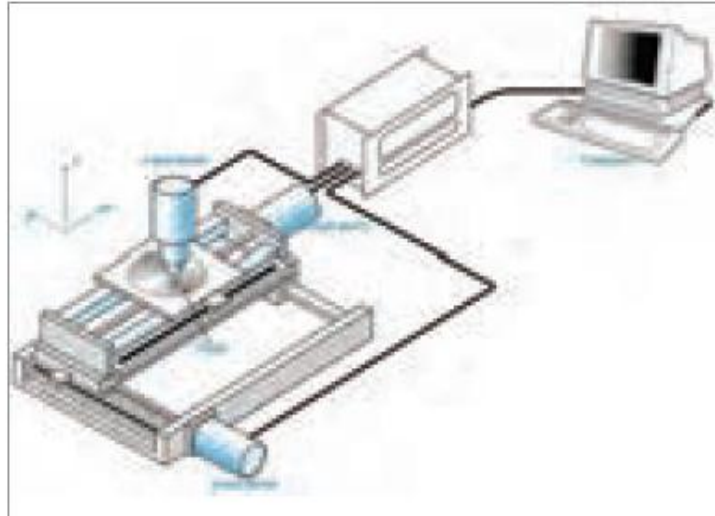


FIGURE 1.8

A three-axis control system For inspecting individual semiconductor wafers with a highly sensitive camera.

مرکزی در نظر گرفته می‌شوند و شامل تنظیم دما و کنترل قلب و عروق و تنفس می‌باشند. اکثر سیستم‌های کنترل فیزیولوژیکی سیستم‌های حلقه بسته هستند. دست مصنوعی که از سیگنال‌های فیدبک نیرو استفاده می‌کند و توسط سیگنال‌های بیوالکتریک کنترل می‌شود که سیگنال الکترومیوگراف نامیده می‌شود در شکل ۱-۹ نشان داده شده است.

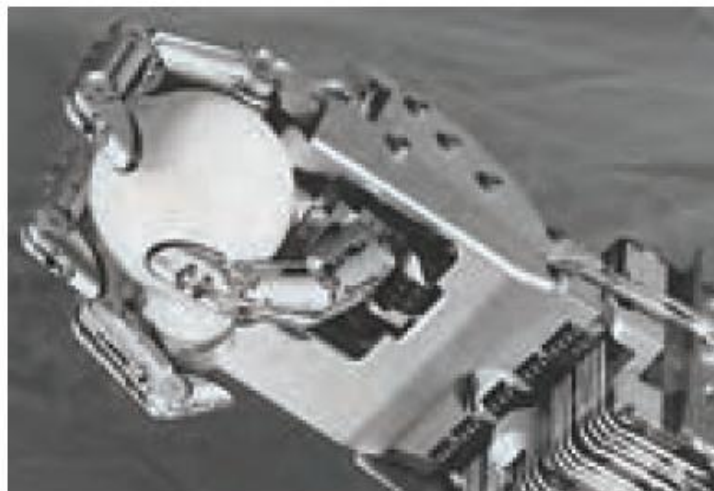
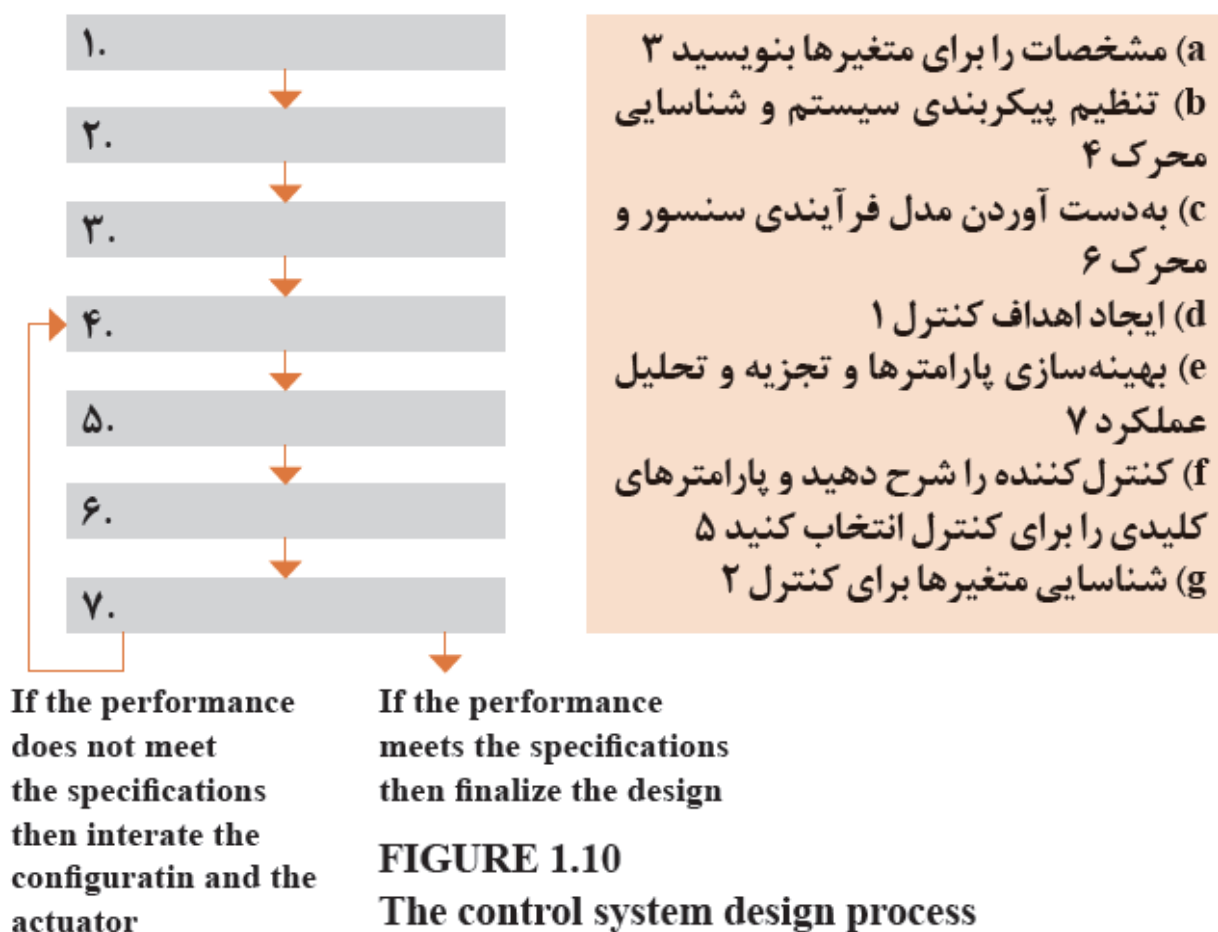


FIGURE 1.9

The Utah/MIT Dextrous Robotic Hand: A dextrous robotic hand having 18 degrees of freedom

طراحی سیستم کنترلی

برای خلاصه کردن فرآیند طراحی سیستم کنترل در شکل ۱-۱۰ نمودار سمت چپ را با عبارات درست از جدول سمت راست کامل کنید.



مثال طراحی

کنترل سرعت لوح دوار:

بسیاری از دستگاه‌های مدرن از یک لوح دوار برای چرخاندن یک دیسک با سرعت ثابت استفاده می‌کنند. به عنوان مثال یک دستگاه پخش cd یک دیسک درایو کامپیوتر و یک پخش کننده ضبط صوت به رغم تنوع این دستگاه‌ها همگی نیاز به سرعت ثابت چرخش دارند. هدف ما طراحی یک سیستم کنترل سرعت برای ایجاد

چرخش دیسک است که اطمینان حاصل خواهد کرد که سرعت واقعی چرخش یک درصد مشخص از سرعت مورد نظر است. ما یک سیستم بدون فیدبک و یک سیستم با فیدبک را در نظر خواهیم گرفت.

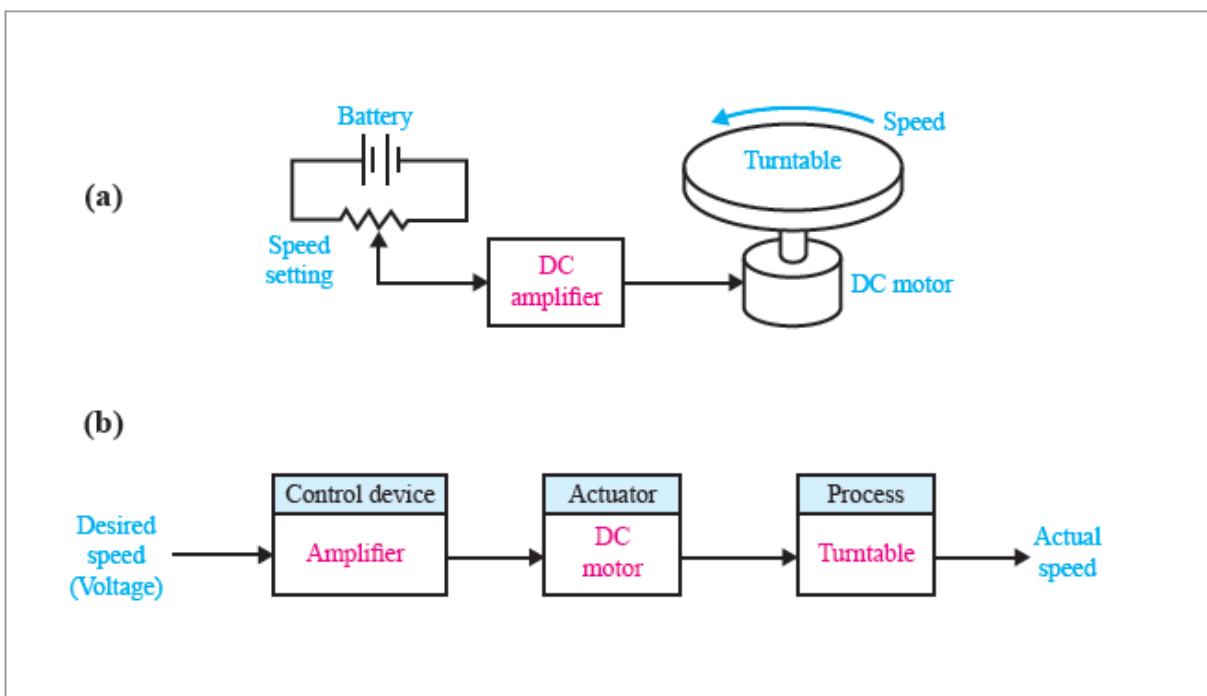


FIGURE 1.11

(a) Open-loop (without feedback) control of the speed of a turntable.

(b) Block diagram model

یک موتور dc را به عنوان محرک انتخاب می کنیم زیرا این موتور سرعت را متناسب با ولتاژ موتور اعمال می کند. برای ولتاژ ورودی به موتور ما تقویت کننده ای را انتخاب می کنیم که می تواند توان مورد نیاز را فراهم کند. سیستم حلقه باز (بدون فیدبک) در شکل (a) ۱۱-۱ نشان داده شده است این سیستم با استفاده از منبع باتری ولتاژ متناسب با سرعت را ایجاد می کند. این ولتاژ تقویت شده و به موتور اعمال می شود. بلوک دیاگرام حلقه باز مشخصات دستگاه کنترل، محرک و فرآیند در شکل (b) ۱۱-۱ نشان داده شده است.

برای به دست آوردن یک سیستم بازخورد با شکل کلی ۷-۱ ما باید یک سنسور انتخاب کنیم. یک سنسور مفید برای این کار تاکومتر است که متناسب با سرعت

خروجی شفت یک ولتاژ در خروجی اش می دهد. به این ترتیب سیستم فیدبک حلقه بسته شکل می گیرد که در شکل (a) ۱۲-۱ نشان داده شده است. ولتاژ خطا از تفاضل بین ولتاژ ورودی و ولتاژ تاکومتر به دست می آید. ما انتظار داریم که سیستم فیدبک شکل ۱۲-۱ یا (کارا تر) از سیستم حلقه باز شکل ۱-۱۱ باشد زیرا سیستم فیدبک به خطاها پاسخ می دهد و برای کاهش خطا کار می کند. با اجزای دقیق می توان انتظار داشت که خطای سیستم فیدبک نسبت به سیستم حلقه باز به یک درصد برسد.

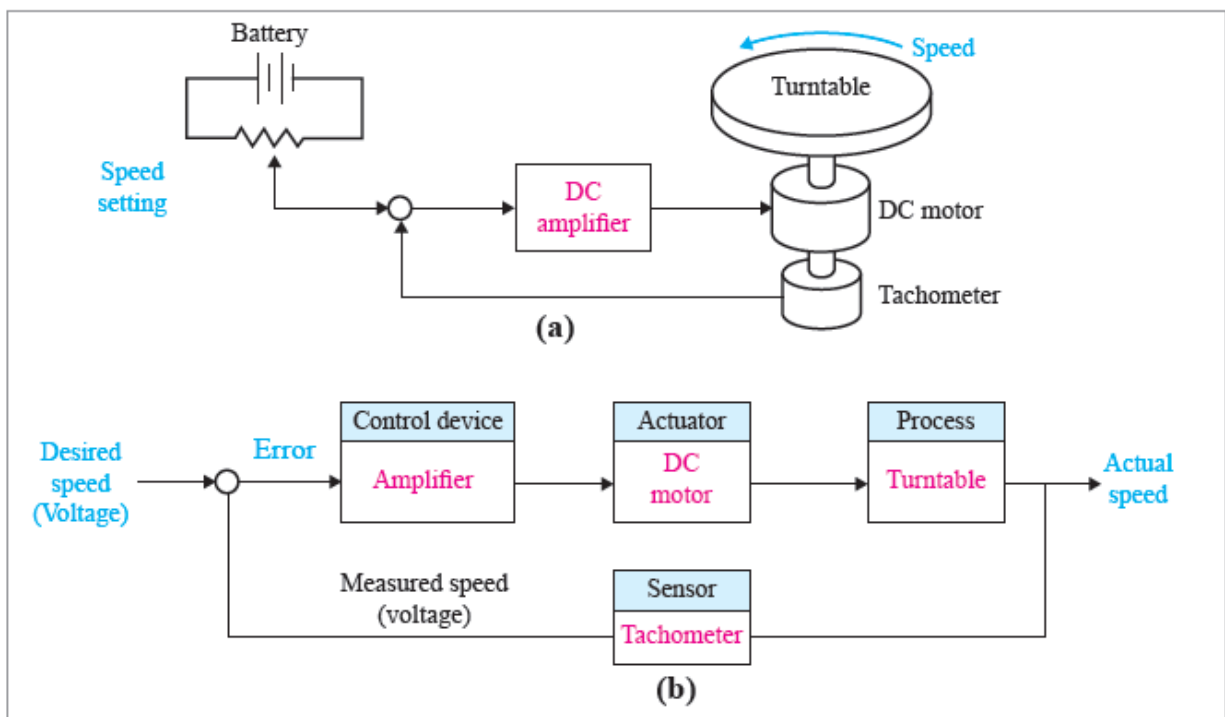


FIGURE 1.12

(a) Closed-loop control of the speed of a turntable.

(b) Block diagram model.

:Turntable

یک سطح گرد صاف که توسط موتور به دور خود می چرخد.

تاکومتر:

ابزاری است که سرعت کار موتور (به ویژه در یک وسیله نقلیه جاده ای) را اندازه گیری می کند، معمولاً برحسب سرعت در دقیقه.

مثال طراحی

سیستم کنترل تزریق انسولین:

ما یک نقشه برای ایجاد سیستم کنترل طراحی می‌کنیم که در آن مراحل ۱ تا ۴ را دنبال می‌کنیم. برای این مثال خواهیم داشت:

۱ ایجاد هدف کنترل

۲ متغیرها را برای کنترل شناسایی کنید.

۳ مشخصات قبل را بنویسید.

۴ یک یا چند پیکربندی سیستم ایجاد کنید.

سیستم‌های خودکار در زمینه زیست‌پزشکی برای ایجاد سیستم‌های تحویل اتوماتیک دارو به بیماران استفاده شده است. سیستم‌های خودکار می‌تواند برای تنظیم فشار خون سطح قند خون و ضربان قلب استفاده شوند. یک کاربرد رایج از مهندسی کنترل در زمینه تحویل دارویی سیستم حلقه باز است که در آن مدل‌های ریاضی در رابطه اثر-دوز داروها مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک سیستم تحویل دارویی که در بدن اعمال شده است از یک سیستم حلقه باز استفاده می‌کند از آنجا که هنوز سنسورهای گلوکز مینیاتوری در دسترس نیستند. بهترین راه حل پمپ انسولین قابل برنامه‌ریزی جیبی است که می‌تواند انسولین را براساس یک تاریخ از پیش تعیین شده ارائه دهد. سیستم‌های پیچیده‌تر از میزان قند خون اندازه‌گیری شده برای کنترل آن در یک فرآیند حلقه بسته استفاده می‌کنند.

هدف ما (مرحله ۱) طراحی یک سیستم تنظیم غلظت قند خون برای یک بیمار دیابتی است. میزان غلظت گلوکز و انسولین برای فرد سالم در شکل ۱-۱۳ نشان داده شده است. این سیستم باید انسولین را از یک مخزن که با فرد دیابتی می‌باشد فراهم کند. بنابراین متغیری که می‌خواهیم کنترل کنیم (مرحله ۲) غلظت گلوکز خون است. مشخصات سیستم کنترل (مرحله ۳) این است که سطح گلوکز خون یک فرد دیابتی را به سطح گلوکز خون یک شخص سالم نزدیک کند (شکل ۱-۱۳) در گام چهارم ما پیکربندی یک سیستم اولیه را پیشنهاد می‌کنیم. یک

سیستم حلقه باز از یک سیگنال ژنراتور پیش برنامه‌ریزی شده و یک پمپ موتوری مینیاتوری برای تنظیم میزان تحویل انسولین استفاده می‌کند همان‌طور که در شکل (a) ۱-۱۴ نشان داده شده است. سیستم کنترل فیدبک از یک سنسور برای اندازه‌گیری سطح واقعی گلوکز استفاده می‌کند و این سطح را با سطح مورد نظر مقایسه می‌کند بنابراین پمپ مورد نظر را هنگامی که لازم است تنظیم می‌کند همان‌طور که در شکل (b) ۱-۱۴ نشان داده شده است.

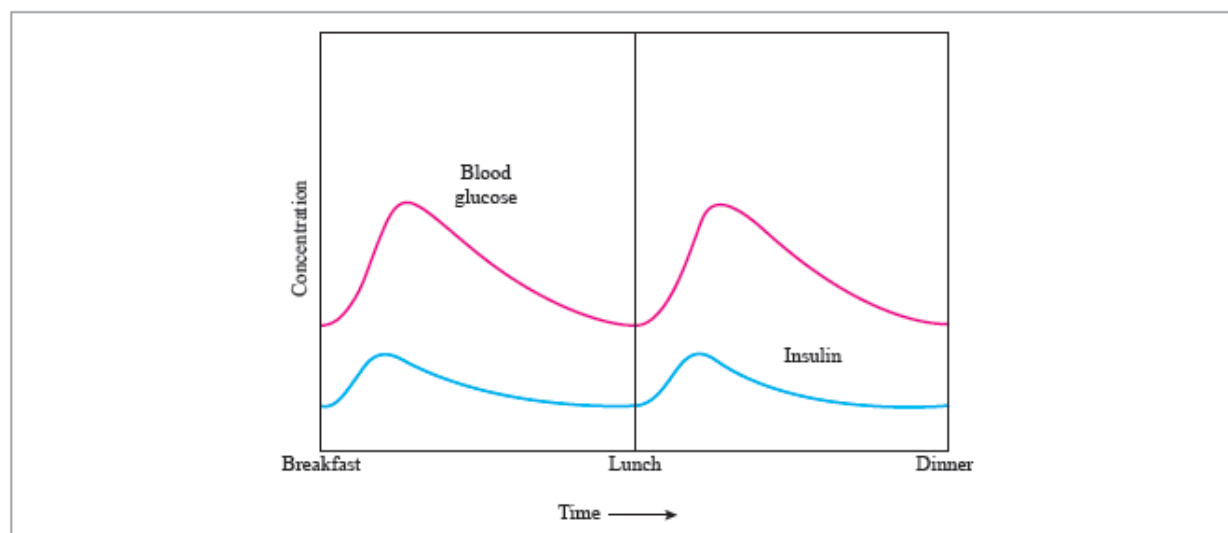


FIGURE 1.13
The blood glucose and insulin levels

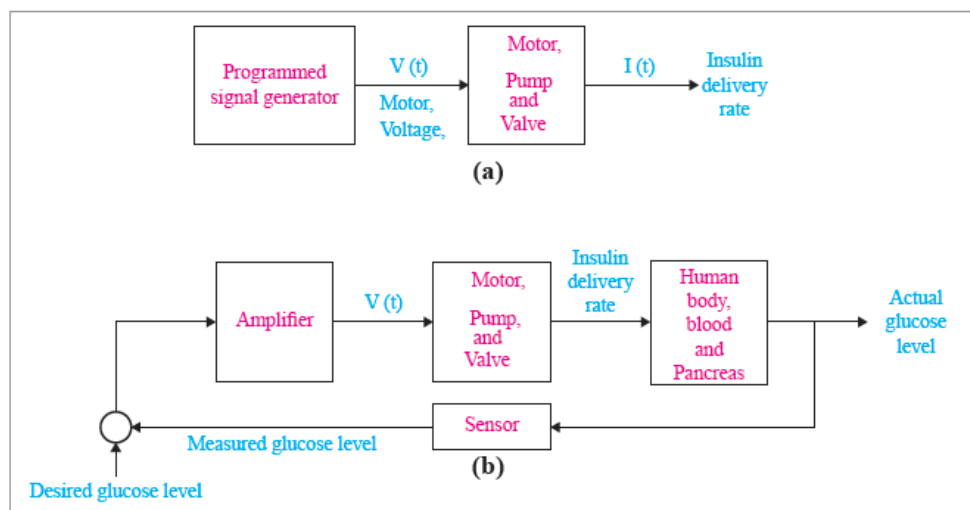
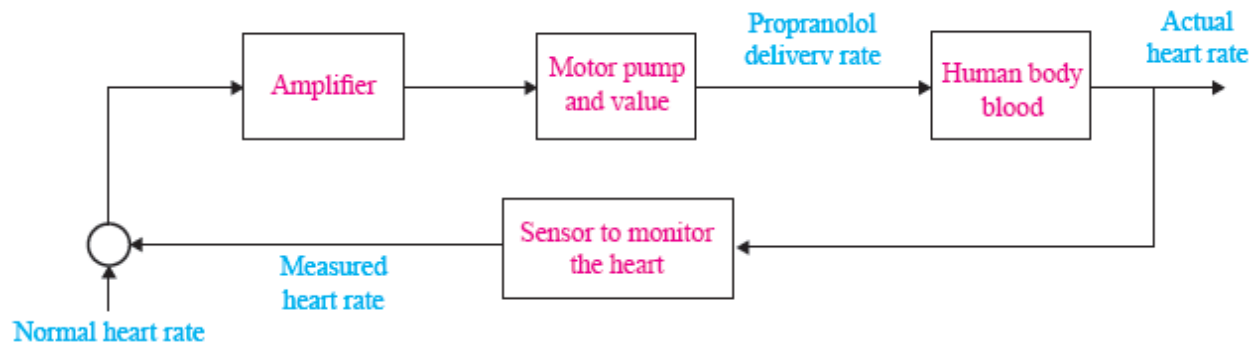
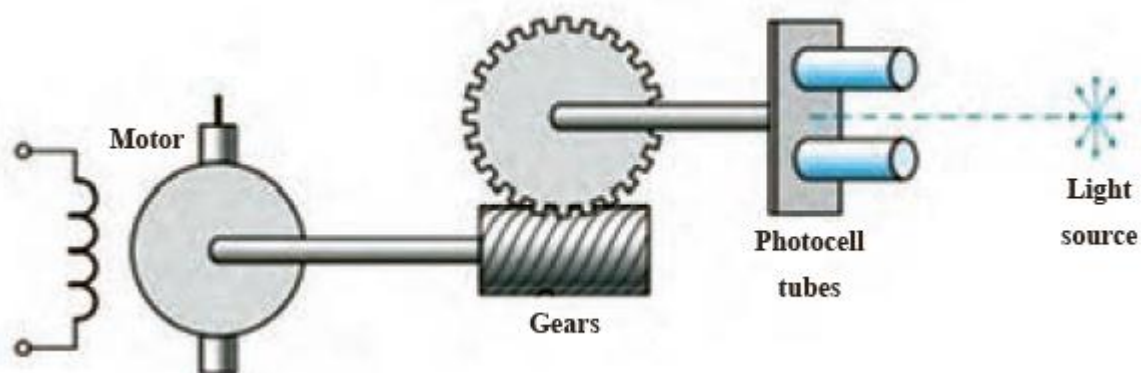
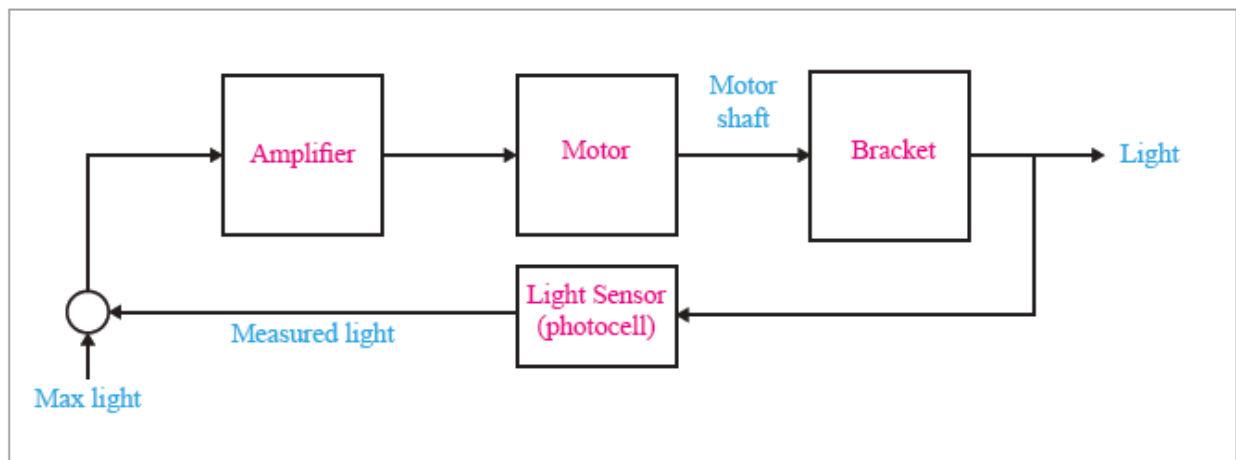


FIGURE 1.14
(a) Open-loop (without feedback) control and (b) closed-loop control of blood glucose.

