مکاترونیک و رباتیک

مرتضی هومان فرد
محمد جواد فتوحی

بسمه تعالی

مکاترونیک و رباتیک

با سلام

با رشد روزافزون علم مکاترونیک و رباتیک در عرصه جهانی و به موازات آن ، پیشرفت این علم در داخل کشور و استقبال چشمگیر علاقمندان مستعد ایرانی از این علم ، ضرورت وجود منابع مرجع جهت استفاده علاقمندان روز به روز بیشتر احساس می شود . متاسفانه هنوز آنچنان که شایسته است این منابع در اختیار علاقمندان داخلی قرار نگرفته است .

کتابی که هم اکنون پیش روی شماست ، تلاشی است با هدف ارایه مرجعی عملی به دوستانی که قصد ورود به این عرصه را دارند . در این کتاب هر فصل با ابتدایی ترین مباحث شروع می گردد و تا ایجاد یک دید عملی در خواننده ادامه می یابد . تمامی مباحث عملی این کتاب حاصل تجربیات شخصی مولفین در طول پروژه ها و ربات های مختلف می باشد . فصل اول معرفی مختصری از مسابقات رباتیک انجام می گیرد . در فصل دوم مباحث مکانیکی طراحی ربات ، در فصل سوم مباحثی از الکترونیک پایه ربات و در فصل چهارم نحوه برنامه نویسی ربات ارایه می گردد .

نسخه حاضر ویرایش اولیه این کتاب می باشد و به امید خدا پس از تکمیل به صورت کتاب چاپی در اختیار دوستان قرار خواهد گرفت . این نسخه از کتاب به عنوان مرجع درسی در دوره آموزشی رباتیک در مجتمع آموزشی ربات سازان تدریس شده است .

همچون هر نوشته ای ، این کتاب نیز از عیب و نقص مصون نمی باشد ، لذا از تمامی دوستان خواهشندیم نظرات خود را با ما در میان گذارند .

با تشکر

محمد جواد فتوحی

JFOTUHI@GMAIL.COM

مرتضی هومان فرد

MHOOMAN@GMAIL.COM

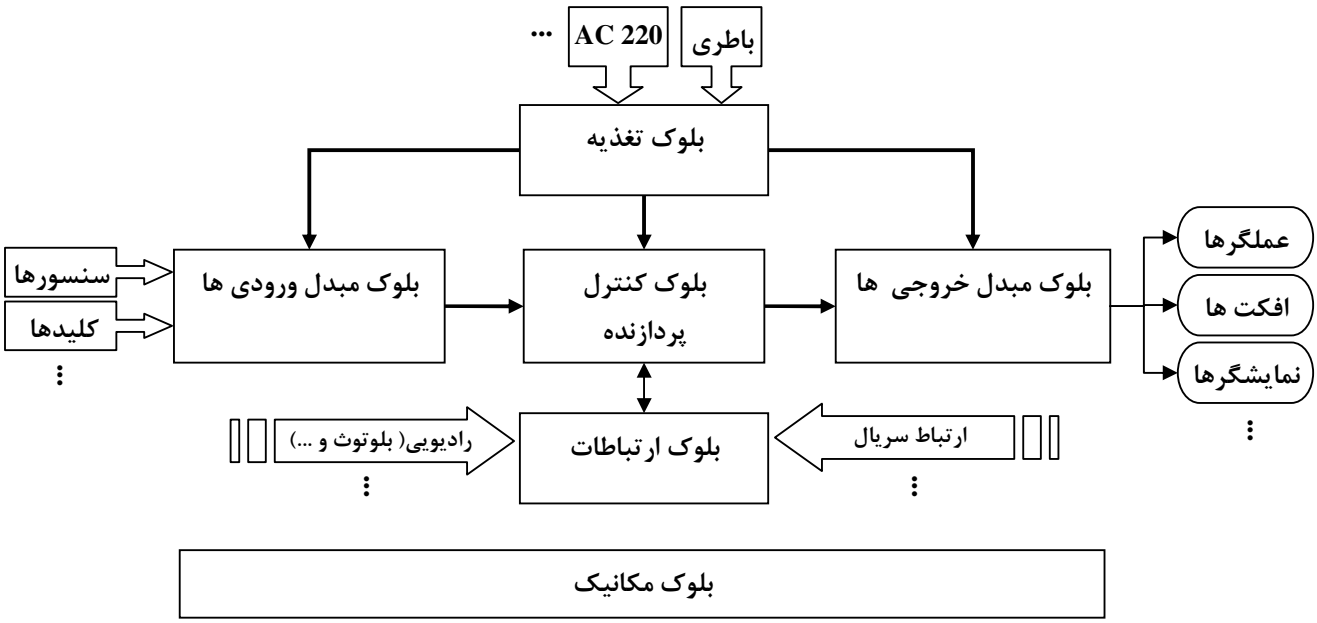
فهرست

عنوان صفحه

مقدمه ۴
فصل اول ، آشنایی با مسابقات رباتیک ۶
فصل دوم ، مکانیک ربات ۱۳
فصل سوم ، الکترونیک ربات..... ۳۲
فصل چهارم ، برنامه نویسی ربات ۸۵

مقدمه

ساختار پروژه های مکاترونیک و رباتیک :



یک پروژه مکاترونیک از بخش های زیر تشکیل شده است :

۱. بلوک ورودی ها
۲. بلوک خروجی ها
۳. بلوک پردازنده و کنترل
۴. بلوک ارتباطات
۵. بلوک مکانیک

بلوک ورودی ها :

این بلوک شامل تمام مدارهای تبدیل کننده ورودی های غیرهم جنس به داده های مشخص و قابل استفاده برای بلوک پردازنده و کنترل می باشد .

بلوک پردازنده و کنترل :

این بلوک شامل پردازنده و مدارهای جانبی می باشد که براساس الگوریتم پردازنده داده های ورودی را پردازش و داده های خروجی را تولید می کند .

بلوک خروجی ها :

این بلوک داده های خروجی بلوک پردازنده را به داده های قابل استفاده برای عملگرها ، نمایشگرها و افکت ها تبدیل و تقویت می کند .

بلوک ارتباطات :

این بلوک شامل مدارهایی جهت ارتباط با سیستم های خارجی است.

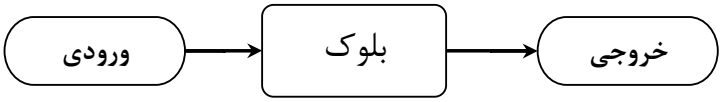
بلوک مکانیک :

این بلوک شامل شاسی ، اجزای مکانیکی ، محرک ها ، اتصالات فیزیکی ، نگهدارنده ها و ... می باشد که بستری برای بلوک های دیگر می باشد .

بلوک تغذیه :

این بلوک ولتاژ و جریان مورد نیاز تمامی بلوک ها را تامین می کند . تغذیه ورودی ربات (برق ، باطری ، منبع تغذیه و ...) مستقیما وارد این بلوک شده و ولتاژ و جریان مناسب هر بلوک را تامین می کند .

در این نوشته سعی شده است که به تمام مباحث مکاترونیک و رباتیک با دیدگاه کنترل نگاه شود . این دیدگاه کار با اجزای مکاترونیک و حل مسایل را ساده می کند . بدین معنا که به هر قطعه و مجموعه به صورت بلوک نگاه کنیم . در مباحث رباتیک و مکاترونیک ما به جزییات و مواد تشکیل دهنده یک بلوک نیاز نداریم و فقط کاربرد آن بلوک اهمیت دارد .



دسته بندی اجزا تشکیل دهنده ربات ها از دیدگاه طراحی :

۱- مکانیک
۲- الکترونیک
۳- برنامه نویسی

فصل اول

آشنایی با مسابقات رباتیک

امروزه علم رباتیک ، مکاترونیک و اتوماسیون در حال نفوذ به تمامی جنبه های زندگی انسان می باشد . هم اکنون مسابقات رباتیک جزو معتبرترین رویدادهای علمی جهان می باشد .

مسابقات ربوکاپ :

مسابقات ربوکاپ یا جام جهانی ربوکاپ یک رویداد بین المللی برای توسعه علوم رباتیک ، هوش مصنوعی و سایر زمینه های مرتبط است . فدراسیون جهانی ربوکاپ در تلاش است جهت توسعه تحقیقات هوش مصنوعی و ربات های هوشمند تمامی فن آوری های پیشرفته را به مشارکت و آزمون فرا خواند .

ربوکاپ بازی فوتبال را با هدف ایجاد نوآوری هایی برای حل مسائل اجتماعی صنعتی به عنوان محور اصلی فعالیت های خود انتخاب نموده است . در این راستا هدف نهایی تشکیل یک تیم کاملا هوشمند از ربات های انسان نماست که بتوانند در سال ۲۰۵۰ در برابر تیم منتخب فیفا به پیروزی دست یابند . جهت دستیابی به این هدف فناوری های گوناگونی از جمله طراحی عامل های خودکار ، همکاری چند عامله ، سیستم های بلادرنگ و حسگرهای ربات های محلی در محیطی پویا و جنبه های نرم افزاری مد نظر قرار می گیرند . از جمله کاربردهای اصلی فناوری های ربوکاپ جستجو و نجات در زمان وقوع بلایای طبیعی چون زلزله جهت کاهش خسارات جانی می باشد .

مسابقات رباتیک IranOpen به عنوان معتبرترین مسابقه رباتیک داخلی ، هر ساله فروردین ماه با حضور صد ها تیم داخلی و خارجی به میزبانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین برگزار می گردد . بعد از IranOpen مسابقات رباتیک موشهای هوشمند قرار دارد که توسط سازمان علمی مهندسی برق کشور برگزار می گردد و تا کنون ۶ دوره از آن برگزار گردیده است . مسابقات آزاد دیگری نیز توسط سایر واحدهای دانشگاهی و موسسات علمی برگزار می گردد .

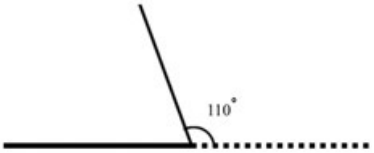
عمده ترین رشته های رباتیک برگزار شده در این مسابقات عبارتند از :

۱. ربات های انسان نما	HumanOid
۲. ربات های فوتبالیست سایز کوچک	Small Size
۳. ربات های فوتبالیست سایز متوسط	Middle Size
۴. ربات های امدادگرواقعی	Rescue Real
۵. ربات های خانگی	@Home
۶. ربات های نمایشی	Demo
۷. ربات های مین یاب	Deminer
۸. فوتبال دانش آموزی ۱ به ۱	Junior Soccer 1 on 1
۹. فوتبال دانش آموزی ۲ به ۲	Junior Soccer 1 on 1
۱۰. ربات های جنگجو	
۱۱. تعقیب خط عادی ، ویژه و مغناطیسی	

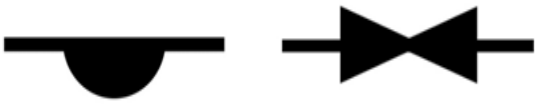
۱ . رشته تعقیب خط Line Follower , Path Finder , Tracer

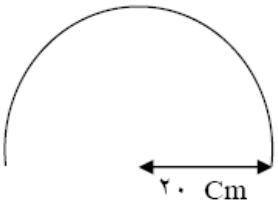
رشته تعقیب خط به سه شاخه تعقیب خط معمولی ، تعقیب خط ویژه و تعقیب خط مغناطیسی تقسیم می گردد که در ادامه به معرفی این سه شاخه می پردازیم .

تعقیب خط معمولی : در این رشته هدف تعقیب خط سیاه در زمینه سفید و یا خط سفید در زمینه سیاه می باشد . پهنای خط ۱.۸ سانتیمتر معدل پهنای چسب برق می باشد .
این مسابقه در دومرحله برگزار می گردد . در مرحله اول مسیر شامل بریدگی ، نقطه چین ، تغییر پهنا ، شکستگی با زوایای مختلف ، پیچ با شعاع مختلف می باشد و ربات باید توانایی تعقیب چنین مسیری را داشته باشد .

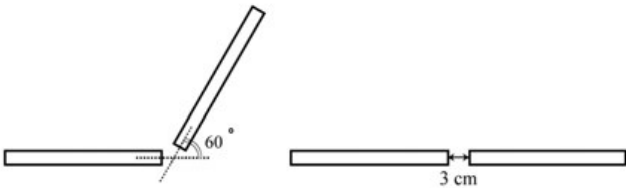


شکستگی با زاویه ۱۱۰ درجه


تغییر پهنا



پیچ با شعاع 20cm

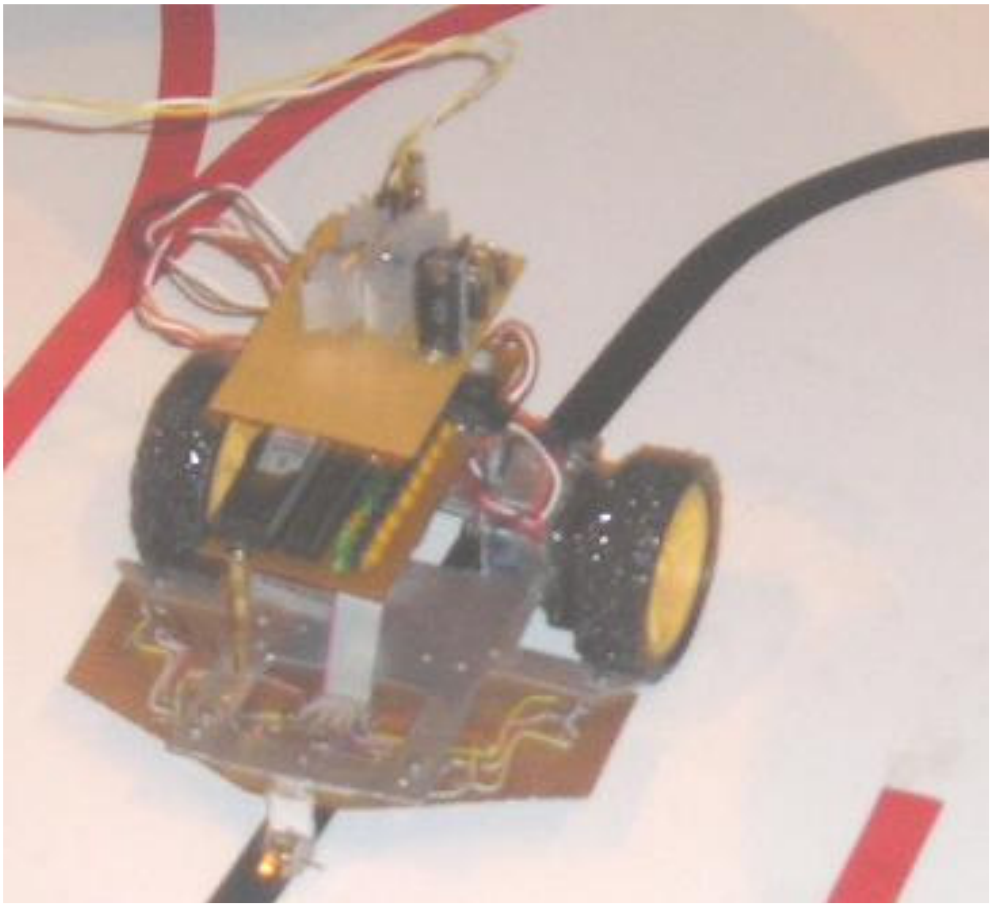


بریدگی

در مرحله دوم علاوه بر موارد فوق ، تغییر رنگ و لوپ نیز به مسیر اضافه می گردد .

تغییر رنگ

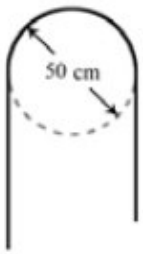
لوپ



تعقیب خط مغناطیسی :

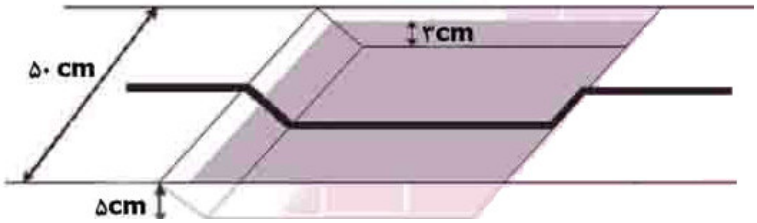
در این رشته هدف تعقیب میدان مغناطیسی حاصل از سیم حامل جریان متناوب به مقدار $۲/۵ \pm ۰/۵$ (A) می باشد . فرکانس جریان متناوب ، فرکانس برق شهر **50HZ** بوده و قطر سیم حامل جریان ، نمره **2.5mm** می باشد . سیم در زیر پیست تعبیه شده و غیر قابل مشاهده می باشد .

نوع مسیر در تعقیب خط مغناطیسی بسیار ساده تر از تعقیب خط معمولی می باشد . در تعقیب خط مغناطیسی تنها المان موجود در مسیر ، پیچ هایی به شعاع چرخش حداقل **25cm** و زاویه چرخش حداکثر ۱۸۰ درجه می باشد .

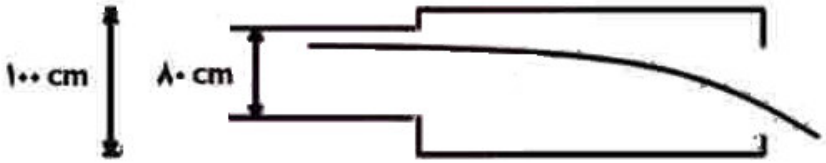


تعقیب خط ویژه :

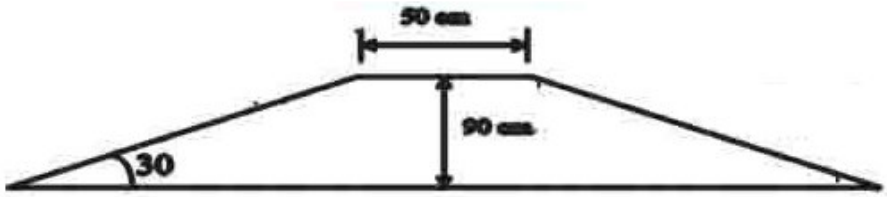
این شاخه از رشته تعقیب خط شامل دو مسیر جنگل و کوهستان می باشد که ربات ها باید ایـن دو مسـیر را طی کنند . مسیر جنگل شامل رودخانه و تونل می باشد . عرض رودخانه ۵۰ سانتیمتر بوده و عمق آن حداکثر ۵ سانتیمتر می باشد . ارتفاع آب رودخانه از کف آن حداکثر ۳ سانتیمتر می باشد .

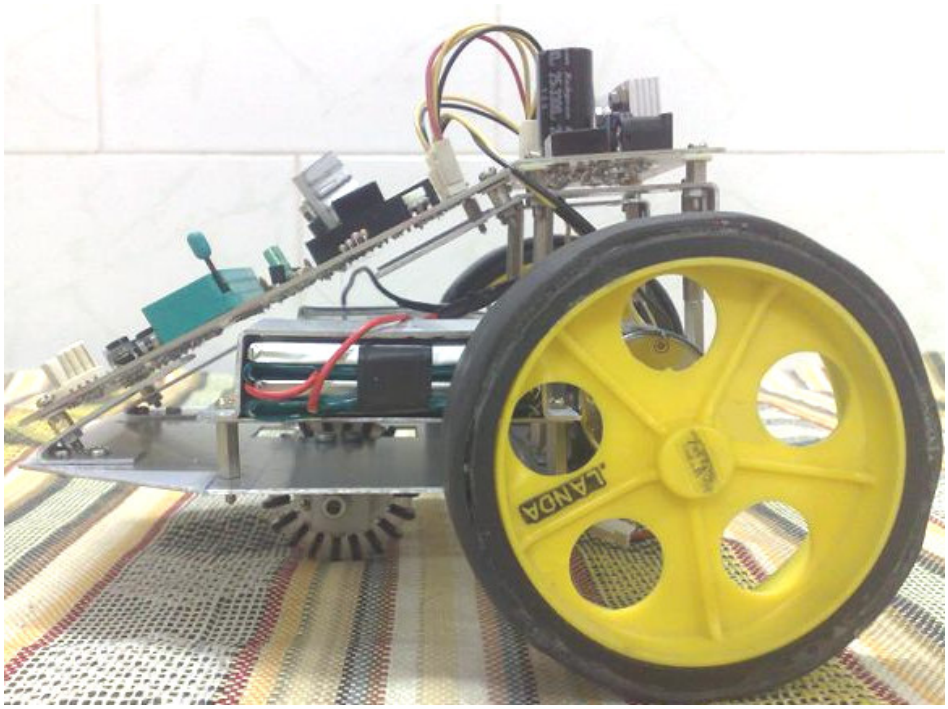


طول تونل بین ۱۶۰-۲۰۰ سانتیمتر و در طی آن احتمال پیچ وجـود دارد . عـرض دهانـه تونـل بـین ۸۰-۱۰۰ سانتیمتر متغیر بوده و اذتفاع آن بین ۴۰-۶۰ سانتیمتر می باشد کـه عـرض داخـل تونـل نیـز بـین۸۰-۱۰۰ سانتیمتر متغیر است . در بدنه بالایی تونل شکافی جهت عبور سیم منبع تغذیه تعبیه شده است .



مسیر کوهستان شامل شیب به سمت بالا با زاویه حداکثر ۳۰ درجه و سپس مسیر مستقیم به طول حداقل ۵۰ سانتیمتر و شیب به سمت پایین می باشد .





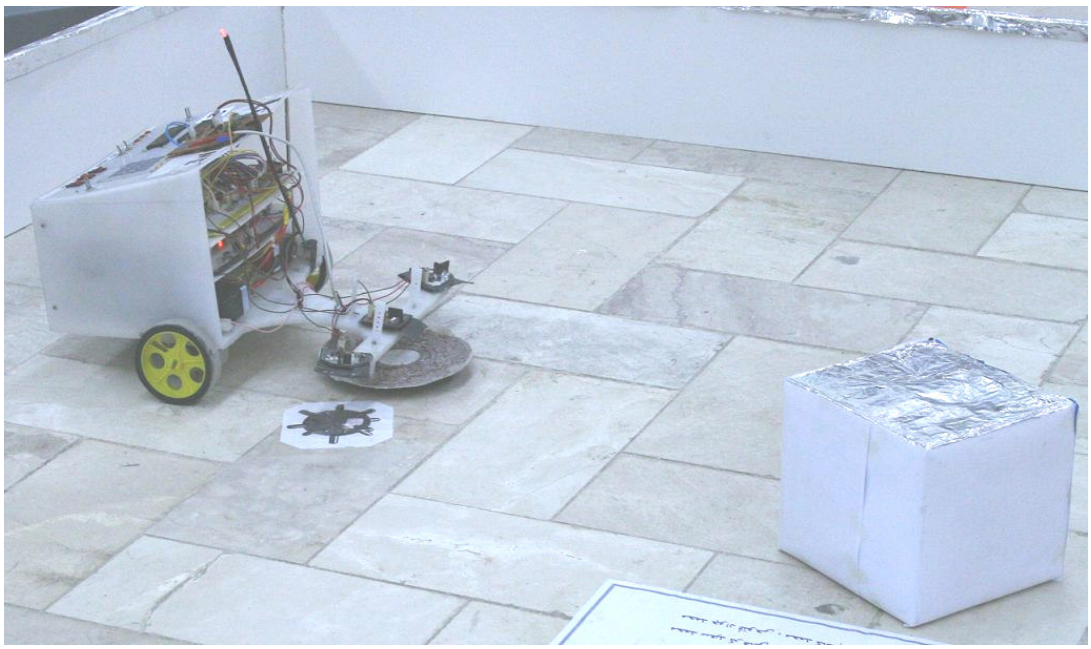
مین یاب خود کار :

هدف این رشته کشف و اعلام مختصات مین هایی است که در عمق ۶ الی ۷ سانتی متری قرار دارند . در این رشته ربات باید بتواند در یک زمین ۳*۳ یا ۵*۵ متر به جستجو بپردازد و مین ها را کشف کند , دور تا دور زمین توسط دیواره ای به رنگ سفید و به ارتفاع ۵۰ سانتی متر محصور شده است . محدوده مین گذاری شده از هر طرف ۵۰ سانتی متر با دیواره ها فاصله دارد.

محدوده مین گذاری شده با خطوط فرضی به مربع عای فرضی به ابعاد ۵۰ سانتیمتر تقسیم شده است که مین ها در وسط این مربع های فرضی قرار دارند .

مین ها به شکل استوانه و در دو جنس فلزی و پلاستیکی می باشند . مین های فلزی تو خالی از جنس قوطی کنسرو و در همان ابعاد می باشد . مین های پلاستیکی نیز در همان ابعاد از جنس پلاستیک فشرده می باشد که یک قرص آهنی به ارتفاع **2mm** و شعاع **15mm** بر روی آن قرار دارد . در چهار گوشه های زمین استوانه های رنگی قرار دارد که ربات ها با استفاده از این استوانه ها و الگوریتم های پردازش تصویر مختصات خود و مین را کشف می کنند .

بهترین ربات در این رشته رباتی است که با بهترین الگوریتم در کمترین زمان بیشترین مین را کشف نماید .



مین یاب کنترل از راه دور :

در این رشته هدف حرکت در زمین های ناهموار و کشف مین های دفن شده در عمق ۵-۱۵ سانتیمتری زمین می باشد . در این رشته ربات توسط اپراتوری که در فاصله ۲۰ الی ۳۰ متری پیست قرار دارد کنترل می گردد . اپراتور هیچ دید مستقیمی بر روی جزییات زمین ندارد .

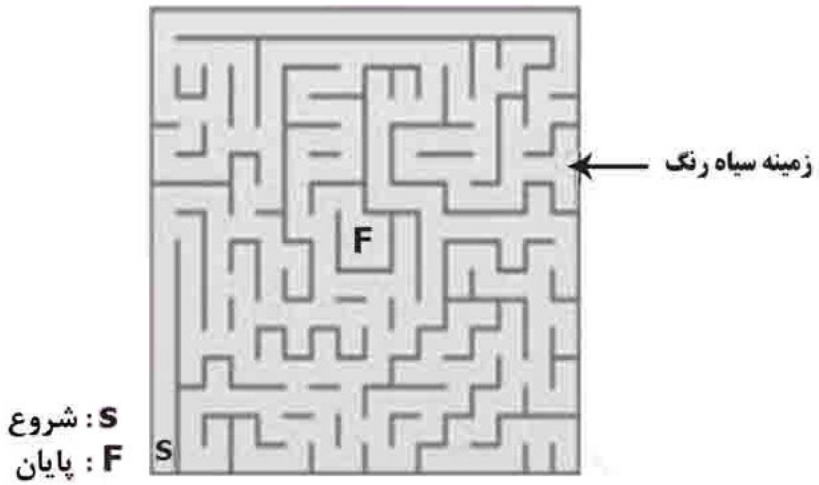
ابعاد تقریبی زمین ۶ در ۸ متر می باشد و دارای شیب هایی به زاویه ۳۵ درجه به صورت تپه هایی به عمق ۷۵ سانتیمتر و دره هایی به عمق ۷۵ سانتیمتر می باشد . همچنین ممکن است حوضچه های آب به عمق ۱۵ سانتیمتر در زمین وجود دارد .

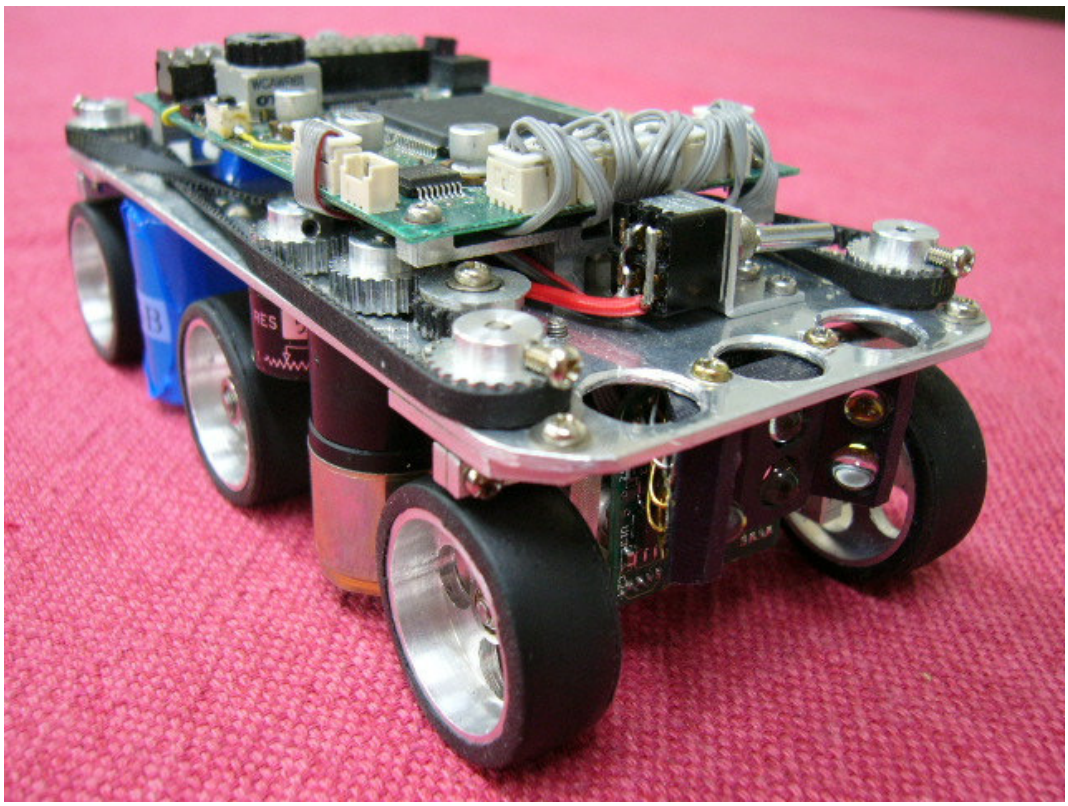
میکروماوس :

هدف رشته میکروماوس عبور از مسیرهای پرپیچ و خم و رسیدن به مرکز زمین در کوتاه ترین زمان ممکن می باشد . پیست میکروماوس شامل مسیرهای پر پیچ و خمی می باشد که توسط دیواره های سفید رنگ به ارتفاع ۵ سانتیمتر و ضخامت ۱.۶ سانتیمتر ایجاد شده است . زمین میکروماوس مشکی رنگ می باشد و به ۱۶*۱۶ خانه ۱۸*۱۸ سانتیمتری تقسیم شده است . خانه مقصد در مرکز زمین قرار دارد بطوری که در مرکز پیست چهار خانه بدون دیوار به یکدیگر متصل شده اند .

هر ربات ۱۰ دقیقه مهلت دارد تا از یکی از گوشه های زمین شروع کرده و با عبور از مارپیچ ها به مرکز زمین برسد . در صورتی که ربات زودتر از ۱۰ دقیقه به مرکز زمین برسد می تواند دوباره از خانه مرکز شروع به پیمایش مارپیچ ها کرده و با کشف مسیرهای کوتاهتر زمان خود را کاهش دهد .

در این رشته رقابت بر سر بهترین الگوریتم ها می باشد .





جنگجو :

هدف از این رشته ساخت رباتی با بهترین وسیله دفاعی و ضربه ای جهت ضربه زدن و نابود کردن ربات حریف است.

در این ربات از وسایل ضربه ای و دفاعی مختلفی استفاده می شود از جمله چکش , اره , پتک , ... استفاده از شعله ، اسلحه پرتابی و مایعات در مسابقات جنگجو ممنوع می باشد .

ربات باید بیشترین استحکام را داشته باشد تا بتواند در مقابل ضربه های ربات حریف در امان بماند .

در این رشته ربات ها در در زمینی محافظت شده به رقابت می پردازند , زمین از بیرون دید کامل دارد , هر ربات یک اپراتور دارد که از بیرون زمین ربات را کنترل می کند .

زمین شامل چاله ,آتش ,اره های برنده و ... است که می توانند به ربات ها ضربه وارد کنند . سیستم ارتباطی ربات باید به گونه ای طراحی گردد تا نویزهای محیطی و سیگنال های ارسالی سایرربات ها تاثیری بر روی عملکرد آن نداشته باشد .

فصل دوم

مکانیک ربات

هر رباتی به بستری جهت موجودیت یافتن نیاز دارد که این بستر همان مکانیک است. مکانیک ربات شامل شاسی , موتور ها ,چرخ ها, بست ها و .. می باشد .

مهمترین مسئله در هر پروژه رباتیک طراحی آن می باشد. طراح با دقت و معلومات کامل تمام جوانب را در نظر می گیرد و بهتربن ایده را ارائه می کند .

بدنه (شاسی):

بدنه وظیفه نگهداری تمام اجزا روبات را به عهده دارد , طراحی و ساخت بدنه بستگی بـه وزن و حجـم اجـزا دارند. بدنه می تواند از جنس الومینیم , چوب , طلق و ... باشد اگر جنس بدنه و قسمتی که مـدارهای روبـات آنجا سوار می شود از جنس فلزی باشد بهتر از یک طلق جهت جدا سازی مدار و بدنه استفاده شـود و یـا بـا استفاده از اسپیسر بین مدار و بدنه ربات فاصله ایجاد می کنیم .

بهتر است از موادی شروع کنیم که بدنه و اجزای ربات از آن ساخته می شود.

چوب:

چوب یک ماده بسیار خوب در طراحی رباتهاست . چوب به راحتی بریده شده ، سوراخکاری و چسـب کـاری می شود . ایجاد تغییرات در چوب به ابزارهای خاصی نیاز ندارد و با استفاده از ابزارهای روزمره به آسانی مـی توان قطعات را ساخت و در صورت خراب شدن ، قطعات جدید را جایگزین کـرد . در بسـیاری از مـوارد مـی توانقطعه های آلومینیومی را با چوب شبیه سازی کرد .

پلاستیک :

امروزه صدها نوع از پلاستیک ها در زندگی روزمره ما به کار می روند . اما فقط پلی کربنات ها و آکریلیک هـا در رباتیک متداول هستند .

آکریلیک و پلاستیک پلی کربنات :

آکریلیک و پلاستیک پلی کربنات بسیار سخت، قوی و دارای رنگ های روشن هستند و به صورت ورقه هایی به با ضخامت ۶ ، ۱۲ ، ۲۴ میلیمتر و ... ساخته می شوند .

آکریلیک دارای استحکام کششی بسیار بیشتری در در مقایسه با پلی کربنات است . آکریلیک را مـی تـوان سوراخکاری کرد و اجزای مختلف آن را به هم متصل نمود .

متداول ترین نوع تجاری آکریلیک ، پلکسی گلاس (**Plexiglass**) نامیده می شود . برای بریدن آکریلیک هـا باید از ابرازهای تیز با سرعت برش کم استفاده کرد . زیرا اگر ابزارهای برش کند باشند می توانند باعث خـرد شدن یا کدر شدن سطح آکریلیک شوند .

در مواردی که ضخامت پلکسی گلاس کمتر از ۵ میلیمتر باشد برای برش می توان از کاتر استفاده کـرد . امـا اگر ضخامت پلکسی گلاس بیش از آن باشد ، توصیه می شود از ابزارهـای مخصـوص بـرش و توسـط افـراد متخصص استفاده شود . شکل دیگر آکریلیک ها که در برابر ضربه مقـاوم مـی باشـد ایمـپلکس (**Implex**) نامیده می شود . این نوع برای ماشین کاری مناسب تر می باشد . زیرا خطر شکستن آن در برش بـه مراتـب کمتر است .

پلی کربنات ها دارای مقاومت بسیار زیادی در برابر ضربه هستند و انواعی از آنها به صورت متداول "شیشه ضدگلوله" نامیده می شوند . متداول ترین نوع تجاری پلی کربنات ها "لکسان Lexan " نامیده می شود . پلی کربنات ها دارای قابلیت های بسیار بیشتری برای ماشین کاری هستند .

آکریلیک ها و پلی کربنات ها قابلیت های خوبی برای تغییر شکل در برابر حرارت دارند . متداول ترین برای تغییر شکل آنها با حرارت ، استفاده از حرارت مستقیم آتش می باشد . برای انجام این کار می توانید ورقه های پلاستیمک را به ظور مستقیم بر روی باریکه ای از آتش قرار دهید . اگر مایل به ارایه کار دقیق تری هستید می توانید پلاستیک را برای چند دقیقه بر روی المنت یک گرمکن برقی قرار داده و و سپس ورقه ها را در جهت دلخواه خم کنید .

آکریلیک ها و پلی کرینات های تجاری دارای یک ورقه محافظ در هر دو طرف آنها برای جلوگیری از آسیب دیدگی در هنگام حمل و نقل می باشند ، که از یک ورقه قهوه ای رنگ و ضخیم تشکیل شده است . این پوشش به راحتی از پلاستیک جدا می شود . اما توصیه می شود قبل از جدا کردن آن ، کلیه اندازه گیری ها و ابعاد را روی آن نشانه گذاری کنید و پس از برش پلاستیک آن را جدا کنید . در غیر این صورت فرایند اندازه گیری و برشکاری باعث مخدوش شدن سطح پلاستیک خواهد شد .

آکریلیک ها مخصوصا نوع پلکسی گلاس آن در اندازه های مختلف و رنگ های گوناگون در ایران موجودند .

آلومینیم:

در بین تمامی فلزاتی که در دسترس هستند ، آلومینیوم بهترین ماده برای ساخت ربات تعقیب خط است. آلومینیوم ، فلزی نرم و سبک ، اما قوی است، با ظاهری نقره‌ای - خاکستری مات و لایه نازک اکسیداسیون که در اثر برخورد با هوا در سطح آن تشکیل می‌شود، از زنگ خوردگی بیشتر جلوگیری می‌کند. وزن آلومینیوم تقریباً یک سوم فولاد یا مس است. چکش خوار ، انعطاف پذیر و به راحتی خم می‌شود. همچنین بسیار بادَوام و مقاوم در برابر زنگ خوردگی است. بعلاوه ، این عنصر غیر مغناطیسی ، بدون جرقه ، دومین فلز چکش خوار و ششمین فلز انعطاف‌پذیر است.

تفلون:

پلاستیک فشرده است .قابل انعطاف و بسیار مناسب برای کار های رباتیک می باشد. با حرارت به شکل دلخواه در می آید .به راحتی سوراخ می شود و سبک است.

سیستم حرکتی ربات:

این قسمت شامل سیستم حرکتی روبات می شود. حرکت روباتها با استفاده از پا، چرخ یا ریل و.. انجام می شود. چرخها یا پاها را می توان با موتورها، سولنوئیدها , آلیاژهای حافظه دار (SMA) و.. به حرکت درآورد. که معمولا در بیشتر رباتها از موتور و چرخ استفاده می شود.

یکی از مهمترین اجزای یک روبات نیروی محرکه آن است. برای حرکت دادن سازه ای که ساخته اید نیاز به انرژی مکانیکی دارید. این انرژی معمولا توسط یک موتور الکتریکی تامین می شود. موتور الکتریکی یا اصطلاحاً آرمیچرها در واقع مبدل های انرژی هستند. موتورهای الکتریکی می توانند انرژی الکتریکی که از ترمینالهای آن وارد می شود را به انرژی مکانیکی تبدیل کنند. انرژی مکانیکی معمولاً به صورت دوران در شافت (محور) موتور ظاهر می شود. دوران این محور (شافت) دو مشخصه اساسی دارد : یکی سرعت دوران آن و دیگری قدرت آن. از ضرب سرعت خطی (متر بر ثانیه) در نیروی موتور می توانید توان نهایی خروجی آن را محاسبه کنید.

ایده کلی این است که وقتی که یک ماده حامل جریان الکتریسیته تحت اثر یک میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، نیرویی بر روی آن ماده از سوی میدان اعمال می‌شود. در یک موتور استوانه‌ای ، روتور به علت گشتاوری که ناشی از نیرویی است که به فاصله‌ای معین از محور روتور به روتور اعمال می‌شود، می‌گردد. با توجه به اینکه گفتیم موتور یک مبدل است، اگر موتور شما ایده آل باشد توان خروجی که بدست می آورید با توان ورودی یعنی انرژی الکتریکی مصرف شده برابر خواهد بود. موتورهای الکتریکی انواع مختلفی دارند از جمله استپ موتورها ، سرور موتورها ، موتورهای DC ، موتورهای AC و ... هر یک از موتورهای نام برده شده ویژگی خاصی دارد مثلا استپ موتورها دارای دقت بالایی هستند و با توجه به نوع موتور می توان دقت گردش موتور در حد چند درجه کنترل نمود. از ویژگی های اساسی موتورهای DC این است که جهت حرکت و سرعت حرکت آنها به راحتی قابل کنترل است. با تغییر متوسط ولتاژ ورودی می توانید سرعت موتور را تغییر دهید و با تغییر پلاریته (جهت اتصال تغذیه به موتور) جهت دوران شافت تغییر خواهد نمود.

توان خروجی از ضرب سرعت در قدرت و با استفاده از فرمول W=f.d بدست می آید. بسته به کارکرد ربات ، توان مصرفی ، دقت لازم و پارامترهایی از این قبیل نوع موتور روبات انتخاب می شود. بی شک یکی از مشخصه های اصلی موفقیت یک ربات انتخاب صحیح موتور محرک ربات می باشد.

برای انتخاب موتور ربات به موارد زیر توجه می کنیم :

۱- دردست بودن منبع تغذیه
۲- شرط یا عوامل راه اندازی
۳- سرعت عملکرد کار مطلوب
۴- پیچیدگی کنترل و هزینه
۵- قابلیت کارکردن به جلو و عقب
۶- مشخصه‌هی شتاب (وابسته به بار)
۷- بازده مناسب در بار اسمی
۸- توانایی تحمل اضافه بار
۹- اطمینان الکتریکی و حرارتی
۱۰- قابلیت نگهداری و عمر مفید
۱۱- ظاهر مکانیکی مناسب (اندازه، وزن، میزان صدا، محیط اطراف)
۱۲- مشخصه‌های راه اندازی (گشتاور – سرعت) مناسب
۱۳-ولتاژ نامی
۱۴-جریان نامی
۱۵-دور بر دقیقه (RPM)

مقایسه انواع موتورها

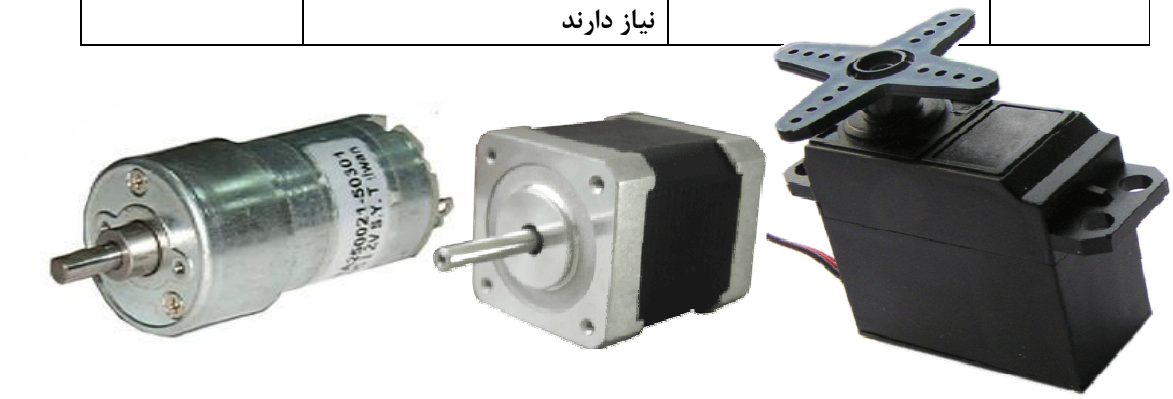
قبل از آنکه اصول و مبانی انتخاب هر یک از موتورها را بررسی کنیم، موتورها را با توجه به عملکرد، روش جابجایی و امتیازاتی که دارند به سه دسته موتورهای DC گیربکس دار، موتورهای پله ای و سرو موتورها تقسیم بندی می کنیم.

