



مهارت

# برق صنعتی

درجه دو

مطابق با استاندارد مهارتی سازمان فنی و حرفه ای

قابل استفاده برای

مدرسان ، دانشجویان و هنرجویان رشته ی برق ، مهندسان و شاغلین در صنعت و

تمامی علاقمندان به برق

مؤلف: مهندس جواد خشت زر



POWEREN.IR

سرشناسه	: خشت‌زر، جواد، ۱۳۶۹ .
عنوان و نام پدیدآور	: مهارت برق صنعتی درجه دو مطابق با استاندارد مهارتی سازمان فنی و حرفه‌ای: قابل استفاده برای مدرسان ، دانشجویان و هنرجویان رشته‌ی برق ، مهندسان و شاغلین در صنعت برق و تمامی علاقمندان به برق/ مولف جواد خشت‌زر.
مشخصات نشر	: ایلام: آوای تاریخ، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۲۸۷ ص.: مصور، جدول، نمودار .
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۷۴۵۵-۰۶-۷
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: مهندسی برق -- راهنمای آموزشی (متوسطه)
رده بندی کنگره	: TK۱۳۹۳۱۶۵م۹خ/
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۰۷۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۶۴۸۸۳۲

### عنوان کتاب: برق صنعتی

مؤلف: مهندس جواد خشت‌زر

ناشر: آوای تاریخ

ویراستار: ابراهیم یعقوبی

صفحه‌آرایی: فریده مروتی

طراح جلد: گلپونه

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۴۵۵-۰۶-۷

قیمت: ۱۵۰۰۰۰ ریال

سال نشر: ۱۳۹۳

۰۹۱۸۸۴۳۰۰۱۳

نشانی: ایلام ، پاساژ مرکزی، طبقه فوقانی، مؤسسه منجی

این مجموعه بر اساس استاندارد مهارت برق صنعتی درجه دو در مدت بیش از دو سال گردآوری شده است که علاوه بر این که منبع اصلی و کامل برای مدرسان و هنرجویان سازمان فنی حرفه ای، هنرستان های آموزش و پرورش و آموزشگاه های خصوصی می باشد، می تواند کتاب کمک آموزشی بسیار مناسبی برای دروس مختلف دانشگاهی نیز باشد . همچنین این مجموعه به گونه ای تالیف شده است که مورد استفاده ی تکنیسین ها و مهندسان شاغل در صنعت برق نیز قرار بگیرد . این کتاب می تواند دید تقریباً کامل و جامعی از برق در اختیار کسانی قرار می دهد که تصمیم به تحصیل در رشته ی برق دارند یا علاقه مند به برق می باشند . امید که مورد توجه و استفاده ی همه ی عزیزان قرار بگیرد . در پایان از زحمات مهندس میثم رحمانی که در تهیه ی این کتاب مرا یاری دادند کمال تقدیر و تشکر را دارم .

جواد خشت زر - مهرماه ۱۳۹۱

Javadkheshtzar@gmail.com

## فهرست مطالب

فصل اول : نقشه کشی مقدماتی .....	۵
فصل دوم : فلزکاری .....	۱۹
فصل سوم : مفاهیم پایه ای الکتریسیته .....	۲۹
فصل چهارم : سیستم های روشنایی برق ساختمان .....	۵۹
فصل پنجم : الکترومغناطیس کاربردی .....	۸۵
فصل ششم : جریان متناوب .....	۹۷
فصل هفتم : آشنایی با خواص و کاربردهای سلف و خازن .....	۱۰۷
فصل هشتم : تحلیل مقدماتی مدارات الکتریکی .....	۱۱۹
فصل نهم : ترانسفورماتور .....	۱۴۵
فصل دهم : موتورهای القایی سه فاز و تک فاز .....	۱۶۵
فصل یازدهم : راه اندازی و کنترل الکتروموتورهای سه فاز .....	۱۹۷
فصل دوازدهم : کابل و کابل کشی .....	۲۲۵
فصل سیزدهم : اندازه گیری کمیت های الکتریکی توسط وسایل اندازه گیری .....	۲۴۵
فصل چهاردهم : مقدمه ای بر الکترونیک و دیجیتال .....	۲۶۵



## فصل اول : نقشه کشی مقدماتی

مقدمه : قبل از اینکه انسان خط را اختراع کند به وسیله‌ی ترسیم خطوط و اشکال به بیان احساسات و اندیشه‌های خود پرداخته و همچنین پیام‌ها و نظریات خود را به دیگران ابلاغ می‌کرد. بشر اولیه تصاویری بر روی سنگ‌ها و دیوار غارها ترسیم می‌کردند که مقدمه نقشه‌کشی به حساب می‌آید.

با گذشت زمان و پیشرفت علوم و پیدایش صنعت و ارتباطات صنعتی نیاز به بهره‌گیری از مجموعه قواعدی واحد و جهانی در این خصوص احساس گردید، به نحوی که مهندسان و متخصصان صنعت را بر آن داشت تا در همایشی در سال ۱۹۲۶ میلادی مؤسسه‌ی استاندارد به نام اتحادیه‌ی بین‌المللی مؤسسات ملی استاندارد (ISA) تشکیل دهند. با پیشرفت صنعت در سال ۱۹۴۷ میلادی یک سازمان که مورد قبول اکثر کشورهای جهان بود، به نام سازمان استاندارد بین‌المللی ایزو (ISO) تأسیس گردید و تمام کشورهای عضو این سازمان در کشور خود سازمانی به نام سازمان استاندارد ملی، با هدف یکسان‌سازی اصول و قواعد صنعتی تأسیس نمودند. اصول و قواعد ترسیم نقشه‌ها نیز از همچنین استاندارد تبعیت می‌کند و در سراسر جهان به صورت یکسان پذیرفته شده است.

### معرفی انواع نقشه

- ۱ - نقشه‌ی با دست آزاد یا اسکچ (sketch) : برای ساخت قطعات، ابتدا نقشه‌ی آن را با دست آزاد و با رعایت تمام استانداردهای نقشه‌کشی، رسم می‌کنند. بعد از اطمینان از صحت نقشه، در صورت لازم تعداد بیشتری از آن تهیه می‌شود و آن را با وسایل نقشه‌کشی ترسیم می‌کنند.
- ۲ - نقشه‌ی شماتیک: نقشه‌هایی است که برای نمایش انواع قطعات و دستگاهها استفاده می‌شود.
- ۳ - نقشه‌ی اختصاری: در این نوع نقشه‌ها شکل قطعات را به صورت اختصاری و ساده ترسیم می‌شود.
- ۴ - نقشه‌ی هندسی: به نقشه‌هایی که در آن از ترسیمات هندسی و محاسبات ریاضی استفاده می‌شود
- ۴ - نقشه‌ی مرکب : برای ترسیم نقشه‌ی برخی از دستگاه‌ها و قطعات پیچیده باید از چندین نقشه استفاده کرد که به آن‌ها نقشه‌های مرکب یا ترکیبی می‌گویند.

### معرفی برخی از ابزارهای مقدماتی نقشه‌کشی

کاغذ : نقشه‌ها بر روی کاغذ به وسیله‌ی مداد ترسیم می‌شوند. کاغذها دارای انواع مختلفی هستند که در زیر آمده‌اند.

#### انواع کاغذ از لحاظ جنس

- ۱ - کاغذ سفید : به این کاغذ، که به کاغذ افسست نیز معروف است سطحی صاف و صیقلی دارد، این نوع کاغذها نباید منعکس کننده نور باشند و هرگاه بخواهند خطوط ترسیم شده روی آنها را پاک کنند آثار خطوط نباید برجا باقی بماند.
- ۲ - کاغذ کالک : این کاغذ که کاغذ شفاف نیز نامیده می‌شود، برای مرکب کاری به کار می‌رود، این کاغذ به علت شفافیت باعث می‌شود کلیه‌ی خطوط و نقوش از پشت آن به خوبی دیده شود ( این کاغذ وسیله‌ی خوبی برای تکثیر نقشه‌هاست . )



۳ - کاغذ پوستی : این کاغذ همانند کاغذ کالک مات است ، با این تفاوت که ضخامتش خیلی کمتر است . ابتدا نقشه ها را روی کاغذ پوستی ترسیم می کنند و سپس به روی کاغذ کالک منتقل می شود .

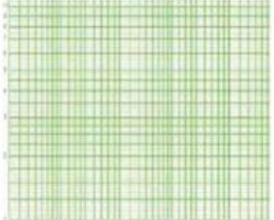
### انواع کاغذ از لحاظ خط

کاغذ شطرنجی : این کاغذ برای تهیه اسکچ ، نقشه های دستی ، دیاگرام ، نمودار و ... به کار می رود و از تعدادی خطوط نازک افقی و عمودی که چهار خانه های منظمی را ایجاد می کنند تشکیل می شود .

کاغذ میلی متری : این کاغذ همانند کاغذ شطرنجی است، با تقسیم بندی های یک میلیمتری که برای ترسیم نمودارها و دیاگرام ها به کار می رود .

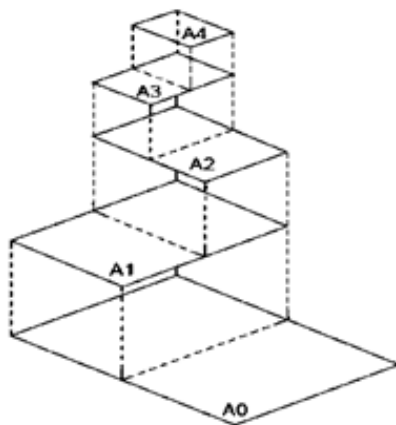
کاغذ لگاریتمی : محور قائم و افقی این کاغذ برحسب لگاریتم تقسیم بندی شده است و برای ترسیم منحنی ها و نمودارها به کار می رود ، این کاغذ ها در دو نوع نیم لگاریتمی و تمام لگاریتمی وجود دارند .

کاغذ ایزومتریک : این کاغذ علاوه بر خطوط افقی و عمودی ، دارای خطوطی تحت زاویه ی ۳۰ درجه است و برای ترسیم نماهای مجسم ایزومتریک به کار می رود .

			
کاغذ شطرنجی	کاغذ لگاریتمی	کاغذ میلی متری	کاغذ ایزومتریک

### ابعاد کاغذ

در سیستم ISO کاغذ ها را به سه گروه A - B - C دسته بندی می کنند، در طراحی و نقشه کشی استفاده از کاغذ های گروه A متداول تر است . در جدول زیر ابعاد انواع کاغذ گروه A را بر حسب میلی متر مشاهده می کنید .



ردیف	ابعاد کاغذ
A۰	۸۴۱×۱۱۸۹
A۱	۵۹۴×۸۴۱
A۲	۴۲۰×۵۹۴
A۳	۲۹۷×۴۲۰
A۴	۲۱۰×۲۹۷
A۵	۱۴۸×۲۱۰

### انواع مداد

یک - مداد های پررنگ که با حرف B نشان داده می شوند.

دو - مدادهای متوسط که با حرف HB یا F نشان داده می شود.

سه . مدادهای کم رنگ که با حرف H نشان داده می شود.

در زیر به انواع مداد را به ترتیب از کم رنگترین ۹H تا پررنگ ترین ۷B آورده شده است .

۹H - ۸H - ۷H - ۶H - ۵H - ۴H , ۳H - ۲H - H - F - HB - H , ۲B - ۳B - ۴B - ۵B - ۶B - ۷B

**اتود:** وسیله ای است که داخل آن مقداری مغزی (نوک مداد) قرار می دهند و به جای تراشیدن قسمت چوبی مداد با فشار دادن به قسمت انتهایی اتود مقداری از مغزی خارج می گردد با این کار از اتلاف وقت جلوگیری می شود، اتود دارای نوک هایی به شماره های استاندارد ۰/۴، ۰/۵، ۰/۷ و ... می باشد.

**میز نقشه کشی:** میز نقشه کشی وسیله ای است که کاغذ نقشه کشی روی آن نصب می شود و در ابعاد و جنس های مختلف طوری طراحی و ساخته می شود که علاوه بر صاف و یک دست بودن سطح، بتوان ارتفاع و شیب آن را با توجه به نیاز طراح تغییر داد.



**خط کش T:** این خط کش به شکل حرف T لاتین است و در نقشه کشی برای ترسیم خطوط افقی و قرار گرفتن گونیا روی آن به کار می رود.



**نقاله:** برای تعیین و اندازه گیری زاویه ها از نقاله که یک نیم دایره ی متصل به خط کش است استفاده می شود.

**گونیا:** وسیله ای است به شکل مثلث راست گوشه (قائم الزاویه)، که از لحاظ درجه در دو نوع گونیای ۴۵ و ۳۰ - ۶۰ ساخته می شود و برای ترسیم عمودی و تحت زاویه به کار می رود.

**پرگار:** از پرگار برای انتقال اندازه و ترسیم دایره یا قوس هایی از دایره استفاده می شود. برای رسم دایره پایه سوزنی پرگار را در مرکز دایره قرارداده می دهیم و دهانه پرگار را به اندازه شعاع دایره باز کرده و سپس دایره را توسط مدادی که روی آن قرار دارد ترسیم می کنیم.

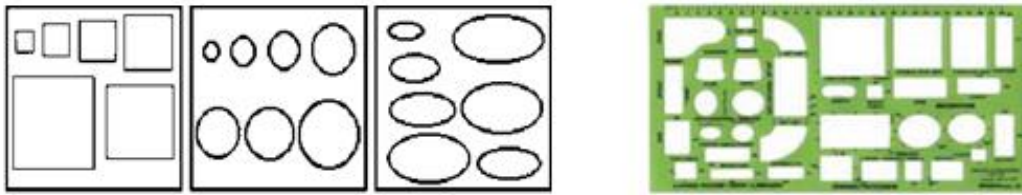


پرگار



















گونیا

شابلون : این وسیله از ورق نازک شفاف پلاستیکی با ضخامت بسیار کم ساخته می شود ، که به منظور تسریع و تسهیل در ترسیم نقشه ها مورد استفاده قرار می گیرند .



آشنایی با سطوح و حجم های هندسی : قطعات صنعتی در اشکال گوناگون وجود دارند . می توان گفت همه آنها از ترکیب احجام استاندارد به وجود آمده اند . در شکل زیر سطوح و احجام استاندارد را مشاهده می کنید .

	مربع		مکعب
	مستطیل		مکعب مستطیل
	متوازی الاضلاع		منشور سه ضلعی
	توزنقه		استوانه
	پنج ضلعی منتظم		مخروط
	شش ضلعی منتظم		منشور شش ضلعی
	دایره		هرم
	بیضی		کره

خطوط استاندارد : استفاده از خطوط مختلف با ضخامت های متفاوت علاوه بر زیبایی باعث فهم بیشتر نقشه نیز می شود ، در استاندارد ISO خطوط را در هفت گروه ضخامتی ۰/۲۵ ، ۰/۳۵ ، ۰/۵ ، ۰/۷ ، ۱ ، ۱/۴ و ۲ میلی متر تقسیم بندی می کنند . مفهوم خطوط مختلف در جدول زیر آورده شده است .

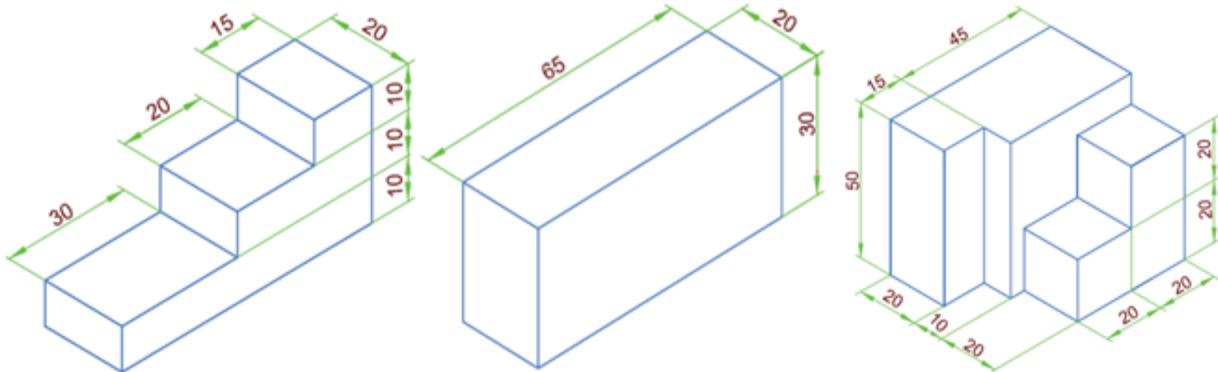
خط	کاربرد	
خط اصلی یا پر یا دید 	خط پهن برای نمایش لبه های دید	A
خط ندید یا خط چین 	خط متوسط برای نمایش لبه های ندید	B
خط پر نازک 	خط نازک برای خط اندازه، هاشور، دنده ی پیچ و ...	C
خط محور یا خط نقطه 	خط نازک برای نمایش محور و خط تقارن	D
خط برش 	خط پهن - نازک برای نمایش مسیر برش	E
خط دستی یا خط شکستگی 	خط نازک برای نمایش خط شکستگی	F
خط دو نقطه 	خط نازک برای شکل و وضعیت	G

اندازه نویسی : هر جسم دارای طول و عرض و ارتفاع است تعیین این ابعاد بر روی نقشه را اندازه نویسی می گویند . پس از ترسیم یک نقشه باید اندازه‌ی تمام اجزا و قسمت های آن مشخص شود تا بتوان از آن نقشه استفاده کرد .

### علائم و نشانه های اندازه گذاری

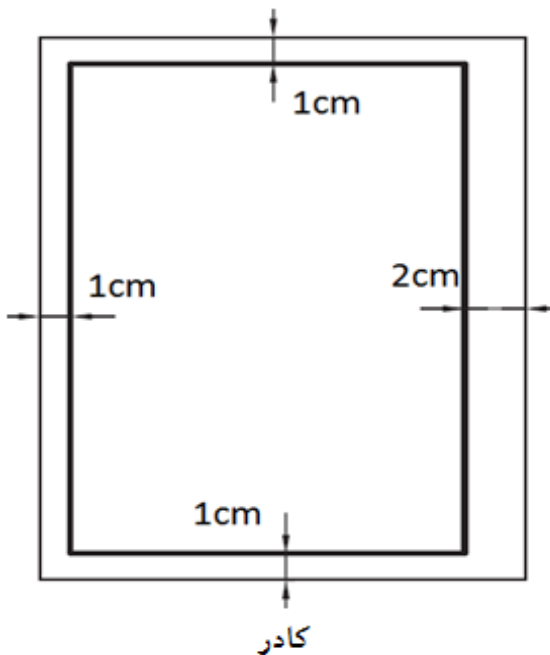
خط اندازه : خطی نازک و پیوسته است که به فاصله‌ی ۵ تا ۷ میلی متری برای کاغذ های A۴ و A۳ از خط اصلی و موازی با آن رسم می شود و از دو طرف با خطوط رابط محدود می شود .

خطوط رابط یا کمکی: خطوط نازک و پیوسته‌ای هستند که به فاصله‌ی ۲ میلی متری از خط اندازه و عمود بر آن رسم می شوند.  
فلش (سهمی): فلش در انتهای خط اندازه رسم می شوند و رأس آن به یک خط رابط منتهی می شود .



کادر : برای تعیین فضای لازم به منظور ترسیم نقشه، محدوده‌ی آن را بر روی کاغذ نقشه کشی با یک قاب که کادر نامیده می شود تعیین می کنند . حداقل فاصله کادر از لبه کاغذ برای کاغذ A۰ و A۱ حداقل ۲۰ میلی متر و برای کاغذ A۲ ، A۳ و A۴ حداقل ۱۰ میلی متر است . قسمت سمت راست یا بالای کاغذ را معمولاً برای منگنه و بایگانی حدود ۲۰ میلی متر در نظر گرفته می شود .

جدول مشخصات : برای معرفی مشخصات نقشه از جدول مشخصات استفاده می شود که در آن مشخصات نقشه نوشته می شود. در زیر نمونه ای از جدول مشخصات و کادر ترسیم شده است .



جنس	سفارش	نام	تاریخ	
				طراح
تولرانس				نقشه کش
				بازینی
نام سازمان		نام قطعه		مقیاس
				شماره

جنس:	نام نقشه :	ترسیم :
تولرانس :		رشته :
مقیاس :	سازمان آموزشی :	بازین :
شماره :		تاریخ :

جدول مشخصات

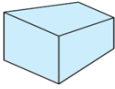
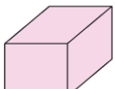

مقیاس در نقشه کشی : مقیاس عبارت است از نسبت اندازه ی ترسیمی بر اندازه ی حقیقی که با **Sc** نشان می دهند .

$$SC = \frac{\text{اندازه ی ترسیمی}}{\text{اندازه ی حقیقی}}$$

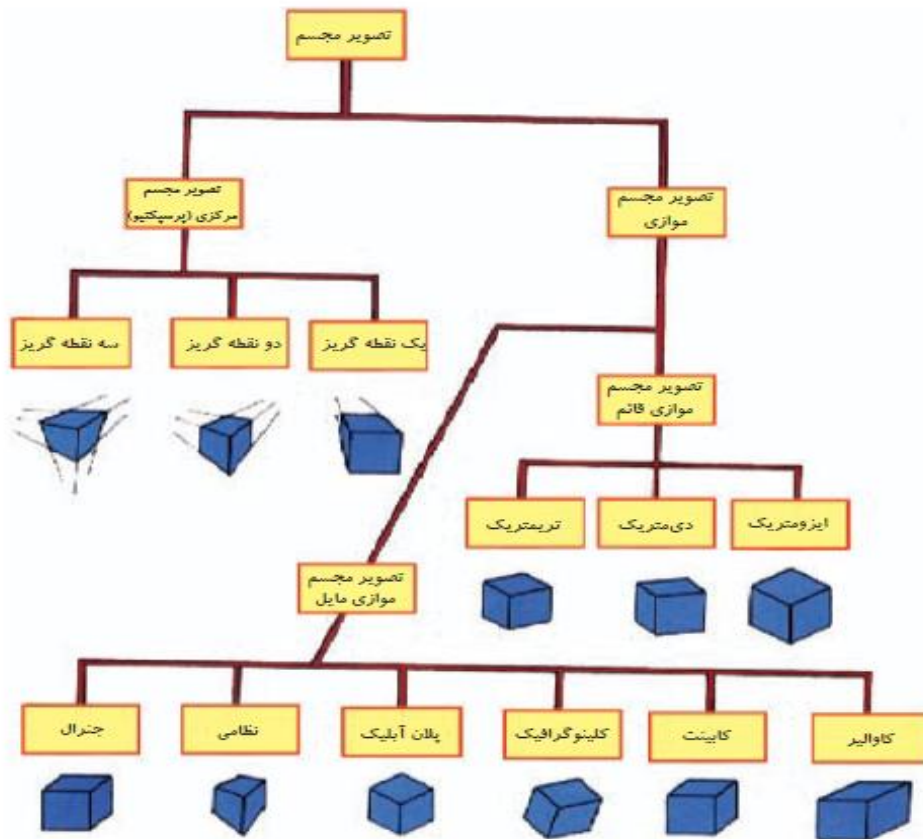
مقیاس در دو نوع مقیاس کوچک کردن و بزرگ کردن استفاده می شود که بر اساس استاندارد، مقیاس های کوچک کردن عبارتند از: ۱ : ۲/۵ - ۱ : ۵ - ۱ : ۱۰ - ۱ : ۲۰ - ۱ : ۵۰ - ۱ : ۱۰۰ - ۱ : ۲۰۰ - ۱ : ۱۰۰۰ و مقیاس های بزرگ کردن عبارتند از: ۱ : ۲ - ۱ : ۵ - ۱ : ۱۰ - ۱ : ۲۰ - ۱ : ۵۰ - ۱ : ۱۰۰ که کاربرد های متفاوتی برای نقشه های مختلف دارند .

### انواع تصاویر مجسم (سه بعدی)

- ۱- تصاویر مجسم موازی قائم : اگر شعاع های تصویر بر صفحه ی تصویر عمود باشند، تصویر مجسم موازی قائم نام دارد .
- ۲- تصاویر مجسم موازی مایل : اگر شعاع های موازی تصویر نسبت به صفحه ی تصویر زاویه ی غیر از ۹۰ درجه داشته باشد ، تصویر حاصل را تصویر مجسم موازی مایل نام دارد .
- ۳- تصاویر مجسم مرکزی : زمانی که شعاع های تصویر مرکزی باشد تصویر حاصل را تصویر مجسم مرکزی یا پرسپکتیو می گویند .

		
تصاویر مجسم مرکزی	تصویر مجسم موازی مایل	تصویر مجسم موازی قائم

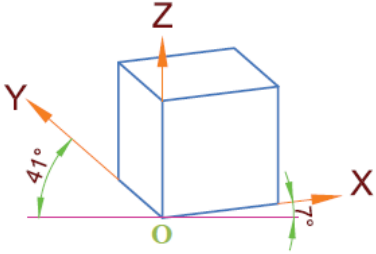
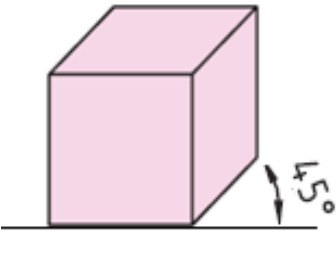
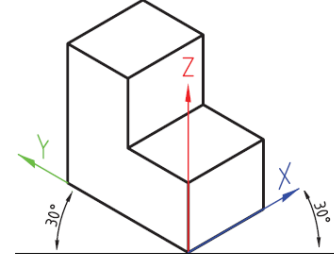
در زیر انواع تصاویر مجسم نشان داده شده است . در ادامه به معرفی تعدادی از تصاویر مجسم می پردازیم .



تصویر مجسم ایزومتریک : تصاویر مجسمی که تحت زاویه ی ۳۰ درجه ترسیم می‌شوند را تصاویر مجسم ایزومتریک می‌گویند.

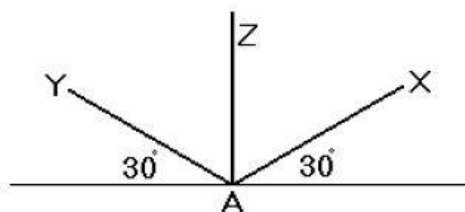
تصویر مجسم کاوالیر : تصاویر مجسمی را که از یک سمت تحت زاویه ۴۵ درجه و از سمت دیگر در امتداد خط افق ترسیم می‌شوند، تصاویر مجسم کاوالیر می‌گویند .

تصویر مجسم دیمتریک : تصاویر مجسمی را که از یک سمت تحت زاویه ۴۱ درجه و از سمت دیگر تحت زاویه ۷ درجه ترسیم می‌شوند، تصاویر مجسم دیمتریک می‌گویند .

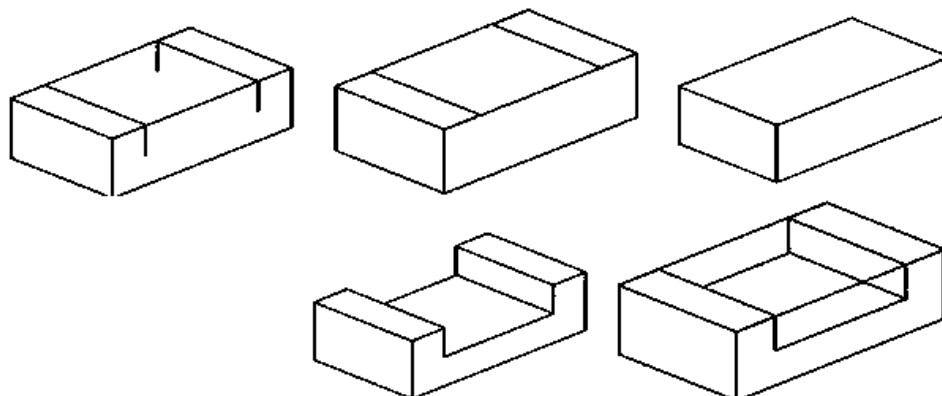
		
تصویر مجسم دیمتریک	تصویر مجسم کاوالیر	تصویر مجسم ایزومتریک

### ترسیم تصویر مجسم ایزومتریک

برای ترسیم تصویر مجسم ایزومتریک نقطه ای مانند A را به عنوان مبنا بر روی کاغذ علامت گذاری می‌کنیم و دو خط گذرنده بر نقطه A را با زاویه ۳۰ درجه نسبت به خط افق رسم کرده و خط سوم گذرنده از نقطه A را عمود بر محور افق ترسیم می‌کنیم این خطوط را که محورهای تصویر جسم مجسم می‌گویند، با حروف X - y - Z نام گذاری می‌کنند .



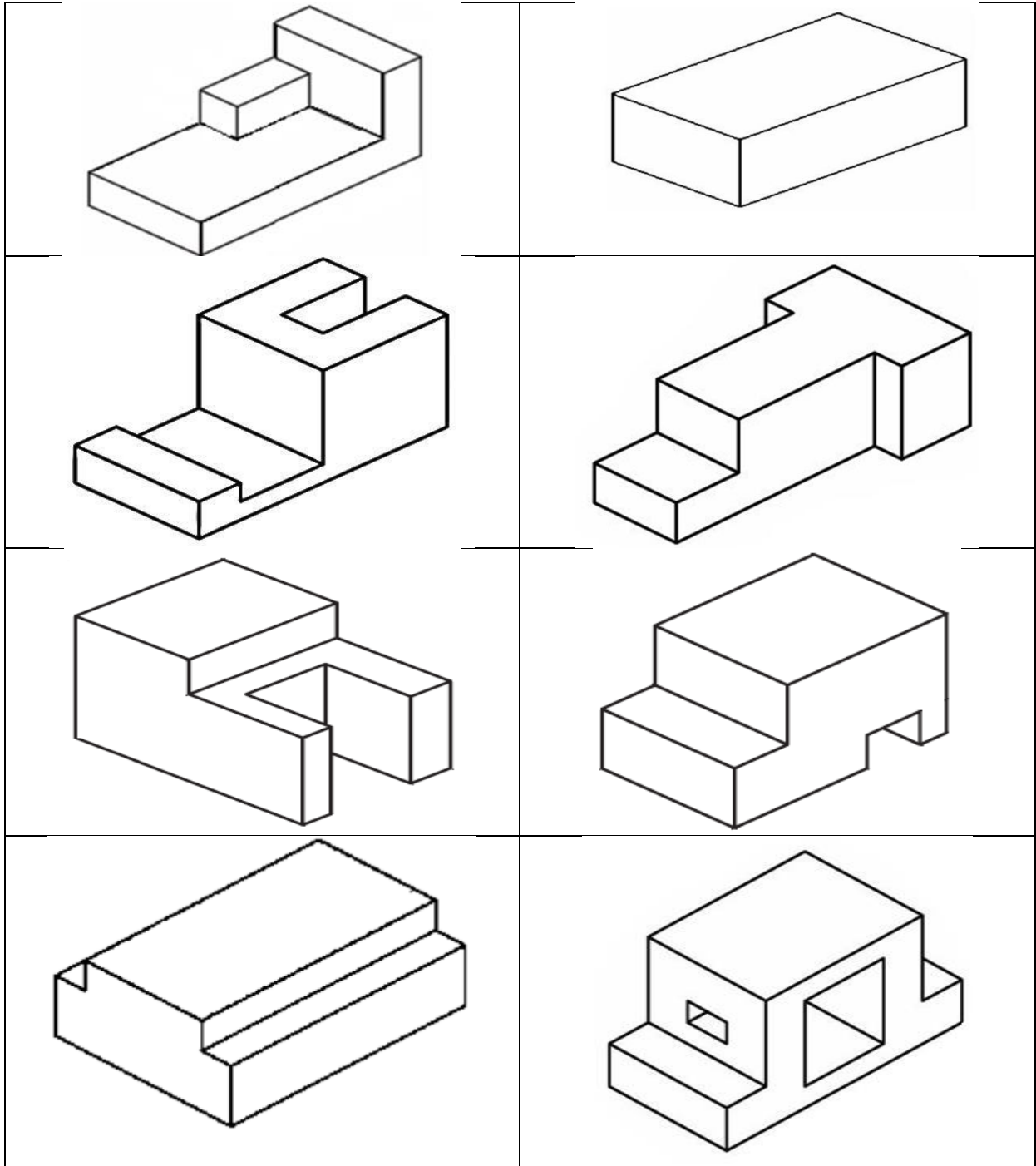
روش ترسیم مجسم ایزومتریک به این ترتیب است که ابتدا با توجه به آنچه گفته شد پس از تعیین نقطه مبنا و ترسیم محورهای جسم مجسم، بر روی هر یک از محورها طول، عرض و ارتفاع جسم مورد نظر را مشخص می‌کنیم سپس با استفاده از رسم خطوط موازی با محور ها تصویر مکعب مستطیلی را ترسیم می‌کنیم. به طوری که جسم مفروض در این مکعب مستطیل جا بگیرد، یعنی طول و عرض و ارتفاع این مکعب مستطیل برابر طول ، عرض و ارتفاع جسم مورد نظر باشد .





پس از انتقال اندازه های جسم بر روی مکعب مستطیل با استفاده از خط کش و گونیای ( ۳۰ - ۶۰ ) سایر خطوط تشکیل دهنده جسم را موازی سه محور  $X - Y - Z$  ترسیم می کنیم تا حجم مورد نظر حاصل شود . آخرین مرحله تکمیل تصویر مجسم، پاک کردن خطوط اضافی ترسیم شده می باشد .

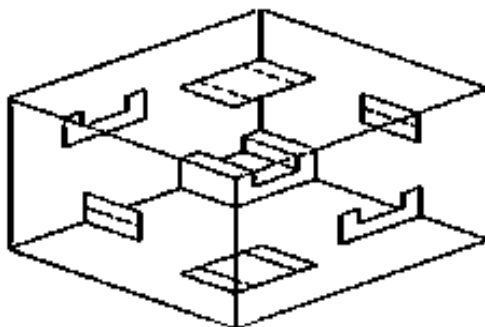
تمرین : تصاویر مجسم ایزومتریک زیر را ترسیم کنید .



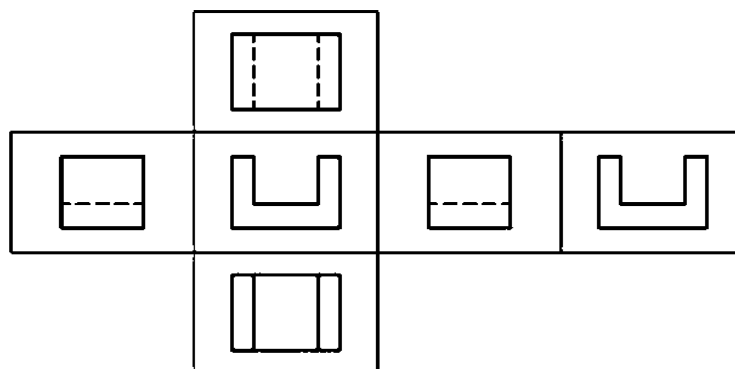


ترسیم سه نما از یک جسم

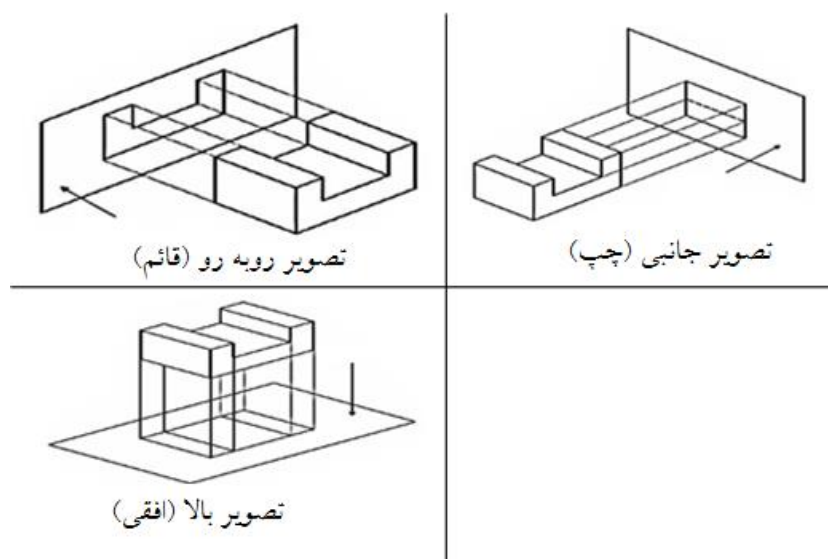
اگر جسم مجسمی مانند شکل زیر را در نظر گرفته و ناظری از جهت های مختلف (بالا ، پایین ، چپ ، راست ، جلو ، عقب) به طور عمود به آن نگاه کند در هر سمت تصویری را مشاهده می کند، برای ترسیم تصاویری که ناظر می بیند تصویر هر سمت را بر روی صفحه ای در مقابل آن ترسیم می کنند .



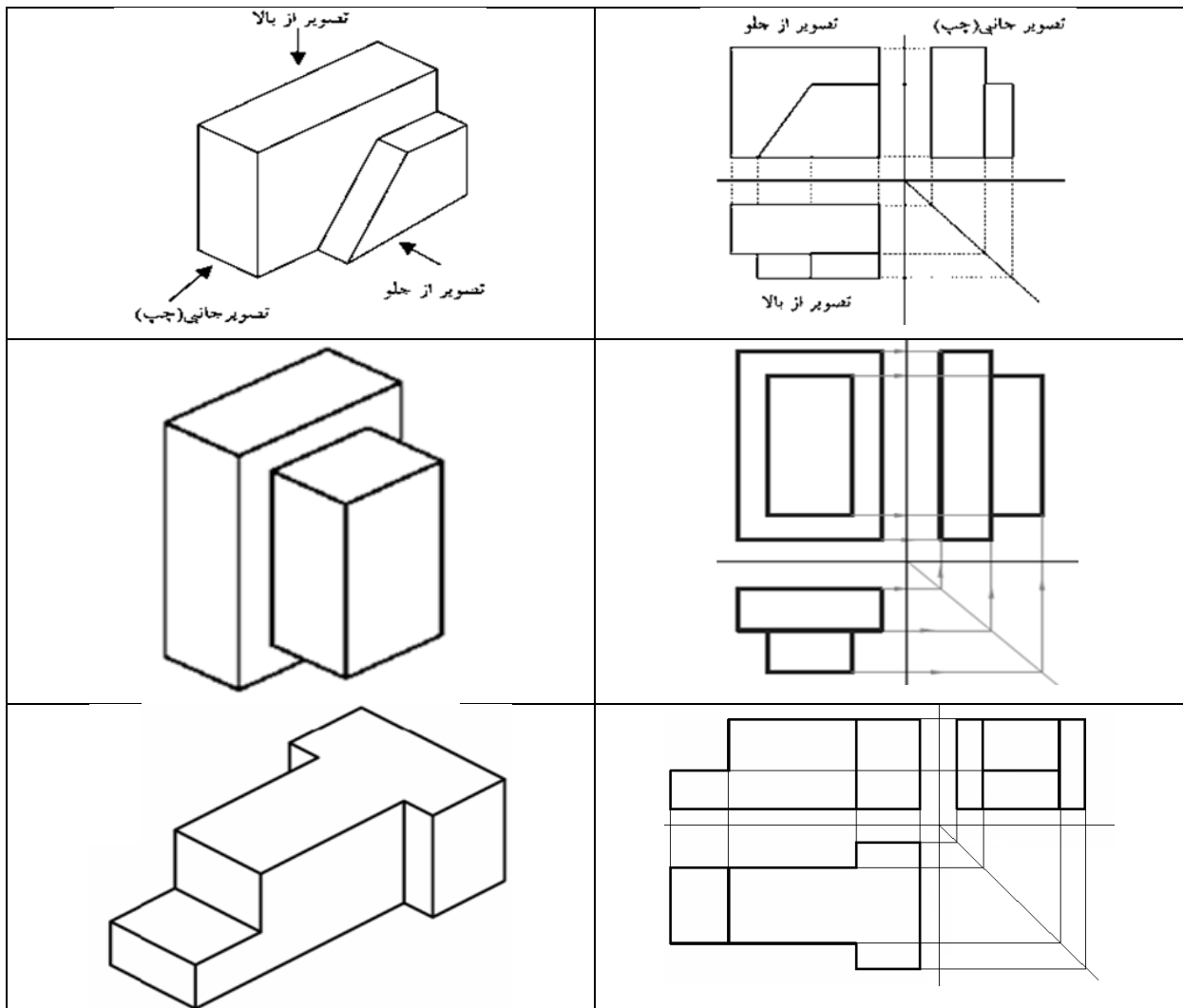
در مجموع شش تصویر حاصل می شود که در زیر ترسیم شده اند .



تصاویر تقریباً دو به دو به هم شبیه هستند و می توان سه تصویر پایین ، راست و عقب را حذف کرد و فقط سه تصویر دید از جلو (قائم) دید از بالا (افقی) و دید از چپ (جانبی) اکتفا کرد که به صورت زیر ترسیم می گردند .



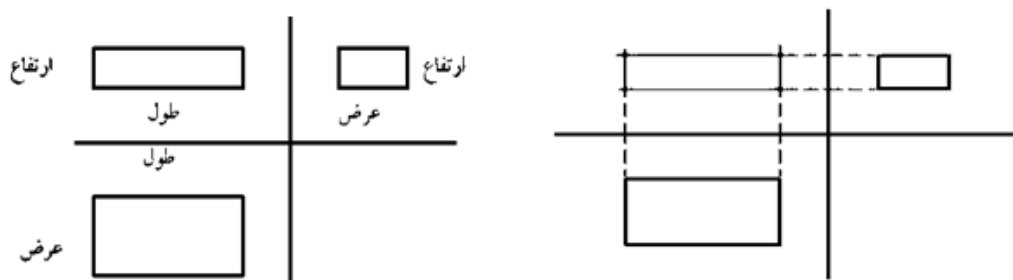
نماهای سه گانه اجسام زیر برای نمونه ترسیم شده است .



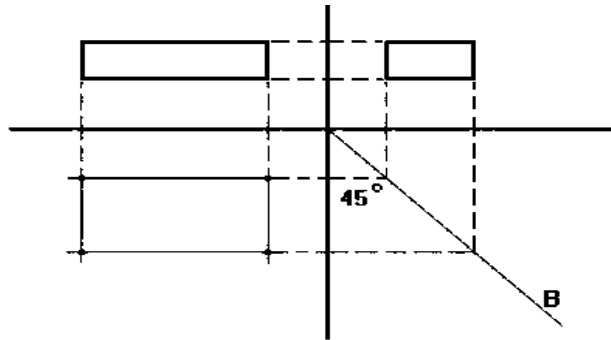
### ترسیم نمای مجهول قطعات ساده مکانیکی

یکی از راه های بالابردن قدرت تصور و تجسم، پیدا کردن تصویر سوم است، برای این منظور دو تصویر از جسمی ارائه می شود و تصویر سوم را به عنوان تصویر مجهول از طریق آن دو تصویر به دست می آورند، اصطلاحاً به این عمل مجهول یابی گفته می شود .

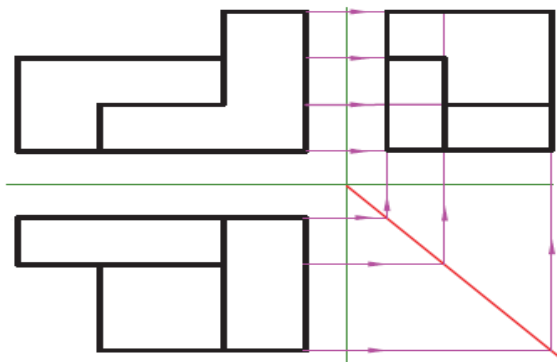
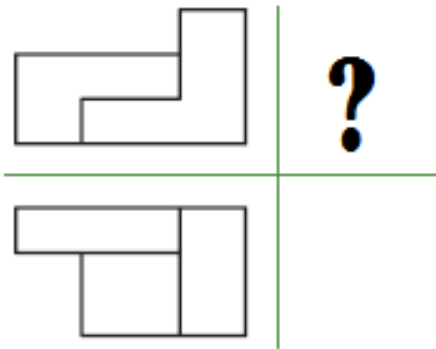
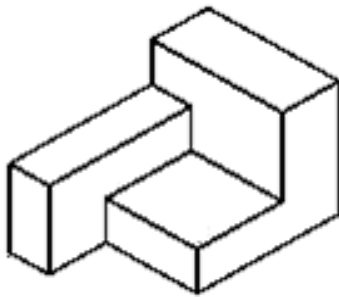
اگر تصویر جانبی و بالا معلوم باشند، می توان با استفاده از آنها طول و ارتفاع جسم را از روی دو تصویر معلوم ، مشخص کرد. از روی تصویر جانبی و با رسم خطوطی مانند شکل زیر اندازه ی ارتفاع و از روی تصویر بالا اندازه طول معین نمود و تصویر را ترسیم کرد.



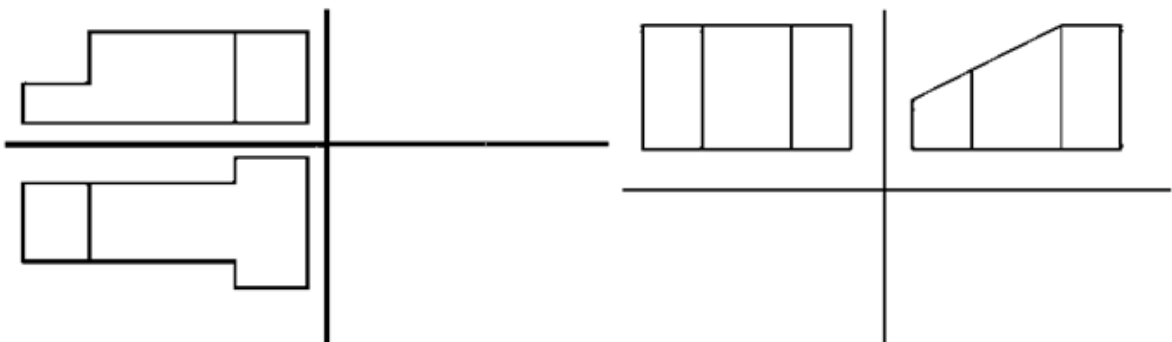
در صورتی که یکی از نماهای جانبی یا بالا مجهول باشد، برای انتقال اندازه ها و ترسیم نمای مجهول می بایست از خط رابط B که با زاویه ۴۵ درجه رسم شده استفاده کرد (در تصویر زیر برای انتقال اندازه عرض از خط رابط B استفاده شده است).



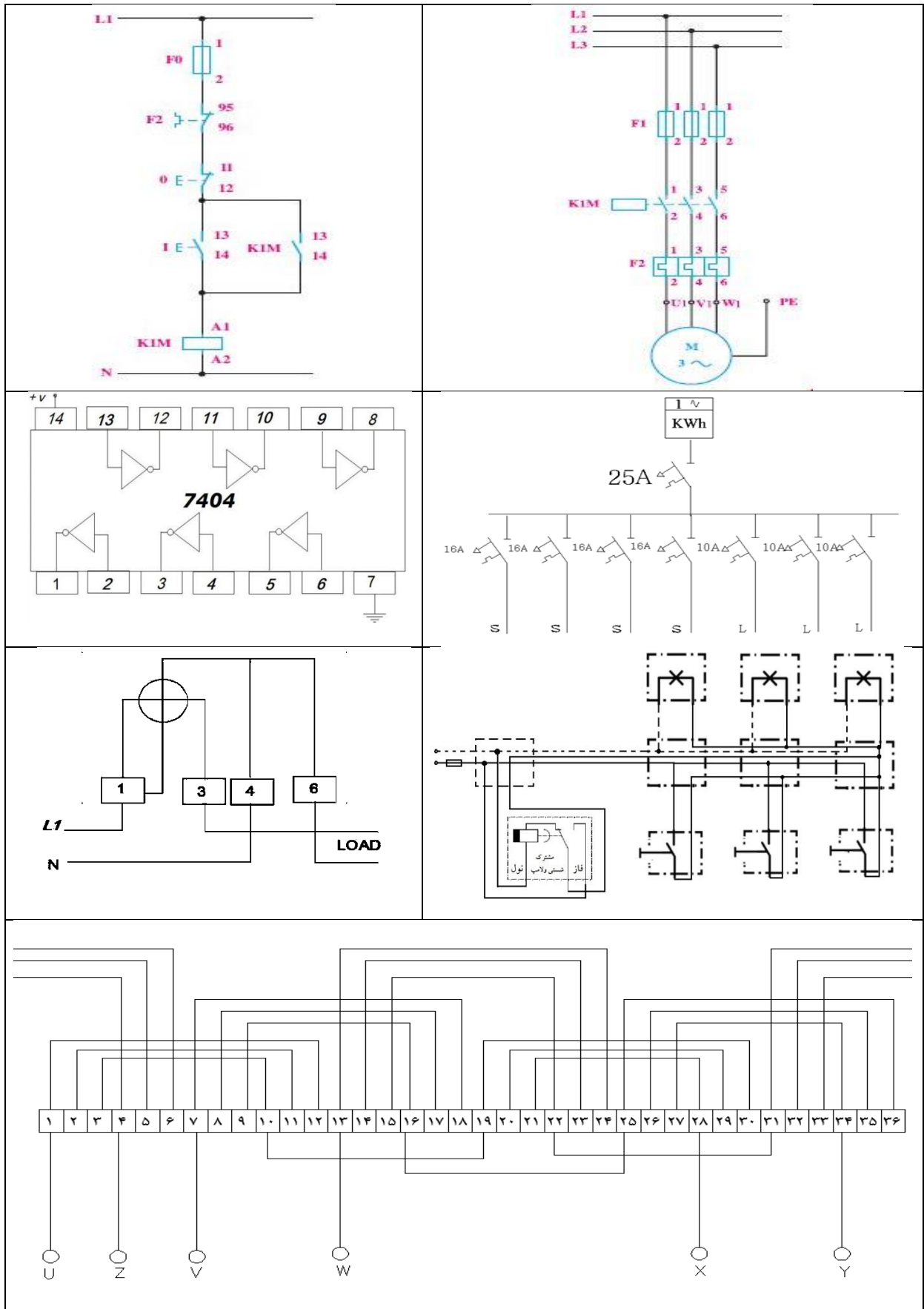
مثال - برای جسم زیر نمای مجهول را بدست می آوریم .



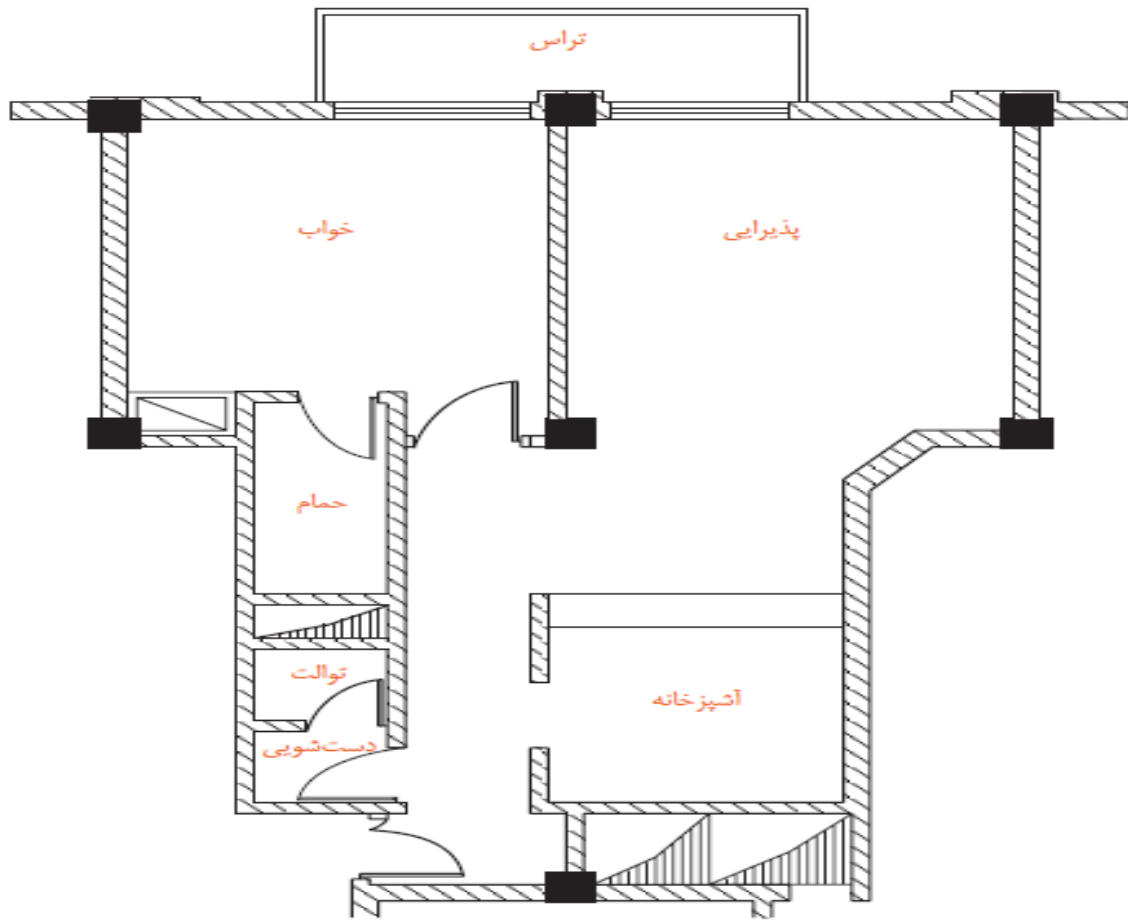
تمرین : تصویر سوم هر یک از اجسام زیر را به وسیله آنالیز سطوح یا خطوط رابط رسم کنید .



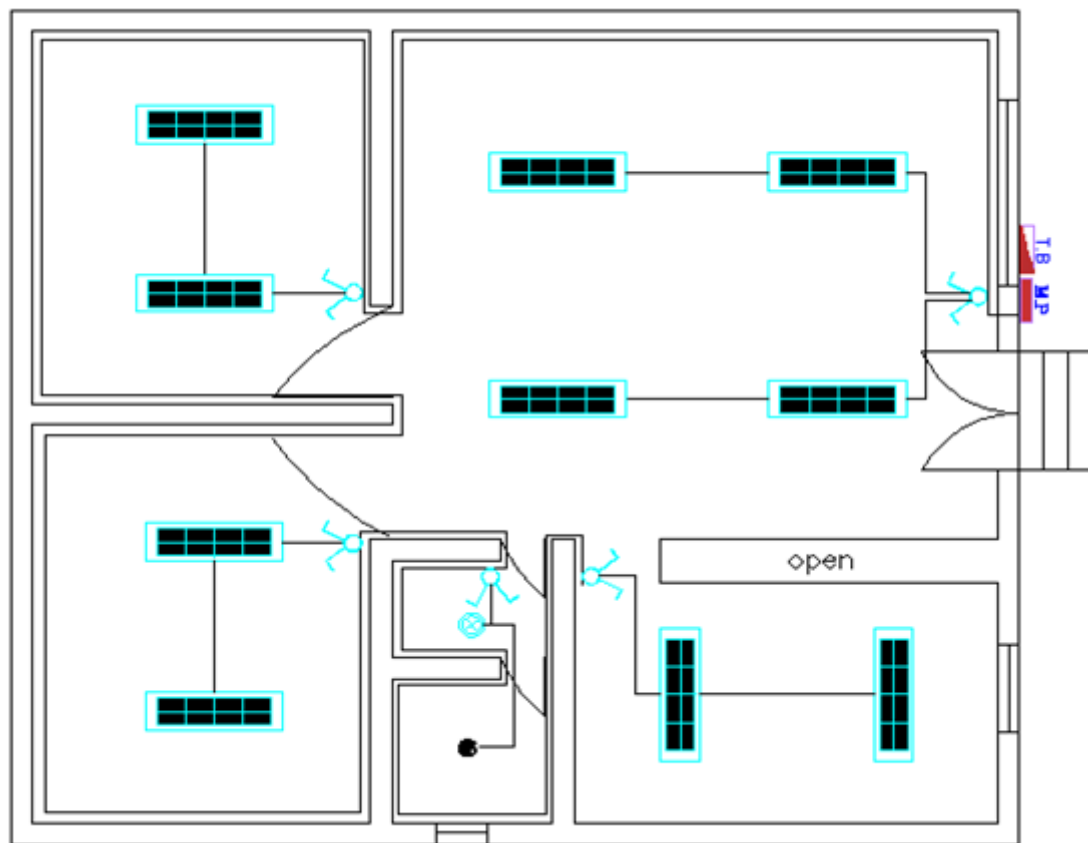
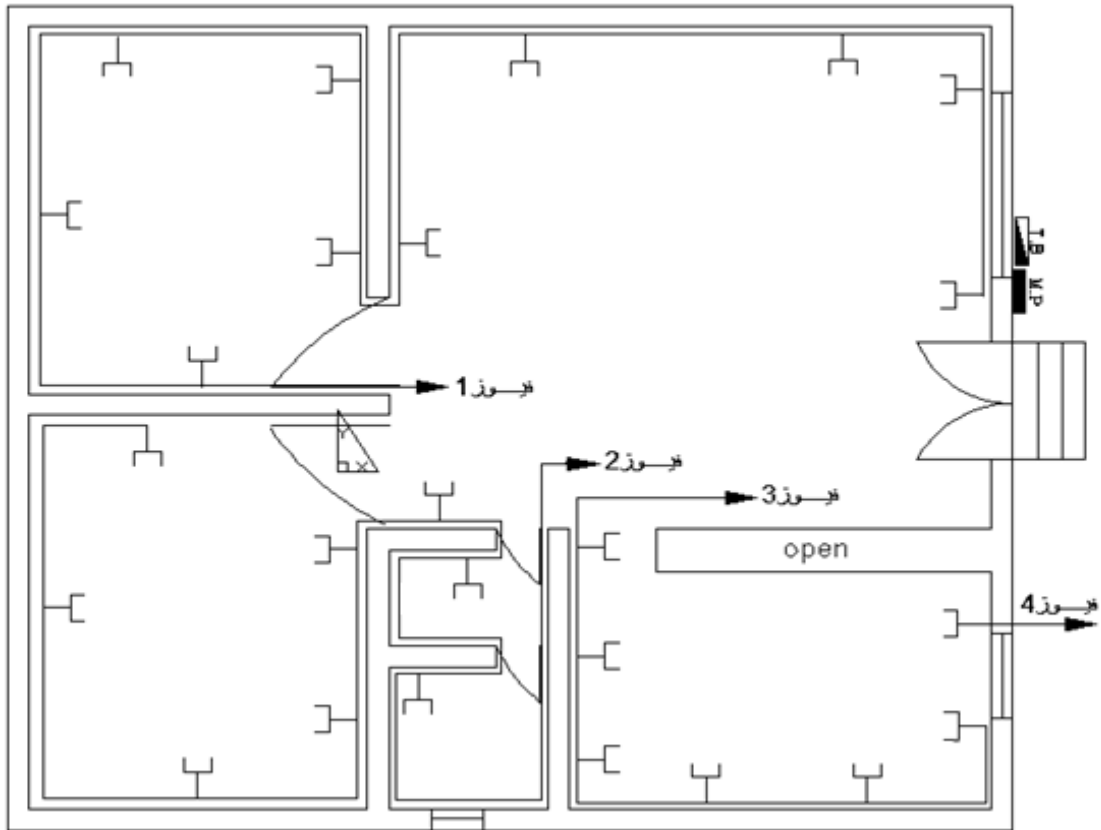
نقشه مدارهای الکتریکی زیر را بر روی کاغذ A۴ رسم کنید.



پلان های زی را بر روی کاغذ A۴ ترسیم کنید .



پلان های زیر که مربوط به سیستم روشنایی و پریز ساختمان هستند را روی کاغذ A4 ترسیم کنید .



## فصل دوم : فلز کاری

### سیستم های اندازه گیری و تبدیل واحد ها

تعریف اندازه گیری : مقایسه کمیتی با واحدی قراردادی و استاندارد از همان کمیت را اندازه گیری می گویند .  
دلیل اندازه گیری : در کارهای تولیدی هر قطعه باید اندازه ی خود را داشته باشد تا در هنگام اتصال آنها به هم و استفاده ی از آنها مشکلی پیش نیاید .



سیستم های اندازه گیری : دو سیستم اندازه گیری متریک و اینچی در جهان متداول است که در زیر به بررسی آن ها می پردازیم .  
یک - سیستم متریک : واحد قراردادی طول در این سیستم متر است و سیستم رسمی کشور ایران می باشد ، دو تعریف برای متر بیان شده است که در زیر بیان می شوند .

تعریف قبلی متر : تعریف متر تا سال ۱۹۶۰ میلادی عبارت بود از  $\frac{1}{10,000,000}$  محیط کره زمین روی خطی که از قطب ها می گذرد ، متر مبنا از آلیاژ پلاتین و ایریدیوم ساخته می شود که در موزه ای در فرانسه نگهداری می شود .



تعریف جدید متر : در سال ۱۹۸۳ میلادی طی کنفرانسی در پاریس یک متر را مسافتی می نامند که نور در مدت  $\frac{1}{299,792,458}$  ثانیه طی می کند .

### نماد گذاری علمی

در برق با اعداد متفاوتی سروکار داریم مثلاً جریان در الکترونیک بسیار کوچک (چند میلیونوم) و در برق صنعتی بسیار بزرگ (چند هزار) است، که برای نمایش آن ها با صفرهای زیادی مواجه هستیم، برای حذف صفرهای طولانی اعداد بزرگ و کوچک آنها را با یکسری از نمادهای علمی معادل می کنیم، این نمادها در جدول زیر آورده شده اند، یک شمارش ساده از نقطه اعشار تا سمت راست عدد ۱، توان ۱۰ عدد را به ما می دهد و اگر شمارش از سمت چپ باشد توان علامت منفی می شود .

مثال - نماد علمی اعداد زیر را بنویسید .

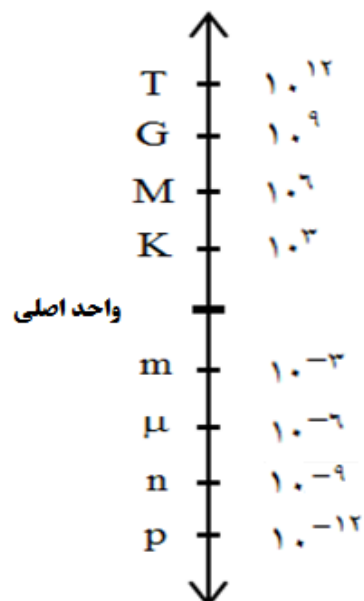
$۱ = ۱۰^۰$	$۵۰۰۰ = ۵ \times ۱۰^۳$	$۰/۱ = ۱ \times ۱۰^{-۱}$
$۱۰ = ۱۰^۱$	$۶۸۰۰ = ۶/۸ \times ۱۰^۳$	$۰/۲ = ۲ \times ۱۰^{-۱}$
$۱۰۰ = ۱۰^۲$	$۱۰۰۰۰ = ۱ \times ۱۰^۴$	$۰/۰/۱ = ۱ \times ۱۰^{-۲}$
$۲۰۰ = ۲ \times ۱۰^۲$	$۱۰۰۰۰۰۰ = ۱ \times ۱۰^۶$	$۰/۰۰/۶ = ۶ \times ۱۰^{-۳}$
$۵۰۰ = ۵ \times ۱۰^۲$	$۱۰۰۰۰۰۰ = ۱۰ \times ۱۰^۵$	$۰/۰/۱۵ = ۱۵ \times ۱۰^{-۳}$
$۱۰۰۰ = ۱۰^۳$	$۳۰۰۰۰۰۰ = ۳ \times ۱۰^۶$	$۰/۰۰۰/۹ = ۹ \times ۱۰^{-۴}$
$۱۶۰۰ = ۱۶ \times ۱۰^۲$	$۶۳۲۱۰۰۰۰ = ۶۳۲۱ \times ۱۰^۴$	$۰/۰۰۰۰۰/۲ = ۲ \times ۱۰^{-۶}$
$۳۲۰۰ = ۳/۲ \times ۱۰^۳$	$۸۲۰۰۰۰۰۰ = ۸۲ \times ۱۰^۶$	$۰/۰۰۰۰۰/۱ = ۱ \times ۱۰^{-۵}$

پیشوندهای سیستم SI

هرگاه در اندازه گیری ها با اندازه های بسیار کوچک یا بسیار بزرگ مواجه شویم از پیشوندهای جدول زیر استفاده می کنیم .

اعداد	نماد کسری	نماد علمی	نام لاتین	علامت اختصاری
۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	-	$۱۰^{۱۲}$	Tera	T
۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰	-	$۱۰^۹$	Giga	G
۱۰۰۰۰۰۰۰	-	$۱۰^۶$	Mega	M
۱۰۰۰	-	$۱۰^۳$	Kilo	K
۰/۰/۰/۱	$\frac{۱}{۱۰۰۰}$	$۱۰^{-۳}$	Mili	m
۰/۰/۰۰۰/۱	$\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰}$	$۱۰^{-۶}$	Micro	$\mu$
۰/۰/۰۰۰۰۰/۱	$\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰۰۰}$	$۱۰^{-۹}$	Nano	n
۰/۰/۰۰۰۰۰۰۰/۱	$\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰}$	$۱۰^{-۱۲}$	Pico	p

تبدیل واحدها: برای تبدیل واحدها از نمودار زیر استفاده می کنیم، فاصله‌ی بین هرکدام از واحدها برابر  $۱۰^۳$  می باشد که اگر از سمت بالای نمودار به سمت پایین حرکت کنیم علامت توان مثبت، و اگر از پایین به بالا حرکت کنیم علامت منفی می شود.





مثال - هر کیلو متر چند متر است؟ فاصله بین کیلو با واحد اصلی  $10^3$  است و چون از بالا به پایین است علامت توان مثبت می باشد پس :

$$1 \text{ Km} = 10^3 \text{ m}$$

مثال - هر مگا متر چند میلی متر است؟ فاصله بین مگا تا میلی برابر  $10^9$  است و چون از بالا به سمت پایین حرکت می کنیم توان مثبت می باشد .

$$1 \text{ Mm} = 10^9 \text{ mm}$$

مثال : هر میکرو آمپر چند گیگا آمپر است؟ فاصله بین میکرو تا گیگا  $10^{15}$  است و چون از پایین به سمت بالا حرکت می کنیم علامت توان منفی است .

$$1 \mu\text{A} = 10^{-15} \text{ GA}$$

دسی متر : اگر یک متر را به ده قسمت مساوی تقسیم کنیم به هر قسمت یک دسی متر (dm) می گویند . پس یک دسی متر برابر  $10^{-1} = \frac{1}{10}$  متر است .

سانتی متر : اگر یک متر را به صد قسمت مساوی تقسیم کنیم به هر قسمت یک سانتی متر می گویند . پس یک سانتی متر برابر  $10^{-2} = \frac{1}{100}$  متر است .

میلی متر : اگر یک متر را به هزار قسمت مساوی تقسیم کنیم به هر قسمت آن یک میلی متر می گویند . پس یک میلی متر برابر  $10^{-3} = \frac{1}{1000}$  متر است .

دو - سیستم اینچی : واحد قرار دادی طول در این سیستم فوت ft می باشد، هر فوت برابر  $30/48$  سانتی متر است . فوت اجزائی مانند اینچ in و اضعافی مانند یارد yd دارد که در زیر رابطه آنها با سیستم متریک آورده شده است .

رابطه بین واحد های سیستم اینچی با سانتی متر	
1 in	2.54 cm
1 ft	30.48 cm
1 yd	91.44 cm

بدیهی است که بین اجزا و اضعاف فوت با هم روابطی وجود دارد که در زیر مشاهده می کنید .

1 ft = 12 in
1 yd = 36 in
1 yd = 3 ft

برای اندازه گیری دقیق یک اینچ را به ۱۶ قسمت مساوی تقسیم کرده و اجزای آن را کسرهای متعارفی به شرح زیر نشان می دهند .

$$\frac{1''}{16} \quad \frac{2''}{16} \quad \frac{3''}{16} \quad \frac{4''}{16} \quad \frac{5''}{16} \quad \frac{6''}{16} \quad \frac{7''}{16} \quad \frac{8''}{16} \quad \frac{9''}{16} \quad \frac{10''}{16} \quad \frac{11''}{16} \quad \frac{12''}{16} \quad \frac{13''}{16} \quad \frac{14''}{16} \quad \frac{15''}{16} \quad \frac{16''}{16}$$

## خط کشی و اندازه گذاری

تعریف خط کشی : منظور از خط کشی انتقال اندازه و فرم‌های لازم از روی نقشه کار، قطعه‌ی مشابه و یا معلوماتی که در دست است بر روی قطعه کار می‌باشد، به طوری که بتوان خطوط را به وضوح تشخیص و عملیات بعدی را بر مبنای خطوط ترسیمی انجام داد .

## معرفی وسایل خط کشی و اندازه گذاری

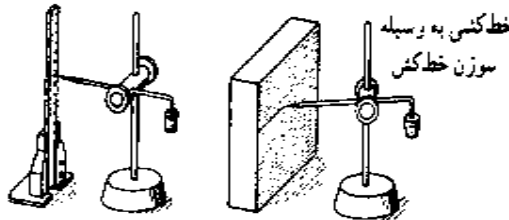
میز خط کشی : از میز خط کشی معمولاً برای اجرای خط کشی بر روی قطعات استفاده می‌شود، جنس میزهای خط کشی معمولاً از فولاد است و برای خط کشی کارهای ساده که به دقت کمتری نیاز دارند استفاده می‌شود .

صفحه خط کشی ( صفحه صافی ) : جنس این صفحه‌ها معمولاً چدن است و روی آن‌ها را تراش کاری و سطح آن‌ها را برای دقت بیشتر سنگ زنی می‌کنند، برای جلوگیری از تغییر فرم در قسمت پشت صفحه پره‌هایی تعبیه شده است . از این صفحه نباید برای کارهای غیر از خط کشی مانند صاف کاری ، سنبه نشان زدن و ... استفاده نمود .

سوزن خط‌کشی : برای ترسیم خطوط روی قطعات از سوزن خط‌کشی استفاده می‌شود، جنس سوزن خط کشی برای ترسیم خطوط روی سطوح خشن و سخت، از فولاد آب داده بوده و زاویه راس آن در حدود ۱۵ الی ۲۰ درجه انتخاب می‌شود .

سوزن خط کش پایه دار : سوزن خط کش پایه دار را در دو نوع ساده و مدرج می‌سازند و از آن‌ها برای رسم خطوط موازی بر روی قطعه کار استفاده می‌کنند . برای تنظیم اندازه ارتفاع نوک سوزن خط کشی می‌توان از یک متر فلزی پایه دار استفاده کرد، نوع دیگری از سوزن خط کشی پایه دار وجود دارد که مدرج است و نیازی به متر فلزی پایه دار ندارند .

اندازه گرفتن سوزن خط‌کش



سنبه نشان : سنبه نشان وسیله‌ای است برای نشان زدن محل مرکز سوراخ‌ها، ایجاد جا برای استقرار پایه پرگار و تثبیت خطوطی که در هنگام کار امکان محو شدن آن‌ها وجود دارد، استفاده می‌شود. در اثر وارد کردن ضربه به سر سنبه نشان، رأس آن در قطعه نفوذ کرده و یک فرورفتگی مخروطی در آن به وجود می‌آورد، زاویه رأس سنبه نشان برای علامت گذاری مسیر برش ۹۰ درجه می‌باشد .

خط کش : خط کش فلزی تیغه‌ای است از فولاد سخت شده که دارای خاصیت فنری بوده و در طول‌های ۱۵ تا ۲۰۰ سانتی متری ساخته می‌شود . بر روی این خط کش‌ها اجزای متر (دسی ، سانتی و میلی) و اجزاء اینچ (  $\frac{1}{8}$  ،  $\frac{1}{16}$  ،  $\frac{1}{32}$  ،  $\frac{1}{64}$  ) حک شده است .

متر : برای اندازه گیری طول از متر استفاده می‌شود، متر در انواع فلزی، چوبی، نواری پارچه‌ای و نواری فلزی ساخته می‌شوند . متر فلزی بیشترین کاربرد را دارد و از نوار فولادی با ضخامت کم ساخته می‌شود و دارای خاصیت فنری زیاد می‌باشد که درون یک محفظه به دور محوری پیچیده می‌شود .

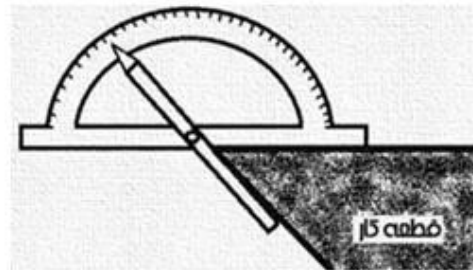
پرگار فلزی : از پرگار برای انتقال اندازه و یا به منظور رسم خطوط دایره‌ای استفاده می‌شود، پرگارها را به فرم های مختلفی از فولاد ابزارسازی می‌سازند .

چکش : از چکش برای کاربرد های مختلفی در فلزکاری مانند وارد کردن ضربه به سنبه نشان استفاده می‌کنند ، جنس چکش را فولادی انتخاب کرده و از یک دسته چوبی برای در دست گرفتن و هدایت آن ها استفاده می‌شود .

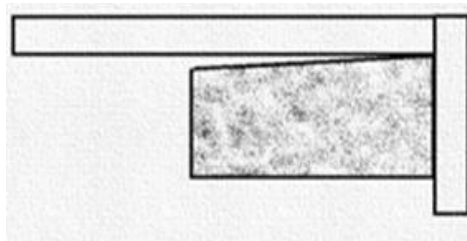
زاویه سنج : در صنعت برای اندازه گیری زوایا از واحدی به نام درجه استفاده می‌شود ، یک درجه برابر با زاویه مرکزی  $\frac{1}{360}$  محیط دایره است، برای اندازه گیری دقیق تر از واحد های دیگری به نام دقیقه و ثانیه استفاده می‌شود .

$$۱ \text{ درجه} = ۶۰ \text{ دقیقه} \quad ۱ \text{ دقیقه} = ۶۰ \text{ ثانیه}$$

تشریح زاویه سنج ساده : زاویه سنج ساده وسیله ای است که برای کنترل و اندازه گیری زوایا مورد استفاده قرار می‌گیرد . این وسیله از یک صفحه نیم دایره مدرج (نقاله) و یک خط کش که توسط پیچ و یا میخ پرچ به هم متصل شده اند تشکیل می‌شود . برای اندازه گیری زاویه ی قطعه کار، لبه ی صاف نقاله را به قطعه کار تکیه می‌دهیم و به کمک خط کش متصل به نقاله مقدار زاویه را تعیین می‌کنیم



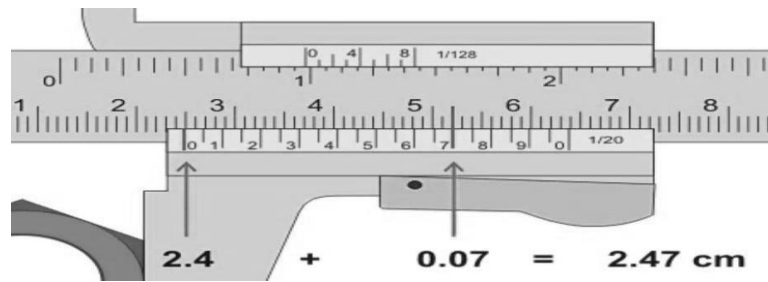
گونیا : برای کنترل قائمه بودن دو سطح نسبت به هم از گونیا استفاده می‌شود ، ابتدا بازویی از گونیا را که در دست داریم به یک سطح قطعه کار می‌چسبانیم و سپس آرام بازوی دیگر گونیا را به سطح دیگر نزدیک نموده و پس از تماس با سطح بالایی قطعه کار ، به طور عمودی به محل تماس نظاره کرده و صحت قائمه بودن را کنترل می‌کنیم.



کولیس : از کولیس برای اندازه گیری اندازه های خارجی، داخلی و عمق استفاده می‌شود، کولیس از دو قسمت ثابت و متحرک تشکیل شده است، قسمت ثابت آن یک خط کش مدرج منتهی به یک فک ثابت است و قسمت متحرک آن کشویی است که فک متحرک و ورنیه روی آن قرار دارد . با فشار دادن ضامن که روی کشو قرار دارد می‌توان دهانه کولیس را به دلخواه باز و بسته کرد و اندازه قطعه کار را تعیین کرد . در بیشتر کولیس ها یک زبانه جهت اندازه گیری عمق به قسمت متحرک متصل شده است .



ورنیه : تقسیمات روی کشوی کولیس را ورنیه می‌گویند، به وسیله‌ی ورنیه امکان خواندن کسری از تقسیمات اصلی خط کش امکان پذیر می‌گردد . بدیهی است که دقت وسایل اندازه گیر مجهز به ورنیه رابطه مستقیم با نحوه تقسیم بندی ورنیه دارد .



تذکر : برای اندازه گیری از نوک کولیس استفاده نکنید زیرا باعث خرابی کولیس و ایجاد خطا در اندازه گیری خواهد شد .



روش خواندن کسری از میلی متر به کمک ورنیه

برای خواندن کولیس به این ترتیب عمل می‌شود که اگر صفر ورنیه در مقابل یکی از تقسیمات اصلی خط کش قرار داشته باشد، اندازه خوانده شده از خط کش اصلی که در مقابل صفر ورنیه قرار دارد عددی صحیح بوده و نیازی به خواندن ورنیه وجود ندارد و چنانچه صفر ورنیه ما بین دو خط از تقسیمات اصلی خط کش قرار گیرد، بایستی برای تعیین اندازه تنظیمی، ابتدا تقسیمات اصلی واقع در سمت چپ صفر ورنیه را در نظر گرفت و سپس با نگاه کردن به ورنیه، خطی از تقسیمات آن را که در مقابل یکی از تقسیمات اصلی خط کش قرار دارد تشخیص داده و تعداد خطوط سمت چپ آن را در دقت کولیس ضرب و حاصل آن را با اندازه صحیح خوانده شده از خط کش اصلی جمع کرد .

### انواع کولیس از نظر دقت

کولیس با دقت  $\frac{1}{10}$  : در این نوع ورنیه‌ها فاصله ۹ میلی متر از تقسیمات اصلی خط کش به ۱۰ قسمت مساوی تقسیم شده است، در نتیجه طول هر یک از تقسیمات ورنیه به اندازه  $\frac{0.9}{10}$  میلی متر بوده و اختلاف هر یک از تقسیمات خط کش با تقسیمات ورنیه که همان دقت کولیس است به اندازه  $\frac{0.1}{10}$  است .

مثال - برای اندازه گیری طول یک قطعه کار از کولیس  $\frac{0.1}{10}$  استفاده شده، اگر صفر ورنیه از ۲۱ خط کش کولیس گذشته شده باشد و ششمین خط بعد از صفر ورنیه در مقابل یکی از خطوط خط کش کولیس باشد، طول قطعه کار چقدر است ؟

$$۲۱ + \frac{0.6}{10} = ۲۱.۰۶ \text{ mm} \quad , \quad ۶ \times \frac{0.1}{10} = ۰.۶$$

کولیس با دقت  $\frac{1}{20}$  : در این نوع کولیس‌ها فاصله ۱۹ میلی متری ورنیه به ۲۰ قسمت مساوی تقسیم شده است، در نتیجه

فاصله هریک از تقسیمات ورنیه برابر  $\frac{19}{20} = ۰.۹۵$  میلی متر و اختلاف هر یک از تقسیمات اصلی با تقسیمات ورنیه  $\frac{0.05}{20} = ۰.۰۰۲۵$  میلی متر ( $۱ - ۰.۹۵ = ۰.۰۵$ ) است . بنابراین دقت این نوع کولیس ها  $\frac{0.05}{20}$  است .

مثال - در یک کولیس میلی‌متری با دقت ۰/۰۵ خط ۱۰ ورنیه با خطی از خط کش ثابت برابر است ، در صورتی که صفر ورنیه بین ۳ و ۴ باشد، مقدار اندازه گیری چقدر است ؟

$$۳ + ۰/۵ = ۳/۵ \text{ mm} , \quad ۱۰ \times ۰/۰۵ = ۰/۵ \text{ مقدار کسری}$$

کولیس با دقت  $\frac{1}{50}$  : در این نوع کولیس فاصله ۴۹ میلی‌متری به ۵۰ قسمت مساوی تقسیم شده است ، دقت این کولیس ها  $\frac{1}{50} = ۰/۰۲$  است .

کولیس اینچی : در کولیس های اینچی خط کش بر حسب اینچ مدرج شده و هر اینچ نیز به ۱۶ قسمت تقسیم شده است . بنابراین فاصله هر یک از تقسیمات اصلی خط کش  $\frac{1}{16}$  است . در ورنیه این کولیس ها  $\frac{7}{16}$  اینچ را به ۸ قسمت مساوی تقسیم کرده اند . بنابراین فاصله هریک از تقسیمات ورنیه  $\frac{7}{128} = \frac{7}{16 \times 8}$  است ، در نتیجه اختلاف هر یک از تقسیمات خط کش با تقسیمات ورنیه  $\frac{1}{128} = \frac{7}{16} - \frac{7}{128}$  اینچ خواهد بود . بنابراین دقت این کولیس ها  $\frac{1}{128}$  اینچ می باشد .

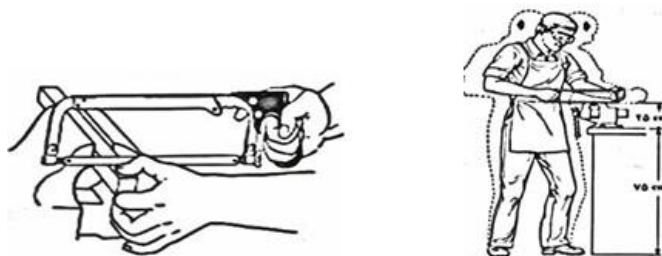
میکرومتر یا ریز سنج

میکرومتر یا ریز سنج ابزاری اندازه گیری با دقتی بیشتر از کولیس است که در دو نوع اینچی و میلی متری ساخته می شوند. هر میکرومتر از فک ثابت، فک متحرک، استوانه‌ی مدرج (خط کش)، ورنیه و کمانی که برای گرفتن میکرومتر از آن استفاده می شود، تشکیل می شود. برای خواندن مقدار اندازه گیری، ابتدا روی استوانه‌ی ثابت میکرومتر عدد رقم صحیح را می خوانیم، سپس عدد اندازه‌ی روی استوانه‌ی متحرک را که ۵۰ قسمت است را می خوانیم . با توجه به تعداد گردش استوانه‌ی متحرک باید مقدار کسری اندازه گیری را بخوانیم. اگر استوانه‌ی متحرک یک دور چرخیده باشد، اندازه ۰ تا ۰/۵ و اگر دو دور چرخیده باشد اندازه‌ی ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر است . در نهایت باید عدد کسری را به عدد صحیح اضافه کرد .



## اره کاری

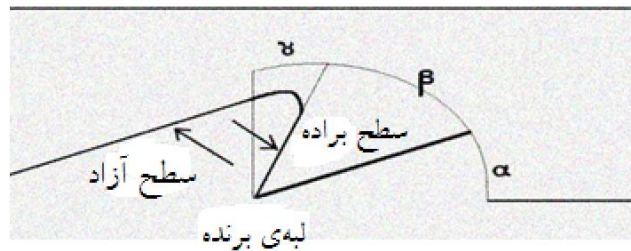
براده برداری از قطعه کار به وسیله تیغ اره به منظور بریدن یا ایجاد شیار در آن را اره کاری می گویند . در اثر حرکت دادن تیغ اره در جهت برش و فشار دادن آن بر روی قطعه ، دندان‌های اره در قطعه کار وارد می شود و در هر حرکت مقداری براده می گیرد . براده ها در بین دندان‌های اره قرار می گیرند و از محل شکاف جای اره به خارج می ریزد .



نکته : حرکت برش و فشار باید با هم انجام شود ، براده برداری در اره کاری در حرکت رفت صورت می گیرد و در حرکت برگشت برش انجام نمی شود .



برای ایجاد لبه برنده باید سه زاویه زیر در دندان‌های تیغه ایجاد شود .



زاویه‌ی آزاد  $\alpha$  : زاویه بین سطح آزادگوه و سطح براده برداری شده را زاویه آزاد می‌نامند . وجود این زاویه برای درگیر شدن ابزار با کار لازم است و سطح اصطکاک را نیز تقلیل می‌دهد .

زاویه‌ی گوه  $\beta$  : زاویه بین دو سطح گوه را زاویه گوه ، و محل برخورد آنها را لبه برنده می‌گویند . زاویه گوه برای تیغه‌اره های دستی که برای بریدن فلزات از آنها استفاده می‌شود ۵۰ درجه است .

زاویه‌ی براده  $\gamma$  : زاویه محصور بین سطح براده گوه ( سطحی که براده روی آن حرکت می‌کند ) و صفحه عمود بر سطح براده برداری شده قطعه کار را زاویه براده می‌نامند ، این زاویه به جنس قطعه کار بستگی دارد .

$$\alpha + \beta + \gamma = 90$$

$$\alpha + \beta = \text{زاویه برش}$$

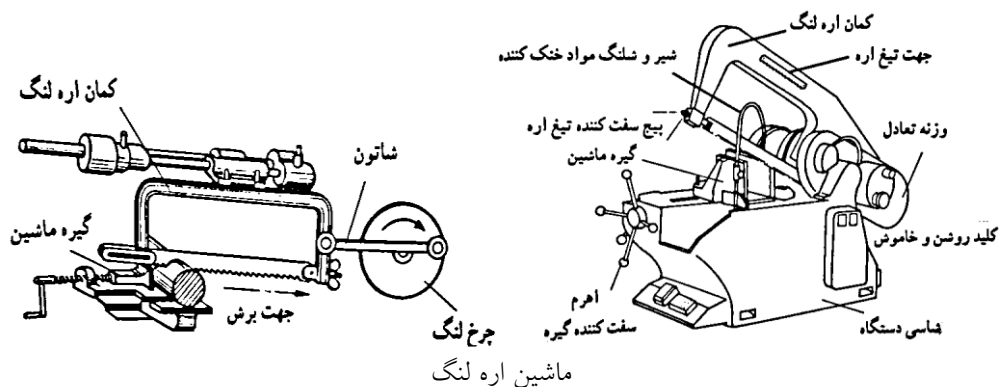
گام دندان : فاصله رأس یک دندان تا رأس دندان بعدی را گام دندان می‌گویند .

### مشخصات تیغه‌اره

تیغه‌اره‌ها را با طول های ۳۰ ، ۲۵ و ۲۰ سانتی‌متری و عرض ۱/۲ تا ۱/۶ سانتی‌متری و ضخامت ۰/۶ تا ۰/۸ میلی‌متر می‌سازند . تعداد دندان‌های تیغه‌اره‌ها را در طول یک اینچ تعیین می‌کنند که بین ۱۴ تا ۳۲ دندان است که بر حسب کاربرد تیغه‌اره استفاده می‌شوند . انواع تیغه‌اره و کاربرد هر یک در جدول زیر آمده است .

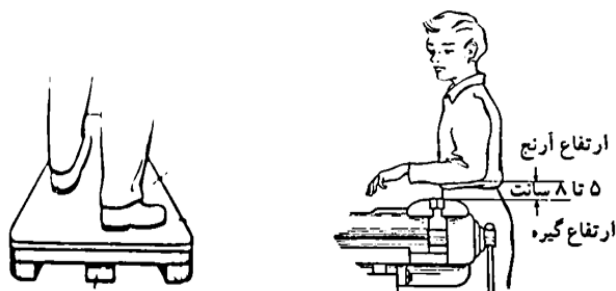
نوع دندان	تعداد دندان در 2/5 cm	کاربرد
ظریف	28 تا 32	فلزات سخت ورق و لوله های نازک
متوسط	24 تا 26	فولاد و چدن
درشت	18 تا 22	فولاد ساختمانی و چدن خاکستری
خیلی درشت	14 تا 16	مواد نرم مانند مس و آلومینیوم

از کمان‌اره و ماشین‌های مختلفی برای ااره‌کاری استفاده می‌شود که نمونه‌هایی از آنها عبارتند از ماشین‌اره آهن بر موتور دار (اره لنگ) ، ماشین‌اره نواری ، ماشین‌اره گرد ، ماشین‌اره اصطکاکی و ... که در زیر ماشین‌اره لنگ را مشاهده می‌کنید .

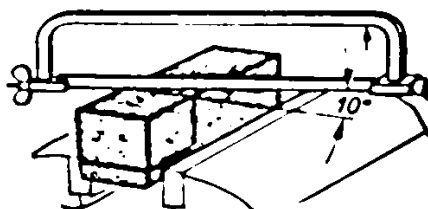


در هنگام اره کاری باید نکات زیر رعایت شود .

- ۱ - قبل از شروع به کار باید مسیر اره کاری را خط کشی کرد .
- ۲ - تیغه اره سالم را در کمان سالمی طوری قرار داده تا جهت دندان رو به جلو باشد .
- ۳ - با توجه به قد خود باید از میز کار با ارتفاع مناسب استفاده کرد ، مناسبترین ارتفاع ، ارتفاعی است که وقتی کنار میز ایستیم سطح گیره ۵ تا ۸ سانتی متر پایین تر از آرنج قرارگیرد ، از آنجایی که معمولاً ارتفاع میز کار حدود ۸۵ cm ثابت است ، افراد با قد کوتاه می توانند از زیر پایی استفاده کنند .



- ۴ - تیغه اره را نزدیک محل برش به گیره ببندید تا در موقع کار حالت ارتعاشی نداشته باشد، سر و صدا نکند و تیغه نشکند .
- ۵ - نسبت به قطعه کار در وضعیت مناسبی بایستید تا بتوانید قدرت برش مناسب کار را تنظیم کرد .
- ۶ - توسط اره یا سوهان سه گوش شیار راهنمایی بر روی قطعه کار ایجاد کنید .
- ۷ - اره را به طور مستقیم هدایت کنید و از تمام طول تیغه اره استفاده کنید .
- ۸ - در موقع شروع به اره کاری ، تیغه اره را حدود ۱۰ درجه مایل به سطح کار قرار داده و با فشار کم و کورس کوتاه شروع به کار نمائید، در برخی کتاب ها زاویه اره نسبت به کار ۳۰ درجه در نظر گرفته شده است .



- ۹ - برای جلوگیری از گرم شدن تیغه اره عمل برش را با سرعت مناسبی انجام دهید، سرعت برش برای فلزات سخت کمتر و برای فلزات نرم بیشتر است .
- ۱۰ - برای خنک کردن تیغه اره از مایع خنک کننده (آب و صابون) استفاده می شود و نباید از روغن استفاده کرد، زیرا نه تنها موجب لیز خوردن تیغه اره روی سطح کار می شود، بلکه براده های کوچک را جذب می کند و براده برداری را مشکل می کند .
- ۱۱ - استفاده از تیغه اره هایی که تعدادی از دندان های آن شکسته است، باعث شکسته شدن دندان های سالم بعدی می شود ، برای جلوگیری از این کار باید محدوده دندان های شکسته را به طور کمانی سنگ زده شود .
- ۱۲ - اگر طول مسیر برش بیشتر از ارتفاع کمان اره باشد با افقی بستن قطعه کار ، عمل برش را عمودی انجام دهید .

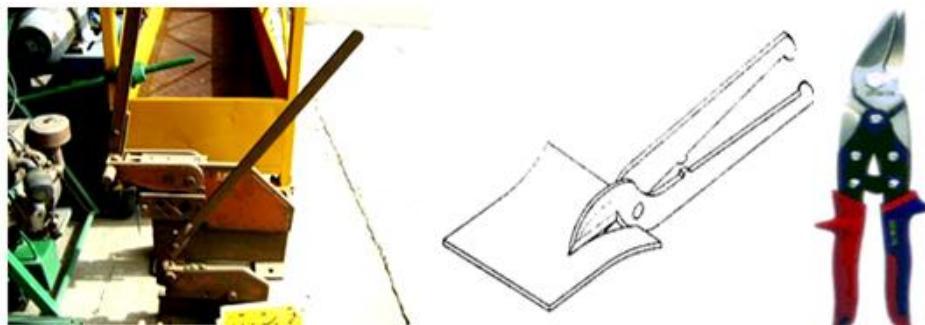
#### ورق کاری

برش کاری و فرم کاری انواع ورق ها به وسیله دست یا ماشین به طوری که منجر به تغییر فرم ورق شود را ورق کاری می گویند .



## برش کاری

بریدن، فرآیند جداسازی مواد بدون تولید براده است. این فرآیند معمولاً در ابتدای خط تولید به منظور اندازه کردن قطعات و آماده کردن آن‌ها برای سایر فرآیندهای فلزتراشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ابزارهای برش دارای انواع مختلفی است اما اصول آن‌ها یکسان است. کلیه این ابزارها دو تیغه برنده دارند که با حرکت این دو تیغه به سوی یکدیگر قطعه مورد نظر بریده می‌شود. برای بریدن ورق‌های نازک از قیچی دستی استفاده می‌شود که در انواع قیچی دستی ورق بر، ورق بر کج، ورق بر چپ‌بر و راست‌بر، طول‌بر، لوله‌بر و ... ساخته می‌شوند. قیچی‌های صنعتی نیز به سه دسته گیوتینی، سوسماری و گردان تقسیم می‌شوند و هر یک می‌توانند نیرو محرکه دستی، هیدرولیکی و یا نیوماتیکی داشته باشند.



## فرم کاری

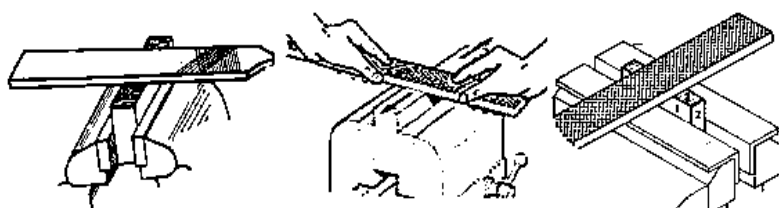
تغییر شکل دادن ورق‌ها به اشکال دلخواه به وسیله دست یا ماشین را فرم کاری می‌گویند، در حالت دستی بیشتر از گیره و چکش استفاده می‌شود و در حالت ماشینی از دستگاه نورد و ... استفاده می‌شود.



## سوهان کاری

سوهان کاری یکی از روش‌های براده برداری از سطوح مستوی، زاویه‌دار و منحنی می‌باشد که با دست (با سوهان) یا ماشین انجام گیرد. در سوهان کاری دستی، به وسیله حرکت سوهان بر روی قطعه کار به طرف جلو و فشردن سوهان روی قطعه کار دندان‌ها در قطعه فرو می‌رود و براده‌های کوچکی از آن برداشته می‌شود، باید حرکت برش و فشار برش با هم هماهنگ باشند و حرکت به عقب بدون فشار انجام گیرد.

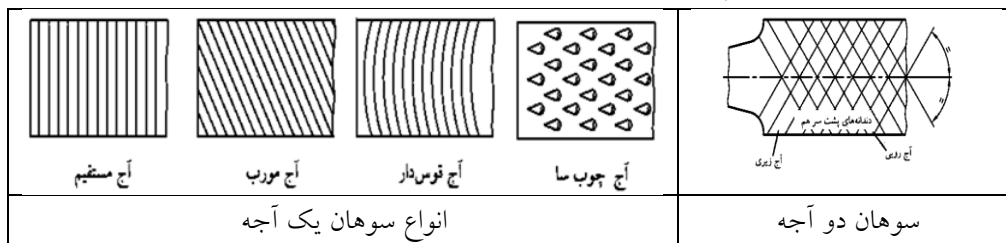
سوهان: سوهان قطعه‌ای است از جنس فولاد کربنی یا فولاد آلیاژی که عملیات حرارتی روی آن انجام می‌شود، پس از ایجاد دندان روی سوهان قسمت بدنه آن را سخت کرده ولی دنباله آن را برای جلوگیری از شکستن نرم باقی گذاشته‌اند.





انواع آج سوهان

آج سوهان را با دو روش فرز کاری و ضرب زنی روی سطح سوهان ایجاد می کنند . سوهان را در انواع یک آجه و دو آجه می سازند نوع یک آجه برای براده برداری مواد نرم مانند آلومینیوم، روی، قلع، مس، سرب و مواد مصنوعی استفاده می شود و از نوع دو آجه برای براده برداری با حجم بیشتر از فلزات سخت مانند فولاد و چدن به کار برده می شود .



تعداد آج موجود در یک سانتی متر از طول سوهان معرف ظرافت سوهان است و آنها را بر حسب ظریف یا خشن بودن سوهان ها استاندارد کرده اند و با شماره های ۰ تا ۴ مشخص می شوند .

علامت	0	1	2	3	4
نوع آج	خیلی خشن	خشن	متوسط	نرم	خیلی نرم

طول سوهان: اندازه‌ی سر سوهان تا شروع دنباله‌ی آن را طول یا اندازه اسمی سوهان می گویند . سوهان را با طول های ۸ ، ۱۰ ، ۱۲/۵ ، ۱۶ ، ۲۰ ، ۲۵ ، ۳۱/۵ ، ۳۷/۵ و ۴۵ سانتی متری تولید می شوند .

انواع فرم سوهان : سوهان های دستی در اندازه های مختلف و در اشکال متفاوت می سازند که در زیر با برخی از انواع آنها آشنا می شویم .

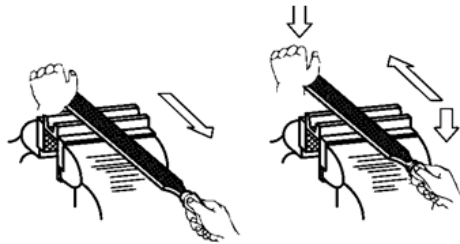
شکل مقطع	اسم سوهان
	سوهان چهار گوش
	سوهان گرد
	سوهان سه گوش
	سوهان دوزنقه ای
	سوهان لوزی
	سوهان نیم گرد
	سوهان کلردی
	سوهان تخت

### کاربرد انواع سوهان

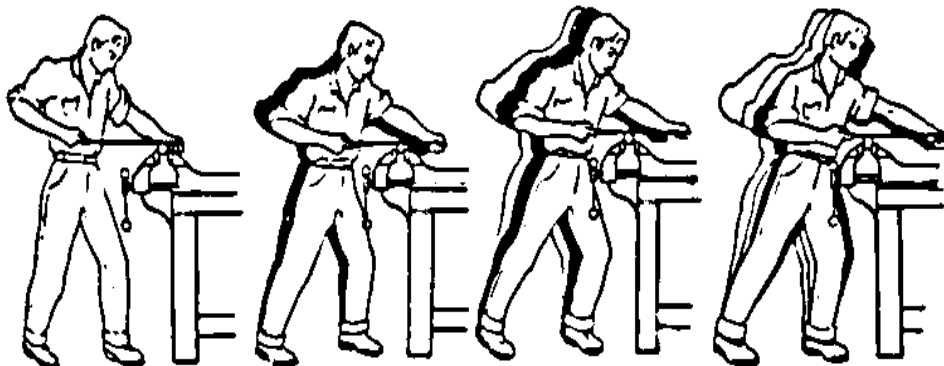
- سوهان تخت : بیشتر از سایر سوهان ها برای کارهای عمومی در فلزکاری استفاده می شود .
- سوهان نیم گرد : برای سوهان کاری داخل سوراخ ها و قوس دادن به قطعه کار به کار می رود .
- سوهان چهارگوش : برای چهار گوش کردن سوراخ ها و سوهان کاری شیارها بکار می رود .
- سوهان سه گوش : از سوهان سه گوش برای ایجاد شکاف ۶۰ درجه و سائیدن گوشه های داخلی قطعات بکار می رود .
- سوهان کاردی : برای در آوردن چاک ها و شیارهای زاویه دار استفاده می شود .
- سوهان خنجری : برای سوهان کاری جهت چاک های مخصوص و باریک استفاده می شود .
- سوهان آج درشت : برای سوهان زدن لاستیک و چوب از آج سوهان آج درشت استفاده می شود .

### در هنگام سوهان کاری باید موارد زیر را رعایت کرد

- ۱ - ابتدا باید سوهان مناسب را از نظر فرم ، اندازه و شماره آج انتخاب کرد .
- ۲ - گیره مناسب با قد خود را انتخاب کنید و قطعه کار را داخل گیره قرار دهید .
- ۳ - دسته سوهان را در نرمی کف دست قرار دهید طوری که انگشت شست بالای آن قرار گیرد، برای هدایت بهتر و تأمین نیروی تعادلی حرکت سوهان از دست چپ و از دست راست برای تأمین نیرو رفت و برگشت استفاده نمایید .



- ۴ - در سوهان کاری بایستی حرکت برش در امتداد محور سوهان بوده و حرکت جانبی نداشته باشد ، در غیر این صورت سطح کار ناصاف و شیاردار خواهد بود .
- ۵ - برای سوهان کاری سطوح بزرگ از روش های صلیبی ، طولی و عرضی استفاده می شود .
- ۶ - برای سوهان کاری سطوح زاویه دار ، قطعه کار را در گیره کج قرار داده و مجموعه را در گیره موازی می بندیم .
- ۷ - برای اینکه امتداد حرکت سوهان در تمام طول آن در یک سطح باقی بماند ، لازم است که متناسب با حرکت دست از حرکت بدن خود نیز کمک بگیرید . در زیر نحوه ی حرکت بدن در حالت سوهان کاری آورده شده است .



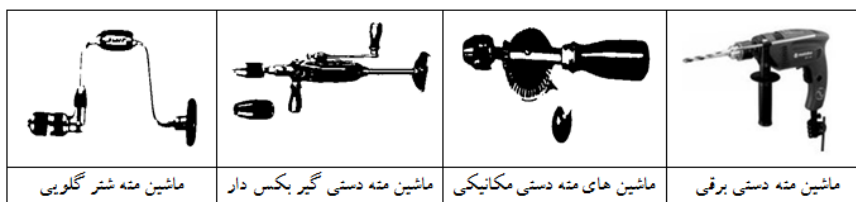
- ۸ - سوهان را باید مرتباً توسط برس ، سوهان پاک کن و یا ورق های آلومینیومی و برنجی و ... پاک کرد زیرا براده ها ممکن است در بین دندانها گیر کنند و باعث خط افتادن روی قطعه کار شود .

## سوراخ کاری

در صنعت ماشین‌ها و دستگاه‌ها را از قطعات متعددی می‌سازند و آن‌ها را با وسایل اتصال دهنده مانند پیچ و مهره، پین، پرچ و غیره روی هم سوار می‌کنند، لذا لازم است در داخل قطعات سوراخ‌هایی ایجاد شود. سوراخ‌هایی که مقطع دایره‌ای دارند با روش براده برداری به وسیله مته ایجاد می‌گردند، این عمل را سوراخ کاری می‌نامند. عمل سوراخکاری به وسیله حرکت توأم دورانی (حرکت اصلی) و حرکت پیشروی مته انجام می‌گیرد.

### انواع ماشین‌های مته

- ۱- ماشین‌های مته دستی مکانیکی: ماشین‌های مته دستی وسایلی هستند که حرکت آنها توسط نیروی ماهیچه انسان تامین می‌شود که به وسیله دنده‌های مخروطی به محور دستگاه منتقل می‌گردد. کاربرد این ماشین‌ها برای مکان‌هایی است که یا برق موجود نباشد یا نتوان از نیروی برق استفاده کرد.
- ۲- ماشین‌های مته دستی گیربکس دار: این ماشین‌ها دارای گیربکس کوچکی است که به وسیله آن تعداد دور سه نظام نسبت به دور اهرم چند برابر می‌شود.
- ۳- ماشین‌های مته دستی شترگویی: کاربرد این ماشین در کارهای چوبی می‌باشد و مته‌های آن معمولاً از نوع برگی است.
- ۴- ماشین‌های مته دستی برقی: ماشین‌های مته دستی برقی در انواع کوچک و بزرگ و با تعداد دور متفاوت و در نوع ساده و چکشی ساخته می‌شود. مته الکتریکی دستی در کارگاه‌های صنعتی و منازل به وفور استفاده می‌شود.



- ۵- ماشین‌های مته صنعتی: این ماشین‌ها کاربرد‌های صنعتی دارند و در انواع رومیزی، نیمه ستونی (گیربکس دار)، ستونی و رادیال ساخته می‌شوند.



### مته

مته ابزاری است که برای ایجاد سوراخ در قطعات بکار می‌رود و در دو شکل دنباله استوانه و دنباله مخروطی ساخته می‌شوند، جنس مته از فولاد ابزار سازی غیر آلیاژی **WS** برای سوراخ کاری مس و آلومینیوم، یا فولاد ابزار سازی آلیاژی **HSS** برای سوراخ کاری فولاد نرم و چدن است. برای براده برداری از فولاد‌های سخت لبه برنده آنها را از فلزات سخت (الماسه **HM**) انتخاب کرده و به سر مته‌ای که از فولاد معمولی ساخته شده است جوش می‌دهند.

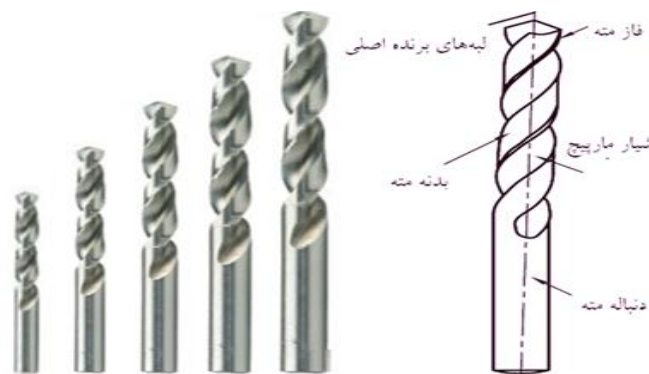
## انواع مته ها

مته مرغک : برای اینکه محل سوراخ کاری کاملاً مشخص و نوک مته دقیقاً در مرکز سوراخ قرار گیرد ، این نقطه قبلاً توسط مته مرغک سوراخ می شود، کاربرد مته مرغک بیشتر در تراشکاری می باشد . زاویه نوک مته مرغک ۱۲۰ درجه و زاویه انتهای آن ها ۶۰ درجه است.

مته مارپیچ بلند یا ساق مخروطی : این نوع مته ها را معمولاً بلندتر از حد معمول می سازند و برای سوراخ کاری با عمق زیاد بکار می رود . باید توجه کرد که در موقع کار کردن باید فشار زیاد به آن وارد نشود .

مته مارپیچ پله دار : برای اینکه سوراخ کاری به طور مستقیم و بدون عملیات قبلی انجام گردد از این مته ها استفاده می شود و نیز برای خزینه زدن در سوراخ مورد استفاده قرار می گیرد .

مته مارپیچ ساق مخروطی : این نوع مته ها در داخل دارای کانالی است که برای جلوگیری از گرم شدن مته مایع خنک کننده در آن جریان می یابد .

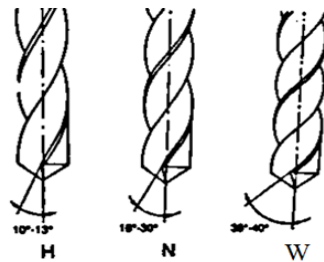
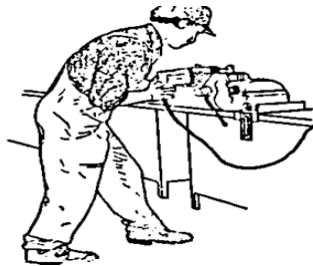


**تیپ مته :** مته ها را برای سوراخ کاری مواد مختلف در سه تیپ با زاویه پیشش متفاوت می سازند .

**تیپ H :** تیپ H دارای زاویه مارپیچ کم ( ۱۰ تا ۱۳ درجه ) است و برای سوراخ کاری مواد سخت مانند فولاد سخت ، برنز و برنج به کار می رود .

**تیپ N :** تیپ N دارای زاویه مارپیچ متوسط ( ۱۶ تا ۳۰ درجه ) است و برای سوراخ کاری مواد با درجه سختی متوسط مانند فولاد نرم ، فولاد ریخته و چدن به کار می رود .

**تیپ W :** تیپ W دارای زاویه مارپیچ زیاد ( ۳۵ تا ۴۰ درجه ) است و برای مواد نرم مانند مس و آلومینیوم به کار می رود .



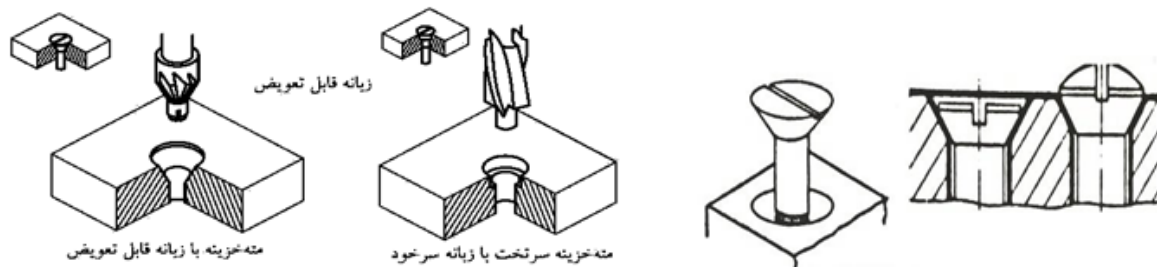
حرکت دورانی و پیشروی مته

حرکت دورانی : حرکت دورانی که حرکت اصلی مته است توسط الکتروموتور ایجاد می شود و به وسیله ی چرخ دنده و تسمه به محور ماشین منتقل می شود و موجب چرخش مته می شود .

حرکت پیشروی : برای عمل سوراخ کاری لازم است که مته ضمن حرکت دورانی به سمت قطعه کار نیز حرکت پیشروی داشته باشد، برای این منظور در بعضی از ماشین ها قطعه کار به سمت مته و در برخی دیگر مته به سمت قطعه کار حرکت داده می شود .

### خزینه کاری

یکی دیگر از کارهای براده برداری خزینه کاری است، منظور از خزینه کاری پلیسه گیری از لبه سوراخ ها ، صاف کردن و جاسازی تکیه گاه سر پیچ ها و میخ پرچ ها ، پخ کردن سر سوراخ مهره ها و ... می باشد . جنس مته خزینه از فولاد ابزار سازی و یا فولاد آلیاژی است و آنها را به فرم های مته خزینه تخت و مته خزینه زاویه دار می سازند .



پیچ و مهره : پیچ قطعه ای به شکل استوانه است که شیارهای مارپیچی با مقطع هندسی (مثلاً مثلث) در سطح خارجی آن ایجاد می شود، اگر این شیارها در سطح داخلی ایجاد شود مهره نامیده می شود، پیچ توسط حدیده و مهره توسط قلاویز ساخته می شود .

### حدیده کاری

حدیده ابزارهایی از جنس فولاد کربنی یا آلیاژی هستند که به منظور براده برداری برای ساخت پیچ ها به وسیله دست یا ماشین بکار می روند، حدیده ها را می توان به مهره هایی تشبیه کرد که در کنار دندانه های آن شیارهایی برای خروج براده و لبه های تیزی برای براده برداری ایجاد شده است .




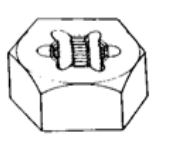
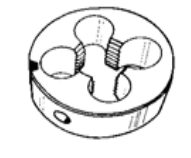
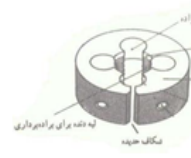
### انواع حدیده

حدیده درزدار یک پارچه : این حدیده برای مواد سخت مناسب است و می توان به وسیله آن پیچ بری را در دو مرحله انجام داد . در مرحله اول خشن کاری بدون سفت کردن پیچ های مربوط به شیار انجام می شود ، و در مرحله دوم با بستن پیچ های شیار حدیده شکل نهایی پیچ بری ایجاد می شود .

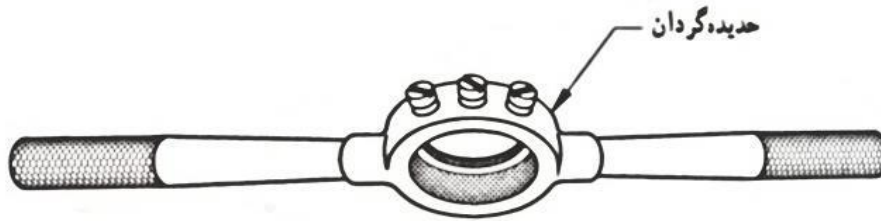
حدیده یک پارچه بدون درز : با این نوع حدیده پیچ بری در یک مرحله انجام می شود .

حدیده شش گوش : از این حدیده برای تمیز کردن پیچ هایی که دندانه آن ها صدمه دیده استفاده می شود .

حدیده چند پارچه : چون حجم براده در پیچ های بزرگتر بیشتر است آن ها را در دو مرحله براده برداری می کنند ، این نوع حدید در حدیده گردان قابل تنظیم نصب می شود .

			
حدیده چند پارچه	حدیده شش گوش	حدیده یکپارچه بدون درز	حدیده درزدار یکپارچه

حدیده گردان : حدیده گردان برای گرفتن حدیده استفاده می شود و در شماره های مختلف موجود می باشد .



با استفاده از جدول زیر می توان قطر مته را برای پیچ های میلی متری بدست آورد .

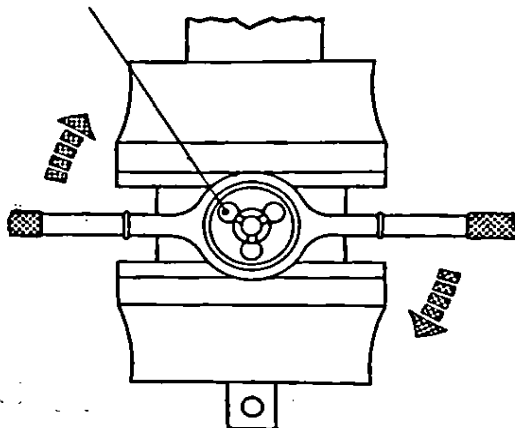
قطر پیچ mm	قطر مته mm	قطر پیچ mm	قطر مته mm	قطر پیچ mm	قطر مته mm
M 2	1.6	M 8	6.8	M 20	17.5
M 2.6	2.1	M 10	8.5	M 22	19.5
M 3	2.5	M 12	10.2	M 14	21
M 4	3.2	M 14	12		
M 5	4.2	M 16	14		
M 6	5	M 18	15.5		

مثال - جهت ساختن مهره برای پیچ M10 چه مته ای لازم است ؟

مته ۸/۵ میلی متری

#### دستورالعمل حدیده کاری

- ۱ - حدیده مورد نظر را انتخاب و در حدیده گردان قرار دهید و پیچ های مربوطه را سفت کنید .
- ۲ - قطعه کار آماده ( میله پیچ ) را بطور عمودی به گیره ببندید و آن را سفت کنید .
- ۳ - حدیده گردان را بطور افقی و با زاویه ۹۰ درجه نسبت به قطعه کار قرار دهید ، در غیر این صورت دنده های پیچ کج خواهد شد .
- ۴ - حدیده گردان را به سمت پایین فشار دهید و در جهت عقربه های ساعت بچرخانید تا حدیده جا بیفتد و شروع به براده برداری کند .
- ۵ - پس از حدود دو دور گردش ، حدیده گردان را به اندازه نصف دور در جهت عکس عقربه های ساعت بچرخانید و دوباره در جهت عقربه های ساعت آن را به گردش در آورید .
- ۶ - پس از انجام متناوب این کار پیچ بری به پایان می رسد . در ضمن کار باید حدیده روغن کاری شود .



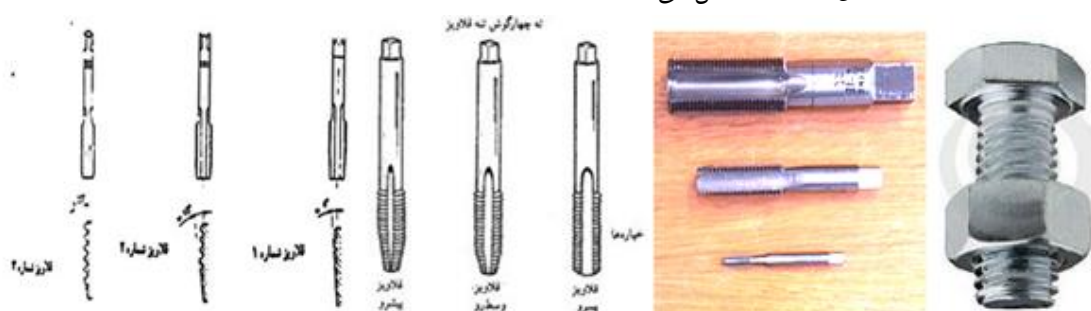
### قلاویز

قلاویز از ابزارهای براده برداری است و برای ساختن مهره با دست یا ماشین به کار می رود. قلاویز در دو سیستم میلی متری و اینچی و در دو نوع دستی و ماشینی از فولاد کربنی یا آلیاژی ساخته می شود. قلاویز دستی در سه شماره به ترتیب زیر ساخته می شود تا نیروی برش کم شود و قلاویز نشکند.

۱- قلاویز پیش رو: شیب لبه های برنده این قلاویز ۴ درجه است و با یک خط شناسایی می شود. حجم براده برداری در قلاویز پیش رو ۵۵٪ می باشد.

۲- قلاویز میان رو: شیب لبه های برنده این قلاویز ۱۰ درجه است و با دو خط شناسایی می شود. حجم براده برداری آن ها ۲۵٪ است.

۳- قلاویز پس رو: شیب لبه های برنده این قلاویز ۲۰ درجه است و با سه خط یا بدون خط شناسایی می شود. حجم براده برداری آن ها ۲۰٪ است و عمق دندان را کامل می کند.



### انواع قلاویز

قلاویز میلی متری: قطر خارجی و گام دنده (فاصله یک دنده تا دنده مجاور) این قلاویزها بر حسب میلی متر مشخص و روی ساق آن حک می شود.

قلاویز اینچی: روی ساق قلاویز اینچی قطر خارجی بر حسب اینچ و تعداد دندانها در هر اینچ حک می شود.

مثال - روی ساق قلاویزی  $10 \times 1/5 \text{ mm}$  حک شده است، مفهوم آن چیست؟

$10 \text{ mm}$  به معنی قلاویز میلی متری، ۱۰ معرف قطر خارجی و  $1/5$  گام دنده قلاویز را نشان می دهد.

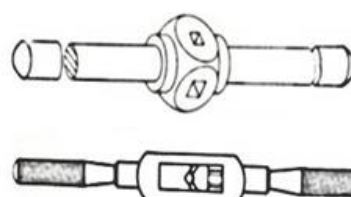
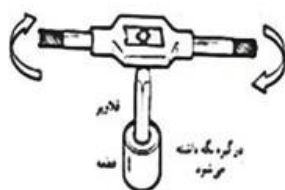
مثال - روی ساق یک قلاویز حروف و اعداد  $10 \times 1/5 \text{ RM}$  حک شده است. مفهوم آن چیست؟

قلاویز میلی متری با قطر خارجی ۱۰ میلی متر و گام ۱.۷۵ میلی متری و به صورت راستگرد می باشد.

نکته: برای خارج کردن پیچ های شکسته از قلاویز چپ گرد استفاده می شود.

### قلاویز گردان

از این ابزار برای گرفتن قلاویز استفاده می شود، قلاویز گردان را بر حسب کاربرد و نسبت به اندازه ی قلاویزها در چند شماره و به فرم های مختلفی می سازند. قلاویز را از قسمت چهار گوش انتهایی به قلاویز گردان می بندند و آن را محکم و آماده به کار می کنند.



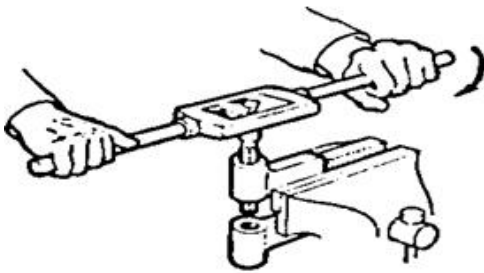


## دستورالعمل قلاویز کاری

- ۱ - قطعه‌ی سوراخ کاری شده را به گیره ببندید و سفت کنید .
- ۲ - از گونیا بودن قلاویز اطمینان پیدا کنید و سپس قلاویز را بین فک های قلاویز گردان قرار داده و محکم کنید.
- ۳ - قلاویز شماره یک را وارد سوراخ کنید و با فشار کم در جهت عقربه های ساعت بچرخانید و در این حالت آن را نسبت به سطح کار عمود کنید .
- ۴ - قلاویز را حدود دو دور در جهت عقربه های ساعت چرخانده و در حدود نیم دور در جهت عکس حرکت عقربه های ساعت بچرخانید ، این کار را ادامه دهید تا کار قلاویز شماره یک به پایان برسد .
- ۵ - قلاویز دوم را به ترتیب بالا در سوراخ وارد کنید و به وسیله قلاویز سوم ساخت مهره را تمام کنید .

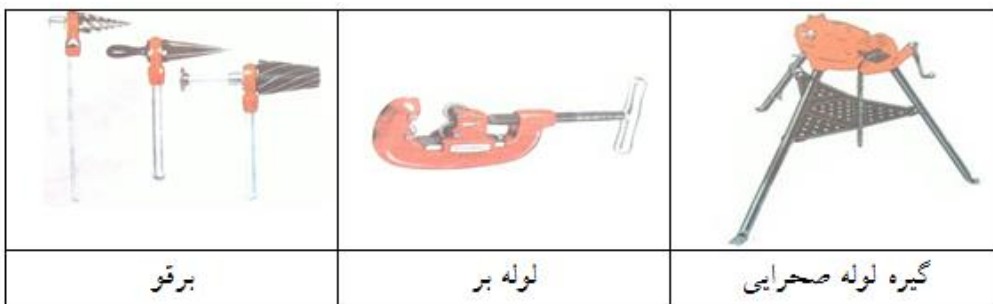
## برقو کاری

برای به اندازه رساندن دقیق قطر سوراخ ها و پرداخت جدار داخلی آن ها از برقو استفاده می شود . برقوها از ابزارهای براده برداری دقیقی هستند که از جنس فولاد کربنی و یا آلیاژی در دو نوع دستی و ماشینی ساخته می شود . برقوهای دستی به وسیله قلاویز گردان و توسط دست به گردش در می آید و براده های ظریف از جداره داخلی سوراخ ها جدا می کند . برقوهای ماشینی به ماشین های مته ، فرز و تراش بسته می شود و با دور مناسب به گردش در می آید با پیشروی توسط دست و یا به طور اتوماتیک جدار داخلی سوراخ ها را پرداخت می کند و به اندازه می رساند . برقو در انواع دستی ، ماشینی ، پوسته ای ، انبساطی و قابل تنظیم ساخته می شوند .



گیره لوله صحرايي : لوله های مورد استفاده در برق را درون این گیره می بندند و عملیات برشکاری ، سوهانکاری ، حدیده کاری و ... را روی آن انجام می دهند . این نوع گیره دارای دو فک ثابت و متحرک است که آج و انحنای دارند ، گیره بر روی یک سه پایه تاشو قرار می گیرد و به صورت سیار مورد استفاده قرار می گیرد .

لوله بر : برای بریدن لوله ، از لوله بر استفاده می شود که دارای یک یا چند تیغه فولادی دایره ای شکل درون فک های آن است ، لوله را درون گیره لوله قرار داده و دهانه لوله را با چرخاندن دسته جمع می کنیم و پس از هر دور کمی محکم می کنیم تا لوله بریده شود .





لوله خم کن : لوله خم کن ها دارای دو نوع دستی و هیدرولیکی است که از دو قسمت ثابت و متحرک تشکیل شده است و به منظور خم کردن لوله های فولادی مورد استفاده قرار می گیرد .  
 آچار شلاق : به منظور باز و بسته کردن لوله ها از آچار شلاقی استفاده می شود که دارای یک فک ثابت و یک فک متحرک است ، فکه متحرک توسط مهره ای قابل تنظیم است .  
 آچار لوله گیر : برای باز و بسته کردن لوله ها از آچار لوله گیر استفاده می شود، این آچار از یک فک ثابت که به دسته و یک فک متحرک که با مهره تنظیم به دسته متصل می شود تشکیل شده است .  
 آچار کلاغی : این آچار شبیه انبردست معمولی است که دارای دسته های بلندتری است و قابل تنظیم است .



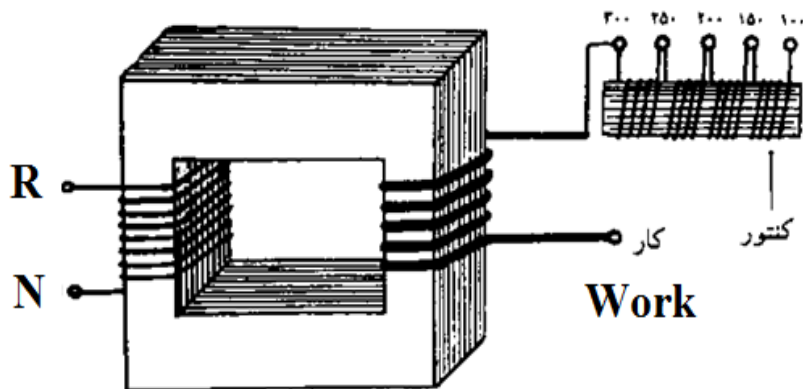
### انواع اتصالات

**اتصالات موقت:** به اتصالاتی گفته می شود که جداسازی آن ها بدون آسیب دیدن قطعات پایه و اتصال دهنده صورت می گیرد، این عمل با توجه به نیاز ممکن است به دفعات انجام شود و در هر دفعه قطعات اولیه با همان اتصال دهنده های قبلی به هم وصل می شوند . پیچ و مهره، خار، پین، گوه و ... نمونه هایی از اتصالات موقت هستند .

**اتصالات دائم:** به اتصالاتی که به راحتی جدا نمی شوند . در هنگام جداسازی وسیله ای اتصال و قطعات متصل شده آسیب می بینند . جوشکاری و لحیم کاری نمونه هایی از اتصالات دائم هستند . لحیم کاری را در فصل سیستم های روشنایی برق ساختمان تشریح شده است و در زیر به بررسی جوشکاری می پردازیم .

معرفی ابزار و وسایل مورد استفاده در جوشکاری

۱- ترانسفورماتور جوشکاری : ترانس یکی از انواع ماشین های الکتریکی است که در فصل ترانسفورماتور با اصول و نحوه-ی عملکرد آن آشنا می شوید . ترانسفورماتور جوشکاری ولتاژ ۲۲۰ ولت شهر را به ولتاژ کمتری ( زیر ۵۰ ولت ) با چند رنج جریان در خروجی تبدیل می کند . در حقیقت ترانسفورماتور جوشکاری یک مبدل است که ولتاژ را کاهش و شدت جریان را افزایش می دهد . در شکل زیر ساختمان داخلی ترانسفورماتور جوشکاری نشان داده شده است که در آن سیم پیچ اولیه به برق شهر وصل می شود و سیم پیچ ثانویه ی آن که دارای یک سر به نام کار (Work) و چند سر دیگر که هر کدام یک جریان مورد نیاز را در اختیار ما قرار می دهد، برای ایجاد قوس الکتریکی بین قطعه کار و الکتروود استفاده می شود .



۲- گیره‌ی اتصال: گیره‌ی اتصال به میز کار یا قطعه کار وصل می‌شود و برای ایجاد ارتباط الکتریکی از طریق کابل به ترمینال کار ترانس جوشکاری وصل می‌شود.



۳- انبر جوشکاری یا الکتروود گیر: قسمت خارجی انبر عایق حرارتی و الکتریکی است و قسمت داخلی آن از جنس مس و هادی است که الکتروود داخل آن قرار می‌گیرد.



۴- الکتروود جوشکاری: برای ایجاد قوس الکتریکی از الکتروود استفاده می‌شود. الکتروود ضمن ایجاد قوس، خود نیز ذوب شده و موجب اتصال قطعات به هم می‌شود. در واقع الکتروود، خروجی ترانس جوش را اتصال کوتاه کرده و به دلیل جریان زیاد ذوب می‌شود. الکتروودها در طول و قطرهای مختلف و جنس‌های متفاوت ساخته می‌شوند.

۵- کابل‌های جوشکاری: برای ایجاد ارتباط الکتریکی بین قطعه کار و ترمینال **Work** و بین الکتروود و ترمینال‌های جریان از کابل‌های رشته‌ای مسی با عایق لاستیکی استفاده می‌شود.

۶- وسایل حفاظتی: در هنگام جوشکاری باید از وسایل حفاظتی چون ماسک، کفش مناسب، لباس کار و ... استفاده شود.



## فصل سوم : مفاهیم پایه ای الکتریسیته

### مقدمه

انرژی الکتریکی در زندگی امروزی نقش اساسی را بازی می کند و تصور زندگی بدون برق محال است پیشرفت ها و آسایشاتی که در چند دهه اخیر نصیب انسان شده بی شک مدیون انرژی الکتریکی است . کاربرد انرژی الکتریکی را در همه جا می توان دید پس شناخت اصول و مبانی برق برای هر فردی می تواند دریچه ای نو به سوی دریایی از علم بگشاید و او را به سوی آینده ای روشن سوق دهد .

### تاریخچه

اگر چه امروزه انرژی الکتریکی سراسر زندگی انسان ها را تحت تاثیر خود قرار داده است، اما سابقه و قدمت زیادی ندارد . یونانی های باستان ۲۰۰۰ سال پیش مشاهده کردند که وقتی کهربا را با جسم دیگر مالش می دهند با نیروی مرموزی باردار می - شود که می تواند اجسامی مانند کاه و برگ خشک را جذب کند . الکتریسیته از الکترون گرفته شده است که نام یونانی کهربا است . در سال ۵۸۵ میلادی دانشمند یونانی به نام تالس برای نخستین بار در نوشته هایش خاصیت کهربا را معرفی کرده است .