بلوک دیاگرام یک سیستم کنترل حلقه بسته برای تنظیم عملکرد قلب

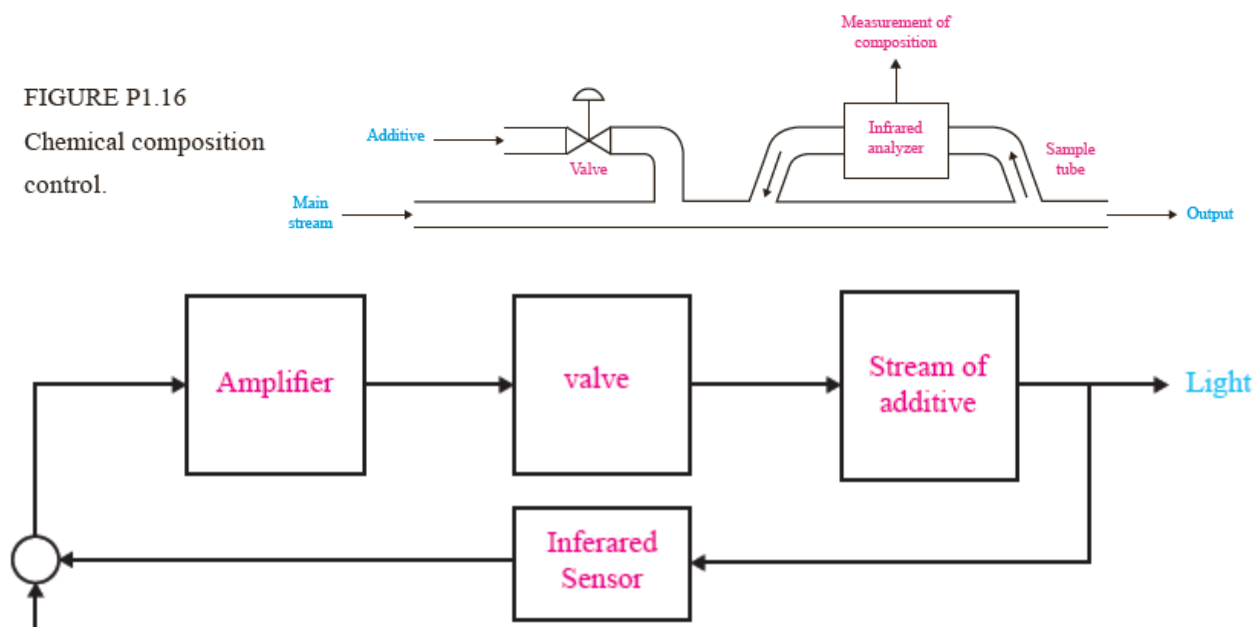


یک سیستم کنترل نور که برای ردیابی خورشید استفاده می‌شود در شکل ۱-۱۵ نشان داده شده است. شفت خروجی موتور از طریق یک گیربکس کاهنده به یک براکت وصل است. که بر روی آن دو سنسور فتوسل نصب می‌شود سیستم حلقه بسته را کامل کنید به طوری که دنبال کننده منبع نور باشد.



در یک سیستم کنترل فرآیند شیمیایی کنترل ترکیب شیمیایی محصول بسیار ارزشمند است اندازه گیری ترکیب را می توان با استفاده از یک تجزیه کننده جریان مادون قرمز به دست آورد. همان طور که در شکل ۱۶-۱ نمایش داده شده است. سوپاپ در جریان افزودن ممکن است کنترل شود. حلقه فیدبک را تکمیل کنید و یک بلوک دیاگرام را که عملیات حلقه کنترل می باشد را شرح دهید.

FIGURE P1.16
Chemical composition
control.



مدلسازی المانها

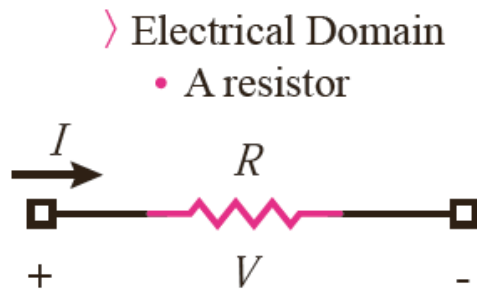
مقایسه بین سیستم های الکتریکی و مکانیکی:

سیستم الکتریکی:	سیستم مکانیکی:
مقاومت	دمپر (میراکننده)
خازن	فنر
سلف	جرم

با دقت به جدول زیر نگاه کنید.

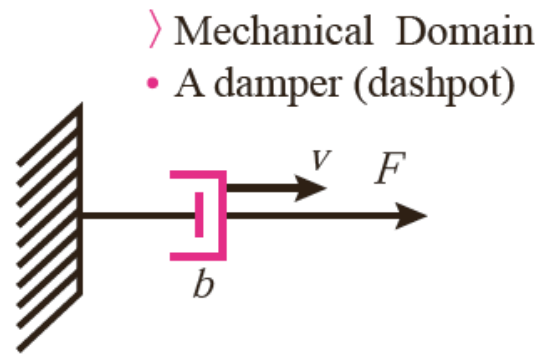
سعی کنید مفاهیم اصلی را درک کنید.

روابط کار - جریان در بسیاری از انرژی های مختلف اتفاق می افتد.



$$V=RI$$

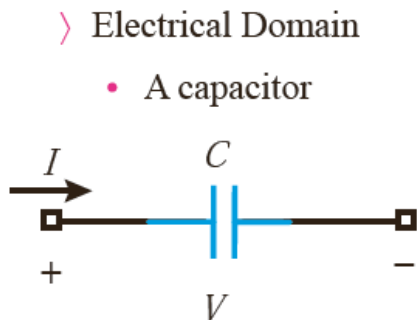
$$\text{Electrical Power}=VI$$



$$F=bv$$

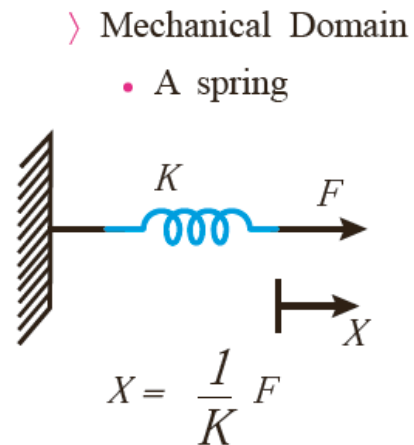
$$\text{Mechanical Power}=Fv$$

$$R=b$$



$$Q = CV$$

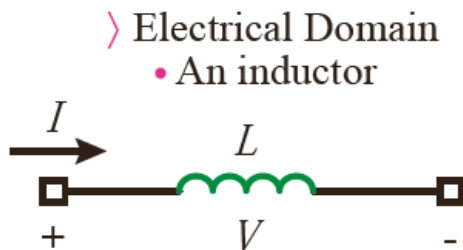
$$\text{Electrical Power}=VI$$



$$X = \frac{1}{K} F$$

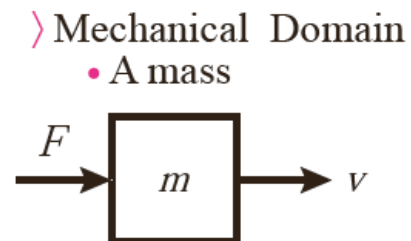
$$\text{Mechanical Power}=Fv$$

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



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

$$\text{Electrical Power}=VI$$



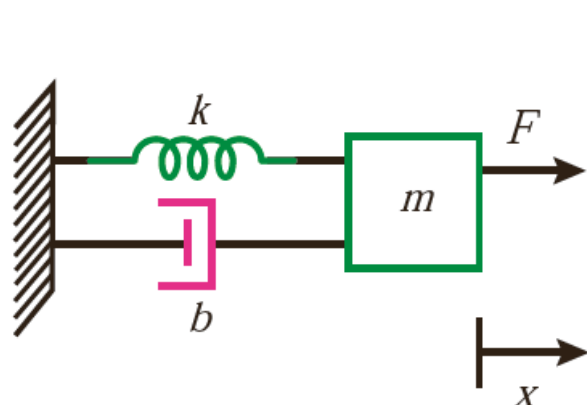
$$F = ma$$

$$\text{Mechanical Power}=Fv$$

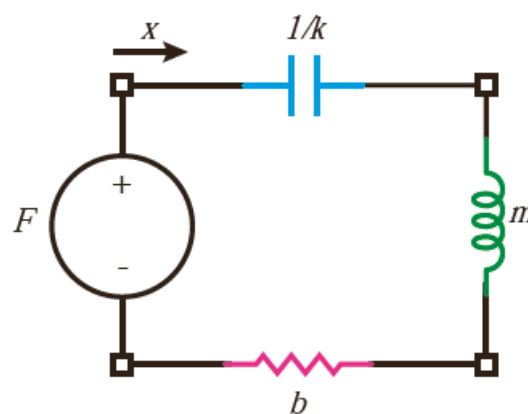
$$L = m$$

عمومی	General	Electrical	Mechanical	Fluidic	Thermal
کار	Effort (e)	Voltage, V	Force, F	Pressure, P	Temp. diff., ΔT
جریان	Flow (f)	Current, I	Velocity, v	Vol. flow rate, Q	Heat flow
جابه جایی	Displacement (q)	Charge, Q	Displacement, x	Volume, V	Heat, Q
تکانه (مقدار حرکت)	Momentum (p)	.	Momentum, p	Pressure Momentum, Γ	
مقاومت	Resistance	Resistor, R	Damper, b	Fluidic resistance, R	Thermal resistance, R
ظرفیت	Capacitance	Capacitor, C	Spring, k	Fluid capacitance, C	Heat capacity, mcp
القا	Intrance	Inductor, L	Mass, m	Intrance, M	
قانون گره	Node law	KCL	continuity of space	Mass Coservation	Heat energy Coservation
قانون حلقه	Mesh law	KVL	Newton's 2 nd law	Pressure is relative	Temperature is relative

عناصری که جریان و جابه جایی را به اشتراک می گذارند در یک مدار الکتریکی سری قرار می گیرند. عناصری که کار مشترک را به اشتراک می گذارند، به صورت موازی در یک مدار الکتریکی قرار می گیرند.



Spring-mass - dashpot system



Equivalent circuit

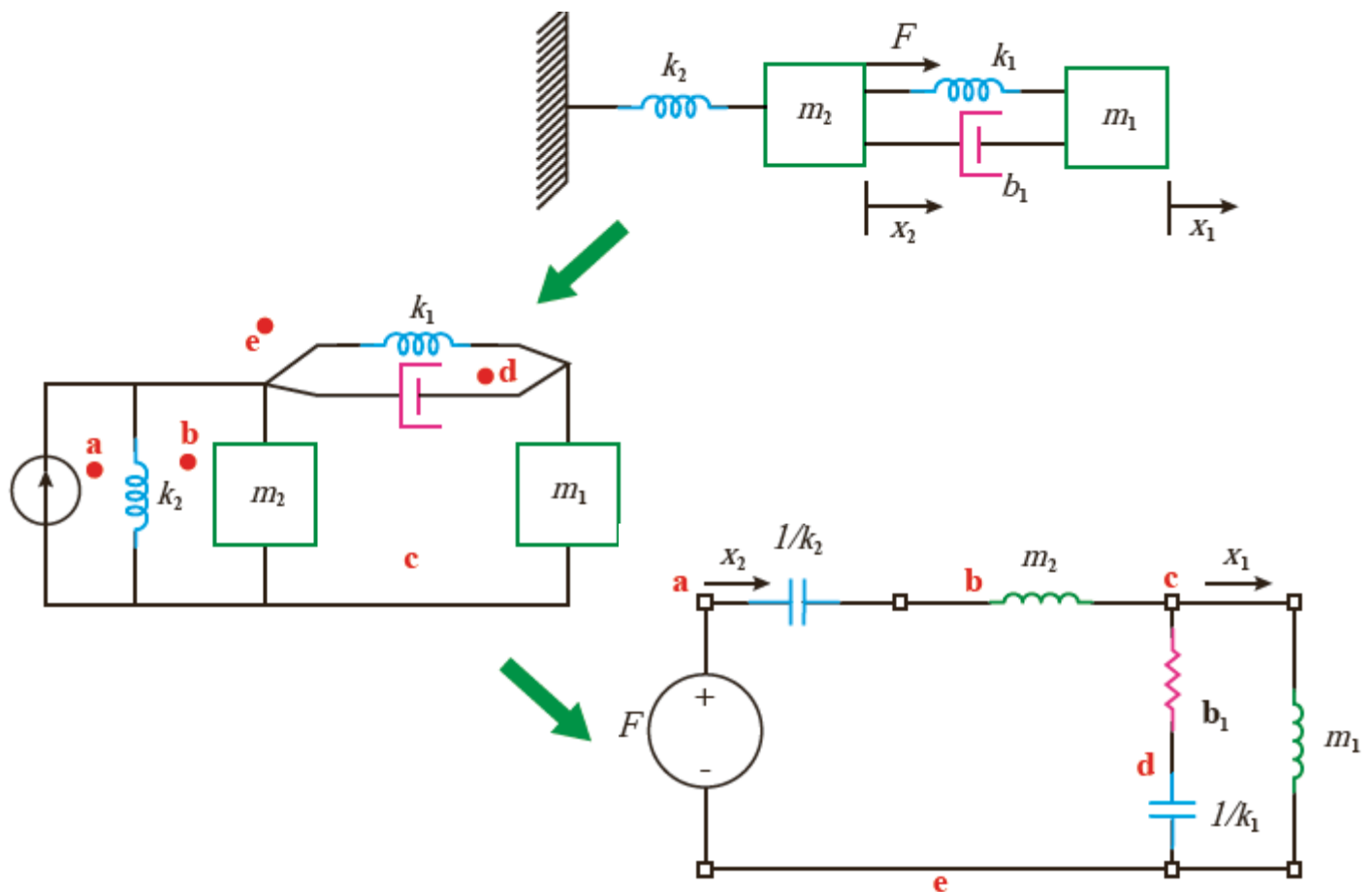
ایجاد مدار معادل:

از طریق مدار دوگانه انجام دادن آن آسان تر است:
ابتدا تبدیل f به v و سپس e به v را انجام دهید.
نیرو منبع جریان است.

هر متغیر جابه جایی یک گره است.

جرم ها بین گره ها و زمین وصل می شوند.

بقیه المان ها هم همان طور که در دیاگرام نشان داده شده وصل می شوند.



فصل دوم

تحلیل مدارهای الکتریکی

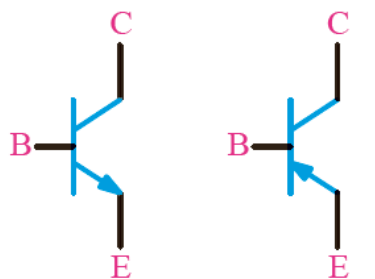
سوالاتی که در این بخش با آنها مواجه می شویم:

- پرکاربردترین قطعه الکترونیکی چیست؟
- چگونه باید ترانزیستور را تغذیه کنیم؟
- انواع ترانزیستورها و کاربرد آنها را می شناسید؟
- انواع تقویت کننده های ترانزیستوری به چه منظور استفاده می شوند؟
- چگونه ترانزیستور عمل تقویت را انجام می دهد؟
- مشخصات و ویژگی های تقویت کننده های مختلف چیست؟
- مدار مجتمع (آی سی) چیست؟
- تقویت کننده عملیاتی (op_Amp) چیست و کاربرد آن چگونه است؟

اهداف این فصل عبارت است از :

- ۱ بررسی نواحی کار ترانزیستورها
- ۲ ولتاژها و جریان های پایه های ترانزیستور را در مدار بایاس محاسبه کند.
- ۳ مقایسه سه نوع آرایش تقویت کننده ترانزیستوری
- ۴ بررسی تقویت کننده های خاص (تفاضلی، دارلینگتون و کامپلی منتاری)
- ۵ ساخت یک تقویت کننده صوتی عملی
- ۶ نماد و شکل ظاهری تقویت کننده عملیاتی
- ۷ بررسی و تحلیل مدارهای تقویت کننده عملیاتی و کاربرد آن
- ۸ ساختمان ترانزیستور اثر میدان (FET)، نماد و انواع آنها
- ۹ کاربرد ترانزیستور اثر میدان به عنوان سوئیچ

در این بخش امان سه ترمینالی با نام ترانزیستور دو قطبی (Bipolar Junction Transistor) و یا BJT را بررسی می‌کنیم. BJT در سال ۱۹۴۸ اختراع شده و با معرفی دستگاه‌هایی که با ترانزیستور نیمه هادی کار می‌کردند انقلابی در دنیا پدید آورد. ترانزیستور BJT برای سال‌های متمادی انتخاب اول برای انواع دستگاه‌های دیجیتال و آنالوگ بود اما در دهه اخیر به سرعت با MOSFET جایگزین گشته است. BJT امروزه در مدارات آنالوگ کاربرد زیادی دارد. ترانزیستور نام کوتاه شده Transfer Resistor می‌باشد. از آنجا که ترانزیستورها شامل سه پایه هستند، برای استفاده از آنها باید مدار شامل دو پایه ورودی و خروجی باشد و یکی از پایه‌ها باید به صورت مشترک در مدار قرار گیرد! ترانزیستورها به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند.

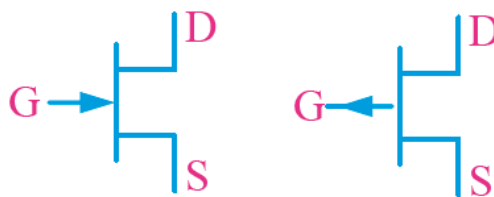


NPN

PNP

ترانزیستورهای دو قطبی

Bipolar junction transistors (BJT)



N کانال

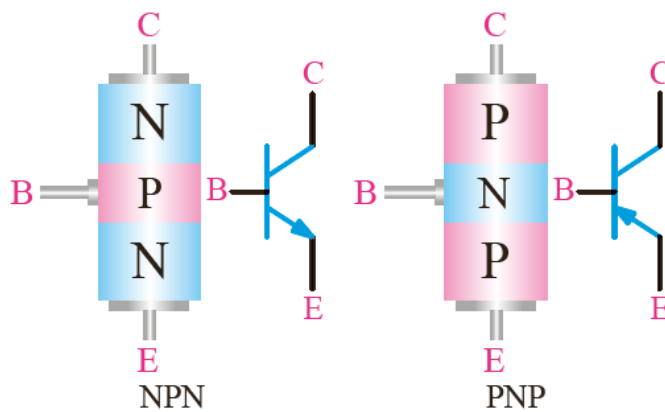
P کانال

ترانزیستورهای اثر میدان (FET) Field effect transistors

طراحی برای فرکانس‌های زیر ۱۰۰ کیلو هرتز فرکانس‌های صوتی و مدارهای خطی	فرکانس پایین Low-frequency
برای فرکانس‌های بالای ۱۰۰ کیلو هرتز فرکانس‌های رادیویی، پهنای باند بالا	فرکانس بالا High-frequency
این ترانزیستورها توان بالایی دارند و در مدارات رادیویی و صوتی کاربرد دارند.	قدرت power
در مدارات سویچینگ و کلیدزنی مانند منابع تغذیه سویچینگ و upsها	سویچینگ switching
مدارهایی که در اصلی برای تقویت سیگنال‌هایی با دامنه بسیار کم طراحی می‌شوند و عموماً قابلیت تحمل نویز بسیار بالایی دارند. مانند مدارات مخابراتی	نویز پایین Low-noise
ترانزیستورهایی که برای ولتاژهای کاری بالا طراحی شده‌اند.	ولتاژ بالا High-voltage

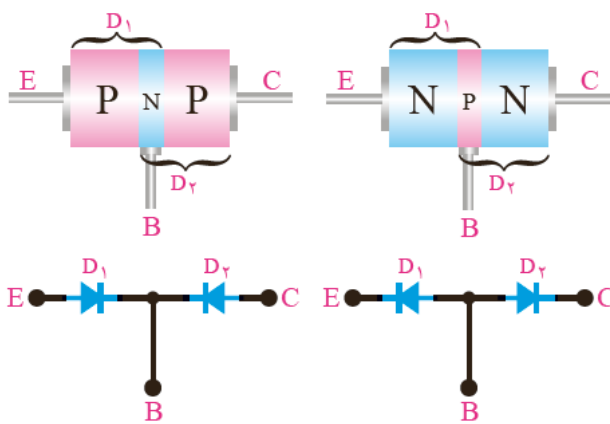
ترانزیستورهای دو قطبی Bipolar junction transistor(BJT)

همان‌طور که در فصل اول دانش فنی پایه گفته شد ترانزیستور دو قطبی از سه نیمه هادی نوع P و N تشکیل شده است. ترتیب قرار گرفتن نیمه هادی‌های P و N در کنار هم به صورت یکی از حالت‌های زیر است. با توجه به شکل



ساختمان داخلی و نماد فنی ترانزیستور

زیر مشاهده می‌شود دو نوع ترانزیستور وجود دارد که به یکی NPN و دیگری PNP گفته می‌شود. سه پایه ترانزیستور نیز امیتر (Emitter) یعنی منتشرکننده، بیس (Base) یعنی پایه و کلکتور (Collector) یعنی جمع‌کننده نامگذاری شده است.