در جدول زیر انواع مختلف موتورها با توجه به قدرت شان طبقه بندی شده اند.

نوع موتور	قدرت موتور	کلاس وزنی
موتور DC گیربکس دار	بیشترین قدرت	مناسب برای تمام وزن ها
سرو موتور		مناسب برای ربات ها تا سقف ۲/۵ کیلوگرم
موتور پله ای	کمترین قدرت	برای ربات های سبک تا سقف ۱ کیلوگرم

در مرحله بعد، باید در مورد نوع موتوری که برای استفاده در ربات مناسب باشد تصمیم گیری شود. در جدول زیر مزایا و معایب هر یک از انواع موتور نشان داده شده است.

نوع موتور	مزایا	معایب	مناسب برای
موتور DC	متنوع، قدرتمند و در دسترس هستند، اینترفیس آن ها ساده است	سریع و گران قیمت هستند، جریان زیادی مصرف می کنند، اتصال چرخ ها به آن ها دشوار است، کنترل آن ها پیچیده است(PWM)	ربات های بزرگ
سرو موتور	گیربکس و سرعت مناسب دارند، متنوع، ارزان و برای ربات های کوچک مناسب هستند، به آسانی به چرخ ها متصل می شوند، اینترفیس آن ها آسان است	توانایی حمل وزن های زیاد را ندارند، سرعت آن ها قابل تغییر نیست	ربات های کوچک، ربات های انسان نما
موتور پله ای	کنترل سرعت و اینترفیس آنها آسان است، تنوع زیادی دارند، برای محیط های سرپوشیده مناسب هستند.	نسبت به قدرت شان سنگین هستند، جریان زیادی مصرف می کنند، اتصال آنها به چرخ ها دشوار است، قدرتمند نیستند، به سیستم های کنترل پیچیده ای نیاز دارند	ربات تعقیب خط، ربات حل ماز



موتور DC :

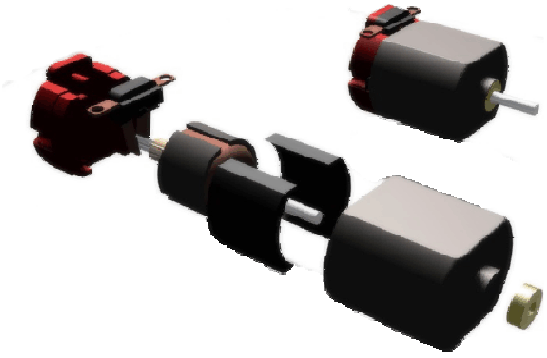
بدون شک موتورهای DC متداول ترین موتورها در عرصه رباتیک هستند. زیرا این موتورها چندمنظوره، در دسترس و نسبتاً ارزان قیمت هستند.

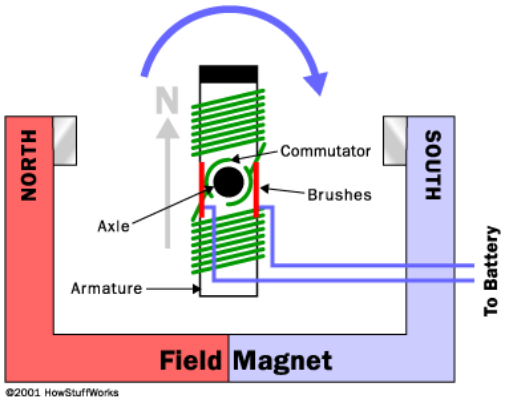
موتورهای DC جزو قدرتمندترین موتورها هستند. در دهها سال گذشته محققان تلاش های گسترده ای را برای بهبود بازده، سرعت و قدرت این موتورها انجام داده اند. امروزه موتورهای DC پیشرفته با بازده بیش از ۹۰ درصد طراحی و ساخته می شوند. بیشتر موتورهایی که به منظور استفاده در پروژه های رباتیک ارائه می شوند، بازدهی بین ۴۰ تا ۷۰ درصد دارند. با این وجود، به اندازه کافی قدرتمند هستند. این موتورها جریان بیشتری می کشند و باتری ها را سریع تر تخلیه می کنند.

عملکرد یک موتور DC :

در یک موتور DC، آهن ربای دائمی میدان مغناطیسی ایجاد می کند و روتور در داخل آن می چرخد. روتور که در بخش مرکزی موتور قرار دارد تعدادی قطب دارد، که هر کدام یک سیم پیچ دارند. سیم پیچ ها در مرکز شفت به یک سوئیچ متصل شده اند که اصطلاحاً کموتاتور نامیده می شود. جاروبک ها به سیم های مثبت و منفی موتور (که سیم پیچها را تغذیه می کنند) به گونه ای متصل می شوند که یکی از قطب ها میدان مغناطیسی را دفع و دیگری آن را جذب می نماید. هنگامی که روتور می چرخد، کموتاتور جهت میدان مغناطیسی را عوض می کند. وجود قطب ها باعث تداوم حرکت روتور می گردد.

در شکل زیر مکان آهن ربای دائمی(شمال به جنوب) روتور با دو قطب و چگونگی برق دار شدن جاروبک ها در تماس با کموتاتور نشان داده است. در نزدکی شفت روتور، دو ورقه به سیم پیچ های مربوطه (که در اطراف قطب ها قرار دارند) وصل شده اند. جاروبک ها موتور را به گونه ای تغذیه می کنند که میدان مغناطیسی روتور همیشه میدان مغناطیسی آهن ربا را تعقیب نماید. این عمل باعث چرخش موتور می گردد. عبور جریان بیشتر از سیم پیچ ها باعث تقویت میدان مغناطیسی و چرخش سریع تر موتور می شود.





عبور جریان از سیم پیچ ها یک میدان مغناطیسی ایجاد می کند که باعث چرخش موتور مـی گـردد. تمـام جریان ها به منظور حرکت موتور کشیده می شوند و مقدار جریان با نحوه ی حرکت موتـور متناسـب اسـت. هنگامی که روتور در زیر بار کاملاً متوقف شود مقدار جریان، جریان توقف نامیده می شـود و موتـور در ایـن وضعیت بیشترین گشتاور را دارد. بیشترین مقدار جریان (جریان توقف) در هنگـام راه انـدازی موتـور نیـز کشیده می شود.

تهیه موتور DC

موتورهای DC با سرعت ۸۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰RPM و حتی بیشتر می چرخند. آشکار است که این مقادیر سـرعت برای ربات هایی که همواره باید تحت کنترل باشند، بسیار زیاد و دور از دسترس است. خوشـبختانه راه حـل این مشکل موتورها وجود دارد و آن استفاده از گیربکس است.

اضافه کردن گیربکس از دو طریق به بهبود عملکرد ربات کمک می کند: اول این که سرعت خروجی کـاهش می یابد و دیگر این که خروجی قدرتمندتر می شود. با انتخاب یک گیربکس مناسب، می توان موتو را در یک RPM بالا به گونه ای راه اندازی نمود که موتور بیشترین بازده را با استفاده از حداقل جریان داشـته باشـد. بدین ترتیب طول عمر باتری ها نیز افزایش می یابد.

وقتی سرعت موتور با استفاده از چرخ دنده کاهش یافت، به صورت همزمان سرعت دورانی کـاهش و قـدرت خروجی افزایش می یابد. این کاهش سرعت و افزایش گشتاور با یکدیگر متناسب اند و رابطه خطی دارند. به عبارتی دیگر، اگر گشتاور موتور در ۱۰۰۰۰ RPM، ۱ نیوتن متر باشـد و سـرعت را ۴ مرتبـه کـاهش دهـیم، سرعت نهایی ۲۵۰۰ RPM و گشتاور خروجی ۴ نیوتن متر خواهد بود. این روابط در شرایط ایـده آل برقـرار است. اما در شرایط واقعی، مقداری از انرژی به علت اصطکاک در چرخ دنده ها و گیربکس تلف می شـود. در نتیجه سرعت و گشتاور نهایی کمتر از مقدار پیش بینی شده خواهد بود.

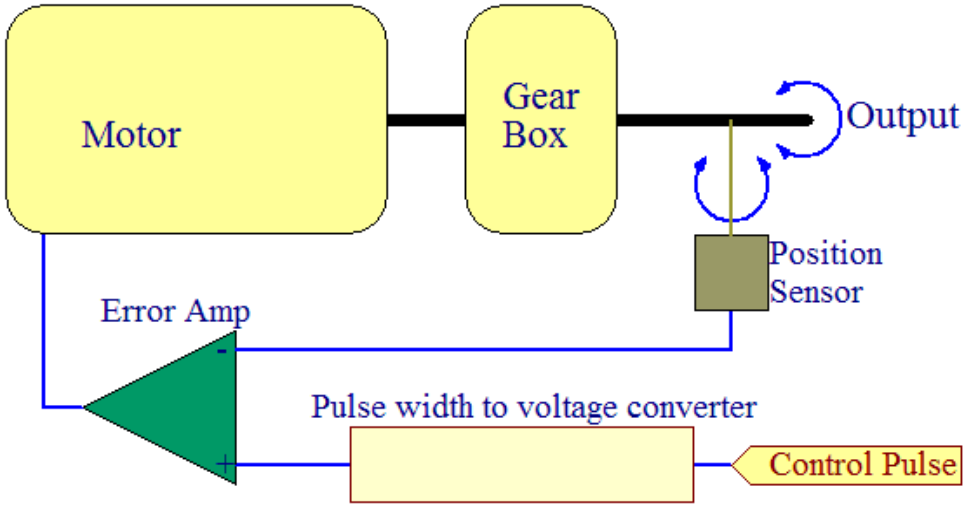
ساختن گیربکس موتور به هیچ وجه توصیه نمی شود. مگر ان که به یک فرز، یـک ماشـین تـراش و تعـداد زیادی ماشین آلات اوراق شده دسترسی داشته باشید. اگر کمی خوش شانس باشید، می توانیـد موتـوری را بیابید که خصوصیات ان بر روی موتور نوشته شده باشد. این مشخصات به شـما اجـازه مـی دهـد تـا تـوان موردنیاز را محاسبه کنید. گاهی اوقات توان موتور با یکای وات بر روی موتور یا در دیتاشیت موتور نوشته می شود و نیازی به محاسبه آن نخواهد بود. در غیر اینصورت باید از روی ظاهر موتور توان آن را تخمـین زد. در پروژه های رباتیک باید از یک موتور گیربکس دار به گونه ای استفاده کرد که RPM مناسب داشـته و تـوان بیشتری را در اختیار ربات قرار دهد.

سرو موتور

سروموتورها می توانند قوی تر یا ضعیف تر از موتورهای پله ای باشند. زیرا تعداد زیادی از موتورهای پلـه ای وجود دارند که بزرگ تر و قدرتمندتر از سروموتورها هستند. روش انتخاب این موتورها در قسمت های بعدی بیان خواهد شد. سروموتورها دومین موتور قدرتمند در زمینه رباتیک هستند. امروزه تعداد زیادی از کمپانی ها سرو موتورهای ارزان قیمت و بـا کیفیـت تولیـد مـی کننـد. معـروف تـرین سـازندگان سـرو موتورهـا Futaba، Airtronics و Hitec هستند که محصولات متنوعی را تولید می کنند.

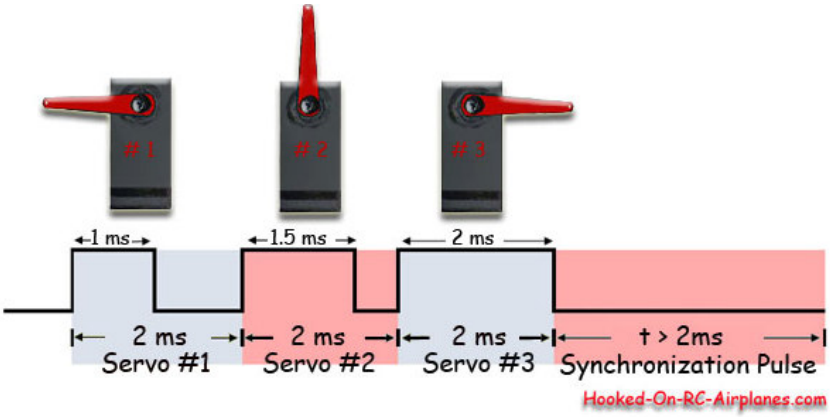
عملکرد یک سروموتور

اساس کار سرو موتور همانند یک موتور DC است (که به یک گیربکس با نسبت کاهش سـرعت۱:۱۸۰ وصـل شده است) اگر یک سرو موتور را باز کنید، مشاهده می کنید که موتور داخـل آن بسـیار کوچـک اسـت. در داخل جعبه پلاستیکی موتور یک مدار کنترلر قرار دارد. این مدار سیگنال کنترلی که به سرو موتور فرستاده می شود را به جابجایی شفت خروجی تبدیل می کند. سروموتورها معمولاً دامنه حرکتی ۶۰ دارند . اما برخـی نمونه ها با دامنه ی ۹۰ و یا بیشتر هم ساخته شده اند. یک پتانسـیومتر (مقاومـت متغیـر) موقعیـت شـفت خروجی را در تمام لحظات اندازه گیری می کند و مدار کنترلر می تواند شفت سرو موتور را دقیقا در نقطـه ی مورد نظر قرار دهد.



کنترل این نوع موتورهای DC، کنترل موتور حلقه بسته نامیده می شود و واژه سرو نیز از این ویژگی گرفته شده است. یک کنترلر خارجی به موتور اعلام می کند که تحت تأثیر سیگنالی که مدولاسیون نسبی پالس(PPM) نامیده می شود به کدام نقطه برود. این مطب به این معنی است که پهنای پالس پس از رمزنگاری در اختیار کنترلر قرار می گیرد. این سیگنال گاهی اوقات به اشتباه PWM نامیده می شود. PWM سیکل کاری را تغییر می دهد، که بین صفر تا صد درصد زمان دوره است. PPM از زمان یک تا دو میلی ثانیه (در یک دوره ۲ میلی ثانیه ای) برای رمزنگاری اطلاعات استفاده می کند.

شکل زیر موقعیت بازوی کنترلی سروموتور را به ازای مقادیر مختلف سیگنال PPM نشان داده شده است.



طبقه بندی سروموتورها

سروموتورها با توجه به مقدار گشتاور و سرعت شان طبقه بندی می شوند (اونس- اینچ یا گرم-سانتی متر).

یک سرو موتور با مقدار $\frac{40}{0.21}$ اونس-اینچ، موتوری است که در فاصله یک اینچی (2.5 سانتی متری) از وسط چرخ که اغلب بلبرینگ دارد یک نیروی ۴۰ اونسی اعمال می کند و باعث چرخش ۶۰ درجه ای در مدت زمان ۰.۲۱ ثانیه می شود. مقادیر سرعت معمولاً در بازه ی 0.11-0.21 ثانیه قرار دارند. سروموتورها با گشتاورهایی بین ۱۷ تا ۲۰۰ اونس اینچ طراحی و ساخته می شوند.

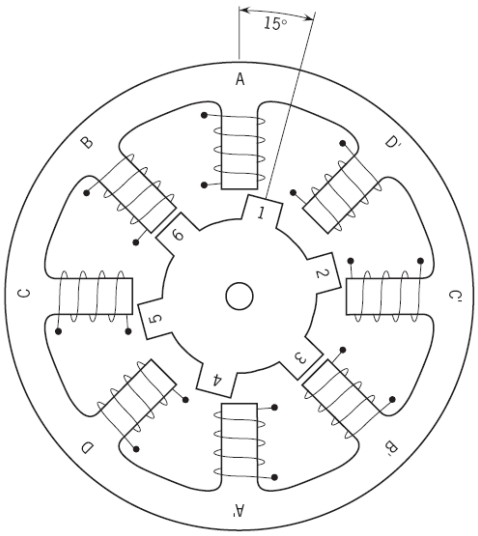
قیمت سرو موتورها با سرعت و قدرت آن ها متناسب است. سروموتورهایی که برای استفاده در رباتیک انتخاب می شوند باید به اندازه ی کافی قدرتمند بوده، ابعاد مناسب داشته و شکل ظاهری آن ها به گونه ای باشد که بر روی ربات قابل نصب باشند.

همان گونه که پیش بینی می شود، کوچک ترین سروموتورها ضعیف ترین آن ها و بزرگ ترین موتورها قوی ترین آن ها هستند. البته استثناء هایی هم در این زمینه وجود دارد و در برخی موارد سرو موتورهای کوچک تر قوی تر از نمونه های بزرگ تر هستند. ولتاژ کار این موتورها ۴/۸ ولت و در برخی موارد ۶ ولت است. معمولاً سرو موتورهایی که با ۶ ولت کار می کنند سرعت و قدرت بیشتری دارند.

معیار دیگر انتخاب سرو موتورها، استفاده یا عدم استفاده از بلبرینگ هاست. بلبرینگ ها برای نگه داشتن شفت خروجی موتور به کار می روند و موتور را کم صداتر، قوی تر و بادوام تر می سازند. بلبرینگ ها اگرچه باعث افزایش قیمت موتور می شوند، اما در مواردی که بار بیش از حد بر روی شفت موتور قرار می گیرد استفاده از آنها ضروری است.

موتور پله ای

موتور پله ای به موتورهایی که تاکنون بررسی کردیم، تفاوت های چشمگیری دارد. موتورهای پله ای گاهی اوقات موتورهای **Brushless** یا بدون جاروبک نیز نامیده می شوند. زیرا آهنربای آن ها بر روی روتور یا شفت قرار دارد. شفت موتور می تواند بدون هیچ تماس الکتریکی و یا دخالت هر عامل دیگری آزادانه بچرخد. جزئیات بیشتر در شکل زیر نشان داده شده است.



موتورهای پله ای معمولاً سرعت کمی دارند. آن ها معمولاً در طراحی هایی با جابجایی دقیق و یا به منظور توقف فوری موتور در یک نقطه خاص به کار می روند. این ویژگی برای بسیاری از پروژه های رباتیک که به سرعت کمی نیاز دارند بسیار مناسب است. سرعت دورانی با دامنه **50-100RPM** که توسط موتورهای پله ای ایجاد می شود، برای بسیاری از ربات ها ایده آل می باشد. یک موتور پله ای بزرگتر و سنگین تر از یک موتور **DC** یا سروموتور با قدرت مشابه است. موتورهایی پله ای معمولاً خیلی قدرتمند نیستند و به همین دلیل برای ربات هایی با وزن بیشتر از یک کیلوگرم پیشنهاد نمی شوند. اکثر موتورهای پله ای در زیر بارهای سنگین یکنواختی حرکت خود را از دست می دهند.

عملکرد یک موتور پله ای

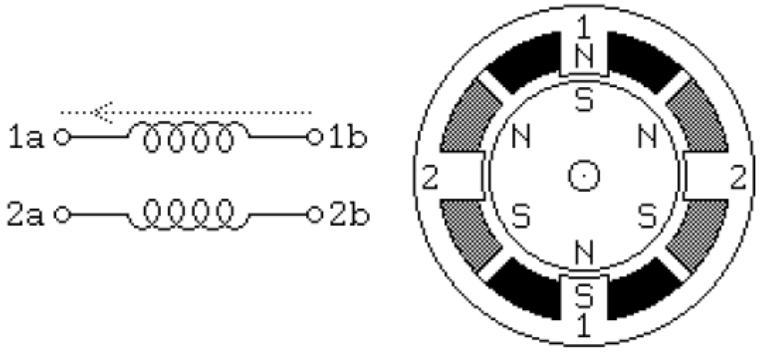
جابجایی موتور پله ای از یک نقطه به نقطه دیگر باعث حرکت دورانی آن می شود. تعداد جابجایی هایی که برای انجام یک چرخش کامل انجام می شود با تعداد گام های موتور برابر است و از ویژگی های اختصاصی هر موتور پله ای می باشد. معمولاً موتورها با تعداد گام ها و یا درجه ی هر گام توصیف می شوند. تعدادی سیم پیچ در بدنه این موتورها تعبیه شده است که جابجایی دقیق موتور از یک نقطه به نقطه دیگر را ممکن می سازد. این سیم پیچ ها در استاتور یا بدنه موتور قرار گرفته اند (با **A,B,C,D** مشخص شده اند).

هنگامی که قطب های استاتور برق دار می شوند، قطب های مغناطیسی مخالف استاتور را جذب می کنند و باعث چرخش موتور می گردند. روتور از تعدادی آهن ربای دائمی تشکیل شده است که هنگام برق دار شدن با سیم پیچ های استاتور همکاری می کنند. هر آهن ربای روتور« دندانه » نامیده می شود و اغلب روتورها با تعداد دندانه هایشان توصیف می شوند. سیم پیچ های استاتور به شکلی متناوب در اطراف بدنه تکرار می شوند. نحوه ی آرایش سیم پیچ ها به نوع ساختمان موتور پله ای وابسته است.

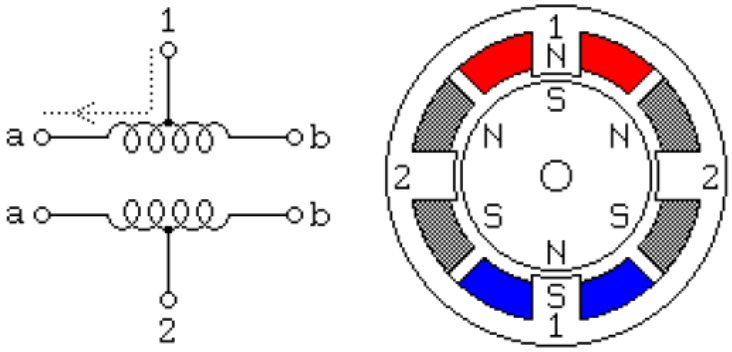
موتورهای پله ای به دو دسته کلی تقسیم می شوند: تک قطبی (که اغلب چهار فاز نامیده می شود) و دو قطبی (که اغلب دو فاز نامیده میشود)

موتورهای پله ای تک قطبی چهار مجموعه سیم پیچ در اطراف بدنه موتور دارند. در صورتی که موتورهای پله ای دوقطبی دو مجموعه سیم پیچ دارند. سیم پیچ های یک موتور تک قطبی فقط با یک پلاریته برق دار می شوند، به همین دلیل به آن تک قطبی می گویند. در سیم پیچ های یک موتور پله ای دو قطبی ابتدا برق دار شدن با یک پلاریته و سپس با پلاریته معکوس انجام می شود و باعث چرخش روتور می گردد.

A 2-Phase (Winding) Bi-Polar (Two-Polarity) Stepper Schematic.



A 2-Phase (Winding) Uni-Polar (Single-Polarity) Stepper Schematic.



تعداد گام ها در یک دور کامل موتور پله ای به تعداد آهن رباهای دائمی یا تعدادی دندانه های روتور بستگی دارد. تعداد دندانه های بیشتر به معنی گام های بیشتر و قابلیت جداسازی بیشتر به ازای هرگام می باشد.

موتورهای پله ای دو قطبی قوی تر و سریع تر از موتورهای پله ای تک قطبی هم اندازه خود هستند. زیرا با وجود این که تعداد سیم پیچ های موتورهای دوقطبی نصف تعداد سیم پیچ های موتورهای تک قطبی است، اما در هر سیم پیچ از دو برابر مقدار سیم استفاده می شود. دو برابر شدن مقدار سیم ها میدان مغناطیسی قوی تری ایجاد می کند.

یک موتور پله ای دو قطبی به مدار درایور قوی تری (برای قطع و وصل کردن پلاریته سیم پیچ های استاتور) نیاز دارد و این ویژگی طراحی درایور موتورهای پله ای دو قطبی را کمی پیچیده می سازد. موتور پله ای تک قطبی فقط به یک مدار درایور ساده نیاز دارد که نقش کلید (قطع و وصل جریان سیم پیچها) را به عهده دارد. به همین دلیل، مدار درایور یک موتور دو قطبی برای هر سیم پیچ به یک مدار **H-bridge** کامل و یا یک مدار معکوس کننده ی جریان نیاز دارد. درایورهای موتور تک قطبی فقط از یک ترانزیستور ساده برای برق دار کردن هر سیم پیچ استفاده می کنند. مدارات درایور موتورهای تک قطبی به خاطر ساده بودنشان بسیار رایج هستند.

انتخاب نوع موتور پله ای(تک قطبی، دو قطبی)

خوشبختانه تشخیص نوع یک موتور پله ای بسیار ساده است. یک موتور پله ای دو قطبی چهار سرسیم دارد (هر سیم پیچ دو سردارد) یک موتور پله ای تک قطبی می تواند پنج، شش یا هشت سرسیم داشته باشد. اگر موتور پله ای پنج سرسیم داشته باشد، یکی از سیم های مشترک و چهار سیم دیگر مربوط به انتهای سیم پیچ هاست. اگر یک موتور پله ای شش سرسیم داشته باشد(که متداول ترین نوع موتورهای پله ای هستند) یک جفت از سیم پیچ ها مشترک است. موتورهای شش سیمه می توانند همانند موتورهای پله ای دو قطبی عمل کنند. اگر موتور پله ای هشت سرسیم داشته باشد، موتور پله ای یونیورسال نامیده می شود. این موتورها را می توان هم به عنوان یک موتور تک قطبی (با اتصال هر جفت از سیم ها به یک سیم پیچ) و هم به عنوان یک موتور دو قطبی (با اتصال موازی یا سری هر جفت از سیم پیچ ها) به کار برد.

تشخیص سیم مشترک در موتور پله ای تک قطبی :

با اهم متر مقاومت بین سیم های موتور اندازه گیری می شود . در صورتی که موتور ۶ سیم باشد ، سیم ها سه به سه با یکدیگر در ارتباط هستند . (این سه سیم با یکدیگر مقاومت جزیی دارند) دسته های سه تایی را مشخص کرده ، سیمی که مقاومتش با دو سیم دیگر کمتر باشد سیم مشترک است . در صورتی که موتور ۵ سیم باشد ، سیمی که کمترین مقاومت را با چهار سیم دیگر دارد ، سیم مشترک است .

اندازه یک موتور پله ای

برای این که چرخ های ربات بدون لرزش بچرخند، گام های موتور پله ای باید از ۳/۶ درجه کمتر باشند. به ازای مقادیر بیش تر، حرکت ربات با تکان های شدید همراه خواهد بود. امروزه موتورهای پله ای با گام های بیش از ۳۰ درجه و کمتر از ۰/۹ درجه موجود هستند. پارامترهای ارزشیابی یک موتور پله ای گشتاور توقف، گشتاور پایداری و گشتاور دینامیک هستند.

نیم پله :

با تحریک دو فاز مجاور در موتور می‌توان موتور را به اندازه نیم پله حرکت داد. به این ترتیب تعداد پله‌های موتور دو برابر می‌شود و در نتیجه دقت چرخش موتور هم دوبرابر می گردد

معیارهای انتخاب موتور

قبل از انتخاب یک موتور، باید یک ایده کلی از توان مکانیکی موردنیاز داشت. علاوه بر آشنایی با مطالب ارائه شده، باید از گشتاور مورد نیاز موتور آگاهی داشت. انتخاب یک موتور با در نظر گرفتن پارامترهای زیر انجام می گیرد:

سرعت موتور : ربات برای حرکت به چه سرعتی نیاز دارد ؟ برای ربات هایی که در محیط های سرپوشیده کار می کنند، سرعت های کمتر مناسب تر است. اما بعضی از ربات ها به سرعت های بالاتری نیاز دارند. این موضوع به ویژه در مسابقات رباتیک اهمیت خاصی دارد (مثلاً مسابقات جنگ ربات ها یا مسابقات ربات های میکروماوس) به یاد داشته باشید که سرعت نهایی ربات به سرعت موتور و ابعاد چرخ ها بستگی دارد.

قدرت مورد نیاز : هنگامی که توان مکانیکی خروجی یک موتور افزایش یابد، متناسب با آن توان الکتریکی بیشتری در ورودی موتور مورد نیاز می باشد. ولتاژ موردنیاز موتور باید همزمان با جریان مورد نیاز مورد بررسی قرار گیرد. ولتاژهای ورودی غیرعادی و نابجا باعث آسیب دیدن باتری و یا شارژر آن می شود. یک موتور با ولتاژ پایین (مثلاً ۶ ولت) ممکن است باعث بروز مشکلاتی در اجرای پروژه گردد. زیرا اگر در ربات

تجهیزاتی وجود داشته باشد که با ولتاژهای بالای ۶ ولت کار کنند به یک منبع تغذیه با ولتاژ بیشتر از ۶ ولت نیاز خواهد بود. نکته مهم این است که اکثر رگولاتور های ۵ ولتی مانند 7805 با ولتاژ ۶ ولت کار نمی کنند.

زمان عملکرد پیوسته : ربات چه مدتی می تواند بدون تعویض یا شارژ مجدد باتری کار کند؟ موتورها تا چه مدت باید بدون توقف کار کنند؟ برخی موتورها برای کارکردن در بازه های زمانی طولانی و برخی برای بازه های زمانی کوتاه طراحی می شوند. در این طراحی ها داشتن یا نداشتن گیربکس و اثر گرما بر موتور مورد بررسی قرار می گیرد.

نوع شفت خروجی : خروجی اکثر موتورها یک شفت استوانه ای است. این نوع شفت به سادگی به چرخ ها یا سایر اشیاء متصل می شود. در صورتی که موتورها با شفت تخت (که در اندازه های استاندارد نیز ساخته می شوند) این مزیت را ندارند. انواع مختلفی از موتورها در اندازه ها و ابعاد مختلف در بازار موجود است که همراه با گیربکس یا بدون آن ارائه می شوند. هنگام انتخاب یک موتور مدت زمانی که برای اتصال شفت به چرخ ها لازم است را در نظر داشته باشید.

بارگذاری شفت: اتصال مستقیم شفت خروجی موتور به چرخ ها یک روش متداول و ساده است که در پروژه های رباتیک به کار گرفته می شود. در مواردی که ربات ها سنگین تر هستند، این عمل با استفاده از بلبرینگ ها و گیربکس ها انجام می گیرد. در این شرایط روغن کاری موتور نقش مهمی در افزایش طول عمر آن دارد.

مزایای بیشتر: برخی از موتورها با مزایای بیشتری ساخته می شوند که می توانند اجرای پروژه ها را ساده تر کنند. این ویژگی ها شامل شفت انکودر (رمزنگار) تاکومتر (سرعت سنج) و ترمزهای خودکار می باشند. اگر چه این نوع موتورها گران قیمت تر از سایر انواع هستند، اما باید زمانی که هنگام استفاده از این موتورها صرفه جویی می شود را مدنظر داشت.

سروصدا: برخی انواع موتورها بسیار پر صدا هستند. این مسئله در برخی شرایط کاری می تواند یک مشکل باشد. برای یک ربات که محیط کار آن یک اداره یا یک کارگاه است ممکن است صدای بیش از حد موتور مسئله خاصی نباشد. اما برای یک ربات که ۱۲ تا ۲۴ ساعت در روز و در محیط خانه کار می کند، صدا یک عامل آزاردهنده است. متأسفانه پیش بینی کردن صداها در بیش تر موارد مشکل است. زیرا در بسیاری از موارد فقط وقتی موتور در زیر بار قرار گیرد صدا تولید می کنند. معمولاً موتورهای کوچک تر و ساده تر کم صداتر از موتورهای بزرگ هستند.

قابلیت نصب : همیشه برای نصب یک موتور به کمی خلاقیت و کار سخت بدنی نیاز است. با این وجود باید اطلاعات مناسبی در این زمینه و قبل از خرید یک موتور داشته باشید. مخصوصاً اگر از یک فروشگاه تجاری خرید می کنید، به اطلاعات کامل تر و یک برنامه ریزی کلی برای سوار کردن موتور بر روی شاسی ربات نیاز دارید.

قطر چرخ، گشتاور و سرعت

قطرچرخ (یا قطر چرخ زنجیر در سیستم تانکی) تأثیر بسیاری بر روی گشتاور موتور و سرعت ربات دارد. آشکار است که با افزایش قطر چرخ، سرعت ربات افزایش و گشتاور آن کاهش می یابد.

طبق تعریف، گشتاور یک موتور حاصلضرب مقدار نیروی موتور در فاصله مشخصی از توپی آن است. بنابراین با دور شدن از توپی موتور مقدار گشتاور کاهش می یابد. تغییر گشتاور با فاصله به صورت خطی می باشد. مثلاً اگر یک موتور را در فاصله ۱ اینچی (۲/۵۴ سانتی متر) گشتاور ۱۰۰ اونس- اینچ (۷۲۰۰ گرم-سانتی متر) را تولید نماید، گشتاور آن در فاصله ۲ اینچی(۵ سانتی متر) برابر ۵۰ اونس- اینچ (۳۶۰۰ گرم-سانتی متر) خواهد بود. پس همانگونه که مشاهده کردید، با افزایش قطر چرخ مقدار گشتاور کاهش می یابد.

با افزایش قطر چرخ سرعت یک ربات افزایش می یابد، تغییر قطر چرخ با سرعت ربات نیز خطی است. با آگاهی از قطر چرخ و سرعت دورانی موتور(**RPM**) سرعت ربات قابل محاسبه می باشد. این فرایند بسیار ساده است. ابتدا مسافتی که ربات در هر چرخش کامل چرخ طی می کند محاسبه می شود. مقدار مسافت از رابطه زیر به دست می آید :

$$D = \pi d \qquad (۶-۳)$$

دراین رابطه **D** مقدار مسافت طی شده و یکای ان با یکای قطر چرخ (**d**) یکسان است. از ضرب کردن مقدار **D** در **RPM** موتور(تعداد دور در دقیقه) سرعت ربات در یک دقیقه بدست می آید. با انجام عملیات ضرب یا تقسیم می توان مقدار سرعت را با یکای کیلومتر/ مایل به ثانیه/ ساعت محاسبه کرد. در یک سیستم تانکی برای محاسبه سرعت، قطر چرخ زنجیر محرک اندازه گیری می شود.

انواع چرخ ها:

چرخ ۵ سانتی متری :

چرخ بسیار مناسب جهت ساخت رباتهای قدرتی و رباتهای کوچک از جمله مسیریاب ، ماز و ... با روکش لاستیکی. قطر این چرخ ۵ سانتی متر و ضخامت آن ۲ سانتی متر می باشد. همچنین قابلیت اتصال محور از قطر ۴ تا قطر ۸ را دارا است. با توجه به جنس مرغوب چرخ قابلیت تراشکاری بر روی آن نیز وجود دارد.

چرخ ۱۰ سانتی متری :

چرخ بسیار مناسب جهت ساخت رباتهای قدرتی با روکش لاستیکی. قطر این چرخ ۱۰ سانتی متر و ضخامت آن ۴ سانتی متر می باشد. همچنین قابلیت اتصال محور از قطر ۴ تا قطر ۸ را دارا است

بوش فلزی روی چرخ دور قسمت پلاستیکی تایر را محکم در بر گرفته و مانع از شکستن آن در مواقعی میشود که بار و فشار زیادی بر روبات وارد میشود.

با استفاده از پیچ موجود بربوش فلزی شما میتوانید موتور و گیربکس هایی با شافت های مناسب را به راحتی به آن (تنها با پیچاندن پیچ روی قطعه) وصل کنید . جنس بوش از آلومینیوم(یا فولاد) بوده و افزایش وزن روبات چشم گیر نخواهد بود.

همچنین این قطعه فلزی شافت موتور را به خوبی گرفته و مانع از خم شدن ویا نهایتا شکستن آن میشود.

از مزایای دیگر میتوان به این نکته اشاره کرد که اگر موتوری دارای شافت کوتاهی باشد به علت موقعیت مناسب پیچ روی قطعه به راحتی میتوان موتور را بر روی چرخ متصل کرد

چرخ خورشیدی :

همانگونه که در تصویر میبینید این چرخ میتواند در دو جهت به طورهمزمان حرکت کند یعنی شما میتوانید با استفاده از ۳ چرخ خورشیدی روباتی بسازید که بدون نیاز به دور زدن در تمام جهت ها حرکت کند .

این یک قابلیت باعث افزایش سرعت ربات می شود چون ربات شما دیگر لازم نیست که سر پیچ ها زمانی را برای دور زدن تلف کند و می تواند در حالی که دارند به جلو حرکت می کند همزمان دور هم بزنند.

از ویژگی ها و مزیت های این چرخ می توان به نکته اشاره کرد که چون چرخ های کوچک روی چرخ اصلی دارای روکش و اورینگ لاستیکی است بر روی زمین مسابقه اصطکاک زیادی دارد . همچنین از این چرخ به عنوان چرخ هرز گرد در جلوی روبات نیز می توان استفاده کرد

این چرخ بر سر پیچ ها به هیچ عنوان قفل نمی کند و جهت ربات شما را تغییر نمی دهد

چرخ امنی دیرکشنال ۴ سانتیمتری :

این چرخ به ربات شما قدرت حرکت در همه جهت ها بدون نیاز به دور زدن را می دهد یعنی ربات شما می تواند در حالی که به جلو حرکت می کند به سمت چپ یا راست نیز برود . این چرخ ساخت کشور آمریکا است. همچنین نسبت به مدل های دیگر از اصطکاک زیاد تری برخوردار است. این چرخ در ربات های جونیور کاربرد فراوان دارد.

چرخ آلومینیومی با روکش لاستیکی :

دارای پیچ آلن بر روی شافت مرکزی و محور چرخ برای اتصال محکم شافت موتور به محور چرخ جنس : جنس چرخ از آلومینیوم محکم و مقاوم برای ساخت روبات های لابیرنت مسیریاب ماز آتش نشان و غیره . همچنین این چرخ دارای روکش لاستیکی با اصطکاک خوب است . از نظر زیبایی جلا و درخشش خاصی به ربات شما می دهد . می توان از سوراخ های موجود بر روی تایر به انکدر استفاده کرد چون تایر آن قدر براق است که نور را بازتاب می کند.

چرخ های هواپیمای ریموت کنترل :

همانگونه که در شکل مشاهده می کنید، انواع مختلفی از چرخ های هواپیماهای مدل توسط کمپانی هایDubro, ساخته می شوند. این چرخ ها براحتی سوراخکاری، چسب کاری و پیچ و مهره می شوند. نمونه های Dubro با وجود نرم بودن استحکام قابل توجهی دارند و بر روی سطوح صاف چسبندگی مناسبی را ایجاد می کنند. نمونه های Dave Brown بسیار سبک بوده و بر روی سطوح ناهموار مانند فرش و آسفالت خیابان اصطکاک قابل قبولی را ایجاد می کنند. این چرخ ها بسیارگران قیمت هستند و همراه با هواپیماهای ریموت کنترل فروخته می شوند

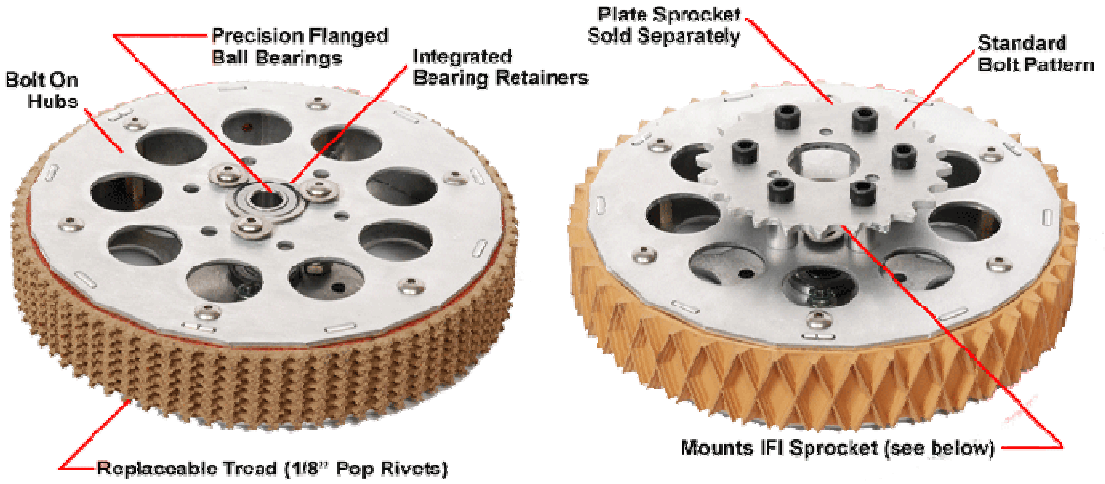
چرخ هرز گرد :

این چرخ جهت تعادل ربات است و در تمام جهات می چرخد. بیشتر در ربات های ۳چرخ استفاده می شود. شما می توانید با استفاده از یک یا دو عدد از این چرخ تعادل ربات خود را حفظ کرده و از اصطحکاک ربات با زمین جلوگیری کنید.

چرخ های دیگر

گاهی اوقات با وجود تلاشی که برای یافتن چرخهای مناسب صورت می گیرد، نتایج مناسبی به دست نمی آید. در این شرایط باید از خلاقیت خود برای حل مسئله استفاده کنید. برخی انواع چرخ در فروشگاههای تجاری فروخته نمی شوند. قرقره ها، چرخ های اورینگ و چرخ هایی که در پرینترها به کار می روند از این نوع هستند. تمام این چرخ ها بسیار محکم هستند و از لاستیک فشرده ساخته می شوند. این نمونه ها برای استفاده در پروژه های رباتیک بسیار مناسب می باشند و به سادگی در محل مورد نظر نصب می شوند. همانگونه که پیش بینی می شود این چرخ ها بسیار گران قیمت هستند، مگر انکه از تعمیرگاه ها تهیه شوند.

ربات های بزرگ تر به چرخ های بزرگتری نیاز دارند. نمونه های مختلفی از چرخ های ماشین های چمن زنی، دوچرخه های کوچک و... وجود دارند که در ابزار فروشی ها فروخته می شوند.



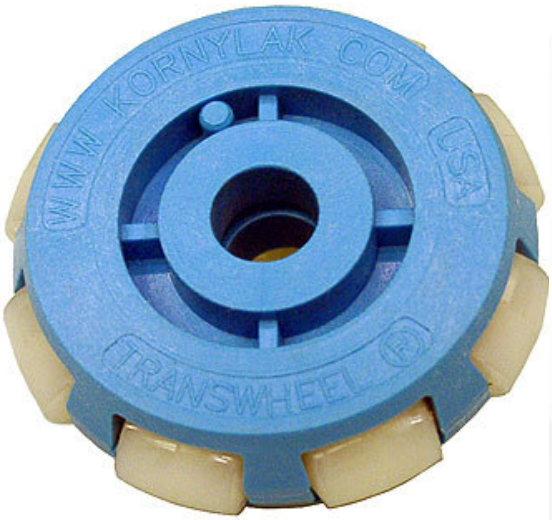
موارد مهم در انتخاب چرخ:

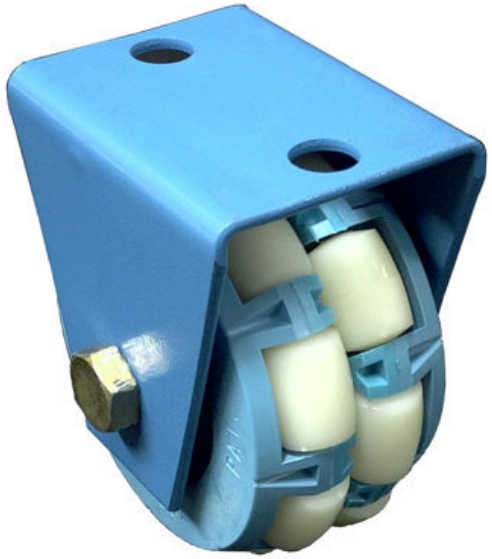
۱- اندازه قطر یک چرخ باید به اندازه ای باشد که با دور موتور شما هماهنگی داشته باشد چون هرچه قطر چرخ بشتر باشد با یک دور، موتور روبات مسیربیشتری را طی میکند و هر چه قطر آن کمتر باشد با یک دور چرخش موتور ربات مسیر کمتری را طی میکند , دور موتور و اندازه قطر چرخ سرعت ربات را تعیین می کنند.