در سال ۱۶۰۰ میلادی ویلیام گیلبرت نیروی الکتریسیته را نام گذاری کرد ، اجسامی که مانند کهربا عمل می کردند را الکتریک و اجسام دیگر را غیر الکتریک نامید . در سال ۱۶۶۳ اتوفون گوریکه دستگاه تولید بارهای الکتریکی و در سال ۱۸۰۰ الکساندر ولتا پیل الکتریکی را ساخت، در سال ۱۸۲۶ سیمون اهم قانون اهم، و در سال ۱۸۱۹ هانس کریستین ارستد میدان مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی را کشف کرد . در سال ۱۸۳۱ مایکل فارادی دستگاهی ساخت که از حرکت دورانی بار الکتریکی تولید می کرد . در سال ۱۸۴۰ ژول قوانین گرمای ژول را فرموله کرد و در سال ۱۸۶۷ زیمنس نخستین مولد برق dc و در سال ۱۸۶۸ نخستین موتور dc را ساخت . در سال ۱۸۷۹ ادیسون لامپ را اختراع کرد و در سال ۱۸۸۲ نخستین مؤسسه ی تولید برق را برای تأمین روشنایی یکی از خیابان های شهر نیویورک تأسیس کرد . در سال ۱۸۸۵ ترانسفورماتور توسط بلاتی، و در سال ۱۸۸۹ ژنراتور و موتور سه فاز توسط دوپروسکی ساخته شد . در سال ۱۸۸۵ توسط ناصرالدین شاه یک ژنراتور ۳ کیلو وات dc وارد ایران شد و حدود بیست سال بعد اولین مؤسسه ی تولید برق ایران در خیابان چراغ برق (امیرکبیر) برای تأمین روشنایی مورد بهره برداری قرار گرفت .

### ساختمان ماده

**تعریف ماده :** هر چیز را که بتوان دید، احساس کرد، یا به کار برد، ماده می گویند در واقع هر چیزی را که حجم و فضا را اشغال می کند ماده نام دارد که به سه صورت جامد، مایع، گاز، مانند چوب، آب و اکسیژن در طبیعت وجود دارند .

**عنصر :** تمام چیز هایی که در اطراف ما هستند از عنصر تشکیل شده اند عناصر اجزای تشکیل دهنده ماده اند ، بیش از ۱۰۰ نوع عنصر وجود دارد که ۹۲ عنصر به طور طبیعی وجود دارند و بقیه توسط انسان ساخته شده است .

**ترکیب :** عناصر با هم دیگر ترکیب می شوند و مواد جدیدی را به وجود می آورند که از نظر خواص به هیچ وجه مشابه عناصر نیستند، برای مثال آب یک ترکیب است که از دو عنصر هیدروژن و اکسیژن به وجود آمده است .

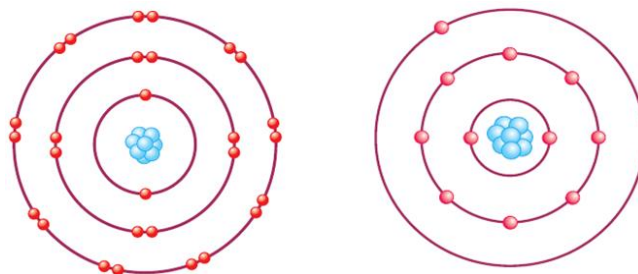


**مولکول** : کوچکترین جزء ترکیب است که می توان آن را به اجزای کوچکتر تقسیم کرد به طوری که خواص آن ترکیب را همچنان داشته باشد ، برای مثال اگر یک قطعه نمک خوراکی را مرتباً نصف کنیم، به طوری که تا حد ممکن کوچک شود . ولی هنوز خاصیت نمک را داشته باشد ، می توان گفت که به یک مولکول نمک رسیده ایم . چنانچه آن را دو باره نصف کنیم نمک به عناصر تشکیل دهنده اش تجزیه خواهد شد که خواص نمک را ندارند .

**اتم** : کوچکترین جز یک عنصر است که هنوز خواص آن را دارد ، مانند اتم هیدروژن و اکسیژن که از تجزیه مولکول آب به دست می آید .

### ساختمان اتم

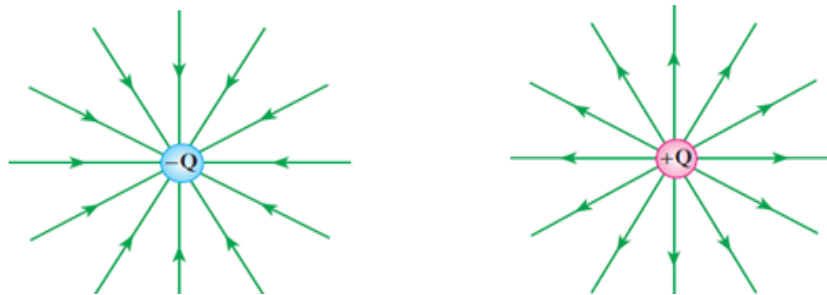
بر اساس آزمایشاتی که توسط دانشمندان در گذشته انجام شده است کشف شد که تمام مواد شامل قسمت های بنیادی بسیار ریزی به نام اتم هستند و این اتم ها شامل اجزای کوچکتری به نام ذره هستند. اتم دارای سه ذره ی پروتون با بار مثبت در هسته، نوترون با بار خنثی در هسته و الکترون با بار منفی که در اربیتالها یا مدارهایی به دور هسته گردش می کنند.



**هسته اتم** : قسمت مرکزی اتم ، هسته نام دارد که پروتون و نوترون درون آن قرار دارند.

**پروتون** : پروتون در هسته اتم قرار دارد و دارای بار الکتریکی مثبت  $1.6 \times 10^{-19}$  کولن است که دارای خطوط نیرویی است که به صورت شعاعی و مستقیم در تمام جهات از آن خارج می شود . طبق نظریه اتمی پروتون جز اصلی اتم به شمار می آید و جدا کردن آن از اتم بسیار مشکل است به همین دلیل در ایجاد جریان الکتریکی نقشی ندارد . تعداد پروتون های موجود در هسته باعث تفاوت دو عنصر می شود، برای مثال هیدروژن ۱، اکسیژن ۸، و مس ۲۹ پروتون دارد .

**الکترون** : الکترون ذراتی هستند که در مدارهایی به دور هسته اتم حرکت می کنند و دارای بار الکتریکی منفی  $1.6 \times 10^{-19}$  کولن است که دارای خطوط نیرویی است که به صورت شعاعی و در تمام جهات به آن وارد می شود ، قطر الکترون سه برابر قطر پروتون است ولی جرم آن ۱۸۴۰ برابر سبک تر است، الکترون ها با دریافت انرژی به راحتی از اتم جدا شده و به صورت الکترون آزاد در می آیند، به همین دلیل در ایجاد جریان الکتریکی نقش اصلی را ایفا می کند.

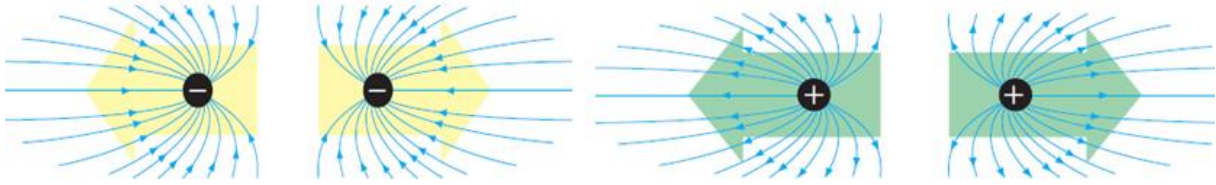


**نوترون** : نوترون با بار خنثی در هسته ی اتم قرار دارد .

عدد اتمی و جرمی : به تعداد پروتون ها عدد اتمی و به مجموع تعداد نوترون ها و پروتون های اتم، عدد جرمی می گویند .

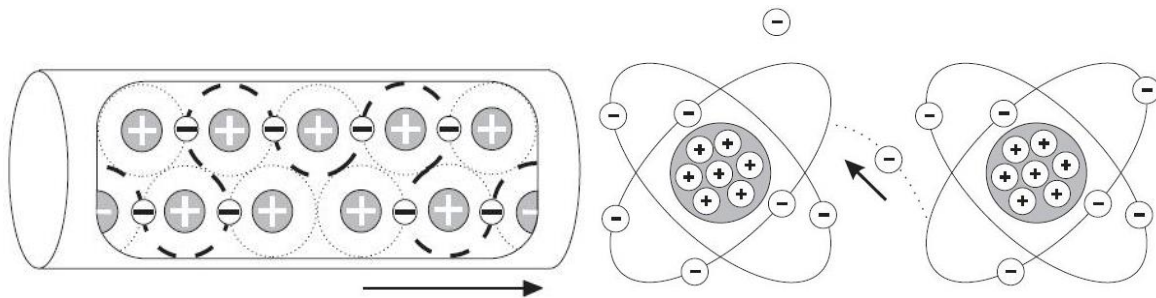
### اثر بارهای الکترواستاتیک برهم

به بارهای الکترون و پروتون بارهای الکترواستاتیک می‌گویند، بر اساس قانون بارهای الکتریکی ذراتی که بارهای همنام دارند، یکدیگر را دفع و ذراتی که بارهای مخالف دارند همدیگر را جذب می‌کنند، پس نیروی بین دو الکترون و دو پروتون از نوع دافعه، و نیروی بین یک الکترون با یک پروتون از نوع جاذبه است.



### اتم های بار دار

به طور طبیعی تعداد الکترون‌ها و تعداد پروتون‌ها در یک اتم با هم برابرند، بنابراین بارهای مساوی و مخالف مثبت و منفی آن‌ها خاصیت یکدیگر را خنثی می‌کنند و اتم را از نظر الکتریکی خنثی نگه می‌دارد. در یک اتم، پروتون‌ها به دلیل نزدیکی به نیروی جاذبه‌ای هسته به سختی از اتم جدا می‌شوند. اما با اعمال نیرو به الکترون‌ها می‌توان آنها را از اتم جدا کرد و به مدار اتم‌های مجاور انتقال داد. اگر اتمی تعدادی از الکترون‌های خود را از دست بدهد باعث می‌شود تعداد الکترون‌های آن از تعداد پروتون‌هایش کمتر شود و در مجموع دارای بار مثبت شود که در اصطلاح یون مثبت ایجاد می‌شود. اما اگر اتمی تعدادی الکترون از اتم‌های مجاور خود دریافت کند تعداد الکترون‌هایش بیشتر از تعداد پروتون‌هایش می‌شود و به صورت منفی باردار می‌شود و یون منفی ایجاد می‌کند.



### نکاتی مربوط به اتم

- الکترون‌ها با سرعت زیاد به دور هسته اتم در حال گردش می‌باشند، به همین دلیل نیروی گریز از مرکزشان زیاد است و میل به ترک مدار و جدا شدن از اتم را دارند، اگر نیرویی از بیرون به الکترون‌ها اعمال شود مدار خود را ترک می‌کند و به صورت الکترون آزاد در می‌آید.

- هر اتم دارای تعدادی لایه است (حد اکثر ۷ لایه) که الکترون‌ها در مسیر آن حرکت می‌کنند.

- در هر لایه تعدادی الکترون قرار می‌گیرند که از رابطه‌ی  $2n^2$  به دست می‌آید که  $n$  شماره لایه است. در لایه اول (K) دو الکترون، در لایه دوم (L) هشت الکترون، در لایه سوم (M) هجده الکترون و ... قرار می‌گیرد.

- آخرین لایه اتم را لایه والانس یا ظرفیت می‌گویند و الکترون‌های لایه آخر را الکترون والانس می‌نامند.

- هر چه فاصله الکترون‌ها از هسته بیشتر باشد نیروی اعمال شده از طرف هسته به الکترون‌ها کمتر است، بنابراین الکترون‌های لایه‌ی والانس که بیشترین فاصله را از هسته دارند کمترین نیرو نگهدارنده از جانب هسته به آنها اعمال می‌شود و به راحتی می‌توانند از مدار خود جدا شده و به صورت الکترون آزاد درآیند.

- اگرچه بار الکترون‌ها منفی و برابر همدیگر است، اما انرژی آن‌ها با هم برابر نیست، همانطور که گفته شد انرژی الکترون‌ها به فاصله تا هسته و تعداد آن‌ها در هر لایه بستگی دارد، به نحوی که هرچه تعداد الکترون‌های یک لایه کمتر باشد نیرویی که از بیرون به آن‌ها اعمال می‌شود بین تعداد کمتری از الکترون‌ها تقسیم شده، پس انرژی بیشتری به هر یک خواهد رسید.

### روش‌های باردار شدن اجسام

**یک - باردار شدن اجسام از طریق مالش:** اگر دو جسم را به هم مالش دهیم، الکترون‌ها از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شوند پس هر دو جسم از لحاظ الکتریکی باردار خواهند شد، جسمی که الکترون از دست داده دارای بار مثبت و جسمی که الکترون گرفته دارای بار منفی می‌شود. برای مثال در اثر مالش میله‌ی شیشه‌ای با ابریشم میله الکترون از دست می‌دهد و دارای بار مثبت می‌شود و ابریشم الکترون می‌گیرد و دارای بار منفی می‌شود.

**دو - بار دار کردن اجسام از طریق تماس:** اگر یک جسم باردار را با یک جسم خنثی در حالت تماس قرار دهیم، میان آنها الکترون مبادله می‌شود و بارهای مثبت و منفی ایجاد می‌شود. برای مثال در اثر تماس میله کائوچو با بار منفی با یک قطعه مس خنثی، الکترون‌های سطح میله‌ی کائوچویی به سطح میله‌ی مسی وارد می‌شود و آن را به صورت منفی باردار می‌کند.

**سه - بار دار کردن اجسام از طریق القا:** می‌توان یک جسم بی‌بار را در نزدیکی جسمی باردار قرار داد تا باردار شود بدون اینکه با هم تماسی داشته باشند. اگر یک میله‌ی کائوچویی با بار منفی را به یک میله‌ی آلومینیومی خیلی نزدیک کنیم، نیروی منفی میله‌ی کائوچویی الکترون‌های میله‌ی آلومینیومی را دفع می‌کند، در نتیجه یک سرمیله‌ی آلومینیومی دارای بار مثبت و سردیگر آن دارای بار منفی می‌شود.

### قانون کولن

این قانون در مورد جاذبه و دافعه الکترواستاتیکی بین دو بار الکتریکی که بتوان آن‌ها را در حکم یک نقطه فرض کرد یا دو کره فلزی باردار که بر روی پایه‌ی عایقی قرار گرفته اند صدق می‌کند. اگر دو بار الکتریکی  $q_1$  و  $q_2$  به فاصله  $d$  از هم قرار داشته باشند نیروی  $F$  را بر هم وارد می‌کنند که این نیرو طبق فرمول زیر با اندازه هر یک از بارها رابطه مستقیم و با مجذور فاصله بین آن‌ها رابطه عکس دارد.

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

در این رابطه

$F$ : نیروی بین دو بار الکتریکی بر حسب نیوتون (N).

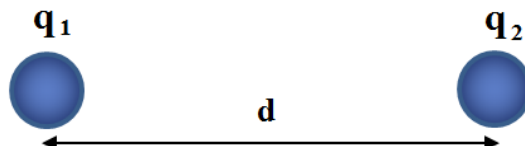
$K$ : ضریب ثابتی است که به واحد‌های انتخاب شده و جنس محیط بستگی دارد و مقدارش برابر است با:

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{d^2}$$

$\epsilon_0$ : ضریب گذرگهی خلاء برابر با  $10^{-12} \times 8/85$  است.

$q_1, q_2$ : بارهای الکتریکی بر حسب کولن (C).  $q = n \times e$ .

$d$ : فاصله بین دو بار بر حسب متر (m).





مثال - دو بار نقطه‌ای مثبت و مساوی، هر یک با اندازه ۳ میکروکولن به فاصله‌ی ۲ متر از هم قرار دارند، میزان نیرویی که بارها برهم وارد می‌کنند چند نیوتون است؟

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} = 9 \times 10^9 \frac{3 \times 10^{-6} \cdot 3 \times 10^{-6}}{2^2} = 20/25 \times 10^{-3} \text{ N}$$

مثال: بار الکتریکی  $2 \times 10^{-5}$  کولنی چه نیرویی بر بار الکتریکی  $30$  میکروکولنی وارد می‌کند اگر در فاصله‌ی  $2$  میلی‌متری از هم قرار گرفته باشند؟

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-5} \times 30 \times 10^{-6}}{(2 \times 10^{-3})^2} = 135 \times 10^4 \text{ (N)}$$

میدان الکتریکی

هر بار الکتریکی در فضای اطراف خود میدان الکتریکی ایجاد می‌کند، اگر یک بار الکتریکی مانند  $q_0$  را در این میدان قرار دهیم طبق قانون کولن بر آن نیرویی وارد می‌شود، طبق تعریف نیروی وارد بر یکای بار مثبت ( $q_0=1C$ ) را شدت میدان الکتریکی می‌گویند، اگر بر بار آزمون  $q_0$  نیروی  $F$  وارد شود میدان در آن نقطه از رابطه  $E = \frac{F}{q}$  محاسبه می‌گردد که یکای آن در SI، نیوتون بر کولن ( $\frac{N}{C}$ ) است. خطوط میدان الکتریکی هیچ‌گاه همدیگر را قطع نمی‌کنند زیرا میدان الکتریکی در هر نقطه از فضا تنها یک مقدار دارد. شدت میدان الکتریکی مانند نیرو کمیته برداری است که اندازه و راستا دارد، نیروی وارده بر بار مثبت هم جهت با جهت میدان و نیروی وارده بر بار منفی در خلاف جهت میدان است.

مثال - بار الکتریکی مثبتی با مقدار  $80$  میکروکولن وقتی در نقطه‌ای از یک میدان الکتریکی قرار گیرد نیرویی برابر  $40$  میلی نیوتون بر آن وارد می‌شود، شدت میدان در این نقطه چقدر است؟

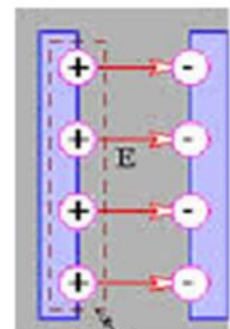
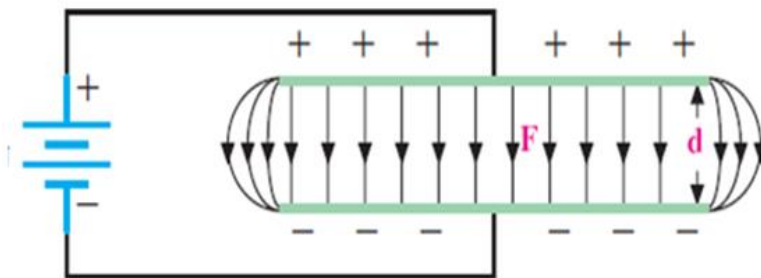
$$E = \frac{F}{q} = \frac{40 \times 10^{-3}}{80 \times 10^{-6}} = 0/5 \times 10^3 = 500 \frac{N}{C}$$

مثال - نیرویی که به بار الکتریکی  $10$  میکروکولنی در میدانی با شدت  $40000$  نیوتون بر کولن وارد می‌شود چقدر است؟

$$E = \frac{F}{q} \rightarrow F = E \times q = 4 \times 10^4 \times 10 \times 10^{-6} = 40 \times 10^{-2} = 0/4 \text{ N}$$

**میدان الکتریکی یکنواخت:** میدان الکتریکی یکنواخت میدانی است که در آن بردارهای شدت میدان در تمام نقاط مساوی، موازی و هم جهت هستند. برای ایجاد چنین میدانی می‌توان به دو صفحه موازی خازن که در فاصله‌ی  $d$  از هم قرار دارند ولتاژ مستقیم  $U$  متصل نمود تا بین دو صفحه خازن خطوط میدان مساوی، موازی و هم جهت ایجاد شود.

$$E = \frac{u}{d}$$



مثال - اگر به دو صفحه‌ی موازی که در فاصله‌ی ۲۰ میلی‌متری از هم قرار دارند اختلاف پتانسیل ۵۰ ولت اعمال کنیم، میدان ایجاد شده بین دو صفحه چند نیوتون بر کولن خواهد بود؟

$$E = \frac{u}{d} = \frac{50}{20 \times 10^{-3}} = 2500 \frac{V}{m}$$

مثال - شدت میدان الکتریکی بین دو صفحه‌ی خازنی که به فاصله‌ی ۱ سانتی متری از هم قرار دارند برابر یک کیلو ولت بر متر می‌باشد. اختلاف پتانسیل بین دو صفحه چند ولت است؟

$$E = \frac{u}{d} \rightarrow u = 1000 \times 0.1 = 100 \text{ V}$$

### دسته بندی مواد از لحاظ هدایت الکتریکی

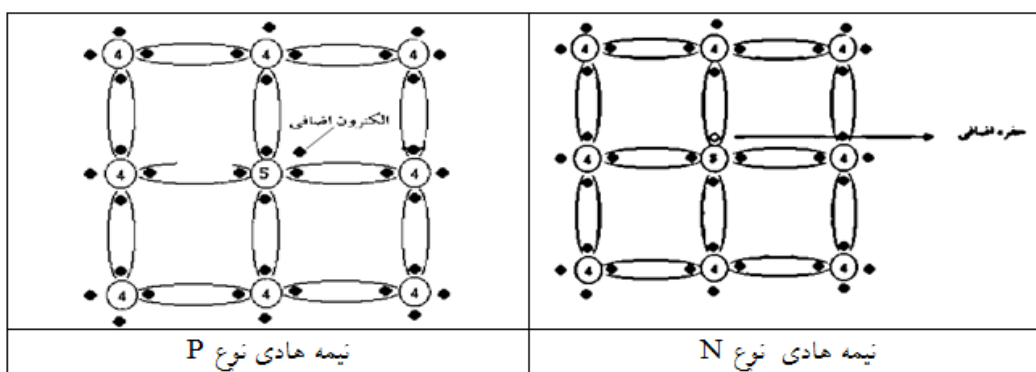
**یک - هادی ها :** اجسامی مانند مس و آلومینیوم که الکترون های آن‌ها به راحتی از هسته جدا می شوند و الکترون‌های آزاد زیادی تولید می کنند هادی یا رسانا می‌گویند . این فلزات در لایه والانس خود یک تا سه الکترون دارند و می توانند که جریان برق را به راحتی از خود عبور دهند .

**دو - عایق ها :** اجسامی که در لایه والانس خود ۵ ، ۶ ، ۷ و یا حداکثر ۸ الکترون دارند عایق یا نارسانا نامیده می شوند . آزاد کردن الکترون از مواد عایقی چون شیشه و پلاستیک بسیار مشکل است.

**سه - نیمه هادی ها :** نیمه هادی ها یا نیمه رساناها موادی هستند که در لایه والانس خود فقط ۴ الکترون دارند که در دمای صفر مطلق ( ۲۷۳- C ) عایق هستند ولی در دمای اتاق ( ۲۵ سانتی گراد ) به دلیل حرارت محیط تعدادی از الکترون های والانس آن آزاد می شوند و تقریباً هادی می شوند . از جمله نیمه هادی ها می توان به سیلیسیم ( سیلیکون ) و ژرمانیوم اشاره کرد که برای ساخت قطعاتی چون دیود، ترانزیستور، تریستور و... استفاده می شوند .

**نیمه هادی نوع N :** هرگاه یک عنصر پنج ظرفیتی که در لایه والانس خود ۵ الکترون دارند را به سیلیکون یا ژرمانیوم خالص مذاب که ۴ ظرفیتی است، اضافه کنیم پس از سرد شدن کریستالی به وجود می آید که فقط ۴ الکترون والانس در به وجود آوردن آن نقش دارند و یکی از الکترون‌ها اضافه است که در دمای اتاق می‌تواند حرکت کند و کریستال را هادی کند چنین کریستالی را نیمه هادی نوع N می‌گویند زیرا بارهای متحرک در آن الکترون‌ها با بار منفی هستند .

**نیمه هادی نوع P :** هرگاه یک عنصر سه ظرفیتی مانند ایندیم که در لایه‌ی والانس خود ۳ الکترون دارند را به سیلیکون یا ژرمانیوم خالص مذاب اضافه کنیم پس از سرد شدن کریستالی به وجود می‌آید که فقط ۳ الکترون والانس در به وجود آوردن کریستال نقش دارند و یک الکترون کم می‌آید که محل خالی این الکترون را حفره می‌نامند . در دمای اتاق بعضی از اتم‌ها با آزاد کردن الکترون حفره مجاور خود را پر می‌کنند ولی حفره جدیدی به وجود می‌آید این حفره که به ازای هر اتم یکی ایجاد می‌شود، کریستال را هادی می‌کند . چنین کریستالی را نیمه هادی نوع P می‌گویند .





## روش های تولید الکتريسيته

۱ - الکتريسيته‌ی حاصل از اصطکاک (Tribo electric): زمانی که دو جسم را به هم مالش می‌دهیم در محل مالش حرارت تولید می‌شود که باعث مبادله‌ی الکترون بین آن‌ها می‌شود. به این ترتیب بار الکتريکی به وجود می‌آید که الکتريسيته ساکن نام دارد در واقع الکتريسيته ساکن هنگامی به وجود می‌آید که جسمی الکترون هایش را به جسم دیگر منتقل کند البته چگونگی این انتقال به درستی مشخص نیست اما بر اساس یک نظریه در سطح ماده اتم‌هایی وجود دارد که بر خلاف سایر اتم‌های ماده با اتم‌های دیگر درگیر نمی‌شوند در نتیجه آنها در سطح خارجی خود همواره چند الکترون آزاد دارند به همین دلیل مواد عایق مانند شیشه و پلاستیک می‌توانند الکتريسيته ساکن تولید کنند.

۲ - الکتريسيته‌ی حاصل از فعل و انفعالات شیمیایی: مواد شیمیایی با فلزات مخصوص ترکیب می‌شود و واکنش‌های شیمیایی را ایجاد می‌کند که باعث حرکت بارهای الکتريکی می‌گردد، باتری تر از همین راه الکتريسيته تولید می‌کند.

۳ - الکتريسيته‌ی حاصل از فشار مکانیکی (پیزو الکتريک): اگر به برخی از اجسام فشار وارد کنیم الکترون‌های والانس اتم‌های جسم در جهت اعمال نیرو از مدار خود خارج شده و در نتیجه الکترون‌ها یک طرف جسم را ترک و در طرف دیگر آن جمع می‌شوند که این همان تعریف ولتاژ الکتريکی و در نتیجه تولید الکتريسيته است. هنگامی که فشار قطع شود الکترون‌ها به مدار قبلی خود باز می‌گردند بنابراین برای استفاده از این روش باید فشار اعمالی پیوسته باشد.

۴ - الکتريسيته‌ی حاصل از حرارت (ترمو الکتريک): اگر محل اتصال دو فلز غیر همجنس مثل روی با بار منفی و مس با بار مثبت را حرارت دهیم انرژی زیادی تولید می‌شود و الکترون‌های زیادی از مدارات خود آزاد می‌شوند که باعث حرکت الکترون‌ها و تولید الکتريسيته می‌شود. بدیهی است با برداشته شدن حرارت حرکت الکترون‌ها متوقف شده، پس برای استفاده از این روش باید حرارت اعمال شده دائمی باشد.

ترموکوپل: به اتصال دو فلز باردار غیر هم جنس با بارهای مخالف ترموکوپل می‌گویند.

ترموپیل: با اتصال چندین ترموکوپل به هم یک ترموپیل یا باتری حرارتی به وجود می‌آید.

۵ - الکتريسيته‌ی حاصل از نور (فوتوالکتريک): نور یکی از انواع انرژی است که از ذرات ریزی به نام فوتون که دارای انرژی هستند تشکیل شده است. زمانی که فوتون‌های یک شعاع نوری با اجسامی مانند سدیم، سلنیم، ژرمانیوم، کادمیم برخورد کند باعث آزاد شدن الکترون‌های والانس آن‌ها می‌شود. می‌توان از یکی از روش‌های زیر از فوتوالکتريک استفاده کرد.

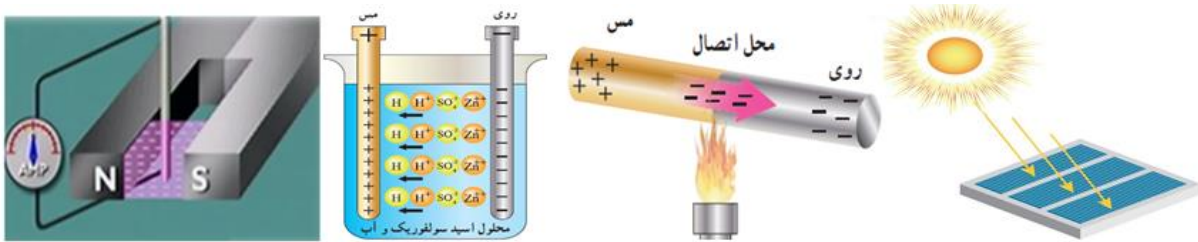
یک. فوتولتاییک: اگر دو صفحه را به هم وصل کنیم و به یکی از آنها انرژی نورانی بتابانیم باعث آزاد شدن الکترون‌های اتم‌های آن صفحه شده که به سمت صفحه‌ی دیگر جاری می‌شوند، در نتیجه در دو صفحه بارهای مخالف ایجاد می‌شود.

دو. هدایت نوری: اگر به موادی که دارای خاصیت رسانایی مناسبی نیستند انرژی نورانی اعمال کنیم باعث آزاد شدن الکترون‌ها می‌شود.

سه. تشعشع فوتوالکتريک: تشعشع و برخورد فوتون‌های یک شعاع نوری باعث تخلیه الکترون‌ها در لامپ خلأ می‌شود که باید توسط یک صفحه جمع شوند.

۶- **الکتريسيته‌ی حاصل از مغناطيس:** اگر يك سيم مسی در داخل ميدان مغناطیسی حرکت کند از جانب ميدان بر الکترون های داخل سيم نيرو وارد می شود و سبب می شود که الکترون ها در يك جهت به حرکت درآیند اين فرآیند اساس توليد الکتريسيته توسط ژنراتورهای جريان مستقيم است. اگر ميدان مغناطیسی بچرخد و سيم حرکت نکند باز الکتريسيته توليد می شود، در واقع عامل لازم جهت ايجاد جريان الکتريکی وجود حرکت نسبی بين جسم هادی و ميدان مغناطیسی است.

۷- **روش های جديد توليد الکتريسيته:** امروزه سعی می شود از روش های جدیدی برای توليد الکتريسيته استفاده شود که از لحاظ اقتصادی و زیست محیطی مرقون به صرفه باشد. برای مثال علاوه بر اين که سلول های خورشیدی مستقیماً انرژی خورشیدی را به الکتريسيته تبديل می کند از انرژی خورشیدی به طور غير مستقيم نیز برای توليد الکتريسيته استفاده می شود.



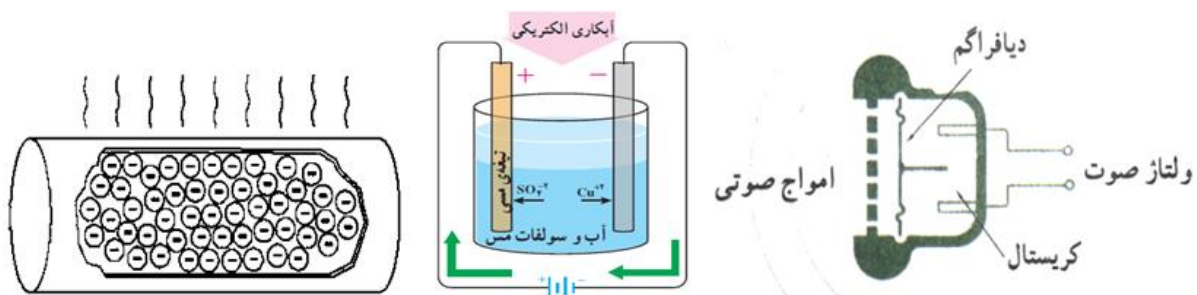
### آثار جريان الکتريکی

همانطور که به وسیله ی مالش، حرارت، نور، مغناطيس، فشار و مواد شیمیایی می توان الکتريسيته توليد کرد. می توان به وسیله جريان الکتريکی واکنش های شیمیایی، فشار، نور، ميدان مغناطیسی و گرما توليد کرد، که در زیر توضیح داده شده است.

۱- **توليد واکنش های شیمیایی از طریق جريان الکتريکی:** برای ايجاد اثرات شیمیایی می توان از جريان الکتريکی استفاده کرد که در الکتروشیمی به اين پدیده الکترولیز یا تجزیه الکتريکی می گویند.

۲- **توليد فشار به وسیله جريان الکتريکی:** همانطور که نيرو یا فشار در بعضی از کریستال ها خمش یا چرخش ايجاد می کند، اختلاف پتانسیل الکتريکی نیز باعث خمش یا چرخش در کریستال می شود. برای مثال در گرامافون وقتی ولتاژ صوتی به نوک تیز کریستال داده می شود، متناسب با شدت صوت ارتعاش می کند و شیارهایی متناسب با صدا روی صفحه به وجود می آورد، به اين ترتیب صدا روی آن ضبط می شود.

۳- **توليد گرما به وسیله جريان الکتريکی:** هنگامی که جريان الکتريکی از يك سيم عبور می کند در آن مقداری گرما ايجاد می کند، اين بدان علت است که مقداری انرژی مصرف می شود تا جريان از سيم عبور کند، اين انرژی به صورت گرما ظاهر می شود. هر اندازه مقاومت مخصوص سيم بیشتر باشد مقدار حرارت ايجاد شده بیشتر است. از اين خاصیت دروسایل الکتريکی گرما زا استفاده می شود.



۴ - تولید نور به وسیله جریان الکتریکی : می توان به روش های زیر به وسیله جریان الکتریکی نور تولید کرد .

یک - گرما و التهاب : وقتی که از هادی ها با مقاومت مخصوص زیاد که نقطه‌ی ذوب بالایی دارند جریانی عبور کند، داغ می شوند و این گرما را به صورت نور قرمز یا سفید ظاهر می کند، در نتیجه به دلیل گرما و التهاب، درخشش و روشنایی تولید می شود که اساس کار لامپ رشته ای است .

دو - الکترولومینانس : اجسام جامد به هنگام عبور جریان از آن ها نور تولید می کنند، که البته مقدارش کم است به همین دلیل تنها در کارهای نمایشی استفاده می شود . بسیاری از گازها به هنگام هدایت جریان یونیزه می شوند و تابش های نوری تولید می کنند، نئون، آرگون و بخار جیوه را می توان به عنوان نمونه نام برد . موارد استفاده‌ی آن را نیز در چراغ ها و تابلوهای نئون بالای فروشگاه ها است .

سه - فسفرسانس : اگر یک دسته الکترون با سرعت زیاد و به صورت متناوب به صفحه ای که روی آن مواد فسفری قرار دارد برخورد کند نور ایجاد می شود . از این خاصیت در تلویزیون و اسیلوسکوپ استفاده می شود .

چهار - فلورسانس : فلورسانس ترکیبی از فسفرسانس و الکترولومینانس است، گازی مانند بخارجیوه هنگام حمل جریان الکتریکی یونیزه می شود و اشعه‌ی ماورای بنفش از خود متصاعد می کند، این تشعشعات با لایه‌ی فلورسانس برخورد می کند و نورسفید تولید می کند، در لامپهای مهتابی از خاصیت فلورسانس استفاده می شود به همین دلیل به آن فلورسنت می گویند .

۵ - تولید مغناطیس به وسیله جریان الکتریکی : عبور جریان الکتریکی از یک سیم یا سیم پیچ موجب می شود که در اطراف آن یک میدان مغناطیسی ایجاد شود، از این روش تولید مغناطیس در ماشین های الکتریکی استفاده می شود .



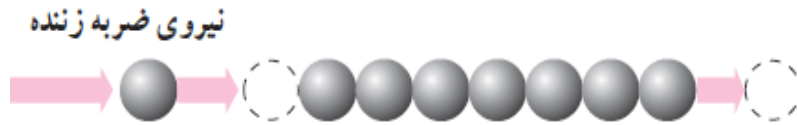
### جریان الکتریکی

زمانی که تعداد زیادی از الکترون های آزاد درون سیمی در یک جهت حرکت کنند جریان الکتریکی در سیم به وجود می آید به عبارت دیگر عبور بارهای الکتریکی در یک هادی نسبت به زمان را جریان الکتریکی می نامند . برای به وجود آوردن جریان در یک سیم باید یک قطب مثبت و یک قطب منفی را در دو طرف سیم قرار داد . الکترون های منفی توسط قطب مثبت جذب و توسط قطب منفی دفع شوند که موجب به حرکت در آمدن آن ها در یک جهت و تولید جریان می شود .

**سرعت الکترون ها :** الکترون های آزادی که تحت تأثیر بارهای الکترواستاتیک به حرکت درمی آیند باید با نیروهای مداری اتم مخالفت کنند که موجب کند شدن حرکت الکترون ها می شود به طوری که سرعت الکترون ها را به چند سانتی متر در ثانیه محدود می کند اما سرعت جریان نزدیک سرعت نور (۳۰۰ هزار کیلومتر در ثانیه) است که به دلیل ضربان های الکترونی است .

**ضربان های الکترونی :** از آن جایی که اتم ها خیلی به هم نزدیک اند و حتی مدارهایشان روی هم قرار می گیرد الکترونی که آزاد می شود برای ورود به مدار اتم دیگر لازم نیست مسافت زیادی را طی کند . الکترون درست در لحظه ای که به مدار تازه وارد می شود انرژی خود را به الکترون بعدی می دهد تا آن را آزاد سازد، این عمل در آنی صورت می گیرد و همه الکترون ها نیز عیناً همین عمل را انجام می دهند، به این ترتیب با اینکه الکترون ها به آرامی حرکت می کنند . ایمپالس یا ضربان انرژی

الکتریکی که در اتم‌ها انتقال می‌یابد سرعت زیادی دارد که برابر با ۲۹۹۳۴۰ کیلومتر در ثانیه است که نزدیک سرعت نور می‌باشد. به این الکترون‌های آزاد که عمل ایمپالس را انجام می‌دهند حامل‌های جریان می‌گویند. ضربان انرژی الکتریکی در الکترون‌ها بسیار شبیه به انتقال ضربه در یک ردیف طولانی از گلوله‌های فلزی است.



**واحد جریان الکتریکی:** عبور بارهای الکتریکی در یک هادی نسبت به زمان را جریان الکتریکی می‌گویند، علامت آن  $I$  است و واحد آن آمپر (A) می‌باشد.

$$I = \frac{q}{t} = \frac{n \cdot e}{t}$$

در این رابطه

$I$ : جریان الکتریکی بر حسب آمپر (A)

$q$ : بار الکتریکی بر حسب کولن (C)

$t$ : زمان بر حسب ثانیه (t)

$n$ : تعداد الکترون‌ها

$e$ : بار الکتریکی الکترون ( $1/6 \times 10^{-19}$ )

مثال - اگر تعداد  $12/56 \times 10^{18}$  الکترون در مدت ۲ ثانیه از سیمی عبور کند، شدت جریان چند آمپر خواهد بود؟

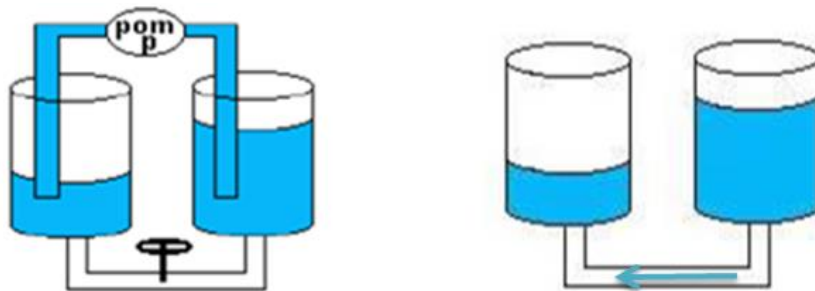
$$I = \frac{q}{t} = \frac{n \cdot e}{t} = \frac{12/56 \times 10^{18} \times 1/6 \times 10^{-19}}{2} = 1/0.48 \text{ A}$$

مثال - اگر در یک مدار جریان ۴ آمپر باشد، چقدر طول می‌کشد تا بار ۶۰۰ کولنی از مدار عبور کند؟

$$I = \frac{q}{t} \rightarrow t = \frac{q}{I} = \frac{600}{4} = 150 \text{ s}$$

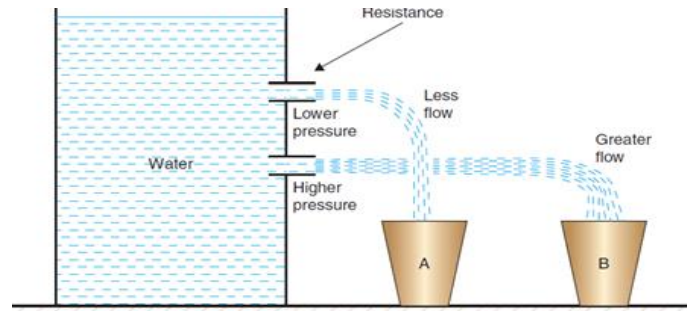
اختلاف پتانسیل یا ولتاژ الکتریکی

بسیاری از افراد کلمه‌ی ولتاژ را در مواجهه شدن با باتری ۱۲ ولت اتوموبیل یا برچسپ‌های ۲۲۰ ولت وسایل الکتریکی دیده‌اند اما معنای درست آن را ممکن است متوجه نشوند، برای درک بهتر ولتاژ به مثال زیر توجه کنید، اگر دو مخزن آب توسط یک لوله به هم وصل شوند چه اتفاقی می‌افتد؟ بدیهی است که آب از مخزنی که مقدار آب بیشتری دارد به سمت مخزن دیگر که آب کمتری دارد جاری می‌شود، عاملی که باعث جاری شدن جریان آب شده است وجود اختلاف میزان آب در مخازن است، به همین ترتیب عامل جاری شدن جریان (حرکت هم‌جهت الکترون‌ها) وجود اختلاف تعداد بارهای الکتریکی در دو نقطه از مدار مثل دو قطب منبع تغذیه است که اختلاف پتانسیل یا ولتاژ نامیده می‌شود. بنابراین ولتاژ یا اختلاف پتانسیل را عامل جاری شدن جریان در مدارات الکتریکی تعریف می‌کنند که با  $V$  یا  $U$  نمایش داده می‌شود و بر حسب ولت است.



**تعریف علمی اختلاف پتانسیل الکتریکی :** بنا بر تعریف مقدار انرژی لازم جهت انتقال بار الکتریکی مثبت از نقطه ای به نقطه ای دیگر (جسمی به جسم دیگر) را پتانسیل الکتریکی گویند .

**پتانسیل الکتریکی :** مقدار انرژی ای که لازم است تا واحد بار الکتریکی را از بی نهایت دور دست ( زمین با پتانسیل صفر ) به نقطه مورد نظر منتقل کنیم، پتانسیل الکتریکی نام دارد ، که می توان به صورت شکل زیر مدل کرد.



### مقاومت الکتریکی

هر جسمی مقداری مقاومت دارد که به جنس، طول و سطح مقطع آن بستگی دارد و همچنین مقاومت به صورت یک قطعه الکترونیکی ساخته می شود که در مدارات الکتریکی استفاده می شود . واحد مقاومت الکتریکی اهم  $\Omega$  است و آن را با  $R$  نشان می دهند .



### عوامل تاثیر گذار در مقدار مقاومت فلزات

۱ - جنس فلز : اجسام مختلف دارای مقاومت مخصوص به خود هستند . بنا به تعریف مقاومت مخصوص، مقاومت سیمی به طول یک متر با سطح مقطع یک میلی متر مربع می باشد. مقاومت مخصوص با  $\rho$  نشان داده می شود و واحد آن اهم در متر  $m$  می باشد . همچنین بدیهی است که اجسام علاوه بر مقاومت مخصوص دارای هدایت مخصوص نیز می باشند که طبق تعریف، قابلیت هدایت سیمی به طول یک متر و سطح مقطع یک میلی متر مربع را هدایت مخصوص می نامند . هدایت مخصوص را با  $k$  نشان می دهند . بدیهی است که بین هدایت مخصوص و مقاومت مخصوص رابطه ی عکس وجود دارد .

$$\rho = \frac{1}{k} \quad - \quad \rho_{cu} = \frac{1}{56} \frac{\Omega mm^2}{m}$$

مقاومت مخصوص فلزات را نسبت به فلز مس می سنجند که در جدول زیر آمده است .

فلز	نقره	مس	طلا	آلومینیوم	تنگستن	روی	آهن	قلع	کربن
مقاومت مخصوص نسبت به مس	۰.۹۲	۱	۱.۳۸	۱.۵۹	۳.۲	۳.۶۲	۶.۶۷	۸.۲	۲۰۳۰

۲ - سطح مقطع فلز : هر اندازه سطح مقطع یا پهنای یک فلز بیشتر باشد تعداد الکترون های آزاد آن بیشتر است پس می تواند مقدار جریان الکتریکی بیشتری را عبور دهد . در واقع با افزایش مساحت مقطع مقاومت الکتریکی کم می شود پس می توان گفت سطح مقطع با مقاومت رابطه معکوس دارد .

۳ - طول فلز : با افزایش سطح مقطع یک هادی الکترون‌های آزاد بیشتری ایجاد می‌شود و مقاومت را کاهش می‌دهد اما با افزایش طول سیم با وجود اینکه الکترون‌های آزاد بیشتری ایجاد می‌شود اما این الکترون‌ها در اندازه‌ی جریان الکتریکی نقشی ندارند، پس با افزایش طول نه تنها مقاومت کاهش نمی‌یابد بلکه افزایش نیز پیدا می‌کند. پس بین طول سیم و مقدار مقاومت رابطه‌ی مستقیم وجود دارد .

رابطه کلی مقاومت

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad , \quad R = \frac{L}{kA}$$

در این رابطه

$R$  : مقاومت فلز بر حسب اهم ( $\Omega$ ) .

$\rho$  : مقاومت مخصوص فلز بر حسب  $\frac{\Omega mm^2}{m}$  و  $k$  هدایت مخصوص بر حسب  $\frac{m}{\Omega mm^2}$  است .

$L$  : طول سیم بر حسب متر ( $m$ ) .

$A$  : سطح مقطع سیم فلزی بر حسب میلی متر مربع ( $mm^2$ ) .

مثال - مقاومت سیم مسی به طول ۱۰۰ متر و سطح مقطع  $1/5$  میلی متر مربع، چقدر است ؟

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad , \quad \rho_{cu} = \frac{1}{56} \quad R = \frac{1}{56} \times \frac{100}{1/5} = 1/19 \Omega$$

مثال - ۵۶ متر سیم آلومینیوم ۶ میلی متر مربع ای، چه مقاومتی دارد ؟

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad , \quad \frac{\rho_{Al}}{\rho_{cu}} = 1/59 \rightarrow \rho_{Al} = 1/59 \times \rho_{cu} = 1/59 \times \frac{1}{56} = 0/0284 \quad , \quad R = 0/0284 \times \frac{56}{1/5} = 1/06 \Omega$$

اثر حرارت بر مقاومت الکتریکی اجسام

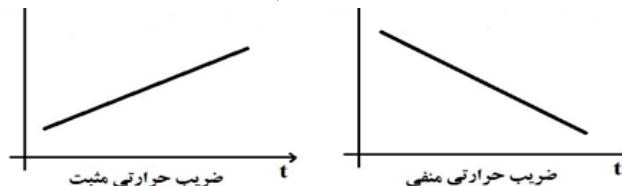
مقاومت همه فلزات با تغییر دما تغییر می کند که میزان این تغییر برای فلزات مختلف متفاوت و به ضریب حرارتی بستگی دارد . ضریب حرارتی میزان تغییرات مقاومت به ازای یک درجه سانتی گراد است و با  $\alpha$  نشان می دهند . برای مثال اگر در یک فلز  $\alpha = 0/005$  باشد به این معنی است که مقاومت آن جسم به ازای یک درجه سانتی گراد  $0/005$  اهم تغییر می کند .

PTC : اگر مقاومت الکتریکی جسمی در اثر حرارت افزایش یابد ضریب حرارتی مثبت و به آن PTC می گویند .

NTC : اگر مقاومت الکتریکی جسمی در اثر حرارت کاهش یابد ضریب حرارتی منفی و به آن NTC می گویند .

$$R = R_0 + R_0 \alpha t \quad - \quad R = R_0 (1 + \alpha t)$$

در این رابطه  $R$  مقاومت جسم در دمای  $t$  درجه،  $R_0$  مقاومت جسم در صفر درجه و  $\alpha$  ضریب حرارتی می باشد .



مثال - مقاومت الکتریکی سیمی در صفر درجه‌ی سانتی گراد ۲۰ اهم است، اگر دمای سیم به ۴۰ درجه‌ی سانتی گراد برسد،

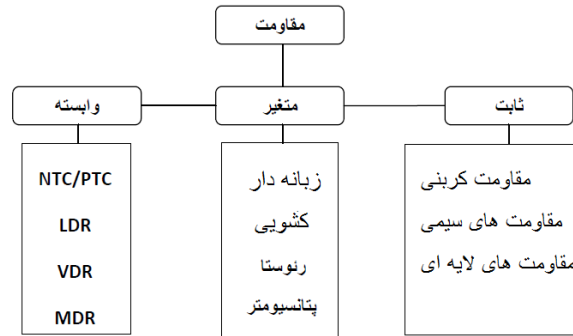
مقاومت الکتریکی آن چند اهم می‌شود ؟ ( $\alpha = 0/004 \frac{1}{C}$ )

$$R = R_0 (1 + \alpha t) \rightarrow R = 20 (1 + 0/004 \times 40) = 23/2 \Omega$$



### انواع مقاومت های الکتریکی

مقاومت های الکتریکی به طور کلی به دو دسته ثابت و متغیر تقسیم بندی می شوند . مقاومت های ثابت شامل مقاومت کربنی، مقاومت سیمی و مقاومت لایه ای می باشند، مقدار این مقاومت ها کاملاً ثابت بوده و نمی توان آن را تغییر داد . مقاومت های متغیر که مقدار اهم آن ها می تواند تغییر کند به دو دسته ی مقاومت های قابل تنظیم و مقاومت های وابسته تقسیم می شوند . در زیر به معرفی انواع مقاومت می پردازیم .



### انواع مقاومت های ثابت

۱ - مقاومت کربنی : مقاومت های کربنی یا ترکیبی به دلیل قیمت کمتر نسبت به سایر مقاومت ها و نیز کوچک بودن جثه بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند . این نوع مقاومت ها از یک بدنه استوانه ای از جنس کائوچو که پودر کربن و الیاف داخل آن قرار می گیرد و دو سیم جهت اتصال مقاومت به مدار تشکیل شده است .

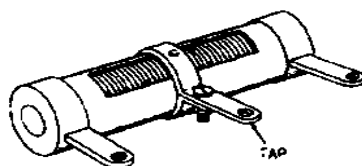
۲ - مقاومت های سیمی : همانطور که گفته شد یکی از عواملی که در مقدار مقاومت یک جسم تاثیر مستقیم دارد طول آن است از این خاصیت می توان برای ساخت مقاومت استفاده کرد در واقع مکانیزم کار به این صورت است که بر روی یک استوانه عایق از جنس سرامیک مقداری سیم با طول زیاد پیچیده می شود .

۳ - مقاومت های لایه ای : مقاومت های لایه ای ترکیبی از مقاومت های ترکیبی و سیمی است . این مقاومت ها معمولاً با رسوب دادن نوار نازکی از ماده مقاومت دار بر روی یک لوله ی سرامیکی یا شیشه ای ساخته می شوند . از دو سیم رابط جهت اتصال به مدار به پوشش های انتهایی لوله وصل می شود .

### انواع مقاومت های متغیر

مقاومت های ثابت قابلیت انعطاف ندارند زیرا مقاومتشان تغییر ناپذیر است در اغلب موارد احتیاج است مقادیر مختلف از یک مقاومت بدست آورد به همین دلیل از مقاومت های متغیر استفاده می شود . در زیر انواع مقاومت متغیر تعریف شده است .

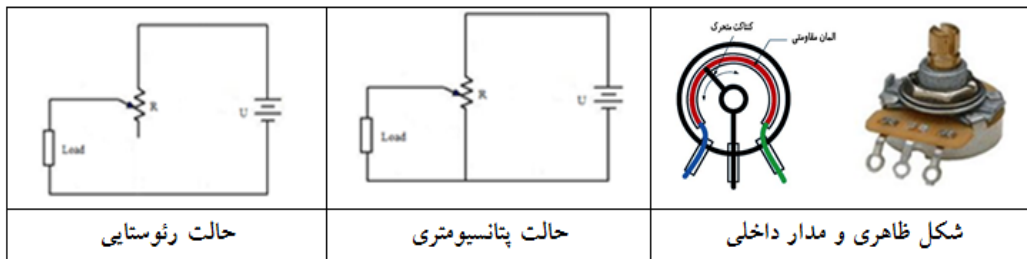
۱ - مقاومت های زبانه دار : مقاومت های زبانه دار تا حدودی قابلیت انعطاف دارند چون می توان بیش از یک مقدار از آن ها بدست آورد در این نوع مقاومت ها علاوه بر دو سر اصلی سرهای دیگری بین دو سر اصلی قرار دارند که با اتصال ترمینال های مختلف به مدار مقاومت های متفاوتی حاصل می شود. این مقاومت ها به مقاومت های چند سر مشهور هستند و تعداد سرک هایی آن محدود به ۴ تا ۵ سرک است .



۲ - **مقاومت‌های کشویی** : مقاومت‌های کشویی شبیه مقاومت‌های زیانه دار هستند با این تفاوت که مقداری از سیم پیچ یا تمام آن در مسیر جریان قرار گرفته است یک کشوی متحرک و ترمینال متصل به آن در تمام طول سیم پیچ حرکت می‌کند، مقاومت بین ترمینال متحرک و هر یک از ترمینال‌ها انتهایی ، به وضعیت کشوی متحرک بستگی دارد . مقدار این مقاومت‌ها را نمی توان زیر بار تغییر داد ، بلکه هنگام نصب مقاومت را روی مقدار دلخواه تنظیم کرده و سپس در مدار قرار می گیرد .

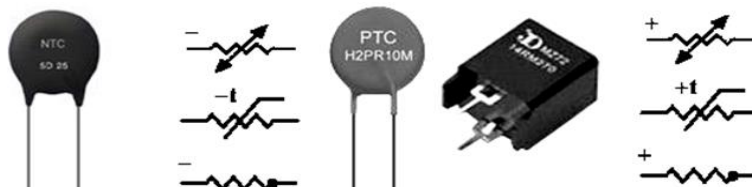


۳ - **پتانسیومتر (رئوسا)** : پتانسیومتر مقاومتی متغیر است که مقدار آن توسط یک ولوم در محدوده‌ی معینی به طور پیوسته قابل تغییر است . عموماً یک مقاومت متغیر از المان مقاومتی دوار که درون محفظه‌ی قرار گرفته ، تشکیل می‌شود، این المان مقاومتی ممکن است به صورت سیم پیچی ، ترکیبی یا لایه‌ای باشد . یک کنتاک متحرک نیز بر روی این مقاومت حرکت می کند و در نتیجه اتصال الکتریکی با آن برقرار می شود . کنتاک متحرک به وسیله یک محور گردان بر روی المان مقاومتی می لغزد . مقاومت بین کنتاک متحرک و انتهای المان مقاومت ، به وضعیت میله نسبت به محور بستگی دارد. هرگاه از یک سر ثابت و سر متحرک استفاده شود رئوسا نامیده می شود که برای کنترل جریان مدارات مورد استفاده قرار می گیرد .  
 و اگر از سه ترمینال مقاومت (دو ترمینال ثابت و ترمینال متحرک ) استفاده شود پتانسیومتر نام دارد که به منظور کنترل ولتاژ در مدارات مورد استفاده قرار می گیرد .



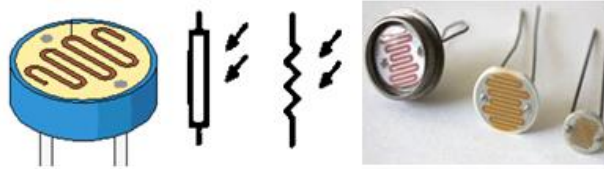
انواع مقاومت های وابسته به عوامل فیزیکی

۱ - **مقاومت تابع حرارت (ترمیستور)** : ترمیستور مقاومت هایی هستند که مقدار آن‌ها به حرارت حساس اند و با حرارت اهم آنها تغییر می کند . ترمیستورها در دو نوع ساخته می شوند .  
 یک - ترمیستور با ضریب حرارتی مثبت (PTC) : اهم این مقاومت‌ها با میزان حرارت رابطه مستقیم دارند یعنی با افزایش حرارت مقدار اهم زیاد و با کاهش حرارت مقدار اهم کاهش می‌یابد . درکاتالوگ این نوع مقاومت‌ها مقدار اهم مقاومت را در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌نویسند و دمای سوئیچ را که در آن مقدار مقاومت دو برابر می‌شوند نیز درج می‌شود .  
 دو - ترمیستور با ضریب حرارتی منفی (NTC) : مقدار این مقاومت رابطه‌ی معکوس با حرارت اعمالی به آن دارد پس افزایش حرارت محیط موجب کاهش اهم مقاومت می شود .





۲ - مقاومت تابع نور (LDR) : اهم این مقاومت بستگی به میزان نور تابیده شده به سطح آن که از شیشه یا پلاستیک شفاف است دارد . با اعمال نور مقدار مقاومت کاهش می یابد پس در محیط های روشن دارای مقاومت کم (اهم یا کیلو اهم) و در محیط های تاریک دارای مقاومت های زیاد در حد مگا اهم است . از جمله کاربردهای این نوع مقاومت در مدارات تشخیص دهنده نور ، فتوسل ، دوربین های عکاسی ، کلید های نوری و چشم های الکترونیکی است .



۳ - مقاومت تابع ولتاژ (VDR) : مقدار اهم این مقاومت ها که واریستور نام دارند با ولتاژ اعمالی به دو سر آن رابطه ی عکس دارد . از واریستور به عنوان رگولاتور ولتاژ استفاده می شود .

۴ - مقاومت های تابع میدان (MDR) : مقدار اهم این نوع مقاومت ها به میدان مغناطیسی محیط اطراف آن بستگی دارد . مقدار اهم مقاومت های تابع میدان به دمای محیط نیز بستگی دارد . چون مواد سازنده آن دارای ضریب حرارتی منفی هستند به همین دلیل با افزایش درجه حرارت مقدار اهم آن کاهش می یابد .

### تشخیص مقدار اهم مقاومت ها

اندازه ی مقاومت های اهمی به گونه ای بر روی بدنه آن ها درج می شود که در زیر به سه روش نوشتن مستقیم مقدار مقاومت روی بدنه ، استفاده از نوارهای رنگی و استفاده از کدهای رمزی اشاره می شود .

۱ - نوشتن مشخصات مقاومت بر روی بدنه : در مقاومت های بزرگ مقدار اهمی مقاومت را روی بدنه می نویسند . معمولاً علاوه بر مقدار اهمی مقاومت ، تلرانس و توان مجاز را نیز روی آن درج می شود . در مقاومت های کوچک از این روش نمی توان استفاده کرد .

### ۲ - تشخیص مقدار مقاومت ها از روی نوارهای رنگی

الف - روش چهار نوازی : از چهار نوار رنگی بر روی مقاومت استفاده می شود که به ترتیب از چپ به راست دو نوار اول معرف اعداد اول و دوم هستند و نوار سوم معرف ضریب است که مشخص کننده این است که دو عدد اول درچه ضریبی از ۱۰ ضرب می شوند و نوار چهارم بیانگر تلرانس است که با فاصله از سایر نوارها در سمت راست مقاومت قرار می گیرد .

تلرانس به درصد	ضریب	اعداد صحیح	رنگ
—	1	0	سیاه
—	10	1	قهوه ای
—	100	2	قرمز
—	1000	3	نارنجی
—	10000	4	زرد
—	100000	5	سبز
—	1000000	6	آبی
—	10000000	7	بنفش
—	100000000	8	خاکستری
—	1000000000	9	سفید
± 5	0.1	—	طلایی
± 10	0.01	—	نقره ای
± 20	—	—	بی رنگ

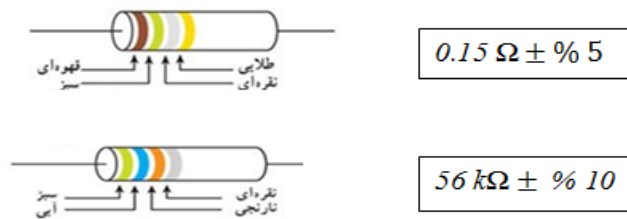
مثال - بر روی یک مقاومت چهار نوار رنگی وجود دارد که به ترتیب از چپ به راست دارای رنگ های قهوه ای ، سیاه ، قهوه ای و طلایی است تفرانس و مقدار مقاومت آن چقدر است ؟

طلایی  $\pm 5\%$  قهوه ای  $\times 10$  سیاه  $\cdot$  قهوه ای  $1$   
 $100 \Omega \pm 5\%$

مثال - مقدار مقاومت یک مقاومت با نوارهای رنگی قهوه ای ، سیاه ، قرمز و طلایی چند اهم است ؟

$1000 \Omega \pm 5\%$

مثال - مقاومت های زیر چند اهمی هستند ؟



ب - روش پنج نوازی : از این روش برای تعیین مقدار اهم و تفرانس مقاومت هایی که دارای تفرانس کمتر از ۲٪ می باشند استفاده می گردد . در این روش بر روی مقاومت پنج نوار رنگی وجود دارد که سه رنگ اول معرف عدد ، رنگ چهارم معرف ضریب و رنگ پنجم بیانگر تفرانس است. توجه داشته باشید که رنگ اولین نوار نمی تواند سیاه باشد.

رنگ	اعداد صحیح	ضریب	تفرانس به درصد
سیاه	0	1	—
قهوه ای	1	10	$\pm 1$
قرمز	2	100	$\pm 2$
نارنجی	3	1000	—
زرد	4	10000	—
سبز	5	100000	$\pm 0.5$
آبی	6	1000000	$\pm 0.25$
بنفش	7	10000000	$\pm 0.1$
خاکستری	8	100000000	—
سفید	9	1000000000	—
طلایی	—	0.1	
نقره ای	—	0.01	

مثال- مقدار اهم و تفرانس مقاومت نشان داده شده چقدر است ؟

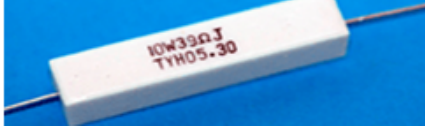


$$R = 274 \times 100 \Omega = 27400 \Omega = 27.4 k\Omega \pm 1\%$$

۳ - تشخیص مقدار مقاومت با استفاده از رمزهای متشکل از حرف و عدد

در این روش با استفاده از اعداد و حروف خاص، رمزهایی ساخته می‌شود و این رمزها مقدار اهم و تolerانس مقاومت‌ها را مشخص می‌کنند. در هر یک از این رمزها معمولاً دو حرف به کار می‌رود که یکی از این حروف نشان دهنده تolerانس مقاومت و دیگری به عنوان ضریبی برای اعداد موجود در آن رمز است. در شکل زیر معانی حروفی که به عنوان ضریب و تolerانس به کار می‌روند بیان شده است.

B	C	D	F	G	H	J	K	M
۰.۱ %	۰.۲۵ %	۰.۵ %	۱ %	۲ %	۳ %	۵ %	۱۰ %	۲۰ %



M	K	R	حرف
$\times 10^6$	$\times 10^3$	$\times 1$	ضریب

حرف اول، مربوط به ضریب و حرف دوم مربوط به تolerانس است. اگر مقدار عددی دارای ممیز باش، از همان حروف به عنوان ممیز استفاده می‌شود.

مثال - بر روی یک مقاومت عبارت **۶۸KM** نوشته شده است، مقادیر اهم و تolerانس این مقاومت چقدر است؟

$$R = 68K\Omega \pm 20\%$$

مثال - بر روی یک مقاومت عبارت **۵R۶K** نوشته شده است، مقادیر اهم و تolerانس این مقاومت چقدر است؟

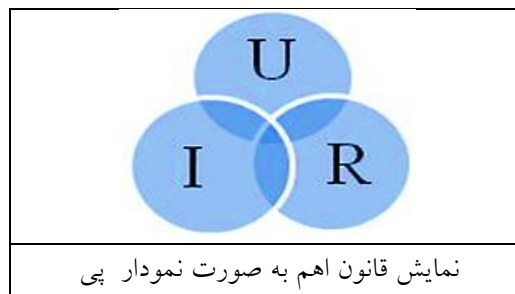
$$R = 5/6\Omega \pm 10\%$$

بنابراین مقدار اهم این مقاومت،  $5/6$  و تolerانس آن  $10\%$  است. دقت داشته باشید که در این مثال حرف **R** علاوه بر بیان ضریب ۱ برای عدد اعشاری  $5/6$ ، به عنوان اعشار عدد اعشاری نیز به کار رفته است.

قانون اهم

قانون اهم رابطه‌ی بین سه کمیت اصلی ولتاژ، جریان و مقاومت را بیان می‌کند. بر اساس این قانون با اعمال ولتاژ به یک مقاومت اهمی جریانی در مدار جاری می‌شود، مقدار این جریان از تقسیم ولتاژ بر مقاومت بدست می‌آید. در زیر سه شکل قانون اهم را مشاهده می‌کنید.

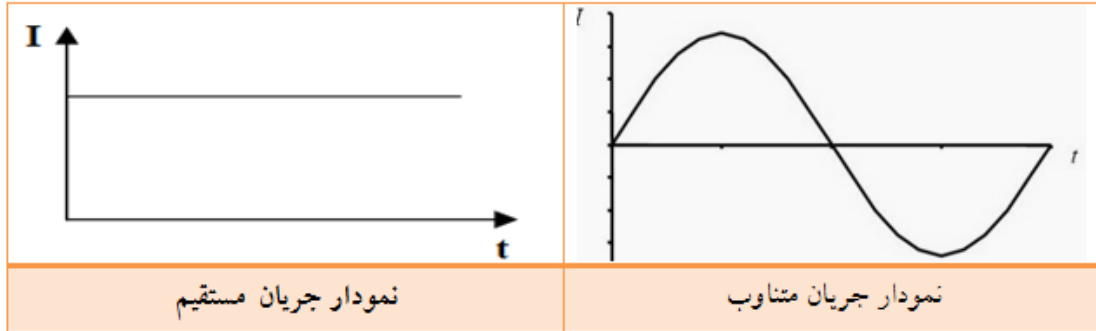
$U = R \cdot I$	$I = \frac{U}{R}$	$R = \frac{U}{I}$
اگر ولتاژ مجهول باشد.	اگر جریان مجهول باشد.	اگر مقاومت مجهول باشد.



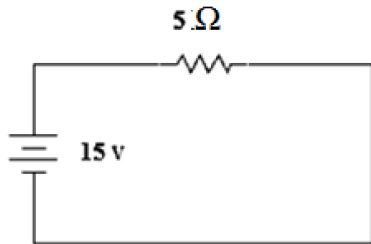
## انواع جریان الکتریکی

۱ - جریان مستقیم dc: جریانی که توسط منابعی مانند باتری‌ها و مولدهای dc تولید می‌شوند و مقدار دامنه آن در تمام زمان‌ها با هم برابر و همواره در یک جهت جاری می‌شود جریان مستقیم نامیده می‌شود.

۲ - جریان متناوب ac: جریانی که توسط ژنراتورها در نیروگاه‌ها تولید می‌شود و توسط خطوط انتقال و توزیع به مراکز صنعتی و خانگی می‌رسد و در لوازم خانگی مانند لامپ‌ها، لباسشویی و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد جریان متناوب می‌گویند. جریان متناوب یا ac جریانی دو جهتی است یعنی الکترون‌ها ابتدا در یک جهت و سپس در جهت مخالف حرکت می‌کنند که مقدار دامنه آن نیز همواره بین صفر تا حداکثر مثبت و حداکثر منفی در حال تغییر است.

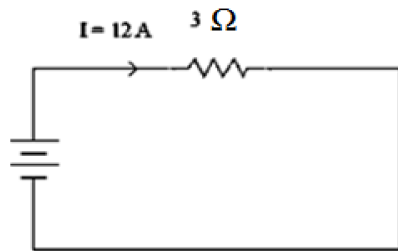


مثال - در مدار شکل زیر مقدار شدت جریان مدار را بدست آورید.



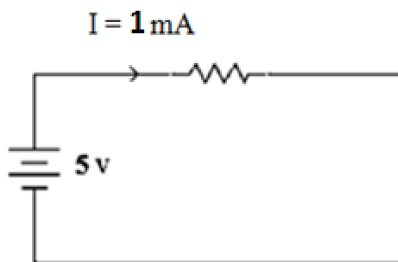
$$I = \frac{U}{R} = \frac{15}{5} = 3 \text{ A}$$

مثال - در مدار شکل زیر مقدار ولتاژ منبع تغذیه را بدست بیاورید.



$$U = R \cdot I = 3 \times 12 = 36 \text{ V}$$

مثال - در مدار شکل زیر مقدار اهم مقاومت چقدر است؟



$$R = \frac{U}{I} = \frac{5}{1 \times 10^{-3}} = 5 \text{ K}\Omega$$

### توان الکتریکی

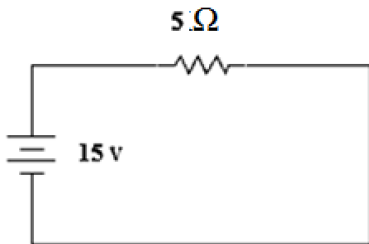
به میزان کار انجام شده در واحد زمان توان الکتریکی می‌گویند توان الکتریکی سرعت انجام کار را نشان می‌دهد، پس مقدار آن از تقسیم کار انجام شده بر زمان انجام کار بدست می‌آید. توان الکتریکی را با  $P$  نشان می‌دهند و بر حسب وات  $w$  است.

$$P = \frac{W}{t}$$

توان الکتریکی در یک مدار عبارت است از حاصل ضرب ولتاژ اعمالی به جریان جاری شده در مدار که با جایگذاری قانون اهم در فرمول توان می‌توان روابط دیگر که توان را بر حسب جریان، ولتاژ و مقاومت بیان می‌کند را بدست آورد.

$$P = U \cdot I \quad , \quad P = RI^2 \quad , \quad P = \frac{U^2}{R}$$

مثال - در شکل زیر توان مقاومت را بدست آورید.



$$I = \frac{U}{R} = \frac{15}{5} = 3A \quad , \quad P = U \times I = 15 \times 3 = 45 w \quad , \quad P = \frac{U^2}{R} = \frac{15^2}{5} = 45 w \quad , \quad P = RI^2 = 5 \times 3^2 = 45 w$$

مثال - بر روی یک لامپ رشته‌ای اعداد  $220V$  و  $200W$  نوشته شده است، مقاومت و جریان لامپ را محاسبه کنید.

$$P = \frac{U^2}{R} \rightarrow R = \frac{220^2}{200} = 242 \Omega \quad , \quad I = \frac{U}{R} = \frac{220}{242} = 0.9 A$$

مثال - یک وسیله الکتریکی با توان  $1500W$  وات به شبکه ای با ولتاژ  $200V$  ولت وصل می‌شود، مقدار مقاومت المنت آن و جریانی که از شبکه دریافت می‌کند را محاسبه کنید.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{1500}{200} = 7.5 A \quad , \quad R = \frac{U}{I} = \frac{200}{7.5} = 26.6 \Omega$$

مثال - اگر توان یک وسیله الکتریکی با مقاومت  $100\Omega$  اهم  $2500W$  وات باشد، چه جریانی از شبکه دریافت می‌کند؟

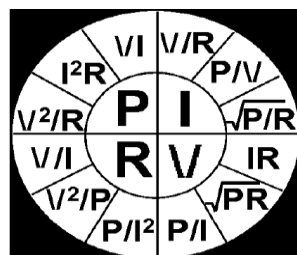
$$P = RI^2 \rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{2500}{100}} = 5A$$

توان الکتریکی بر حسب وات  $w$  است ولی توان الکتروموتورها توان مکانیکی است که بر حسب اسب بخار  $hp$  سنجیده می‌شود، هر اسب بخار معادل  $736W$  وات می‌باشد.

$$1hp = 736 w$$

مثال - یک الکتروموتور دارای قدرت  $10$  اسب بخار است، این توان معادل چند وات می‌باشد؟

$$P = 10 \times 736 = 7360 w$$



### انرژی الکتریکی

انرژی الکتریکی در نیروگاه تولید می شود سپس توسط ترانسفورماتور و دکل به مناطق مسکونی و مراکز صنعتی منتقل می شود . به دلیل هزینه های بالای تولید ، توزیع ، و انتقال انرژی الکتریکی وزارت نیرو از مشترکین خود مبلغی به عنوان هزینه استفاده از انرژی الکتریکی دریافت می کند . برای اندازه گیری انرژی از وسیله ای بنام کنتور استفاده می شود . کنتور انرژی را بر حسب کیلو وات ساعت ( KWh ) اندازه گیری می کند . برای محاسبه مبلغ برق مصرفی ابتدا انرژی را از طریق ضرب توان در زمان حساب کرده و سپس در قیمت هر کیلو وات ضرب می کنیم .

$$w = u \cdot q \quad , \quad w = p \cdot t$$

در روابط فوق

$W$  : انرژی الکتریکی بر حسب ژول ( $J$ ) .

$q$  : بار الکتریکی بر حسب کولن ( $C$ ) .

$U$  : ولتاژ الکتریکی بر حسب ولت ( $V$ ) .

$t$  : زمان بر حسب ثانیه ( $s$ ) .

$P$  : توان بر حسب وات ( $W$ ) .

مثال - یک وسیله ی برقی با توان  $2\text{kw}$  به منبع ولتاژ  $220$  ولت متصل شده است، اگر این وسیله در طول ماه  $90$  ساعت کار کند . مقاومت اهمی، میزان جریانی که از شبکه می کشد ، میزان انرژی مصرفی آن را در یک ماه محاسبه کنید .

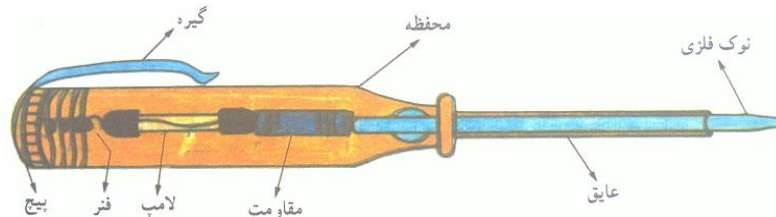
$$P = \frac{u^2}{R} \rightarrow R = \frac{220^2}{2000} = 24.2 \Omega \quad , \quad I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{2000}{24.2}} = 9 \text{ A} \quad , \quad W = p \cdot t = 2 \times 90 = 180 \text{ kwh}$$

## فصل چهارم : سیستم های روشنایی برق ساختمان

آشنایی با ابزار مقدماتی سیم کشی

**پیچ گوشتی :** یکی از پر مصرف ترین وسایل مورد استفاده در سیم کشی پیچ گوشتی است که به منظور باز و بسته کردن پیچ ها مورد استفاده قرار می گیرد ، پیچ گوشتی دارای انواع مختلف تخت ، چهار سو ، اتوماتیک و ... می باشد . باز و بسته کردن پیچ ها با پیچ گوشتی های با دسته بلند، راحت تر است زیرا بر اساس خاصیت اهرم، هر قدر طول بازوی کارگر بیشتر باشد نیروی کمتری لازم خواهد بود . از پیچ گوشتی با دسته کوچک برای کاربردهای دقیق استفاده می شود .

**فازمتر :** فازمتر یک نوع پیچ گوشتی است که علاوه بر باز و بسته کردن پیچ ها برای تشخیص سیم فاز از نول استفاده می شود ، در داخل فازمتر یک لامپ کوچک همراه یک مقاومت وجود دارد که با نوک فازمتر و پیچ انتهایی ارتباط دارد ، زمانی که نوک فازمتر به سیم فاز وصل شود جریانی از داخل مقاومت عبور کرده و به لامپ می رسد حال اگر توسط دست پیچ انتهایی فازمتر را لمس کنیم جریان تضعیف شده ای از طریق بدن شخص وارد زمین می شود و لامپ را روشن می کند .



**انبردست :** انبردست وسیله ای است برای فرم کاری ، تاباندن و صاف کردن سیم ها و در شرایطی که سیم چین و سیم لخت کن در دسترس نباشد می توان از انبردست برای لخت کردن و بریدن سیم ها نیز استفاده کرد . نوع خاصی از انبردست وجود دارد که دسته آن عایق نیست و به برای بریدن مفتولها و بیرون آوردن میخ استفاده می شود که به گاز انبر معروف است .

**دم باریک :** دم باریک وسیله ای است شبیه انبردست ، با این تفاوت که نوک آن از انبردست بلند تر و باریک تر است، و در جاهایی که جا تنگ است و انبردست قادر به انجام کار نیست برای سوالی کردن ، فرم دادن و بریدن سیم ها استفاده می شود .

**سیم چین :** برای قطع کردن سیم ها از سیم چین یا سیم قطع کن استفاده می شود ، که در دو نوع ساخته می شود . نوع اول سیم چین هایی که سیم را از پهلو قطع می کند . و نوع دوم سیم چین هایی که سیم را به وسیله نوک قطع می کنند . از سیم چین نباید برای لخت کردن سیم استفاده کرد زیرا سیم زخم می شود و استحکام مکانیکی و الکتریکی آن ضعیف می شود .

**دم گرد :** دم گرد شبیه دم باریک است که نوک آن به صورت دایره است و برای فرم دادن و سوالی کردن سیم ها مورد استفاده قرار می گیرد .

سیم لخت کن : از سیم لخت کن برای لخت کردن سیم ها استفاده می شود که در سه نوع ساخته می شوند.

سیم لخت کن ساده : این سیم لخت کن از دو لبه تشکیل شده است که دارای شیارهایی در جهت قائم است . به وسیله پیچ و مهره می توان فاصله بین لبه ها را کم و زیاد کرد . در واقع پیچ تنظیم کننده و مهره تثبیت کننده فاصله است. وقتی دو لبه روی هم قرار می گیرند، با اعمال فشار به دسته ها و کشیدن آن ها روکش سیم جدا می شود.

سیم لخت کن اتوماتیک : این سیم لخت کن دارای دو لبه متحرک است و روی این لبه ها شیارهایی تعبیه شده ، زمانی که دو لبه روی هم قرار می گیرند تشکیل سوراخ هایی با قطرهای مختلف می دهد که سیم داخل آن ها قرار می گیرد ، روبه روی این لبه ها دو لبه صاف متحرک نیز قرار دارد که به منزله ی نگهدارنده ی سیم است . وقتی می خواهیم سیم را لخت کنیم ابتدا شیار مناسب را انتخاب کرده و سیم را داخل آن می گذاریم سپس دسته سیم لخت کن را فشار می دهیم لبه های صاف پایین می آید و سیم را نگه می دارد حال اگر کمی بیشتر فشار دهیم روکش انتهایی سیم خارج می شود .

سیم لخت کن حرارتی : سیم لخت کن حرارتی به وسیله حرارت ناشی از جریان الکتریکی عایق سیمها را بر می دارد که به دلیل ایجاد دود و بو کمتر استفاده می شود .



### پریز

برای استفاده ی مستقیم از انرژی الکتریکی از پریز استفاده می شود به بیان دیگر پریز یک برق زنده است که به راحتی می توان از آن استفاده کرد . پریزها دارای انواعی هستند که به معرفی پرکاربرد ترین آنها می پردازیم .

- ۱- پریز تک فاز ساده : این نوع پریز بسیار پرکاربرد است و دارای دو پیچ برای اتصال سیم فاز و نول می باشد .
- ۲ - پریز سه فاز ساده : در این نوع پریزها سه کنتاک وجود دارد که سه فاز شبکه به آنها وصل می شوند .
- ۳ - پریز با اتصال زمین : در این نوع پریزها یک کنتاک اضافه به عنوان کنتاکت زمین (ارت) وجود دارد که به منظور حفاظت اشخاص در مقابله با خطر برق گرفتگی استفاده می شود، یعنی در مجموع سه سیم (فاز، نول و ارت) به پریز تک فاز ارت دار وصل می شود .
- ۴ - پریزهای روپوش دار : در مکانهایی مانند حمام و بیرون ساختمان که امکان ورود آب به داخل پریز وجود دارد از پریزهای روپوش دار ( ضد آب Water prof ) استفاده می شود .
- ۵ - پریز های قفل شونده : این پریزها دارای کلیدی هستند که به منظور ایمنی می توان آن را قفل کرد .
- ۶ - پریزهای مخصوص : برای وسایلی مانند آنتن تلویزیون ، تلفن و ... از پریزهای مخصوص خود استفاده می شود و عموماً شدت جریان کمتری را می توانند تحمل کنند .



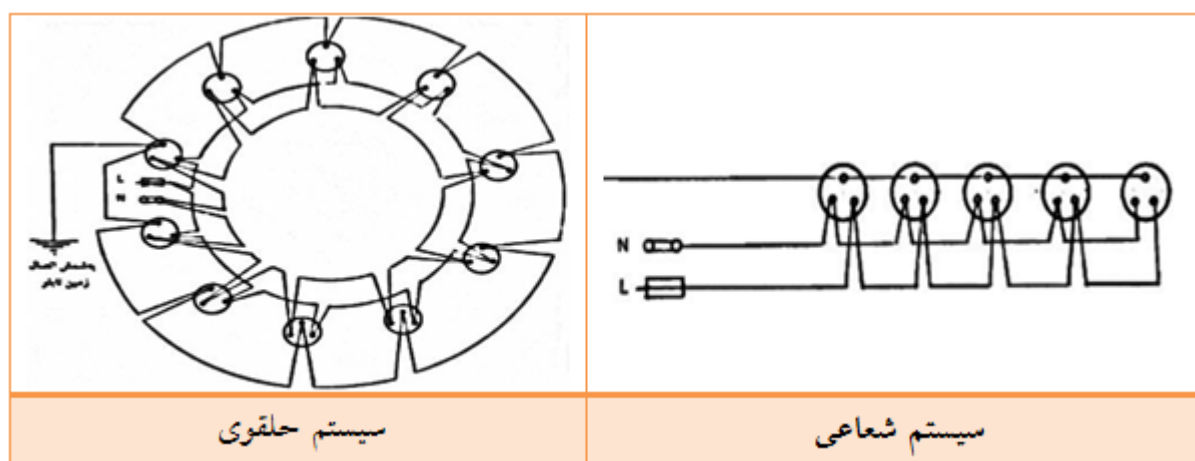


### نکاتی مربوط به پریز

- پریز های برق را بر اساس تعداد فازها، میزان ایمنی و حفاظت شرایط محل نصب، مقدار جریان، مقدار ولتاژ و ... در دو نوع توکار و روکار ساخته و استفاده می شوند.
- حداقل سطح مقطع سیم‌ها در سیم کشی پریزها  $2/5 \text{ mm}^2$  است.
- حداقل ولتاژ قابل تحمل پریزهای تک فاز ۲۵۰ ولت و حداقل میزان جریان قابل تحمل ۱۶ آمپر است.
- حداقل ولتاژ قابل تحمل پریزهای سه فاز ۵۰۰ ولت و حداقل میزان جریان قابل تحمل ۱۶ آمپر است.
- پریزهای مربوط به مصرف کننده های پر قدرت مانند دستگاه جوشکاری، کولرهای گازی و ... که جریان زیادی می کشند باید دارای مدار جداگانه باشند.
- ارتفاع پریزهای برق از کف برای اتاق ۳۰ الی ۴۰ سانتی متر، برای آشپزخانه، گاراژ و ... ۱۱۰ الی ۱۲۰ سانتی متر است.

### انواع اتصال پریزها

- سیستم شعاعی: در این اتصال سیم فاز و سیم نول به هر یک از کنتاکت‌های کلیه پریزها وصل می شود، در این سیستم اگر در هر نقطه از مدار سیم قطع شود پریزهای بعدی بدون برق می مانند.
- سیستم حلقوی: در سیستم حلقوی یا رینگی پریزها از دو طرف تغذیه می شوند به این ترتیب اگر یکی از سیم ها قطع شود از سمت دیگر برق پریزها تأمین می شود. این سیستم برای مکان های با مساحت کمتر از صد متر مربع استفاده می شود.



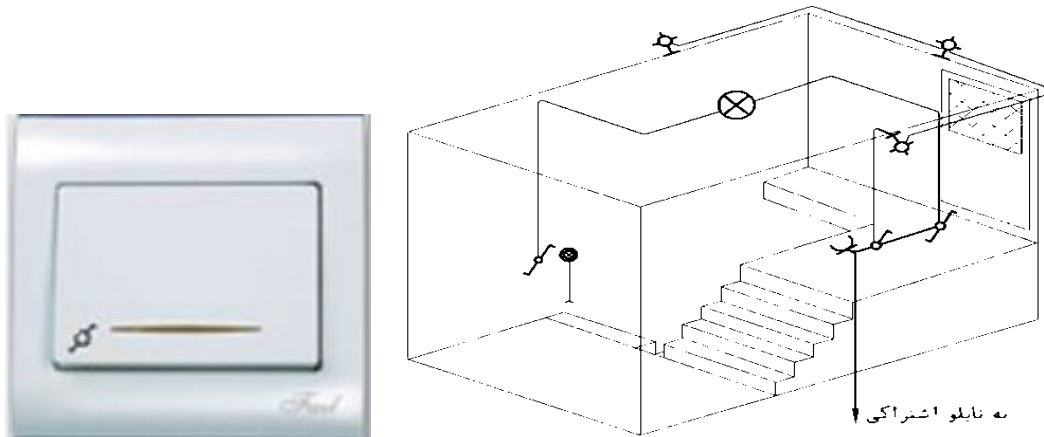
**دوشاخه:** برای اتصال مصرف کننده‌ها به پریز از دوشاخه استفاده می شود، دو شاخه از دو میله فلزی که روی پایه‌ی پلاستیکی یا کائوچویی نصب شده اند، تشکیل می شود. برای پریزهایی که اتصال زمین (ارت) دارند از دو شاخه ای استفاده می شود که دارای زائده فلزی اضافی است که سیم زمین را به بدنه‌ی دستگاه مرتبط می سازد.

**جعبه تقسیم:** در هنگام سیم کشی لازم است از سیم‌ها انشعاباتی بگیریم، این انشعابات داخل جعبه تقسیم گرفته می‌شود، جعبه تقسیم در دو نوع توکار و روکار وجود دارد که ممکن است گرد یا مستطیلی و در اندازه‌های متفاوت باشند. فاصله جعبه تقسیم از سقف ۳۰ سانتی متر است. از آنجایی که جعبه تقسیم به زیبایی ساختمان لطمه می‌زند، بهتر است کمتر استفاده شود.

**کلید تک پل:** برای قطع و وصل کردن یک مسیر جریان از کلید تک پل استفاده می‌شود، که دارای دو پیچ اتصال است و از یک تیغه اتصال ثابت و یک تیغه اتصال متحرک که به پیچ های خروجی وصل هستند، یک فنر و یک میله درست شده است، به وسیله دگمه می توان دو کنتاکت را به هم وصل یا دو کنتاکت را از هم جدا کرد.

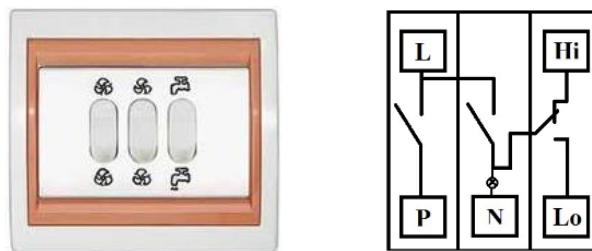
**کلید دوپل :** کلید دوپل برای قطع و وصل کردن دو گروه لامپ از یک نقطه استفاده می شود . این کلید معادل دو کلید تک پل است که در یک محفظه قرار گرفته اند . کلید دوپل دارای دو پیچ غیر مشترک و یک پیچ مشترک با علامت یا رنگی متفاوت می باشد و کاربرد فراوانی در سیم کشی برق ساختمان دارد .

**کلید تبدیل :** کلید تبدیل یا تعویض دارای سه کنتاکت می باشد که دو کنتاکت آن غیر مشترک و یک کنتاکت آن مشترک (با رنگ یا شکل متفاوت) است . از دو کلید تبدیل برای روشن و خاموش کردن یک گروه لامپ از دو نقطه استفاده می شود که معمولاً در راهروها، سالن ها و ... مورد استفاده قرار می گیرد . کلید تبدیل جریان را از یک سیم به سیم تعویض می کند .



**کلید صلیبی :** کلید صلیبی دارای چهار کنتاکت است که برای تغییر جهت جریان در دو سیم مورد استفاده قرار می گیرد ، برای کنترل یک یا چند لامپ از چند نقطه از کلید صلیبی بین کلیدهای تبدیل استفاده می شود . دو نوع کلید صلیبی موازی و متقاطع وجود دارد که از نظر کارکرد یکی هستند ولی از نظر ساختمانی با هم تفاوت دارند .

**کلید کولر:** از کلید کولر برای کنترل مدار کولر استفاده می شود بر روی کلید کولر سه دگمه وجود دارد، از دگمه پمپ برای روشن کردن موتور پمپ و پمپاژ کردن آب استفاده می شود ، از دگمه موتور برای روشن کردن دور کند موتور و از دگمه سرعت برای وارد کردن سیم پیچ دور تند استفاده می شود . کلید کولر معادل دو کلید تک پل و یک کلید تبدیل است .

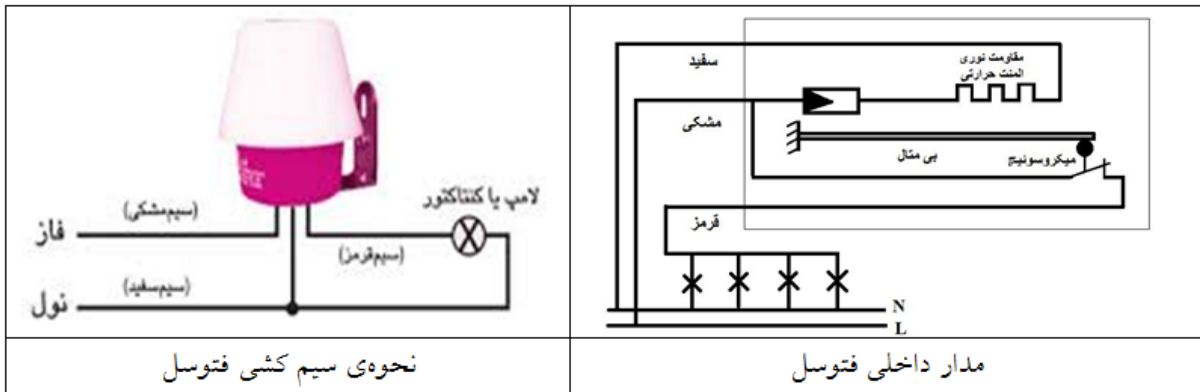


**شستی :** شستی یک نوع کلید تک پل است که تا وقتی روی آن نیرو وارد می شود کنتاکت های آن به هم وصل است و با برداشتن دست کنتاکت ها به وسیله نیروی فنر از هم جدا می شوند .

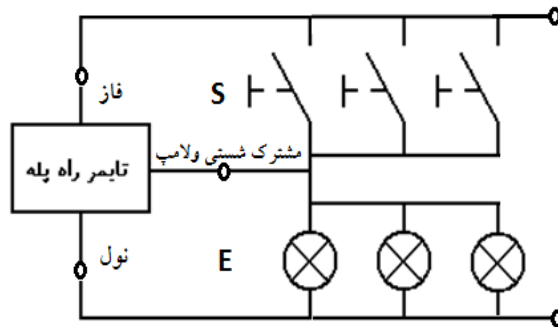
### فتوسل

فتوسل یا سلول فتوالکتریک وسیله ای است که نسبت به نور حساس است و برای کنترل اتوماتیک لامپ های معابر و جاهای دیگر استفاده می شود ، به این ترتیب با تاریک شدن هوا لامپ ها به صورت اتوماتیک روشن و با روشن شدن هوا لامپ ها به صورت اتوماتیک خاموش می شود، فتوسل از یک مقاومت نوری، یک بی متال و یک میکروسوئیچ تشکیل شده است که اگر در معرض نور قرار گیرد مقدار اهم مقاومت نوری کم شده و باعث عبور جریان از بی متال و گرم شدن آن می شود ، زمانی که بی متال گرم می شود خم شده و به میکروسوئیچ برخورد کرده و مدار را قطع می کند.

در نوع دیگری از فتوسل به کمک یک تقویت کننده جریان، یک رله‌ی مغناطیسی را برای قطع مدار، فعال می‌کند. با روشن شدن هوا فتوسل ولتاژی تولید می‌کند تا به رله فرمان دهد که مدار را قطع کند.  
فتوسل دارای سه سیم به رنگ های مشکی (فاز ورودی)، قرمز (فاز برگشتی)، سفید (سیم نول) می باشد.



**تایمر راه پله :** تایمر راه پله یک تایمر تأخیر در قطع استکه در راه پله ها برای روشن و خاموش کردن لامپ ها ( به جای کلید تبدیل ) مورد استفاده قرار می گیرد، بر روی تایمر زمان روشن ماندن لامپ ها توسط ولوم یا کلیدهای چند وضعیتی قابل کنترل است . با فشردن شستی هریک از طبقات که با هم موازی شده اند رله تحریک می شود و لامپ ها را روشن می کند ، پس از گذشت زمان تایمر لامپ ها خاموش می شوند . تایمر راه پله در انواع موتوری، الکترونیکی و ... ساخته می شود .



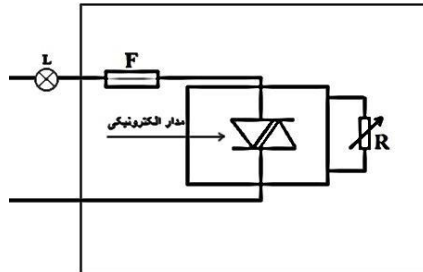
**رله ضربه ای :** رله ضربه ای همانند رله راه پله در محل هایی استفاده می شود که احتیاج باشد یک یا چند لامپ را از چند نقطه کنترل کرد با این تفاوت زمان مطرح نیست و به طور اتوماتیک مدار را قطع و وصل می شود . رله ضربه ای تقریباً کار کلید صلیبی را انجام می دهد .

سنسور : به جای استفاده از تایمر می توان از سنسور در راه پله ها، پارکینگ ها، سرویس ها و ... استفاده کرد به این صورت که سنسور با تشخیص حرکت لامپ را برای مدت مشخصی روشن می کند و سپس به صورت اتوماتیک خاموش می کند . در سنسور ها می توان میزان LUX را تنظیم کرد تا میزان حساسیت سنسور نسبت به نور محیط قابل کنترل باشد و در زمان ها و مکان هایی که نور محیط به اندازه ی کافی است سنسورها لامپ ها را روشن نکند.



**زنگ اخبار :** زنگ اخبار وسیله ای است که به وسیله آن می توان به افراد دیگر پیام خاصی را توسط صوت اطلاع داد و از نظر ولتاژ در سه نوع ac ، dc و ac . dc در بازار وجود دارند .

**دیمر :** دیمر وسیله ای است شبیه کلید معمولی که دارای ترمینال های ورودی و خروجی است توسط تنظیم کننده آن که به صورت دورانی یا کشویی است می توان میزان شدت نور لامپ را تغییر داد، دیمر از عناصر الکترونیکی تریاک، دیاک، خازن ، سلف و ... ساخته می شود ، تریاک نقش اصلی را بازی می کند و مانع عبور قسمتی از شکل موج ولتاژ ورودی می شود .



فتر سیم کشی: برای عبور دادن سیم از داخل لوله های سیم کشی از فتر استفاده می شود . فتر از نوار نازک فولادی یا پلاستیک خشک ساخته می شود که در یک سر آن زائده ای قرار دارد و در سر دیگر آن یک قلاب فلزی قرار دارد ، فتر با سر زائده دار وارد لوله می شود و سیم ها را که به قلاب انتهایی آن وصل است را با خود می کشد . فتر در مترهای متفاوت مانند ۱۰ ، ۱۲ ، ۱۵ و ... در بازار موجود می باشد .

چاقوی کابل بری : از این وسیله به منظور برداشتن عایق کابل و بریدن لوله های خرطومی استفاده می شود در هنگام روپوش برداری باید انگشت شست پشت چاقو قرار گیرد و جهت چاقو به سمت جلو باشد . برای روپوش برداری سریع از کابل های ضخیم و کابل های با قطر کم از دستگاه روپوش برداری کابل استفاده می شود .

**فیوز**


فیوز ساده ترین و متداولترین وسیله حفاظتی است و مدارات را در مقابله اضافه جریان حفاظت می کند . فیوز و سایر وسایل حفاظتی با مدار به صورت سری قرار می گیرند . بر اساس استاندارد فیوزها باید در جایی نصب شوند که به راحتی قابل دسترس باشند . در جدول زیر اندازه استاندارد فیوزها آمده است .

۶۳	۵۰	۳۵	۲۵	۲۰	۱۵ (۱۶)	۱۰	۶	۴	۲
۴۰۰	۳۵۰	۳۰۰	۲۶۰	۲۲۵	۲۰۰	۱۶۰	۱۲۵	۱۰۰	۸۰
					۱۰۰۰	۸۰۰	۶۳۰	۵۰۰	۴۳۰

**انواع فیوزاز لحاظ سرعت قطع مدار**

**فیوز تندکار :** فیوز تندکار فیوزی است که بیشتر در مدارات روشنایی استفاده می شود و دارای زمان عملکرد بسیارکوچک ( تقریباً آنی ) است . و با علامت F نشان می دهند .

**فیوز کندکار (تأخیری) :** فیوزهای کندکار دارای زمان قطع بیشتری نسبت به فیوزهای تندکار دارند و در مدارات راه اندازی الکتروموتورها استفاده می شود زیرا جریان راه اندازی الکتروموتورها ۴ تا ۷ برابر جریان نامی است، اگر از فیوز تندکار استفاده

شود در لحظه راه اندازی فیوز مدار الکتروموتور را قطع می کند . فیوز تاخیری را با علامت  نشان می دهند .

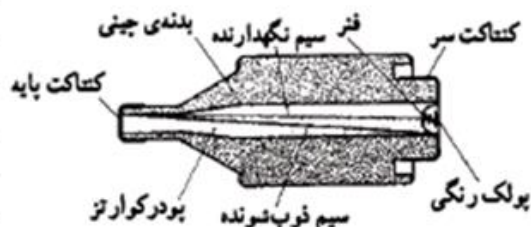
### انواع فیوز از نظر ساختمان

فیوز ها دارای انواع مختلفی از جمله فیوز فشنگی ، فیوز کاردی ، فیوز شیشه ای ، فیوز اتوماتیک و ... که در زیر به توضیح نحوه عملکرد برخی از فیوز های پرکاربرد می پردازیم .

#### ۱ - فیوزهای فشنگی یا ذوب شونده

فیوز فشنگی از سه قسمت پایه فیوز، فشنگ (بدنه استوانه ای شکل) و کلاهک تشکیل شده است . داخل فشنگ یک نوار فلزی ذوب شونده از جنس نقره با درجه حرارت ذوب ۹۵۰ درجه سانتی گراد قرار دارد اطراف آن از پودر فشرده کوارتز یا براده های سرامیک قرار گرفته است . نوار حرارتی به سر های فلزی دو انتهای فشنگ وصل است . به منظور شناسایی میزان جریان نامی و تشخیص سالم بودن فیوز فشنگی از پولک رنگی استفاده می شود پس از سوختن سیم حرارتی فیوز ، سیم مقاومت دار نیز می سوزد و پولک فلزی که تحت کشش فنر کوچکی قرار دارد به طرف بیرون پرت می شود .

جدول رنگ پولک فیوز برای جریان های مختلف	
جریان مجاز فیوز	رنگ پولک
۲	صورتی
۴	قهوه ای روشن
۶	سبز
۱۰	قرمز روشن
۱۶	خاکستری
۲۰	آبی
۲۵	زرد روشن
۳۵	سیاه
۵۰	سفید
۶۳	مس روشن
۸۰	نقره ای
۱۰۰	قرمز تیره
۱۲۵	زرد تیره
۱۶۰	مس



#### فیوز اتوماتیک α

فیوز اتوماتیک یا آلفا نوعی فیوز خودکار است که عبور بیش از حد جریان مجاز از آن موجب قطع مدار می شود اما می توان دوباره شستی آن را به داخل فشرده تا مدار دوباره وصل شود . در فیوزهای اتوماتیک دو عنصر حرارتی و مغناطیسی وجود دارد . عنصر حرارتی مانند یک رله مغناطیسی جریان ، با وقوع اتصال کوتاه یا جریان زیاد مدار را قطع می کند و عنصر حرارتی مدار را در حالت اضافه بار (افزایش تدریجی جریان) قطع می کند .

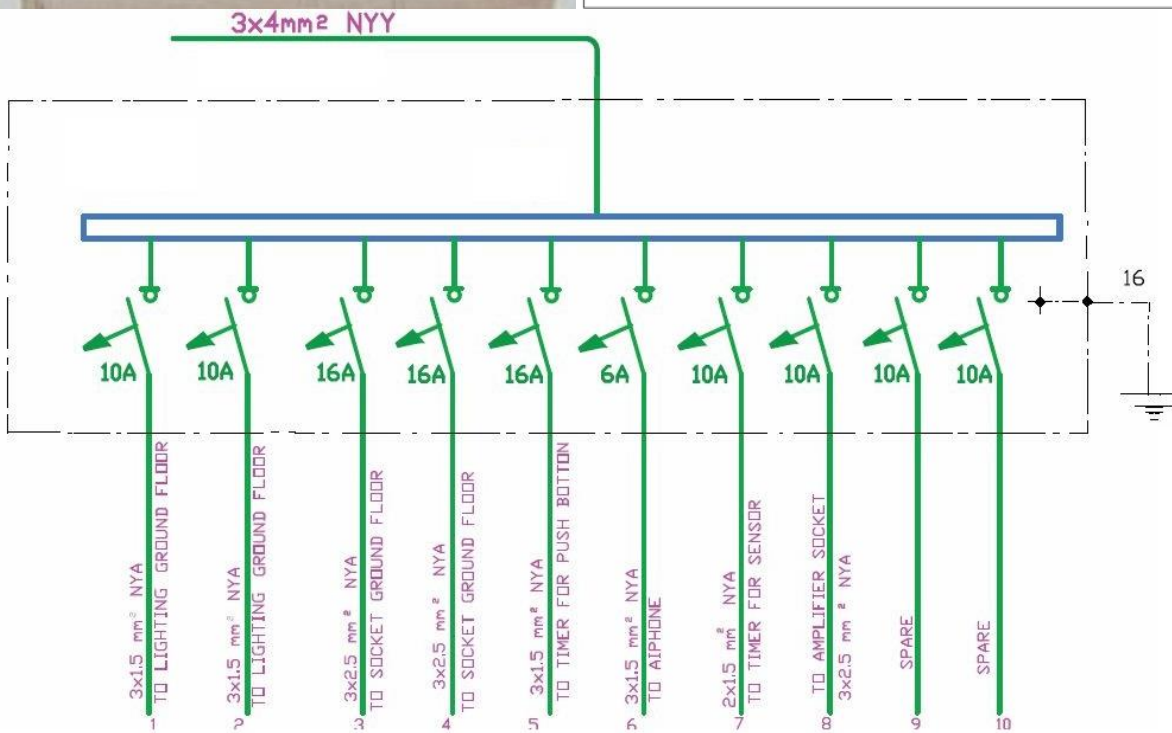
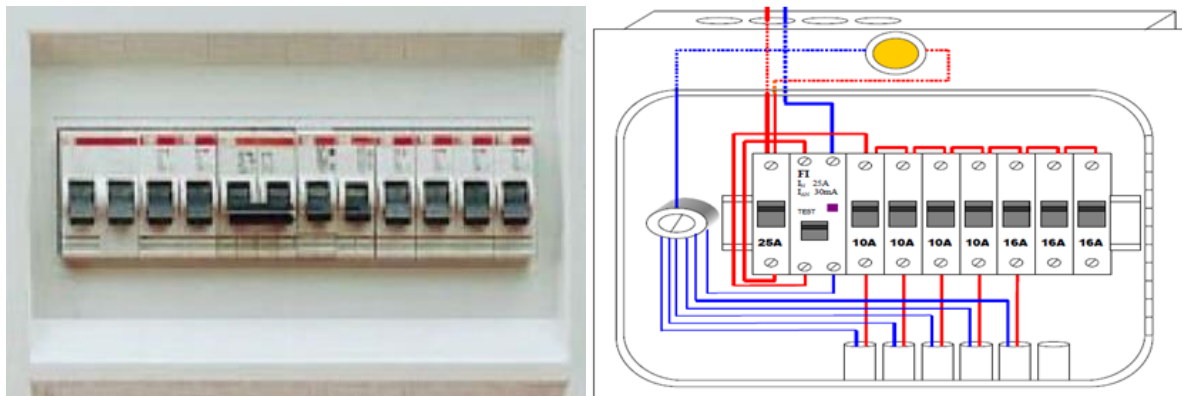


### فیوز مینیاتوری

فیوز یا کلید مینیاتوری از نظر ساختمانی مانند فیوز اتوماتیک  $\alpha$  است و از سه قسمت رله مغناطیسی ( اتصال کوتاه ) رله حرارتی ( اضافه بار ) و کلید تشکیل شده است به این مجموعه کلید موتور نیز نامیده می شود که در دو نوع **L** و **G** ساخته می شود ، نوع **L** برای مصارف روشنایی و نوع **G** برای راه اندازی الکتروموتورها مورد استفاده قرار می گیرد .



نکته - در محل های مسکونی برای حفاظت انشعاب های روشنایی از فیوز ۱۰ آمپر و برای حفاظت سیم انشعاب پریزهای تکفاز از فیوز ۱۶ آمپر استفاده می شود  
 نکته - هر اتاق باید حداقل توسط دو خط تغذیه شود .



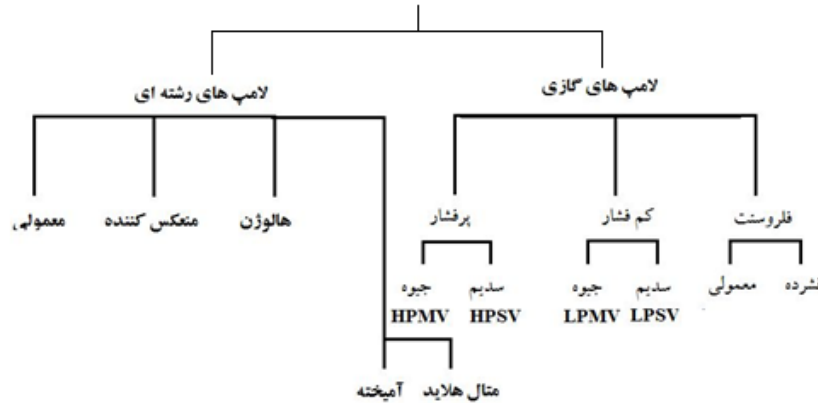
شناسایی فیوزهای فشار ضعیف از نظر محدوده قطع و نوع کاربرد توسط دو حرف مشخص می شود .  
**حرف اول :** حرف اول **g** یا **a** می باشد و مشخص کننده ظرفیت قطع فیوز است . فیوز با علامت **g** را فیوز با قطع کامل و فیوز با علامت **a** را فیوز با ظرفیت قطع نسبی می نامند .

**حرف دوم :** حرف دوم مشخص کننده نوع کاربرد فیوز است که می تواند **G** ( کاربرد عمومی ) ، **M** ( کاربرد در مدارات موتوری ) ، **D** ( برای فیوز های تاخیری ) یا **N** ( برای فیوز های بدون تاخیر ) باشد .  
 برای مثال کد **gg** مشخص کننده فیوزی است که با ظرفیت کامل جریان را قطع می کند و کاربرد عمومی دارد .

### سیستم های روشنایی

لامپ رکن اصلی سیستم های روشنایی محسوب می شود که انرژی الکتریکی را به انرژی نورانی تبدیل می کند ، و دارای انواع مختلفی هستند که هر کدام کاربرد خاصی دارند که در زیر به تعریف مختصر پرکاربرد ترین لامپ ها می پردازیم .

#### دسته بندی کلی لامپ ها



**لامپ رشته ای معمولی :** بر طبق قانون ژول با عبور جریان از یک فلز در آن حرارت ایجاد می شود اگر درجه حرارت بالاتر برود فلز ابتدا سرخ و سپس نارنجی می شود و پس از آن به حالت ملتهب و درخشان درمی آید و از خود نور سفید منعکس می کند .

لامپ رشته ای از قسمت های زیر تشکیل شده است .

**رشته لامپ :** رشته لامپ که از جنس تنگستن است و به فیلامان معروف می باشد به صورت مارپیچ با قطر کم ساخته می شود ، درجه حرارت فیلامان لامپ در حدود ۲۵۰۰ درجه سانتی گراد است .

**حباب لامپ :** حباب اغلب لامپ ها از شیشه ی معمولی ساخته می شود ولی شیشه ی لامپ های توان بالا و لامپ هایی که در معرض باران و برف قرار دارند از شیشه ی سخت که مقاومت کافی دارند ساخته می شود. در برخی از لامپ ها برای کاهش چشم زدگی داخل شیشه را از سیلیس می پوشانند. لامپ های رنگی را نیز با رنگ زدن سطح داخلی یا خارجی شیشه می سازند.  
**گاز داخل حباب :** داخل حباب را از گازهای خثی مانند آرگون ، ازت، نئون، هلیوم، کریپتون و گزنون پر می کنند تا از تبخیر رشته ی فیلامان جلوگیری شود .

**لامپ هالوژن :** لامپ هالوژن شبیه لامپ رشته ای معمولی است با این تفاوت که علاوه بر گازهای بی اثر از یک عنصر هالوژن مانند برم یا ید نیز در داخل حباب برای جلوگیری از تبخیر تنگستن استفاده می شود . بهره ی نوری لامپ هالوژن دو برابر لامپ های رشته ای معمولی و طول عمر آن ها حدود ۳۰۰۰ ساعت است . از لامپ های هالوژن در خودروها، لامپ های تزئینی، پروژکتورهای استودیویی و همچنین لامپ های اماکن استفاده می شود . این لامپ ها گرمای زیادی تولید می کنند برای کاهش حجم حباب آن را به صورت لوله ای یا موادی می سازند تا از بروز ترک جلوگیری شود.

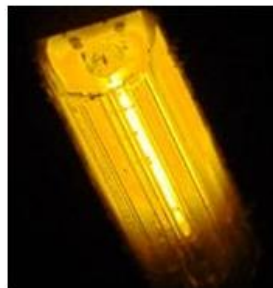


**لامپ بخار جیوه** : لامپ بخار جیوه دارای دو حباب است، حباب داخلی از کوارتز که در مقابل فشار و حرارت مقاوم است و حباب خارجی به منظور حفاظت از حباب داخلی در مقابل عوامل بیرونی استفاده می‌شود که به صورت استوانه‌ای یا بیضوی ساخته و سطح داخلی آن را از فسفر می‌پوشانند، درون محفظه‌ی حباب داخلی را از جیوه به همراه کمی آرگون و بین دو حباب را از گازهای بی اثر پر می‌کنند تا از اکسید شدن قسمت های داخلی جلوگیری شود .

طرز کار لامپ جیوه : هنگامی که ولتاژی به دو سر لامپ اعمال شود نور آبی رنگ ناشی از گاز آرگون دیده می‌شود و بعد از چند دقیقه همه جیوه‌ی بخار می‌شود و لامپ به طور کامل روشن می‌شود ، بعد از خاموش کردن لامپ حدود ۵ تا ۷ دقیقه طول می‌کشد تا خنک شود و شرایط برای روشن شدن مجدد فراهم شود .

**لامپ متال هالاید** : لامپ متال هالاید ساختمانی شبیه لامپ جیوه پرفشار دارد که داخل حباب علاوه بر جیوه مقدار کمی نمک های هالوژنی اضافه می‌شود، کاربرد این نوع لامپ‌ها بیشتر در روشنایی میداین ورزشی، نورتابی به ساختمان های بلند است .

**لامپ بخار سدیم** : این لامپ ها شبیه لامپ های بخار جیوه است با این تفاوت که داخل حباب به جای آرگون از گاز نئون ، و به جای جیوه از سدیم استفاده می‌شود و راه اندازی آنها حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه طول می‌کشد، نور این لامپ ها زرد است و بهره نوری زیادی دارند و در جاهایی که رنگ نور اهمیتی ندارد مانند معابر و خیابان ها استفاده می‌شود .

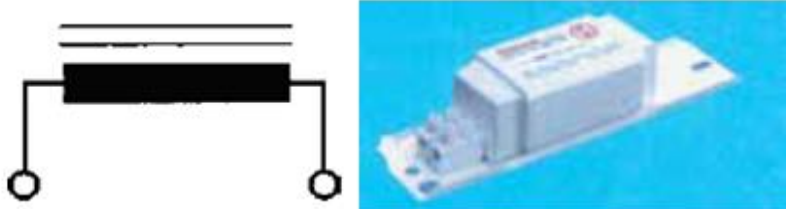


**لامپ فلورسنت (Fluorescent)**: لامپ فلورسنت یا مهتابی از پر کاربردترین نوع لامپ ها است و در مراکز اداری، صنعتی، آموزشی، تجاری، خانگی و ... استفاده می‌شود . این لامپ از یک لوله بلند ( ۲۰ تا ۱۶۰ سانتی متری ) با قطر داخلی کم ( ۲۵ تا ۳۸ میلی‌متر ) ساخته می‌شود و داخل آن از ماده فلورسنت پوشیده شده است، در دو طرف لوله دو رشته فلزی تنگستن اندود به باریم که به راحتی الکترون ساطع می‌کنند و گاز را گرم و به حرکت در می‌آورد قرار دارد و فضای داخل لوله از بخار جیوه با فشار کم پر شده است . برای روشن شدن لامپ فلورسنت از چوک و استارتر استفاده می‌شود .

**چوک (ترانس مهتابی)**: چوک سیم پیچی است که دور یک هسته قرار دارد و با مدار به صورت سری قرار می‌گیرد و دو کار اصلی را انجام می‌دهد .



الف - بالابردن ولتاژ در لحظه راه اندازی : در لحظه راه اندازی ولتاژ زیادی لازم است تا تخلیه الکتریکی در لامپ صورت گیرد چوک به کمک استارتر لامپ را روشن می کند .  
 ب - محدود کردن جریان پس از راه اندازی : پس از آنکه لامپ روشن شد بخار جیوه داخل آن در اثر یونیزاسیون ، مقاومت کمی پیدا می کند و در نتیجه جریان لامپ بالا می رود ، در این حالت چوک باعث کاهش جریان لامپ می شود .

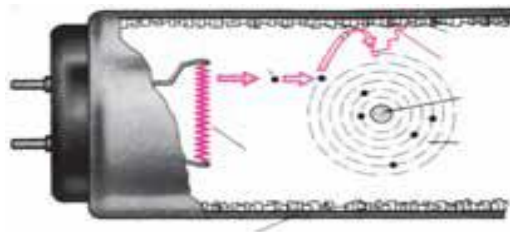


**استارتر (startr):** استارتر یک لامپ نئون کوچک است که از دو الکترود تشکیل شده است یکی از الکترودهای آن یک تیغه فلزی بی‌مقال و الکترود دیگر یک تیغه فلزی است که درون آن از گاز نئون پر شده است، برای یونیزاسیون گاز نئون داخل استارتر ولتاژ ۱۴۰ تا ۱۵۰ ولت احتیاج است . بعد از روشن شدن لامپ اگر استارتر را از مدار جدا کنیم مهتابی همچنان روشن می ماند زیرا گاز جیوه یونیزه شده و جریان مسیرش را از طریق گاز داخل مهتابی می بندد .



**خازن :** در مدار لامپ فلورسنت از دو خازن استفاده می شود ، به دلیل خاصیت سلفی چوک ضریب قدرت  $\cos\phi$  کاهش می یابد که برای بالا بردن ضریب قدرت یک خازن با چوک موازی می شود . یک خازن دیگر برای جلوگیری از پیدایش جرقه و پارازیت با استارتر موازی می شود .

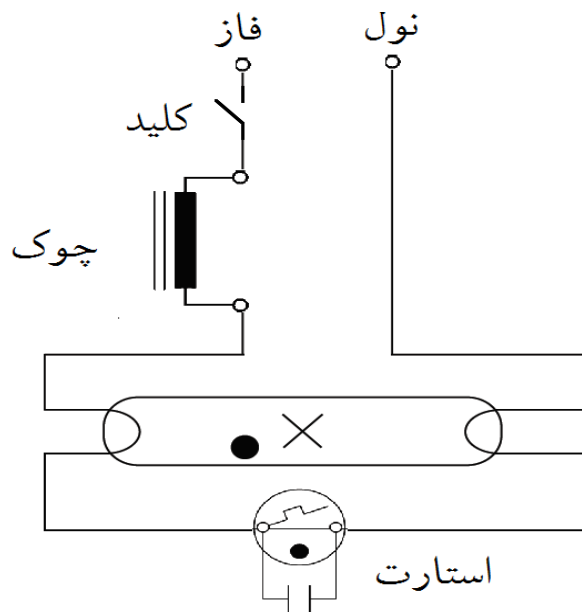
پایه مهتابی : در سرهای لامپ فلزی دو زائده فلزی وجود دارد که به فیلامان لامپ متصل هستند، این زائده ها به پایه های لامپ که از جنس پلاستیک یا کائوچو است وصل می شوند . استارتر بر روی پایه بلند قرار می گیرد یا پایه ای جداگانه ای برای استارتر تعبیه شده است .



### طرز کار لامپ فلورسنت

با وصل کلید به دو سر استارتر ولتاژ شبکه اعمال می شود که باعث یونیزه شدن گاز نئون داخل استارتر و خم شدن تیغه بی-مقال و وصل آن به الکترود دیگر می شود. با وصل شدن تیغه ها ، جریانی از مسیر استارتر ، فیلامان ها و چوک در مدار جاری می شود در این حالت فیلامان ها سرخ شده و موجب پرتاب الکترون ها از سطح فیلامان می شود که باعث یونیزه شدن گازهای داخل لامپ می شود . در این حالت چون الکترود های استارتر به هم چسپیده اند دیگر گاز داخل آن یونیزه نمی شود و الکترود سرد و تیغه ها از هم جدا می شوند و در نتیجه استارتر از مدار جدا می شود . با قطع آنی این جریان

ولتاژ بزرگی در حدود ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ ولت در دو سر چوک ایجاد می شود که باعث تخلیه الکتریکی درون لوله بین دو فیلامان می شود و پس از گذشت چند ثانیه لامپ روشن می شود .



مدار الکتریکی لامپ فلورسنت

نوع منبع	کاربرد	مزیت	عیب
لامپ رشته ای	در ساختمان های مسکونی ولی به سختی روشنایی مورد نیاز را فراهم می کنند	ارزان، قابلیت تغییر میزان نور، رنگدھی خوب، روشن شدن سریع	کم بازده، عمر کم، عدم تامین نور نیازمند برای ساختمان براساس استانداردهای روز
لامپ فلورسنت خطی	می توان آنها را روی سقف، دیواره ها یا داخل چراغها مختلف به عنوان بخشی از انواع سیستم روشنایی نصب کرد	ارزان، قابلیت تغییر میزان نور با بالاستهای مخصوص، بازده خوب، عمر زیاد (۱۲۰۰۰ الی ۱۵۰۰۰ ساعت)، رنگدھی خوب	در نوع خاصی از چراغها (چراغهای خطی) قابل استفاده است.
لامپ فلورسنت فشرده	می توان آنها را روی سقف، دیواره ها یا داخل چراغها مختلف به عنوان بخشی از انواع سیستم روشنایی نصب کرد	ارزان، بازده خوب، عمر زیاد (۱۰۰۰ ساعت) رنگدھی خوب، موجود در اندازه های کوچک، روشن شدن سریع	تغییر میزان نور در این لامپ ها مشکل است هر چند بالاستهای مخصوصی برای این کار موجود است
لامپ های متال هالید	با محدوده وسیعی از کاربردها، اغلب برای روشنایی مکانهای بزرگ مورد استفاده است	منبع نور سفید، بازده خوب، اندازه کوچک، عمر نسبتا زیاد	گران، نیاز به گرم شدن اولیه، نیاز به ۱۵ دقیقه برای شروع بکار مجدد بعد از خاموش کردن، عدم امکان تغییر میزان، نور، رنگدھی زیر ۸۰ ناپایداری نور در انواع قدیمی
لامپ جیوه ای	همانند متال هالید	نسبتا ارزان، عمر زیاد	رنگدھی ضعیف، بازده متوسط، نیاز به گرم شدن
لامپ سدیمی	همانند متال هالید	بازده بالا، عمر زیاد	رنگدھی ضعیف، نیاز به گرم شدن

جدول مقایسه ی انواع لامپ ها

**تعاریف و کمیت های سیستم روشنایی**

**شدت نور** : میزان توان نوری منتشر شده از منبع نور را شدت نور ( Luminous Intensity) می گویند. واحد آن کاندیلا cd است و با I نشان داده می شود .

**شار نوری** : توان تشعشعات الکترومغناطیسی قابل رویتی است که از منبع نورانی خارج شده و یا جسمی آن را دریافت می کند را شار نوری ( Luminous Flux ) می گویند. که با  $\phi$  نشان می دهند و واحد اندازه گیری آن لومن Lm است . در زیر شار نوری برخی منابع تولید نور آمده است .

منبع نور	شار نوری
لامپ دوچرخه	۱۰ لومن
لامپ رشته ای ۱۵۰ وات	۱۹۴۰ لومن
لامپ فلروسنت ۴۰ وات	۲۸۱۰ لومن
لامپ سدیم ۱۴۰ وات	۱۳۰۰۰ لومن

**بهره نوری** : بنا به تعریف به نسبت شار نوری به توان ورودی لامپ ، بهره نوری لامپ گفته می شود .

$$\eta = \frac{\phi}{p}$$

**شدت روشنایی** : به مقدار شار نوری که به واحد سطح می رسد شدت روشنایی یا چگالی شار روشنایی می گویند ، شدت روشنایی را با E نمایش می دهند و برحسب لومن بر متر مربع یا لوکس lx می باشد .

$$E = \frac{\phi}{A}$$

شدت روشنایی یکی از پارامترهای مهم در محاسبات روشنایی می باشد و هر کشوری با توجه به فرهنگ و اهمیتی که به روشنایی می دهند، شدت روشنایی لازم برای مکان های مختلف محاسبه و در اختیار مردم قرار می دهند . در ایران نیز موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ISIRI جداولی را بدین منظور تهیه کرده است که بر مبنای محاسبات روشنایی داخلی می باشد . در زیر شدت روشنایی پیشنهادی برخی مکان های معمولی آورده شده است .

مکان	شدت روشنایی ( لوکس)	مکان	شدت روشنایی ( لوکس)
اتاق پذیرایی	۲۰۰	دفاتر و اداره جات	۵۰۰
آشپزخانه	۲۰۰	اتاق مطالعه	۵۰۰
اتاق خواب	۱۰۰	روی میز مطالعه	۵۰۰
راهرو و آسانسور	۱۵۰	سالن ورزشی سرپوشیده	۵۰۰
کلاس درس	۵۰۰	میز عمل جراحی	۸۰۰۰

درخشندگی : درخشندگی یا تراکم نور ( Luminance Brightness ) را با  $L$  نشان می‌دهند و به نسبت شدت نور ساطع شده از منبع  $I$  در جهتی خاص به سطح منبع نورانی در همان جهت تعریف می‌شود . واحد اندازه گیری آن کاندیلا بر مترمربع یا نیت می‌باشد، استیلب واحد دیگر درخشندگی می‌باشد که برابر یک کاندیلا بر سانتی مترمربع یا ده هزار نیت می‌باشد .

$$L = \frac{I}{S}$$

اگر دو منبع نورانی که شدت نور برابر ولی اندازه‌ی فیزیکی مختلفی داشته باشند به طور پشت سر هم رؤیت شوند ، منبعی که کوچکتر است درخشنده تر به نظر می‌رسد . درخشندگی مناسب برای چشم انسان بین ۶۰ تا ۶۵۰۰ نیت می‌باشد .

### برآورد تقریبی بار روشنایی

با استفاده از جدول زیر می‌توان میزان وات لازم به ازای هر مترمربع را برای مکان‌های مختلف محاسبه کرد .

روشنایی بر حسب وات بر متر مربع		نوع محل
رشته ای	فلورسنت	
۲۲-۱۵	۸-۶	آشپزخانه ، پذیرایی
۱۱-۷	۴-۳	اتاق خواب ، پارکینگ ، راه پله
۶-۲	۲-۱/۵	زیر زمین ، اتاق‌های همکف و نظایر آن
۱۰	۷	دفاتر و اداره جات

مثال - برای یک اتاق خواب ۲۰ مترمربع ای چند لامپ رشته ای ۱۰۰ وات احتیاج است ؟

دو عدد لامپ ۱۰۰ وات -  $20 \times 10 = 200 \text{ W}$

مثال- برای یک پذیرائی ۴۸ متر چند عدد لامپ ۴۰ وات فلورسنت احتیاج است ؟

پنج عدد لامپ فلورسنت ۴۰ وات مناسب می‌باشد .  $N = \frac{192}{40} = 4/8$  ,  $48 \times 4 = 192 \text{ W}$

### مدار مکالمه دو طرفه ( آیفون صوتی )

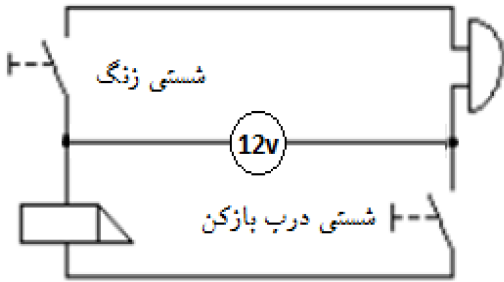
از آیفون برای ارتباط بین داخل و خارج و باز کردن در ساختمان استفاده می‌شود . هر آیفون شامل قسمت‌های زیر می‌باشد .

۱ - منبع تغذیه : منبع تغذیه هم برق DC مستقیم را برای مدار مکالمه و برق متناوب AC را برای مدار درب باز کن تأمین می‌کند ، از یک ترانسفورماتور ولتاژ برای تبدیل برق ۲۲۰ ولت به برق ۱۲ ولت استفاده می‌شود . قسمت DC را نیز از خروجی ترانس به وسیله ی یکسوساز الکترونیکی فراهم می‌شود . در برخی از آیفون‌ها خروجی DC وجود ندارد و تمام قسمت‌های آیفون با برق AC کار می‌کنند .

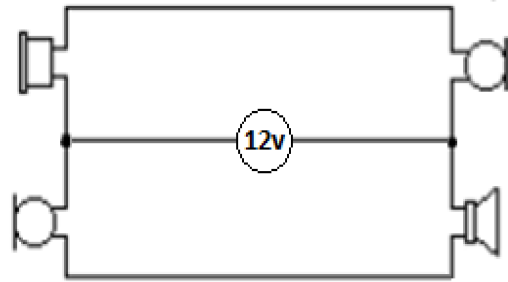
۲ - مدار خبر : مدار خبر از یک زنگ اخبار ۱۲ ولت که داخل خود گوشی قرار دارد و یک شستی که مقابل در ورودی است تشکیل می‌شود .

۳ - مدار در باز کن : مدار در باز کن از یک در باز کن که روی در و یک شستی که روی گوشی قرار گرفته تشکیل شده است . طرز کار آن به این ترتیب است که با فشردن شستی، برق متناوب از منبع تغذیه به در بازکن اعمال می‌شود، با عبور جریان از سیم پیچ درب بازکن یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود که موجب می‌شود اهرم به سمت داخل کشیده شود و در باز شود .

۴ - مدار مکالمه : مدار مکالمه از یک گوشی، یک بلندگو و دو میکروفون (دهنی) تشکیل شده است که اگر گوشی را نزدیک گوش قرار دهیم می توان از داخل منزل با فردی که جلوی درب است مکالمه کرد .



مدار زنگ و درب باز کن



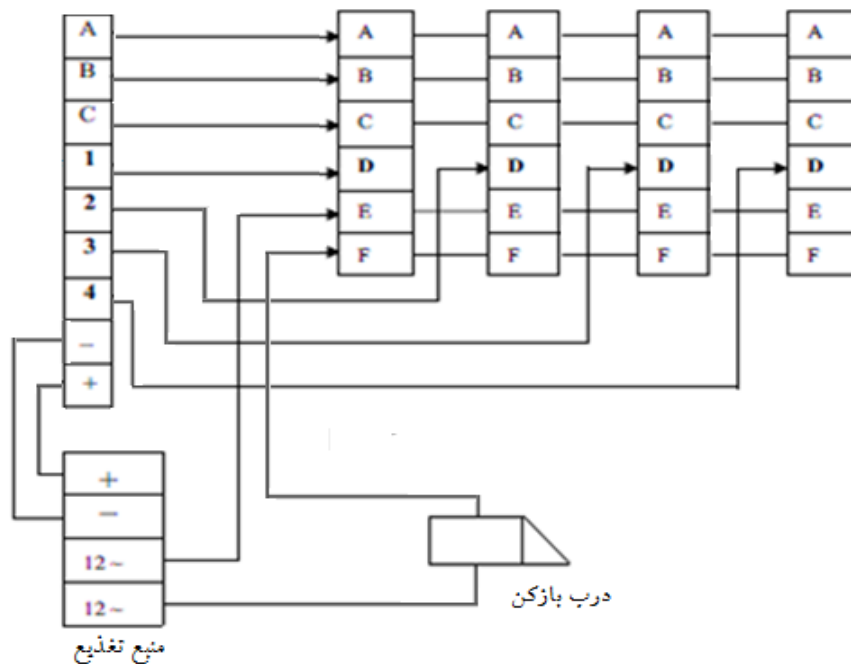
مدار مکالمه



نحوه ی سیم کشی یک نوع آیفون معمولی

- ۱ - کنتاکت های ABC گوشی و صفحه جلوی درب به هم وصل می شوند و مربوط به مدار مکالمه هستند .
- ۲ - کنتاکت های + و - منبع تغذیه که برق مستقیم را برای تأمین ولتاژ مدار مکالمه و مدار زنگ فراهم می کند به + و - صفحه ی جلوی در وصل می شود .
- ۳ - کنتاکت D گوشی منزل مربوط به زنگ است که به شماره ی واحد مربوطه پانل جلوی در وصل می شود .
- ۴ - کنتاکت های مربوط به منبع تغذیه ی ac برای وصل به در بازکن از طریق کنتاکت های DF گوشی منزل در نظر گرفته شده، زمانی که شستی گوشی داخل منزل فشرده شود، کنتاکت های E و F به هم وصل و مدار درب بازکن بسته می شود .