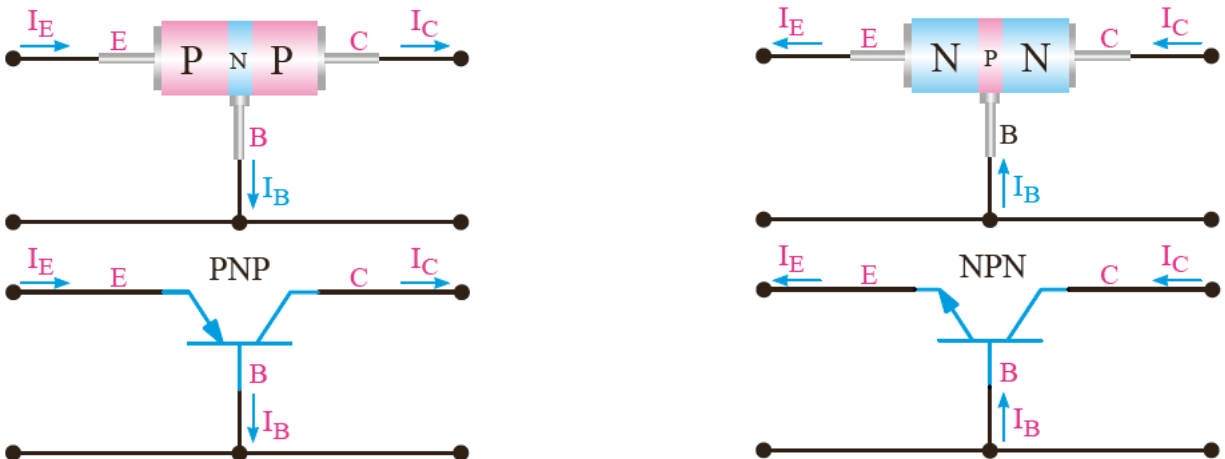


نمای دیودی ترانزیستور

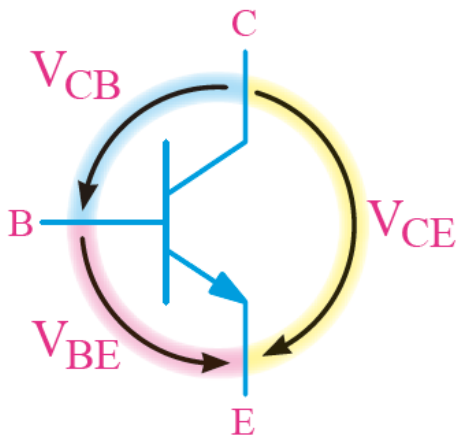
مدار معادل دیودی ترانزیستور: هر اتصال N-P معادل یک دیود بوده، از این رو می‌توان یک ترانزیستور را معادل ۲ دیود نشان داد.

جهت جریان‌ها در ترانزیستور: جریانی که از کلکتور عبور می‌کند با حرف I_C جریانی که از بیس عبور می‌کند با حرف I_B و جریانی که از امیتر عبور می‌کند با حرف I_E نشان داده می‌شود. جریانی که از امیتر عبور می‌کند، به دو انشعاب تقسیم می‌شود. قسمت بسیار کمی از جریان از بیس و قسمت اعظم آن از کلکتور عبور می‌کند. لذا جریان امیتر برابر است با جریان بیس به علاوه جریان کلکتور، یعنی:

$$I_E = I_B + I_C$$



جهت قرار دادی جریان در ترانزیستورهای BJT



V_{BE} یعنی ولتاژ بیس نسبت به امیتر

جهت قراردادی ولتاژ در ترانزیستورهای BJT

ولتاژهای ترانزیستور: برای اینکه بتوان از ترانزیستور به عنوان تقویت کننده سیگنال های الکتریکی یا... استفاده نمود، باید ترانزیستور را با ولتاژ dc تغذیه کرد. در هر حالت، ولتاژهایی که به قسمت های مختلف ترانزیستور اعمال می شوند، باهم فرق می کنند در این قسمت به نامگذاری ولتاژ قسمت های مختلف می پردازیم. ولتاژی که بین پایه های بیس و امیتر قرار می گیرد با V_{BE} ، ولتاژی که در قسمت کلکتور - بیس قرار می گیرد با V_{CB} ، ولتاژی که بین کلکتور - امیتر وصل می شود با V_{CE} نشان داده می شوند. شکل روبه رو ولتاژهای قسمت های مختلف ترانزیستور را نشان می دهد.

بایاس ترانزیستور: برای استفاده از یک ترانزیستور به عنوان تقویت کننده ابتدا باید آن را بایاس نمود. برای این کار در ترانزیستور باید دیود بیس-امیتر در بایاس موافق و دیود کلکتور - بیس در بایاس مخالف قرار گیرد. به طور کلی بایاس کردن به معنای تغذیه نمودن و اعمال ولتاژ dc به صورت صحیح به ترانزیستور می باشد. از این رو جهت تأمین ولتاژهای لازم برای ترانزیستور باید از مدارات بایاس استفاده کرد.

نقطه کار: به مقادیر dc کمیت های $I_C - I_B - V_{CE} - V_{BE}$ در شرایطی که هیچ منبع سیگنال AC به ورودی آن متصل نباشد، نقطه کار DC ترانزیستور گویند. نقطه کار را با حرف Q نشان می دهند. Q حرف اول کلمه Quicent point به مفهوم نقطه کار است.

انتخاب نقطه کار: برای انتخاب نقطه کار، ابتدا باید محدودیت‌های ترانزیستور را در نظر گرفت. از جمله محدودیت‌ها، تحمل توان تلف شده در ترانزیستور، حداکثر جریان کلکتور و حداکثر ولتاژ بین کلکتور و امیتر است.

انواع مدارات بایاس

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

۱ **حداکثر ولتاژ کلکتور - امیتر:** این پارامتر، حداکثر ولتاژ مجاز بین پایه‌های کلکتور و امیتر را مشخص می‌کند و آن را با V_{CEmax} نمایش می‌دهند.

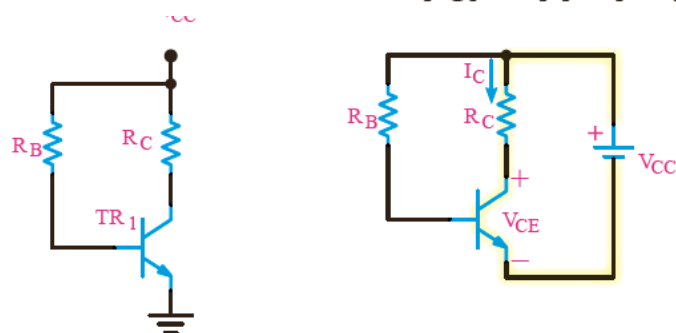
۲ **حداکثر جریان کلکتور:** حداکثر جریانی است که ترانزیستور می‌تواند در دمای مشخص شده از طرف کارخانه سازنده، تحمل کند و آن را با I_{max} نمایش می‌دهند.

۳ **حداکثر توان:** حداکثر توانی است که می‌تواند در یک ترانزیستور به صورت حرارت تلف شود و آن را با P_{Cmax} نمایش می‌دهند.

۴ **حداکثر درجه حرارت محل پیوند:** حداکثر درجه حرارتی است که در محل اتصال کلکتور بیس، ترانزیستور می‌تواند تحمل کند و آن را با T_j نمایش می‌دهند.

اصولاً مدارات بایاس شکل مشخص و ثابتی ندارند بنابراین هر مداری که بتواند ولتاژ تغذیه دیود بیس - امیتر را فراهم کند را مدار بایاس گویند. ولی استفاده از مدارات زیر متداول تر است.

بایاس ثابت

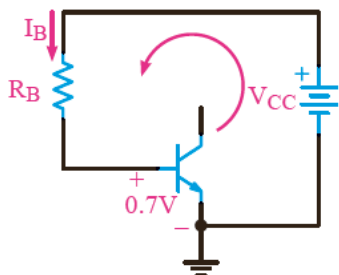


مدار بایاس ثابت

در این مدار دیود بیس - امیتر مستقیماً توسط یک منبع dc تغذیه می‌شود و پیوند بیس - امیتر مستقیماً از طریق مقاومت R_B به منبع V_{cc} متصل است. در برخی نقشه‌های مدار جهت سهولت از رسم منبع V_{cc} خودداری می‌کنند.

تحلیل محاسباتی:

گام اول: با نوشتن قانون kvl در حلقه ورودی شکل ۱-۸ می‌توانیم R_B یا I_B را محاسبه کنیم.



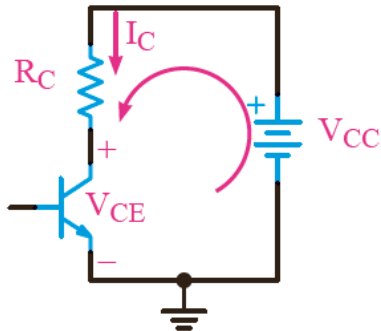
حلقه ورودی مدار بایاس ثابت

$$-V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} \quad \text{یا} \quad I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

گام دوم: با فرض اینکه مدار بایاس در ناحیه فعال قرار دارد بنابراین از طریق رابطه زیر می‌توانیم مقدار I_C را حساب کنیم.

$$I_C = \beta I_B$$



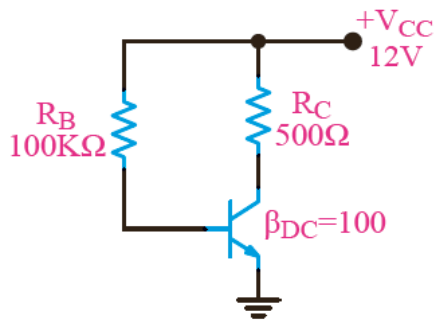
حلقه خروجی مدار بایاس ثابت

گام سوم: با نوشتن قانون kvl در حلقه خروجی شکل زیر می‌توانیم V_{CE} یا R_C را محاسبه کنیم.

KVL خروجی

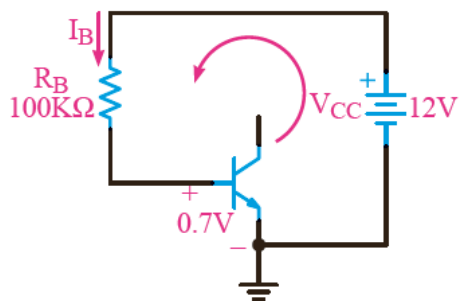
$$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C \quad \text{یا} \quad R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$$



مدار بایاس ثابت

مثال ۱: در مدار شکل زیر مقادیر I_B , I_C , V_{CE} را محاسبه کنید. ($V_{BE} = 0.7V$)



مدار بایاس ثابت

پاسخ: با نوشتن معادله kvl در حلقه ورودی مطابق شکل زیر می‌توان I_B را محاسبه نمود.
معادله kvl در حلقه خروجی و ورودی:

$$-V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

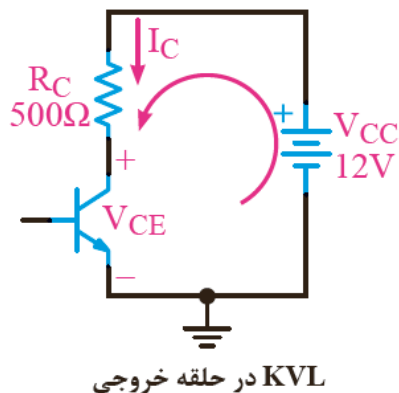
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_B = \frac{12 - 0.7}{100K\Omega} = \frac{11.3}{100} \text{mA} \quad \text{محاسبه } I_B$$

$$I_B = 113\mu A$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_C = 100 \times \frac{11.3}{100} = 11.3 \text{mA} \quad \text{محاسبه } I_C$$



با نوشتن معادله KVL در حلقه خروجی در شکل زیر می‌توان V_{CE} را محاسبه نمود.

معادله KVL در حلقه خروجی:

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$$

$$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = 0$$

در معادله عددگذاری نموده و V_{CE} را محاسبه می‌کنیم.

$$V_{CE} = 6.35V$$

$$V_{CE} = 12 - (0.01mA)(1K\Omega)$$

مثال ۲: برای نقطه کار Q با مختصات:

$$Q \begin{cases} I_B = 0.1mA \\ I_C = 5mA \\ V_{CE} = 6V \\ V_{BE} = 0.7V \end{cases}$$

و با معلوم بودن مقدار V_{CC} برابر ۱۲ ولت، مقاومت‌های بایاس R_C و R_B را در مدار شکل فوق محاسبه کنید.
پاسخ: معادله KVL در حلقه خروجی

$$KVL(I) \Rightarrow -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = 0$$

محاسبه R_C

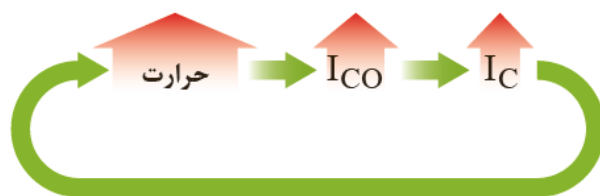
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} \quad R_C = \frac{12 - 6}{5} = \frac{6}{5} = 1.2K\Omega$$

$$KVL(II) \Rightarrow +V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

معادله KVL در حلقه ورودی

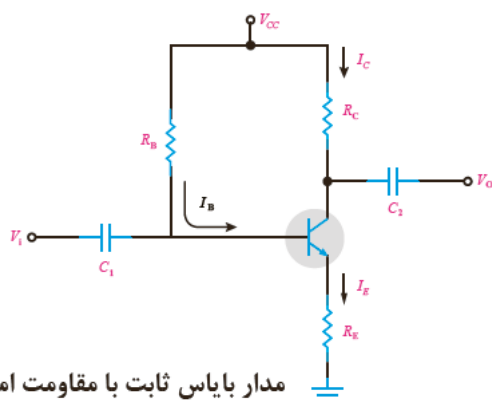
محاسبه R_B

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} \quad R_B = \frac{11/3}{0/1} = 113k$$



تغییر دمای ترانزیستور

مزایا و معایب: مهم‌ترین مزیت این مدار سادگی آن است ولی این مدار در برابر حرارت محیط و قطعات حساس است و با تغییر دمای ترانزیستور و نقطه کار تغییر می‌کند. به این صورت که اگر حرارت زیاد شود، I_C نیز افزایش می‌یابد و این امر تا ناپایداری و آسیب دیدن مدار ادامه می‌یابد. که برای رفع این ناپایداری باید یک مقاومت در امیتر ترانزیستور قرار دهیم.



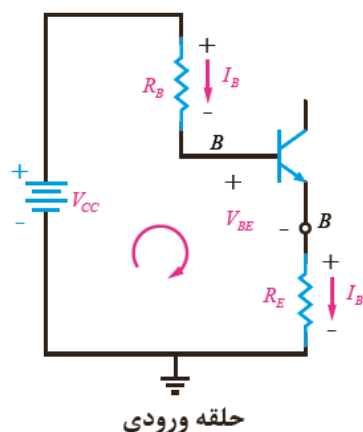
مدار بایاس ثابت با مقاومت امیتر

بایاس ثابت با مقاومت امیتر

با قرار دادن مقاومت R_E حساسیت نقطه کار به حرارت بسیار کم می‌شود. علت این امر را در ادامه مطالعه خواهید کرد.

تحلیلی محاسباتی:

گام اول: در حلقه ورودی که در شکل زیر نشان داده شده است، قانون kvl را می‌نویسیم.



حلقه ورودی

$$\text{KVL ورودی: } -V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

از آنجایی که $I_E = (\beta + 1)I_B$ می‌باشد، رابطه kvl به صورت زیر به دست می‌آید.

$$-V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} + R_E (\beta + 1) I_B = 0$$

اکنون از I_B فاکتور می گیریم

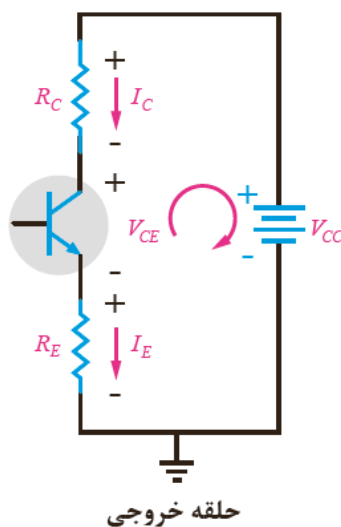
$$I_B (R_B + (\beta + 1) R_E) = V_{CC} - V_{BE} \quad \Rightarrow \quad I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) R_E}$$

گام دوم: I_C و I_E با استفاده از روابط ۵-۱ و ۶-۱ محاسبه می شوند.

$$I_C = \beta I_B \quad \text{و} \quad I_E = (\beta + 1) I_B$$

گام سوم: با نوشتن kvl در حلقه خروجی می توانیم مقدار V_{CE} را حساب کنیم.

$$KVL \text{ خروجی: } -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = 0 \quad \Rightarrow \quad V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E$$



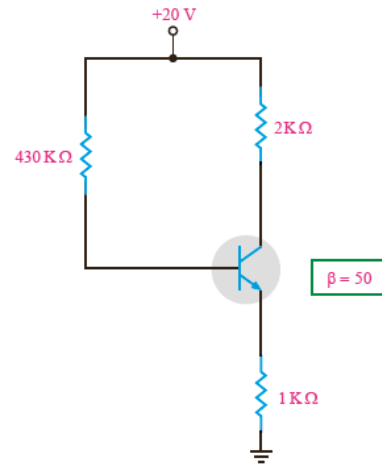
گام چهارم: محاسبه V_B ، V_E و V_C توسط روابط زیر انجام می شود.

$$V_E = R_E I_E$$

$$V_B = V_{BE} + V_E$$

$$V_C = V_{CC} - R_C I_C$$

مثال ۳: مقادیر نقطه کار I_C و V_{CE} چقدر است؟



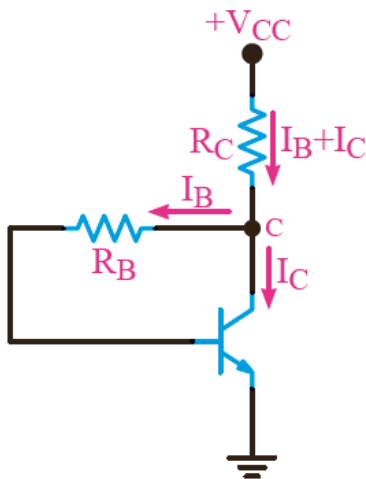
بایاس ثابت با مقاومت امیتر

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} = \frac{20 - 0.7}{430K + (51)1K} = \frac{19.3}{481K} \cong 0.04mA$$

$$I_C = \beta I_B = 50 \times 0.04 = 2mA$$

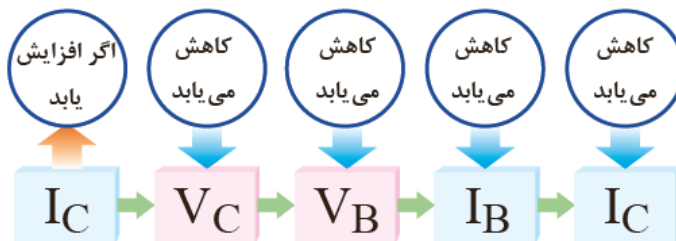
$$I_E \cong I_C = 2mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E = 20 - (2k \times 2m) - (1k \times 2m) = 14V \quad V_{CE} = 14$$



بایاس خودکار (بایاس فیدبک کلکتور)

بایاس خودکار (بایاس فیدبک کلکتور): در مدار شکل زیر نقطه کار تا حد زیادی به مقدار β ی ترانزیستور وابسته است و با تغییر β ، نقطه کار جابه‌جا می‌شود. برای اینکه مدار فوق روبه‌رو در برابر تغییرات β ثبات بیشتری داشته باشد، می‌توانیم به جای آنکه تغذیه بیس ترانزیستور را مستقیماً از V_{CC} تأمین کنیم، طبق شکل روبه‌رو ولتاژ تغذیه بیس را از کلکتور ترانزیستور دریافت نماییم. به این ترتیب، با افزایش مقدار جریان I_C ولتاژ کلکتور کاهش می‌یابد. با کاهش ولتاژ کلکتور، ولتاژ بیس کم می‌شود و جریان بیس را کاهش می‌دهد. بنابراین هرگونه تغییر در I_C اثر معکوس روی جریان I_B می‌گذارد.



تأثیر تغییر در I_C

تحلیل محاسباتی

گام اول: با نوشتن kvl در حلقه ورودی و همچنین با جای گذاری رابطه $I_E = (\beta + 1)I_B$ در kvl می توانیم جریان I_B را به دست آوریم.

$$I_E = I_B + I_C$$

$$\text{KVL در ورودی: } -V_{CC} + R_C I_E + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B \quad \text{از طرفی} \quad R_C (\beta + 1)I_B + R_B I_B - V_{CC} - V_{BE} = 0$$

اگر از I_B فاکتور بگیریم

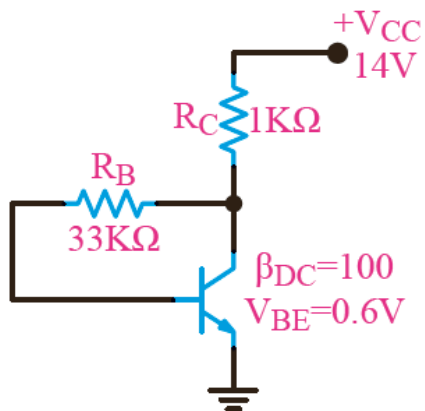
$$I_B ((\beta + 1) R_C + R_B) = V_{CC} - V_{BE} \Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{(\beta + 1)R_C + R_B}$$

گام دوم: با استفاده از روابط زیر مقدار I_E و I_C را حساب کنید.

$$I_C = \beta I_B \quad I_E = (\beta + 1)I_B$$

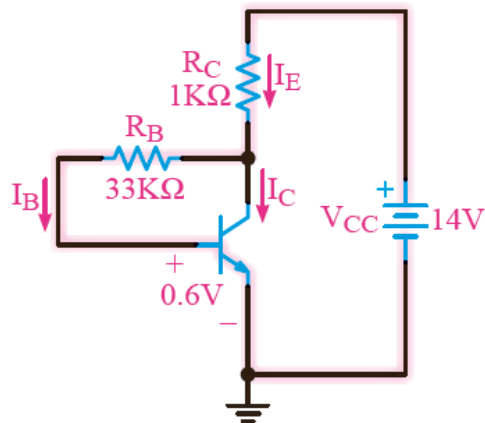
گام سوم: با نوشتن kvl در حلقه خروجی مقدار V_{CE} نقطه کار محاسبه می شود.

$$\text{KVL خروجی: } -V_{CC} + R_C I_E + V_{CE} = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_C I_E$$



بایاس خودکار (بایاس فیدبک کلکتور)

مثال ۴: با توجه به شکل زیر و مقادیر داده شده در مدار، I_B ، I_C و V_{CE} را محاسبه کنید.