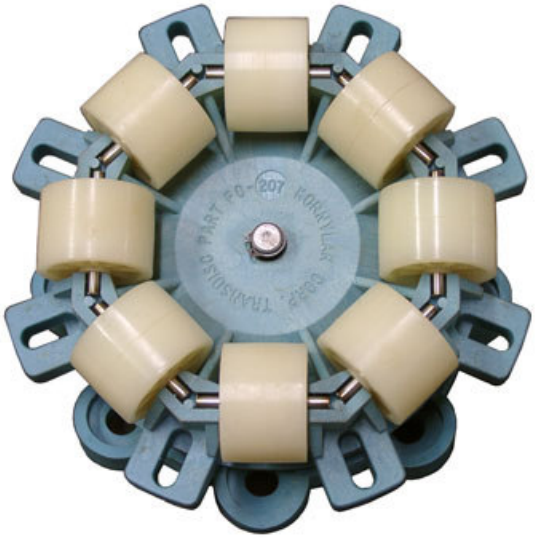
۲- اندازه عرض چرخ : عرض چرخ برای تعادل چرخ بر روی زمین است , و به همان نسبت تماس چرخ با زمین بیشتر می شود و اصطحکاک بیشتری دارد.

۳- اصطحکاک چرخ: برای بالا بردن اصطحکاک چرخ با زمین از لاستیک استفاده می کنیم ویا چرخ های آج دار.

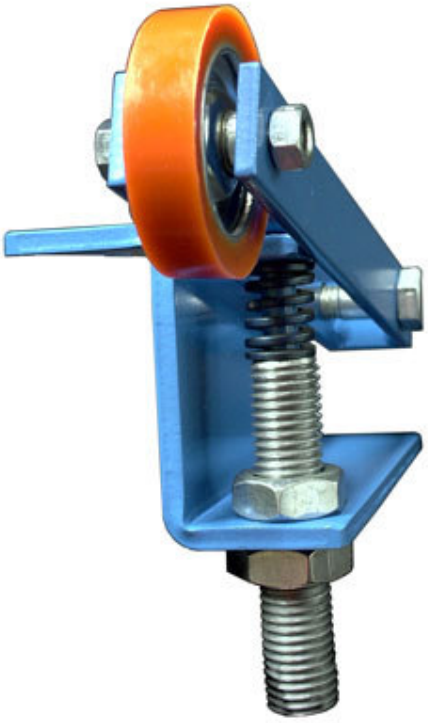
نمونه هایی از چرخ های آماده:







SUPERWHEEL
KORNEAK GURP
HAMILTON OHIO



فصل سوم

الکترونیک

انعطاف الکترونیک از مکانیک بیشتر و بهتر است . در یک پروژه مکاترونیک بعد از طراحی شروع به پیاده سازی می کنیم , بهتر است از پیاده سازی مکانیک شروع کنیم بعد از اتمام مکانیک , الکترونیک را شروع کنیم و بعد از اتمام الکترونیک , برنامه را شروع می کنیم.
به همین ترتیبی که گفته شد موارد گفته شده انعطاف پذیرند یعنی اول مکانیک بعد الکترونیک و در آخر برنامه که نقطه ضعف های الکترونیک و مکانیک را پر می کند.

جریان الکتریکی :

یک مدار الکتریکی ، مسیری شامل منبع تغذیه ، قطعات الکتریکی و رساناها می باشد . هرگاه این مسیر بسته شود الکترون ها از قطب منفی منبع تغذیه وارد مدار شده و با عبور از قطعات الکترونیکی به وارد قطب مثبت باطری می گردند . باطری همانند یک پمپ نقش تزریق الکترون ها به درون مدار را بر عهده دارد . به حرکت الکترون ها در مدار جریان الکتریسیته گفته می شود .
تا قبل از کشف الکترون ، چنین تصور می شد که جریان الکتریسیته ناشی از حرکت بارهای مثبت است که از قطب مثبت آغاز شده و پس از طی مدار به قطب منفی باز می گردند . ولی در حال حاضر اطمینان داریم که در فلزات بارهای مثبت ساکن هستند و حرکت آنها در اجسام به آسانی امکان پذیر نیست . ولی در مایعات و گازهای رسانا ، هم ذرات مثبت و هم ذرات منفی حرکت می کنند . این انتخاب اولیه برای جهت جریان در مدار تاکنون حفظ شده است . زیرا ماهیت جریان الکتریسیته و مقدار آن در مدار اهمیت دارد نه جهت ان و در ضمن قانون های الکتریسیته با فرض مذکور نیز درست هستند .
واحد جریان آمپر (A) می باشد . وقتی یک کولن الکتریسیته (۶×۱۰^{۱۸} الکترون) از هر نقطه مدار در هر ثانیه عبور کند ، جریان مدار ۱ آمپر (1A) است . جریان الکتریکی را با آمپرمتر اندازه می گیرند .

جریان مستقیم و متناوب :

جریان مستقیم (DC) فقط در یک جهت در مدار جاری می شود که بنا به قرارداد از قطب مثبت مولد به طرف قطب منفی آن است و در طول مدت بسته بودن مدار تغییر نمی کند . باطری ها جریان مستقیم تولید می کنند .
جریان متناوب (AC) جریانی است که جهت و مقدار آن همواره تغییر می کند . به این معنی که جریان در مدار در یک جهت (+) از صفر به بیشترین مقدار افزایش می یابد و سپس تا حد صفر کم می شود ، ولی دوباره در جهت مخالف (-) مقدار آن زیاد شده و بعد از رسیدن به بیشترین مقدار قبلی تا حد صفر کاهش می یابد ، و این روند با سرعت زیاد تکرار می شود .

بسامد یا فرکانس جریان متناوب :

بسامد یا فرکانس (F) جریان متناوب یعنی تعداد تناوب های کامل یا دوره هایی که در مدت یک ثانیه انجام داده است و واحد آن هرتز (HZ) است . بسامد جریان های متناوبی که از منابع الکتریسیته بسیاری از کشورهای جهان دریافت می شود 50Hz می باشد .

ولتاژ یا اختلاف پتانسیل :

پتانسیل الکتریکی که معمولاً آن را با حرف V نشان می‌دهند مقدار انرژی الکتریکی بر بار است و واحد آن ولت است. معمولاً صحبت از اختلاف پتانسیل الکتریکی میان دو نقطه است. بنابر تعریف اختلاف پتانسیل الکتریکی یک ولت (میان دو نقطه) به این معنا است که مقدار کار لازم برای انتقال یک کولن بار مثبت از نقطهٔ الف به نقطهٔ ب یک ژول است.

مقاومت الکتریکی :

مقاومت الکتریکی یا امپدانس بیانگر مقاومت یک جسم فیزیکی در برابر عبور جریان الکتریکی از آن است. واحد بین المللی (SI) مقاومت الکتریکی، اهم است . مقاومت هر رسانا در یک مدار با نماد R و با معادله زیر تعیین می شود .

$V=RI \quad OR \quad R=V/I$

در این معادله V اختلاف پتانسیل دو سر رسانا بر حسب ولت و I جریان جاری در آن بر حسب آمپر است . این معادله به قانون اهم معروف است و مفهوم آن چنین بیان می شود :

در دمای ثابت جریانی که از یک رسانا می گذرد متناسب است با اختلاف پتانسیل دو سر رسانا

مشخصه های مقاومت :

مقدار مقاومت که بر حسب اهم بیان می شود .

توان قابل تحمل مقاومت حداکثر توان تلفاتی قابل تحمل مقاومت است به صورت زیر : $P = I^2 \times R$

تلرانس (یا میزان دقت) حداکثر انحراف مجاز مقدار مقاومت از مقدار تعیین شده می باشد . (بر حسب درصد بیان می شود).

تعیین مقدار مقاومت های ثابت :

۱. رمزهای رنگی :

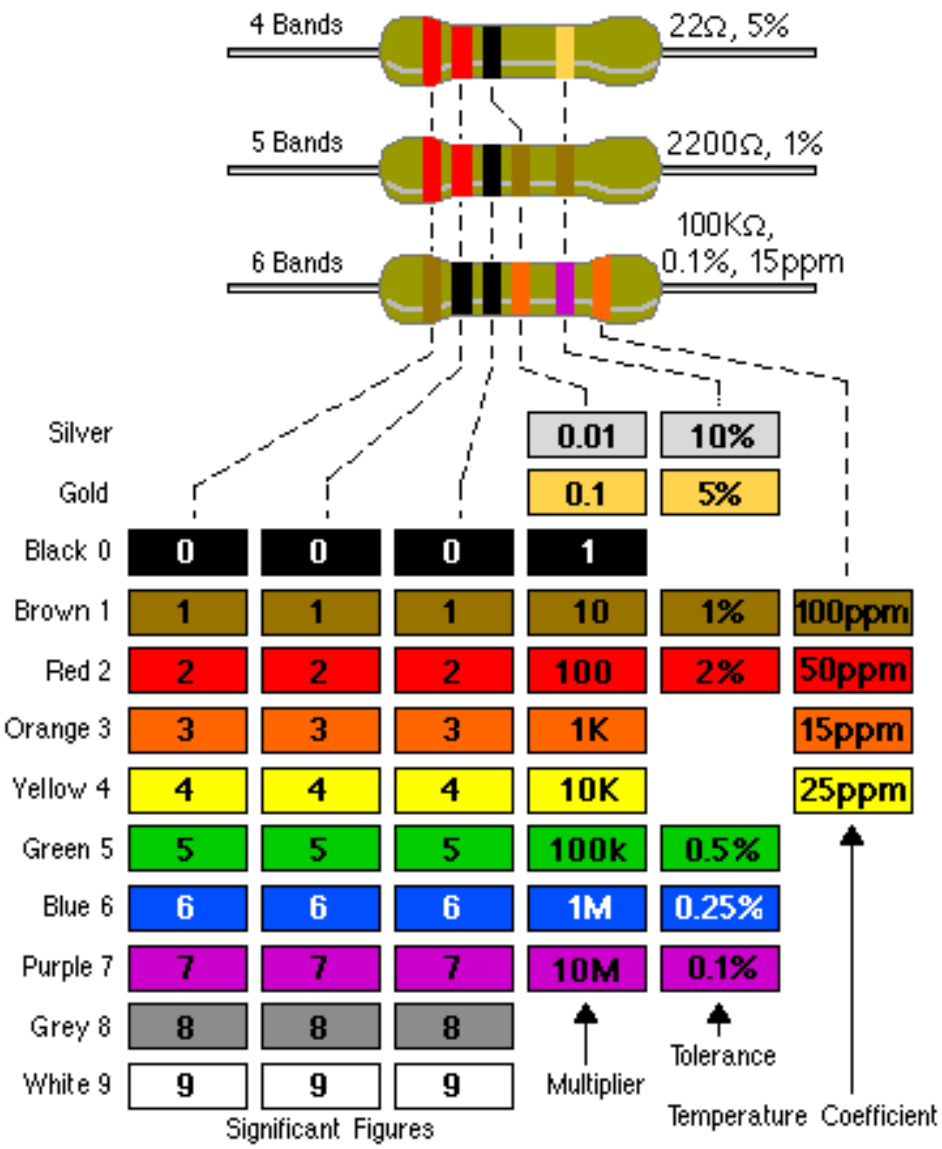
در این نوع مقاومت بارکدهای رنگی مقدار مقاومت را مشخص می کنند . رنگ اول همیشه به سر مقاومت نزدیک تر است . در این مقاومت مقدار مقاومت از فرمول زیر به دست می آید : $A \times 10^B \pm C\ \%$

در این فرمول رنگ های اول و دوم (و رنگ سوم در مقاومت های ۵ و ۶ رنگ) مقدار A را تعیین می کنند . رنگ سوم (رنگ چهارم در مقاومت های ۵ و ۶ رنگ) مقدار B را تعیین می کند . رنگ چهارم (رنگ پنجم در مقاومت های ۵ و ۶ رنگ) درصد خطا یا تلورانس (مقدار C) را مشخص می کند . رنگ ششم نیز تغییرات مقاومت نسبت به تغییرات واحد دما را نشان می دهد .

۲. رمز چاپی :

رمز چاپ شده بر روی هر مقاومت ترکیبی از حروف و ارقام است . مفهوم حرف R (×۱) و K نشانگر ($\times 10^3$) و M نشانگر ($\times 10^6$) است . ضمنا محل هر حرف معرف محل ممیز اعشاری مقدار مقاومت نیز است . تلورانس هر مقاومت نیز با افزودن حروف J=5% و K=10% و M=20% به علامت ها و ارقام تعیین می شود .

برای مثال 5K6K به مفهوم مقاومتی به مقدار اهمی 5.6KΩ±10% است .



Resistor Color Code System

۰ سیاه
۱ قهوه ای
۲ قرمز
۳ نارنجی
۴ زرد
۵ سبز
۶ آبی
۷ بنفش
۸ خاکستری
۹ سفید
٪۵ طلایی
٪۱۰ نقره ای

مقاومت ها در تمام مقادیر ساخته نمی شود و تنها مقادیر خاصی از مقاومت ها موجود می باشند . سایر مقادیر را می توان از ترکیب سری و موازی مقاومت ها به دست آورد . مقادیر مقاومت های استاندارد **E24** به صورت زیر است :

E24 Standard Series Values (5%)

1.0	10	100	1.0K (1K0)	10K	100K	1.0M(1M0)	10M
1.1	11	110	1.1K (1K1)	11K	110K	1.1M(1M1)	11M
1.2	12	120	1.2K (1K2)	12K	120K	1.2M(1M2)	12M
1.3	13	130	1.3K (1K3)	13K	130K	1.3M(1M3)	13M
1.5	15	150	1.5K (1K5)	15K	150K	1.5M(1M5)	15M
1.6	16	160	1.6K (1K6)	16K	160K	1.6M(1M6)	16M
1.8	18	180	1.8K (1K8)	18K	180K	1.8M(1M8)	18M
2.0	20	200	2.0K (2K0)	20K	200K	2.0M(2M0)	20M
2.2	22	220	2.2K (2K2)	22K	220K	2.2M(2M2)	22M
2.4	24	240	2.4K (2K4)	24K	240K	2.4M(2M4)	
2.7	27	270	2.7K (2K7)	27K	270K	2.7M(2M7)	
3.0	30	300	3.0K (3K0)	30K	300K	3.0M(3M0)	
3.3	33	330	3.3K (3K3)	33K	330K	3.3M(3M3)	
3.6	36	360	3.6K (3K6)	36K	360K	3.6M(3M6)	
3.9	39	390	3.9K (3K9)	39K	390K	3.9M(3M9)	
4.3	43	430	4.3K (4K3)	43K	430K	4.3M(4M0)	
4.7	47	470	4.7K (4K7)	47K	470K	4.7M(4M7)	
5.1	51	510	5.1K (5K1)	51K	510K	5.1M(5M1)	
5.6	56	560	5.6K (5K6)	56K	560K	5.6M(5M6)	
6.2	62	620	6.2K (6K2)	62K	620K	6.2M(6M2)	
6.8	68	680	6.8K (6K8)	68K	680K	6.8M(6M8)	
7.5	75	750	7.5K (7K5)	75K	750K	7.5M(7M5)	
8.2	82	820	8.2K (8K2)	82K	820K	8.2M(8M2)	
9.1	91	910	9.1K (9K1)	91K	910K	9.1M(9M1)	

مقاومت متغیر :

مقاومت متغیر گونه ای از متغیر می باشد که مقدار مقاومت آن از صفر تا ماکزیمم آن قابل تنظیم است . مطابق شکل زیر این قطعه از سه پایه تشکیل شده است که بین دو نقطه **A** و **B** ماکزیمم مقاومت قرار دارد و مقاومت نقطه **C** با هر یک از این پایه ها با چرخاندن پایه لغزان قابل تنظیم است .

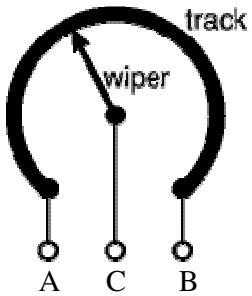
انواع مختلفی از مقاومت های متغیر وجود دارد . معمولی ترین نوع این مقاومت ها ، پتانسیومترها می باشند . پتانسیومترها تک دور می باشند و ماکزیمم توان قابل تحمل آن **2W** می باشد . مسیر حلقوی آن را می توان از ذغال یا سرمت (مخلوطی از اکسید فلزی و الومینیوم) تهیه کرد ولی برای توان های بیش از **2W** آن را از نوع سیم پیچی شده تهیه می کنند .

نوع دیگر از مقاومت های متغیر ، پتانسیومترهای چند دور یا مولتی ترن ها **Multiturn** می باشند . زبانه این نوع پتانسیومترها قابلیت چرخش چندین دور دارند . در مواردی که تنظیم دقیق و توان پایین مورد نیاز باشد از مولتی ترن ها استفاده می شود . نوع توان بالای مقاومت های متغیر ولوم ها می باشند .

مولتی ترن

ولوم

پتانسیومتر

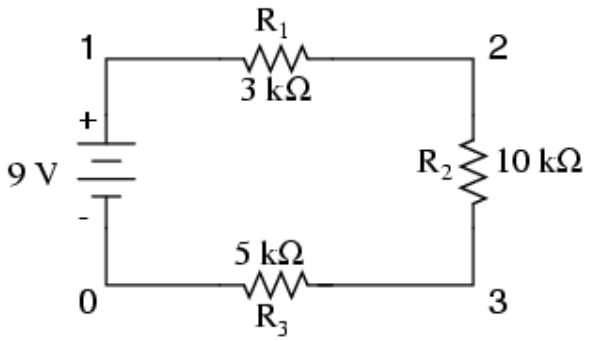


اتصال سری مقاومت ها :

اتصال سری بدین معنی می باشد که دو یا چند مقاومت پشت سر هم و بدون هیچ المان واسطه بـه یکـدیگر متصل شده باشند . در اتصال مقاومت کل برابر با مجموع مقاومت ها است . در اتصال سری مقاومت کل از هـر یک از مقاومت ها بزرگتر می باشد .

$R_S=R_1+R_2+R_3$

$RS=3K\Omega+10\ K\Omega+5\ K\Omega$
$R_S=18\ K\Omega$

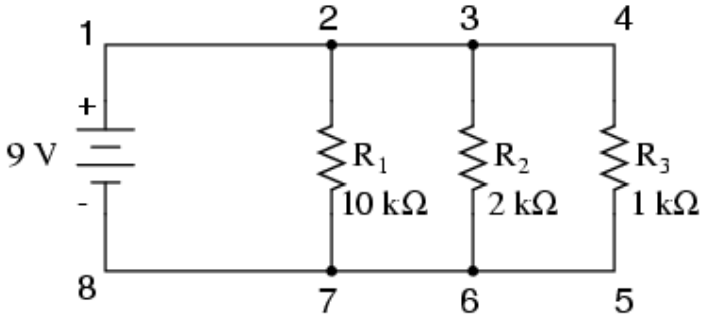


اتصال موازی مقاومت ها :

اتصال موازی بدین معنی می باشد که دو سر دو یا چند مقاومت مستقیما به یکدیگر متصل شـده باشـند . در این صورت مقاومت کل از هر یک از مقاومت ها کوچکتر می شود و از رابطه زیر به دست می آید :

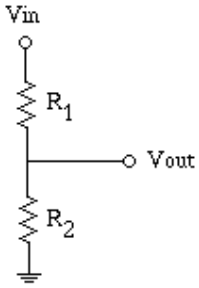
$1/R_P=1/R_1+1/R_2+1/R_3$

$1/R_P=1/10+1/2+1/1$
$1/R_P=16/10$
$R_P=10/16$



تقسیم ولتاژ :

هنگامی که مطابق شکل دو مقاومت متغیر یا ثابت با یکدیگر سری می شوند ولتاژ بین آنها از رابطـه زیـر بـه دست می آید .



از این قانون در پتانسیومتر جهت ساخت ولتاژ متغیر استفاده می شود . هنگامی که به دو سر یک پتانسیومتر ولتاژ ۵ ولت داده شود ، با تنظیم پتانسیومتر می تـوان از پایـه وسط آن ولتاژ متغیری بین صفر تا پنج ولت گرفت .

$$Vout = \frac{R_2}{R_1 + R_2} Vin$$

خازن :

خازن المان الکتریکی است که می‌تواند انرژی الکتریکی را به صورت بار الکتریکی در خود ذخیره کند . انواع خازن در مدارهای الکتریکی بکار می‌روند. خازن را با حرف **C** که ابتدای کلمه **Capacitor** است نمایش می‌دهند.

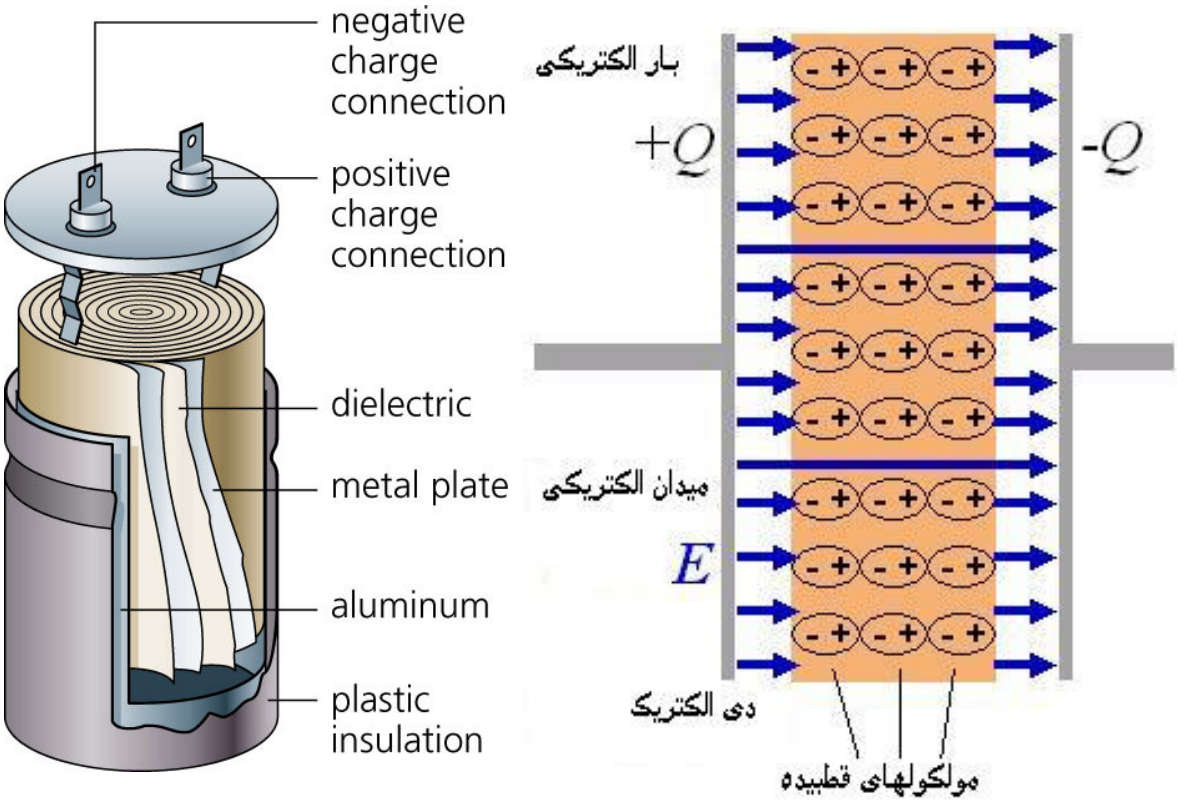
ساختمان خازن

ساختمان داخلی خازن از دو قسمت اصلی تشکیل می‌شود:

الف – صفحات هادی

ب – عایق بین هادیها (دی الکتریک)

هرگاه دو هادی در مقابل هم قرار گرفته و در بین آنها عایقی قرار داده شود، تشکیل خازن می‌دهند. معمولا صفحات هادی خازن از جنس آلومینیوم ، روی و نقره با سطح نسبتا زیاد بوده و در بین آنها عایقی (دی الکتریک) از جنس هوا ، کاغذ ، میکا ، پلاستیک ، سرامیک ، اکسید آلومینیوم و اکسید تانتالیوم استفاده می‌شود. هر چه ضریب دی الکتریک یک ماده عایق بزرگتر باشد آن دی الکتریک دارای خاصیت عایقی بهتر است. به عنوان مثال ، ضریب دی الکتریک هوا 1 و ضریب دی الکتریک اکسید آلومینیوم ۷ می‌باشد. بنابراین خاصیت عایقی اکسید آلومینیوم ۷ برابر خاصیت عایقی هوا است .



انواع خازن

الف -خازنهای ثابت

- سرامیکی
- خازنهای ورقه‌ای
- خازنهای میکا
- خازنهای الکترولیتی
- آلومینیومی
- تانتالیوم

ب -خازنهای متغیر

- واریابل
- تریمر

انواع خازن بر اساس دی الکتریک آنها

- خازن کاغذی
- خازن الکترونیکی
- خازن سرامیکی
- خازن متغییر

انواع خازن بر اساس شکل ظاهری آنها

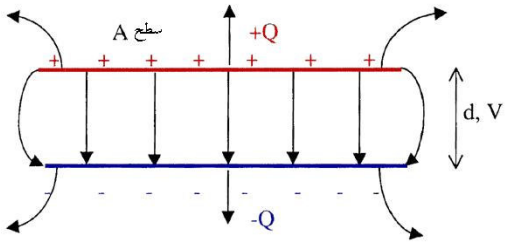
- مسطح
- کروی
- استوانه‌ای

خازن مسطح (خازن تخت)

دو صفحه فلزی موازی که بین آنها عایقی به نام دی الکتریک قرار دارد، مانند (هوا ، شیشه). با اتصال صفحات خازن به یک مولد می‌توان خازن را باردار کرد .اختلاف پتانسیل بین دو سر صفحات خازن برابر اختلاف پتانسیل دو سر مولد خواهد بود .

ظرفیت خازن (C)

نسبت مقدار باری که روی صفحات انباشته می‌شود بر اختلاف پتانسیل دو سر باتری را ظرفیت خازن گویند که مقداری ثابت است.



$C = k\varepsilon_0 A/d$

C = ظرفیت خازن بر حسب فاراد

Q = بار ذخیره شده برحسب کولن

V = اختلاف پتانسیل دو سر مولد برحسب ولت

ε_0 = قابلیت گذردهی خلا است که برابر است با: 8.85×10^{-12}

K (بدون یکا) = ثابت دی الکتریک است که برای هر ماده‌ای فرق دارد .برای هوا و خلا K تقریبا برابر ۱ است .

A = سطح خازن بر حسب m^2

D = فاصله بین دو صفه خازن بر حسب m

۱ فاراد واحد بزرگی است و مشخص کننده ظرفیت بالا می‌باشد.بنابراین استفاده از واحدهای کوچک‌تر نیز در خازنها مرسوم است. میکروفاراد μF، نانوفاراد nF و پیکوفاراد pF واحدهای کوچک‌تر فاراد هستند.

μ means 10^{6} (millionth), so 1000000μF = 1F
n means 10^{9} (thousand-millionth), so 1000nF = 1μF
p means 10^{12} (million-millionth), so 1000pF = 1nF

چند نکته

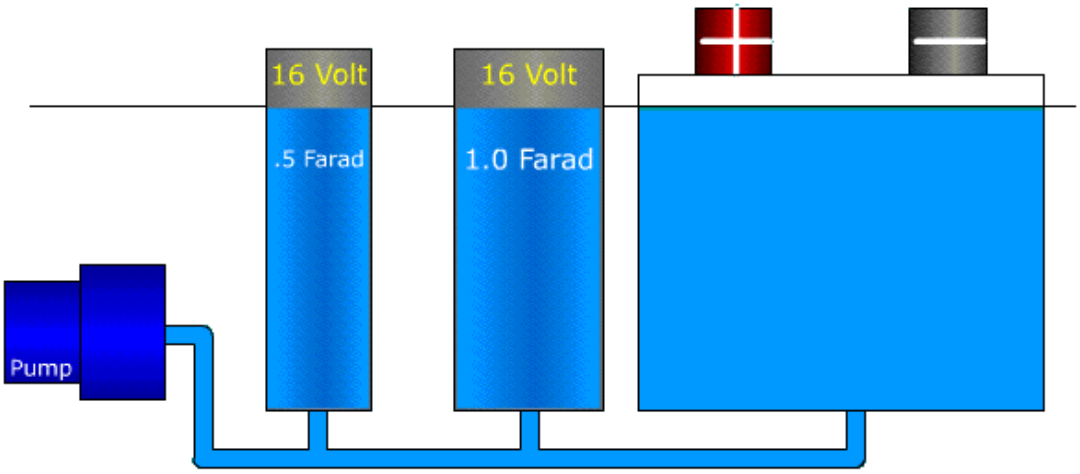
- آزمایش نشان می‌دهد که ظرفیت یک خازن به اندازه بار (q) و به اختلاف پتانسیل دو سر خازن (V)بستگی ندارد بلکه به نسبت q/v بستگی دارد.
- بار الکتریکی ذخیره شده در خازن با اختلاف پتانسیل دو سر خازن نسبت مستقیم دارد . ظرفیت خازن با فاصله بین دو صفحه نسبت عکس دارد.
- ظرفیت خازن با مساحت هر یک از صفحات و جنس دی الکتریک(K) نسبت مستقیم دارد .

شارژ یا پر کردن یک خازن

وقتی که یک خازن بی بار را به دو سر یک باتری وصل کنیم؛ الکترونها در مدار جاری می‌شوند . بدین ترتیب یکی از صفحات بار (+) و صفحه دیگر بار (-) پیدا می‌کند. آن صفحه‌ای که به قطب مثبت باتری وصل شده بار مثبت و صفحه دیگر بار منفی پیدا می‌کند. خازن پس از ذخیره کردن مقدار معینی از بار الکتریکی پر می‌شود. یعنی با توجه به اینکه کلید همچنان بسته است؛ ولی جریانی از مدار عبور نمی‌کند و در واقع جریان به صفر می‌رسد. یعنی به محض اینکه یک خازن خالی بدون بار را در یک مدار به مولد متصل کردیم ، پس از مدتی کوتاه عقربه آمپرمتر دوباره روی صفر بر می‌گردد. یعنی دیگر جریانی از مدار عبور نمی‌کند. در این حالت می‌گوییم خازن پرشده است .

دشارژ یا تخلیه یک خازن

ابتدا خازنی را که پر است در نظر می‌گیریم. دو سر خازن را توسط یک سیم به همدیگر وصل می‌کنیم. در این حالت برای مدت کوتاهی جریانی در مدار برقرار می‌شود و این جریان تا زمانی که بار روی صفحات خازن وجود دارد برقرار است. پس از مدت زمانی جریان صفر خواهد شد. یعنی دیگر باری بر روی صفحات خازن وجود ندارد و خازن تخلیه شده است. اگر خازن کاملا پر شود دیگر جریانی برقرار نمی‌شود و اگر خازن کاملا تخلیه شود باز هم جریانی برقرار نمی‌شود .



اتصال خازنها

خازنها در مدار به دو صورت بسته می‌شوند :

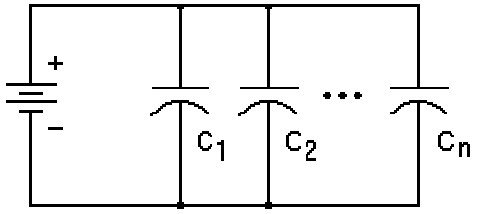
- موازی
- سری

بستن خازنها به روش موازی

در بستن به روش موازی بین خازنها دو نقطه اشتراک وجود دارد. در این نوع روش اختلاف پتانسیل برای همهٔ خازنها یکی است . بار ذخیره شده در کل مدار برابر است با مجموع بارهای ذخیره شده در هریک از خازنها .

ظرفیت معادل در حالت موازی :

هرگاه چند خازن باهم موازی باشند، ظرفیت خازن معادل برابر است با مجموع ظرفیت خازنها



$V = V1 = V2 = V3$

ظرفیت کل $C = C1 + C2 + C3$

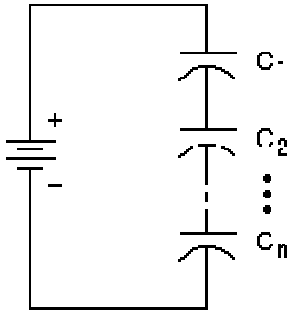
بستن خازنها بصورت سری

در بستن به روش سری بین خازنها یک نقطه اشتراک وجود دارد و تنها دو صفحه دو طرف مجموعه به مولد بسته شده و از مولد بار دریافت می‌کند . صفحات مقابل نیز از طریق القاء بار الکتریکی دریافت می‌کنند. بنابراین اندازه بار الکتریکی روی همه خازنها در این حالت باهم برابر است.

اختلاف پتانسیل دو سر مدار برابر است با مجموع اختلاف پتانسیل دو سر هر یک از خازنها

ظرفیت کل در حالت متوالی ، وارون ظرفیت معادل ، برابر است با مجموع وارون هریک از خازنها

ظرفیت معادل در حالت متوالی:



اختلاف پتانسیل کل $V = V1 = V2 = V3$

ظرفیت کل $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$

کاربرد خازن

با توجه به اینکه بار الکتریکی در خازن ذخیره می‌شود؛ برای ایجاد میدانهای الکتریکی یکنواخت می‌توان از خازن استفاده کرد. خازنها می‌توانند میدانهای الکتریکی را در حجمهای کوچک نگه دارند؛ به علاوه می‌توان از آنها برای ذخیره کردن انرژی استفاده کرد. همچنین از خازن‌ها برای صاف کردن سطح تغییرات ولتاژ مستقیم استفاده می‌شود. از خازن‌ها در مدارات به‌عنوان فیلتر هم استفاده می‌شود. زیرا خازن‌ها به راحتی سیگنالهای غیر مستقیم AC را عبور می‌دهند ولی مانع عبور سیگنالهای مستقیم DC می‌شوند . خازن ها به همراه مقاومت‌ها ، در مدارات تایمینگ استفاده می‌شوند.وجود خازن تقریبا برای عملکرد صحیح تمام مدارهای الکترونیک ضروری است .

کاربرد خازنها در مدارات دیجیتال و انالوگ:

در مدارات دیجیتال از خازنها به عنوان عنصر ذخیره کننده انرژی استفاده میکنند که در یک لحظه شارژ و در لحظه دیگر دشارژ میشود ولی در مدارات انالوگ از خازن جهت ایزوله کردن(جداساختن)دو منبع متناوب و مستقیم استفاده میشود خازن در برابر ولتاژ متناوب مثل اتصال کوتاه عمل میکند و اجازه ورود یا خروج میدهد ولی در مقابل ولتاژ مستقیم همانند سد عمل میکند و اجازه ورود و یا خارج شدن ولتاژ مستقیم از مدار را به قسمت تحت ایزوله خود نمیدهد

انواع خازن :

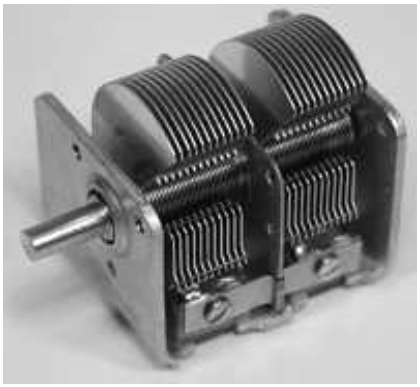
خازنها انواع مختلفی دارند و از لحاظ شکل و اندازه با یک دیگر متفاوت‌اند. بعضی از خازنها از روغن پر شده و بسیار حجیم‌اند. برخی دیگر بسیار کوچک و به اندازه یک دانه عدس می‌باشند.

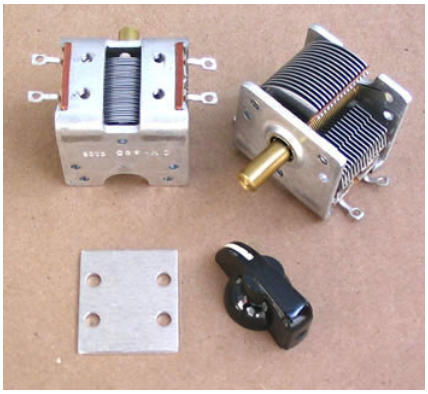
خازنهای ثابت

این خازنها دارای ظرفیت معینی هستند که در وضعیت معمولی تغییر پیدا نمی‌کنند. خازنهای ثابت را بر اساس نوع ماده دی الکتریک به کار رفته در آنها تقسیم بندی و نام گذاری می‌کنند و از آنها در مصارف مختلف استفاده می‌شود. از جمله این خازنها می‌توان انواع سرامیکی ، میکا، ورقه‌ای (کاغذی و پلاستیکی) ، الکترولیتی ، روغنی ، گازی و نوع خاص فیلم (Film) را نام برد. اگر ماده دی الکتریک طی یک فعالیت شیمیایی تشکیل شده باشد آن را خازن الکترولیتی و در غیر این صورت آن را خازن خشک گویند . خازنهای روغنی و گازی در صنعت برق بیشتر در مدارهای الکتریکی برای راه اندازی و یا اصلاح ضریب قدرت به کار می‌روند. بقیه خازنهای ثابت دارای ویژگیهای خاصی هستند .

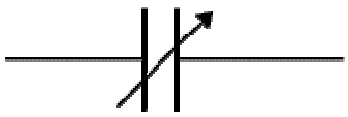
خازنهای متغیر

به طور کلی با تغییر سه عامل می‌توان ظرفیت خازن را تغییر داد : فاصله صفحات ، سطح صفحات و نوع دی الکتریک . اساس کار خازن متغیر بر مبنای تغییر سطح مشترک صفحات خازن یا تغییر ضخامت دی الکتریک است، ظرفیت یک خازن نسبت مستقیم با سطح مشترک دو صفحه خازن دارد. خازنهای متغیر عموما ازنوع عایق هوا یا پلاستیک هستند. نوعی که به وسیله دسته متحرک (محور) عمل تغییر ظرفیت انجام می‌شود واریابل نامند و در نوع دیگر این عمل به وسیله پیچ گوشتی صورت می‌گیرد که به آن تریمر گویند. محدوده ظرفیت خازنهای واریابل ۱۰ تا ۴۰۰ پیکو فاراد و در خازنهای تریمر از ۵ تا ۳۰ پیکو فاراد است . از این خازنها در گیرنده‌های رادیویی برای تنظیم فرکانس ایستگاه رادیویی استفاده می‌شود .





در مدارات تیونینگ رادیوئی از این خازن ها استفاده می شود و به همین دلیل به این خازنها گاهی خازن تیونینگ هم اطلاق می شود . ظرفیت این خازن ها خیلی کم و در حدود ۱۰۰ تا ۵۰۰ پیکوفاراد است و بدلیل ظرفیت پائین در مدارات تایمینگ مورد استفاده قرار نمی گیرند .
در مدارات تایمینگ از خازن های ثابت استفاده می شود و اگر نیاز باشد دوره تناوب را تغییر دهیم ، این عمل بکمک مقاومت انجام می شود

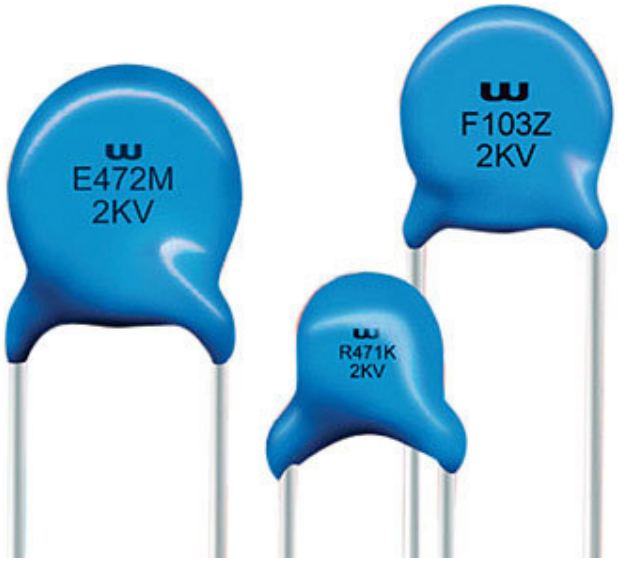


خازن های تریمر :

خازن های تریمر خازن های متغییر کوچک و با ظرفیت بسیار پائین هستند . ظرفیت این خازن ها از حدود ۱ تا ۱۰۰ پیکوفاراد ماست و بیشتر در تیونرهای مدارات با فرکانس بالا مورد استفاده قرار می گیرند .

خازنهای سرامیکی

خازن سرامیکی (Ceramic capacitor) معمولترین خازن غیر الکترولیتی است که در آن دی الکتریک بکار رفته از جنس سرامیک است. ثابت دی الکتریک سرامیک بالا است، از این رو امکان ساخت خازنهای با ظرفیت زیاد در اندازه کوچک را در مقایسه با سایر خازنها بوجود آورده ، در نتیجه ولتاژ کار آنها بالا خواهد بود. ظرفیت خازنهای سرامیکی معمولا بین ۵ پیکو فاراد تا ۰/۱ میکرو فاراد است. این نوع خازن به صورت دیسکی (عدسی) و استوانه‌ای تولید می‌شود و فرکانس کار خازنهای سرامیکی بالای ۱۰۰ مگاهرتز است. عیب بزرگ این خازنها وابسته بودن ظرفیت آنها به دمای محیط است، زیرا با تغییر دما ظرفیت خازن تغییر می‌کند. از این خازن در مدارهای الکترونیکی ، مانند مدارهای مخابراتی و رادیویی استفاده می‌شود .

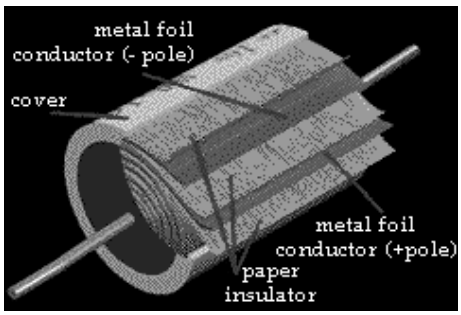


خازنهای ورقه‌ای

در خازنهای ورقه‌ای از کاغذ و مواد پلاستیکی به سبب انعطاف پذیری آنها ، برای دی الکتریک استفاده می‌شود. این گروه از خازنها خود به دو صورت ساخته می‌شوند :

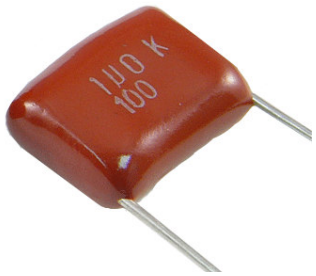
خازنهای کاغذی

دی الکتریک این نوع خازن از یک صفحه نازک کاغذ متخلخل تشکیل شده که یک دی الکتریک مناسب درون آن تزریق می‌گردد تا مانع از جذب رطوبت گردد .برای جلوگیری از تبخیر دی الکتریک درون کاغذ ، خازن را درون یک قاب محکم و نفوذ ناپذیر قرار می‌دهند. خازنهای کاغذی به علت کوچک بودن ضریب دی الکتریک عایق آنها دارای ابعاد فیزیکی بزرگ هستند، اما از مزایای این خازنها آن است که در ولتاژها و جریانهای زیاد می‌توان از آنها استفاده کرد .