گوشی طبقه چهارم    گوشی طبقه سوم    گوشی طبقه اول    صفحه جلوی درب

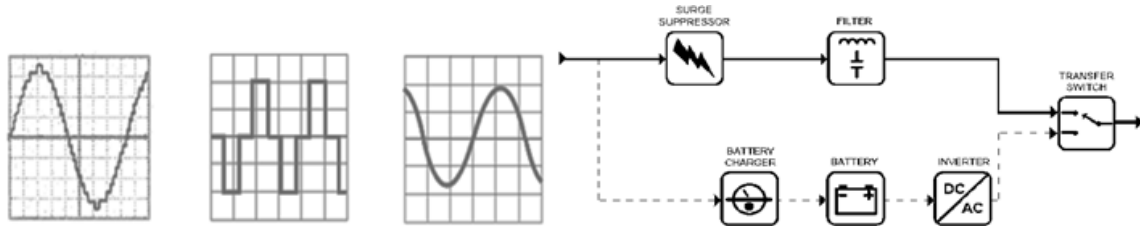


## منابع تغذیه‌ی بدون وقفه UPS

منابع تغذیه‌ی بدون وقفه UPS برای تأمین برق اضطراری استفاده می‌شود. زمانی که برق مصرف کننده‌ها قطع شود UPS وارد مدار می‌شود و برق مورد نیاز را تأمین می‌کند. در واقع UPS یک اینورتر است که برق DC باتری را به برق متناوب تبدیل می‌کند. استفاده از UPS محدودیت‌هایی دارد زیرا باتری آن دشارژ می‌شود، توان خروجی آن محدودیت دارد و شکل موج خروجی آن کاملاً شبیه برق شهر نمی‌باشد، در صورتی که بخواهیم محدودیت‌های فوق را برطرف کنیم هزینه UPS شدیداً افزایش خواهد یافت، به همین دلیل از UPS بیشتر در مکان‌هایی چون بانک‌ها، اداره جات و ... برای حفاظت کامپیوترها، سیستم‌های مخابراتی و سایر سیستم‌هایی که نسبت به بروز وقفه در منبع تغذیه حساس‌اند استفاده می‌شود.



کیفیت شکل موج خروجی UPS های مختلف به دلیل متفاوت بودن نوع اینورتر آن‌ها با یکدیگر متفاوت است. همانطور که گفته شد اینورتر برق DC را از باتری دریافت میکند و آن را به برق AC تبدیل می‌کند. در بدترین وضعیت شکل موج خروجی مربع ای می‌باشد و در بهترین UPS ها شکل موج خروجی سینوسی خالص می‌باشد. و در UPS های معمولی شکل موج برق خروجی نزدیک به سینوسی می‌باشد.



## سیم و انواع اتصالات

سیم: سیم‌ها از دو قسمت هادی و عایق تشکیل شده است جنس هادی عموماً از مس است ولی آلومینیوم نیز کاربرد زیادی دارد. عایق سیم‌ها از مواد پلاستیکی به صورت لایه‌ای ساخته می‌شود. طول سیم را بر حسب متر و مقطع آن بر حسب میلی‌متر مربع اندازه گیری می‌کنند. معمولاً جنس هادی و عایق و نوع کاربرد کابل‌ها و سیم‌ها با حروف مشخصی نشان داده می‌شود که روی روکش خارجی آن‌ها درج می‌شود. هر حرف معنای خاص خود را دارد که در جدول زیر تشریح شده‌اند.

معنای حرف	حرف اختصاری
سیم مسی	N
عایق پرتودور PVC	Y
سیم مخصوص	S
سیم مخصوص	Z
سیم نرم	F
سیم مخصوص داخل لوله	A
سیم مقاوم در مقابل رطوبت	M

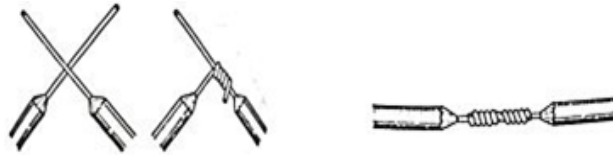
معنای حروف	حروف اختصاری
سیم تک لا با عایق پلاستیکی	NYA
سیم افشان با عایق پلاستیکی	NYAF
سیم مخصوص با عایق پلاستیکی	NSYA
سیم مقاوم در مقابل رطوبت	NYM
سیم مخصوص با عایق پلاستیکی	NYZ
سیم مخصوص لوستر و چراغ‌ها	NYFA
سیم دو رشته ای (دولا) مخصوص روشنایی	NYFAZ

**سیم یا کابل کواکسیال :** کواکسیال یک کابل دو سیمه است که از یک رشته سیم داخلی در مرکز کابل با عایق PVC و یک سیم خارجی که بر روی عایق سیم مرکزی بافته شده است تشکیل می شود. سیم داخلی به عنوان سیم اصلی به بدنه دستگاههای صوتی تصویری وصل می شود و سیم خارجی به عنوان محافظ در مقابل پارازیت های خارجی به بدنه دستگاه وصل می شود. ترجیحاً سیم کواکسیال باید از لوله ای جداگانه ای عبور داده شود.

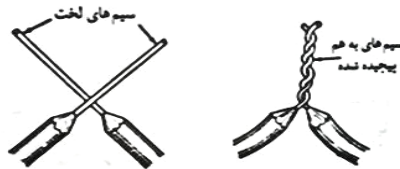
**اتصال سیم ها به هم :** گاهی لازم است در هنگام سیم کشی، سیم ها را به هم وصل کنیم که به وسیله ترمینال ها یا به وسیله بستن سیم ها به هم انجام می گیرد. قبل از وصل سیم ها به هم باید عایق سیم را برداشت.

### انواع اتصالات سیم ها

**اتصال طولی :** در مواقعی که سیم های تحت نیروی کششی کوتاه بیاید از اتصال طولی استفاده می شود، ابتدا روپوش سیم را به اندازه ی کافی برداشته و سپس سیم ها را به صورت ضربدری قرار می دهیم و یکی را بر روی دیگری می پیچانیم، بعد از پیچاندن هر دو سیم به دور یکدیگر، انتهای سیم ها را تا حد ممکن به قسمت مستقیم هادی می فشاریم، این عمل باعث می شود که نوک تیز هادی ها نوار عایق روی سیم را پاره نکند.



**اتصال سربه سر :** در این نوع اتصال دو سیم را لخت کرده و به صورت ضربدری روی هم قرار می دهیم، سپس هر دو سیم را به دور هم می پیچیم. اتصال سربه سر داخل جعبه تقسیم های ساختمان به منظور گرفتن انشعابات به فراوانی دیده می شود.



**اتصال سیم نازک به سیم ضخیم :** این نوع اتصال برای انشعاب گرفتن یک سیم فرعی با سطح مقطع کم از یک سیم اصلی با سطح مقطع زیاد استفاده می شود. این نوع اتصال بر عکس اتصال سربه سر تحت کشش مکانیکی نیست. دو سیم را به اندازه کافی لخت کرده و سپس سیم نازک را چند دور در اطراف سیم اصلی پیچیده سپس انتهای سیم اصلی بر روی قسمت پیچیده شده خم می شود، دنباله سیم فرعی بر روی قسمت خم پیچیده می شود.



**اتصال سه راهی یا انشعاب میانی :** به متصل کردن یک هادی به وسط سیم دیگر، اتصال میانی گفته می شود. برای این اتصال باید عایق سیم ها را برداشته و سپس شاخه ی انشعاب را به طور عمود بر روی سیم اصلی قرار می دهیم و آن را به دور سیم اصلی پیچانده به طوری که حالت گره را پیدا کند.



## لحیم کاری

در سیم کشی برای محکم کردن اتصال های دائمی یا اتصال سیم هایی که طول آن ها کوتاه شده است از لحیم کاری استفاده می شود . در لحیم کاری از سه المان استفاده می شود .

**یک - هویه :** در اثر عبور جریان الکتریسته از المنت هویه، حرارتی تولید می شود که به نوک هویه منتقل می شود و موجب ذوب شدن سیم لحیم می شود . هویه ها در دو نوع قلمی و هفت تیری ساخته می شوند .

**هویه قلمی -** هویه قلمی از یک المنت گرم کننده، نوک هویه که توسط یک پیچ روی بدنه محکم شده است، سیم رابط و دسته عایقی از جنس پلاستیک یا چوب ساخته می شود . با وصل دو شاخه به برق المنت حرارتی گرم می شود و حرارت را به نوک هویه منتقل می کند . این نوع هویه ها در توان های ۲۰ تا ۵۰۰ وات وجود دارد ، برای مصارف الکتریکی عمدتاً از هویه ۴۰ واتی استفاده می شود .

**هویه هفت تیری -** داخل این هویه یک ترانسفورماتور وجود دارد که با وصل دو شاخه به برق و اعمال فشار بر روی شستی سیم پیچ اولیه ترانس که از حلقه های سیم نازک تشکیل شده وارد مدار می شود، و موجب جاری شدن جریانی در ثانویه ترانس که توسط یک سیم مفتولی اتصال کوتاه شده است، می شود این جریان موجب گرم شدن نوک هویه خواهد شد .

**دو - سیم لحیم :** لحیم آلیاژی است از سرب و قلع که به صورت شمش و مفتول در بازار موجود است . بهترین نوع سیم لحیم با ۶۳ درصد قلع و ۳۷ درصد سرب است که نقطه ذوب آن حدود ۱۹۰ درجه سانتی گراد است .

**سه . روغن لحیم :** برای اینکه سطح فلز پاک شود و لحیم به آن بچسبد از روغن لحیم استفاده می کنند ، روغن لحیم در دو نوع ساده و اسیدی ساخته می شود . نوع ساده برای لحیم کاری مس و آلومینیوم و نوع اسیدی برای لحیم کاری ورقه های ضخیم فلزی یا کابل های فشار قوی به کار می رود .



**نوار پیچی اتصالات :** پس از اتصال سیم ها به هم باید قسمت های فلزی را عایق کاری کرد، جنس عایق از جنس عایق سیم انتخاب می شود و توسط چسب های لاستیکی نوار پیچی می شوند، نوار پیچی را بهتر است از وسط آن شروع کنیم .

## قرار دادن سیم زیر پیچ

**الف - قرار دادن سیم تک لا زیر پیچ :** اگر سیم ها به صورت مناسب زیر پیچ قرار نگیرد در اثر فشار و کشش از زیر پیچ خارج می شود، برای اینکه سیمی را زیر پیچ قرار دهیم ابتدا باید آن را به فرم سؤالی در بیاوریم .

**سؤالی کردن :** از دم گرد برای سؤالی کردن سیم استفاده می شود به این ترتیب که سیم را بین دو فک دم گرد قرار می دهیم و آن را می گردانیم، سپس دم باریک را در انتهای سؤالی قرار داده و دم گرد را کمی به عقب می گردانیم تا مرکز سؤالی در امتداد سیم قرار گیرد . سؤالی را باید چنان در زیر پیچ قرار دهیم که با چرخش پیچ محکم شود در غیر این صورت باز شده و از زیر پیچ خارج می شود . هرگاه پیچی دارای واشر باشد باید سؤالی سیم را در زیر واشر قرار داد و سپس پیچ را محکم کرد ، اگر لبه های واشر خم شده باشد دیگر احتیاج به سؤالی کردن سیم نیست، کافی است سر سیم را مستقیم زیر پیچ قرار دهیم .





ب - قرار دادن سیم های رشته ای زیر پیچ : برای قرار دادن سیم های رشته ای زیر پیچ ابتدا باید سر سیم را لحیم کاری کرد تا به صورت یک سیم تک لا در آید، حال می توان آن را مانند یک سیم تک لا زیر پیچ گذاشت . به دلیل وقت گیر بودن و پرهزینه بودن به جای این روش از اتصال دهنده ها استفاده می شود .



نحوه انتخاب سیم

روش اول : در این روش میزان شدت جریان را محاسبه کرده و با توجه به جریان بدست آمده از جدول زیر ، مقطع مناسب سیم را انتخاب می کنیم . سطح مقطع سیم بر حسب میلی متر مربع  $mm^2$  است و در اندازه های استاندارد ۰/۷۵ - ۱ - ۱/۵ - ۲/۵ - ۴ - ۶ - ۱۰ - ۱۶ - ۲۵ - ۳۵ - ۵۰ - ۷۰ - ۹۵ - ۱۲۰ - ۱۵۰ و ... تولید می شود .

گروه سوم : سیم های مخصوص نصب در هوای آزاد و مراکز توزیع		گروه دوم : کابل های رشته ای مانند NYM یا استاندارد ایران ۱۰ (۶۰۷)		گروه اول : یک یا چند سیم عایق دار نوع NYA یا استاندارد ایران ۰۱ (۶۰۷)		سطح مقطع
جریان مجاز (آمپر)	فیوز (آمپر)	جریان مجاز (آمپر)	فیوز (آمپر)	جریان مجاز (آمپر)	فیوز (آمپر)	
۲۰	۲۰	۱۶	۱۶	۱۰	۱۲	۱
۲۵	۲۵	۲۰	۲۰	۱۶	۱۶	۱/۵
۳۵	۳۴	۲۵	۲۷	۲۰	۲۱	۲/۵
۵۰	۴۵	۳۵	۳۶	۲۵	۲۷	۴
۶۳	۵۷	۵۰	۴۷	۳۵	۳۵	۶
۸۰	۷۸	۶۳	۶۵	۵۰	۴۸	۱۰
۱۰۰	۱۰۴	۸۰	۸۷	۶۳	۶۵	۱۶
۱۲۵	۱۳۷	۱۰۰	۱۱۵	۸۰	۸۸	۲۵
۱۶۰	۱۶۰	۱۲۵	۱۴۳	۱۰۰	۱۱۰	۳۵
۲۰۰	۲۱۰	۱۶۰	۱۷۸	۱۲۵	۱۴۰	۵۰
۲۵۰	۲۶۰	۲۲۴	۲۲۰	۱۶۰	۱۷۵	۷۰
۳۰۰	۳۱۰	۲۵۰	۲۶۵	۲۰۰	۲۱۰	۹۵
۳۵۵	۳۶۵	۳۰۰	۳۱۰	۲۵۰	۲۵۰	۱۲۰

مثال - اگر یک مصرف کننده اهمی در درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی گراد به ولتاژ ۲۲۰ ولت وصل شود و از شبکه جریان

۱۶ آمپر بکشد سطح مقطع سیم مناسب برای وصل مصرف کننده به منبع تغذیه چند میلی متر است؟  
با توجه به جدول جریان مجاز سیم مسی از نوع NYA با سطح مقطع ۱/۵ میلی متر مربع ۱۶ آمپر است.

مثال - اگر یک مصرف کننده به شبکه‌ی تکفاز با جریان مصرفی ۳۲ آمپر وصل شود و در محیطی با درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داشته باشد سطح مقطع مناسب باید چقدر انتخاب شود؟  
طبق جدول نزدیکترین رنج جریان به ۳۲ آمپر جریان ۳۵ آمپر است. جریان مجاز سیم مسی با مقطع ۶ میلی‌متری ۳۵ آمپر است. پس برای جریان ۳۲ آمپر از سیم مسی ۶ استفاده می‌شود.

جدول فوق برای درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی‌گراد طراحی شده و با تغییر دمای محیط باید از ضریب تصحیح جدول زیر استفاده کرد. با افزایش درجه حرارت باید یا سطح مقطع سیم را زیاد کرد یا شدت جریان را کاهش داد. به عبارت دیگر با افزایش حرارت محیط جریان مجاز سیم کاهش می‌یابد.

درجه حرارت محیط	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
ضریب تصحیح	۱/۲	۱/۱۵	۱/۱	۱/۰۵	۱	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۷۵	۰/۶۵	۰/۵۳	۰/۳۸

مثال - یک مصرف کننده‌ی الکتریکی در محیطی با دمای ۳۵ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفته است اگر از شبکه جریان ۴۸ آمپر بکشد سطح مقطع مناسب چند میلی‌متر مربع است؟  
با توجه به جدول در ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد جریان مجاز سیم مسی با سطح مقطع ۱۰ میلی‌متر مربع حدود ۴۸ آمپر است. برای دمای ۳۵ درجه ضریب تصحیح ۰/۸۵ در نظر گرفته شده است.

$$A = 48 \times 0.85 = 40.8 \text{ A}$$

بنابراین جریان مجاز سیم مسی ۱۰ در دمای ۳۵ درجه ۴۰/۸ آمپر است که مناسب جریان ۴۸ آمپر نیست و باید سطح مقطع بالاتری را انتخاب کرد. بنابراین از سیم به شماره‌ی ۱۶ میلی‌متر مربع استفاده می‌شود.

روش دوم: از فرمول زیر برای محاسبه مقطع سیم استفاده می‌شود:

$$A = \frac{200 \rho L I \cos \varphi}{\alpha u}$$

در این رابطه

$A$ : سطح مقطع سیم بر حسب  $mm^2$

۲۰۰: ضریب برای برق تکفاز، و برای برق سه فاز ضریب ۱۰۰ است.

$\rho$ : مقاومت مخصوص بر حسب  $\Omega \cdot m$

$L$ : طول سیم مورد نیاز بر حسب متر

$I$ : جریان مصرف کننده بر حسب آمپر

$U$ : ولتاژ منبع تغذیه تکفاز

$\cos \varphi$ : ضریب قدرت مدار

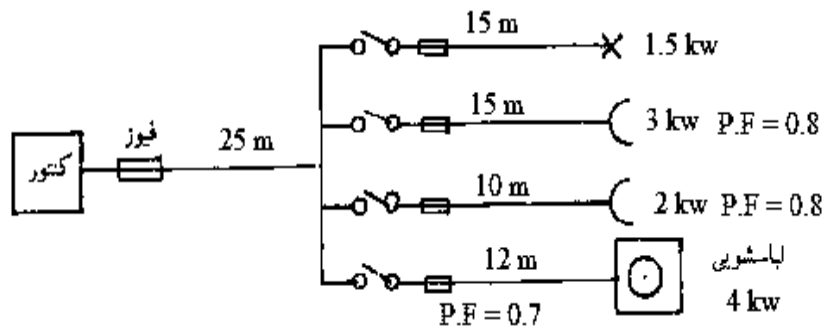
$\alpha$ : افت ولتاژ مجاز که طبق مقررات (EVU) برای محل های مختلف به شرح زیر است.

بین شبکه و کنتور برق ۰/۵% - بین کنتور و مصرف کنندگان ۱/۵% - بین کنتور و موتور ۰/۳%.

مثال - یک مصرف کننده‌ی تکفاز با ضریب قدرت ۰/۸ از شبکه ۲۲۰ ولت جریان ۲۰ آمپر می‌کشد اگر مقاومت مخصوص سیم مورد نظر با طول ۳۰ متر  $2 \times 10^{-8}$  باشد سطح مقطع سیم چقدر باشد تا افت ولتاژ از ۰/۳% بیشتر نشود؟

$$A = \frac{200 \rho L I \cos \varphi}{\alpha u} = \frac{200 \times 2 \times 10^{-8} \times 30 \times 20 \times 0.8}{3 \times 220} = 4 \times 10^{-6} m^2 = 4 mm^2$$

مثال - سطح مقطع سیم مسی جهت مصرف کننده های زیر را با در نظر گرفتن ۱/۵ درصد افت ولتاژ محاسبه نمایید .



محاسبه‌ی سطح مقطع مصرف کننده ۱/۵ کیلو واتی

$$I = \frac{1500}{220} = 6.8 \text{ A}$$

$$A = \frac{200 \rho L I \cos \varphi}{\alpha u} = \frac{200 \times 2 \times 10^{-8} \times 15 \times 6.8 \times 1}{1/5 \times 220} = 1/28 \text{ mm}^2 \rightarrow 1/5 \text{ mm}^2$$

محاسبه‌ی سطح مقطع مصرف کننده ۳ کیلو واتی

$$I = \frac{3000}{220 \times 0.8} = 17 \text{ A}$$

$$A = \frac{200 \rho L I \cos \varphi}{\alpha u} = \frac{200 \times 2 \times 10^{-8} \times 15 \times 17 \times 0.8}{1/5 \times 220} = 2/56 \text{ mm}^2 \rightarrow 2/5 \text{ mm}^2$$

محاسبه‌ی سطح مقطع مصرف کننده ۲ کیلو واتی

$$I = \frac{2000}{220 \times 0.8} = 11/36 \text{ A}$$

$$A = \frac{200 \rho L I \cos \varphi}{\alpha u} = \frac{200 \times 2 \times 10^{-8} \times 10 \times 11/36 \times 0.8}{1/5 \times 220} = 1/14 \text{ mm}^2 \rightarrow 1/5 \text{ mm}^2$$

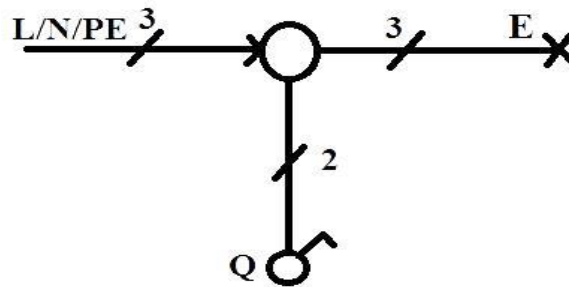
محاسبه‌ی سطح مقطع مصرف کننده ۴ کیلو واتی

$$I = \frac{4000}{220 \times 0.7} = 25/96 \text{ A}$$

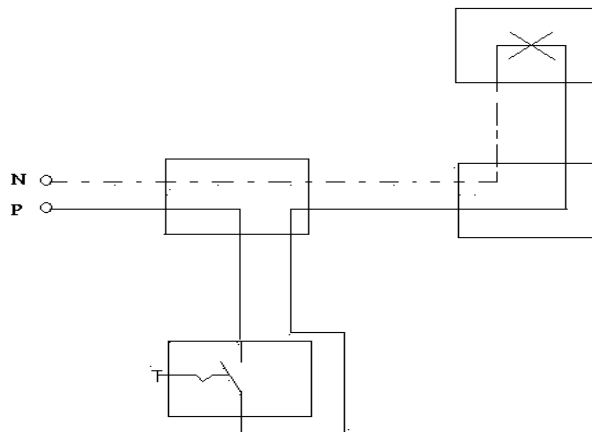
$$A = \frac{200 \rho L I \cos \varphi}{\alpha u} = \frac{200 \times 2 \times 10^{-8} \times 12 \times 25/96 \times 0.7}{1/5 \times 220} = 2/73 \text{ mm}^2 \rightarrow 4 \text{ mm}^2$$

### انواع رسم مدارات روشنایی

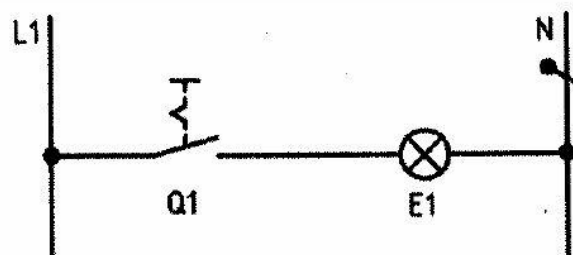
۱ - شمای فنی : شمای فنی یا تکخطی شمایی است که در آن مسیر سیم‌ها به صورت افقی و عمودی به صورت تک خطی ترسیم می‌شود و تمامی اطلاعات مورد نیاز برای انجام کار بدون ارائه جزئیات مدار، مانند تعداد و شماره سیم‌ها، روکار یا توکار بودن و ... به صورت ساده نشان داده می‌شود. تعداد سیم‌های موازی به وسیله رسم خطوط کوتاه مایل روی قسمت‌های مختلف مشخص می‌شود. اگر تعداد سیم‌های موازی زیاد باشد، به جای خطوط تعداد سیم‌ها را با عدد نشان می‌دهند.



۲ - شمای حقیقی : شمای حقیقی یا شمای چندخطی، نقشه عملی است و برای نشان دادن طریقه‌ی اتصال کلیه سیم‌های رابط به کلیدها و تا حدودی محل واقعی قرار گرفتن اجزای مدار به کار می‌رود.



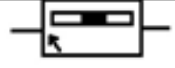
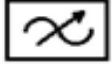
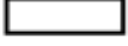





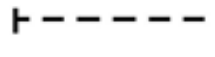
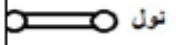
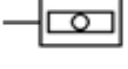
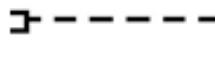
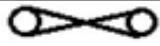

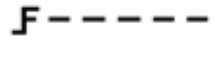


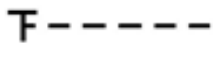


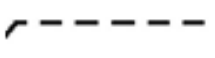


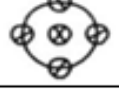





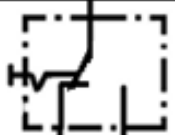

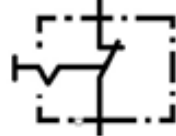


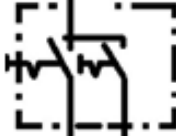
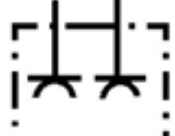
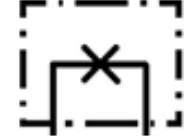

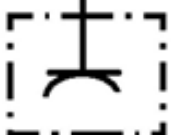
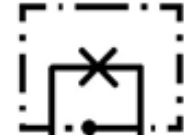
۳ - شمای مسیر جریان : شمای مسیر جریان یا نقشه گسترده، مسیر عبور جریان را از مدار به طور ساده نشان می‌دهد.



**علائم الکتریکی :** برای اینکه نقشه های برق در تمام دنیا به صورت یکنواخت باشد و یک مفهوم را به بیننده برساند باید از علائمی استفاده کرد که برای همه آشنا باشد .

نام وسیله	شمای فنی	نام وسیله	شمای فنی	نام وسیله	شمای فنی
پریم ساده		چراغ خطر		قاب ( محفظه )	
پریم ساده سه فاز		لامپ فلرومنت		سیم فاز	
پریم درپوش دار		لامپ احتیاط		سیم نول	
پریم با کلید قفل شونده		لامپ چشمک زن		سیم سیگنال	
پریم ارت دار		فیوز		سیم حفاظتی	
پریم دوبل ارت دار		کلید فیوز		سیم تلفن	
پریم ارت دار سه فاز		فیوز تاخیری		سیم روی کار	
پریم تلفن		زنک اخبار		سیم زیر کار	
پریم آنتن		زنک چکش		سیم داخل کار	
کلید تک پل		بی زر ، ویراتور		بخاری برقی	
کلید دوبل		آلارم ( بوق )		آبگرمکن برقی	
کلید تبدیل		آزیر		اجاق برقی	
کلید صلیبی		ترانسفورماتور		ماشین لباسشویی	
کلید گروهی		درماژکن		ماشین ظرفشویی	
جعبه تقسیم		میکروفون (دهنی)		یخچال	
لامپ رشته ای		گوشی		فریزر	
لامپ سیگنال		شستی		موتور الکتریکی	

وسيله	شماى فنى	وسيله	شماى فنى	وسيله	شماى فنى
استارتر		تراش		نکمه فشارى اعلام حریق	
ديمر		تابلو اصلى		دستگاه تلفن	
فتوسل		تابلو فرعى		اتصال مکانیکی	
سیم نول		آنتن		محرک فشارى دست	
سیم نول		اعلام حریق		محرک کششى	
سیم فاز		کلید بیناتوری		محرک چرخشى	
سیم حفاظتى		بادبزن		محرک کج شلمنى	
حمس کننده دود		اجاق برقى		محرک با پا	
حمس کننده دما		رله ضربه ای		لواستر	
کنترلر		رله زمانى			

وسيله	شماى حقیقى	وسيله	شماى حقیقى	وسيله	شماى حقیقى
شستی		کلید تبدیل		پریز سه فاز	
کلید تک پل		کلید صلیبی		جعبه تقسیم	
کلید دو پل		پریز دو فاز		لامپ	
کلید گروهی		پریز ارت دار		لامپ ارت دار	

## روش های سیم کشی

۱- سیم کشی روکار : در این نوع سیم کشی سیم ها و وسایل روی دیوار به وسیله میخ یا پیچ و رولپلاک یا بر روی تابلوهای آموزشی توسط بست نصب می شوند . بیشتر در مواقعی که امکان خرطوم کشی درون دیوار وجود نداشته باشد یا در کارگاه های صنعتی که در آن کارهای سخت انجام می شود و مناطقی که زیبایی اهمیت زیادی ندارد استفاده می شود .

۲- سیم کشی توکار : در این نوع سیم کشی سیم ها به طور مستقیم یا به وسیله لوله درون دیوار قرار می گیرند که به سه صورت زیر قابل اجرا است

یک - سیم کشی با جعبه تقسیم ( روش کلاسیک یا آموزشی ) : در این روش سیم ها را از قسمت بالای دیوار و از داخل لوله به صورت افقی عبور می دهند . در فاصله ۳۰ سانتی متری از سقف و بالای کلید و پریز ها ، قوطی تقسیم در نظر گرفته می شود و انشعابات مورد نیاز داخل آن انجام می گیرد . امروزه از این روش دیگر استفاده نمی شود .

دو - سیم کشی با استفاده از قوطی کلید و پریز به جای قوطی تقسیم : در این روش از قوطی کلید و پریز به جای قوطی تقسیم استفاده می شود که بسیار متداول است و در آن مدار پریزها از مدار روشنایی جدا اجرا می شود .

سه - سیم کشی با استفاده از تابلوی توزیع : این روش پرکاربردترین روش سیم کشی توکار است که در آن یک جعبه تقسیم مرکزی ( تابلوی توزیع محلی ) را نصب می کنند و سیم های هر قسمت به طور مجزا به داخل آن آورده می شود .

مقررات و اصول ایمنی و فنی ای که در سیم کشی برق ساختمان باید رعایت شود

- محل نصب کلیدها معمولاً نزدیک در ورودی است تا هنگام بازکردن در، کلید لامپ ها در دسترس باشد.
- ارتفاع نصب کلیدها از کف اتاق ۱۱۰ تا ۱۲۰ سانتی متر است .
- ارتفاع نصب پریز ها از کف اتاق ۳۰ سانتی متر است .
- ارتفاع نصب تقسیم ها از سقف ۳۰ سانتی متر است .
- فاصله کلید از چهار چوب در حدود ۳۵cm انتخاب می شود .
- باید برای پریز ها و مدارات روشنایی از مسیرهای برق جداگانه استفاده شود زیرا اگر پریزها و چراغ ها روی یک مسیر برق قرار داشته باشد ، در صورت اتصالی در هر مصرف کننده ی متصل به فیوز انشعاب قطع و تمام مسیر بی برق می شود اگر این اتفاق در شب بیفتد کل ساختمان در تاریکی فرو می رود.
- می توان تا ۱۲ پریز را توسط سیم  $2/5 \text{ mm}^2$  به یک مسیر مجزا متصل کرد .
- سیم نول باید برای هر مدار به صورت مجزا تعبیه شود، استفاده از یک سیم نول برای مدارات مختلف مجاز نمی باشد .
- لوله های فلزی و پوشش فلزی سیم های عایق دار نباید به عنوان سیم نول یا سیم حفاظتی مورد استفاده قرار گیرد .
- هر اتاق باید حداقل توسط دو خط تغذیه شود.
- جهت ایمنی و جلوگیری از برق گرفتگی سیم فاز به کنتاکت زیر سرپیچ لامپ وصل می شود .
- نخستین گام برای نجات فرد برق گرفته، جدا کردن وی از سیم برقدار می باشد .
- برای عبور سیم های تلفن ، آنتن و ... از مسیرهای جدا از سیم های برق استفاده کنید .

## ایمنی و حفاظت در برق

در صورتی که قسمتی از بدن فردی به طور مستقیم به برق وصل شود فرد دچار برق گرفتگی می شود و ممکن است دچار آسیب دیدگی شود. شدت این آسیب به میزان ولتاژ شبکه، مقدار مقاومت بدن فرد، میزان و مسیر عبور جریان از بدن، مدت زمان تماس با برق، AC یا DC بودن، فرکانس شبکه و ... بستگی دارد.

از نظر نوع جریان، جریان AC به ویژه در فرکانس ۵۰ هرتز از جریان DC خطرناک تر است. در فرکانس های بالا (بیشتر از ۱۰ کیلوهرتز) جریان ورودی به بدن از سطوح خارجی عبور کرده و جریان های زیر ۱۰۰ میلی آمپر برای بدن قابل تشخیص نیست در حالی که در فرکانس ۵۰ هرتز جریان به طور یکنواخت در بدن تقسیم می شود و از قسمت های حساسی مانند قلب، سیستم تنفسی و ... عبور می کند. در این فرکانس جریان های ۱ میلی آمپری برای بدن قابل تشخیص است و موجب لرزش انگشتان دست می شود. جریان های بیشتر از ۱۰ میلی آمپر موجب شوک، درد شدید، تنگی نفس، فلج شدن دست ها و ... می شود. در صورتی که جریان بیشتر از ۵۰ میلی آمپر از بدن عبور کند احتمال مرگ فرد بسیار زیاد است حتی اگر مدت زمان کمی در تماس با برق بوده باشد. از روی مقاومت بدن انسان که نزدیک به ۱۳۰۰ اهم است می توان حد ولتاژ خطرناک را بدست آورد. اگر مقدار مقاومت بدن انسان را در جریان ۵۰ میلی آمپر ضرب کنیم ولتاژ ۶۵ ولت بدست می آید. به عبارت دیگر اگر ولتاژی بیش از ۶۵ ولت به انسان اعمال شود جریانی بیش از ۵۰ میلی آمپر از بدن عبور کرده و موجب مرگ فرد می شود. مسیر عبور جریان از بدن نیز پارامتر مهمی است که در جدول زیر آورده شده است. مسیر جریان اگر از سر به سایر اندام ها یا از دست به دست دیگر باشد به صورتی که از اندام های مهم بگذرد، بسیار خطرناک خواهد بود. اگر شخص سیم حامل جریان را با کف دست لمس کند در اثر عکسالعمل ماهیچه ها، دست بسته شده و دیگر قادر به رها کردن آن نیست.

مسیر عبور جریان	میزان خطر مرگ	احتمال وقوع
۱- از سر به سایر اندامها	زیاد (مرگبار)	خیلی کم
۲- از یک دست به دست دیگر	زیاد	متوسط
۳- از دست به کف پا	خیلی زیاد	زیاد
۴- از یک پا به پای دیگر	کم	کم

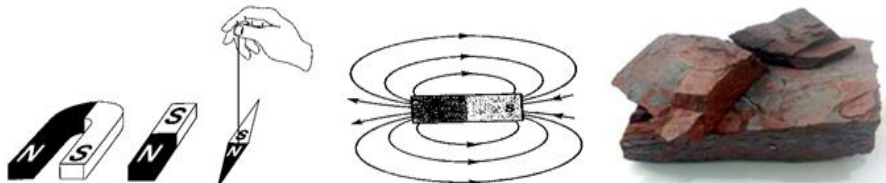
در هنگام کار باید از وسایل ایمنی مناسب استفاده کرد و شعار اول ایمنی بعد کار را عملی نمود. برای مثال برقکاران در هنگام کار نباید از وسایل فلزی چون ساعت و انگشتر استفاده کنند، قبل از شروع به کار باید از بی برق بودن سیستم مطمئن باشند، در صورت اجبار به کار روی شبکه ی برقدار باید از وسایل مناسب چون کفش و لباس مخصوص استفاده کنند، از دست زدن به سیم برای تست کردن برقدار بودن جداً خودداری شود. در صورت روبه رو شدن با فردی که دچار برق گرفتگی شده است اولین اقدام، جدا کردن وی از برق است بدون اینکه خود دچار برق گرفتگی شوید، است. باید توسط یک جسم عایق مانند چوب فرد را از برق جدا کرده یا در صورت امکان مسیر اصلی برق را قطع کنید. سپس کمک های اولیه را برای نجات فرد آسیب دیده انجام دهید.



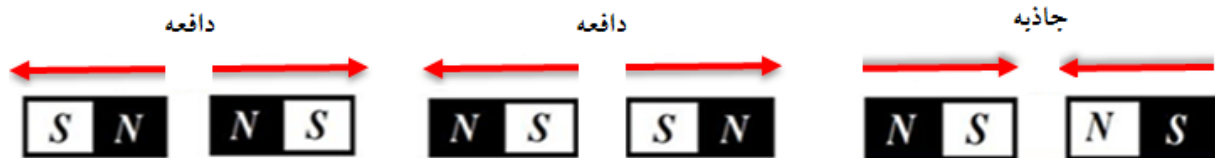


## فصل پنجم : الکترومغناطیس کاربردی

**مقدمه :** خاصیتی که در اطراف آهنربا وجود دارد مغناطیس نام دارد خطوط مغناطیسی نامرئی هستند و نمی توان آن‌ها را دید اما می توان توسط یک آزمایش ساده این خطوط مغناطیسی را درک کرد . بر روی یک صفحه‌ی کاغذ مقداری براده‌ی آهن ریخته و آن را روی یک آهنربای طبیعی قرار می‌دهیم، مشاهده می‌شود که براده‌های آهن روی صفحه‌ی کاغذ در مسیرهای خاصی منظم می‌شوند که خطوط مغناطیسی را نشان می‌دهند . آهنربا یک سنگ طبیعی با فرمول شیمیایی  $Fe_3O_4$  است که می‌تواند اجسام آهنی را جذب کند. آهنربا حدود دو هزار سال پیش توسط یونانی‌ها در آسیای صغیر کشف شد اما تنها دو قرن است که بشر به استفاده از آهنربا و خاصیت شگفت‌انگیز آن روی آورده است.



**خاصیت جذب و دفع آهنربا :** خاصیت مغناطیسی آهنربا در تمام نقاط آن یکسان نیست بلکه در دو انتهای آن قوی‌تر است، این دو ناحیه که خاصیت مغناطیسی بیشتری دارند قطب‌های مغناطیسی هستند . هر آهنربا یک قطب شمال N و یک قطب جنوب S دارد، خطوط مغناطیسی از قطب N خارج و به قطب S وارد می‌شوند . اگر قطب‌های هم نام دو آهنربا در مجاورت هم قرار داشته باشند همدیگر را دفع و اگر قطب‌های غیر هم نام در مجاورت هم قرارگیرند، همدیگر را جذب می‌کنند .

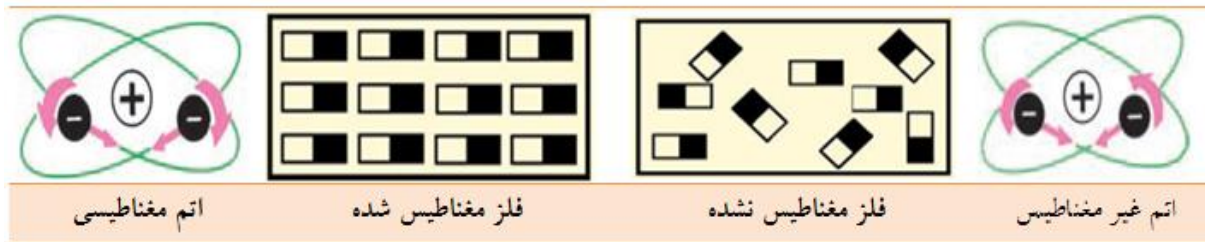


**نظریه‌ی الکترومغناطیس :** همانطور که گفته شد الکترون دارای بار منفی است، این بار خطوط نیروی الکتریکی‌ای تولید می‌کند که از تمام جهات به الکترون وارد می‌شوند . همچنین به دلیل حرکت وضعی آن در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کند . این میدان به صورت دایره‌ای هم‌مرکز به دور الکترون نشان داده می‌شود . در هر نقطه خطوط نیروی الکتریکی و مغناطیسی بر هم عمودند که به ترکیب این دو میدان، میدان الکترومغناطیسی می‌گویند .



**مولکول مغناطیس :** همانطور که گفته شد همه‌ی عناصر الکترون دارند و الکترون‌ها نیز دارای میدان مغناطیسی هستند، پس تمام عناصر باید خاصیت مغناطیسی داشته باشند اما چنین نیست، زیرا به دلیل حرکت وضعی مخالف جفت الکترون‌ها ، اثر مغناطیسی هم را خنثی می‌کنند و تنها در عناصری مانند آهن ، نیکل ، کادمیم ، کبالت و دیسپرنسیم خاصیت مغناطیسی وجود

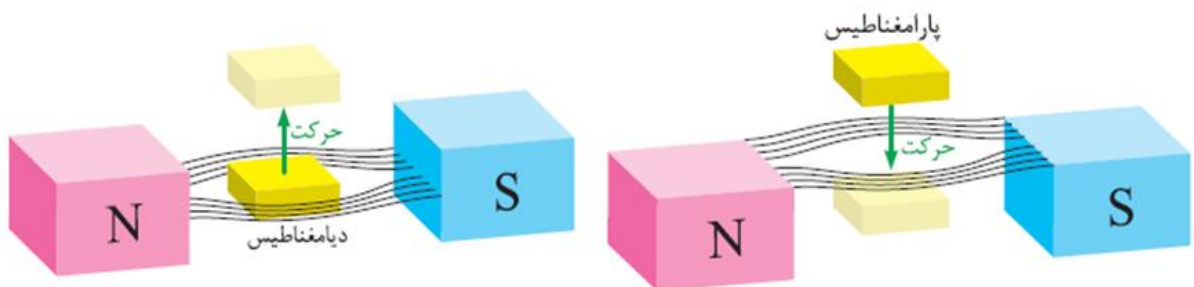
دارد، زیرا هنگامی که اتم های این فلزات با یکدیگر ترکیب می شوند به صورت یون در می آیند و الکترون های والانسشان را طوری به اشتراک می گذارند که بسیاری از میدان های مغناطیسی حاصل از چرخش های وضعی الکترون ها یکدیگر را خنثی نکنند، بلکه همدیگر را تقویت می کنند، این عمل باعث به وجود آمدن ذرات مغناطیسی در عنصر می شود که به آن ها مولکول های مغناطیسی می گویند. اجسام مغناطیسی طبیعی همیشه خاصیت مغناطیسی ندارند زیرا در شرایط عادی مولکول های مغناطیسی به صورت پراکنده و نامرتب در جسم قرار دارند و خاصیت مغناطیسی هم را خنثی می کنند، اگر مولکول های مغناطیسی یک جسم به طور هم جهت قرار گیرند، میدان های مغناطیسی آنها با هم جمع می شود و فلز مغناطیس می شود.



### تقسیم بندی مواد از لحاظ مغناطیسی

۱ - اجسام مغناطیسی: اجسامی مانند آهن و آلیاژهای آن که از خود خاصیت مغناطیسی نشان می دهند اجسام مغناطیسی یا فرومغناطیس می نامند، همانطور که گفته شد در فلزات ذراتی به نام مولکول مغناطیسی وجود دارد که در حالت عادی به طور نامنظم و در جهت های مختلف قرار دارند اگر همه ی مولکول ها به طور هم جهت قرار گیرند میدان های آنها با یکدیگر جمع شده و فلز مغناطیس می شود. مواد فرومغناطیس به دو دسته سخت و نرم تقسیم می شوند، در مواد سخت خاصیت مغناطیسی برای مدتی حفظ، ولی در مواد نرم بعد از جدا شدن ماده از حوزه ی مغناطیسی، خاصیت مغناطیسی آن از بین می رود.

۲ - اجسام غیر مغناطیس: اجسام غیرمغناطیسی دارای خاصیت مغناطیسی نیستند و به دودسته ی زیر تقسیم می شوند.  
الف. پارامغناطیس: موادی مانند چوب و آلومینیوم که به مقدار جزئی جذب آهنربا می شوند، پارامغناطیس گفته می شود.  
ب. دیا مغناطیس: موادی مانند طلا و روی که به مقدار خیلی کم از آهنربا دفع می شوند مواد دیا مغناطیس گفته می شود.



فریت: فریت مخلوطی از اکسیدهای آهن و دیگر فلزات است که رابطه ی نزدیکی با مواد فرومغناطیس دارد به همین دلیل به آن فری مغناطیس می گویند که به دلیل داشتن مقاومت الکتریکی بسیار بالا (مگا اهم)، جریان های گردابی در آن ایجاد نمی شود پس نیاز به ورقه ورقه شدن ندارد.

### روش های خنثی سازی خاصیت مغناطیسی آهنربا

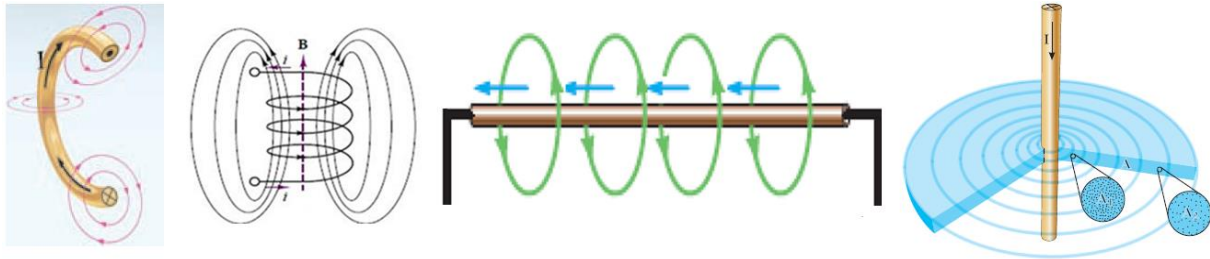
برای از بین بردن خاصیت مغناطیسی مواد باید کاری کنیم که مولکول‌های مغناطیسی آن از نظم خارج شوند و در جهت‌های مختلف به صورت نامنظم قرارگیرند تا میدان‌های مغناطیسی هم را خنثی کنند، به این منظور از روش‌های زیر استفاده می‌کنیم.

**یک - اعمال ضربه مکانیکی :** اگر به یک آهنربا ضربه سختی وارد کنیم نیروی وارد شده مولکول‌های مغناطیسی را به شدت تکان می‌دهد و باعث به هم خوردن نظم و ترتیب آنها می‌شود، که موجب از بین رفتن خاصیت مغناطیسی آن می‌شود .

**دو - اعمال حرارت :** با اعمال حرارت بر روی آهنربا مولکول‌های مغناطیسی به نوسان درمی‌آیند نظم و ترتیب خود را از دست می‌دهند .

**سه - جریان الکتریکی متناوب :** از آنجایی که جریان AC یک جریان دوجہتی است و دائماً اندازه و جهت آن تغییر می‌کند پس میدان مغناطیسی ناشی آن نیز متغیر است، اگر یک جسم مغناطیسی در داخل یک میدان متغیر قرار گیرد خاصیت مغناطیس خود را از دست می‌دهد زیرا مولکول‌های جسم می‌خواهند خود را با میدان هماهنگ کنند ولی به دلیل سرعت زیاد تغییرات میدان نمی‌توانند خود را هماهنگ کنند و خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهند .

**مغناطیس الکتریکی :** در سال ۱۸۱۹ یک دانشمند دانمارکی به نام هانس کریستین ارستد کشف کرد که هنگام عبور جریان از یک سیم که در کنار یک قطب‌نما قرار دارد عقربه قطب‌نما که از آهنربای طبیعی است منحرف می‌شود این تجربه نشان داد که جریان الکتریکی مانند آهنربای طبیعی در اطراف خود میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند . پس اگر از سیم (سیم پیچ) جریان الکتریکی عبور کند مغناطیس الکتریکی یا مصنوعی ایجاد می‌شود .



میدان مغناطیسی اطراف سیم را با  $B$  نشان می‌دهند، واحد آن تسلا  $T$  است که از رابطه قابل محاسبه می‌باشد.

$$B = K \frac{I}{d}$$

در این رابطه

$B$ : میدان مغناطیسی بر حسب تسلا ( $T$ ) .

$K$ : ضریب تناسب است که مقدار آن برابر است با

$$K = \frac{\mu_0}{2\pi} = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi} = 2 \times 10^{-7}$$

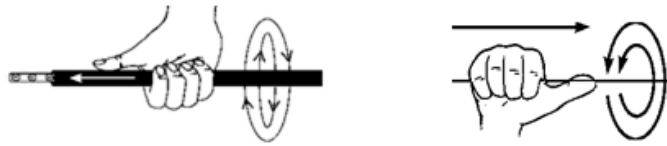
$I$ : جریان عبوری از سیم بر حسب آمپر ( $A$ ) .

$d$ : فاصله از سیم بر حسب متر ( $m$ ) .

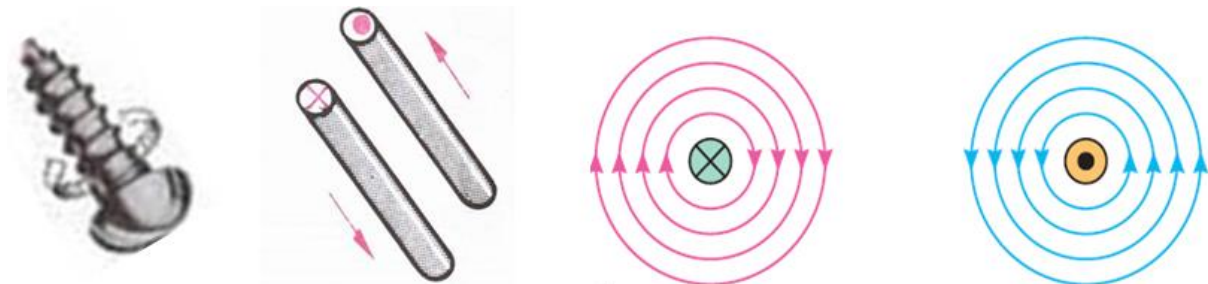
مثال - میدان مغناطیسی در ۲۰ سانتی‌متری از سیمی که حامل ۲۰ آمپر جریان است ، چند تسلا می‌باشد ؟

$$B = K \frac{I}{d} = 2 \times 10^{-7} \times \frac{20}{0.2} = 2 \times 10^{-4} T$$

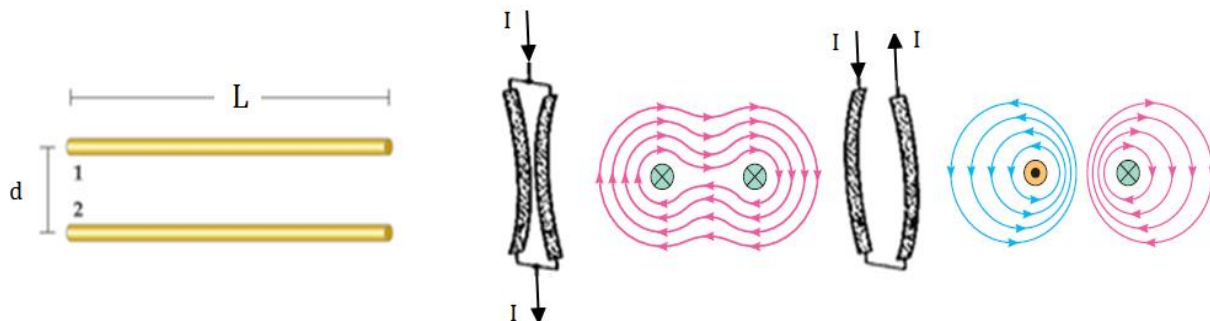
**جهت میدان مغناطیسی اطراف سیم:** میدان مغناطیسی اطراف سیم به صورت دوایری هم‌مرکز به مرکزیت سیم نمایش داده می‌شود، اگر انگشت شست دست راست در جهت جریان قرارگیرد، جهت میدان همسو با چهار انگشت بسته شده دست است.



می‌توان از قانون پیچ راست گرد نیز استفاده کرد، مطابق این قانون اگر پیچ راست‌گردی را طوری بچرخانیم که پیشروی آن هم جهت با جریان سیم باشد، جهت گردش پیچ جهت میدان اطراف هادی است. جهت جریان در سیم را می‌توان به کمک نقطه (●) یا ضربدر (×) مشخص کرد. چنانچه جریان به سمت ناظر نزدیک شود، مقطع سیم را با نقطه و اگر جریان از ناظر دور شود آن را با ضربدر نشان می‌دهند.



**نیروی بین دو سیم حامل جریان موازی:** علاوه بر قطب‌های آهنربا سیم‌های حامل جریان نیز بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند. نوع این نیرو می‌تواند جاذبه یا دافعه باشد که به جهت جریان عبوری از سیم‌ها بستگی دارد. اگر جریان‌های دو سیم هم‌جهت باشند میدان‌های مغناطیسی آن‌ها با هم جمع شده و سیم‌ها به طرف هم کشیده می‌شوند، اما اگر جریان سیم‌ها عکس هم باشند میدان‌های مغناطیسی آن‌ها برهم نیروی دافعه وارد می‌کنند. اندازه‌ی این نیرو از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید.



$$F = K \times L \frac{I_1 I_2}{d}$$

در این رابطه

$F$ : نیروی بین دو سیم بر حسب نیوتون ( $N$ ).

$K$ : ضریب تناسب است که مقدار آن برابر با  $2 \times 10^{-7}$  است.

$L$ : طول سیم‌ها بر حسب متر ( $m$ ).

$I_1, I_2$ : جریان‌گذرنده از سیم‌ها بر حسب آمپر ( $A$ ).

$d$ : فاصله‌ی بین دو سیم بر حسب متر ( $m$ ).

مثال - اگر سیم  $A$  دارای طول ۲ متر و حامل جریان ۴ آمپر باشد در فاصله‌ی ۱ متری از سیم  $B$  که دارای طول ۲ متر و حامل جریان ۵ آمپر است، قرارداشته باشد در صورتی که جهت جریان سیم‌ها هم‌جهت باشد، نیروی بین دو سیم چقدر است؟

$$F = K \times L \frac{I_1 I_2}{d} = 2 \times 10^{-7} \times 2 \times \frac{4 \times 5}{1} = 8 \times 10^{-6} \text{ N} \quad \text{جاذبه}$$

نیروی وارد بر بار الکتریکی متحرک در میدان مغناطیسی : هر گاه بار الکتریکی  $q$  داخل میدان مغناطیسی  $B$  با سرعت  $v$  با زاویه  $\alpha$  (نسبت به خطوط مغناطیسی) حرکت کند از جانب میدان بر این بار نیروی  $F$  وارد می شود .

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$$

مثال - نیروی وارده بر الکترونی که با سرعت ۲۰ متر بر ثانیه به صورت عمود داخل یک میدان مغناطیسی به شدت ۴ تسلا در حال حرکت است را حساب کنید .

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha \quad , \quad F = 1/6 \times 10^{-19} \times 20 \times 4 = 128 \times 10^{-19} \text{ N}$$

نیروی لورنس : اگر یک سیم حامل جریان الکتریکی در داخل یک میدان مغناطیسی قرار گیرد، از جانب میدان نیرویی بر سیم وارد می شود که موجب حرکت سیم می شود، نیروی لورنس به طول سیم، جریان عبوری، چگالی میدان و زاویه هادی نسبت به خطوط میدان بستگی دارد و از رابطه ی زیر قابل محاسبه است .

$$F = L \cdot I \cdot B \cdot Z \cdot \sin \alpha$$

در این رابطه

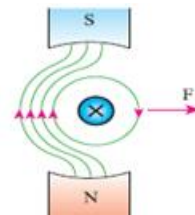
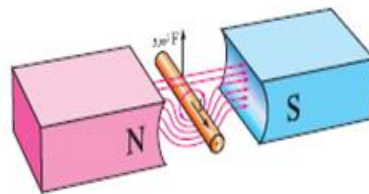
$F$ : نیروی لورنس بر حسب نیوتون (N) .

$L$ : طول سیم بر حسب متر (m) .

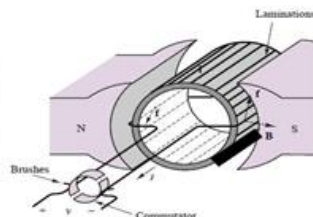
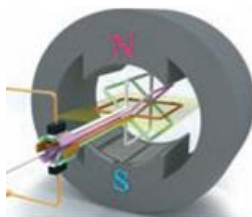
$B$ : چگالی میدان مغناطیسی بر حسب تسلا (T) .

$Z$ : تعداد سیم ها .

$\alpha$ : زاویه بین هادی ها با خطوط میدان .



عملاً در ماشین های الکتریکی به جای یک هادی از سیم پیچ استفاده می شود. در این حالت هر بازوی حلقه یک هادی محسوب می شود پس هر حلقه معادل دو هادی است .  $N = 2Z$



مثال - اگر سیمی به طول ۱۰ سانتی متر که حامل جریان ۲۰ آمپر است با زاویه ی ۳۰ درجه نسبت به خطوط میدان مغناطیسی با چگالی ۱ تسلا قرار بگیرد، از جانب میدان چه نیرویی بر سیم وارد می شود ؟

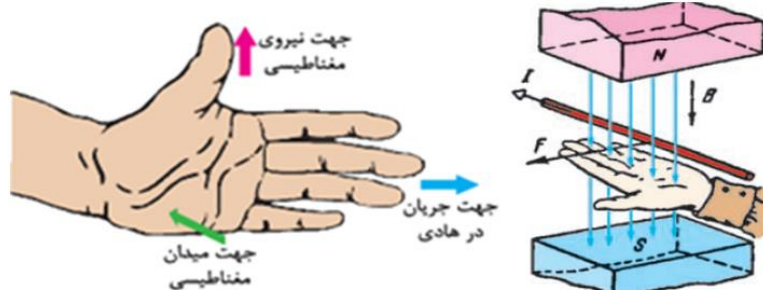
$$F = L \cdot I \cdot B \cdot Z \cdot \sin \alpha = 0/1 \times 20 \times 1 \times 1 \times \sin 30 = 1 \text{ N}$$

مثال - اگر یک سیم پیچ ۵۰ حلقه ، به طول ۱۰۰ سانتی متر حامل جریان ۵ آمپر باشد و داخل یک میدان مغناطیسی به شدت ۱/۵ تسلا تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به خطوط میدان قرار داشته باشد، چه نیرویی بر سیم وارد می شود ؟

$$F = L \cdot I \cdot B \cdot Z \cdot \sin \alpha \quad , \quad F = 1 \times 5 \times 1/5 \times 100 \times \sin 45 = 1 \times 5 \times 1/5 \times 100 \times 0/7 = 525 \text{ N}$$



**قانون دست چپ :** جهت نیروی لورنس توسط قانون دست چپ یا قانون موتوری بدست می آید. اگر کف دست چپ را طوری باز کنیم که خطوط میدان به کف دست بریزد و جهت چهار انگشت کشیده، جهت جریان سیم باشد انگشت شست باز شده جهت نیرو را نشان می دهد که سیم به آن سمت منحرف می شود .



**گشتاور القایی**

اثر چرخشی نیرو گشتاور نام دارد به عبارت دیگر گشتاور نیرو در حالت دوران است . همانطور که برای حرکت خطی اجسام به اعمال نیرو احتیاج است، برای چرخاندن اجسام نیز به گشتاور احتیاج داریم . از نظر ریاضیاتی گشتاور یک جسم برابر با حاصل ضرب خارجی نیرو در شعاع خمش جسم است . گشتاور را با  $T$  نشان می دهند و برحسب نیوتون درمتر است .

$$T = F \cdot r \quad , \quad F = L \cdot I \cdot B \cdot Z \cdot r \cdot \sin \alpha \quad N \cdot m$$

مثال - یک کلاف ۵۰ دوری حامل جریان ۵ آمپر بوده و در میدانی به چگالی ۱/۲ تسلا قرار گرفته است، اگر طول بازوهای کلاف ۶۰ سانتی متر و شعاع آن ۵ سانتی متر و زاویه بین هادی ها و میدان ۶۰ درجه باشد گشتاور القایی چقدر است ؟

$$F = L \cdot I \cdot B \cdot Z \cdot r \cdot \sin 60 = 0.6 \times 5 \times 1/2 \times 100 \times 0.05 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 9\sqrt{3} \text{ N}$$



**ولتاژ القایی :** تولید ولتاژ الکتریکی توسط میدان مغناطیسی را القاء می گویند . سه روش برای القاء وجود دارد .

**یک - ولتاژ القایی از طریق حرکت خطی :** چنانچه یک هادی در داخل میدان مغناطیسی طوری حرکت کند که خطوط میدان را قطع نماید، ولتاژی در هادی القاء می شود و از رابطه زیر بدست می آید .

$$E = Z V B L \sin \alpha$$

در این رابطه

$E$  : ولتاژ القایی بر حسب ولت ( $v$ ).

$Z$  : تعداد هادی ها .

$V$  : سرعت حرکت هادی بر حسب متر بر ثانیه ( $\frac{m}{s}$ ).

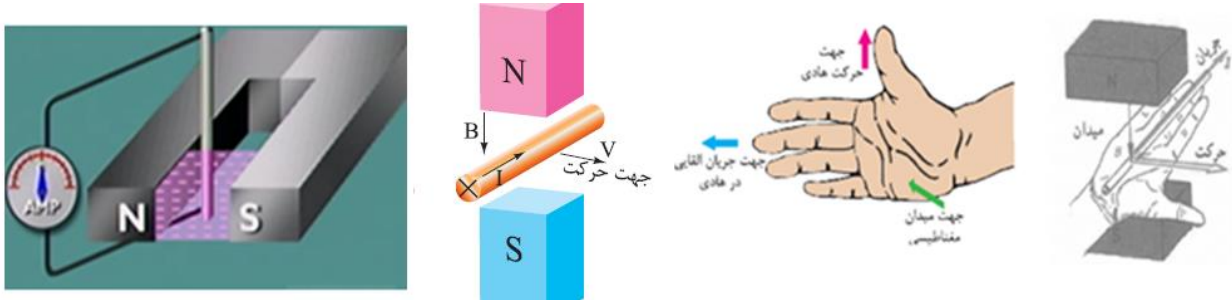
$L$  : طول موثر هادی بر حسب متر ( $m$ ).

$\alpha$  : زاویه بین امتداد بردار سرعت حرکت هادی و هادی.

$B$  : چگالی فوران بر حسب تسلا ( $T$ ).

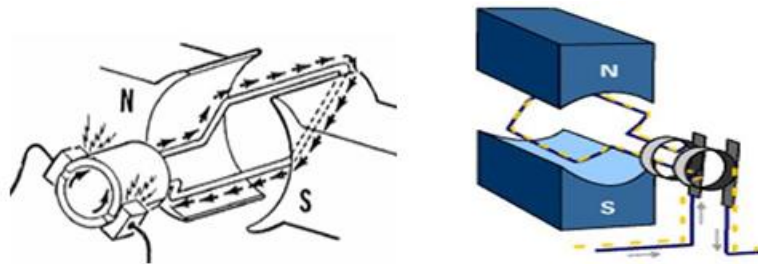


قانون دست راست : ولتاژ القایی در یک مدار بسته موجب جاری شدن جریان می‌شود، برای تعیین جهت این جریان از قانون دست راست (قانون مولدی) استفاده می‌شود، اگر دست راست خود را طوری باز کنیم که خطوط میدان به کف دست بریزد در صورتی که جهت حرکت هادی در جهت انگشت شست باز شده باشد، چهار انگشت کشیده جهت جریان القایی است.



مثال - یک هادی الکتریکی روی سطح شیب داری که با خطوط میدان زاویه ۳۰ درجه می‌سازد با سرعت ۵۰ متر بر ثانیه به پایین سطح شیبدار می‌لغزد. طول هادی ۲۰ cm و بزرگی میدان  $T \frac{1}{2}$  می‌باشد، نیرو محرکه القایی در هادی چقدر است ؟  
 $E = Z V B L \sin 30 = 1 \times 50 \times 1/2 \times 0.2 \times 0.5 = 6 \text{ v}$

دو - ولتاژ القایی از طریق حرکت دورانی : چنانچه یک کلاف N دوری با سرعت n (بر حسب دور در ثانیه rps) یا  $\omega$  (بر حسب  $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ ) در یک میدان مغناطیسی با چگالی Bm دوران کند، در آن ولتاژی به اندازه ی E القا خواهد شد.



$$E_{\text{max}} = N \cdot \phi_m \cdot \omega$$

در این رابطه  $\phi = B \cdot A$  و  $\omega = 2\pi n$  است.

مثال - اگر یک قاب ۲۵ دوری در داخل یک میدان مغناطیسی با سرعت  $20 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$  حرکت کند. میزان ولتاژ القایی در آن را بیابید، در صورتی که فورانی معادل ۳ میلی‌ویر قاب را در بر گرفته باشد.

$$E = N \cdot \phi \cdot \omega = 25 \times 0.003 \times 20 = 1.5 \text{ v}$$

**ولتاژ القایی در ماشین های الکتریکی واقعی :** همانطور که دیده اید در ماشین های الکتریکی واقعی از مقدار زیادی سیم به شکل کلاف استفاده می‌شود. این کلاف ها در شیارهای آرمیچر قرار می‌گیرند و با سرعت به گردش در می‌آیند. در این حالت نیز به دلیل وجود حرکت نسبی بین کلاف ها و میدان مغناطیسی، در کلاف ها (آرمیچر) ولتاژی القا می‌شود. این ولتاژ به میزان فوران تولیدی توسط قطب ها، سرعت گردش آرمیچر و خصوصیات فیزیکی ماشین مورد نظر بستگی دارد. در قسمت قبلی یکی از این خصوصیات را تعداد دور کلاف ها معرفی کردیم اما در واقع این خصوصیات شامل تعداد هادی ها، جفت قطب‌های ماشین و تعداد مسیرهای جریان است که با K نشان داده می‌شود و رابطه دقیق آن به فرم زیر است.

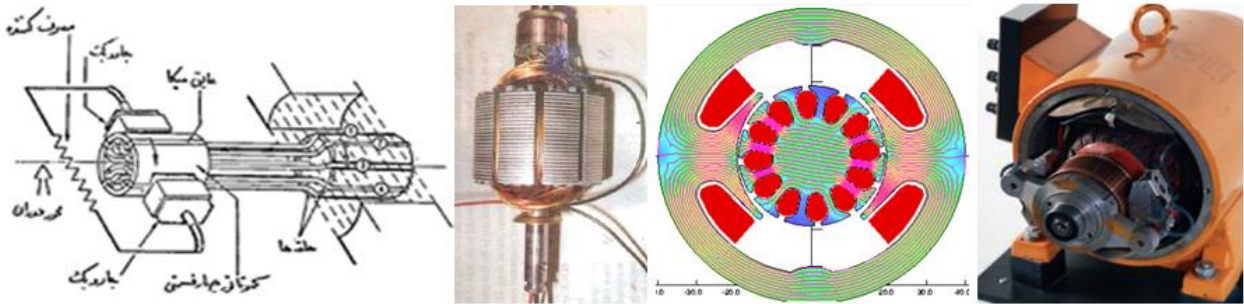
$$K = \frac{Z \cdot P}{2\pi a}$$

می‌توان اثبات کرد که ولتاژ القایی در یک ماشین گردان از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید.

$$E = K \cdot \phi \cdot \omega$$

مثال - آرمیچر یک ماشین جریان مستقیم با سرعت ۱۲/۵۶ رادیان بر ثانیه می گردد، اگر شار زیر هر قطب ۲۰۰ میلی وبر و ضریب ثابت ماشین  $k = ۱۲$  باشد . ولتاژ القا شده در آرمیچر چند ولت است ؟

$$E = K \cdot \phi \cdot \omega = ۱۲ \times ۰/۲ \times ۱۲/۵۶ = ۳۰ \text{ v}$$



سه - ولتای القایی حاصل از تغییرات فوران : بر اساس قانون القاء فارادی اگر یک هادی در داخل میدان مغناطیسی متغیری قرار گیرد ولتاژی در آن القاء می شود که به ولتاژ ترانسفورماتوری مشهور است. مقدار این ولتاژ از رابطه زیر بدست می آید .

$$E = - N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

در این رابطه

$E$  : ولتاژ القایی ترانسفورماتوری بر حسب ولت .

$N$  : تعداد حلقه های سیم پیچ .

$\Delta\phi$  : میزان تغییرات فوران بر حسب وبر .  $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$

$\Delta t$  : میزان تغییرات زمان بر حسب ثانیه .  $\Delta t = t_2 - t_1$

- علامت منفی نشان دهنده قانون لنز است .

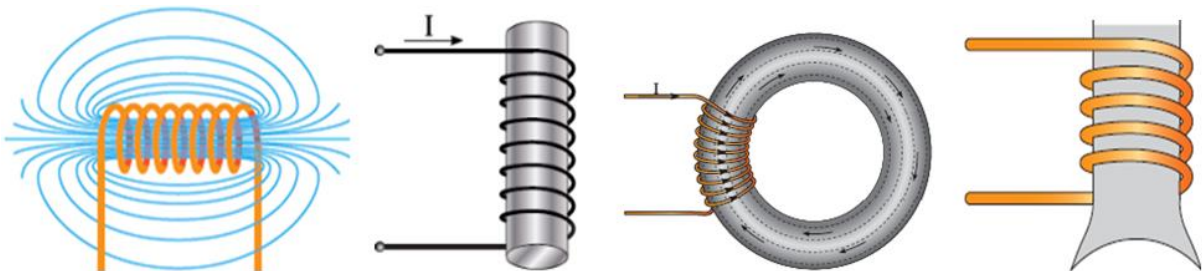
مثال - در یک سیم پیچ ۱۰۰ حلقه ای مقدار فوران در مدت ۰/۱ ثانیه از صفر به ۵ میلی وبر می رسد ولتاژ القایی چقدر است ؟

$$E = - N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = - N \frac{\phi_2 - \phi_1}{t_2 - t_1} = - N \frac{5\text{mwb} - 0}{0/1 - 0} = - 50 \text{ m v}$$

مثال - در یک سیم پیچ ۱۰۰ دوری در مدت ۱۰ میلی ثانیه فوران ۲ میلی وبری به طور یکنواخت به صفر می رسد . ولتاژ القایی در این سیم پیچ چقدر است ؟

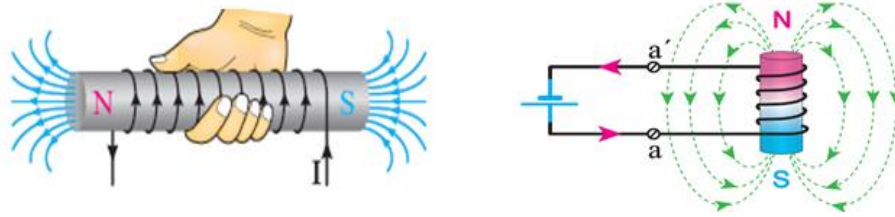
$$E = - N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = - N \frac{\phi_2 - \phi_1}{t_2 - t_1} = - N \frac{2\text{mwb} - 0}{0/10 - 0} = + 0/2 \text{ v}$$

سیم پیچ و میدان مغناطیسی : اگر جریان الکتریکی از یک سیم پیچ عبور کند ضمن اینکه میدان مغناطیسی داخل سیم پیچ متمرکز می شود ، چگالی فوران مغناطیسی نیز افزایش می یابد . در کاربردهای عملی برای انواع ماشین های الکتریکی ، رله ها و ... از سیم پیچ برای ایجاد میدان مغناطیسی استفاده می شود .

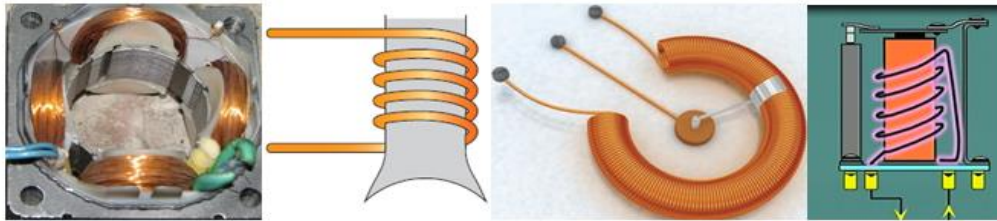




جهت میدان مغناطیسی اطراف یک سیم پیچ به وسیله ی قانون سیم پیچ ها مشخص می شود به این صورت که اگر دست راست خود را در جهت جریان دور سیم پیچ بپیچیم ، جهت انگشت شست جهت میدان مغناطیسی و قطب N را مشخص می کند .



نمونه ای از کاربردهای سیم پیچ ها در برق



### تحلیل کمیت ها و مدارات مغناطیسی

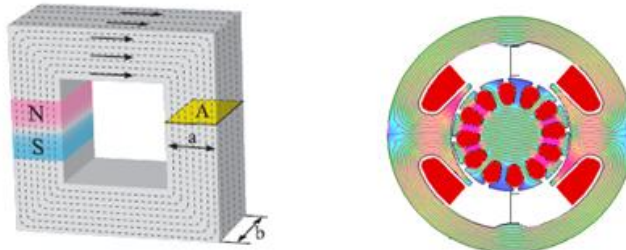
شار یا فلوی مغناطیسی : به مجموعه خطوط میدان مغناطیسی که از قطب N خارج و به قطب S وارد می شود شار یا فلوی مغناطیسی گفته می شود، در واقع شار در مدارات مغناطیسی همانند جریان در مدارات الکتریکی است. شار را با  $\Phi$  نشان می دهند و واحد آن ولت ثانیه  $V \cdot s$  یا وبر  $wb$  است .

به تعداد ۱۰۰ میلیون از خطوط میدان مغناطیسی یک ماکسول یا یک خط نیرو میگویند .

$$1wb = 1 v \cdot s = 10^8 maxwell = 10^8 lines$$

چگالی فلو یا اندوکسیون : به نسبت فوران به سطحی که فوران از آن عبور میکند چگالی فوران می گویند و از تقسیم شار به سطح مقطعی که شار از آن عبور می کند قابل محاسبه است . چگالی فوران را با  $B$  نشان می دهند و واحد های مختلفی برای آن ذکر می شود که اصلی ترین آن تسلا  $T$  است .

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad \left[ \frac{wb}{m^2} = \frac{v \cdot s}{m^2} = T \right]$$



مثال - اگر در یک مدار مغناطیسی با سطح مقطع ۲۵ سانتی مترمربع ۲ میلی وبر فوران تولید شود چگالی فوران چقدر است ؟

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{2 \times 10^{-2}}{25 \times 10^{-4}} = 0.8 T$$

نیروی محرکه مغناطیسی : به نیروی مغناطیسی ای که موجب تولید شار در مدارات مغناطیسی می شود نیروی محرکه مغناطیسی می گویند که با  $\Theta$  یا  $F$  نشان داده می شود و واحد آن آمپر- دور یا آمپر است و مقدار آن از حاصل ضرب جریان عبوری از یک سیم پیچ در تعداد حلقه های آن سیم پیچ بدست می آید .

$$\Theta = N \cdot I \quad (A.T)$$

مثال - یک سیم پیچ ۲۰۰ دور حامل جریان ۲/۵ آمپر است، نیرو محرکه‌ی مغناطیسی که موجب جاری شدن فوران می شود چقدر است؟

$$\Theta = N \cdot I = 200 \times 2/5 = 500 \text{ A}$$

شدت میدان مغناطیس: نیرو محرکه‌ای که به واحد طول سیم پیچ می‌رسد شدت میدان مغناطیسی نام دارد. شدت میدان را با  $H$  نشان می‌دهند و از تقسیم نیروی محرکه به طول متوسط خطوط میدان (طول متوسط هسته) بدست می‌آید و واحد آن آمپر بر متر  $\frac{A}{M}$  است.

$$H = \frac{N \cdot I}{l}$$

مثال - بر روی یک هسته مغناطیسی به طول متوسط ۱۰ سانتی متر ۱۰۰ حلقه سیم پیچ حامل جریان ۲ آمپر قرار گرفته شده است، شدت میدان مغناطیسی را بدست آورید.

$$H = \frac{N \cdot I}{L} = \frac{100 \times 2}{0.1} = 2000 \frac{A}{M}$$

ضریب نفوذ مغناطیسی: ضریب نفوذ مغناطیسی را می‌توان معادل هدایت مخصوص در الکتریسیته در نظر گرفت و آن را میزان توانایی اجسام برای عبور فوران مغناطیسی در نظر گرفت.

یک - ضریب نفوذ مغناطیسی مطلق: به نسبت چگالی فوران  $B$  به شدت میدان مغناطیسی  $H$  ضریب نفوذ مغناطیسی گفته می‌شود که با حرف یونانی ( $\mu$ ) نشان داده می‌شود و تا حد زیادی خواص مغناطیسی مواد را تعیین می‌کند.

$$\mu = \frac{B}{H} \quad \left[ \frac{v.s}{\frac{m}{A}} = \frac{v.s}{A.m} = \frac{wb}{A.m} \right]$$

دو - ضریب نفوذ مغناطیسی هوا  $\mu_0$ : اگر میدان در هوا یا خلاء ایجاد شود ضریب نفوذ آن همواره مقدار ثابتی برابر با  $4\pi \times 10^{-7}$  است که آن را با  $\mu_0$  نشان می‌دهند.

سه - ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی  $\mu_r$ : ضریب نفوذ مواد را با هوا می‌سنجند و به آن ضریب نفوذ نسبی می‌گویند.

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

مواد دیامغناطیس		مواد پارامغناطیس		مواد فرومغناطیس	
$\mu_r$	ماده	$\mu_r$	ماده	$\mu_r$	ماده
۰/۹۹۹۷۵	جیوه	۱/۰۰۰۰۰۰۴	هوا	۶۰۰۰ تا	آهن بدون آلیاژ
۰/۹۹۹۹۸۱	نقره	۱/۰۰۰۰۰۰۳	اکسیژن	۶۵۰۰ تا	فولاد الکتریکی
۰/۹۹۹۸۸	قلع	۱/۰۰۰۰۰۲۲	آلومینیم	۳۰۰۰۰۰	آهن نیکل آلیاژ
۰/۸۹۹۹۱	آب	۱/۰۰۰۰۳۶	پلاتین	۱۰۰۰۰	فریت مغناطیسی

مقاومت مغناطیسی (رلوکتانس): میزان مقاومتی که اجسام در مقابل عبور فوران مغناطیسی از خود نشان می‌دهند رلوکتانس یا مقاومت مغناطیسی نام دارد، رلوکتانس معادل مقاومت الکتریکی است که در مقابل شدت جریان مخالفت می‌کند. رلوکتانس را با  $R_m$  نشان می‌دهند و واحد آن آمپر بر متر  $\frac{A}{wb}$  است. رلوکتانس به سطح مقطع، جنس و طول متوسط ماده بستگی دارد.

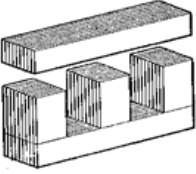
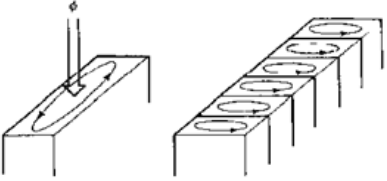
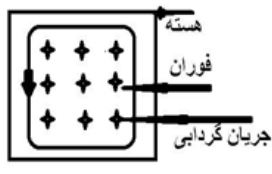
$$R_m = \frac{l}{\mu \cdot A}$$

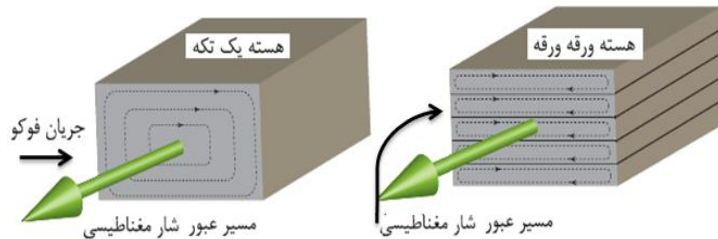
مثال - رلوکتانس یک مدار مغناطیسی با سطح مقطع ۲۰ سانتی متر مربع، طول ۰/۵ متر و  $\mu = 2/5 \times 10^{-3}$  چقدر است؟

$$R_m = \frac{l}{\mu \cdot A} = \frac{0.5}{2/5 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^{-4}} = 100 \text{ k} \frac{A}{wb}$$

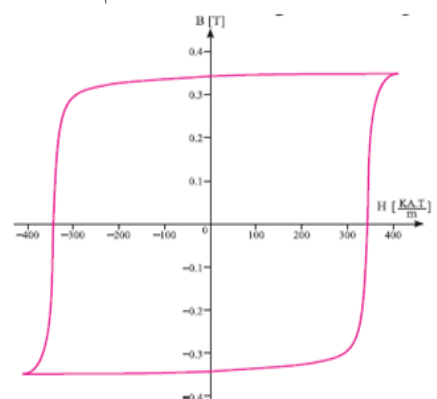
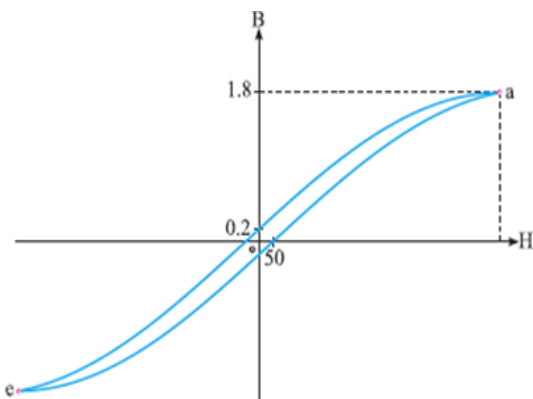
**جریان‌های گردابی یا فوکو :** در بعضی از وسایل الکتریکی مانند دیناموها یک هسته‌ی فلزی در میدان مغناطیسی حرکت می‌کند و در برخی دیگر مانند ترانسفورماتور هسته  $d$  فلزی در میدان مغناطیسی متغیر قرار دارد. در هر دو صورت، داخل این قطعات فلزی نیز جریان القائی ناخواسته ای ایجاد می‌شود که آنها را جریانهای گردابی یا ادی می‌نامند. جهت این جریان‌ها طوری است که طبق قانون لنز میدان‌های مغناطیسی حاصل از آنها بر میدان مغناطیسی اصلی اثر می‌کند و مانع حرکت آن می‌شود. همچنین باعث داغ شدن هسته‌ی فلزی نیز می‌شود.

به منظور کاهش تلفات فوکو باید مقاومت موثر مسیر جریان فوکو را افزایش داد. برای این منظور تنها راه موجود موزق ساختن هسته می‌باشد. بدین صورت که به جای اینکه هسته یک پارچه باشد آن را ورقه ورقه نموده و سپس ورقه‌ها را توسط لعاب عایقی از یکدیگر عایق می‌کنند. بدین صورت مقاومت اهمی (نه مقاومت مغناطیسی) هسته بالا رفته و جریان فوکو و در نتیجه تلفات فوکو شدیداً کاهش می‌یابد. معمولاً ضخامت ورقه‌های هسته بین  $0/35$  تا  $0/5$  میلی‌متر می‌باشد. هرچه فرکانس کاری مدار بالاتر باشد ضخامت ورقه‌ها کمتر انتخاب می‌شود ..

		
<p>هسته ورقه ورقه شده</p>	<p>ورقه ورقه کردن هسته برای کاهش جریان های گردابی</p>	<p>نحوه ایجاد جریان های گردابی</p>



علاوه بر تلفات فوکو تلفاتی دیگر به نام تلفات هیستریزس در هسته‌ی ماشین های الکتریکی وجود دارد. این تلفات صرف از بین بردن پسماند مغناطیسی هسته می‌شود و برای کاهش آن مقداری سیلیسیم به هسته اضافه می‌کنند. در زیر حلقه‌ی هیستریزس برای مواد سخت و نرم مغناطیسی ترسیم شده است.



تحلیل مدارهای مغناطیسی به کمک مدار معادل الکتریکی

برای تحلیل مدارات مغناطیسی می توان از مدار معادل الکتریکی آن استفاده کرد. همانطور که در مدارات الکتریکی از منبع ولتاژ عامل جاری شدن جریان است، در مدارات مغناطیسی نیروی محرکه الکتریکی عامل جاری شدن فوران مغناطیسی می باشد. در مدارات الکتریکی مقاومت اهمی در مقابل جریان مخالفت می کند و در مدارات مغناطیسی مقاومت مغناطیسی (رلوکتانس) عامل مخالفت در برابر فوران است.

- نیرو محرکه  $\Theta$  ← ولتاژ الکتریکی  $V$
- فوران مغناطیسی  $\Phi$  ← جریان الکتریکی  $I$
- رلوکتانس  $R_m$  ← مقاومت الکتریکی  $R$

<p>فوران مغناطیسی = جریان الکتریکی</p> <p>مقاومت مغناطیسی = مقاومت الکتریکی</p> <p>نیرو محرکه = ولتاژ</p>	<p>جریان</p> <p>ولتاژ</p> <p>مقاومت</p>	<p>فوران</p> <p>نیرو محرکه</p> <p>مقاومت</p>
مدار معادل مدار مغناطیسی به صورت مدار الکتریکی	مدار الکتریکی	مدار مغناطیسی

مثال - مقاومت مغناطیسی مدار زیر را با توجه به مدار معادل الکتریکی آن بدست آورید.

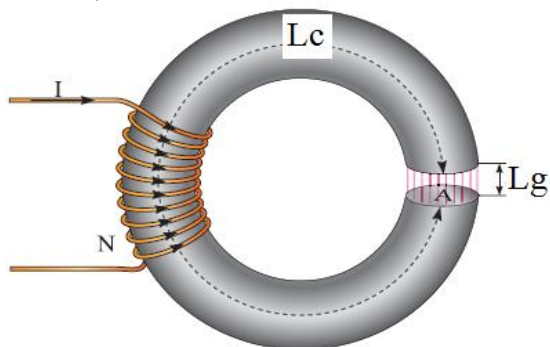


$$\Theta = N \cdot I = 200 \times 1 = 200 \text{ A} \quad , \quad R_m = \frac{\Theta}{\Phi} = \frac{200}{0.5} = 400 \text{ k} \frac{\text{A}}{\text{wb}}$$

قانون نیروی محرکه ی مغناطیسی

همانطور که در مدارات الکتریکی مطابق قانون ولتاژکریشهف جمع جبری افت ولتاژها در یک مسیر بسته صفر است، در مدارات مغناطیسی نیز جمع جبری نیروهای محرکه هسته برابر صفر است که به قانون نیروی محرکه ی مغناطیسی مشهور است.

$$\Theta = \sum_{i=1}^n H_i \cdot L_i \quad , \quad \Theta = H_1 \cdot L_1 + H_2 \cdot L_2 + H_3 \cdot L_3 + \dots \quad \Theta = \Theta_1 + \Theta_2 + \Theta_3 + \dots$$

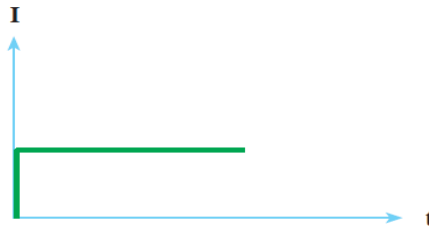


$$\Theta = N \times I = \Theta_c + \Theta_g$$

$$\Theta = H_c \cdot L_c + H_g \cdot L_g$$

## فصل ششم : جریان متناوب

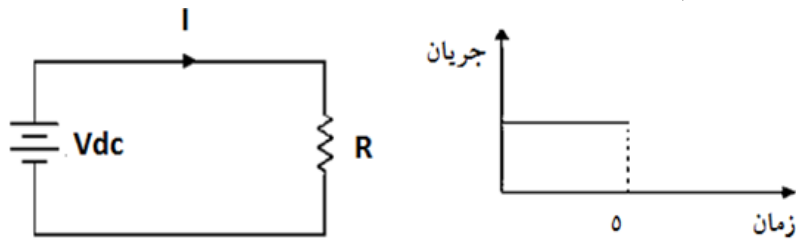
مقدمه : در مباحث قبل حرکت الکترون‌های آزاد در یک سیم را جریان الکتریکی تعریف کردیم . این جریان به جریان مستقیم مشهور است و توسط باتری‌ها و مولد های dc تولید می‌شود . جریان dc جریانی است که همواره در یک جهت جاری می‌شود و مقدار آن ثابت است . در زیر شکل موج جریان dc نسبت به زمان ترسیم شده است .



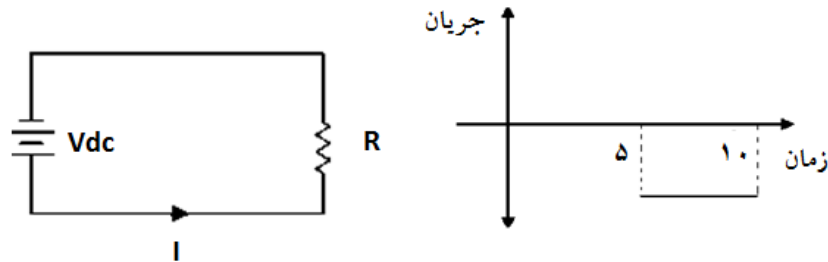
نوع دیگری از جریان وجود دارد که توسط ژنراتورها در نیروگاه‌ها تولید می‌شود . این جریان همان جریانی است که در منازل مسکونی و مراکز صنعتی استفاده می‌شود . جریان متناوب دارای مزیت های فراوانی نسبت به جریان مستقیم است به همین دلیل کاربرد بیشتری دارد . جریان متناوب دو تفاوت نسبت به جریان مستقیم دارد :

یک - جریان متناوب بر خلاف جریان مستقیم که یک جهتی است جریانی دو جهتی می‌باشد . به این معنی که الکترون ها ابتدا در یک جهت و سپس در جهت مخالف حرکت می‌کنند . اگر جای دو قطب یک منبع جریان مستقیم را دائماً تغییر دهیم یک جریان دو جهتی خواهیم داشت .

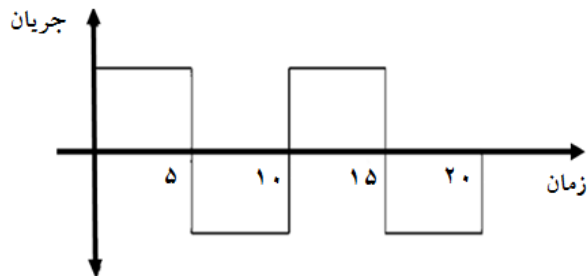
برای مثال اگر در مدار شکل زیر منبع dc برای مدت ۵ ثانیه به مقاومت وصل شده باشد جریانی در مقاومت جاری می‌شود که شکل موج آن در شکل زیر ترسیم شده است .



اگر بعد از گذشت ۵ ثانیه سریعاً جای دو قطب منبع dc را تعویض کنیم همان جریان در جهت مخالف از مقاومت عبور می‌کند . شکل موج حالت دوم در زیر ترسیم شده است



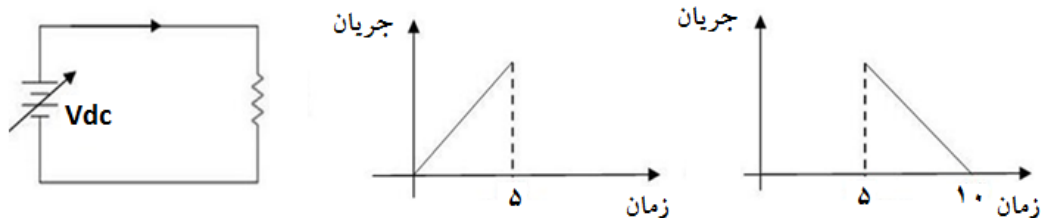
اگر این تغییر پلاریته به صورت دائم و در زمان‌های ۵ ثانیه‌ای تکرار شود شکل موج جریان مدار همانند زیر خواهد شد .



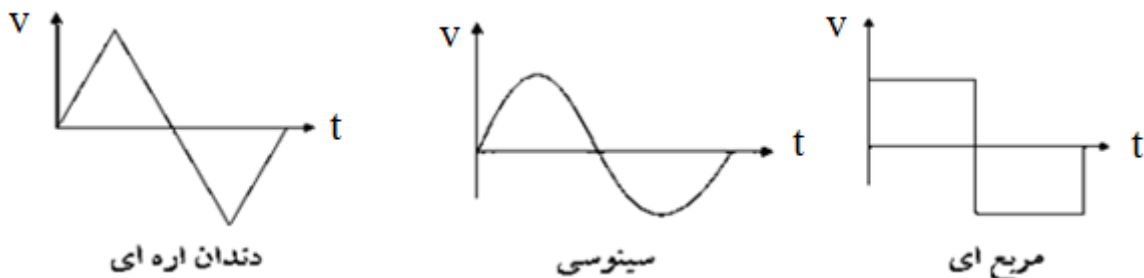
همانطور که در شکل پیداست جریانی که به دلیل تغییر پلاریته ایجاد شده است یک شکل موج مربعی است که در فاصله ی بین ۰ تا ۵ ثانیه در قسمت بالا قرار گرفته و در فاصله ۵ تا ۱۰ ثانیه در قسمت پایین قرار گرفته که نشان دهنده معکوس بودن جهت جریان در این زمان است . به قسمت بالا نیم سیکل مثبت و به قسمت پایین نیم سیکل منفی می‌گویند و به مجموع دو نیم سیکل مثبت و منفی سیکل ، یک سیکل گفته می‌شود .

**دوم -** دومین تفاوت بین جریان متناوب با جریان مستقیم اندازه‌ی جریان است. در جریان مستقیم در هر لحظه میزان شدت جریان ثابت بوده و مقدار آن تغییر نمی‌کند برای مثال اگر یک باتری، ۵ آمپر جریان را به باری تحویل دهد این ۵ آمپر در تمام زمان‌ها تغییر نمی‌کند . اما دامنه‌ی جریان متناوب همانند جهت آن دائماً در حال تغییر است و در هر لحظه از زمان یک مقدار خاص را دارد، برای درک این موضوع به مثال زیر توجه کنید .

در مدار زیر اگر از یک منبع تغذیه‌ی متغیر استفاده کنیم و مقدار آن را به صورت منظم تغییر دهیم، ولتاژ و جریانی که به بار می‌رسد، دائماً تغییر می‌کند. ابتدا اگر مقدار منبع را از صفر به صورت تدریجی و در مدت ۵ ثانیه افزایش دهیم تا به مقدار نهایی برسیم قسمت اول شکل موج ایجاد می‌شود و در حالت بعد اگر مقدار ولتاژ منبع را از مقدار حداکثر خود به تدریج و در مدت ۵ ثانیه کاهش دهیم تا به صفر برسد قسمت دوم شکل موج ایجاد می‌شود. برای نیم سیکل منفی جای دو قطب باتری را عوض می‌کنیم. ابتدا مقدار منبع ولتاژ را افزایش و سپس کاهش می‌دهیم تا تغییرات برای یک سیکل کامل اتفاق بیفتد.



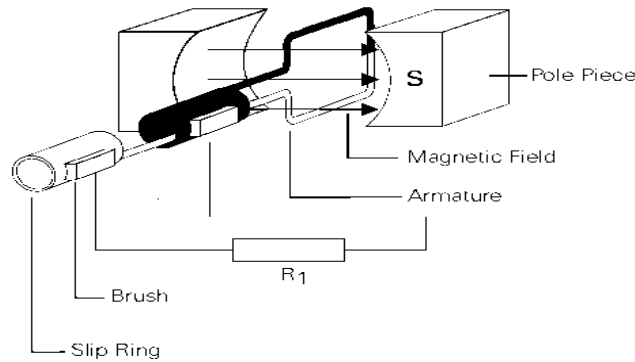
تعریف جریان متناوب : جریان متناوب جریانی است که جهت و دامنه‌ی آن متغیر بوده و نسبت به زمان تغییر می‌کند . همانطور که دیدید برای نشان دادن چگونگی تغییر جریان نسبت به زمان از شکل موج استفاده می‌شود . در زیر چند نمونه از شکل موج های معروف جریان متناوب آورده شده است .



از میان شکل موج های متناوب فوق شکل موج سینوسی از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا برق خروجی ژنراتورهای جریان متناوب از نوع سینوسی است .

نحوه‌ی تولید برق متناوب سینوسی توسط ژنراتور AC ساده

یک ژنراتور از دو قسمت استاتور و روتور تشکیل می‌شود. استاتور در ژنراتور ساده یک آهنربا است که میدان مغناطیسی را ایجاد می‌کند و روتور نیز از یک کلاف که در انتها به دو حلقه‌ی متغیر متصل شده است و توسط یک گرداننده خارجی به چرخش در می‌آید تشکیل می‌شود. با چرخش کلاف داخل میدان ولتاژی در کلاف القاء می‌شود. این ولتاژ به تعداد دور کلاف، سرعت چرخش کلاف، چگالی میدان مغناطیسی و زاویه حرکت کلاف نسبت به خطوط میدان بستگی دارد.



در شکل زیر نحوه‌ی عملکرد یک ژنراتور ساده جریان متناوب نشان داده شده است.

نحوه‌ی عملکرد ژنراتور جریان متناوب تک کلافی		
شرح وضعیت	شکل موج خروجی	نحوه چرخش کلاف
<p><b>وضعیت ۱</b></p> <p>کلاف در ناحیه عمودی است پس ولتاژی در خروجی نداریم چون کلاف عمود میدان را قطع نمی‌کند.</p>		
<p><b>وضعیت ۲</b></p> <p>کلاف در ربع اول (فاصله ۰ تا ۹۰) گردش کرده و ولتاژ از حداقل به حداکثر خود رسیده است.</p>		
<p><b>وضعیت ۳</b></p> <p>کلاف ربع دوم را نیز گذرانده و فاصله ۹۰ تا ۱۸۰ درجه را طی کرده و در اصطلاح نیم سیکل مثبت تمام می‌شود. و بار دیگر ولتاژ در ۱۸۰ درجه صفر می‌شود.</p>		
<p><b>وضعیت ۴</b></p> <p>کلاف ربع سوم حرکت خود را نیز انجام داده و ولتاژ بار دیگر از صفر به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد (با پلاریته معکوس)</p>		
<p><b>وضعیت ۵</b></p> <p>در این حالت کلاف ربع چهارم حرکت خود (۲۷۰ تا ۳۶۰) را نیز طی می‌کند و دوباره به نقطه اول بر می‌گردد.</p>		

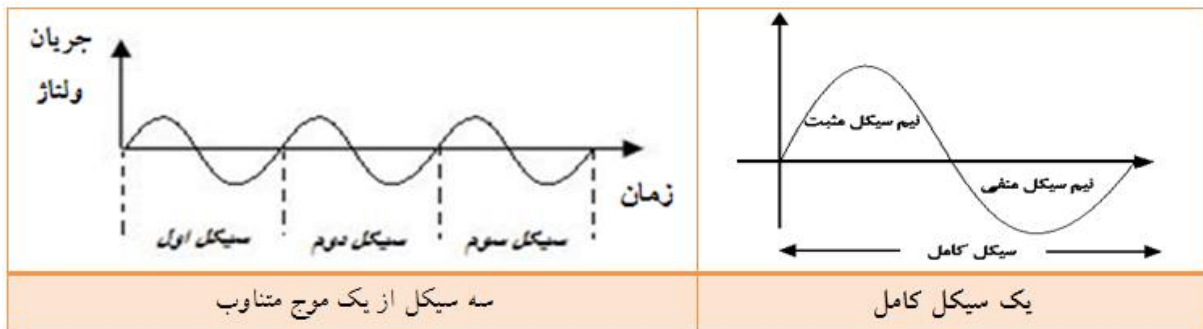


در مرحله ۱ خطوط میدان مغناطیسی به وسیله کلاف قطع نمی‌شود زیرا کلاف با خطوط میدان موازی است پس هیچ ولتاژی در کلاف القاء نمی‌شود، چنانچه سیم پیچ در جهت عقربه‌های ساعت بچرخد، تعداد خطوط بیشتری توسط کلاف قطع می‌شود، در وضعیت ۲ بیشترین تعداد خطوط میدان توسط کلاف قطع می‌شود، پس بیشترین مقدار ولتاژ در وضعیت ۲ خواهد بود. در مرحله ۳ با ادامه دوران کلاف تا ۱۸۰ درجه قطع خطوط قوا توسط کلاف کاهش یافته و در نتیجه ولتاژ تولیدی نیز کاهش می‌یابد و در نقطه ۱۸۰ درجه باز کلاف با خطوط میدان موازی شده و ولتاژ القایی دوباره به صفر می‌رسد.

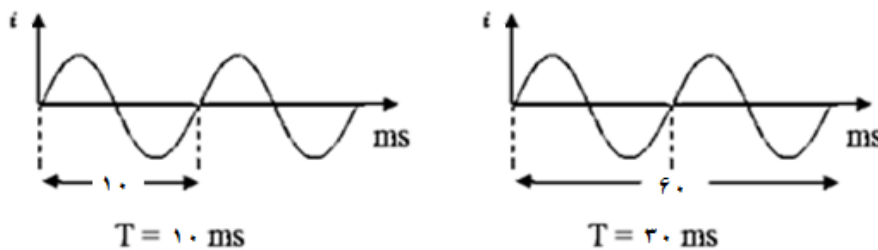
با ادامه چرخش کلاف از ۱۸۰ تا ۲۷۰ درجه باز میزان ولتاژ القایی زیاد می‌شود ولی جهت این ولتاژ و به تبع آن جهت جریان القایی معکوس می‌شود به همین دلیل شکل موج ولتاژ را در قسمت پایین محور ترسیم می‌کنیم و در نهایت با عبور کلاف از ناحیه ۲۷۰ تا ۳۶۰ درجه، یک سیکل کامل طی شده و ولتاژ دوباره کاهش می‌یابد تا به نقطه صفر برسد. تا اینجا سیم پیچ یک سیکل را طی کرده است. و در گردش‌های بعدی نیز تغییرات مشابهی را در ولتاژ خروجی خواهیم دید.

### مشخصات جریان متناوب

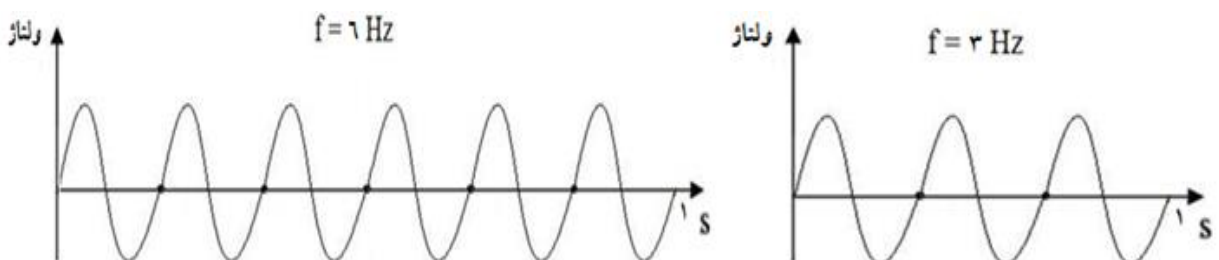
**سیکل** : به مجموع یک نوسان مثبت و منفی سیکل گفته می‌شود، جریان متناوب دارای دو نیم سیکل مثبت و منفی است که کاملاً شبیه هم و درخلاف جهت هم هستند. همانطور که در عملکرد ژنراتور ساده مشاهده کردید بعد از نیم دور چرخش کلاف، جهت جریان و پلاریته‌ی خروجی عوض می‌شود به همین دلیل نیم سیکل منفی را قسمت پایین محور ترسیم می‌کنیم.



**زمان تناوب** : به مدت زمانی که طول می‌کشد تا جریان یک سیکل کامل را طی کند زمان تناوب یا پریود گفته می‌شود و آن را با  $T$  نشان می‌دهند و بر حسب زمان است.



**فرکانس** : تعداد سیکل‌هایی که در یک ثانیه پیموده می‌شود فرکانس یا بسامد نامیده می‌شود. فرکانس را با  $f$  نشان می‌دهند و بر حسب سیکل بر ثانیه cps یا هرتز Hz است.

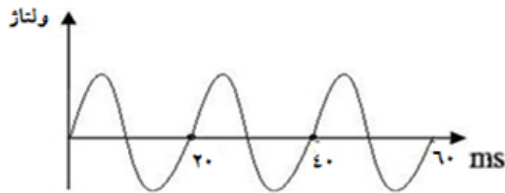




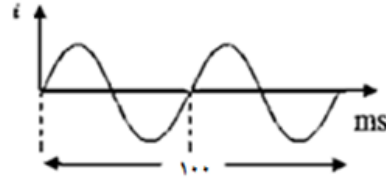
رابطه‌ی بین فرکانس و زمان تناوب : بین فرکانس و زمان تناوب رابطه عکس وجود دارد .

$$T = \frac{1}{f} \quad , \quad f = \frac{1}{T}$$

مثال - فرکانس و زمان تناوب هر یک از شکل موج های زیر را بدست آورید .



$$T = 20 \text{ ms} \quad , \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \times 10^{-3}} = 50 \text{ Hz}$$



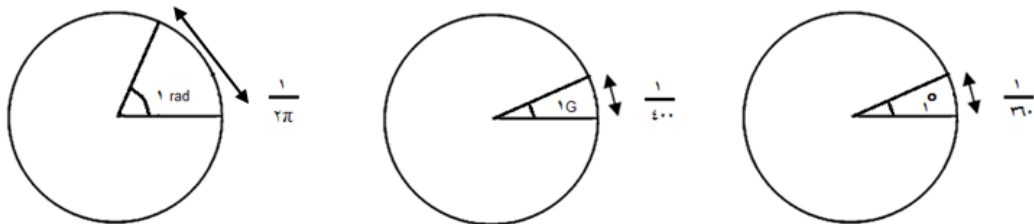
$$T = 50 \text{ ms} \quad , \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1}{50 \times 10^{-3}} = 20 \text{ Hz}$$

### سرعت زاویه ای $\omega$

درجه : اگر محیط یک دایره را به ۳۶۰ قسمت تقسیم کنیم زاویه‌ی مقابل هر قسمت را یک درجه می نامیم.

گراد : اگر محیط دایره را به ۴۰۰ قسمت مساوی تقسیم کنیم زاویه مقابل هر قسمت را یک گراد می نامیم.

رادیان : اگر محیط دایره را به  $2\pi$  (۶/۲۸) قسمت تقسیم کنیم، زاویه‌ی مقابل هر کمان را یک رادیان می گویند. به عبارت دیگر اگر بر روی محیط یک دایره به اندازه‌ی شعاع دایره حرکت کنیم زاویه ای که تشکیل می شود برابر  $\alpha$  خواهد بود . در این صورت  $\alpha$  برابر یک رادیان یا  $57/3$  درجه می باشد .



زاویه ای که در واحد زمان طی می شود سرعت زاویه ای  $\omega$  می باشد . زاویه‌ی پیموده شده در یک دور کامل (در یک پرپود) برابر ۳۶۰ درجه یا  $2\pi$  رادیان است در این صورت رابطه سرعت زاویه ای برابر است با :

$$\omega = \frac{\alpha}{t} = \frac{2\pi}{T} \quad , \quad T = \frac{1}{f} \quad \rightarrow \quad \omega = 2\pi f$$

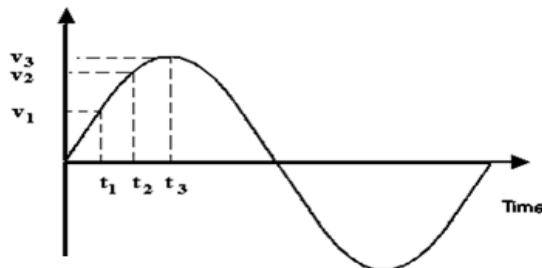
طول موج : بنا به تعریف نسبت سرعت جریان الکتریکی (برابر با سرعت نور = ۳۰۰ هزار کیلومتر بر ثانیه) به فرکانس ، طول موج می گویند . طول موج را با  $\lambda$  نشان می دهند و برحسب متر است .

$$\lambda = \frac{C}{F} = \frac{3 \times 10^8}{F}$$

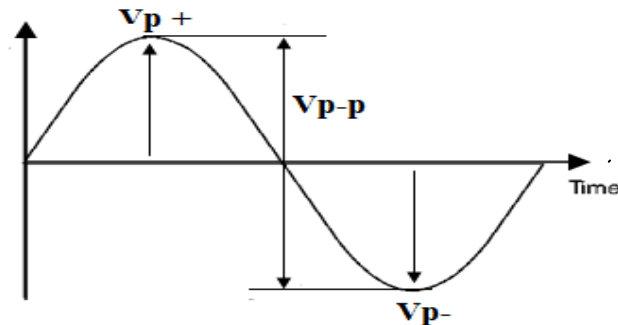
مثال : طول موج برق شهر ایران چند متر است ؟

$$\lambda = \frac{C}{F} = \frac{3 \times 10^8}{50} = 6 \times 10^6 = 6000 \text{ km}$$

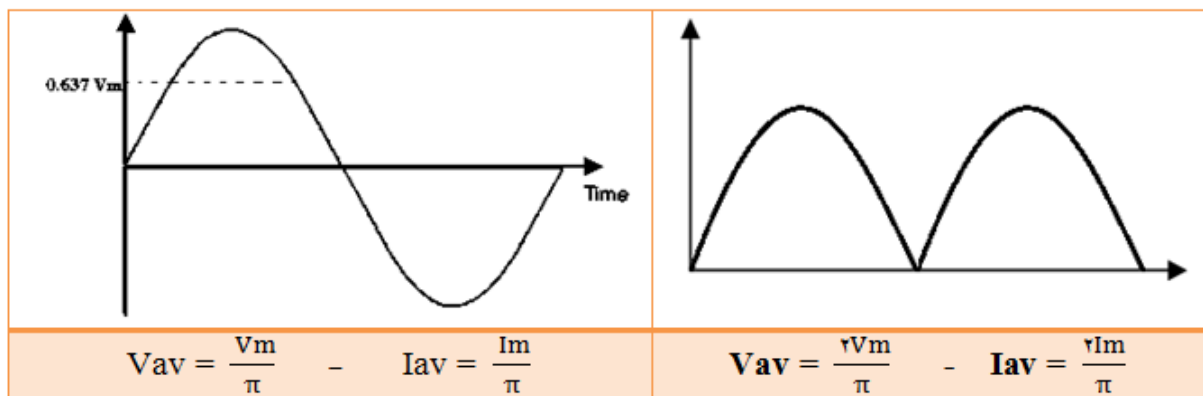
مقادیر لحظه ای : طبق شکل موج متناوب جریان و ولتاژ ac در هر لحظه از زمان مقادیر خاص خود را دارند که به مقادیر لحظه ای مشهور می باشند . مقادیر لحظه ای را با حروف کوچک  $v$  و  $i$  نشان می دهند .



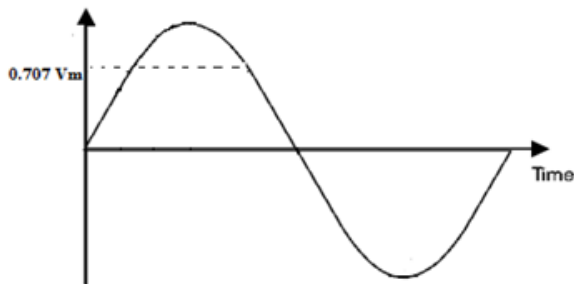
مقدار ماکزیمم ولتاژ و جریان  $V_m$  ,  $I_m$  : به حداکثر ولتاژ تولیدی ژنراتور ولتاژ ماکزیمم  $V_m$  یا ولتاژ پیک  $V_p$  می‌گویند و همانطور که از شکل موج سینوسی زیر پیداست فاصله‌ی بین صفر ( محور افقی زمان ) تا مثبت ترین ( بالاترین ) نقطه‌ی شکل موج یا فاصله بین صفر تا منفی‌ترین ( پایین ترین ) نقطه‌ی شکل موج ولتاژ ماکزیمم نام دارد . شکل موج سینوسی دو مقدار پیک دارد که اصطلاحاً مقدار پیک مثبت  $V_p^+$  و پیک منفی  $V_p^-$  نامیده می‌شوند . علاوه بر ولتاژ پیک  $V_p$  ولتاژ پیک تا پیک  $V_p-p$  نیز برای یک شکل موج تعریف می‌شود که به فاصله بین بالاترین نقطه مثبت ( پیک مثبت ) تا پایین‌ترین نقطه منفی ( پیک منفی ) گفته می‌شود . تعریف  $I_m$  دقیقاً مانند  $V_m$  می‌باشد .



مقدار متوسط ولتاژ و جریان : مقدار متوسط average عبارت است از میانگین مقادیر لحظه ای در یک نیم سیکل و از تقسیم مساحت شکل موج بر کل زمان تناوب بدست می‌آید مقادیر متوسط ولتاژ و جریان برای یک سیکل (نیم موج) و دو نیم سیکل مثبت به صورت زیر محاسبه می‌شوند .



مقدار موثر ولتاژ و جریان : مقدار موثر Effective یک ولتاژ یا جریان ac عبارت است از مقدار ولتاژ یا جریان مستقیمی که در مدت زمان معین به همان میزان کار انجام می‌دهد . می‌توان گفت که جریان eff متناوب ۱۰ آمپری در یک مقاومت به همان میزان حرارت ایجاد می‌کند که جریان مستقیم ۱۰ آمپری ایجاد می‌کند . مقدار موثر یا ( rms ( root mean square برای یک موج متناوب سینوسی از رابطه زیر قابل محاسبه است .



$$V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

**معادله‌ی زمانی ولتاژ و جریان متناوب**

ولتاژ و جریان متناوب به فرم سینوسی دائماً تغییر می‌کند. به بیان ریاضیاتی شکل موج سینوسی، معادله‌ی زمانی می‌گویند که کاربرد فراوانی در تحلیل سیستم‌های الکتریکی دارد. اگر دامنه‌ی ولتاژ و جریان لحظه‌ای را با  $Ft$  و دامنه‌ی ماکزیمم آن را با  $Fm$  نشان دهیم بین آن‌ها رابطه زیر برقرار است.

$$\sin \alpha = \frac{Ft}{Fm} \rightarrow Ft = Fm \sin \alpha \rightarrow \alpha = \omega t \rightarrow Ft = Fm \sin \omega t$$

حال به جای  $Fm$  و  $Ft$  می‌توان مقادیر ولتاژ، جریان و یا هر کمیتی که به صورت سینوسی هستند قرار داد تا معادله زمانی آن‌ها بدست آید.

$$Vt = Vm \sin \omega t, \quad It = Im \sin \omega t$$

در این روابط

$Vt$  و  $It$ : مقادیر ولتاژ و جریان لحظه‌ای.

$Vm$  و  $Im$ : مقادیر ولتاژ ماکزیمم.

$\omega$ : سرعت زاویه‌ای ( $\omega = 2\pi f$ ).

$t$ : زمان بر حسب ثانیه.

مثال - اگر معادله‌ی زمانی ولتاژی  $Vt = 200 \sin 314t$  باشد، فرکانس، مقادیر ماکزیمم، موثر و متوسط ولتاژ را محاسبه کنید.

$$Vm = 200 \text{ v} \quad - \quad V_{eff} = \frac{Vm}{\sqrt{2}} = \frac{200}{\sqrt{2}} = 100 \sqrt{2} = 141.4 \text{ v} \quad - \quad V_{dc} = V_{ave} = 0$$

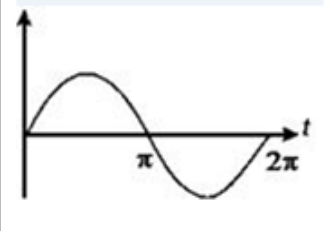
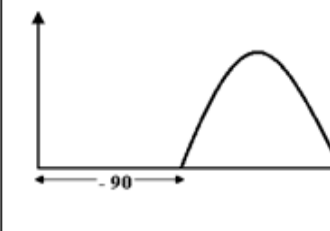
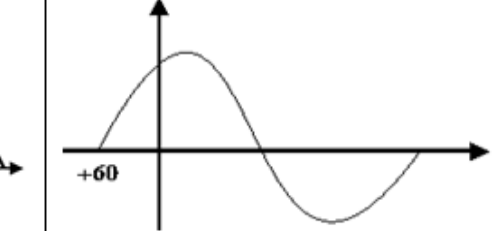
$$V_{dc} = \frac{Vm}{\pi} = \frac{200}{\pi} = 63.7 \text{ v} \quad (\text{برای نیم سیکل}) \quad - \quad V_{dc} = \frac{2Vm}{\pi} = \frac{2 \times 200}{\pi} = 127.3 \text{ v} \quad (\text{برای دو سیکل مثبت})$$

$$\omega = 2\pi f \rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{314}{2\pi} = 50 \text{ Hz}$$

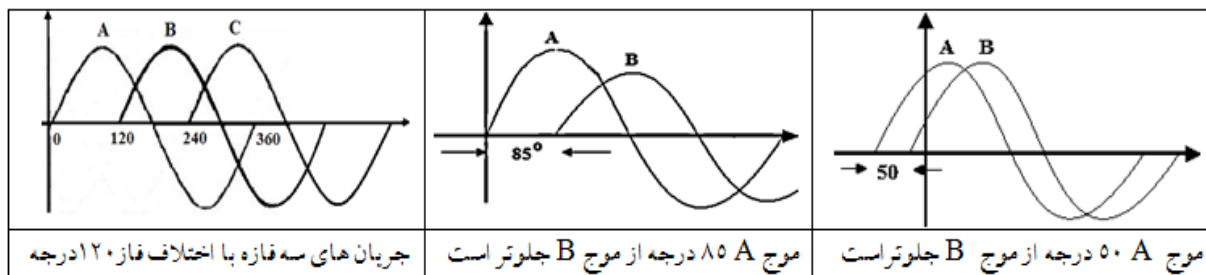
**مفهوم اختلاف فاز:** موقعیت زمانی یک کمیت الکتریکی نسبت به یک مبدأ را فاز می‌گویند. در شکل موج‌های سینوسی مبدأ را نقطه‌ی صفر در نظر می‌گیرند، اگر شکل موج زودتر از مبدأ شروع شده باشد می‌گوییم شکل موج نسبت به نقطه صفر جلوتر است یا تقدم فاز دارد و اگر شکل موج بعد از نقطه صفر شروع شود می‌گوییم شکل موج نسبت به نقطه صفر عقب‌تر است یا تأخیر فاز دارد. فاز یک موج را با  $\theta$  نشان می‌دهند اگر این موج مربوط به ولتاژ باشد آن را به  $\theta_v$  و اگر مربوط به جریان باشد آن را با  $\theta_i$  نشان می‌دهند. در نوشتن معادله زمانی باید میزان فاز را نیز نوشت برای این کار در پایان معادله زمانی (بعد از  $\omega t$ ) مقدار زاویه فاز  $\theta$  را بر حسب درجه یا رادیان به همراه یک علامت نوشته می‌شود. اگر موج نسبت به مبدأ جلوتر باشد به همراه علامت مثبت و اگر موج نسبت به مبدأ عقب‌تر باشد با علامت منفی در معادله نوشته می‌شود.

$$V = Vm \sin (\omega t \pm \theta_v)$$

$$It = Im \sin (\omega t \pm \theta_i)$$

		
موج بدون زاویه فاز	موج ۹۰ درجه عقب‌تر از مبدأ	موج ۶۰ درجه جلوتر از مبدأ
$V = Vm \sin \omega t$	$V = Vm \sin (\omega t - 90)$	$V = Vm \sin (\omega t + 60)$

**اختلاف فاز:** به اختلاف زاویه‌ی بین امواج مختلف اختلاف فاز می‌گویند. اگر دو موج هم فاز باشند، هر دو هم زمان از یک نقطه شروع و به یک نقطه ختم می‌شوند در این حالت دو شکل موج دارای زمان تناوب برابری هستند ولی ممکن است دامنه آن‌ها با هم برابر نباشد. در شکل زیر اختلاف فاز بین چند موج هم فرکانس بررسی شده است.



**ضریب قدرت:** به دلیل وجود سلف و خازن معمولاً بین ولتاژ و جریان شبکه اختلاف فاز وجود دارد. اگر مصرف کننده سلفی باشد جریان عقب تر از ولتاژ (پس فاز) و اگر مصرف کننده خازنی باشد جریان جلوتر از ولتاژ (پیش فاز) می‌باشد. در هر صورت اگر مصرف کننده شامل سلف و خازن باشد بین ولتاژ و جریان به اندازه  $\phi$  درجه اختلاف فاز ایجاد می‌شود. به  $\phi$  زاویه قدرت و به کسینوس آن ضریب توان اکتیو و به سینوس آن ضریب توان راکتیو می‌گویند.

$$\text{ضریب توان راکتیو } \sin \phi \quad - \quad \text{ضریب توان اکتیو (ضریب قدرت)} \quad \cos \phi \quad - \quad \Theta_v - \Theta_i = \phi$$

**امپدانس:** در مدارات جریان متناوب طبق تعریف، به تقسیم ولتاژ ماکزیمم به جریان ماکزیمم امپدانس گفته می‌شود. امپدانس را با  $Z$  نشان می‌دهند و بر حسب اهم است.

$$Z = \frac{V_m}{I_m}$$

مثال - اگر معادله‌ی ولتاژ و جریان یک مدار به صورت زیر باشند، ضریب توان اکتیو، راکتیو و امپدانس را حساب کنید.

$$V_m = 120 \sin(\omega t + 90) \quad , \quad I_m = 4\sqrt{2} \sin(\omega t + 60)$$

$$\phi = \Theta_v - \Theta_i = 90 - 60 = 30$$

$$\text{ضریب توان راکتیو } \sin 30 = 0.5 \quad - \quad \text{ضریب توان اکتیو } \cos 30 = 0.866$$

$$Z = \frac{V_m}{I_m} = \frac{120}{4\sqrt{2}} = 10\sqrt{2} \Omega$$

### انواع توان در سیستم های برق متناوب

آهنگ جذب یا تولید انرژی الکتریکی را توان الکتریکی می‌گویند. اگر آهنگ جذب یا تولید انرژی الکتریکی یک دستگاه ثابت باشد، توان دستگاه مقدار کار انجام شده در واحد زمان خواهد بود. در جریان متناوب توان در سه مفهوم زیر بررسی می‌شود.

**یک - توان اکتیو یا موثر:** به توانی که در مدارات الکتریکی کار مفید انجام می‌دهد توان موثر یا اکتیو گفته می‌شود. توان را با  $P$  یا  $P_w$ ،  $P_d$ ،  $P_e$  نشان می‌دهند و بر حسب وات  $W$  سنجیده و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$P_e = U_e \cdot I_e \cdot \cos \phi$$

نکته: توان اکتیو در مقاومت‌های اهمی به صورت انرژی حرارتی ظاهر می‌شود. پس می‌توان در یک مقاومت اهمی توان اکتیو را به صورت  $R \times I^2$  محاسبه کرد. بدیهی است در مداراتی که مقاومت اهمی ندارند توان اکتیو صفر است.

دو - توان راکتیو یا غیر موثر : استفاده از سلف و خازن در مدارات الکتریکی موجب ظاهر شدن توان غیر مفید یا دواته می شود . این توان بین مصرف کننده و شبکه رفت و برگشت می کند و کار مفیدی انجام نمی دهد که موجب می شود مولدها نتوانند در جریان نامی توان مفید کامل به شبکه تحویل دهند . توان راکتیو را با  $P_r$  ،  $P_d$  یا  $Q$  نشان می دهند و بر حسب ( ولت - آمپر راکتیو) که اختصاراً وار  $VAR$  خوانده می شود، است و از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه می باشد .

$$P_d = U_e \cdot I_e \cdot \sin \varphi$$

سه - توان ظاهری : به حاصل ضرب ولتاژ در جریان موثر یک سیستم متناوب، توان ظاهری می گویند . توان ظاهری را با  $P_s$  یا  $S$  نشان می دهند و بر حسب  $V \cdot A$  است . توان ظاهری از رابطه‌ی قابل محاسبه است .

$$P_s = U_e \cdot I_e$$

مثال - اگر معادله‌ی زمانی ولتاژ و جریان یک مدار الکتریکی به صورت زیر باشد، توان های سه گانه را حساب کنید .

$$V_m = 120\sqrt{2} \sin \omega t \quad , \quad I_m = 2\sqrt{2} \sin (\omega t + 60)$$

$$\varphi = \theta_v - \theta_i = 0 - 60 = -60 \quad , \quad \cos \varphi = \cos 60 = 0.5 \quad , \quad \sin \varphi = \sin 60 = 0.86$$

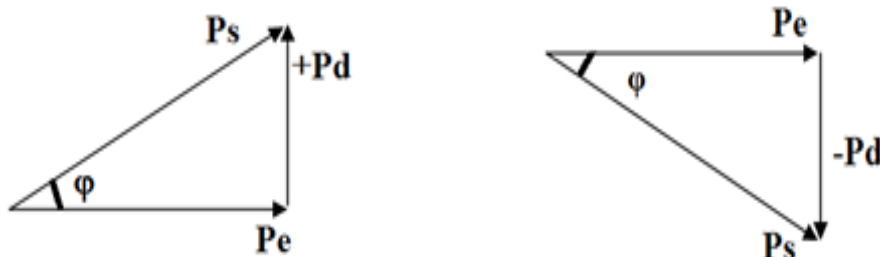
$$P_e = U_e \cdot I_e \cdot \cos \varphi = \frac{120\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \times \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \times 0.5 = 120 \text{ w}$$

$$P_d = U_e \cdot I_e \cdot \sin \varphi = \frac{120\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \times \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \times 0.86 = 207 \text{ VAR}$$

$$P_s = U_e \cdot I_e = \frac{120\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \times \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 240 \text{ VA}$$

#### مثلث توان ها

رابطه‌ی بین توان ها به وسیله یک مثلث نشان می دهیم . توان مفید  $P$  را در راستای محور  $x$  ها رسم می کنیم و توان راکتیو را بر روی محور  $y$  ها ترسیم می کنیم اگر  $\varphi$  مثبت باشد یعنی بار دارای خاصیت سلفی است ( پس فاز ) و توان راکتیو در جهت مثبت محور  $y$  ها ترسیم می شود و اگر  $\varphi$  منفی باشد یعنی بار دارای خاصیت خازنی است ( پیش فاز ) و توان راکتیو در جهت منفی محور  $y$  ها ترسیم می شود . توان ظاهری نیز وتر مثلث قائم الزاویه ای است که دو ضلع دیگر آن توان های مفید و غیر مفید می باشد .



به راحتی می توان اثبات کرد که بین سه توان فوق روابط زیر برقرار است .

$$P_e = P_s \cdot \cos \varphi$$

$$P_d = P_s \cdot \sin \varphi$$

$$P_d = P_e \cdot \tan \varphi$$

$$P_s = \sqrt{P_e^2 + P_d^2}$$



## فصل هفتم : آشنایی با خواص و کاربرد های سلف و خازن

سلف

سلف یا سیم پیچ یک المان پرمصرف در برق و الکترونیک است که از پیچیدن مقداری سیم به دور یک هسته ساخته می شود .



سلف را با  $L$  نشان می دهند و بر حسب هانری  $H$  سنجیده می شود مقدار اندوکتانس سلف از رابطه زیر بدست می آید :

$$L = \frac{\mu \cdot A \cdot N^2}{l}$$

در این رابطه

$L$  : اندوکتانس سلف بر حسب هانری ( $H$ ) .

$\mu$  : ضریب نفوذ مغناطیسی یا تراوایی هسته ( $\mu = \mu_0 \times \mu_r$ ) .

$A$  : سطح مقطع هسته بر حسب متر مربع ( $m^2$ ) .

$N$  : تعداد دور سیم پیچ .

$l$  : طول سیم پیچ بر حسب متر ( $m$ ) .

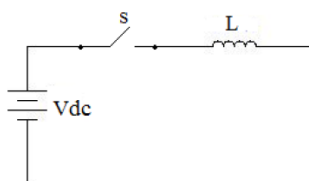
مثال - اگر با پیچاندن ۱۰۰ دور سیم روی هسته ای با ضریب نفوذ  $\mu = 6 \times 10^{-4}$  هانری برمتر و طول ۲۰ سانتی متر و سطح مقطع حاصل ۱ میلی مترمربع یک سلف را بسازیم، میزان اندوکتانس چند هانری است ؟

$$L = \frac{\mu \cdot A \cdot N^2}{l} = \frac{6 \times 10^{-4} \times 1 \times 10^{-6} \times 100^2}{0.2} = 0.3 \text{ mH}$$

اندوکتانس یا ضریب خودالقایی سلف به صورت خاصیت هر هادی در مقابل هر تغییر در شدت جریان عبوری از آن تعریف می شود . همچنین اندوکتانس را می توان نسبت فوران تولید شده توسط سلف به جریان عبوری از آن تعریف کرد و از رابطه محاسبه می شود .

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

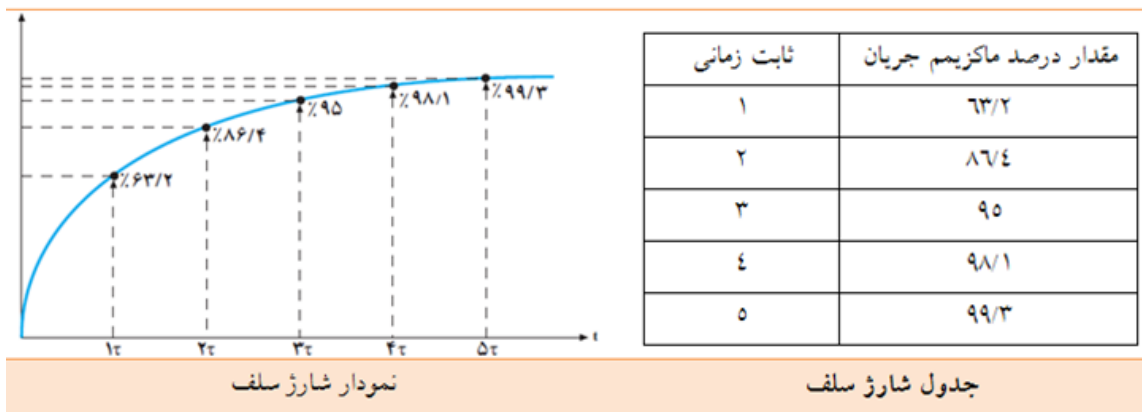
عملکرد سلف در جریان مستقیم :



اگر یک بوبین را به ولتاژ مستقیم وصل کنیم جریان در آن یکدفعه به مقدار نهایی خود نمی‌رسد بلکه این جریان بعد از گذشت مدت زمانی به مقدار ماکزیمم می‌رسد که به این زمان ثابت زمانی می‌گویند. مقدار ثابت زمانی در یک مدار شامل سلف و مقاومت به میزان ضریب خود القایی و میزان مقاومت مدار بستگی دارد.

$$\tau = \frac{L}{R}$$

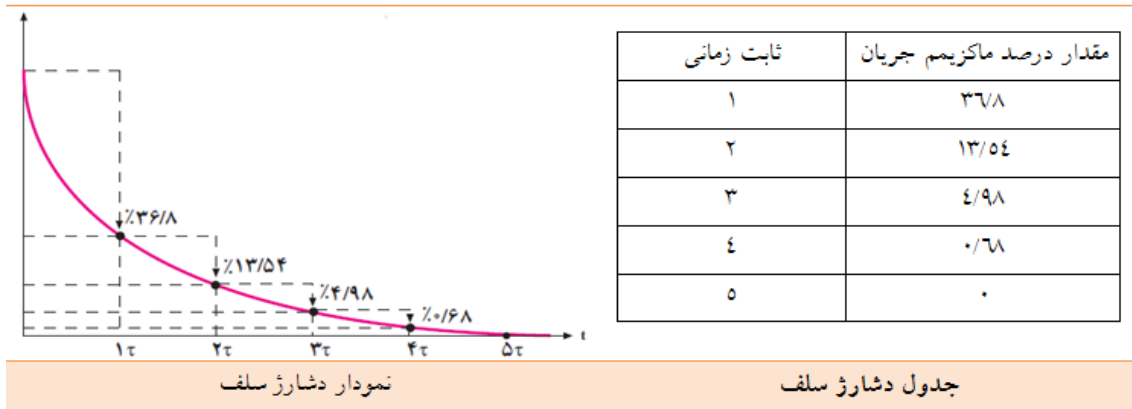
بنا به تعریف ثابت زمانی در یک بوبین به مدت زمانی که طول می‌کشد تا جریان در سلف به  $\frac{63}{2}$  درصد مقدار ماکزیمم خود برسد. معمولاً ۵ ثابت زمانی طول می‌کشد تا جریان در یک سلف به مقدار حداکثر خود برسد.