بایاس خودکار (بایاس فیدبک کلکتور)

$$I_C = 100 I_B \quad I_E = 101 I_B$$

$$-V_{CC} + R_C I_E + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

$$-14 + 1(101 I_B) + 33 I_B + 0.6 = 0$$

$$134 I_B = 14 - 0.6 = 13.4$$

$$I_B = \frac{13.4}{134} = 0.1 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 0.1 = 10 \text{ mA}$$

$$I_E = I_C + I_B = 10.1 \text{ mA}$$

$$V_{CE} - V_{CC} + R_C I_E + V_{CE} = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_E \quad V_{CE} = 14 - (1)(10.1) = 3.9 \text{ V}$$

محاسبه جریان I_C و I_B بر حسب I_B :

معادله KVL در حلقه خروجی و ورودی:

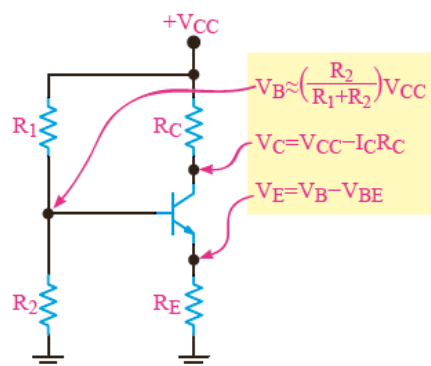
جایگزینی اعداد در معادله و محاسبه I_B

محاسبه I_C :

محاسبه I_E :

معادله KVL در حلقه خروجی برای محاسبه

محاسبه V_{CE}



بایاس مقسم ولتاژ یا تغذیه سرخود

بایاس مقسم ولتاژ یا تغذیه سرخود: در این مدار نقطه

کار ترانزیستور در حد قابل قبول تثبیت شده است. و در

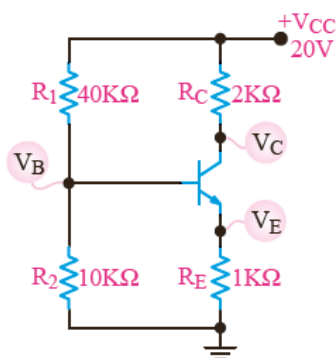
شرایط خاص تا حدودی مستقل از β ی ترانزیستور است.

در این مدار مقاومت‌های تقسیم‌کننده R_1 و R_2 ولتاژ

تغذیه بیس ترانزیستور را تأمین می‌کند. و برای آنکه V_B

تقریباً ثابت بماند، باید مقدار جریان I_B در مقایسه با

مقدار جریان I_E قابل چشم‌پوشی باشد.



مثال ۵: در شکل زیر با فرض $I_E = I_C$ ولتاژ پایه‌ها و جریان پایه‌های ترانزیستور را محاسبه کنید. ($V_{BE} = 0.7$ ولت)

بایاس مقسم ولتاژ یا تغذیه سرخود

$$V_B = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2}$$

پاسخ: محاسبه V_B بر اساس تقسیم ولتاژ V_{CC} روی مقاومت‌های R_1 و R_2

$$V_B = \frac{20 \times 10}{10 + 40} = 4V$$

محاسبه V_E :

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

$$V_E = (4) - (0.7) = 3.3V$$

محاسبه I_E :

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{3.3}{1K} = 3.3mA$$

محاسبه I_C :

$$I_C = I_E = 3.3mA$$

محاسبه V_C :

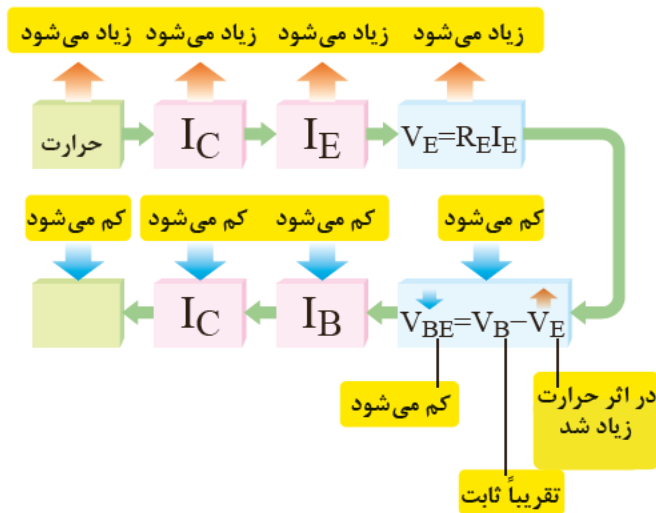
$$V_C = V_{CC} - R_C I_C \quad V_C = 20 - (2 \times 3.3) \quad V_C = 13.4V$$

چگونگی تثبیت نقطه کار توسط R_E : می‌دانیم اگر نقطه کار تقویت‌کننده ترانزیستوری تغییر کند، منجر به تغییر سایر مشخصات تقویت‌کننده نیز می‌شود. افزایش حرارت و افزایش جریان نشتی از مواردی است که تغییر آن باعث جابه‌جایی نقطه کار می‌شود. در این حالت جریان I_C افزایش می‌یابد. از طرفی می‌دانیم I_C تقریباً برابر I_E است. لذا افزایش I_C ، جریان I_E را نیز زیاد می‌کند. با زیاد شدن I_E افت ولتاژ دو سر R_E نیز زیاد

می‌شود. زیرا داریم ($V_E = R_E I_E$) از سوی دیگر مقدار V_{BE} از رابطه $V_{BE} = V_B - V_E$ به دست می‌آید. مقدار V_B تقریباً ثابت است و از این رابطه به دست می‌آید:

$$V_B = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

در رابطه V_{BE} ، چون V_B ثابت است و V_E زیاد شده است بنابراین V_{BE} کم می‌شود. کم شدن V_{BE} مقدار I_B را کاهش می‌دهد و هدایت ترانزیستور را کم می‌کند. کم شدن I_B در نهایت موجب کاهش I_C و حرارت می‌شود. به این ترتیب نقطه کار ترانزیستور به نقطه تعریف شده اولیه خود برمی‌گردد. این تغییرات را می‌توان به صورت روبه‌رو نشان داد:

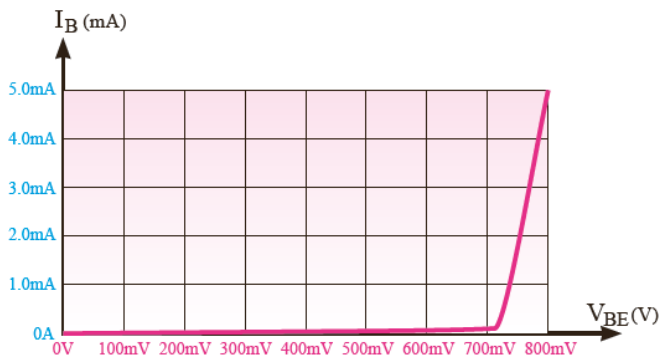


چگونگی تثبیت نقطه کار توسط R_E

منحنی مشخصه های ترانزیستور

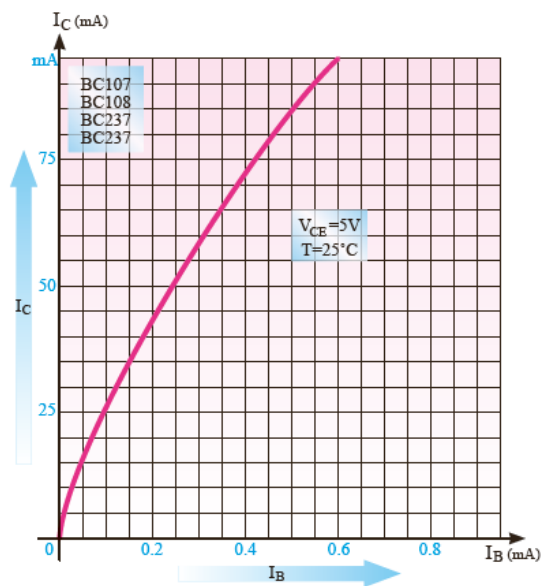
روابط بین جریان‌ها و ولتاژها و تغییرات آنها در ترانزیستور و همچنین ضریب تقویت به عامل‌هایی چون درجه حرارت، فرکانس و..... بستگی دارد. بنابراین رابطه ولتاژها و جریان‌های ترانزیستور تابع یک معادله خطی ریاضی نیست. لذا برای به دست آوردن این رابطه‌ها از منحنی‌هایی، که بیان‌کننده رابطه بین جریان‌ها و ولتاژها است استفاده می‌شود. این منحنی‌ها عبارتند از: الف) منحنی مشخصه ورودی ب) منحنی مشخصه انتقالی ج) منحنی مشخصه خروجی.

منحنی مشخصه ورودی: منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور بیان‌کننده مقدار جریان ورودی I_B بر حسب ولتاژ ورودی V_{BE} است. همان‌طوری که مدار ورودی شبیه یک دیود است منحنی مشخصه آن نیز شبیه منحنی مشخصه ولت - آمپر دیود معمولی است. باید توجه داشت که در ترانزیستور منحنی مشخصه ورودی به ازای یک ولتاژ معین V_{CE} رسم می‌شود. اگر V_{CE} تغییر کند منحنی مشخصه نیز کمی تغییر می‌کند.

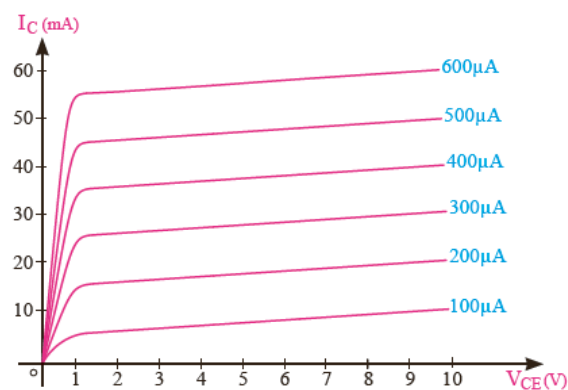


منحنی مشخصه ورودی ترانزیستوری از جنس سیلیسیم

البته این تغییرات بسیار جزئی است و در اکثر موارد می‌توان از آن صرف‌نظر کرد. مقدار ولتاژ V_{CE} را، که به‌ازای آن منحنی مشخصه ورودی رسم شده است، کارخانه سازنده مشخص می‌نماید. در شکل روبه‌رو، منحنی مشخصه ورودی ترانزیستوری از جنس سیلیسیم رسم



منحنی مشخصه انتقالی



منحنی مشخصه خروجی

مقدار جریان خروجی تابع دو عامل I_B و V_{CE} است. یعنی با کم و زیاد شدن I_B جریان خروجی I_C نیز کم یا زیاد می‌شود. این مطلب در مورد V_{CE} نیز صادق است، لیکن تأثیر تغییرات V_{CE} بر I_C ناچیز و در مواردی غیرقابل توجه است. منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور، شامل ۳ ناحیه قطع، فعال و اشباع است.

نواحی کار ترانزیستور

الف) ناحیه قطع: ناحیه‌ای است که جریان بیس، صفر و ترانزیستور هنوز به آستانه هدایت نرسیده است. لذا دارای مقادیر زیر است:

$$\begin{aligned} I_B &= 0 \\ I_C &= 0 \\ V_{CE} &\approx V_{CC} \end{aligned}$$

ناحیه قطع

شده است.

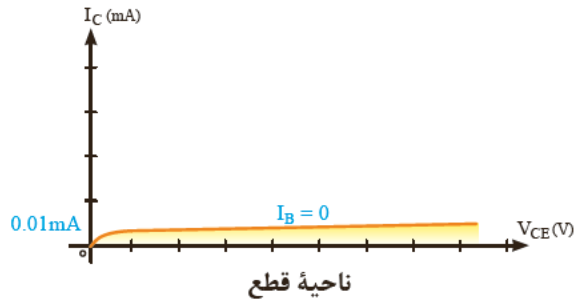
منحنی مشخصه انتقالی: منحنی مشخصه انتقالی، رابطه بین جریان ورودی I_B و خروجی I_C ترانزیستور را به ازای مقادیر ثابت V_{CE} نشان می‌دهد. شکل روبه‌رو منحنی مشخصه انتقالی ترانزیستور BC107 را به ازای $V_{CE} = 5V$ نشان می‌دهد. چون ضریب تقویت جریان، برابر نسبت جریان خروجی به ورودی است، لذا از این منحنی می‌توان ضریب تقویت جریان را به دست آورد. ضریب تقویت جریان را با β نشان می‌دهند. مقدار β بستگی به مشخصات فیزیکی و ساخت ترانزیستور دارد.

$$\beta_{DC} = \frac{\text{جریان خروجی}}{\text{جریان ورودی}} = \frac{I_C}{I_B}$$

جریان ورودی

منحنی مشخصه خروجی: منحنی مشخصه خروجی رابطه بین جریان I_C و ولتاژ خروجی V_{CE} به ازای جریان ورودی I_B معین را نشان می‌دهد. شکل روبه‌رو منحنی مشخصه‌های خروجی ترانزیستور را به ازای جریان‌های I_B ثابت نشان می‌دهد.

شکل زیر ناحیه قطع را روی منحنی مشخصه خروجی نشان می‌دهد.



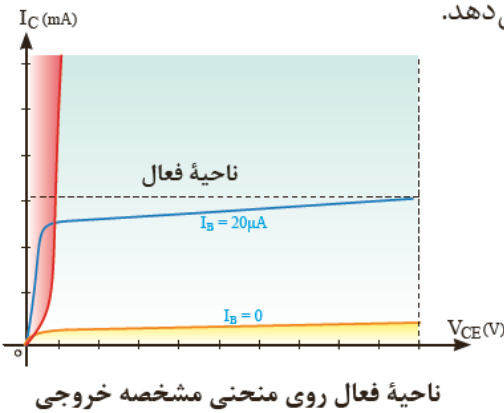
ب) ناحیه فعال: در این ناحیه، ترانزیستور در حال هدایت است و با تغییرات زیاد V_{CE} تغییرات جریان کلکتور کم است. (جریان بیس ثابت است) لذا این ناحیه دارای مشخصات زیر است:

$$I_B \neq 0$$

$$I_C \neq 0 \quad \text{ناحیه فعال}$$

$$V_{CE} \neq 0$$

شکل زیر ناحیه فعال را روی منحنی مشخصه خروجی نشان می‌دهد.



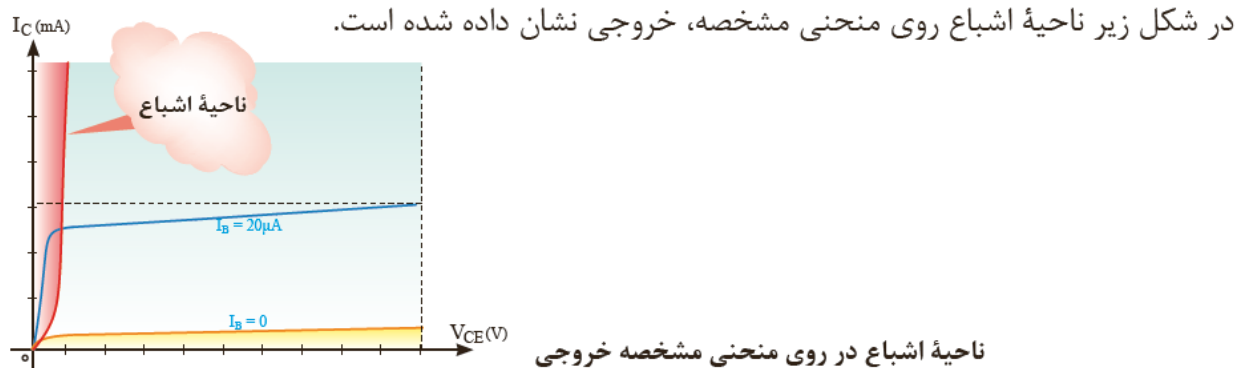
ج) ناحیه اشباع: ناحیه‌ای است که ترانزیستور در حال هدایت است، ولی با تغییر جزئی V_{CE} (کسری از ولت) تغییرات بسیار زیادی در جریان کلکتور مشاهده می‌شود. لذا دارای مشخصات زیر است.

$$I_B \neq 0$$

$$I_C \neq 0 \quad \text{تقریباً حداکثر} \quad \text{ناحیه اشباع}$$

$$V_{CE} \neq 0 \quad \text{تقریباً حداقل}$$

$$V_{CE} \cong 0.2V$$

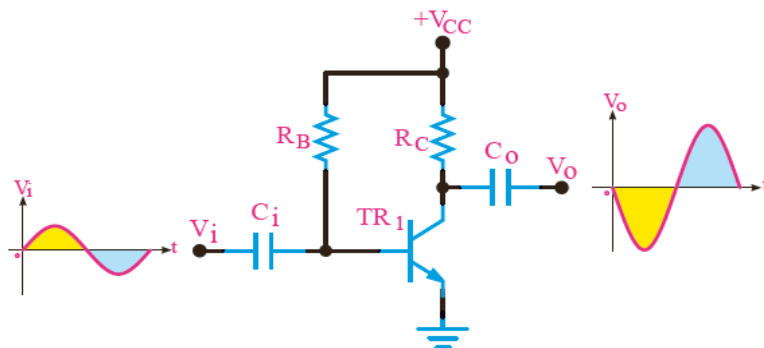


چگونگی عمل تقویت کنندگی در ترانزیستور

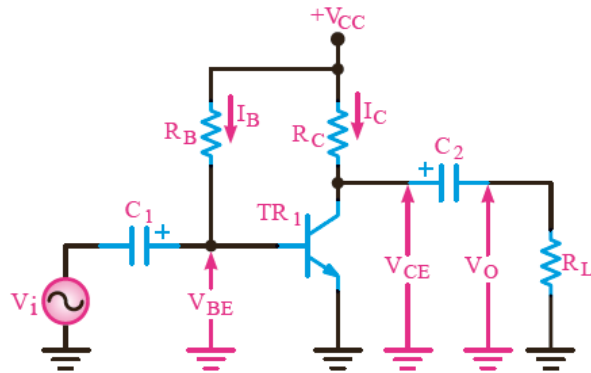
برای اینکه بتوانیم یک سیگنال الکتریکی را از لحاظ دامنه ولتاژ یا جریان، تقویت نماییم، باید ابتدا تقویت کننده را از نظر ولتاژ DC (یکی از انواع مدارات بایاس) تغذیه نماییم، سپس سیگنال را به ورودی وصل کنیم و از خروجی تقویت کننده، سیگنال تقویت شده را دریافت نماییم. اگر ضریب تقویت ولتاژ را با A_V نشان دهیم، رابطه A_V برابر است با:

$$A_V = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی}}{\text{دامنه سیگنال ورودی}} = \frac{V_O}{V_i}$$

شکل زیر مدار یک تقویت کننده ساده را با تغذیه ثابت نشان می دهد.

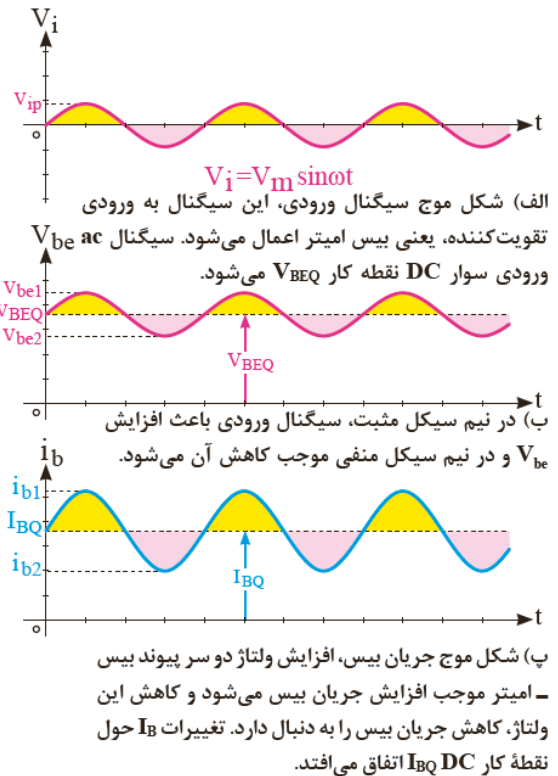
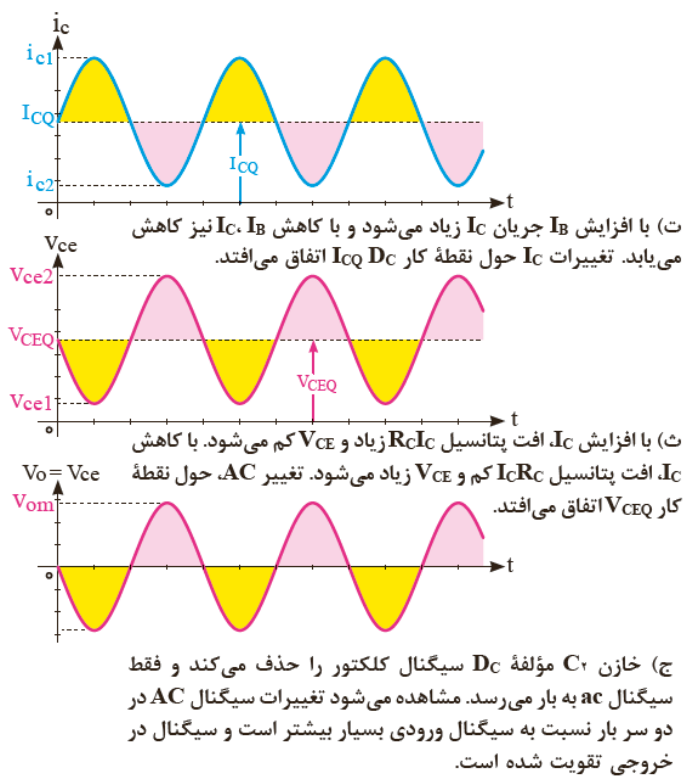


مدار یک تقویت کننده ساده



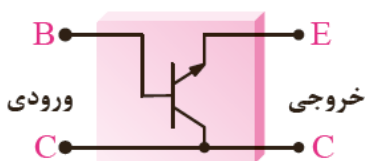
مدار یک تقویت کننده نمونه

در مدار فوق C_i خازن کوپلاژ نام دارد و مانع عبور سیگنال DC است و فقط سیگنال AC ورودی را به بیس ترانزیستور اعمال می کند. C_o نیز خازن کوپلاژ است و مانع عبور سیگنال DC به بار می شود و فقط سیگنال AC از آن عبور می نماید. نحوه تقویت سیگنال متناوب ورودی در شکل های الف تا ج تشریح شده است.

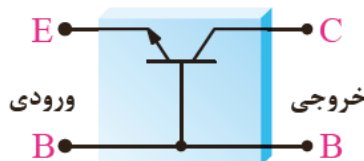


آرایش تقویت کننده های ترانزیستوری

در تقویت کننده های ترانزیستوری همیشه سیگنال ورودی به دو پایه از سه پایه ترانزیستور داده می شود و سیگنال خروجی از دو پایه آن گرفته می شود به طوری که یکی از پایه ها بین ورودی و خروجی، مشترک است. لذا با توجه به پایه مشترک، نام آرایش انتخاب می شود.