خازنهای پلاستیکی

در این نوع خازن از ورقه‌های نازک پلاستیک برای دی الکتریک استفاده می‌شود. ورقه‌های پلاستیکی همراه با ورقه‌های نازک فلزی (آلومینیومی) به صورت لوله ، در درون قاب پلاستیکی بسته بندی می‌شوند. امروزه این نوع خازنها به دلیل داشتن مشخصات خوب در مدارات زیاد به کار می‌روند. این خازنها نسبت به تغییرات دما حساسیت زیادی ندارند، به همین سبب از آنها در مداراتی استفاده می‌کنند که احتیاج به خازنی با ظرفیت ثابت در مقابل حرارت باشد. یکی از انواع دی الکتریکهایی که در این خازنها به کار می‌رود پلی استایرن () است، از این رو به این خازنها پلی استر گفته می‌شود که از جمله رایج‌ترین خازنهای پلاستیکی است . ماکزیمم فرکانس کار خازنهای پلاستیکی حدود یک مگا هرتز است .



خازنهای میکا

در این نوع خازن از ورقه‌های نازک میکا در بین صفحات خازن (ورقه‌های فلزی – آلومینیوم) استفاده می‌شود و در پایان ، مجموعه در یک محفظه قرار داده می‌شوند تا از اثر رطوبت جلوگیری شود . ظرفیت خازنهای میکا تقریبا بین 0.01 تا 1 میکرو فاراد است. از ویژگیهای اصلی و مهم این خازنها می‌توان داشتن ولتاژ کار بالا ، عمر طولانی و کاربرد در مدارات فرکانس بالا را نام برد .

خازنهای الکترولیتی

این نوع خازنها معمولاً در رنج میکرو فاراد هستند. خازنهای الکترولیتی همان خازنهای ثابت هستند، اما اندازه و ظرفیتشان از خازنهای ثابت بزرگتر است. نام دیگر این خازنها، شیمیایی است. علت نامیدن آنها به این نام این است که دی الکتریک این خازنها را به نوعی مواد شیمیایی آغشته می‌کنند که در عمل ، حالت یک کاتالیزور را دارا می‌باشند و باعث بالا رفتن ظرفیت خازن می‌شوند. برخلاف خازنهای عدسی ، این خازنها دارای قطب یا پایه مثبت و منفی می‌باشند. روی بدنه خازن کنار پایه منفی ، علامت – نوشته شده است. مقدار واقعی ظرفیت و ولتاژ قابل تحمل آنها نیز روی بدنه درج شده است. خازنهای الکترولیتی در دو نوع آلومینیومی و تانتالیومی ساخته می‌شوند .

خازن آلومینیومی

این خازن همانند خازنهای ورقه‌ای از دو ورقه آلومینیومی تشکیل شده است. یکی از این ورقه‌ها که لایه اکسید روی آن ایجاد می‌شود ''آند'' نامیده می‌شود و ورقه آلومینیومی دیگر نقش کاتد را دارد. ساختمان داخلی آن بدین صورت است که دو ورقه آلومینیومی به همراه دو لایه کاغذ متخلخل که در بین آنها قرار دارند هم زمان پیچیده شده و سیمهای اتصال نیز به انتهای ورقه‌های آلومینیومی متصل می‌شوند. پس از پیچیدن ورقه‌ها آن را درون یک الکترولیت مناسب که شکل گیری لایه اکسید را سرعت می‌بخشد غوطه‌ور می‌سازند تا دو لایه کاغذ متخلخل از الکترولیت پر شوند. سپس کل مجموعه را درون یک قاب فلزی قرار داده و با یک پولک پلاستیکی که سیمهای خازن از آن می‌گذرد محکم بسته می‌شود .

خازن تانتالیوم

در این نوع خازن به جای آلومینیوم از فلز تانتالیوم استفاده می‌شود زیاد بودن ثابت دی الکتریک اکسید تانتالیوم نسبت به اکسید آلومینیوم) حدودا ۳ برابر) سبب می‌شود خازنهای تانتالیومی نسبت به نوع آلومینیومی درحجم مساوی دارای ظرفیت بیشتری باشند.

محاسن خازن تانتالیومی نسبت به نوع آلومینیومی بدین قرار است:

۱. **ابعاد کوچکتر**
۲. **جریان نشتی کمتر**
۳. **عمر کارکرد طولانی**

از جمله معایب این نوع خازن در مقایسه با خازنهای آلومینیومی عبارتند از:

۱. **خازنهای تانتالیوم گرانتر هستند .**
۲. **نسبت به افزایش ولتاژ اعمال شده در مقابل ولتاژ مجاز آن، همچنین پلاریته معکوس حساس ترند .**
۳. **قابلیت تحمل جریانهای شارژ و دشارژ زیاد را ندارند .**
۴. **خازنهای تانتالیوم دارای محدودیت ظرفیت هستند (حد اکثر تا ۳۳۰ میکرو فاراد ساخته می شوند)**

کدهای رنگی :

در خازن‌های پلی استر برای سالهای زیادی از کدهای رنگی بر روی بدنه آنها استفاده می‌شد. در این کدها سه رنگ اول ظرفیت را نشان می‌دهند و رنگ چهارم تولرانس(درصد خطا) را نشان می‌دهد . برای مثال قهوه‌ای - مشکی - نارنجی به معنی ۱۰۰۰۰ پیکوفاراد یا ۱۰ نانوفاراد است. خازن‌های پلیستر امروزه به وفور در مدارات الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. این خازنها در برابر حرارت زیاد معیوب می‌شوند و بنابراین هنگام لحیمکاری باید به این نکته توجه داشت.

ترتیب رنگی خازن‌ها به ترتیب از ۰ تا ۹ به صورت زیر است:

سیاه، قهوه ای، قرمز، نارنجی، زرد، سبز، آبی، بنفش، خاکستری، سفید

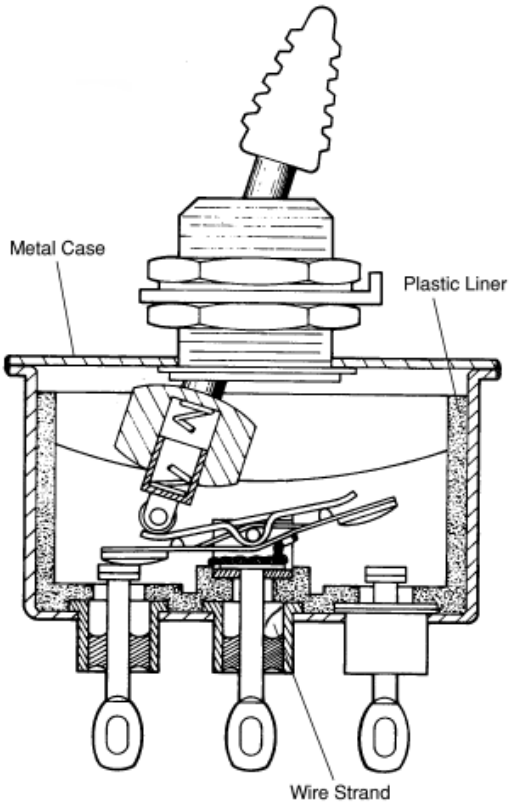
خازن‌ها با هر ظرفیتی وجود ندارند. بطور مثال خازن‌های ۲۲ میکروفاراد یا ۴۷ میکروفاراد وجود دارند ولی خازن‌های ۲۵ میکروفاراد یا ۱۱۷ میکروفاراد وجود ندارند.

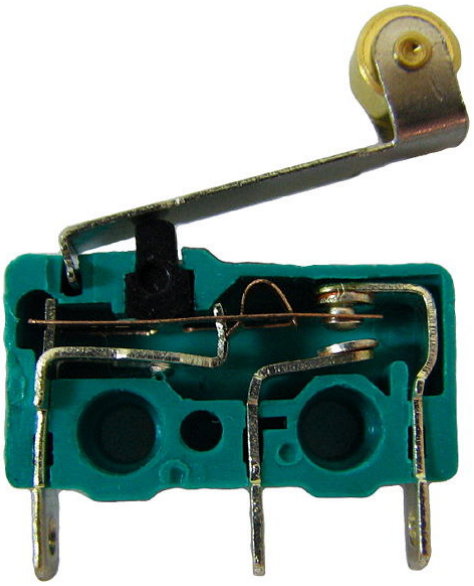
رنگ	رقم ۱	رقم ۲	ضریب	ولتاژ مجاز
سیاه	–	۰	۱ میکروفاراد	۱۰ ولت
قهوه‌ای	۱	۱	۱۰ میکروفاراد	–
قرمز	۲	۲	۱۰۰ میکروفاراد	–
نارنجی	۳	۳	–	–
زرد	۴	۴	–	۶٫۳ ولت
سبز	۵	۵	–	۱۶ ولت
آبی	۶	۶	–	۲۰ ولت
بنفش	۷	۷	–	–
خاکستری	۸	۸	۰٫۰۱	۲۵ ولت
سفید	۹	۹	۰٫۶	۳۰ ولت
صورتی	–	–	–	۳۵ ولت

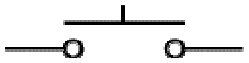
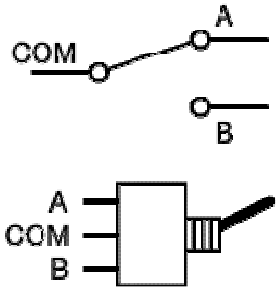
کلید(سوئیچ):

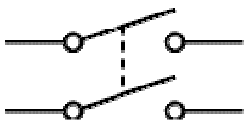
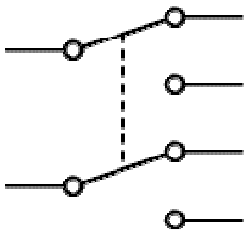
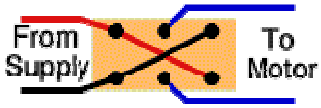
یک قطعه الکترومکانیکی که مسیر جریان الکتریکی را قطع و وصل می کند. کلیدها در واقع اتصال فلزیی هستند که به منظور قطع یا وصل کردن جریان مدار ، از یکدیگر جدا ویا به هم متصل می شوند . عملکرد کلید به عوامل زیر وابسته است :

اولا جریان بیشینه ای که می تواند تحمل کند و ثانیا ولتاژ کار آن . مقدار این دوپارامتر برای هر کلید در جریان DC و AC متفاوت است . برای مثال اگر ولتاژ کاری سوییچ در جریان AC ، 240V و بیشترین جریان مجاز آن 1.5A باشد ، در جریان DC این مقادیر به 20V و 3A تغییر می کند . اگر این سوییچ در مداری قرار گیرد که اندازه های فوق از این حد زیادتر شوند ، از عمر و دوام آن کاسته می شود . عامل هایی که باعث کاهش عمر سوییچ می شوند ، یکی گرمایی است که در حالت وصل در اثر عبور جریان در آن ایجاد می شود و عامل دیگر تبخیر اتصال های فلزی آن در حالت قطع سوییچ است که در اثر وقوع جرقه در فاصله هوایی بین دو رابط اتصال سوییچ ها است که به طور معمول مقدار آن در جریان های DC بیشتر از جریان AC است ، به دلیل اینکه جریان AC در هر چرخه کامل دو مرتبه صفر می شود .





انواع سوییچ	علامت	نمونه
کلید قطع و وصل SPST Single Pole, Single Throw = SPST **از این کلید معمولا برای قطع و وصل تغذیه مدار استفاده می شود . این کلید در مسیر ولتاژ مثبت قرار می گیرد . پیشنهاد می شود برای قطع و وصل تغذیه مدار از کلیدهای قطع و وصل دوبل به جای این نوع کلید استفاده شود .**		 SPST toggle switch
کلید فشاری N.O **در این نوع کلید با فشار کلید ، کلید بسته شده و جریان عبور می کند . با آزاد شدن کلید ، کلید باز شده و جریان قطع می گردد .**		 Normal Open Push Button
کلید فشاری N.C **این نوع کلید در حالت عادی بسته بوده و با فشار کلید ، کلید باز شده و جریان را قطع می کند .**		 Normal Close Push Button
کلید های SPDT Single Pole, Double Throw = SPDT **از این کلیدها جهت سوییچ کردن بین دو مسیر استفاده می شود . پایه وسط مشترک می باشد و در هر وضعیت به یکی از پایه های کناری متصل می گردد .**		 SPDT toggle switch SPDT slide switch (PCB mounting) SPDT rocker switch

کلید های قطع و وصل دوبل DPST Double Pole, Single Throw = DPST از این کلید معمولا جهت قطع و وصل تغذیه مدار استفاده می شود . این کلید می تواند هر دو خط مثبت و منفی تغذیه را قطع و وصل کند .		 DPST rocker switch
کلیدهای DPDT Double Pole, Double Throw = DPDT این کلید شامل دو کلید SPDT می باشد که هر دو با هم تحریک می شوند . از این کلید می توان برای معکوس کردن دستی جهت چرخش موتور **DC** استفاده کرد .		 DPDT slide switch  Wiring for Reversing Switch

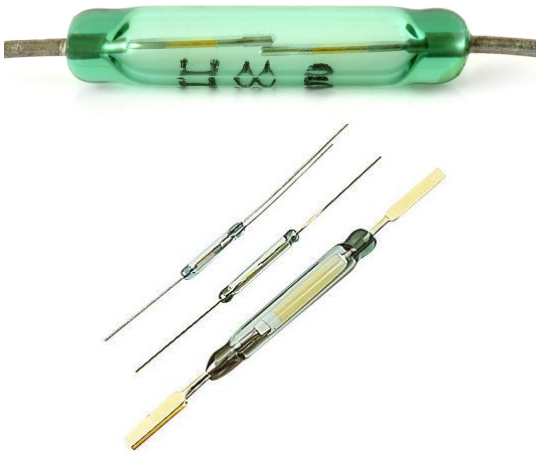
کلیدهای خاص :

نوع کلید	نمونه
کلیدهای خارکی یا دو فشاری این کلیدها نوع خاصی از کلیدهای SPST فشاری می باشد . این کلید با یک بار فشار وصل می گردد و با فشار دوم قطع می گردد .	
میکروسوییچ میکروسوییچ ها کلیدهای ظریفی هستند که جهت کلیدزنی در جابجایی های کوتاه استفاده می شود و معمولا از نوع SPDT می باشند	
کلید های جیوه ای : در این کلیدها از خاصیت رسانایی مایع جیوه جهت کلیدزنی استفاده می شود . از این کلید معمولا جهت تشخیص موقعیت و شیب یک جسم استفاده می شود و معمولا از نوع SPST می باشند .	

سوییچ های مغناطیسی REED SWITCH

این سوییچ ها متشکل از تیغه های نازکی از آلیاژ آهن نیکل هستند که در لوله شیشه ای نازکی قرار گرفته اند و ایجاد و انهدام خاصیت مغناطیسی در آنها ساده است .

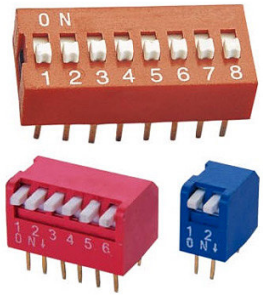
سوییچ یا توسط جریانی که از سیم پیچ پیچیده شده به دور شیشه سوییچ می گذرد به کار می افتد و یا با نزدیک کردن آهنربای تیغه ای به آن ، کار می کند . در هر دو حالت تیغه ها آهنربا شده و یکدیگر را جذب می کنند که با این عمل مدار وصل شده به پایانه آن ، کامل می شود .



دیپ سوییچ

DIP Switch (DIP = Dual In-line Parallel)

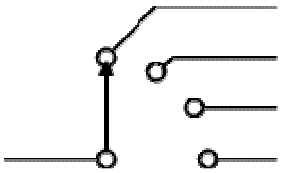
دیپ سوییچ شامل مجموعه ای از کلیدهای ظریف SPST نوع لغزشی می باشد که در یک پک واحد قرار گرفته اند .



سلکتور :

از کلید سلکتور جهت سوییچ کردن یک خط بین چند خط دیگر استفاده می شود . به عنوان مثال سلکتور یک ورودی را بین ۴ خروجی سوییچ می کند .

Multi-way rotary switch



1-pole 4-way switch symbol

دیود :

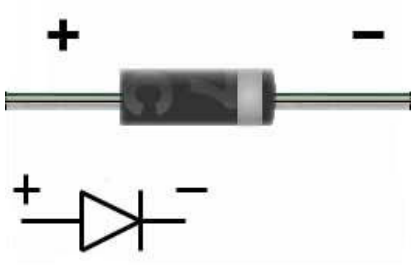
دیود قطعه ای الکترونیکی است که از اتصال دولایه نیمه هادی نوع **P** و **N** تشکیل شده است . دیودها جریان الکتریکی را در یک جهت از خود عبور می‌دهند و در جهت دیگر در مقابل عبور جریان از خود مقاومت بالایی نشان می‌دهند.

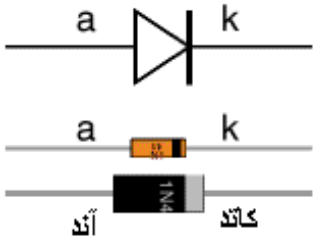
در پیوند نیمه هادی نوع **p & n** درون دیود ، الکترونهای آزاد و حفره ها از محل پیوند عبور کرده ، با هم ترکیب می شوند و تشکیل یک لایه سد یا عایق می دهند . یک منطقه تخلیه در محل پیوند ها ایجاد می شود که فاقد الکترونهای آزاد و حفره ها می باشد ، لکن اتمهایی که الکترون از دست داده و یا گرفته اند ، در دو طرف لایه سد و در منطقه تخلیه وجود دارند .

اتمهای یونیزه شده ، ایجاد سد پتانسیل می کنند که برای نیمه هادی ژرمانیومی حدود ۰.۲ ولت است و برای نیمه هادی سیلسیمی حدود ۰.۶ ولت است .

سد پتانسیل تشکیل شده از حرکت و ترکیب بیشتر الکترونها و حفره ها در لایه سد جلوگیری به عمل آید .

کریستال نیمه هادی نوع **p** دارای بار الکتریکی مثبت و کریستال نیمه هادی **n** دارای بار الکتریکی منفی می باشد .





بایاس دیود:

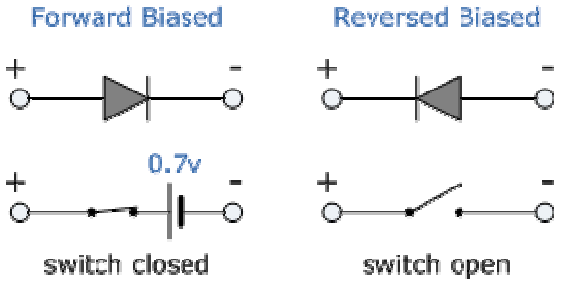
وصل کردن ولتاژ به دیود را بایاس کردن دیود می گویند .

بایاس مستقیم :

اگرنیمه هادی نوع **p** به قطب مثبت باتری و نیمه هادی نوع **n** به قطب منفی آن وصل شود و ولتاژ از پتانسیل سد دیود بیشترباشد ، در مدار جریان بر قرار خواهد شد.

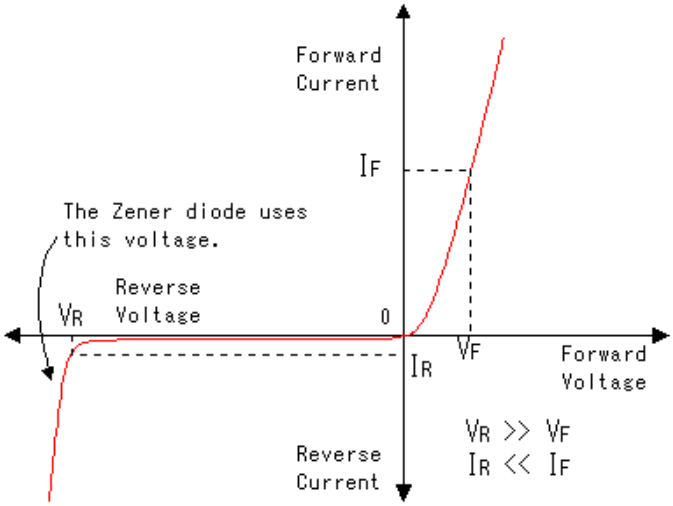
بایاس معکوس :

اگر قطب مثبت باتری به نیمه هادی نوع **n** وصل شود و قطب منفی باتری به نیمه هادی نوع **p** وصل شود ، جریانی در مدار نخواهیم داشت .



از لحاظ الکتریکی یک دیود هنگامی عبور جریان را از خود ممکن می‌سازد که شما با برقرار کردن ولتاژ در جهت موافق (+ به آند و – به کاتد) آنرا آماده کار کنید. مقدار ولتاژی که باعث می‌شود تا دیود شروع به هدایت جریان الکتریکی نماید ولتاژ آستانه یا (**forward voltage drop**) نامیده می‌شود که چیزی حدود ۰،۶ تا ۰،۷ ولت می‌باشد. اما هنگامی که شما ولتاژ معکوس به دیود متصل می‌کنید (+ به کاتد و – به آند)

جریانی از دیود عبور نمی‌کند، مگر جریان بسیار کمی که به جریان نشتی معرف است که در حدود چند μA یا حتی کمتر می‌باشد. این مقدار جریان معمولاً در اغلب مدارهای الکترونیکی قابل صرفنظر کردن بوده و تأثیر در رفتار سایر المانهای مدار نمیگذارد.



اما نکته مهم آنکه تمام دیودها یک آستانه برای حداکثر ولتاژ معکوس دارند که اگر ولتاژمعکوس بیش از آن شود دیوید می‌سوزد و جریان را در جهت معکوس هم عبور می‌دهد. به این ولتاژ آستانه شکست گفته می‌شود.

در دسته بندی اصلی، دیودها را به سه قسمت اصلی تقسیم می‌کنند، دیودهای سیگنال که برای آشکار سازی در رادیو بکار می‌روند و جریانی در حد میلی آمپر از خود عبور می‌دهند، دیودهای یکسوکننده (**Rectifiers**) که برای یکسوسازی جریانهای متناوب بکاربرده می‌شوند و توانایی عبور جریانهای زیاد را دارند و بالآخره دیودهای زنر (**Zener**) که برای تثبیت ولتاژ از آنها استفاده می‌شود. برای شناسایی قسمت + و- دیود از اهم متر استفاده میشود که باتوجه به عقربه ی اهم متر میتوان این شناسایی را انجام داد.

انواع دیود ها

دیود اتصال نقطه ای

دیود زنر

دیود نور دهندهLED

دیود خازنی (واراکتو)

فتو دیود

دیود اتصال نقطه ای

دیود های معمولی در بایاس معکوس ایجاد ظرفیت می کنند . اگر بخواهیم در فرکانس های بالا به کار بریم ، به علت ظرفیت خازنی در بایاس معکوس ، جریان در مدار عبور می کند . چون در فرکانس های بالا مقاومت دیود کم می شود . برای جلوگیری از این کار از دیود اتصال نقطه ای استفاده می کنیم

دیود زنر :

دیود زنر ، مانند یک دیود معمولی از دو نیمه هادی نوع P & N ساخته می شود . اگر یه دیود معمولی را در بایاس معکوس اتصال دهیم و ولتاژ معکوس را زیاد کنیم ، در یک ولتاژ خاص ، دیود در بایاس معکوس نیز شروع به هدایت می کند . ولتاژی که دیود در بایاس مخالف ، شروع به هدایت می کند ، به ولتاژ زنر معروف است و با تنظیم نا خالصی می توان ولتاژ شکسته شدن پیوند ها را کنترل کرد

ولتاژ زنر : ولتاژی که دیود زنر به ازای آن در بایاس معکوس ، هادی می شود به ولتاژ زنر معروف است.

دیودهای زنر در واقع نوعی دیود سیلیکونی ویژه هستند . طراحی آنها به گونه ای است که بتوانند ولتاژ شکست معکوسی را به صورت مداوم ارائه کنند . گروههای متنوعی از دیودهای زنر وجود دارد (بسته به مشخصه های عمومی ، نوع بسته ، و توان قابل تحمل).ولتاژ شکست آنها با اعداد ترجیحی سری E12 و E24مترادف است(ولتاژ شکست آنها از ۲.۷ ولت تا ۸۶ ولت می باشد)

خانواده های زیر از متداولترین نمونه های دیود زنر میباشند:

سری Bzy88 : پوشش شیشه ای کوچک ، با توان ۵۰۰ میلی وات(در ۲۵ درجه سانتیگراد). محدوده ولتاژ شکست این نوع دیودها از ۲.۷ تا ۱۵ ولت میباشد . ولتاژهای مذکور با عبور جریانی معادل ۲۵ میلی آمپر و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد اندازه گیری شده اند).

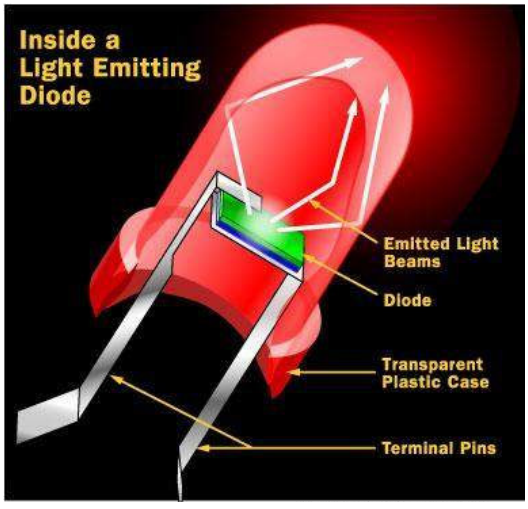
سری Bzx85 : پوشش شیشه ای کوچک ، با توان ۱.۳ وات(در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد). محدوده ولتاژشکست این نوع دیودها از ۲.۷ تا ۶.۸ ولت میباشد.

سری Bzx61 : پوشش آلیاژ فلزی ، با توان ۱.۳ میلی وات(در ۲۵ درجه سانتیگراد). محدوده ولتاژشکست این نوع دیودها از ۷.۵ تا ۷۲ ولت میباشد .

سری Bzy93 : پوشش تکمه ای ، با توان ۲۰ وات بای کار در دمای محیط ۷۴ درجه سانتیگراد ، محدوده ولتاژشکست این نوع دیودها از ۹.۱ تا ۷۵ ولت میباشد.

سری n5333 : پوشش پلاستیکی ، با توان ۵ وات . محدوده ولتاژشکست این نوع دیودها از ۳.۳ تا ۲۴ ولت میباشد .

دیود نوردهنده LED :



این دیود از دو نوع نیمه هادی P & N تشکیل شده است . هر گاه این دیود ، در بایاس مستقیم ولتاژی قرار گیرد و شدت جریان به اندازه کافی باشد ، دیود ، از خود نور تولید می کند . نور تولید شده در محل اتصال دو نیمه هادی تشکیل می شود . نور تولیدی بستگی به جنس به کار برده شده در نیمه هادی دارد .

این لامپ چند مزایا بر لامپ های معمولی دارد که عبارتند از :

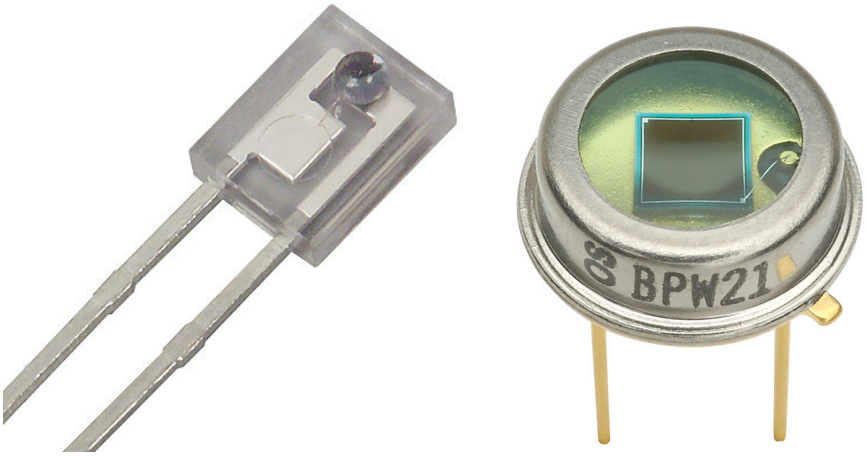
- کوچک بودن و نیاز به فضای کم
- محکم بودن و داشتن عمر طولانی (حدود صد هزار ساعت کار)
- قطع و وصل سریع نور
- تلفات حرارتی کم
- ولتاژ کار کم ، بین ۱.۷ ولت تا ۳.۳ ولت
- جریان کم حدود چند میلی آمپر با نور قابل رویت
- توان کم ، حدود ۱۰ تا ۱۵۰ میلی وات

دیود خازنی (واراکتور) :

این دیود از دو نیمه هادی نوع P & N تشکیل می شود . دیود خازنی در واقع دیودی است که به جای خازن بکار می رود و مقدار ظرفیت آن با ولتاژ دو سر آن رابطه عکس دارد .

فتو دیود :

این دیود از دو نیمه هادی نوع P & N تشکیل می شود . با این تفاوت که محل پیوند P & N ، جهت تابانیدن نور به آن از مواد پلاستیکی سیاه پوشیده نمی باشد ، بلکه توسط شیشه و یا پلاستیک شفاف پوشیده می گردد تا نور بتواند با آسانی به آن بتابد . روی اکثر فتو دیود ها یک لنز بسیار کوچک نصب می شود تا بتواند نور تابانیده شده به آن را متمرکز کرده و به محل پیوند برساند .



ترانسفورماتور :

ترانسفورماتور (Transformer) وسیله‌ای است که انرژی الکتریکی را به وسیله دو سیم‌پیچ و از طریق القای الکتریکی از یک مدار به مداری دیگر منتقل می‌کند. به این صورت که جریان جاری در مدار اول (اولیه ترانسفورماتور) موجب به وجود آمدن یک میدان مغناطیسی در اطراف سیم‌پیچ اول می‌شود, این میدان مغناطیسی به نوبه خود موجب به وجود آمدن یک ولتاژ در مدار دوم می‌شود که با اضافه کردن یک بار به مدار دوم این ولتاژ می‌تواند به ایجاد یک جریان در ثانویه بینجامد.

ولتاژ القا شده در ثانویه VS و ولتاژ دو سر سیم‌پیچ اولیه VP دارای یک نسبت با یکدیگرند که به طور ایده‌آل برابر نسبت تعداد دور سیم پیچ ثانویه به سیم‌پیچ اولیه است:

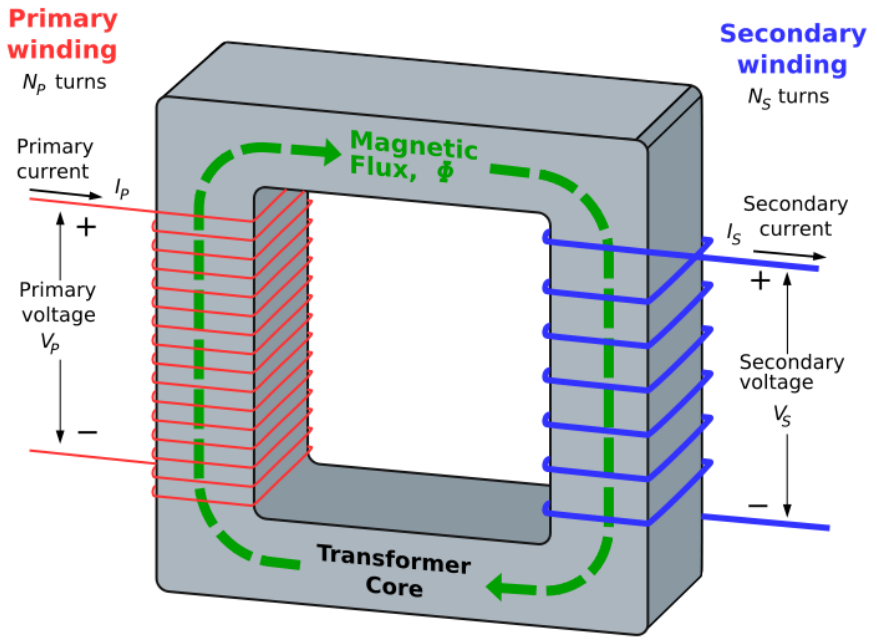
$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

به این ترتیب با اختصاص دادن امکان تنظیم تعداد سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور, می‌توان امکان تغییر ولتاژ در ثانویه ترانس را فراهم کرد.

به طور کلی یک ترانسفورماتور بر دو اصل استوار است:

- اول اینکه, جریان الکتریکی می‌تواند یک میدان مغناطیسی پدید آورد (الکترومغناطیس)
- و دوم اینکه, یک میدان الکتریکی متغییر در داخل یک حلقه سیم‌پیچ می‌تواند موجب به وجود آمدن یک ولتاژ در دو سر سیم‌پیچ شود.

ساده‌ترین طراحی برای یک ترانسفورماتور در شکل زیر آمده است. جریان جاری در سیم‌پیچ اولیه موجب به وجود آمدن یک میدان مغناطیسی می‌گردد. هر دو سیم‌پیچ اولیه و ثانویه بر روی یک هسته که دارای خاصیت نفوذپذیری مغناطیسی بالایی است (مانند آهن) پیچیده شده‌اند. بالا بودن نفوذپذیری هسته موجب می‌شود تا بیشتر میدان تولید شده توسط سیم‌پیچ اولیه از داخل هسته عبور کرده و به سیم‌پیچ ثانویه برسد .



معادله ایده‌ال توان

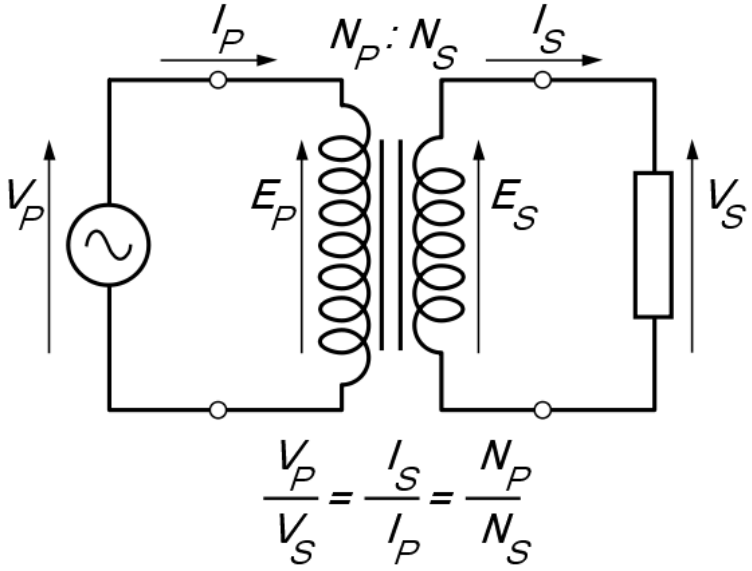
اگر سیم‌پیچ ثانویه به یک بار متصل شده باشد جریان در سیم‌پیچ ثانویه جاری خواهد شد و به این ترتیب توان الکتریکی بین دو سیم‌پیچ منتقل می‌شود . به طور ایده‌آل ترانسفورماتور باید کاملاً بدون تلفات کار کند و تمام توانی که به ورودی وارد می‌شود به خروجی برسد وبه این ترتیب توان ورودی و خروجی باید برابر باشد و در این حالت داریم:

Pincoming = IPVP = Poutgoing = ISVS

و همچنین در حالت ایده‌آل خواهیم داشت:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P} = \frac{I_P}{I_S}$$

بنابر این اگر ولتاژ ثانویه از اولیه بزرگتر باشد جریان ثانویه باید به‌همان نسبت از جریان اولیه کوچکتر باشد. همانطور که در بالا اشاره شد در واقع بیشتر ترانسفورماتورها راندمان بسیار بالایی دارند و به این ترتیب نتایج به دست آمده از این معادلات به مقادیر واقعی بسیار نزدیک خواهد بود.

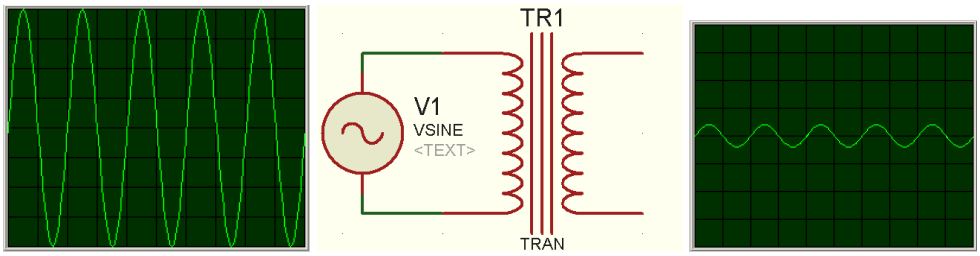


منبع تغذیه :

به طور کلی هر مدار الکترونیکی احتیاج به ولتاژ و جریان مناسب تغذیه دارد . بر همین اساس یک ربات نیز احتاج به ولتاژ DC یکنواخت و رگوله شده با جریان مناسب دارد . فراهم نمودن این ولتاژ و جریان بر عهده مدارات منبع تغذیه است . حال مرحله به مرحله ساخت یک برد منبع تغذیه برای یک ربات را بررسی می کنیم .

فرض بر این است که در آغاز هیچ منبع ولتاژ DC در دسترس نمی باشد و تنها منبع ولتاژ موجود ، ولتاژ AC برق شهر می باشد . هدف نیز طراحی مداری می باشد که بتواند ولتاژ DC کاملا یکنواخت و ثابت را با ماکزیمم جریان 5A تامین کند . منظور از ولتاژ DC یکنواخت و ثابت این است که با افزایش و کاهش جریان مصرفی ربات ، ولتاژ خروجی برد تغذیه تغییر نکند . ولتاژ خروجی برد تغذیه می تواند بر روی سطح خاصی (مثلا ۵ ولت) ثابت باشد و یا به صورت دستی تنظیم شود . در آغاز در مورد منبع تغذیه ثابت ۵ ولت با جریان خروجی ۵ آمپر بحث می کنیم و سپس به سراغ منبع تغذیه متغیر می رویم .

همانطور که می دانید برق شهر ولتاژ AC ، ۲۲۰ ولت می باشد . ولتاژ ۲۲۰ ولت ، ولتاژ بالایی برای استفاده در الکترونیک دیجیتال می باشد و باید در اولین قدم سطح ولتاژ تا حدود یک دهم کاهش پیدا کند . برای این منظور از ترانس کاهنده استفاده می کنیم . سیم پیچ اولیه و ثانویه را به گونه ای می پیچیم که ولتاژ خروجی سیم پیچ ثانویه یک دهم ولتاژ اولیه باشد . ولتاژ خروجی ترانس دارای همان شکل موج ولتاژ متناوب می باشد ، با این تفاوت که دامنه آن کاهش پیدا کرده است . (مثلا ۲۴ ولت)

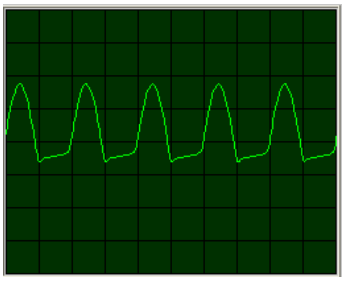


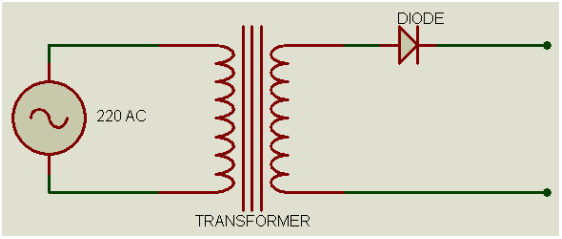
در این مرحله سطح ولتاژ مناسب تر شده است ولی همچنان نوع ولتاژ AC باقی مانده و برای استفاده در ربات مناسب نمی باشد . حال باید با استفاده از یکسوکننده ها این ولتاژ AC را به ولتاژ DC تبدیل کرد . یکسوکننده ها مدارات دیودی می باشند که با استفاده از خاصیت یکسوکنندگی دیود ، ولتاژ AC را به DC تبدیل می کنند .

به طور کلی ۳ نوع مدار یکسوکننده وجود دارد که در ادامه دو روش آن بررسی می شود :

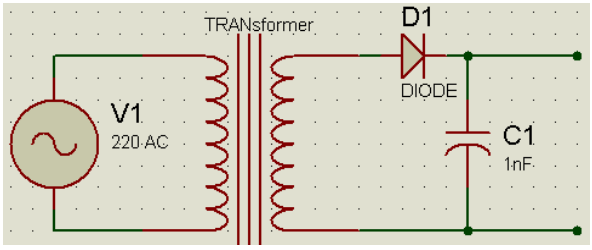
۱ . یکسوکننده نیم موج :

در این مدار با استفاده از یک دیود تنها به دامنه مثبت ولتاژ AC اجازه عبور داده می شود و خاصیت یکسوکنندگی دیود اجازه عبور دامنه منفی ولتاژ را نمی دهد . بنابراین تنها نیمی از ولتاژ را عبور می دهد و در دامنه منفی ولتاژ خروجی صفر است .





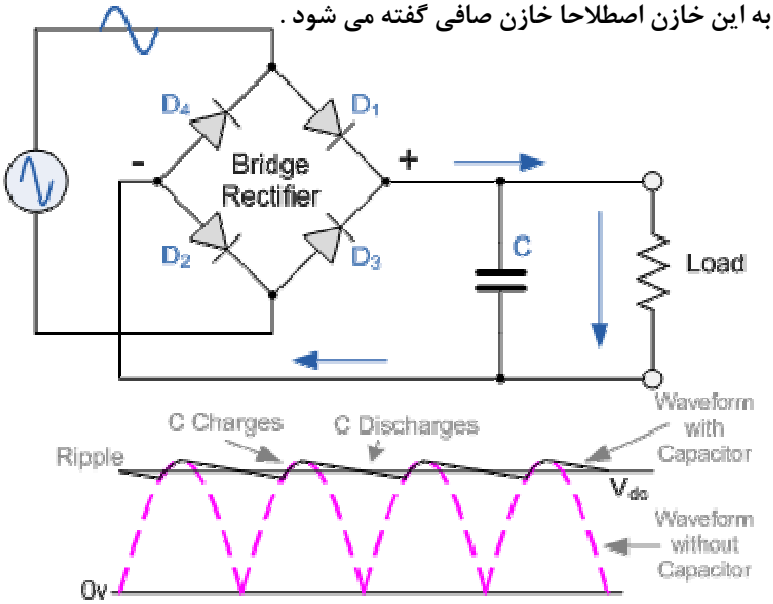
حال اگر یک خازن نسبتا بزرگ (470uF – 1000uF) بعد از دیود اضافه کنیم ، مشاهده می شود که خازن در زمانی که ولتاژ ورودی در پیک مثبت قرار دارد شارژ شده و در زمانی که ولتاژ ورودی در پیک منفی قرار دارد و دیود اجازه عبور نمی دهد ، خازن از ولتاژ ذخیره شده در خود به مدار تزریق می کند و خود دشارژ می شود . با این عمل خازن ، شکل موج ولتاژ خروجی بهبود چشمگیری پیدا می کند و در پیک های منفی دیگر ولتاژ خروجی صفر نیست . در حالت دشارژ خازن ولتاژ خروجی با شیب و سرعت کمتری به سمت صفر میل می کند و تا قبل از رسیدن به صفر ، دوباره پیک مثبت آغاز شده ، سطح ولتاژ خروجی بالا رفته و خازن شارژ می گردد .



یک سو کننده تمام موج با پل دیود :

برای آنکه بتوانیم از نیمه منفی موج ورودی که در نیمی از سیکل جریان امکان عبور به خروجی را ندارد، نیز استفاده کنیم باید از مداری بعنوان پل دیود استفاده کنیم. پل دیود همانطور که از شکل دوم مشخص است متشکل از چهار دیود به یکدیگر متصل می باشد. جریان متناوب به قسمتی که دو جفت آند و کاتد به یکدیگر متصل هستند وصل می شود و خروجی از یک جف آند و یک جفت کاتد به یکدیگر متصل شده گرفته می شود.