طبق نمودار شارژ فوق:

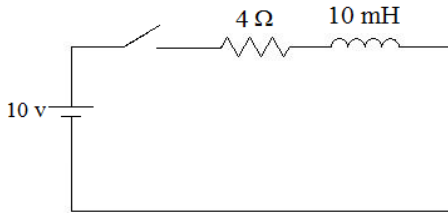
در ثابت زمانی اول: جریانی به اندازه  $\frac{63}{2}$  درصد کل جریان نهایی از سیم پیچ می‌گذرد.  
 در ثابت زمانی دوم:  $\frac{63}{2}$  درصد از مقدار باقی مانده جریان که  $\frac{36}{8}$  درصد ( $\frac{36}{8} = 100 - \frac{63}{2}$ ) می‌باشد به جریان ثابت زمانی اول اضافه می‌شود پس جریان سلف در ثابت زمانی دوم  $\frac{86}{4}$  درصد از کل جریان است.  
 در ثابت زمانی سوم: نیز میزان  $\frac{63}{2}$  درصد از مقدار باقی مانده جریان که  $\frac{13}{6}$  است به جریان ثابت زمانی دوم اضافه می‌شود پس مقدار جریان در ثابت زمانی سوم  $95$  درصد کل جریان است.  
 در ثابت زمانی چهارم: جریان مدار به  $98$  درصد مقدار ماکزیمم می‌رسد.  
 در ثابت زمانی پنجم: جریان به مقدار ماکزیمم خود بیش از  $99$  درصد می‌رسد.

**دشارژ سلف:** در هنگام قطع جریان یک سلف ۵ ثابت زمانی طول می‌کشد تا جریان از مقدار ماکزیمم به صفر برسد، در ثابت زمانی اول جریان به اندازه  $\frac{63}{2}$  از مقدار ماکزیمم خود کاهش می‌یابد و جریان مدار به  $\frac{36}{8}$  درصد می‌رسد. در ثابت زمانی دوم نیز به اندازه  $\frac{63}{2}$  درصد از مقدار باقی مانده جریان کاهش می‌یابد یعنی جریان به  $\frac{13}{6}$  مقدار ماکزیمم می‌رسد در ثابت زمانی چهارم جریان مدار به  $5$  درصد و در ثابت زمانی پنجم جریان به کمتر از  $1$  درصد مقدار ماکزیمم خود می‌رسد.





مثال - در مدار شکل زیر پس از وصل کلید چه مدت زمانی طول می کشد تا سلف به میزان کامل شارژ شود ؟ میزان جریان حالت ماندگار ( پس از گذشت ۵ ثابت زمانی ) چقدر است ؟



$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{10}{4} = 2.5 \text{ ms} \quad , \quad 5\tau = 5 \times 2.5 = 12.5 \text{ ms} \quad , \quad I = \frac{U}{R} = \frac{10}{4} = 2.5 \text{ A}$$

انرژی ذخیره شده در سلف : وقتی از یک سلف جریان dc عبور کند مقداری انرژی در آن ذخیره می شود ولی ولتاژی دوسر آن القاء نمی شود (چون جریان تغییرات ندارد) مقدار این انرژی به اندوکتانس و جریان عبوری از سلف بستگی دارد .

$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

در این رابطه

**W** : انرژی ذخیره شده در سلف بر حسب ژول (J) .

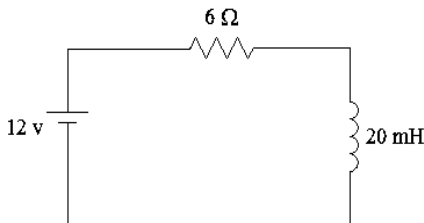
**L** : اندوکتانس سلف بر حسب هانری (H) .

**I** : جریان عبوری از سلف بر حسب آمپر (A) .

مثال - با عبور جریان ۱۰ آمپر از سلفی با اندوکتانس ۰/۵ هانری چه میزان انرژی در میدان مغناطیسی آن ذخیره می شود ؟

$$W = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \times 0.5 \times 10^2 = 25 \text{ j}$$

مثال - در مدار شکل زیر انرژی ذخیره شده در سلف و توان تلف شده در مقاومت را محاسبه کنید .



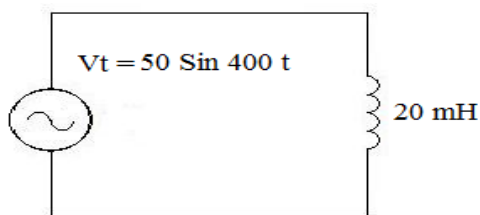
$$I = \frac{12}{6} = 2 \text{ A} \quad , \quad W = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \times 20 \times 10^{-3} \times 2^2 = 0.4 \text{ j} \quad , \quad P = R I^2 = 6 \times 4 = 24 \text{ w}$$

**عملکرد سلف در جریان متناوب :**

همانطور که دیدید اگر یک سلف به منبع dc وصل شود هیچ مخالفتی در مقابل جریان نشان نمی دهد و به صورت اتصال کوتاه درمی آید، در صورتی که سلف را به یک منبع ولتاژ ac وصل کنیم، سلف علاوه بر مقاومت اهمی از خود مقاومت دیگری نشان می دهد که به مقاومت یا راکتانس سلفی مشهور است . این مقاومت را با XL نشان می دهند و بر حسب اهم است . راکتانس سلفی از رابطه ی زیر قابل محاسبه می شود .

$$XL = L \cdot \omega \quad , \quad \omega = 2\pi f \quad , \quad XL = 2\pi f \cdot L$$

مثال - مقدار مقاومت القایی (راکتانس سلفی) و جریان عبوری از مدار زیر را محاسبه کنید .



$$XL = L \cdot \omega = 20 \times 10^{-3} \times 400 = 8 \Omega \quad , \quad I = \frac{50}{8} = 6.25 \text{ A}$$

**خود القایی :** با اعمال جریان ac به یک سیم پیچ به دلیل تغییرات متناوب در دامنه‌ی جریان، نیروی محرکه‌ی الکتریکی emf در سلف القاء می‌شود، به دلیل این‌که این نیرو محرکه یا ولتاژ توسط خود سلف ایجاد می‌شود به ولتاژ خودالقایی مشهور می‌باشد. همانطور که بیان شده نیروی محرکه الکتریکی زمانی ایجاد می‌شود که میدان الکتریکی تغییر کند پس اگر میدان الکتریکی ثابت باشد هیچ نیرو محرکه‌ی در سلف ایجاد نخواهد شد. نیروی محرکه القایی از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$Emf = N \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

در این رابطه  $\Delta\phi$  تغییرات فوران و  $\Delta t$  تغییرات زمان می‌باشد.

### قانون لنز

بر اساس قانون لنز هر تغییر در جریان عبوری از یک هادی باعث ایجاد نیروی محرکه‌ی خودالقایی می‌شود که اثر آن با جهت تغییرات جریان مخالفت می‌کند. به عبارت دیگر هنگامی که جریان کاهش می‌یابد، نیروی محرکه‌ی القایی در جهتی است که با کاهش جریان مخالفت می‌کند و هنگامی که جریان افزایش می‌یابد باز جهت نیروی محرکه‌ی خودالقایی طوری است که با افزایش جریان مخالفت می‌کند. با زیاد یا کم شدن ولتاژ داده شده در یک جهت، نیروی محرکه القایی در جهت مخالف آن زیاد یا کم می‌شود. از آن جایی که عمل نیروی محرکه القایی مخالفت با ولتاژ اعمال شده است آن را نیروی ضد محرکه القایی می‌نامند و با  $Cemf$  نشان می‌دهند و از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$Cemf = - N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

### القای متقابل

هرگاه دو سیم پیچ طوری نزدیک یکدیگر قرار گیرند که فوران تولید شده توسط یکی از آن‌ها سیم پیچ دوم را قطع کند، در سیم پیچ دوم ولتاژی القاء می‌شود. در صورت بسته بودن مسیر سیم پیچ دوم ولتاژ القا شده جریانی را به وجود می‌آورد، این جریان نیز فورانی را در سیم پیچ دوم ایجاد می‌نماید که سیم پیچ اول را قطع می‌کند که موجب القای ولتاژی در سیم پیچ اول می‌شود. به این عمل القای متقابل می‌گویند. مقدار ولتاژ القایی ناشی از القای متقابل دو بوبین به وضع قرار گرفتن دو آن‌ها نسبت به هم و تعداد خطوط قوایی که ارتباط بین دو بوبین را برقرار می‌کند بستگی دارد. درجه ارتباط خطوط قوا توسط ضریبی به نام ضریب کوپلاژ بیان می‌شود. ضریب کوپلاژ را با  $k$  نشان می‌دهند و مقداری بین ۰ و ۱ دارد، هرگاه تمام فوران تولیدی یک بوبین، بوبین دیگر را قطع کند ضریب کوپلاژ برابر ۱ می‌باشد و اگر دو سیم پیچ نسبت به هم ایزوله شده باشند یا آنقدر از هم فاصله داشته باشند که فوران‌های تولیدی آن‌ها همدیگر را قطع نکنند، ضریب کوپلاژ صفر خواهد بود.

**ضریب القای متقابل :** برای نشان دادن میزان القای متقابل بین دو بوبین از ضریب القای متقابل استفاده می‌شود که با  $M$  نشان داده می‌شود و از رابطه زیر بدست می‌آید.

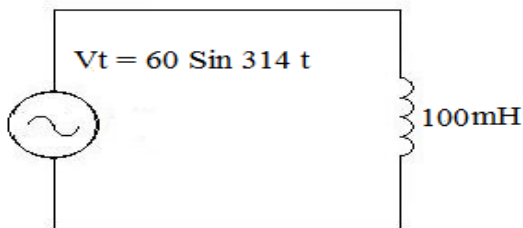
$$M = K \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

بررسی شکل موج های ولتاژ و جریان سلف در جریان ac

در مدارات جریان متناوب شامل مقاومت اهمی بین ولتاژ و جریان هیچ اختلاف فازی وجود ندارد یعنی با وجود اختلاف در مقدار دامنه، فاز آن‌ها بر هم منطبق است و شکل موج ولتاژ و جریان هر دو از یک نقطه شروع و به یک نقطه ختم می شوند. اما در مدارات جریان متناوب شامل اندوکتانس دیگر شکل موج ها بر هم منطبق نیستند و بین ولتاژ و جریان سلف اختلاف فازی به اندازه ۹۰ درجه وجود دارد. به عبارت دیگر در یک سلف خالص ولتاژ ۹۰ درجه نسبت به جریان جلوتر است (تقدم فاز دارد). در زیر شکل موج های جریان و ولتاژ سلف و معادله زمانی آنها به همراه دیاگرام برداری ترسیم شده است.

		$V_L = V_m \sin \omega t$ $I_L = I_m \sin (\omega t - 90)$
<p>شکل موج</p>	<p>دیاگرام برداری</p>	<p>معادله زمانی</p>

مثال - در مدار الکتریکی شکل زیر جریانی که از منبع خارج می شود چقدر است؟



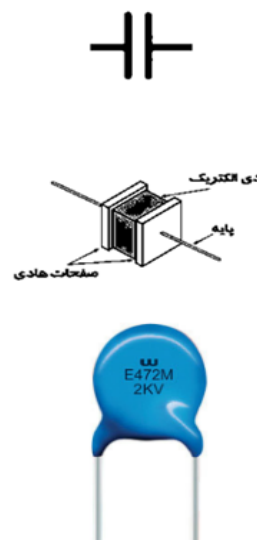
$$X_L = L \cdot \omega = 100 \times 10^{-3} \times 314 = 31.4 \Omega \quad , \quad I_m = \frac{60}{31.4} = 1.9 \text{ A}$$



## خازن (Capacitor)

خازن المانی است که انرژی الکتریکی را توسط یک میدان الکترواستاتیکی در خود ذخیره می‌کند و تحت شرایطی این انرژی الکتریکی را آزاد می‌کند. خازن‌ها به اشکال گوناگون ساخته می‌شوند که پر استفاده‌ترین آن‌ها در برق و الکترونیک خازن-های مسطح هستند. این نوع خازن‌ها از دو صفحه‌ی هادی که بین آنها ماده عایقی قرار گرفته است تشکیل می‌شوند. به صفحات خازن، جوشن‌های خازن نیز می‌گویند که معمولاً از آلومینیوم، نقره، قلع و روی ساخته می‌شوند. صفحات خازن در فاصله‌ی بسیار نزدیک به هم قرار می‌گیرند. عایق بین صفحات خازن معمولاً از جنس هوا، کاغذ، میکا، پلاستیک، سرامیک، اکسید آلومینیوم و اکسید تانتالیوم می‌باشد. به عایق بین صفحات خازن دی‌الکتریک می‌گویند. دی‌الکتریک‌ها انواع مختلفی دارند و با ضریب مخصوصی که نسبت به هوا سنجیده می‌شود، معرفی می‌گردند. این ضریب را ضریب دی‌الکتریک می‌نامند و آن را با  $\epsilon_r$  نمایش می‌دهند. ضریب دی‌الکتریک هوا را ۱ در نظر می‌گیرند. در جدول زیر مقدار ضریب دی‌الکتریک چند ماده عایق نمایش داده شده است.

نوع عایق	ضریب دی‌الکتریک
هوا	۱
میکا	۳ - ۸
سرامیک	۸۰۰ - ۱۲۰۰
پلی استر	۵/۲
اکسید آلومینیوم	۷
اکسید تانتالیوم	۲۶
کاغذ	۲ - ۶
شیشه	۵/۵ - ۱۰
روغن	۲ - ۵
فیبر	۳ - ۵
کوارتز	۳/۴ - ۴/۲
پارافین	۲ - ۲/۲



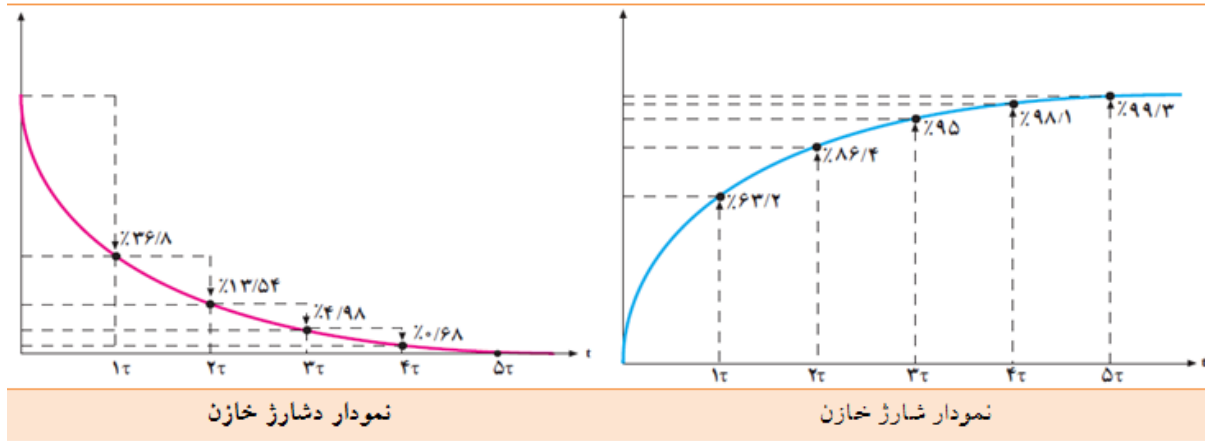
### عملکرد خازن در جریان مستقیم

قبل از اینکه به صفحات خازن ولتاژی اعمال شود، هر یک از صفحات از نظر بار الکتریکی خنثی هستند. اما زمانی که یک منبع تغذیه DC به دو سر خازن متصل شود الکترون‌هایی از صفحه‌ی ای که به قطب مثبت خازن وصل است خارج شده و به طرف قطب مثبت منبع تغذیه کشیده می‌شوند در نتیجه تعداد الکترونهای آن صفحه کاهش می‌یابد، الکترون‌هایی نیز از قطب منفی منبع تغذیه به طرف صفحه‌ی ای از خازن که به آن قطب متصل است شروع به حرکت می‌کنند، در نتیجه تعداد الکترونهای آن صفحه افزایش می‌یابد به این ترتیب در اثر حرکت الکترون‌ها، جریانی در مدار جاری می‌شود و گفته می‌شود خازن در حال شارژ شدن است. مقدار جریان مدار با ولتاژ دو سر خازن نسبت عکس دارد یعنی هر چه خازن بیشتر شارژ می‌شود، جریان مدار کاهش بیشتری می‌یابد. این روند تا آنجا ادامه می‌یابد که ولتاژ دو سر خازن با ولتاژ دو سر منبع تغذیه برابر شود و پس از آن حرکت الکترون‌ها متوقف شده و شارژ شدن خازن پایان می‌پذیرد. یعنی خازن به اندازه ولتاژ منبع تغذیه DC شارژ می‌شود.

**دشارژ خازن:** حال اگر دو پایه‌ی خازن شارژ شده و جدا شده از منبع تغذیه، به یکدیگر متصل شوند، الکترون‌ها از صفحه‌ی دارای بار منفی به سمت صفحه‌ی دارای بار مثبت حرکت کرده و سبب دشارژ شدن خازن می‌شود. بنابراین هنگامی که خازن شارژ می‌شود ولتاژ دو سر آن افزایش می‌یابد و زمانی که خازن دشارژ می‌شود ولتاژ دو سر آن کاهش می‌یابد.

همانطور که از جدول زیر مشخص است در یک مدار شامل خازن و مقاومت ، خازن در ۵ ثابت زمانی شارژ و در ۵ ثابت زمانی دشارژ می شود، ثابت زمانی خازن از رابطه زیر بدست می آید .

$$\tau = R \cdot C$$



### ظرفیت خازن

ظرفیت هر خازن نشان دهنده توانایی خازن در ذخیره کردن بار الکتریکی است و بنا به تعریف عبارت است از مقدار بار الکتریکی که باید روی یکی از صفحات خازن جمع شود تا پتانسیل آن نسبت به صفحه دیگر به اندازه یک ولت افزایش یابد. به عبارت دیگر حاصل تقسیم بار الکتریکی ذخیره شده روی هر یک از صفحات خازن بر اختلاف پتانسیل میان دو صفحه را ظرفیت خازن گویند . ظرفیت خازن را با حرف C نمایش می دهند و از رابطه زیر محاسبه می شود .

$$C = \frac{Q}{V}$$

در این رابطه

C : ظرفیت خازن بر حسب فاراد ( F )

Q : بار یک صفحه بر حسب کولن ( C )

V : ولتاژ دو سر خازن بر حسب ولت ( V )

فاراد واحد بزرگی است، در عمل از واحدهای کوچکتری استفاده می شود که در جدول زیر این واحدها نمایش داده شده‌اند.

مقدار واحد بر حسب فاراد	علامت واحد	نام واحد
۰/۰۰۱	mF	میلی فاراد
۰/۰۰۰۰۰۱	μF	میکرو فاراد
۰/۰۰۰۰۰۰۰۱	nF	نانو فاراد
۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱	pF	پیکو فاراد

### عوامل مؤثر در ظرفیت خازن

۱ - مساحت صفحات خازن : هرچه یک خازن دارای صفحات بزرگتری باشد ظرفیت بیشتری خواهد داشت . زیرا هرچه صفحات خازن بزرگتر باشند، بار بیشتری روی آن‌ها ذخیره می‌شود .

۲- فاصله‌ی بین صفحات خازن : هرچه فاصله‌ی بین صفحات یک خازن کمتر باشد، مقدار ظرفیت خازن بیشتر و هر قدر فاصله‌ی بین صفحات خازن بیشتر شود ظرفیت خازن کمتر می‌شود . علت این امر آن است که هر چه فاصله‌ی بین صفحات خازن کمتر باشد، میدان الکترواستاتیک ایجاد شده بین دو صفحه‌ی خازن قوی‌تر می‌شود در نتیجه تعداد بیشتری از مولکول‌های دو قطبی دی‌الکتریک در راستای میدان الکترواستاتیک بین صفحات قرار می‌گیرند که سبب افزایش ظرفیت می‌شود . با توجه به موارد ذکر شده ، میزان ظرفیت خازن را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود .

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

در این رابطه :

$\epsilon$  : ثابت دی‌الکتریک خازن .

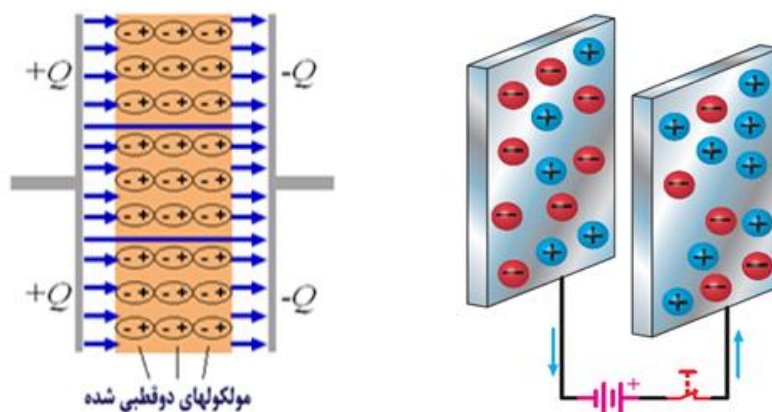
$A$  : مساحت صفحات خازن .

$d$  : فاصله‌ی بین صفحات خازن .

ثابت دی‌الکتریک هر خازن از رابطه  $(\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r)$  زیر بدست می‌آید .

که در این رابطه  $\epsilon$  ثابت دی‌الکتریک خازن،  $\epsilon_r$  ضریب دی‌الکتریک خازن و  $\epsilon_0$  ثابت دی‌الکتریک هوا است که مقدار آن برابر است با  $(\epsilon_0 = 8/85 \times 10^{-12})$  .

۳ - ثابت دی‌الکتریک خازن : هر چه ثابت دی‌الکتریک یک خازن بزرگتر باشد، آن خازن ظرفیت بیشتری خواهد داشت . علت این امر آن است که زمانی که یک دی‌الکتریک در یک میدان الکتریکی قرار می‌گیرد مولکول‌های دی‌الکتریک تحت تاثیر میدان الکتریکی به صورت مولکول‌های دو قطبی در می‌آیند . یعنی در هر مولکول دی‌الکتریک، بارهای مثبت و منفی از یکدیگر فاصله گرفته و در دو محدوده‌ی مجزا قرار می‌گیرند و بین این بارهای مثبت و منفی یک میدان الکتریکی ایجاد می‌شود . دو قطبی‌های حاصل در راستای میدان الکتریکی ایجاد شده بین صفحات خازن قرار می‌گیرند و همواره قطب‌های منفی دو قطبی‌ها به سمت جوشن دارای بار مثبت و قطب‌های مثبت دو قطبی‌ها به سمت جوشن دارای بار منفی قرار می‌گیرند .



مثال - ظرفیت خازنی که مساحت صفحات آن  $0/04$  متر مربع و فاصله صفحات آن  $0/002$  متر و نوع دی‌الکتریک به کار رفته در آن اکسید آلومینیوم است را محاسبه کنید .

$$C = \epsilon \frac{A}{d} = \frac{8/85 \times 10^{-12} \times 0/04}{0/002} = 1/239 \text{ nF}$$

**عملکرد خازن در جریان متناوب**

اگر به دو سر خازن یک ولتاژ AC متصل کنیم همانند سلف ، خازن نیز در برابر عبور جریان از خود مخالفت نشان می دهد که به راکتانس خازنی یا مقاومت خازنی مشهور است. با  $X_c$  نمایش داده می شود و از رابطه زیر محاسبه می شود .

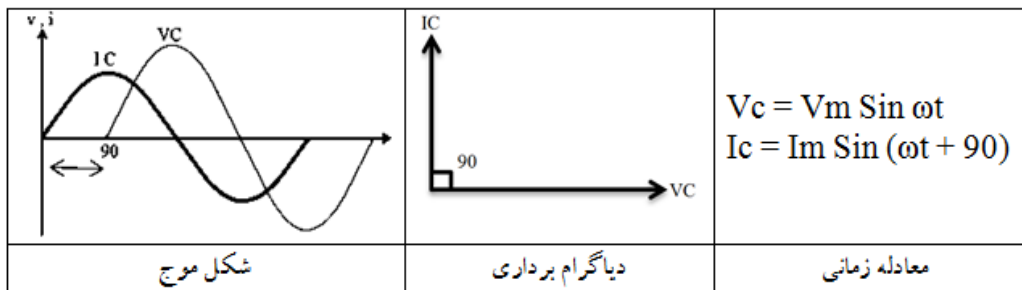
$$X_c = \frac{1}{c \cdot \omega} = \frac{1}{2\pi f c}$$

مثال - اگر به منبع ولتاژی با فرکانس ۵۰ هرتز خازنی به ظرفیت ۱ میکروفاراد وصل کنیم، راکتانس خازنی چقدر است ؟

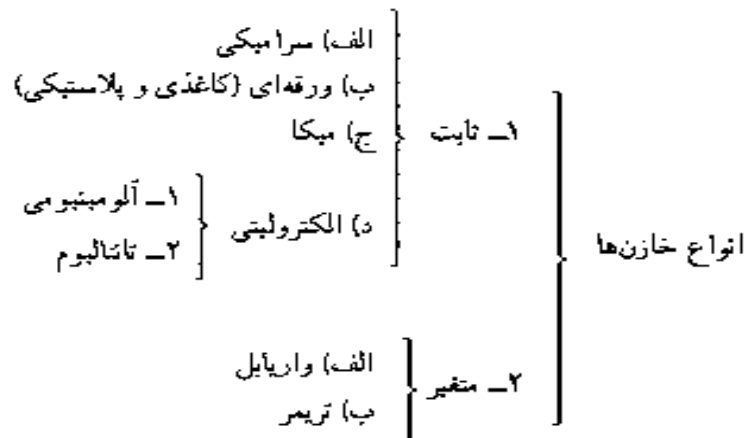
$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 10^{-6}} = 3/1 \text{ k}\Omega$$

بررسی شکل موج های ولتاژ و جریان خازن در جریان ac

در مدارات جریان متناوب شامل خازن بین ولتاژ و جریان اختلاف فازی وجود دارد که اگر خازن خالص باشد میزان این اختلاف ۹۰ درجه خواهد بود . بر خلاف سلف در یک خازن جریان نسبت به ولتاژ ۹۰ درجه جلوتر است ( تقدم فاز دارد ) . در زیر شکل موج های جریان و ولتاژ خازن به همراه معادله ی زمانی آن ها ترسیم شده است .



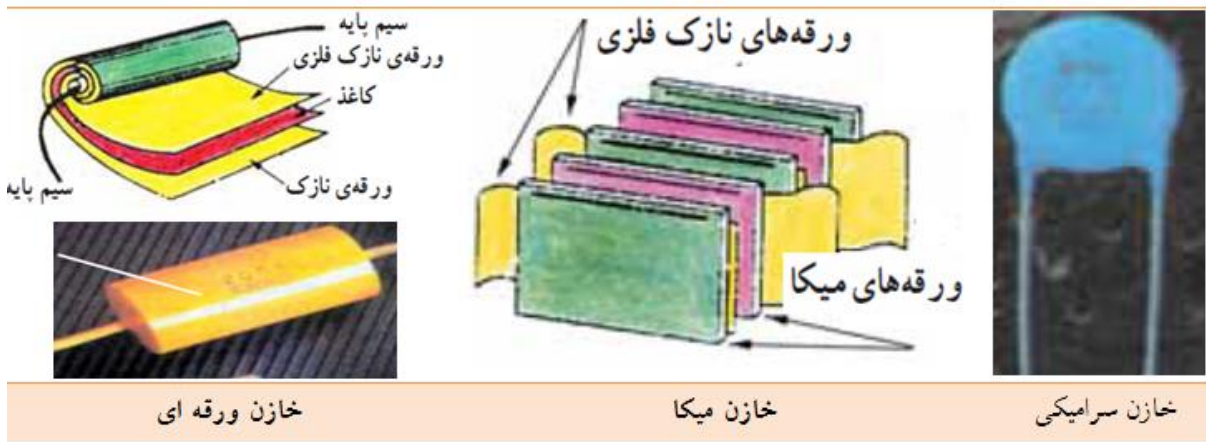
**انواع خازن ها**



۱ - خازن های ثابت : این خازن ها دارای ظرفیت ثابتی هستند و بر اساس نوع ماده ی دی الکتریک آنها نام گذاری می شوند .  
 الف - خازن سرامیکی (Ceramic Capacitor) : خازن سرامیکی یکی از پرکاربردترین خازن ها می باشد که دی الکتریک به کار رفته در آن از جنس سرامیک است و به دلیل اینکه سرامیک ثابت دی الکتریک بالایی دارد می توان خازن های سرامیکی را در اندازه های کوچک و ظرفیت های بالا نسبت به حجمشان ساخت و این یکی از بزرگترین مزیت های خازن های سرامیکی است . ولتاژ کار این خازن ها از ۵۰ ولت به بالاست . ظرفیت خازن های سرامیکی معمولاً بین ۱ PF تا nf است که به شکل های عدسی ( دیسکی ) و استوانه ای ( لوله ای ) تولید می شوند .

ب - **خازن‌های میکا** : خازن میکا از تعدادی ورقه نازک میکا به عنوان دی الکتریک و تعدادی ورقه‌ی نازک فلزی به عنوان صفحات هادی تشکیل می‌شود. این ورقه‌ها به صورت یک در میان روی هم قرار می‌گیرند. ورقه‌های فلزی در دو دسته به یکدیگر وصل شده‌اند تا سطح مؤثر هر صفحه‌ی خازن را بزرگتر کنند و ظرفیت خازن بالا رود. هر چه تعداد صفحات فلزی بیشتر و اندازه آنها بزرگتر باشد، ظرفیت خازن افزایش می‌یابد. مجموعه‌ی ورقه‌های میکا و فلز در یک محفظه قرار می‌گیرند. ظرفیت خازنهای میکا کم و از چند پیکوفاراد تا حداکثر ۵ نانوفاراد است. از ویژگی‌های اصلی و مهم این خازن‌ها می‌توان داشتن ولتاژ کار بالا، ثبات ظرفیت، ضریب حرارتی پایین، عمر کارکرد طولانی و کاربرد در مدارات فرکانس بالا را نام برد.

ج - **خازنهای ورقه‌ای** : در خازنهای ورقه‌ای از کاغذ و مواد پلاستیکی به عنوان دی الکتریک استفاده می‌شود. این گروه از خازن‌ها خود به دو صورت کاغذی و پلاستیکی ساخته می‌شوند.



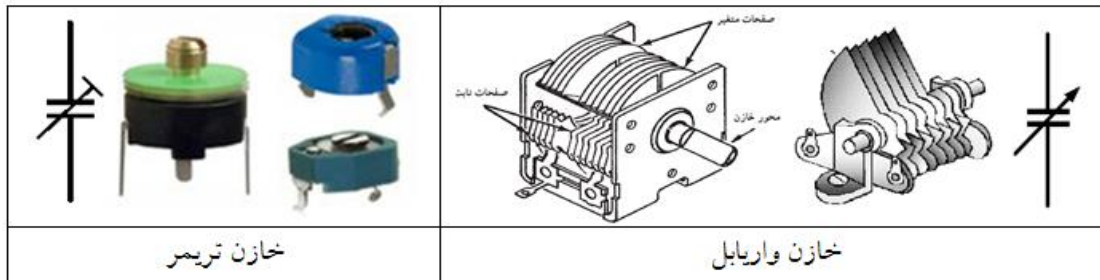
د - **خازنهای الکترولیتی** : اگر دی الکتریک یک خازن طی یک واکنش شیمیایی ایجاد شده باشد خازن الکترولیتی و در غیر اینصورت خازن خشک است. از خازن‌های الکترولیتی به دلیل قابلیتی که در ساخت آنها وجود دارد برای ظرفیت‌های بالا استفاده می‌کنند. داشتن ظرفیت زیاد در آنها ناشی از به‌کار بردن یک لایه دی الکتریک نازک با ضخامت تقریبی کم (حدود یک نانومتر) است. چنین لایه‌ای به وسیله یک عمل شیمیایی (اکسیداسیون) بر روی فلزات مناسب همچون آلومینیوم و تانتالیوم تشکیل می‌شود. در اکثر خازن‌های الکترولیتی پلارایته‌ی مثبت و منفی مشخص شده است و اصطلاحاً گفته می‌شود خازنهای الکترولیتی قطبی هستند. به همین سبب، هنگام کار با این نوع خازن‌ها باید دقت نمود، زیرا اگر خازن به صورت معکوس اتصال داده شود، دی الکتریک آن از بین رفته و خازن تبدیل به یک هادی می‌شود و سپس محلول الکترولیت خازن تجزیه می‌گردد و در اثر گاز ایجاد شده در محفظه، خازن منفجر می‌شود.





۲ - خازنهای متغیر

به طور کلی با تغییر سه عامل فاصله‌ی صفحات، مساحت صفحات و نوع دی الکتریک می‌توان ظرفیت خازن‌ها را تغییر داد. اساس کار خازن‌های متغیر بر مبنای تغییر سطح مشترک صفحات خازن و یا تغییر فاصله‌ی بین صفحات خازن است. نوع دی الکتریک به کار رفته در خازن‌های متغیر معمولاً از جنس هوا است. به خازن متغیری که عمل تغییر ظرفیت در آن به وسیله یک ولوم انجام می‌شود خازن واریابل و نوع دیگر را که در آن عمل تغییر ظرفیت توسط پیچ گوشتی انجام می‌گیرد خازن تریمر می‌گویند، محدوده‌ی تغییر ظرفیت واریابل از ۱۰ تا ۴۰۰ پیکوفاراد و در تریمر از ۵ تا ۳۰ پیکوفاراد است.



انرژی ذخیره شده در خازن: همانطور که در میدان مغناطیسی سلف مقداری انرژی ذخیره می‌شود. در میدان الکترواستاتیک خازن نیز مقداری انرژی ذخیره می‌شود که مقدار آن از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید.

$$W = \frac{1}{2} C V^2$$

در این رابطه

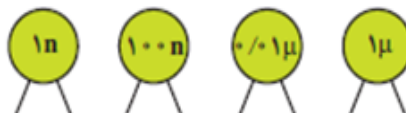
W: انرژی ذخیره شده در خازن بر حسب ژول (J).

C: ظرفیت خازن بر حسب فاراد (F).

V: ولتاژ دو سر خازن بر حسب ولت (V).

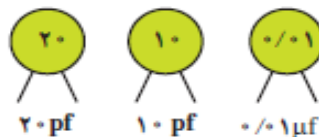
تشخیص مقدار ظرفیت خازن: برای تعیین ظرفیت خازن‌ها از سه روش زیر استفاده می‌شود.

یک - نوشتن مقدار ظرفیت: در این روش مقدار عددی و واحد خازن بر روی بدنه آن نوشته می‌شود.

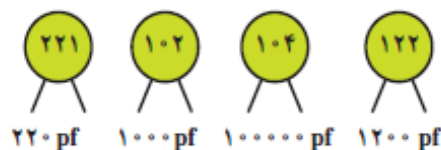


دو - رمزهای عددی: در این روش واحد ظرفیت بر روی بدنه خازن نوشته نمی‌شود و تنها عدد نوشته می‌شود، چنانچه این

عدد از یک کوچک تر باشد ظرفیت بر حسب میکرو و اگر عدد از یک بزرگتر باشد ظرفیت بر حسب پیکو فاراد است.



در حالتی که عدد ظرفیت بزرگ تر از واحد باشد (به خصوص در خازن های سرامیکی ۱۰۰ پیکو فاراد به بالا) معمولاً عدد ظرفیت به صورت یک عدد سه رقمی مشخص می‌شود که دو رقم اول عدد و رقم سوم تعداد صفرها را مشخص می‌کند.



سه - استفاده از نوارهای رنگی : مقدار ظرفیت خازن‌ها گاهی به وسیله نوارهای رنگی مشخص می‌شود . معانی رنگ‌ها برای ارقام و ضرایب همانند معانی رنگ‌ها در مقاومت‌هاست . روش تعیین ظرفیت خازن، تفرانس و ولتاژ کار از نوارهای رنگی در خازن‌های مختلف تفاوت دارند، در زیر جدول نوارهای رنگی و نحوه‌ی قرائت خازن‌های تانتالیوم آورده شده است .

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



مثال - میزان ظرفیت و ولتاژ مجاز خازن زیر را مشخص کنید .



$$C = 1500 \mu\text{F} \quad , \quad U = 6.3 \text{ V}$$

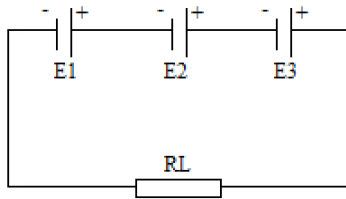


بانک خازنی برای اصلاح ضریب قدرت

## فصل هشتم : تحلیل مقدماتی مدارات الکتریکی

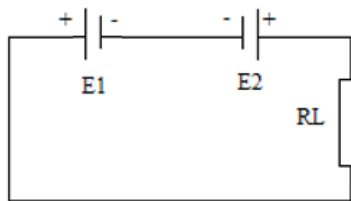
انواع اتصال المان های مداری به هم

اتصال سری پیل ها : از اتصال سری پیل ها برای افزایش ولتاژ استفاده می شود . در این اتصال هر قطب مثبت به قطب منفی پیل کنار خود متصل می شود .



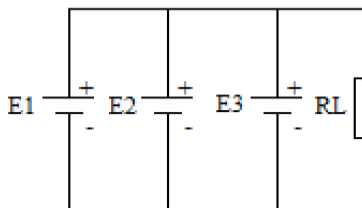
$$E_t = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$$

اتصال متقابل پیل ها این اتصال شبیه اتصال سری است با این تفاوت که قطب های هم نام به هم وصل می شوند .



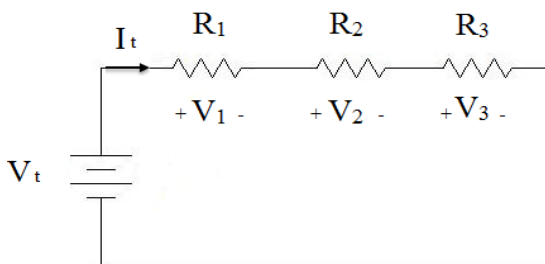
$$E_t = E_1 - E_2$$

اتصال موازی پیل ها : برای افزایش میزان جریان دهی پیل ها را به صورت موازی به هم وصل می کنند . در این اتصال باید ولتاژ تمامی پیل ها برابر باشد در غیر این صورت پیلی که ولتاژ کمتری دارد به عنوان مصرف کننده برای پیل های دیگر عمل می کند .



$$E_1 = E_2 = E_3 \quad , \quad I_L = I_1 + I_2 + I_3$$

اتصال سری مقاومت ها : اگر چند مقاومت پشت سرهم طوری به یکدیگر متصل شوند که راهی برای عبور جریان تشکیل دهند یک مدار مقاومتی سری درست می شود .



## ویژگی های مدارات سری

۱ - مقاومت ها می تواند اندازه و مقدار متفاوتی داشته باشد.

۲ - مقاومت کل (مقاومت معادل) مدار از جمع مقاومت ها بدست می آید.

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

۳ - شدت جریان در تمام نقاط مدار یکسان می باشد.

$$I_t = \frac{V}{R_t}$$

۴ - ولتاژ متناسب با مقدار مقاومت ها در دو سر آن ها افت می کند.

$$V_{R_1} = R_1 \cdot I_t, \quad V_{R_2} = R_2 \cdot I_t, \dots$$

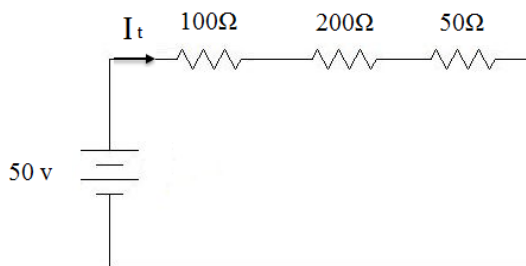
۵ - ولتاژ کل از جمع افت ولتاژهای دو سر مقاومت ها بدست می آید

$$V_t = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3} + \dots + V_{R_n}$$

۵ - قطع هر یک از المان های سری موجب قطع جریان مدار می شود.

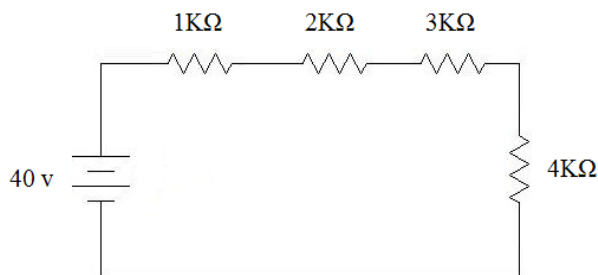
مدارات مقاومتی سری را با واگن های قطار یا دانه های زنجیر مقایسه می کنند.

مثال - مقاومت معادل و جریان مدار شکل های زیر را بدست آورید.



$$R_t = R_1 + R_2 + R_3, \quad R_t = 100 + 200 + 50 = 350 \Omega, \quad I = \frac{V_m}{R_t} = \frac{50}{350} = 0.14 \text{ A}$$

مثال - در مدار شکل زیر مقاومت معادل مدار، جریان اخذ شده از منبع و ولتاژ دو سر هر مقاومت را محاسبه کنید.



$$R_t = 1 + 2 + 3 + 4 = 10 \text{ K}\Omega, \quad ,$$

$$I = \frac{V}{R_t} = \frac{40}{10} = 4 \text{ mA}$$

$$V_1 = R_1 \cdot I_t = 1 \times 4 = 4 \text{ v}, \quad ,$$

$$V_2 = R_2 \cdot I_t = 2 \times 4 = 8 \text{ v}$$

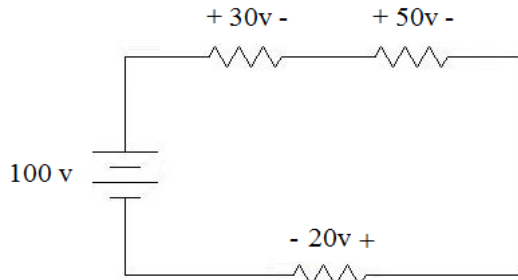
$$V_3 = R_3 \cdot I_t = 3 \times 4 = 12 \text{ v}, \quad ,$$

$$V_4 = R_4 \cdot I_t = 4 \times 4 = 16 \text{ v}$$

قانون ولتاژ کریشف: براساس قانون ولتاژ کریشف KVL جمع افت ولتاژ المان ها در یک مدار سری برابر با جمع نیرو

محركه ها است. به عبارت دیگر در یک مدار بسته جمع جبری ولتاژها صفر است.  $\sum V_j = 0$

مثال - در مدار زیر درستی قانون KVL را بررسی کنید .

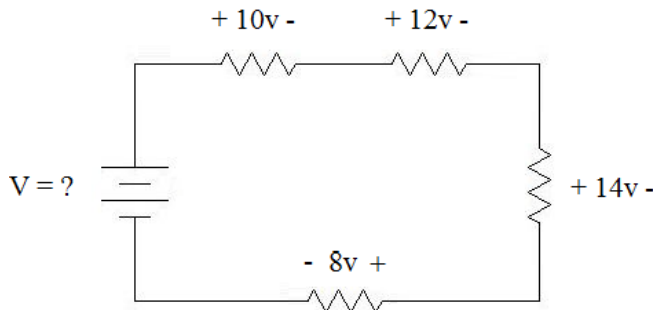


$$V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} = V_t \quad , \quad 30 + 50 + 20 = 100 \text{ V}$$

$$-V_t + V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} = 0 \quad , \quad -100 + 30 + 50 + 20 = 0$$

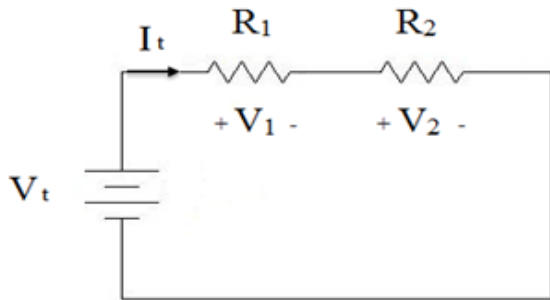
نکته : جریان از قطب مثبت منابع ولتاژ و جریان خارج می شود و به سر مثبت المان ها وارد می شود .

مثال- در مدار شکل زیر ولتاژ منبع چند ولت است ؟



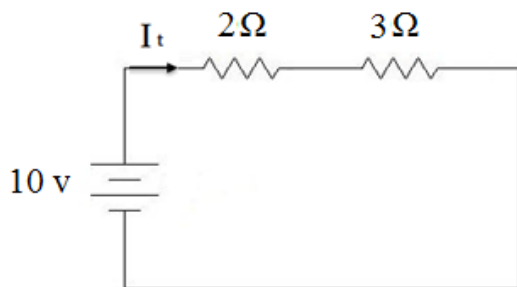
$$V = 10 + 12 + 14 + 8 = 36 \text{ V}$$

تقسیم ولتاژ در مدارات سری



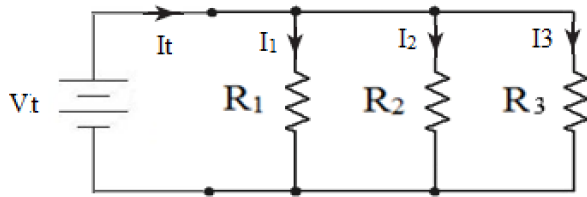
$$V_1 = V_t \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad , \quad V_2 = V_t \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

مثال - در مدار شکل زیر ولتاژ دو سر هر مقاومت را بدست آورید .



$$V_{2\Omega} = 10 \times \frac{2}{2+3} = 4 \text{ V} \quad , \quad V_{3\Omega} = 10 \times \frac{3}{2+3} = 6 \text{ V}$$

**اتصال موازی مقاومت ها :** در صورتی که بخواهیم از مصرف کننده ها به طور هم زمان و تحت یک ولتاژ استفاده کنیم . آن ها را به صورت موازی به دو سر منبع ولتاژ وصل می کنیم . به این ترتیب که یک طرف همه ی مصرف کننده ها را به یک قطب منبع و طرف دیگر مصرف کننده ها را به قطب دیگر وصل می کنیم .



ویژگی های مدارات موازی

- ۱ - مقاومت ها می تواند اندازه و مقدار متفاوتی داشته باشد .
- ۲ - ولتاژ دو سر المان ها برابر ولتاژ منبع می باشد .
- ۳ - مقاومت معادل مدار از رابطه ی زیر بدست می آید .

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

نکته : مقاومت معادل مدارات موازی از کمترین مقاومت موجود در مدار کمتر است.

- ۴ - جریان متناسب با عکس مقاومت ها در آن ها جاری می شود.

$$I_1 = \frac{V}{R_1}, \quad I_2 = \frac{V}{R_2}, \quad \dots \quad I_n = \frac{V}{R_n}$$

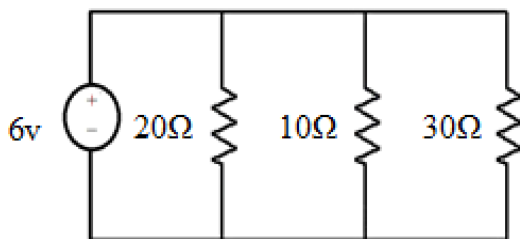
- ۵ - جریان کل از جمع جریان عبوری از مقاومت ها بدست می آید.

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

- ۶ - قطع هریک از مصرف کننده ها اثری بر سایر مصرف کننده ها ندارد .

نکته - مصرف کننده های خانگی و ... معمولاً به صورت موازی به هم و به منبع وصل می شوند.

مثال - در مدار الکتریکی شکل زیر مقاومت معادل و جریان عبوری از هر مقاومت و منبع را محاسبه کنید.



$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{20} + \frac{1}{10} + \frac{1}{30} = \frac{3+6+2}{60} \quad \rightarrow \quad R_t = 60/11 \Omega$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{6}{20} = 0.3 \text{ A}, \quad I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{6}{10} = 0.6 \text{ A}, \quad I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{6}{30} = 0.2 \text{ A}$$

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 = 0.3 + 0.6 + 0.2 = 1.1 \text{ A} \quad \text{یا} \quad I_t = \frac{V}{R_t} = \frac{6}{60/11} = 1.1 \text{ A}$$

### قانون جریان کریشف

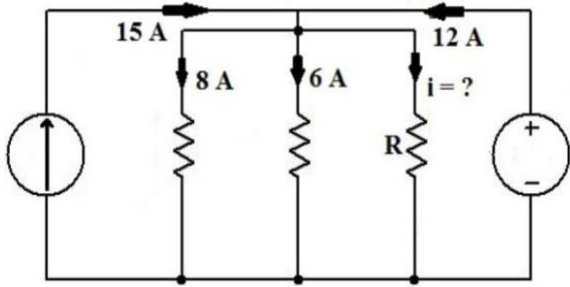
بر اساس قانون جریان کریشف KCL جمع جبری جریان ها یی که به هر نقطه از مدار وارد می شود برابر صفر است . به عبارت دیگر مجموع جریان های وارد شده به یک گره برابر با جریان های خارج شده از آن گره است .

جریان‌های ورودی به گره را با علامت منفی - و جریان‌های خروجی را با علامت مثبت + در معادله می‌نویسیم و برابر صفر قرار می‌دهیم .

$$- I_{in_1} - I_{in_2} - I_{in_3} - \dots - I_{in_n} + I_{out_1} + I_{out_2} + I_{out_3} + \dots + I_{out_n} = 0$$

$$I_{out_1} + I_{out_2} + I_{out_3} + \dots + I_{out_n} = I_{in_1} + I_{in_2} + I_{in_3} + \dots + I_{in_n}$$

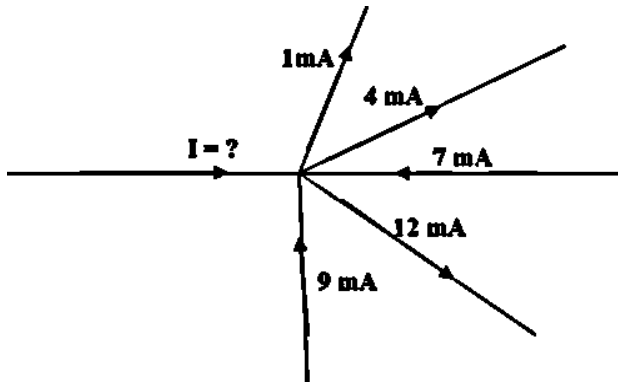
مثال - در مدار شکل زیر جریان مقاومت R را حساب کنید .



$$- 15 - 12 + 8 + 6 + I = 0$$

$$\rightarrow I = 13 \text{ A}$$

مثال - در مدار شکل زیر جریان I را بدست آورید .

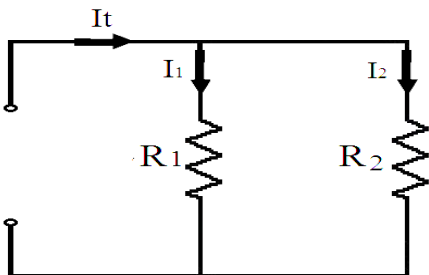


$$-I - 9 - 7 + 12 + 4 + 1 = 0$$

$$I = -9 - 7 + 12 + 4 + 1 = 1 \text{ A}$$

علامت منفی نشان دهنده عکس بودن جهت جریان است .

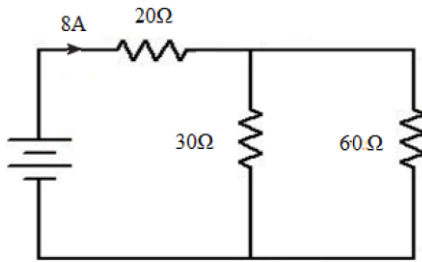
تقسیم جریان در مدارات موازی



$$I_1 = I_t \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

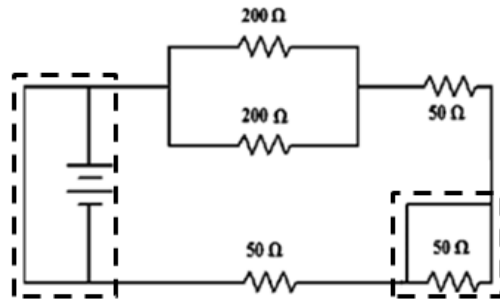
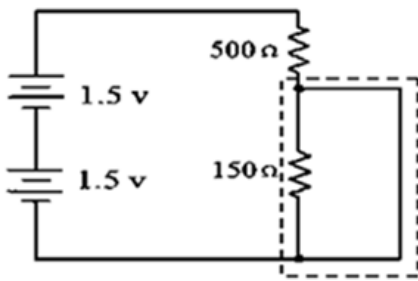
$$I_2 = I_t \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

مثال - جریان مقاومت های زیر را بدست آورید .

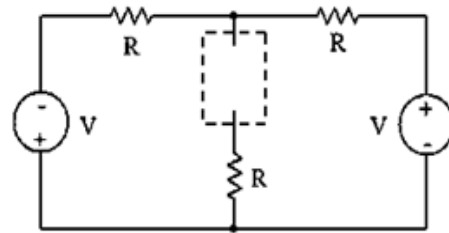
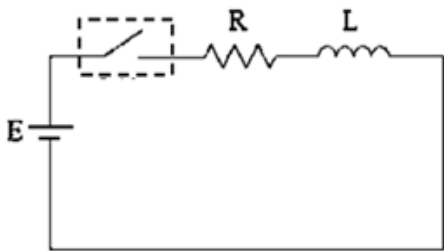


$$I_{30} = 8 \times \frac{60}{30 + 60} = 5.33 \text{ A}, \quad I_{60} = 8 \times \frac{30}{30 + 60} = 2.67 \text{ A}$$

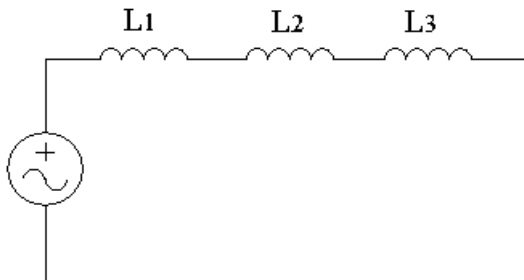
مفهوم اتصال کوتاه و اتصال باز : در مدارات الکتریکی معمولاً دو اشکال یا خطا پیش می آید . اول اتصال کوتاه است ، اتصال کوتاه یعنی برخورد دو نقطه از یک مدار به هم ، برای مثال برخورد سیم فاز و نول یا اتصال دو سر مقاومتی به هم بدون هیچ واسطه ای، در مدارات زیر نقطه اتصال کوتاه شده با خط چین مشخص شده است .



دومین خطایی که در شبکه های الکتریکی اتفاق می افتد اتصال باز است . اتصال باز یعنی اتصال مکانیکی و الکتریکی بین دو نقطه از مدار قطع شود . اتصال باز معمولاً به دلیل قطع شدن سیم ها یا جدا شدن سیم از ترمینال و ... اتفاق می افتد . همچنین برای قطع مدار از کلید استفاده می شود و نیز زمانی که در مدار اتصالات کوتاهی اتفاق بیفتد به وسیله فیوز مدار را اتصال باز می کنیم . در زیر چند نمونه اتصال باز در مدارات الکتریکی ترسیم شده است .



اتصال سری سلف ها : اتصال سری سلف ها مشابه اتصال سری مقاومت ها است و همان روابط برقرار است .

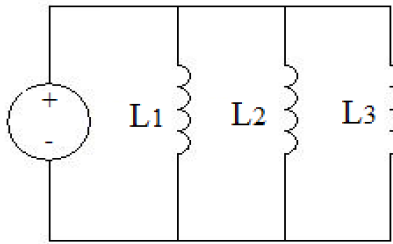


$$L_t = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

$$X_{L_t} = X_{L_1} + X_{L_2} + X_{L_3} + \dots + X_{L_n}$$

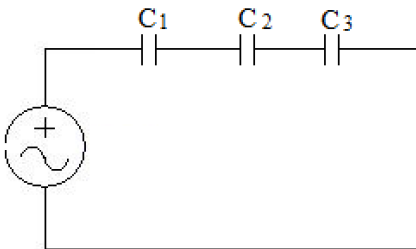


اتصال موازی سلف ها



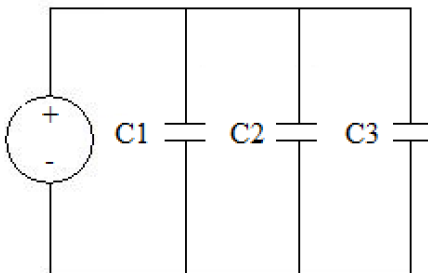
$$\frac{1}{L_t} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n} \quad , \quad \frac{1}{X_{L_t}} = \frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + \frac{1}{X_{L_3}} + \dots + \frac{1}{X_{L_n}}$$

اتصال سری خازن ها : محاسبات اتصال خازن ها عکس محاسبات سلف و مقاومت است .



$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad , \quad \frac{1}{X_{C_t}} = \frac{1}{X_{C_1}} + \frac{1}{X_{C_2}} + \frac{1}{X_{C_3}} + \dots + \frac{1}{X_{C_n}}$$

اتصال موازی خازن ها



$$C_t = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad , \quad X_{C_t} = X_{C_1} + X_{C_2} + X_{C_3} + \dots + X_{C_n}$$

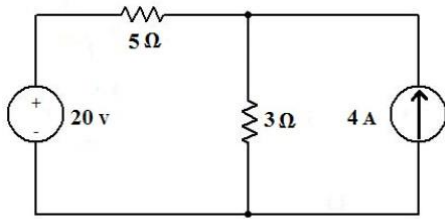
روش های تحلیل مدارات جریان مستقیم

مداراتی که تا کنون بررسی کردیم مدارات ساده ای بودن که المانها به صورت سری یا موازی قرار می گرفتند و تعداد گرهها یا شاخه های آنها کم بود به همین دلیل تحلیل آنها راحت بود . اما در مداراتی که عناصر فعال و غیر فعال زیادی دارد تعداد حلقه ها و گره های آنها نیز زیاد می باشد که برای تحلیل آنها از روش های زیر استفاده می شود .

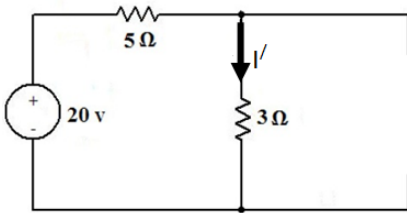
۱ - تحلیل مدار با استفاده از قانون جمع آثار

در مداراتی که دارای چند منبع هستند هر یک از منابع در مدار جریانی ایجاد می کنند و جریان هر عنصر در مدار از جمع جبری این جریان ها بدست می آید . برای تحلیل مدار به این روش ابتدا مدار را تا حد ممکن ساده می کنیم و سپس تمام منابع را از مدار حذف می کنیم بجز منبعی که می خواهیم اثر آن را بررسی کنیم . نحوه ی حذف منابع به این ترتیب است که منابع جریان اتصال باز و منبع ولتاژ اتصال کوتاه می شوند . در بررسی هر منبع باید جهت جریان را به خاطر سپرد .

مثال - در مدار شکل زیر به روش جمع آثار جریان مقاومت  $3\Omega$  را بدست آورید .

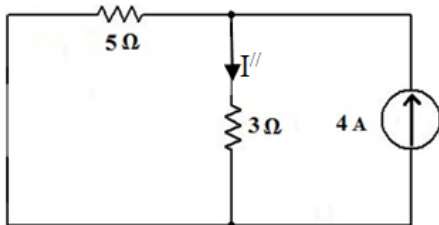


بررسی اثر منبع ولتاژ



$$I' = \frac{20}{5+3} = \frac{20}{8} = 2.5 \text{ A}$$

بررسی اثر منبع جریان



$$I'' = 4 \times \frac{5}{3+5} = 1.33 \text{ A}$$

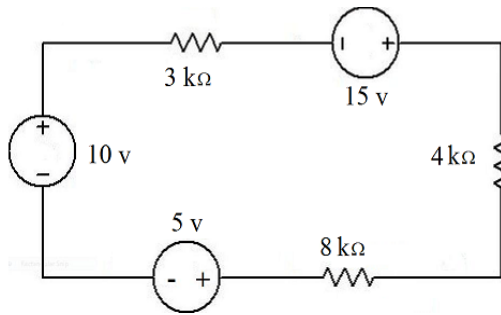
$$I = I' + I'' = 2.5 + 1.33 = 3.83 \text{ A}$$

## ۲ - تحلیل مدار با استفاده از روش جریان حلقه

برطبق قانون ولتاژ کریشهف جمع جبری ولتاژها در یک مسیر بسته صفر است، با استفاده از این خاصیت می توان مدارات الکتریکی را تحلیل نمود به این ترتیب که ولتاژ تمام المان های موجود در یک مسیر را نوشته و برابر صفر قرار می دهیم . برای تحلیل مدار به روش جریان حلقه مراحل زیر طی می شود .

- ۱ - مدار را تا حد امکان ساده می کنیم طوری که بر روی کمیت های مجهول اثر منفی نگذارد .
- ۲ - برای تمام حلقه ها یک جهت جریان در جهت دلخواه انتخاب می کنیم ( معمولاً ساعتگرد )
- ۳ - با حرکت در جهت جریان انتخابی در هر حلقه، با استفاده از قانون KVL معادله ی ولتاژها را برای هر حلقه می نویسیم .
- ۴ - در هنگام حرکت در یک حلقه اگر به عنصری رسیدیم که با حلقه ی دیگر مشترک بود جریان آن عنصر از جمع جبری جریان دو حلقه بدست می آید .
- ۵ - در نوشتن معادلات اگر به قطب مثبت منابع ولتاژ رسیدیم با علامت مثبت و اگر به قطب منفی رسیدیم با علامت منفی در معادله قرار می دهیم و ولتاژ تمام مصرف کننده ها را با علامت + در معادله لحاظ می کنیم .
- ۶ - به تعداد حلقه ها معادله نوشته می شود .
- ۷ - در تحلیل مدار به روش جریان حلقه مجهول، جریان حلقه ها است و در صورتی از این روش استفاده می شود که تعداد حلقه ها کم باشد .

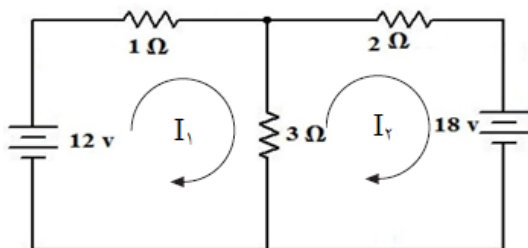
مثال - در مدار زیر جریان مدار چند آمپر است ؟



$$\text{KVL)} \quad -V_1 + V_{R1} - V_2 + V_{R2} + V_{R3} + V_3 = 0$$

$$-10 + 3I_1 - 15 + 4I_1 + 8I_1 + 5 = 0 \quad , \quad -20 + 15I_1 = 0 \quad , \quad I_1 = \frac{20}{15 \times 10^3} = 1.33 \times 10^{-3} = 1.33 \text{ mA}$$

مثال - با استفاده از روش جریان حلقه جریان منبع ۱۲ ولتی را بدست آورید .



$$\text{KVL}_1) \quad -12 + I_1 + 3(I_1 - I_2) = 0$$

$$-12 + I_1 + 3I_1 - 3I_2 = 0 \quad \rightarrow \quad 4I_1 - 3I_2 = 12$$

$$\text{KVL}_2) \quad 3(I_2 - I_1) + 2I_2 + 18 = 0$$

$$3I_2 - 3I_1 + 2I_2 + 18 = 0 \quad \rightarrow \quad 5I_2 - 3I_1 = -18$$

$$\begin{cases} 4I_1 - 3I_2 = 12 \\ 5I_2 - 3I_1 = -18 \end{cases} \quad \rightarrow \quad I_1 = 0.54 \text{ A}$$

### ۳ - تحلیل مدار با استفاده از روش پتانسیل گره

بر طبق قانون جریان کریشف جمع جریان های وارد شده به گره برابر با جمع جریان های خارج شده از آن گره می باشد . با استفاده از این خاصیت می توان مدارات الکتریکی را تحلیل نمود ، به این ترتیب جریان های وارده و خارج شده به گره ها را نوشته و برابر صفر قرار می دهیم . برای تحلیل مدار به روش پتانسیل گره مراحل زیر طی می شود .

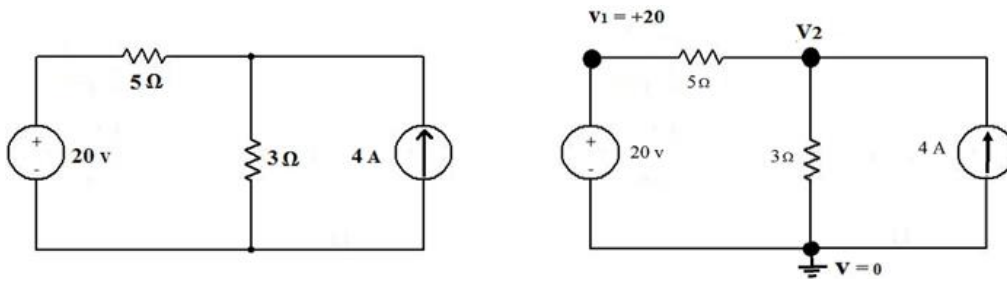
۱ - مدار را تا حد امکان ساده می کنیم .

۲ - گره ها را مشخص و نام گذاری می کنیم . پر انشعاب ترین گره را به عنوان گره ی مبنا انتخاب کرده و پتانسیل آن را برابر صفر قرار می دهیم .

۳ - برای هر گره یک معادله KCL می نویسیم . در معادلات جریان شاخه ها را خروجی و با علامت + نشان می دهیم .

۴ - با حل n معادله ی n مجهولی پتانسیل گره ها بدست می آید و با استفاده از قانون اهم جریان ها را محاسبه می کنیم .

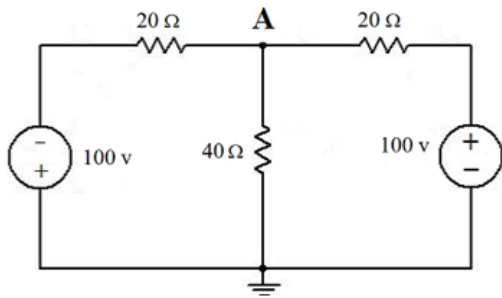
مثال - در مدار الکتریکی شکل زیر با استفاده از روش گره جریان عبوری از مقاومت ها را بدست آورید .



$$\text{KCL)} \quad \frac{V_2 - 20}{5} + \frac{V_2}{3} - 4 = 0, \quad \frac{2V_2 - 60 + 5V_2}{15} = 4$$

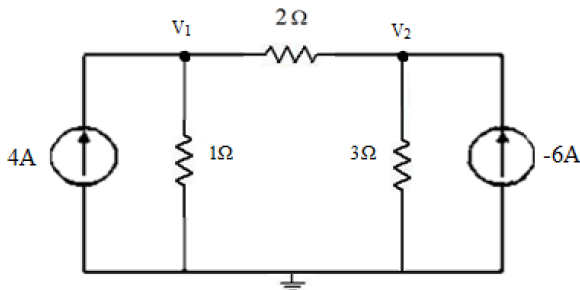
$$8V_2 = 60 + 60 \quad V_2 = \frac{120}{8} = 15 \text{ V}, \quad I_{5\Omega} = \frac{20 - 15}{5} = 1 \text{ A}, \quad I_{3\Omega} = \frac{15 - 0}{3} = 5 \text{ A}$$

مثال - در مدار زیر پتانسیل نقطه ی A را بدست آورید .



$$\frac{VA - (-100)}{20} + \frac{VA - 100}{20} + \frac{VA}{40} = 0, \quad \frac{2VA + 200 + 2VA - 200 + VA}{40} = 0, \quad VA = 0$$

مثال - در مدار زیر جریان مقاومت ها را بدست آورید .



$$\text{KCL}_1) \quad -4 + \frac{V_1 - V_2}{2} + \frac{V_1}{1} = 0, \quad \frac{V_1 - V_2 + 2V_1}{2} = 4 \rightarrow 3V_1 - V_2 = 8$$

$$\text{KCL}_2) \quad +6 + \frac{V_2 - V_1}{2} + \frac{V_2}{3} = 0, \quad \frac{3V_2 - 3V_1 + 2V_2}{6} = -6 \rightarrow 5V_2 - 3V_1 = -36$$

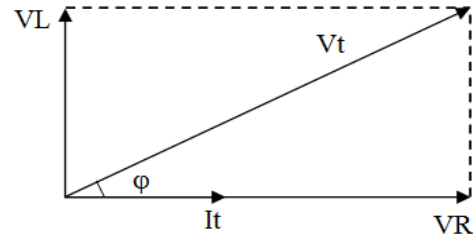
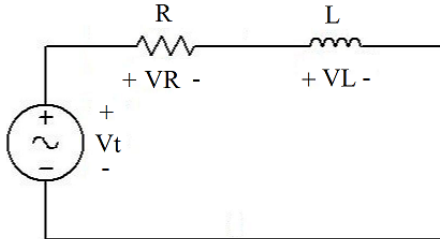
$$\begin{cases} 3V_1 - V_2 = 8 \\ 5V_2 - 3V_1 = -36 \end{cases}, \quad V_1 = \frac{1}{3} \text{ V}, \quad V_2 = -7 \text{ V}$$

$$I_1 = \frac{1}{3} \text{ A}, \quad I_2 = \frac{22}{6} \text{ A}, \quad I_3 = \frac{7}{3} \text{ A}$$

### تحلیل مدارات جریان متناوب

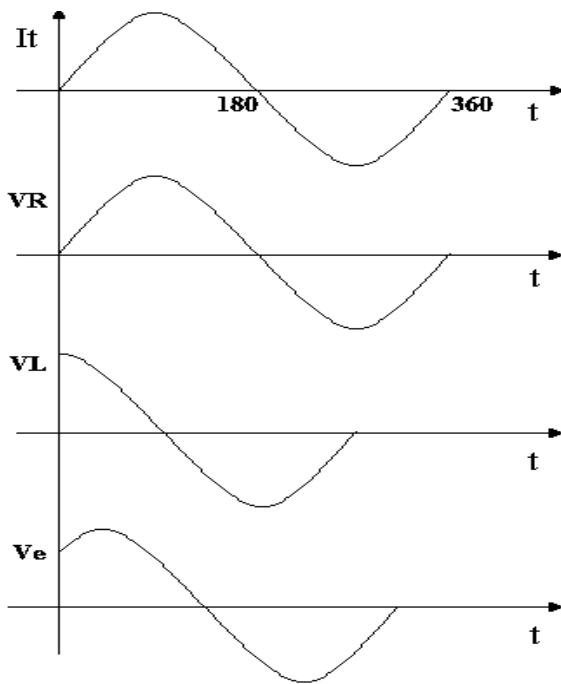
مدار R-L سری

اگر یک مدار شامل سلف و مقاومت سری را به یک منبع ولتاژ ac متصل کنیم، یک مدار R-L سری تشکیل داده ایم. در زیر شکل موج و پارامترهای مدار R-L سری آورده شده است.



مدار الکتریکی R-L سری

دیاگرام برداری مدار R-L سری



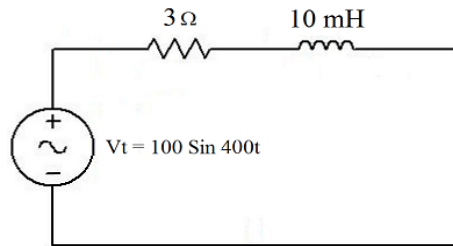
ولتاژ منبع	$V_t = V_m \sin(\omega t + \Theta_v)$
جریان منبع	$I_t = I_m \sin(\omega t - \Theta_i)$
ولتاژ مقاومت	$V_R = R \cdot I_t$
ولتاژ سلف	$V_L = X_L \cdot I_t$
ولتاژ منبع	$V_t = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$
امپدانس مدار	$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$
ضریب توان اکتیو	$\cos \phi = \frac{R}{Z}$
ضریب توان راکتیو	$\sin \phi = \frac{X_L}{Z}$
اختلاف فاز	$\tan \phi = \frac{X_L}{R}$

شکل موج های ولتاژ و جریان مدار

پارامترهای مدار R-L سری

مثال - در مدار R-L سری زیر مطلوب است محاسبه‌ی :

۱ - امپدانس ۲ - اختلاف فاز، ضریب توان اکتیو و راکتیو ۳ - معادله‌ی زمانی جریان مدار ۴ - معادله‌ی زمانی ولتاژ عناصر



قسمت ۱

$$X_L = L \cdot \omega = 10 \times 10^{-3} \times 400 = 4 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \Omega$$

قسمت ۲

$$\tan \varphi = \frac{X_L}{R} = \frac{4}{3}, \quad \varphi = \arctan \frac{4}{3} = 53^\circ, \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{3}{5} = 0.6, \quad \sin \varphi = \frac{X_L}{Z} = \frac{4}{5} = 0.8$$

قسمت ۳

$$\varphi = \theta_v - \theta_i \rightarrow 53^\circ = 0 - \theta_i \rightarrow \theta_i = -53^\circ, \quad i_m = \frac{V_m}{Z} = \frac{100}{5} = 20 \text{ A}$$

$$i_t = I_m \sin(\omega t + \theta_i) \rightarrow i_t = 20 \sin(\omega t - 53^\circ)$$

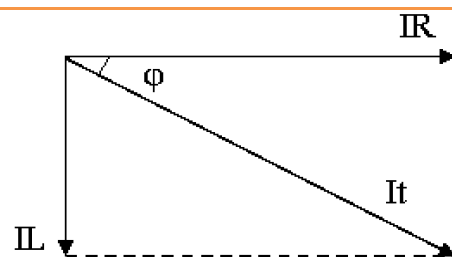
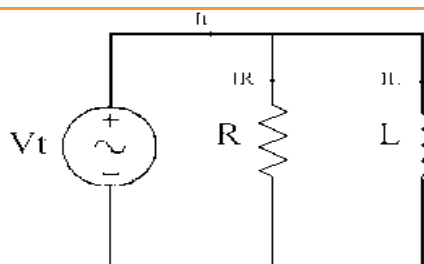
قسمت ۴

$$V_R = R \cdot I \sin(\omega t + \theta_i) \rightarrow V_R = 60 \sin(\omega t - 53^\circ)$$

$$V_L = X_L \cdot I \sin(\omega t + \theta_i + 90^\circ) \rightarrow V_L = 80 \sin(\omega t - 53^\circ + 90^\circ)$$

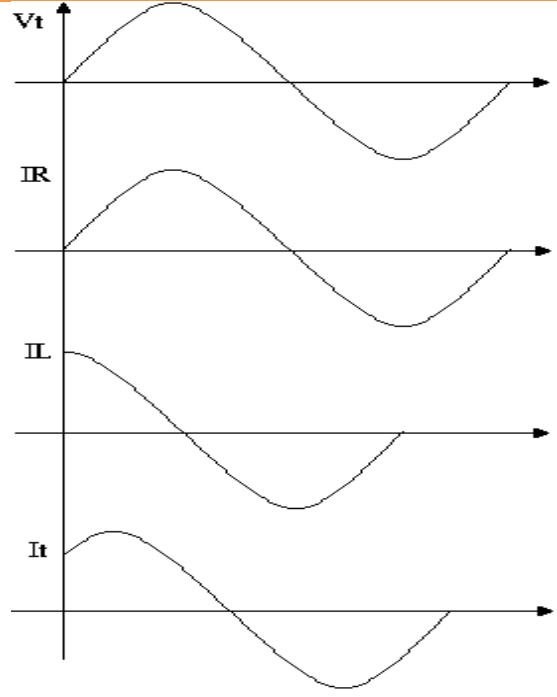
### مدار R-L موازی

اگر یک سلف و یک مقاومت را به صورت موازی به یک منبع ولتاژ متناوب وصل کنیم مدار R-L موازی را تشکیل داده ایم. در زیر مدار الکتریکی، دیاگرام برداری، شکل موج‌ها و پارامترهای مدار R-L موازی آورده شده است.

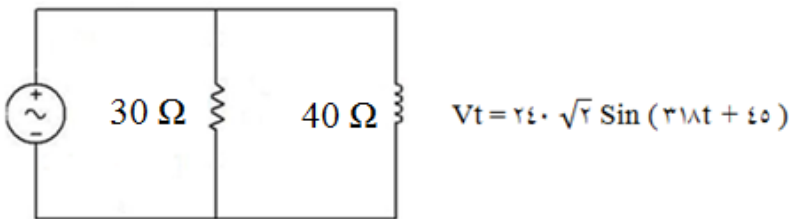


مدار الکتریکی R-L موازی

دیاگرام برداری مدار R-L موازی

	<table border="1"> <tr> <td>ولتاژ منبع</td> <td><math>V_t = V_m \sin(\omega t + \Theta_v)</math></td> </tr> <tr> <td>جریان منبع</td> <td><math>I_t = I_m \sin(\omega t + \Theta_i)</math></td> </tr> <tr> <td>جریان سلف</td> <td><math>I_L = \frac{V_t}{X_L}</math></td> </tr> <tr> <td>جریان مقاومت</td> <td><math>I_R = \frac{V_t}{R}</math></td> </tr> <tr> <td>جریان منبع</td> <td><math>I_t = \sqrt{iR^2 + iL^2}</math></td> </tr> <tr> <td>امپدانس مدار</td> <td><math>\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}</math></td> </tr> <tr> <td>ضریب توان اکتیو</td> <td><math>\cos \phi = \frac{Z}{R}</math></td> </tr> <tr> <td>ضریب توان راکتیو</td> <td><math>\sin \phi = \frac{Z}{X_L}</math></td> </tr> <tr> <td>اختلاف فاز</td> <td><math>\tan \phi = \frac{R}{X_L}</math></td> </tr> </table>	ولتاژ منبع	$V_t = V_m \sin(\omega t + \Theta_v)$	جریان منبع	$I_t = I_m \sin(\omega t + \Theta_i)$	جریان سلف	$I_L = \frac{V_t}{X_L}$	جریان مقاومت	$I_R = \frac{V_t}{R}$	جریان منبع	$I_t = \sqrt{iR^2 + iL^2}$	امپدانس مدار	$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}$	ضریب توان اکتیو	$\cos \phi = \frac{Z}{R}$	ضریب توان راکتیو	$\sin \phi = \frac{Z}{X_L}$	اختلاف فاز	$\tan \phi = \frac{R}{X_L}$
ولتاژ منبع	$V_t = V_m \sin(\omega t + \Theta_v)$																		
جریان منبع	$I_t = I_m \sin(\omega t + \Theta_i)$																		
جریان سلف	$I_L = \frac{V_t}{X_L}$																		
جریان مقاومت	$I_R = \frac{V_t}{R}$																		
جریان منبع	$I_t = \sqrt{iR^2 + iL^2}$																		
امپدانس مدار	$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}$																		
ضریب توان اکتیو	$\cos \phi = \frac{Z}{R}$																		
ضریب توان راکتیو	$\sin \phi = \frac{Z}{X_L}$																		
اختلاف فاز	$\tan \phi = \frac{R}{X_L}$																		
شکل موج‌های ولتاژ و جریان	پارامترهای مدار R-L موازی																		

مثال - در مدار R-L موازی زیر ۱- امپدانس مدار ۲- ضریب توان اکتیو و راکتیو مدار ۳- معادله‌ی زمانی جریان مقاومت و خازن ۴- معادله‌ی زمانی جریان مدار ۵- توان‌های سه گانه مدار را محاسبه کنید.



قسمت ۱

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2} \rightarrow Z = \frac{R \times X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{30 \times 40}{\sqrt{30^2 + 40^2}} = 24 \Omega$$

قسمت ۲

$$\cos \phi = \frac{Z}{R} = \frac{24}{30} = 0.8 \quad , \quad \sin \phi = \frac{Z}{X_L} = \frac{24}{40} = 0.6 \quad , \quad \phi = 37^\circ$$

قسمت ۳

$$I_R = \frac{24 \cdot \sqrt{2}}{30} = 1.131 \sqrt{2} \quad , \quad I_R = 1.131 \sqrt{2} \sin(314t + 45^\circ)$$

$$I_L = \frac{24 \cdot \sqrt{2}}{40} = 0.771 \sqrt{2} \quad , \quad I_L = 0.771 \sqrt{2} \sin(314t + 45^\circ - 90^\circ)$$

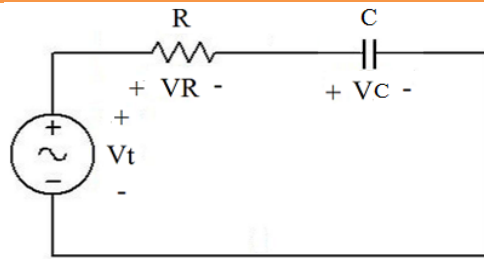
قسمت ۴

$$I_t = \sqrt{iR^2 + iL^2} = \sqrt{1.131^2 + 0.771^2} = 1.414 \text{ A} \quad , \quad I_t = I_m \sin(314t + \Theta_i)$$

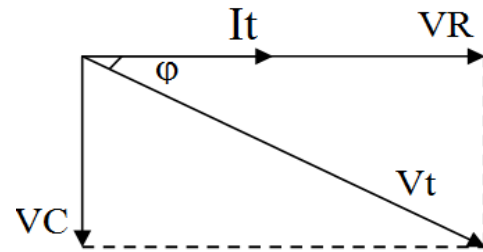
$$\phi = \Theta_v - \Theta_i \quad , \quad \Theta_i = 45^\circ - 37^\circ = 8^\circ \quad , \quad I_t = 1.414 \sqrt{2} \sin(314t + 8^\circ)$$

قسمت ۵

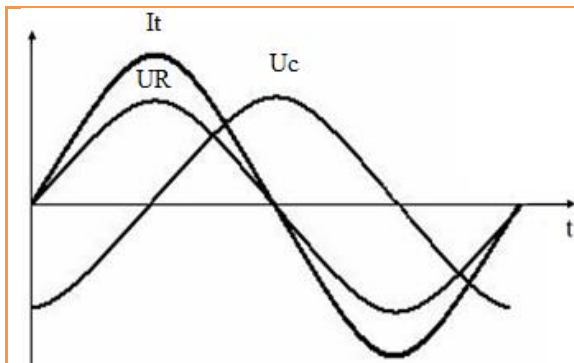
$$P_e = R \times I_R^2 = 30 \times 1.131^2 = 192.0 \text{ W} \quad , \quad P_d = X_L \times I_L^2 = 40 \times 0.771^2 = 119.0 \text{ VAR} \quad , \quad P_s = 24 \times 1.414 = 240.0 \text{ VA}$$



مدار الکتریکی R - C سری



دیاگرام برداری مدار R - C سری

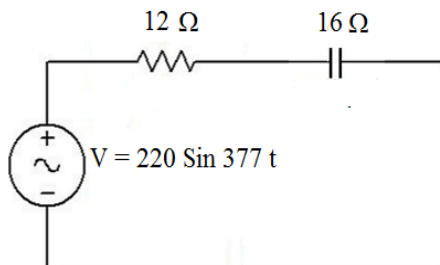


شکل موج های جریان و ولتاژهای مدار R - C سری

ولتاژ منبع	$V_t = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$
امپدانس	$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$
ضریب توان اکتیو	$\cos \phi = \frac{R}{Z}$
ضریب توان راکتیو	$\sin \phi = \frac{X_C}{Z}$
اختلاف فاز	$\tan \phi = \frac{X_C}{R}$

پارامترهای اجرایی مدار R - C سری

مثال - در یک مدار زیر امپدانس، جریان مدار، اختلاف فاز و توان های سه گانه را محاسبه کنید .



$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{12^2 + 16^2} = 20 \Omega$$

$$I = \frac{V_t}{Z} = \frac{220}{20} = 11 \text{ A}$$

$$\phi = \arctan \frac{X_C}{R} = \arctan \frac{16}{12} = 53^\circ$$

$$\cos \phi = \cos 53^\circ = \frac{R}{Z} = \frac{12}{20} = 0.6$$

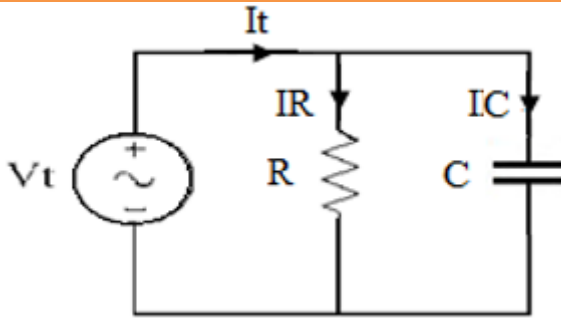
$$\sin \phi = \sin 53^\circ = \frac{X_C}{Z} = \frac{16}{20} = 0.8$$

$$P_s = U_e \cdot i_e = \frac{220}{\sqrt{2}} \times \frac{11}{\sqrt{2}} = 1210 \text{ VA}$$

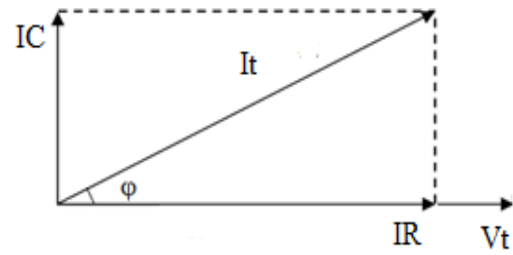
$$P_e = P_s \cdot \cos \phi = 1210 \times 0.6 = 726 \text{ W} \quad , \quad P_d = P_s \cdot \sin \phi = 1210 \times 0.8 = 974 \text{ VAR}$$



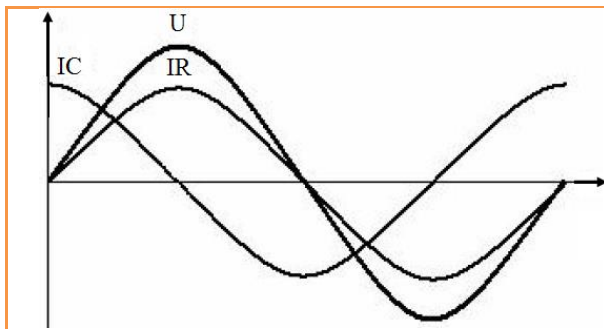
مدار R - C موازی



مدار الکتریکی R - C موازی



دیاگرام برداری مدار R - C موازی



شکل موج های جریان و ولتاژهای مدار R - C موازی

جریان منبع	$I_t = \sqrt{iR^2 + iC^2}$
امپدانس	$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{XC^2}$
ضریب توان اکتیو	$\cos \phi = \frac{Z}{R}$
ضریب توان راکتیو	$\sin \phi = \frac{Z}{XC}$
اختلاف فاز	$\tan \phi = \frac{R}{XC}$

پارامترهای اجرایی مدار R - C موازی

مثال - در یک مدار R-C موازی معادله‌ی ولتاژ و جریان به صورت زیر می باشد . ظرفیت خازن، مقاومت و ماکزیمم انرژی ذخیره شده در خازن را محاسبه کنید .

$$V(t) = 100 \sin 500t \quad , \quad I(t) = 10 \sin(500t + 45)$$

$$Z = \frac{V_m}{i_m} = \frac{100}{10} = 10 \Omega \quad , \quad \phi = \theta_v - \theta_i = -45$$

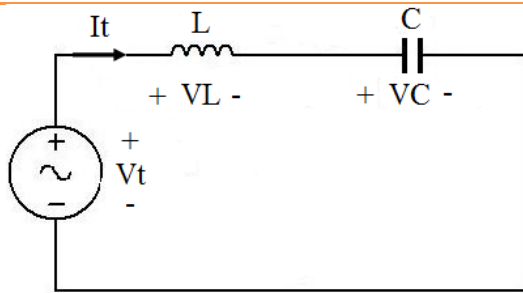
$$\cos \phi = \cos 45 = \frac{\sqrt{2}}{2} \quad , \quad \cos \phi = \frac{Z}{R} \quad \rightarrow \quad R = \frac{Z}{\cos \phi} = \frac{10}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = 10\sqrt{2}$$

$$\sin \phi = \sin 45 = \frac{\sqrt{2}}{2} \quad , \quad \sin \phi = \frac{Z}{XC} \quad \rightarrow \quad XC = \frac{Z}{\sin \phi} = \frac{10}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = 10\sqrt{2}$$

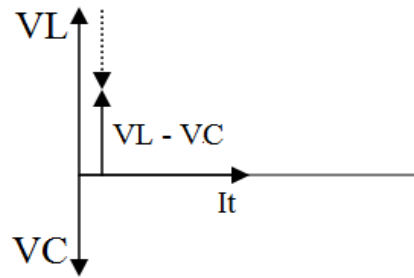
$$R = 10\sqrt{2} \quad , \quad XC = 10\sqrt{2}$$

$$XC = \frac{1}{C \cdot \omega} \quad \rightarrow \quad C = \frac{1}{10\sqrt{2} \times 500} = 141 \mu F$$

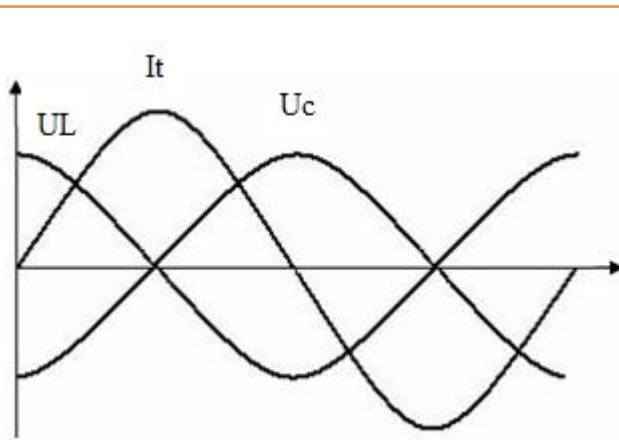
$$W = \frac{1}{2} C V_m^2 = \frac{1}{2} \times 141 \times 10^{-6} \times 100^2 = 70.5 \times 10^{-2} = 70.5 \text{ mj}$$



مدار الکتریکی L - C سری



دیاگرام برداری مدار L - C سری



شکل موج های جریان و ولتاژهای مدار R - L سری

ولتاژ منبع	$V_t = V_L - V_C$
امپدانس مدار	$Z = X_L - X_C$
زاویه قدرت	$\varphi = 90^\circ$
ضریب توان اکتیو	$\cos \varphi = 0$
ضریب توان راکتیو	$\sin \varphi = 1$
توان اکتیو	$P_e = 0$
توان راکتیو	$P_d = (X_L - X_C) \times I^2$
توان ظاهری	$PS = P_d$

پارامترهای اجرایی مدار R - L سری

**تشدید:** در مدارات شامل سلف و خازن اگر مقاومت سلفی و خازنی با هم برابر باشند ( $X_L = X_C$ ) حالت تشدید یا رزونانس بوجود می‌آید. اگر مقدار L و C ثابت باشد می‌توان با تغییر فرکانس حالت تشدید را ایجاد کرد. به فرکانسی که حالت تشدید را ایجاد می‌کند فرکانس رزونانس یا تشدید می‌گویند و از رابطه  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}}$  بدست می‌آید.

مثال - در یک مدار L - C سری اگر  $C = 50\mu F$  و  $L = 100mH$  باشد، در صورتی که معادله‌ی جریان مدار به صورت  $I = 10 \sin 400t$  باشد، امپدانس مدار، معادله‌ی ولتاژ دو سر هر المان، معادله‌ی ولتاژ منبع و فرکانس رزونانس را محاسبه کنید.

$$X_L = L \cdot \omega = 100 \times 10^{-3} \times 400 = 40 \Omega \quad , \quad X_C = \frac{1}{C \omega} = \frac{1}{50 \times 10^{-6} \times 400} = 50 \Omega$$

$$Z = X_C - X_L = 50 - 40 = 10 \Omega$$

$$V_L = 40 \times 10 = 400 \text{ v} \quad , \quad V_L(t) = 400 \sin(400t + 90^\circ)$$

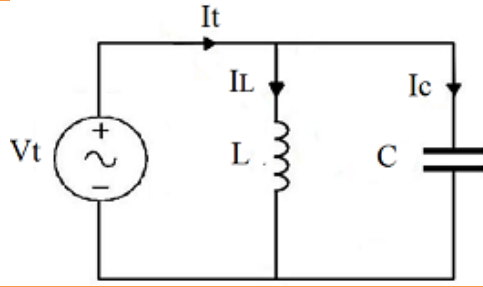
$$V_C = 50 \times 10 = 500 \text{ v} \quad , \quad V_C(t) = 500 \sin(400t - 90^\circ)$$

$$V_t = V_C - V_L = 500 - 400 = 100 \text{ v} \quad \text{or} \quad V_t = Z \times I = 10 \times 10 = 100 \text{ v}$$

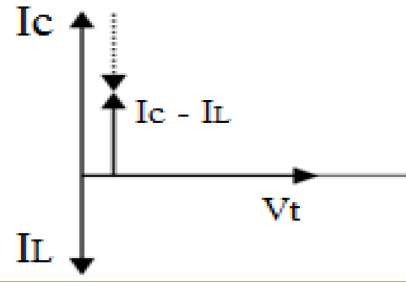
$$V_t = 100 \sin(400t - 90^\circ)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{100 \times 10^{-3} \times 50 \times 10^{-6}}} = 71/1 \text{ Hz}$$

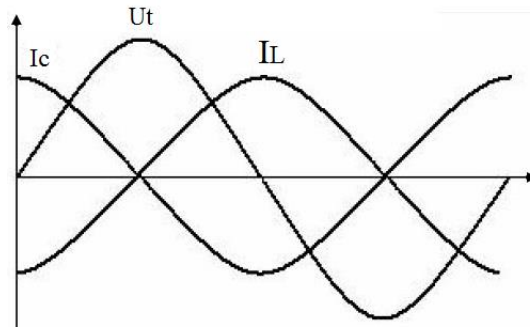
مدار L - C موازی



مدار الکتریکی L - C موازی



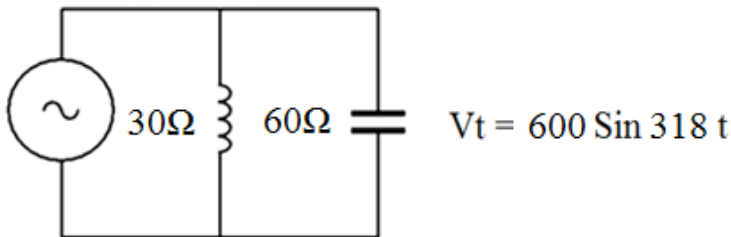
دیاگرام برداری مدار L - C سری



شکل موج های جریان و ولتاژ های مدار R - L موازی

در مدارات L - C موازی امپدانس از رابطه  $\frac{1}{Z} = \frac{1}{XL} - \frac{1}{XC}$  بدست می آید .

مثال - در مدار شکل زیر، امپدانس، معادله‌ی جریان المان ها، معادله‌ی جریان منبع و توان های مدار را محاسبه کنید .



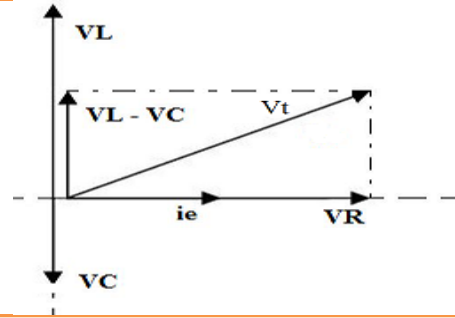
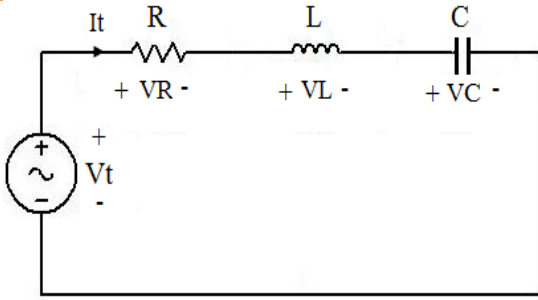
$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{XL} - \frac{1}{XC}, \quad Z = \frac{XL \cdot XC}{XC - XL} = \frac{30 \cdot 60}{60 - 30} = 60 \Omega$$

$$IL = \frac{600}{30} = 20 \text{ A}, \quad IC = \frac{600}{60} = 10 \text{ A}$$

$$IL = 20 \sin(318t - 90^\circ), \quad IC = 10 \sin(318t + 90^\circ)$$

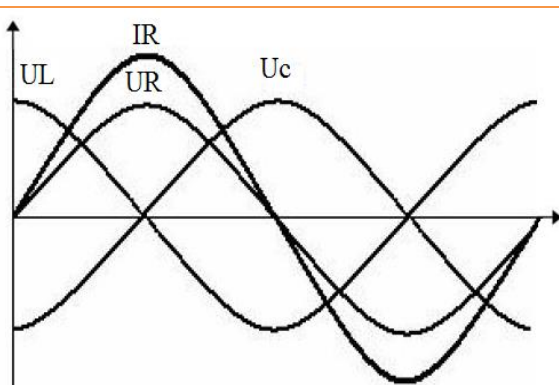
$$It = IL - IC = 20 - 10 = 10 \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$\phi = 90^\circ, \quad Pe = 0, \quad Pd = Ps = Ue \cdot Ie = \frac{20}{\sqrt{2}} \times \frac{10}{\sqrt{2}} = 100 \text{ VAR}$$



مدار الکتریکی R - L - C سری

دیاگرام برداری مدار R - L - C سری

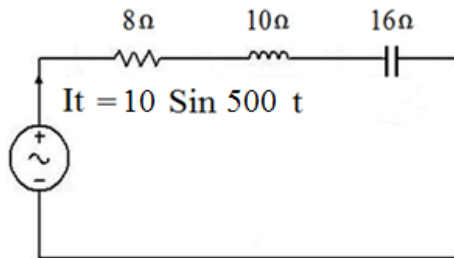


ولتاژ منبع	$V_t = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$
امپدانس	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$
ضریب توان اکتیو	$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$
ضریب توان راکتیو	$\sin \varphi = \frac{X_L - X_C}{Z}$
اختلاف فاز	$\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$

شکل موج های مدار R - L - C سری

پارامتر های اجرایی مدار R - L - C سری

مثال - در مدار شکل زیر امپدانس مدار، ولتاژ منبع و معادله‌ی زمانی آن را محاسبه کنید.



$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{8^2 + (10 - 16)^2} = 10 \Omega$$

$$V_R = R \cdot i \sin(\omega t + \theta_i) = 80 \sin 500t$$

$$V_L = X_L \cdot i \sin(\omega t + \theta_i + 90^\circ) = 100 \sin(500t + 90^\circ)$$

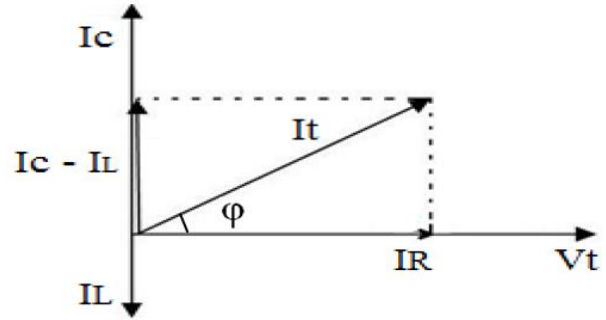
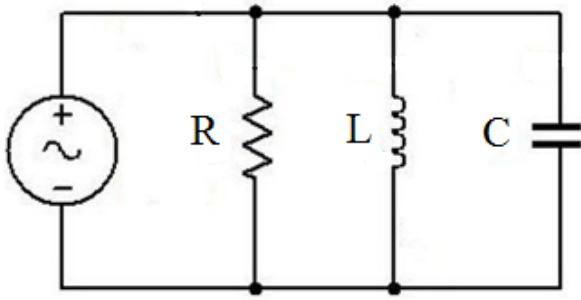
$$V_C = X_C \cdot i \sin(\omega t + \theta_i - 90^\circ) = 160 \sin(500t - 90^\circ)$$

$$V_t = \sqrt{V_R^2 + (V_C - V_L)^2} = \sqrt{80^2 + (160 - 100)^2} = 100 \text{ v}$$

$$\varphi = \arctan \frac{X_C - X_L}{R} = \arctan \frac{16 - 10}{8} = 37^\circ$$

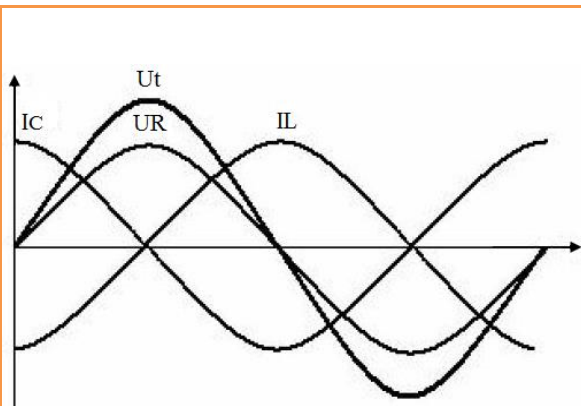
$$V_t = 100 \sin(500t + \theta_v) \quad , \quad V_t = 100 \sin(500t - 37^\circ)$$

مدار R-L-C موازی



مدار الکتریکی R-L-C موازی

دیاگرام برداری ولتاژ و جریان های مدار R-L-C موازی

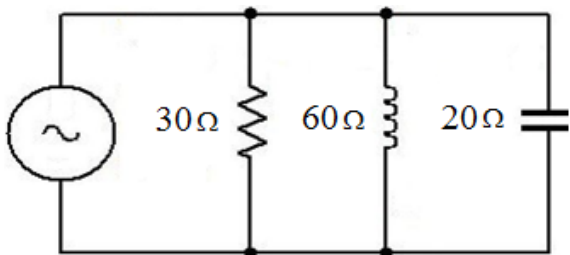


جریان منبع	$I_t = \sqrt{iR^2 + (iL - iC)^2}$
امپدانس	$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{XL} - \frac{1}{XC}\right)^2$
ضریب قدرت	$\cos \phi = \frac{Z}{R}$
ضریب توان راکتیو	$\sin \phi = Z \cdot \left(\frac{1}{XL} - \frac{1}{XC}\right)$
اختلاف فاز	$\tan \phi = R \cdot \left(\frac{1}{XL} - \frac{1}{XC}\right)$

شکل موج های مدار R-L-C موازی

پارامترهای اجرایی مدار R-L-C موازی

مثال - در مدار شکل زیر امپدانس مدار و اختلاف فاز را حساب کنید.



$$V_t = 120 \sin 400 t$$

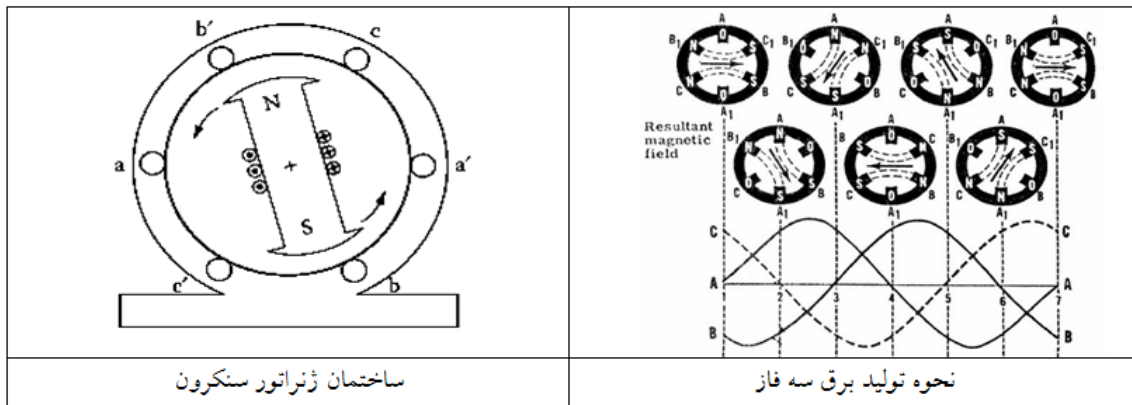
$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{XL} - \frac{1}{XC}\right)^2$$

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{XL} - \frac{1}{XC}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{30^2} + \left(\frac{1}{20} - \frac{1}{60}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{30^2} + \frac{1}{30^2}}} = \frac{30}{\sqrt{2}} = 15\sqrt{2}$$

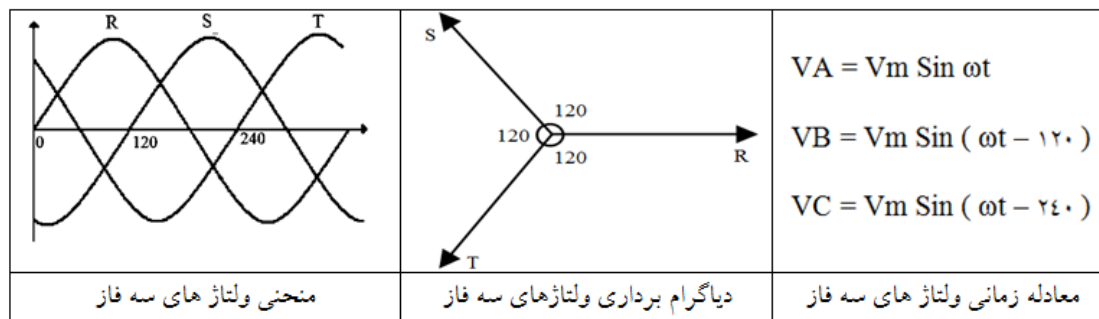
$$\phi = \tan^{-1}\left[R \times \left(\frac{1}{XL} - \frac{1}{XC}\right)\right] = \tan^{-1}\left[30 \times \left(\frac{1}{20} - \frac{1}{60}\right)\right] = 1 \rightarrow \phi = -\theta_i = 45^\circ$$

مدارات سه فاز

در فصل جریان متناوب با طرز کار ژنراتور AC تکفاز آشنا شدید. در عمل برق تولیدی نیروگاه‌ها از نوع سه فاز بوده و توسط ژنراتور یا آلترناتور سه فاز تولید می‌شود که از یک قسمت ثابت به نام استاتور که بر روی آن سه سیم پیچ مشابه با اختلاف مکانی ۱۲۰ درجه قرار دارد و یک قسمت گردنده به نام رتور که یک مغناطیس الکتریکی است، تشکیل می‌شود. رتور توسط یک محرک خارجی (توربین) می‌چرخد و میدان مغناطیسی دواری ایجاد می‌کند، این میدان دوار سیم پیچ‌های سه فاز را قطع می‌کند و موجب القای ولتاژ سه فاز در آن‌ها می‌شود. این ولتاژها از لحاظ دامنه برابر هستند ولی از لحاظ زمانی ۱۲۰ درجه اختلاف فاز دارند، زیرا سیم پیچ‌های استاتور با اختلاف فاز ۱۲۰ درجه در سطح استاتور پخش شده اند. در شکل زیر نحوه تولید برق سه فاز توسط یک ژنراتور ساده ترسیم شده است.

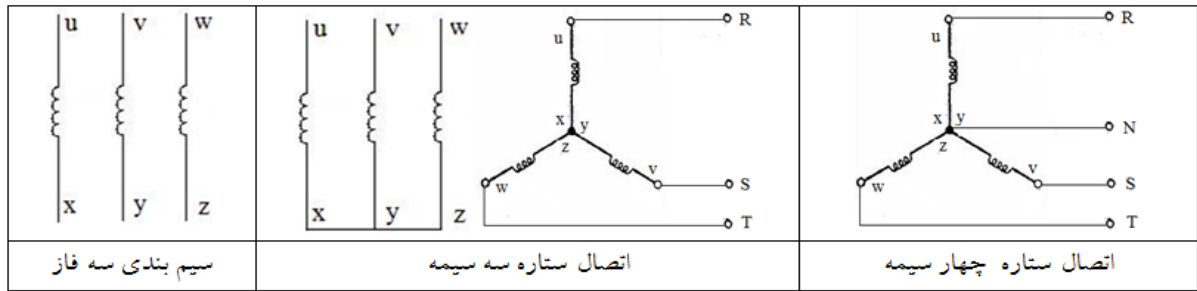


فاز های برق سه فاز را به حروف (R - S - T) یا (A - B - C) یا (L<sub>۱</sub> - L<sub>۲</sub> - L<sub>۳</sub>) نمایش داده می‌شود .

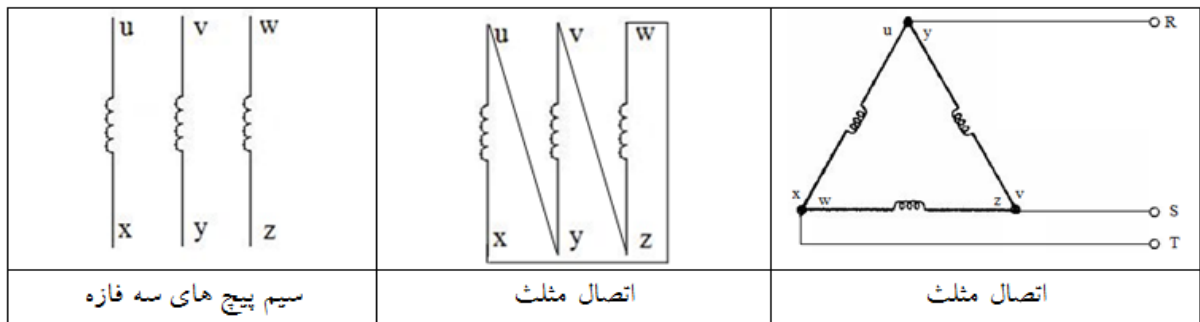


نحوه اتصال سیم پیچ های ژنراتور

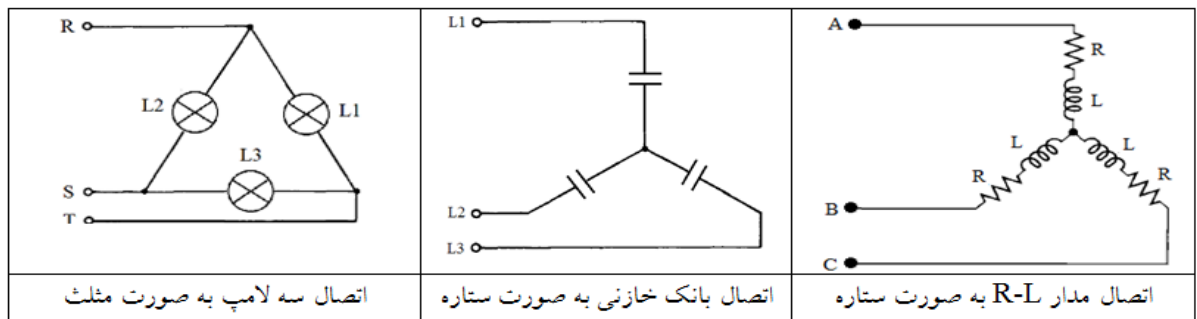
همانطور که گفته شد ژنراتور سه فاز دارای سه سیم پیچ کاملاً مشابه می باشند که با اختلاف مکانی ۱۲۰ درجه در سطح استاتور قرار می‌گیرند . به دو روش زیر می توان انرژی تولیدی مولد را به بیرون انتقال داد . در روش اول سه سیم انتهایی به هم وصل می‌شوند و سه سیم ابتدایی به بیرون منتقل می‌شود، که به اتصال ستاره یا لاندرا (λ) معروف است . اگر مرکز ستاره را زمین کنیم و به بیرون منتقل کنیم سیم نول ایجاد می‌شود که با N نشان داده می‌شود .



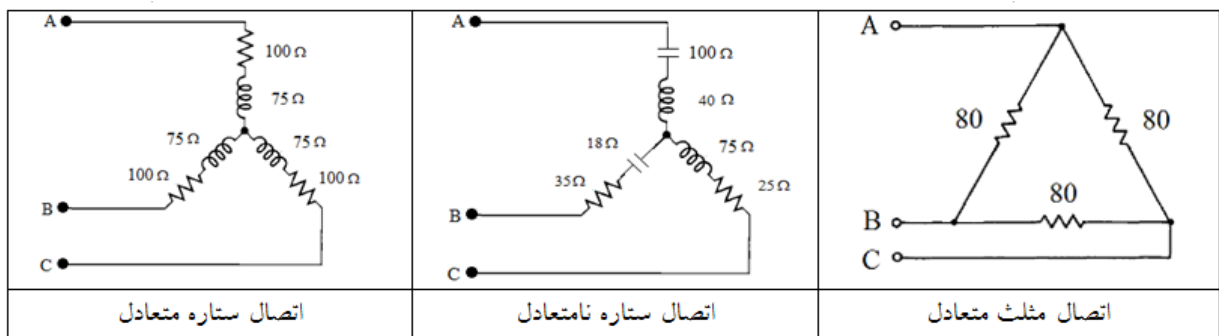
در اتصال نوع دوم که اتصال مثلث یا دلتا ( $\Delta$ ) نامیده می شود، ابتدای هر کلاف به انتهای کلاف بعدی متصل می شود و خروجی سه فاز از سه سر ابتدایی گرفته می شود. در این اتصال سیمی به عنوان سیم خنثی یا نول وجود ندارد.



می توان سایر مصرف کننده های سه فازه چون سیم پیچ های ترانسفورماتور سه فاز، سیم پیچ های موتورهای سه فاز و ... را به صورت ستاره یا مثلث به هم اتصال داد، در زیر اتصال چند مصرف کننده سه فاز به صورت ستاره و مثلث ترسیم شده است.

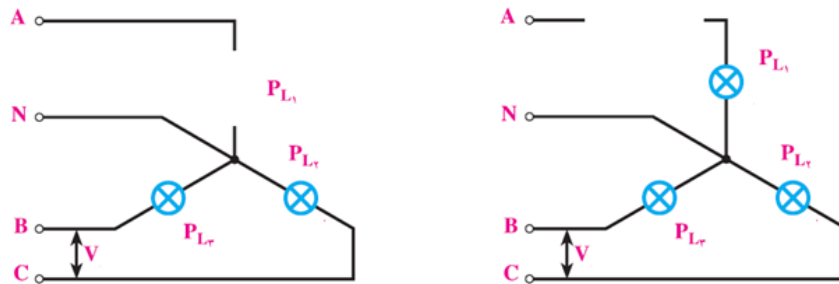


مفهوم بارهای متعادل و نامتعادل در سیستم های سه فازه: اگر تمامی مشخصات سه المانی که به هم اتصال می یابند از قبیل امپدانس، زاویه و پس فاز و پیش فاز بودن فاز با هم برابر باشند، بار را متعادل می گویند و اگر حداقل یکی از مشخصات آنها باهم برابر نباشد بار را نامتعادل می گویند. در زیر چند نمونه از بارهای متعادل و نامتعادل ترسیم شده است.

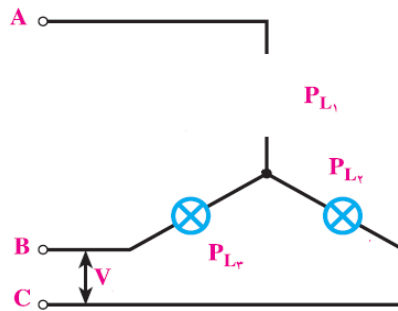


**جریان سیم نول در اتصال ستاره متعادل :** در مصرف کننده‌ها با اتصال ستاره متعادل جریان سیم نول صفر است . به عبارت دیگر هرگاه سه مصرف کننده‌ی تک فاز مانند سه لامپ را به صورت ستاره به هم ببندیم و به برق سه فاز وصل کنیم هر سه لامپ روشن خواهند شد ولی جریانی از سیم نول عبور نخواهد کرد، زیرا جریان‌های سه فاز که از هر سه لامپ عبور می کنند از نظر دامنه برابر و از نظر زمانی ۱۲۰ درجه اختلاف فاز دارند. جریان سیم نول از جمع برداری جریان های سه فازه به صورت  $I_n = I_R + I_S + I_T$  بدست می آید . به راحتی می توان اثبات کرد برآیند سه بردار که دامنه برابر و اختلاف فاز ۱۲۰ درجه دارند برابر صفر می باشد . پس برآیند جریان های سه فازه که همان جریان سیم نول است برابر صفر می باشد .

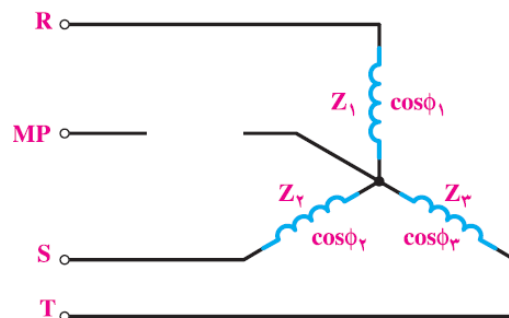
**اثر قطع یک فاز در اتصال ستاره متعادل با سیم نول :** در اتصال ستاره متعادل اگر یکی از فازها قطع شود یا یکی از مصرف کننده‌ها بسوزد، آن مصرف کننده از مدار خارج می شود و توان مدار  $\frac{2}{3}$  می شود، اگر مصرف کننده‌ها سه لامپ باشد آن لامپ خاموش می شود و دو لامپ دیگر با توان نامی کار می کنند .



**اثر قطع یک فاز در اتصال ستاره متعادل بدون سیم نول :** در اتصال ستاره متعادل بدون سیم نول اگر یک فاز قطع شود یا یکی از مصرف کننده‌ها از مدار خارج شود، توان کل مدار نصف می شود . اگر مصرف کننده‌ها لامپ باشند یکی از لامپ‌ها از مدار خارج و دو لامپ دیگر با توان و نور کمتر کار می کنند و اگر مصرف کننده یک موتور سه فاز باشد، موتور دو فاز می شود و در صورتی که باردار باشد زیر بار خواهد سوخت .

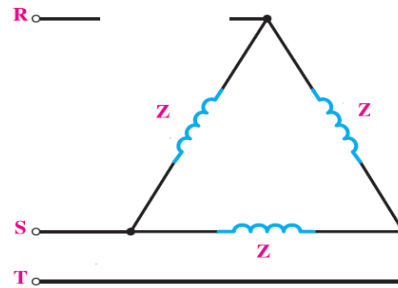


**اثر قطع سیم نول در اتصال ستاره نامتعادل :** در یک سیستم سه فازه با اتصال ستاره نامتعادل اگر سیم نول قطع شود به بعضی از فازها ولتاژ کمتر و به بعضی از فازها ولتاژ بیشتری می رسد که بسیار خطرناک است. در این حالت پتانسیل مرکز ستاره دیگر صفر نیست و نسبت به زمین دارای پتانسیل می شود . به این پدیده تغییر مکان نقطه صفر می گویند .

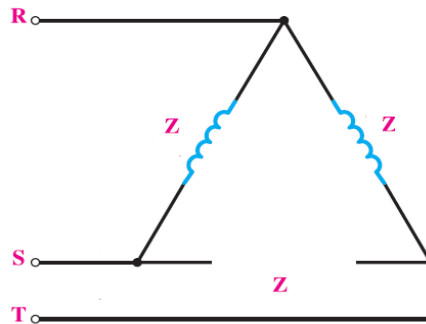




**اثر قطع فاز در اتصال مثلث:** اگر یکی از فازها در اتصال مثلث قطع شود، مصرف کننده ای که بین دو فاز دیگر قرار دارد با توان نامی خود کار می کند ولی دو مصرف کننده دیگر با هم سری می شوند و در نتیجه توان کل سیستم سه فاز نصف خواهد شد. اگر مصرف کننده یک موتور سه فاز باشد احتمال سوختن موتور زیر بار بسیار زیاد است.



**اثر خارج شدن مصرف کننده در اتصال مثلث:** در اتصال مثلث اگر یکی از مصرف کننده ها از مدار خارج شود، در کار دو مصرف کننده دیگری تاثیری ندارد ولی توان کل سیستم به  $\frac{2}{3}$  کاهش می یابد.



**اثر تعویض دو فاز از سه فاز شبکه:** اگر جای دو فاز از سه فاز شبکه را عوض کنیم در صورتی که مصرف کننده ها متعادل باشند هیچ تغییری در کمیت های آن نمی گذارد ولی اگر بارها نامتعادل باشند جریان فازها تغییر خواهند کرد. اگر مصرف کننده یک موتور سه فاز باشد با عوض کردن جای دو فاز جهت حرکت موتور عوض می شود.

### اصطلاحات سیستم سه فاز

**ولتاژ خطی:** به اختلاف پتانسیل یا ولتاژی که بین دو خط شبکه وجود دارد ولتاژ خطی می گویند. ولتاژ خطی را با  $V_L$  نشان می دهند و در سیستم برق ایران مقدار مؤثر آن  $380$  ولت می باشد.

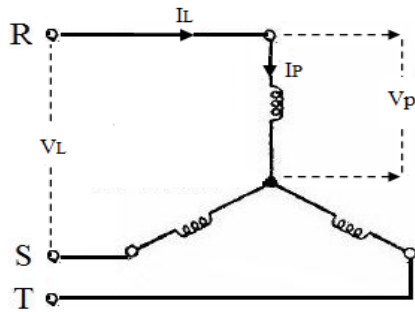
**ولتاژ فاز:** به اختلاف پتانسیل یا ولتاژ بین هر یک از فازها نسبت به زمین (سیم نول) ولتاژ فازی می گویند، به عبارت دیگر میزان ولتاژی که در دو سر مصرف کننده ها در سیستم سه فاز افت می کند ولتاژ فازی نام دارد. ولتاژ فازی را با  $V_p$  یا  $V_\phi$  نشان می دهند و مقدار مؤثر آن در سیستم برق ایران  $220$  ولت است.

**جریان خط:** جریانی که در هر یک از خطوط  $L_1 - L_2 - L_3$  جاری می شود، جریان خطی  $I_L$  می گویند

**جریان فاز:** جریانی که از هر یک از مصرف کننده ها در سیستم سه فاز عبور می کند جریان فازی  $I_p$  می گویند.

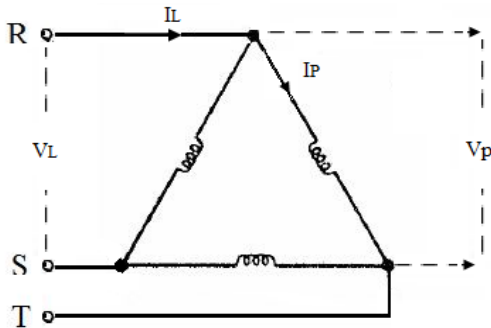


روابط ولتاژها و جریان ها در اتصال ستاره متعادل : در اتصال ستاره با بار متعادل جریان فازی برابر جریان خطی می باشد و ولتاژ  $\sqrt{3}$  برابر ولتاژ فاز می باشد .



$$V_L = \sqrt{3} V_p \quad , \quad V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \quad , \quad I_L = I_P$$

روابط ولتاژها و جریان ها در اتصال مثلث : در اتصال مثلث متعادل ولتاژ خط و فاز با هم برابر هستند و جریان خط  $\sqrt{3}$  جریان فاز می باشد .

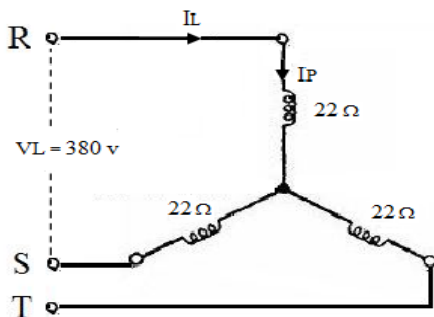


$$V_L = V_p \quad , \quad L = \sqrt{3} I_p \quad , \quad I_p = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

توان در سیستم های سه فازه : در بارهای متعادل می توان اثبات کرد که توانها از روابط زیر بدست می آیند . در بارهای نامتعادل توان را نمی توان از روابط زیر بدست آورد، برای محاسبه توان باید توان مربوط به هر فاز را جداگانه حساب کرد و سپس با هم جمع کرد .

$$P = \sqrt{3} V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \quad , \quad Q = \sqrt{3} V_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi \quad , \quad S = \sqrt{3} V_L \cdot I_L$$

مثال - در سیستم سه فازه شکل زیر ولتاژ فازی، جریان خط و فاز و توان ها را حساب کنید .

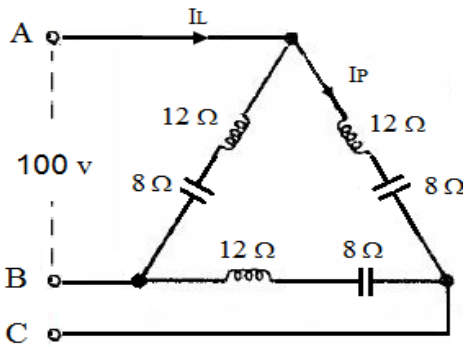


$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \quad , \quad V_p = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ v} \quad , \quad I_p = \frac{V_p}{Z} = \frac{220}{22} = 10 \text{ A} \quad , \quad I_L = I_P = 10 \text{ A}$$

$$P = \sqrt{3} V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \times 380 \times 10 \times \cos 90^\circ = 6581 \text{ w}$$

$$Q = \sqrt{3} V_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} V_L \cdot I_L \cdot \sin 90^\circ = 0 \quad , \quad S = \sqrt{3} V_L \cdot I_L = \sqrt{3} \times 380 \times 10 = 6581 \text{ w}$$

مثال - در مدار شکل زیر ولتاژ فازی، جریان خط و فاز و توان اکتیو را محاسبه کنید.



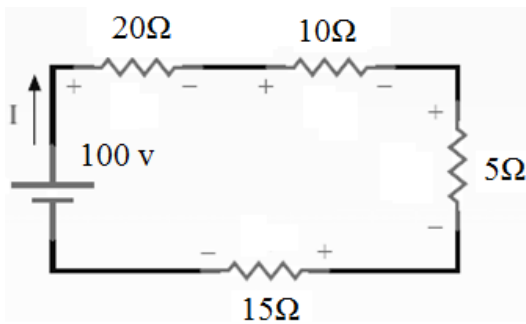
$$V_P = V_L = 207 \text{ v}$$

$$I_P = \frac{V_p}{Z} = \frac{100}{12-8} = \frac{100}{4} = 25 \text{ A} \quad , \quad I_L = \sqrt{3} I_P = \sqrt{3} \times 25 = 43.3 \text{ A}$$

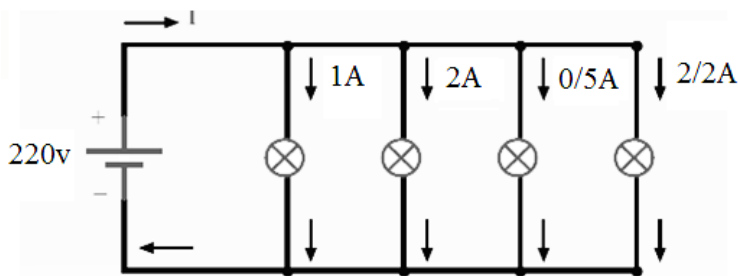
$$P = \sqrt{3} V_L \cdot I_L \cdot \cos \phi \quad , \quad P = \sqrt{3} \times 100 \times 43.3 \times \cos 90 = 7.5 \text{ kw}$$

### تمرینات

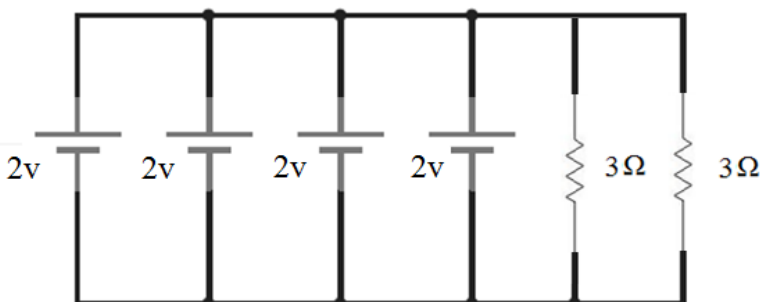
۱ - در مدار شکل زیر جریان و ولتاژ هر مقاومت را حساب کنید.



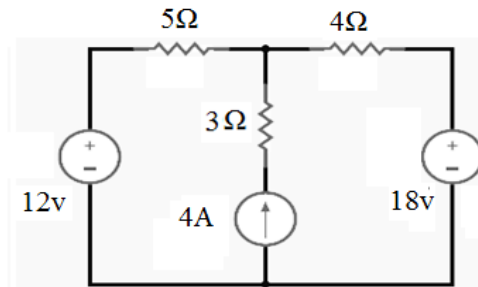
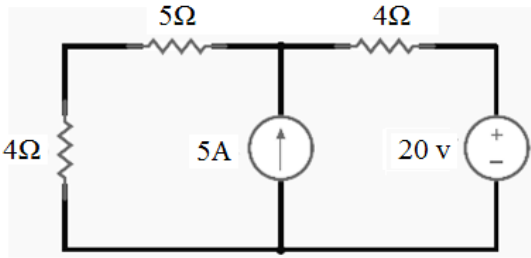
۲ - توان لامپ های موازی زیر را محاسبه کنید.