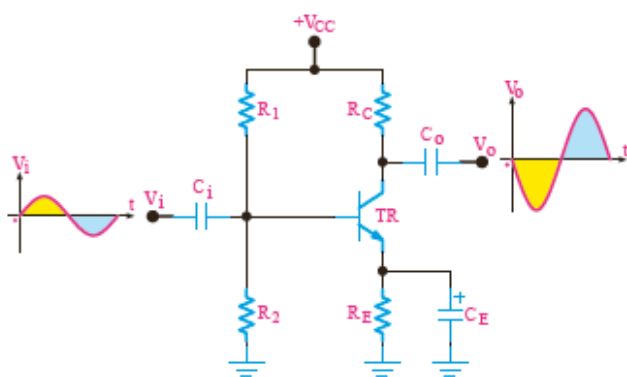
آرایش کلکتور مشترک



آرایش بیس مشترک



آرایش امیتر مشترک



تقویت کننده امیتر مشترک

تحلیل تقویت کننده امیتر مشترک (CE):

تقویت کننده امیتر مشترک، بیشترین کاربرد در انواع تقویت کننده ها را دارد. تقویت کننده امیتر مشترک علاوه بر تقویت جریان، تقویت ولتاژ را نیز انجام می دهد و به همین دلیل، در بسیاری از موارد، نسبت به تقویت کننده های دیگر برتری دارد. مدار زیر یک تقویت کننده ساده صوتی عملی با آرایش امیتر مشترک را نشان می دهد. مدار بایاس این تقویت کننده از نوع خودکار است. در مدار شکل زیر یک تقویت کننده امیتر مشترک با بایاس سرخود را مشاهده می کنید.

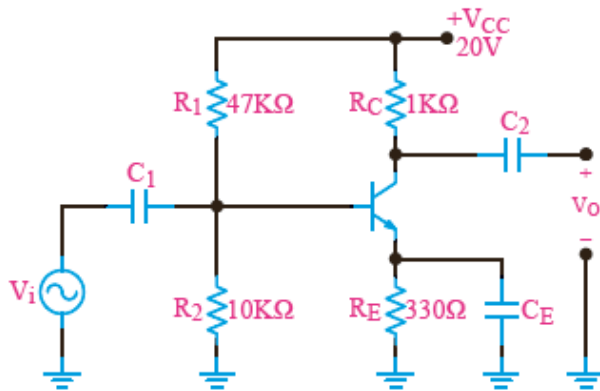
این تقویت کننده هم جریان و هم ولتاژ را تقویت می کند. بنابراین از این مدار می توان در تقویت کننده های انتهایی، میانی و ابتدایی مدارهای الکترونیکی استفاده کرد. پهنای باند تقویت کننده امیتر مشترک نسبتاً خوب است. همچنین بین ولتاژ ورودی و خروجی این نوع تقویت کننده 180° درجه اختلاف فاز به وجود می آید. خازن های C_i و C_o در مدار نیز خازن کوپلاژ است. همان طوری که ملاحظه شد R_E باعث پایداری حرارتی نقطه کار در مدار می شود. بنابراین برای پایداری نقطه کار وجود R_E ضروری و اجتناب ناپذیر است. از طرفی وجود R_E باعث کاهش بهره A_V در مدار می شود، زیرا ولتاژ AC دوسر R_E افت می کند. برای خنثی سازی اثر R_E در مقابل سیگنال ac خازنی C_E را به دوسر R_E متصل می کنند. این خازن یک **خازن بای پاس** است که هنگام عبور سیگنال AC به صورت اتصال کوتاه عمل می کند و اثر مقاومت R_E را از بین می برد به بیانی دیگر سیگنال AC بر روی مقاومت R_E تلف نمی شود.

تعیین مقدار ظرفیت خازن بای پاس: برای آنکه خازن بای پاس بتواند در مقابل سیگنال ac به صورت اتصال کوتاه عمل کند، باید ظرفیت آن را بزرگ انتخاب کنند. برای تعیین مقدار ظرفیت خازن ابتدا رابطه مقدار مقاومت ظاهری خازن X_C را برای کمترین فرکانس ورودی حساب می کنیم.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_{\min} C}$$

سپس X_C را برابر $\frac{X_C}{10}$ قرار می دهند سپس مقدار C را محاسبه می کنند:

$$X_C = \frac{R_E}{10} = \frac{1}{2\pi f_{\min} C}$$



تقویت کننده امیتر مشترک

مثال ۶: در تقویت کننده شکل زیر اگر فرکانس سیگنال متناوب ورودی از ۵۰۰ هرتز تا ۷ کیلوهرتز تغییر کند ظرفیت خازن C_E را چقدر انتخاب کنیم تا R_E در مقابل سیگنال ac به درستی بای پاس شود؟

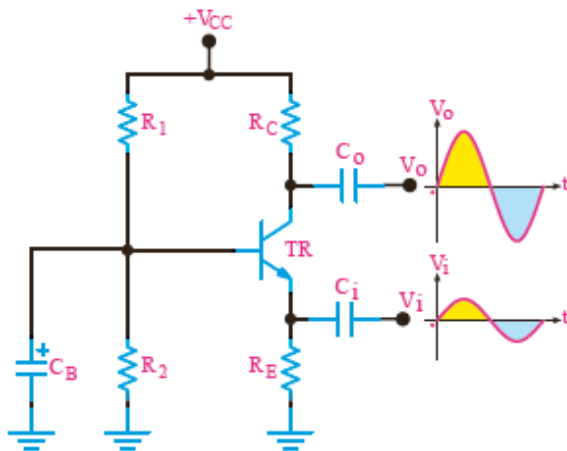
پاسخ:

محاسبه مقاومت خازن

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_{\min} C} \quad X_C = \frac{R_E}{10} = \frac{330}{10} = 33\Omega$$

محاسبه C_E :

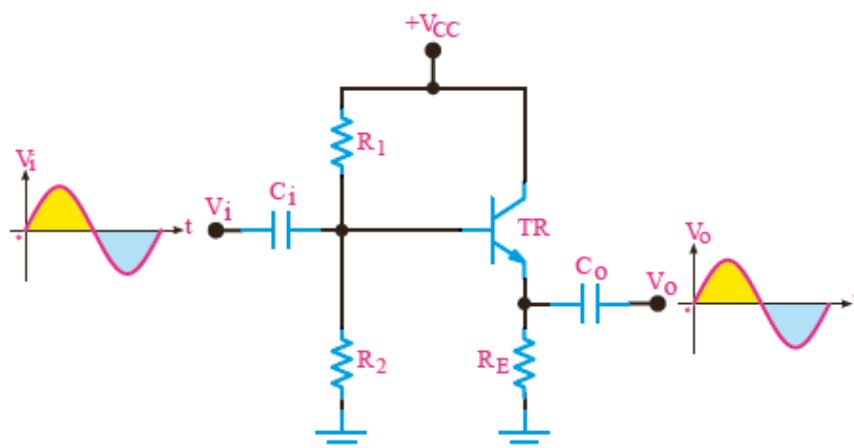
$$\frac{1}{2\pi f_{\min} C_E} = \frac{R_E}{10} = 33\Omega \quad C_E = \frac{1}{2\pi(500)(33)} F \quad C_E = 9/65 \mu F = 10 \mu F$$



تقویت کننده بیس مشترک

تحلیل تقویت کننده بیس مشترک: در این آرایش سیگنال متناوب ورودی به امیتر اتصال داده می شود و سیگنال خروجی از کلکتور دریافت می شود. پایه بیس بین ورودی و خروجی مشترک است. خازن های C_i و C_o در مدار نیز خازن کوپلاژ و C_B خازن بای پاس است. تقویت کننده بیس مشترک یک تقویت کننده ولتاژ است و بهره ولتاژ آن زیاد است و باند فرکانسی وسیع تری نسبت به تقویت کننده امیتر مشترک دارد. در این آرایش ولتاژهای ورودی و خروجی هم فاز هستند.

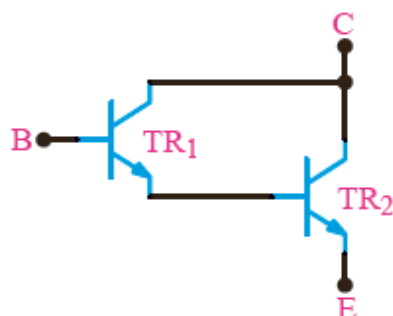
تحلیل تقویت کننده کلکتور مشترک: در این آرایش سیگنال متناوب ورودی به بیس اتصال داده می شود و سیگنال خروجی از امیتر دریافت می شود. به این ترتیب پایه کلکتور پایه مشترک بین ورودی و خروجی است. شکل زیر این آرایش را نشان می دهد. این تقویت کننده دارای بهره ولتاژ کم و بهره جریان زیاد است و فقط سیگنال AC را از لحاظ جریانی تقویت می کند. از این تقویت کننده به عنوان تقویت کننده جریان در رگولاتورها و تقویت کننده های صوتی استفاده می شود. از این تقویت کننده به عنوان تطبیق دهنده امپدانس بین دو طبقه تقویت کننده استفاده می شود.



تقویت کننده کلکتور مشترک

نوع آرایش	بهره ولتاژ A_v	بهره جریان A_i
امیتر مشترک CE	متوسط	متوسط
بیس مشترک CB	زیاد	کم و کوچک تر از ۱
کلکتور مشترک CC	کم و کوچک تر از ۱	زیاد

مقایسه سه تقویت کننده

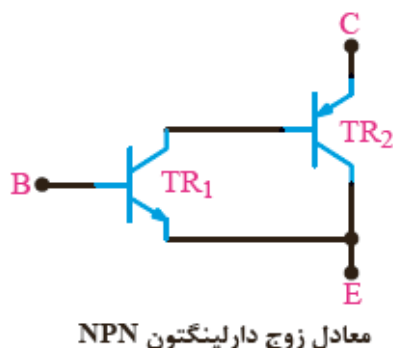


زوج دارلینگتون NPN

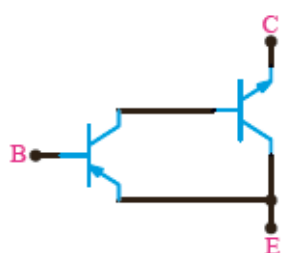
زوج دارلینگتون **Darlington Pair**: یک نمونه از تقویت کننده های دوطبقه زوج دارلینگتون است که در شکل روبه رو نشان داده شده است. از آنجا که ترانزیستورهای قدرت اغلب دارای β ی کوچکی هستند، برای به دست آوردن β ی بزرگتر، و تقویت جریان بیشتر از ترانزیستورهای زوج دارلینگتون استفاده می شود.

اگر ضریب تقویت جریان ترانزیستور TR_1 را β_1 و ضریب تقویت جریان ترانزیستور TR_2 را β_2 فرض کنیم، ضریب تقویت جریان زوج دارلینگتون از رابطه زیر به دست می آید.

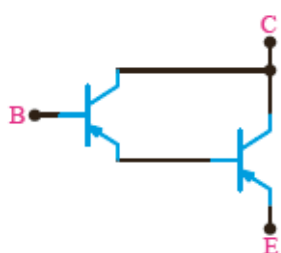
$$\beta_T = \beta_1 \cdot \beta_2$$



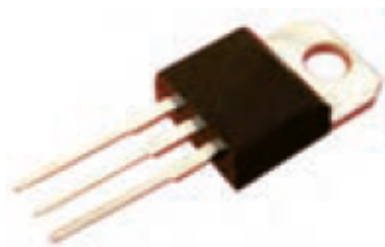
در شکل زیر زوج دارلینگتون از دو ترانزیستور NPN تشکیل شده است. همچنین مطابق شکل زیر ترانزیستور زوج دارلینگتون NPN را می توان به کمک یک ترانزیستور NPN و یک ترانزیستور PNP نیز ایجاد کرد.



زوج دارلینگتون PNP و معادل آن

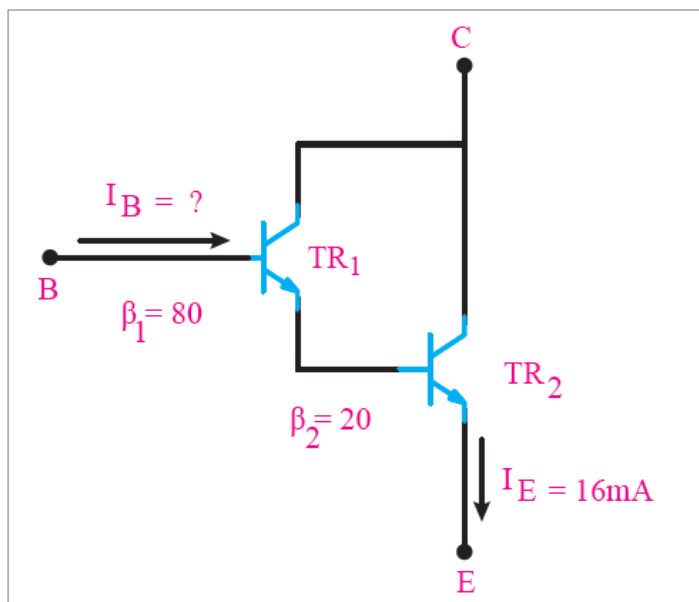


همچنین زوج دارلینگتون PNP ممکن است از دو ترانزیستور PNP و یا با استفاده از یک ترانزیستور PNP و یک ترانزیستور NPN تشکیل شده باشد. شکل زیر زوج دارلینگتون PNP با دو ترانزیستور PNP و معادل آن با یک ترانزیستور PNP و یک ترانزیستور NPN را نشان می دهد.



زوج دارلینگتون در یک بسته بندی

زوج دارلینگتون را در یک بسته بندی و مشابه ترانزیستورهای ساده نیز به بازار عرضه می کنند. برای نمونه سری ترانزیستورهای **2N6385** , **2N6384** , **2N6383** به صورت ترکیب دارلینگتون هستند. این ترانزیستورها به صورت NPN با β نزدیک به ۳۰۰۰ و قدرتی برابر ۱۰۰ وات ساخته می شوند. در شکل روبه رو ترانزیستور زوج دارلینگتون در یک بسته بندی نشان داده شده است.



با توجه به مدار شکل مقابل مطلوب است:

الف) نام مدار

ب) بهره جریان (β_T)

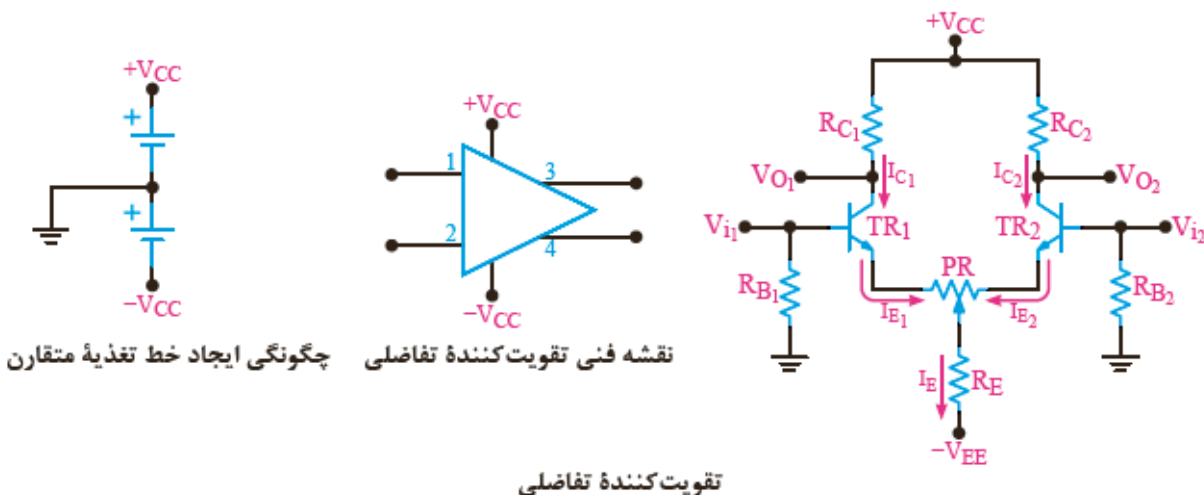
ج) I_B

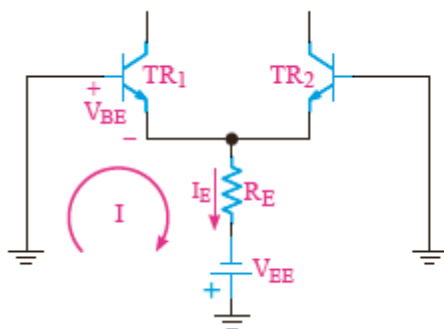
الف) زوج دارلینگتون

ب) $\beta_T = 1600$

$I_B = 10 \mu A$

تقویت کننده تفاضلی: در تقویت کننده های معمولی مانند امیتر مشترک با انتخاب R_E و بای پاس نمودن آن توسط خازن، می توان به ضریب تقویت کافی و پایداری حرارتی مناسب دست یافت. ولی به دلیل وجود خازن بای پاس در این نوع تقویت کننده ها فرکانس های کم و سیگنال DC به درستی تقویت نمی شوند و ضریب تقویت کاهش می یابد. برای تقویت سیگنال های با فرکانس پایین و DC از تقویت کننده تفاضلی (differential amp) استفاده می کنیم. یکی دیگر از مشکلات تقویت کننده ها که تاکنون آنها را بررسی کرده ایم این است که توانایی تفکیک سیگنال از نویز را ندارند و هر دو را به یک اندازه تقویت می کنند. در صورتی که تقویت کننده تفاضلی دارای قابلیت تفکیک سیگنال از نویز است. و می تواند نویز را تضعیف و سیگنال را تقویت کند. نقشه ساده یک تقویت کننده تفاضلی در شکل زیر رسم شده است. این مدار دارای دو ورودی V_{i1} و V_{i2} و دو خروجی V_{O1} و V_{O2} است. همچنین دو منبع تغذیه برای مدار وجود دارد. ولتاژهای $+V_{CC}$ و $-V_{EE}$ به نقاط موردنظر و سیم مشترک آن به زمین وصل شده است.





بررسی رفتار DC تقویت کننده تفاضلی: در مدار تقویت کننده تفاضلی باید قطعات هر دو نیمه مدار از نظر تعداد و مقدار یکسان باشند یعنی $TR_1 = TR_2$ ، $RC_1 = RC_2$ ، $RB_1 = RB_2$ است. با فرض تقارن کامل دو نیمه، می توانیم بنویسیم.

$$R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E - V_{EE} = 0 \Rightarrow \text{ورودی } kVL$$

با توجه به ناچیز بودن I_B می توانیم از آن صرف نظر کنیم، بنابراین $R_B I_B = 0$ می شود پس:

$$\Rightarrow I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$$

به شرط تقارن مدار

$$I_{E1} = I_{E2} = I_{C1} = I_{C2} = \frac{I_E}{2}$$

همچنین

$$V_{C1} = V_{C2} = V_{CC} - R_{C1} I_{C1}$$

با فرض صفر بودن I_B مقدار $V_B = 0$ می شود پس:

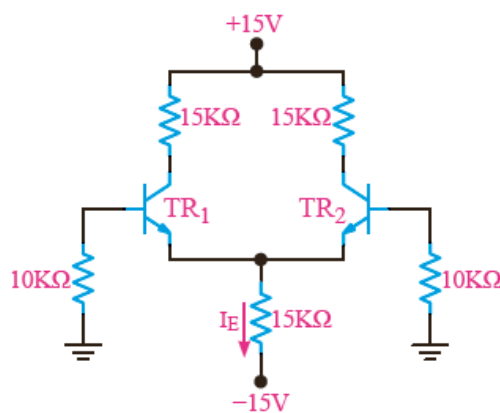
$$V_{E2} = V_{E1} = V_B - V_{BE} \Rightarrow V_{E2} - V_{E1} = 0 - V_{BE} = -V_{BE}$$

$$V_{CE1} = V_{CE2} = V_{C1} - V_{E1}$$

مثال ۷: جریان I_E و ولتاژهای V_{CE1} و V_{CE2} را محاسبه کنید. از I_B ترانزیستورها صرف نظر کنید.

$$\beta_1 = \beta_2 = 200$$

$$V_{BE1} = V_{BE2} = 0.7V$$



تقویت کننده تفاضلی

$$\text{KVL: } R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E - V_{EE} = 0 \xrightarrow{R_B I_B \approx 0} I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{15 - 0.7}{15K} = 0.95 \text{mA}$$

$$I_{C1} = I_{C2} = I_{E1} = I_{E2} = \frac{I_E}{2} = \frac{0.95}{2} = 0.475 \text{mA}$$

$$V_{E2} = V_{E1} = V_B = V_{BE} = -0.7 \text{V}$$

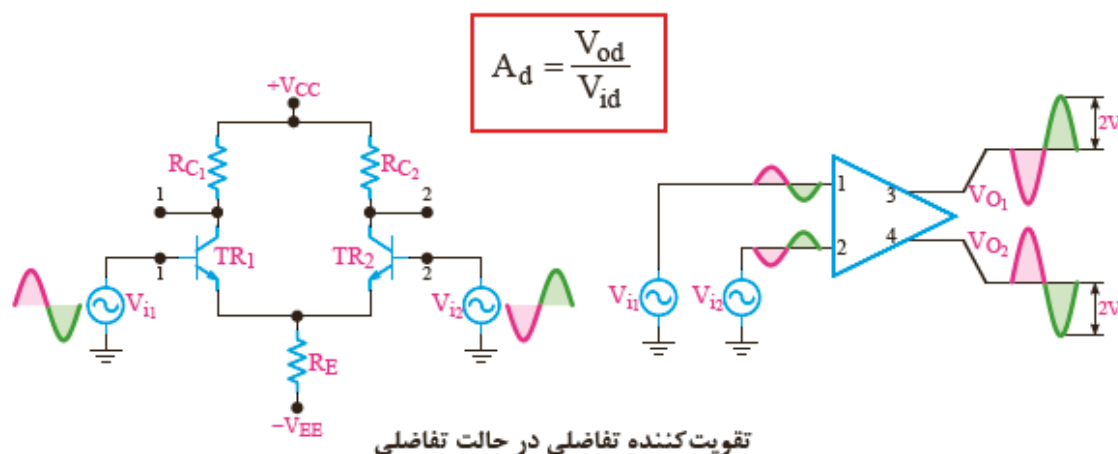
$$V_C = V_{CC} - R_C I_C = 15 - (15k \times 0.475 \text{mA}) = 15 - 7.125 = 7.875 \text{V} \Rightarrow$$

$$V_{C1} = V_{C2} = 7.875 \text{V}$$

$$V_{CE1} = V_{CE2} = V_{C1} - V_{E1} = 7.875 - (-0.7) = 8.575 \text{V}$$

بررسی رفتار AC تقویت کننده تفاضلی

الف) تقویت کننده تفاضلی در حالت تفاضلی: اگر سیگنال AC موردنظر را به صورت دو سیگنال با اختلاف فاز 180° درجه به ورودی های تقویت کننده تفاضلی اعمال کنیم این سیگنال به صورت مطلوبی تقویت می شود بهره ولتاژ تقویت کننده در این حالت از رابطه زیر به دست می آید.