روش کار به اینصورت است که در سیکل مثبت مدار دیود D1 و D3 روشن شده و خروجی را تامین میکنند (D3 مسیر برگشت جریان را تامین می کند). و در سیکل منفی مدار دیودهای D2 و D4 روشن شده و باز خروجی را در همان وضعیت تامین می کند (D4 مسیر برگشت جریان را تامین می کند). با استفاده از پل دیود از هر دو پیک مثبت و منفی ولتاژ متناوب استفاده می شود ، در صورتی که یکسوساز نیم موج تنها از پیک مثبت ولتاژ متناوب استفاده می کند . بنابراین خروجی پل دیود بسیار بهینه تر از خروجی یکسوساز نیم موج است . در پل دیود نیز مثل یکسو ساز نیم موج می توان با استفاده از یک خازن ، خروجی پل دیود را صاف تر کرد . به این خازن اصطلاحا خازن صافی گفته می شود .



در ربات به دلیل اینکه معمولا منبع تغذیه ربات منبع DC است ، استفاده از پل دیود ضرورتی ندارد ، ولی استفاده از پل دیود این مزیت را دارد که در صورت معکوس وصل کردن خطوط تغذیه آسیبی به مدارات وارد نمی گردد و همیشه مثبت و منفی مدار توسط پل دیود تنظیم می شود . از طرفی به دلیل اینکه در پل دیود همواره ۲ دیود همزمان روشن هستند ، بنابراین استفاده از پل دیود باعث افت ولتاژی به میزان 1.4V می شود . ضنا در پل دیود اصطلاحا زمین مدار عوض می شود یعنی ولتاژی که تحت عنوان ولتاژ منفی باطری وارد پل دیود می شود با زمین مدار که بعد از پل دیود تشکیل می شود یکسان نمی باشد .

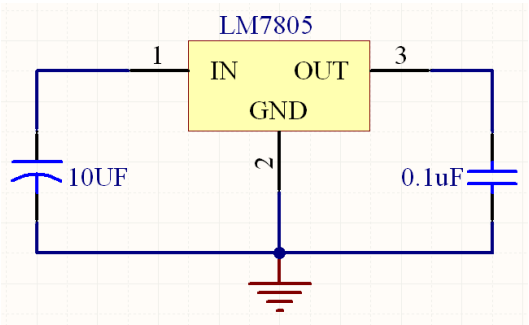
تا این مرحله از مدار تغذیه ولتاژ ورودی به ولتاژ DC با ریپل بسیار کم تبدیل شده است . حال باید سطح این ولتاژ به سطح مورد نظرمان(مثلا ۵ ولت) تبدیل شده و ریپل ولتاژ نیز گرفته شود . برای این منظور از تثبیت کننده ها (رگلاتور) استفاده می کنیم . وظیفه تثبیت کننده (رگلاتور) تنظیم سطح ولتاژ خروجی و همچنین حذف ریپل باقی مانده بر روی ولتاژ می باشد . خروجی رگلاتور ولتاژ DC کاملا صاف و رکوله شده در سطح مورد نظرمان می باشد .

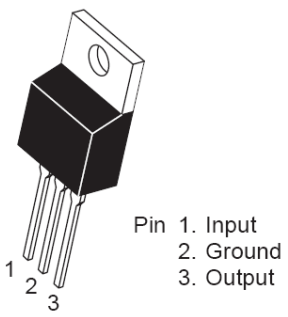
رگلاتورها به دو دسته رگلاتور ثابت و رگلاتور متغیر تقسیم می شود . رگلاتورهای ثابت دارای خروجی ولتاژ کاملا ثابت و فیکس شده می باشد ، در صورتی که ولتاژ خروجی رگلاتورهای متغیر قابل تنظیم می باشد .

رگلاتورهای ثابت :

متداول ترین رگلاتورهای ثابت دو خانواده رگلاتوهای مثبت (78XX) و رگلاتورهای منفی (79XX) می باشند . دو عدد آخر رگلاتورهای این دو خانواده نشانگر ولتاژ خروجی رگلاتور می باشد . مثلا خروجی رگلاتور 7805 ، مثبت ۵ ولت می باشد . ولتاژ ورودی رگلاتور باید حداقل ۳ ولت بیشتر از ولتاژ خروجی باشد تا رگلاتور عملکرد صحیحی داشته باشد . جریان خروجی این رگلاتورها در حدود ۱ آمپر می باشد . ضمنا اختلاف ولتاژ ورودی و خروجی رگلاتور نباید بیش از ۱۵ ولت باشد ، در غیر این صورت این اختلاف ولتاژ باعث تولید حرارت بسیار زیادی بر روی رگلاتور می کردد . پیسنهاد می شود در هنگام استفاده از ماکزیمم جریان رگلاتور ، از هیت سینک استفاده شود تا کرمای تولید شده توسط رگلاتور را به هوا منتقل کند .

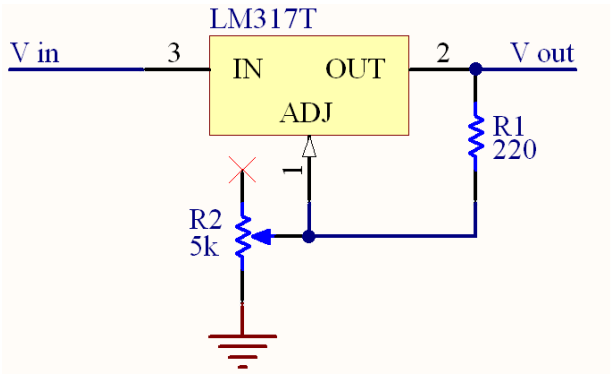
Regulator	Output	Regulator	Output
7805	5	7905	-5
7806	6	7906	-6
7808	8	7908	-8
7809	9	7909	-9
7812	12	7912	-12
7815	15	7915	-15
7818	18	7918	-18
7824	24	7924	-24





رگلاتورهای متغیر :

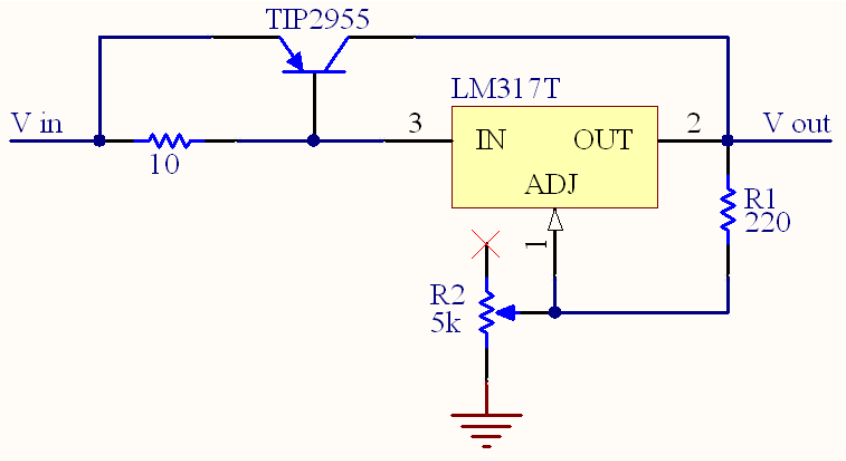
در این نوع رگلاتورها ولتاژ خروجی قابل تنظیم می باشد . یکی از معروف ترین رگلاتورهای متغیر ، رگلاتور LM317 می باشد . خروجی این رگلاتور از **1.25v** تا **37V** (ولتاژ ورودی) قابل تنظیم می باشد . ماکزیمم جریان خروجی LM317 برابر ۱ آمپر می باشد .



ولتاژ خروجی LM317 از فرمول زیر به دست می آید .

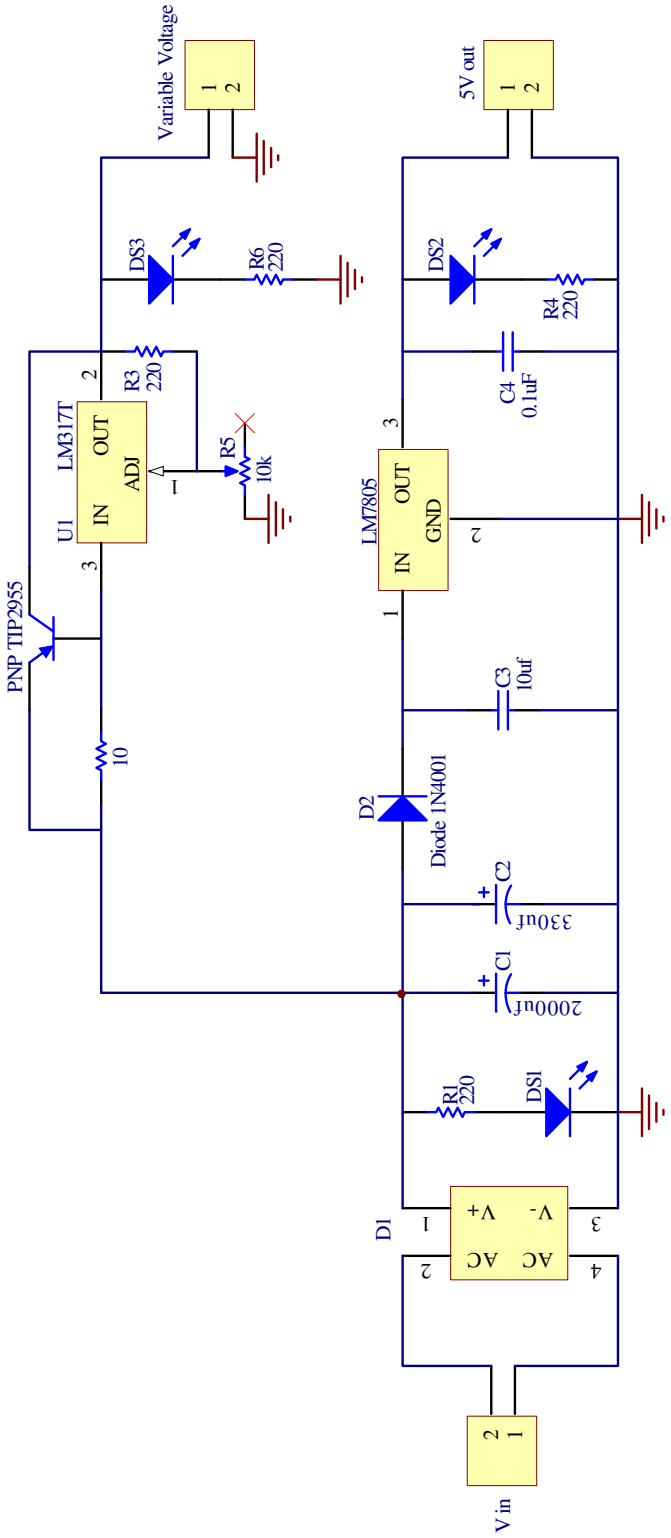
V out = V Ref (1 + R2/R1)
V Ref = 1.25 V

از آنجا که معمولا جریان خروجی رگلاتورها برای مدارات ربات بخصوص موتورها کافی نمی باشد کافی نمی باشد ، بنابراین از یک ترانزیستور PNP به عنوان تقویت کننده جریان استفاده می شود . با افزودن این ترانزیستور (به عنوان مثال ترانزیستور TIP2955) به رگلاتور متغیر یا ثابت ، جریان خروجی رگلاتور تا **5A** تقویت می گردد .



نمونه تکمیل شده مدار منبع تغذیه یک ربات

- خروجی ولتاژ متغیر با جریان دهی ۵ آمپر
- خروجی ۵ ولت با جریان دهی ۱ آمپر

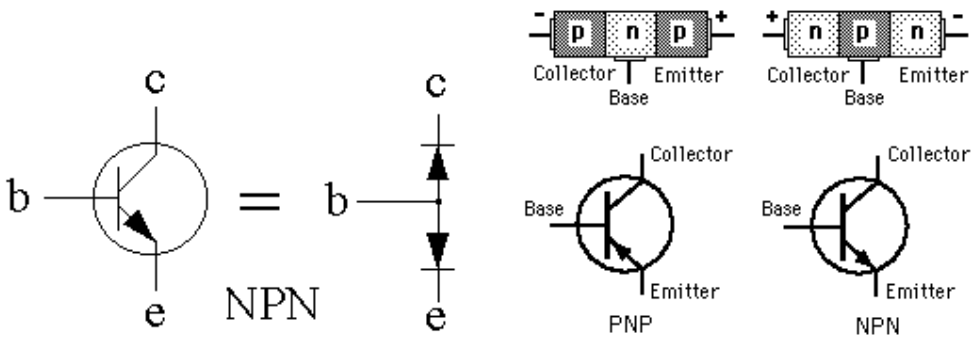


ترانزیستور :

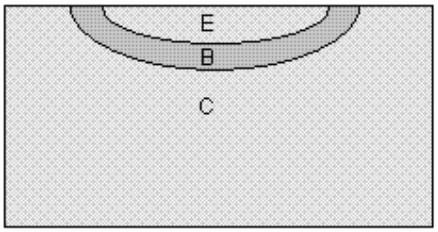
یکی از پر کاربردترین قطعه ها در علم الکترونیک ترانزیستورها هستند . ترانزیستور ها در انواع مدل وبرای کاربردهای مختلف ساخته می شود. یکی از کاربردهای ترانزیستور استفاده به عنوان کلید قطع و وصل است. یکی دیگر از کاربردهای مهم ترانزیستور خاصییت تقویت کنندگی آن است . ترانزیستورهای کوچک که برای راه اندازی موتورهای اسباب بازی کوچک استفاده می شود تا ترانزیستورهای که مدار کنترل موتور یک ترن را فرماندهی می کنند همگی دارای ساختار و اصول تقریبا یکسانی هستند . اما در اندازه و با شیوه های مختلفی ساخته می شوند .

اگر ساده بخواهیم به موضوع نگاه کنیم عملکرد یک ترانزیستور را می توان تقویت جریان دانست. مدار منطقی کوچکی را در نظر بگیرید که تحت شرایط خاص در خروجی خود جریان بسیار کمی را ایجاد می کند. شما بوسیله یک ترانزیستور می توانید این جریان را تقویت کنید و سپس از این جریان قوی برای قطع و وصل کردن یک رله برقی استفاده کنید . موارد بسیاری هم وجود دارد که شما از یک ترانزیستور برای تقویت ولتاژ استفاده می کنید. بدیهی است که این خصیصه مستقیما از خصیصه تقویت جریان این وسیله به ارث می رسد کافی است که جریان وردی و خروجی تقویت شده را روی یک مقاومت بیندازیم تا ولتاژ کم ورودی به ولتاژ تقویت شده خروجی تبدیل شود .

ترانزستورها همانند دیود ها از ترکیب مواد نیمه هادی ساخته می شود . می توان در یک تقسیم بندی کلی مواد نیمه هادی را به دو دسته **P** و**N** تقسیم کرد . در دیود تنها از دو ماده **P** و**N** استفاده می شود . از لحاظ ساختاری می توان یک ترانزیستور را با دو دیود مدل کرد. در ترانزسیتور از دو ماده **P** با غلظت های متفاوت و یک ماده **N** استفاده می کنند. به این ترانزسیتورها **PNP** می گویند . همچنین ترانزیستورها را به صورت **NPN** نیز می سازند . این ترانزیستورها را با نماد زیر نشان می دهند .



برای هریک از لایه های نیمه هادی که در یک ترانزیستور وجود دارد یک پایه در نظر گرفته شده است که ارتباط مدار بیرونی را به نیمه هادی ها میسر می سازد. این پایه ها به نامهای (**Base**) پایه ، (**Collector**) جمع کننده و (**Emitter**) منتشر کننده مشخص می شوند . اگر به ساختار لایه ای یک ترانزیستور دقت کنیم بنظر تفاوت خاصی میان **Collector** و **Emitter** دیده نمی شود اما واقعیت اینگونه نیست. چرا که ضخامت و بزرگی لایه **Collector** به مراتب از **Emitter** بزرگتر است و این عملا باعث می شود که این دو لایه با وجود تشابه پلاریته ای که دارند با یکدیگر تفاوت داشته باشند. با وجود این معمولا در شکل ها برای سهولت این دو لایه را بصورت یکسان در نظر میگیرند .



نمای واقعی تری از پیوندها در یک ترانزیستور که تفاوت
کلکتور و امیتر را بوضوح نشان می دهد.

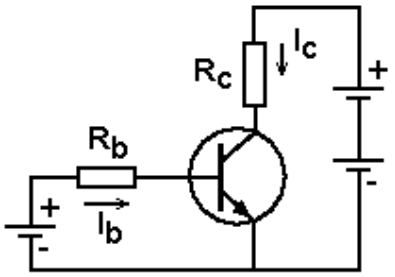
در اکثر موارد از ترانزسیتورهای **NPN** استفاده می کنیم به همین دلیل از اینجا به بعد بحثمان را به اینگونه ترانزیستورها محدود می کنیم گرچه می توان به راحتی این مطالب را به ترانزیستور های **PNP** نیز تعمیم داد . این کار ساده ای است وشما می توانید این کار را بعد از آشنایی با ترانزیستورهای **NPN** انجام دهید .

در ترانزیستورهای **npn** جریان از کلکتور به امیتر جاری می شود (در **PNP** از امیتر به کلکتور ، همه جا مطابق فلش) این جریان تنها در صورتی از کلکلتور به امیتر جاری می شود که:

۱. ولتاژ کلکتور از امیتر بیشتر باشد
۲. ولتاژ بیس از ولتاژ امیتر به اندازه ۷۰۰ **mV** بیشتر باشد.

جریان بیس جریان بسیار اندکی است اما جریان امیتر و کلکتور جریان بسیار بالایست چیزی در حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ برابر جریان بیس . در واقع هر چه جریان بیس بیشتر باشد جریان امیتر نیز بیشتر خواهد بود . این یکی از خواص تقویت کنندگی ترانزیستور است.

بدون آنکه در این مطلب قصد بررسی دقیق نحوه کار یک ترانزیستور را داشته باشیم، قصد داریم ساده ترین مداری که می توان با یک ترانزیستور تهیه کرد را به شما معرفی کرده و کاربرد آنرا برای شما شرح دهیم. به شکل زیر نگاه کنید .



مدار ساده برای آشنایی با طرز کار یک ترانزیستور

بطور جداگانه بین **E** و **C** و همچنین بین **E** و **B** منابع تغذیه ای قرار داده ایم . مقاومت هایی که در مسیر هر یک از این منابع ولتاژ قرار دادیم صرفا برای محدود کردن جریان بوده و نه چیز دیگر. چرا که در صورت نبود آنها، پیوندها بر اثر کشیده شدن جریان زیاد خواهند سوخت .

طرز کار ترانزیستور به اینصورت است، چنانچه پیوند **BE** را بصورت مستقیم بایاس (**Bias** به معنی اعمال ولتاژ و تحریک است) کنیم بطوری که این پیوند **PN** روشن شود (برای اینکار کافی است که به این پیوند حدود ۰.۶ تا ۰.۷ ولت با توجه به نوع ترانزیستور ولتاژ اعمال شود)، در آنصورت از مدار بسته شده میان **E** و

C می توان جریان بسیار بالایی کشید . در حالت عادی میان E و C هیچ مدار بازی وجود ندارد اما به محض آنکه شما پیوند BE را با پلاریته موافق بایاس کنید ، این پیوند تقریبا بصورت اتصال کوتاه عمل می کند و شما عملا خواهید توانست از پایه های E و C جریان قابل ملاحظه ای بکشید.

بنابراین مشاهده می کنید که با برقراری یک جریان کوچک I_B شما می توانید یک جریان بزرگ I_C را داشته باشید. این مدار اساس سوئیچ های الکترونیک در مدارهای الکترونیکی است.

☺ **مسئله :**

در یک مدار جریانی معادل ۱۰ میلی آمپر از بیس عبور می کند و ترانزیستور به گونه ای ساخته شده است که دارای ضریب تقویتی (HFE) معادل ۱۲۰ می باشد چه جریانی از کلکتور عبور خواهد کرد ؟

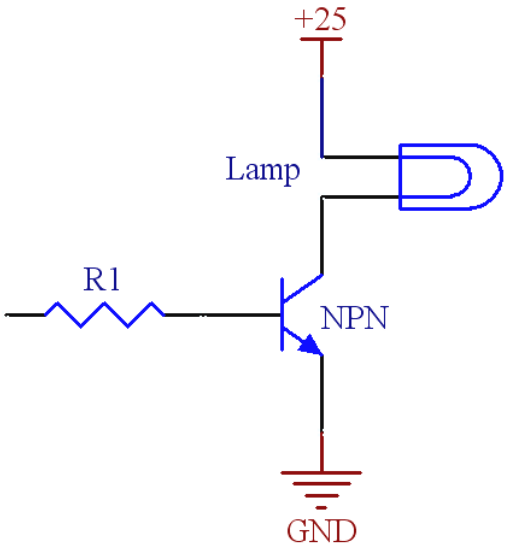
حل :

با توجه به اینکه ضریب تقویت ۱۲۰ می باشد پس جریان عبوری از کلکتور ۱۲۰ برابر جریان بیس خواهد بود .

فرض کنید جریان ۱۰ میلی آمپری جریانی است که از یک میکروفن تولید شده باشد و شما آنرا پس از عبور از یک سیم به یک بلند گو متصل می کنید . در این حالت صدایی که از بلندگو می شنوید خیلی کم خواهد بود اما اگر از یک ترانزیستور استفاده کنید صدای به مراتب بلند تری خواهید شنید.

یکی دیگر از کاربرد های ترانزیستور خاصییت سوییچ آن است . یک IC کوچک را در نظر بگیرید . فرض کنید حداکثر جریانی که این IC می تواند به شما بدهد ۲۵میلی آمپر است و ۵ ولت است و فرض کنید که تصمیم دارید یک لامپ را با ولتاژ ۲۵ ولت و جریانی معادل ۵۰۰ میلی آمپر روشن کنید . این کار توسط یک ترانزیستور به راحتی و با استفاده از مدار روبه رو قابل انجام خواهد بود . در زمانی که خروجی IC مقدار صفر ولت باشد با توجه به اینکه ولتاژ امیتر نیز زمین یا صفر ولت است ترانزیستور خاموش خواهد بود (چون ولتاژ بیس از امیتر بیشتر نیست و با هم برابر و برابر با صفر هستند) در نتیجه هیچ جریانی از ترانزیستور و بالطبع از لامپ عبور نخواهد کرد . اما در شرایطی که خروجی IC مقدار ۵ ولت باشد ترانزیستور روشن شده و با توجه به جریان بیس و ضریب تقویت ترانزیستور جریانی از لامپ عبور خواهد کرد و لامپ را روشن خواهد کرد . اندازه این جریان بسته به مقاومت R1 دارد هر چه این مقاومت بزرگتر باشد جریان کمتر خواهد بود و اگرمقاومت کم باشد جریان زیادی از لامپ عبور خواهد کرد و موجب سوختن لامپ و ترانزیستور خواهد شد.

می توان با قرار دادن یک پتانسیومتر(مقاومت متغییر) به جای مقاومت R1 نور لامپ را کنترل کرد . اگر این مقاومت به طور مستقیم در مسیر لامپ قرار می گرفت جریانی زیادی از مقاومت عبور می کرد که ضمن اینکه موجب مصرف زیاد انرژی می شود حتی ممکن است موجب داغ شدن و سوختن مقاومت نیز بشود .



ناحیه های کاری ترانزیستور :

ترانزیستور دارای ۳ ناحیه کاری میباشد.

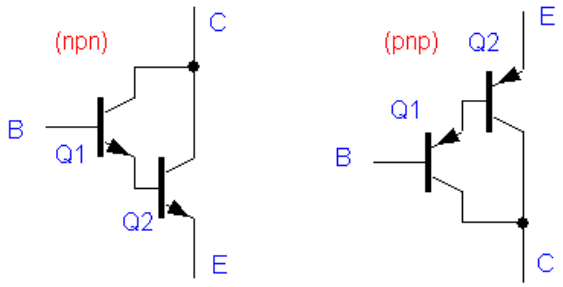
- ناحیه قطع
- ناحیه فعال(کاری یا خطی)
- ناحیه اشباع

ناحیه قطع حالتی است که ترانزیستور در ان ناحیه فعالیت خاصی انجام نمی دهد . اگر ولتاژ بیس را افـزایش دهیم ترانزیستور از حالت قطع بیرون آمده و به ناحیه فعال وارد می شود . در حالت فعال ترانزیسـتور مثـل یک عنصر تقریبا خطی عمل میکند . اگر ولتاژ بیس را همچنان افزایش دهیم به ناحیـه ای میرسـیم کـه بـا افزایش جریان ورودی در بیس دیگر شاهد افزایش جریان بین کلکتور و امیتر نخواهیم بود . بـه ایـن حالـت می گویند حالت اشباع و اگر جریان ورودی به بیس زیاد تر شـود امکـان سـوختن ترانزیسـتور وجـود دارد. درمدارات آنالوگ ترانزیستور در حالت فعال کار میکند و می‌توان از آن به عنوان تقویـت کننـده یـا تنظـیم کننده ولتاژ استفاده کرد و در مدارات دیجیتال ترانزیستور در دو ناحیه قطع و اشـباع فعالیـت میکنـد کـه میتوان از این حالت ترانزیستور در پیاده سازی مدار منطقی، حافظه، سوئیچ کردن و ... استفاده کرد .

به جرات می توان گفت که ترانزیستور قلب تپنده الکترونیک است

زوج دارلینگتون :

اگر دو ترانزیستور مطابق شکل زیر به طور مستقیم به هم کوپل شده باشند بهره خروجی ازایش می یابد . به این چینش ترانزیستورها زوج دارلینگتون گفته می شود . بهره کل برابر با حاصلضرب بهره های دو ترانزیستور است و ممکن است بهره کل به ۱۰۰۰ برسد . نکته مهم در طراحی زوج دارلینگتون این است که ترانزیستور خروجی باید توان چنین بهره ای را داشته باشد .



چگونه پایه های ترانزیستور را تشخیص دهیم ؟

ابتدا مولتی متر را در حالت تست دیود قرار دهید . سپس پایه ها را دو به دو تست کنید . در صورت وجود ارتباط بین دو پایه (دیود داخلی) مولتی متر عدد خاصی را نشان می دهد . پایه ای که به هر دو پایه دیگر ارتباط داشته باشد ، پایه بیس است . در صورتی که پایه بیس را با پراب مثبت (قرمز رنگ)تشخیص دادید ترانزیستور مثبت یا **PNP** و در صورتی که بیس را با پراب منفی (مشکی رنگ)تشخیص دادید ترانزیستور منفی یا **NPN** است . سپس بار دیگر اعدادی را که مولتی متر بین بیس - کلکتور و بیس – امیتر نشان می دهد را خوانده ، پایه ای که عدد کمتری را با بیس نشان می دهد کلکتور است و پایه سوم بالطبع امیتر است .

چگونه ترانزیستورهای معادل را انتخاب کنیم ؟

برای انتخاب ترانزیستور معادل و یا جانشین مناسب آن به مهمترین پارامترهای آن توجه کنید.

۱. **ماکزیمم ولتاژ قابل تحملCE**
۲. **ماکزیمم جریان گذر از CE**
۳. **توان ترانزیستور**
۴. **ضریب تقویت ترانزیستور**
۵. **فرکانس قطع ترانزیستور**

نکات فوق الذکر در اکثر موارد باید مورد توجه باشد . اگر یک ترانزیستور خروجی هریزنتال و یا یک ترانزیستور سویچینگ تغذیه را انتخاب می کنیم تمام موارد فوق حتی به اضافه ظرفیت خازنی بین BC نیز باید مورد توجه قرار گیرد زیرا فرکانس کار هرچه بالاتر رود اهمیت ظرفیت خازنی ما بین پایه های ترانزیستور بیشتر می شود.

نکته مهمی که در انتخاب ترانزیستور های قدرت حائز اهمیت است مقدار جریان گذر از EC می باشد در این حالت انتخاب ترانزیستور جانشین باید به صورتی باشد که نه تنها تحمل جریان گذر را داشته باشد بلکه اندکی از ترانزیستور قبلی نیز بهتر بوده تا طول عمر بیشتری در مدار داشته باشد .

جدول زیر مشخصات برخی از ترانزیستورهایی را ارایه می کند که برای استفاده به عنوان کلید در اینگونه مدارات مناسب هستند .

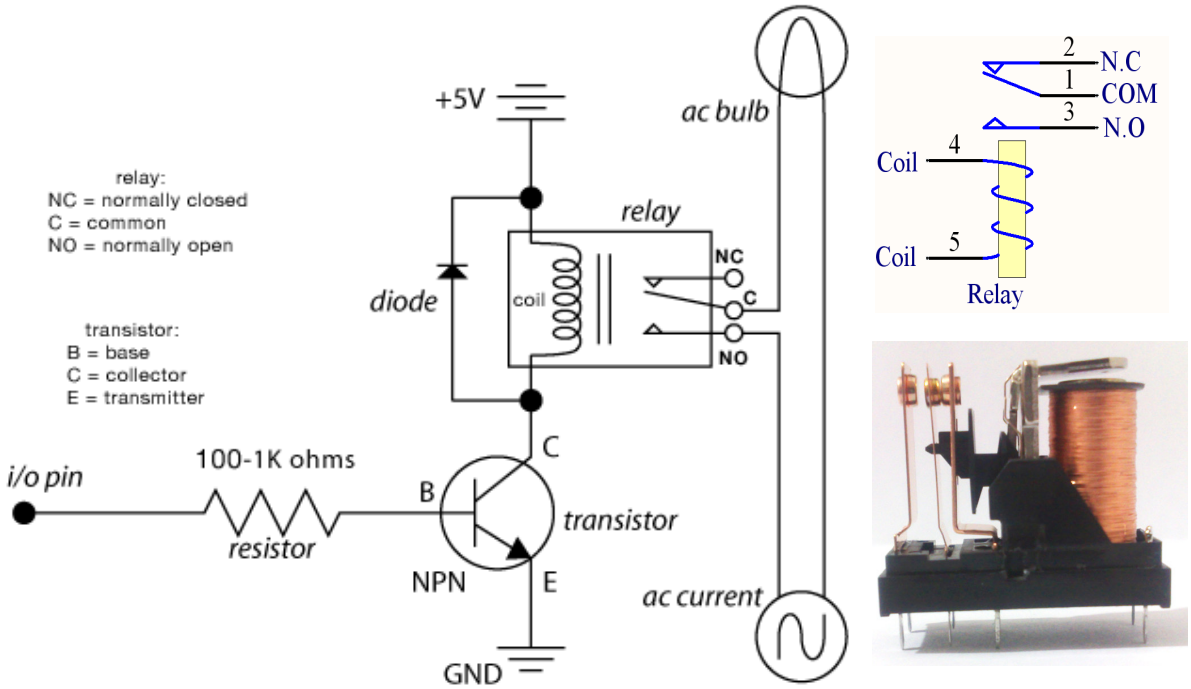
نوع	ولتاژ کلکتور امیتر V_{CE}	جریان کلکتور I_C	بهره H_{FE}
	NPN		
BD135	45V	1.5A	40-250
BD137	60V	1.5A	40-250
BD139	80V	1.5A	40-250
TIP31	40V	3A	10-50
TIP41	40V	6A	15-75
	PNP		
BD136	45V	1.5A	40-250
BD138	60V	1.5A	40-250
BD140	80V	1.5A	40-250
TIP32	40V	3A	10-50
TIP42	40V	6A	15-75
	DARLINGTON NPN		
BD331/333/335	60/80/100V	6A	750
TIP110/111/112	60/80/100V	1.25A	500
TIP120/121/122	60/80/100V	3A	1000
TIP140/141/142	60/80/100V	5A	1000
	DARLINGTON PNP		
BD336/338/340	60/80/100V	6A	750
TIP115/116/117	60/80/100V	1.25A	500
TIP125/126/127	60/80/100V	3A	1000
TIP145/146/147	60/80/100V	5A	1000

رله :

رله (**relay**) نوعی در واقع نوعی کلید قطع و وصل مغناطیسی است که می تواند به کمک یک جریان کوچک جریان های الکتریکی بزرگ را قطع و وصل کند . یک رله به طور معمول از یک سیم پیچ و تیغه های فلزی **N.C** ، **N.O** و **COM** تشکیل شده است . تیغه **N.C** به صورت پیش فرض به تیغه **COM** وصل می باشد . هنگامی که جریانی در سیم برقرار می شود هسته سیم پیچ آهنربا شده و یک اتصال فلزی را جذب می کند و با این عمل تیغه **COM** از تیغه **N.C** جدا شده و به تیغه **N.O** متصل می شود .

هنگام کار با رله ها باید موارد زیر را رعایت کرد :

- در هنگام روشن و خاموش کردن رله با توجه به سلفی که درون آن قرار دارد ، جریان معکوسی تولید شده ، که برای حذف آن باید از یک دیود معکوس استفاده کرد. در ضمن باید دقت کرد که این دیود نباید طوری قرار گیرد که ورودی را اتصال کوتاه کند .
- یک رله دارای دو ولتاژ نامی است ، یکی ولتاژی که به سیم پیچ آن وصل می شود و می تواند ۵ ، ۶ ، ۱۲ و یا ۱۸ ولت باشد . ولتاژ دیگر ، ولتاژ دو سر **N.C-N.O** با **COM** است ، که معمولا ۲۲۰ ولت است .
- یکی از بزرگ ترین مزایای رله ، ایزوله بودن آن است . این امر باعث می شود که نویزهای دستگاه و محرک های آنها وارد قسمت های الکترونیکی سیستم نشوند .
- نکته مهم ، فرکانس کاری رله است . به علت اینکه قطع و وصل شدن رله ، مکانیکی است و محدودیت فرکانسی شدیدی دارد . بنابراین نمی توان یک رله را چندین هزار بار در یک ثانیه قطع و وصل کرد . به همین دلیل در فرکانس های بالا معمولا از قطعات الکترونیکی استفاده می شود .



درایور موتور :

همان طور که می دانید پرمصرف ترین اجزای یک ربات همیشه موتورهای ربات می باشند . موتورها بسته به وزن ربات ، نوع و تعداد موتور می تواند بین ۵۰۰ میلی آمپر تا چندین آمپر جریان مصرف کند . تقریبا هیچ آی سی دیجیتالی قابلیت تامین مستقل چنین جریانی برای موتورها را ندارد . بنابراین احتیاج به مدار واسطی بین بخش پردازنده و موتورها می باشد تا فرامین پردازنده را تقویت کرده و با ولتاژ و جریان کافی به موتورها بدهد . این وظیفه در ربات ها بر عهده مدارات درایور می باشد . درایور در لغت به معنای راه اندازی می باشد .

با توجه به تنوع فوق العاده موتورها ، درایورها نیز تنوع زیادی دارند . در ابتدا با درایور موتورهای DC آغاز می کنیم و در ادامه در مورد نحوه درایو موتور پله ای صحبت خواهد شد .

به طور کلی ۳ نوع فرمان می توان به یک موتور DC داد :

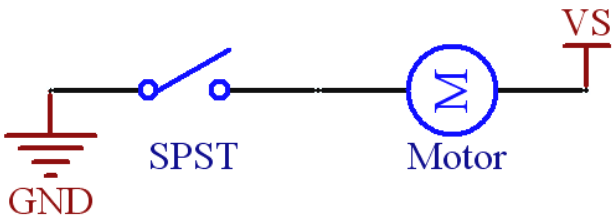
- جلو FORWARD
- عقب BACKWARD
- توقف STOP

درایورهای موتور DC بر طبق فرامینی که می توانند به موتور بدهند به دو دسته کلی تقسیم می شوند :

۱ . درایورهای یک طرفه :

منظور از درایورهای یک طرفه موتور DC مداراتی هستند که قادرند موتور DC را تنها در یک جهت به حرکت درآورند و قادر به معکوس کردن جهت چرخش موتور نیستند . به عبارتی تنها می توانند فرمان STOP و FORWARD (ویا BACKWARD) را به موتور بدهند .

دراین گونه درایورها معمولا یک سر موتور به طور ثابت به یکی از خطوط تغذیه متصل می شود و کلیدی بین پایه دیگر موتور و خط دیگر تغذیه قرار داده می شود . با بسته شدن کلید موتور به حرکت در می آید و با باز شدن کلید موتور متوقف می شود . این کلید می تواند هر نوع کلید مکانیکی یا الکترونیکی باشد . کلید مورد بحث می تواند یک کلید SPST مکانیکی ساده ، یک بافر ، یک ترانزیستور ، یک رله و .... باشد .



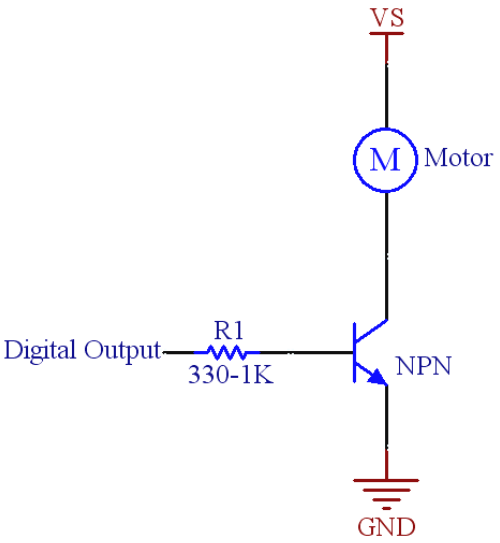
حال چند نمونه از این نوع درایورها بررسی می شوند :

الف . درایو یک طرفه موتور DC با ترانزیستور :

همانطور که گفته شد ترانزیستور می تواند نقش یک کلید را در مدار ایفا کند. در مدار روبرو زمانی که خروجی پردازنده یک شود ترانزیستور وصل شده و موتور به حرکت در می آید .

نکته قابل توجه این است که ماکزیمم جریانی که ترانزیستور در این مدار می تواند عبور دهد برابراست با حاصلضرب جریان بیس در ضریب تقویت ترانزیستور (HFE) .

بنابراین هر چه مقاومت R1 بیشتر باشد جریان بیس کمتر شده و جریان کلکتور نیز کاهش می یابد . از طرفی R1 نیز به حدی کم باشد که باعث کشیدن جریان زیاد از پردازنده و سوختن پردازنده گردد . به عنوان مثال در میکروکنترلر **AVR** ، ماکزیمم جریان خروجی برابر **20mA** به ازای هر پین می باشد . بنابراین حداقل مقاومت مورد نیاز برای پایه بیس برابراست با :

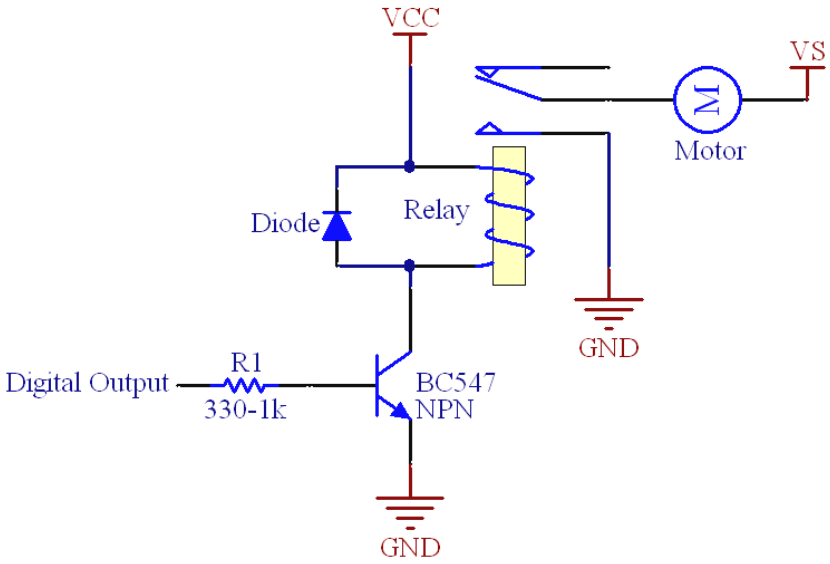


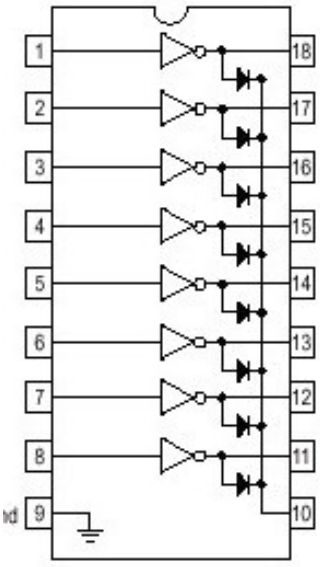
$$I_B = 20mA$$
$$V_{BE} = 0.7v$$
$$-5 + I_B R_B + V_{BE} = 0 \Rightarrow R_{B_{MIN}} = \frac{4.3v}{0.02A} = 215\Omega$$
$$R_{B_{MIN}} = 215\Omega \cong 220\Omega$$

بنابراین حداقل مقاومت مورد نیاز برای پایه بیس برابر ۲۲۰ اهم می باشد که برای اطمینان می توان از رنج ۳۳۰ تا ۱ کیلو اهم استفاده کرد .

نکته دیگر در مورد این درایور انتخاب نوع ترانزیستور و ضریب تقویت ترانزیستور است .

ب . درایو یک طرفه موتور DC با رله :



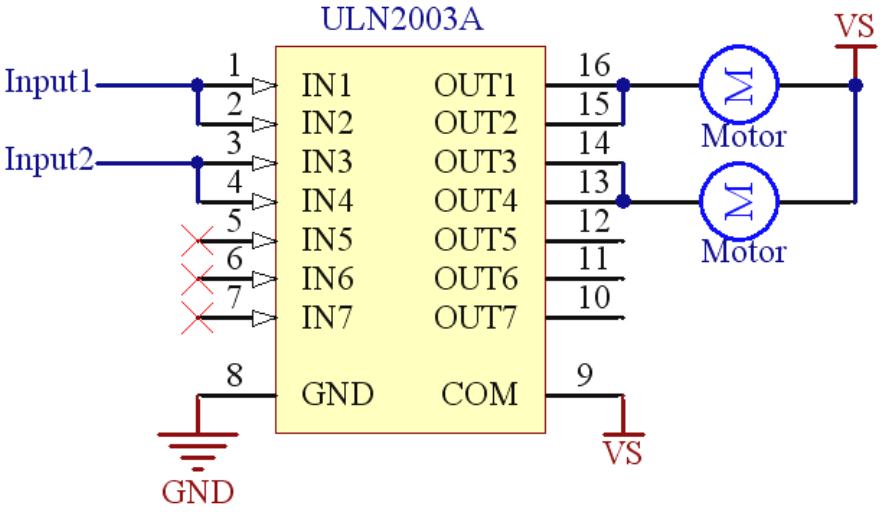


ج . درایو یک طرفه موتور DC با بافر :

روش دیگر کنترل یک طرفه موتور DC استفاده از بافرها می باشد . بافرها گیت های منطقی می باشند که سطح منطقی ورودی و خروجیشان یکسان می باشد . تنها وظیفه بافرها تقویت جریان می باشد . از معروفترین آی سی های بافر می توان به ULN2003A و ULN2803 اشاره کرد . این دو آی سی به ترتیب ۷ و ۸ عدد بافر معکوس کننده دارد . این آی سی ها به ازای هر خروجی قادرند 500mA جریان ورودی را تحمل کنند . در صورت احتیاج به جریان بیشتر می توان خطوط را با یکدیگر موازی کرد .