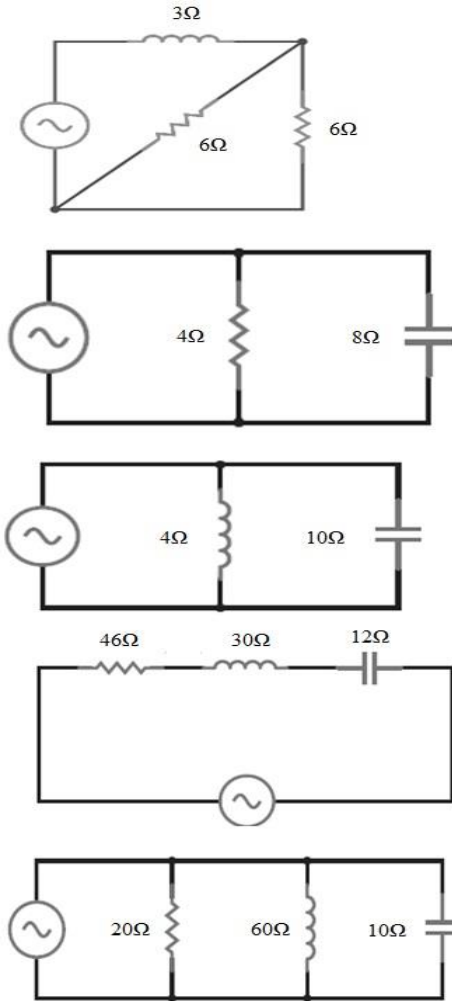
۳ - جریان هریک از عناصر زیر را بدست آورید.



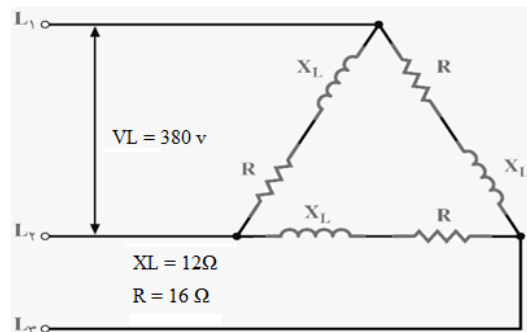
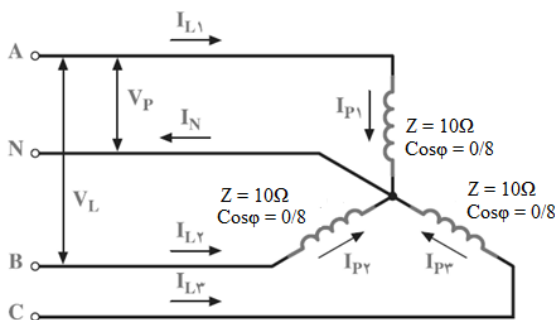
۴- به روش های جمع آثار، جریان حلقه و پتانسیل گره جریان و توان مقاومت ها را در مدارات زیر حساب کنید.



۵- امپدانس، ضریب قدرت و اختلاف فاز مدارات زیر را حساب کنید.

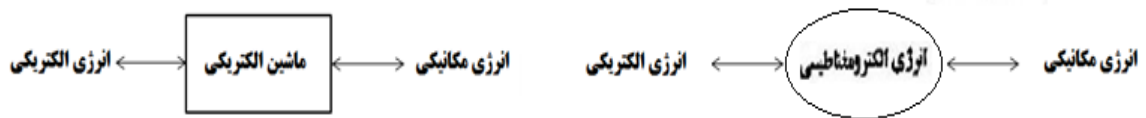


۶- جریان خط و فاز، ولتاژ خط و فاز و توان های سه گانه را در سیستم های سه فازیه زیر را محاسبه کنید.



## فصل نهم : ترانسفورماتور

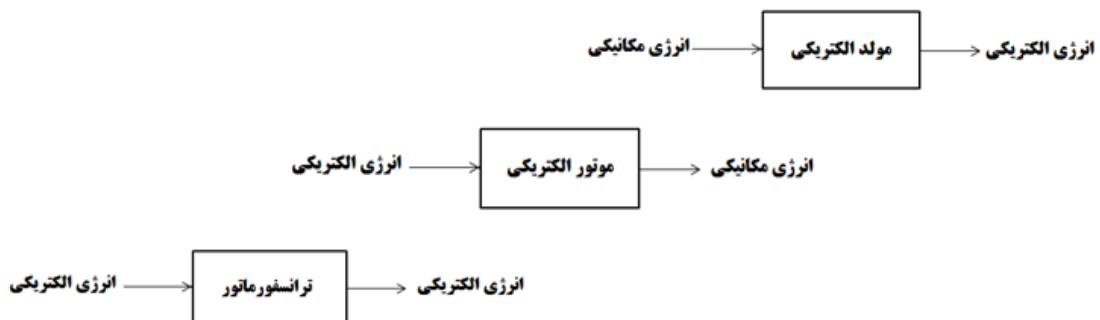
**مقدمه :** به وسایل تبدیل انرژی الکترومکانیکی ماشین الکتریکی می‌گویند . به عبارت دیگر هر وسیله ای که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی یا انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل کند ماشین الکتریکی نام دارد . طبق اصل بقای انرژی، انرژی نه تولید و نه از بین می رود بلکه از نوعی به نوع دیگر تبدیل می‌شود، در ماشین‌های الکتریکی انرژی به صورت الکتریکی به مکانیکی یا برعکس تبدیل می‌شود . این تبدیل انرژی که یک نوع آن حتماً الکتریکی است توسط انرژی واسطی به نام انرژی الکترومغناطیس انجام می‌گیرد .



ماشین‌های الکتریکی را از جنبه‌های مختلفی تقسیم بندی می‌کنند .

### ۱ - از نظر نوع تبدیل انرژی

- الف - به ماشین‌هایی که انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند ، مولد یا ژنراتور می‌گویند .
- ب - به ماشین‌های الکتریکی ای که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند ، موتور می‌گویند .
- ج - ترانسفورماتور وسیله‌ای است که انرژی الکتریکی را به انرژی الکتریکی با ولتاژ و جریان دلخواه تبدیل می‌کند . به دلیل اینکه ورودی و خروجی ترانسفورماتور از نوع الکتریکی است، بنا به تعریف فوق جزء ماشین‌های الکتریکی محسوب نمی‌شود، ولی به دلیل این‌که عملکرد آن بسیار شبیه عملکرد ماشین‌های الکتریکی است، در تقسیم بندی ماشین‌های الکتریکی آورده می‌شود .



### ۲ - از نظر نوع ولتاژ

- الف - ماشین‌های الکتریکی **dc** : به ماشین‌های الکتریکی ای که با ولتاژ مستقیم کار می‌کنند ماشین‌های الکتریکی **dc** می‌گویند . که در انواع تحریک مستقل و خود تحریک تقسیم بندی می‌شوند و کاربردهای فراوانی دارد .

ب - ماشین های ac : به ماشین های الکتریکی ای که با ولتاژ متناوب کار می کنند ماشین های الکتریکی ac می گویند، ماشین های الکتریکی ac خود به دو دسته ماشین های تکفاز و ماشین های سه فاز تقسیم بندی می شوند .  
نکته : موتور انیورسال یکی از موتورهایی هست که هم با برق ac و هم با برق dc کار می کند .



### مواد مورد استفاده در ماشین های الکتریکی

**یک - مواد هادی :** مواد هادی در ماشین های الکتریکی مدارات و اتصالات الکتریکی را تشکیل می دهند . مواد هادی باید بالاترین هدایت الکتریکی ، کمترین ضریب مقاومت حرارتی ، استحکام مکانیکی کافی ، قابلیت لحیم کاری و ... را داشته باشد . پرکاربردترین مواد هادی مس ، آلومینیوم و آلیاژهای آن ها می باشد .

**دو - مواد عایق :** از مواد عایق به منظور جداسازی الکتریکی قسمت های مختلف ماشین استفاده می شود برای مثال برای عایق شیارها ، عایق سیم ها و ... از مواد مخصوص استفاده می شود . مواد عایق در ۷ کلاس ( Y , A , E , B , F , H , C ) تقسیم بندی می شوند و هرکدام یک محدوده ی دمایی را مشخص می کنند .

**سه - مواد مغناطیسی نرم :** مواد مغناطیسی مورد استفاده در ماشین های الکتریکی باید بالاترین حد نفوذپذیری ، بالاترین چگالی شار اشباع و نیز کمترین تلفات هسته را دارا باشد . یکی از مهمترین ملاک های انتخاب مواد مغناطیسی برای ماشین های الکتریکی تلفات آهنی است . تلفات آهنی شامل تلفات فوکو و تلفات هیستریزس است . تلفات هیستریزس ناشی از نوعی اصطکاک درون مولکولی است که در هر سیکل با سطح احاطه شده توسط حلقه ی هیستریزس در یک ماده متناسب است، برای کاهش تلفات هیستریزس به ماده مغناطیس سیلیسیم اضافه می شود . تلفات فوکو توان تولید شده ناشی از جریان های الکتریکی گردشی در هسته های مغناطیسی که در معرض میدان مغناطیسی متناوب القاء می شوند، می باشد و برای کاهش آن به جای استفاده از هسته ی یکپارچه از هسته های ورقه ورقه استفاده می شود .

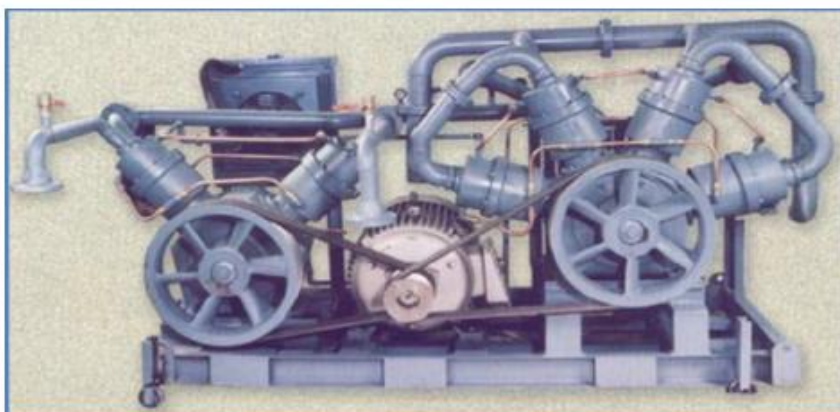
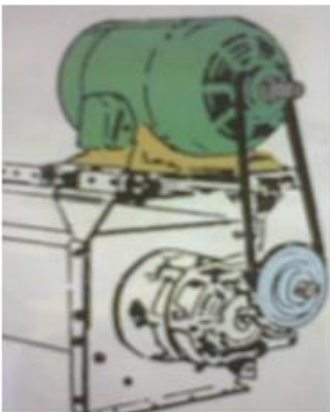
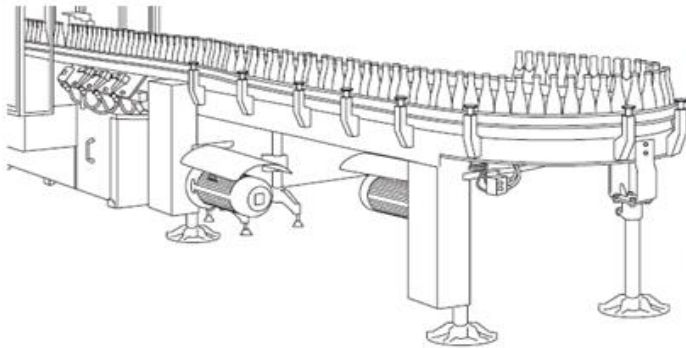
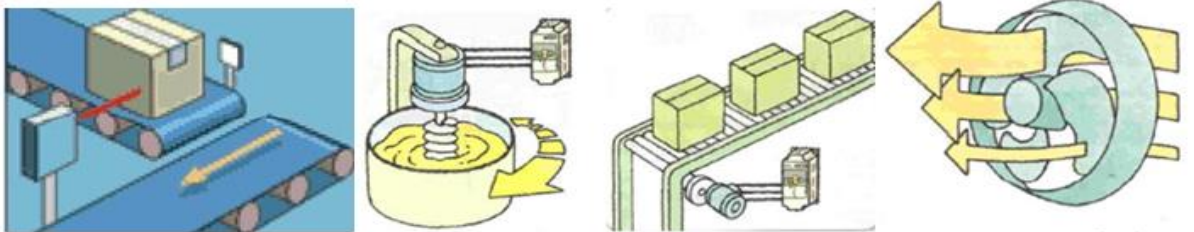
**چهار - مواد آهنربای دائمی :** در ماشین های الکتریکی میدان مغناطیسی اغلب به صورت مصنوعی ( الکتریکی ) ایجاد می شود، ولی به خاطر برخی مزایای از آهنربای دائم برای ایجاد میدان مغناطیسی در برخی از ماشین های الکتریکی استفاده می شود . آهنربای دائم در واقع مواد مغناطیسی سخت با حلقه ی هیستریزس بزرگ می باشند .

عمر مفید ماشین های الکتریکی : در صورت طراحی، انتخاب ، به کارگیری ، سرویس ، تعمیر و نگهداری مناسب یک ماشین الکتریکی می تواند بین ۲ تا ۴ هزار ساعت معادل ۷ تا ۱۴ سال با ۸ ساعت کار روزانه عمر کند .



کاربردهای ماشین های الکتریکی

ماشین های الکتریکی به صورت گسترده ای برای کاربردهای مختلفی استفاده می شود، تولید انرژی الکتریکی توسط ژنراتورهای الکتریکی صورت می گیرد، تبدیل ولتاژ و جریان نیز توسط ترانسفورماتورها انجام می شود، از موتورهای الکتریکی نیز برای ایجاد حرکت مکانیکی به صورت های مختلف ( دورانی، خطی، پله ای و ... ) استفاده می شود . بالابرها، دمنده ها، وسایل حمل و نقل، تهویه ها، دریل ها، کولرها، میکسرها و ... کاربردهایی از موتورهای الکتریکی در مراکز صنعتی و خانگی می باشد .



## ترانسفورماتور

ترانسفورماتور وسیله ای است که انرژی الکتریکی را از یک سطح به سطح دیگری منتقل می کند بدون اینکه در کمیت های نامی مانند فرکانس تغییری ایجاد کند. ترانسفورماتور جزء ماشین های الکتریکی محسوب نمی شود چون انرژی ورودی و خروجی آن از نوع الکتریکی است اما به دلیل شباهت زیاد آن به ماشین های الکتریکی در درس ماشین بررسی می شود. نکته جالب در مورد ترانس این است که برخلاف سایر ماشین های الکتریکی قسمت گردنده ندارد و یک ماشین ساکن محسوب می شود. ترانسفورماتور بر اساس خاصیت القا (قانون دوم فاراده) کار می کند و از قسمت های زیر تشکیل شده است.



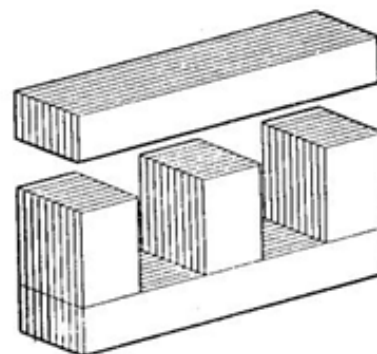
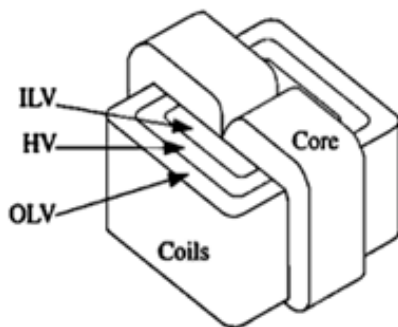
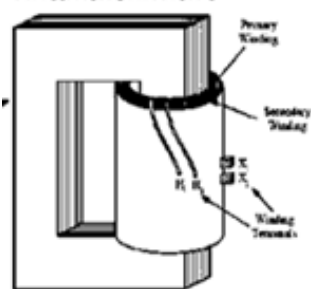
### ۱ - سیم پیچ ها

در ترانس تکفاز دو سیم پیچ وجود دارد که سیم پیچ اولیه و ثانویه نامیده می شود. سیم پیچی که به ولتاژ بیشتری دارد، سیم پیچ فشار قوی و سیم پیچی که ولتاژ کمتری دارد، سیم پیچ فشار ضعیف نامیده می شود که بر روی هسته پیچیده می شوند. سیم پیچ ترانس های کوچک را بر روی قرقره می پیچند، جنس قرقره ترموپلاست یا پلاستیک خشک است. در ترانسفورماتورهای قدرت سه نوع سیم پیچ لایه ای، حلزونی و دیسکی استفاده می شود.

### ۲ - هسته

هسته ترانسفورماتور از ورقه های مغناطیسی (دیناموبلش) یا فریت تشکیل می شود که برای هدایت فوران و نگه داشتن سیم پیچ ها مورد استفاده قرار می گیرد، هسته ترانس باید دارای هدایت مغناطیسی خوب و هدایت الکتریکی بد باشد. به منظور کاهش تلفات هیستریزس به هسته مقداری سیلیسیم اضافه می کنند و به منظور کاهش تلفات فوکو هسته را ورقه ورقه می کنند.

## Transformers





دلیل استفاده از ترانسفورماتور : انرژی الکتریکی در نیروگاه‌ها توسط آلترناتورهای سه فاز تولید می‌شود، ولتاژ تولیدی معمولاً بین ۱۰ تا ۳۰ کیلو ولت است . به دلیل دور بودن نیروگاه‌ها از مراکز مصرف احتیاج است که انرژی الکتریکی توسط کابل های هوایی انتقال داده شود . اگر بخواهیم انرژی الکتریکی را با این ولتاژ کم انتقال دهیم جریان زیادی ایجاد می‌شود ( در یک توان ثابت هر قدر ولتاژ زیاد تر باشد جریان کمتر می‌شود  $I = \frac{P}{U}$  ) که مشکلات زیر را ایجاد می‌کند .

- ۱ - سطح مقطع سیم‌ها باید زیاد انتخاب شود که هزینه‌ها را بسیار بالا می‌برد .
  - ۲ - جریان زیاد باعث افزایش افت ولتاژ  $R \times I$  و افزایش تلفات توان  $RI^2$  می‌شود .
  - ۳ - احتیاج به تجهیزاتی است که باید تحمل جریان زیاد را داشته باشند .
- بنابراین در ابتدای خط یک ترانس قرار می‌گیرد تا ولتاژ را زیاد کند، این افزایش ولتاژ، جریان را کاهش می‌دهد که موجب کاهش تلفات نیز می‌شود، در انتهای خط انتقال نیز ولتاژ در یک یا چند مرحله کاهش می‌یابد و به دست مصرف کننده‌ها می‌رسد .

### انواع شبکه های انرژی الکتریکی

شبکه انتقال : انتقال انرژی الکتریکی با ولتاژ ۲۳۰ / ۴۰۰ kv را شبکه انتقال می‌گویند .  
 شبکه فوق توزیع : انتقال انرژی الکتریکی با ولتاژ ۶۳ / ۱۳۲ kv را شبکه فوق توزیع می‌گویند .  
 شبکه توزیع : شبکه توزیع نیز در دو سطح فشار متوسط با ولتاژهای ۳۳ / ۲۰ / ۱۱ kv و شبکه فشار ضعیف با ولتاژ خطی ۴۰۰ v و ولتاژ فازی ۲۳۱ v وجود دارد .  
 خطوط انتقال ، فوق توزیع و فشار متوسط سه سیمه RST است . و شبکه های فشار ضعیف دارای ۵ سیم است که به ترتیب از بالا به پایین، سیم نول، روشنایی معابر و سه فاز شبکه می‌باشند .

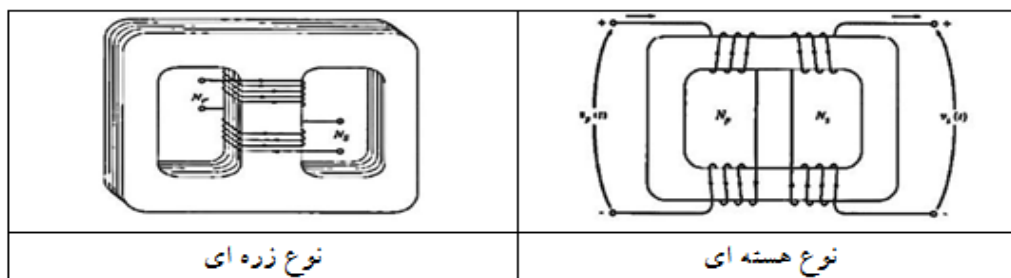
mp	_____	N	_____
روشنایی معابر	_____	روشنایی معابر	_____
R	_____	L1	_____
S	_____	L2	_____
T	_____	L3	_____
استاندارد VDE		استاندارد IEC	

ترانسفورماتورها را از دیدگاه‌های مختلفی تقسیم بندی می‌کنند که در زیر به بررسی آنها می‌پردازیم .

#### ۱ - از دیدگاه ساختمان

الف - نوع هسته ای ( Core Type ) که در فشار قوی استفاده می‌شود، سیم پیچ‌ها به صورت استوانه ای متحدالمرکز روی هسته قرار داده می‌شوند .

ب - نوع زرهی ( Shell Type ) که در فشار ضعیف کاربرد دارد، سیم پیچ‌ها به صورت ساندویچی روی هم قرار می‌گیرند و هسته‌ی آهنی همانند زره ای سیم پیچ‌ها را در میان می‌گیرد .



## ۲ - از نظر نوع منبع

- الف - نوع تکفاز: نوع تکفاز ترانس در وسایل الکترونیکی برای کاهش ولتاژ استفاده می شوند  
 ب - نوع چند فاز (سه ، شش ، دوازده و ...): نوع سه فازه بیشترین کاربرد را در شبکه های انتقال و توزیع دارد .

## ۳ - از نظر کاربرد

- الف - قدرت: نیروگاهی ( واحد ) ، انتقال ( پست ) ، توزیع ( توزیع )  
 ب - اندازه گیری: ترانس جریان CT ، ترانس ولتاژ PT  
 ج - ترانس تطبیق امپدانس  
 د - ترانس ایزوله کننده

## طرز کار ترانسفورماتور

ترانس از دو سیم پیچ تشکیل شده است با اعمال ولتاژ به سیم پیچ اولیه یک جریانی از سیم پیچ عبور می کند که موجب به وجود آمدن فوران مغناطیسی می شود از آنجایی که برق اعمالی به ترانس از نوع ac است متناسب با آن فوران ایجاد شده نیز متغیر و متناوب خواهد بود . فوران تولیدی از طریق هسته مسیر خود را می بندد و سیم پیچ ثانویه را قطع می کند و بر اساس قانون القای فاراده موجب القای ولتاژی در سیم پیچ ثانویه می شود . مقدار این ولتاژ به تعداد دور سیم پیچ ، فوران هسته ، فرکانس شبکه ، جنس هسته و نحوه ی قرار گرفتن سیم پیچ ها نسبت به هم بستگی دارد و از رابطه زیر بدست می آید .

$$U_0 = \frac{1}{4\pi} N \cdot \phi \cdot f$$

به جای فوران می توان معادل آن را  $\phi = B \times A$  در رابطه قرار داد تا فرمول ملموس تری بدست آید .

$$U_0 = \frac{1}{4\pi} N \cdot B \cdot A \cdot f$$

در این رابطه

$U_0$ : ولتاژی باری ترانس بر حسب ولت (V) .

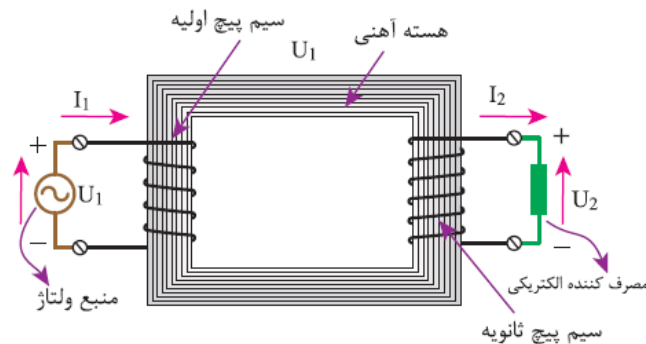
f: فرکانس شبکه بر حسب هرتز (Hz) .

B: چگالی میدان مغناطیسی بر حسب تسلا (T) .

A: سطح مقطع هسته ترانس بر حسب متر مربع ( $m^2$ ) .

مثال: اگر ترانسفورماتوری که سیم پیچ ثانویه آن ۹۷ دور و سطح مقطع هسته آن  $8cm^2$  باشد را به شبکه ی ۲۲۰ ولت و ۵۰ هرتز متصل کنیم ، ولتاژ القایی در ثانویه را محاسبه کنید در صورتی که حداکثر چگالی شار هسته ۱/۴ تسلا باشد .

$$U_{02} = \frac{1}{4\pi} N_2 \cdot B \cdot A \cdot f = \frac{1}{4\pi} \times 97 \times \frac{1}{4} \times 8 \times 10^{-4} \times 50 = 24 \text{ V}$$



ترانسفورماتور ایده آل : ترانسفورماتوری را ایده آل می گویند که خصوصیات زیر را داشته باشد .

۱ - تلفات توان (فوکو هیستریزیس) آن صفر باشد یعنی راندمان آن ۱۰۰ درصد و توان ورودی و خروجی آن با هم برابر باشد.

$$S_1 = S_2 = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

۲ - فوران پراکندگی سیم پیچ های اولیه و ثانویه صفر باشد.. پس کوپلینگ مغناطیسی آن کامل می باشد.

$$\phi L_P = \phi L_S = 0$$

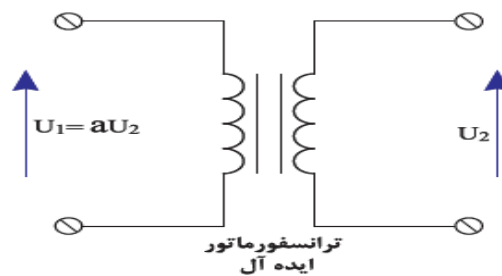
۳ - ضریب نفوذ مغناطیسی هسته  $\mu r$  ، بی نهایت باشد .

۴ - جریان سیم پیچ های ترانس در حالت بی باری صفر باشد .

۵ - نیرو محرکه اولیه  $N_1 \cdot I_1$  برابر با نیرو محرکه ثانویه  $N_2 \cdot I_2$  باشد .

۶ - مقاومت سیم پیچ های اولیه و ثانویه صفر باشد  $R_1 = R_2 = 0$

۷ - چنین ترانسی تنها دارای نسبت تبدیل  $a$  می باشد .



جنس هسته و مواد به کار رفته در ترانس قدرت مرغوب می باشد به همین دلیل خصوصیات آن به ترانس ایده آل نزدیک است .

### رابطه اساسی ترانس

در ترانسفورماتور ایده آل نسبت ولتاژ سیم پیچ ها  $\frac{U_1}{U_2}$  برابر نسبت تعداد دور حلقه های آن  $\frac{n_1}{n_2}$  است .

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

در این رابطه

$U_1$  : ولتاژ سیم پیچ اولیه .

$U_2$  : ولتاژ سیم پیچ ثانویه .

$N_1$  : تعداد دور سیم پیچ اولیه .

$N_2$  : تعداد دور سیم پیچ ثانویه .

مثال - در یک ترانسفورماتور ایده آل اگر تعداد دور سیم پیچ اولیه ۱۰۰ و تعداد دور سیم پیچ های ثانویه ۲۰۰ دور باشد ، در

صورتی که اولیه به برق شهر وصل شود ولتاژ سیم پیچ های ثانویه چند ولت است ؟

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \rightarrow \frac{220}{U_2} = \frac{100}{200} = 440 \text{ V}$$

همان طور که گفته شد در ترانس ایده آل توان ورودی  $S_1 = U_1 \times I_1$  برابر با توان خروجی  $S_2 = U_2 \times I_2$  در نتیجه می توان

رابطه جدیدی بین ولتاژ و جریان سیم پیچ های اولیه و ثانویه بدست آورد . که در آن بیان می شود که نسبت جریان سیم پیچ

ها با عکس نسبت ولتاژها متناسب است .

$$S_1 = U_1 \times I_1 = S_2 = U_2 \times I_2 \quad , \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

و با توجه به برابری نیرو محرکه های اولیه و ثانویه ترانس می توان رابطه بین جریان ها و تعداد حلقه ها را پیدا کنیم .

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

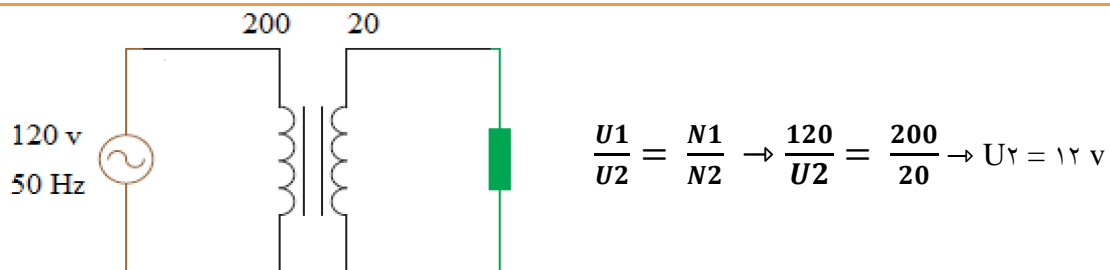
با توجه به روابط فوق، رابطه اساسی ترانس به صورت زیر بیان می شود .

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

مثال - در یک ترانسفورماتور ایده آل سیم پیچ اولیه با تعداد دور ۸۰۰ به برق تکفاز ۲۰۰ ولت وصل می شود و جریان ۱۰ آمپر از شبکه دریافت می کند . اگر تعداد دور سیم پیچ های ثانویه ۴۰۰ باشد، ولتاژ و جریان ثانویه ترانس چقدر است ؟

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad , \quad \frac{200}{U_2} = \frac{800}{400} \rightarrow U_2 = 100 \text{ v} \quad , \quad \frac{I_2}{10} = \frac{800}{400} \rightarrow I_2 = 20 \text{ A}$$

مثال - در ترانس شکل مقابل ولتاژ خروجی و فرکانس خروجی آن چقدر است ؟



$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \rightarrow \frac{120}{U_2} = \frac{200}{20} \rightarrow U_2 = 12 \text{ v}$$

از آنجایی که ترانسفورماتور ولتاژی را با فرکانس مشخص به ولتاژی دیگر با همان فرکانس تبدیل می کند پس در این ترانس ولتاژ خروجی با دامنه ۱۲ ولت تحت فرکانس ۵۰ هرتز به بار تحویل می دهد .

از روابط فوق می توان نتیجه گرفت که اگر تعداد دور سیم پیچ های هر سمت بیشتر باشد ولتاژ آن قسمت بیشتر است . بر همین اساس ترانسفورماتورها را بر اساس مقدار ضریب تبدیل ( $a = \frac{N_1}{N_2}$ ) می توان به سه نوع تقسیم کرد .

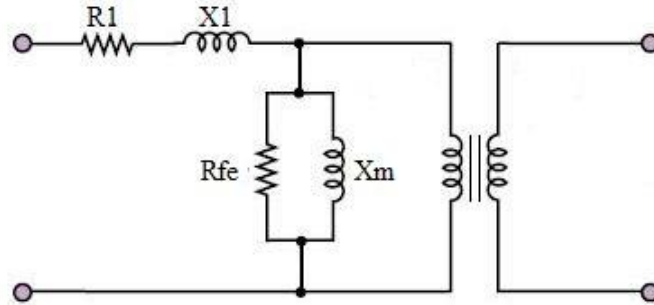
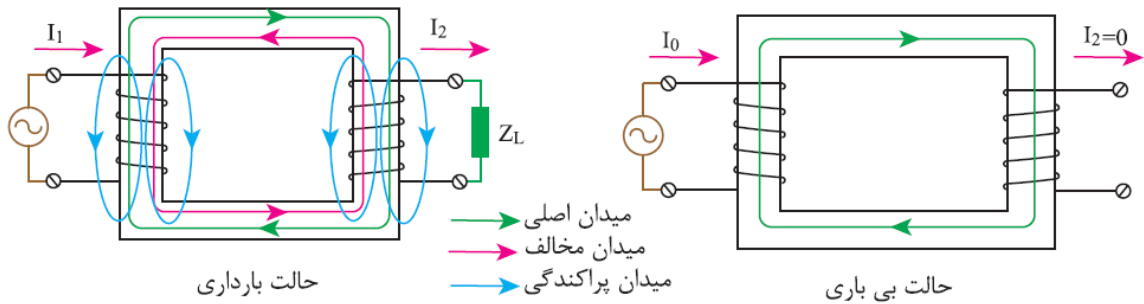
**ترانس افزایشی:** در ترانس افزایشی تعداد دور سیم پیچ ثانویه از تعداد دور سیم پیچ اولیه بیشتر است، این ترانس ولتاژ را افزایش و جریان را کاهش می دهد و اغلب در ابتدای خطوط انتقال برای افزایش ولتاژ مورد استفاده قرار می گیرند .

**ترانس کاهشنده:** در ترانسفورماتور کاهشنده تعداد دور سیم پیچ ثانویه از تعداد دور سیم پیچ اولیه کمتر است، این ترانس ولتاژ را کاهش و جریان را افزایش می دهد و اغلب برای کاهش ولتاژ در انتهای خطوط توزیع و برای تأمین ولتاژ و جریان و تطبیق امپدانس در مدارات الکترونیکی استفاده می شود .

**ترانس یک به یک:** در این نوع ترانس تعداد حلقه های سیم پیچ های اولیه و ثانویه با هم برابرند . ترانس یک به یک برای حفاظت مورد استفاده قرار می گیرد به همین دلیل به آن ترانس حفاظتی می گویند .

### ترانسفورماتور واقعی

در ترانس واقعی روابطی که برای ترانس ایده آل بیان شد برقرار نیست برای مثال در حالت بی باری سیم پیچ ها دارای جریان هستند، راندمان ترانس ۱۰۰ درصد نیست و مقداری تلفات توان دارد، نیرو محرکه ی سیم پیچ اولیه از سیم پیچ ثانویه بیشتر است، فوران پراکندگی زیاد است و ... بنابراین بر تحلیل ترانس واقعی از مدار معادل آن در حالت بی باری استفاده می کنیم .



مدار معادل ولتاژها و جریان های ترانسفورماتور واقعی بدون بار

در این مدار معادل چهار پارامتر برای هر سیم پیچ ترانس به وسیله مقاومت و سلف مدل می کنیم .

**R1** : مقاومت اهمی سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور است که توسط آزمایش جریان مستقیم بدست می آید و تلفات مسی را به وجود می آورد که به صورت سری با ترانس مدل می شود .

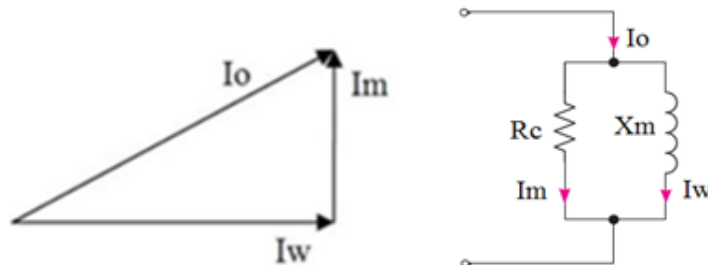
**X1** : اثر شار پراکندگی را معادل با اثر یک سلف در نظر می گیریم که با ترانسفورماتور سری شده است . افت ولتاژ ایجاد شده در اثر فوران پراکندگی با جریان بی باری ۹۰ درجه اختلاف فاز دارد به همین دلیل به صورت یک سلف مدل می شود .

**Rfe** : تلفات هسته ترانسفورماتور که شامل تلفات فوکو و هیستریزیس است توسط یک جریان  $I_w$  که با ولتاژ اعمالی هم فاز است و از یک مقاومت اهمی می گذرد مدل می کنند .

**Xm** : جریانی که میدان اصلی ترانس را به وجود می آورد را با  $I_w$  نشان می دهند و از آنجایی که این جریان با ولتاژ اعمالی اختلاف فاز ۹۰ درجه دارد پس توسط یک سلف مدل می شود .

از مجموع جریان  $I_w$  و  $I_m$  جریان بی باری تشکیل می شود . از آنجایی که این دو جریان با هم ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند جریان بی باری به صورت زیر محاسبه می شود .

$$I_o = \sqrt{I_w^2 + I_m^2}$$



مثال - در یک ترانس اگر ولتاژ ورودی ۱kV ولت باشد و مقاومت معادل تلفات  $2k\Omega$  و اندوکتانس میدان اصلی  $5k\Omega$  مطلوب است جریان بی باری ترانسفورماتور را محاسبه کنید .

$$I_w = \frac{U_1}{R_{fe}} = \frac{1000}{2000} = 0.5 \text{ A} \quad , \quad I_m = \frac{U_1}{x_m} = \frac{1000}{5000} = 0.2 \text{ A}$$

$$I_o = \sqrt{I_w^2 + I_m^2} \quad , \quad I_o = \sqrt{0.5^2 + 0.2^2} = 0.53 \text{ A}$$

**کوبلینگ مغناطیسی** : با عبور جریان از سیم پیچ اولیه یک میدان مغناطیسی در آن ایجاد می شود، این میدان مغناطیسی از طریق هسته مسیر خود را می بندد و سیم پیچ ثانویه را قطع می کند ، در ترانس ایده آل تمام فورانی که سیم پیچ اولیه تولید می کند، سیم پیچ ثانویه را قطع می کند و هیچگونه فوران پراکندگی ای وجود ندارد . اما در ترانس واقعی مقداری از فوران از هسته خارج شده و مسیر خود را از هوا می بندد، به چنین فورانی، فوران یا میدان پراکندگی می گویند . فوران پراکندگی سیم پیچ اولیه  $\phi_{Lp}$  و فوران پراکندگی سیم پیچ ثانویه  $\phi_{Ls}$  با هم برابر و بسیار کوچکتر از فوران پیوندی هسته می باشند .

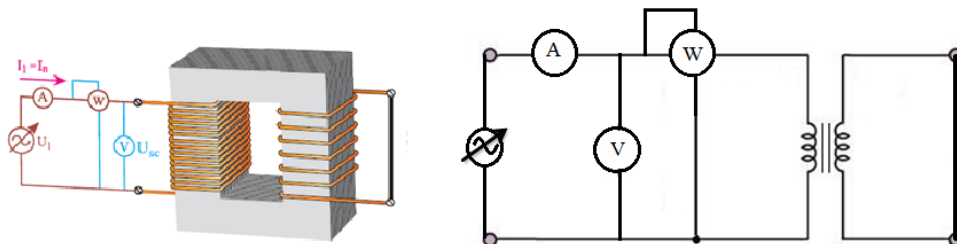
**ولتاژ اتصال کوتاه** : ولتاژ اتصال کوتاه به اختلاف پتانسیلی گفته می شود که در فرکانس نامی و در حالی که سیم پیچ ثانویه اتصال کوتاه شده است، به سیم پیچ اولیه اعمال می شود تا از آن جریان نامی عبور کند . ولتاژ اتصال کوتاه معیاری برای نشان دادن فوران پراکندگی و مقاومت اهمی سیم پیچ ها است .

**جریان اتصال کوتاه** : چنانچه ترمینال های ثانویه یک ترانسفورماتور در حالت کار به هم وصل شوند حالت اتصال کوتاه رخ می دهد که موجب جاری شدن جریانی از سیم پیچ های ترانس می شود که به جریان اتصال کوتاه معروف است .

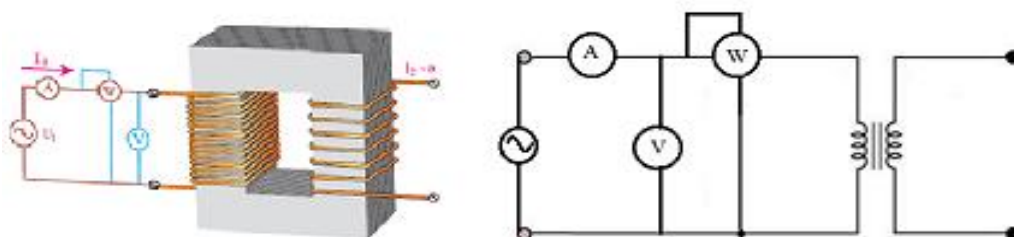
**جریان هجومی یا یورشی در ترانسفورماتور** : درست در لحظه ای که یک ترانسفورماتور به شبکه وصل می شود به علت تغییرات شار جریان مغناطیس کننده ی بزرگی از اولیه عبور می کند که به جریان یورشی ترانس مشهور است .

#### تلفات ترانسفورماتور

۱ - **تلفات مسی  $P_{cu}$**  : سیم پیچ های ترانس دارای مقاومت اهمی هستند و با عبور جریان از آن ها تلفاتی به وجود می آید که به تلفات مسی مشهور است، این تلفات به مجذور جریان بستگی دارد و به وسیله ی آزمایش اتصال کوتاه بدست می آید .  
**آزمایش اتصال کوتاه** : در این آزمایش که تحت جریان و فرکانس نامی انجام می شود سیم پیچ های ثانویه را اتصال کوتاه کرده و سیم پیچ اولیه را به یک منبع ولتاژ متغیر وصل می کنیم، توسط یک واتمتر و یک آمپر متر توان و جریان مدار را اندازه می گیریم . ولتاژ ورودی را به تدریج از صفر افزایش می دهیم تا جریان نامی از اولیه عبور کند . در این حالت مقداری که واتمتر نشان می دهد تلفات مسی مدار است .



۲ - **تلفات آهنی  $P_{fe}$**  : به مجموع تلفات فوکو (گردابی یا ادی) و تلفات هیستریزس، تلفات آهنی (هسته) گفته می شود که به ولتاژ ورودی بستگی دارد و مقدار آن توسط آزمایش بی باری تعیین می شود .  
**آزمایش بی باری**: اگر به یک ترانس که ثانویه آن بدون بار است ولتاژ نامی وصل کنیم مقدار توانی که توسط واتمتر اندازه گرفته ایم برابر تلفات آهنی است .



آزمایش جریان مستقیم : از آزمایش DC برای اندازه گیری مقدار مقاومت اهمی سیم پیچ ها استفاده می شود

**افت ولتاژ در ترانس :** به دلیل عبور جریان از المان های شاخه ی سری مقداری افت ولتاژ ایجاد می شود این افت ولتاژ در دو طرف ترانس ایجاد شده و قابل انتقال نیز می باشد و از رابطه زیر محاسبه می شود .

$$\Delta u = R \cdot I \cos\varphi \pm X \cdot I \sin \varphi$$

در این رابطه

$\Delta u$  : افت ولتاژ ترانس بر حسب ولت .

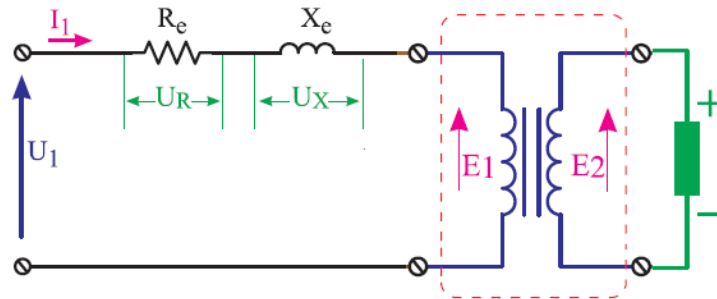
$I$  : جریان ترانس بر حسب آمپر .

$R$  : مقاومت اهمی سیم پیچ ها بر حسب اهم .

$X$  : مقاومت القایی سیم پیچ ها بر حسب اهم .

$\varphi$  : زاویه اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ ثانویه،  $\cos\varphi$  ضریب توان اکتیو و  $\sin\varphi$  ضریب توان راکتیو است

+ برای ضریب توان پس فاز یا بارهای اهمی-سلفی و - برای ضریب توان پیش فاز یا بارهای اهمی-خازنی منظور می شود .



مثال - مقاومت اهمی سیم پیچ های یک ترانس ۱ Ω و مقاومت القایی آن ۲ Ω است اگر بار اهمی سلفی به ضریب توان ۰/۶ و جریان ۲۰ آمپر به ثانویه ترانس متصل باشد افت ولتاژ کلی ترانس چقدر است ؟

$$\Delta u = R \cdot I \cos\varphi \pm X \cdot I \sin \varphi$$

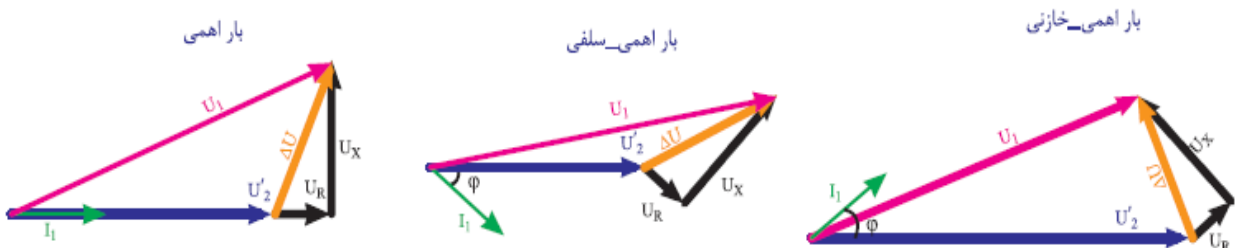
$$\Delta u = 1 \times 20 \times 0/6 + 2 \times 20 \times 0/8 = 44 \text{ v}$$

مثال - ترانسفورماتور تکفازی باری با ضریب توان ۰/۸ پیش فاز تغذیه می کند اگر افت ولتاژ اهمی ۱۰ و افت ولتاژ سلفی ۳۰ ولت باشد و ولتاژ بی باری ۳۰۰ ولت باشد ولتاژ تحت بار چند ولت است ؟

$$\Delta u = R \cdot I \cos\varphi \pm X \cdot I \sin \varphi \quad , \quad U = 10 \times 0/8 - 30 \times 0/6 = 8 - 18 = - 10 \text{ v}$$

$$\Delta U = E_2 - U_2 \rightarrow U_2 = E_2 - \Delta u \quad , \quad U_2 = 300 - (- 10) = 310 \text{ v}$$

همانطور که در مثال های فوق دیده می شود اگر بار ترانس اهمی-سلفی باشد افت ولتاژ زیادی در ترانس ایجاد می شود و اگر بار اهمی خالص باشد افت ولتاژ کمتری نسبت به حالت اهمی-سلفی ایجاد می شود ولی اگر بار خازنی باشد ( کمتر پیش می آید که بار خازنی باشد ) افت ولتاژ منفی است یعنی نه تنها ولتاژ خروجی کاهش نمی یابد بلکه افزایش ولتاژ نیز داریم .



راندمان ترانسفورماتور: به نسبت توان خروجی به توان ورودی ترانس ضریب بهره یا راندمان گفته می شود که مقدارش همواره کمتر از ۱ است و با علامت  $\eta$  نمایش داده می شود.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}, \quad \Delta p = P_1 - P_2 = P_{cu} + P_{fe}, \quad P_1 = P_2 + \Delta P$$

مثال - در یک ترانس تکفاز اگر قدرت ورودی ۲۰۰ kw و قدرت خروجی ۱۹۰ kw باشد توان تلف شده و راندمان ترانس را محاسبه کنید.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}, \quad \eta = \frac{190000}{200000} = 0.95, \quad \rightarrow \eta = 95\%$$

$$\Delta = P_1 - P_2 = 200 - 190 = 10 \text{ kw}$$

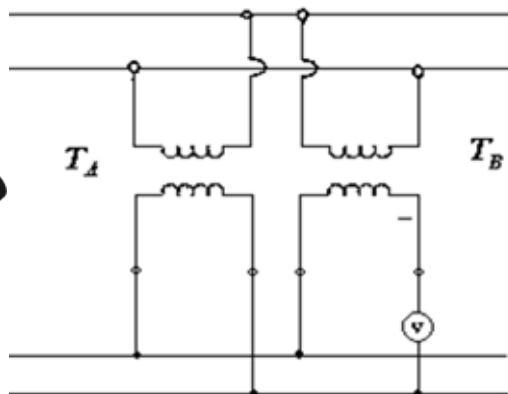
مثال - در یک ترانسفورماتور توان خروجی ۳۵۰ kw است اگر تلفات ثابت ۲۰ kw و تلفات متغیر ۱۰ kw راندمان ترانس را محاسبه کنید.

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{fe} + P_{cu}}, \quad \eta = \frac{350}{350 + 20 + 10}, \quad \eta = 92\%$$

### موازی کردن ترانسفورماتورهای تکفاز

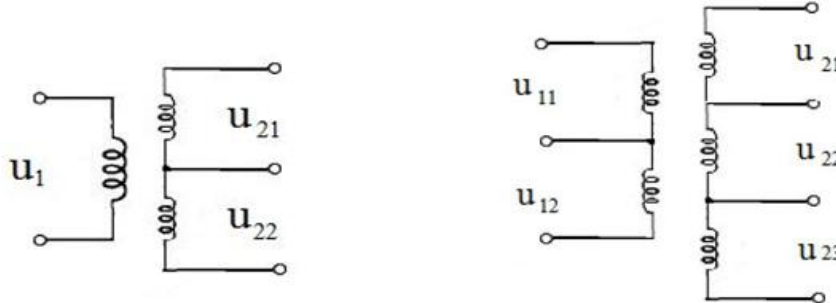
در شبکه های قدرت اغلب لازم است که قدرت بسیار زیادی توسط ترانسفورماتور منتقل شود در این صورت معمولاً دو ترانسفورماتور را با هم موازی می کنند. مزیت استفاده از دو ترانس به جای یک ترانس در این است که اولاً حجم و وزن ترانس ها کمتر می شود و حمل و نقل آنها آسانتر است و ثانیاً اگر عیبی در یکی از ترانس ها پیش آید تمام مصرف کننده ها بدون برق نمی مانند و ترانس دوم می تواند بخشی از مصرف کننده ها را تغذیه کند، برای موازی بستن دو ترانس تکفاز شرایط زیر باید فراهم باشد.

- ۱ - دو ترانس باید ضریب تبدیل یکسانی داشته باشند. به عبارت دیگر ولتاژهای برابری داشته باشند.
  - ۲ - دو ترانس ولتاژ اتصال کوتاه یکسانی داشته باشند.
  - ۳ - زاویه اختلاف فاز بین ولتاژهای فشار قوی و فشار ضعیف برابر باشند.
  - اختلاف فاز ولتاژهای ثانویه فقط می توان ۰ یا ۱۸۰ درجه باشد، اگر اختلاف فاز ولتاژهای اولیه و ثانویه یکی از ترانس ها صفر و دیگری ۱۸۰ باشد در هنگام موازی بستن فقط کافی است محل اتصال دو سر خروجی یکی از ترانس ها را عوض کنیم.
  - ۴ - اگر توان دو ترانس برابر نباشند نباید ولتاژ اتصال کوتاه ترانس کوچکتر کمتر از ترانس بزرگتر باشد.
- برای موازی کردن دو ترانس ابتدا سیم پیچ های اولیه هر دو ترانس را به شبکه وصل می کنیم سپس ثانویه یکی از ترانس ها را به شبکه دوم متصل کرده و یک سر خروجی ترانس دوم را به یک سر خروجی ترانس اول وصل می کنیم و بعد یک ولت متر را بین دوسر دیگر خروجی ها قرار می دهیم، اگر ولت متر ولتاژ صفر را نشان داد این دو سر می توانند به سیم دوم شبکه وصل شود و ترانس ها را موازی کرد، اما اگر ولت متر دو برابر مقدار واقعی ثانویه ترانس را نشان داد باید جای دو فاز را عوض کنیم.





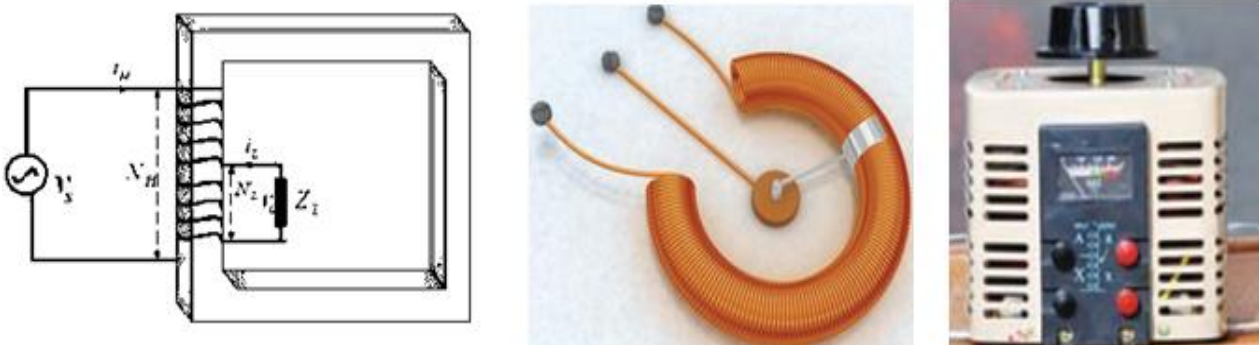
ترانسفورماتور با چند ورودی و چند خروجی : برخی از ترانسفورماتورها وجود دارند که دارای چند سر ورودی و چند سر خروجی هستند که برای ولتاژهای ورودی و خروجی متفاوت طراحی می شوند . نکته مهمی که در این نوع ترانس ها وجود دارد این است که می توان به طور هم زمان از تمام یا تعدادی از ولتاژ های خروجی بهره برد ، اما تنها باید یکی از سیم پیچ های اولیه به منبع تغذیه وصل شود . در شکل زیر نمونه هایی از ترانس های چند ورودی چند خروجی آورده شده است .



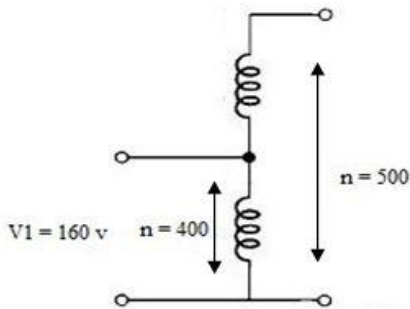
ترانسفورماتور انشعاب دار ( Tap changer ) : برای ثابت نگه داشتن ولتاژ دوسر بار در محدوده‌ی ۰/۹۵ تا ۱/۰۵ از ترانسفورماتور انشعاب دار استفاده می شود، در این نوع ترانسفورماتور در یکی از سیم پیچ های اولیه یا ثانویه یکسری انشعاب Tap بوجود می آورند بطوری که می توان توسط یک کلید در هر مرحله یکی از انشعابات را به بار یا به منبع وصل نمود . برای تغییر تپ ترانسفورماتورهای معمولی باید ترانس بدون بار باشد، اما نوع خاصی از ترانسفورماتور وجود دارد که می توان زیر بار تغییر تپ دهد که اصطلاحاً به آن ترانس TCUL (Tap Changing Under Load) می گویند . در ترانس های قدرت تپ چنجر داخل روغن قرار می گیرد .



اتوترانسفورماتور یا ترانس صرفه ای : اتوترانس ترانسی است که فقط دارای یک سیم پیچ می باشد، در واقع اتوترانس دارای یک سیم پیچ فشارقوی است که از قسمتی از آن به عنوان سیم پیچ فشار ضعیف استفاده می شود . قسمتی از سیم پیچی که در موقع کار ترانسفورماتور کاهنده‌ی ولتاژ به مصرف کننده وصل می شود و یا در ترانسفورماتور افزایش دهنده ولتاژ به شبکه متصل می شود، سیم پیچ مشترک یا موازی می گویند و قسمت دیگر سیم پیچی که در ترانسفورماتور افزایش دهنده ولتاژ با بار سری می شود و یا در ترانس کاهنده‌ی ولتاژ جریان اولیه را از خود عبور می دهد، سیم پیچ سری نامیده می شود .



مثال - اتوترانسی ۵۰۰ حلقه دارد اگر ولتاژ ورودی به حلقه‌ی ۴۰۰ به اندازه ۱۶۰ ولت و ولتاژ خروجی از حلقه ۵۰۰ گرفته شده باشد جریان و ولتاژ خروجی چقدر است در صورتی که جریان ورودی ۵ آمپر باشد .



$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad , \quad \frac{160}{U_2} = \frac{400}{500} \rightarrow U_2 = 200 \text{ v} \quad \text{و} \quad \frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} \rightarrow \frac{5}{i_2} = \frac{500}{400} \rightarrow i_2 = 4 \text{ A}$$

به اتوترانسفورماتور ترانس صرفه ای نیز می گویند زیرا :

- ۱ - فقط یک سیم پیچ ( سیم پیچ فشار قوی ) دارد .
- ۲ - جریان عبوری از قسمت مشترک سیم پیچ تفاضل دو جریان ورودی و خروجی است لذا جریان کمی از این قسمت عبور می کند پس می توان سطح مقطع این قسمت را کم انتخاب کرد .
- ۳ - در طراحی ترانسفورماتور اندازه‌ی هسته آهنی بر مبنای قدرت انتقالی توسط هسته محاسبه می شود از آنجایی که قدرت انتقالی توسط هسته اتوترانس کم است پس می توان سطح مقطع هسته را کم انتخاب کرد .

$$A = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{SB}$$

**توان تیپ :** حداکثر توانی را که می توان از یک اتوترانس اخذ کرد، توان عبوری نامیده می شود . در اتوترانس سیم پیچ ها با هم ارتباط الکتریکی و مغناطیسی دارند به همین دلیل بخشی از توان خروجی به صورت الکتریکی ( انتقال جریان از سیم پیچ اولیه به سیم پیچ ثانویه ) منتقل می شود ، و بخشی دیگر آن از طریق کوپلینگ مغناطیسی هسته تأمین می شود . برای عبور یک توان ثابت هرچه توان انتقالی توسط سیم پیچ بیشتر باشد، به همان مقدار توانی که از طریق هسته منتقل می شود کمتر است، توانی که از طریق هسته منتقل می شود ، توان تیپ یا توان ساختمانی نامیده می شود و از رابطه زیر بدست می آید .

$$SB = \frac{U_H - U_L}{U_H} \cdot S_2 \quad , \quad SB = (U_H - U_L) \cdot I_s$$

در این رابطه

**SB :** توان تیپ یا توان ساختمانی

**U<sub>H</sub> :** ولتاژ بزرگتر

**U<sub>L</sub> :** ولتاژ کوچکتر

**S<sub>2</sub> :** توان خروجی I<sub>2</sub> × U<sub>2</sub>

**I<sub>s</sub> :** جریان سیم پیچ سری

مثال - در یک اتوترانسفورماتور با ولتاژ ورودی ۲۰۰ ولت باری را تحت ولتاژ ۱۰۰ ولت و جریان ۳ آمپر تغذیه می کند مقدار توانی که از طریق هسته منتقل می شود ( توان تیپ ) چند ولت آمپر است ؟

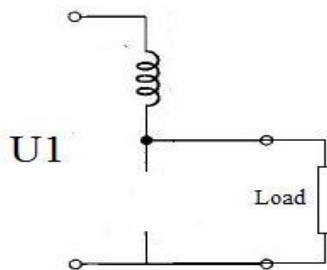
$$S_2 = U_2 \cdot I_2 = 100 \times 3 = 300 \text{ VA} \quad , \quad SB = \frac{200 - 100}{200} \times 300 = 150 \text{ VA}$$

مزایای اتوترانسفورماتور

- ۱- راندمان بیشتر (بعلت کمتر بودن تلفات مس و آهن).
- ۲- اندازه‌ی کوچکتر (بعلت مصرف کمتر شدن مس و آهن).
- ۳- قیمت کمتر (بعلت مصرف کمتر مس و آهن).
- ۴- افت ولتاژ کمتر (بعلت کوچک بودن فوران پراکندگی).

معایب اتوترانسفورماتور

۱- از آنجایی که سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه از هم جدا نیستند، نمی‌توان از آن به عنوان ترانس ایزوله استفاده کرد، زیرا اتفاقاتی که در هر طرف رخ می‌دهد قابل انتقال به طرف دیگر است. برای مثال اگر سیم‌پیچ فشارقوی قطع شود ولتاژ فشار-قوی روی بار می‌افتد.



۳- اتوترانس تا نسبت تبدیل کمتر از ۲ از خود مزایای خوبی نشان می‌دهد زیرا میزان صرفه جویی برای ترانس از رابطه  $\frac{UL}{UH}$  بدست می‌آید هرچه نسبت تبدیل ترانس کمتر باشد اتوترانس صرفه ای تر است پس از اتوترانس برای تبدیل ولتاژهای خیلی زیاد نمی‌توان استفاده کرد.

کاربرد اتوترانسفورماتور: از اتوترانس برای روشن کردن لامپ‌های گازی، تنظیم کننده ولتاژ، راه اندازی الکتروموتورهای جریان متناوب، ارتباط خطوط ۲۳۰ kv و ۴۰۰ kv، به عنوان ترانس متغیر، تقویت کننده ولتاژ منازل و ... استفاده می‌شود.

### ترانسفورماتور سه فاز

از آنجایی که برق تولیدی در نیروگاهها از نوع متناوب و سه فاز بوده، پس تمام تجهیزاتی که برای تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد از نوع سه فازه می‌باشد. ترانسفورماتور سه فاز یکی از این وسایل است که در شبکه‌های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی استفاده می‌شود.

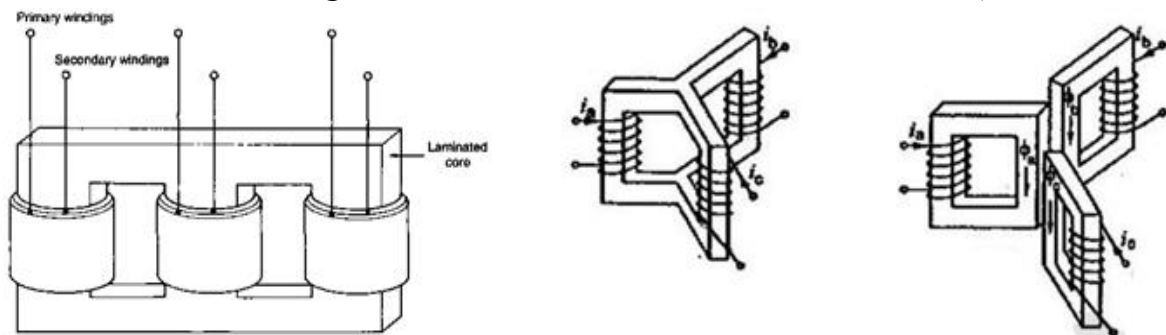
### مزایای تولید برق سه فاز نسبت به تکفاز

- حجم مولدهای سه فاز نسبت به مولدهای تکفاز کمتر است پس از لحاظ اقتصادی استفاده از مولدهای سه فاز نسبت به سایر مولدهای الکتریکی دیگر به صرفه تر است.
- در راه اندازی الکتروموتورهایی که با برق سه فاز کار می‌کنند نیازی به وسایل راه انداز مانند سیم پیچ راه انداز نیست پس قیمت و حجم آن کمتر است.
- توان لحظه ای سه فاز در مصرف کنندگان هیچ گاه به صفر نمی‌رسد.
- خروجی یکسوکنده‌های سه فاز ولتاژ DC با ریپل یا ضربان کمتری ایجاد می‌کند. یعنی در مدارات یکسوساز اگر از برق سه فاز استفاده کنیم شکل موج به حالت DC کامل نزدیکتر است و راندمانی بالاتر از یکسوسازهای تکفاز دارد، برای مثال راندمان یکسوساز سه فاز پل حدود ۹۹/۸٪ است.

### انواع ترانسفورماتور سه فاز

**یک - مجموعه مونتاژ شده :** در نوع مونتاژ شده از سه ترانسفورماتور تک فاز مجزا استفاده می شود . در این صورت سیم پیچ اولیه و ثانویه ممکن است به صورت ستاره یا مثلث به شبکه وصل شوند . مزیت استفاده از سه ترانسفورماتور تکفاز این است که اگر یکی از ترانس ها آسیب ببیند اولاً دو ترانس دیگر سالم بوده و می توانند قسمتی از مصرف کننده ها را تغذیه کنند و ثانیاً فقط احتیاج به تعمیر و یا تعویض یک ترانس تکفاز وجود دارد .

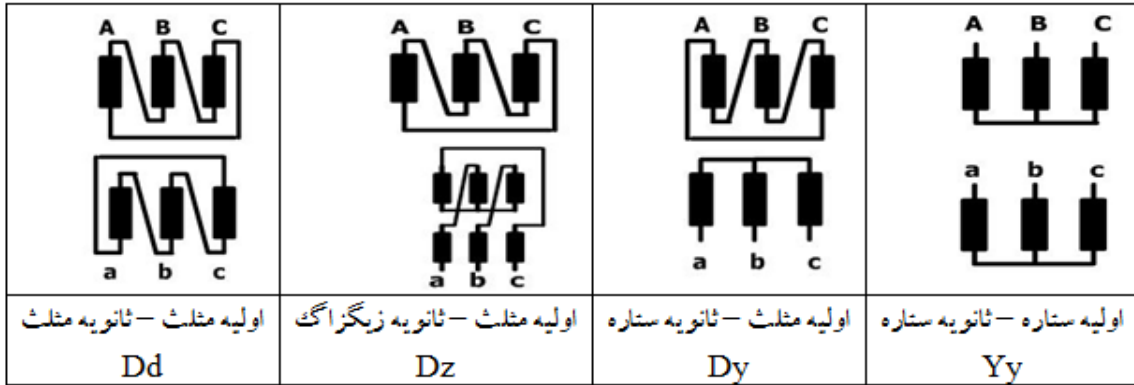
**دو - مجموعه یکپارچه :** در ترانس های سه فاز یکپارچه سیم پیچ های فشارقوی و فشار ضعیف روی هم پیچیده می شود تا فوران پراکندگی کمتر شود و ولتاژ اتصال کوتاه کاهش یابد از آنجایی که ولتاژ فشار ضعیف نسبت به زمین در مقایسه با ولتاژ فشارقوی پایین تر است پس سیم پیچ فشارقوی روی سیم پیچ فشار ضعیف پیچیده می شود . در این حالت در صورتی که یک فاز عیب کند باید تمام ترانس را تعمیر یا تعویض کرد اما به دلیل مزایای زیاد نسبت به نوع مونتاژ شده کاربرد بیشتری دارد .



**نقش روغن در ترانسفورماتورها :** تمام قسمت های ترانسفورماتور قدرت را در یک مخزن روغن قرار می دهند، روغن ضمن اینکه عمل عایقی بین قسمت های مختلف ترانس را انجام می دهد ، حرارت تولید شده را در سیم پیچ ها را به محفظه ی ترانس منتقل می کند تا عمل خنک سازی راحت تر صورت گیرد . روغن ترانسفورماتور در اثر گرم شدن منبسط می شود . در چنین حالتی روغن نباید با هوا تماس پیدا کند، در غیر این صورت خاصیت خود را از دست می دهد . به همین جهت در بالای مخزن روغن یک منبع انبساط روغن نصب شده است . این منبع از طریق یک مجرای تخلیه هوا با خارج در تماس است . به منظور جلوگیری از نفوذ رطوبت به داخل روغن یک فیلتر رطوبت گیر در مجرای تخلیه هوا تعبیه می شود . اگر فیلتر مدت زیادی مورد استفاده قرار گیرد رطوبت هوا را جذب می کند و رنگ ماده رطوبت گیر از آبی به صورتی کم رنگ تغییر می کند .

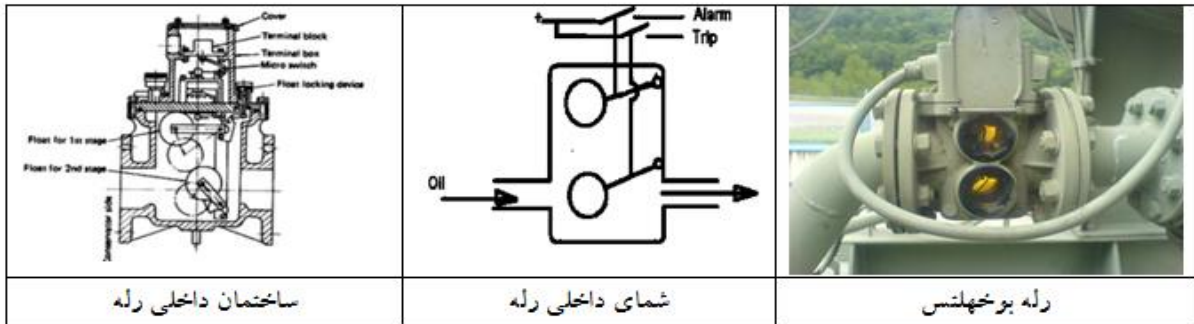


نحوه اتصالات سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور: در ترانس‌های سه‌فاز سه سیم‌پیچ در سمت فشار ضعیف و سه سیم‌پیچ در سمت فشار قوی قرار دارد که به صورت ستاره یا مثلث یا در موارد خاص زیگزاگ به هم متصل می‌شوند.



در ترانسفورماتورها دو نوع خط داریم، خط‌های داخلی مانند اتصال بدنه، اتصال حلقه، ریزش روغن و خط‌های خارجی مانند اتصال کوتاه، اضافه بار، اضافه ولتاژ و ... جهت حفاظت ترانس از رله‌های مختلفی مانند رله جریان زیاد، رله دیفرانسیل، رله منعکس کننده حرارتی، رله بوخهلتس و ... استفاده می‌شود. اما بهترین آن همان رله بوخهلتس است که در برابر اضافه بار آلامر داده و در مقابل اتصال کوتاه مستقیماً دستور قطع مدار را می‌دهد.

**رله بوخهلتس:** در مسیر لوله‌ای که مخزن روغن را به منبع انبساط وصل می‌کند از رله بوخهلتس به منظور حفاظت ترانس‌های روغنی در مقابل اضافه بار و اتصال کوتاه استفاده می‌شود.

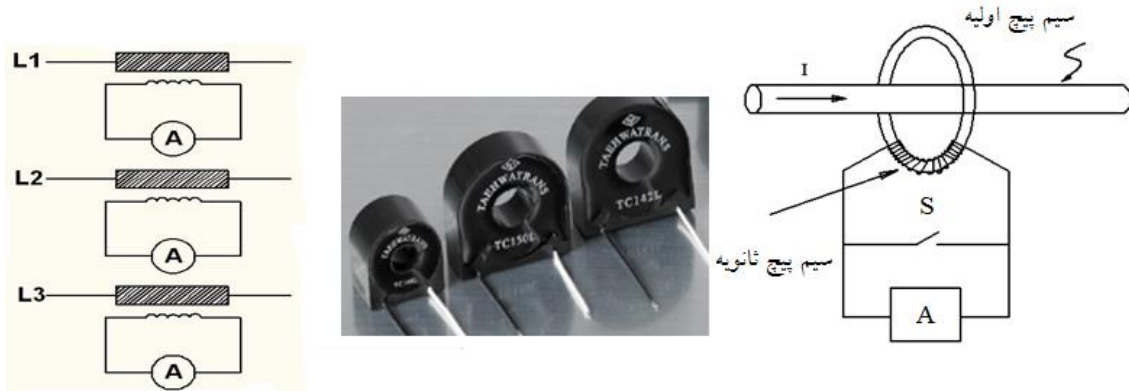


**حفاظت در مقابل اضافه بار:** هنگامی که در ترانس اضافه بار رخ می‌دهد در محفظه‌ی روغن گاز ایجاد می‌شود، گاز تولید شده وارد رله شده و در بالای آن جمع می‌شود که سبب پایین رفتن سطح روغن رله می‌شود و موجب پایین رفتن شناوری که کپسول جیوه‌ای به آن وصل می‌شود. جیوه‌ی داخل کپسول مدار سیستم خبر دهنده‌ی آن را می‌بندد. بنابراین اگر آلامر یا چراغی روشن شود نشان دهنده وجود اضافه بار در ترانس است.

**حفاظت در مقابل اتصال کوتاه:** اگر در ترانسفورماتور اتصال کوتاه رخ دهد روغن به صورت ناگهانی گرم شده و در اثر ازدیاد حجم به سمت منبع انبساط هجوم می‌برد. در این حالت یک صفحه که در جلوی مجرای ورودی روغن به رله قرار دارد، تحت فشار روغن جابه‌جا می‌شود و توسط یک کپسول جیوه‌ای مدار فرمان قطع کلید اصلی بسته شده و کلید به سرعت باز می‌شود تا از آسیب دیدن سیم‌پیچ‌ها جلوگیری شود.

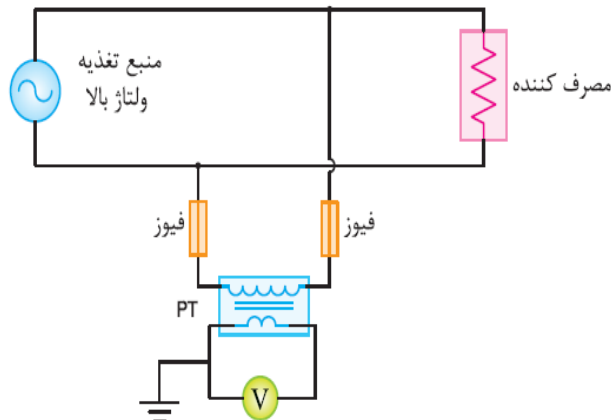
**ترانسفورماتور جریان CT:** برای اندازه‌گیری جریان‌های بالا باید از جریان نمونه برداری کرد که برای این منظور از CT استفاده می‌شود. این ترانس دارای دو سیم‌پیچ است، سیم‌پیچ اولیه دارای تعداد دور کم (معمولاً یک دور) با سطح مقطع

زیاد که در بعضی موارد از خود خط فشارقوی به عنوان سیم پیچ اولیه استفاده می شود و سیم پیچ ثانویه دارای تعداد دور زیاد با سطح مقطع کم می باشد، سیم پیچ اولیه به صورت سری با بار و سیم پیچ ثانویه توسط یک آمپر متر اتصال کوتاه می شود .

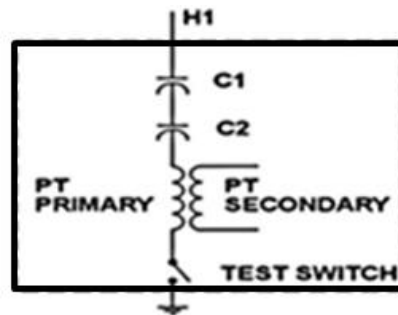


طبق استاندارد جریان ثانویه CT ها می تواند ۱ یا ۵ آمپر باشد . نکته بسیار مهم در مورد CT این است که اگر ثانویه ترانس باز شود و یا به یک ولت متر وصل شود به علت بالا رفتن ولتاژ ترمینال های ثانویه، ترانس منفجر می شوند . بنابراین در هنگامی که بخواهیم آمپر متر را تعویض کنیم باید ثانویه توسط یک کلید اتصال کوتاه شود . جهت حفاظت CT از فیوز استفاده نمی شود زیرا در هنگامی که فیوز عمل کند ثانویه ترانس اتصال باز می شود و می سوزد . جهت حفاظت ترانس جریان یک سر سیم پیچ ثانویه به زمین وصل می شود .

**ترانسفورماتور ولتاژ PT :** ترانس ولتاژ یک ترانس معمولی مانند ترانس قدرت است که برای نمونه برداری ولتاژهای بالا استفاده می شود . این ترانس دارای سیم پیچ اولیه با تعداد دور زیاد و قطر کم و سیم پیچ ثانویه دارای تعداد دور کم است . سیم پیچ اولیه به ولتاژ شبکه و سیم پیچ ثانویه به ولت متر وصل می شود، طبق استاندارد ولتاژ ثانویه PT، ۱۱۰ یا ۱۲۰ ولت است.



در شبکه های فشار قوی نمی توان مستقیم از یک PT استفاده کرد لذا ابتدا توسط چند خازن سری (مقسم خازنی) ولتاژ را کاهش داد و سپس به PT متصل کرد . به این سیستم اندازه گذاری اصطلاحاً CVT می گویند .





**خنک کردن ترانسفورماتور :** تمام تلفاتی که در هسته و سیم پیچ های ترانس در اثر اعمال ولتاژ یا بارگیری به وجود می آید به حرارت تبدیل می شود که موجب پایین آمدن راندمان و عمر ترانسفورماتور می شود، پس باید به روشی حرارت ایجاد شده در ترانس دفع شود . در ترانس های قدرت عمل خنک کنندگی توسط روغن (O) ، هوا (A) ، گاز (G) ، مایعات غیرروغنی (L) صورت می گیرد، که ممکن است به صورت طبیعی (N) یا توسط فن هوا (F) یا پمپ روغن با فشار غیرمستقیم داخل تانک (F) یا با فشار مستقیم به داخل هسته و سیم پیچ ها (D) انجام گیرد . برای مثال :

اگر هوا (Air) به صورت طبیعی (Neutral) ترانس را خنک کند با کد AN نشان داده می شود .

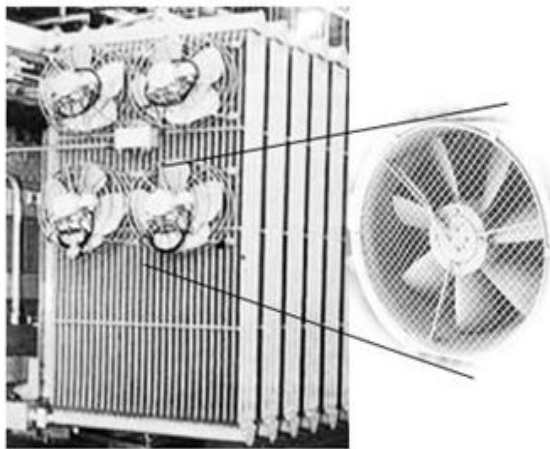
اگر هوا (Air) توسط فن (Forsed) ترانس را خنک کند با کد AF نشان داده می شود .

اگر روغن (Oil) به صورت طبیعی (Neutral) ترانس را خنک کند با کد ON نشان داده می شود .

اگر روغن (Oil) به وسیله پمپ (Forsed) ترانس را خنک کند با کد OF نشان داده می شود .

برای ترانس یک کد خنک کنندگی چهار حرفی تعریف می شود که مهمترین های آن را در جدول زیر مشاهده می کنید .

علامت اختصاری	نوع خنک کنندگی
AN	ترانسهایی که با هوا وبصورت طبیعی خنک می شوند.
AF	ترانسهایی که با هوا توسط فن خنک می شوند.
ANAN	ترانسهایی که سیم پیچ وبدنه هر دو با هوا بصورت طبیعی خنک می شوند.
ANAF	ترانسهایی که سیم پیچ وهسته بصورت طبیعی وبدنه با فن خنک میشود.
ONAN	ترانسهایی که سیم پیچ وهسته باروغن وبدنه با هوا بصورت طبیعی خنک میشوند.
ONAF	ترانسهایی که سیم پیچ وهسته با گردش طبیعی روغن وبدنه با فن خنک میشوند.
ONWF	ترانسهایی که سیم پیچ وهسته با روغن وبدنه با گردش آب خنک می شوند.
OFAN	ترانسهایی که سیم پیچ وهسته با روغن توسط پمپ وبدنه با هوا وبصورت طبیعی خنک می شوند.
OFAF	ترانسهایی که سیم پیچ وهسته باروغن وسط پمپ وبدنه با فن خنک می شوند.
OFWF	ترانسهایی که سیم پیچ وهسته با روغن توسط پمپ وبدنه توسط گردش آب خنک می شوند.



پلاک مشخصات ترانسفورماتور  
ایران ترانسفو

SHERKAT IRAN TRANSFO

Type: TSUN6359 No. 2001 Year IEC76/VDE0532

Rated power kVA 2000 Kind P.T. Frequency Hz 50

Kind of service CONT.

Rated voltage V 6000 400 Vector group Dyn11

System highest voltage 7.2/1.1

Rated current A 192.5 2888.8 Insulation class A

Impedance voltage Short circuit current kA

Cooling method ONAN Max. short circuit duration s 2

Mass of core & winding t 2.611 Max. ambient temperature °C 50

Total weight t 6.205 Sea level altitude m 1000

Oil weight t 1.32 Oil IEC 296 class I

Off circuit tap changer

Caution!: tapping is permissible only in off circuit

HV side			LV side		
Pos.	Tap changer Connections	Voltage	Connection	Voltage	Connection
1	3 - 4	6300	1V Δ 1W	2V 2W - 2W 2U	
2	4 - 2	6150			
3	2 - 5	6000			
4	5 - 1	5850			
5	1 - 6	5700			

MADE IN IRAN

پلاک مشخصات ترانسفورماتور  
ایران ترانسفو ری

SHERKAT IRAN TRANSFO REY

Model TSUN 6444C شماره 285882 سال ساخت 1387 IEC90078

قدرت اسمی kVA 250 نوع PT فرکانس اسمی Hz 50

طرز کار CONT.

ولتاژ اسمی V 20000 400/231 گروه اتصال Dyn 5

مجموعه حرارت محیط °C 40

جرم عایق بندی A

زمان ماکزیم اتصال کوتاه s 2

وزن روغن kg 267

وزن کل kg 9128 OIL IEC 60296 CLASS I

نوع خنک کننده ONAN سطح مایع kV LI125AC 50/LI - AC 3

کلید تنظیم ولتاژ

تنظیم لطف در حالت بدون ولتاژ مجاز است

طرف فشار ضعیف	طرف فشار قوی	ولتاژ	گروه اتصال
2W	1	21000	2-3
2U	2	20000	3-1
2V	3	19000	1-4

MADE IN IRAN

مشخصه	توضیح
Type no	نوع ترانسفورماتور یا توجه به کد کارخانه
Year	سال تولید ۲۰۰۱ به میلادی
IEC76 / VDE 0532	شماره استاندارد ساخت ترانسفورماتور
Rated power	قدرت نامی به ۲۰۰۰ KVA
Kind (PT)	نوع ترانسفورماتور (ترانسفورماتور ولتاژ)
Rated voltage	ولتاژ نامی (۶۳۰۰/۴۰۰-۶۰۰۰-۵۷۰۰ به ولت)
Kind of service	نوع کار (دائم CONT. =)
Vector group	گروه برداری (Dyn 11)
Frequency	فرکانس (۵۰ هرتز)
Rated current	جریان نامی (۱۹۲/۲۸۸۶ آمپر)
System highest voltage	بیشترین ولتاژ قابل تحمل (۷/۲ / ۱/۱ کیلو ولت)
Insulation class	کلاس عایقی A
Impedance voltage	درصد ولتاژ اتصال کوتاه
Cooling method	روش خنک سازی ترانسفورماتور ONAN
Short circuit current	جریان اتصال کوتاه به آمپر
MAX. Short circuit duration	بیشترین زمان تحمل جریان اتصال کوتاه (۲ ثانیه)
MAX. Ambient temperature	بیشترین دمای مجاز محیط (۵۰ °C)
Mass of core & winding	وزن هسته و سیم پیچ (۲٫۶۱۱ تن)
Total weight	وزن کل (۶٫۲۰۵ تن)
Oil weight	وزن روغن (۱٫۳۲ تن)
Sea level altitude	ارتفاع از سطح دریا (۱۰۰۰ متر)
Oil IEC ۲۹۶ class	کلاس روغن بر اساس استاندارد IEC ۲۹۶ (I)



## فصل دهم: موتورهای القایی سه فاز و تک فاز

ماشین های الکتریکی ac شامل ترانسفورماتورها، موتورها و مولدهای آسنکرون، موتورهای و مولد های سنکرون و برخی از ماشین های مخصوص می شود. تمام ماشین های الکتریکی فوق هم به صورت تک فاز و هم به صورت سه فاز ساخته می شوند و با توجه به شرایط مختلف نوع تک یا سه فاز آنها مورد استفاده قرار می گیرند. در فصل قبل انواع ترانسفورماتورها بررسی شد و در این بخش به بررسی مبانی ماشین های گردان و موتورهای القایی سه فاز و تکفاز می پردازیم.

به طور کلی ماشین های الکتریکی سه فاز به دو دسته ی آسنکرون ( القایی) و سنکرون تقسیم بندی می شوند که به صورت مولدی و موتوری مورد استفاده قرار می گیرند. مهمترین تفاوت ماشین های سنکرون و آسنکرون عبارتند از:

- ۱ - سرعت میدان دوار و سرعت رتور در ماشین های سنکرون برابر است ولی در ماشین های آسنکرون سرعت رتور کمتر از سرعت میدان دوار است.
- ۲ - ماشین های آسنکرون تنها نیاز به برق ac دارند ولی ماشین های سنکرون علاوه به برق ac احتیاج به برق dc نیز دارند.
- ۳ - موتورهای سنکرون احتیاج به راه انداز دارند ولی موتورهای آسنکرون احتیاجی به راه انداز ندارند.
- ۴ - طول فاصله هوایی ماشین های سنکرون بیشتر از ماشین های آسنکرون است.
- ۵ - ماشین های آسنکرون اغلب به عنوان موتور و ماشین های سنکرون به عنوان مولد استفاده می شوند.

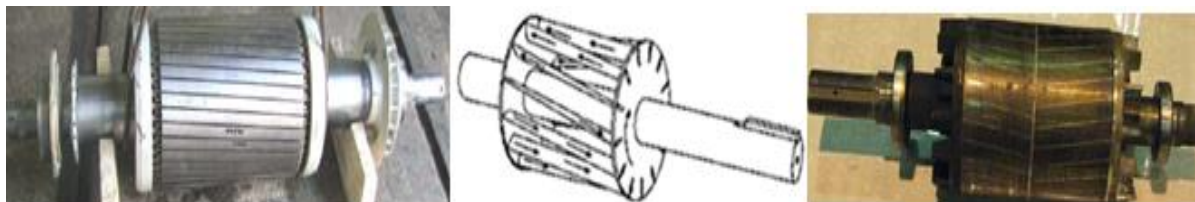
### قسمت های تشکیل دهنده ی موتور القایی

- ۱ - استاتور: قسمت ثابت موتور را استاتور می گویند که از سه قسمت قاب، هسته و سیم بندی تشکیل شده است. قاب استاتور: قاب استاتور معمولاً از آهن یا ورق ساخته می شود و وظیفه حفاظت از ساختمان داخلی موتور و جلوگیری از پراکندگی خطوط قوا را بر عهده دارد.
- هسته: هسته داخل بدنه ی استاتور قرار دارد و به منظور کاهش تلفات فوکو آنها را ورقه ورقه می سازند و نیز برای کاهش تلفات هیستریزیس به ورقه ها سیلیسیم افزوده می شود، داخل هسته استاتور شیارهایی جهت سیم بندی تعبیه شده است.
- سیم پیچ های استاتور: سیم پیچی استاتور مبتنی بر اصول و قواعد مهندسی بوده و در کارخانه انجام می شود و در صورت معیوب شدن می توان سیم پیچ ها را تعویض کرد. برق به سیم پیچ ها اعمال می شود و میدان مغناطیسی را ایجاد می کند.

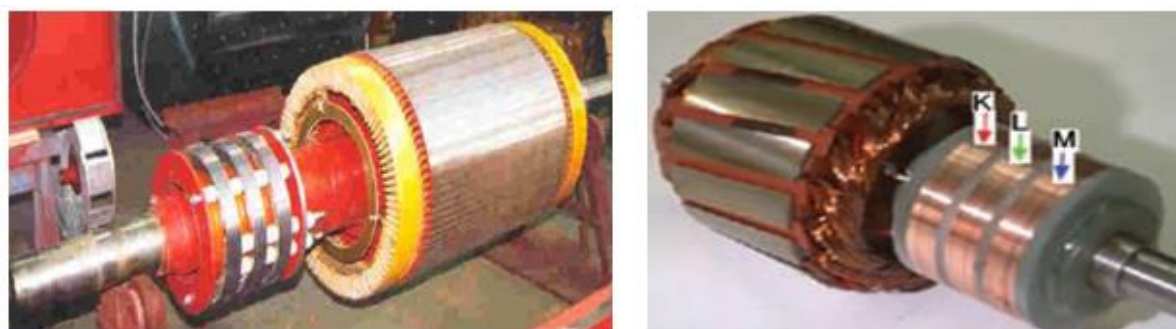


- ۲ - رتور: به قسمت گردنده ی ماشین که داخل استاتور قرار می گیرد، رتور می گویند. رتور با حرکت دورانی خود موجب به حرکت درآمدن بارهای مکانیکی کوپل شده به آن می شود، و به دو صورت قفسه ای و سنجابی ساخته می شود.

الف - رتور قفسه‌ای: این نوع رتورها محوری فولادی دارد که بر روی آن ورقه های مغناطیسی نصب شده است. در اطراف این هسته‌ی مغناطیسی استوانه ای شکل، شکاف هایی پیش بینی شده است که آن‌ها را با میله‌های آلومینیومی یا مسی پر می‌کنند و سر و ته این میله‌ها توسط حلقه‌هایی هم جنس با آن‌ها به هم وصل می‌شوند تا مداری بسته به دست آید، مجموعه‌ی این میله‌ها و حلقه‌ها را سیم پیچی رتور می‌نامند. از آنجایی که این رتور شبیه به قفس است آن را رتور قفسی می‌نامند.



ب - رتور سیم پیچی: موتور با رتور سیم پیچی شده یا رتور رینگ به جای مفتول های فلزی همانند استاتور سیم بندی می‌شوند که از طریق سه عدد رینگ و ذغال به تخته کلم (جعبه اتصالات) مرتبط می‌شود.



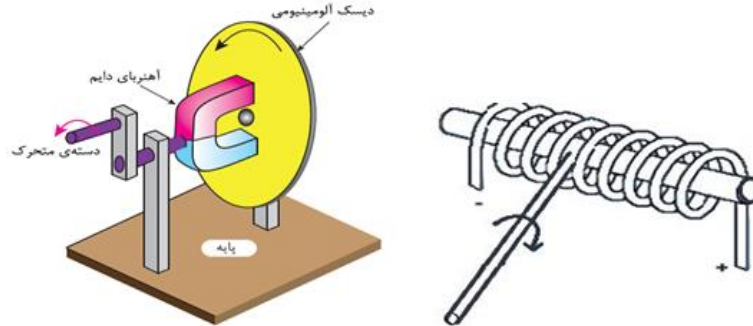
مقایسه‌ی موتورهای رتور قفسی و رتور سیم پیچی: ساختن موتورهای رتور قفسی نسبتاً ساده و ارزان است، وزن این موتورها کم و سرویس و نگهداری آن‌ها راحت است، اما جریان راه اندازی بالا و گشتاور راه اندازی پایین از معایب آن محسوب می‌شود در مقابل موتورهای رتورسیم پیچی قیمت گرانی دارند و به دلیل وجود رینگ و ذغال در هنگام کار ایجاد جرقه می‌کند، جریان راه‌اندازی کم و گشتاور راه اندازی بزرگی دارند. موتورهای رتور قفسی از توان های کم تا متوسط (حداکثر ۵ kw) به طور گسترده استفاده می‌شوند و موتورهای رتورسیم‌پیچی در قدرت‌های بالای ۵ kw تا چند صد کیلو وات استفاده دارند.

علاوه بر قسمت های فوق اجزای دیگر مانند پروانه خنک کننده، تخته کلم، درپوش‌ها و قالباق‌ها نیز در ساختمان موتور به کار گرفته می‌شوند، جنس قالباقها و درپوش‌ها از چدن می‌باشد که به وسیله پیچ و مهره به بدنه وصل می‌شود و وظیفه اصلی آن محکم کردن رتور و نگه داشتن آن داخل استاتور است در یک طرف قالباق‌ها پروانه‌ی خنک کننده روی محور رتور سوار می‌شود و در طرف دیگر قالباق‌ها شافت یا محور رتور خارج می‌شود که به وسیله آن نیروی دورانی موتور به خارج منتقل می‌شود.

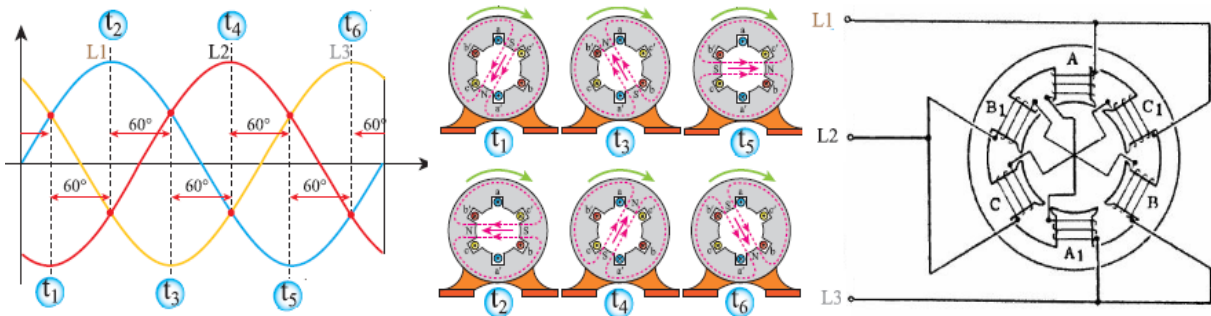
جعبه اتصالات یا تخته کلم بر روی بدنه‌ی موتور قرار دارد که سر و ته سیم پیچ های استاتور داخل آن قرار می‌گیرد، داخل تخته کلم می‌توان سیم پیچ‌ها را به هم اتصال داد و آن‌ها را به شبکه متصل کرد.

مفهوم و روش های ایجاد میدان دوار

۱ - ایجاد میدان دوار به روش چرخ قطب : اگر یک سیم پیچ را روی هسته ای بیچیم و از آن جریان DC عبور دهیم در اطراف آن یک میدان مغناطیسی ایجاد می شود . با به گردش در آوردن محور هسته میدان نیز می چرخد پس یک میدان دوار داریم . در شکل زیر نحوه ی ایجاد میدان دوار آمده است که در مولدهای سنکرون مورد استفاده قرار می گیرد .



۲ - ایجاد میدان دوار توسط جریان های سه فاز : اگر به یک موتور سه فاز که دارای سه سیم پیچ مشابه از لحاظ سطح مقطع، تعداد دور و ... با اختلاف مکانی ۱۲۰ درجه است جریان های سه فاز که دارای دامنه یکسان و اختلاف زمانی ۱۲۰ درجه است اعمال کنیم یک میدان دوار در فاصله ی بین استاتور و رتور ایجاد می شود . این روش در موتور های القایی استفاده می شود و در شکل زیر نمایش داده شده است .



نحوه ی عملکرد موتور القایی

با اعمال برق سه فاز به سیم پیچ های سه فاز ی موتور، یک میدان مغناطیسی دوار در فاصله ی بین رتور و استاتور ایجاد می شود ، این میدان دوار هادی های رتور را قطع می کند و موجب القای ولتاژی در آن می شود . از آنجایی که مدار الکتریکی رتور مسیر بسته ای است پس ولتاژ القایی موجب جاری شدن جریان می شود، این جریان میدان مغناطیسی رتور را ایجاد می کند . در اثر تقابل دو میدان رتور و استاتور، گشتاور به وجود می آید که موجب حرکت دورانی مداوم رتور در جهت میدان استاتور می شود . سرعت میدان دوار ثابت و از رابطه زیر بدست می آید .

$$ns = \frac{f}{p}$$

در این رابطه

Ns : سرعت میدان دوار بر حسب دور بر ثانیه (RPS)

f : فرکانس شبکه بر حسب هرتز (Hz)

P : تعداد جفت قطب های استاتور (۲P تعداد قطب ها)

معمولا سرعت میدان دوار را بر حسب دور بر دقیقه RPM بیان می کنند که به این منظور عدد ۶۰ در فرمول ضرب می شود .

$$ns = \frac{60f}{p}$$

مثال- اگر به الکتروموتور القایی سه فازی برق سه فاز با فرکانس ۵۰ Hz اعمال شود، سرعت میدان دوار را بدست آورید اگر موتور با ۸ قطب سیم بندی شده باشد ؟

$$ns = \frac{50}{4} = 12.5 \text{ rps} \quad , \quad ns = \frac{60 \times 50}{4} = 750 \text{ rpm}$$

مثال - سرعت حوزه دوار موتور سه فاز القایی ۱۲ قطب به ترتیب در فرکانس های ۵۰ و ۶۰ هرتز چقدر است

$$f = 50 \text{ Hz} \quad \rightarrow \quad ns = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{6} = 500 \text{ rpm}$$

$$f = 60 \text{ Hz} \quad \rightarrow \quad ns = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 60}{6} = 600 \text{ rpm}$$

۲p	ns
۲	۳۰۰۰
۴	۱۵۰۰
۶	۱۰۰۰
۸	۷۵۰
۱۰	۶۰۰
۱۲	۵۰۰

سرعت های قابل دسترسی از موتورهای القایی با قطب های مختلف در فرکانس ۵۰ هرتز

همانطور که از جدول و روابط فوق دیده می شود ، حداکثر سرعت موتور القایی در برق ایران ۳۰۰۰ دور در دقیقه است .

**سرعت لغزش:** سرعت حرکت رتور با سرعت میدان دوار اختلاف دارد، مقدار این اختلاف را سرعت لغزش می نامند، سرعت لغزش باعث القای جریان در مدار روتور می شود و با  $\Delta n$  نشان داده می شود .

$$\Delta n = ns - nr$$

مثال - یک موتور الکتریکی با ۲ قطب به شبکه ۵۰ هرتز وصل است اگر سرعت رتور ۲۸۸۰ دور بر دقیقه اندازه گیری شده باشد سرعت میدان دوار و سرعت لغزش را حساب کنید .

$$ns = \frac{60 \times 50}{2} = 3000 \text{ rpm} \quad , \quad \Delta n = 3000 - 2880 = 120 \text{ rpm}$$

**لغزش:** معمولاً به جای سرعت لغزش از لغزش استفاده می شود که عبارت است از، نسبت سرعت لغزش به سرعت میدان دوار (سرعت سنکرون) که با  $S$  نمایش داده می شود.

$$s = \frac{ns - nr}{ns}$$

مثال - یک موتور القایی ۴ قطب به شبکه ای با فرکانس ۵۰ Hz وصل است اگر رتور با سرعت ۱۴۴۰ دور بر دقیقه بچرخد لغزش را محاسبه کنید .

$$ns = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{4} = 1500 \text{ rpm} \quad , \quad ns = \frac{1500 - 1440}{1440} = 0.04 \rightarrow S = 4\%$$

مثال - تعداد دور الکتروموتور سه فاز القایی ۱۳۵۰ دور در دقیقه است ، لغزش روتور چند درصد است ؟

از آنجایی که سرعت رتور نزدیک سرعت سنکرون است پس سرعت سنکرون موتور ۱۵۰۰ دور در دقیقه است .

$$s = \frac{ns - nr}{ns} = \frac{1500 - 1350}{1500} = 0.1 \quad , \quad \% S = 10\%$$

رابطه‌ی سرعت میدان روتور : سرعت میدان دوار همواره نزدیک سرعت سنکرون است و بر روی Name Plate موتور درج می شود این سرعت را می توان توسط دور سنج اندازه گیری کرد .

$$s = \frac{ns - nr}{ns} \rightarrow s \cdot ns = ns - nr \rightarrow nr = ns - s \cdot ns \rightarrow nr = ns (1 - s)$$

مثال- سرعت یک الکتروموتور ۱۴ قطبی با فرکانس ۶۰ هرتز و لغزش ۵٪ چقدر است ؟

$$ns = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \times 60}{4} = 900 \text{ rpm}, \quad nr = ns (1 - s) \quad nr = 900 (1 - 0.05) = 855 \text{ rpm}$$

### حدود تغییرات لغزش

لغزش واحد : در هنگام راه اندازی از آنجایی که سرعت رتور صفر است پس لغزش برابر یک است . به این حالت ماشین حالت ترانسفورمری نیز می گویند چون موتور القایی در حالت راه اندازی همانند یک ترانس عمل می کند .

$$s = \frac{ns - nr}{ns}, \quad nr = 0, \quad s = \frac{ns - 0}{ns} = 1$$

لغزش صفر : در حالت بی باری سرعت رتور تقریباً برابر سرعت میدان دوار است . اگر سرعت رتور برابر سرعت میدان دوار فرض شود لغزش برابر صفر است .

$$s = \frac{ns - nr}{ns}, \quad ns = nr, \quad s = \frac{ns - nr}{ns} = \frac{0}{ns} = 0$$

نکته : از روابط فوق مشخص می شود که حدود تغییرات لغزش در موتورهای القایی بین ۰ تا ۱ است و به میزان بار مکانیکی متصل به محور بستگی دارد، در هنگام راه اندازی که موتور هنوز به حرکت نیفتاده لغزش صفر و با دور گرفتن رتور لغزش نیز بزرگ می شود، اگر باری روی محور رتور نباشد و از اصطکاک محور و مقاومت هوا که حداقل باری را برای موتور ایجاد می کنند صرف نظر کنیم می توان لغزش را صفر در نظر گرفت . اما دو حالت دیگر برای موتور القایی قابل تصور است :

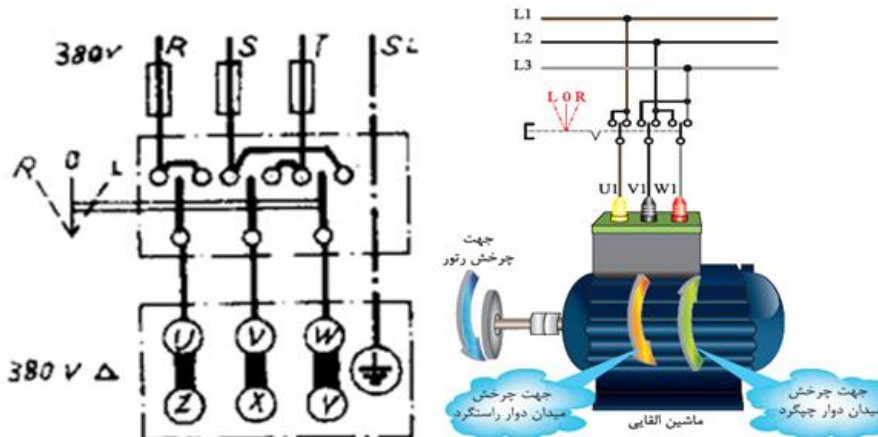
لغزش منفی : در حالت مولدی سرعت حرکت رتور بیش از سرعت میدان دوار می باشد و لغزش منفی خواهد شد .

$$nr > ns, \quad s = \frac{ns - nr}{ns} \rightarrow S < 0$$

لغزش بزرگتر از واحد : اگر روتور در خلاف جهت حرکت میدان دوار گردش کند ، لغزش بزرگتر از واحد اتفاق می افتد که به معنی ایجاد حالت ترمزی در موتور القایی است .

$$nr = -nr, \quad s = \frac{ns - nr}{ns} \rightarrow S > 1$$

تغییر جهت گردش موتور : برای تغییر گردش حرکت موتور سه فاز جای دو فاز از سه فاز ورودی آن را عوض می کنیم که موجب عکس شدن جهت میدان دوار و در نتیجه عکس شدن جهت حرکت موتور می شود این عمل به وسیله کلید های چپ گرد-راستگرد، مدارات کنتاکتوری و ... انجام می شود در این حالت لغزش کل ماشین S - ۲ خواهد بود .



### راندمان در موتورهای القایی

در موتورهای القایی توان ورودی از نوع الکتریکی است و بر حسب وات سنجیده می شود و توان خروجی از نوع مکانیکی بوده و بر حسب اسب بخار hp بیان می شود. از تقسیم توان خروجی به توان ورودی  $\eta = \frac{P_2}{P_1}$  راندمان بدست می آید. راندمان یا ضریب بهره موتور القایی همانند تمام ماشین های الکتریکی ۱۰۰٪ نیست چون مقداری تلفات دارد که در زیر به بررسی این تلفات می پردازیم.

**تلفات مسی استاتور:** به دلیل عبور جریان از سیم پیچ های استاتور که دارای مقاومت اهمی هستند تلفات مسی استاتور به وجود می آید. این تلفات باید حداقل باشد به همین دلیل در طراحی سعی می شود تا سیم پیچ ها کمترین مقاومت را داشته باشد. تلفات مسی استاتور به مقاومت اهمی و جریان عبوری از آن ها بستگی دارد.

$$P_{SCL} = 3 R_s \cdot I^2$$

**تلفات مسی روتور:** به دلیل عبور جریان القایی از سیم پیچ های روتور تلفات مسی روتور ایجاد می شود، بر خلاف تلفات مسی استاتور که باید کم باشد، تلفات مسی روتور نباید از حدی کمتر باشد زیرا تلفات مسی روتور یا تلفات گرمایی (ژول) روتور لازمی ایجاد گشتاور است. تلفات مسی روتور به مقاومت اهمی سیم پیچ های روتور و جریان القایی بستگی دارد چون جریان القایی به لغزش بستگی دارد پس این تلفات به لغزش وابسته است.

**تلفات آهنی:** تلفاتی که در هسته ی ماشین های الکتریکی ایجاد می شود تلفات هسته نامیده می شود، از آنجایی که جنس هسته از آهن و آلیاژهای آن است پس به آن تلفات آهنی می گویند. تلفات آهنی شامل تلفات فوکو و هیستریزس است.

$$P_{RCL} = 3 R_r \cdot I^2$$

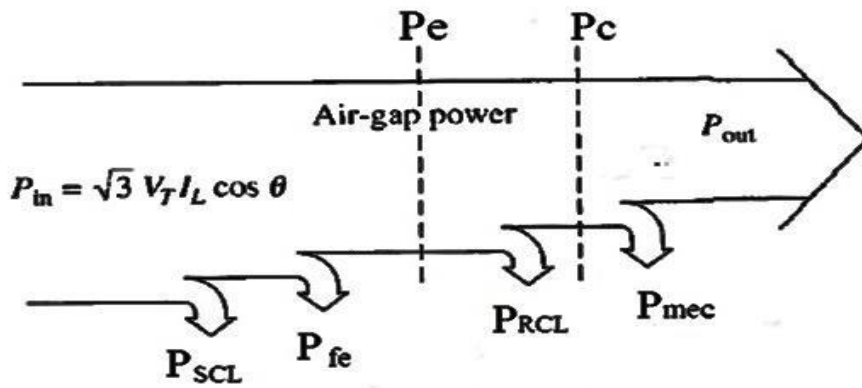
تلفات فوکو (ادی): القای ولتاژ در هسته ی ماشین های الکتریکی موجب جاری شدن جریان های گردابی در هسته و گرم شدن آن می شود، برای کاهش تلفات فوکو هسته ی ماشین های الکتریکی را ورقه ورقه می سازند. تلفات فوکو به فرکانس، ولتاژ، جنس هسته از نظر الکتریکی، ضخامت ورقه ها و ابعاد آن بستگی دارد.

تلفات هیستریزس: تلفات هیستریزس به فرکانس، ولتاژ، جنس هسته از نظر مغناطیسی و ابعاد هسته بستگی دارد، برای کاهش تلفات هیستریزس به هسته حداکثر ۴/۵٪ سیلیسیم اضافه می کنند. که موجب باریک شدن سطح حلقه هیستریزس می شود.

**تلفات مکانیکی:** در قسمت های دوار موتور القایی به علت وجود اصطکاک در یاتاقان ها و مقاومت هوا مقداری تلفات گرمایی ایجاد می شود که آن را تلفات مکانیکی می نامند. این تلفات به سرعت دوران روتور و نحوه ی طراحی ماشین بستگی دارد. به مجموع تلفات آهنی و مکانیکی (تلفات ثابت) و به مجموع تلفات مسی استاتور و روتور (تلفات متغیر) می گویند.

نوع تلفات	میزان درصد از کل تلفات
تلفات ثابت یا تلفات هسته	۲۵
تلفات مسی استاتور	۳۴
تلفات مسی رتور	۲۱
تلفات ناشی از اصطکاک و تهویه	۱۵
تلفات بار	۵

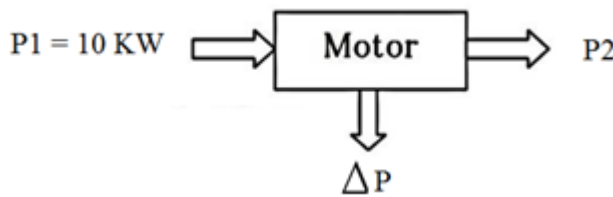
دیاگرام توازن توان در موتور القایی



روابط زیر را می توان از دیاگرام توازن توان استخراج کرد .

$\Delta P = P_1 - P_2$	$\Delta P = P_{scl} + P_{fe} + P_{rcl} + P_{mec}$	$P_e = P_2 + (P_{rcl} + P_{mec})$
$P_e = P_1 - (P_{scl} + P_{fe})$	$P_c = P_1 - (P_{scl} + P_{fe} + P_{rcl})$	$P_c = P_2 + (P_{mech})$
$P_c = P_e - P_{rcl}$	$P_c = P_e (1 - S)$	$P_{rcl} = S \times P_e$

مثال - راندمان در موتور الکتریکی زیر چند درصد است ؟



$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1}{P_1 - \Delta p} = \frac{10000}{10000 - 1000} = 90\%$$

مثال - در یک الکتروموتور سه فاز القایی تلفات مسی استاتور ۵۰۰W، تلفات مسی روتور ۲۰۰W، تلفات مکانیکی ۱۰۰W و تلفات آهنی ۴۰۰W می باشد، اگر توان خروجی ۱۰ Kwatt باشد راندمان الکتروموتور را محاسبه کنید .

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{10000}{10000 + 500 + 200 + 100 + 400} = 89\%$$

مثال- اگر توان ورودی یک الکتروموتور سه فاز ۱۲ کیلووات باشد مطلوب است محاسبه توان فاصله‌ی هوایی  $P_e$  و توان تبدیل یافته  $P_c$  در صورتی که موتور در سرعت ۱۴۴۰ rpm دارای لغزش ۴٪ و مجموع تلفات استاتور ۱ کیلووات باشد .

$$P_e = P_1 - (P_{cus} + P_{fe}) = 12 - 1 = 11 \text{ Kw}$$

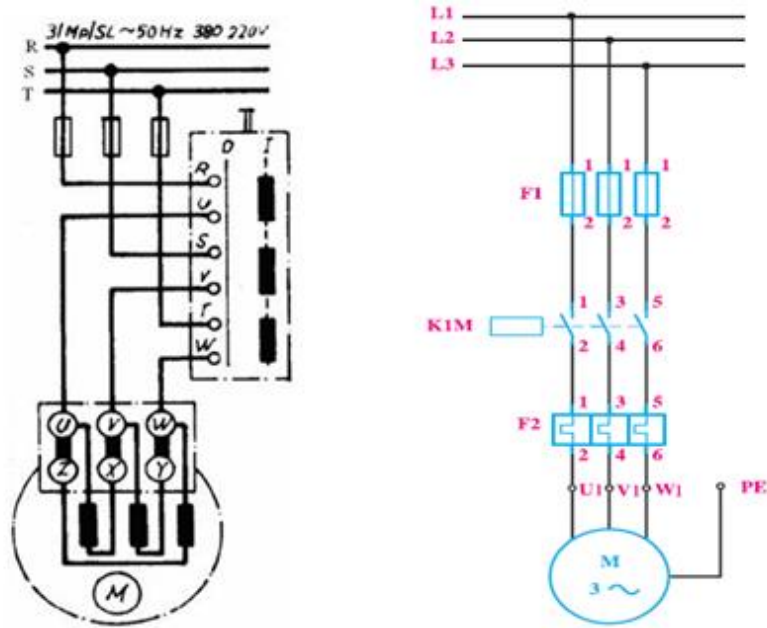
$$P_c = P_e (1 - S) = 11 (1 - 0.04) = 10.56 \text{ Kw}$$

روش های راه اندازی موتور های القایی

یکی از مشکلات اساسی موتورهای القایی جریان راه‌اندازی بالای آنها می‌باشد که در حدود ۵ تا ۷ برابر جریان نامی است . بنابراین باید طوری موتور را راه‌اندازی کنیم تا جریان راه‌اندازی مشکل خاصی را ایجاد نکند . راه‌اندازی الکتروموتورهای سه فاز به سه روش اتصال مستقیم، روش استاتوری و روش رتوری صورت می‌گیرد که در زیر به بررسی هر روش می‌پردازیم .

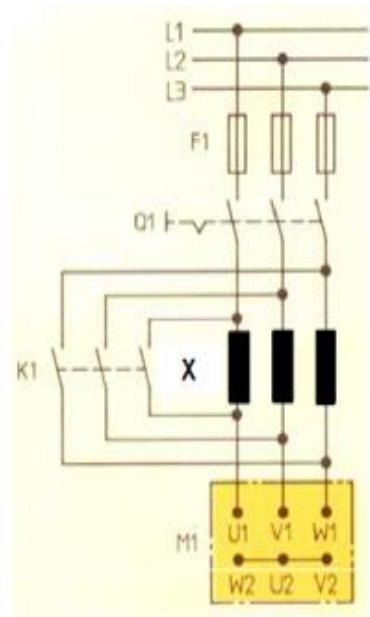
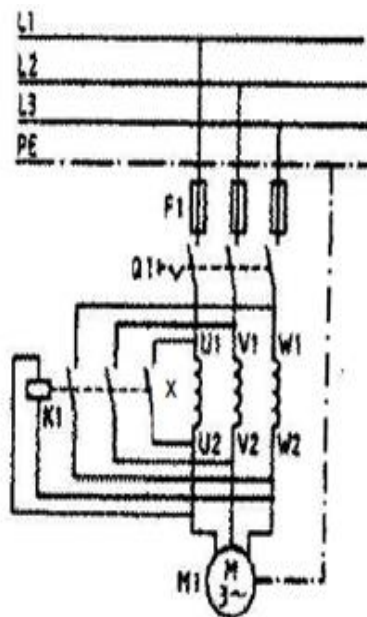
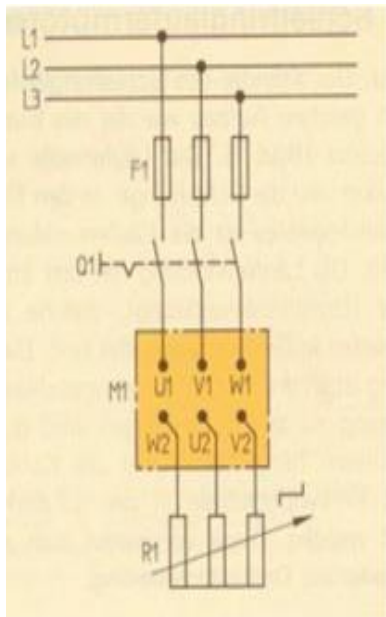


۱ - اتصال مستقیم موتور به شبکه : موتورهای سه فاز با قدرت کم را می‌توان به‌طور مستقیم به شبکه وصل کرد اما موتورهای پر قدرت را نمی‌توان مستقیم راه‌اندازی کرد زیرا جریان راه‌اندازی زیاد موجب آسیب دیدن سیم بندی استاتور، نوسانات ولتاژ شبکه و ... می‌شود، همچنین نیاز به تجهیزات با تحمل جریان بیشتر می‌باشد که هزینه‌ها را افزایش می‌دهد .



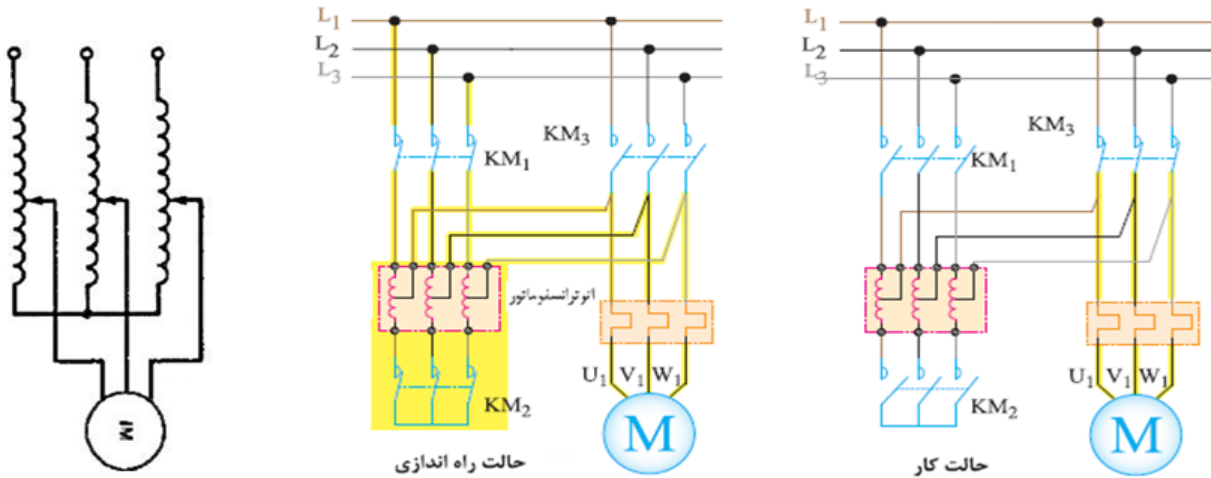
۲ - اتصال موتور به روش استاتوری : در این روش مکانیزم کار براساس کاهش ولتاژ اعمالی به استاتور است که موجب کاهش جریان راه‌اندازی می‌شود، از این روش در بی‌باری یا بارهای کم استفاده می‌شود و به روش‌های زیر قابل اجرا است :

الف - استفاده از مقاومت راه انداز : در این روش از مقاومت های راه انداز برای کاهش جریان استاتور استفاده می‌شود . بعد از راه اندازی این مقاومت‌ها توسط کلیدی از مدار خارج می‌شوند . در این روش راه اندازی مقداری انرژی به صورت گرما در مقاومت های اهمی تلف می‌شود ، برای رفع این مشکل می‌توان به جای مقاومت از راکتور یا چوک استفاده کرد که موجب افزایش هزینه‌ها و کاهش ضریب قدرت می‌شود . اگر اتصال سیم پیچ های استاتور به صورت ستاره باشد می‌توان مقاومت ها را به انتهای سیم پیچ ها روی تخته موتور نصب کرد .

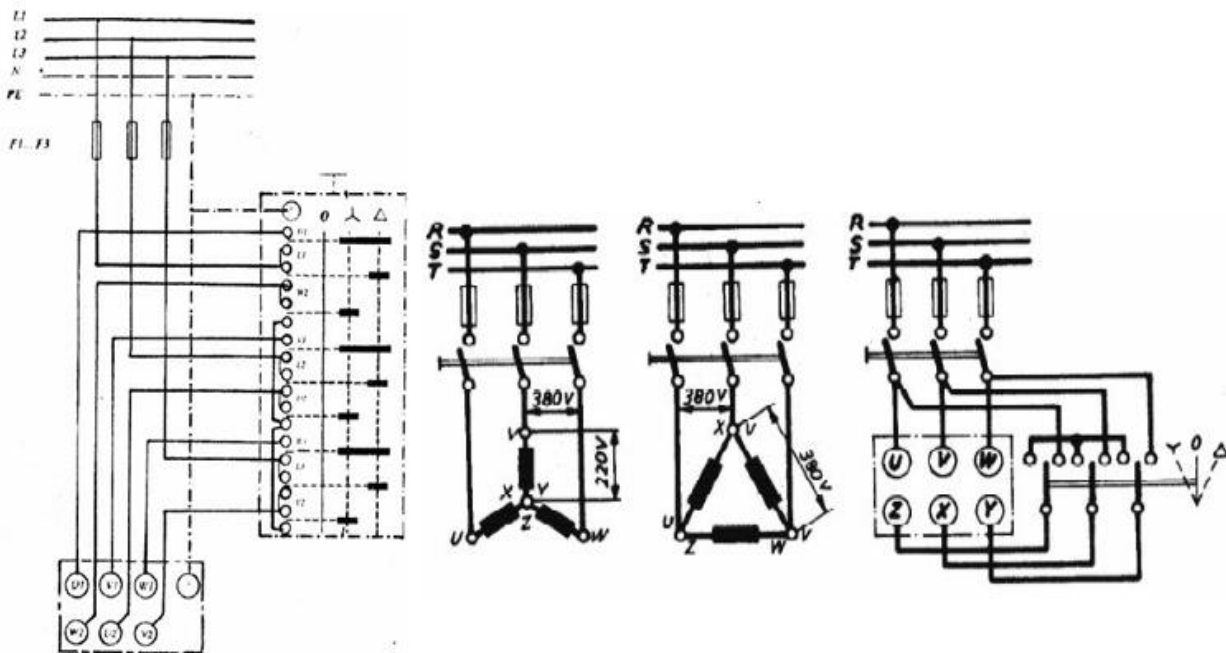




ب - استفاده از ترانسفورماتور راه انداز : به وسیله ی یک ترانس متغیر می توان ولتاژ را در هنگام راه اندازی کاهش و به تدریج افزایش داد تا به ولتاژ نامی برسد . این روش یکی از روش های خوب است زیرا جریان و گشتاور راه اندازی هر دو به یک نسبت کاهش می یابند اما به دلیل هزینه ی بالای آن تنها در موتورهای پر قدرت استفاده می شود .

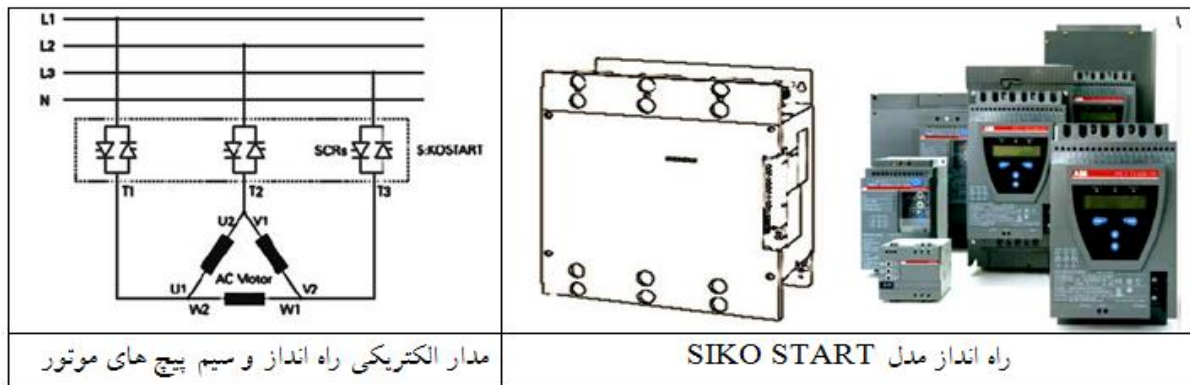


ج - استفاده از روش ستاره - مثلث : در این روش اتصال سیم پیچ های استاتور در لحظه ی راه اندازی به صورت ستاره و در هنگام کار عادی به صورت مثلث می باشد . در حالت ستاره ولتاژ فازی و به تبع آن جریان فازی نسبت به حالت مثلث  $\sqrt{3}$  مرتبه کم تر است . به این ترتیب جریان خط، توان و گشتاور در زمان راه اندازی  $\frac{1}{3}$  خواهد بود .

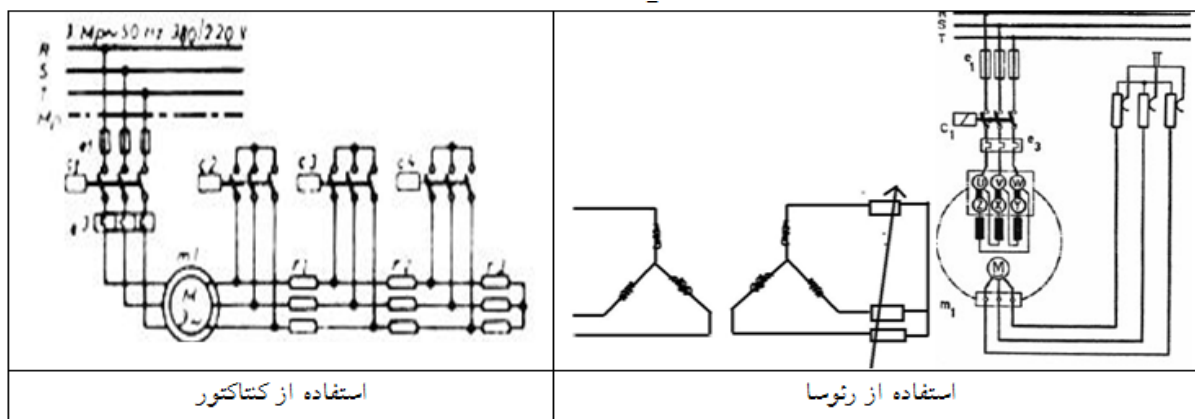


نکته : موتورهایی که برای اتصال ستاره طراحی شده اند را نمی توان از این روش راه اندازی کرد چون سیم پیچ های آن تحمل ولتاژ خطی را ندارند . مثلاً بر روی پلاک یک موتور مقادیر  $220/380\text{ V}$  نوشته شده است . این موتور در شبکه برق ایران فقط می تواند به صورت ستاره کار کند و اگر سیم پیچ ها را به صورت مثلث به شبکه وصل کنیم تحمل ولتاژ  $380\text{ V}$  را نخواهند داشت و می سوزد، چون ولتاژ قابل تحمل برای آن ها ولتاژ کمتر ( $220\text{ V}$ ) است . این مطلب در قسمت پلاک خوانی مفصل توضیح داده شده است .

استفاده از کنترل کننده های کاهش ولتاژ از نوع حالت جامد: یکی از روش های راه اندازی الکتروموتورهای سه فاز استفاده از کنترل کننده های حالت جامد یا راه انداز نرم موتورهای الکتریکی می باشد. این راه انداز ها از المان های نیمه هادی قدرت توسط شرکت های معروفی چون زیمنس ساخته می شوند و بر اساس اعمال تدریجی ولتاژ به استاتور عمل می کنند. در شکل زیر راه انداز مدل SIKO START ساخت زیمنس به همراه مدار الکتریکی آن ترسیم شده است. این راه انداز برای موتورهای بالاتر از ۱۰۰۰ اسب بخار استفاده می شود.



۳- روش راه اندازی رتوری: چنانچه در مسیر موتورهای با روتور سیم پیچی شده از مقاومت راه انداز استفاده کنیم، جریان راه اندازی روتور و به تبع آن جریان راه اندازی استاتور نیز کاهش می یابد. در موتورهای پر قدرت به دلیل زیاد بودن جریان استفاده از رتوسا امکان پذیر نیست، از کنتاکتور برای خارج کردن مقاومت ها استفاده می شود.



### روش های کنترل سرعت موتور القایی

۱- کنترل سرعت از طریق کنترل ولتاژ: گشتاور یک موتور القایی به ولتاژ ورودی بستگی دارد در نتیجه با تغییر ولتاژ ورودی مشخصه گشتاور-دور موتور تغییر می کند. بنابراین با تغییر در ولتاژ ورودی تا حدودی سرعت موتور قابل کنترل است. افزایش ولتاژ به دلیل مسائل عایقی حداکثر تا ۲۰ درصد ولتاژ نامی امکان پذیر است. و کاهش ولتاژ به تنهایی موجب تغییر فوران و میدان دوار می شود که اثر نامطلوبی دارد.

۲- کنترل سرعت موتور القایی از طریق کنترل فرکانس: بر اساس رابطه سرعت سنکرون، سرعت میدان دوار با فرکانس شبکه رابطه مستقیم دارد. برای تغییر فرکانس از مبدل های فرکانس استفاده می شود که بسیار گران قیمت هستند.

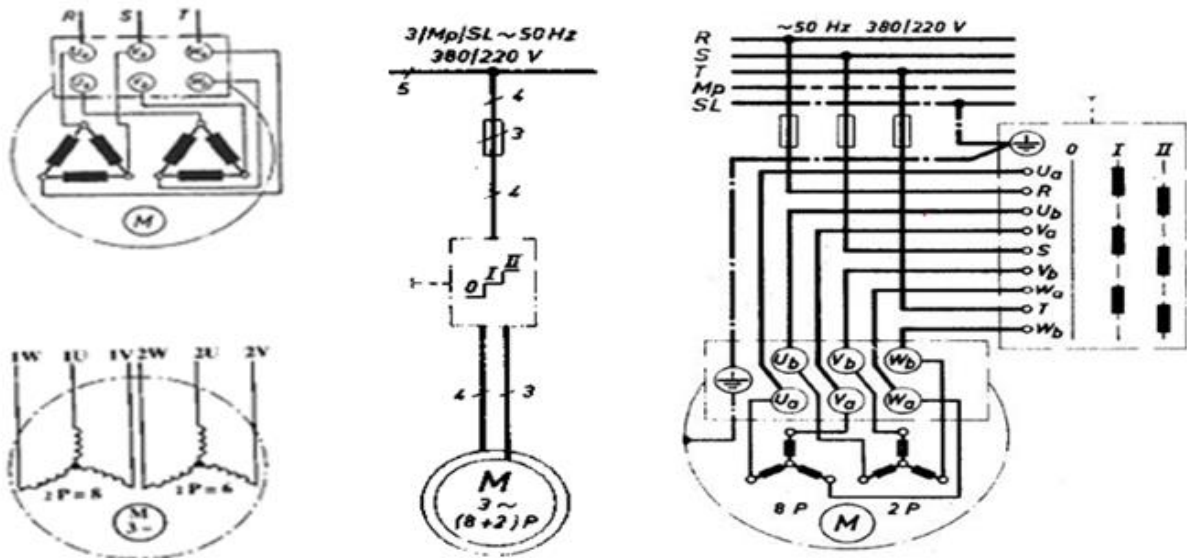
$$ns = \frac{60f}{p}$$

تغییرات فرکانس نیز به تنهایی موجب تغییر فوران ماشین می شود که اثرات نامطلوبی را به جا می آورد.



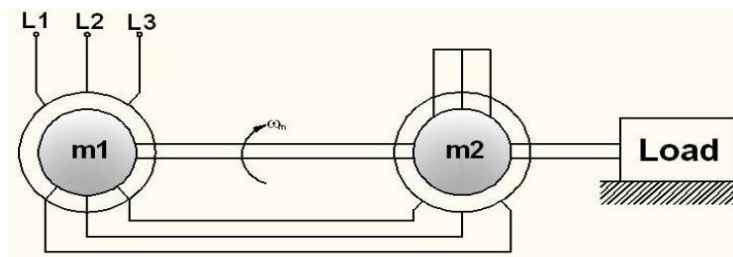
۳ - کنترل همزمان ولتاژ و فرکانس : سرعت موتور القایی را با تغییر ولتاژ و فرکانس اعمالی به موتور کنترل کرد، اما تغییر جداگانه هر کدام موجب تغییر در فوران مغناطیسی موتور می شود.  $(\phi \propto \frac{V}{f})$   
 با توجه به رابطه فوق اگر همزمان با تغییر ولتاژ فرکانس را نیز تغییر دهیم دامنه‌ی میدان دوار ثابت می ماند، اما مبدل های تغییر ولتاژ و فرکانس نیز بسیار گران قیمت هستند .