ضریب حذف سیگنال مشترک CMRR (Common Mode Rejection Ratio) در یک تقویت کننده تفاضلی سیگنال ورودی را به صورت تفاضلی به دو ورودی اعمال می کنیم. این سیگنال مطابق آنچه که شرح داده شد، پس از تقویت در خروجی ها ظاهر می شود. همچنین سیگنال ناخواسته (نویز یا پارازیت) روی خط های ورودی به صورت یکسان می نشیند. در این حالت تقویت کننده تفاضلی برای نویز در حالت سیگنال مشترک عمل می کند و نویز را در خروجی حذف می نماید. در عمل معمولاً بهره تفاضلی عددی بزرگ و بهره سیگنال مشترک خیلی کمتر از ۱ است. نسبت بهره تفاضلی A_d به بهره سیگنال مشترک A_{CM} را ضریب حذف سیگنال مشترک یا CMRR می نامند.

$$CMRR = \frac{A_d}{A_{CM}}$$

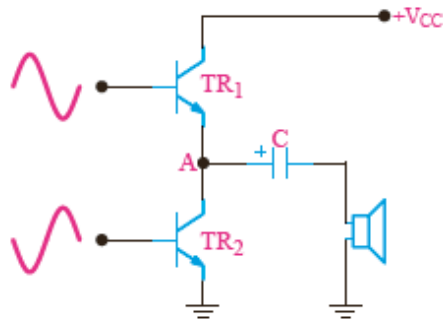
مثال ۸: در یک تقویت کننده تفاضلی بهره سیگنال مشترک $0/2$ است و بهره تفاضلی 2000 است. CMRR را محاسبه کنید؟ مفهوم عدد به دست آمده چیست؟ شرح دهید.
پاسخ:

$$A_d = 2000 \quad A_{CM} = 0/2 \quad CMRR = \frac{A_d}{A_{CM}} = \frac{2000}{0/2} = 10000$$

CMRR برابر 10000 به این مفهوم است که سیگنال هدف 10000 مرتبه بیشتر از سیگنال ناخواسته (نویز) تقویت می شود.

تقویت کننده کلاس B: بازده تقویت کننده های کلاس A به علت تلفات زیادی که دارد بسیار کم است و از ۵۰ درصد تجاوز نمی کند. تلفات زیاد توان در این تقویت کننده ها در اثر برقراری دائمی جریان کلکتور به وجود می آید، اگر ترانزیستور را در ناحیه قطع بایاس کنیم، هنگامی که سیگنال وجود ندارد، از کلکتور ترانزیستور جریانی نمی گذرد بنابراین توان تلف شده در حالت سکون برابر صفر می شود. به این ترتیب می توانیم **بازده تقویت کننده را به ۷۸/۵ درصد افزایش دهیم.** در این حالت ترانزیستور فقط برای نیمی از یک سیکل سیگنال ورودی هدایت می کند و در نیم سیکل دیگر خاموش است. و در اصطلاح می گوئیم تقویت کننده در کلاس B قرار دارد. از این رو در این تقویت کننده ها از دو ترانزیستور استفاده می شود تا بتوان یک سیکل کامل را تقویت کرد. کاربرد اصلی این تقویت کننده ها در تقویت کننده های صوتی است.

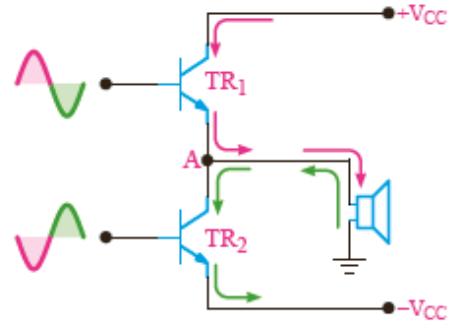
تقویت کننده (پوش پول): در شکل زیر مدار یک تقویت کننده پوش پول رسم شده است. در این مدار در حالتی که سیگنال متناوب ورودی صفر است، ترانزیستورها در حالت خاموش قرار دارند و هیچ جریانی از منبع تغذیه کشیده نمی شود. در اولین نیم سیکل ترانزیستور TR_1 فعال می شود. در این حالت جریان از TR_1 عبور می کند و سیگنال تقویت شده ورودی به بلندگو انتقال می یابد و در نیم سیکل دوم ترانزیستور TR_1 خاموش و ترانزیستور TR_2 روشن می شود. در این حالت، چون منبع تغذیه از مدار کلکتور TR_2 قطع می شود، تغذیه ترانزیستور TR_2 از طریق دشارژ خازن C انجام می گیرد.



تقویت کننده با منبع تغذیه ساده

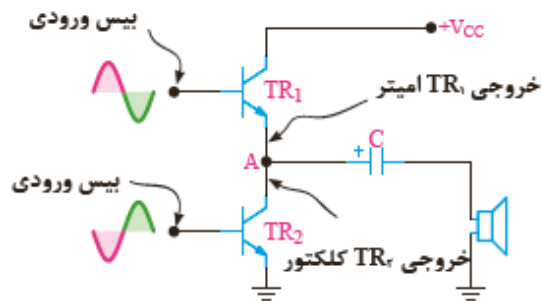
$$V_A = \frac{V_{CC}}{2}$$

تقویت کننده پوش پول



تقویت کننده با منبع تغذیه متقارن

$$V_A = 0$$



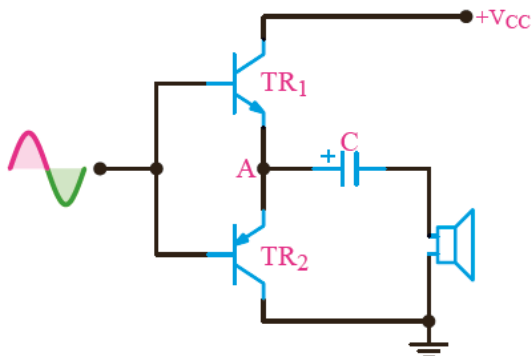
دو ترانزیستور آرایش های متفاوت دارند.

تقویت کننده پوش پول

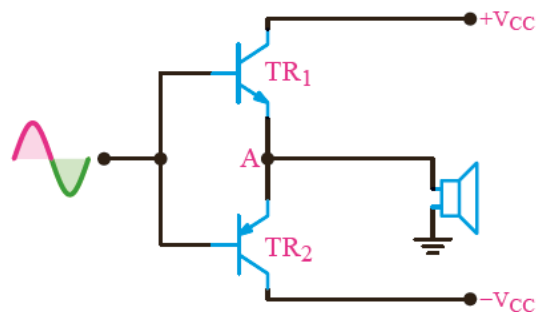
یکی از اشکال های تقویت کننده عدم تقارن دو نیم سیکل سیگنال خروجی است زیرا TR_1 دارای آرایش کلکتور مشترک و TR_2 دارای آرایش امیتر مشترک است، وجود این دو نوع آرایش برای دو نیم سیکل مثبت و منفی عدم تقارن ایجاد می کند.

تقویت کننده پوش پول با ترانزیستورهای مکمل (Complementary): در تقویت کننده با ترانزیستورهای مکمل چون هر دو ترانزیستور به صورت کلکتور مشترک عمل می کنند، هر دو ترانزیستور مشخصات یکسانی دارند لذا سیگنال خروجی کامل متقارن است. همچنین از آنجایی که هر دو آرایش کلکتور مشترک دارند از این رو تقویت جریان را در خروجی انجام می دهند. در شکل صفحه بعد دو تقویت کننده کامپلی منتاری را با منبع تغذیه ساده و منبع تغذیه متقارن نشان داده شده است.

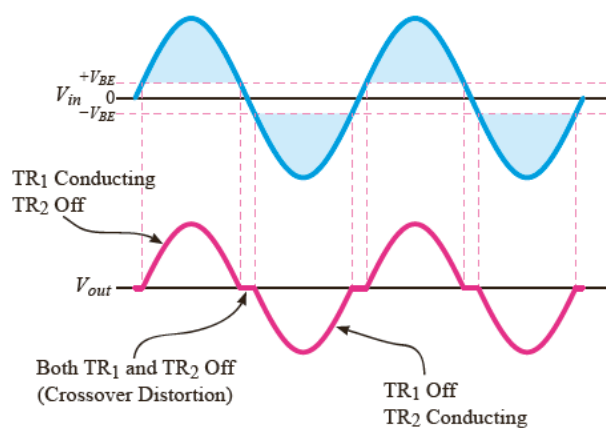
تقویت کننده پوش پول ترانزیستورهای مکمل (Complementary)



تقویت کننده با منبع تغذیه ساده

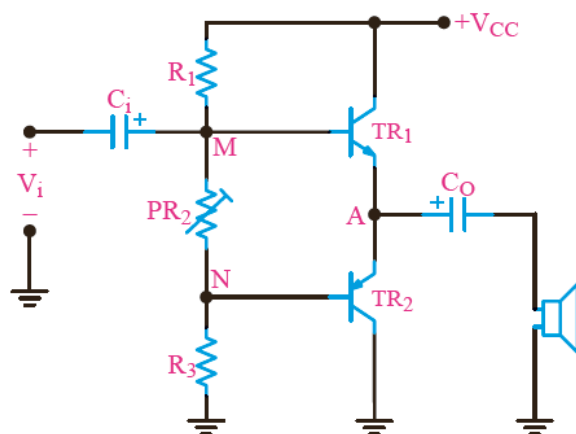


تقویت کننده با منبع تغذیه متقارن



اعوجاج تقاطعی در خروجی

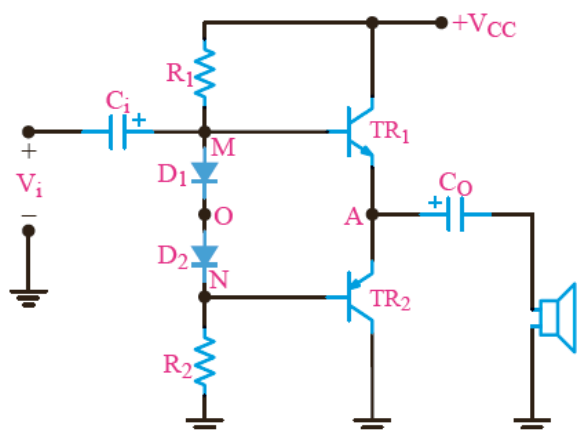
معایب پوش پول کلاس B: چون هر دو ترانزیستور در ناحیه قطع بایاس شده‌اند، دیود بیس امیتر ترانزیستورها باید توسط سیگنال متناوب ورودی روشن شود لذا حدود ± 0.7 ولتاژ دامنه سیگنال ورودی برای بایاس بیس به کار می‌رود و تقویت نمی‌شود. پس در شکل موج خروجی تغییر شکل (اعوجاج) مطابق شکله وجود می‌آید. این تغییر شکل را، اعوجاج تقاطعی (distortion crossover) می‌نامند. برای برطرف کردن این عیب باید ترانزیستورها را در کلاس AB بایاس کنیم. این کار را با روش‌های مختلف می‌توانیم انجام دهیم.



تقویت کننده پوش پول با استفاده از مقاومت‌های تقسیم کننده ولتاژ

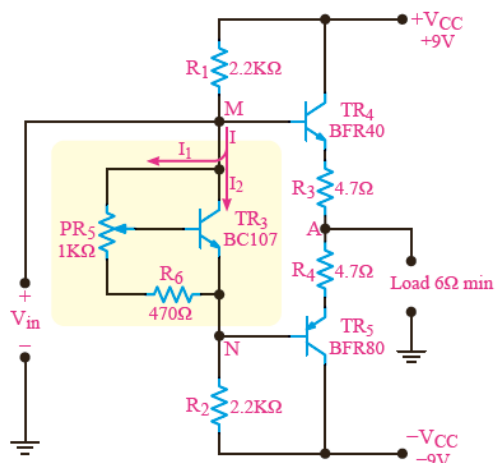
قرار دادن ترانزیستورها در آستانه هدایت (کلاس AB)

با روش‌های مختلف می‌توان بیس امیتر ترانزیستورهای TR_1 و TR_2 را در آستانه هدایت یعنی ± 0.6 قرار دهیم. الف) استفاده از مقاومت‌های تقسیم کننده ولتاژ: با تنظیم PR_2 می‌توان پتانسیل نقاط M تا N را در حدود ± 0.6 ولت تنظیم کنیم تا ترانزیستورها در آستانه هدایت قرار گیرند.



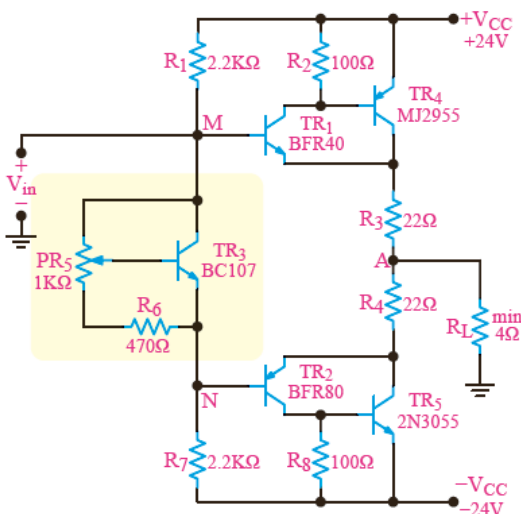
تنظیم پتانسیل MN توسط دو دیود
تقویت کننده پوش پول با استفاده از دیود

ب) استفاده از دیود: در این روش دو دیود سری بین بیس‌های دو ترانزیستور مطابق شکل روبه‌رو قرار گرفته است. در دو سر هر دیود حدود ± 0.6 ولت افت ولتاژ وجود دارد. به این ترتیب پتانسیل نقاط MN در حدود ± 0.6 ولت تثبیت می‌شود.



پ) استفاده از رگولاتور موازی: مناسب‌ترین روش تأمین ولتاژ بین بیس ترانزیستورها استفاده از یک ترانزیستور دیگر به عنوان رگولاتور ولتاژ است. در شکل روبه‌رو نمونه چنین مداری را مشاهده می‌کنید. مدار ترانزیستور TR_3 به صورت یک تثبیت‌کننده ولتاژ عمل می‌کند و همواره اختلاف پتانسیل بین دو نقطه M و N را مساوی $1/2$ ولت ثابت نگه می‌دارد.

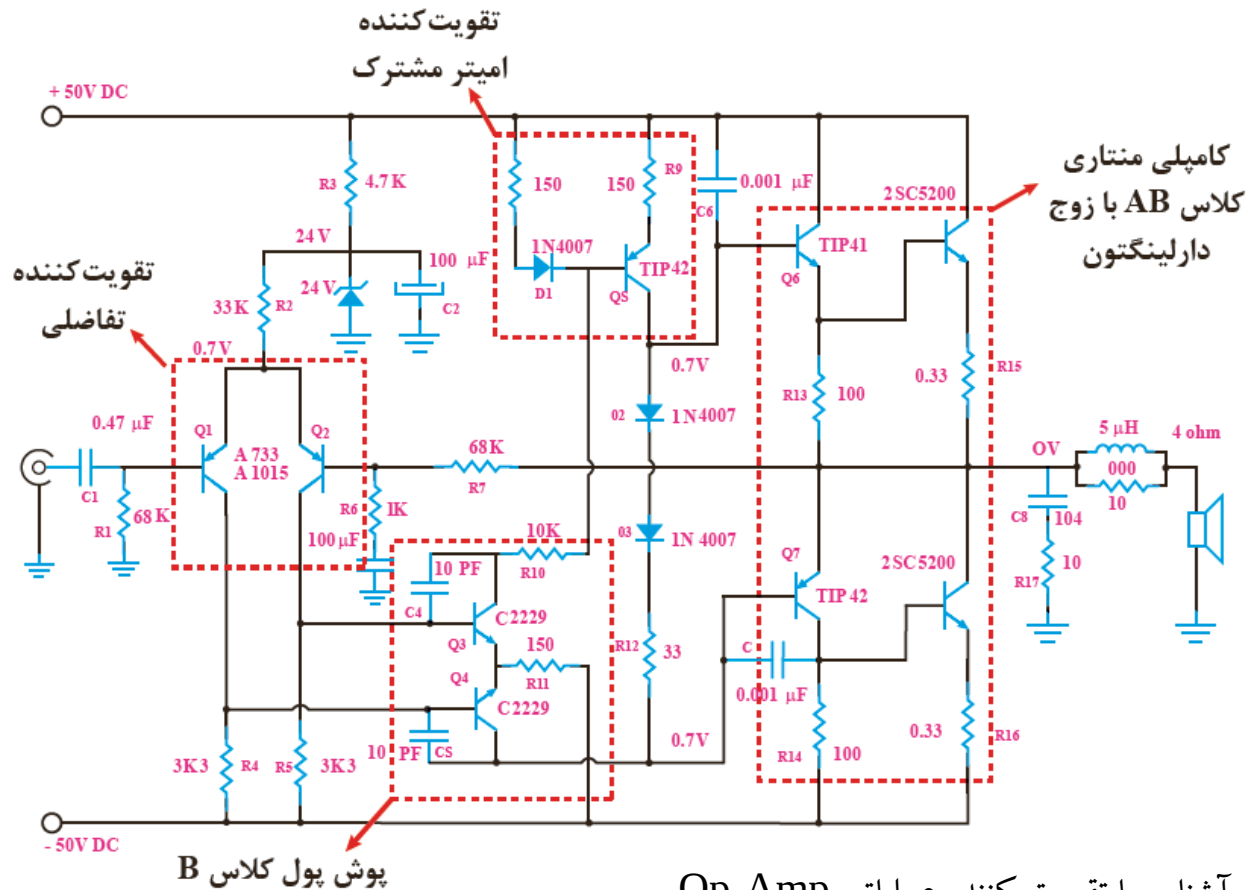
رگولاتور ولتاژ موازی برای قرار دادن ترانزیستورهای مکمل در کلاس AB تقویت‌کننده پوش پول با استفاده از رگولاتور ولتاژ موازی



استفاده از زوج دارلینگتون برای افزایش قدرت خروجی: در صورتی که تقویت‌کننده‌ای با قدرت زیاد لازم باشد، می‌توانیم به جای هریک از ترانزیستورهای مکمل از یک زوج دارلینگتون استفاده کنیم. در شکل روبه‌رو یک تقویت‌کننده با زوج دارلینگتون نشان داده شده است.

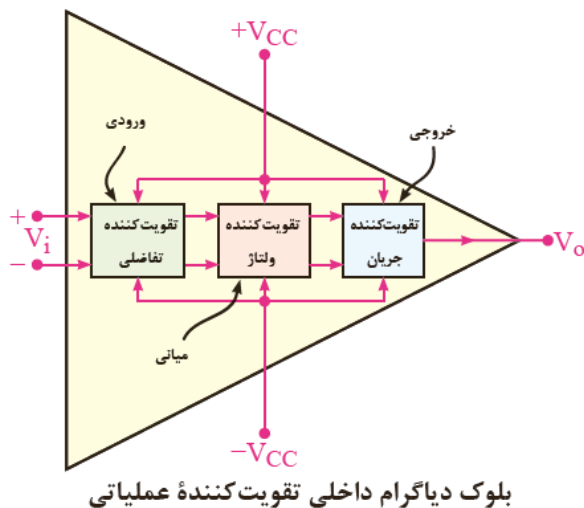
استفاده از زوج دارلینگتون برای افزایش قدرت تقویت‌کننده تقویت‌کننده پوش پول با استفاده از زوج دارلینگتون

در شکل صفحه بعد یک تقویت‌کننده صوتی عملی را مشاهده می‌کنید. در این مدار تقویت‌کننده‌هایی که تا کنون توضیح داده شده اند مشاهده می‌شود.

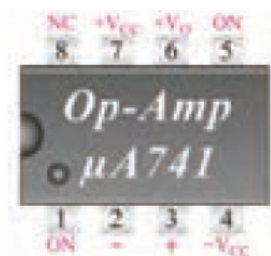


آشنایی با تقویت کننده عملیاتی Op-Amp

تقویت کننده‌های عملیاتی که به اختصار (op - Amp) نامیده می‌شود **تقویت کننده‌ای با ضریب تقویت بسیار بزرگ است**. تقویت کننده‌های عملیاتی در سیستم‌های الکترونیکی کاربردهای متنوعی دارند. از نظر اقتصادی نیز ارزان قیمت‌اند و از مزایایی چون **ابعاد کوچک، قابلیت اطمینان بالا و پایداری حرارتی** خوب برخوردارند. تقویت کننده‌های عملیاتی دارای دو یا چند طبقه تقویت کننده تفاضلی است که خروجی‌های هر طبقه به ورودی‌های طبقه دیگر متصل شده است. در انتهای این تقویت کننده، یک تقویت کننده جریان قرار دارد که معمولاً یک



مدار کامپلی منتاری است. این مدار جریان خروجی تقویت کننده تفاضلی آخر را تقویت می‌کند. خروجی تقویت کننده عملیاتی از خروجی مدار تقویت جریان دریافت می‌کند، همچنین ورودی‌های تقویت کننده عملیاتی همان ورودی‌های اولین تقویت کننده تفاضلی است؛ بنابراین، تقویت کننده عملیاتی دارای دو ورودی و یک خروجی است. در شکل روبه‌رو بلوک دیاگرام مدار داخلی op - Amp و پایه‌های ورودی، خروجی و تغذیه آن نشان داده شده است.



تقویت کننده عملیاتی ۷۴۱

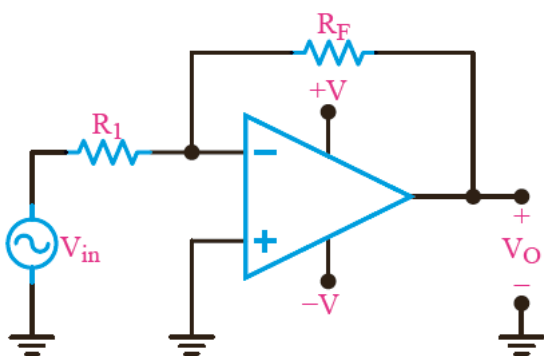
در شکل زیر پایه‌های تقویت کننده عملیاتی با شماره ۷۴۱ را مشاهده می‌کنید. پایه‌های ۵ و ۱ ورودی‌های Offset هستند و جهت تنظیم آپ امپ استفاده می‌شوند و پایه ۸ از درون به مدار اتصال ندارد و فقط برای رعایت تقارن و استانداردسازی نصب شده است.