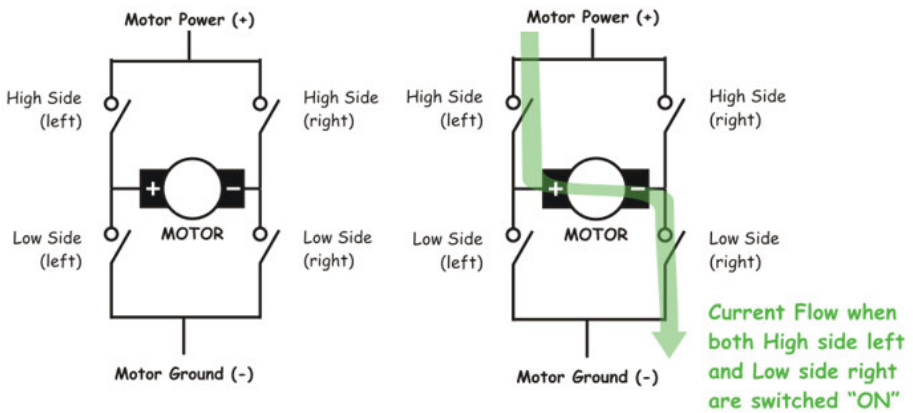
نکته مهم ۱ : این دو بافر تنها جریان ورودی (جریان Sink)دارند . به عبارتی همیشه جریان عملگر باید وارد این آی سی ها شود و خود آی سی ها قادر به تولید جریان خروجی (جریان Source) نیستند .

نکته مهم ۲ : ورودی های آی سی ULN2003A دارای منطق TTL و ورودی های ULN2803 دارای منطق CMOS می باشد .



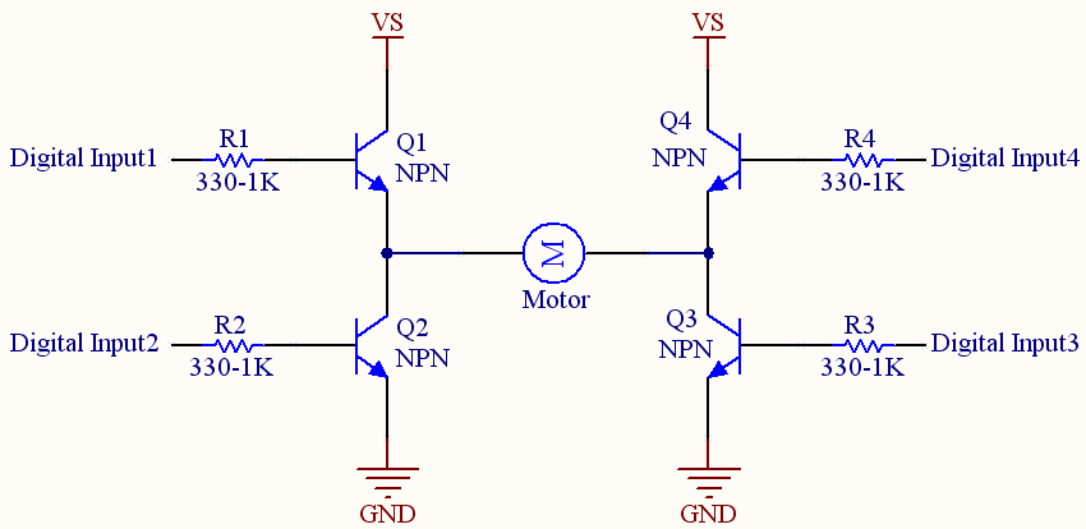
۲ . درایورهای دو طرفه :

برای اینکه یک موتور DC قابلیت چرخش دو طرفه داشته باشد ، باید درایور به گونه ای طراحی شود که بتواند خطوط تغذیه مثبت و منفی را بر روی دو پایه موتور سوییچ کند . برای این منظور از مداراتی موسوم به پل H (H Bridge) استفاده می شود . دلیل این نامگذاری شباهت مدار درایور به حرف H می باشد .



الف . پل H با استفاده از ترانزیستور :

به مدار زیر دقت کنید . در مدار زیر از ۴ ترانزیستور NPN استفاده شده است که توسط ۴ پایه پردازنده کنترل می گردد . در این مدار در صورتی که Q1 و Q3 روشن شوند موتور در یک جهت شروع به حرکت می کند . در صورتی که Q2 و Q4 روشن شوند موتور در جهت معکوس شروع به حرکت می کند .



نیروی محرکه القایی بازگشتی و دیودهای حفاظتی

موتورهای DC به صورت ذاتی القاگرهای قدرتمندی هستند و خاصیت القایی (سلفی) آنها مسایل بسیاری را برای پروژه های رباتیک ایجاد می کند .

القاگرها در مقابل تغییرات جریان از خود مقاومت نشان می دهند . هنگامی که یک القاگر به منبع تغذیه متصل باشد و ولتاژ دو سر آن ناگهان قطع شود ، القاگر برای ثابت نگه داشتن جریان عبوری تلاش می کند . هر چقدر جریان سریع تر قطع گردد (شدت میدان الکترومغناطیسی سریع تر کاهش یابد) القاگر تلاش بیشتری خواهد کرد . در نتیجه این تلاش ، اختلاف پتانسیلی (ولتاژی) به اندازه ۲۰ برابر (یا بیشتر) ولتاژ اولیه در دو سر القاگر ایجاد می شود (هنگام قطع جریان اصلی) . جهت ولتازی که در دو سر القاگر (موتور) ایجاد می شود عکس پلاریته ولتاژ اصلی می باشد و نیروی محرکه القایی بازگشتی یا CEMF نامیده می شود . CEMF وقتی ایجاد می شود که میدان مغناطیسی – که توسط جریان اولیه ایجاد شده است – ناگهان از بین برود .

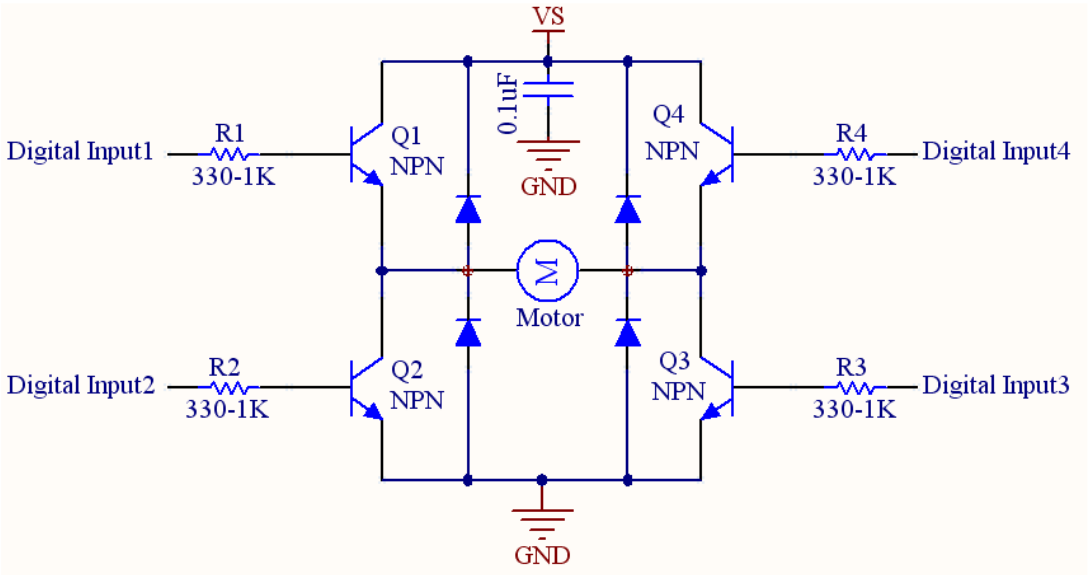
در این مبحث به پیچیدگی هایی که خواص فیزیکی این پدیده به همراه دارد وارد نمی شویم . معمولا ترانزیستورها نوسانات ولتاژ CEMF را تحمل نمی کنند و می سوزند . خوشبختانه می توان مدارات را در برابر CEMF محافظت نمود . متداول ترین روش حفاظتی ، استفاده از دیودهای بازگشتی است . دیودها در این روش با عامل ایجادکننده CEMF به صورت موازی نصب می شوند . وظیفه دیودهای بازگشتی محافظت از ترانزیستورها در برابر اثرات منفی CEMF است . این کار با کاهش ولتاژ تا 0.6 ولت – که ولتاژ قابل اطمینانی است – انجام می شود . بهتر است این دیودها از نوع سریع (شاتکی) باشند . به دیودهای بازگشتی ، دیودهای هرزگرد نیز گفته می شود .

مشکل دیگر نیروی محرکه القایی بازگشتی

استفاده از دیودهای بازگشتی برای محافظت از ترانزیستورها مشکل دیگری را نیز ایجاد می کند . موازی شدن جریان با مسیر اصلی قدرت می تواند باعث ایجاد " ولتاژ گذرا " یا " نویز " بر روی برد مدار چاپی شود . علاوه بر آن ، اگر از PWM برای کنترل موتورها استفاده شود ، جریان CEMF در هر سیکل روشن و خاموش شدن وجود خواهد داشت . گاهی اوقات که ترانزیستور روشن می شود جریان CEMF هنوز برقرار است . این اتفاق در محلی که مسیر مستقیمی را بین زمین و +V ایجاد می کند رخ می دهد . زمان این رخداد به سرعت دیودهای بازگشتی بستگی دارد . این جریان ، " جریان گذرا " نامیده می شود و منبعی برای ایجاد نویز است . به این دلایل استفاده از خازن های بای پس سریع (سرامیکی یا تانتالوم) در نزدیکی مدار پل H (به منظور حفاظت از بقیه مدارات الکترونیکی و باطری) اهمیت خاصی دارد . خازن بای پس یک خازن عادی است که برای صاف کردن ریپل ها (امواج کوچک) و نوسانات موقتی بر روی +V (مسیر قدرت) به کار می رود . مقدار خازن های بای پس بین 0.1uF تا 0.22uF است .

خازن یک المان الکتریکی است که در برابر تغییرات ولتاژ از خود مقاومت نشان می دهد . یک خازن بای پس به رسانای حامل قدرت **VS** متصل می شود . وقتی نوسانات ولتاژ ایجاد می شود ، خازن به سرعت انرژی را جذب کرده و باعث تثبیت ولتاژ می شود . وقتی ولتاژ افت می کند خازن انرژی را که ذخیره کرده است را در مدار تخلیه می کند و ولتاژ را افزایش می دهد . بنابراین وقتی خازن بای پس بر روی مدار پل **H** نصب شود اثرات جریان موازی به شکل قابل توجهی کاهش می یابد .

مدارزیر یک پل **H** تکمیل شده را شان می دهد .



نکته مهم : باید دقت شود که هیچ وقت دو ترانزیستوری که در یک ستون قرار دارند (مثلا **Q3** و **Q4**) همزمان روشن نشوند ، زیرا همزمان روشن شدن ترانزیستورهای یک ستون باعث ایجاد اتصال کوتاه بین **VS** و زمین مدار می گردد و باعث می شود ماکزیمم جریان منبع تغذیه از ترانزیستورها عبور کرده و هر دو ترانزیستور ستون بسوزند .

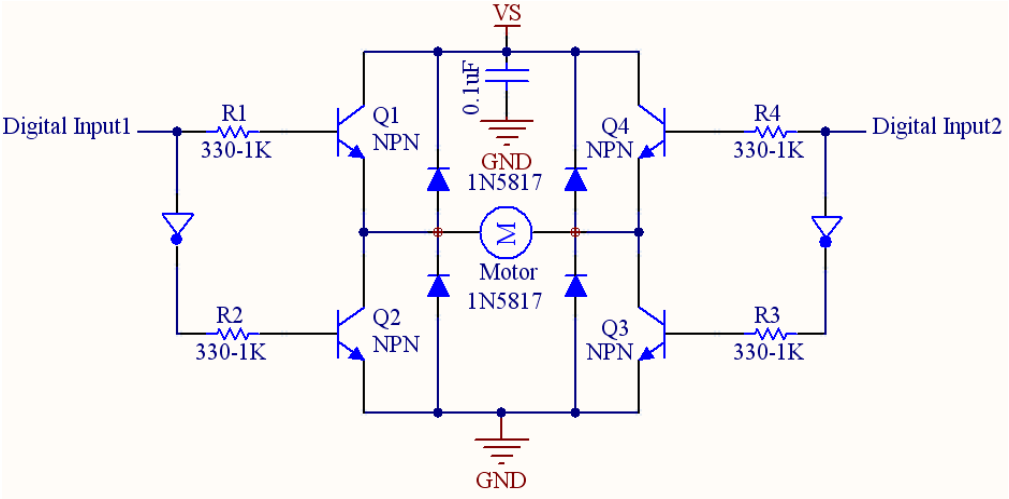
جهت جلوگیری از اتصال کوتاه در مدار پل H روش های مختلفی وجود دارد :

روش اول : دقت در برنامه نویسی

در برنامه نویسی دقت شود که هیچ وقت ترانزیستورهای یک ستون با هم روشن نشوند . به دلیل اینکه این روش از خطاهای انسانی مصون نمی باشد نمی توان به این روش اعتماد کامل کرد .

روش دوم : استفاده از گیت NOT

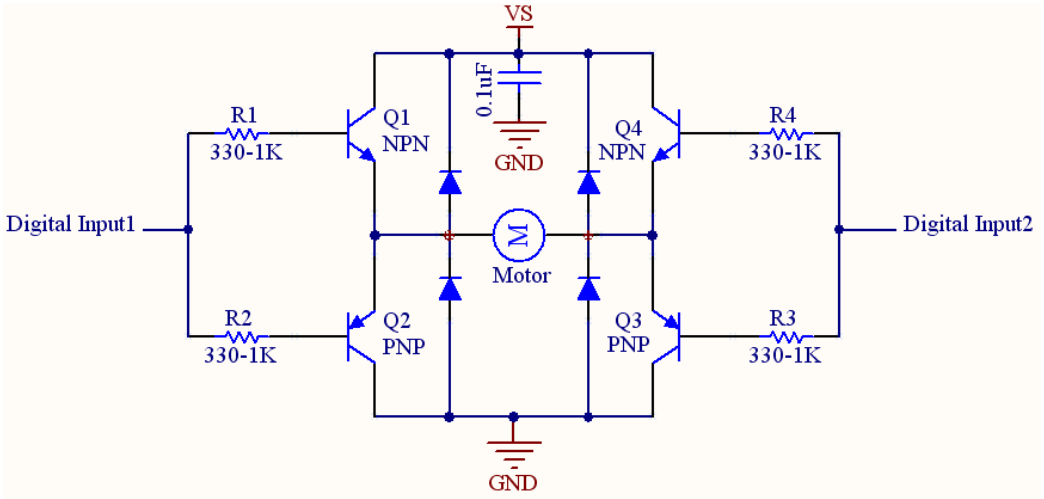
برای جلوگیری از اتصال کوتاه در ستون های پل H می توان از گیت NOT بین ورودی های ترانزیستورهای یک ستون استفاده کرد . بدین ترتیب با اعمال یک ورودی به ترانزیستورهای ستون ، دو ترانزیستور دستورات معکوس می گیرند . چون برد درایور یک برد قدرتی و پر نویز می باشد معمولا گیت های منطقی در این برد بسیار آسیب پذیر می باشند و کاربرد آنها باید محتاطانه باشد .



روش سوم : استفاده از ترانزیستورهای معکوس

می توان ترانزیستورهای ردیف بالا را از نوع NPN و ترانزیستورهای ردیف پایین پل را از نوع PNP انتخاب کرد . حال با مشترک کردن ورودی های ترانزیستورهای ستون ها می توان از همزمان روشن شدن ترانزیستورهای یک ستون جلوگیری کرد . به طور مثال هنگامی که ورودی یک ستون یک باشد ترانزیستور NPN بالا روشن و ترانزیستور PNP پایین خاموش می باشد و به صورت الکتریکی از اتصال کوتاه جلوگیری می شود . در هنگام نصب ترانزیستورهای PNP باید به جهت جریان دقت شود . در ترانزیستورهای PNP جهت جریان از امیتر به کلکتور است . دیودها نیز از نوع 1N5817 می باشد .

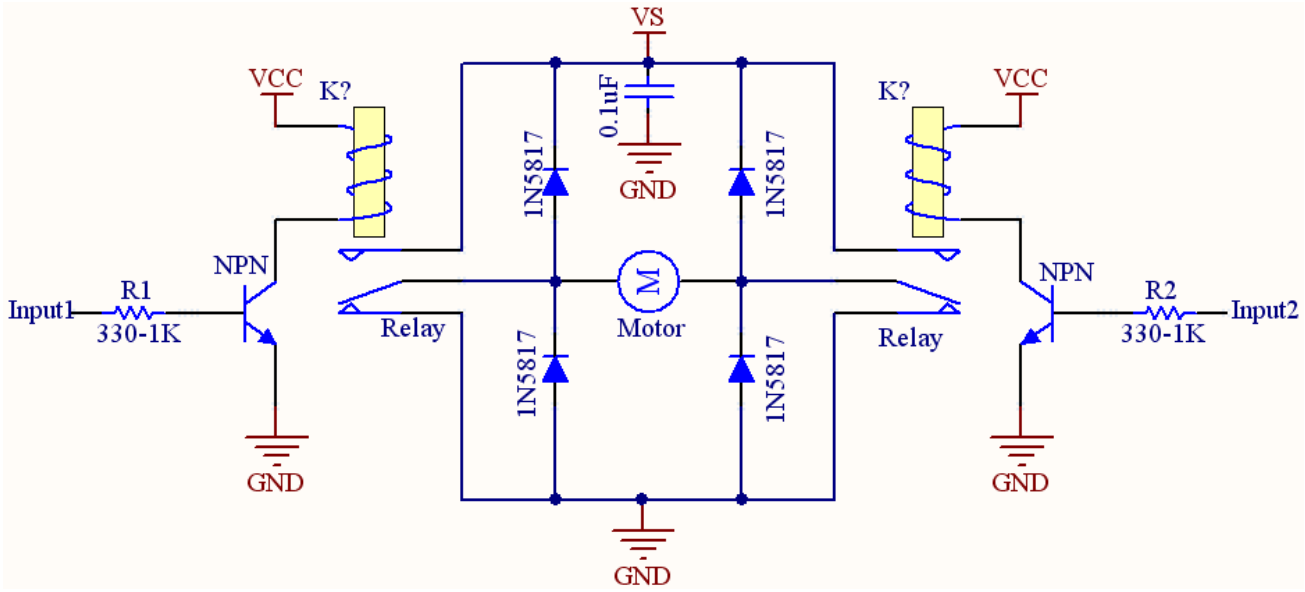
پل زیر یکی از بهترین و کامل ترین پل های استفاده شده برای درایو موتور است .



ب . پل H با استفاده از رله :

پل **H** را نیز می توان بسادگی با دو رله **SPDT** بست . استفاده از رله سه مزیت اساسی دارد :

۱. رله جریان های بسیار بالاتری نسبت به ترانزیستور می تواند تامین کند .
۲. استفاده از رله امکان ایجاد اتصال کوتاه در پل **H** را از بین می برد .
۳. هر رله به تنهایی وظیفه ۲ ترانزیستور را انجام می دهد . بنابراین مدار نهایی ساده تر از مدار پل **H** ترانزیستوری است .



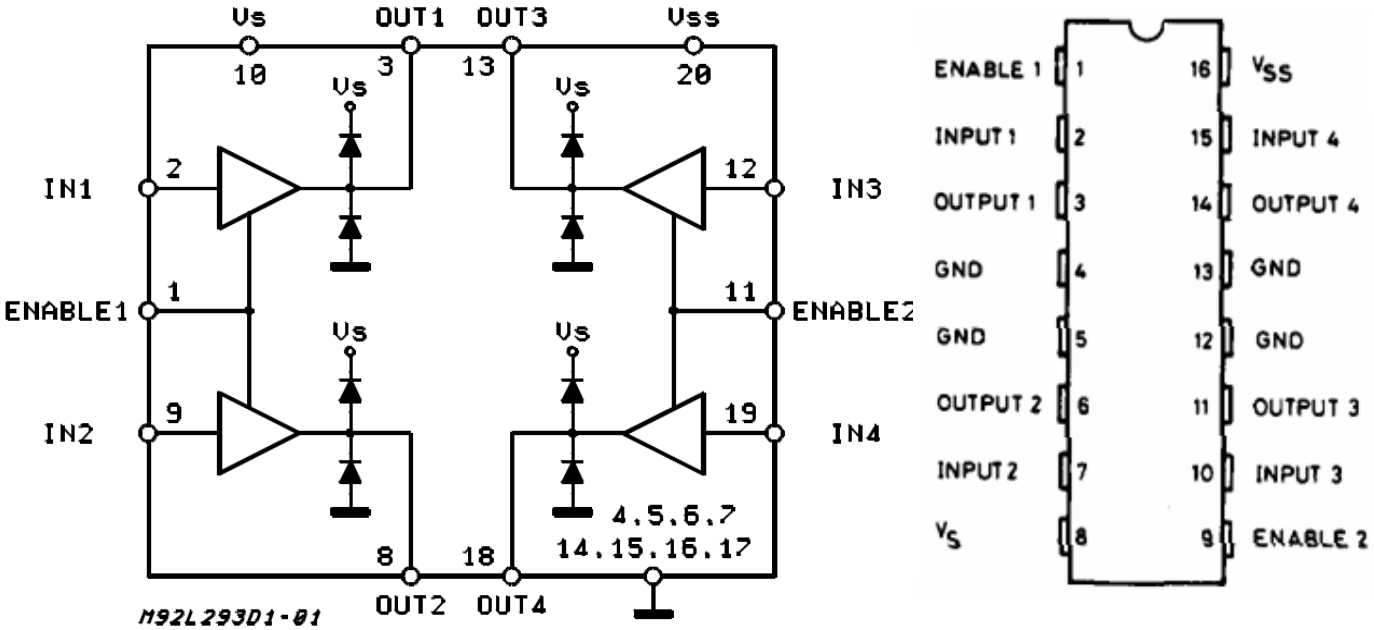
ج . آی سی های پل H

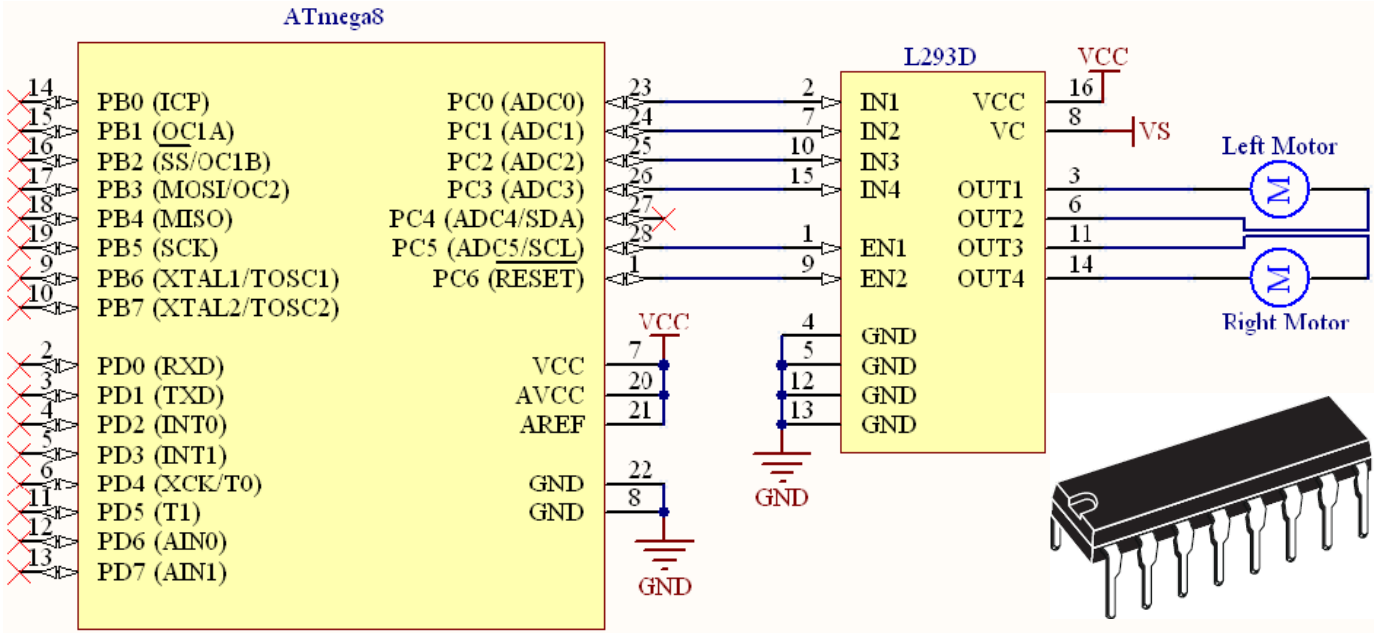
به منظور استفاده راحت تر از پل های **H** این مدارات به صورت مجتمع تحت عنوان آی سی درایور طراحی شده اند . آی سی **L293D** و **L298N** از معروف ترین و متداول ترین آی سی های درایور می باشند که در ادامه بررسی می شوند :

آی سی L293 :

این آی سی شامل دو پل H داخلی است که هر یک از این پل ها می توانند یک موتور DC را با ماکزیمم جریان 1.2A به حرکت درآورند . البته باید دقت کرد که منظور از جریان 1.2 آمپری ، پیک جریان است ، بدین معنی که آی سی نمی تواند به صورت پیوسته چنین جریانی را تحمل کند و فقط برای لحظاتی کوتاه می تواند این جریان را تحمل کند . این آی سی شامل دو ورودی مثبت تغذیه است . یکی ورودی Vss که ورودی دیجیتال آی سی است و ماکزیمم تا ۷ ولت می تواند باشد و دیگری VS است که ولتاژ تغذیه موتورهاست و تا ۳۶ ولت می تواند باشد . این آی سی دیودهای محافظتی هرزگرد را به صورت داخلی دارد و احتیاجی به استفاده از دیودهای خارجی نیست .

هر پل H این آی سی دارای ۲ ورودی دیتا ، یک پایه فعال ساز و ۲ پایه خروجی است .



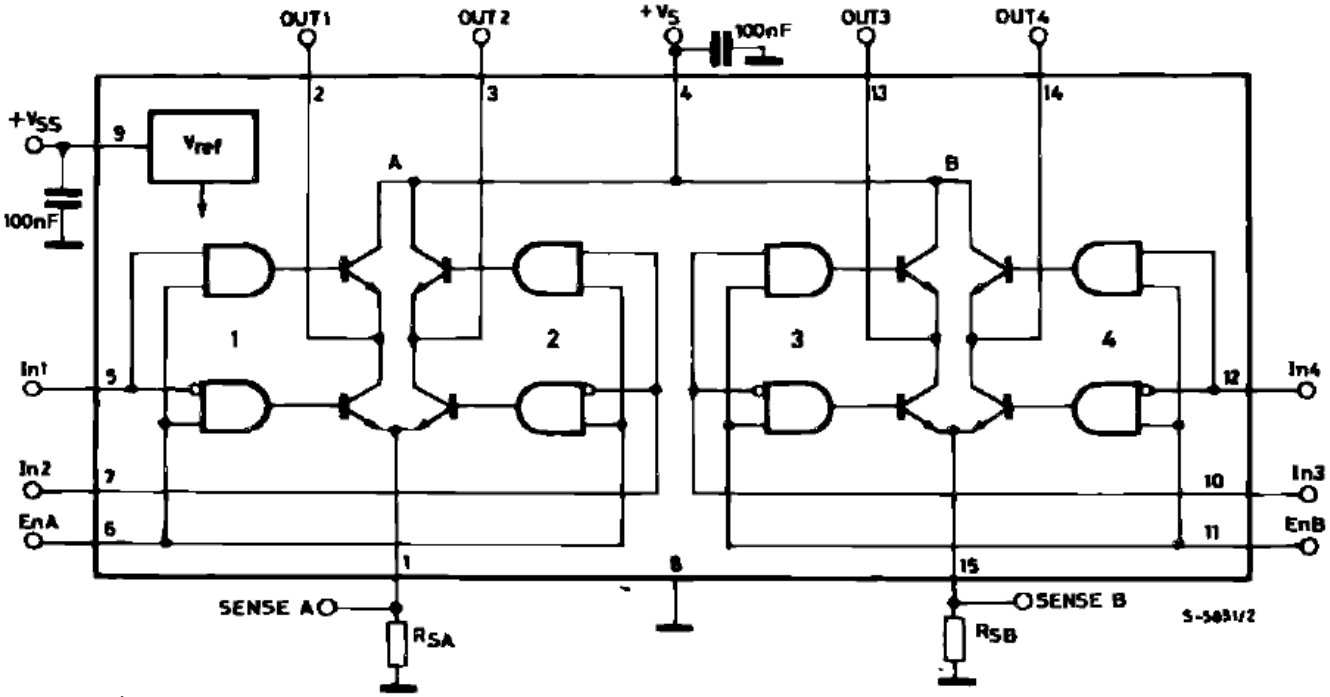


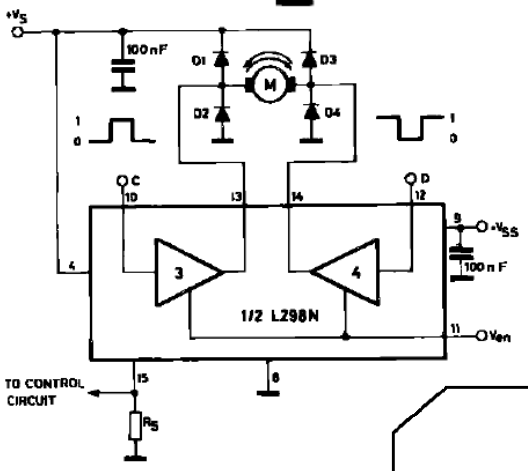
آی سی L298 :

عملکرد L298 کاملا مشابه L293 است با توان و قدرت بالاتر

L298 دارای دو پل H با قابلیت جریان دهی ۲ آمپر به صورت پیوسته و ۳ آمپر به صورت لحظه ای می باشد .

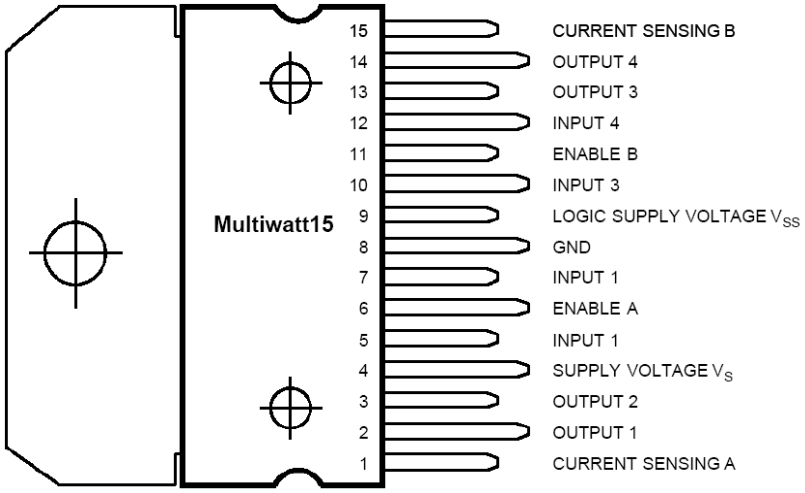
ولتاژ ورودی Vss آن ماکزیمم برابر ۷ ولت و ولتاژ VS موتورها ماکزیمم برابر ۵۰ ولت می باشد . هر پل H این آی سی دارای ۲ ورودی دیتا ، یک پایه فعال ساز و ۲ پایه خروجی است .





Inputs		Function
V_{en} = H	C = H ; D = L	Turn Right
	C = H ; D = H	Turn Left
	C = D	Fast Motor Stop
V_{en} = L	C = X ; D = C	Free Running Motor Stop

L = Low H = High X = Don't care



L298 دو تفاوت اساسی با L293 می باشد :

۱. L298 دارای دیودهای هرزگرد داخلی نمی باشد و احتیاج به دیود های خارجی دارد .

۲. جریان اصلی موتور در هر یک از پل ها از پایه **Current Sensing** همان پل عبور می کند . از این پایه می توان به عنوان سنسور جریان موتور استفاده کرد . در صورتی که احتیاج به اندازه گیری یا محدود کردن جریان موتورها نباشد این پایه را مستقیما به زمین متصل می کنند . در صورتی که بخواهیم جریان مصرفی موتور را اندازه بگیریم ، یک مقاومت بسیار کوچک با توان بالا مثلا **0.1Ω** و یا **0.5 Ω** آجری **10W** را در مسیر این پایه و زمین قرار می دهیم . عبور جریان از درون این مقاومت باعث ایجاد افت ولتاژی بر روی پایه های مقاومت می گردد . با اندازه گیری این افت ولتاژ و داشتن مقدار مقاومت ، با استفاده از قانون اهم می توان جریان موتور را محاسبه کرد .

سنسور :

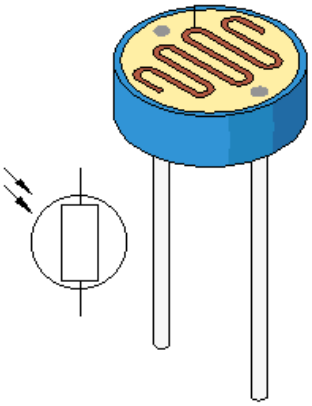
حسگر یا سنسور قطعه ای می باشد که کمیتی فیزیکی را به کمیت های الکترونیکی آنالوگ و یا دیجیتال تبدیل می کند . در طراحی حسگر همیشه از قوانین و اصول فیزیکی و یا شیمیایی استفاده می شود . کمیت های فیزیکی که در محیط وجود دارند بسیار متنوع هستند و بر همین اساس سنسورها نیز از تنوع فوق العاده ای برخوردار هستند . برای تشخیص هر کمیت فیزیکی باید از سنسور مربوط به همان کمیت استفاده کرد . در ادامه با برخی از این کمیت ها و سنسورها آشنا می شویم .

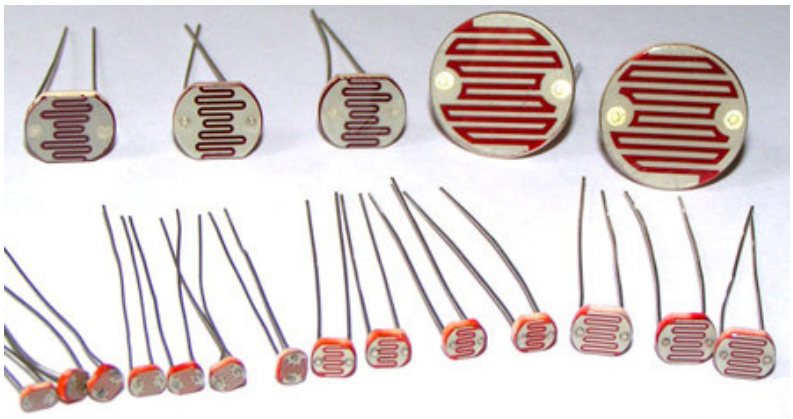
۱ . سنسور نوری :

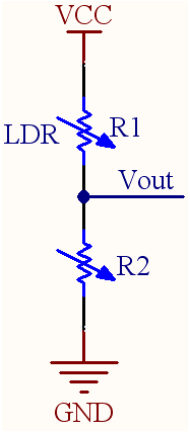
سنسورهای نوری انواع متفاوتی دارند . در ادامه ۳ نوع از آنها را بررسی می کنیم .

۱ . الف . مقاومت نوری (LDR)

اساس کار مقاومت نوری بسیار ساده است . مقاومت این قطعه با تغییر شدت نور رسیده به آن تغییر می کند . هر چه نور بیشتری به سنسور برسد مقاومت سنسور بیشتر کاهش می یابد . اما از آنجا که در الکترونیک داده ها به صورت ولتاژ ظاهر می شوند ، باید به نحوی این تغییر مقاومت را به تغییر ولتاژ تبدیل کنیم . خوشبختانه این کار چندان دشوار نیست ، کافی است از قانون اهم و یک تقسیم ولتاژ ساده استفاده کنیم :







در شکل روبرو ولتاژ خروجی به سادگی از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$Vout = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times VCC$$

فرض کنیم مقاومت **LDR** در تاریکی مطلق **20kΩ** و در مقابل تابش نور مقاومت آن تا **100 Ω** کاهش پیدا می کند . حال اگر پتانسیومتر را بر روی **1kΩ** تنظیم کنیم ، در نبود نور ولتاژ خروجی **LDR** برابر است با :

$$Vout = \frac{1K\Omega}{20K\Omega + 1K\Omega} \times 5 = 0.23V \approx 0V$$

حال اگر سنسور در مجاورت تابش نور قرار گیرد ولتاژ خروجی برابر است با :

$$Vout = \frac{1K\Omega}{100\Omega + 1K\Omega} \times 5 = 4.54V \approx 5V$$

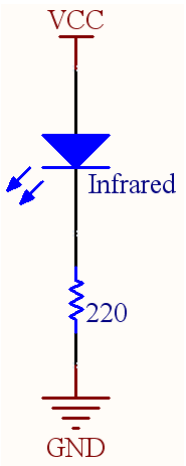
بنابراین مشاهده می شود با یک تقسیم ولتاژ ساده می توان از تغییر مقاومت سنسور را به تغییر ولتاژ تبدیل کرد و از آن به عنوان سنسوری جهت تشخیص منابع نوری استفاده کرد .

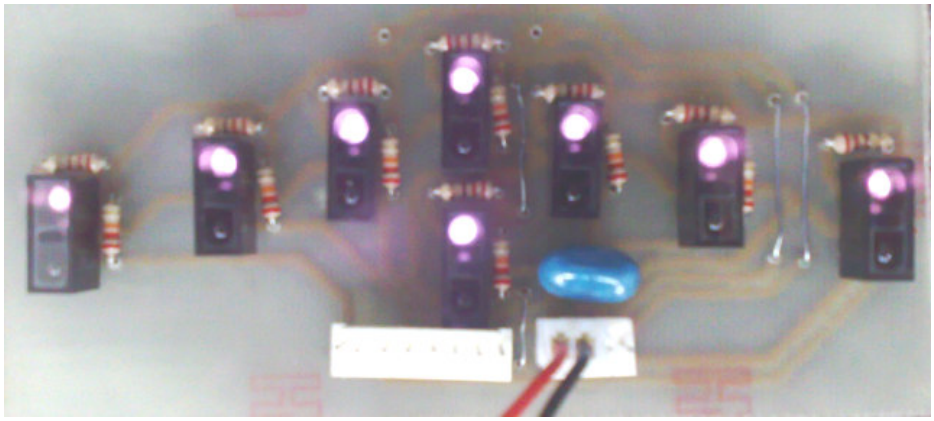
۱ . ب . سنسورهای مادون قرمز :

سنسورهای مادون قرمز بر مبنای امواج مادون قرمز عمل می کنند . این سنسورها متشکل از فرستنده مادون قرمز و گیرنده مادون قرمز می باشند .

فرستنده مادون قرمز کاملا شبیه LED های معمولی می باشد با این تفاوت که به جای نور مریی ، اشعه مادون قرمز تولید می کند . متداول ترین فرستنده مادون قرمز که در هر خانه ای استفاده می شود ، فرستنده جلوی کنترل های تلویزیون و سایر وسایل صوتی تصویری است . امواج مادون قرمز توسط چشم انسان قابل مشاهده نیستند ولی توسط چشم مسلح (دوربین عکاسی و فیلم برداری) قابل مشاهده است . تصویر زیر برد سنسوریک ربات تعقیب خط را نشان می دهد که شامل ۸ عدد سنسور مادون قرمز (پک فرستنده گیرنده) می باشد . این تصویر در زمان روشن بودن سنسورها گرفته شده است . مشاهده می کنید که نور مادون قرمز حاصل از فرستنده های مادون قرمز در تصویر کاملا مشخص است .

فرستنده مادون قرمز کاملا مشابه یک LED معمولی درایو می شود .



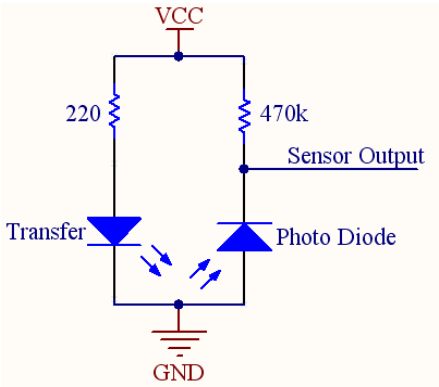


گیرنده های مادون قرمز به دو دسته تقسیم می شوند : ۱. فتودیودها ۲. فتوترانزیستورها

فتودیودها :

به غیر از مقاومت های نوری ، حسگرهای نوری دیگری نیز وجود دارد ، که یکی از پرکاربردترین آنها ، دیود نوری است . تحقیقات نشان داده است که جریان حامل های اقلیت دیود ، به نور نیز بستگی دارد . اگر این قطعات به طور مستقیم بایاس شوند ، در اثر تابش نور به آنها افزایش جریان عبوری از آنها ناچیز است ، اما اگر به طور معکوس بایاس شوند ، قضیه کاملا متفاوت است . در این حالت در تاریکی جریانی که از آن می گذرد بسیار کم است ، اما با تایش نور به آن جریان زیادی از آن می گذرد .

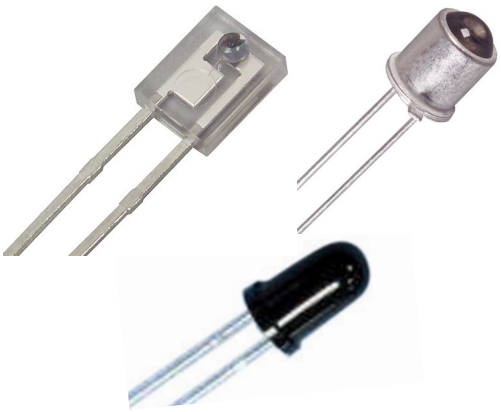
نحوه درایو فتودیود را در شکل زیر مشاهده می کنید . شکل زیر یک فرستنده گیرنده مادون قرمز را نشان می دهد که گیرنده از نوع فتودیود است .



فرض کنید از این سنسور برای تشخیص رنگ سیاه و سفید استفاده می کنیم .

هنگامی که سنسور بر روی رنگ سیاه باشد هیچ بازتابی از اشعه مادون قرمز فرستنده به گیرنده نمی رسد و خروجی سنسور حدود 3.3V است . هنگامی که سنسور بر روی رنگ

سفید قرار می گیرد بازتاب فرستنده به گیرنده می رسد و ولتاژ خروجی سنسور حدود **0.2V** می باشد .

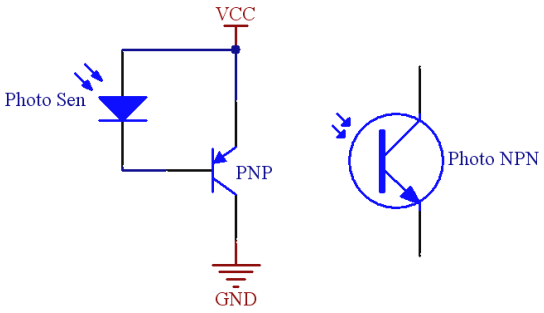


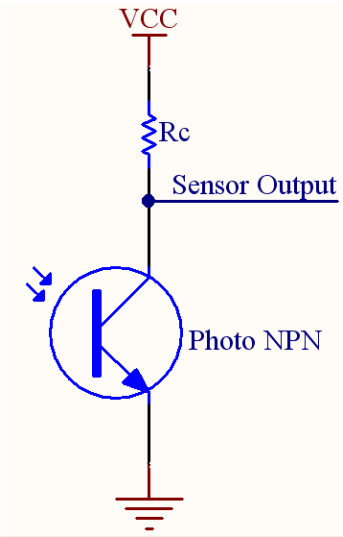
گیرنده مادون قرمز
فتودیود

فرستنده مادون قرمز

فتوترانزیستور :

از همان خاصیت نیمه هادیها در مقابل نور برای ساخت ترانزیستورهایی استفاده می شود ، که به آنها ترانزیستورهای نوری یا فتوترانزیستور می گویند . شکل زیر شمای این ترانزیستور و مدار معادل آن را با استفاده از یک دیود نوری نشان می دهد .