۴ - کنترل سرعت از طریق استفاده از دو سیم پیچ مجزا در استاتور : اگر در استاتور به جای استفاده از یک سیم بندی از دو یا چند دسته سیم بندی که برای سرعت های مختلف طراحی شده اند استفاده شود می توان به دورهای مختلفی دست یافت، مثلاً اگر از دو سیم پیچ یکی ۴ و دیگری ۸ قطبی باشد در فرکانس ۵۰ هرتز می توان به دورهای ۱۵۰۰ و ۷۵۰ دست یافت .

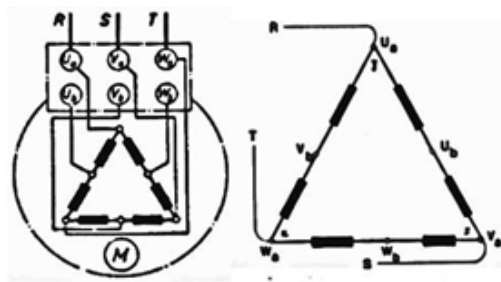


۵ - کنترل سرعت از طریق اتصال دو موتور به صورت آبشاری : اگر دو موتور القایی را به هم کوپل کنیم اتصال آبشاری را ایجاد کرده ایم، اگر تعداد قطب های موتور اول ۲P۱ و تعداد قطب های موتور دوم ۲P۲ باشد سرعت مشترک دو موتور از رابطه زیر بدست می آید . در این رابطه + برای جهت چرخش یکسان و - برای جهت چرخش غیر یکسان به کار می رود .

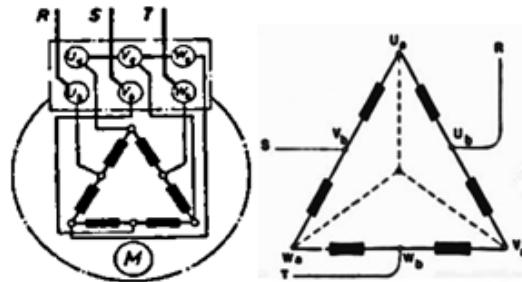
$$N_s = \frac{60 \cdot f}{P_1 \pm P_2}$$



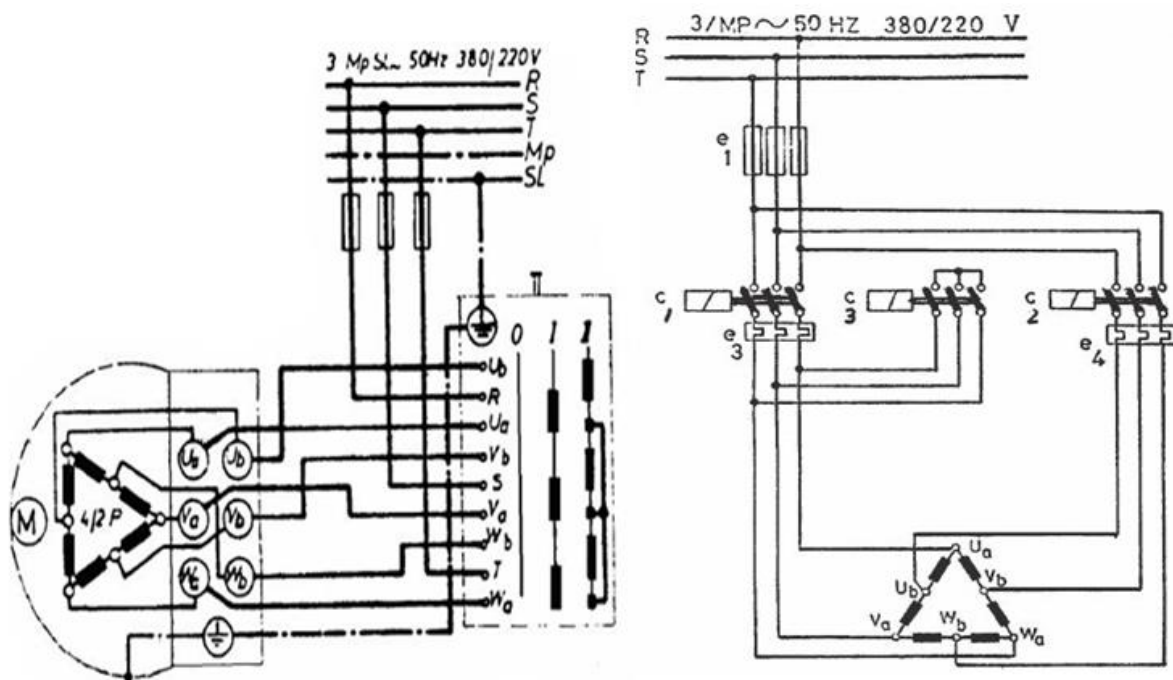
۶ - کنترل سرعت از طریق سیم بندی توزیع شده در سطح استاتور (دالاندر) : این روش حالت خاصی از کنترل دور موتورهای القایی می باشد که با تغییر تعداد قطب های سیم بندی می توان دورهای مختلفی را بدست آورد . در دالاندر سیم پیچ های هر فاز به دو نیم سیم پیچ تقسیم می شود که می توان آنها را به صورت سری یا موازی به هم وصل کرد . در اتصال دو نیم سیم پیچ به صورت سری حالت مثلث و در اتصال موازی حالت ستاره ایجاد می شود . در اثر تغییر اتصال نیم سیم پیچ ها از اتصال سری به موازی تعداد قطب ها نصف ، سرعت دو برابر ، قدرت  $1/5$  برابر و گشتاور ثابت می ماند . اگر یک موتور دالاندر ۴ و ۲ قطبی داشته باشیم در فرکانس ۵۰ هرتز با تغییر اتصالات می توان به دو سرعت ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ دور دست یافت . اتصال سیم پیچ های سه فاز در موتور دالاندر را می توان به چهار صورت ستاره سری ، ستاره دوپل ، مثلث سری و مثلث دوپل انجام داد که بهترین حالت آن مثلث سری برای سرعت کمتر و ستاره دوپل برای سرعت بیشتر است که در زیر این دو اتصال و نحوه ی ارتباط به شبکه ترسیم شده است .



اتصال مثلث سری برای سرعت کم



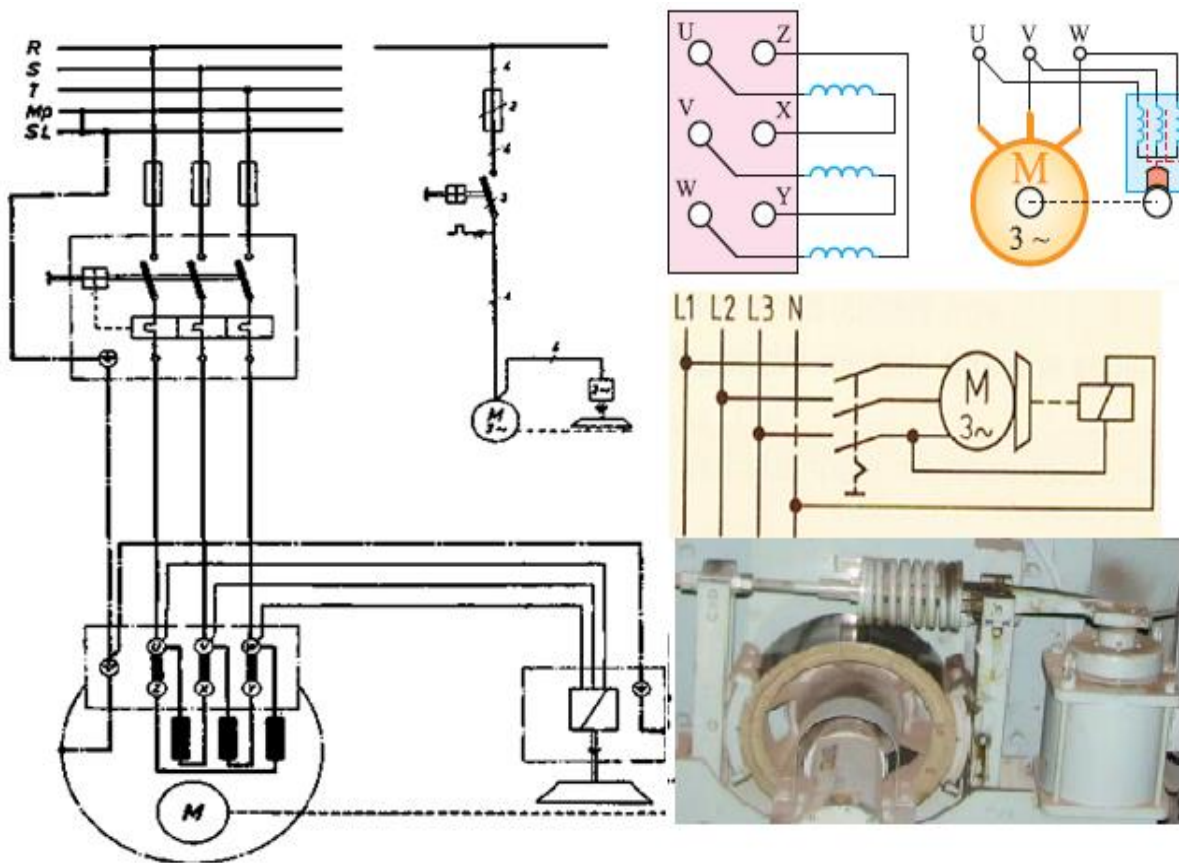
اتصال ستاره دوپل برای سرعت زیاد



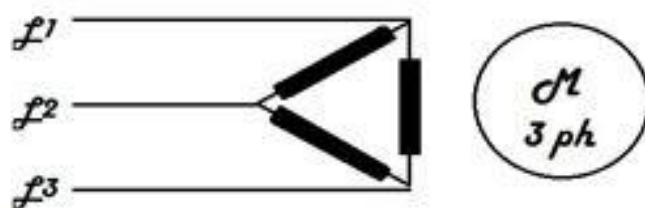
روش های ترمز کردن موتورهای القایی

در بسیاری از بارهای صنعتی لازم است بلا فاصله بعد از قطع موتور، محور آن متوقف شود. بنابراین تنها Stop کردن مدار آن کافی نیست و باید به یکی از روشهای ترمزی زیر موتور را متوقف می کنیم.

۱- ترمز با مغناطیس الکتریکی (ترمز با فشار فنر یا الکترومغناطیسی): در این روش لنت های ویژه ای مانند چرخ اتوموبیل بر روی محور کار گذاشته می شود، زمانی که موتور خاموش است، لنت ها توسط نیروی فنر با محور درگیر است. در هنگام راه اندازی محور موتور متوقف است، همزمان با اتصال الکتروموتور به شبکه، سیم پیچ ترمز نیز فعال شده و با مغناطیس شدن آن فنر آزاد می شود و موتور به کار می افتد. در موتورهای دوسرعه باید سیستم ترمزی روی سرعت کمتر عمل کند تا از طریق سرعت کمتر روتور متوقف شود، تا انرژی کمتری به حرارت تبدیل شود، کاربرد این نوع ترمز در ماشین های ابزار و بالابرها است. این نوع ترمز باید زمانی اعمال شود که سرعت به ۳۰ درصد مقدار نامی رسیده باشد چون در سرعت های بالا سیستم ترمز آسیب می بیند.

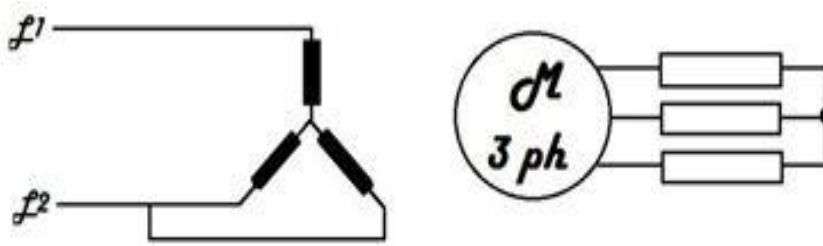


۲- ترمز فوق سنکرون: موتور از ماشین کار جدا شده و در اثر شتاب به صورت مولد القایی درمی آید، انرژی جنبشی محور به انرژی الکتریکی تبدیل می شود. این نوع ترمز قادر به توقف کامل نیست و برای موتورهایی که در آنها بر نیروی وزن غلبه می شود قابل استفاده است.

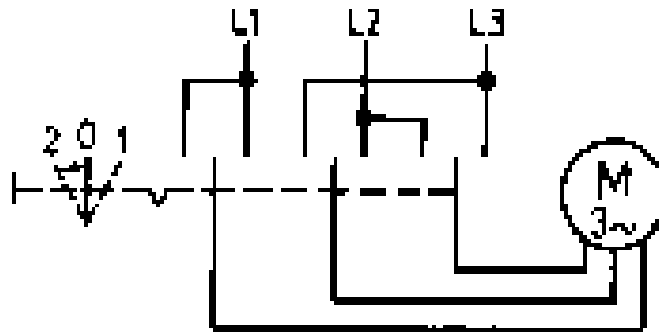




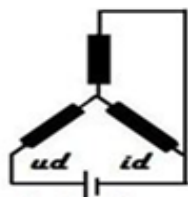
۳ - ترمز زیر سنکرون : موتورهای القایی با رتور سیم پیچی شده با مقاومت زیاد رتور در مدار و به صورت موتور تکفاز به شبکه وصل می شود و یک گشتاور ترمزی ظاهر می شود که پس از سکون موتور از بین می رود . این نوع ترمز در بالابرها استفاده می شود .



۴ - ترمز با جریان مخالف ( لغزش ۲۰۰٪ ) : ترمز با جریان مخالف نوعی ترمز الکتریکی است که نیروی ترمزی از طریق خود موتور ایجاد می شود . در یک موتور سه فاز چنانچه جای دوفاز از سه فاز تغذیه کننده استاتور عوض شود ، جهت چرخش میدان دوار و در نتیجه جهت چرخش محور موتور عوض خواهد شد . به عبارت دیگر با عوض شدن جای دو فاز، ابتدا سرعت موتور کاهش یافته و برای لحظه ای موتور متوقف خواهد شد و پس از آن در جهت جدید شروع به چرخش خواهد کرد . چنانچه در لحظه ای که موتور متوقف می شود ، سیم بندی استاتور از شبکه جدا شود ، موتور در حالت توقف باقی خواهد ماند . در این مدار از یک کلید گریز از مرکز استفاده می شود که در لحظه توقف موتور، مدار را قطع می کند .

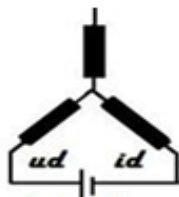


۵ - ترمز با جریان مستقیم : ترمز با جریان مستقیم نوعی ترمز الکتریکی است که تنها از حرکت ایستادن موتور موثر بوده و پس از آن مقدار گشتاور ترمز کننده صفر خواهد شد و ممکن است محور موتور دوباره به چرخش در آید . در این نوع ترمز سیم پیچ استاتور از شبکه قطع و به یک منبع جریان مستقیم وصل می شود ، در نتیجه در آن میدان مغناطیسی ثابت که از نظر مکانی به فرم سینوسی می باشد ایجاد خواهد شد . در صورتی که رتور در این میدان مغناطیسی بچرخد در داخل هادی های اتصال کوتاه شده آن ، جریان القایی به وجود آمده و طبق قانون لنز باعث ایجاد گشتاور ترمزی خواهد شد . در روش ترمز با جریان مستقیم باید مدار طوری طراحی شود که پس از توقف کامل موتور ، جریان DC متصل شده به سیم بندی استاتور نیز قطع شود تا گرمای ایجاد شده در موتور باعث صدمه دیدن سیم بندی نشود . سیم بندی استاتور را به یکی از چهار صورت زیر می توان به منبع DC وصل کرد .



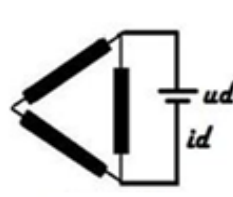
$$U_d = \frac{\sqrt{3}}{2} R \cdot I$$

$$I_d = \sqrt{3} \cdot i$$



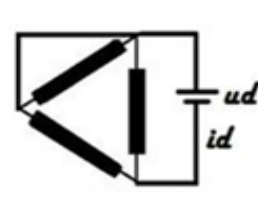
$$U_d = \frac{\sqrt{3}}{2} R \cdot I$$

$$I_d = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot i$$



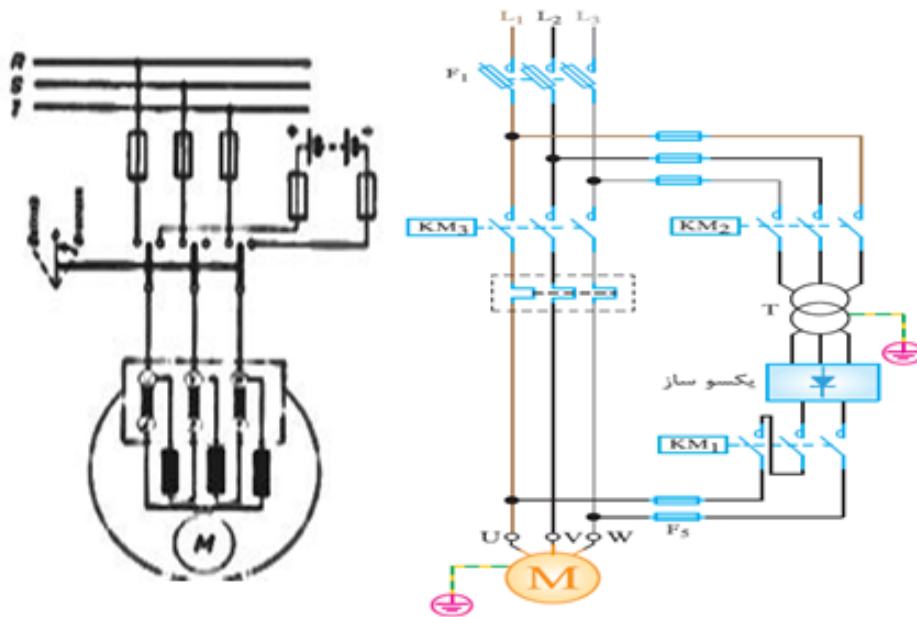
$$U_d = \frac{1}{\sqrt{3}} R \cdot I$$

$$I_d = \frac{3}{\sqrt{3}} \cdot i$$



$$U_d = \frac{1}{\sqrt{2}} R \cdot I$$

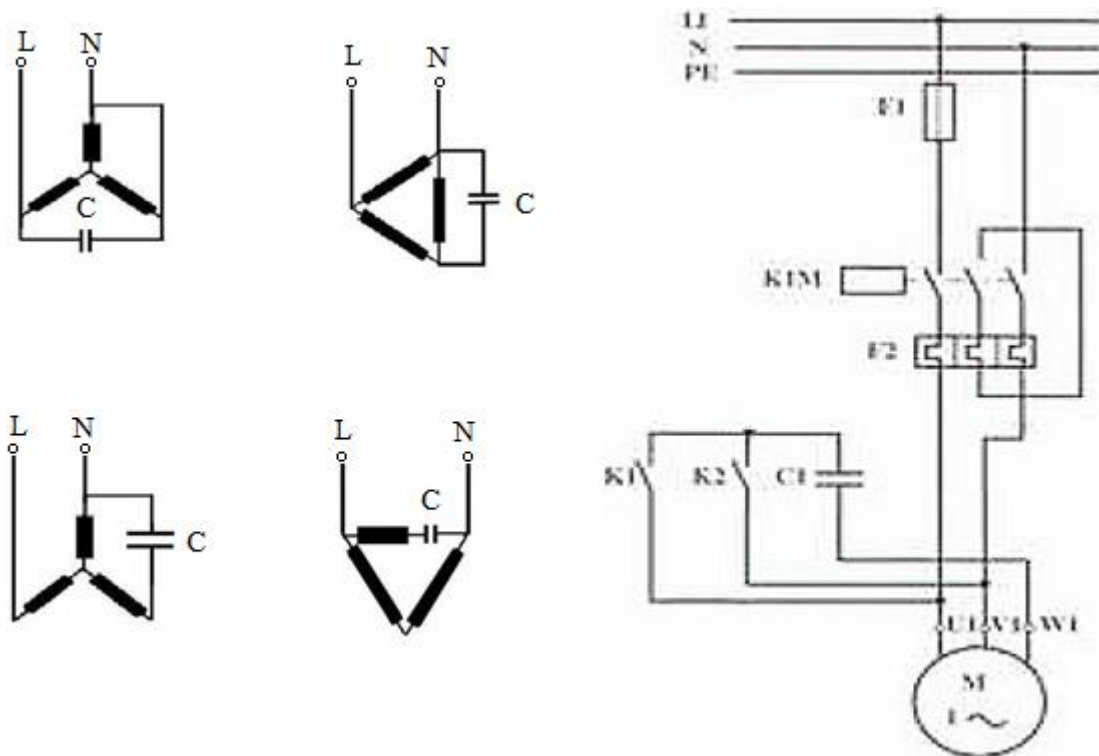
$$I_d = \sqrt{6} \cdot i$$



از میان روش های فوق، ترمز فوق سنکرون مناسب ترین و ترمز با جریان مخالف نامناسب ترین روش ترمز است .

### استفاده از موتور سه فاز در برق تکفاز

در صورتی که به برق سه فاز دسترسی نداشته باشیم با تغییر اتصالات فازهای یک موتور سه فاز و اضافه نمودن یک خازن می توان موتور سه فاز را با برق تکفاز راه اندازی نمود . در این حالت جهت چرخش موتور بستگی به شاخه ای دارد که خازن به آن متصل است . چند حالت برای تغییر اتصالات موتور سه فاز برای کار با برق تکفاز در شکل های زیر آمده است .



براساس یک رابطه‌ی تجربی در ولتاژ ۲۲۰ ولت برای هرکیلووات موتور ۷۰ میکروفاراد و به ازای هر اسب بخار ۵۰ میکروفاراد خازن روغنی استفاده می‌شود. که با استفاده از فرمول زیر می‌توان ظرفیت خازن را برای ولتاژهای مختلف بدست آورد.

$$\frac{C_1}{C_2} = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2$$

ظرفیت خازن برای ولتاژهای مختلف	
Voltage ( volt )	Capacitor ( farad )
100	250
220	70
280	22

موتورهای سه فازی که در شبکه تکفاز استفاده می‌شوند با ۸۰٪ قدرت نامی خود و ۲۵ تا ۶۰٪ گشتاور نامی کار می‌کنند، می‌توان با اضافه کردن یک خازن دیگر با ظرفیت دوبرابر ظرفیت خازن روی موتور گشتاور راه‌اندازی را به‌طور محسوس افزایش داد، این خازن باید پس از چند لحظه که سرعت موتور افزایش یافت از مدار خارج شود تا موتور داغ نشود.

### پلاک مشخصات Name Plate الکتروموتور سه فاز

بر روی بدنه‌ی الکتروموتورها پلاک مشخصات نصب می‌شود که بر روی آن اطلاعات موتور نوشته می‌شود و به دو دسته‌ی زیر تقسیم می‌شود.

الف : اطلاعاتی مانند نوع موتور، تعداد فازها، قدرت، ضریب توان و ... که مصرف کننده با توجه به آن‌ها موتور مورد نیاز خود را انتخاب می‌کند.

ب : اطلاعاتی که به کارخانه سازنده مربوط می‌شود و به وسیله‌ی آن اطلاعات می‌توانند خود موتور یا شبیه آن را بسازند. برخی از اطلاعات مهمی که روی پلاک الکتروموتور نوشته می‌شود به قرار زیر است.

**Style** : در این قسمت کارخانه‌ی سازنده یک سری اطلاعات را به صورت رمزی نوشته است

**Serial** : شماره‌ی رمز مربوط به کارخانه‌ی تولید کننده است که ممکن است تاریخ تولید موتور، شماره‌ی موتور یا کدهایی است که مصرف کننده آن را سفارش می‌دهد.

**Frame** : اندازه‌ی فریم مشخصه‌ای است که موتور توسط آن به انجمن تولیدکنندگان شناسایی می‌شود. مانند فریم ۴۲، ۴۸ و ۵۶ این پارامتر ابعاد فیزیکی خارجی موتور را طبق استانداردهای NEMA مشخص می‌سازد.

**Ph** : تعداد فازهای موتور AC یا DC بودن موتور را مشخص می‌کند.

**G** : موتور DC                      **E** : موتور تکفاز                      **D** : موتور سه فاز

**Hz** : فرکانس کار موتور است که با Hz بر روی پلاک موتور درج می‌شود.

**RPM** : سرعت موتور بر حسب دور بر دقیقه است.

**Amps** : مقدار جریانی است که موتور در بار، ولتاژ و فرکانس نامی از شبکه دریافت می‌کند.

**Hours** : مدت زمان کار موتور است که بدون افزایش درجه حرارت بدنه، موتور به کار گرفته می‌شود.

**Cos φ** : ضریب قدرت موتور در حالت کارکرد عادی موتور را نشان می‌دهد.

نکته : بر روی پلاک برخی از موتورها ضریب قدرت را به صورت S. f (Service factor) نوشته می‌شود.



**S.F**: ضریب خدمات یا ضریب کارکرد موتور را با **S.F** نشان می دهند، این مشخصه نشان دهنده میزان اضافه باری است که موتور می تواند در شرایط کاری طولانی مدت تحمل کند مثلاً اگر روی پلاک موتوری **S.F**<sub>۱/۱۵</sub> نوشته شده باشد بیان کننده این است که موتور می تواند باری به اندازه ۱/۱۵ برابر بار نامی را تحمل کند .

**Kg**: وزن موتور را بر حسب کیلوگرم یا تن نوشته می شود .

**hp**: قدرت خروجی موتور از نوع مکانیکی بوده و بر حسب اسب بخار سنجیده می شود، اما در آلترناتورهای سه فاز مانند تمام مولدها قدرت خروجی از نوع الکتریکی بوده و بر حسب وات نوشته می شود . هر اسب بخار ۷۳۶ وات است .

**TH.CL**: مقابل عبارت **TH.CL** یک حرف لاتین نوشته می شود که درجه حرارت بدنه موتور را بر حسب سانتی گراد در زمان کار موتور اعلام می کند، این دما به ازای دمای معمولی محیط (حدود ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتی گراد) داده شده است .

کلاس	y	A	E	B	F	H	C
درجه حرارت	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۰	۱۳۵	۱۸۰	بالتر از ۱۸۰

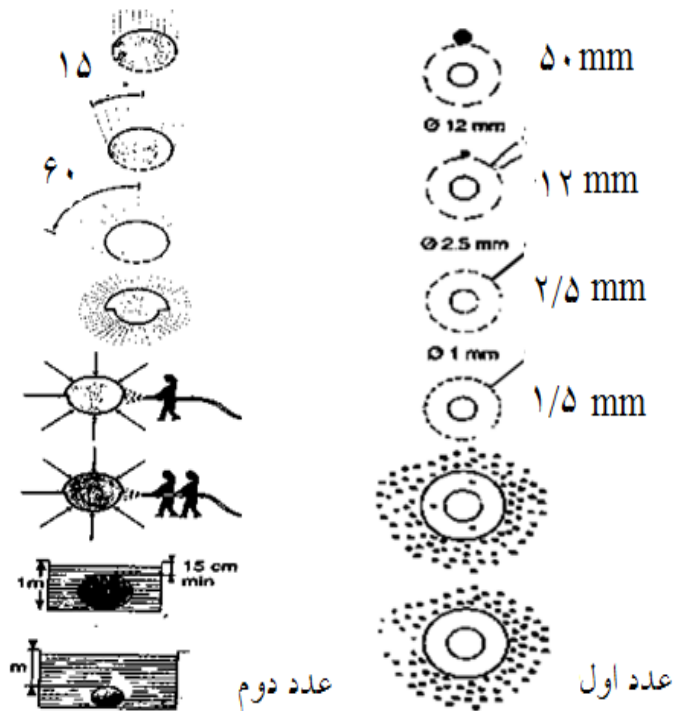
باید توجه شود که اعداد فوق حرارت ایجاد شده در اثر کارکرد موتور نیست بلکه دمای محیط نیز بر روی آن تاثیر دارد برای مثال موتوری با کلاس **A** که حداکثر ۱۰۵ درجه را تحمل می کند در محیطی با درجه حرارت ۴۰ درجه کار می کند نباید دمای آن از ۶۵ درجه تجاوز کند .

نکته: به ازای افزایش ۱۰ درجه دما عمر موتور نصف می شود .

**Temp** = حداکثر دمایی که موتور در آن دما می تواند در شرایط عادی کار کند .

**IP = IP** مخفف **International Protection** به معنی حفاظت بین المللی است که بعد از آن دو حرف نوشته می شود .

عدد اول: حفاظت الکتروموتور در برابر اجسام خارجی      عدد دوم: حفاظت الکتروموتور در برابر آب



عدد دوم

عدد اول

عدد شناسایی اول	حفاظت در برابر ذرات خارجی	عدد شناسایی دوم	حفاظت در برابر چکیدن قطرات آب
۰	بدون حفاظت	۰	بدون حفاظت
۱	حفاظت در برابر ذرات بزرگ خارجی $d > 50\text{mm}$ بدون حفاظت در دخول عمدی	۱	حفاظت در برابر قطرات آب که عمودی فرو می چکد
		۲	حفاظت در برابر قطرات آب که مایل فرو می چکد با زاویه ۱۵ درجه
۲	حفاظت در برابر ذرات متوسط خارجی $d > 12\text{mm}$	۳	حفاظت در برابر ترشحات آب تا ۶۰ درجه نسبت به قائم
۳	حفاظت در برابر ذرات کوچک خارجی $d > 2/5\text{mm}$	۴	حفاظت در برابر ترشح آب از هر سو
		۵	حفاظت در برابر ترشح آب از هر راستا
۴	حفاظت در برابر ذرات خارجی، $d > 1\text{mm}$	۶	حفاظت در برابر فوران شدید آب
۵	حفاظت در برابر گرد و خاک، حفاظت تماسی کامل	۷	حفاظت در برابر غوطه‌ور شدن آب در شرایط معین فشار و زمان
		۸	حفاظت در برابر غوطه‌ور شدن دائمی در آب
۶	حفاظت کامل در برابر گرد و غبار		

**Volt** : ولتاژ شبکه‌ای است که موتور برای آن طراحی شده روی پلاک مشخصات آن به صورت دو عدد نوشته می‌شود که عدد کوچکتر ولتاژ قابل تحمل برای سیم‌پیچ‌ها است. دقت شود که اگر ولتاژ کوچکتر کمتر از  $7 \times 380$  باشد این موتور در شبکه ایران نمی‌تواند به صورت مثلث کار کند زیرا اگر سیم‌پیچ‌ها را به صورت مثلث به برق وصل شود، ولتاژی که به دو سر آن‌ها می‌رسد  $7 \times 380$  است که موجب سوختن سیم‌پیچ‌ها می‌شود. تنها الکتروموتورهایی در شبکه برق ایران می‌توان به صورت مثلث کار کنند که روی پلاک آن  $7 \times 380 / 660$  یا  $\Delta 380$  نوشته شده باشد.

مثال - اطلاعات زیر مربوط به ولتاژ الکتروموتورهای سه فازی است که از روی پلاک آن‌ها استخراج شده است، مشخص کنید که در شبکه برق ایران ( $7 \times 220 / 380$ ) به چه صورتی می‌توانند عمل کنند.

۱ -  $7 \times 380 / 220$  : ولتاژ کمتر یعنی  $220$  ولت ولتاژ قابل تحمل سیم‌پیچ‌ها است، اگر موتور را به صورت مثلث به شبکه وصل کنیم ولتاژ  $380$  ولت روی سیم‌پیچ‌ها می‌افتد که موجب سوختن آنها خواهد شد. و اگر به صورت ستاره به شبکه وصل شود، ولتاژ  $\sqrt{3}$  برابر کاهش می‌یابد، یعنی  $220$  ولت به سیم‌پیچ‌ها می‌رسد که برای آن‌ها قابل تحمل است. پس موتور فوق تنها می‌تواند به صورت ستاره به شبکه متصل شود.

۲ -  $7 \times 660 / 380$  : ولتاژ کمتر  $380$  ولت ولتاژ قابل تحمل سیم‌پیچ‌هاست پس می‌توان آن را به صورت مثلث به شبکه وصل کرد، اگر این موتور را به صورت ستاره کار کند از  $\frac{1}{3}$  توان آن استفاده می‌شود. بنابراین این موتور هم می‌تواند به صورت مثلث هم به صورت ستاره-مثلث به شبکه وصل شود.

۳ -  $\Delta 380$  : این الکتروموتور می‌تواند به صورت مثلث کار کند اما برای جلوگیری از کاهش افت ولتاژ در شبکه و صدمه دیدن موتور بهتر است بصورت ستاره-مثلث کار کند، یعنی راه اندازی به صورت ستاره و کار دائم به صورت مثلث باشد.

۴ -  $\Delta 220$  : این الکتروموتور در شبکه ایران تنها به صورت ستاره می‌توان راه اندازی کرد.

۵ -  $7 \times 220$  : این موتور در شبکه برق ایران راه اندازی نمی‌شود و تنها به صورت ستاره در شبکه‌ای که ولتاژ خطی آن  $220$  و ولتاژ فازی آن  $\frac{220}{\sqrt{3}}$  می‌توان راه اندازی کرد. یعنی ولتاژ قابل تحمل برای سیم‌پیچ‌های آن  $\frac{220}{\sqrt{3}}$  است. پس اگر به صورت

مثلث در شبکه ایران وصل شود ولتاژ ۳۸۰ ولت و اگر به صورت ستاره وصل شود ولتاژ ۲۲۰ ولت روی سیم پیچ ها می افتد و موجب سوختن سیم پیچ ها می شود .

۶ - ۳۸۰: اگر سیم پیچ های این موتور به صورت ستاره به شبکه وصل شوند ولتاژی که به دوسر هر سیم پیچ می رسد ۲۲۰ ولت است که ولتاژ مجاز سیم پیچ خواهد بود بدیهی است با اتصال این موتور به صورت مثلث به شبکه، به دوسر سیم پیچ ها ۳۸۰ ولت ولتاژ اعمال می شود که موجب سوختن موتور می شود، پس اتصال این موتور تنها به صورت ستاره امکان پذیر است .

EFF: ضریب بهره یا راندمان موتور را با حروف EFF یا علامت  $\eta$  نمایش می دهند .

S ( رژیم کاری ) : این مشخصه نوع کار ماشین را بیان می کند که در جدول زیر نمایش داده شده اند .

نوع	نوع چرخه کاری	شرح
S۱	کار مداوم	عملکرد در بار ثابت و مدت زمان کافی برای رسیدن به تعادل گرمایی
S۲	کار موقت	کارکرد در بار ثابت در زمان معین کمتر از میزان لازم برای رسیدن به تعادل گرمایی که پس از آن استراحت به دستگاه داده می شود برای رسیدن دمای دستگاه به دمای خنک کننده.
S۳	کار دوره ای موقت	توالی چرخه های کاری برابر ، که هر کدام شامل دوره کاربری در بار ثابت و یک وقفه (بدون اتصال به برق) می باشد. برای این نوع کاربری جریان استارت تاثیر عمده ای بر افزایش دما ندارد.
S۴	کار دوره ای موقت با استارت	توالی چرخه های کاری برابر، که شامل دوره های عمده استارتینگ می شود. دوره ای زیر بار ثابت و با وقفه دوره ای.
S۵	کار دوره ای موقت با ترمز الکتریکی	توالی چرخه های کاری برابر، که شامل دوره ای از استارت و دوره ای از کاربری در بار ثابت شده که بدنبال آن ترمزی سریع و دوره استراحت می باشد.
S۶	عملکرد مداوم کار دوره ای	توالی چرخه های کاری برابر، که شامل دوره ای از کاربری در بار ثابت و دوره کاربری ای در حالت بدون بار می باشد. در این نوع دوره استراحت وجود ندارد.
S۷	عملکرد مداوم کار دوره ای با ترمز گیری الکتریکی	توالی چرخه های کاری برابر، که شامل دوره ای از استارت ، دوره ای از کار در بار ثابت و بدنبال آن با ترمز الکتریکی همراه است . این نوع دوره استراحتی ندارد.
S۸	عملکرد مداوم کار دوره ای با بار وابسته و سرعت متغیر	توالی چرخه های کاری برابر، در بار ثابت که سرعت چرخش آن از قبل معین شده است کار می کند و بدنبال آن دوره های کاربری در بار ثابت دیگری با سرعت های چرخش متفاوت است (کاربری g.e). دوره استراحت نداشته و برای رسیدن به تعادل گرمایی دوره کاری بسیار کوتاه است.
S۹	کار با بار غیر دوره ای و سرعت های متنوع	عموماً کاری با بار و سرعتی که بصورت غیر خطی در محدوده ای مجاز تغییر می کنند . این کاربری شامل اضافه بارهای متناوب است که گاهی از ظرفیت تکمیل فراتر می روند .

THREE PHASE INDUCTION MOTOR		
TYPE Y 280M-4	90 kW	125 HP
380/660 V	conn.	Δ/Y
164.3/94.6 A	CLASS	B
50 Hz	IP44	1480 r/min
kg	No.	DATE
MADE IN P.R.CHINA		

ABB		ASYNCHRONMACHINE	
AMA BROWN BOVERI		MACHINE ASYNCHRONE	
ASYNCHRONOUS MACHINE			
No. AT 818 174	1988		
P 4550 kW	Duty S1	cos φ 0.88	m 15 850 kg
n 1410 1/min		f 50 Hz	DR 1.15
U 11200 V	33%	A Δ/Y	DC B
U <sub>h</sub>	V <sub>h</sub>	A <sub>h</sub>	IP 50
Mot.	TEMP 60°	CL F	EFF

Typ	Nr.
E-Mot.	220 V 6.9 A
1.1 KW	S1 cos φ 0.91
1400 min <sup>-1</sup>	50 Hz
I.K.L.B	P33

Nr.	
Typ	400/231 V 0.5/11.3 A
5KVA	cos φ ind=0.8 cap=0.9
1500 R.P.M	50 Hz
Excit	110V/2A B2 Isol. E

D-Mot.	Nr.
Typ	220/380 V 1/0.85 A
3hp	cos φ 0.8
1440 1/min	50 Hz
I.C.L.F	V3 IP44 trop

G-Gen.	Reihenschal
Typ	120 V 2.3 A
150 KW	900 min <sup>-1</sup>
Err.	250 V 6.5 A
Isol.K.L.C	B3 P33

Typ	Nr.
D-Mot.	380/660 V 178A
100KW	S3 cos φ 0.89
1460 /min	50 Hz
Lfr.	245V 248A

MOTEURS ALSTHOM	
CEGELEC MOTEURS - NANCY (FRANCE)	
MOTEUR ASYNCHRONE INDUCTION MOTOR	
Typ. N3 RXS 4.50J6G	N° 024067 921 1992
500 kW	cos φ 0.85 988 1/min
IC 01 A 61	IM 1001 IP 55
Stat. U 6300 V	I 56.3 A 3~ Y C I F Δ T 80 K
Rot. BAGUES	U 580 V I 530 A C I F Δ T 80 K
Temp.	≤ 45 °C S1 F 50 Hz M 5200 kg

SIEMENS	
PE 21 PLUS™ PREMIUM EFFICIENCY	
MILL AND CHEMICAL DUTY QUALITY INDUCTION MOTOR	
ORD. NO.	51-502-033
TYPE	RG Z ESD
H.P.	25
AMPS.	56.8/28.4
R.P.M.	1750
DUTY	CONT.
CLASS	F
INS. END	508C03JPP3
DATE CODE	017
FRAME	284T
SERVICE FACTOR	1.15
VOLTS	230/460
HERTZ	60
40° C AMB.	3 PH
NEMA	93.0
INS. END	458C02JPP3

CE	
3~ Motor M2DE3125MCAD2	
RF12345-1	2002 No. 30F0Y123456001
V	Hz kW r/min A cos φ Duty
480 V	50 140 1487 145 0.85 S1
400 V	50 140 1487 284 0.85 S1
415 V	50 140 1488 277 0.84 S1
IE2 - 95.4 (100X) - 95.5 (75X) - 95.1 (50X)	
Prod. code 308P312350-ADG	
4319/C3	4314/C3
Nmax 2350 r/min	
I 1000 kg	
REC 40034-1	

Motor & Co GmbH	
Typ	860 I
E. Mot.	Nr. 20345-84
220 V	6.9 A
S1	1.5 kW cos φ 0.95
1400 U/min	50 Hz
C <sub>A</sub> 80 μF	C <sub>B</sub> 40 μF
ISO-KI. E	IP 54 V2 t
VDE 0530	

Typ	250M
D - Mot.	Nr. 7660
Δ 400 V	178 A
100 KW	S3 cos φ 0.86
1460 /min	50 Hz
Lfr. 245 V	248 A
Isol.K.I.B	IP 44 1.1 t
VDE 0530 / 12.84	

Typ	250M
3~ Mot.	IM B3
Δ Y 400/690 V	102 / 58 A
S1	55 kW cos φ 0.86
1475 U/min	50 Hz
V	A
ISO-KI. F	IP 44 t
IEC34-1 / VDE 0530	

SIEMENS		Brushless Servomotor	
MADE IN GERMANY		1FT6082-8AF71-1AG1	
Nr E J899 1745 01 001 EN 60034			
M <sub>n</sub> =	10.3 Nm	3000/min	U <sub>i(eff)</sub> = 240 V Y
(M =	11.7 Nm	1500/min	U <sub>i(eff)</sub> = 120 V Y)
M <sub>0</sub> =	10.4/13.0 Nm	I <sub>0(eff)</sub> =	8.20/10.7 A 60/100K
IMB5 IP 64	Th.CL.F.	N <sub>max</sub> =	4160/min KTY 84
Optical-Encoder 2048 S/R			

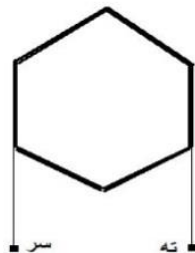
1 PHASE INDUCTION MOTOR	
10 HP	P TYPE
VOLTS	380
Hz	50
M. AMP	15.4
RPM	975
CODE	H
B. AMP	
SERIAL NO	
FRAME	-
M/B INS. CLASS	/
TIME RATING	
SERVICE FACTOR	1.35
MAX AMB.	0.40 C
B TORQUE	FT-LB
NEMA DESIGN	
Sumitomo Heavy Industries, Ltd.	

### سیم پیچی الکتروموتورهای سه فاز

همانطور که بیان شد اساس کار ماشین‌های القایی براساس ایجاد میدان دوار توسط سیم‌پیچ‌های سه فاز استاتور می‌باشد، برای سیم‌پیچی یک موتور باید اطلاعاتی از قبیل سرعت، فرکانس، تعداد قطب‌ها و ... را داشته باشیم و در صورتی که بخواهیم یک موتور را بازپیچی کنیم باید قطرسیم، جنس سیم، گام قطبی و ... را از روی سیم‌های سوخته یا اطلاعات لازم را از روی Name Plate موتور استخراج کرد، در این بخش به‌طور خلاصه به نحوه‌ی طراحی و محاسبه‌ی سیم‌پیچی موتورهای سه‌فاز می‌پردازیم.

### تعاریف و محاسبات

**کلاف:** مجموعه‌ای از چندین دور سیم که بر روی قالب‌های متحدالمرکزی پیچیده می‌شود کلاف نام دارد.



**گروه کلاف:** هرچند کلاف از یک فاز با هم تشکیل یک گروه کلاف را می‌دهد، که از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید.

$$G = t \cdot p$$

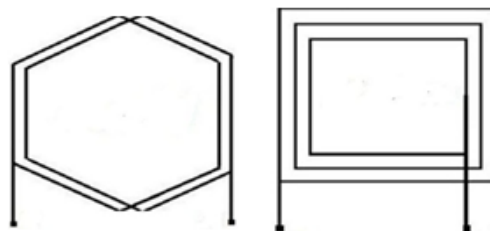
در این رابطه

**G:** گروه کلاف.

**t:** تعداد طبقات موتور، موتورهای الکتریکی بر حسب نیاز یک یا دو طبقه سیم پیچی می‌شوند.

**P:** تعداد جفت قطب‌های الکتروموتور.

**فرم کلاف‌های سیم پیچی:** کلاف‌های یک گروه کلاف را در اندازه‌های مساوی (زنجیری) و اندازه‌های نامساوی (متحد مرکز) می‌توان پیچید. در نوع زنجیری همه‌ی کلاف‌های یک گروه کلاف و در نتیجه همه‌ی کلاف‌های کل سیم پیچی یک اندازه هستند، و در نوع متحد مرکز گام کلاف هر گروه کلاف با یکدیگر تفاوت دارند و هر کلاف بزرگتر، کلاف کوچکتر را احاطه می‌کند و گام قطبی آن دو شیار بیشتر از کلاف کوچکتر از خود است.



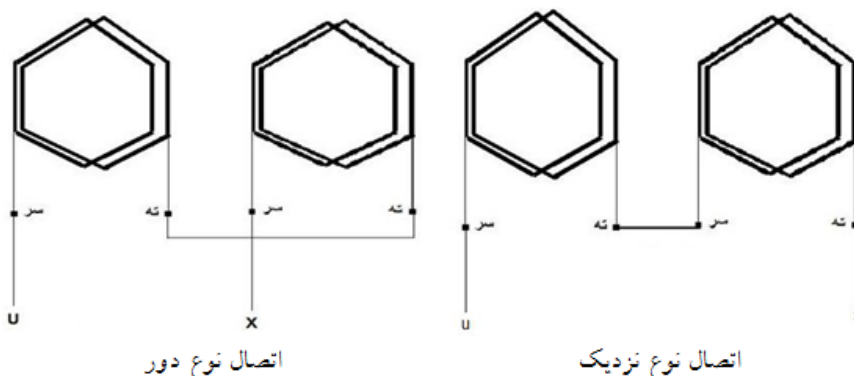
زنجیری

متحد المركز

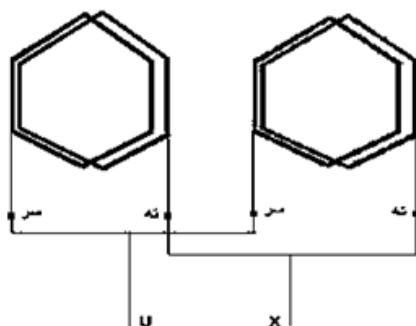
**سربندی یا اتصال گروه کلاف‌ها:** ارتباط گروه کلاف‌ها مطابق آنچه در کارت شناسایی موتور در رسم دیاگرام سیم بندی معین شده سربندی می‌شوند، در زیر سه نوع سربندی که در الکتروموتورها استفاده می‌شود توضیح داده می‌شود.

**الف:** اتصال سری گروه کلاف‌ها: این نوع اتصال در موتورهای قدرت پایین انجام می‌گیرد و به دو صورت اتصال نزدیک (ته‌به‌سر و سر به‌ته) و اتصال دور (سر به‌سر و ته به‌ته) تعریف می‌شوند.

در اتصال نزدیک سیم بندی بر اساس جفت قطب  $G = P$  است و در اتصال دور سیم بندی بر اساس قطب  $G = 2P$  است .

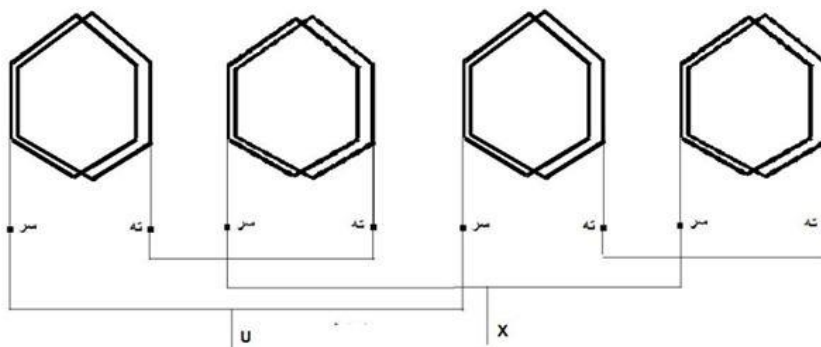


ب : اتصال موازی : در این نوع اتصال که در موتورهای پر قدرت استفاده می شود ، گروه های کلاف با هم موازی می شوند .



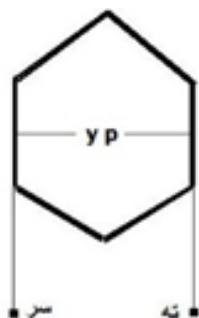
اتصال موازی

ج : اتصال سری- موازی (مختلط) : در موتورهای قدرت متوسط ابتدا گروه های کلاف نزدیک به هم را سری و سپس گروه های سری را با هم موازی می کنند .



گام قطبی : فاصله بین دو بازوی یک کلاف بر حسب تعداد شیارهایی که بین دو قطب مجاور غیر هم نام قرار دارد .

$$y_p = \frac{Z}{2p}$$



در این رابطه  $y_p$  : گام قطبی بر حسب شیار و  $Z$  : تعداد شیارهای استاتور و  $2P$  : تعداد قطب های استاتور .

پیچک ( تعداد کلانهای هر گروه کلان) : تعداد شیارهای هر گروه کلان یا تعداد شیارهای زیر هر قطب مربوط به هر فاز را با  $q$  نشان می دهند و از رابطه زیر بدست می آید .

$$q = \frac{z}{\sqrt{p} m} = \frac{yp}{m} \quad , \quad m = 3 \quad , \quad q = \frac{yp}{3}$$

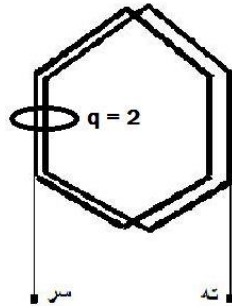
دراین رابطه

$q$  : تعداد کلان های هر گروه کلان .

$Z$  : تعداد شیارهای استاتور .

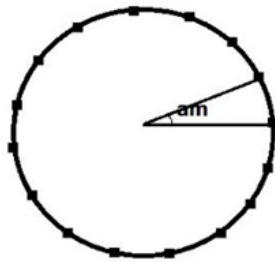
$2p$  : تعداد قطب ها .

$m$  : تعداد فاز که برای موتور سه فاز  $m = 3$



زاویه مکانیکی : کمائی از سطح استاتور که هر شیار به خود اختصاص می دهد و از رابطه زیر بدست می آید .

$$\alpha_m = \frac{360}{z}$$



زاویه الکتریکی : به حاصل ضرب زاویه مکانیکی در تعداد جفت قطب ها، زاویه الکتریکی می گویند .

$$\alpha_e = \alpha_m \cdot p \quad \rightarrow \quad \alpha_e = \frac{360 \cdot p}{z}$$

شیار شروع فازها : برای ایجاد اختلاف مکانی ۱۲۰ درجه فاز اول از شیار شماره ۱ شروع می شود، فاز دوم از ۱۲۰ درجه مکانیکی جلوتر و فاز سوم از ۲۴۰ درجه جلوتر نسبت به فاز اول شروع می شود .

$$R \rightarrow 1$$

$$S \rightarrow 1 + \frac{120}{\alpha_e}$$

$$T \rightarrow 1 + \frac{240}{\alpha_e}$$

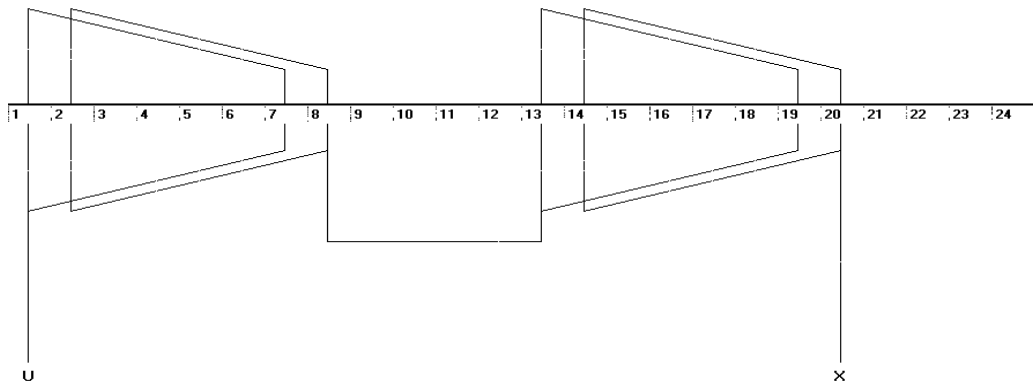
مثال - محاسبات و دیاگرام گسترده ی یک الکتروموتور سه فاز ۲۴ شیار ۴ قطب به صورت یک طبقه را انجام دهید .

$$Z = 24 \quad , \quad 2p = 4 \quad , \quad t = 1 \quad , \quad m = 3$$

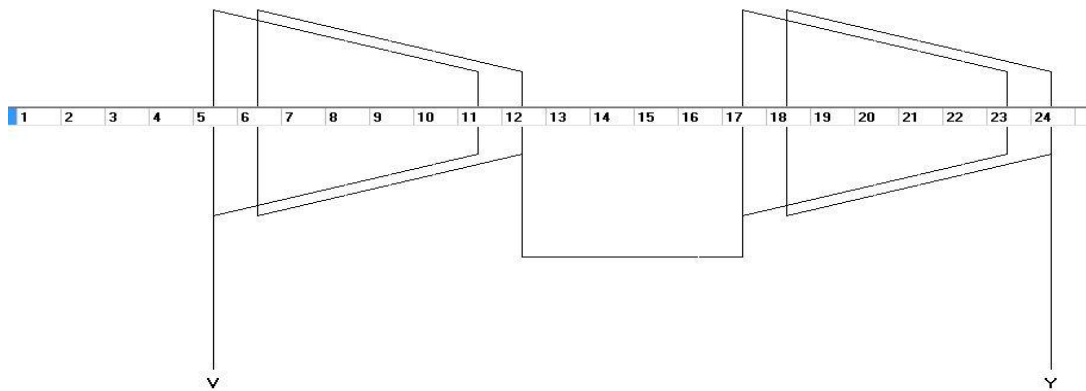
$$Yp = \frac{Z}{p} = \frac{24}{4} = 6 \quad , \quad q = \frac{z}{\sqrt{pm}} = \frac{24}{4 \times 3} = 2 \quad , \quad \alpha_e = \frac{360 \cdot p}{z} = \frac{360 \times 2}{24} = 30$$

$$R \rightarrow 1 \quad , \quad S \rightarrow 1 + \frac{120}{\alpha_e} = 1 + \frac{120}{30} = 5 \quad , \quad T \rightarrow 1 + \frac{240}{\alpha_e} = 1 + \frac{240}{30} = 9$$

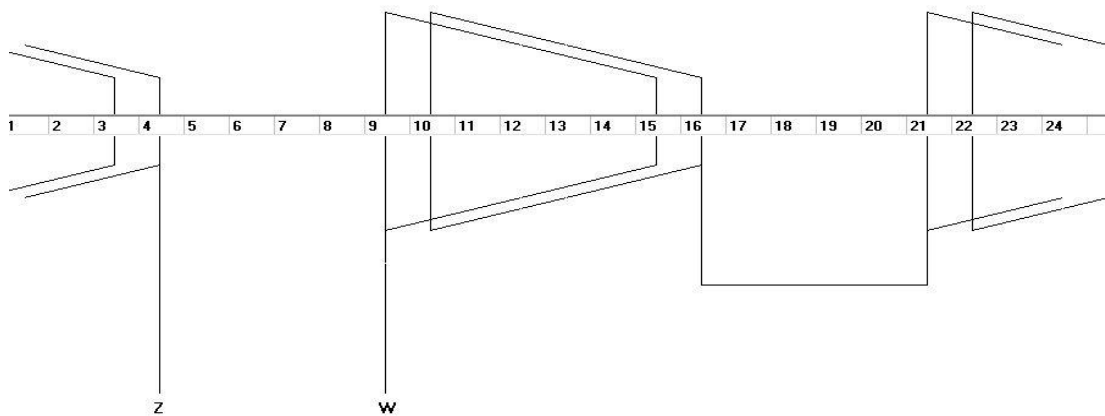
**فاز R:** این فاز دو گروه کلاف دوتایی دارد که گروه اول شیارهای ۱ و ۲-۸ و ۷ گروه دوم شیارهای ۱۳-۱۴ و ۱۹-۲۰ را در بر می گیرد.



**فاز S:**

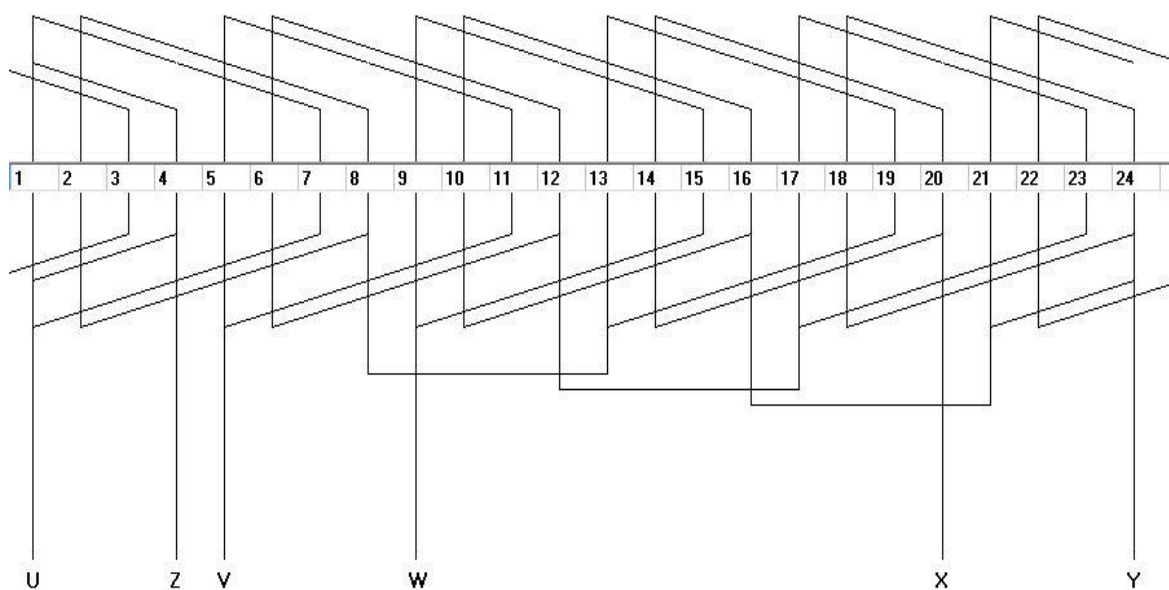


**فاز T:**





رسم دیاگرام هر سه فاز با هم



## موتورهای الکتریکی تک فاز

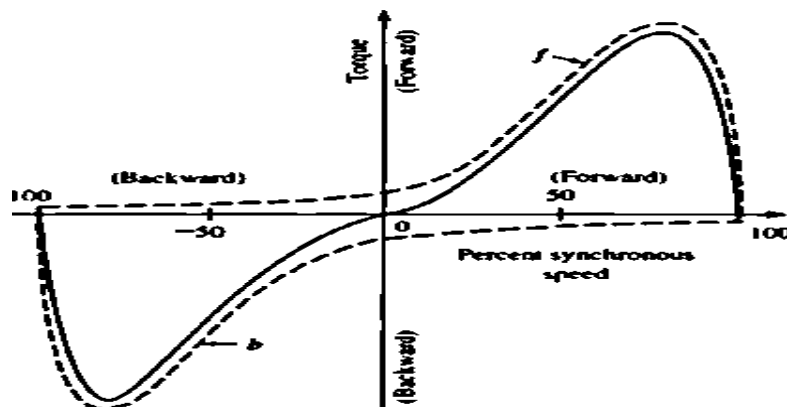
اکثر منازل مسکونی و اماکن تجاری کوچک از نیروی برق سه فاز برخوردار نیستند به همین دلیل در این مناطق از موتورهای استفاده می شود که با برق تکفاز کار می کنند. موتورهای تکفاز بر اساس خاصیت القاء عمل می کنند پس به آنها موتورهای القایی تکفاز می گویند. موتورهای تک فاز از لحاظ ساختمانی شبیه موتورهای القایی سه فاز می باشند با این تفاوت که به دلیل صفر بودن گشتاور راه اندازی، از اجزایی چون سیم پیچ کمکی، خازن و ... برای راه اندازی آن ها استفاده می شود.

### مقایسه‌ی موتورهای تکفاز با موتورهای القایی سه فاز

- ۱ - موتورهای تک فاز از لحاظ ساختمانی شبیه موتورهای سه فاز است و هر دو بر اساس القاء عمل می کنند.
- ۲ - احتیاجی به برق سه فاز ندارد و با برق تکفاز عمل می کنند.
- ۳ - ابعاد موتور تک فاز به دلیل وجود سیم پیچ کمکی بیشتر از موتور سه فاز است و در یک توان برابر ابعاد موتور تکفاز ۱/۵ برابر موتور سه فاز می باشد.
- ۴ - راندمان موتورهای تکفاز کمتر از موتورهای سه فاز است. (راندمان موتورهای سه فاز بین ۸۰ تا ۹۰ درصد است، در حالی که راندمان موتورهای تک فاز ۵۵ تا ۷۰ درصد می باشد.)
- ۵ - ضریب قدرت موتورهای تکفاز نیز کمتر از موتورهای سه فاز است. (ضریب قدرت موتورهای سه فاز حدود ۷۵ تا ۹۰ درصد است ولی ضریب قدرت موتور تکفاز کمتر از این مقادیر است.)
- ۶ - قیمت موتورهای تک فاز نسبت به موتورهای سه فاز در توان برابر بیشتر است.
- ۷ - مهمترین عیب موتورهای تکفاز صفر بودن گشتاور راه اندازی آنها می باشد. زیرا تنها یک فاز روی سیم پیچ استاتور قرار دارد، میدان مغناطیسی در موتور القایی تک فاز نمی چرخد در عوض نوسان دارد. یعنی یک میدان ضربانی تولید می شود که تغییر زمانی دارد ولی تغییر مکانی ندارد. به دلیل نبود میدان مغناطیسی دوار، موتور القایی تک فاز گشتاور راه اندازی ندارد و احتیاج به یک وسیله‌ی راه اندازی دارد.

### فرضیه‌ی میدان دو گانه

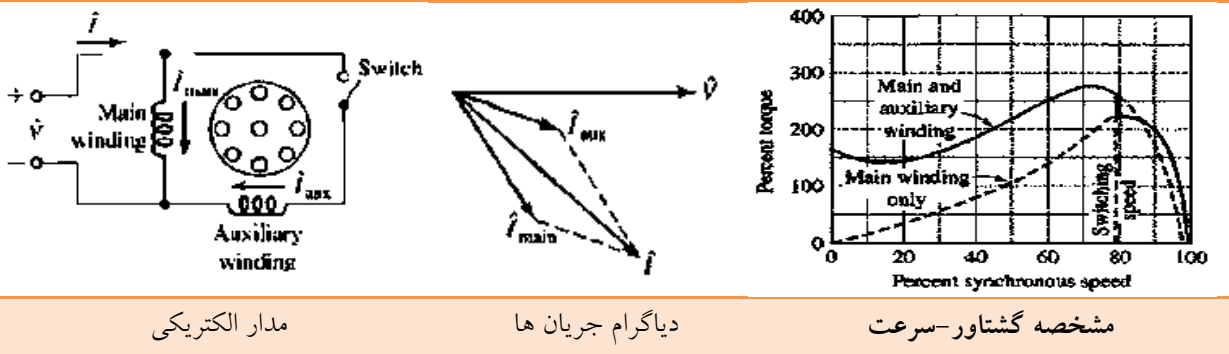
میدان ضربانی موتورهای تک فاز را می توان به دو میدان دوار که دامنه هر کدام نصف دامنه‌ی میدان ضربانی است تجزیه کرد. دامنه‌ی این دو میدان یکسان و در خلاف جهت هم در حال گردشند. هر کدام از این دو میدان مغناطیسی زمانی که در فاصله‌ی هوایی قرار می گیرند روتور را قطع می کنند و یک نیرو محرکه در آن القاء می کنند و در نهایت هر کدام یک گشتاور ایجاد می کنند که مساوی و مخالف یکدیگر بوده و بر آیند آنها که گشتاور متوجه نامیده می شود صفر است. در زیر مشخصه گشتاور - سرعت موتور تک فاز ترسیم شده است.



اگر روتور توسط یک گرداننده‌ی اولیه به گردش در بیاید گشتاور در جهت آن زیاد شده و گشتاور مخالف کاهش می یابد که باعث گردش روتور در جهت گشتاور بزرگتر می شود. اما عملاً برای راه اندازی موتورهای تک فاز آن ها را به صورت دو فاز سیم پیچی می کنند یعنی موتور علاوه بر سیم پیچی اصلی دارای سیم پیچی کمکی نیز هست. سیم پیچ کمکی ( راه انداز ) از لحاظ مکانی ۹۰ درجه با سیم پیچ اصلی فاصله دارد و به طور موازی با آن به شبکه وصل می شود. سیم پیچ اصلی و کمکی طوری طراحی می شوند که جریان های عبوری از آنها با هم ۹۰ درجه اختلاف فاز داشته باشند تا میدان الکتریکی دوار ایجاد شود. مکانیزم ایجاد اختلاف فاز بین جریان های سیم پیچ ها در موتورهای مختلف، متفاوت است و بر اساس آن موتورهای القایی تکفاز را نام گذاری می کنند که در زیر به بررسی آن ها می پردازیم.

**موتور القایی تک فاز با فاز شکسته**

در این نوع موتورها از دو سیم پیچ موازی هم استفاده می شود، سیم پیچ اصلی در مدار و سیم پیچ کمکی تنها برای راه اندازی استفاده می شود. برای ایجاد اختلاف فاز بین دو جریان، سیم پیچ ها را طوری طراحی می کنند که مقاومت سیم پیچ کمکی بیشتر از سیم پیچ اصلی باشد و راکتانس سیم پیچ اصلی بیشتر از سیم پیچ کمکی باشد. برای ایجاد مقاومت اهمی زیاد تعداد دور سیم پیچ کمکی را زیاد و سطح مقطع آن را کم در نظر می گیرند و برای ایجاد راکتانس زیاد شیارهای مربوط به سیم پیچ اصلی را بزرگ و عمیق طراحی می کنند. از آنجایی که سیم پیچ کمکی تنها برای راه اندازی موتور استفاده می شود پس از راه اندازی و در ۷۵٪ دور نامی توسط یک کلید گریز از مرکز از مدار خارج می شود.



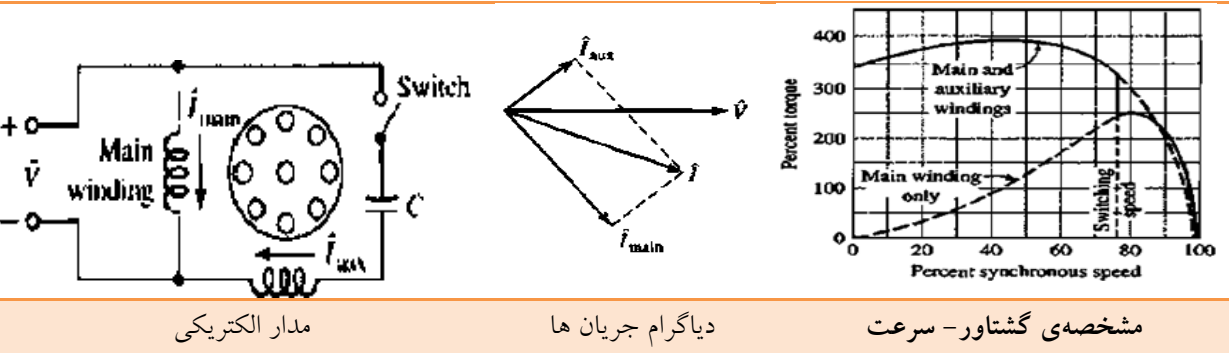
مدار الکتریکی

دیاگرام جریان ها

مشخصه گشتاور-سرعت

**موتورهای تکفاز با خازن راه انداز**

این موتور شبیه موتور با راه انداز مقاومتی ( فاز شکسته ) است با این تفاوت که برای ایجاد اختلاف فاز بین جریان ها در مسیر سیم پیچ کمکی از یک خازن الکترولیتی استفاده می شود. مجموعه‌ی سیم پیچ کمکی و خازن راه انداز به وسیله‌ی کلید گریز از مرکز یا رله‌ی مغناطیسی بعد از راه اندازی و در ۷۵٪ دور نامی از مدار خارج می شود.



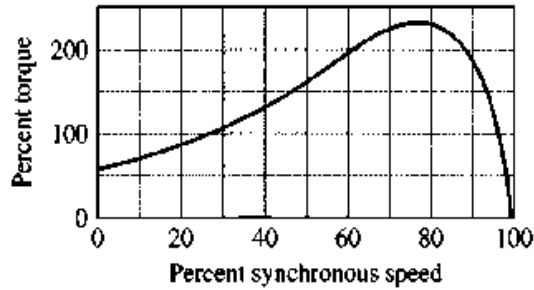
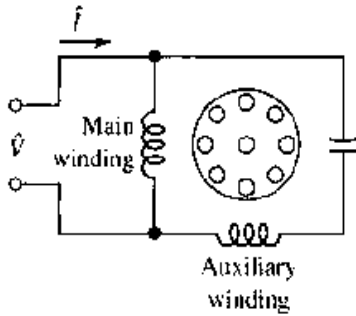
مدار الکتریکی

دیاگرام جریان ها

مشخصه‌ی گشتاور-سرعت

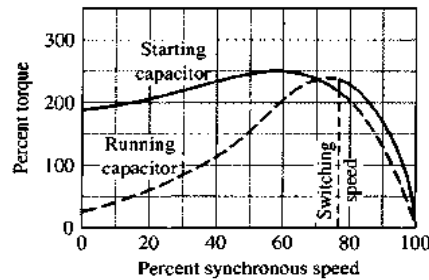
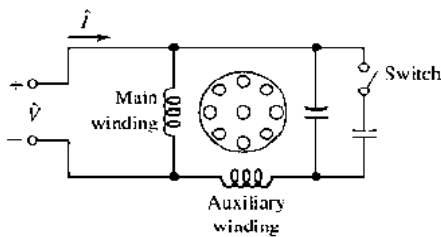
### موتورهای تک فاز با خازن دائم کار

در این موتورها از یک خازن روغنی برای ایجاد اختلاف فاز بین جریان سیم پیچ اصلی و کمکی استفاده می‌شود. از آنجایی که خازن به صورت دائم در مدار قرار دارد احتیاجی به کلید گریز از مرکز به منظور خارج کردن سیم پیچ کمکی و خازن نیست.



### موتورهای تک فاز دو خازنی

در این نوع موتورها از دو خازن موازی که با سیم پیچ کمکی به صورت سری قرار می‌گیرند استفاده می‌شود. یکی از خازن ها روغنی می باشد که با سیم پیچ کمکی سری شده و به صورت دائم در مدار قرار می گیرد و خازن دوم الکترولیتی است با خازن موازی است و به صورت موقت در مدار قرار می گیرد که در ۷۵٪ سرعت نامی توسط کلید گریز از مرکز سری با آن از مدار خارج می شود. ظرفیت خازن راه انداز چند برابر خازن دائم کار است.



نکته: در موتورهای تک فاز که سیم پیچ کمکی آن ها در ۷۵٪ سرعت نامی از مدار خارج می شود  $\frac{2}{3}$  شیارهای استاتور به سیم پیچ اصلی و  $\frac{1}{3}$  شیارهای استاتور به سیم پیچ کمکی اختصاص داده می شود. ولی در موتورهایی که سیم پیچ کمکی به صورت دائم در مدار قرار می گیرد، تعداد شیارهای استاتور مربوط به سیم پیچی اصلی و کمکی مساوی انتخاب می شوند.

### سوختن خازن در موتورهای تکفاز

اگر در موتورهای تکفاز خازن راه انداز بسوزد موتور راه اندازی نمی شود. در صورت عدم راه اندازی موتور تکفاز اگر با حرکت دادن محور با دست موتور راه اندازی شود خازن سوخته است. برای تست خازن می توان از دو روش زیر استفاده کنیم.

الف - استفاده از اهم متر عقربه ای: دو سر اهم متر را به دو سر خازن وصل می کنیم اگر عقربه به انتها رود و به آرامی برگردد خازن سالم است در غیر این صورت خازن خراب می باشد.

ب استفاده از برق ۲۲۰ ولت: ابتدا خازن را با برق ۲۲۰ ولت شارژ می کنیم و سپس دو سر خازن را به هم می زنیم،

- اگر خازن جرقه آبی زد سالم است.

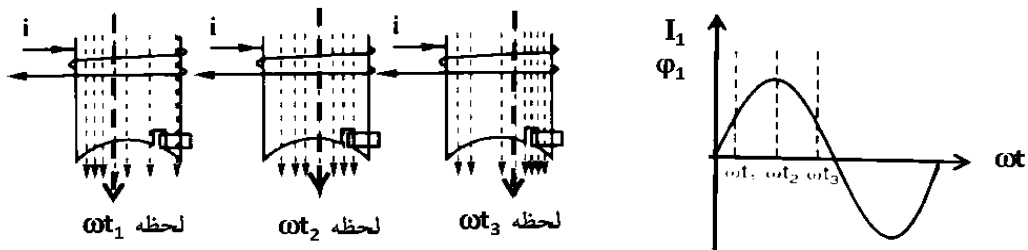
- اگر خازن جرقه نارنجی زد نیمه سوز شده است.

- اگر جرقه نزد سوخته است.

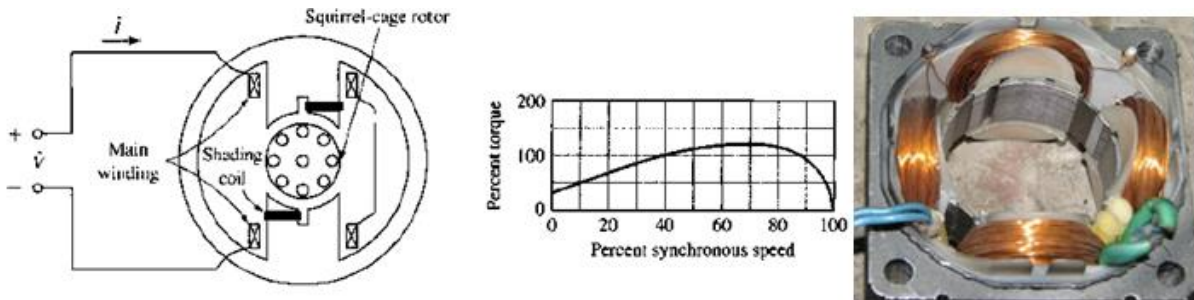


موتور قطب چاکدار

استاتور این نوع موتور به صورت برجسته و روتور آن از نوع قفسی می باشد. برای ایجاد میدان دوار از یک حلقه‌ی اتصال کوتاه که روی ورقه های هسته نصب است، استفاده می شود. این حلقه ها نقش سیم پیچ راه انداز را بازی می کنند. با اتصال استاتور به شبکه شاری متغیر با زمان توسط قطب ها ایجاد می شود، این شار متغیر با زمان ولتاژ و جریانی در حلقه‌ی اتصال کوتاه القاء می شود که با تغییرات شار مخالفت می کند، این مخالفت تغییرات شار را در ناحیه چاکدار به تاخیر می اندازد و در نتیجه بین دو میدان مغناطیسی استاتور اندکی عدم تعادل پیش می آید. به عبارت دیگر در یک نیم سیکل ابتدا فوران در قسمت بدون چاک دارای تراکم بیشتری است و بعد از اندکی تراکم در کل سطح استاتور یکنواخت می شود و سپس در قسمت چاکدار تراکم فلو بیشتر از قسمت بدون چاک می شود، در نتیجه یک فلو انتقالی در فاصله هوایی از طرف قسمت بدون چاک به طرف قسمت چاکدار ایجاد می شود که شبیه میدان دوار ولی ضربانی می باشد. جهت چرخش رتور موتور قطب چاکدار همواره از طرف قسمت بدون چاک به سمت قطب چاکدار می باشد.



موتور قطب چاکدار در هواکش های کوچک، سشوارها، پمپ آب کولرها و ... استفاده می شود. این نوع موتور ارزان ترین موتور الکتریکی می باشد زیرا فاقد وسایل جانبی چون خازن، کلید گریز از مرکز و ... می باشد.



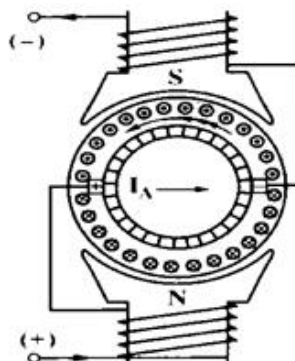
مقایسه‌ی موتور های القایی تک فاز

نوع موتور	علامت اختصاری	گشتاور راه اندازی	گشتاور ماکزیمم	بازده	ضریب قدرت	اسب بخار	مقایسه تقریبی قیمت %
فاز شکسته	SPM	100-250	300	55-65	50-65	1/20-1	100
خازن راه انداز	CSM	250-400	350	55-65	55-65	1/8-1	125
خازن دائمی	PSC	100-200	250	60-70	75-90	1/8-1	140
دو خازنی	SCSR	200-300	250	60-70	75-90	1/8-1	180
قطب چاکدار	SHPM	40-60	140	25-40	25-40	1/200-1/20	60



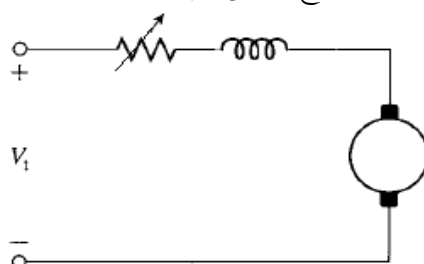
### موتور انیورسال

موتور انیورسال یا چند کاره موتوری است که بر اساس جریان هدایتی به روتور کار می کند و می تواند هم با برق  $ac$  و هم با برق  $dc$  کار کند. ساختمان این نوع موتور شبیه ساختمان موتورهای  $dc$  سری است. مهمترین مزیت موتورهای انیورسال سرعت بسیار بالای آنها می باشد به طوری که در بار نامی سرعتی بین ۴۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ دور در دقیقه و در بی باری سرعتی معادل ۲۰۰۰۰ دور در دقیقه دارد. این موتور در جاروبرقی، دریل، چرخ خیاطی، مخلوط کن و ... استفاده می شود.

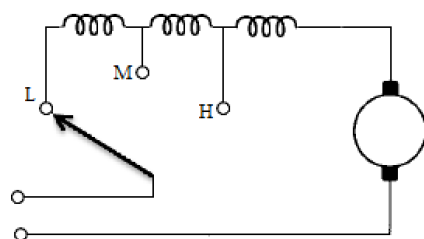


### روش های کنترل سرعت موتور انیورسال

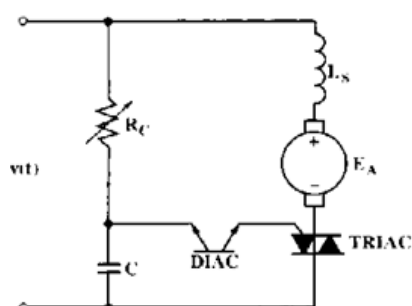
کنترل مقاومت: در این روش یک مقاومت متغیر سری با موتور قرار می گیرد که با تغییر مقدار این مقاومت می توان سرعت موتور انیورسال را تغییر داد. برای مثال در موتور چرخ خیاطی با پدال مقدار مقاومت و در نتیجه سرعت کنترل می شود.



منشعب کردن سیم پیچ ها: در این روش یک قطب میدان در نقاط مختلف منشعب شده و به وسیله تغییر دادن شدت میدان، سرعت کنترل می شود.

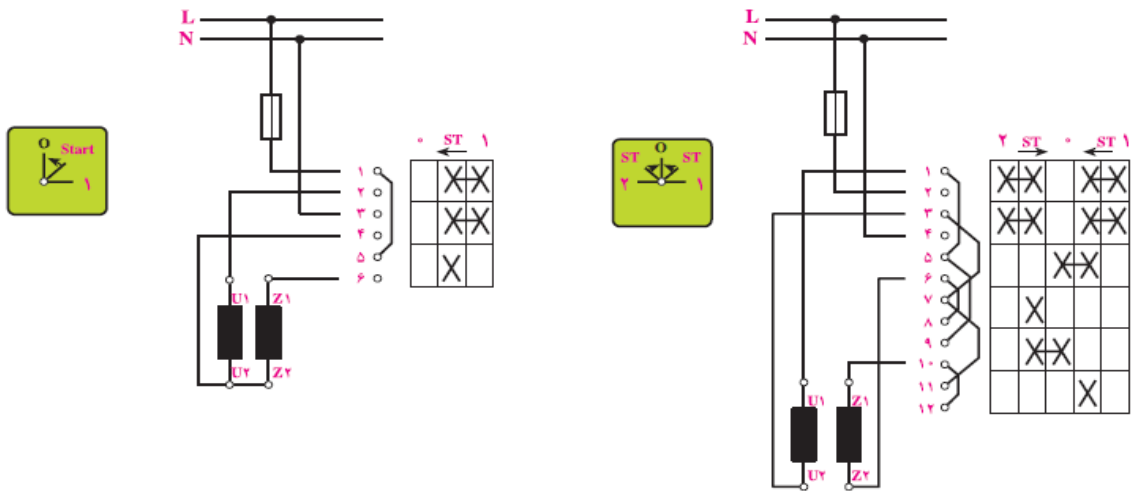
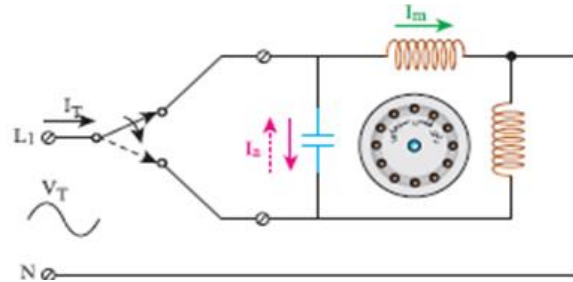


استفاده از المان های نیمه هادی قدرت: به وسیله ی المان های نیمه هادی قدرت چون تریستور، دیاک و تریاک می توان سرعت موتور انیورسال را کنترل کرد.



تغییر جهت گردش موتورهای القایی تک فاز

در موتورهای تکفاز برای تغییر جهت حرکت گردش کافی است جای دو سر سیم پیچ راه انداز را عوض کنیم . و برای تغییر جهت گردش موتور قطب چاکدار محل پیچک های سایه را معکوس می کنیم یا جای استاتور را معکوس می نمائیم .



عواملی که سبب سوختن موتورهای الکتریکی ac می شود :

ولتاژ زیاد، فرکانس زیاد، رطوبت، حرارت، راه اندازی نامناسب و مکرر، هارمونیک ها، محل نصب نامناسب، عدم سرویس کاری، رژیم کاری نامناسب، کلاس عایقی نامناسب، رعایت نکردن IP مناسب، عایق نامناسب، تاب برداشتن محور، نداشتن پروانه‌ی خنک کننده، قفل شدن رتور هنگام کار، استفاده از کابل نامناسب، تنظیم نامناسب رله‌های حفاظتی، دوفاز شدن موتور سه فاز، عدم رعایت توالی فاز در موتور های سه فاز، سفت بودن تسمه، طراحی نامناسب و ... را می توان از مهمترین دلایل سوختن موتورهای الکتریکی جریان متناوب نام برد .





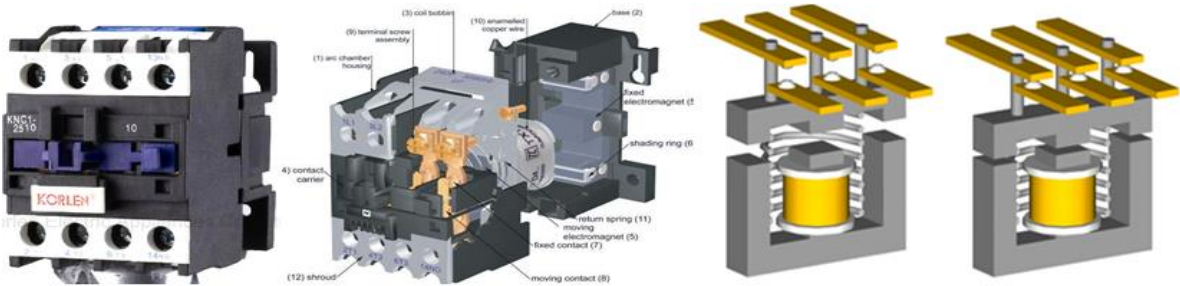
کاربردهایی از موتورهای الکتریکی



## فصل یازدهم : راه اندازی و کنترل الکتروموتورهای سه فاز

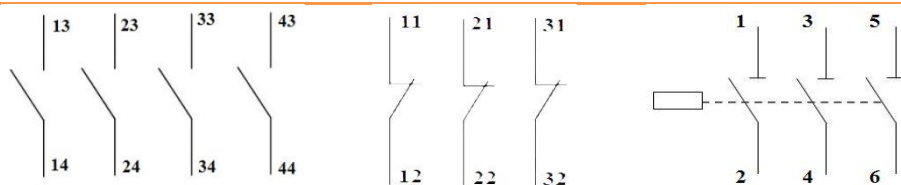
### کنتاکتور

کنتاکتور یک کلید مغناطیسی است که از یک هسته‌ی ثابت و یک هسته‌ی متحرک تشکیل می‌شود. بر روی هسته‌ی ثابت یک بوبین قرار دارد که با عبور جریان الکتریکی از آن خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کند و موجب می‌شود هسته‌ی متحرک به هسته ثابت متصل شود. با اتصال هسته‌ی متحرک به هسته‌ی ثابت کنتاکت‌های باز کنتاکتور، بسته و کنتاکت‌های بسته کنتاکتور باز می‌شود. در صورت قطع برق اعمالی به بوبین، خاصیت مغناطیسی از بین می‌رود و در اثر نیروی فنری که داخل کلید تعبیه شده است هسته‌ی متحرک به جای اول خود باز می‌گردد. هسته‌ها و بوبین بر روی بدنه‌ی کنتاکتور نصب می‌شوند. هر کنتاکتور دارای دو نوع کنتاکت قدرت و فرمان می‌باشند.



**کنتاکت‌های قدرت :** بر روی کنتاکتور سه کنتاکت باز وجود دارد که به کنتاکت‌های قدرت مشهور هستند و با شماره‌های ۱ تا ۶ بر روی کنتاکتور مشخص می‌شوند. با تحریک بوبین، این تیغه‌ها بسته شده و موجب اعمال برق سه‌فاز به موتور می‌شود. شماره‌های ۱ و ۳ و ۵ ورودی و شماره‌های ۲ و ۴ و ۶ خروجی کنتاکتور می‌باشند.

**کنتاکت‌های فرمان :** این کنتاکت‌ها مربوط به مدار فرمان می‌باشند و به دو صورت باز و بسته وجود دارند. کنتاکت‌های باز فرمان : کنتاکت‌های باز فرمان همانند کنتاکت‌های قدرت هستند که در حالت عادی باز می‌باشند و بعد از تحریک بوبین کنتاکتور بسته می‌شوند. کنتاکت‌های باز را با شماره‌های ۱۳ و ۱۴، ۲۳ و ۲۴، ۳۳ و ۳۴ و ... نشان می‌دهند. کنتاکت‌های بسته : این کنتاکت‌ها در حالت عادی بسته هستند و بعد از تحریک بوبین باز می‌شوند. کنتاکت‌های بسته را با شماره‌های ۱۱ و ۱۲، ۲۱ و ۲۲، ۳۱ و ۳۲ و ... نشان می‌دهند.



تیغه‌های باز کنتاکتور

تیغه‌های بسته کنتاکتور

تیغه‌های قدرت کنتاکتور

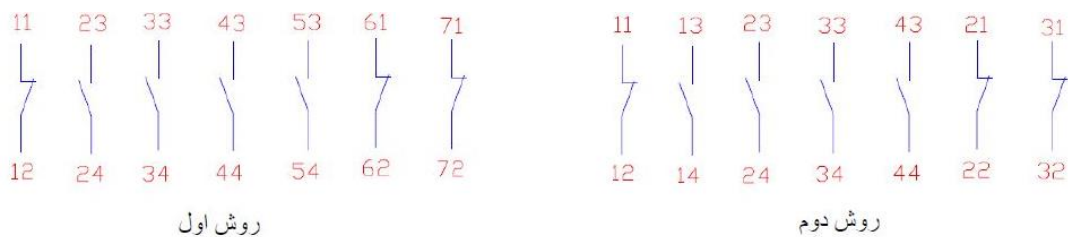
در قدیم تعداد کنتاکت های کمکی بسته و باز یک کنتاکتور را بر روی بدنه‌ی کنتاکتور یا پلاک آن با استفاده از حروف **O** و **S** مشخص می کردند که ضریب **S** تعداد تیغه های باز و ضریب **O** تعداد تیغه های بسته را نشان می داد . مثلاً اگر بر روی کنتاکتور  $۳S + ۵O$  نوشته شده باشد به این معنی است که این کنتاکتور دارای ۳ تیغه باز و ۵ تیغه بسته می باشد .

در کنتاکتورهای جدید به جای روش فوق از یک عدد دو رقمی که به همراه شماره تیپ کنتاکتور نوشته می شود استفاده می کنند . مثلاً برای کنتاکتور فوق به جای  $۳S + ۵O$  عدد ۳۵ در کنار تیپ کنتاکتور نوشته می شود که رقم سمت راست تعداد تیغه های باز و رقم سمت چپ تعداد تیغه های بسته را نشان می دهد . به عنوان مثال در کنتاکتوری با تیپ  $HL ۱۰/۸۲$  عدد ۸، تعداد کنتاکت های باز و عدد ۲، تعداد تیغه های بسته می باشد . عدد ۱۰ نیز مجموع تیغه های باز و بسته است . کنتاکت های اصلی (قدرت) با حرف **H** و کنتاکت های تغییر حالت دهنده یا پالس دهنده نیز با حرف **W** نمایش داده می شوند .

بر روی کنتاکتور دو پیچ به نام های  $A_1$  و  $A_2$  وجود دارد که دو سر بوبین کنتاکتور می باشند .



نحوه‌ی شماره گذاری کنتاکت های یک کنتاکتور



مزایای استفاده از کنتاکتور ها

- ۱ - امکان کنترل مصرف کننده ها از راه دور و از چند محل .
- ۲ - امکان طراحی اتوماتیک برای مراحل مختلف کار .
- ۳ - داشتن حفاظت نسبتاً کامل .
- ۴ - هنگام قطع برق نیاز به استارت مجدد دارند و خود به خود راه اندازی نمی شوند.

### مشخصات کنتاکتور

- ۱ - **جریان دائمی** : این جریان که با  $I_{th2}$  نشان داده می شود، جریانی است که در شرایط کار عادی، در زمان نامحدود و بدون قطع شدن کنتاکت ها عبور نموده ، حرارت غیر مجاز تولید نکند و لزومی به تعمیر و سرویس کنتاکتور نیز احساس نشود .
- ۲ - **جریان هفتگی** : این جریان با  $I_{th1}$  نشان داده می شود و جریانی است که در شرایط کار عادی و با هفته ای یکبار اتصال کنتاکت ها عبور کرده و تغییری در خصوصیات کنتاکتور به وجود نیاورد .
- ۳ - **جریان شیفتی** : این جریان با  $I_{th}$  نشان داده می شود و جریانی است که در شرایط کار عادی و با یکبار اتصال در هر شیفت کاری (هشت ساعت) از کنتاکت ها می گذرد و تغییری در خصوصیات کنتاکتور به وجود نیاورد .
- ۴ - **جریان کار نامی** : این جریان با  $I_e$  نشان داده می شود و جریانی است که شرط استفاده از کنتاکتور را در رابطه با نوع و مقدار ولتاژ بار بیان می کند، اگر این جریان به طور دائم از کنتاکتور عبور کند مقدار جریان نامی برابر مقدار جریان دائمی است .

۵ - جریان اتصال کوتاه : مقدار ماکزیمم جریان در لحظه اتصال کوتاه که ممکن است باعث آسیب دیدن کنتاکتور شود به جریان اتصال کوتاه ضربه ای  $I_s$  معروف است . همچنین مقدار موثر جریان اتصال کوتاه که کلید برای مدت یک ثانیه قادر به تحمل آن است ، جریان نامی زمان کم نامیده می شود و با  $I_{th}$  (Is) مشخص می گردد .

۶ - ولتاژ کار نامی : این ولتاژ که با  $U_e$  نشان داده می شود مربوط به کنتاکت ها بوده و مقدار ولتاژی است که کنتاکت ها با جریان نامی  $I_e$  در آن به کار گرفته می شوند . این ولتاژ، توانایی قطع و وصل، نوع و محل استفاده کنتاکتور را مشخص می کند .

۷ - ولتاژ عایق نامی : این ولتاژ با  $U_i$  نشان داده می شود، ولتاژی است که استحکام عایقی بین کنتاکت ها را نشان می دهد .

۸ - ولتاژ نامی تغذیه ی بوبین : این ولتاژ که با  $U_c$  نشان داده می شود ، ولتاژی است که باید به بوبین اتصال یابد تا کنتاکتور عملکرد داشته باشد .

۹ - طول عمر کنتاکتور : تعداد دفعات قطع و وصل کنتاکتور (هر قطع و وصل یک بار) عمر مکانیکی نامیده می شود . طول عمر مکانیکی با حروف A تا F نشان داده می شود که به آن کلاس کنتاکتور می گویند، حرف A تعداد  $10^3$  بار قطع و وصل، حرف B تعداد  $10^4$ ، C تعداد  $10^5$ ، D تعداد  $10^6$ ، E تعداد  $10^7$  و F تعداد  $10^8$  بار قطع و وصل را نشان می دهد . بعد از حرف کلاس ممکن است عددی به عنوان ضریب قرار گیرد مثلاً  $D^3$  نشان دهنده ی طول عمر  $3 \times 10^6$  است .

۱۰ - نرم یا استاندارد کنتاکتور : کنتاکتور ها با استاندارد های مشخصی ساخته می شوند که عبارتند از :

استاندارد آلمانی VDE – DIN

استاندارد فرانسوی UTE – NF

استاندارد انگلیسی B.S

استاندارد کانادایی GSA

استاندارد کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک IEC

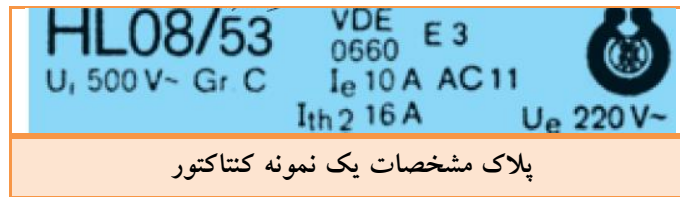
۱۱ - زمان قطع و وصل : زمان قطع و وصل یا به طور کلی زمان عملکرد هر کنتاکتور زمانی است که پس از سپری شدن آن تیغه ها تغییر وضعیت می دهند، این زمان در کنتاکتور و رله ها طوری تنظیم می شود که عمل قطع و وصل در زمان معینی اتفاق بیفتد. زمان وصل تیغه های کنتاکتور به هم، حدود ۲۰ میلی ثانیه است ولی بلافاصله پس از دریافت فرمان تیغه ها از هم جدا می شوند .

۱۲ - درجه حرارت کار : کنتاکتورها مانند سایر وسایل الکتریکی یک محدوده ی حرارتی مخصوصی دارد که استفاده از آن در این محدوده ی مجاز بوده و موجب عملکرد مطلوب می شود.

انواع کنتاکتور از نظر نوع جریان

نوع کنتاکتور	کاربرد بر طبق استاندارد IEC
AC ۱	بارهای اهمی و اهمی سلفی با ضریب قدرت حدود $\cos \phi = 0.95$
AC ۲	راه اندازی موتورهای رتور سیم پیچی - بدون ترمز با جریان مخالف
AC ۲'	راه اندازی موتورهای سیم پیچی - با ترمز با جریان مخالف
AC ۳	راه اندازی موتورهای رتور قفسی - با تحمل جریان راه اندازی
AC ۴	راه اندازی موتورهای رتور قفسی - با ترمز جریان مخالف و وصل سریع
AC ۱۱	کنتاکتور کمکی مدار فرمان

نوع کنتاکتور	کاربرد بر طبق استاندارد IEC
DC ۱	بارهای اهمی
DC ۲	راه اندازی موتورهای شنت - قطع موتور هنگام کار
DC ۳	راه اندازی موتورهای شنت - قطع و وصل سریع
DC ۴	راه اندازی موتورهای سری - قطع موتور هنگام کار
DC ۵	راه اندازی موتورهای سری - قطع و وصل سریع
DC ۱۱	کنتاکتور کمکی مدار فرمان



**رله‌ی حرارتی (بیمتال)**

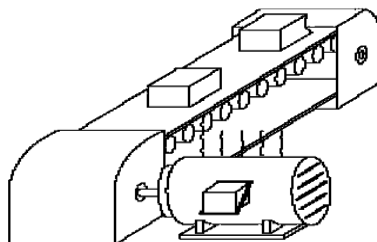
رله‌ی حرارتی یا بی‌متال جهت حفاظت مدارات در برابر اضافه بار به کار می‌رود. بی‌متال معمولاً از دو تیغه فلزی غیر هم جنس با ضریب انبساط طولی مختلف ساخته می‌شود. این دو فلز در حالت گرم، به وسیله غلتک پرس و به صورت یک تکه در می‌آید. در اثر عبور جریان، هر دو فلز گرم و طول آن‌ها زیاد می‌شود و چون ازدیاد طول یکی از فلزات بیشتر از دیگری است، از این رو دو فلز با هم خم می‌شوند. این حرکت به طور مستقیم و یا به وسیله اهرم‌هایی به یک کنتاکت منتقل می‌شود و مدار را قطع یا وصل می‌کند. در بی‌متال‌های سه فاز از سه پل قدرت برای عبور جریان اصلی به مصرف کننده استفاده می‌شود و همچنین دارای دو تیغه‌ی فرمان است یک تیغه بسته جهت قطع مدار و تیغه‌ی دیگر باز است که پس از عمل بیمتال تغییر وضعیت می‌دهند و برای اطلاع دادن یا وصل مدارهای اضطراری به کار می‌رود.

شکل ظاهری	اتصال در جریان تکفاز	اتصال در جریان سه‌فاز	تیغه‌های بی‌متال	حالت عادی و اضافه بار بی‌متال

جریان بی‌متال توسط یک پیچ قابل تنظیم است و با توجه به جریان نامی موتور تنظیم می‌شود. بی‌متال در مقابل اضافه بار ۱/۰۵ تا ۱۰ برابر جریان نامی، مدار را قطع می‌کند.

**مواقع بروز اضافه بار:** اضافه بار زمانی اتفاق می‌افتد که یا تعداد وسایلی که در یک مدار کار می‌کنند زیاد باشد و یا یکی از دستگاه‌ها بالاتر از آنچه برای آن طراحی شده است کار کند. به عنوان مثال موتوری که در حالت عادی ۱۰ آمپر می‌کشد در شرایط اضافه بار ممکن است ۲۰ تا ۳۰ آمپر بکشد. در شکل زیر بسته‌هایی را روی نوار نقاله نشان می‌دهد که عمل تراکم بر

روی آنها انجام می‌شود، این عمل تراکم باعث می‌شود موتور سخت‌تر کار کند و جریان بیشتری بکشد. این جریان زیاد باعث داغ شدن موتور شده و در صورتی که این مشکل حل نشود و یا رله اضافه بار مدار را قطع نکند موتور آسیب می‌بیند.



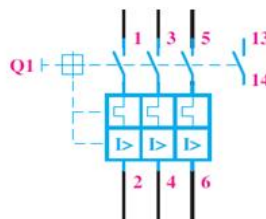
جدول انتخاب فیوز، کنتاکتور، بی‌متال برای راه اندازی مستقیم (یک ضربه) الکتروموتور های سه فاز

ولتاژ ۲۲۰-۲۴۰ V		ولتاژ ۳۸۰ V		جریان کنتاکتور	جریان بی‌متال	جریان فیوز
KW	HP	KW	HP	A	A	A
		۰/۳۷	۰/۵	۹	۱-۱/۶	۲
۰/۳۷	۰/۵	۰/۵۵	۰/۷۵	۹	۱/۶-۲/۵	۲-۴
		۰/۷۵	۱	۹	۱/۶-۲/۵	۲-۴
۰/۵۵	۰/۷۵	۱/۱	۱/۵	۹	۲/۵-۴	۴-۶
۰/۷۵	۱	۱/۵	۲	۹	۲/۵-۴	۴-۶
۱/۱	۱/۵	۲/۲	۳	۹	۴-۶	۶-۸
۱/۵	۲	۳	۴	۹	۴-۶	۸-۱۲
				۹	۵/۵-۸	۸-۱۲
۲/۲	۳	۴	۵/۵	۱۶	۷-۱۰	۱۰-۱۲
۳	۴	۵/۵	۷/۵	۱۶	۱۰-۱۳	۱۲-۱۶
۴	۵/۵	۷/۵	۱۰	۱۶	۱۳-۱۵	۱۶-۲۰
				۱۶	۱۳-۱۸	۱۶-۲۰
۵/۵	۷/۵	۱۰	۱۳/۵	۲۵	۱۸-۲۵	۲۰-۲۵
		۱۱	۱۵	۲۵	۱۸-۲۵	۲۵
۷/۵	۱۰	۱۵	۲۰	۴۰	۲۳-۳۲	۳۲-۴۰
۱۰	۱۳/۵	۱۸/۵	۲۵	۴۰	۳۰-۴۰	۴۰
۱۱	۱۵			۴۰	۳۰-۴۰	۴۰
		۲۲	۳۰	۶۳	۳۸-۵۰	۵۰-۶۳
۱۵	۲۰			۶۳	۴۸-۵۷	۶۳
۱۸/۵	۲۵	۳۰	۴۰	۶۳	۴۸-۵۷	۶۳
				۶۳	۵۷-۶۶	۶۳
۲۲	۳۰	۳۷	۵۰	۸۰	۶۶-۸۰	۸۰
		۴۵	۶۰	۱۲۵	۷۵-۱۰۵	۱۰۰
۳۰	۴۰	۵۵	۷۵	۱۲۵	۹۵-۱۲۵	۱۲۵

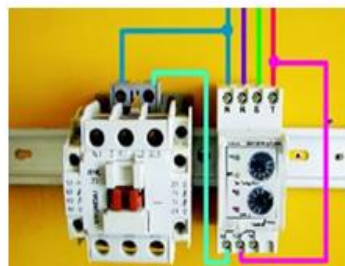
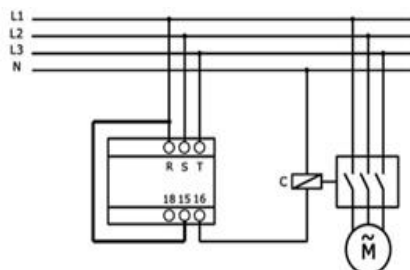
جدول انتخاب فیوز ، کنتاکتور ، بی متال برای راه اندازی ستاره - مثلث الکتروموتور های سه فاز

ولتاژ ۲۲۰-۲۴۰ V		ولتاژ ۳۸۰ V		جریان کنتاکتور	جریان بی متال	جریان فیوز
KW	HP	KW	HP	A	A	A
۴	۵/۵	۷/۵	۱۰	۱۲	۷-۱۰	۱۶
				۱۲	۷-۱۰	۲۰
۵/۵	۷/۵	۱۰	۱۳/۵	۱۲	۱۰-۱۳	۲۰
		۱۱	۱۵	۱۶	۱۳-۱۸	۲۵
۷/۵	۱۰	۱۵	۲۰	۱۶	۱۳-۱۸	۳۲
۱۰	۱۳/۵	۱۸/۵	۲۵	۲۵	۱۸-۲۵	۴۰
۱۱	۱۵			۲۵	۱۸-۲۵	۴۰
				۲۵	۱۸-۲۵	۵۰
		۲۲	۳۰	۴۰	۲۳-۳۲	۵۰-۶۳
۱۵	۲۰			۴۰	۲۳-۳۲	۶۳
۱۸/۵	۲۵	۳۰	۴۰	۴۰	۳۰-۴۰	۶۳
				۴۰	۳۰-۴۰	۸۰
				۴۰	۳۰-۴۰	۸۰
۲۲	۳۰	۳۷	۵۰	۶۳	۳۸-۵۰	۸۰
				۶۳	۳۸-۵۰	۱۰۰
		۴۵	۶۰	۶۳	۴۸-۵۷	۱۰۰
۳۰	۴۰	۵۵	۷۵	۶۳	۵۷-۶۶	۱۲۵
۳۷	۵۰			۸۰	۶۰-۸۰	۱۲۵
۴۵	۶۰	۷۵	۱۰۰	۱۲۵	۷۵-۱۰۵	۱۶۰
				۱۲۵	۷۵-۱۰۵	۲۰۰
۵۵	۷۵	۹۰	۱۲۵	۱۲۵	۹۵-۱۲۵	۲۰۰

**کلید محافظ :** کلید محافظ دارای یک عضو مغناطیسی و یک عضو حرارتی است که موتور را در مقابل اتصال کوتاه و اضافه بار محافظت می کند . معمولاً کلید را روی جریان معینی ( ۱/۵ تا ۱/۸ برابر جریان نامی ) تنظیم می کنند . وقتی که جریان از حد تنظیم شده بیشتر شود عضو حرارتی رله عمل می کند و زمانی که اتصال کوتاه رخ دهد قسمت مغناطیسی فعال شده و مدار را قطع می کند . قسمت مغناطیسی از یک هسته متحرک، یک هسته ثابت و یک بوبین تشکیل می شود . در صورت وقوع اتصال کوتاه بوبین مغناطیس شده و قسمت متحرک را به قسمت ثابت متصل می کند و موجب قطع مدار می شود .

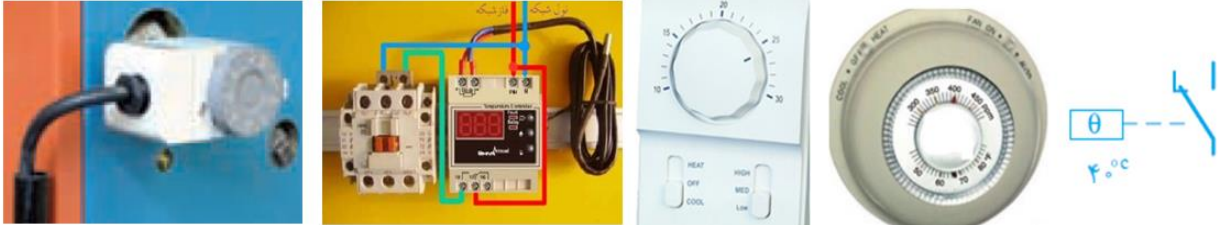


**رله ی کنترل فاز :** برای تشخیص قطع فازها، عکس بودن توالی فاز، افزایش یا کاهش ولتاژ از رله ی کنترل فاز استفاده می شود که برای هر حالت یک لامپ نشانگر قرار داده شده است. چهار ترمینال به نام های L۱ و L۲ و L۳ و MP برای اتصال سه فاز شبکه و سیم نول و سه ترمینال ۱۵ و ۱۶ و ۱۸ همانند تایمر نیز روی آن تعبیه شده است .





**ترموستات** : ترموستات نوعی رله‌ی حرارتی است که نسبت به حرارت محیط حساس است . ترموستات در دستگاه های مختلف صنعتی استفاده می شود و وظیفه تعادل حرارتی دستگاه را بر عهده دارد ، در صورتی که درجه حرارت دستگاه یا محیط از حد درجه حرارت تنظیم شده بیشتر شود کنتاکت های باز را بسته و کنتاکت های بسته را باز می کند . از ترموستات در وسایلی چون شوفاژ ، یخچال ، کوره ها و ... استفاده می شود



**شستی** : در مدار فرمان راه اندازی موتورها از شستی های استپ و استارت استفاده می شود . از شستی استارت برای راه اندازی مدار استفاده می شود و به رنگ سبز یا مشکی است . و شستی استپ که برای قطع مدار استفاده می شود قرمز رنگ می باشد .  
**نکته** : شستی استارت با رنگ زرد برای حالت غیر نرمال به کار می رود برای مثال راه اندازی یک موتور در جهت عکس حالت نرمال، راه اندازی یک حرکتی به منظور دوری از خطر، قطع شدن برق تمام قسمت هایی که در مراحل قبل وصل شده اند .

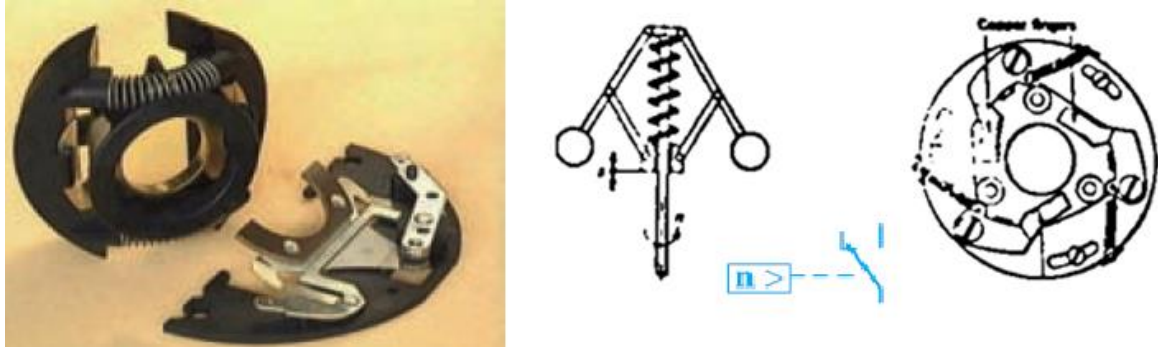
استپ استارت دوبل : اگر با فشردن یک شستی همزمان استارت و استپ عمل کنند و تغییر وضعیت دهند یک استپ استارت دوبل تشکیل شده است .



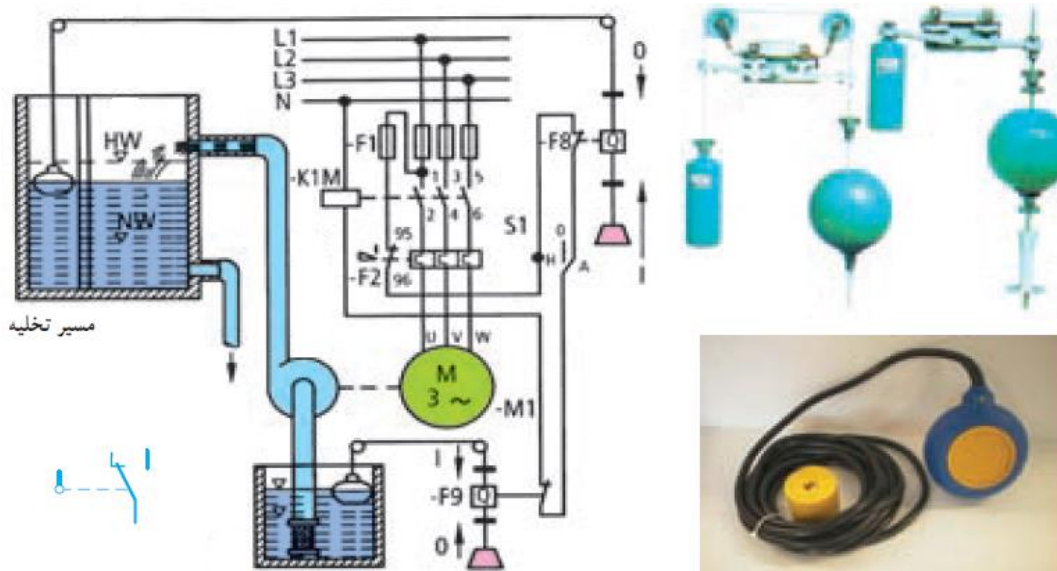
**لامپ های سیگنال** : لامپ های سیگنال یا خبر دهنده در دستگاه های صنعتی و تابلوهای توزیع و فرمان استفاده می شود . لامپ های سیگنال در رنگ های مختلف و با ولتاژ های متفاوت تولید می شوند . از لامپ سیگنال جهت اعلام وضعیت تیغه های وسایل مختلف و خاموش و روشن بودن آن ها استفاده می شود . علاوه بر لامپ سیگنال می توان از آلارم صنعتی نیز استفاده کرد . در خطاهای مهم علاوه بر وسایل خبر دهنده باید از وسایل حفاظتی چون فیوز و رله های مختلف استفاده کرد تا مدار اتوماتیک قطع شود .

مفهوم رنگ های مختلف در لامپ های سیگنال	
قرمز	نشان دهنده حالت غیر عادی سیستم است .
زرد	نشان دهنده احتیاط است .
سبز	نشان دهنده حالت عادی سیستم می باشد .
سفید	نشان دهنده عملکرد سیستم به صورت نرمال است .

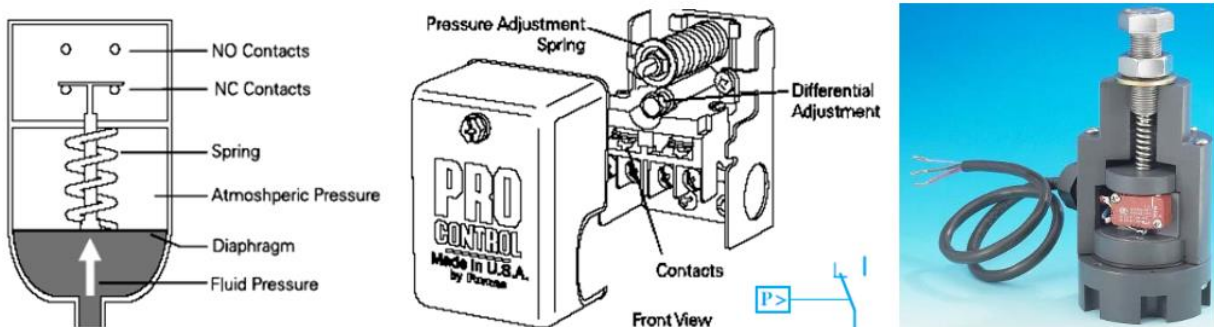
**کلید های تابع دور :** کلید های تابع دور یا کلید گریز از مرکز در برخی از موتورهای تکفاز جهت خارج کردن سیم پیچ کمکی از مدار و ترمز جریان مخالف به کار می رود . ساختمان آن از یک محور و دو وزنه تشکیل شده است ، که به وسیله یک طوق و یک فنر حول محور حرکت می کند و با کم و زیاد شدن سرعت محور موتور یا وسیله چرخنده ، وزنه های دو طرف به محور نزدیک یا دور می شوند و موجب قطع و وصل کلید می شود .



**کلیدهای شناور :** این کلید ها برای کنترل سطح مایعات داخل منبع ها ، استخرها و مخازن مورد استفاده قرار می گیرد . ساختمان این کلید از وزنه تعادل ، شناور و میکروسوئیچ تشکیل می شود که با تغییر سطح مایع داخل مخزن شناور تغییر مکان داده و به میکروسوئیچ داخل کلید فرمان می دهد و باعث قطع و وصل مدار می شود .



**کلید های تابع فشار:** کلیدهای تابع فشار یا کلیدهای گازی برای کنترل سطح گاز داخل مخازن و کمپرسورها، تنظیم فشار آب داخل لوله ها و روشن خاموش کردن اتوماتیک این دستگاه ها مورد استفاده قرار می گیرد . فشار گاز موثر بر صفحه ی داخل کلید نیرویی وارد می کند که باعث تحریک کلید و عملکرد کنتاکت ها می شود، حرکت برگشت توسط فنر تأمین می شود .





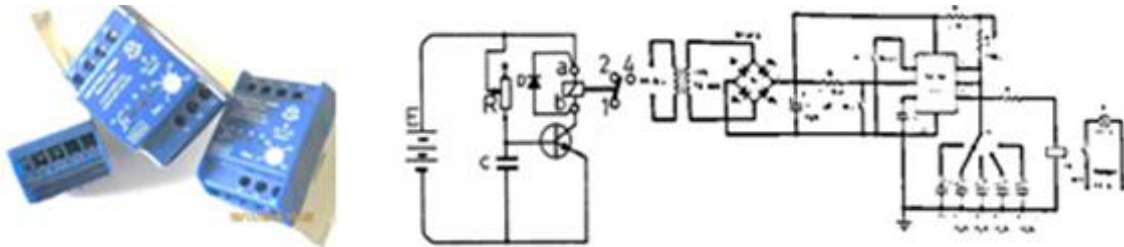
### رله های زمانی (تایمر ها)

برای کنترل اتوماتیک مدارات برق صنعتی از تایمر استفاده می شود. بر روی تایمرها ولومی تعبیه شده که به وسیله آن می توان زمان تایمر را تنظیم کرد، بعد از سپری شدن زمان تایمر تیغه های باز تایمر بسته و تیغه های بسته آن باز می شود. در زیر به معرفی مختصر پرکاربردترین تایمرها می پردازیم.

**تایمر یا رله ی زمانی الکترومکانیکی (موتوری):** این نوع تایمر از یک موتور کوچک تشکیل شده است که از طریق چرخ دنده یک دیسک را در مقابل میکروسوییچی می چرخاند. محل دیسک در لحظه ی شروع به کار قابل تنظیم است. با تغذیه ی تایمر، موتور با دور ثابت به گردش درمی آید و زمان تایمر شروع می شود. دیسک پس از گردش به سبب برخورد با زائده متوقف می شود و به میکروسوییچ داخلی فرمان می دهد آنگاه کنتاکت های تایمر عمل می کنند.



**تایمر یا رله ی الکترونیکی:** تایمرهای الکترونیکی یکی از پرکاربردترین انواع تایمرها است که از اجزاء و عناصر الکترونیکی ساخته می شوند. در نوع ساده ی تایمر الکترونیکی از خاصیت شارژ و دشارژ خازن در یک مدار RC استفاده شده است. در این حالت تایمر زمانی فعال می شود که خازن کاملاً شارژ شود. پس از وصل رله بار ذخیره در خازن بر روی مقاومتی تخلیه می شود و تایمر خاموش می شود.



**تایمر یا رله ی زمانی هیدرولیکی** در این نوع رله ها از سیستم هیدرولیکی جهت تاخیر در مدار استفاده می شود. طرز کار آن طوری است که وقتی جریان برق به رله وصل می شود، مقداری روغن در داخل آن جابه جا می شود. برای بازگشت روغن به محل اولیه زمانی طول می کشد، که همان زمان تایمر است.

**تایمر یا رله ی زمانی پنوماتیکی (نیوماتیکی)** این نوع تایمر دارای یک کپسول هوا و یک بوبین با هسته ی آهنی می باشد، زمانی که بوبین تحریک می شود هسته آهنی کپسول هوا را فشرده می کند و هوای فشرده بعد از زمان تعیین شده کنتاکت ها را تغییر حالت می دهد.

**رله زمانی بی متال یا تایمر حرارتی:** این نوع تایمرها بر اساس خاصیت بی متال کار می کند و در دو نوع ذوب شونده و منعکس کننده وجود دارند. هنگامی که جریان از بی متال عبور می کند، گرم می شود و پس از مدتی در اثر تغییر شکل مدار را قطع یا وصل می کند. دقت این تایمرها زیاد نیست زیرا دمای محیط روی کار آن تاثیر می گذارد به همین دلیل در برق صنعتی استفاده کمی دارد و بیشتر در مدارات برق ساختمان به عنوان رله ی راه پله استفاده می شود.

به طور کلی رله های زمانی یا تایمرها به دو دسته کلی تقسیم می شوند .  
 رله های تاخیر در وصل ( ON - DELAY ) : به رله هایی که باید ابتدا به آن ها انرژی داده شود و سپس عمل می کنند ،  
 رله های تاخیر در وصل گفته می شود . مانند رله موتوری .  
 رله های تاخیر در قطع ( OFF - DELAY ) : به رله هایی که پس از قطع انرژی اعمال شده به آن ها ، عمل می کنند ،  
 رله های تاخیر در قطع می گویند . مانند رله پنوماتیکی .

نیمه های تایمر تاخیر در قطع	نیمه های تایمر تاخیر در وصل	تاخیر در قطع و وصل	تاخیر در قطع	تاخیر در وصل

نکته ی مهم : مدارات اتوماتیک را باید طوری طراحی کرد که بعد از عملکرد ، تایمر از مدار خارج شود ، در غیر این صورت بوبین تایمر آسیب می بیند .

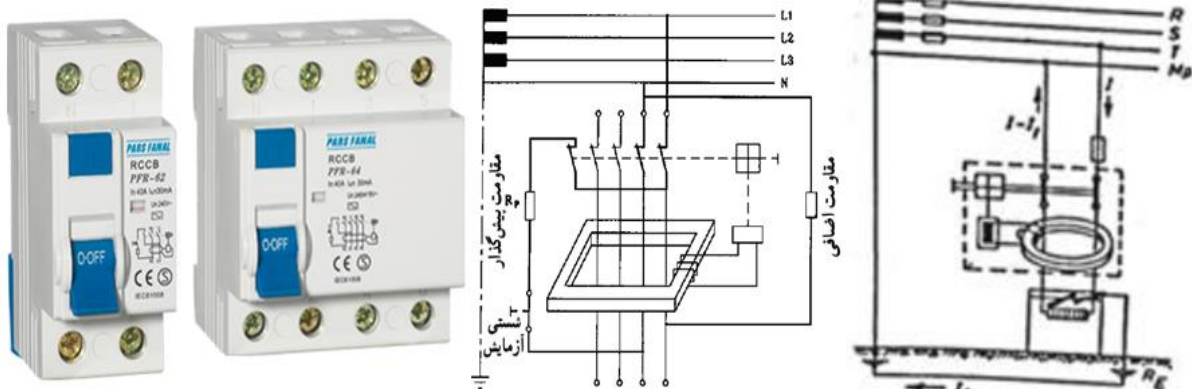
### کلید FI

کلید FI یا حفاظت جان برای حفاظت اشخاص در مقابل برق گرفتگی ناشی از اتصال بدنه استفاده می شود . در صورتی که سیم فاز به بدنه ی فلزی دستگاه وصل شود، کلید FI از طریق تفاضل جریان های ورودی و خروجی اتصال بدنه را تشخیص می دهد و مدار را قطع می کند. ساختمان داخلی FI شامل یک ترانس جریان و یک رله ی مغناطیسی است. سیم فاز و نول به کلید وصل می شود و از وسط هسته عبور می کند، از آنجایی که در حالت عادی جریان رفت (فاز) و جریان برگشت (نول) برابر و در خلاف جهت هم هستند، میدان های مغناطیسی ناشی از آن ها نیز با هم برابر و در خلاف جهت هم هستند، در نتیجه میدان های همدیگر را خنثی می کنند و کلید در حالت وصل باقی می ماند.

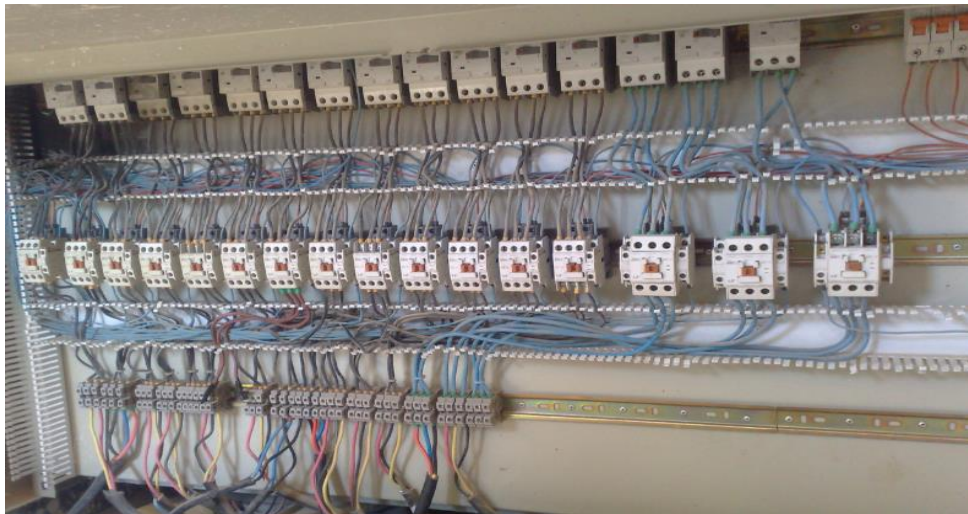
در صورتی که قسمت های الکتریکی دستگاهی که توسط کلید FI حفاظت می شود به بدنه ی آن اتصال پیدا کند ، جریانی از زمین به طرف نقطه صفر ترانسفورماتور شبکه عبور خواهد کرد . این جریان باعث می شود که تعادل جریان های عبوری از هسته کلید FI از بین برود و در نتیجه فوران عبوری از این هسته دیگر برابر صفر نخواهد بود . فوران هسته موجب القاء ولتاژی در سیم پیچ روی هسته می شود که رله متصل به آن را تحریک کرده و موجب قطع کلید توسط رله می شود .  
 نکته : عملکرد کلید FI به جریان فیوز اصلی بستگی ندارد و مستقل عمل می کند .

نکته : کلید FI سه فاز نیز وجود دارد که در زیر نحوه نصب آن در شبکه ترسیم شده است .

کلید FU : این کلید طوری طراحی شده که ولتاژ های بیش از حد مجاز را در عرض ۰/۲ ثانیه قطع می کند.



**ترمینال:** برای اتصال مدارات تابلو به هم از ترمینال استفاده می شود. ترمینال‌های دارای بدنه ترموپلاست یا کائوچو بوده که دارای دو پیچ در طرفین خود می باشند. این دو پیچ از نظر الکتریکی در داخل ترمینال بهم متصل می باشند. ممکن است ترمینالها بصورت تکی بوده و روی ریل‌های استاندارد نصب شوند. این ترمینال‌ها بنام ترمینال‌های ریلی معروف بوده و بر اساس نمره سیمی که به آنها متصل می شود دسته بندی می گردند



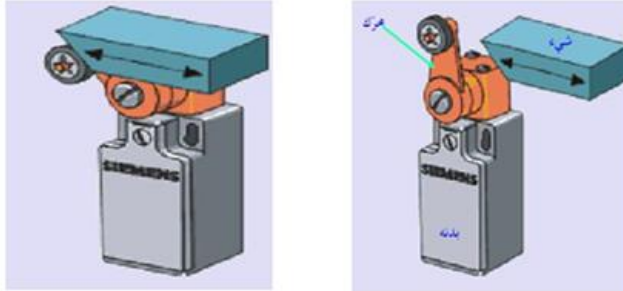
**سنسورها:** سنسور ها وسایلی هستند که کمیت های فیزیکی مثل دما، فشار و نور را به سیگنال های الکتریکی از نوع پیوسته یا گسسته تبدیل می کنند. در زیر به معرفی انواع مختلف سنسور ها می پردازیم.

**لیمیت سوئیچ ها یا کلید های محدود کننده ( سنسور با تماس مستقیم )**

لیمیت سوئیچ یک نوع کلید است که برای فرمان های مکانیکی یا محدود کردن حرکت وسایل متحرک به کار می رود. نحوه عملکرد لیمیت سوئیچ همانند استپ استارت دابل است یعنی با تحریک آن کنتاکت های بسته و باز آن تغییر حالت پیدا می کند. کاربرد و ساختمان لیمیت سوئیچ ها متفاوت است و بستگی به نحوه عملکرد سیستم مکانیکی دارد. لیمیت سوئیچ ها در وسایلی مانند تایمر ها، شناور ها، رله ها و ... استفاده می شود.



					
محدود کننده آنتنی دو طرفه	محدود کننده قرقره ای	محدود کننده قرقره ای دو طرفه	محدود کننده قرقره ای یک طرفه از راست	محدود کننده قرقره ای یک طرفه از چپ	محدود کننده فشار انتهایی



**سنسور های بدون تماس فیزیکی**

این سنسورها برای عملکرد نیازی به تماس فیزیکی با اشیاء ندارند . در زیر به بررسی انواع آن ها می پردازیم .

تکنولوژی کار	جنس ماده ای که حس می کند	نوع سنسور
میدان الکترومغناطیسی	فلز	سلفی
میدان الکترواستاتیک	تمام مواد	خازنی
امواج صوتی	تمام مواد	آلتراسونیک
نور	تمام مواد	فتو الکتریک

**سنسور سلفی:** قسمت اصلی سنسورهای سلفی، یک سیم پیچ یا سلف است که با خاصیت الکترومغناطیسی، وجود قطعات فلزی را حس می کند . یک اسپلاتور یا نوسان ساز ، ولتاژ متناوب تولید کرده و پس از تنظیم شدن ، به سیم پیچ داده می شود . این سیم پیچ میدان الکترومغناطیسی لازم را تولید می کند .

**سنسور خازنی:** این سنسورها شبیه سنسور های سلفی هستند که میدان الکتروستاتیکی به جای میدان الکترومغناطیسی تولید می کند، سنسورهای خازنی علاوه بر تشخیص فلزات، مواد غیر فلزی مانند کاغذ، شیش ، مایعات و پارچه را نیز حس می کنند.

**سنسورهای آلتراسونیک :** در این سنسورها سیگنال های صوتی فرکانس بالا از یک فرستنده ارسال شده و توسط گیرنده ای دریافت می گردد . حال اگر یک شیء بین فرستنده و گیرنده قرار گیرد این سیگنال به شیء برخورد کرده و دیگر گیرنده سنسور قادر به دریافت سیگنال نبوده و مدارات کنترلی سنسور وجود شیء را اعلام می نماید .

**سنسور فتوالکتریک:** این سنسور نوع دیگری از ابزارهای تشخیص موقعیت می باشد این سنسور شامل منبع انتشار نور، یک گیرنده برای کشف نور ارسالی و مدارات الکترونیکی برای تقویت سیگنال کشف شده جهت راه اندازی مدارات کنترلی می باشد. هوای محیطی که سنسور در آنجا نصب می شود (مخصوصاً محیط های صنعتی)، ممکن است حاوی گردوخاک ، دود و رطوبت باشد . در این شرایط سنسور نیاز به تشعشع نور بیشتری دارد. هوای محیط را به شش گروه آلودگی پاک، سبک، پایین، متوسط، بالا و بسیار زیاد تقسیم می گردد .