کاربردهای تقویت کننده‌های عملیاتی

تقویت کننده‌های عملیاتی کاربردهای متنوعی دارند. در این قسمت، چند کاربرد مهم آنها را بررسی می‌کنیم. **تقویت کننده معکوس گر (Inverting Amplifier):** مدار شکل زیر یک تقویت کننده معکوس گر را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل می‌بینید سیگنال ورودی از طریق مقاومت R_1 به ورودی معکوس کننده (ورودی

منفی) اتصال دارد. از آنجایی که سیگنال خروجی نسبت به سیگنال ورودی 180° درجه اختلاف فاز دارد از این‌رو این تقویت کننده را معکوس گر گویند. بهره ولتاژ این تقویت کننده برابر است با:

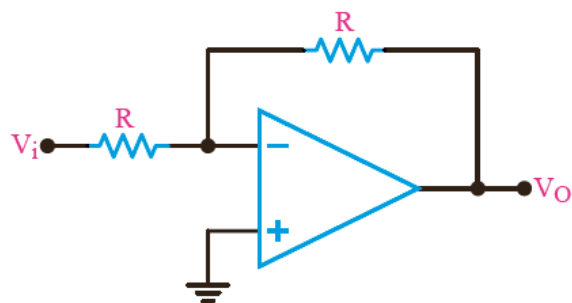
$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_1}$$



مدار یک تقویت کننده معکوس کننده

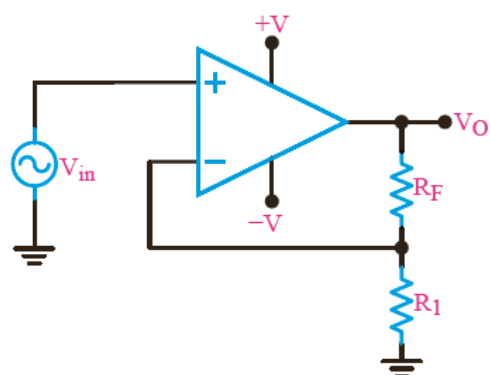
در این تقویت کننده اگر $R_1 = R_f$ باشد **بهره ولتاژ برابر ۱- می‌شود** و سیگنال ورودی و خروجی برابر با اختلاف 180° درجه می‌شود در این حالت مدار را **بافر منفی** گویند.

$$A_V = -\frac{R_f}{R_1} = -\frac{R}{R} = -1$$



مدار بافر منفی

تقویت کننده غیر معکوس گر (Noninverting Amplifier):

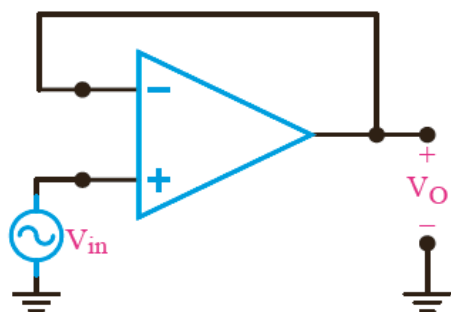


تقویت کننده غیر معکوس کننده

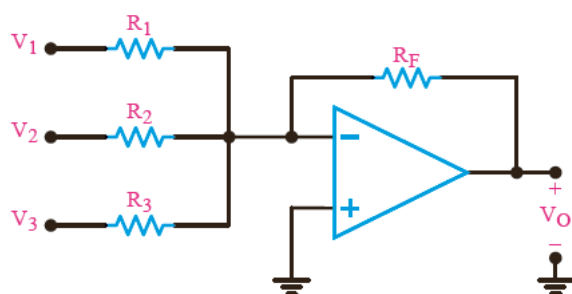
مدار شکل زیر یک تقویت کننده غیر معکوس گر را نشان می دهد. همان طور که در شکل می بینید سیگنال ورودی به ورودی غیر معکوس گر (ورودی مثبت) اتصال دارد. از آنجایی که سیگنال خروجی و سیگنال ورودی هم فاز هستند از این رو این تقویت کننده را غیر معکوس گر گویند. بهره ولتاژ این تقویت کننده برابر است با:

$$A_V = \frac{V_O}{V_{in}} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

در این تقویت کننده اگر $R_F = 0$ باشد بهره ولتاژ برابر ۱ می شود و سیگنال ورودی و خروجی برابر و هم فاز می شود در این حالت مدار را بافر مثبت گویند.



مدار بافر مثبت



مدار جمع کننده

یکی از مشخصات مهم بافر مثبت، ایجاد تطبیق بین امپدانس بسیار زیاد با امپدانس کم است. زیرا عملاً امپدانس ورودی مدار بافر بسیار زیاد و امپدانس خروجی آن بسیار کم است.

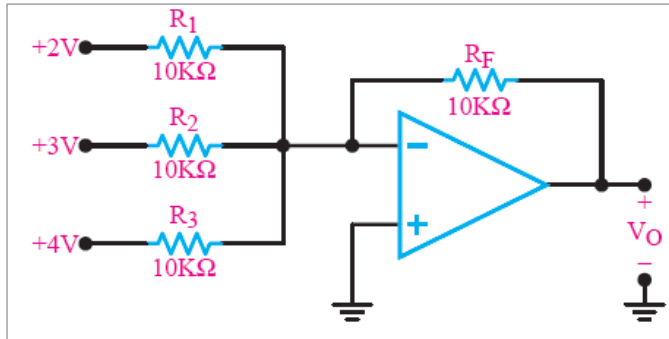
مدار جمع کننده: این مدار دارای دو یا چند ورودی و یک خروجی است. شکل روبه رو یک جمع کننده ولتاژ با سه ورودی را نشان می دهد. در این مدار ولتاژ خروجی برابر است با:

$$V_O = -R_F \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)$$

تحت شرایط خاص، چنانچه $R_1 = R_2 = R_3 = R_F$ باشد.

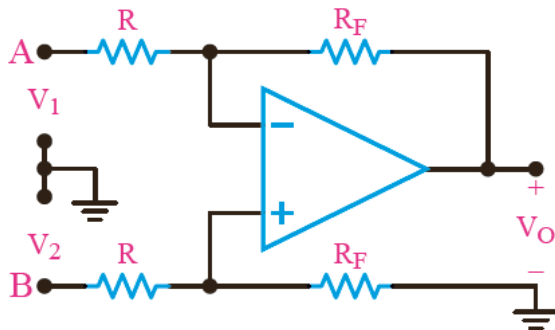
$$V_O = -(V_1 + V_2 + V_3)$$

در این حالت مدار را، مدار جمع کننده با بهره واحد می نامند.



در مدار روبه‌رو ولتاژ خروجی چند ولت است؟
جواب: $V_O = -18V$

تقویت کننده با ورودی تفاضلی (تفریق گر): تاکنون تقویت کننده‌های عملیاتی را با اعمال یک سیگنال

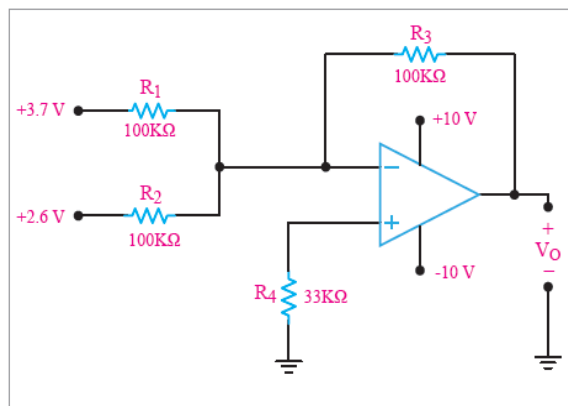


تقویت کننده با ورودی تفاضلی

ورودی مورد بحث قرار دادیم. بسیاری از اوقات به تقویت کننده‌ای با ورودی تفاضلی نیازمندیم زیرا یک تقویت کننده با ورودی تفاضلی میزان نویز را به حداقل می‌رساند. به عنوان مثال در طبقه ورودی یک دستگاه الکتروکاردیوگراف (نوار قلب) متأسفانه علاوه بر جذب سیگنال قلب مقداری نویز 50 هرتز برق شهر نیز جذب می‌شود. با استفاده از این مدار می‌توان میزان نویز مربوط به 50 هرتز را به شدت کاهش داد. این دستگاه سیگنال قلب را دریافت

می‌کند. سپس این سیگنال تقویت می‌شود و به بلندگو، اسیلوسکوپ یا نوار ثبت کننده می‌رسد. در شکل زیر تقویت کننده عملیاتی با ورودی تفاضلی نشان داده شده است. ولتاژ خروجی تقویت کننده با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود.

در مدار روبه‌رو ولتاژ خروجی چند ولت است؟
جواب: $V_O = -6/3V$



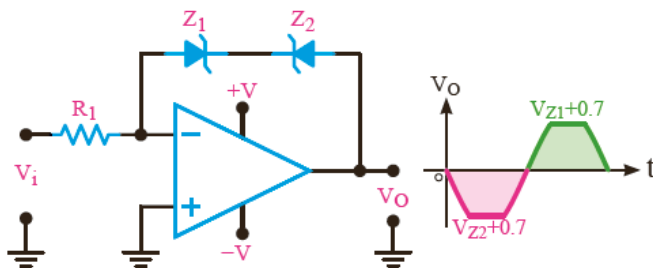
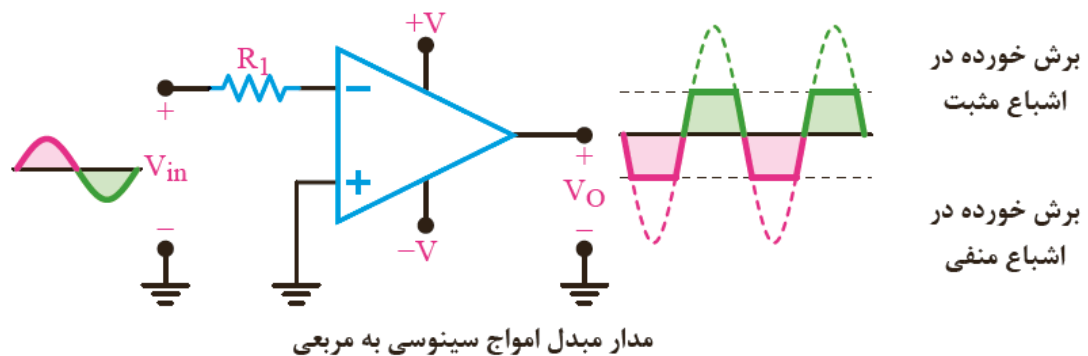
$$V_O = \frac{R_F}{R} (V_r - V_i)$$

مقایسه کننده (Comparator): مقایسه کننده به مداری گفته می شود که ولتاژ یکی از ورودی های خود را با ولتاژ مبنا در ورودی دیگر مقایسه می کند. ولتاژ مبنا می تواند مثبت، منفی یا صفر باشد. در صورتی که مقدار ولتاژ ورودی مثبت بیشتر از ولتاژ ورودی منفی باشد خروجی به ولتاژ اشباع مثبت و اگر مقدار ولتاژ ورودی منفی بیشتر از ولتاژ ورودی مثبت باشد خروجی به اشباع منفی می رود. این نوع مدار را مدار مقایسه کننده می نامند.

$$V_i^+ > V_i^- \Rightarrow V_O = +V_{sat} \text{ اشباع مثبت}$$

$$V_i^- > V_i^+ \Rightarrow V_O = -V_{sat} \text{ اشباع منفی}$$

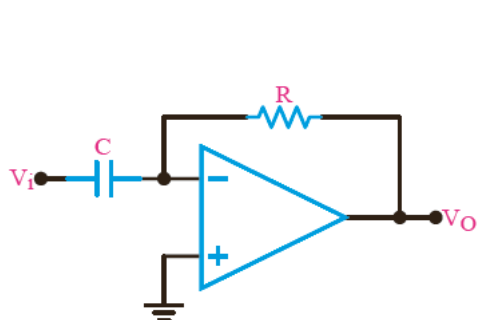
مقایسه کننده در مدارهای مختلفی کاربرد دارد که در ادامه به آن می پردازیم.
تبدیل موج سینوسی به مربعی: در شکل زیر مدار مقایسه کننده با ولتاژ مبنای صفر رسم شده است. این مدار مبدل امواج سینوسی به مربعی است. در این مدار زمین یا پتانسیل صفر به ورودی مثبت اعمال شده است و ولتاژ مبنا را تشکیل می دهد و ولتاژی که باید با مبنا مقایسه شود (V_{in}) به ورودی منفی داده شده است.



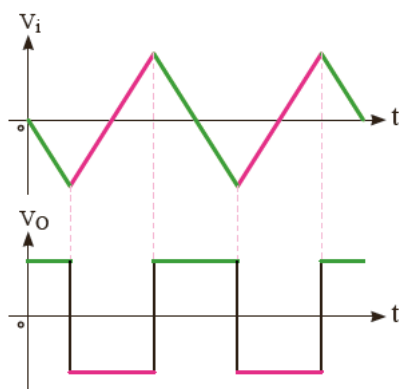
مدار مبدل امواج سینوسی به مربعی با محدود کننده دو طرفه

در بعضی موارد لازم است که دامنه ولتاژ خروجی در حدی کمتر از ولتاژ اشباع محدود شود. برای این منظور می توان با استفاده از دیود زنر در مدار فیدبک، دامنه ولتاژ خروجی را روی یک مقدار دلخواه تنظیم کرد. شکل روبه رو این مدار را نشان می دهد.

در هر نیم سیکل یکی از دیودهای زنر در حالت شکست و ولتاژ دو سر آن V_Z است و دیود دیگر در بایاس موافق قرار می‌گیرد و ولتاژ دو سر آن $0/V$ است. از این رو ولتاژ خروجی به $(V_Z + 0/V) \pm$ محدود می‌شود. مدارهای مشتق‌گیر و انتگرال‌گیر: مدارهای مشتق‌گیر مدارهایی هستند که از شکل موج ورودی مشتق می‌گیرند. به عنوان مثال اگر به ورودی ولتاژ مثلثی داده شود در خروجی آن ولتاژ مربعی که همان مشتق ولتاژ ورودی است ظاهر می‌شود. در شکل زیر شکل موج ورودی و خروجی مدار مشتق‌گیر رسم شده است.

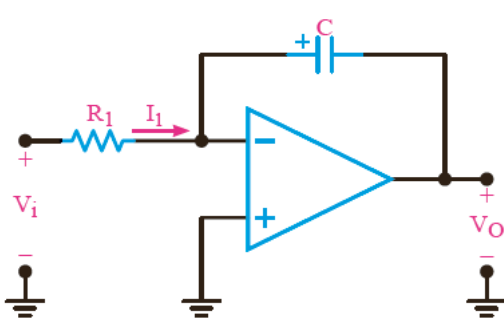


مدار مشتق‌گیر

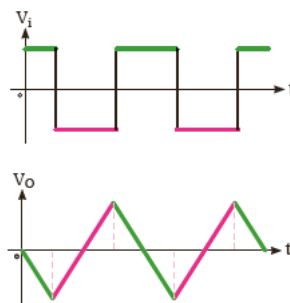


موج ورودی و خروجی مدار مشتق‌گیر

عکس عمل مشتق‌گیری را انتگرال‌گیری می‌نامند. عمل انتگرال‌گیری را می‌توانیم توسط مدارهای الکترونیکی انجام دهیم. شکل زیر مدار انتگرال‌گیر را با شکل موج ورودی و خروجی آن نشان می‌دهد.



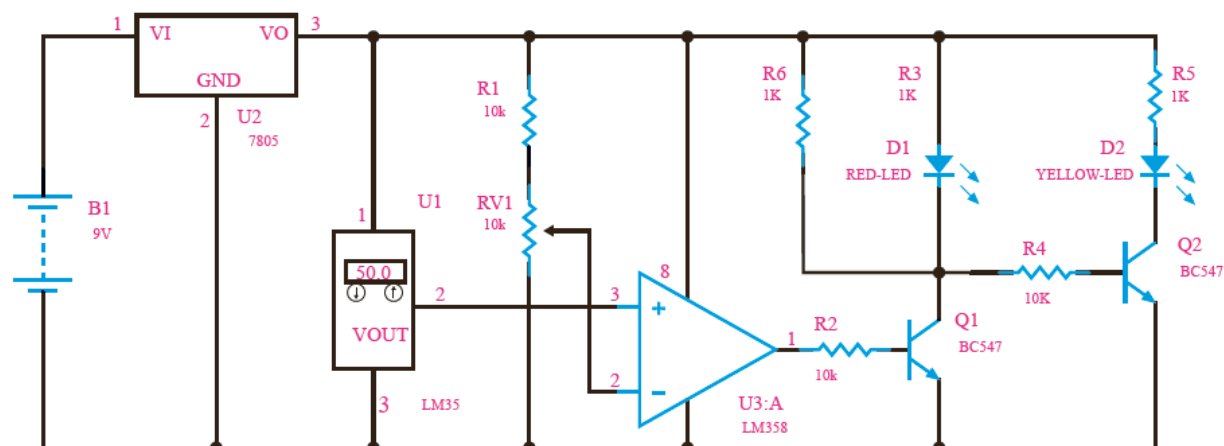
مدار انتگرال‌گیر



موج ورودی و خروجی مدار انتگرال‌گیر

در این مدار قصد داریم به کنترل LEDها با توجه به درجه حرارت محیط اطراف بپردازیم. در درجه حرارت فراتر از یک سطح خاص (50° درجه در این مدار) LED قرمز رنگ به طور خودکار روشن خواهد شد، در غیر این صورت LED زرد رنگ در دمای کمتر از سطح خاص روشن خواهد شد.

عملکرد مدار: آی سی ۷۸۰۵ برای ارائه منبع تغذیه ۵ ولت در مدار به کار می رود. هنگامی که دما زیر ۵۰ درجه سانتی گراد می باشد LED زرد روشن است و LED قرمز خاموش می شود و خروجی LM۳۵۸ نیز LOW می شود و ترانزیستور Q۱ در حالت خاموش باقی می ماند و ترانزیستور Q۲ در حالت روشن می باشد. اما هنگامی که دمای محیط بیشتر از ۵۰ درجه شود ولتاژ خروجی LM۳۵ در پین ۳ فراتر از ولتاژ مرجع (ولتاژ در پین ۲) شود خروجی LM۳۵۸ نیز HIGH می گردد. خروجی LM۳۵۸ به بیس ترانزیستور Q۱ متصل است بنابراین Q۱ روشن می شود و LED قرمز رنگ نیز روشن می گردد. در همان زمان بیس ترانزیستور Q۲ به زمین متصل شده و Q۲ و LED زرد رنگ خاموش می شوند.



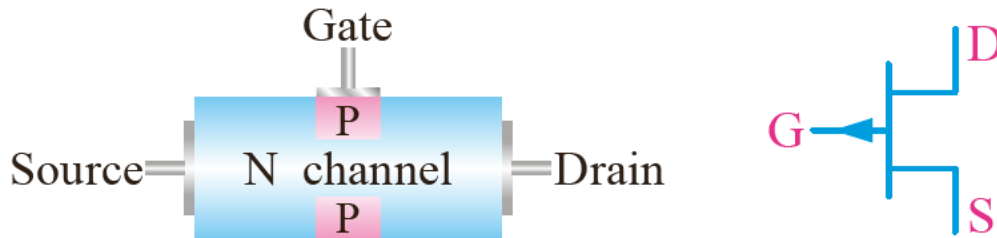
مدار کنترل دمای محیط با آپ امپ و LM35

آشنایی با ترانزیستورهای اثر میدان (FET)

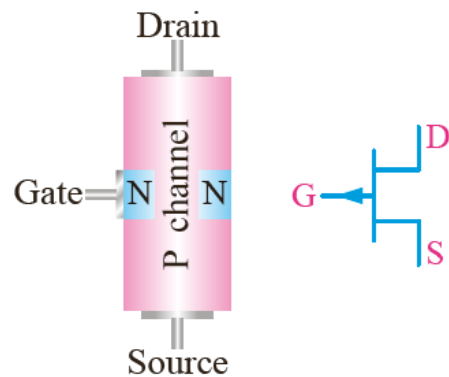
ترانزیستورهای معمولی به دلیل ساختار فیزیکی خاصی که دارند ترانزیستورهای دوپیوندی یا BJT نامیده می شوند و عناصری هستند که جریان را کنترل می کنند به زبانی دیگر جریان بیس ترانزیستور جریان کلکتور را کنترل می کند. مقاومت ورودی ترانزیستورهای BJT نسبتاً کم می باشد مثلاً هنگام اتصال دستگاه های اندازه گیری مانند ولت متر و اسیلوسکوپ به مدار، نباید از مدار مورد اندازه گیری جریان زیادی گرفته شود. از این رو لازم است این دستگاه ها مقاومت ورودی زیادی داشته باشند. بنابراین در این گونه مدارها، ترانزیستورهای BJT کارایی لازم را ندارند. ساختمان داخلی ترانزیستورهای اثر میدان در مقایسه با ترانزیستورهای BJT ساده تر است و مقاومت ورودی بسیار زیاد دارند. ترانزیستورهای اثر میدان با ولتاژ کنترل می شوند و در ساختمان داخلی آنها فقط دو نوع نیمه هادی به کار می رود، به همین علت این ترانزیستورها را تک پیوندی (unijunction Transistor) گویند. ترانزیستورهای اثر میدان را در دو نوع متفاوت JFET و MOSFET می سازند.

ساختمان داخلی و نماد ترانزیستورهای FET

ترانزیستور **JFET**: اگر در یک نیمه‌هادی نوع N مانند شکل زیر یک نیمه‌هادی نوع P نفوذ دهند یک ترانزیستور JFET با کانال N تشکیل می‌شود در این حالت ناحیه N را کانال و نیمه‌هادی نوع P را دروازه یا گیت (Gate) می‌نامند. شکل زیر ساختمان JFET با کانال N، پایه‌ها و علامت اختصاری آن را نشان می‌دهد.



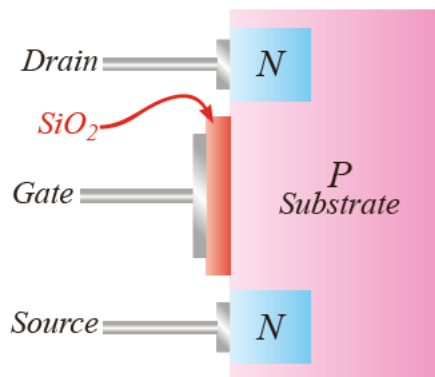
ساختمان و علامت اختصاری JFET با کانال N



ساختمان و علامت اختصاری JFET با کانال P

به طریق مشابه در شکل زیر ساختمان JFET با کانال P، پایه‌ها و علامت اختصاری آن را مشاهده می‌کنید. ترانزیستور **MOSFET**: چون در ترانزیستور JFET

جریان نشتی پیوند گیت سورس با افزایش دمای محیط افزایش می‌یابد، ترانزیستور نسبت به حرارت تا حدودی ناپایدار است و مقاومت ورودی آن در اثر گرما به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. برای افزایش این مقاومت، می‌توان

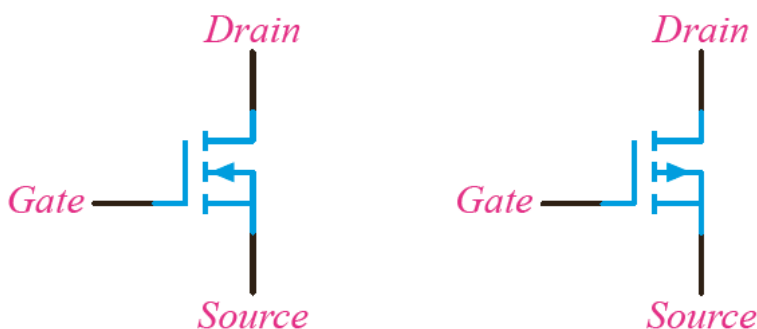


ساختمان و علامت اختصاری MOSFET با کانال N

از ترانزیستور اثر میدان با گیت عایق شده استفاده کرد. در این ترانزیستور، گیت با لایه اکسید سیلیکون از کانال جدا می‌شود و هیچ جریانی از گیت عبور نمی‌کند. لذا مقاومت ورودی آن فوق‌العاده افزایش می‌یابد. این ترانزیستور را MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET) می‌نامند. شکل روبه‌رو ساختمان MOSFET با کانال N را نشان می‌دهد.