در ساختمان های ترانزیستورهای نوری ، ماده بیس (Base) نازک است . بنابراین نور می تواند به اتصال کلکتور – بیس برخورد نماید . وقتی که نور به اتصال کلکتور – بیس برخورد می کند ، الکترون آزاد می شود و به این طریق جریان بیس زیاد می شود و توسط بهره جریان ترانزیستور (β) تقویت می گردد . پس با توجه به این مطلب می توان نتیجه گرفت که ترانزیستورهای نوری مانند دیود نوری به تقویت کننده نیازی ندارد . مدار ساده ای را برای استفاده از ترانزیستور نوری نشان می دهد .

معرفی چند نمونه پک فرستنده گیرنده مادون قرمز :

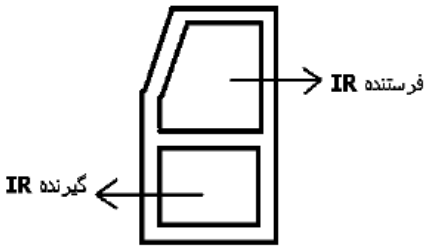
سنسور مینیاتوری GP2S04 :

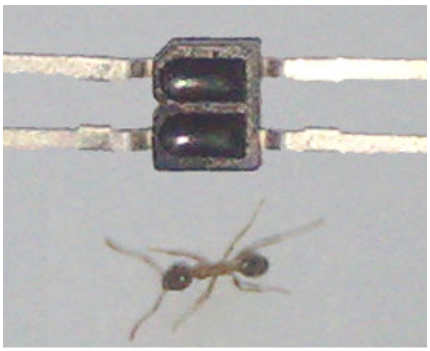
این سنسور یک فرستنده گیرنده مادون قرمز می باشد که برای ربات های تعقیب خط برای تشخیص رنگ سیاه و سفید گزینه مناسبی می باشد . اندازه این سنسور بسیار کوچک و نسبتا قیمت مناسبی دارد (حدود ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ تومان (آذر ۸۷)) .

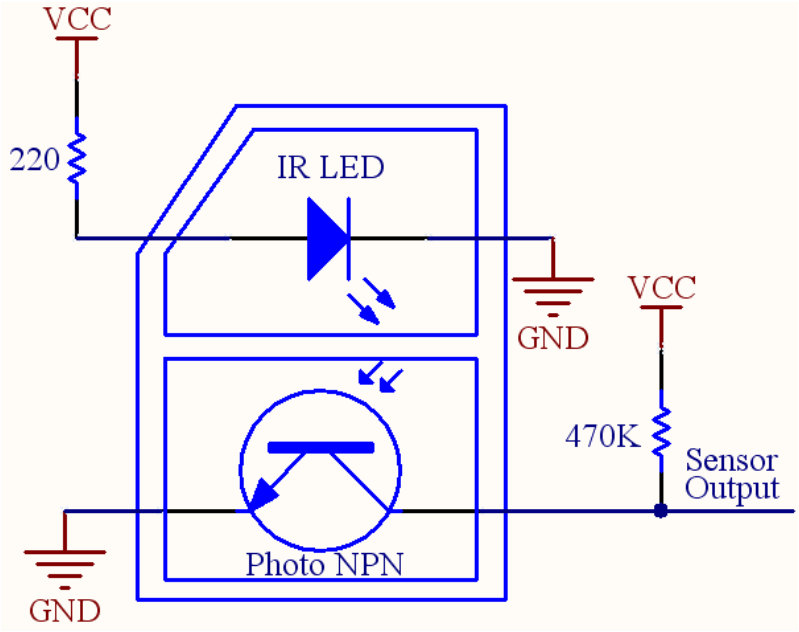
این سنسور ۴ پایه دارد که ۲ پایه از آن به زمین وصل شده و ۲ پایه دیگر یکی با مقاومت ۲۲۰ اهم برای فرستنده و دیگری با مقاومت ۴۷۰ کیلواهم برای گیرنده به VCC وصل می شوند .

زمانی که سنسور بر روی رنگ سفید باشد ولتاژ خروجی در حدود 0.2 تا 0.7 ولت و زمانی که بر روی سیاه باشد خروجی حدود 3.3 تا 3.4 ولت است .

بهترین بازده این سنسور در فاصله 4-6mm از زمین می باشد .



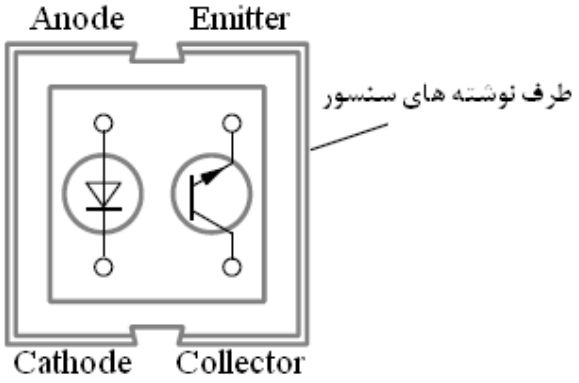




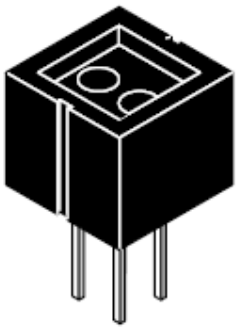
سنسور CNY70 :

سنسور CNY70 هم یک نمونه مرغوب سنسورهای مادون قرمز جهت استفاده در ربات های تعقیب خط می باشد . برد این سنسور بهتر از نمونه قبلی است .

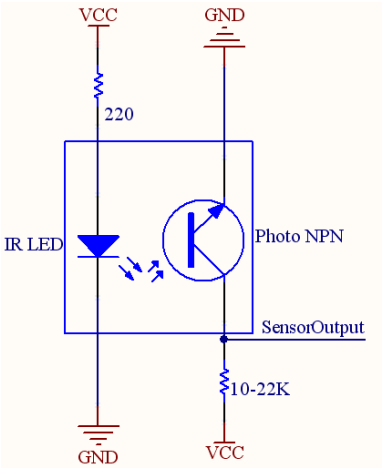
نکته مهم در مورد این سنسور تشخیص پایه های آن است . چون این سنسور دو نمونه پایه بلند و پایه کوتاه دارد و چینش پایه ها در این دو نمونه متفاوت است ، بنابراین باید پایه ها را دقیقه مطابق شکل زیر تشخیص داد . یعنی اگر سمت بالای سنسور را به گونه ای در دست بگیریم که نوشته های سنسور سمت راست باشد ، پایه های آن به ترتیب شکل زیر می باشد .

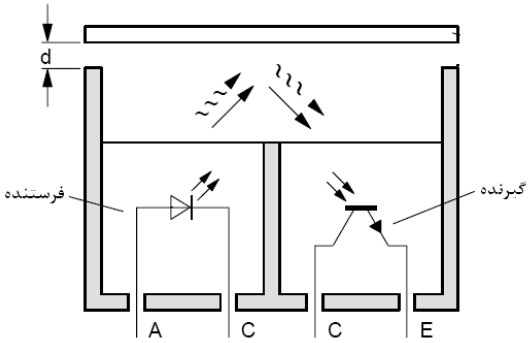


نمای بالای سنسور

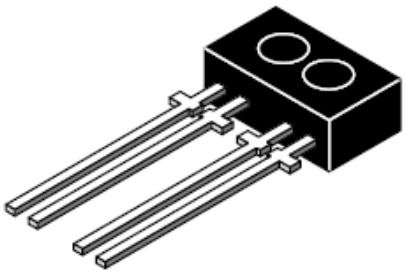


مقاومت کلکتور گیرنده را می توان به روش سعی و خطا و با استفاده از یک پتانسیومتر به دست آورد . معمولا در رنج **10-22K** سنسور جواب بهتری می دهد .





سنسورهای مادون قرمز دیگری نیز از قبیل **ON2179** و **TCR5000** و **TCR1000**، نیز استفاده می شوند که درایو و کاربردشان کاملا مشابه این دو سنسور می باشد .



TCRT1000

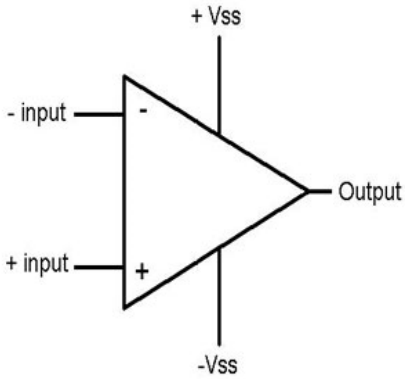
TCRT5000

باید به این نکته توجه کرد که علاوه بر فرستنده مادون قرمز ، منابع تولیدکننده مادون قرمز دیگری نیز در محیط موجود می باشد . خورشید ، شعله آتش ، لامپ ها ، فلاش دوربین و حتی بدن انسان امواج مادون قرمز تولید می کنند . بنابراین هنگامی که در یک سیستم یا یک ربات از سنسور مادون قرمز استفاده می شود تمام منابع فوق می توانند باعث ایجاد نویز بر روی سیستم شود . پس در هنگام استفاده از این سنسورها باید تمام تمهیدات عایق بندی نوری در نظر گرفته شود .

اگر خروجی یک سنسور مادون قرمز را در محیط های مختلف اندازه گیری کنید مشاهده می کنید که خروجی سنسور در هر محیطی بسته به عوامل نوری محیط اندکی متفاوت است . بطورمثال خروجی ۳ ولت ممکن است به ۳.۵ ولت و یا 0.5 ولت به 1 ولت افزایش یابد . این تغییرات خروجی سنسور را از مرزهای دیجیتال خارج می کند و دیجیتال خواندن خروجی سنسور را نامطمئن می کند . بنابراین باید از مکانیسمی جهت از بین بردن تاثیر تغییرات جزیی خروجی سنسور بهره برد . برای این منظور از آپ امپ استفاده می شود . آپمپ ها این امکان را می دهند که خروجی سنسور را با یک ولتاژ خاص مقایسه شود و نتیجه نهایی به صورت صفر و یک منطقی به میکروکنترلر داده شود .

آپ امپ

تقویت کننده های عملیاتی به اختصار آپ امپ نامیده می شو ند و به صورت مدار مجتمع در دسترس می باشند. این تقویت کننده ها از پایداری بالایی برخوردارند و با اتصال ترکیب مناسبی از عناصر خارجی مثل مقاومت ، خازن ، دیود و غیره به آنها ، می توان انواع عملیات خطی و غیر خطی از قبیل تقویت کنندگی ، مشتق ، انتگرال ، مقایسه کنندگی و غیره را انجام داد . از ویژگیهای اختصاصی تقویت کننده های عملیاتی ورودی تفاضلی و بهره بسیار زیاد است .

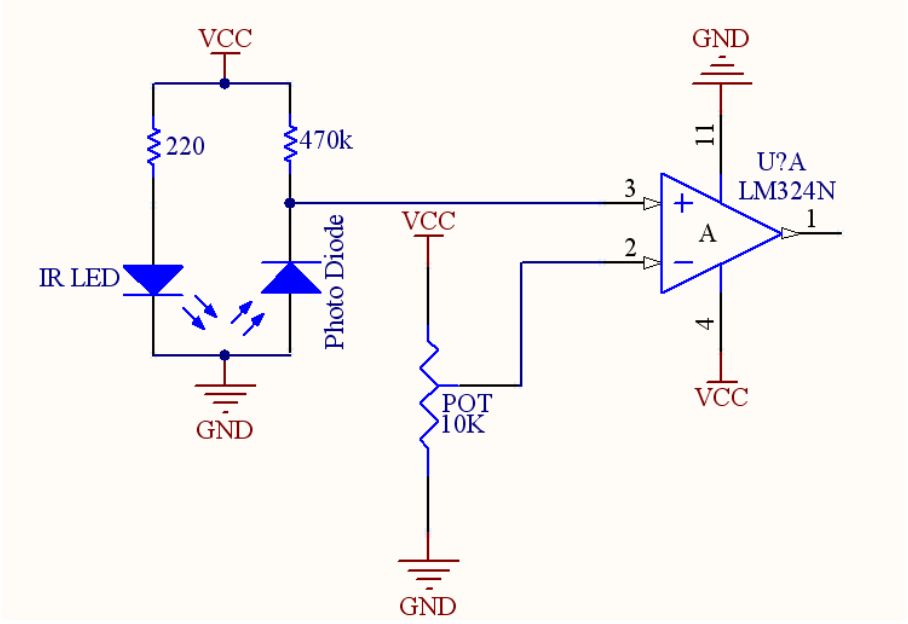


این المان همواره دارای دو پایه مثبت و منفی در ورودی و یک پایه در خروجی هستند .پایه ورودی مثبت را در اصطلاح لاتین **noninverting** و پایه منفی را **inverting** می گویند .

در بعضی موارد **Op-Amp** ها نیاز به دو منبع تغذیه مثبت و منفی دارند . اگر ما مایل باشیم که تنها از خروجی مثبت آپ امپ استفاده کنیم.در واقع منظور ولتاژ های مثبت در خروجی است.در این حالت می بایست منفی **Vss** را به زمین متصل کنیم.ولتاژ مثبت را تنها به پایه تغذیه مثبت وصل کنیم .

آپ امپ در حالت مقایسه گری یا Comparator

در این وضعیت آپ امپ ولتاژ پایه ورودی مثبت را با ولتاژ پایه ورودی منفی مقایسه کرده و در صورتی که ولتاژ +V از -V بیشتر باشد خروجی آپ امپ یک می شود ، در غیر این صورت خروجی آپ امپ صفر است .
خروجی سنسور را به پایه ورودی مثبت آپ امپ متصل می کنند و در ورودی منفی با استفاده از یک پتانسیومتر ، ولتاژ مرجع را تامین می کنند . ولتاژ مرجع یا V ref توسط اپراتور تنظیم می شود
از این نوع مدار جهت مقایسه ولتاژ های ورودی به خصوص در سنسورها استفاده می شود .. با استفاده از آپ امپ و ولتاژ مرجع می توان خروجی سنسور را با یک ولتاژ خاص مقایسه کرد و خروجی مناسب برای میکروکنترلر به دست آورد . بدین ترتیب تغییرات محیطی خروجی سنسور از بین می رود .



فصل چهارم
میکروکنترلر

معرفی میکروکنترلرها :

به آی سی هایی که قابل برنامه ریزی می باشد و عملکرد آنها از قبل تعیین شده میکروکنترلرگویند میکرو کنترل ها دارای ورودی - خروجی و قدرت پردازش می باشد

بخشهای مختلف میکروکنترلر :

میکروکنترلر ها از بخشهای زیر تشکیل شده اند

Cpuواحد پردازش

Aluواحد محاسبات

I /Oورودی ها و خروجی ها

Ramحافظه اصلی میکرو

Romحافظه ای که برنامه روی آن ذخیره می گردد

Timerبرای کنترل زمان ها و...

خانواده های میکروکنترلر :

خانواده **Pic - AVR - 8051 :**

یک میکروکنترلر چگونه برنامه ریزی میشود .

میکرو کنترلر ها دارای کامپایلرهای خاصی می باشد که با زبان های **Assemblybasic, c** می توان برای آنها برنامه نوشت سپس برنامه نوشته شده را توسط دستگاهی به نام **programmer** که در این دستگاه ای سی قرار می گیرد و توسط یک کابل به یکی از در گاه های کامپیوتر وصل می شود برنامه نوشته شده روی آی سی انتقال پیدا میکند و در **Rom** ذخیره می شود.

با میکرو کنترلر چه کارهایی می توان انجام داد .

این آی سی ها حکم یک کامپیوتر در ابعاد کوچک و قدرت کمتر را دارند بیشتر این آی سی ها برای کنترل و تصمیم گیری استفاده می شود چون طبق الگوریتم برنامه ی آن عمل می کند این آی سی ها برای کنترل ربات ها تا استفاده در کارخانه صنعتی کار برد دارد .

امکانات میکرو کنترلرها :

امکانات میکرو کنترلرها یکسان نیست و هر کدام امکانات خاصی را دارا می باشند و در قیمت های مختلف عرضه می شود.

شروع کار با میکرو کنترلر :

برای شروع کار با میکرو کنترلر بهتر است که یک زبان برنامه نویسی مثل **c** یا **basic** را بیاموزید سپس یک برد **programmer** تهیه کرده و برنامه خود را روی میکرو ارسال کنید سپس مدار خود را روی برد برد بسته و نتیجه را مشاهده کنید .

چنان چه در مدارهای الکترو نیکی تجربه ندارید بهتر است از برنامه های آموزش استفاده کنید.

مقایسه خانواده های مختلف میکرو وکنترلرها :

*خانواده **8051***

این خانواده از میکرو کنترولر ها جزو اولین نوع میکرو کنترولر ها یی بود که رایج شده و جزو پیشکسوتان مطرح میشود . معروف ترین کامپایلر برای این نوع میکرو **keil** یا **franklin** می باشد میکرو های این خانواده به نوسان ساز نیاز مند هستند و درمقابل خانواده **pic** یا **AVR** از امکانات کمتری برخور دار می باشد معروف ترین آی سی ها این خانواده **89S51** یا **89C52** می باشد.

*خانواده **AVR** :*

این خانواده از میکرو کنترلرها تمامی امکانات **8051** را دارا می باشد و امکاناتی چون(**ADC** مبدل آنالوگ به دیجیتال) – نوسان ساز داخلی و قدرت و سرعت بیشتر) **EEPROM**– حافظه) از جمله مزایای این خانواده می باشد مهم ترین آی سی این خانواده **Tiny** و **Mega** است.

*خانواده **pic** :*

این خانواده از نظر امکانات مانند **AVR** میباشد و در کل صنعتی تر است.

مزایای میکرو کنترلر نسبت به مدار های منطقی:

یک میکرو کنترلر را می توان طوری برنامه ریزی کرد که کار چندین گیت منطقی را انجام دهد.

تعداد آی سی هایی که در مدار به کار میرود به حداقل میرسد.

به راحتی می توان برنامه میکرو کنترلر را تغییر داد و تا هزاران بار میتوان روی میکرو برنامه های جدید نوشت و یا پاک کرد .

به راحتی میتوان از روی یک مدار منطقی کپی کرد و مشابه آن را ساخت ولی در صورتی که از میکرو کنترلر استفاده شود و برنامه میکرو را قفل کرد به هیچ عنوان نمی توان از آن کپی گرفت .

میکروکنترلر چیست :

قطعه ای که این روزها دارد جای خود را در خیلی از وسایل الکتریکی باز میکند .از تلفن گرفته تا موبایل از ماوس لیزری که الان دستتان روی آن است و دارین باهاش کامپیوتر رو کنترل میکنید تا هر وسیله ای که بتوان پیچیدگی رو در اون دید میتونید یک میکروکنترلر رو ببینید

کلمه میکروکنترلر:

این کلمه از دو کلمه ۱- میکرو۲-کنترلر تشکیل شده

میکرو :یک واحد یونانی است و برابر با ۱۰ به توان منفی 6 متر است. یعنی یک ملیونیوم متر واحده خیلی کوچیک است....ولی واحدهای خیلی کوچیکتر از این هم داریم که در الکترونیک مورد استفاده قرار میگیرند ..

کنترلر :یعنی کنترل کننده به تعبیری یعنی "مغز " البته بدون تفکر فقط دستوراتی که به اون داده می شود به بهترین نحو انجام می دهد.

حالا چرا این کلمات ؟

کلمه میکرو به دو منظور استفاده شده منظور اول و مهم سرعت عمل میکروکنترلر است که میتواند تا یک ملیونیوم ثانیه باشد و دستوارتی که به اون میدیم با این سرعت انجام بده به همین خاطر واژه میکرو رو به اون اختصاص دادن البته معنی دوم آن شاید کوچیکی این قطعه باشد که تا یک ملیونیوم متر کوچیک شده شاید باور کردنی نباشه ولی در یک تراشه ممکنه بیش از یک ملیون تراتزیستور به کار رفته باشه. این کلمه

وقتی اهمیتش کامل میشه که با واژه کنترلر عجین بشه تا معنیش کامل بشود .

نحوه انجام دادن کار میکروکنترلر را به صورت کلی بررسی میکنیم:

تا حالا همه شما با ماشین حساب کار کرده اید تا حالا به نحوه کار کردنش فکر کرده اید شما اطلاعات خود را که همون عملیات ریاضی هست به وسیله صفحه کلید به اون می دهید بعد ماشین حساب این اطلاعات رو بر مبنای دستوراتی که قبلا به اون داده شده پردازش میکند و جواب را روی lcdنمایش میدهد. در واقع یک میکروکنترلر برنامه ریزی شده به عنوان مغز ماشین حساب این اطلاعات یا داده رو از صفحه کلید میگیره روی آنها پردازش انجام می دهد و بعد بر روی lcd نمایش میدهد .

کار میکروکنترلر دقیقا مشابه این است میکرو کنترلر بر مبنای یک سری ورودی که به اون داده میشه مثلا این ورودی از یک سنسور دما باشه که درجه حرارت رو میگه یا از هر چیز دیگه مثل صفحه کلید بر مبنای این ورودی ها و برنامه ای که قبلا ما به آن داده ایم خروجی خود را تنظیم میکنه که ممکنه خروجی یک موتور باشه یا یک lcd یا هر چیز دیگری که با الکتریسیته کار بکند. حالت دیگری هم می تواند باشد که فقط میکروکنترلر بر مبنای برنامه ای که به اون داده می شود عمل کند و خروجی را فقط بر اساس برنامه بگیرد.

ساختمان دخلی میکروکنترلر :

کامپیوتری که الان بر روی آن کار انجام می دهید دارای یک پردازنده مرکزیه به نام cpu که از کنار هم قرار گرفتن چندین ملیون ترانزیستور تشکیل شده و بر روی اطلاعات پردازش انجام می دهد . میکرو کنترلر هم عینا دارای یک پردازنده مرکزی به نام cpu است که دقیقا کار cpu کامپیوتر رو انجام می دهد با این تفاوت که قدرت و سرعت پردازشش از cpu کمتره که به اون میکروپرسسور میگن در بخش بعدی فرق میکرو پرسسور و میکروکنترلر را بررسی می کنیم .میکروکنترلر علاوه بر cpu دارای حافظه است که ما برنامه ای که بهش میدیم در اون قرار می گیرد در کنار حافظه در میکروکنترلرهای امروزی تایمرها برای تنظیم زمان کانتر ها برای شمارش کانال های آنالوگ به دیجیتال پورت های برای گرفتن و دادن اطلاعات و امکاناتی دیگر که بعدا مفصل راجع به هر کدام توضیح داده می شود تشکیل شده و همه اینها در یک چیپ قرار گرفته که تنکنولوژی جدید آن در یک تراشه به اندازه یک سکه قرار داده شده است.

تفاوت میکروپروسسور و میکروکنترلر:

میکروپرسسور همانطور که گفته شد یک پردازنده است و برای کار باید به آن چیپ های حافظه و چیز های دیگری را به اون اضافه کرد این امکان به درد این می خورد که بر حسب کارمان حافظه مناسب و دیگر قطعات را مانند تایمرها و غیره به صورت بیشتری استفاده کنیم ولی مدار خیلی پیچیده می شود و از لحاظ هزینه هم هزینه بیشتر می شود به همین دلیل امروزه از میکروپرسسورها کمتر استفاده میشود اما این روزها میکرو کنترلر های جدید با حافظه های زیاد تعداد تایمر زیاد پورت های زیاد و تنوع بسیار زیاد انها بر حسب این امکانات دست ما را باز گذاشته است تا دیگر میکروپرسسورها را فراموش کنیم .

آیا میکروکنترلر چیز جدیدی را با خود آورده است ؟

جواب منفی است تمام کارهایی که ما با میکروکنترلر میتوانیم انجام بدهیم با قطعات دیگر هم میتوانیم انجام بدهیم چون ما قبلا هم تایمر داشتیم هم کانتر هم حافظه هم پردازنده و.... در واقع میکروکنترلر قطعه ای است با تمام این امکانات که به صورت یک آی سی آماده شده است و هزینه پیچیدگی و حجم را به نحوه قابل ملاحضه ای کاهش میدهد .

عیب میکروکنترلر :

میکروکنترلر با این همه مزایا که گفتیم دارای یک عیب کوچیک است .و آن سرعت پایین ! است آیا سرعتی معادل یک ملیونیوم ثانیه سرعت کمی است ؟ سرعت کمی نیست ولییک مثال شاید بحثو بهتر باز کند
یک گیت منطقی رو در نظر بگیرید که با توجه به ورودی خروجی خود را تنظیم مکند سرعت عمل این گیت منطقی ۱۰ به توان منفی ۹ ثانیه است یعنی نانو ثانیه ولی اگر ما بخواهیم این گیت رو با میکروکنترلر کار کنیم سرعتی معادل میکرو ثانیه داریم پس از لحاظ سرعت برای کاربردهای خیلی محدودی میکروکنترلر مناسب نیست .

معرفی انواع میکروکنترلر

تمام میکروکنترلرها جزء این 6 قسمت هستنند :

8051
Pic
Avr
6811
Z8
Arm

البته مدل های ۶۸۱۱ ساخت شرکت موتورلا و z8 ساخت شرکت زایلوگ حداقل در ایران خیلی کم استفاده می شوند و رقابت اصلی بین سه نوع دیگر است.
تا به امروز هر میکروکنترلری که ساخته شده زیر مجموعه یکی از این۶ نوع است. البته کارخانه های خیلی زیادی با مارک های مختلف میکرو کنترلر تولید میکنند ولی همه اونها زیر مجموعه یکی از این ۶ قسمت هستنند .شما برای هر کدام از این۶ نوع میکروکنترلر میتوانید میکروکنترلر های مختلفی از شرکت های مختلفی را پیدا کنید.(البته در بازار ایرن کمی با مشکل) .
اما خوشبختانه همه میکروکنترلر هایی که جزء هر کدام از ۶ نوع بالا باشند از یک برنامه پیروی میکنند. بدین معنا که اگر شما کار با یکی از مدل های آن میکرو را یاد گرفته باشید مثل اینکه کار با تمام میکروکنترلرهای آن نوع را یاد گرفته اید.مثلا شما اگر با یکی از مدل های میکروکنترلر avr مثلا atmega8 را یاد گرفته باشید دیگر با صد ها مدل دیگر میکروکنترلر avr مشکلی ندارید وتقریبا بدون هیچ مشکلی میتوانید با دیگر مدل های این میکرو کار کنید .
اما یک مشکل که در میکروکنترلر ها وجود دارد این است که این۶ نوع از لحاظ برنامه نویسی به هیچ وجه با هم دیگر سازگاری ندارند . به طور مثال اگر شما میکروکنترلر های avr و ۸۰۵۱ را کامل یاد گرفته باشید حتی ساده ترین برنامه رو روی یک میکروکنترلر pic نمیتوانید اجرا کنید. واین یکی از بزرگترین عیب و مشکل برای یاد گیری میکرو است .بنابراین از همون اول باید یک انتخاب درست داشته باشید و میکروکنترلر مناسب را برگزینید تا با یادگیری آن میکروکنترلر بتوانید بعدا به سادگی پروژه های خود را اجرا

کنید . البته بسیاری از دوستان هستنند که کار با چند میکروکنترلر را میدونند و حتما این هم از هوش بالای ایرانی هاست. ولی اگر به صورت خیلی حرفه ای نخواهید وارد این بحث بشوید باید یکی از این میکروکنترلرها را انتخاب کنید و کار با آن را آغاز کنید.

معایب و مزایای میکروکنترلر های مختلف نسبت به هم

از آن جای که ۶۸۱۱ و z8 خیلی کمتر استفاده میشوند به معرفی سه نوع دیگر میپردازم . اول از ۸۰۵۱ که اولین میکروکنترلری بود که به دست بشر ساخته شد شروع میکنیم . همانطور که در مقاله قبلی گفته شد ابتدا این میکروکنترلر توسط شرکت بزرگ intel ساخته شد .اما بعدا intel این امکان را به دیگر شرکت ها داد که این میکروکنترلر را تولید کنند و شرکت هایی مانند , PHILIPS , ATMEL SIEMENS , DALLASو... به تولید این میکروکنترلر پرداختند یکی از شرکت هایی که به صورت گسترده به تولید این تراشه پرداخت ATMEL بود که مدل های مختلف میکروکنترلر ساخت این شرکت در سرار جهان و در ایران به خوبی یافت می شود. اما اگربخواهیم به صورت کلی سیر پیشرفت این نوع میکروکنترلر رو در نظر بگیریم اولین میکروکنترلر هایی که ساخته شد با جدیدترین میکروکنترلرهای ۸۰۵۱ که الان تولید میشود با توجه به این پیشرفت شگفت در تمام زمینه ها که صنایع دیگر در دنیا دارند پیشرفت زیادی ندارد به طور مثال AT89S5X که میکروکنترلر ۸۰۵۱ جدید ساخت ATMEL است نسبت به مدل های اولیه ۸۰۵۱ پیشرفت آنچنانی ندارد . امکانات این میکرو نسبت به AVR و PIC قابل مقایسه نیست . به صورتی که که همین مدل جدید ۸۰۵۱ تقریبا حافظه ای برابر یک صدم (۰.۰۰۱ (میکروکنترلر های AVR را دارد و سرعتش ۴ برابر کمتر از میکروکنترلر های PIC و ۱۲ بار کمتر از میکروکنترلر های AVR است . از لحاظ امکانات دیگر هم چنین ضعفی احساس میشود. اما برای کارهای ساده تر که پیچیدگی زیادی در آن نباشد به خاطر قیمت بسیار پایینی که این میکروکنترلر دارد بسیار مناسب است . قیمت همین مدل جدید AT89S5Xحول و حوش ۱۰۰۰ تومان است که قیمت بسیار مناسبی است .

این میکرو کنترلر از زبان اسمبلی و C پشتیبانی میکند که زبان برنامه نویسی اصلی آن اسمبلی است که واقعا نوشتن با این زبان برنامه نویسی نسبت به زبان های برنامه نویسی دیگر هم مشکل تر و هم طولانی تر است. در کل این میکروکنترلر امروزه دیگر توانای رقابت با AVR و PIC رو ندارد و امروزه رقابت اصلی بین این دو میکروکنترلر است .

میکروکنترلر PIC

واقعا میکروکنترلر خیلی قوی است که بر اساس بعضی آمار ها بیشترین کاربر را به خود اختصاص داده است البته متذکر شوم که در ایران این آمار به نفع AVR است. این میکروکنترلر ساخت شرکت میکرو چیپ است که PIC رو در مدل های خیلی زیادی با امکانات مختلف برای کارهای مختلف میسازد . این میکروکنترلر با مدل های مختلف PIC16XXXو PIC12XXXX که به جای X دوم از چپ به راست حروف X,E,F, C قرار میگره که هر کدام مفهوم خاصی داره که چون بحث ما آموزش AVR است از روی اون سریع میگزریم Xهای بعدی هم اعدادی هستنند که نشان دهنده مدل های مختلف هستنند .

میکروکنترلر AVR

به میکروکنترلر AVR میرسیم که به نظر من و خیلی از دیگر بهترین میکروکنترلر موجود در بازار است اول از همه سرعت این میکروکنترلر بسیار بالاست و به قولی دستوراتی که بهش داده میشه در یک سیکل کلاک انجام می دهد در صورتی که این سیکل کلاک برای 8051 باید تقسیم بر۱۲شودو برای PIC باید تقسیم بر ۴ بنابراین AVR سریعترین میکروکنترلر موجود در بازار است AVR . از زبان های برنامه نویسی سطح بالا یا به اصطلاح HLL (HIGH LEVEL LANGUAGE) پشتیبانی میکند که باعث تولید کدهای بیشتری میشود که در کل برنامه نوشته شده نسبت به برنامه هایی که برای ۸۰۵۱ و PIC نوشته میشود کوتاهتر است. امکانات جانبی این میکروکنترلر بسیار مناسب است و شما را از خرید بعضی لوازم جانبی مانند چیپ های آنالوگ به دیجیتال , (ADC) مقایسه گر آنالوگ و... راحت میکند .در ضمن AVR از بسیاری از استاندارد های ارتباطی مانند SPI,UART,12C,JTAG پشتیبانی میکند که به راحتی میتوان این میکروکنترلر را با میکروکنترلر دیگر یا و سایل دیگر وصل کرد و با وسایل دیگر به راحتی ارتباط برقرار کند. قیمت این میکروکنترلر هم به نسبت امکانات فراوانی که داره بسیار پایین است به طوری که یک میکروکنترلر AVR تقریبا پیشرفته رو با قیمت حول و حوش ۳ تا ۴ هزار تومان خرید .

پروگرام میکروکنترلر

شاید تا حالا به نظرتون رسیده باشد که این میکروکنترلر رو چگونه می شود برنامه ریزی کرد تا کار مورد نظرمان را انجام بدهد در صورتی که یک میکروکنترلر برنامه ریزی نشده هیچ کاری رو نمیتواند انجام بدهد و هیچ کاربردی نداره در واقع برنامه هر میکرو روح وجانی است که در اون دمیده میشود و آن را زنده می کند . برای برنامه ریزی میکروکنترلر نیاز به دستگاه یا بردی هست به نام پروگرامر که یه پل ارتباطیه بین کامپیوتر و میکروکنترلر . پروگرامر را هم میشه از بازار تهیه کرد و هم میشه اون رو ساخت . البته پروگرامرهای مختلفی در بازار هستنند که متناسب با کاربردشان قیمت های مختلفی دارند بعضی ها فقط چند مدل رو پروگرام میکنند بعضی از پروگرامر ها همه فن حریفند و تمام میکروکنترلر های ۸۰۵۱ , PIC , AVBR,رو برنامه ریزی می کنند به طبع قیمت زیادتری دارند . اما می شود براحتی برای میکروکنترلری که داریم یک پروگرامر ساخت اغلب نقشه هایی هستنند که می شود یک پروگرامر ساخت..

مقدمه ای بر میکروکنترلرهایAVR

میکروهای AVR دارای انعطاف پذیری غیر قابل مقایسه و بی همتایی هستند.آنها قادر به ترکیب هر نوع کدی با یک معماری کارامد از طریق زبانهای C و Assembly هستند و قادرند از طریق این برنامه ها تمام پارامترهای ممکن در یک سیکل یا چرخه ماشین را با دقت بسیار بالا هماهنگ کنند.میکرو AVR دارای معماریی است که میتواند در تمام جهات مورد استفاده شما،عمل کند میکرو AVR معماریی دارد که برای شما کارایی ۱۶ بیتی ارائه می دهد که البته قیمتش به اندازه یک ۸ بیتی تمام می شود.

بهره های کلیدی AVR :

دارای بهترین MCU برای حافظه فلش در جهان(MCU: Master Control Unit !)
دارای سیستمی با بهترین هماهنگی
دارای بالاترین کارایی و اجرا در(CPU یک دستورالعمل در هر سیکل کلاک)
دارای کدهایی با کوچکترین سایز

دارای حافظه خود برنامه ریز
دارای واسطه JTAG که با IEEE 1149.1 سازگار است
(IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers)
دارای سخت افزار ضرب کننده روی خود
دارای بهترین ابزارها برای پیشرفت و ترقی
دارای حالات زیادی برای ترفیع دادن یاUpgrade
میکرو کنترلر AVR به منظور اجرای دستورالعملهای قدرتمند در یک سیکل کلاک(ساعت) به اندازه کافی سریع است و می تواند برای شما آزادی عملی را که احتیاج دارید به منظور بهینه سازی توان مصرفی فراهم کند.
میکروکنترلر AVR بر مبنای معماری(RISC کاهش مجموعه ی دستورالعملهای کامپیوتر) پایه گذاری شده و مجموعه ای از دستورالعملها را که با ۳۲ ثبات کار می کنند ترکیب می کند.
به کارگرفتن حافظه از نوع Flash که AVR ها به طور یکسان از آن بهره می برند از جمله مزایای آنها است.
یک میکرو AVR می تواند با استفاده از یک منبع تغذیه ۲.۷ تا ۵.۵ ولتی از طریق شش پین ساده در عرض چند ثانیه برنامه ریزی شود یا Program شود
میکروهای AVR در هرجا که باشند با ۱.۸ ولت تا ۵.۵ ولت تغذیه می شوند البته با انواع توان پایین (Low Power)که موجودند.
راه حلهایی که AVR پیش پای شما می گذارد، برای یافتن نیازهای شما مناسب است:
با داشتن تنوعی باور نکردنی و اختیارات فراوان در کارایی محصولاتAVR ، آنها به عنوان محصولاتی که همیشه در رقابت ها پیروز هستند شناخته شدند.در همه محصولات AVR مجموعه ی دستورالعملها و معماری یکسان هستند بنابراین زمانی که حجم کدهای دستورالعمل شما که قرار است در میکرو دانلود شود به دلایلی افزایش یابد یعنی بیشتر از گنجایش میکرویی که شما در نظر گرفته اید شود می توانید از همان کدها استفاده کنید و در عوض آن را در یک میکروی با گنجایش بالاتر دانلود کنید.
خانواده های محصولات AVR :

Tiny AVR :

میکروکنترلری با اهداف کلی و با بیش از ۴ کیلو بایت حافظه فلش و ۱۲۸ بایت حافظه استاتیک و قابل برنامه ریزی است.(منظور از حافظه استاتیک SRAM و حافظه قابل برنامه ریزی EEPROM است.)
به خود اجازه ندهید که نام آن شما را گول بزند... میکروهای مدل tiny توانایی های عظیمی دارند.به خاطر کوچک بودن و داشتن MCU بسیار پر قدرت به اینگونه میکروها نیاز فراوانی هست آنها به هیچ منطق خارجی نیاز نداشته و به همراه یک مجتمع مبدل آنالوگ به دیجیتال و یک حافظه قابل برنامه ریزی EEPROMقابلیتهای خود را ثابت می کنند.
نکات کلیدی و سودمند مدل Tiny :
آنها به منظور انجام یک عملیات ساده بهینه سازی شده و در ساخت وسایلی که به میکروهای کوچک احتیاج است کاربرد فراوان دارند.
کارایی عظیم آنها برای ارزش و بهای وسایل موثر است.

Mega AVR :

این نوع میکروها قابلیت خود برنامه ریزی دارند و می توان آنها را بدون استفاده از مدارات اضافی برنامه ریزی کرد همچنین بیش از ۲۵۶ Kبایت حافظه فلش و ۴ Kبایت حافظه استاتیک و قابل برنامه ریزی دارند.
اگر شما به میکرویی احتیاج دارید که دارای سرعت و کارایی بالا باشد و توانایی اجرای حجم زیادی از کد برنامه را داشته و بتواند داده های زیادی را سروسامان دهد باید از AVR های مدل Mega استفاده کنید آنها به ازای هر یک مگا هرتز سرعت ، توانایی اجرای یک میلیون دستورالعمل در هر یک ثانیه را دارند همچنین قابل برنامه ریزی و بروزرسانی کدها با سرعت و امنیت بسیار بالایی هستند.
نکات کلیدی و سودمند مدلMega :
حافظه سریع از نوع فلش با عملکرد خود برنامه ریز و بلوکه ی بوتBoot Block))
دقت بسیار بالای ۸-کانال در تبدیل آنالوگ به دیجیتال ۱۰ بیتی
USARTو SPI و TWI بر طبق واسطه های سریال
واسطه ی JTAG بر طبقIEEE 1149.1
TWI: Two Wire Interface is a byte oriented interface
USART: Universal Serial Asynchronous Receiver/Transmitter
SPI: Serial Peripheral Interface
JTAG available only on devices with 16KB Flash and up
واسط JTAG فقط در میکروهای با بیش از ۱۶ کیلوبایت حافظه فلش موجود است.

LCD AVR :

این نوع میکرو دارای درایور برای نمایشگر LCD با قابلیت کنترل اتوماتیک تباین و مقایسه تصویر می باشد.باعث تمدید عمر باتری می شود و در حالت فعال دارای توان مصرفی پایینی است.
توان مصرفی پایین:
توان مصرفی پایین آنها برای استفاده بهینه از باتری و همچنین کاربرد میکرو در وسایل سیار و سفری طراحی شده که میکروهای جدید AVR با توان مصرفی کم از شش روش اضافی در مقدار توان مصرفی ، برای انجام عملیات بهره می برند.
این میکروها تا مقدار ۱.۸ ولت قابل تغذیه هستند که این امر باعث طولانی تر شدن عمر باتری می شود.
در میکروهای با توان پایین ، عملیات شبیه حالت Standby است یعنی میکرو می تواند تمام اعمال داخلی و جنبی را متوقف کند و کریستال خارجی را به همان وضعیت شش کلاک در هر چرخه رها کند!
ابعاد مختلف میکروهای AVR را در اشکال زیر مشاهده می کنید:
آنها با بالاترین یکپارچگی و انعطاف پذیری ممکن طراحی شده اند و با داشتن درایور LCD و کنترلر اتوماتیک وضوح تصویر ،بهترین واسطه را با انسان دارند و دارای توان مصرفی پایین و کارایی بالایی هستند.اولین عضو این خانواده 100 سگمنت داشت و دارای یک UART و SPI به منظور ارتباط به صورت سریال بود.
نکات کلیدی وسودمند مدل LCD :
کارایی فوق العاده با سرعت یک میلیون دستورالعمل در ثانیه به ازای یک مگاهرتز
واسطه ها برای ارتباط با انسان: وقفه های صفحه کلید و درایور نمایشگرLCD
آنها این اجازه را به طراح سیستم می دهند که توان مصرفی را در برابر سرعت پردازش تا جایی که امکان دارد بهینه کند.

نکات کلیدی و سودمند حافظه ی فلش خود برنامه ریز:
قابلیت دوباره برنامه ریزی کردن بدون احتیاج به اجزای خارجی
128بایت کوچک که به صورت فلش سکتور بندی شده اند
داشتن مقدار متغیر در سایز بلوکه ی بوت(Boot Block))
خواندن به هنگام نوشتن
بسیار آسان برای استفاده
کاهش یافتن زمان برنامه ریزی
کنترل کردن برنامه ریزی به صورت سخت افزاری
راههای مختلف برای عمل برنامه ریزی:
موازی یاParallel :
یکی از سریعترین روشهای برنامه ریزی
سازگار با برنامه نویس های (programmers)اصلی
خود برنامه ریزی توسط هر اتصال فیزیکی:
برنامه ریزی توسط هر نوع واسطه ای از قبیل TWI و SPI و غیره
دارا بودن امنیت صد درصد در بروزرسانی و کدکردن
ISP:
واسطه سه سیمی محلی برای بروزرسانی سریع
آسان و موثر در استفاده
واسطهJTAG :
واسطه ای که تسلیم قانون IEEE 1149.1 است و می تواند به صورت NVM برنامه ریزی کند یعنی هنگام قطع جریان برق داده ها از بین نروند.استفاده از فیوزها و بیتهای قفل. بیشتر برای دیباگ کردن آنچیپ و به منظور تست استفاده می شود نرم افزار ارائه شده توسط شرکت ATMELبه نام: AVR Studio 4 این نرم افزار به صورت رایگان در سایت شرکت ATMEL قرار دارد می توانید با رجوع به آدرس http://www.atmel.comآن را دانلود کنید.
این نرم افزار در حقیقت یک اسمبلر برای محصولات AVR اتمل است و به صورت کاملا ویژوالی است. می تواند با انواع دستگاههای برنامه نویس میکرو ارتباط برقرار کند و کدها را در میکرو دانلود کند.و قابلیت ترجمه کدها به زبانهای C و Assembly را دارد.

خانواده میکروکنترلرهای AVR شامل طیف گسترده ای از آی سی ها است که از ۸ پایه شروع و به۱۰۰پایه ختم می شود. اما در بین این طیف گسترده تعدادی استفاده عمومی تری دارند مانندATMEGA32 که در تمام مثالهای آورده شده از این آی سی استفاده شده است .