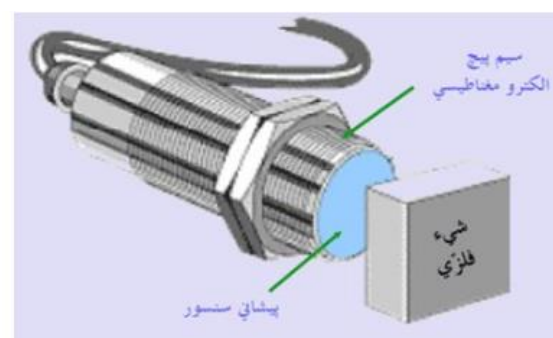
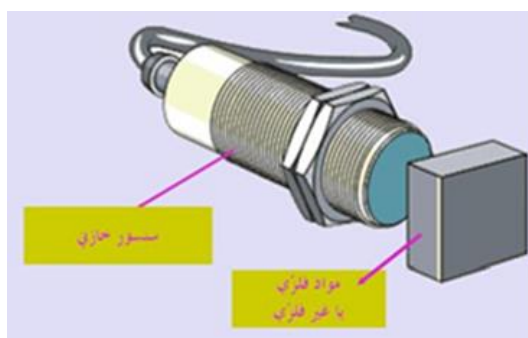
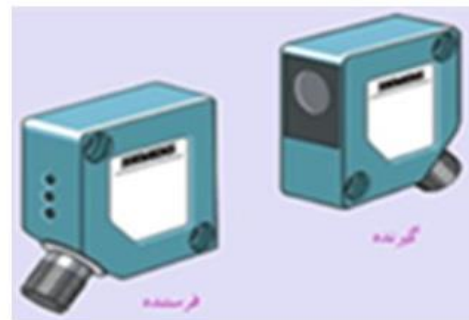


کاربردهای سنسور فو لکترونیک			
شکل نمونه	کاربرد	شکل نمونه	کاربرد
	تشخیص بسته های با ارتفاع نامساوی		شمارش قطعی های کنسرو
	تشخیص وسایل متعکس کننده نور		شمارش کارتن ها
	مقایسه محتوای آمپول ها		شمارش بطری ها
	تشخیص برجسته ها یا پس زمینه شفاف		استفاده در کاروان
	تشخیص ترکیبات داخل کنسروهای فزی		تشخیص بسته های با ارتفاع نامساوی

کاربردهای سنسور سلفی	
	ردیابی سرشته شکسته
	ردیابی پیچ های ضامن روی چرخ فرز جهت کنترل سرعت یا کنترل جهت چرخش
	ردیابی وجود قوطی ها
	اعلام باز یا بسته بودن کامل شیرها
	ردیابی سرشته شکسته در ماشین فرز

کاربردهای سنسور آکترسونیک			
شکل نمونه	کاربرد	شکل نمونه	کاربرد
	تشخیص وسیله نقلیه و موقعیت یابی		اندازه گیری سطح در ظروف بزرگ
	تشخیص ارتفاع قطعات روی هم		جلوگیری از برخورد
	تشخیص نقشه های برجسته		اندازه گیری سطح در ظروف کوچک
	شمارش بطری ها		تشخیص ارتفاع قطعات
	تشخیص افراد		کنترل کیفیت
	ردیابی قطن سیم یا طناب		تشخیص شکستگی

کاربردهای سنسور مخازنی	
	کنترل سطح مواد جامد در مخزن
	ردیابی وجود سیالات مانند شیر در پاکت

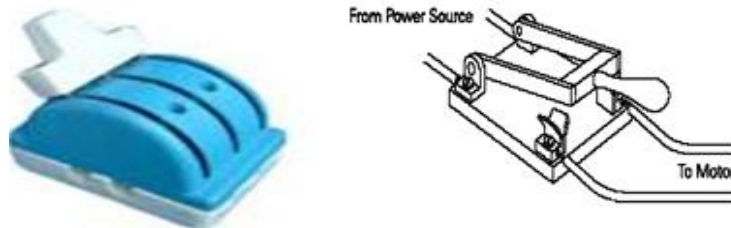


### راه اندازی الکتروموتورها به وسیله ی کلیدهای دستی

برای راه اندازی الکتروموتورها می توان از کلیدهای دستی استفاده کرد. از نظر ساختمان کلیدهای دستی به سه صورت اهرمی، غلتکی و زبانه ای ساخته می شوند که در زیر به معرفی آن ها می پردازیم.

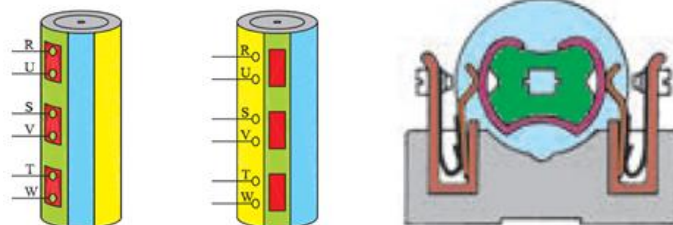
#### کلیدهای اهرمی

کلیدهای اهرمی که به کلیدهای چاقویی یا کاردی معروف هستند در انواع تک فاز، دو فاز و سه فاز ساخته می شوند. در این نوع کلیدها نیرو به وسیله ی یک اهرم به تیغه های متحرک کلید وارد می شود و آن ها را به کنتاکت های ثابت وصل می شود. از این کلیدها بیشتر در مداراتی استفاده می شود که جریان مصرف کننده ها کم باشد.



#### کلیدهای غلتکی

این نوع کلیدها از یک استوانه عایق ساخته شده است که حول محوری به صورت غلتک دوران می کند. بر روی استوانه نوارهای هادی قرار گرفته اند که با حرکت استوانه (حول محور آن) کنتاکت های ثابتی را به یکدیگر وصل یا از هم جدا می کند. اگر قسمت فرو رفته ی استوانه در جلوی کنتاکت های ثابت قرار بگیرند، حالت قطع کلید و اگر قسمت های برآمده در جلوی کنتاکت های ثابت قرار بگیرند، حالت وصل کلید اتفاق می افتد. عمر مفید این کلیدها به دلیل تماس زیاد کنتاکت ها کم است، به همین دلیل امروزه کلیدهای غلتکی کمتر مورد استفاده قرار می گیرند.



#### کلید های زبانه ای

امروزه در صنعت از کلیدهای زبانه ای یا سلکتوری، به دلیل مزایای زیاد آن ها نسبت به کلیدهای غلتکی و اهرمی استفاده بیشتری می شود. کلیدهای زبانه ای عمر بیشتری نسبت به کلیدهای غلتکی دارند و جریان بیشتری نسبت به کلیدهای اهرمی از خود عبور می دهند. در این کلید به جای استفاده از نوارهای هادی و تیغه های ثابت، استوانه را طوری طراحی می کنند که چندین برجستگی و فرورفتگی داشته باشد و با حرکت استوانه به دور محور خود، زبانه بالا و پایین می رود. زبانه ی مزبور پلاتین (کنتاکت متحرک) را به کنتاکت ثابت ارتباط می دهد. این نوع کلید به کلید سلکتور معروف هستند.

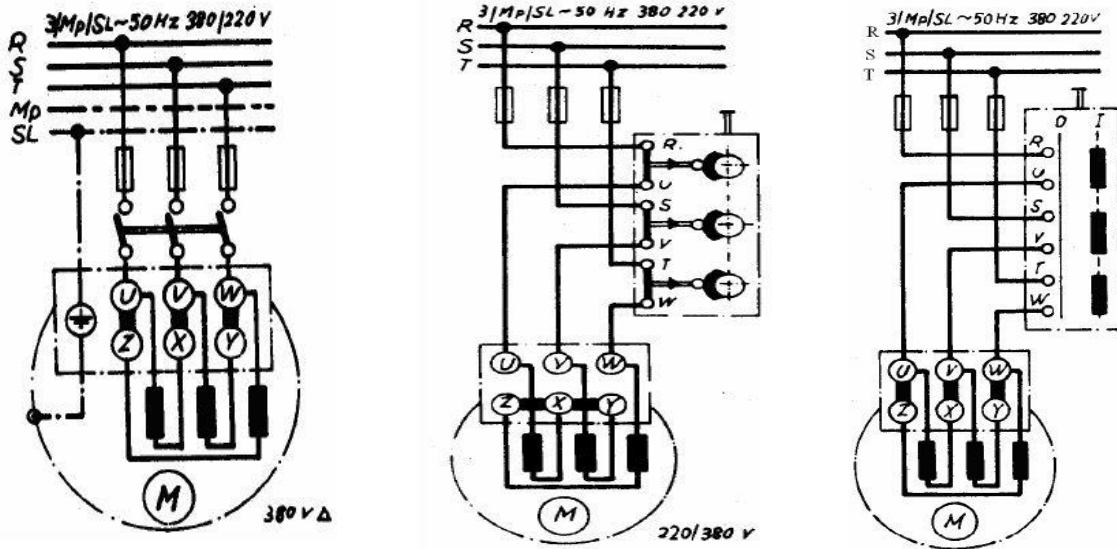


کاربرد کلید های دستی

کلید قطع و وصل ساده (۰-۱)

کلید های ۰-۱ برای اتصال مستقیم مصرف کننده های با قدرت کم به شبکه مورد استفاده قرار می گیرند. ساختمان این کلید ها می تواند به صورت غلتکی یا زبانه ای باشد. این کلید ها دارای شش کنتاکت بوده که سه کنتاکت آن ورودی است و با حروف R-S-T و سه کنتاکت آن خروجی است و با حروف U-V-W مشخص می شوند.

شمای حقیقی راه اندازی الکتروموتور سه فاز توسط کلید ۰-۱ بر اساس استاندارد VDE

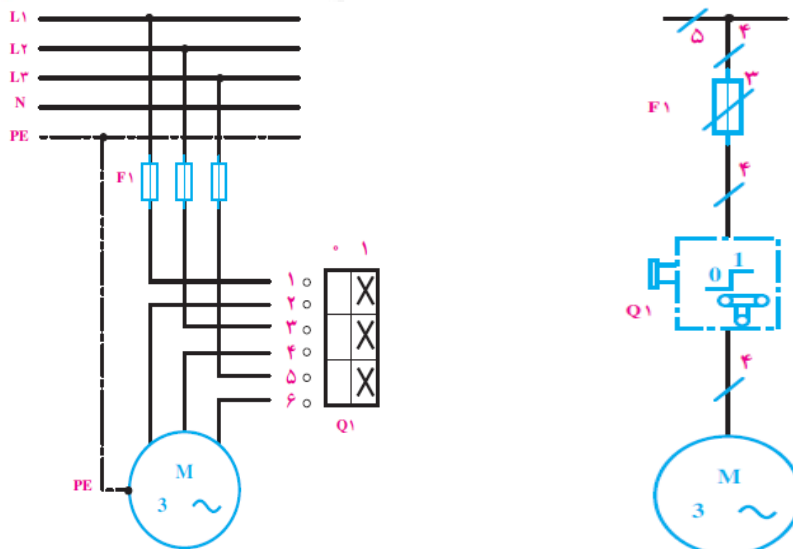


راه اندازی الکتروموتور سه فاز توسط کلید ۰-۱ اهرمی

راه اندازی الکتروموتور سه فاز توسط کلید ۰-۱ زبانه ای

راه اندازی الکتروموتور سه فاز توسط کلید ۰-۱ غلتکی

شمای فنی و حقیقی راه اندازی الکتروموتور سه فاز توسط کلید زبانه ای ۰-۱ بر اساس استاندارد IEC



شمای حقیقی

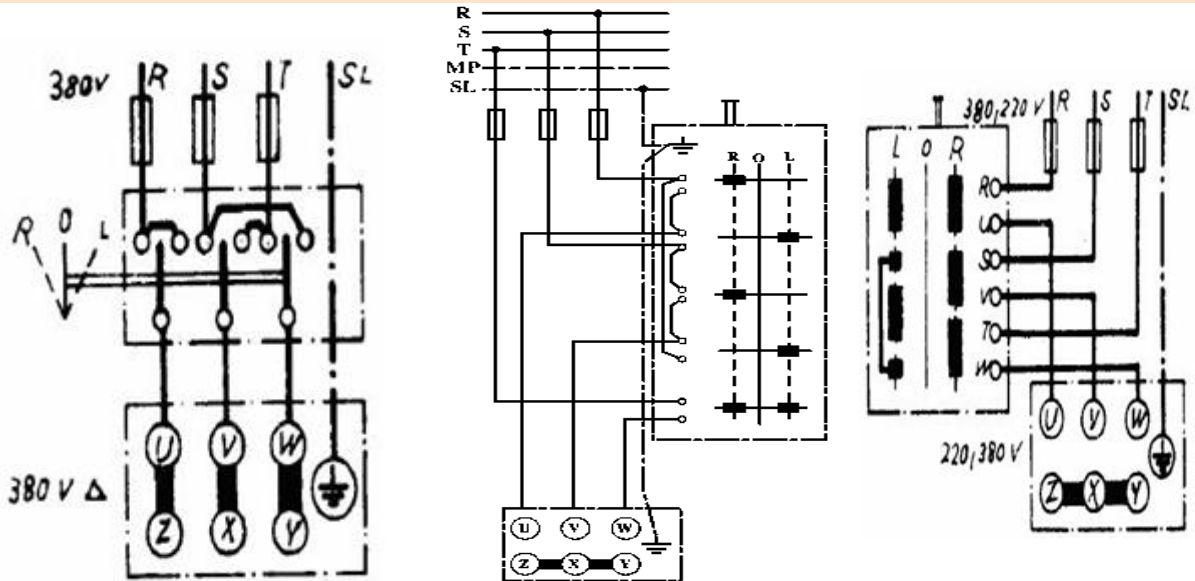
شمای فنی



کلید های معکوس کننده جهت گردش الکتروموتورهای سه فاز ( چپ گرد - راست گرد )

در بسیاری از کاربردهای صنعتی احتیاج است که جهت گردش الکتروموتور سه فاز تغییر کند، برای این منظور از کلید های چپگرد-راستگرد می توان استفاده کرد. این کلید ها دارای سه وضعیت خاموش ۰، چپ گرد ۱ و راست گرد ۲ می باشند. با تغییر وضعیت از حالت ۰ به حالت ۱، سه فاز شبکه به الکتروموتور متصل می شود و موتور به صورت چپگرد شروع به گردش می کند. با تغییر حالت کلید از ۱ به ۲ جای دو فاز از سه فاز عوض می شود و موجب راست گرد شدن جهت حرکت موتور می شود.

شمای حقیقی راه اندازی الکتروموتور سه فاز توسط کلید ۰-۱-۲ بر اساس استاندارد VDE

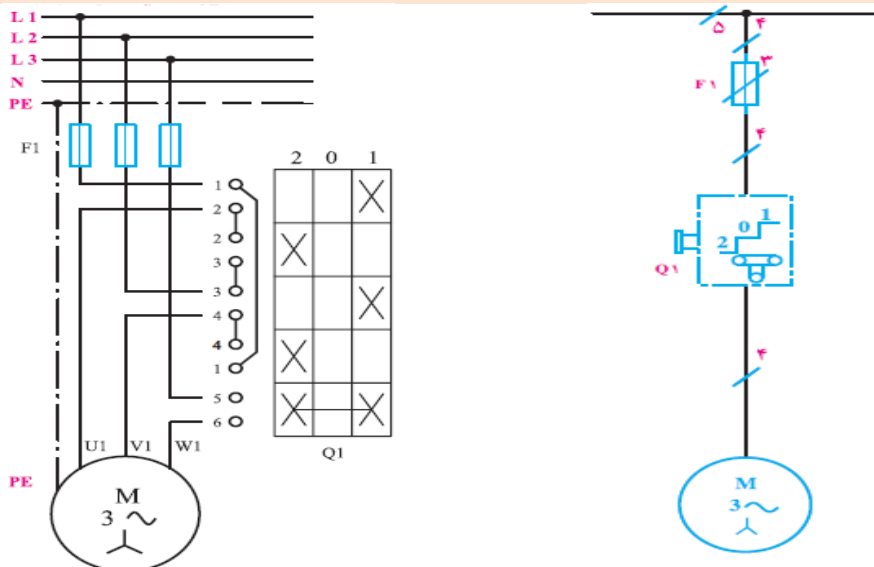


مدار کلید چپ گرد راستگرد - اهرمی

مدار کلید چپ گرد راستگرد- زبانه ای

مدار کلید چپگرد راستگرد - غلتکی

شمای فنی و حقیقی راه اندازی الکتروموتور سه فاز توسط کلید زبانه ای ۰-۱-۲ بر اساس استاندارد IEC



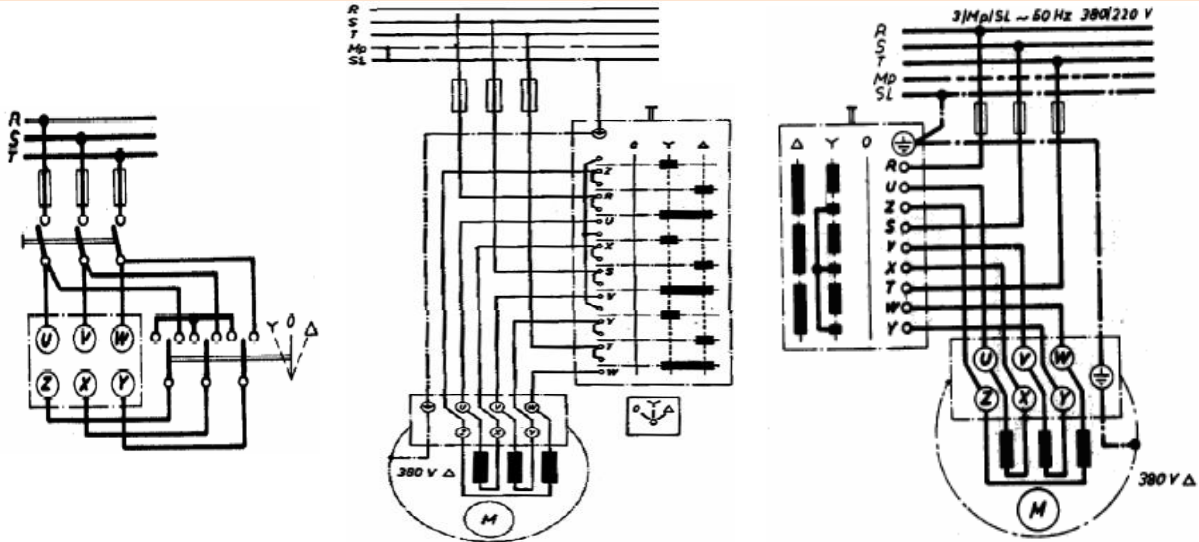
شمای حقیقی

شمای فنی

کلید های ستاره مثلث (  $\lambda - \Delta$  )

در هنگام راه اندازی مستقیم موتورهای سه فاز جریان راه اندازی بین ۴ تا ۷ برابر جریان نامی از شبکه کشیده می شود . این جریان موجب آسیب دیدن سیم پیچ های موتور، سیم های رابط و وسایل حفاظتی می شود . به همین دلیل باید به روشی جریان راه اندازی را کاهش داد . یکی از ساده ترین روش های کاهش جریان راه اندازی استفاده از روش راه اندازی ستاره مثلث است که برای موتورهای بالای ۴ کیلووات استفاده می شود، در این روش سیم پیچ های استاتور در لحظه راه اندازی به صورت ستاره و در هنگام کار عادی به صورت مثلث بسته می شوند.

شمای حقیقی راه اندازی الکتروموتور سه فاز توسط کلید ستاره-مثلث بر اساس استاندارد VDE

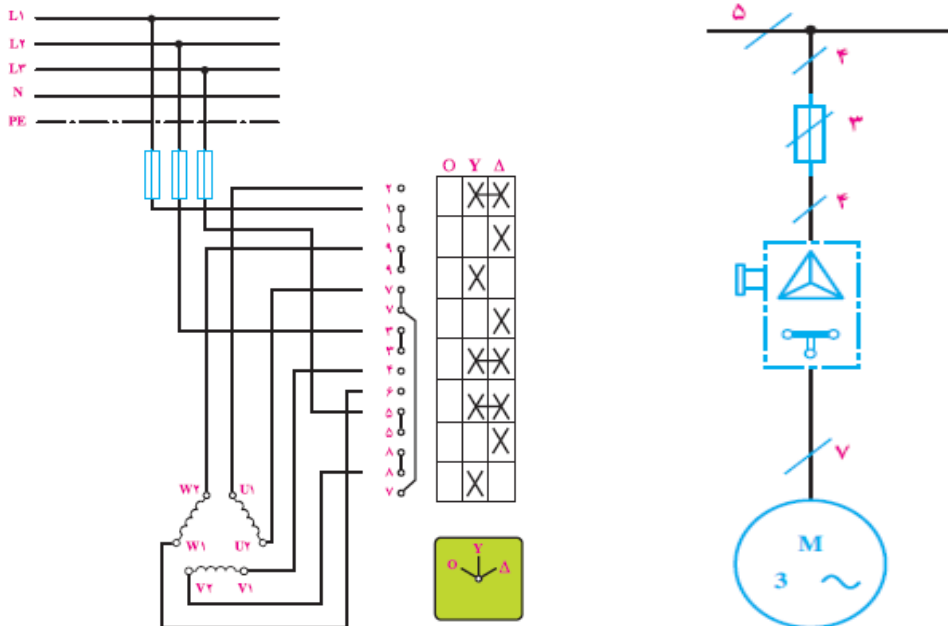


مدار کلید ستاره مثلث - اهرمی

مدار کلید ستاره مثلث - زبانه ای

مدار کلید ستاره مثلث - غلتکی

شمای فنی و حقیقی راه اندازی الکتروموتور سه فاز توسط کلید زبانه ای ستاره-مثلث بر اساس استاندارد IEC

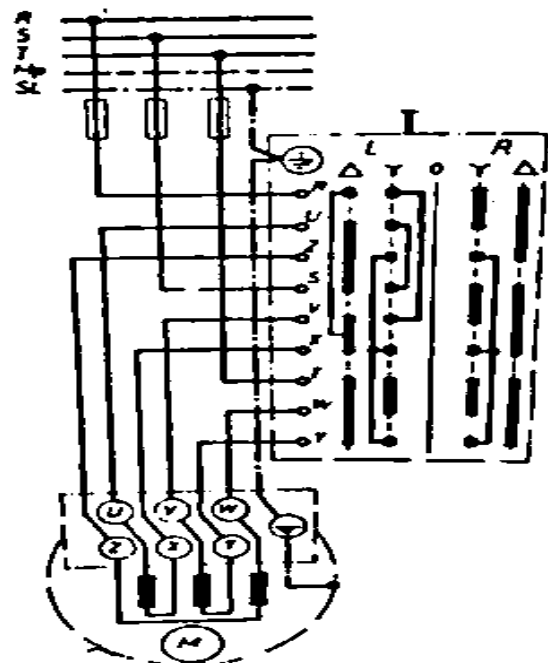
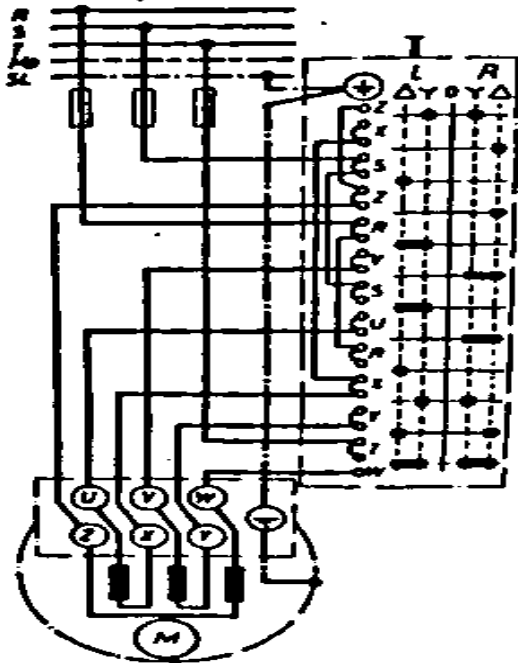


شمای حقیقی

شمای فنی

نوع خاصی از کلیدها هستند که علاوه بر حالت ستاره مثلث دارند حالت چپ گرد راستگرد نیز دارند. که به کلید ستاره مثلث - چپگرد راستگرد موسوم هستند. در این کلید امکان چپگرد یا راستگرد چرخیدن موتور برای دو حالت ستاره و مثلث وجود دارد. علامت اختصاری این کلید به صورت زیر است.

شمای حقیقی راه اندازی الکتروموتور سه فاز توسط کلید ستاره مثلث چپگرد راستگرد بر اساس استاندارد VDE



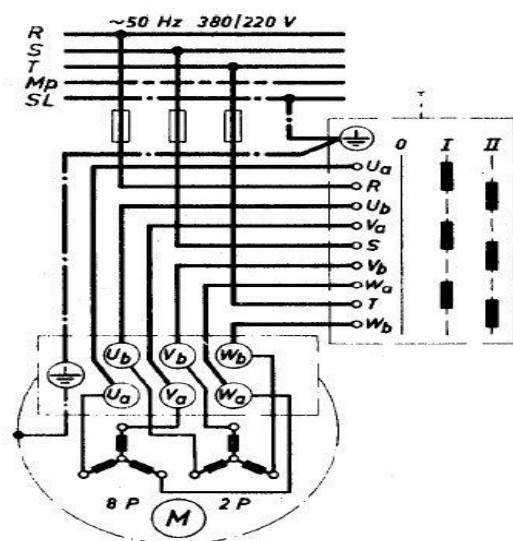
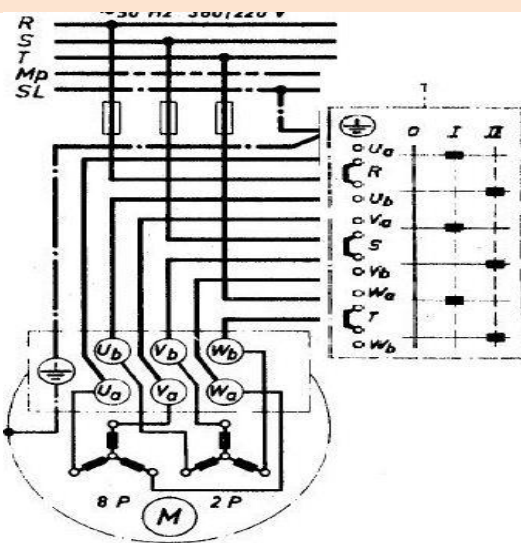
مدار کلید ستاره مثلث - چپگرد راستگرد - زبانه ای

مدار کلید ستاره مثلث - چپگرد راستگرد - غلتکی

کلید های دو سرعت

برای دست یابی به دو سرعت متفاوت از یک موتور الکتریکی، در برخی از موتورهای سه فاز به جای استفاده از یک سری سیم پیچ در سطح استاتور از دو سری سیم پیچ استفاده می شود که تعداد قطب های آن ها با هم متفاوت است. برای دست یابی به هرکدام از سرعت های دلخواه توسط کلیدهای دو سرعت یکی از سیم پیچ ها وارد مدار می شود.

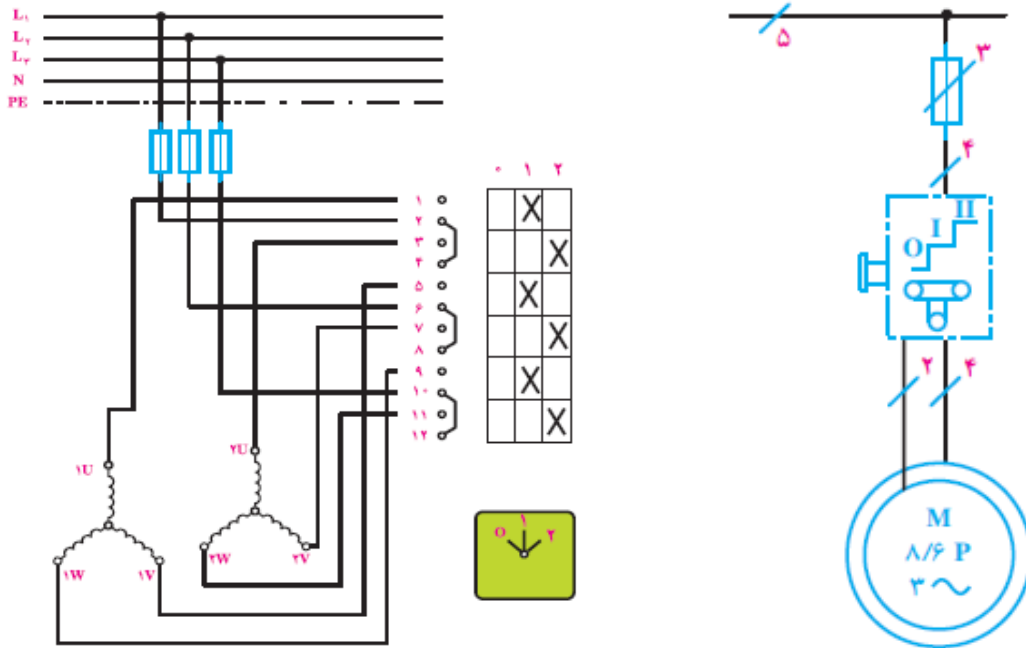
شمای حقیقی راه اندازی الکتروموتور سه فاز دو سرعت توسط I - II - 0 بر اساس استاندارد VDE



مدار کلید دو سرعت - زبانه ای

مدار کلید دو سرعت - غلتکی

شمای فنی و حقیقی راه اندازی الکتروموتور سه فاز توسط کلید I - II - ۰ بر اساس استاندارد IEC



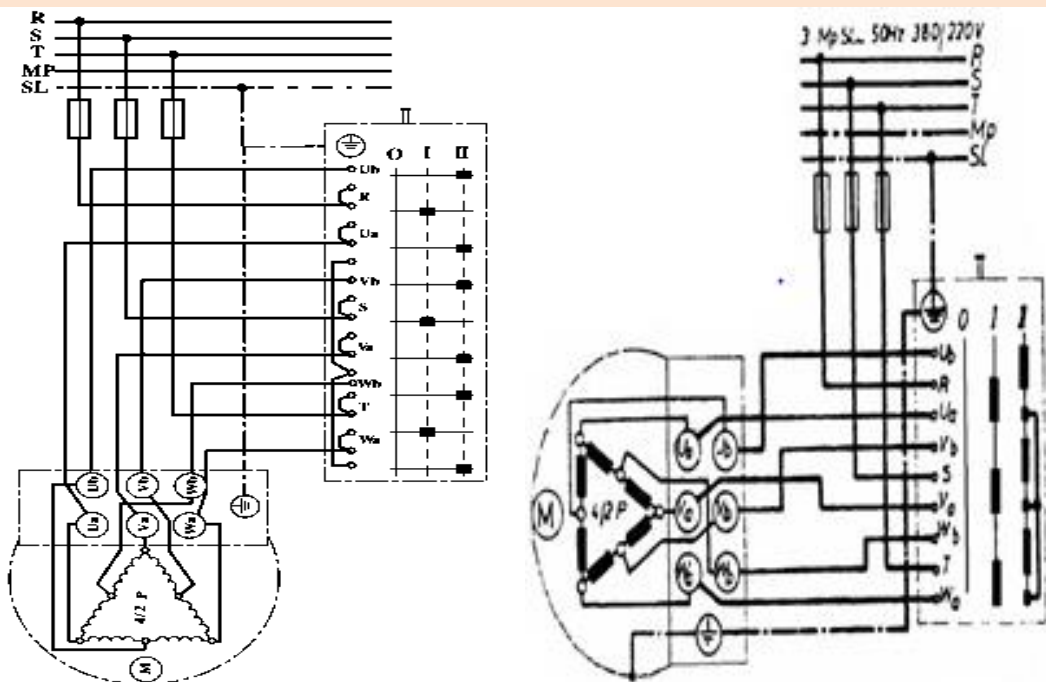
مدار کلید ستاره مثلث - چپگرد راستگرد - زبانه ای

مدار کلید ستاره مثلث - چپگرد راستگرد - غلتکی

کلید دالاندر

برای راه اندازی موتورهای دالاندر از این نوع کلید استفاده می شود. این کلید نیز سه وضعیتی است، وضعیت ۰ حالت خاموش، وضعیت I برای دور کند و وضعیت II برای دور تند است. چنانچه بخواهیم جهت چرخش یک موتور دالاندر را عوض کنیم از کلید دالاندر چپ گرد راستگرد استفاده می شود.

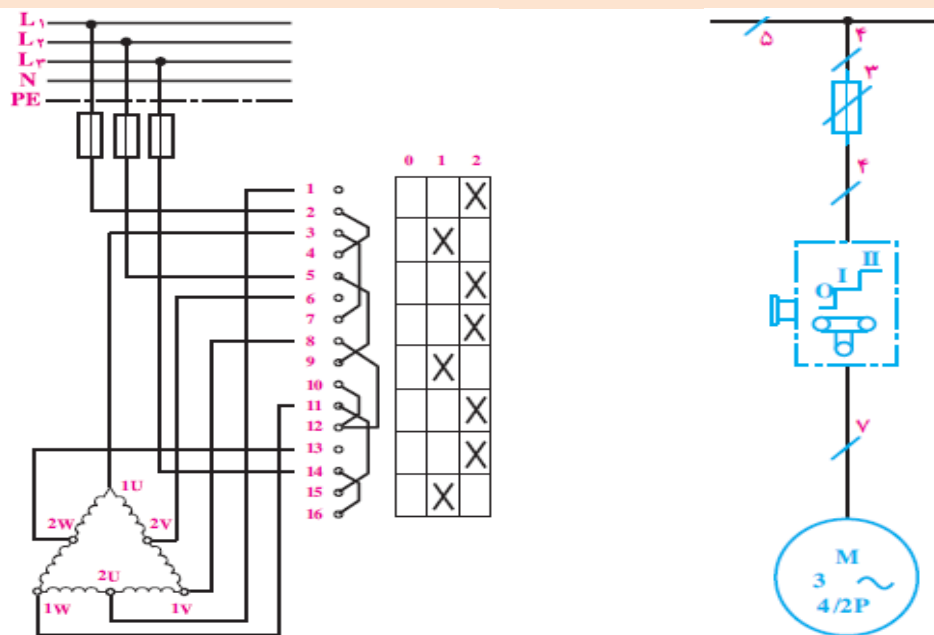
شمای حقیقی راه اندازی الکتروموتور سه فاز دالاندر توسط I - II - ۰ بر اساس استاندارد VDE



مدار راه اندازی موتور دالاندر به وسیله کلیدزبانه ای

مدار راه اندازی موتور دالاندر به وسیله کلید غلتکی

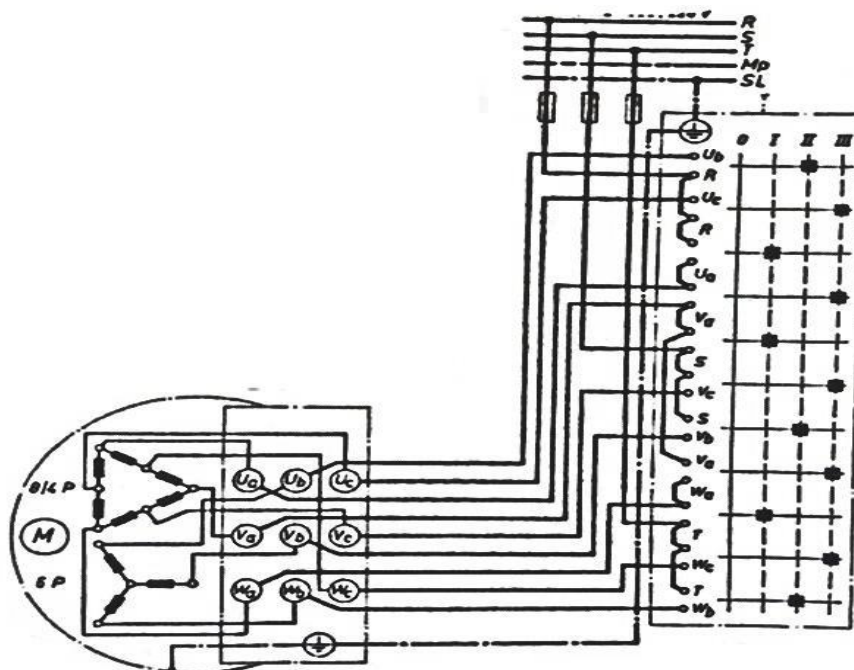
شمای فنی و حقیقی راه اندازی الکتروموتور سه فاز دالاندر توسط کلید I - II - ۰ بر اساس استاندارد IEC



مدار کلید ستاره مثلث - چپگرد راستگرد - زبانه ای

مدار کلید ستاره مثلث - چپگرد راستگرد - غلتکی

چنانچه یک الکتروموتور دارای سه سرعت مختلف باشد ( یک سیم پیچ دالاندر و یک سیم پیچ معمولی ) می توان از کلید سه سرعتی مطابق شکل زیر استفاده کرد .



۱-۰	چپگرد-راستگرد	دو سرعتی	چند سرعتی	ستاره مثلث	ستاره مثلث چپگرد راستگرد	کلید ولت متر



حروف شناسایی

حروف شناسایی	نوع تجهیزات	مثال
F	وسایل حفاظتی	فیوز - بیمتال
H	وسایل خبر دهنده	لامپ سیگنال - آژیر
M	موتورهای الکتریکی	موتور سه فاز - موتور تکفاز
K	کنتاکتورها و رله ها	کنتاکتور - تایمر
P	وسایل اندازه گیری	ولت متر - آمپر متر
Q	کلیدهای قدرت	کلیدهای دستی
B	وسایل تبدیل انرژی الکترومکانیکی	سنسور - فتوسل - گشتاورسنج - بلندگو
G	ژنراتور - منبع تغذیه	باتری - ژنراتور
L	وسایل القایی	چوک - سیم پیچ
S	کلیدها و سلکتورها	میکروسوییچ - کلید فشاری

علائم اختصاری

علامت اختصاری	نام وسیله یا قطعه
	کلید غیرلمسی (نوع القایی)
	کلید تایم فنسار
	کلید سنسور (فلوتر)
	کنتاکت باز تاخیر در قطع
	کنتاکت باز تاخیر در وصل
	کنتاکت بسته تاخیر با تأخیر در قطع
	کنتاکت بسته تاخیر با تأخیر در وصل
	کنتاکت بسته کلید کنششی
	کنتاکت باز کلید کنششی
	کنتاکت تبدیل (مویض کننده)
	کنتاکت تبدیل با حالت خاموش در وسط

علامت اختصاری	نام وسیله یا قطعه
	محرك دستی
	محرك فنساری (با دست)
	محرك كنششی
	محرك تغيير جهت
	محرك با كلید
	فعال شونده با بادامک و حسگرها
	محرك فنساری (با بدال)
	قفل مکانیکی
	محرك موتوری
	محرك کلید اضطراری
	محرك حرارتی قابل تنظیم
	محرك حرارتی غیر قابل تنظیم
	محرك الکترومغناطیسی
	محرك با سطح سیال

علامت اختصاری	نام وسیله یا قطعه
	کلید یک فاز
	کلید سه فاز
	نسنتی وصل (استارت)
	نسنتی قطع (استوب)
	نسنتی وصل و قطع (استوب و استارت دوبل)
	کنتاکت باز لمبیت سویچ
	کنتاکت بسته لمبیت سویچ
	کنتاکت باز کنتاکتور
	کنتاکت بسته کنتاکتور
	کنتاکت بسته (مدار فرمان) بی مثال
	کنتاکت بسته شونده‌ی تأخیری
	کنتاکت باز شونده‌ی تأخیری
	کنتاکت بسته‌ی کلید گردان
	کنتاکت باز کلید گردان

علامت اختصاری	نام وسیله یا قطعه
	بوین کنتاکتور
	رله‌های عملگر با مشخصه‌ی خاص
	رله‌ی تأخیر در وصل
	رله‌ی تأخیر در قطع
	رله‌ی تأخیر در قطع و وصل
	رله با تحریک حرارتی (بی مثال)
	رله‌ی اضافه جریان (جریان زیاد)
	رله‌ی قطع کننده جریان معکوس

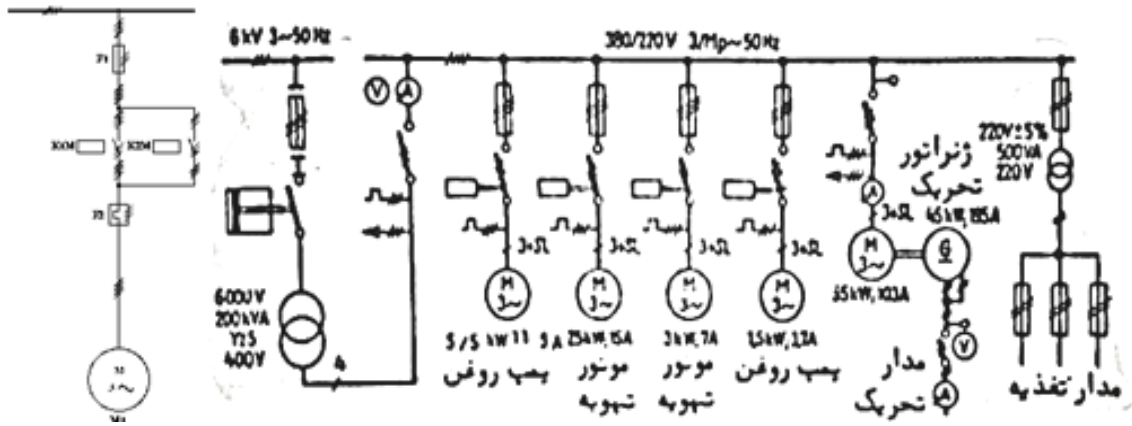
علامت اختصاری	نام وسیله یا قطعه
	لامپ خبر
	بیزر
	بوق
	زنگ
	آژیر
	دیود LED



انواع نقشه های الکتریکی صنعتی

نقشه ی فنی یا تک خطی

نقشه فنی یک دید کلی درباره تاسیسات مورد نظر به بیننده می دهد، در این نقشه جزئیات مربوط به تاسیسات داده نشده و تنها به کمک علائم اختصاری دستگاه ها و مصرف کننده های الکتریکی به صورت تک خطی و بدون سیم های فرعی و کمکی داده می شود، از روی این نقشه تنها می توان محل مناسب قرار گرفتن تجهیزات و هزینه های اجرای طرح را مشخص کرد .

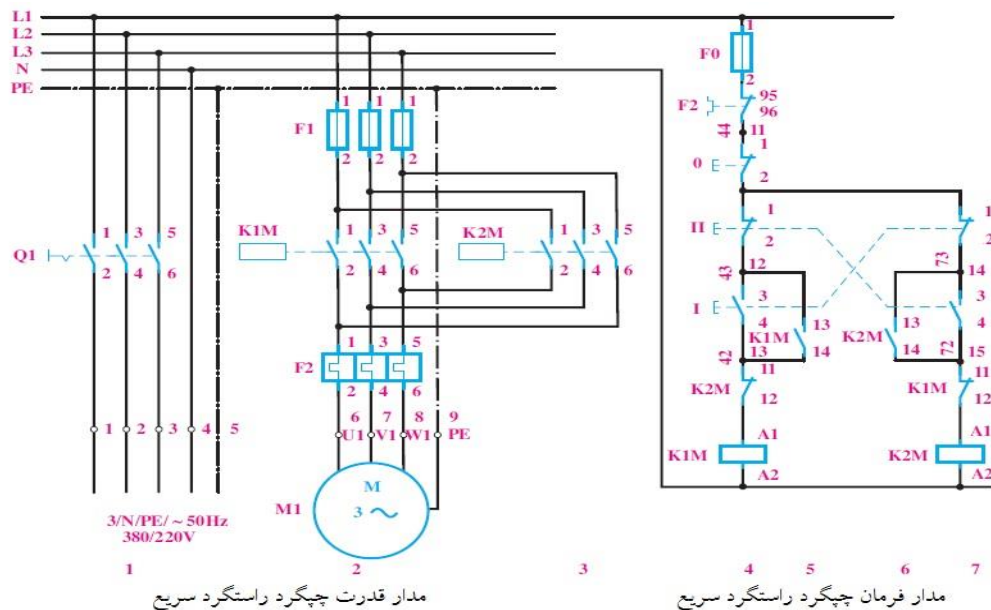


نقشه مسیر جریان

یکی از مهمترین نقشه های مدارات کنتاکتوری نقشه مسیر جریان است . این نقشه مشخص کننده تمام اتصالات الکتریکی بین دستگاه های موجود در طرح بوده و به کمک آن می توان به راحتی اصول کار و ترتیب عملکرد تجهیزات مدار فرمان را درک نمود . نقشه مسیر جریان علاوه بر استفاده برای مونتاژکاری ، در عیب یابی مدار نیز بسیار مفید است . برای سادگی کار نقشه مسیر جریان به دو قسمت مدار فرمان و مدار قدرت تقسیم می شود .

مدار قدرت : قسمتی از مدار که جریان مصرف کننده از آن عبور می کند مدار قدرت نام دارد . این مدار شامل کنتاکتور و وسایل حفاظتی چون فیوز سه فاز و بی متال می باشد .

مدار فرمان : مدار فرمان جهت صدور فرمان به قسمت مدار قدرت به منظور کنترل مصرف کننده ها طراحی می شود . هدف اصلی مدار فرمان تحریک بوبین کنتاکتورها برای برقراری ارتباط بین شبکه و مصرف کننده است که با وسایلی چون ، شستی ، میکروسوئیچ ، تایمر و ... این امکان فراهم می شود .

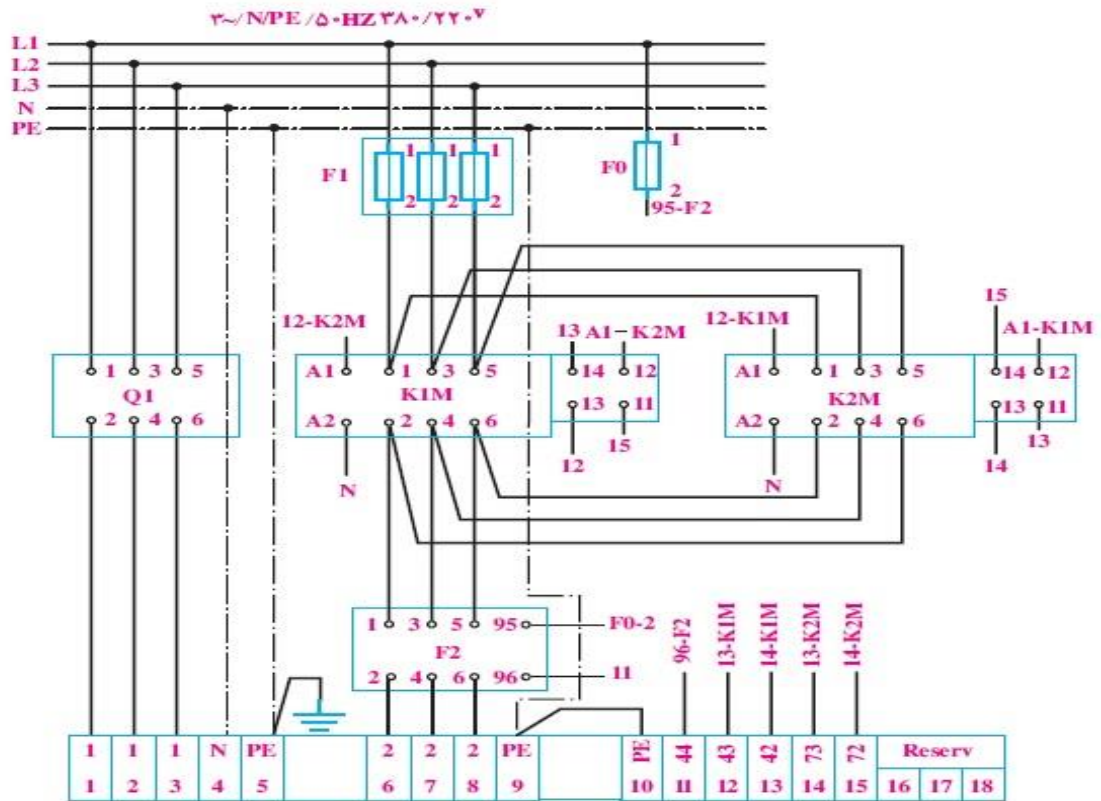


مدار قدرت چپگرد راستگرد سریع

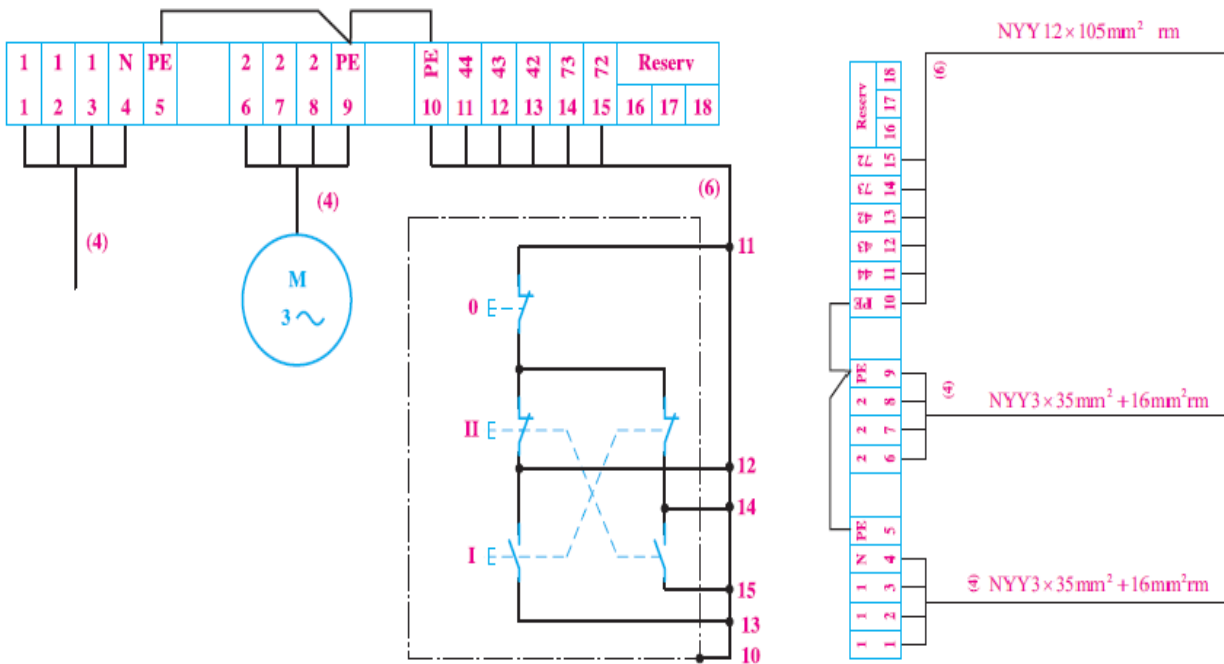
مدار فرمان چپگرد راستگرد سریع



علاوه بر موارد فوق نقشه هایی چون نقشه ی مونتاز، نقشه ی خارجی و نقشه ی ترمینال نیز وجود دارد که در زیر نمونه هایی از آن ها ترسیم شده است.



نقشه ی مونتاز چپگرد راستگرد سریع



نقشه ی خارجی مدار چپگرد راستگرد سریع

نقشه ی ترمینال مدار چپگرد راستگرد سریع

## تابلوهای برق

در مراکز صنعتی برای کنترل و بهره برداری سیستم برق از تابلو استفاده می شود در هر تابلو تجهیزات زیر نصب می شود .  
 وسایل حفاظتی : مانند فیوز ، بی متال ، کلیدهای حفاظتی ، رله ها .  
 وسایل فرمان : مانند شستی ها ، کلیدها ، کنتاکتور ها .  
 وسایل اندازه گیری : مانند آمپر متر ، ولت متر ، فرکانس متر ، کوسینوس فی متر .  
 وسایل هشدار دهنده : مانند آلام های صنعتی ، لامپ های سیگنال .  
 وسایل جانبی : مانند شینه ها ، مقره ها .



FI



فیوز



کلید اتوماتیک MCCB



CT



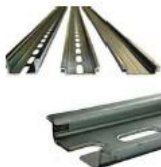
کنتاکتور



کلید اتوماتیک MPCB



کلید



ریل



ترمینال



گلند



مقره



شینه



داکت



وایرشو



نوار فرم(ماکارونی)



تایمر



درایو



LOGO



کنتاکتور خازنی



خازن اصلاح ضریب قدرت



رگولاتور خازنی



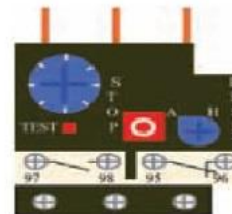
لمیت سوئیچ



وسایل اندازه گیری



شستی های فرمان



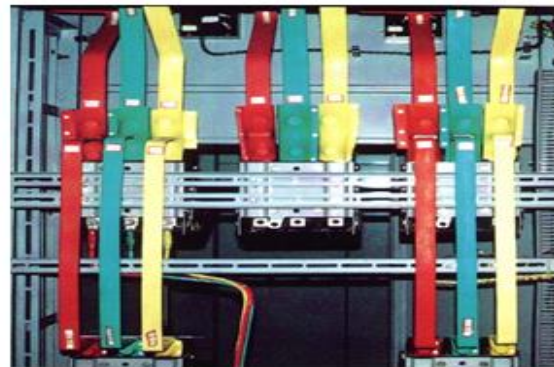
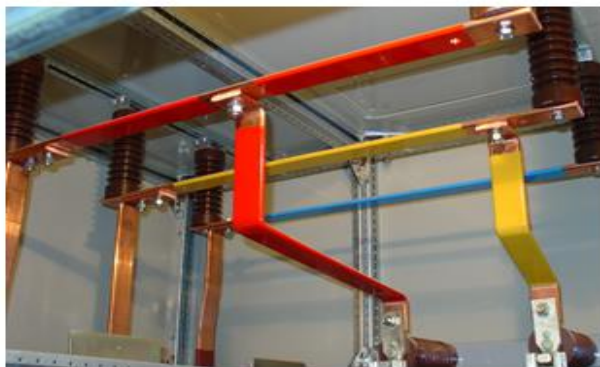
بیمتال

در تابلوهای برق از شینه‌ها برای اخذ و دادن انرژی به قسمت‌های مختلف مدار استفاده می‌شود که تمام مسیرها از شینه‌ها منشعب می‌شوند. شینه‌های هر فاز در تابلوهای برق با رنگ مخصوص به خود نشان مونتاژ می‌شوند.

فاز T: آبی

فاز S: زرد

فاز R: قرمز

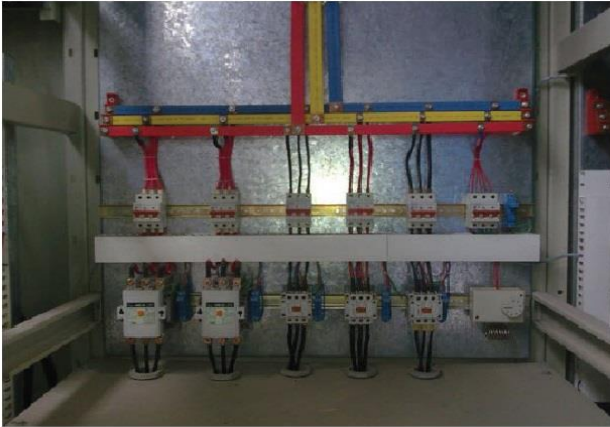


تابلوهای برق در انواع مختلف با ابعاد، اشکال، درجه حفاظت IP و ... برای کاربردهای خاص در کارگاه‌ها و شرکت‌های تابلو سازی و به سفارش مراکز صنعتی ساخته می‌شوند. برای مثال برای بانک‌های خازنی از تابلوهای خازنی، مدارات روشنایی از تابلوهای DB، کنترل موتورهای الکتریکی از تابلوهای MCC، توزیع برق بین تجهیزات از تابلوی توزیع و ... استفاده می‌شود.

تابلوها ممکن است در فضاهای بسته نصب شوند که به تابلوی indoor، یا در فضاهای باز نصب شوند که به تابلوی outdoor مشهور هستند. همچنین تابلوها در دو نوع ایستاده Self Standing و دیواری Wall Mounted به صورت نوکار و روکار ساخته می‌شوند. بر اساس شکل ظاهری و ساختمان تابلوها به دو دسته کشویی و تمام بسته تقسیم بندی می‌شوند. در زیر چند نمونه از تابلوهای برق آورده شده است.



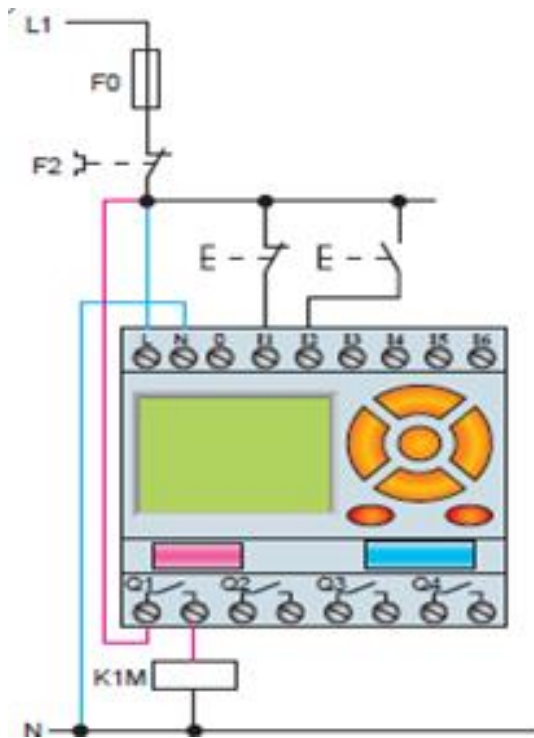
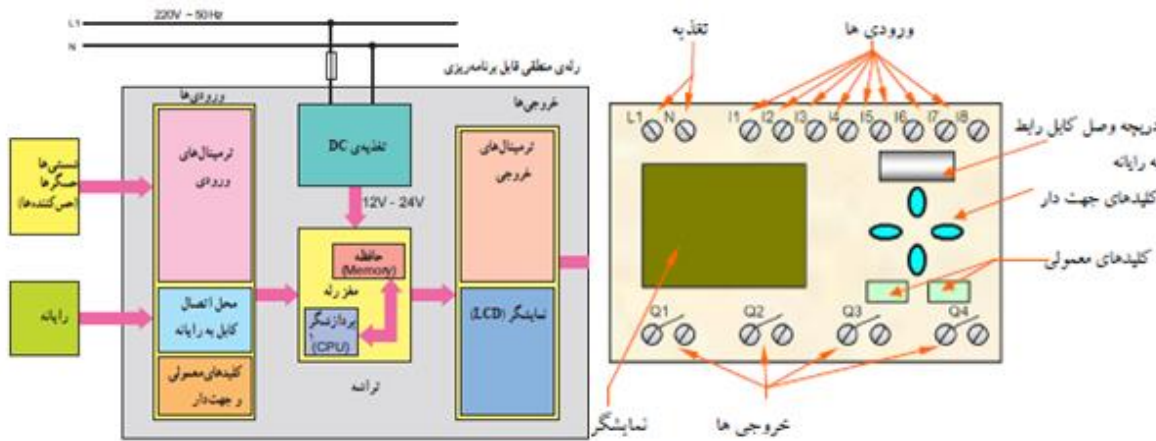




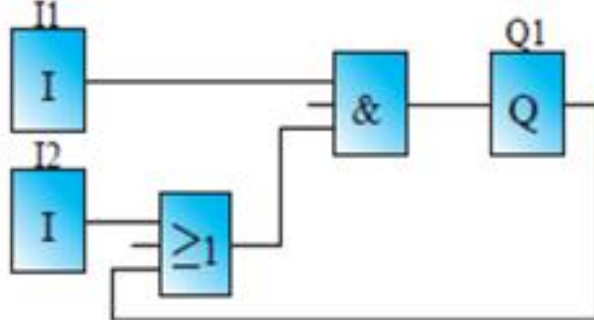
### راه اندازی الکتروموتورهای سه فاز با رله قابل برنامه ریزی

برای راه اندازی و کنترل الکتروموتورهای سه فاز می توان از رله های قابل برنامه ریزی کرد که دارای انواع مختلفی چون LOGO ساخت شرکت SIEMENS، EASY ساخت شرکت MOELLER، ZEN ساخت شرکت OMRON می-باشد. از جمله مزایای استفاده از رله ها می توان به کاهش حجم سیم کشی، امکان اجرای آزمایشی مدار، انعطاف پذیری در مقابل تغییرات احتمالی، آسان بودن تغییرات و اصلاح خطاها و ... اشاره کرد .

هر رله قابل برنامه ریزی شامل قسمت های پردازشگر، حافظه، منبع تغذیه، نمایشگر، ورودی و خروجی ها، درجهی اتصال کابل رابط (کابل RS۲۳۲) به کامپیوتر می باشد . زبان های برنامه نویسی رله شامل Ladder و بلوکی FBD می باشد.



الف - نقشه ی نردبانی مدار راه اندازی موتور دایم کار



ب - نقشه ی بلوکی مدار راه اندازی موتور دایم کار

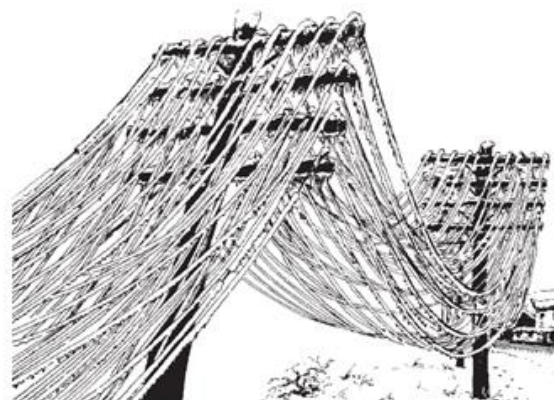




## فصل دوازدهم : کابل و کابل کشی

توزیع انرژی الکتریکی در صنعت به دو صورت انجام می شود که یکی به وسیله ی سیم های هوایی و دیگری به وسیله کابل های زمینی می باشد . کاربرد کابل ها در تأسیسات الکتریکی بسیار وسیع و پر اهمیت است . از جمله مزایای سیم کشی هوایی می توان به سرعت اجرا ، صرفه اقتصادی و سهولت عیب یابی اشاره نمود ، عمده عیب سیم کشی هوایی عبارت است از :

- سیم کشی هوایی در معرض برخورد پرندگان ، شاخه ی درختان و ... و بروز اتصال کوتاه قرار دارد .
- سیم کشی هوایی در معرض برخورد صاعقه ، وزش باد و اثرات شیمیایی مواد و محیط قرار دارد .
- به زیبایی محل لطمه می زند و گرفتن انشعاب غیر مجاز از آن راحت است .



توزیع انرژی به وسیله ی کابل تا حدود زیادی معایب فوق را حل می کند، اما هزینه بسیار بیشتر و سرعت اجرای آن کمتر است، همچنین عیب یابی مسیر کابل کشی باید به وسیله ی تجهیزات مخصوصی صورت گیرد که زمان بر خواهد بود .

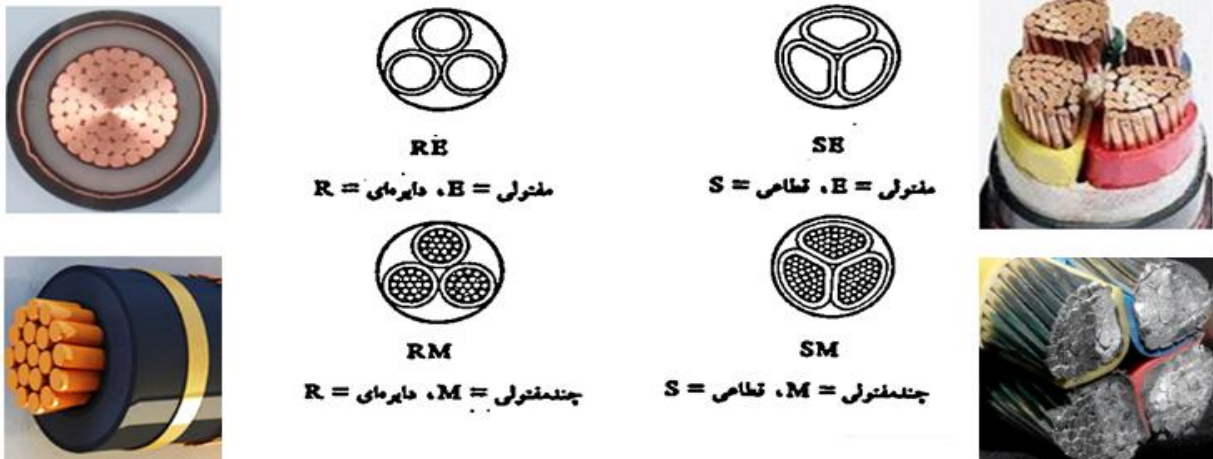
**تعریف کابل :** هر نوع هادی که بتواند جریان برق را از خود عبور داده و توسط موادی نسبت به محیط اطراف خود عایق شده باشد، به طوری که ولتاژ در روی سطح عایق نسبت به زمین برابر صفر بوده و در روی سطح سیم یا هادی نسبت به زمین دارای ولتاژ فازی باشد ، کابل نامیده می شود . هر کابل دارای لایه های مختلفی است که هر لایه کارکرد خاص خود را دارد .





## اجزای تشکیل دهنده‌ی کابل

- ۱ - هادی کابل: قسمت اصلی کابل که جریان الکتریکی را هدایت می‌کند هادی نام دارد که از جنس مس یا آلومینیوم است، هادی‌های کابل را از جهات مختلف می‌توان تقسیم بندی کرد.
- الف - هادی‌ها بر اساس تعداد رشته به دو شکل تک رشته (مفتولی) و چند رشته (افشان) موجود هستند برای مشخص کردن کابل‌های تک رشته از حرف اختصاری (e) و کابل چند رشته‌ای از حرف اختصاری (m) استفاده می‌شود.
- ب - هادی‌ها از نظر شکل سطح مقطع در دو شکل دایره (f) و مثلث یا سکتور (s) وجود دارند.
- ج - کابل‌ها را از نظر کاربرد به دو دسته کابل‌های مسطح و کابل‌های غیر مسطح می‌توان تقسیم کرد.



- استفاده از هادی‌های چند رشته‌ای **rm** و **sm** باعث کاهش اثرات پوستی و افزایش سطح موثر هدایت هادی می‌شود.
- مقاطع بالای  $10 \text{ mm}^2$  به بالا حتماً باید به صورت رشته‌ای باشند زیرا جریان تمایل دارد روی سطح هادی حرکت کند.
- کابل‌های مثلثی کاربرد چندانی ندارد و بیشتر جهت حذف فضای مرده ساخته می‌شود. کابل‌های با هادی مثلثی در فشار-ضعیف کاربرد دارد زیرا در ولتاژهای بالا نقاط نوک تیز محل تجمع میدان الکتریکی است که باعث تضعیف کابل می‌شود.
- برای شناسایی و تشخیص هادی کابل‌ها از همدیگر روکش هر رشته را با رنگ خاصی مشخص می‌کنند. در جدول زیر رنگ بندی عایق سیم‌ها بر اساس استاندارد VDE 0271 آمده است.

تعداد سیم های کابل	رنگ های قدیمی برای عایق سیم کابل	رنگ های جدید برای عایق سیم کابل ها بدون سیم محافظ	رنگ های جدید برای عایق سیم کابل ها با سیم محافظ
۲ سیم	مشکی، خاکستری	مشکی، آبی	-
۳ سیم	مشکی، خاکستری، قرمز	مشکی، آبی، قهوه ای	سبز و زرد، قهوه ای آبی
۴ سیم	مشکی، خاکستری، قرمز، آبی	مشکی، آبی، قهوه ای مشکی	سبز و زرد، مشکی، قهوه ای آبی
۵ سیم	مشکی، خاکستری، قرمز، آبی، مشکی	مشکی، آبی، قهوه ای، مشکی، مشکی	سبز و زرد، مشکی، قهوه ای آبی، مشکی
۶ سیم و بیشتر	-	تمام سیم ها مشکی و روی آنها شماره های سفید با شروع از مرکز کابل	سبز و زرد و بقیه مشکی با شماره های سفید رنگ

- ۲ - **عایق کابل** : متناسب با نوع مصرف، میزان ولتاژ و جریان و ... عایق کابل‌ها را از مواد مختلفی می‌سازند .
- یک - عایق لاستیکی** : از عایق لاستیکی تنها در موارد خاص که کابل متحرک است مانند آسانسور و در جاهایی که کابل قوطه ور در آب می‌باشد مانند برق رسانی به کشتی‌ها ، استفاده می‌شود . برای جلوگیری از اثر گوگرد موجود در لاستیک بر روی هادی مسی باید روی هادی را قبل از عایق کردن قلع اندود کرد .
- دو - عایق پلاستیکی** : عایق پلاستیکی عموماً از عایق مصنوعی پنی ونیل کلراید PVC ساخته می‌شوند ، که برای عایق سیم و عایق کل کابل مورد استفاده قرار می‌گیرند . کابل با عایق PVC نمی‌سوزد و سبب هدایت آتش نیز نمی‌شود و همچنین کهنه نمی‌شود و از ثبات شیمیایی کم نظیری برخوردار است . در صورت زخم شدن روکش خارجی PVC همان عایق مستقیم سیم به اندازه کافی با ثبات است و می‌تواند محافظت کامل را انجام دهد .
- سه - پلی اتیلن** : پلی اتیلن PET از مواد ترموپلاست ساخته می‌شود اما به اندازه‌ی کابل PVC مزیت ندارد . پلی اتیلن قابل اشتعال است و در کابل‌های بالاتر از KV ۲۰ به کار می‌روند .
- چهار - کاغذهای آغشته به روغن مخصوص** : کاغذهای روغنی جزء اولین نوع عایق‌ها می‌باشد که به دلیل شرایط نگهداری دشوار ، نشت روغن و نفوذ رطوبت، کمتر استفاده می‌شود . روغن دو کار عایق کردن و انتقال حرارت را انجام می‌دهد .
- پنج - عایق پلی اتیلن کراسلینک XLPE** : ۲X سمبل این کابل می‌باشد و تا ۹۰ درجه‌ی سانتی گراد تحمل حرارت را دارد .
- شش - اتیلن پروپان رابر EPR** : برای ولتاژهای متوسط حدود ۱۲ کیلوولت و در نیروگاه‌های ۶ کیلو ولت استفاده می‌شود .
- هفت - سیلیکون رابر Sic** : از این عایق بیشتر به عنوان روکش کابل ، سرکابل و سایر تجهیزات شبکه استفاده می‌شود که دارای تحمل حرارت خوب و نیز در مقابل ضربه نیز مقاوم است و شرایط دفع رطوبت خوبی نیز دارد .
- ۳ - **غلاف کابل** : غلاف به لایه و یا لایه‌هایی در روی کابل اطلاق می‌شود که می‌توانند عایق کابل را در مقابل انواع نیروهای مکانیکی محافظت کرده و همچنین از نفوذ رطوبت به داخل کابل جلوگیری نمایند . در ساده‌ترین حالت کابل دارای یک غلاف از مواد PVC می‌باشد . حال اگر کابل در جاهایی مورد استفاده قرار گیرد که نیروهایی به آن وارد شود باید برای حفاظت از مواد محکم تری استفاده شود .
- در کابل‌هایی که تحت فشار و ضربه قرار می‌گیرند برای حفاظت از نوارهای فلزی استفاده می‌کنند . کابل‌هایی که در آنها نوارهایی از فولاد و غلافهای سربی به کار می‌رود به **کابل مسطح** معروفند .
  - جهت حفاظت نوارهای فولادی در کابل‌های زمینی، باید دور نوارها را با پارچه یا کنف قیراندود بپوشانیم .
  - در کابل‌هایی که تحت کشش زیاد قرار دارند مانند کابل‌های معدن و کابل‌هایی که از رودخانه عبور می‌کنند، از یک حفاظ فلزی از سیم‌های گرد یا تخت و یا پروفیل استفاده می‌شود که باعث حفاظت کابل در مقابل خطرات و حوادث خارجی نیز می‌شوند .
  - در برخی کابل‌های چند سیمه پس از عایق نمودن هر یک از رشته سیم‌ها ، ورق نازک فلزی بر روی آنها پیچیده می‌شود و سپس همگی آنها در یک غلاف سربی قرار می‌گیرند . این ورق نازک به کاغذ متالیزه معروف است و کابلی که دارای چنین کاغذی باشد ، کابل H نامیده می‌شود . وجود این کاغذ باعث محصور شدن میدان مغناطیسی هر سیم در اطراف آن شده و نیاز به استفاده از عایق بسیار مرغوب در کابل نیست .
- کابل‌هایی که منحصراً دارای یک غلاف سربی برای تمام رشته‌های سیم می‌باشد کابل کمربندی نام دارد . این کابل‌ها فقط برای ولتاژهای تا kv ۲۰ مورد استفاده قرار می‌گیرند ، در این کابل سیم فاز معمولاً به صورت سکتوری و سیم نول با مقطع دایره‌ای ساخته می‌شوند .

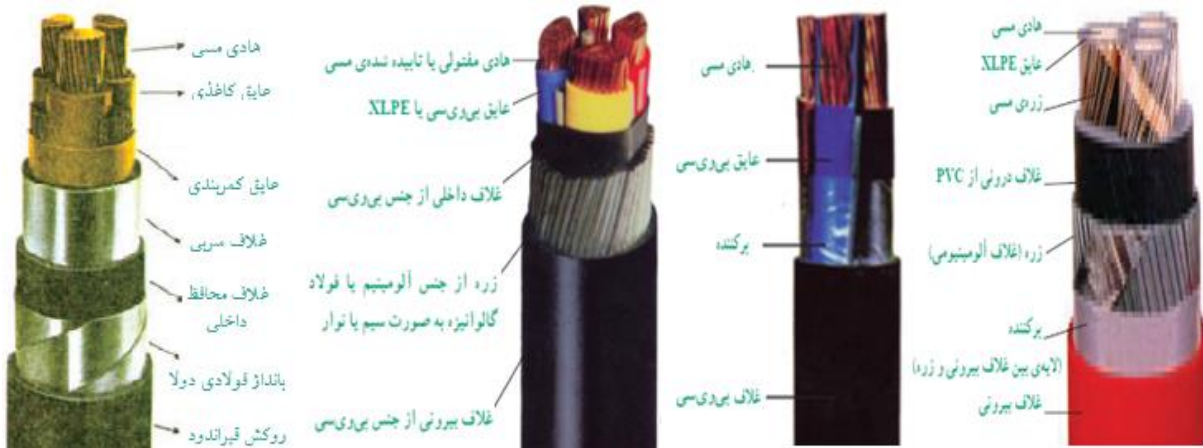
نکته : برای افزایش استحکام و کم کردن خاصیت خازنی کابل ها را به صورت مارپیچ می سازند . هر سیم از هادی های چند رشته ساخته می شود که این رشته ها به هم تابیده می شود. همچنین در کابل های چند سیمه ، سیم های کابل نیز به صورت مارپیچ ساخته می شوند .



طرز شناخت و نامگذاری کابل های جریان زیاد

برای مشخص شدن نوع کابل‌ها، بر روی قرقره‌ی کابل و یا روی بدنه‌ی کابل حروفی که مشخص کننده‌ی جنس هادی، نوع غلاف‌ها و عایق‌های به کار رفته در کابل می باشند، نوشته می‌شود این حروف بر اساس استاندارد VDE به قرار زیر است.

علامت	شرح
N	علامت کابل با سیم از جنس مس
NA	علامت کابل با سیم آلومینیومی
Y	علامت عایق پروتودور یا PVC ( اولین Y در ردیف حروف )
G	عایق لاستیک برای هر رشته
۲y	عایق از جنس PET
۲x	عایق از جنس XLPET
H	علامت ورق متالیزه است که برای محدود کردن میدان مغناطیسی دور سیم یا عایق پیچیده می‌شود
B	حفاظت فولادی نواری شکل ( بانداژ فولادی )
R	حفاظت فولادی سیم نواری شکل ( زره از مفتول فولادی قلع اندود شده )
F	زره از سیم تخت فولادی قلع اندود ( کابل مسطح با سیم تخت )
Gb	حفاظت فولادی نواری شکل و به عبارت دیگر تسمه فولادی ماریچی برای محکم کردن F یا R
C	در کابل های فشار ضعیف علامت سیم صفر است که به صورت لوله دور عایق سه سیم دیگر پیچیده می‌شود و در کابل های فشارقوی علامت سیم حفاظت یا سیم صفر ( نول ) است .
CW	غلاف از مفتول‌های نازک مسی که به طور موجی دور تا دور کابل را پوشانده است و یک تسمه‌ی نازک مسی به طور ماریچی آنها را نگه می‌دارد ( سیم مسی متحد‌المرکز با نوار مسی ماریچی )
T	سیم نگهدارنده در کابل های هوایی ساخته شده از فولاد تابیده شده
Y	علامت روپوش پروتودور PVC می‌باشد ( دومین Y در ردیف حروف )
K	علامت غلاف سربی
A	غلاف خارجی دوبل
E	کابل با سه غلاف سربی
S	حفاظت مسی از تسمه پهن ولی نازک مسی که دور عایق سیم پیچیده می‌شود ( به جای H )
SE	حفاظت مسی در کابل‌های چند رشته دور هر یک از سیم‌ها به منظور محدود کردن میدان مغناطیسی (به جای H)
J	کابل همراه با یک رشته حفاظتی به رنگ سبز و زرد



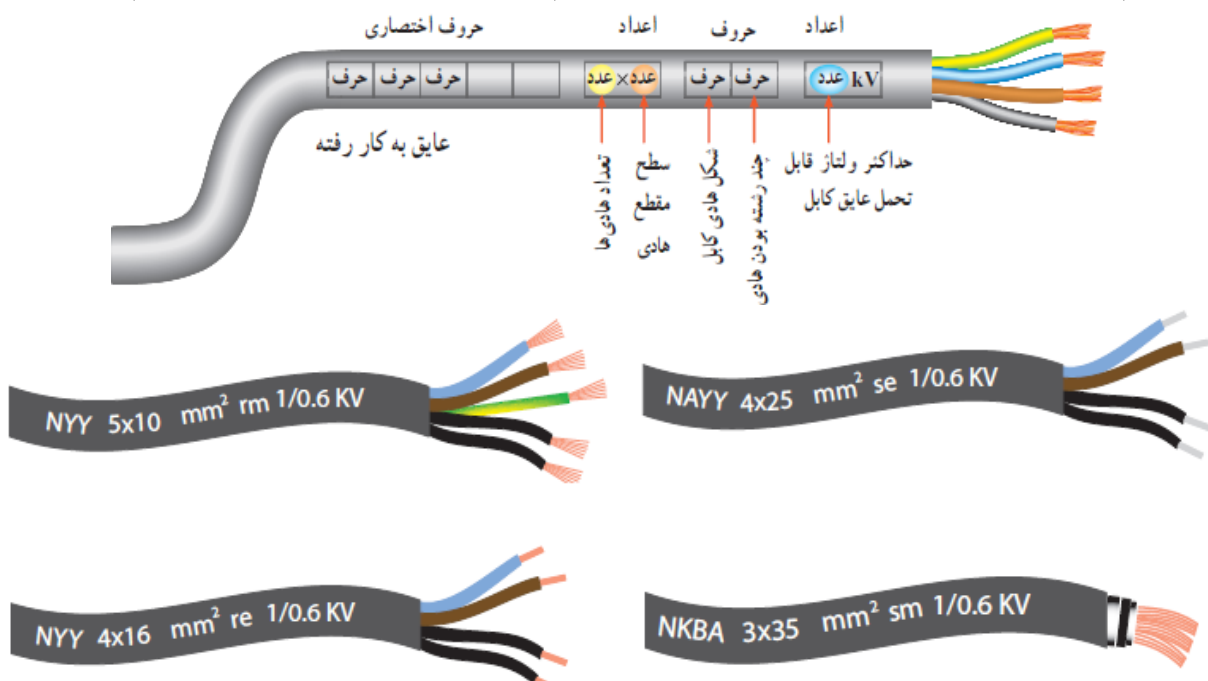
پس از حروف معروف نوع کابل علائم مشخص کننده سیم از نظر تعداد و سطح مقطع نیز آورده می شود .

سیم گرد یک رشته	Re
سیم گرد چند رشته	Rm
سیم مثلثی یا سکتوری یک رشته	Se
سیم مثلثی یا سکتوری چند رشته	Sm
سیم تک رشته ای ( مفتولی )	AB
سیم تک رشته ای افشان ( قابل انعطاف )	AF
کابل چند رشته ای با هادی افشان ( قابل انعطاف )	MH

در مورد کابل های چند رشته ای فشار ضعیف مخصوصاً کابل های چهار رشته معمولاً سطح مقطع سه رشته از کابل ها ( رشته های اصلی ) با هم مساوی و سطح مقطع رشته ی چهارم کوچکتر است . معمولاً سطح مقطع رشته چهارم که به عنوان سیم نول به کار می رود ، نصف سطح مقطع سایر رشته هاست، ولی در بعضی از اندازه ها کابل تا چند نمره از سایر رشته ها کوچکتر است . این موضوع به کمک سه عدد نشان می دهند. مثلاً اگر کابلی دارای سه رشته ای اصلی با سطح مقطع  $25\text{mm}^2$  و یک رشته نول با مقطع  $16\text{mm}^2$  باشد آن را به صورت  $3 \times 25 + 16$  نشان می دهند . یا اگر سه رشته سیم  $50\text{mm}^2$  برای سه فاز شبکه و سیم نول با سطح مقطع  $35\text{mm}^2$  را به صورت  $3 \times 50 + 35$  نشان داده می شود .

در کنار حروف فوق و پس از نوشتن سطح مقطع کابل ولتاژ مرجعی که کابل برای آن طراحی شده است نوشته می شود . این ولتاژ معمولاً توسط ترکیب  $Uph / UL$  مشخص می شود .  $Uph$  ولتاژ فازی که ولتاژ موثر بین هر فاز یا هر هادی عایق دار و زمین است و  $UL$  ولتاژ خطی که ولتاژ موثر بین هر جفت هادی فاز در سیستم چند فازه است . برای مثال  $3/0.6 / 6\text{KV}$  به این معنی است که ولتاژ نامی خطی این کابل ۶ کیلو و ولتاژ فازی  $3/0.6$  کیلو ولت است .

در کابل های فشار ضعیف همیشه سیم با عایق آبی رنگ به عنوان سیم نول و سیم با رنگ زرد و سبز برای حفاظت ( مثلاً به عنوان سیم زمین ) به کار می رود و در صورتی که تنها یک رشته سیم رنگی وجود داشته باشد آن رشته برای سیم نول است .





### معرفی و کاربرد برخی از کابل های معروف

کابل **NY Y**: این کابل دارای رشته های مسی **N** که دارای عایق های پروتودور **Y** می باشد و **Y** دوم نشان دهنده عایق کل کابل از جنس پروتودور است. کابل های **NY Y** یا کابل زمینی برای کابل کشی در زیر زمین، در آب و در کانال و محل هایی که احتمال ضربه مکانیکی نباشد با ولتاژ اسمی کابل ۶۰۰/۱۰۰۰ ولت مورد استفاده قرار می گیرد.



کابل **NAY Y**: این کابل دارای هادی از جنس آلومینیوم **NA** است و عایق دور سیم ها و عایق کل کابل پروتودور **Y** است. کابل **NYCY**: این کابل دارای هادی هایی از جنس مس **N** است و عایق سیم ها و کل کابل پروتودور **Y** است و بین دو عایق پروتودور زره سیم مسی **C** قرار گرفته است.

کابل **NYCWT**: در این کابل جنس هادی ها مسی، عایق هادی ها و عایق کابل **PVC** است و از سیم مسی متحدالمرکز با نوار مسی ماریپیچ جهت حفاظت استفاده می شود.

کابل **NAYCY**: هادی های این نوع کابل از جنس آلومینیوم **NA** است و هم عایق سیم ها و هم عایق کابل پروتودور **Y** است. از سیم مسی متحدالمرکز با نوار مسی ماریپیچ **C** جهت حفاظت استفاده می شود.

کابل **NAYCWY**: هادی های این کابل آلومینیومی **NA** با عایق **PVC** است که جهت حفاظت از کابل بین دو عایق پروتودور از سیم مسی متحدالمرکز با نوار مسی ماریپیچ استفاده شده است.

کابل **NYTY**: هادی های این کابل مسی **N** است که دارای عایق هادی ها و عایق کابل از جنس پی وی سی است. این کابل دارای مهار فولادی **T** است که در شبکه های هوایی استفاده می شود.

کابل **NKBA**: هادی های این کابل از جنس مس **N** است و دارای غلاف سربی **K** و بانداژ فولادی **B** و روکش قیر اندود (غلاف خارجی دوبل) **A** می باشند. کابل **NKBA** در شبکه های محلی و برای رساندن برق به منازل و در شبکه های روشنایی مورد استفاده قرار می گیرد.

کابل **NAKBA**: هادی های این کابل از جنس آلومینیوم **NA** است و دارای غلاف سربی **K** و بانداژ فولادی **B** و روکش قیر اندود (غلاف خارجی دوبل) **A** می باشند.

### نحوه استخراج اطلاعات از روی کابل ها

بر روی بدنه کابل ها از یک سری حروف که نشان دهنده جنس کابل و یک سری عدد که نشان دهنده تعداد و سطح مقطع هر رشته و ولتاژ کابل است استفاده می شود. در زیر نمونه هایی از این اطلاعات که مربوط به کابل های مختلف است آورده شده است.

$$NY Y \ 3 \times 25 + 16 \text{ sm}$$

در این کابل سه هادی افشان از جنس مس و با سطح مقطع مثلی ۲۵ میلی متر مربع ای و یک سیم ۱۶ میلی متر مربع ای برای سیم نول وجود دارد، جنس عایق هادی ها و عایق کلی کابل پروتودور یا **PVC** است.

$$NY Y \ 4 \times 50 + 25 \text{ sm}$$

در این کابل از ۴ رشته سیم مسی افشان با سطح مقطع مثلی ۵۰mm<sup>۲</sup> و یک رشته سیم ۲۵mm<sup>۲</sup> برای سیم نول و از عایق **pvc** برای رشته ها و کل کابل استفاده شده است.

$$NY Y \ 3 \times 50 \text{ re } 0.6 / 1 \text{ kv}$$

این کابل ۳ رشته سیم مفتولی با مقطع دایره ای با عایق هایی از جنس پروتودور دارد که برای ولتاژ فازی ۶۰۰ ولت و ولتاژ خطی ۱۰۰۰ ولت مورد استفاده قرار می گیرد .

#### NKBA ۳ × ۳۵

جنس ۳ هادی این کابل مسی با سطح مقطع  $۳۵\text{mm}^2$  است که توسط غلاف سربی و غلاف خارجی دابل عایق شده است و برای حفاظت از بانداژ فولادی استفاده شده است .

#### NKBA ۳ × ۳۵ sm ۶ / ۱۰ kv

این کابل دارای ۳ هادی  $۳۵\text{mm}^2$  است که برای ولتاژ خطی ۱۰ کیلوولت و ولتاژ فازی ۶ کیلو ولت طراحی شده است . هادی ها چند رشته ای با سطح مقطع سکتوری است .

#### NAYSY ۳ × ۷۰ se ۶ / ۱۰ kv

این کابل، کابلی سه سیمه با مقطع مثلثی بوده و هر سیم آن به صورت مفتولی یا تک رشته به مقطع  $۷۰$  میلی متر مربع و از جنس آلومینیوم ساخته شده است ، عایق هر رشته از نوع پی وی سی می باشد و حفاظ مسی از تسمه پهن و نازک به دور عایق آن پیچیده شده است . بر روی کل اجزا نیز عایقی از جنس پی وی سی کشیده می شود . این کابل برای ولتاژ فازی ۶ کیلو ولت و ولتاژ خطی ۱۰ کیلو ولت طراحی شده است .

#### NYCWYFFGb Y ۳ × ۱۲۰ sm ۳/۵ / ۶ kv

این کابل دارای ۳ هادی با سطح مقطع  $۱۲۰\text{mm}^2$  از جنس مس با مقطع مثلثی چند رشته ای است که عایق های هادی و کل کابل از جنس پروتودور می باشد . همچنین در این کابل از دو لایه زره که به صورت نوارهای تخت فولادی F می باشد استفاده می شود و برای محکم کردن این نوارها تسمه با نوارهای فولادی مارپیچ Gb مورد استفاده قرار می گیرد . و نیز غلافی از سیم نازک مسی دور عایق PVC مربوط به سه سیم اصلی کابل پیچیده می شود . و یک تسمه نازک مسی نیز به طور مارپیچ این سیمهای نازک را نگه می دارد CW به کار رفته است .

#### تقسیم بندی کابل های انتقال نیرو از لحاظ عایق بندی

- ۱- کابل های فشار ضعیف : قدرت عایق نمودن تا ۱ کیلو ولت را دارند .
- ۲- کابل های فشار متوسط : قدرت عایق نمودن از ۳.۳ تا ۴.۵ کیلو ولت را دارا می باشد .
- ۳- کابل های فشار قوی : قدرت عایق نمودن از ۳۰ تا ۹۰ کیلو ولت را دارا می باشند .
- ۴- کابل های فوق فشار قوی : قدرت عایق نمودن از ۱۱۰ تا ۳۸۰ کیلو ولت را دارا می باشند .

#### تعیین سطح مقطع کابل

در تعیین سطح مقطع کابل عواملی چون جریان مجاز، ولتاژ نامی، افت ولتاژ مجاز، شرایط محیطی و ... تأثیر گذار است . جریان مجاز : جریان مجاز جریانی است که حرارت تولید شده ناشی از آن در کابل هیچگونه آسیبی به هادی و عایق کابل وارد نکند . لازم به ذکر است که درجه حرارت مجاز کابل های PVC نباید از ۷۰ درجه سانتی گراد فراتر رود . افت ولتاژ مجاز : در دستگاه های الکتریکی کاهش ولتاژ از مقادیر نامی مشکلات و اختلالاتی در کار دستگاهها به وجود می آورد . مقررات حداکثر افت ولتاژ را در مدارات روشنایی ۴٪ و در مدارات تغذیه موتورها را ۶٪ تعیین کرده است .



محاسبه‌ی سطح مقطع با استفاده از جدول

جدول زیر جریان مجاز کابل های فشار ضعیف تا ولتاژ نامی ۱kv را در شرایط نصب مختلف نشان می دهد . برای یک سطح مقطع خاص در شرایط نصب مختلف ، جریان مجاز متفاوت است .

جدول مجاز کابل های برق با ولتاژ ۱ kv بر حسب آمپر										
طرز قرار گرفتن کابل ها										
سطح مقطع mm <sup>2</sup>	کابل های ۱ سیمه DC		کابل های ۲ سیمه		کابل های ۳ و ۴ سیمه		سه کابل یک سیمه سه فاز			
	در خاک	در هوا	در خاک	در هوا	در خاک	در هوا	در خاک ○○○	در هوا ○○○	در خاک ○○○	در هوا ○○○
۱.۵	۳۷	۲۶	۳۰	۲۱	۲۷	۱۸	-	-	-	-
۲.۵	۵۰	۳۵	۴۱	۲۹	۳۶	۲۵	-	-	-	-
۴	۶۵	۴۶	۵۳	۳۸	۴۶	۳۴	-	-	-	-
۶	۸۳	۵۸	۶۶	۴۸	۵۹	۴۴	-	-	-	-
۱۰	۱۱۰	۸۰	۸۸	۶۶	۷۷	۵۰	-	-	-	-
۱۶	۱۴۵	۱۰۵	۱۱۵	۹۰	۱۰۰	۸۰	۱۲۰	۱۰۰	۱۱۰	۸۶
۲۵	۱۹۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۰۵	۱۵۵	۱۳۵	۱۴۰	۱۲۰
۳۵	۲۳۵	۱۷۵	۱۸۰	۱۵۰	۱۵۵	۱۳۰	۱۸۵	۱۷۰	۱۷۰	۱۴۵
۵۰	۲۸۰	۲۱۵	-	-	۱۸۵	۱۶۰	۲۲۰	۲۰۵	۲۰۰	۱۸۰
۷۰	۳۵۰	۲۷۰	-	-	۲۳۰	۲۰۰	۲۷۵	۲۶۰	۲۴۰	۲۲۵
۹۵	۴۲۰	۳۳۵	-	-	۲۷۵	۲۴۵	۳۲۵	۳۲۰	۲۹۵	۲۸۰
۱۲۰	۴۸۰	۳۹۰	-	-	۳۱۵	۲۸۵	۳۷۰	۳۷۵	۳۳۵	۳۳۰
۱۵۰	۵۴۰	۴۴۵	-	-	۳۵۵	۳۲۰	۴۲۰	۴۳۰	۳۸۰	۳۸۰
۱۸۵	۶۲۰	۵۱۰	-	-	۴۰۰	۳۷۰	۴۷۰	۴۵۰	۴۳۰	۴۴۰
۲۴۰	۷۲۰	۶۲۰	-	-	۴۶۵	۴۳۵	۵۴۰	۵۹۰	۴۹۰	۵۳۰
۳۰۰	۸۲۰	۷۱۰	-	-	-	-	۶۲۰	۶۸۰	۵۵۰	۶۱۰
۴۰۰	۹۶۰	۸۵۰	-	-	-	-	۷۱۰	۸۲۰	۶۵۰	۷۴۰
۵۰۰	۱۱۱۰	۱۰۰۰	-	-	-	-	۸۲۰	۹۶۰	۷۴۰	۸۶۰

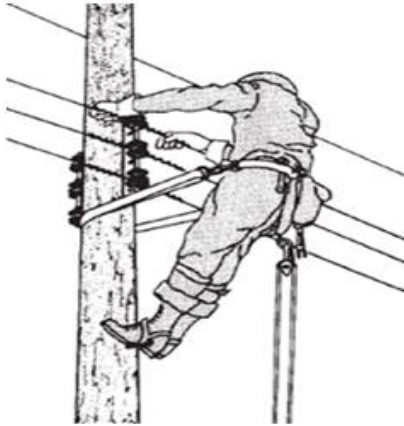
جدول فاکتور تصحیح تغییر درجه حرارت محیط در شرایط نصب مختلف

درجه حرارت محیط	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰
فاکتور تصحیح سیم عایق دار	۱/۲	۱/۱۵	۱/۱۰	۱/۰۵	۱	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۷۵	۰/۶۷
فاکتور تصحیح کابل در خاک	۱/۲۷	۱/۲۱	۱/۱۷	۱/۱۲	۱/۰۶	۱	۰/۹۴	۰/۸۷	۰/۷۹	۰/۷۱
فاکتور تصحیح کابل در هوای آزاد	-	۱/۱۰	۱/۰۵	۱	۰/۹۵	۰/۸۹	۰/۸۴	-	-	-

مثال - اگر در یک سیستم هوایی از کابل NYY چهار سیمه با سطح مقطع  $250\text{mm}^2$  استفاده نماییم، میزان جریان دهی این کابل در  $35$  درجه سانتی گراد را از جدول بدست آورید .

با توجه به جدول جریان نامی کابل چهار سیمه با سطح مقطع  $250\text{mm}^2$  و در دمای  $30$  درجه  $105$  آمپر است . حال اگر بخواهیم جریان کابل را در  $35$  درجه سانتی گراد بدست آوریم باید از ضریب تصحیح حرارت استفاده کنیم ( ضریب تصحیح جریان کابل در هوای آزاد در دمای  $35$  درجه برابر با  $0/94$  است )

$$105 \times 0/94 = 98/7 \text{ A}$$



محاسبه‌ی سطح مقطع با استفاده از فرمول

$$A = \frac{200 \rho l i \cos\phi}{\alpha V}$$

$$A = \frac{200 \rho l p}{\alpha V^2}$$

در این روابط :

$A$  : سطح مقطع کابل بر حسب میلی متر مربع .

$\rho$  : مقاومت ویژه مس در دمای  $70$  درجه سانتی گراد که برابر با  $2 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$  است .

$l$  : طول کابل بر حسب متر .

$i$  : جریان مجاز کابل بر حسب آمپر

$\cos\phi$  : ضریب قدرت یا پاور فاکتور مصرف کننده‌ای است که توسط کابل تغذیه می‌شود .

$\alpha$  : درصد افت ولتاژ مجاز کابل ها .

$V$  : ولتاژ فازی مدار .

$P$  : توان مصرفی بار .

$200$  : از ضریب  $200$  برای مصرف کنندگان تکفاز و از ضریب  $100$  برای مصرف کنندگان سه فاز استفاده می‌شود .

مثال- یک کابل چهار سیمه برای تغذیه یک موتور سه فاز  $380 \text{ V}$  ،  $40 \text{ kW}$  با ضریب قدرت  $0/8$  به کار می‌رود سطح مقطع این کابل را طوری پیدا کنید که افت ولتاژ از  $2$  درصد تجاوز نکند . طول کابل  $70$  متر مفروض است .

$$A = \frac{200 \rho l p}{\alpha V^2} , A = \frac{200 \times 2 \times 10^{-8} \times 70 \times 40 \times 10^3}{2 \times 380^2} = 20 \text{ mm}^2$$

مثال - آیا می‌توان در محیطی با حرارت  $30$  درجه‌ی سانتی گراد، برای تغذیه یک موتور سه فاز با جریان  $20 \text{ A}$  و  $\cos\phi =$

$0/75$  که در فاصله  $50 \text{ m}$  از تابلوی اصلی قرار دارد از یک کابل NYY با سطح مقطع  $2/5 \text{ mm}^2$  استفاده کرد ؟

جریان مجاز کابل  $2/5 \text{ mm}^2$  در دمای  $30$  درجه سانتی گراد  $25 \text{ A}$  است و از نظر جریان برای این موتور مناسب است. حال افت ولتاژ را بررسی می کنیم.

$$A = \frac{200 \rho l \cos \phi}{\alpha V}, \quad \alpha = \frac{100 \times 2 \times 10^{-8} \times 50 \times 20 \times 0/75}{2/5 \times 10^{-6} \times 220} = \% 3/6$$

از آنجایی که افت ولتاژ از  $2\%$  بیشتر است باید سطح مقطع را یک اندازه بزرگتر انتخاب کرد یعنی باید سطح مقطع کابل  $4 \text{ mm}^2$  باشد. و در این حالت افت ولتاژ را محاسبه می کنیم.

$$\alpha = \frac{100 \times 2 \times 10^{-8} \times 50 \times 20 \times 0/75}{4 \times 10^{-6} \times 220} = \% 1/75$$

### لوازم و تجهیزات مورد استفاده در کابل کشی

**قیچی کابل بری**: به منظور بریدن کابل از قیچی کابل بری استفاده می شود که در انواع قیچی کابل بری دستی برای بریدن کابل های با قطر کم و قیچی های هیدرولیکی، پنوماتیکی و الکترومکانیکی برای بریده کابل های با قطر زیاد وجود دارند.

**دستگاه روکش بردار کابل**: دستگاه روکش بردار کابل دارای دستگیره ای است که یک تیغ برش و یک غلتک روی آن قرار دارد. هنگام روکش برداری کابل غلتک پشت کابل قرار گرفته و با کشیدن آن روی کابل عایق برداشته می شود فاصله ی بین غلتک و تیغه، قابل تنظیم می باشد بنابراین امکان لخت کردن کابل ها با ضخامت عایق های مختلف وجود دارد.

**چاقوی کابل بری**: برای لخت کردن کابل از چاقوی کابل بری استفاده می شود، برای در آوردن عایق روی کابل ابتدا در محیط کابل و در محل مورد نظر به وسیله چاقو، شیار دایره ای ایجاد می کنیم، سپس در امتداد طول کابل با چاقو خط برش ایجاد کرده و عایق را جدا می کنیم. برای بریدن کابل از اره نیز می توان استفاده کرد.

**تذکر مهم**: در هنگام روکش برداری کابل نباید چاقو را به سمت خود بگیریم زیرا ممکن است چاقو از سطح کابل جدا شده و سبب مجروح شدن سینه یا دست شود. ضمناً اگر افراد دیگری در مسیر نوک چاقو نیز قرار داشته باشند ممکن است موجب آسیب رساندن به آنها شود.



**کابل شوها**: برای اتصالات جدا شدنی سیم ها، از کابلشو یا سر سیم های مخصوص استفاده می کنند. سر سیم ها با توجه به سطح مقطع سیم در اندازه های مختلف ساخته می شود و با لحیم کاری یا توسط دستگاه پرس مخصوص به هادی محکم می شوند. کابل شوها در انواع مختلف پرسی، لحیم، پیچی و منگنه ای وجود دارند.

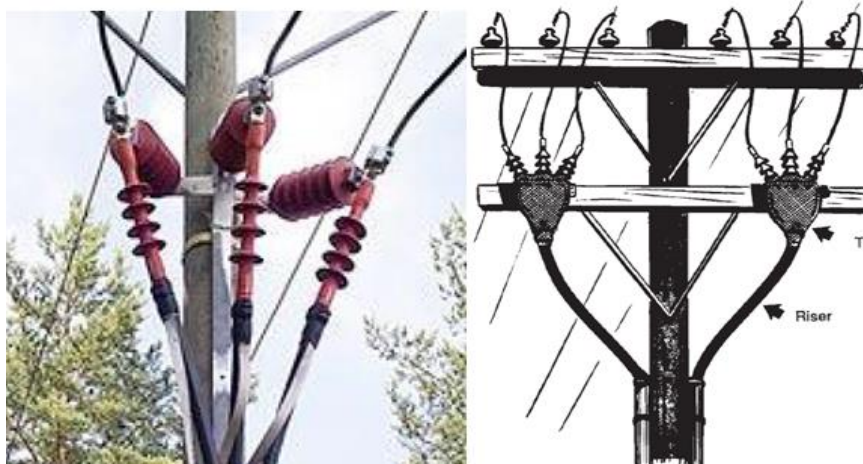


نکته مهم: برای اتصال کابل‌های افشان از مقطع  $1\text{mm}^2$  به بالا و کابل‌های مفتولی از مقطع  $10\text{mm}^2$  به بالا باید از کابل شو استفاده شود. کابل‌های مفتولی  $6\text{mm}^2$  و کمتر را می‌توان مستقیماً با ایجاد سوالی به دستگاه مربوط متصل نمود.

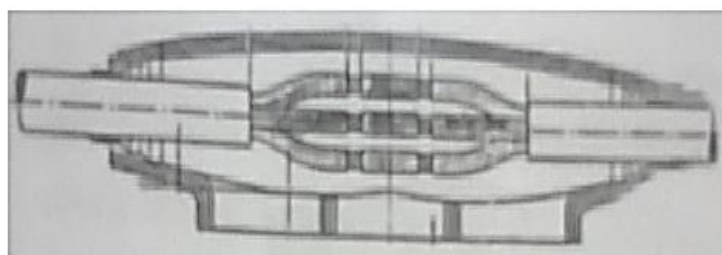
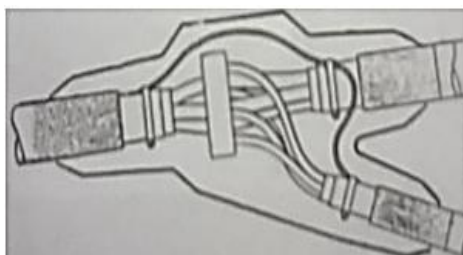
**اتصال کابل شو به کابل:** برای اتصال کابل به دیگر تجهیزات الکتریکی، از کابلشو یا کفشک کابل استفاده می‌شود. کابل شوها ممکن است پرسی یا قابل لحیم‌کاری باشند، در مقاطع بزرگ، اتصال کابل شو به کابل به وسیله‌ی لحیم‌کاری و اغلب با شعله صورت می‌گیرد. در صورت استفاده از شعله برای لحیم‌کاری باید توجه نمود که عایق و روکش بیرونی کابل در اثر حرارت آسیب نبیند.

**سرکابل:** سرکابل وسیله‌ای است که در مواقع تغییر نوع سیم‌های حامل جریان الکتریکی به کار می‌رود. مثلاً وقتی بخواهند کابل زمینی را به سیم هوایی وصل کنند و یا کابل زمینی را به تجهیزات داخلی پست‌های اتصال دهند از سرکابل استفاده می‌کنند. سرکابل باید طوری بسته شود که رطوبت هوا و باران به هیچ وجه در آن نفوذ نکند و چنانچه کابل روغنی باشد، روغن داخل کابل بیرون نریزد، ساختمان نوع سرکابل‌ها متفاوت بوده و بستگی به نوع کابل و مکان نصب آن دارد. سرکابل‌ها در اندازه‌های مختلفی ساخته می‌شوند. اندازه‌ی سرکابل بستگی به ولتاژ آن و اندازه‌ی کابل دارد هرچه مقدار ولتاژ بیشتر شود ابعاد و طول سرکابل افزایش می‌یابد.

**انواع سرکابل:** بر اساس نوع کابل، سرکابل‌ها به دو دسته‌ی سرکابل‌های روغنی و سرکابل‌های خشک تقسیم می‌شوند. همچنین بر اساس مکان مورد استفاده نیز سرکابل‌ها به دو دسته‌ی سرکابل‌های داخلی که قابل استفاده در فضاهای بسته است و سرکابل‌های بیرونی یا هوایی که قابل استفاده در هوای آزاد است، تقسیم می‌شوند.



**مفصل:** در مواردی که بر اثر بروز اتصال کوتاه یا ضربات مکانیکی کابل صدمه ببیند یا قطع شود، می‌توان برای وصل مجدد و ترمیم کابل از جعبه اتصال کابل یا مفصل استفاده نمود. همچنین از مفصل‌ها برای اتصال کابل‌ها در مسیرهای طولانی و گرفتن انشعاب از کابل نیز استفاده می‌شود. جنس مفصل‌ها معمولاً از چدن، فولاد یا مواد عایقی دیگر مثل PVC است و در اندازه‌های مختلف ساخته می‌شود. مفصل‌ها از نظر شکلی در انواع دو راه، سه راه (نوع T) و چهارراه وجود دارند که در انواع، موادی، حرارتی، سرد، نواری و فشاری وجود دارند.

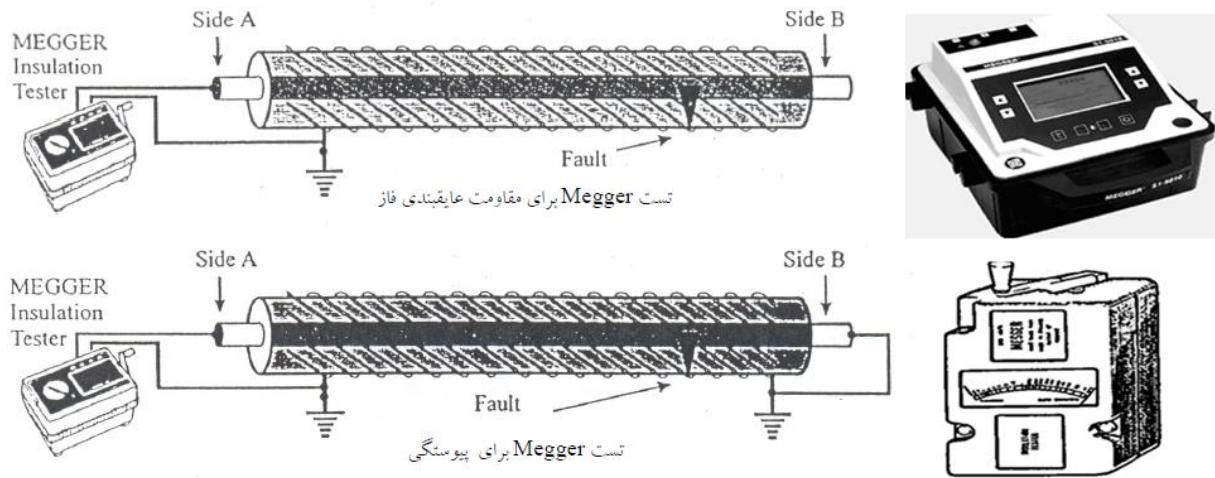




### عیب یابی کابل ها

از جمله علل بروز عیب در کابل ها می توان به اضافه ولتاژ ، اضافه بار، رعایت نکردن اصول استاندارد کابل کشی، عوامل فیزیکی ،نصب غیر صحیح سرکابل و مفصل ها نام برد . عیب هایی که در کابل ها ممکن است پیش آید عبارتند از اتصال هادی کابل به زمین ، اتصال کابل ها به هم ، پارگی کابل ها ، قطع شدن کامل کابل که برای تشخیص این عیب ها از وسایلی چون میگر ، اهم متر ، های پات ، TDR و ... استفاده می شود .

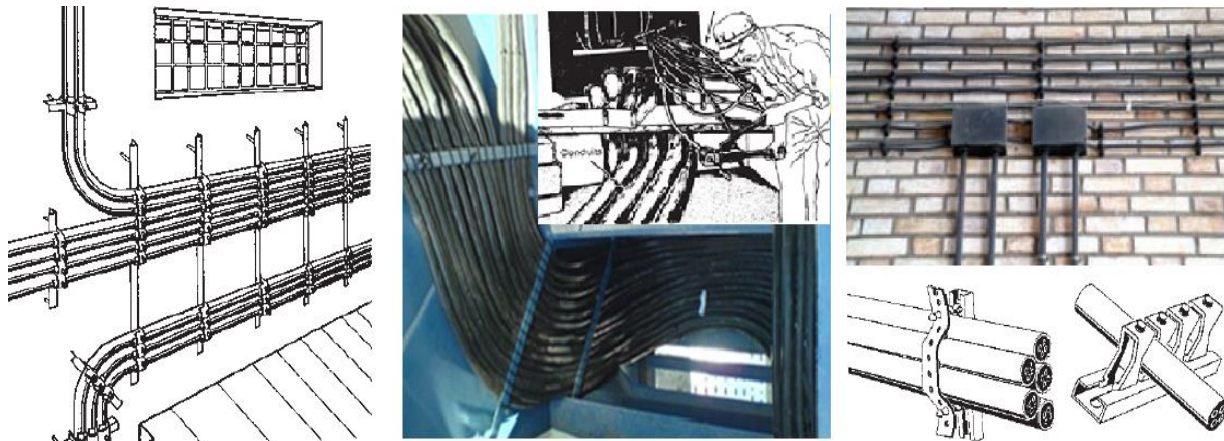
میگر : میگر یک دستگاه تست مقاومت عایقی است که شبیه اهم متر عمل می کند. از میگر برای تشخیص پارگی یا اتصالی کابل ها مورد استفاده قرار می گیرد که در زیر آورده شده است.  
در اشکال زیر نحوه استفاده از میگر برای تست پارگی و اتصالی کابل ترسیم شده است.



### کابل کشی

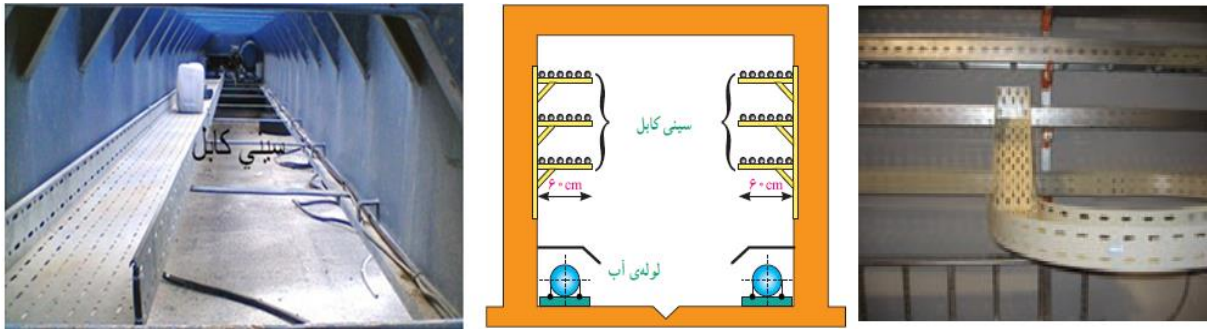
#### نصب کابل روی دیوار و سقف

در کارخانجات و کارگاه های مختلف کابل ها را روی دیوار نصب می کنند ، در این حالت کابل ها را به وسیله بست های فلزی و پلاستیکی و رول پلاک به دیوار محکم یا به وسیله داکت یا باس داکت کابل کشی را انجام می دهند . در کابل کشی روی دیوار و سقف فاصله ی کابل های نصب شده روی دیوار از یکدیگر، حداقل باید به اندازه قطر کابل باشد و اگر کابل کشی قابل رویت باشد ، بهتر است بیش تر از ۵ کابل کنار هم قرار نگیرند .



### نصب کابل روی سینی کابل

برای انتقال تعداد زیادی کابل به صورت روکار و برای نصب آن از پایه های پیش ساخته استفاده می شود یک طرف این پایه ها به دیوار رول پلاک می شوند و سینی کابل بر روی پایه ی دیگر قرار می گیرد و به پایه پیچ می شود مسیر سینی کابل ها باید کاملاً بسته باشد و سیم اتصال به زمین داشته باشد در خم ها می توان از زانو سه راهه یا چهار راهه استفاده کرد و یا می توان مانند داکت ها زاویه سازی کنیم و با استفاده سنگ فرز این کار را انجام می دهیم . حداقل فاصله ی بین پایه ها ۴۰ سانتی متر می باشد که این فاصله به اندازه ی سینی کابل و تعداد کابل ها و وزن آنها بستگی دارد .



### نصب کابل در داخل کانال های بتونی

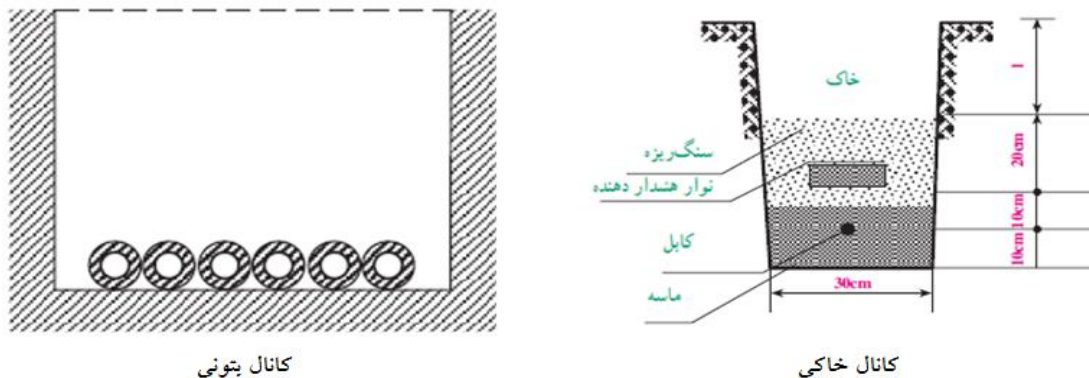
کانال های کابل کوچک معمولاً در موتورخانه ها ، پست های برق و ... کاربرد دارد و باید دارای درپوش های قابل برداشت از آهن آجدار و با دستگیره مناسب در تمام طول کانال باشد . کابل هایی که در کانال نصب می شوند باید تعدادی باشند که نصب آن ها به آسانی میسر باشد و تعمیر و تعویض آن ها به سهولت انجام می گیرد .

### نصب کابل در کانال های خاکی

برای کابل کشی در کانال خاکی با توجه به میزان ولتاژ کانالی به شکل دوزنقه حفر می کنیم تا خاک به داخل کانال نفوذ نکند .

عمق کانال	ولتاژ کابل
۸۰ cm	۱ kv
۱۰۰ cm	۱۰ kv
۱۲۰ cm	۲۰ kv

برای نصب کابل ها داخل کانال خاکی ابتدا کف کانال کاملاً صاف، تمیز و کوبیده می شود و سپس ۱۰ cm ماسه نرم در گودال ریخته و کابل روی آن خوابانده می شود و سپس ۱۰ تا ۱۵ سانتی متر دیگر ماسه نرم روی کابل ریخته می شود . به منظور حفاظت از کابل روی آن را با آجر پوشیده می شود و بقیه فضای کانال با خاک معمولی پر می شود .







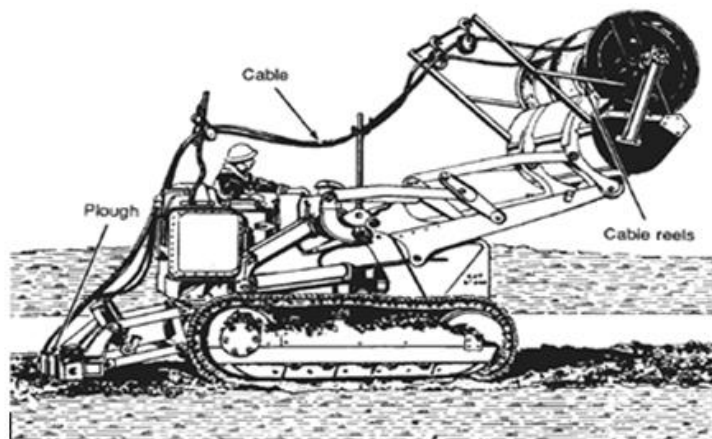
اصول کلی ای که در نصب کابل ها باید رعایت کرد .

- حداقل فاصله ی بین کابل های موازی هم ولتاژ ، به اندازه ی قطر کابل ضخیم تر مجاور در نظر گرفته می شود و در صورتی که ولتاژ کابل های موازی متفاوت بود حداقل فاصله بین دو کابل مجاور  $30\text{ cm}$  باشد
- در مواردی که کابل از داخل تجهیزات فلزی و لبه دار و تیز عبور می کند و ممکن است کابل را دچار خراشیدگی نماید ، باید با استفاده از بوشن و یا وسایل دیگر کابل را حفاظت نمود .
- کابل در مسیر خود می تواند از داخل لوله هایی به طول حداکثر ۶ متر عبور کند .
- حداکثر درجه حرارت کابل PVC ،  $70$  درجه سانتی گراد است .

درجه سانتیگراد	نوع کابل
۰	کابل کاغذی با غلاف فلزی تا ۳۵ کیلوولت با کاغذ آغشته معمولی یا بدون پوشش حفاظتی
+۵	کابل کاغذی با غلاف فلزی تا ۳۵ کیلوولت با یا بدون پوشش حفاظتی
۰	با پوشش پلاستیکی با غلاف P.V.C از یک تا ۳۵ کیلوولت با یا بدون پوشش حفاظتی
-۱۰	با عایق پلاستیکی و غلاف پلاستیکی تا ۵۰۰ ولت
-۷	الف - با پوشش حفاظتی و بدون پوشش ب - با عایق پلاستیکی - غلاف سربی یا P.V.C با پوشش حفاظتی
-۱۵	با عایق لاستیکی - غلاف سربی یا P.V.C بدون غلاف حفاظتی با غلاف غیرفلزی
-۲۰	با عایق لاستیکی - غلاف سربی یا P.V.C بدون غلاف حفاظتی ولی با غلاف فلزی



- در مواردی که کابل در معرض تغییرات درجه‌ی حرارت قرار دارد، باید پیش‌بینی‌ها لازم برای عایق‌بندی حرارتی آن صورت گیرد .
- کابل‌هایی که به تأسیسات قابل حمل و متحرک نصب می‌شوند باید در نقطه اتصال به دستگاه کاملاً بسته و محکم شود، به طوری که هیچ نیرویی به ترمینال‌های برق متصل به کابل وارد نشود .
- در صورتی که کابل از رو یا زیر لوله‌ی آب، گاز و یا هر لوله‌ی فولادی دیگری بگذرد، باید فاصله‌ی بین کابل و لوله آب یا گاز که به موازات هم هستند کمتر از ۳۰ سانتی‌متر نباشد و همچنین کابل در آن نقطه باید از داخل لوله حفاظتی بگذرد .
- کلیه‌ی کابل‌های داخل و خارج ساختمان ( مسکونی، تجاری و صنعتی ) باید یک تکه باشند و از کاربرد مفصل دو راهی در وسط خط خودداری شود .
- کابل‌ها باید در برابر تابش مستقیم نور آفتاب، دارای نوعی حفاظ باشد .
- چنانچه کابل‌ها به موازات هم کشیده شده باشند، کابل‌های فشار متوسط نباید مستقیماً در زیر کابل‌های فشار ضعیف قرار گیرند .
- در کابل‌های فشار ضعیف، با توجه به سطح مقطع آن‌ها باید از ترمینال‌های پیچی یا کابلشو مناسب استفاده شود .
- اگر تعداد کابل‌ها زیاد باشد بهتر است کابل‌ها پهلوی هم قرار گیرند نه روی هم .
- کابل را باید با چرخاندن قرقره‌ی کابل و کشیدن آهسته کابل را باز کرد و از خمش زیاد کابل جلوگیری کرد .



- در صورتی که در یک کانال کابل‌های فشار قوی و فشار ضعیف قرار گیرند، باید کابل فشار قوی در زیر و کابل فشار قوی ۳۰ سانتی متر بالای آن قرار گیرد و ما بین آن‌ها با آجر فشاری عایق شوند .
- فاصله‌ی بین کابل‌ها در داخل کانال‌ها معمولاً ۷ cm انتخاب می‌شود .
- برای عبور کابل از خیابان‌ها و میدانی از لوله‌های سیمانی یا لوله‌های گالوانیزه استفاده می‌شود .
- در موقع کشیدن کابل باید دقت شود که کابل پیچانده نشود و جمع نشود و تحت نیروی کششی قرار نگیرد و در مقابل خم شدن و فشار محافظت شود . شعاع خمش کابل‌ها حداقل باید ۱۵ برابر قطر کابل باشد برای انواع کابل‌ها شعاع خمش کابل را می‌توان بر حسب قطر کابل (d) از جدول زیر بدست آورد

غلاف سربی	غلاف آلومینیوم	کابل پروتودور	
15d	25d	12d - 15d	کابل چند سیمه تا 1kv
25d	30d	15d	کابل یک سیمه

### لوله کاری و انواع لوله های مورد استفاده در برق

لوله هایی مورد استفاده در برق وزن کمتری نسبت به لوله های آب و گاز دارد. لوله های برق با توجه به جنس، روش اتصال، ویژگی های الکتریکی و مکانیکی، میزان مقاومت و ... تقسیم بندی می شوند.

#### انواع لوله ها

**لوله های فولادی:** لوله های فولادی در دو نوع سیاه و گالوانیزه ساخته می شوند. لوله های گالوانیزه را در جاهای مرطوب

و لوله های سیاه را در جاهای خشک مورد استفاده قرار می گیرند که در سه مقیاس زیر ساخته می شوند.

۱- لوله های Pg که در اندازه های ۹ - ۱۱ - ۱۳/۵ - ۱۶ - ۲۱ - ۲۹ - ۳۶ - ۴۲ و ۴۸ ساخته می شوند.

۲- لوله های اینچی در اندازه های  $\frac{5}{8}$  -  $\frac{3}{4}$  - ۱ -  $1\frac{1}{4}$  اینچ ساخته می شوند.

۳- لوله های میلی متری در اندازه های ۱۶ - ۲۰ - ۲۵ و ۳۲ میلی متری ساخته می شوند.

**لوله های فولادی قابل انعطاف:** در مواردی که لوله های برق از درز انبساط ساختمان عبور می کند و همچنین برای اتصال

برق به الکتروموتورها یا ماشین آلاتی که ایجاد لرزش می کند باید از لوله های فولادی قابل انعطاف متناسب با نوع لوله کشی

استفاده می شود. داخل این نوع لوله ها باید دارای پوششی از لاستیک یا مواد مشابه باشند برای اتصال لوله خرطومی به

جعبه تقسیم یا لوله فولادی از بوشن مخصوص استفاده می شود.

**لوله های غیر فلزی:** این گونه لوله ها و لوازم مربوط به آن در مواردی که در بالای سطح زمین مورد استفاده قرار می گیرد

باید در برابر رطوبت، ضربه، فشار، نور خورشید، حرارت و ... مقاومت کافی داشته باشد. لوله های غیر فلزی ای که مستقیماً

در زمین نصب می شوند از موادی چون فیبر، سنگ صابون، PVC، فایبرگلاس و ... ساخته می شوند تا از استقامت کافی

برخوردار شوند.

**لوله های خرطومی پلاستیکی:** جنس این لوله ها PVC و در اندازه های ۱۱ و ۱۳ و ۱۶ و ... ساخته می شود و به صورت

توکار استفاده می شود. قیمت ارزان و انعطاف پذیری بالا از محاسن و پایین بودن استحکام مکانیکی از معایب آن است.

**لوله های پولیکا PVC:** لوله پولیکا از ماده PVC ( پلی ونیل کلراید ) که یک ترموپلاستیک است ساخته می شود که با

افزودن مقداری ماده پلاستیک به PVC آن را قابل انعطاف می کنند. لوله های PVC یکی از لوله هایی است که در تاسیسات

الکتریکی کاربرد زیادی دارد. به طور کلی لوله های PVC را می توان در تمام مکان های خشک و مرطوب مثل کف، دیوار

و سقف ساختمان های بتونی به کار برد به جز در ساختمان هایی که امکان آتش سوزی وجود داشته باشد، استفاده به عنوان

پایه چراغ ها و نگهدارنده وسایل، استفاده برای ولتاژهای بیش از ۶۰۰ ولت و ... که مجاز به استفاده از لوله PVC نمی باشیم.

برای کارگذاری لوله های PVC در زیر زمین و در کانال خاکی باید مراحل زیر را رعایت کرد.

۱ - حفر کانالی در خیابان به عمق ۱۲۰ سانتی متر، در پیاده رو ۹۰ سانت و در محیط های بدون عبور و مرور ۳۰ سانتی متر	
۲ - عرض کانال حداقل باید ۳ برابر قطر لوله باشد	۵ - حداقل ارتفاع روی لوله از سطح باید ۳۰ سانتی متر باشد
۳ - زیر لوله ۱۰ سانتی متر ماسه نرم ریخته شود	۶ - پس از ماسه ریزی، بقیه فضای خالی با خاک معمولی پر می شود
۴ - روی لوله ۳۰ سانتی متر ماسه ریخته شود	۷ - خاک کانال را آب پاشی و سپس غلتک کرده

## لوازم و تجهیزات کار با لوله های PVC

وسیله	کاربرد
چسب PVC	برای اتصال لوله های PVC از چسب PVC استفاده می شود .
وسایل اتصال	از سه راهی ، زانو ، تبدیل و چهار راه برای اتصالات مختلف استفاده می شود .
جعبه تقسیم	جهت گرفتن انشعاب و انجام اتصالات از انواع جعبه تقسیم که به صورت گرد و چهار گوش بر روی دیوار ، سقف یا کف قرار می گیرند استفاده می شود .
بست لوله	برای ثابت و محکم نگه داشتن لوله ها بر روی دیوار ، سقف و کف از بست استفاده می شود .
وسایل برش	برای بریدن لوله های PVC از وسایل برنده چون کمان اره استفاده می شود .
وسایل خم کردن	برای خم کردن لوله PVC از حرارت دادن لوله به وسیله وسایل حرارت زا استفاده می شود . پس از حرارت دادن و خم کردن لوله باید لوله سریعاً توسط آب سرد شود .

گنجایش تعداد سیم در لوله های فولادی اینچی				
سطح مقطع $mm^2$	$\frac{5}{8}$ اینچ	$\frac{3}{4}$ اینچ	۱ اینچ	$1\frac{1}{4}$ اینچ
۱	۷	۱۰	۲۱	۳۵
۱/۵	۶	۹	۱۸	۳۱
۲/۵	۵	۸	۱۴	۲۴
۴	۳	۴	۹	۱۶

گنجایش تعداد سیم لوله های فولادی میلی متری				
سطح مقطع $mm^2$	۱۶mm	۲۰mm	۲۵mm	۳۲mm
۱	۷	۱۲	۱۹	۳۵
۱/۵	۶	۱۰	۱۷	۳۱
۲/۵	۴	۸	۱۳	۲۴
۴	۳	۵	۹	۱۶

گنجایش تعداد سیم لوله های PVC اینچی				
سطح مقطع $mm^2$	$\frac{5}{8}$ اینچ	$\frac{3}{4}$ اینچ	۱ اینچ	$1\frac{1}{4}$ اینچ
۱	۶	۹	۱۹	۳۰
۱/۵	۵	۸	۱۸	۲۶
۲/۵	۴	۶	۱۳	۲۱
۴	۲	۴	۸	۱۳

گنجایش تعداد سیم لوله های پولیکا PVC میلی متری				
سطح مقطع $mm^2$	Pg۱۱	Pg۱۳/۵	Pg۱۶	Pg۲۵/۵
۱	۷	۱۲	۲۰	۳۴
۱/۵	۶	۱۱	۱۸	۳۰
۲/۵	۵	۸	۱۴	۲۳
۴	۳	۵	۹	۱۵

لوازم اتصالات لوله های فولادی : برای اتصال ، انشعاب و ایجاد خم در لوله ها از اتصالات چون بوشن ، زانو ، سه راه و چهار راه و ... استفاده می شود که در جدول زیر کاربرد هر کدام به طور مختصر آمده است .

وسیله	کاربرد
بوشن	برای ارتباط بین دو لوله و اتصال آن ها
تبدیل	برای اتصال لوله ها با قطر های مختلف به یک جعبه تقسیم
زانو	جهت اتصال دو لوله عمود بر هم
اتصالات در دار	در مسیرهایی که طول لوله کاری زیاد یا بیش از دو خم در مسیر باشد از اتصالات در دار استفاده می شود .
جعبه تقسیم	برای ارتباط لوله ها به یکدیگر و گرفتن انشعاب از سیم ها از جعبه تقسیم استفاده می شود .
بست فلزی	برای نصب لوله ها در لوله کاری روکار از بست های فلزی یا PVC استفاده می شود .
رول پلاک	رول پلاک یک زائده پلاستیکی است که پس از سوراخ کردن دیوار آن را درون سوراخ قرار می دهند و سپس توسط پیچ وسیله مورد نظر را به آن می بندند .
رول بولت	اگر وسیله ای دارای وزن زیادی باشد به جای رول پلاک از رول بولت استفاده می شود که شبیه رول پلاک است با این تفاوت که جنس آن فلزی و دو یا چهار تکه می باشد که توسط فنر دایره ای کنار هم نگه داشته می شوند . پیچ به کار رفته در آن به مهره ای که در انتهای رول بولت قرار دارد متصل است که با محکم کردن پیچ ، مهره به سمت ابتدای رول بولت حرکت کرده و سبب باز شدن تکه های رول بولت داخل دیوار و محکم شدن آن می شود

سیستم های لوله کشی : سیستم های زیر باید توسط لوله های جداگانه و یا تقسیم بندی های متفاوت در کانال انجام پذیرد .