علامت اختصاری هر دو نوع MOSFET در شکل زیر رسم

شده است

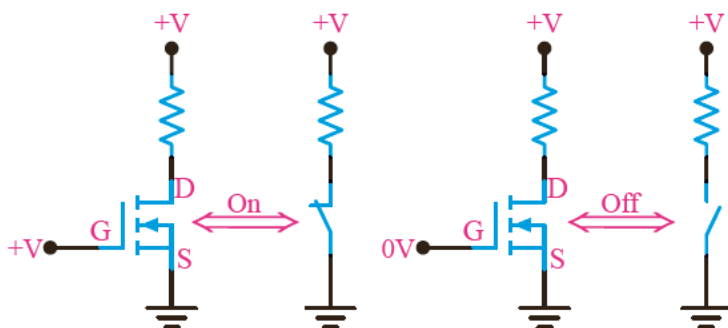


علامت اختصاری MOSFET با کانال P و N

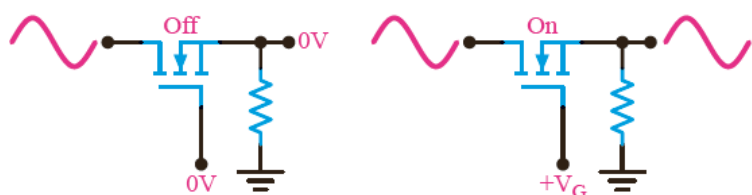
در صورتی که گیت - سورس را طوری بایاس کنیم که پتانسیل گیت مثبت تر از سورس باشد، آنگاه جریان درین برقرار می شود و ترانزیستور روشن می شود. حداقل ولتاژی را که لازم است بین گیت - سورس اعمال شود تا جریان درین برقرار گردد، ولتاژ آستانه $V_{GS(th)}$ می گویند. مقدار این ولتاژ در حدود ۲ ولت است. البته در تکنولوژی های جدید این ولتاژ کاهش یافته است. MOSFET ها به دلیل کوچک بودن اندازه و ساده تر بودن ساخت آن، در تولید مدارهای مجتمع (IC) کاربرد بیشتری دارد.

عملکرد MOSFET به عنوان کلید

اگر ولتاژ گیت سورس کمتر از ولتاژ آستانه $V_{GS(th)}$ باشد MOSFET قطع است و به صورت کلید باز عمل می کند و هنگامی که ولتاژ گیت سورس بیشتر از ولتاژ آستانه می شود، به صورت کلید بسته عمل می کند لذا با تغییر ولتاژ می توان به MOSFET به عنوان کلید فرمان داد. شکل زیر MOSFET با کانال N و معادل کلیدی آن را نشان می دهد.

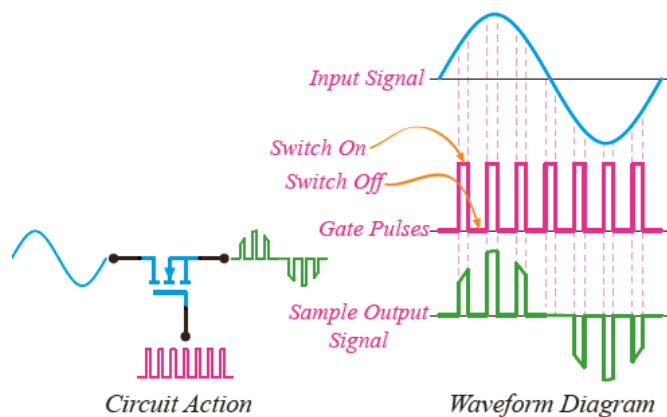


MOSFET به عنوان کلید



شکل روبه رو یک نمونه کاربرد سوئیچ در انتقال سیگنالی آنالوگ به خروجی را نشان می دهد.

یک نمونه کاربرد سوئیچ در انتقال سیگنال آنالوگ

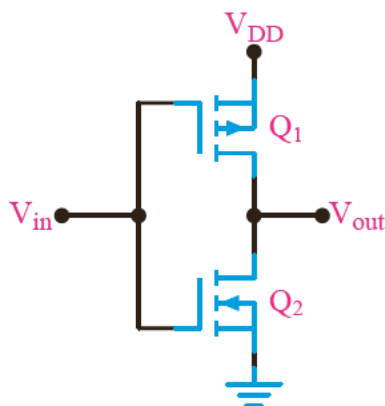


کاربرد سوئیچ آنالوگ در مدار ADC

یکی از کاربردهای سوئیچ‌های آنالوگ استفاده از آنها برای تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال است. این عمل در مدار مبدل آنالوگ به دیجیتال (ADC) انجام می‌گیرد. شکل روبه‌رو لحظات وصل سوئیچ و سیگنال نمونه‌برداری شده در خروجی سوئیچ را نشان می‌دهد.

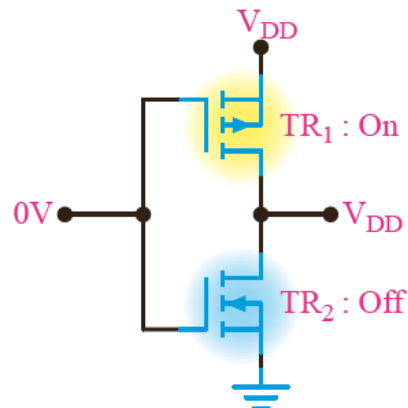
استفاده از MOSFET در مدارات مجتمع (IC)

مدار مجتمع یا آی‌سی به مجموعه‌ای از مدارات الکترونیکی اطلاق می‌گردد که با استفاده از مواد نیمه‌رسانا در ابعادی کوچک (معمولاً کمتر از یک سانتی‌متر مربع) ساخته می‌شود. مدارات الکتریکی عموماً شامل المان‌های مداری مقاومت، خازن، سلف و ترانزیستور می‌باشد. با توجه به اینکه فرایند ساخت ترانزیستور در تکنولوژی‌های مدارات مجتمع راحت‌تر از المان‌های مقاومت، خازن، سلف است، طراحان ترجیح می‌دهند این المان‌ها را توسط ترانزیستورها پیاده‌سازی کنند و تا حد ممکن تمامی المان‌های مدارات الکترونیکی را به ترانزیستور تبدیل نمایند. مدارهای مجتمع بر پایه فناوری ترانزیستورهای اثر میدان MOSFET را می‌توان بسیار ریزتر



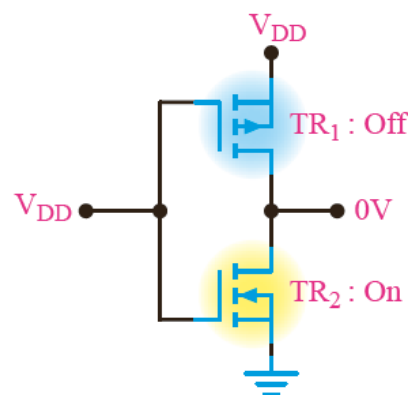
مدار داخلی گیت NOT

و ساده‌تر از مدارهای مجتمع بر پایه ترانزیستورهای دوقطبی BJT ساخت، همین ویژگی، تولید انبوه آنها را آسان می‌کند، چندان که هم اکنون بیشتر از ۸۵ درصد مدارهای مجتمع، بر پایه فناوری MOSFET طراحی و ساخته می‌شوند. به‌طور مثال یکی از کاربردهای ترانزیستور MOSFET در مدارهای مجتمع استفاده از آنها در دروازه‌های منطقی یا گیت‌های منطقی می‌باشد به‌گونه‌ای که امکان ساخت گیت‌های NOT – OR – AND... را فراهم می‌آورد. مدار روبه‌رو که از سری کردن دو نوع MOSFET با کانال P و N تشکیل شده است مدار داخلی گیت NOT می‌باشد.



وصل TR_1 و قطع TR_2

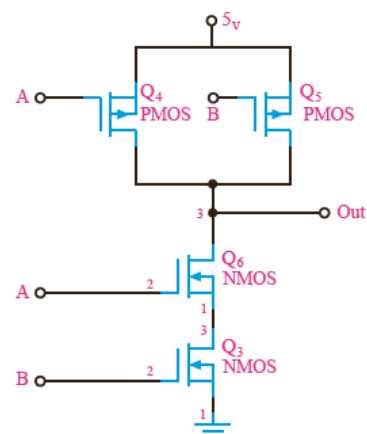
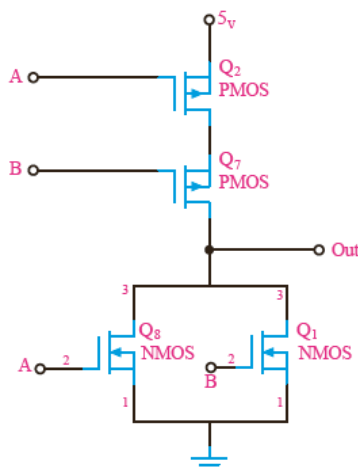
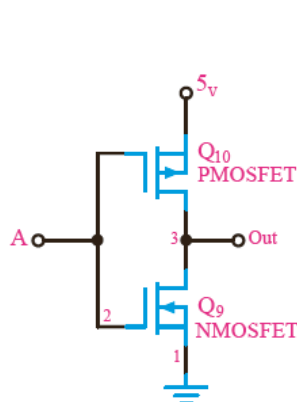
وقتی مانند شکل زیر $V_{in} = 0$ است، TR_1 وصل و TR_2 قطع و مانند کلیدی باز عمل می کند و خروجی تقریباً برابر V_{DD} است.



قطع TR_1 و وصل TR_2

وقتی به V_{in} ولتاژ V_{DD} بدهیم TR_1 قطع و مانند کلید باز عمل می کند و TR_2 وصل و مانند کلید بسته عمل می کند و خروجی زمین شده و صفر ولت را نشان می دهد.

در شکل زیر مدار داخلی گیت های NOT , NOR , NAND و جدول صحت آنها را مشاهده می کنید. توجه داشته باشید که A و B ورودی های منطقی هستند همچنین ترانزیستورهای NMOS با یک منطقی و PMOS با صفر منطقی وصل می شود.



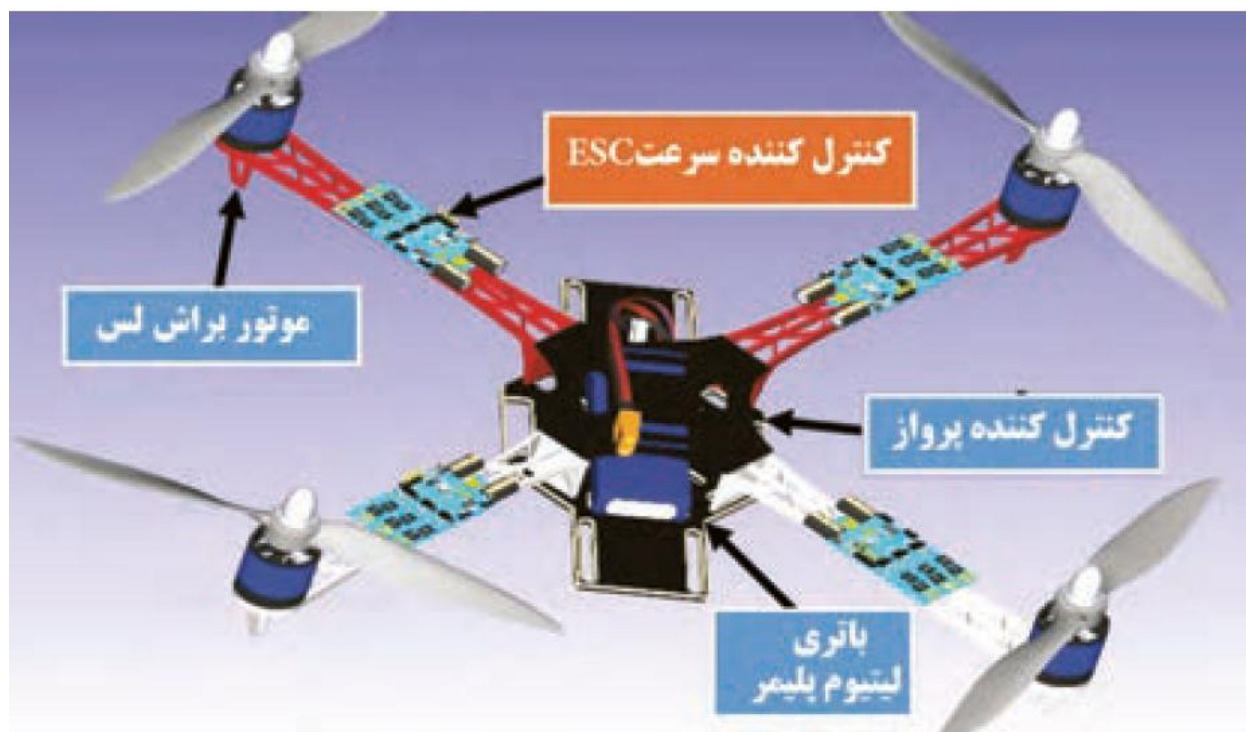
NOT	
A	Out
0	1
1	0

NOR		
A	B	Out
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

NAND		
A	B	Out
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

مدار داخلی دروازه‌های منطقی

کوادکوپتر از چهار موتور که چهار پروانه ثابت بر آن سوار شده تشکیل یافته و هر جفت پروانه در خلاف جهت هم حرکت می‌کنند و ریزکنترل‌گر آن جهت چرخش را به وسیله کنترل زمین تنظیم می‌کند. با کم و زیاد کردن سرعت چرخش پروانه‌ها، گشتاور نیرو تغییر کرده و حرکت و یا فرود و اوج آن کنترل می‌گردد. کوادکوپتر کاربردهای گسترده‌ای در زمینه تصویر برداری هوایی، نقشه‌برداری، جاسوسی، تفریحی و ... دارد.



ساختار کلی یک کوادکوپتر

تجهیزات الکترونیکی مورد استفاده در کوادکوپتر

موتور براشلس: موتورهای براشلس هم با همان اصل مورد استفاده در موتورهای معمولی کار می‌کنند، با این تفاوت که در این موتورها، سیم پیچ ثابت بوده و آهنرباها می‌چرخند. از آنجایی که سیم پیچ در این موتورها ساکن است، نیازی به برس‌ها نیست. کار تقسیم ولتاژ بین سیم‌پیچ‌ها را کنترل‌کننده سرعت موتور (ESC) electronic speed control انجام می‌دهد. سریع‌ترین راه برای تشخیص اینکه یک موتور براشلس است یا معمولی این است که به سیم‌های آن نگاه کنید. موتورهای معمولی دو تا سیم دارند در حالی که موتورهای براشلس دارای سه سیم هستند. سیم وسط فیدبک نام دارد و تغییر جای دو سیم دیگر باعث خواهد

شد که جهت چرخش موتور برعکس شود.

مزایای موتورهای براشلس:

- ۱ از آنجایی که برس وجود ندارد، خوردگی آن هم در این موتورها وجود ندارد.
- ۲ اصطکاک برس برای گرفتن سرعت موتور وجود ندارد.
- ۳ به همین علت، مدت زمان کارکرد موتور با یک باتری در این موتورها بالاتر است.
- ۴ نسبت توان به وزن بسیار بالاتری دارند.

دو نوع موتور براشلس برای مدل های رادیو کنترل وجود دارد. Inrunner و Outrunner. در نوع Inrunner آهنرباهای دائمی در قسمت داخلی سیم پیچ ها قرار داده شده اند. در نوع Outrunner، آهنرباهای دائمی در قسمت بیرونی قرار گرفته اند. همان طور که در عکس می توانید ببینید، کاسه بیرونی موتور که محور موتور به آن متصل است، آهنرباهای دائمی را بر روی خود نصب دارد.

مقایسه این دو نوع موتور



موتور براشلس

موتور براشلس Outrunner

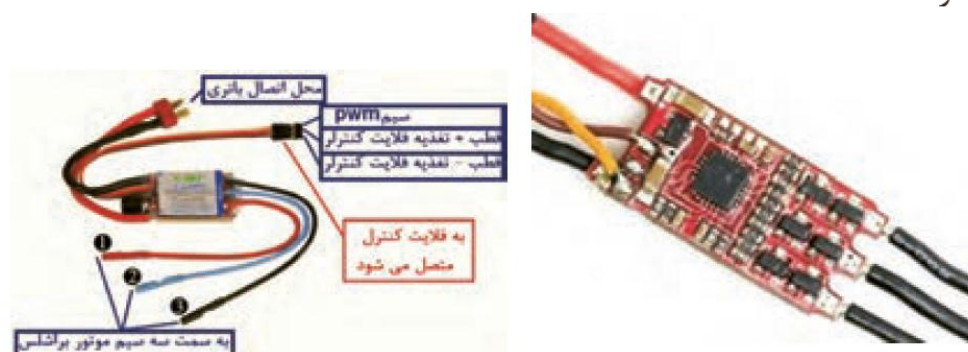
Inrunner: دور بالا، گشتاور پایین، راندمان بالاتر، نیاز به گیربکس دارند، قابلیت استفاده از انواع ملخ، سر و صدای زیاد

Outrunner: دور پایین، گشتاور بالا، راندمان پایین تر، عدم نیاز به گیربکس، محدودیت در انتخاب ملخ، تقریباً بی صدا

ثابت ولتاژ: یا Kv عبارت است از تعداد دوری که موتور به ازای هر ولت می زند. از آنجایی که هیچ موتوری با راندمان ۱۰۰ درصد نیست، معمولاً مقدار واقعی کمی کمتر از این خواهد بود. به عنوان مثال اگر شما ولتاژ ۱۰ ولت به یک موتور با Kv برابر با ۱۲۰۰ وارد نمایید، این موتور با دور $1200 \times 10 = 12000$ دور در دقیقه خواهد چرخید.

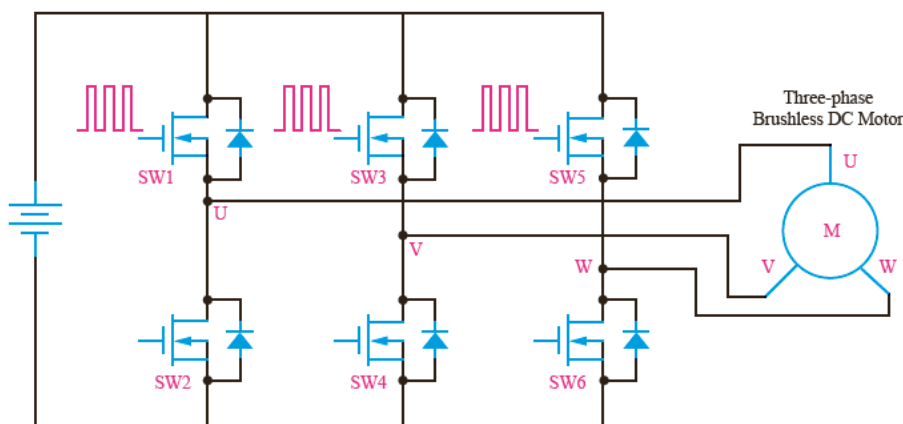
ثابت گشتاور: ثابت گشتاور را K_t می نامند. برای همه موتورهای، $K_t = 1355/K_v$. با این وصف، هرچه دور یک موتور در یک ولتاژ مشخص بالاتر باشد، گشتاور آن پایین تر خواهد بود. به طور کلی، موتورهای Outrunner دارای K_v پایین تر هستند که باعث ایجاد گشتاور بالاتر و توانایی چرخاندن ملخ های بزرگ تر در آنها می شود. عکس این موضوع هم در مورد موتورهای Inrunner صادق است.

کنترل کننده سرعت (ESC): یکی از پرکاربردترین وسایل در انجام انواع پروژه های هوافضا سیستم کنترل سرعت (ESC) می باشد. این سیستم که در هواپیماهای مدل پروازی، هلیکوپترها، هاورکرافت، قایق و... که برای سرگرمی و به صورت پروژه خانگی ساخته می شوند، کاربرد دارد ESC از گیرنده رادیو کنترل پالس ها را دریافت می کند و با توجه به کد مربوطه میزان جریان خروجی که به موتور می رود و در نهایت دور موتور (RPM) را کنترل می کند. اسپید کنترل بر حسب اندازه و طول پالس ها کار می کند و به همین دلیل در شکل آن را (PWM) می نامند، که مخفف Pulse Width Modulation به معنای مدولاسیون پهنای باندهاست. کافی است تا باتری به ESC وصل شود و آن نیز به گیرنده متصل گردد. باید گفت که انتخاب ESC مناسب به میزان جریانی که موتور شما می کشد، وزن حداقلی و بودجه شما بستگی دارد.



کنترل کننده سرعت (ESC)

موتور برشلس یک موتور سه فاز است که ولتاژ مورد نیاز توسط مدار ESC تأمین می شود. در شکل زیر مدار داخلی ESC را مشاهده می کنید. پالس اعمالی به گیت ترانزیستورها پالس PWM است که با تغییر پهنای پالس (دیوتی سایکل) می توانیم سرعت موتور را کنترل کنیم.



مدار کنترل کننده سرعت (ESC)

کنترل کننده پرواز (Flight Controller): یک کوادکوپتر ساده می‌تواند به سادگی تعادل خود را حفظ کند، در یک نقطه ثابت بماند و در چندین جهت مختلف حرکت کند، برای کنترل یک کوادکوپتر به یک مدارکنترل کننده نیاز خواهیم داشت که عملیات هماهنگی چهار موتور کوادکوپتر را به جهت فراهم آوردن عملکرد مورد نیاز کنترل کننده انجام دهد. این مدار را کنترل کننده پرواز (Flight Controller) گویند. در یک کوادکوپتر شما به طور مستقیم توانایی کم یا زیاد کردن سرعت یکی از موتورها را نخواهید داشت! شما



کنترل کننده پرواز (Flight Controller)

فقط عملیات مورد نظرتان را کنترل می‌کنید و به وسیله ریموت کنترل عملیات مورد نظرتان را به فلایت کنترل اطلاع می‌دهید و فلایت کنترل بر اساس دستور دریافتی از خلبان، عملیات مورد نظر را انجام می‌دهد. فلایت کنترل در حقیقت مغز متفکر پرنده شماست. فلایت کنترل‌ها می‌توانند امکانات بسیار جالبی مانند تعیین خودکار ارتفاع، امکان بازگشت به نقطه امن با استفاده از GPS، فرود امن در صورت اتمام باتری و حتی امکان رفت و برگشت خودکار مسیر بر اساس GPS را به کوادکوپتر شما بیفزایند.

باتری‌های لیپو (LiPo): جنس آنها لیتیوم پلیمر بوده و معمولاً در سل‌های با آمپر متفاوت عرضه می‌شوند. از امتیازات این نوع باتری‌ها این است که می‌توان در مدت چند دقیقه چندین آمپر از آنها جریان کشید. و به سرعت شارژشان کرد. باتری از نوع پلیمر لیتیوم دارای وزن کمتری نسبت به مدل‌های دیگر است. اما ویژگی منحصر به فردی که سازندگان گوشی‌های موبایل را به سمت استفاده از این نوع باتری می‌کشاند این است که این باتری‌ها را می‌توان به هر شکل هندسی که در طراحی مورد نیاز باشد درآورد. نگهداری آنها با سایر باتری‌ها کمی متفاوت است زیرا باید آنها را برای نگهداری تا ولتاژ خاصی تخلیه کنید. یعنی ولتاژ هر سل را نباید تا زیر ۳ ولت تخلیه کنید. و بهترین حالت برای زمانی که بخواهید آنها را بیش از دو هفته نگهداری کنید لازم است ولتاژ هر سل را به ۳/۸ ولت برسانید. تا در صورت تخلیه خود به خودی آن ولتاژش از ۳ ولت پایین‌تر نیاید. هیچ قلم دیگری از اقلام مورد استفاده در این سرگرمی، به اندازه باتری‌های قابل شارژ در آن تأثیرگذار نبوده‌اند. به خاطر داشته باشید که در مورد باتری‌ها هرچه اطلاعات بیشتری داشته باشید، بهتر خواهد بود.



باتری‌های لیپو (LiPo)