مشخصات سخت افزاری ATMEGA32

شکل ظاهری و پایه ها

ATMEGA32در سه نوع بسته بندی PDIP با ۴۰ پایه و TQFP با ۴۴پایه و MLF با 44 پایه ساخته میشود که در بازار ایران بیشتر نوع PDIP موجود می باشد .

ATMRGA32دارای چهار پورت ۸بیتی (۱ بایتی) دارد که علاوه بر اینکه بعنوان یک پورت معمولی میتوانند باشند کارهای دیگری نیز انجام میدهند . بطور مثال PORTA میتواند بعنوان ورودی ADC (تبدیل ولتاژ آنالوگ به کد دیجیتال) استفاده شود که این خاصیت های مختلف پورت در برنامه ای که نوشته میشود تعیین خواهد شد .

ولتاژ مصرفی این آی سی از ۴.۵ V تا ۵.۵ Vمیتواند باشد.

فرکانس کار هم تا ۱۶ MHzمیتواند انتخاب شود که تا ۸ MHzنیازی به کریستال خارجی نیست و در داخل خود آی سی میتواند تامین شود . فرکانس کار از جمله مواردی است که باید در برنامه تعیین شود .

لازم به ذکر است که این فرکانس بدون هیچ تقسیمی به CPU داده میشود . بنابراین این خانواده از میکروکنترلرها سرعت بیشتری نسبت خانواده های دیگر دارند

پایه ی شماره ۹ نیز ریست سخت افزاری میباشد و برای عملکرد عادی آی سی نباید به جایی وصل شود و برای ریست کردن نیز باید به زمین وصل میشود .

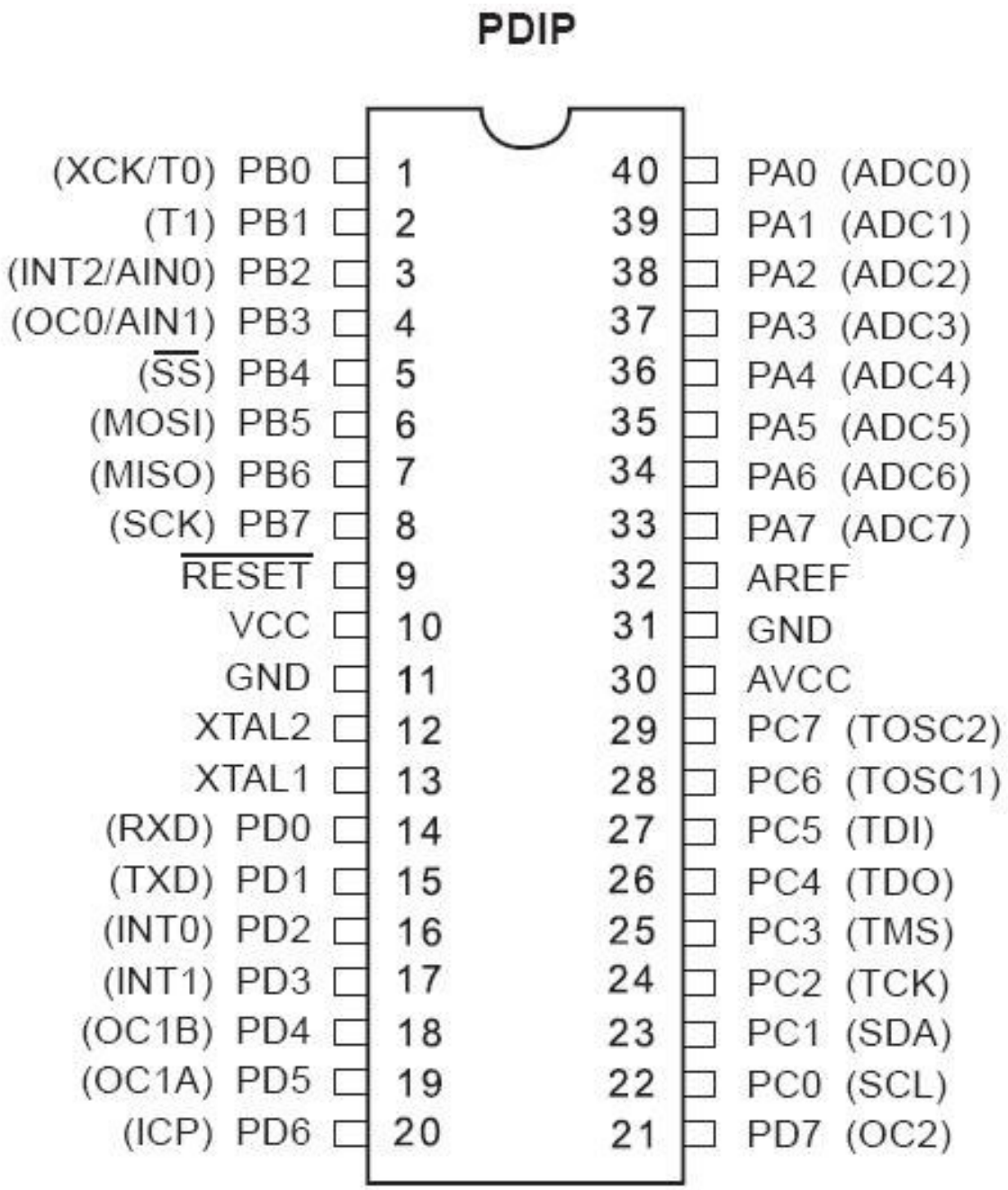
پایه های ۱۲ , ۱۳ نیز برای استفاده از کریستال خارجی تعبیه شده است .

ساختار داخلیATMGA32 :

برنامه ای که برای میکروکنترلر در کامپیوتر نوشته میشود وقتی که برای استفاده در آی سی ریخته میشود (توسط پروگرامر مخصوص آن خانواده) در مکانی از آن آی سی ذخیره خواهد شد بنام . ROM حال در ATMEGA32مقدار این حافظه به ۳۲ 32) KBکیلوبایت) میرسد .

در این آی سی مکانی برای ذخیره موقت اطلاعات یا همان RAM هم وجود دارد که مقدارش ۲ KBاست .

در RAM اطلاعات فقط تا زمانی که انرژی الکتریکی موجود باشد خواهد ماند و با قطع باتری اطلاعات از دست خواهند رفت . به همین منظور در ATMEGA32 مکانی برای ذخیره اطلاعات وجود دارد که با قطع انرژی از دست نخواهند رفت . به این نوع حافظه ها EEPROM گفته میشود که در این آی سی مقدارش ۱ KBاست و تا ۱۰۰,۰۰۰ بار میتواند پر و خالی شود .


PDIP
(XCK/T0) PB0 1
(T1) PB1 2
(INT2/AIN0) PB2 3
(OC0/AIN1) PB3 4
(SS) PB4 5
(MOSI) PB5 6
(MISO) PB6 7
(SCK) PB7 8
RESET 9
VCC 10
GND 11
XTAL2 12
XTAL1 13
(RXD) PD0 14
(TXD) PD1 15
(INT0) PD2 16
(INT1) PD3 17
(OC1B) PD4 18
(OC1A) PD5 19
(ICP) PD6 20
40 PA0 (ADC0)
39 PA1 (ADC1)
38 PA2 (ADC2)
37 PA3 (ADC3)
36 PA4 (ADC4)
35 PA5 (ADC5)
34 PA6 (ADC6)
33 PA7 (ADC7)
32 AREF
31 GND
30 AVCC
29 PC7 (TOSC2)
28 PC6 (TOSC1)
27 PC5 (TDI)
26 PC4 (TDO)
25 PC3 (TMS)
24 PC2 (TCK)
23 PC1 (SDA)
22 PC0 (SCL)
21 PD7 (OC2)

برنامه نویسی Codevision

برای نوشتن برنامه به بستری جهت نوشتن و تصحیح برنامه نیاز داریم این نیاز را کدویژن بـراورده مـی کنـد .کدویژن امکانات دیگری به ما می دهد که در ادامه در مورد آنها بحث می کنیم .
چون زبان برنامه نویسی کدویژن C است در ابتدا توضیح کوتاهی از زبان C و بعد در مورد کدویژن توضیح می دهیم.
CodeVisionیک کامپایلر برای میکرو کنترلر AVR است به وسیله این برنامه می توان از زبان C بـرای برنامه ریز میکرو استفاده کرد.

فایل های سرایند :

این فایل ها تعاریف و توابعی را شامل می شوند که در زبان C از آنها استفاده می شود .با دسـتور #include تعریف می شوند .

```
#include <mega32.h>
```

هدر میکروکنترلر ATMega32

```
#include <delay.h>
```

برای استفاده از توابع delay_ms() و delay_us() هدر فایل بالا را باز می کنیم.

متغییر های قابل تعریف در برنامه :

برای استفاده یک متغییر باید متغییر را تعریف کنیم .
متغییر ها با انواع مختلف می توان تعریف کرد پر استفاده ترین آنها عبارتند از :

bit

این نوع ۱بیتی است و فقط مقادیر ۰ و ۱ را می گیرد.

char

(نوع کارکتر) ۸بیت حجم می گیرد و محدوده آن از ۱۲۸- تا ۱۲۷ است.

unsigned char

(نوع کارکتری مثبت) این نوع هم ۸ بیت حجم می گیرد ولی تفاوت آن با قبلی در آن است که فقـط مفـادیر مثبت را می گیرد یعنی محدوده آن از ۰تا ۲۵۵ است.

int

(نوع صحیح) این نوع ۱۶ بیت حجم می گیرد و محدوده آن ۳۲۷۶۸- تا ۳۲۷۶۷ است.
مثال :

```
#include <mega32.h>
int x,y=69;
unsigned char a;
.
.
.
x=0xf2;
a=0b10100110;
.
```

متغییر های x و y از نوع اعداد صحیح به صورت ۱۶ بیتی تعریف شده است , y با مقدار اولیه ۶۹ در مبنـای ۱۰ مقدار دهی شده است. x با مقدار f0 در مبنای ۱۶ مقدار دهی شده است.
متغییر a از نوع کاراکتری مثبت تعریف شده است وبا مقدار ۱۰۱۰۰۱۱۰ در مبنای ۲ مقدار دهی شده است.

عملگر های بیتی :

عملگر & یک عملگر AND بیتی است یعنی بیت به بیت اعمال می شود .بدین صورت :

```
x=0b10101010&0b01010101;
```

بیت به بیت عمل AND انجام می شود و در آخر x شامل 0b00000000 می شود .
عملگر | یک عملگر OR بیتی است یعنی بیت به بیت اعمال می شود.مثل مثال قبل ولی با عمل OR است.
وعملگر ^ برای عمل XOR بیتی استفاده می شود.

عملگر های منطقی :

عملگر && برای AND منطقی و عملگر || برای OR منطقی استفاده می شود یعنی با عبارات منطقی عمـل می کند .

دستور if-else :

دستور if یک دستور کنترلی است که اگر عبارت داخل پرانتز if درست باشـد عبـارت بعـد از انجـام مـی شود.اگر درست نباشد در صورت وجود else عبارت بعد از else انجام می شود.

```
if ( (x>4) && (y<7) )
    statement1;
else
    ststement2;
```

در صورتی عمل زیر if انجام می شود که x بزرگتر از ۴ باشد و y هم کوچکتر از ۷ باشد .(باید هـر دو درسـت باشد)

حلقه while() :

```
while (expression)
{
   Statement1;
    .
    .
}
```

تا وقتی که عبارت داخل پرانتز while درست باشد , عبارت داخل بلوک while اجرا می شود.

حلقه for()

```
for (i=0 ; i<10 ; i++)
    {
       .
       .
     }
```

در مثال بالا بلوک زیر for ۱۰ بار اجرا می شود (از ۰ تا ۹)

استفاده از درگاه های میکرو:

```
DDRA=0xFF;
DDRD.3=0;
```

جهت درگاه را مشخص می کنیم ۰ به معنی ورودی و ۱ به معنی خروجی است.در مثال روبرو کل درگـاه A (۸ پایه درگاه A) به صورت خروجی و پایه ۳ درگاه D ورودی تعریف شده است.

```
PORTB=0b10101111;
PORTC.0=1;
```

برای نوشتن بر روی درگاه استفاده می شود . در این مثال از پایه ۰ تا ۳ درگاه B همگی ۱ شده و پایه ۴ و ۶ , ۰ و ۵و۷ , ۱ شده است. و پایه ۰ درگاه C ۱ می شود.

```
x=PIND;
m=PINA.7;
```

برای خواندن از درگاه استفاده می شود در این مثال درگاه D خوانده می شـود و در متغییـر x ریختـه مـی شود.و پایه ۷ در گاه A در متغییر بیتی m ریخته می شود .

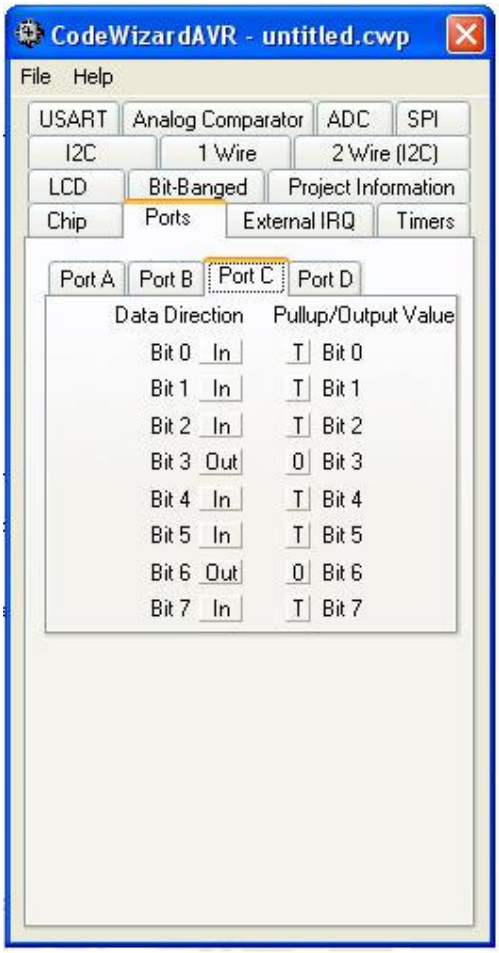
شروع کار با کدویژن:

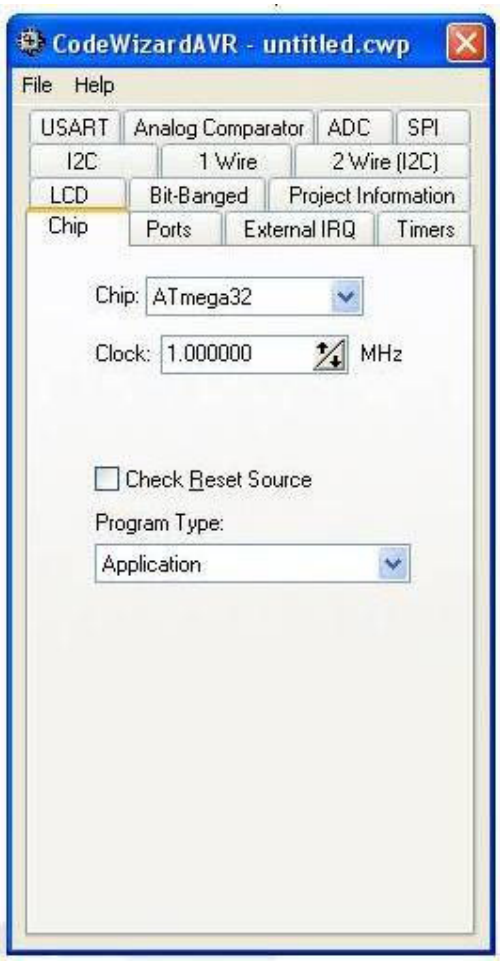
بعد از مقدمه کوتاهی که از زبان C و تعاریف مهم گفته شد نوبت به کامپایلر کدویژن رسیده است .
محیط این نرم افزار بسیار روان و با وجود CodeWizard آسان است.
بعد از نصب و اجرای نرم افزار از منوی فایل گزینه New را کلیک می کنیم.
پنجره ای باز می شود کـه ۲ گزینـه Source و Project دارد . چـون مـا مـی خـواهیم از CodeWizard استفاده کنیم گزینه Project را انتخاب می کنیم و کلید Ok را می زنیم.

و در پنجره بعد بر روی گزینه Yes کلیک می کنیم.

CodeWizard :

در پنجره بعد که تنظیمات محیط برنامه برای میکرو است با هر زبانه می توانیم امکانات میکرو را چک کنیم و تنظیمات آن را اعمال کنیم.ما در زبانه **Chip** میکروکنترلر مورد نظررا مشخص می کنیم که به عنوان مثال در شکل میکروکنترلر **mega32** انتخاب شده است.

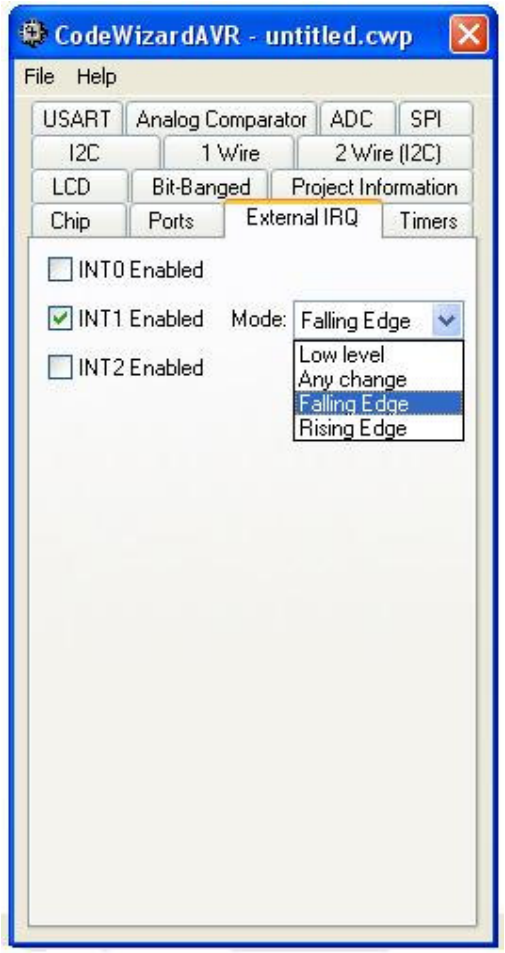




بعد از آن در زبانه **Ports** تمام درگاه ها را میتوانیم تنظیم کنیم مثلا همانطور کـه در شـکل مشـخص اسـت درگاه **C** پایه های۳ و ۶ به صورت خروجی تعریف شده اند بقیه هم ورودی هستند.

External IRQ:

مفهوم وقفه: میکروکنترلر در حالت عادی برنامهای که بر روی حافظه فلش نوشته شده است را خط بـه خـط اجرا می کند وقتی وقفه ای اعمال شود برنامه را در همان جا رها می کند و به وقفه رسیدگی می کند



تنظیمات وقفه های خارجی در قسـمت **External IRQ** است که می تـوانیم وقفـه هـا را در ۴ حالـت راه انـدازی کنیم:(شکل)

Low Leve:با اعمال سطح منطقی ۰ فعال می شـود وتـا وقتی که سطح ۰ است این وقفه فعال است.

Failling Edge:وقفه با لبه پایین رونده فعال می شود.

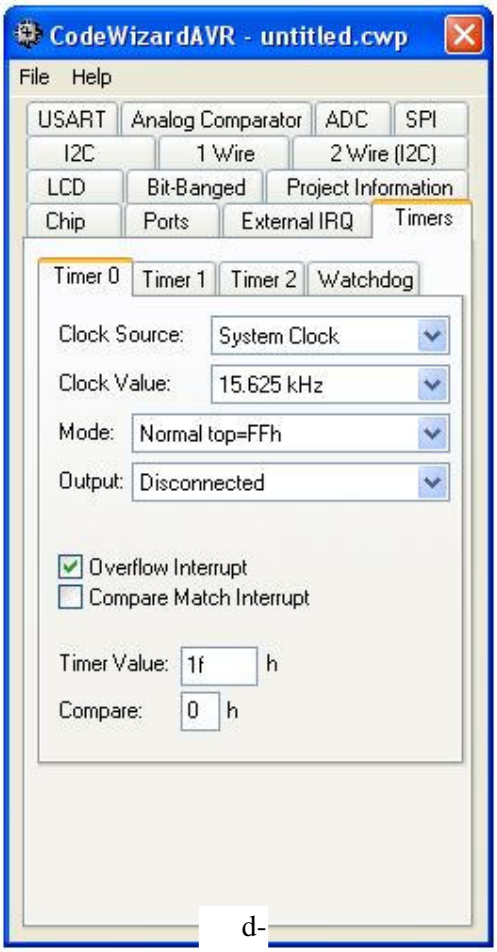
Rising Edge:وقفه با لبه بالا رونده فعال می شود.

Any Change: وقفه با هر تغییری (لبه بالا و پایین)فعال می شود.

Timer:

مفهوم تایمر: تایمر بر اساس پالسی که به آن اعمال می شود ثبات (متغییر) خود را از عدد a تا عـدد b مـی شمارد و با هر بار که پالس به آن اعمال می شود یک واحد به متغییر خود اضافه می کند تا به b برسـد , اگـر وقفه تایمر فعال باشد وقتی به b رسید تابع وقفه صدا زده می شود و مقدار ثبات تایمر برابر a می شود.
برای تنظیمات تایمر در قسمت Timer می توانیم ۳ تایمر میکرو و Watchdog را تنظیم کنیم.
به صورت ساده تایمر ۰ را تنظیم می کنیم.

Clock Source : مرجع پاس را مشخص می کند اگر بخواهیم تایمر را به صورت یک شمارنده استفاده کنیم می توایم آن را بر روی پایه های خارجی تنظیم کنیم یعنی پایه T0 که همان پایه B0 است ومشخص کنیم که آیا پالسی که اعمال می شود به پایه T0 با لبه بالا رونده بشمارد یا لبه پایین رونده بشمارد.
چون تایمر را می خواهیم به صورت عادی استفاده کنیم مثل شکل d- بـر روی system clock تنظـیم مـی کنیم.



d-

Clock Value :مقداری فرکانسی که تایمر بـا آن مقـدار می شمارد (هرچقدر این مقدار کمتر باشد تایمر کنـد تـر می شمارد) به عنوان مثال مقدار آن را 15.625 kHz قرار می دهیم.

Mode :مد شمارش را مشخص می کند در این قسمت می توانیم تنظیمات PWM را مشخص کنیم.

Output : خروجی را مشخص می کند مثلا اگر مـد را بـر روی pwm قرار دهیم می توانیم در این قسمت مشـخص کنیم که آیا خروجی معکوس باشد یا غیر معکوس باشد.

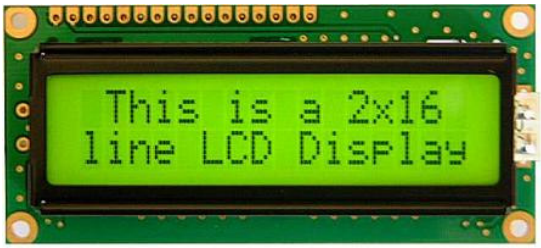
Overfelow Interrupt : اگر این گزینه تیک دار باشـد بعد از هر بار که تایمر به آخرین شما ره خود رسـید یـک وقفه به میکرو می دهد .(با سر ریز تایمر وقفه اعمال مـی شود)

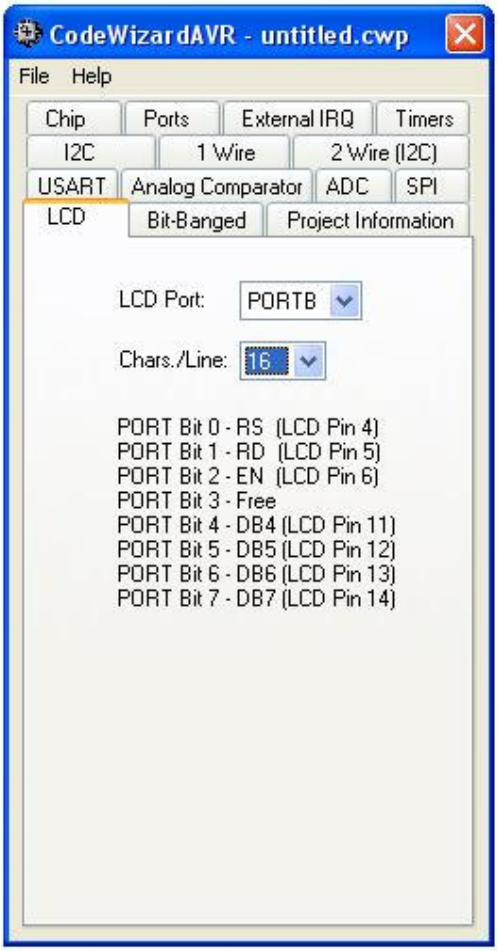
مثلا تایمر ۰ که ۸ بیتی یا یک بایتی است از ۰ تا ۲۵۵ مـی شمارد وقتی به ۲۵۵ رسید تابع وقفه صدا زده می شـود و تایمر دوباره از اول می شمارد . اگر ثبـات تـایمر مقـداری داشته باشد از آن عدد تا ۲۵۵ می شمارد . که این مقـدار در Timer Value قرار می گیرد.

LCD :

برای تنظیمات نمایشگرهای کاراکتری در قسمت LCD نحوه اتصال LCD و تعریف آن در برنامه اعمال می شود.

LCD های گوناگونی داریم مثلا LCD 2x16 یعنی ۲ سطر و ۱۶ ستون دارد. که برای تعریف آنها در این قسمت باید دقت لازم را بکار ببریم.





LCD Port : در این قسمت مشخص می کنیم که LCD به کدام یک از درگاه های میکرو وصل می شود. د ر زیر مشخص می کند که کدام پایه از میکروکنترلر به کدام پایه از LCD وصل می شود.

Chars/Line : در این قسمت نوع LCD که می خواهیم به میکرو وصل کنیم مشخص می کنیم.(چند ستون دارد)

توابع مهم برای کار با LCD :

Void lcd_clear(void);

نمایشگر را پاک کرده و مکان نما را به موقعیت (0,0) می برد.

Void lcd_putchar(char c);

کاراکتر c را در موقعیت جاری نمایش می دهد.

Void lcd_puts(char *str);

رشته str را در مکان جاری نمایش می دهد , این رشته در حافظه Ram تعریف شده است.

Void lcd_putsf(flash char *str);

رشته str را در مکان جاری نمایش می دهد , این رشته در حافظه فلش تعریف شده است.

مثال:

```
Lcd_putsf("MAYBOD ROBOTIC");
```

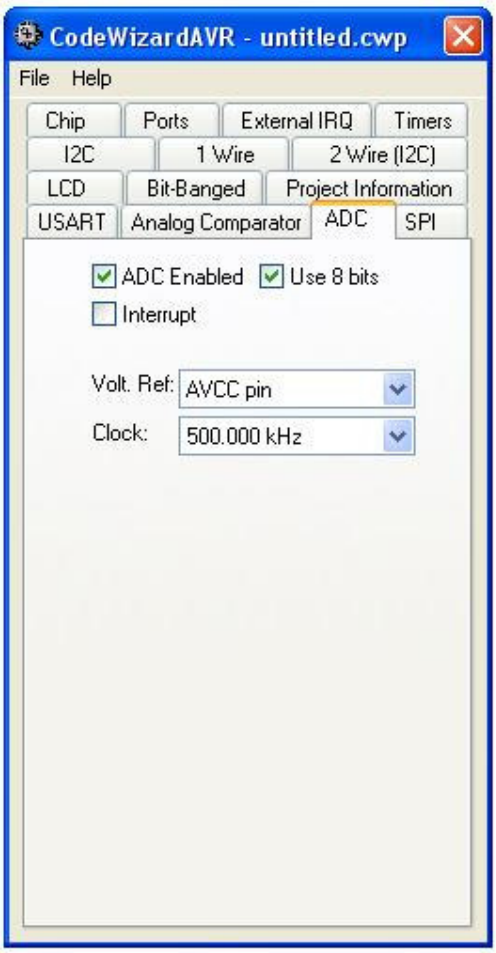
Void lcd_gotoxy(unsigned char x, unsigned char y);

مکان نما را در مکان سطر x و ستون y قرار می دهد .

ADC :

مفهوم مبدل آنالوگ به دیجیتال : مبدل ورودی آنالوگی که به پایه های ورودی آن اعمال می شود را به صورت دیجیتال در خروجی اعمال می کند به عنوان مثال اگر خروجی دیجیتال ما ۸ بیتی باشد به این صورت تصور کنید که اگر ولتاژ ورودی بین ۰ تا ۵ ولت باشد به ولتاژ ۵ ولت عدد ۲۵۵ و به ۰ ولت عدد ۰ را نسبت می دهد و هر ولتاژی این بین باشد به نسبت یک عدد از ۰ تا ۲۵۵ قرار می گیرد.

برای تنظیمات مبدل آنالوگ به دیجیتال در قسمت ADC نحوه تعریف و عملکرد ADC را مشخص می کنیم.



ADC Enabled : اگر فعال باشد درگاه A (در میکروکنترلر Mega32(16))برای ADC فعال می شود. اگر ADC فعال باشد از درگاه A به عنوان I/O هم می توان استفاده کرد.

Use 8 bits : اگر فعال باشد خروجی ۱۰ بیتی ADC را به ۸ بیتی تبدیل می کند یعنی ۲ بیت کم ارزش حذف می شوند .

Interrupt : اگر فعال باشد با هر بار که خروجی ADC مهیا شد میکرو به تابع وقفه ADC می رود.

(عموما مقدار ADC را از ثبات ADC می خوانیم و لازم به فعال سازی این قسمت نیست)

Volt Ref : ولتاژی که برای مقایسه و تبدیل آنالوگ به دیجیتال به عنوان مرجع انتخاب می شود. (برای راحتی کار گزینه AVCC pin را انتخاب می کنیم)

Clock : فرکانس کاری مبدل آنالوگ به دیجیتال را مشخص می کند.

توابع مهم برای کار با ADC :

```
val_adc=read_adc(x);
```

این تابع مقدار آنالوگ که به پایه شماره x وارد می شود می خواند و عدد معادل آن (دیجیتال) در متغییر val_adc می ریزد. (مثال)

```
unsigned char val_adc0;
int val_adc1;
val_adc0=read_adc(0)>>2;
val_adc1=read_adc(1);
```

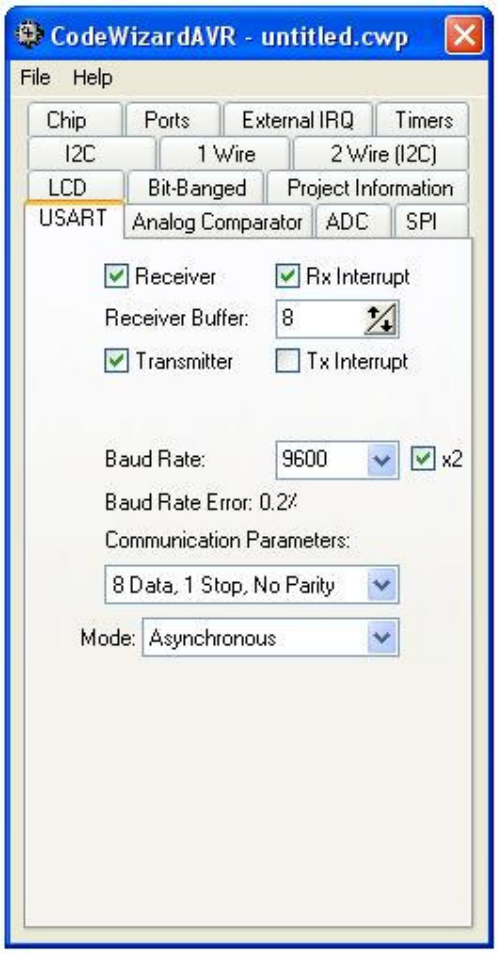
خط ۱ و ۲ متغییر val_adc0 ۸ بیتی و متغییر val_adc1 ۱۶ بیتی تعریف شده اند.

و در خط ۳ مقدار ADC خوانده شده از پایه ۰ دو تا شیفت داده می شود به راست یعنی مقدار ۱۰ بیتی را به ۸ بیتی تبدیل می کنیم و مقدار کم ارزش را حذف می کنیم و در متغییر val_adc0 ذخیره می کنیم.

وخط ۴ مقدار ۱۰ بیتی پایه ۱ ADC را می خوانیم و در متغییر ۱۶ بیتی ذخیره می کنیم.

USART :

مفهوم ارتباط سریال : برای اینکه اطلاعات بر روی یک سیم انتقال یابد احتیاج به پروتکل ارتباطی داریم. یکی از پروتکل های ارتباطی RS232 است که میکرو از آن استفاده می کند .



Receiver : با فعال کردن این گزینه دریافت کننده ارتباط سریال فعال می شود.

Rx Interrupt: با فعال کردن این گزینه با دریافت تابع وقفه صدا زده می شود و **Tx** برای فرستنده است.

Buffer : Reciever حجم بافر گیرنده و **Transmitter** حجم بافر فرستنده را مشخص می کند .

Baud Rate : در این قسمت نرخ ارسال را مشخص می کنیم. عدد انتخاب شده در این قسمت و فرکانس میکرو باید طوری انتخاب شود که **Baud Rate Error** نداشته باشیم (یعنی قرمز رنگ نشود)

Communication Parameter : نوع ارسال یا دریافت را مشخص می کند , شامل تعداد **Data Bit** تعداد **Stop Bit** و نوع توازن (**Parity**) است.

Mode : برای تعیین مد ارتباط سریال است , ما می توانیم به صورت **Master/Slave** هم کار کنیم.

توابع مهم برای کار با **USART** :

Char getchar(void);

یک کاراکتر را از درگاه سریال می خواند .

Void putchar(char c);

کاراکتر **c** را از طریق درگاه سریال ارسال می کند .

Void puts(char *s);

رشته **s** در **RAM** را از طریق درگاه سریال ارسال می کند .

Void putsf(char flash *s);

رشته **s** در **flash** را از طریق درگاه سریال ارسال می کند .

Void printf(flash char *fmt,[arg1,arg2,…]);

یک جمله فرمت بندی شده را از طریق درگاه سریال ارسال می کند .

Void *gets(char *str,unsigned char len);

ورودی درگاه سریال را می خواند و در رشته **str** ذخیره می کند .

Signed char scanf(char flash *fmt,[arg1addr,arg2addr,…]);

یک جمله فرمت بندی شده را از درگاه سریال می خواند .

بعد از تنظیمات کدویزارد از منو **File** گزینه **Generate, Save and Exit** را کلیک می کنیم و آدرس ۳ فایل برای ذخیره شدن از ما پرسیده می شود و در آخر محیط کدویژن باز می شود که تنظیماتی که ما در کدویزارد انجام داده ایم به صورت کد اعمال شده است .

و در آخر برنامه یک حلقه بی نهایت while(1) وجود دارد که کدهای برنامه را در آنجا می نویسیم.
برای تعریف توابع آنها را قبل از main() برنامه تعریف می کنیم و از آنها در حلقه بی نهایت استفاده می کنیم.
بعد از نوشتن برنامه بر روی گزینه Make the project کلیک می کنیم اگر برنامه Error نداشته باشد فایل هگز آن تولید می شود , فایل هگز همان فایلی است که باید بر روی میکروکنترلر پروگرام شود می توانیم برای پروگرام کردن از یک پروگرامر آماده استفاده کنیم یا اینکه از پروگرامرهایی که با یک مدار ساده میکروکنترلر را به پورت های کامپیوتر وصل می کند و میکرو را پروگرام می کند.

توضیح کوتاهی از مراحل بالا و پروگرام کردن با کدوبژن(STK200+/300):

در قسمت Setting->Programmer نوع Programmer را انتخاب کنید (Kanda Systems STK200+/300)
برای تنظیمات اولیه میکرو از Code wizard استفاده می کنیم. به وسیله این wizard کدهای C لازم برای تنظیماتی از قبیل Crystal Clock, Timer Setting, Port Setting, ... تولید و به کد برنامه شما اضافه می شود. پس از هر تغییر در این تنظیمات باید آن را به وسیله منو File->Generate, Save and Exit ذخیره کرد.
پس از تنظیمات اولیه کد برنامه را در Code Vision به زبان C می نویسیم. (می توان از توابع کتابخانه ای Code Vision نیز در این کار استفاده کرد.) سپس دکمه Make the project را برای تولید کد اسمبلی برنامه شما برای میکرو کنترلر AVR بزنید .
حالا می توانید میکرو کنترلر خود را برنام ریزی کنید. برای این کار از Chip Programmer استفاده می کنیم.
برنامه ریزی میکرو کنترلر:
ابتدا یک Programmer را به پورت LPT کامپیوتر متصل کرده و کابل Flat آن را به کانکتور JP4 روی مدار خود وصل کنید. به وسیله منو Tools->Chip Programmer منو تنظیمات Programmer میکرو کنترلر را ظاهر کنید VCC .و GND را به مدار وصل کنید و کلید را روشن کنید.
ابتدا به وسیله منو Read->Chip Signature اتصالات VCC و GND به میکرو و اتصالات Programmer به بورد را چک می کنیم. پس از اجرا دستور بالا باید پیغام زیر ظاهر شود:

در غیر این صورت اتصالات خود را چک کنید.

حالا می خواهیم برنامه خود را به میکرو وارد کنیم. برای این کار دستورات زیر را به ترتیب اجرا می کینم:

Program->Erase Chip
Program->Blank Check (optional)
Program->Flash

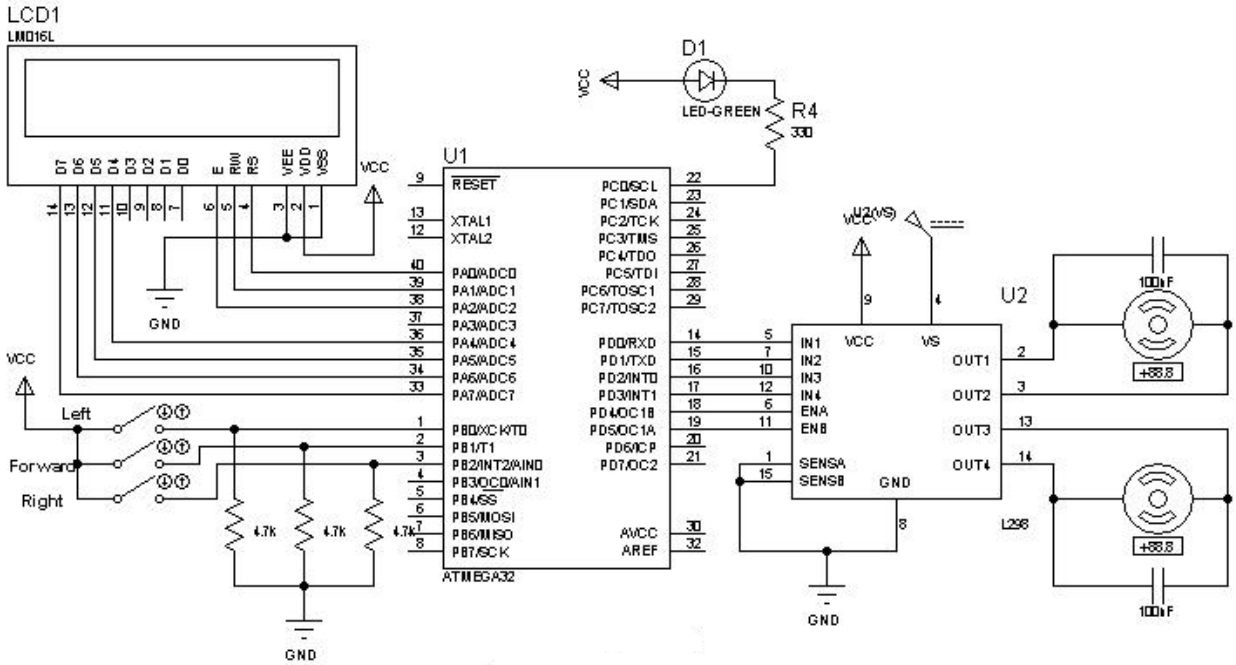
اگر در Chip Programmer در تب:Fuse Bit(s) ، BootSZ0=0 و BootSZ1=0 را تیک بزنیم و اجرا Program->Fuse(s) Bit، میکرو از کلاک Crystal استفاده می کند. بنابر این باید تنظیمات میکرو را با توجه به کریستال تغییر دهید.

پروژه:

پروژه ای طراحی کنید که شامل ۳ کلید قطع و وصل باشد کلید ها به عنوان سنسور های قطع و وصل عمل می کنند با زدن کلید اول جهت چپ(موتورها مخالف بچرخند) به دو موتوری که به میکرو متصل است را بدهد و با کلید وسط جهت جلو و با کلید آخر جهت راست و با هر کلید جهت آن را بر روی یک LCD نمایش بدهد و یک LED به نشانه اینکه میکرو به کار خود ادامه می دهد چشمک بزند.

پروژه ای شامل یک میکرو کنترلر Mega32 که ۳ کلید قطع و وصل به پایه های درگاه B میکرو و یک LCD 2x16 به پایه های درگاه A و یک LED به پایه C.0 وآی سی درایور L298 به پایه های درگاه D وصل شود .

مدار :



سورس کد برنامه در محیط کدویژن:

```
/*****************************************************
by mohammad javad fotuhi & morteza homanfard
*****************************************************/
#include <mega32.h>

// Alphanumeric LCD Module functions
#asm
   .equ __lcd_port=0x1B ;PORTA
#endasm
#include <lcd.h>
bit flag=0;
int cont=0;
flash char *clean="                ";
flash char *l="LEFT       <---";
flash char *r="RIGHT       --->";
flash char *f="FORWARD     <-->";
flash char *s="STOP        >--<";
// Timer 2 overflow interrupt service routine
interrupt [TIM2_OVF] void timer2_ovf_isr(void)
{
// Reinitialize Timer 2 value
TCNT2=0x1F;
cont++;
if(cont>20)
{
 flag=~flag;
 PORTC.0=flag;
 cont=0;
 }

}

//function forward ***************************
void forward()
{
  PORTD=0b00111001;
  }
//function left ***************************
 void left()
{
  PORTD=0b00110101;
  }
//function right ***************************
  void right()
{
  PORTD=0b00111010;
  }
```

```
//function right ***************************
  void stop()
{
  PORTD=0b00111111;
  }
  //***************************
void main(void)
{
// Declare your local variables here

// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;

// Port B initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;

// Port C initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=Out
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=0
PORTC=0x00;
DDRC=0x01;

// Port D initialization
// Func7=In Func6=In Func5=Out Func4=Out Func3=Out Func2=Out Func1=Out
Func0=Out
// State7=T State6=T State5=0 State4=0 State3=0 State2=0 State1=0 State0=0
PORTD=0x00;
DDRD=0x3F;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
```

```
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 1 Stopped
// Mode: Normal top=FFFFh
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer 1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 15.625 kHz
// Mode: Normal top=FFh
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x04;
TCNT2=0x1F;
OCR2=0x00;

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x40;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;
```

```
// LCD module initialization
lcd_init(16);

// Global enable interrupts
#asm("sei")
lcd_clear();
lcd_putsf("Mechateronic-T&Z");
while (1)
      {
        if(PINB.0==1)
        {
          left();
          lcd_gotoxy(0,1);
          lcd_putsf(l);
          }
        else if(PINB.1==1)
        {
          forward();
          lcd_gotoxy(0,1);
          lcd_putsf(f);
          }
        else if(PINB.2==1)
        {
          right();
          lcd_gotoxy(0,1);
          lcd_putsf(r);
          }
        else
        {
          stop();
          lcd_gotoxy(0,1);
          lcd_putsf(s);
          }

      };
}
```

اصل و کامل شده کتاب , همراه با مدارها و برنامه های کاربردی ربات ها و مطالب تکمیلی و پیشرفته تر را می توانید از تمام کتاب فروشی ها تهیه فرمایید.
موفق و پیروز باشید .