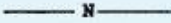

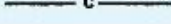




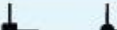
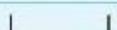

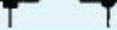
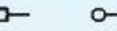


سیستم صوتی	سیستم تلفن و فکس	برق رسانی به پریزهای معمولی
سیستم آسانسور	برق رسانی به فن کویل ها	برق رسانی به پریزهای اضطراری
سیستم دستگاه های تکفاز	سیستم در بازکن	سیستم روشنایی برق متناوب
سیستم شبکه رایانه ای	سیستم تصویری	سیستم برق اضطراری مستقیم
سیستم اعلام حریق	سیستم مادر ساعت	سیستم برق اضطراری متناوب

**لوله کشی روکار :** در سیستم لوله کشی روکار تمامی اتصالات باید از نوع پیچی باشد و به وسیله پیچ و مهره و بوشن، زانو و سه راه به یکدیگر متصل شود . بست لوله های روکار به وسیله پیچ و رول پلاک به دیوار و سقف محکم می شود .

**لوله کشی توکار :** در دیوار های بتونی برای نصب و عبور لوله های برق باید هنگام قالب بندی محل لازم در نظر گرفته شود . کندن شیار روی این گونه دیوار ها ، سقف یا کف بتنی پس از اتمام بتن ریزی مجاز نخواهد بود . در دیوارهای آجری ، شیارکشی و یا جاسازی و ایجاد سوراخ برای نصب لوله های برق باید پس از گچ کاری دیوار و سقف انجام شود . عمق این گونه شیارها باید به نحوی باشد که اولاً بیش از نصف ضخامت دیوار برداشته نشود و ثانیاً سطح خارجی لوله نصب شده حداقل ۱/۵ سانتی متر زیر سطح تمام شده دیوار قرار گیرد . شیارهای فوق الذکر باید حدامقدور با وسایل مکانیکی و در صورت عدم دسترسی به وسایل مذکور با تیشه مخصوص ایجاد شود . عرض شیار باید حتی الامکان متناسب با مجموع پهنای

لوله های مورد نظر باشد و درآوردن شیار بیش از حد لزوم مجاز نمی باشد . تمامی جعبه های تقسیم ، کلید و پریز باید به گونه ای نصب شود که لبه خارجی آن با سطح تمام شده دیوار کاملاً هم سطح و هم تراز باشد .

#### علائم اختصاری در لوله کشی

علامت	شرح
	مسیر لوله کشی توکار، برای سیستم اینترنت (تلفن داخلی)
	مسیر لوله کشی توکار، برای سیستم احضار پرستار
	مسیر لوله کشی توکار، برای سیستم آنتن
	مسیر لوله کشی توکار، برای سیستم مادر ساعت
	مسیر لوله کشی توکار، برای سیستم اعلام و اطفاء حریق
	مسیر لوله کشی توکار، برای سیستم صوتی
	مسیر لوله کشی توکار، برای سیستم موسیقی
	جعبه ی انتهایی (تقسیم یا کشش)، یک راه، نوع روکار
	جعبه تقسیم، دو راه، نوع روکار
	جعبه تقسیم، سه راه، نوع روکار
	جعبه تقسیم، چهار راه، نوع روکار
	جعبه ی انتهایی (تقسیم یا کشش)، یک راه، نوع توکار
	جعبه تقسیم، دو راه، نوع توکار
	جعبه تقسیم، سه راه، نوع توکار
	جعبه تقسیم، چهارراه، نوع توکار

## فصل سیزدهم: اندازه گیری کمیت های الکتریکی توسط وسایل اندازه گیری

سنجش یا اندازه گیری عبارت است از مقایسه ی یک کمیت مجهول با مقداری معلوم از همان کمیت که اصطلاحاً واحد نامیده می شود، واحدهای استاندارد که برای هر کمیت از اندازه گیری ها تعیین می گردد بر طبق قراردادهای بین المللی تعیین شده و مقداری که در اندازه گیری به دست می آوریم نشان می دهد که مقدار اندازه گیری شده چند برابر مقدار واحد آن کمیت است.

### انواع سنجش

- ۱- روش ها و دستگاه های اندازه گیری را به صورت های مختلفی تقسیم بندی می کنند که در زیر به تعریف آنها می پردازیم.
- ۱- دستگاه های انحرافی یا عقربه ای به دستگاه آنالوگ مشهور هستند و مقدار کمیت مجهول را با انحراف عقربه نشان می دهد.
- ۲- دستگاه های مقایسه ای کمیت مجهول را با مقایسه با کمیتی معلوم مشخص می کنند. این دستگاه ها پل نامیده می شود.
- ۳- دستگاه های الکترونیکی از قطعات الکترونیکی ساخته می شوند که اندازه گیری را به صورت پیوسته انجام می دهند
- ۴- دستگاه های دیجیتالی: مقادیر مورد سنجش را به وسیله ارقام و اعداد بر روی صفحه نمایش نشان می دهند.

### خطا در اندازه گیری

هنگام اندازه گیری کمیت های مورد نظر توسط وسایل اندازه گیری همواره ممکن است مقداری که دستگاه به ما نشان دهد با مقدار واقعی تفاوت داشته باشد که این اختلاف را خطای اندازه گیری می نامند این خطا ممکن است ناشی از دو عامل باشد.

یک - خطای شخصی: این خطا ناشی از عدم دقت اپراتور در قرائت یا استفاده از دستگاه رخ می دهد.

دو - خطای دستگاه: معمولاً دستگاه های اندازه گیری دارای خطا هستند که به دلیل وجود قطعات متحرک، کهنگی، شرایط محیطی، وجود حوزه های مغناطیسی و ... رخ می دهد. جلوگیری از این خطاها تقریباً غیرممکن است ولی برای رفع این عیوب به جای دستگاه های عقربه ای از دستگاه های دیجیتالی استفاده می شود که هم امکان خطای قرائت کم تر می شود و هم به دلیل عدم وجود قطعات مکانیکی خطای آن کاهش می یابد.

تعریف خطا: مقدار اندازه گیری شده منهای مقدار واقعی

$$\Delta A = AM - A$$

خطای نسبی: از تقسیم مقدار خطا بر مقدار واقعی، خطای نسبی به دست می آید.

$$y/A = \frac{\Delta A}{A}$$

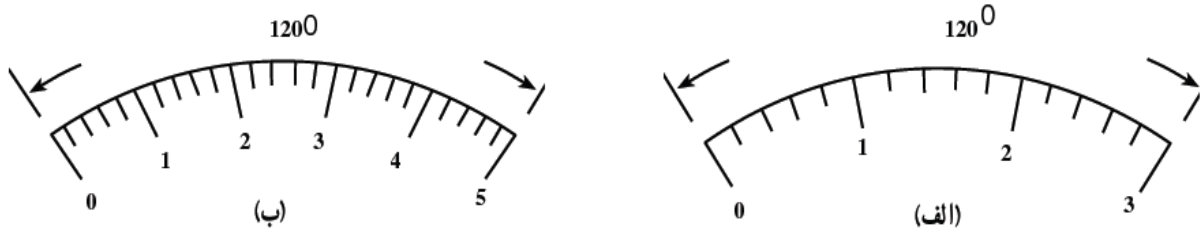
کلاس دستگاه های اندازه گیری: درصد خطای نسبی در انحراف ماکزیمم دستگاه را کلاس می نامند، کلاس دستگاه را به صورت یک عدد روی صفحه دستگاه درج می شود و مقدار آن می تواند منفی یا مثبت باشد. هرچه عدد کلاس یک دستگاه کوچکتر باشد، دقت اندازه گیری آن بیشتر است.

$$\text{کلاس} = \frac{\text{خطای مجاز}}{\text{حدود اندازه گیری (رنج)}}$$

خطای مجاز دستگاه: به مقدار خطایی که یک دستگاه می تواند در اندازه گیری داشته باشد، خطای مجاز دستگاه گفته می شود. خطای مجاز هر دستگاه توسط کلاس آن قابل محاسبه است.

حساسیت دستگاه اندازه گیری : به میزان انحراف عقربه یک دستگاه به ازای یک واحد از کمیت مورد اندازه گیری حساسیت می گویند . هر اندازه انحراف یا مقدار جابه جایی عقربه یک دستگاه به ازای اندازه گیری یک کمیت معین ، بیشتر باشد آن دستگاه حساس تر است .

$$\text{حساسیت} = \frac{\text{میزان انحراف عقربه}}{\text{میزان مسبب انحراف}}$$



دستگاه الف از دستگاه ب حساس تر است.

مثال - یک ولت متر دارای حدود اندازه گیری ۲۵۰ ولت است و کلاس دستگاه ۲/۵ می باشد. صفحه ی این دستگاه ۱۲۵ درجه است مطلوب است محاسبه ی :

۱ - خطای مجاز دستگاه

$$\text{خطای مجاز} = \frac{\text{خطای مجاز}}{\text{حدود اندازه گیری}} \times 100 = \text{کلاس}$$

$$\text{خطای مجاز} = \frac{\text{کلاس} \times \text{حدود گیری}}{100} \quad , \quad \text{خطای مجاز} = \frac{250 \times (\pm 2/5)}{100} = \pm 6/25 \text{V}$$

۲ - حساسیت دستگاه

$$\text{حساسیت} = \frac{\text{زاویه صفحه}}{\text{حدود اندازه گیری}} = \frac{125}{250} = 0/5$$

۳ - اگر ولتاژی با این دستگاه ، ۲۰۰۷ اندازه گیری شود مقدار واقعی ولتاژ چقدر است ؟

خطای مجاز  $\pm$  مقدار اندازه گیری شده = مقدار واقعی

$$2006/25 < \text{مقدار واقعی} < 193/75 \quad , \quad \text{مقدار واقعی} = 200 \pm 6/25$$

۴ - خطای نسبی

$$\text{خطای نسبی} = \frac{\text{مقدار خطا}}{\text{مقدار واقعی}} \cong \frac{\text{مقدار خطا}}{\text{مقدار اندازه گیری شده}} = \frac{\pm 6/25}{200} = \pm 0/031$$

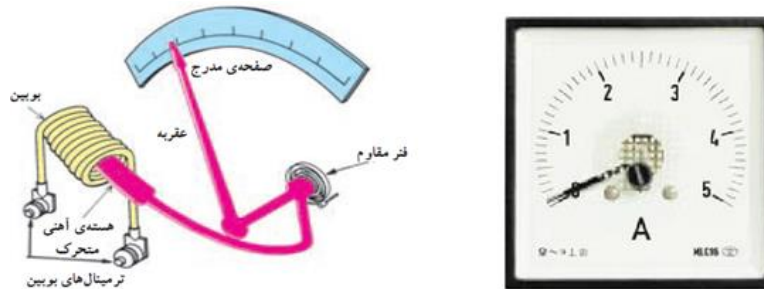
۵ - درصد خطای نسبی

$$\text{درصد خطای نسبی} = \text{خطای نسبی} \times 100 = \pm 0/031 \times 100 = \pm 3/1 \%$$

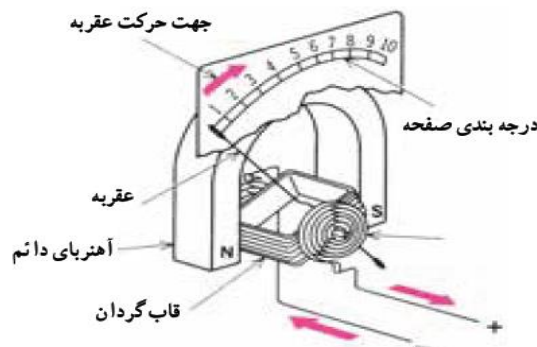
سیستم های اندازه گیری در دستگاههای اندازه گیری



۱ - **دستگاه اندازه‌گیری با هسته‌ی متحرک** : این نوع دستگاه اندازه‌گیری از یک هسته آهنی متحرک که قسمتی از آن در داخل یک بوبین ثابت قرار گرفته ساخته شده است. این هسته، به یک بازوی محوری متصل است که توسط آن به داخل و خارج بوبین حرکت می‌کند. عقربه‌ی ای نیز به محور چنان متصل است که با هسته‌ی متحرک حرکت می‌کند. هنگامی که جریان از بوبین می‌گذرد، میدان مغناطیسی ایجاد شده که باعث به داخل کشیده شدن هسته می‌شود، مقدار مسافتی که هسته به داخل بوبین حرکت می‌کند به مقدار جریانی که از بوبین می‌گذرد بستگی دارد، از آنجایی که عقربه به محور هسته متصل است، مقدار حرکت آن بر روی صفحه‌ی مدرج مقدار مورد نظر را نشان می‌دهد.

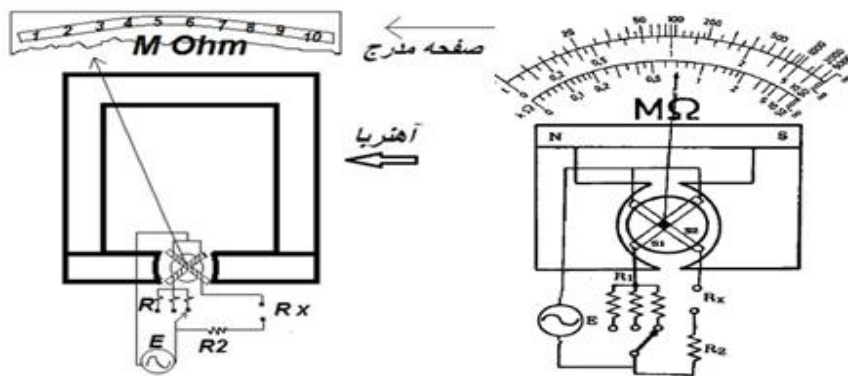


۲ - **دستگاه اندازه‌گیری با قاب گردان و آهنربای دائمی** : دستگاه اندازه‌گیری با قاب گردان و آهنربای دائمی مشهور به گالوانومتر یا میکروآمپر متر است که برای ساخت آوومتر استفاده می‌شود. گالوانومتر دآرسونوال از آهنربای دائم، کفش قطب‌ها، استوانه‌ی آهن نرم و یک سیم پیچ که قادر است حول استوانه آهن نرم بچرخد، تشکیل شده است. سیم پیچ روی استوانه آهن نرم پیچیده می‌شود و استوانه توسط دو سوزن به دو تکیه‌گاه وصل می‌شود.

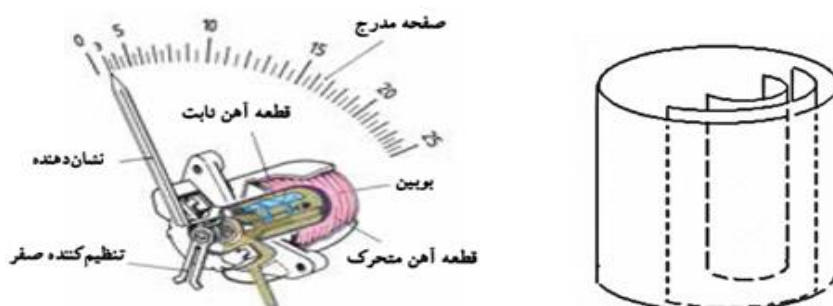


با اعمال جریان به سیم پیچ یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود که در اثر تقابل با میدان آهنربای دائم موجب حرکت استوانه و سیم پیچ روی آن، عقربه، سوزن و فنرها می‌شود. بدیهی است که میزان انحراف عقربه به شدت جریان اعمالی به آن بستگی دارد، فنرها برای ایجاد کوپل مقاوم و برگرداندن سیم پیچ بعد از قطع جریان به‌جای اول بر روی سوزن تعبیه شده است.

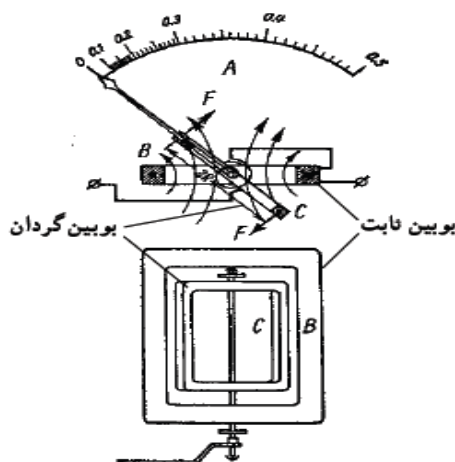
۳ - **دستگاه اندازه‌گیری با قاب صلیبی گردان** : دستگاه اندازه‌گیری با قاب صلیبی گردان از یک آهنربای نعلی، کفش قطب، دو قاب صلیبی و دو سیم پیچ تشکیل شده است. با اعمال جریان توسط دو فنر به سیم پیچ‌ها، جهت جریان در آنها طوری می‌شود که گشتاور ایجاد شده در آنها مخالف هم شود و یکی گشتاور مقاوم و دیگری گشتاور محرک ایجاد می‌کند، در این حالت قاب‌ها در جهت گشتاور بزرگتر به حرکت در می‌آیند. با گردش قاب‌ها، قابی که گشتاور بزرگتری ایجاد کرده به سمت میدان ضعیف‌تر می‌رود و گشتاور آن کوچک‌تر می‌شود و از طرف دیگر قاب دوم به سمت میدان قوی‌تر رفته و گشتاورش بزرگتر می‌شود، وقتی دو گشتاور با هم برابر شدند حالت تعادل پیش آمده و عقربه می‌ایستد. در این دستگاه انحراف عقربه متناسب با نسبت دو جریان است، دستگاه با قاب صلیبی یک دستگاه نسبت سنج است و در دستگاه‌هایی مانند میگر که یک اندازه‌گیر مقاومت‌های بزرگ است استفاده می‌شود.



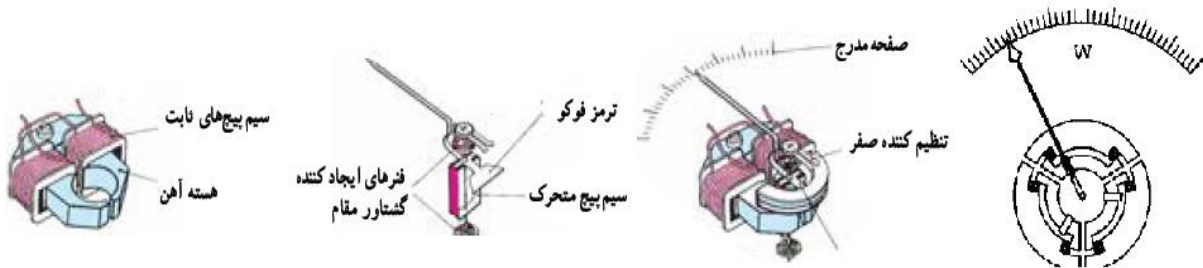
۴ - دستگاه اندازه گیری با بوبین گرد و آهن نرم گردان : این دستگاه از یک بوبین گرد که داخل آن دو تکه آهن نرم قرار دارد تشکیل شده است ، یکی از آهن ها ثابت و دیگری متحرک و متصل به محور دستگاه می باشد . با وصل جریان بوبین میدان مغناطیسی ایجاد می کند و دو تکه آهن در یک جهت مغناطیس شده که موجب حرکت عقربه می شود .



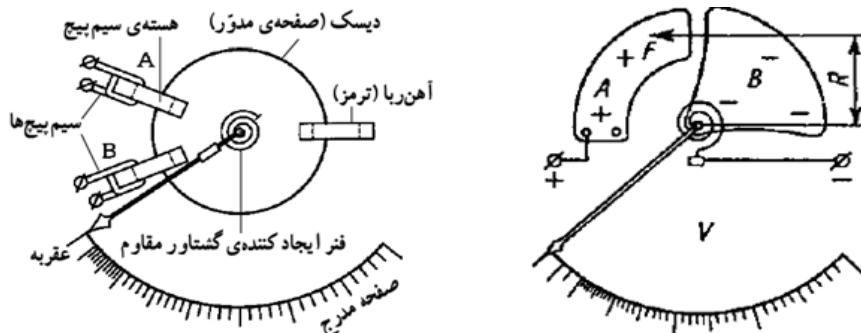
۵ - دستگاه اندازه گیری الکترو دینامیکی: این دستگاه از دو سیم پیچ ثابت و متحرک تشکیل شده است، سیم پیچ ثابت که مربوط به جریان است دارای تعداد دور کم با سطح مقطع زیاد است که به صورت سری به مصرف کننده وصل می شود و سیم پیچ متحرک که مربوط به ولتاژ است دارای تعداد دور زیاد با سطح مقطع کم است که به صورت موازی با مصرف کننده وصل می شود، جریان توسط دو فنر مارپیچ به سیم پیچ گردان می رسد، در اثر عبور جریان در سیم پیچ های ثابت و گردان، گشتاور ایجاد می شود که موجب حرکت سیم پیچ متحرک می شود . گشتاور ایجاد شده توسط سیم پیچ ها با حاصلضرب جریان آن ها متناسب است. از آنجایی که جریان سیم پیچ ثابت، جریان مصرف کننده و جریان سیم پیچ متحرک متناسب با ولتاژ مصرف کننده است، پس انحراف عقربه (گشتاور) با حاصلضرب ولتاژ در جریان برابر است. می توان نتیجه گرفت عقربه-ی دستگاه مستقیماً توان مصرف کننده را نشان می دهد. از این دستگاه در وات متر،  $\cos \phi$  متر، کتور و ... استفاده می شود .



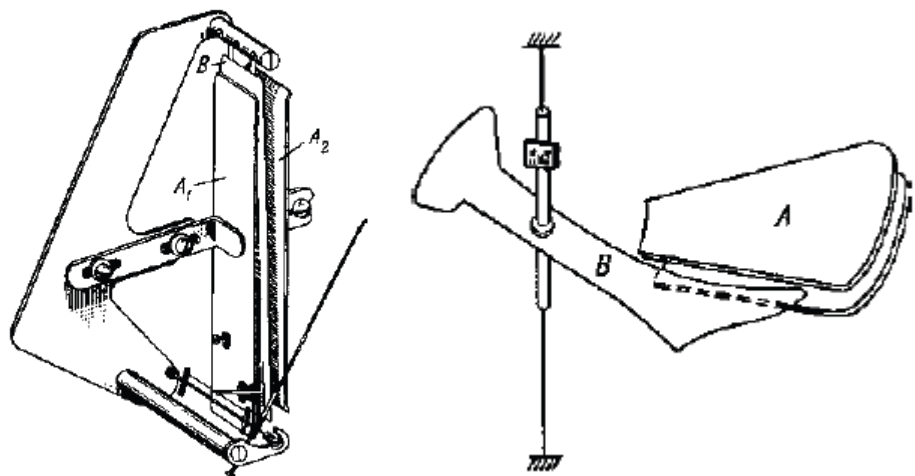
۶ - دستگاه اندازه گیری فرودینامیک : این دستگاه دارای ساختمانی شبیه دستگاه الکترو دینامیکی است با این تفاوت که سیم پیچ ها روی هسته آهن نرم پیچیده شده اند، این دستگاه اندازه گیر توان تک و سه فاز است و با کمی تغییر می توان آن را به  $\cos \varphi$  متر تبدیل کرد .



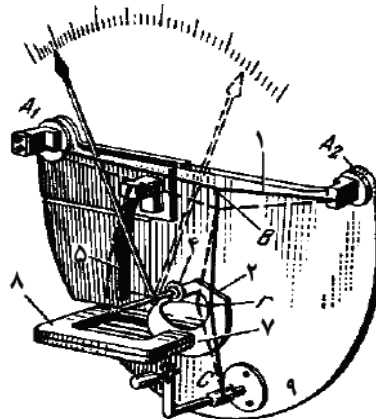
۷ - دستگاه اندازه گیری اندوکسیونی (القایی) : از این دستگاه ها بیشتر در ساخت کنتورهای اندازه گیری انرژی استفاده می شود . دو سیم پیچ وجود دارد که جریان متناوب از آنها عبور داده می شود که موجب ایجاد فلوی مغناطیسی و القای جریان در دیسک مدور می شود (همانند ماشین های ac القایی) ، در اثر تقابل میدان دیسک و میدان سیم پیچ ها گشتاور محرک ایجاد می شود که موجب گردش دیسک و عقربه ی متصل به آن یا شماره انداختن شمارنده می شود .



۸ - دستگاه اندازه گیری الکترواستاتیکی : این دستگاه از یک خازن تشکیل شده است که یک جوشن آن ثابت و جوشن دیگر که عقربه به آن وصل است متحرک می باشد جنس جوشن ها از آلومینیوم است . اختلاف پتانسیل بین دو جوشن باعث به وجود آمدن نیروی مکانیکی می شود که باعث حرکت جوشن متحرک و عقربه متصل به آن می شود ، از آنجایی که نیروی به وجود آمده بین صفحات با انرژی ذخیره شده در خازن متناسب است و انرژی خازن نیز با مجذور ولتاژ نسبت مستقیم دارد  $(W = \frac{1}{2} C \cdot V^2)$  ، پس انحراف عقربه با مجذور ولتاژ نسبت مستقیم دارد .



۹ - دستگاه اندازه گیری سیم حرارتی : در این دستگاه از یک سیم حرارتی (بی متال) از جنس آلیاژ پلاتین و نقره یا آلیاژ پلاتین و ایریدیوم استفاده می شود که بر روی پایه ای ثابت شده است، در وسط سیم قلبی قرار دارد که به آن نخ می متصل است، این نخ پس از عبور از روی قرقره به فنر متصل می شود (سر دیگر فنر ثابت شده است). وقتی که از سیم حرارتی جریان عبور می کند سیم بر اثر گرما منبسط شده و طول آن زیاد می شود، در این حالت نخ که سیم را به قرقره وصل کرده است به حرکت در می آید، در نتیجه می توان شدت جریان را بر اساس میزان انبساط طولی سیم اندازه گرفت . تقسیمات صفحه-ی مدرج با هم برابر نیستند هرچه شدت جریان زیادتر شود فاصله ی تقسیمات بیشتر می شود زیرا میزان انبساط طولی سیم با مجذور جریان تناسب دارد .

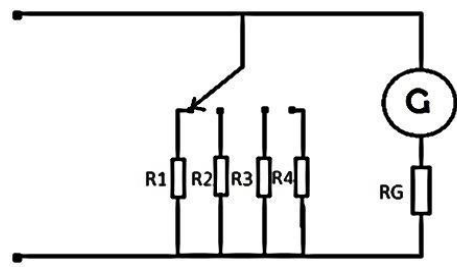


عملکرد	قاب گردان	الکترو دینامیکی	الکترو استاتیکی	اندوکسیرنی	آهن نرم گردان	ویراسیرنی (ارتعاشی)
کمیت	جریان و ولتاژ آزمایشگاهی	توان - ولتاژ - جریان	ولتاژ خیلی زیاد	انرژی - توان	ولتاژ و جریان کارگاهی	فرکانس
نوع جریان	DC	AC - DC	AC - DC	AC	AC	AC

معرفی وسایل اندازه گیری و نحوه ی عملکرد آن ها

### آمپر متر

مقدار جریان عبوری از یک مصرف کننده توسط آمپر متر اندازه گیری می شود، آمپر متر با مصرف کننده به صورت سری وصل می شود تا همان جریانی که از مصرف کننده عبور می کند از آمپر متر نیز عبور کند . آمپر مترها از لحاظ نوع جریان اندازه گیری به دو دسته ی AC و DC تقسیم می شوند و در انواع آزمایشگاهی، تابلویی و یا به صورت قسمتی از آوومتر ساخته می شود .



نمونه هایی از آمپر متر

آمپر متر DC

نکته : مقاومت داخلی آمپر متر بسیار ناچیز و در حد صفر است ، پس در هنگام استفاده افت ولتاژ ایجاد نمی کند .

برای اندازه گیری جریان به صورت زیر عمل می کنیم .

الف : ابتدا ضریب ثابت صفحه (C) را بدست می آوریم، ضریب ثابت بیان کننده ی این است که هر قسمت از تقسیمات چند آمپر را نشان می دهد . ضریب ثابت از تقسیم ضریب سلکتور بر آخرین عدد درج شده روی صفحه مدرج بدست می آید .

$$C = \frac{\text{ضریب کلید رنج}}{\text{آخرین عدد روی صفحه}}$$

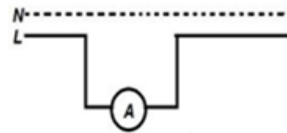
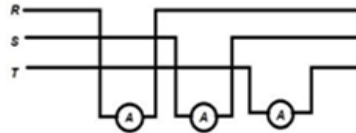
دوم : مقدار انحراف عقربه را در ضریب ثابت صفحه ضرب می کنیم .

مثال - در یک آمپر متر اگر آخرین عدد روی صفحه ۱۰۰ باشد و عقربه روی ۶۰ باشد جریان اندازه گیری شده چند آمپر است در صورتی که سکتور روی ۲۵۰ باشد؟

$$C = \frac{\text{ضریب کلید رنج}}{\text{آخرین عدد روی صفحه}} = \frac{250}{100} = 2/5 \rightarrow I = 60 \times 2/5 = 120 \text{ A}$$

مثال - بیشترین عدد درج شده روی یک میلی آمپر متر ۶۰ می باشد ، اگر حدود اندازه گیری روی ۲۰۰ mA باشد و عقربه به اندازه ی ۳۰ قسمت منحرف شده باشد، آمپر متر چه جریانی را نشان می دهد ؟

$$C = \frac{\text{ضریب کلید رنج}}{\text{آخرین عدد روی صفحه}} = \frac{200}{60} = 3/33 \rightarrow I = 3/33 \times 30 = 100 \text{ mA}$$



اندازه گیری جریان در سیستم تکفاز      اندازه گیری جریان در سیستم سه فاز

آمپر متر انبری: آمپر متر انبری یک آمپر متر ac است که بر اساس خاصیت القاء کار می کند و در جاهایی استفاده می شود که نباید جریان قطع شود. برای اندازه گیری جریان کافی است سیم حامل جریان ac را وسط هسته ی آمپر متر که توسط آهن می باز می شود قرار دهیم .



در اندازه گیری جریان نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرند .

- برای دقیق تر خواندن جریانی که آمپر متر نشان می دهد باید حدود اندازه گیری ( ضریب سلکتور ) را طوری انتخاب کنیم که عقربه بیشترین انحراف را داشته باشد .
- در هنگام تعویض رنج آمپر متر بهتر است ابتدا دو سر آمپر متر را باتصال کوتاه کرد .
- چنانچه مقدار جریان مورد اندازه گیری نامشخص باشد باید رنج دستگاه را در بیشترین مقدار خود قرار داد .

### اندازه گیری جریان های زیاد توسط ترانس CT

جریان های زیاد موجب سوختن آمپرتر می شود لذا برای اندازه گیری این جریان ها ابتدا توسط یک مبدل جریان به نام ترانس جریان CT جریان را کاهش می دهیم و سپس مقدار آن را توسط آمپر متر اندازه گیری می کنیم. همانطور که در فصل ترانسفورماتور گفته شد CT یک ترانس افزایشی ولتاژ و کاهندهی جریان است که دارای یک سیم پیچ ثانویه با تعداد دور زیاد و سطح مقطع کم و سیم پیچ اولیهی آن همان سیمی است که شدت جریان آن را اندازه گیری می کنیم، است. نکتهی مهم در مورد CT این است که ثانویهی آن نباید باز شود وگرنه آسیب جدی می بیند. لذا در هنگام عوض کردن آمپرتر باید توسط کلیدی خروجی را اتصال کوتاه کرد.



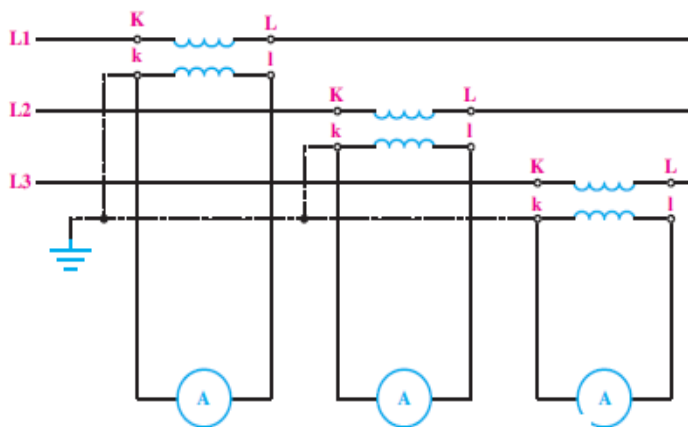
RCT-35CT



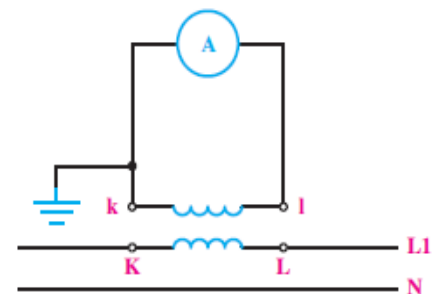
SR, PR



LMZ1-0.5



اندازه گیری جریان زیاد در مدارهای سه فاز



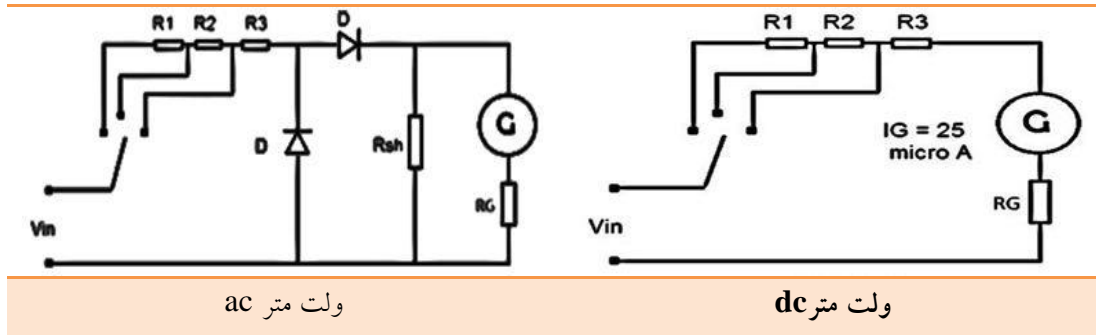
اندازه گیری جریان زیاد در مدار یک فاز



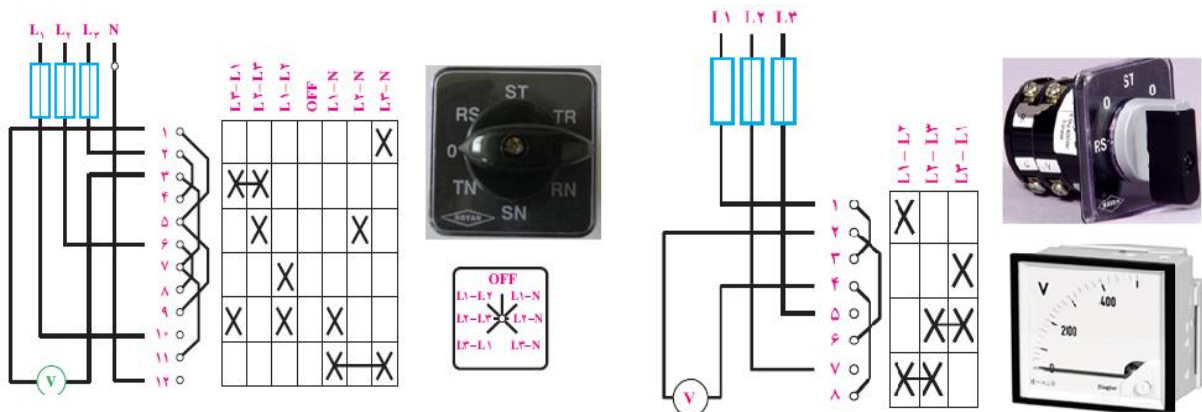


ولت متر

برای اندازه گیری ولتاژ در بخش های مختلف مدار از ولت متر استفاده می شود که به صورت موازی با مصرف کننده قرار می گیرد به همین دلیل برای جلوگیری از خطا باید مقاومت داخلی آن بزرگ باشد. در اندازه گیری ولتاژ همانند جریان باید ضریب ثابت را محاسبه و در مقدار انحراف عقربه ضرب کرد. ولت مترها نیز در انواع تابلویی، آزمایشگاهی و قسمتی از آوومتر ساخته می شود. ولت متر های عقربه ای قادر به اندازه گیری ولتاژ های کمتر از یک ولت به صورت دقیق نیستند به همین دلیل برای اندازه گیری ولتاژ های کم باید از ولت متر های دیجیتالی استفاده شود. برای اندازه گیری ولتاژ های زیاد از پراب که دارای مقاومت زیادی است به صورت سری با ولت متر استفاده می شود



برای اندازه گیری ولتاژ سه فاز از یک ولت متر به همراه کلید مخصوصی به نام سکتور ولت استفاده می شود



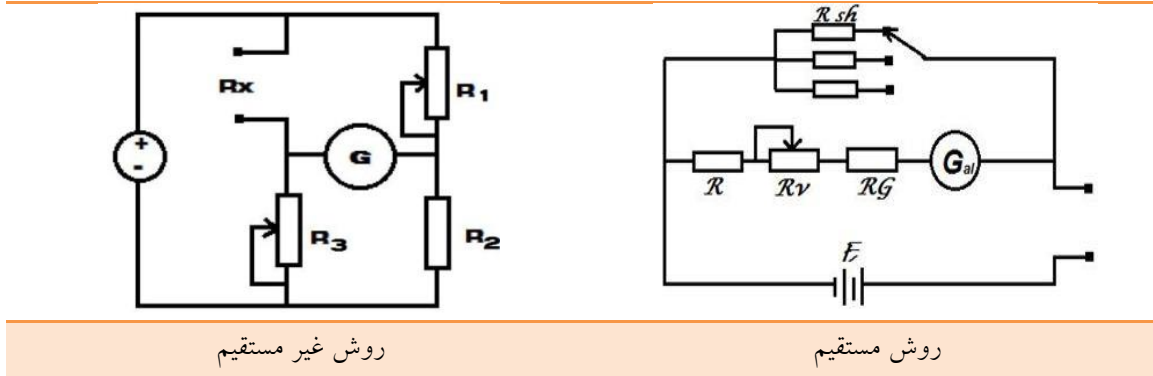
اهم متر

اهم متر دستگاهی است که برای اندازه گیری مقاومت، پیدا کردن اتصالاتی، اتصال بدنه، قطعی مدار استفاده می شود. برای اندازه گیری مقاومت دو روش وجود دارد

یک - روش مستقیم: در این روش دو فیش اهم متر را به دو سر مقاومت یا دو نقطه از مدار که مقاومت آن را لازم داریم وصل می کنیم و مقدار انحراف عقربه را در ضریب کلید اهم متر ضرب می کنیم. در روش مستقیم از گالوانومتر و چند مقاومت سری و یک باتری استفاده می شود، بدیهی است اگر در این مدار مقدار مقاومت تغییر کند، جریان نیز تغییر پیدا می کند و موجب انحراف عقربه گالوانومتر می شود. اگر بتوان رابطه ی بین تغییرات حرکت عقربه گالوانومتر، بر حسب مقاومت اهمی مدار را پیدا کرد می توان صفحه ی مدرج آوومتر را بر حسب مقاومت اهمی درجه بندی کرد. درجه بندی اهم متر خطی نیست و بر مبنای یک تابع هموگرافیک است و عکس درجه بندی ولت متر و آمپر متر می باشد.



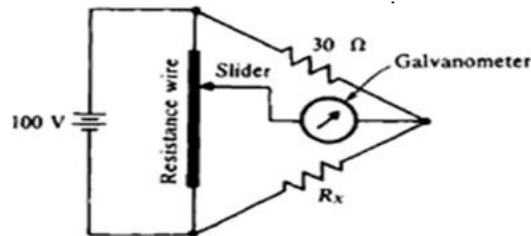
دو روش غیر مستقیم: در روش غیر مستقیم از پل و تستون استفاده می شود، پل و تستون بر اساس مقایسه‌ی بین مقاومت ها کار می کند و به صورت یک دستگاه مستقل در بازار وجود دارد. در روش غیر مستقیم نیز از گالوانومتر، مقاومت های اهمی و باطری استفاده می شود، نقش گالوانومتر تنها اعلام برابری پتانسیل بین دو نقطه است، یعنی درجه بندی آن اهمیت ندارد و تنها مکان صفر آن برای ما مهم است.



در این مدار  $R_x$  مقاومت مجهول و  $R_2$  مقاومتی ثابت است، مقاومت های  $R_1$  و  $R_3$  مقاومت های قابل تنظیم می باشند. شرط این که جریانی از گالوانومتر عبور نکند برقراری رابطه زیر است.

$$R_x \times R_2 = R_1 \times R_3 \quad \rightarrow \quad R_x = \frac{R_1 \times R_3}{R_2}$$

به غیر از پل و تستون پل های دیگری مثل پل تار و پل LCR نیز وجود دارد، پل LCR برای اندازه گیری سلف ( $L$ )، خازن ( $C$ ) و مقاومت ( $R$ ) به کار می رود.



پل تار

### وات متر

برای اندازه گیری توان اکتیو از وات متر استفاده می شود، وات متر دارای یک سیم پیچ جریان و یک سیم پیچ ولتاژ است، سیم پیچ جریان به طور سری و سیم پیچ ولتاژ به طور موازی به مصرف کننده متصل می شوند پس وات متر به صورت سری-موازی وصل می شود. در جریان dc انحراف عقربه متناسب با  $V \times I$  و در جریان ac تکفاز متناسب با  $V \cdot I \cdot \cos\phi$  می باشد.

وات متر

نحوه اتصال سیم پیچ های وات متر در شبکه تکفاز

سلکتورهای وات متر : بر روی اکثر وات مترها کلید ولت متری ( سلکتوری ) وجود دارد که با توجه به ولتاژ مصرف کننده ها تنظیم می گردد ، روی برخی از واتمترها سلکتور جریان نیز وجود دارد که هنگام کار، با توجه به جریان مصرف کننده ، باید روی عدد مناسبی قرار گیرد ، وات مترهای امروزی فاقد کلید جریان بوده و جریان نامی آن  $5\text{ A}$  می باشد و رنج ولتاژ کلید ولتاژ نیز به صورت  $48$  ،  $120$  ،  $240$  و  $480$  ولت می باشد .

روش خواندن توان از روی وات متر : برای خواندن مقدار توان ابتدا ضریب سنجش را از ضرب رنج ولتاژ در رنج جریان و تقسیم آن بر تعداد کل تقسیمات صفحه مدرج بدست می آوریم ، سپس این مقدار را در میزان انحراف عقربه ضرب می کنیم .

$$C = \frac{\text{رنج } i \times \text{رنج } v}{\text{آخرین عدد صفحه مدرج}}$$

حاصل ضرب رنج جریان در رنج ولتاژ نشان دهنده حداکثر توانی است که در انحراف کامل بدست می آید و تقسیم آن بر کل تقسیمات بیان کننده مقدار انحراف به ازای انحراف هر قسمت می باشد .

میزان انحراف عقربه  $\times$  ضریب ثابت سنجش = مقدار توانی که وات متر نشان می دهد

مثال - در یک وات متر اگر سلکتور جریان وجود نداشته باشد و سکتور ولتاژ روی  $120$  باشد ، توان اندازه گیری شده چند وات است ؟ در صورتی که میزان انحراف عقربه به اندازه  $24/5$  قسمت باشد و کل صفحه به  $100$  قسمت تقسیم شده باشد .  
 $p \leftarrow$  حداکثر توانی که در انحراف کامل حاصل می شود .

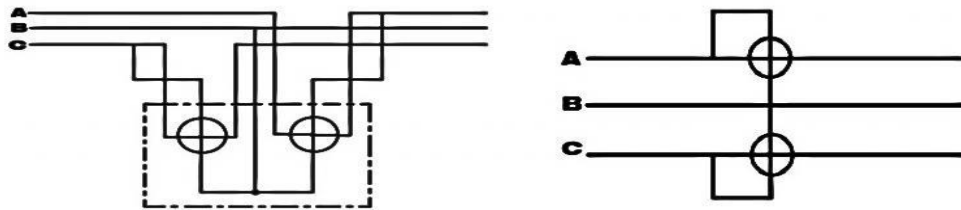
$$P = 120 \times 5 = 600 \text{ watt} \quad , \quad C = \frac{600}{100} = 6$$

مقدار توان اندازه گیری شده =  $24/5 \times 6 = 144 \text{ watt}$

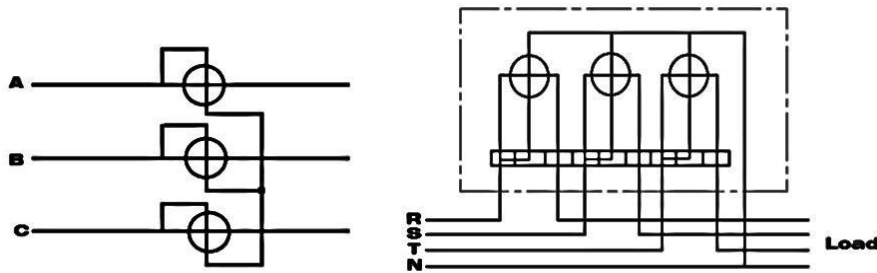
### روش های اندازه گیری توان در مدارات سه فازه

۱ - روش یک وات متری : در این روش از یک واتمتر در مسیر یکی از فازها و سیم نول استفاده می شود ، مقداری که وات متر نشان می دهد توان یک فاز است و در صورتی که سیستم سه فاز متعادل باشد می توان توان اندازه گیری شده را در  $3$  ضرب کرد تا توان هر سه فاز بدست آید ، البته برخی از وات مترها هستند که مستقیم توان سه فاز را نشان می دهد ، بر روی چنین وات متری علامت  $\cong$  درج شده است .

۲ - روش دو وات متری : در این روش برای اندازه گیری توان از دو وات متر مطابق شکل زیر استفاده می شود .



۳ - روش سه وات متری : در این روش در مسیر هر کدام از فازها یک وات متر تک فاز قرار داده می شود . استفاده از سه وات - متر هم در سیستم متعادل و هم در سیستم غیرمتعادل استفاده می شود . توان سیستم برابر با مجموع توان سه وات متر است .



### وارمتر

وارمتر برای اندازه گیری توان راکتیو مدار مورد استفاده قرار می گیرد. مصرف کننده های اهمی - سلفی مانند الکتروموتورها علاوه بر داشتن توان حقیقی، دارای توان غیر حقیقی یا راکتیو نیز می باشند. این توان در میدان های الکتریکی و مغناطیسی ذخیره می شود و با شبکه مبادله می شود. تبادل توان راکتیو علاوه بر اشغال ظرفیت خطوط انتقال، باعث اضافه بار شدن ژنراتور در نیروگاه شده و بالا رفتن جریان، افت ولتاژ و تلفات قدرت می شود. یکی از روش های پایین آوردن قدرت راکتیو و یا بهبود ضریب قدرت استفاده از بانک خازنی است.

### کوسینوس فی متر

برای اندازه گیری ضریب توان از کوسینوس فی متر استفاده می شود، کوسینوس فی متر دارای دو سیم پیچ متحرک و یک سیم پیچ ثابت است. سیم پیچ های متحرک که مربوط به ولتاژ است بین فاز ونول و سیم پیچ ثابت به صورت سری بر سر راه جریان قرار می گیرد، بنابراین کوسینوس فی متر نیز به صورت سری - موازی در مدار وصل می شود. اکثر کوسینوس فی مترها ضمن نشان دادن اختلاف فاز، نوع بار را نیز مشخص می کنند. اگر عقربه دستگاه به سمت راست حرکت کند نوع بار سلفی و اگر عقربه به سمت چپ حرکت کند نوع بار خازنی است.



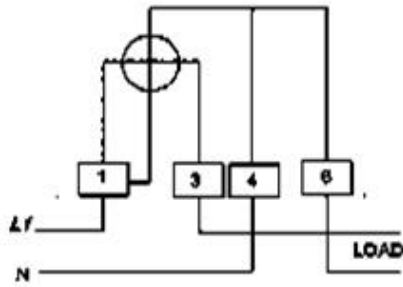
### فرکانس متر

برای اندازه گیری فرکانس شبکه از فرکانس متر استفاده می شود، فرکانس متر به صورت موازی در مدار قرار می گیرد و در دو نوع عقربه ای و زبانه ای ساخته می شوند. فرکانس متر عقربه ای: فرکانس مترهای عقربه ای در دو نوع القایی و الکتروپنایمیکی ساخته می شود و در مواردی که احتیاج به برداشتن منحنی تغییرات فرکانس باشد استفاده می شود. فرکانس متر زبانه ای (ارتعاشی): فرکانس مترهای ارتعاشی فرکانس ۱۰ تا ۱۵۰۰ هرتز را با دقت بالایی اندازه گیری می کند و در تابلوهای برق زیاد استفاده می شود.



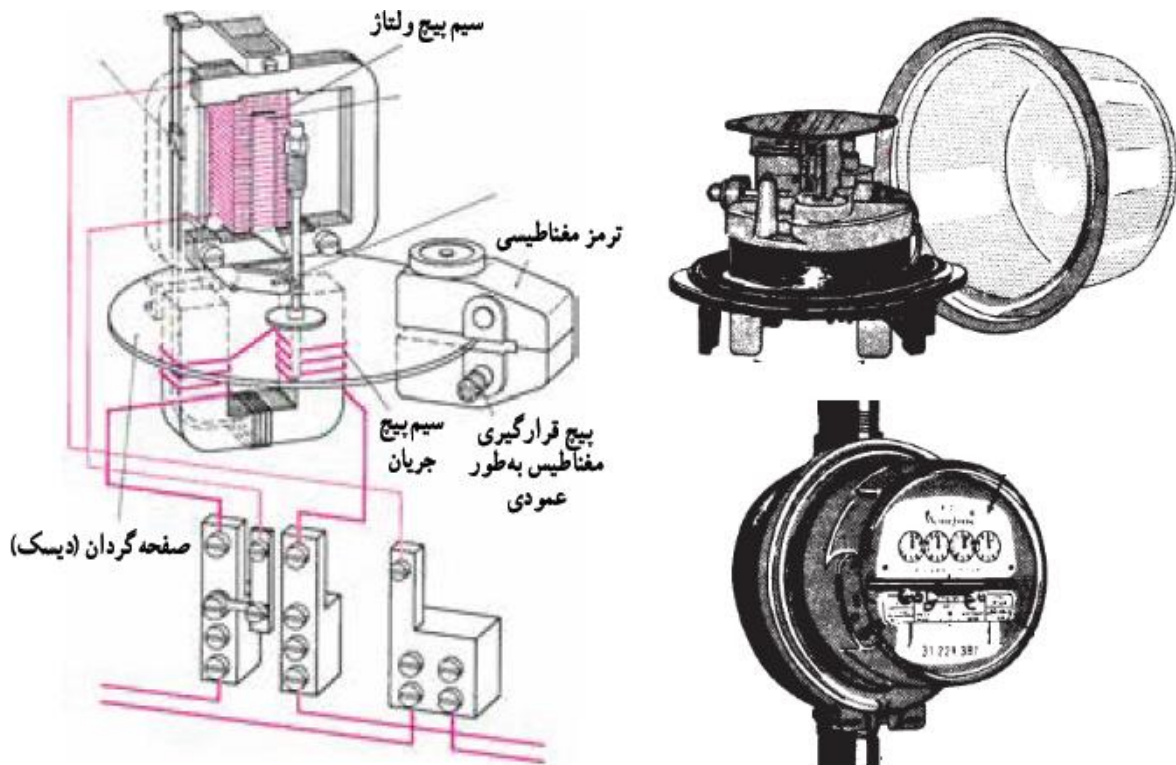
کتور تک فاز

انرژی الکتریکی عبارت است از حاصل ضرب توان در زمان که توسط کتور اندازه گیری می شود .



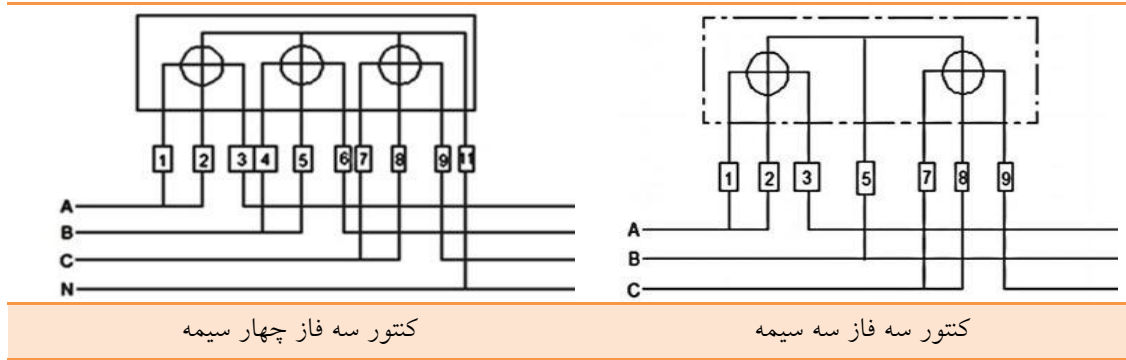
قسمت های تشکیل دهنده کتور تک فاز

سیم پیچ جریان : سیم پیچ جریان دارای تعداد دور کم با سطح مقطع زیاد است که در مدار به صورت سری قرار می گیرد .  
 سیم پیچ ولتاژ : سیم پیچ ولتاژ دارای تعداد دور زیاد با سطح مقطع کم است که در مدار به صورت موازی قرار می گیرد .  
 دیسک : دیسک یا صفحه‌ی دوار از جنس آلومینیوم است و تحت تاثیر میدان های مغناطیسی حاصل از سیم پیچ ها به گردش در می آید . سرعت گردش دیسک متناسب با توان است، پس تعداد دورهایی که در یک فاصله زمانی میزند متناسب است با کل انرژی مصرف شده در آن مدت است . در کتور تک فاز به ازای هر ۳۷۵ دور گردش دیسک نمراتور یک کیلو وات ساعت انرژی مصرفی را ثبت می کند .  
 ترمز فوکو : ترمز فوکو روی دیسک قرار می گیرد و زمانی که مصرف کننده در مدار نباشد از حرکت دیسک جلوگیری می کند .  
 نمراتور یا شمارنده : نمراتور یا شمارنده وسیله ای است که توسط چرخ دنده به محور دیسک متصل شده ، گردش دیسک موجب می شود تا شمارنده انرژی الکتریکی را بر حسب کیلو وات ساعت ثبت کند .  
 اسکلت : جنس اسکلت کتور از آلومینیوم است که سایر اجزا روی آن نصب می شود .  
 بدنه : جنس بدنه از پلاستیک فشرده است که اسکلت و سایر اجزای کتور روی آن نصب می شود .



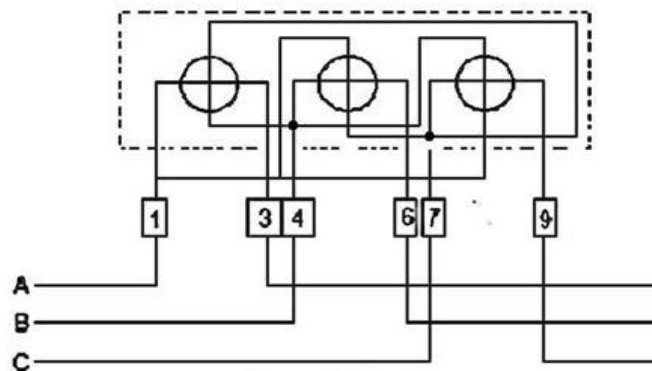
### کنتور سه فاز اکتیو

کنتور سه فاز اکتیو برای اندازه گیری توان حقیقی یا اکتیو در سیستم های سه فازه مورد استفاده قرار می گیرد ، از نظر ساختمانی شبیه کنتور تکفاز بوده با این تفاوت که سه سیم پیچ جریان و سه سیم پیچ ولتاژ دارد و به دو صورت سه سیمه، برای بارهای متعادل و چهار سیمه، برای بارهای نامتعادل ساخته می شود .



### کنتور راکتیو

برای اندازه گیری توان غیر مفید یا دواته از کنتور راکتیو استفاده می شود ، کنتور راکتیو در دو نوع سه فاز و تک فاز ساخته می شود و ساختمان آن شبیه ساختمان کنتور اکتیو است با این تفاوت که بین جریان سیم پیچ ولتاژ و سیم پیچ جریان ۹۰ درجه اختلاف فاز ایجاد می شود تا کنتور توان راکتیو را نشان دهد .



جدول نحوه اتصال دستگاه های اندازه گیری

آمپر متر	ولت متر	کنتور معمولی	فرکانس متر	وات متر	کسینوس فی متر
سری <td>موازی <td>سری-موازی <td>موازی <td>سری-موازی <td>سری-موازی </td></td></td></td></td>	موازی <td>سری-موازی <td>موازی <td>سری-موازی <td>سری-موازی </td></td></td></td>	سری-موازی <td>موازی <td>سری-موازی <td>سری-موازی </td></td></td>	موازی <td>سری-موازی <td>سری-موازی </td></td>	سری-موازی <td>سری-موازی </td>	سری-موازی

## آوومتر

آوومتر یا مولتی متر دستگاهی است که می تواند ولتاژ، جریان، مقاومت و ... را اندازه گیری کند. آوومتر قابل حمل (پرتابل) است و به دو صورت آنالوگ و دیجیتال ساخته می شود.



### تشریح دکمه های پانل و علائم مولتی متر

کلید سلکتور: برای انتخاب نوع عملکرد مولتی متر از کلید سلکتور استفاده می شود اگر کلید سلکتور در حالت **off** باشد مولتی متر کاملاً خاموش می باشد اگر کلید روی **V** باشد قسمت ولت متر فعال می باشد. همچنین قرار دادن کلید در وضعیت  $\Omega$  برای اندازه گیری مقاومت و **A** برای اندازه گیری جریان می باشد. برای نشان دادن اتصال بین دو نقطه و تست کردن دیود، کلید را در وضعیت **( $\rightarrow$ )** قرار می دهیم.

کلید **AC / DC**: با این کلید نوع جریان یا ولتاژ مورد سنجش را مشخص می کنیم، این کلید به طور نرمال در حالت **DC** قرار دارد و با فشردن آن به داخل به حالت **AC** رفته و حروف **AC** بر روی صفحه نمایش ظاهر می شود. کلید **HOLD**: از این کلید برای ضبط کردن مقادیر خوانده شده استفاده می شود، بعد از اندازه گیری با فشردن دکمه **HOLD** مقدار اندازه گیری روی صفحه نمایش ثابت می شود، تا زمانی که دکمه را به حالت اول بر نگردانیم نمی توان مقدار جدیدی را اندازه گرفت.

کلید **ADJ**: این کلید برای تنظیم صفر به کار می رود، قبل از هر اندازه گیری ابتدا دو سیم رابط را به هم متصل می کنیم، اگر عدد ۰ را نشان نداد این دکمه را فشار می دهیم. آنگاه حروف **ADJ** روی صفحه نمایش ظاهر می شود.

**BATT**: چنانچه ولتاژ باتری داخلی مولتی متر از مقدار مشخصی کمتر شود علامت **BATT** روی صفحه نمایش مولتی متر ظاهر می شود و در این حالت باتری را باید تعویض کرد.

لامپ نئون: در هنگام اندازه گیری مقاومت اهمی اگر ولتاژ دو سر آن بیش از ۸۰ ولت باشد لامپ نئون روی صفحه نمایش روشن می شود.

ترمینال ها: بر روی بدنه ی مولتی متر چند ترمینال تعبیه شده است. یکی از آن ها ترمینال مشترک **COM** است که برای کلیه ی اندازه گیری ها استفاده می شود و سیم مشکی رنگ مولتی متر به آن متصل می شود. ترمینال **V** جهت اندازه گیری ولتاژ و ترمینال های **A -  $\Omega$**  برای اندازه گیری جریان، مقاومت استفاده می شود و برای تست دیود از ترمینال **( $\rightarrow$ )** استفاده می شود.

**OL**: اگر مقدار کمیت مورد نظر بیشتر از ضریب سلکتور باشد صدای بوق از مولتی متر به علامت اضافه بار بلند خواهد شد و حروف **OL** که از عبارت **Over Load** به معنای اضافه بار است بر روی صفحه نمایش مولتی متر نمایش داده خواهد شد.



نکات ایمنی و حفاظتی که در استفاده از وسایل اندازه گیری باید مد نظر قرار گیرند

- قبل از استفاده از دستگاه های اندازه گیری باید طرز کار با آن را یاد گرفت .
- باید مشخص شود که چه کمیتی را می خواهیم اندازه بگیریم .
- با توجه به نوع کمیت مورد اندازه گیری ، دستگاه مناسب را متصل می کنیم ، ( آمپر متر به صورت سری ، ولت متر ، اهم متر ، فرکانس متر و ... به صورت موازی ، وات متر ، کوسینوس متر و ... به صورت مختلط وصل می شوند . )
- طرز قرار گرفتن دستگاه در سطح کار ( افقی ، عمودی و با زاویه ) را مد نظر قرار می دهیم .
- برای هر دستگاه از سیم های مخصوص خود آن دستگاه استفاده می کنیم .
- با توجه به درجه حرارت مجاز برای دستگاه از آن استفاده می کنیم .
- در هنگام اندازه گیری جریان و ولتاژ نباید فیش های رابط را از دستگاه بیرون کشید .
- رنج دستگاه باید طوری انتخاب شود که عقربه بیشترین انحراف را داشته باشد تا میزان خطای اندازه گیری کاهش یابد .
- قبل از اندازه گیری، صفر دستگاه تنظیم شود .
- در هنگام اندازه گیری جریان در الکتروموتورها ، در لحظه راه اندازی باید آمپر متر اتصال کوتاه شود تا جریان راه اندازی به آمپر متر آسیب نرساند .
- در هنگام سوختن فیوز دستگاه ، باید فیوز مشابه جایگزین شود .
- از ضربه زدن به دستگاه های اندازه گیری خود داری شود.

دستگاه با قاب گردان		کنترل دو تعرفه		آمپر متر	
دستگاه الکترو دینامیکی		کنترل راکتور		ولت متر	
دستگاه الکترو استاتیکی		دستگاه با جریان مستقیم دستگاه با جریان متناوب		اهم متر	
دستگاه اندوکسیونی (القایی)		دستگاه با جریان سه فاز		وات متر	
دستگاه آهن نرم گردان		دستگاه سردی خورنده شود		وارمتر	
دستگاه ویرامیونی (ارتعاشی)		دستگاه افقی خورنده شود		فرکانس	
دستگاه با آهنربای گردان		دستگاه با ولتاژ 500 ولت امتحان شده است		هائری متر	
بدنه دستگاه در برابر میدانهای مغناطیسی حفاظت شده		دستگاه با هیچ ولتاژی امتحان نشده است		فاراد متر	
بدنه دستگاه در برابر میدانهای الکترومغناطیسی حفاظت شده		دستگاه با ولتاژ 2000 ولت امتحان شده است		کسینوس فی متر	
در دستگاه پکسو ساز تعبیه شده		دستگاه با سیم حرارتی		کنترل معمولی (اکتیو)	



### آشنایی با اسیلوسکوپ و نحوه ی عملکرد آن

اسیلوسکوپ به معنای نوسان نما یا نوسان سنج می باشد و یک دستگاه اندازه گیری است که می توان از آن برای مشاهده و اندازه گیری ولتاژ، فرکانس، زمان تناوب، اختلاف فاز و همچنین مشخصه های ولت-آمپر عناصر نیمه هادی (مانند دیودها، ترانزیستورها) استفاده کرد.

لامپ اشعه کاتدیک CRT: اساس کار لامپ اشعه کاتدیک بمباران یک صفحه ی حساس به وسیله یک دسته الکترون با سرعت چند هزار کیلومتر در ثانیه است. با برخورد اشعه الکترونی به صفحه حساس شیشه ای که پشت آن از مواد فسفر و روی پوشانده شده است یک نقطه نورانی ایجاد می شود. مقدار این نور به تعداد الکترون ها و سرعت برخورد آن ها به صفحه حساس بستگی دارد و همچنین رنگ نور به ترکیب روی و فسفر بستگی دارد.

نحوه ی تولید اشعه الکترونی: تولید اشعه الکترونی به وسیله گرم کردن یک استوانه ی فلزی که قسمت جلوی آن از مواد اکسیدی (۵۰٪ اکسید باریوم و ۵۰٪ اکسید استرانسیوم) پوشانده شده است صورت می گیرد. نحوه ی کار به این صورت است که ابتدا فیلامان داخل استوانه را با عبور جریان الکتریکی از آن گرم می کنند، گرمای فیلامان منجر به گرم شدن استوانه شده و در نتیجه مواد اکسیدی می شوند و از خود الکترون ساطع می کنند. در جلوی این استوانه یک شبکه که دارای روزنه ی بسیار کوچکی (کمتر از میلی متر) است قرار گرفته که الکترون ها از آن عبور می کنند. پس از تولید اشعه به وسیله سه استوانه فلزی که به ولتاژ زیادی وصل هستند به اشعه الکترونی شتاب می دهند و آن را روی صفحه حساس متمرکز می کند.

اسیلوسکوپ دوکاناله: اسیلوسکوپ دوکاناله اسیلوسکوپی است که می تواند دو شکل موج را به طور هم زمان نشان دهد. البته اسیلوسکوپ های ۳، ۴، ۶ و ۸ کاناله نیز وجود دارد که در کارهای خاص مورد استفاده قرار می گیرند.



### تشریح دکمه ها و کلیدهای پانل اسیلوسکوپ

- CH 1: اگر کلید در این وضعیت باشد فقط سیگنال اعمالی به کانال ۱ نشان داده می شود.
- CH 2: اگر کلید در این وضعیت باشد فقط سیگنال اعمالی به کانال ۲ نشان داده می شود.
- ALT: اگر کلید در این وضعیت باشد شکل موج دوکاناله به طور هم زمان به روش تناوبی نشان داده می شود.
- CHOP: دو شکل موج به طور هم زمان و قطعه قطعه شده نمایش داده می شود.
- Dual: دو شکل موج به طور هم زمان نمایش داده می شود.
- ADD: دو شکل موج به طور لحظه ای به هم جمع می شوند.
- DIFF: دو شکل موج به طور لحظه ای از هم کم می شوند.
- CH2INV: شکل موج کانال ۲ را ۱۸۰ درجه تغییر فاز می دهد.
- کلید AC – DC – GND: اگر کلید در وضعیت GND قرار بگیرد ارتباط کابل پروب با اسیلوسکوپ قطع می شود. اگر کلید در وضعیت AC قرار گیرد فقط مؤلفه های AC به صفحه حساس اعمال می شود و از ورود مؤلفه های DC جلوگیری می شود. و در وضعیت DC هم مؤلفه های AC و هم مؤلفه های DC به دستگاه اعمال می شود.
- INTEN: به کمک این ولوم می توان مقدار نور ایجاد شده را کم و زیاد کرد.

**FOCUS**: به کمک این ولوم می توان قطر اشعه را تغییر داد .

**Tim / Div**: از این کلید جهت اندازه گیری زمان تناوب استفاده می شود . ضریب این کلید نشان دهنده ی مدت زمانی است که طول می کشد تا اشعه در جهت افقی مسیر یک خانه را طی کند .

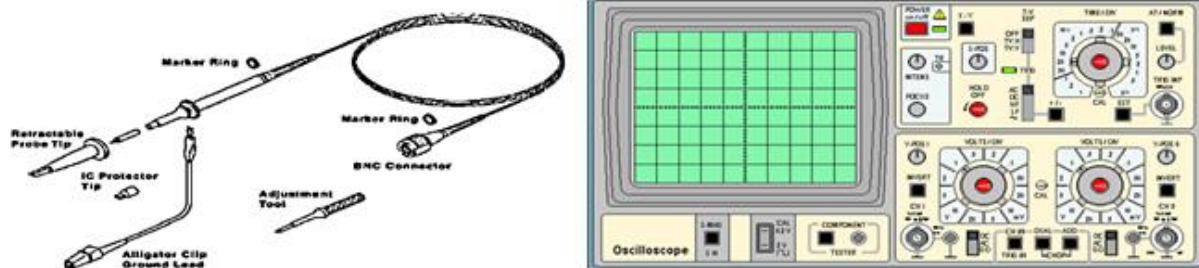
**Volt / Div**: عمل تضعیف سیگنال توسط این کلید انجام می گیرد و برای اندازه گیری ولتاژ به کار می گیرد . ضریب این کلید بیان کننده مقدار ولتاژ لازم جهت انحراف اشعه به اندازه یک خانه است . در اسکوپ های دو کاناله دو کلید **Volt / Div** وجود دارد .

**Volt Variable**: در بعضی از اسیلوسکوپ ها ولومی تعبیه شده است که هنگام اندازه گیری ولتاژ باید این ولوم را در جهت عقربه های ساعت تا آخر بچرخانیم ( در وضعیت **Cal** قرار گیرد ) تا میزان ولتاژ اندازه گیری شده دقیق باشد . همچنین ولوم **Time Variable** نیز بر روی پانل موجود است .

**POSITION**: به وسیله ی ولوم های **POSITION** موقعیت شکل موج ها را می توان روی صفحه نمایش به صورت عمودی و افقی تغییر داد .

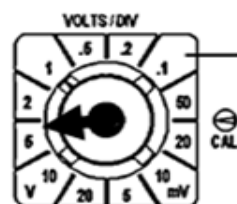
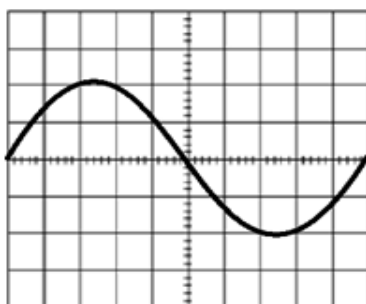
آشنایی با صفحه نمایش اسیلوسکوپ: همانطور که گفته شد صفحه نمایش اسیلوسکوپ از شیشه ی معمولی که پشت آن از مواد فسفرسانس پوشیده شده ساخته می شود . صفحه نمایش اسیلوسکوپ در جهت افقی به ۱۰ قسمت و در جهت عمودی به ۸ قسمت مساوی تقسیم شده است . اندازه هر یک از این قسمت ها ۱ سانتی متر می باشد .

کابل پروب: برای اعمال سیگنال الکتریکی با اسیلوسکوپ از پروب استفاده می شود سیم رابط پروب از کابل کوکاسیال است تا میزان نویز به حداقل برسد . نوک پروب به صورت گیره ای فیزیکی است که می توان آن را به یک نقطه از مدار وصل کرد . انتهای فلزی سیم رابط که به اسیلوسکوپ وصل می شود **BNC** نام دارد . **BNC** دارای یک شیار مورب است که با یک چرخش ۹۰ درجه به اسیلوسکوپ متصل می شود . بر روی پروب یک کلید انتخاب وجود دارد که اگر آن را روی ۱۰× قرار دهیم سیگنال ۱۰ برابر تضعیف می شود و اگر در حالت ۱× قرار گیرد سیگنال ورودی بدون تضعیف به اسیلوسکوپ اعمال می شود .

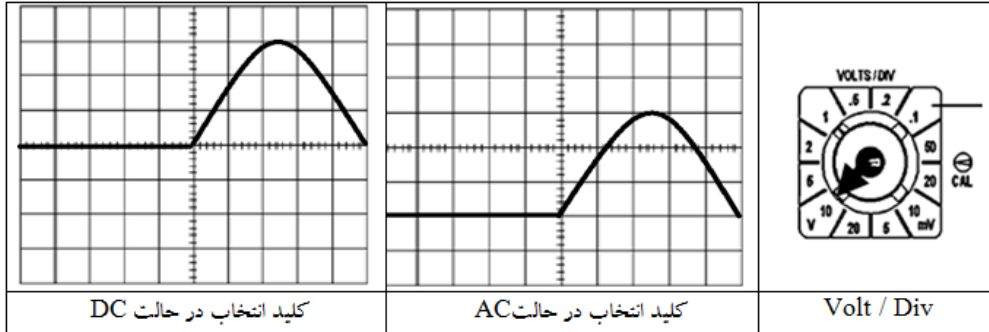


استفاده از اسیلوسکوپ برای اندازه گیری ولتاژ: برای اندازه گیری ولتاژ تعداد خانه هایی که شکل موج به صورت عمودی دربر گرفته است را در ضریب **Volt / Div** ضرب می کنیم . برای مثال دامنه شکل موج زیر که ۲ خانه کامل را در بر گرفته است و ضریب **Volt / Div** بر روی ۴ قرار گرفته است به صورت زیر محاسبه می شود .

$$V_p = \text{Volt / Div} \times \text{تعداد خانه های عمودی} = 2 \times 4 = 8 \text{ v} , \quad V_{p-p} = 16 \text{ v}$$



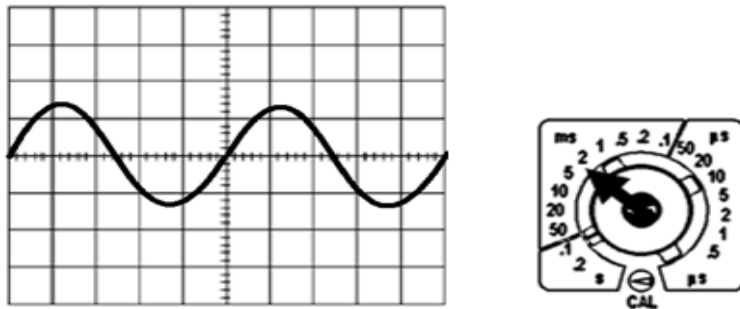
برای اندازه گیری مقدار متوسط  $V_{dc}$  شکل موج ولتاژ به این ترتیب عمل می کنیم . ابتدا کلید انتخاب را در حالت DC قرار می دهیم و مکان شکل موج را روی صفحه نمایش به خاطر می سپاریم و سپس کلید انتخاب را در حالت AC قرار می دهیم و شکل موج را مشاهده می کنیم که مقداری جابه جا شده است . میزان این جابه جایی ( بر حسب تعداد خانه ها ) ضرب در ضریب Volt / Div برابر مقدار متوسط آن شکل موج می باشد .



$$V_{dc} = \text{ضریب Volt / Div} \times \text{تعداد خانه های جابه جا شده} = 2 \times 10 = 20 \text{ v}$$

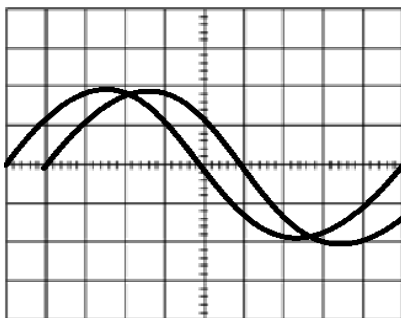
استفاده از اسیلوسکوپ برای اندازه گیری زمان تناوب و فرکانس: برای اندازه گیری زمان تناوب تعداد خانه هایی را که اسیلوسکوپ به صورت افقی در بر گرفته را در ضریب Tim / Div ضرب می کنیم . برای مثال زمان تناوب و فرکانس ولتاژی با شکل موج نشان داده در زیر را محاسبه کنید در صورتی که ضریب Tim / Div برابر ۴ میلی ثانیه باشد .

$$T = \text{ضریب Tim / Div} \times \text{عدد خانه های افقی} = 5 \times 4 = 20 \text{ ms}, f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \times 10^{-3}} = 50 \text{ Hz}$$



استفاده از اسیلوسکوپ برای اندازه گیری اختلاف فاز

برای اندازه گیری اختلاف فاز بین دو شکل موج دو سیگنال را به طور هم زمان بر روی صفحه نمایش ایجاد می کنیم و به کمک Time / Div و Time Variable سعی می کنیم تا یک سیکل از شکل موج بیشترین تعداد خانه ها را به صورت افقی دربر گیرد . سپس عدد ۳۶۰ را بر تعداد خانه های دربر گرفته شده یک سیکل تقسیم می کنیم تا مقدار زاویه هر خانه بدست آید و سپس تعداد خانه های اختلاف فاز را در این عدد ضرب می کنیم .



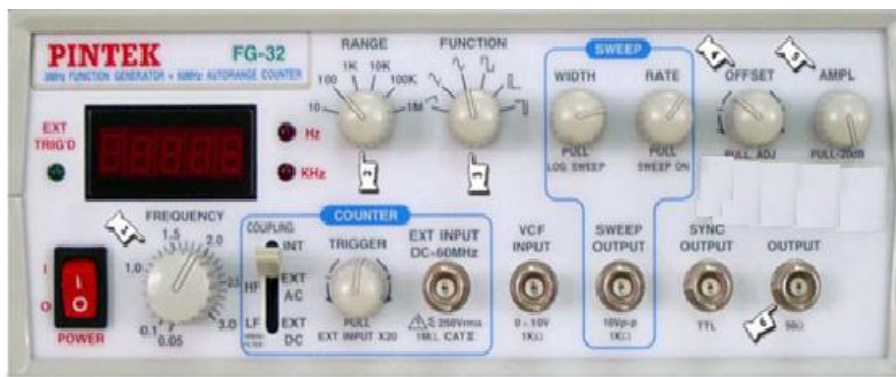
$$\frac{360}{10} = 36, \quad 36 \times 1 = 36^\circ$$

## مولدهای سیگنال

دستگاه های مولد سیگنال دستگاه هایی هستند که می توانند ولتاژهای متناوب سینوسی، مربع ای و ... را با فرکانس و دامنه قابل تنظیم تولید کنند. دستگاه های مولد سیگنال به سه دسته زیر تقسیم می شوند.

یک - سیگنال ژنراتورهای صوتی AF: این دستگاه شکل موج های سینوسی و مربع ای با دامنه ۱۰ ولت و فرکانس یک هرتز تا دو مگاهرتز تولید می کند. برای تنظیم دامنه از ولوم Fine و برای تعیین نوع سیگنال از کلید Wave Form استفاده می شود. همچنین برای تعیین فرکانس خروجی باید عددی که عقربه نشان می دهد را در ضریب سلکتور آن ضرب کرد. دو - سیگنال ژنراتور رادیویی: این دستگاه تنها شکل موج سینوسی با ولتاژ تا ۵ ولت و فرکانسی بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ مگاهرتز تولید می کند.

سه - فانکشن ژنراتور: این دستگاه شکل موج های سینوسی، مربع ای، مثلثی و پالسی با دامنه ۱۰ ولت و فرکانس ۰/۱ هرتز تا ۲ مگاهرتز تولید می کند. شکل موج خروجی از کلیدهای فشاری تعبیه شده روی دستگاه استفاده می شود.



یک نمونه فانکشن ژنراتور

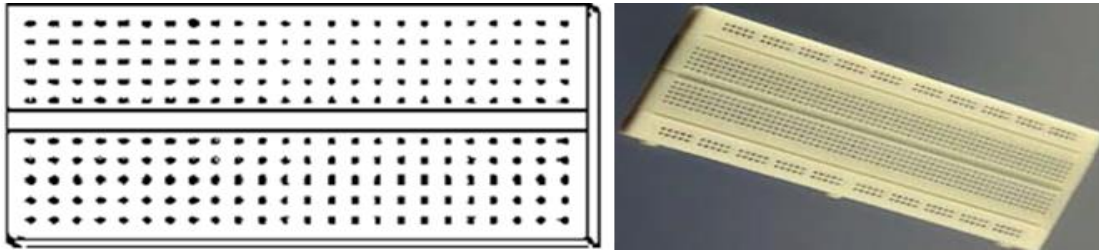


وسایل اندازه گیری در تابلو برق

## فصل چهاردهم : مقدمه ای بر الکترونیک و دیجیتال

با پیشرفت علم و تکنولوژی استفاده از وسایل الکترونیکی نیز بیشتر شده است ، پس شناخت اصول و مبانی الکترونیک و آشنایی با قطعات الکترونیکی و کاربردهای آن ها علاوه بر جذابیت بالای آن می تواند در آینده شغلی افراد مشغول به تحصیل و شاغلان این رشته نقش بسزایی داشته باشد . در این فصل سعی شده است که کلیاتی در مورد قطعات الکترونیکی پر مصرف با زبان ساده بیان شود .

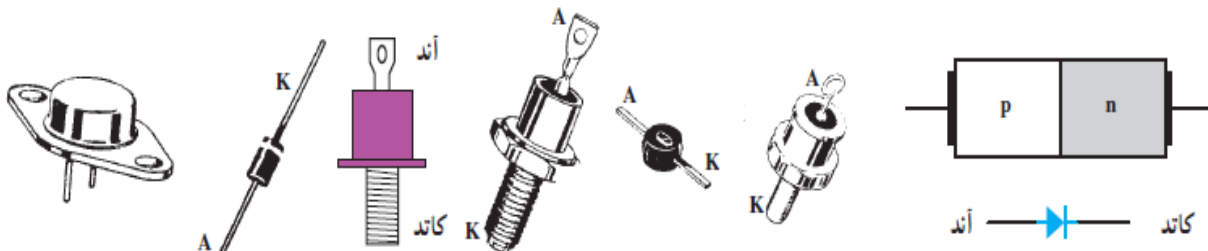
**برد مورد :** برای چیدن قطعات الکترونیکی نظیر مقاومت ، سلف ، خازن ، دیود و ... و ساخت مدارات الکترونیکی در آزمایشگاه از وسیله ای به نام برد مورد استفاده می شود .



دیود

دیود یک قطعه الکترونیکی پر مصرف است که از اتصال دو نیمه هادی نوع  $P$  و  $N$  ساخته می شود . در این حالت الکترون های آزاد نیمه هادی نوع  $N$  که در نزدیکی محل اتصال  $P - N$  قرار دارند به منطقه  $P$  نفوذ می کند و با حفره های نیمه هادی نوع  $P$  ترکیب می شوند . با عبور هر الکترون از طرف کریستال  $N$  به سمت کریستال  $P$  یک جفت یون ایجاد می شود . زیرا در ناحیه  $N$  یک اتم ظرفیتی الکترونی را از دست می دهد و به یون مثبت تبدیل می شود و در مقابل ، در ناحیه  $P$  یک اتم سه ظرفیتی الکترونی را دریافت می کند و به یون منفی تبدیل می شود . در محل اتصال دو کریستال به دلیل ترکیب حفره ها با الکترون ها، یون های مثبت و منفی زیادی ایجاد می شود که سبب ایجاد میدان الکتریکی در محل پیوند می شود، این میدان با عبور الکترون های آزاد از محل اتصال مخالفت می کند . هرگاه میدان الکتریکی به حدی برسد که در شرایط عادی، مانع از حرکت الکترون های آزاد از محل اتصال گردد، حالت تعادل به وجود می آید و به این ترتیب دیود کریستالی ایجاد می شود .

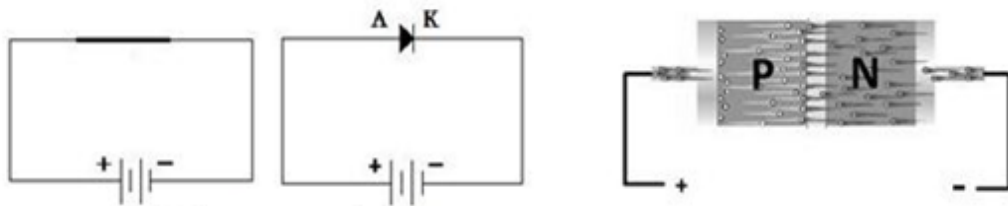
لایه ی تخلیه ( ناحیه تهی ) : به محل اتصال دو نیمه هادی  $P - N$  ناحیه ی تخلیه سد می گویند که در آن حامل های هدایت وجود ندارد . در ناحیه تخلیه ولتاژی ایجاد می شود که به پتانسیل سد معروف می باشد . پتانسیل سد برای دیودهای از جنس سیلیسیم  $0.7$  ولت و برای دیود های از جنس ژرمانیوم  $0.2$  ولت است .





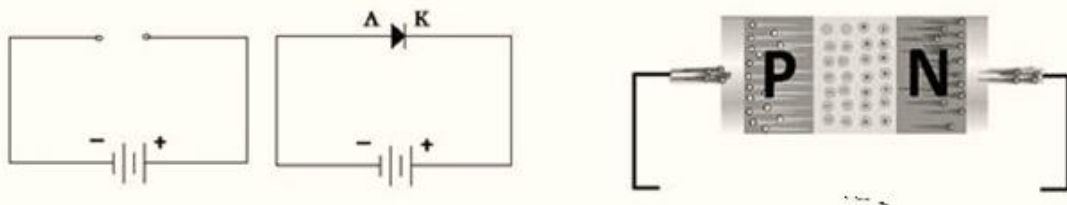
### بایاسینگ دیود

اعمال برق به دیود، بایاسینگ نام دارد که به دو صورت مستقیم و معکوس انجام می‌گیرد. **بایاس مستقیم (Forward Bias)**: اگر به آند دیود پتانسیل مثبت و به کاتد دیود پتانسیل منفی اعمال کنیم دیود در بایاس مستقیم قرار می‌گیرد. اگر ولتاژ اعمال شده به دیود بیشتر از ولتاژ سد دیود ( $0.7$  برای ژرمانیوم و  $0.7$  برای سیلیسیم) باشد. الکترون‌های آزاد ناحیه **N** از طرف قطب منفی باتری به سمت ناحیه **P** رانده می‌شود و از طرف قطب مثبت باتری جذب می‌شوند. به این ترتیب ناحیه‌ی سد شکسته می‌شود و دیود به صورت اتصال کوتاه در می‌آید.



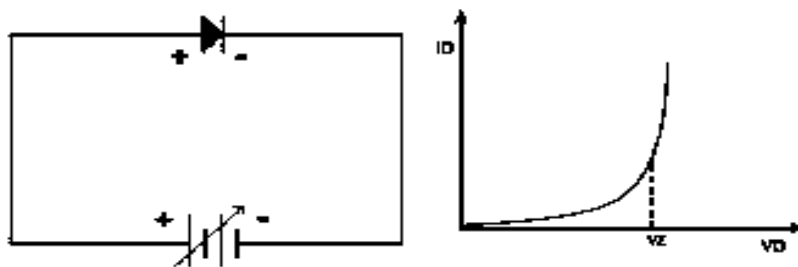
حرکت الکترون‌ها در بایاس مستقیم      دیود در بایاس مستقیم اتصال کوتاه می‌شود

**بایاس معکوس (Reverse Biase)**: اگر به آند ولتاژ منفی و به کاتد ولتاژ مثبت اعمال کنیم، دیود در بایاس معکوس قرار می‌گیرد. در این حالت الکترون‌های ناحیه **N** توسط قطب مثبت جذب می‌شود و حفره‌های ناحیه **P** توسط الکترون‌های قطب منفی پر می‌شوند. به این ترتیب عرض لایه‌ی تخلیه زیاد می‌شود. این افزایش لایه‌ی تخلیه تا زمانی اتفاق می‌افتد که ولتاژ ناحیه تخلیه (پتانسیل سد) برابر ولتاژ اعمال شده به آن گردد. پس می‌توان گفت که اگر دیودی به صورت معکوس بایاس شود به صورت اتصال باز در می‌آید.



حرکت الکترون‌ها در بایاس معکوس      دیود در بایاس معکوس اتصال باز می‌شود

**منحنی مشخصه ولت-آمپر دیود**: اگر یک منبع ولتاژ متغیری را به دو سر دیود متصل کنیم (با بایاس مستقیم) و مقدار منبع را از صفر به تدریج زیاد کنیم در این حالت جریان بسیار کمی از دیود عبور می‌کند (جریان ناشی از حرارت محیط). همین قدر که ولتاژ دو سر دیود به حد ولتاژ آستانه  $V\gamma$  ( $0.7$  V برای دیود ژرمانیوم و  $0.7$  V برای دیود سیلیسیم) برسد، جریان زیادی از دیود عبور می‌کند. در زیر رابطه بین ولتاژ و جریان دیود (منحنی  $V-I$ ) ترسیم شده است.

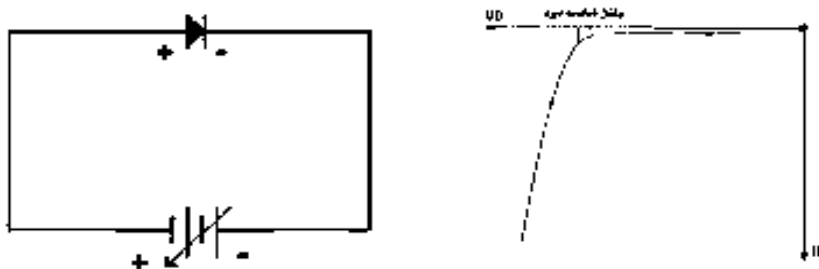


حال اگر دیود را در بایاس معکوس قرار دهیم و مانند حالت قبل ولتاژ را از صفر به تدریج زیاد کنیم. در این حالت به دلیل زیاد شدن عرض لایه‌ی تخلیه جریانی از دیود عبور نمی‌کند.

جریان اشباع معکوس یا نشستی : در بایاس معکوس جریانی از دیود عبور نمی کند ولی به دلیل حرارت محیط حامل های اقلیت ایجاد شده در دو کریستال از محل اتصال عبور می کند که به آن جریان اشباع معکوس یا جریان نشستی می گویند . این جریان که به ولتاژ بستگی ندارد و تنها به حرارت محیط بستگی دارد ، با  $I_S$  نشان داده می شود و چند میکرو آمپر برای دیودهای ژرمانیومی و چند نانو آمپر برای دیود های سیلیکونی می باشد .

در اثر افزایش ولتاژ معکوس جریان اشباع معکوس تغییری نمی کند ، اما در نقطه ای موسوم به نقطه ی شکست جریان دیود به سرعت افزایش می یابد و موجب آسیب دیدن دیود می شود .

ولتاژ شکست : به ولتاژی که در حالت معکوس موجب جاری شدن جریان در دیود می شود ولتاژ شکست می گویند در زیر رابطه ی بین ولتاژ و جریان دیود ( منحنی  $V - I$  ) در بایاس معکوس ترسیم شده است .



#### در ولتاژ شکست دو پدیده رخ می دهد

پدیده ضرب بهمینی : در بایاس معکوس در اثر افزایش ولتاژ معکوس عرض ناحیه ی تخلیه و میدان الکتریکی افزایش می یابد . در این حالت حامل های اقلیت به ناحیه ی  $P$  وارد می شود و انرژی این حفره ها به اندازه ای می شود که قادر به شکستن پیوند و تولید الکترون آزاد و ایجاد حفره ی جدید می شود که موجب افزایش یک دفعه ای حامل های اقلیت و ازدیاد سریع جریان می شود . به این پدیده ، پدیده ضرب بهمینی می گویند .

پدیده شکست زنر : در اثر افزایش میدان الکتریکی لایه ی تخلیه ممکن است خود میدان سبب شکسته شدن پیوندهای کووالانسی شود، که باعث تولید الکترون آزاد و حفره جدید می شود .

احتمال وقوع پدیده ی ضرب بهمینی در دیود های سیلیکونی که ولتاژ شکست آن ها بیش از ۶ ولت است بیشتر می باشد ، در حالی که شکست زنر در دیود هایی که ولتاژ شکست آن ها کمتر از ۶ ولت است ، اتفاق می افتد .

نحوه ی تست دیود : می توان توسط یک اهم متر، سالم یا معیوب بودن یک دیود را مشخص کرد، همچنین می توان آند و کاتد دیود را نیز مشخص کرد . اگر توسط اهم متر مقاومت دو سر دیودی را اندازه گیری کنیم و سپس اتصال دیود را برعکس کنیم و مجدداً مقاومت آن را اندازه بگیریم، در این صورت باید در یک حالت اهم متر، اهم کم و در حالت دوم اهم متر، اهم زیاد را نشان دهد . یا به عبارت دیگر اهم متر از یک طرف راه دهد و از طرف دیگر راه ندهد، اما اگر دیود اتصال کوتاه شده باشد از هر دو طرف مقدار اهم کم را نشان می دهد ولی اگر اهم متر از هر دو طرف زیاد را نشان دهد، دیود قطع شده است .

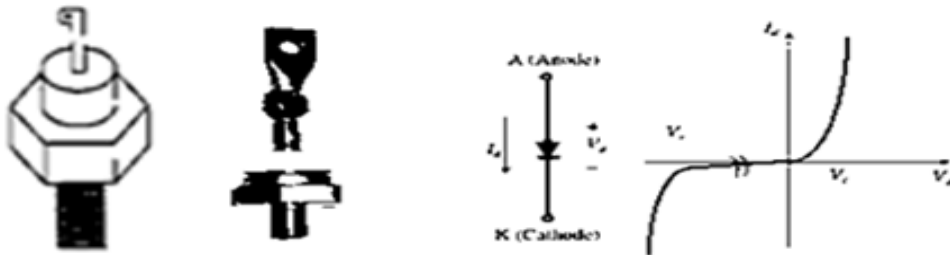
در صورتی که دیود سالم باشد در حالتی که اهم متر اهم کم را نشان دهد ، نشان دهنده این است که دیود توسط باتری داخلی اهم متر در بایاس مستقیم قرار گرفته است و آند دیود به فیش مثبت اهم متر و کاتد دیود به فیش منفی اهم متر متصل است .

ولتاژ شکست معکوس دیود (  $PIV$  ) : حداکثر ولتاژی را که می توان به طور معکوس به دو سر دیود اعمال کرد تا حدی که دیود آسیب نبیند ولتاژ شکست معکوس دیود می نامند .

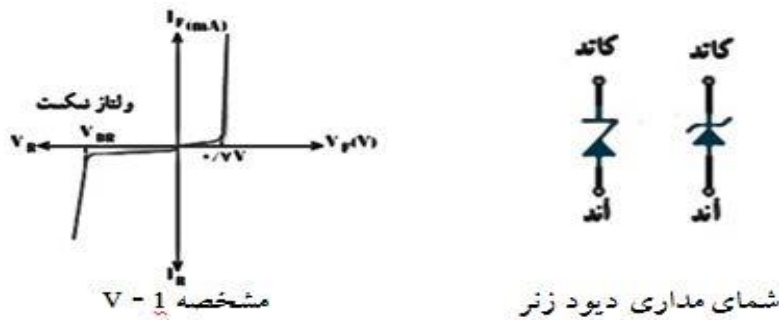


## معرفی انواع دیگر دیود

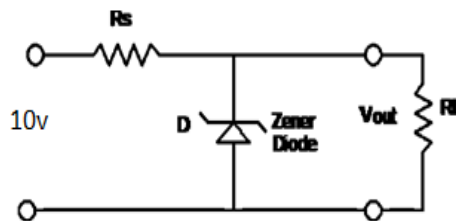
**دیود های قدرت** : دیود های قدرت همان دیود معمولی از جنس سیلیکون می باشد با این تفاوت که توان قابل تحمل آن ها به دلیل زیاد بودن سطح اتصال P-N در آن ها زیادهای معمولی است .



**دیود زبر** : دیود زبر همانند دیود معمولی از اتصال دو کریستال نوع N و P از جنس سیلیکون ساخته می شود . این دیود در اتصال مستقیم همانند دیود معمولی اتصال کوتاه می شود ولی بر خلاف دیود های معمولی که در بایاس معکوس اتصال باز می شوند و در ولتاژهای بیش از PIV آسیب می بینند . طوری ساخته می شوند که در یک ولتاژ خاص دیود هدایت کند ، با هادی شدن دیود زبر در بایاس معکوس ولتاژ دو سر دیود تقریباً ثابت می ماند ولی جریان عبوری از آن زیاد می شود . ولتاژ شکست زبر : به ولتاژی که دیود زبر به ازای آن در بایاس معکوس هادی می شود ولتاژ شکست زبر نام دارد و با  $V_Z$  نشان داده می شود . مقدار این ولتاژ به میزان چگالی ناخالص کریستال بستگی دارد .



کاربرد دیود زبر : یکی از مهمترین کاربردهای دیود زبر تثبیت ولتاژ است . مدار زیر نمونه ای از مدار تثبیت ولتاژ است . در این مدار اگر ولتاژ ورودی کمتر از ۱۰ ولت باشد ، دیود زبر در بایاس معکوس قرار می گیرد و اتصال باز می باشد . در این حالت ولتاژ ورودی در خروجی ظاهر می شود . اگر ولتاژ ورودی بیش از ولتاژ شکست زبر ( در این مدار ۱۰ ولت ) باشد ، دیود زبر ولتاژ خروجی را در ۱۰ ولت تثبیت می کند .



**دیود شاتکی** : این نوع دیود از اتصال یک نیمه هادی و یک فلز ساخته می شود ، حامل ها در این نوع دیود فقط الکترون ها می باشند و کاربرد آن در آشکارسازها و سوئیچ های سریع است .

**دیود تونل** : دیود تونل از یک کریستال با دو قسمت بسیار ناخالص درست می شود ، تراکم زیاد ناخالصی موجب می شود که لایه ی تخلیه سد بارها خیلی نازک شده و الکترون ها و حفره ها عملاً از یک طرف این سد به طرف دیگر آن جهیده می شود .  
**دیود وارکتور** : دیود وارکتور یا دیود خازنی از دو کریستال P و N ساخته می شود . زمانی که در بایاس معکوس قرار گیرد در نزدیکی ناحیه تهی در طرف کریستال N بارهای ساکن مثبت و در طرف کریستال N بارهای ساکن منفی به وجود می آید .

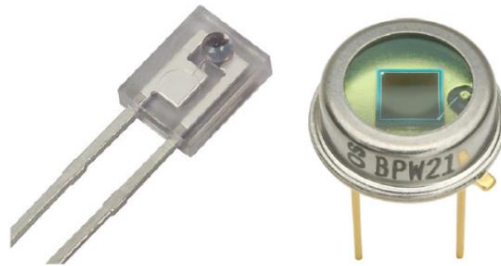
این پیوند را در حکم دو صفحه‌ی خازن و ناحیه‌ی تخلیه در حکم دی الکتریک خازن است، به همین دلیل به این نوع دیود ها دیود خازنی می گویند زیرا در بایاس معکوس مقداری ظرفیت در دیود ایجاد می شود، که از رابطه زیر بدست می آید .

$$C = \epsilon \frac{A}{W}$$

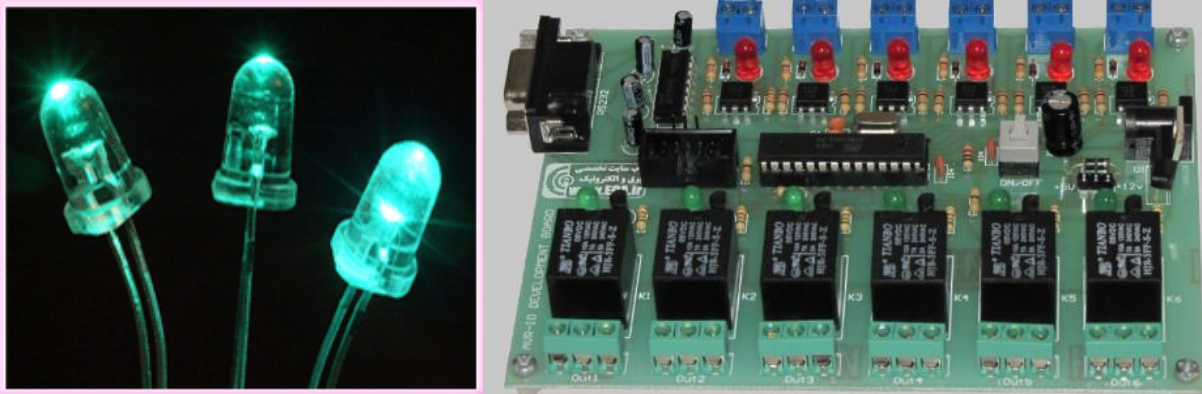
در این رابطه : C : ظرفیت خازنی ،  $\epsilon$  : ضریب دی الکتریک ، A : سطح مقطع پیوند و W عرض ناحیه تهی است.

دیود حرارتی : دیود حرارتی نوعی دیود است که عملکرد آن به حرارت اعمال شده به آن بستگی دارد .


دیود نوری : دیود نوری نیز یک P – N معمولی است که در بایاس معکوس عمل می کند . عملکرد دیود نوری وابسته به نور اعمال شده به آن می باشد . به همین دلیل این دیود داخل یک پوشش پلاستیکی که یک طرف آن شفاف است قرار می گیرد . از جمله کاربردهای این دیود خواندن اطلاعات کارت های سوراخ شده کامپیوتری ، شمردن اشیاء در خط تولید ، کلیدهای نوری ، آشکارساز نوری و ... می باشد .



دیودهای نورانی LED : در ساخت دیودهای نورانی از کریستال های نیمه هادی نظیر گالیم، آرسنیک و فسفر استفاده می- شود . این دیود در بایاس مستقیم کار می کند و به جای تولید حرارت در محل پیوند، نور تولید می کند . LED ها با توجه به درصد ترکیبات مواد آن ، در رنگ مختلف تولید می شوند . ولتاژ کار LED ها بیش از دیودهای معمولی و بین ۱/۵ تا ۳ ولت می باشد . از LED ها بیشتر به عنوان نشانگر روشن بودن دستگاه های برقی و برای ساخت مدارات تزئینی استفاده می شود .



دیود نورانی	دیود نوری	دیود حرارتی	دیود وارکتور	دیود تونل	دیود شاتکی	دیود زنر

نمایشگر هفت قسمتی ( **Seven Segment** ) : اگر هفت LED را طوری به هم اتصال دهیم که شکل  انگلیسی در آید، یک segment seven را ایجاد کرده ایم . نحوه ی اتصال LED ها یا به صورت آند مشترک ، یا کاتد مشترک می باشد.



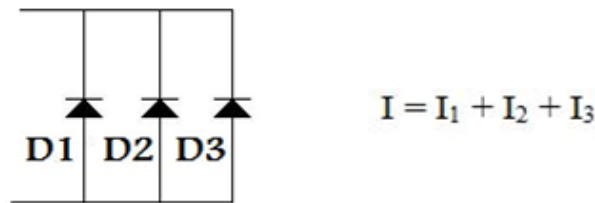
Seven Segment ها می توانند اعداد ۰ تا ۹ و حروف A تا F انگلیسی را نشان دهند و از جمله کاربردهای آن می توان استفاده به عنوان نمایشگر دماسنج های دیجیتالی، شمارنده ی اعداد در وسایل مختلف چون ترازوی دیجیتالی و .... را می توان اشاره کرد .

**دیود نورانی مادون قرمز IR** : این نوع LED ها نور نامرئی ایجاد می کنند و در مصارف خاص مثل چشم های الکترونیک یا کنترل از راه دور و نیز در صنعت فیبر نوری کاربرد بسیاری دارد .

**اتصال سری دیودها** : اگر چند دیود را به ترتیب زیر به هم وصل کنیم ، اتصال سری دیود ها را ایجاد کرده ایم ، از اتصال سری دیود ها جهت افزایش حداکثر ولتاژ معکوس قابل تحمل PIV می باشد .



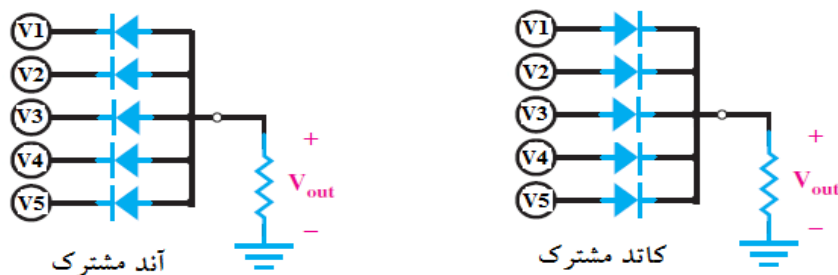
**اتصال موازی دیودها** : اگر آند تعدادی دیود را به هم و کاتد آنها را نیز به هم وصل کنیم، اتصال موازی دیود ها ایجاد می شود که برای افزایش جریان کل مجموعه دیودها استفاده می شود . شکل زیر نحوه ی اتصال موازی دیود ها را نشان می دهد .



**نکته** : در اتصال موازی ، اگر جنس دیودها متفاوت باشند پس  $V\gamma$  آنها نیز متفاوت است . در چنین حالتی دیودی که دارای کمترین ولتاژ آستانه باشد، هدایت می کند .

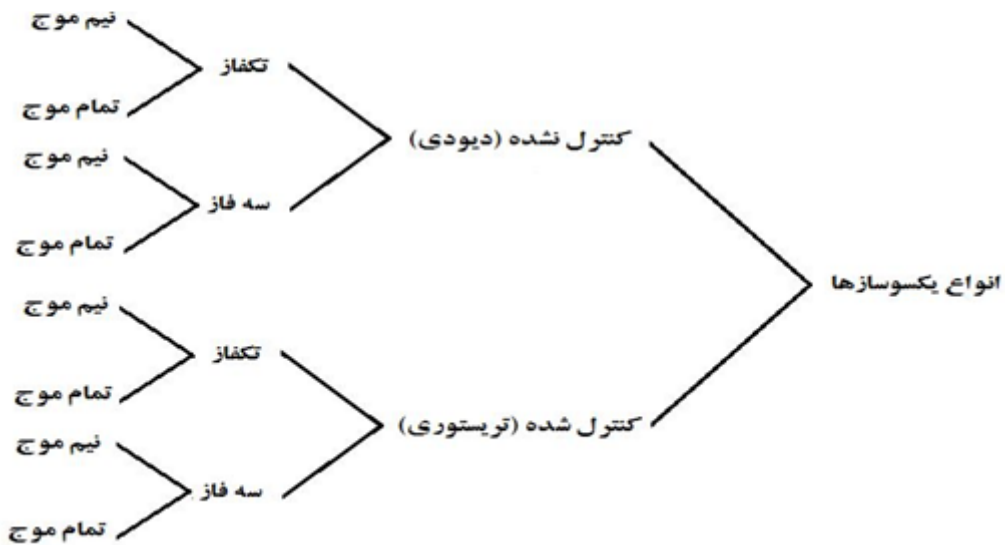
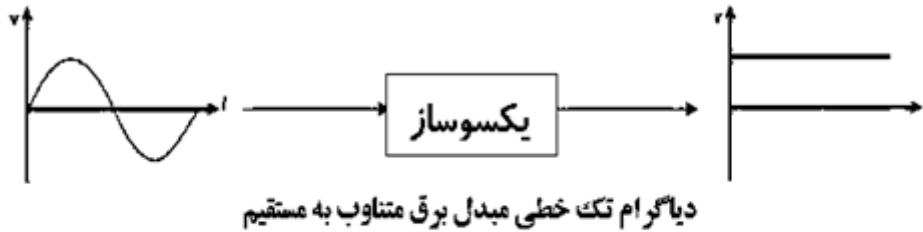
اتصال دیودها به صورت کاتد مشترک : اگر چند دیود به صورت کاتد مشترک به هم اتصال یابند ، دیودی هدایت می کند که ولتاژ اعمال شده به آند آن مثبت تر باشد.

اتصال دیودها به صورت آند مشترک : اگر چند دیود به صورت آند مشترک به هم اتصال یابند ، دیودی هدایت می کند که ولتاژ اعمال شده به کاتد آن منفی تر باشد.

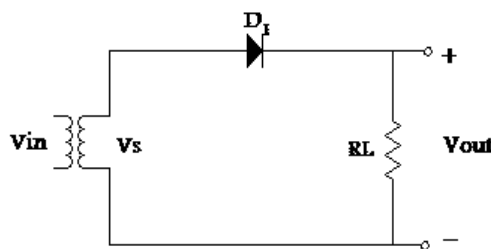


**یکسوسازهای دیودی**

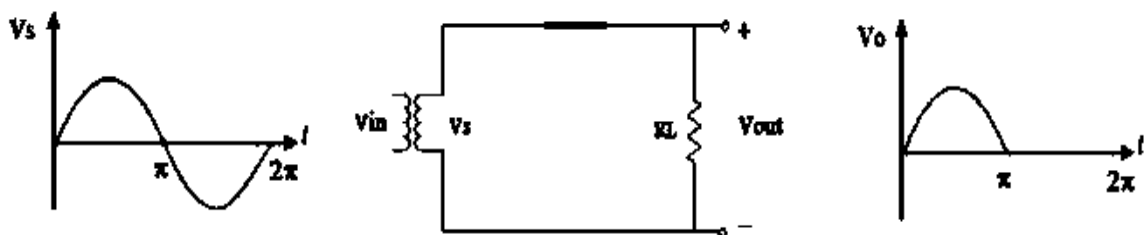
یکسوسازها مداراتی هستند که برق متناوب (ac) را به برق مستقیم (dc) تبدیل می کنند. عنصر اصلی مدارات یکسوساز دیود یا تریستورها هستند. به این مدارات، مبدل ac-dc یا کانورتر نیز می گویند. در زیر به معرفی انواع مدارات یکسوساز دیودی می پردازیم.



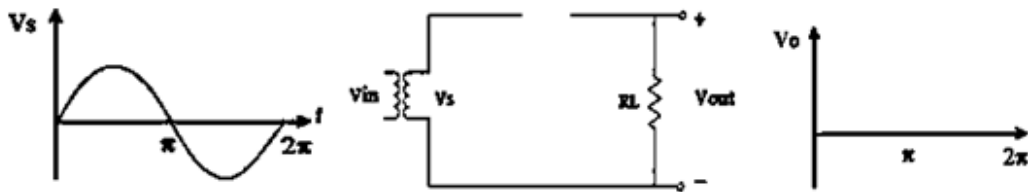
**یکسوساز نیم موج**: در این مدار از یک ترانسفورماتور برای کاهش ولتاژ استفاده می شود زیرا ولتاژ مستقیم بیشتر برای مدارات با سطح ولتاژ پایین مثل وسایل الکترونیکی مورد استفاده قرار می گیرد. از دیود به عنوان عنصر اصلی مدار یکسوساز نیم موج استفاده می شود.



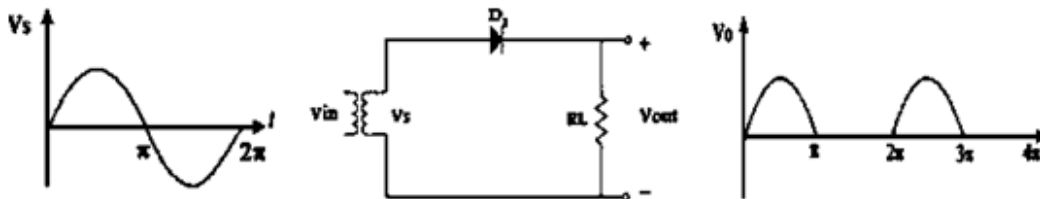
تحلیل مدار یکسوساز نیم موج: در نیم سیکل مثبت دیود در بایاس مستقیم قرار می گیرد و اتصال کوتاه می شود. به همین دلیل ولتاژ ورودی در خروجی (دو سر مقاومت) ظاهر می شود. در نیم سیکل منفی دیود در بایاس معکوس قرار می گیرد و اتصال باز می شود، به همین دلیل ولتاژ خروجی صفر می شود.



بررسی مدار در نیم سیکل مثبت



بررسی مدار در نیم سیکل منفی

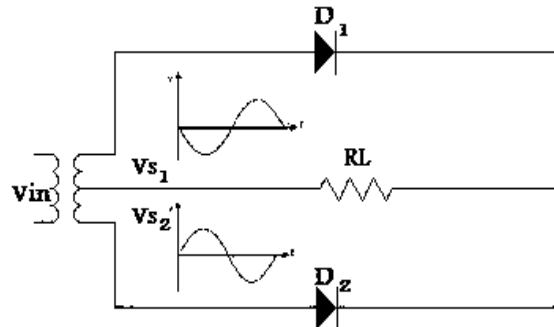


شکل موج ورودی

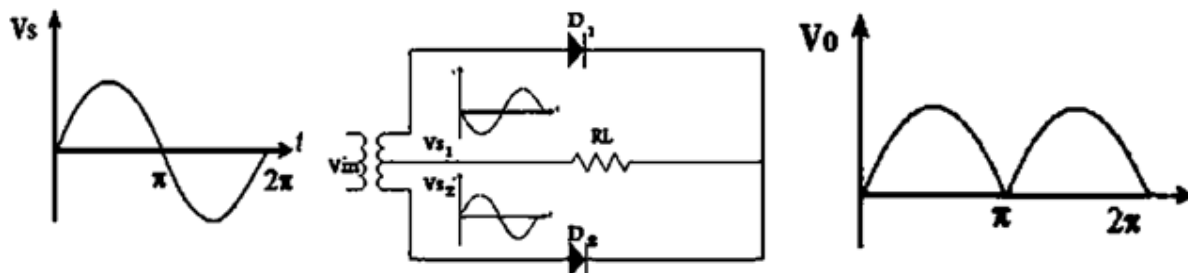
مدار الکتریکی یکسوساز نیم موج

شکل موج خروجی

یکسوساز تمام موج با ترانس سر وسط (تمام موج دو دیودی): یکسوساز نیم موج با ترانس سر وسط از یک ترانس سه سر و دو دیود ساخته می شود. ترانس سر وسط دارای یک ورودی و دو خروجی است. در خروجی های ترانس دو ولتاژ القا می شود که از لحاظ مقدار با هم برابر ولی ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند.



یکسوساز تمام موج با ترانس سر وسط مانند دو یکسوساز نیم موج عمل می کند، به این صورت که هر نیمه ترانسفورماتور همراه با دیود مربوطه به عنوان یک یکسوساز نیم موج عمل می کنند. طرز کار مدار به این صورت است که در نیم سیکل اول (مثبت) دیود  $D_2$  در بایاس معکوس قرار دارد و اتصال باز می شود و دیود  $D_1$  در بایاس مستقیم قرار دارد و جریان را به بار  $RL$  می رساند و در نیم سیکل دوم، دیود  $D_1$  قطع و دیود  $D_2$  وصل می باشد و جریان مصرف کننده را تامین می کند.



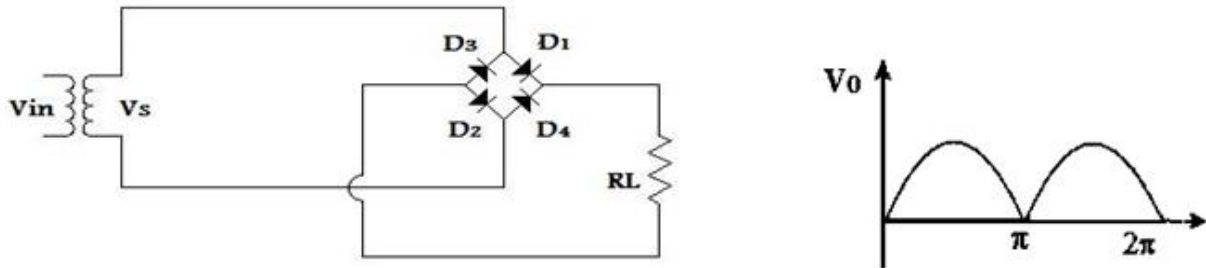
شکل موج ورودی

مدار الکتریکی یکسوساز تمام موج با ترانس سر وسط

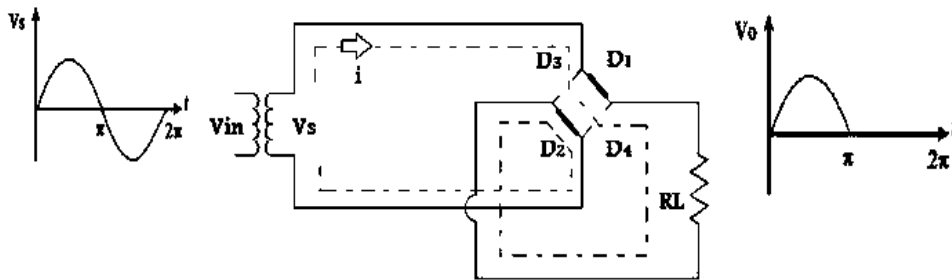
شکل موج خروجی



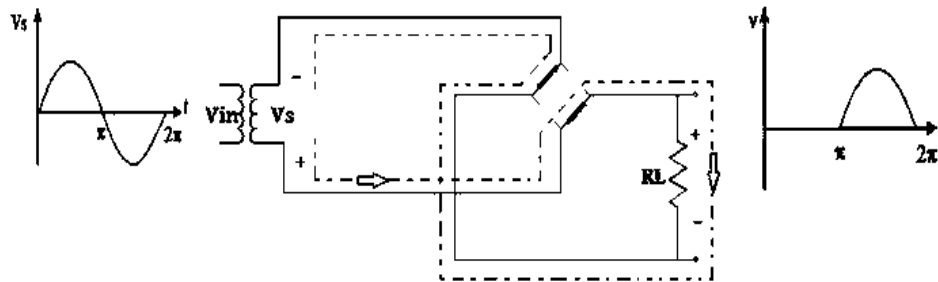
یکسوساز تمام موج پل (چهار دیودی): در یکسوساز تمام موج پل از ۴ دیود جهت تبدیل ولتاژ ac به dc استفاده می شود



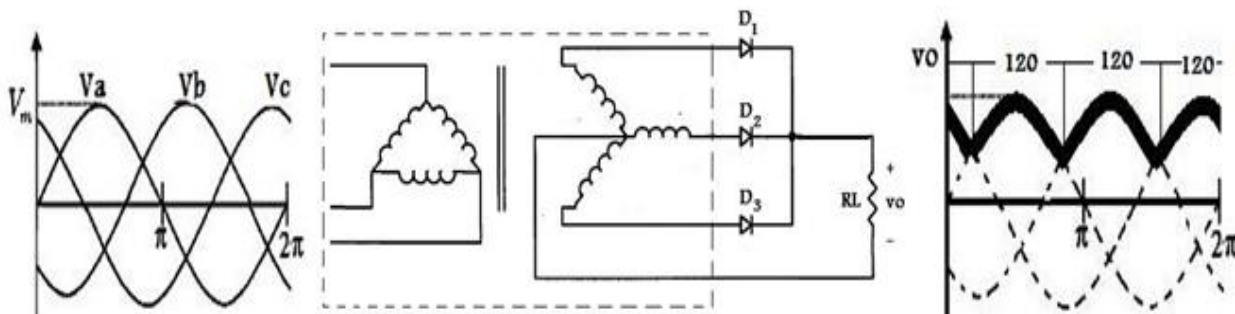
نحوه عملکرد این مدار به این ترتیب است که در نیم سیکل مثبت دیودهای  $D_1$  و  $D_2$  در بایاس مستقیم قرار می گیرند و جریان را به بار منتقل می کنند، دیودهای  $D_3$  و  $D_4$  در نیم سیکل اول در بایاس معکوس قرار می گیرند و اتصال باز می شوند. بررسی مدار یکسوساز تمام موج پل در نیم سیکل مثبت



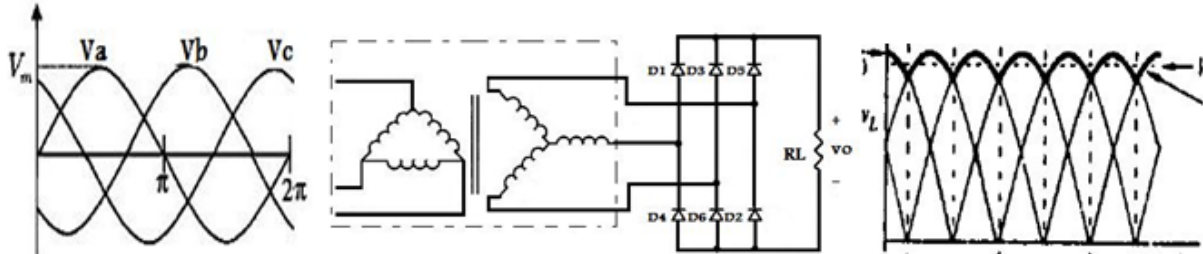
بررسی مدار یکسوساز تمام موج پل در نیم سیکل منفی



یکسوساز نیم موج سه فاز: برای تبدیل ولتاژ سه فاز به ولتاژ مستقیم از یکسوسازهای سه فاز استفاده می شود، در زیر یکسوکننده نیم موج سه فاز ترسیم شده است، در این مدار هر فاز توسط یک دیود به بار متصل می شود. همانطور که در شکل مشخص است، دیودها به صورت کاتد مشترک قرار گرفته اند و هر کدام از دیودها که ولتاژ آن بیشتر باشد هدایت می کند و جریان از طریق آن دیود به بار می رسد. در هر ۱۲۰ درجه یکی از دیودها هدایت می کند و شکل موج dc ریپل داری را ایجاد می کند، همانطور که مشخص است ولتاژ dc ایجاد شده از مبدل سه فاز دارای ریپل کمتری (صافتر) نسبت به مبدل های تک فاز است.



یکسوساز تمام موج سه فازه : یکسوساز تمام موج سه فازه همانند یکسوساز پل تکفاز عمل می کند با این تفاوت که از ۶ دیود جهت تبدیل ولتاژ متناوب به مستقیم استفاده می شود که معادل دو یکسوساز نیم موج سه فازه می باشد ، همانطور که از شکل مشاهده می شود در این یکسوساز در هر ۱۲۰ درجه دو دیود در بایاس مستقیم قرار می گیرد و جریان را به بار منتقل می کند . مدار الکتریکی و شکل موج ورودی و خروجی یکسوساز تمام موج سه فازه در زیر ترسیم شده است .



### پارامترهای اجرایی یکسوسازها

مقدار متوسط ولتاژ ( $V_{dc}$ ) : مقدار موثر شکل موج خروجی از تقسیم مساحت شکل موج خروجی بر کل زمان تناوب بدست می آید و از طریق محاسبات ریاضیاتی قابل محاسبه است .  
 مقدار موثر ولتاژ خروجی ( $V_{rms}$ ) : مقدار موثر ولتاژ نیز همانند مقدار متوسط برای هر یکسوساز مقدار متفاوتی خواهد بود و از طریق محاسبه انتگرال بدست می آید .

$V_{ac} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{dc}^2}$	مقدار ولتاژ ac
$P_{dc} = V_{dc} \cdot I_{dc}$	توان خروجی dc
$P_{ac} = V_{rms} \cdot I_{rms}$	توان خروجی ac
$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}}$	بازده یا راندمان

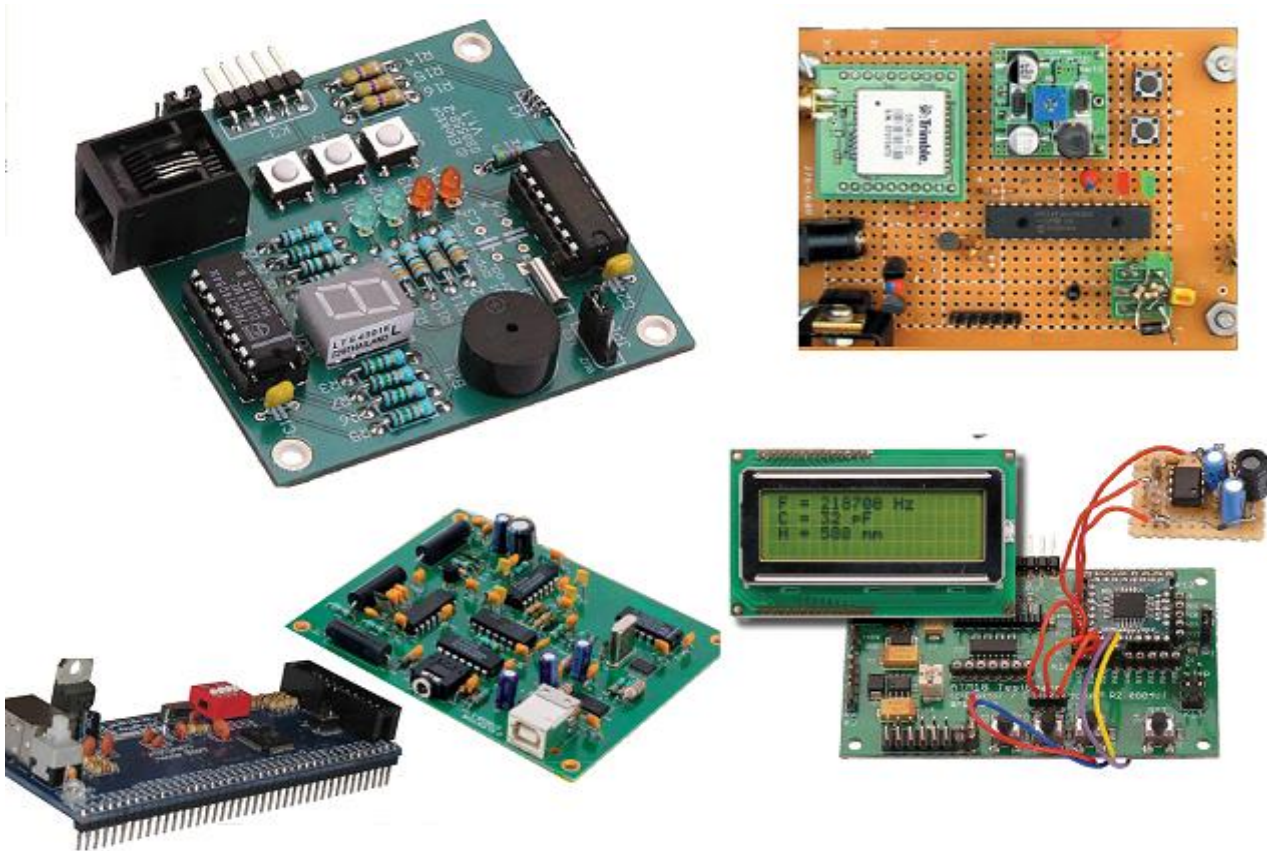
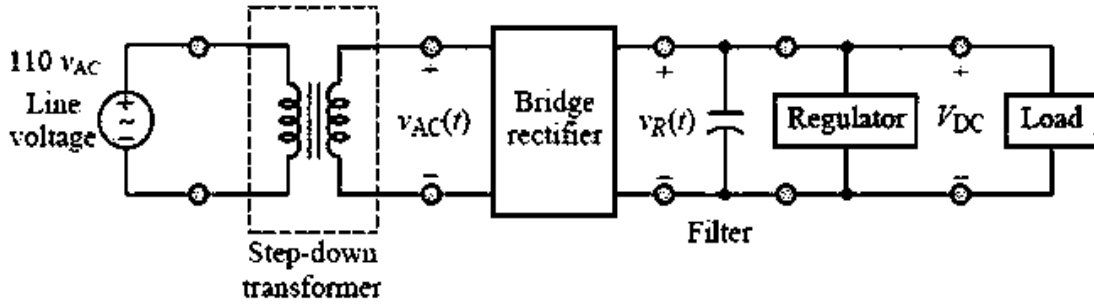
$\eta$	$V_{rms}$	$V_{dc}$	نوع یکسوساز
۴۰٪	$\frac{V_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{V_m}{\sqrt{2}}$	یکسوساز نیم موج
۸۱٪	$\frac{v_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{\pi}{2} v_m$	یکسوساز تمام موج با ترانس سر وسط
۸۱٪	$\frac{v_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{\pi}{2} v_m$	یکسوساز تمام موج پل
۹۷٪	$V_m \sqrt{\frac{3}{2\pi} \left( \frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)}$	$\frac{3\sqrt{3}v_m}{2\pi}$	یکسوساز نیم موج سه فاز
۹۹/۸۳٪	$V_m \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi}}$	$\frac{3\sqrt{3}v_m}{\pi}$	یکسوساز تمام موج پل سه فاز

از یکسوسازها جهت تبدیل ولتاژ ac به dc استفاده می شود ، اما همانطور که مشخص است شکل موج خروجی یکسوسازها دارای ریبیل است که موجب آسیب رساندن به دستگاه های الکترونیکی می شود ، جهت صاف کردن شکل موج ها از صافی استفاده می شود ، صافی ها به دو دسته صافی های سلفی و صافی های خازنی تقسیم می شوند .



صافی سلفی: از این صافی بیشتر در جریان های بالا استفاده می شود و به دلیل بالا بودن قیمت و حجم آن کمتر مورد استفاده قرار می گیرد.

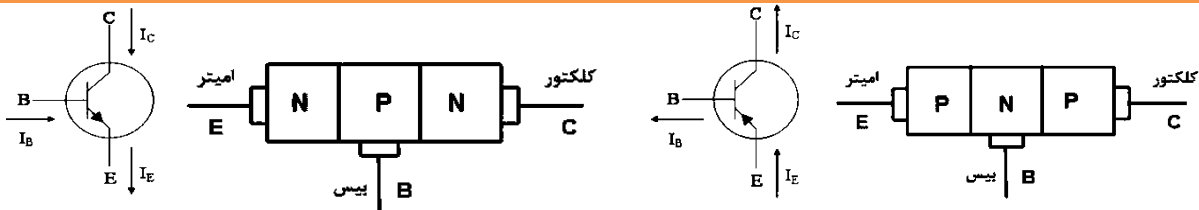
صافی خازنی: برای صاف کردن شکل موج ها می توان یک خازن را به صورت موازی با مدار قرار داد. بر اساس خاصیت شارژ و دشارژ خازن شکل موج خروجی صافتر می شود، به یکسوسازهایی که دارای صافی خازنی می باشند آداپتور می گویند.



نمونه ای از مدارهای الکترونیکی

### ترانزیستور دو قطبی BJT

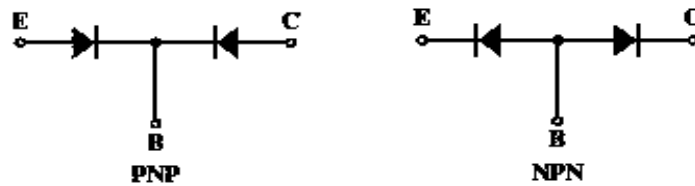
ترانزیستور یکی از المان های پر مصرف در الکترونیک می باشد که از سه نیمه هادی نوع **n** و **p** در دو نوع ساخته می شوند . نوع اول ترانزیستور **npn** می باشد که از دو نیمه هادی **n** و یک نیمه هادی **p** بین آن ها تشکیل می شود . و در نوع دوم که ترانزیستور **pnp** می باشد از دو نیمه هادی **p** و یک نیمه هادی **n** بین آن ها ساخته می شود . در هر دو نوع این ترانزیستور ها به هر نیمه هادی یک پایه وصل می شود ، پس در مجموع یک ترانزیستور دارای سه پایه به قرار زیر می باشند .  
 پایه ی منتشر کننده (Emitter) که با حرف **E** مشخص می شود .  
 پایه ی جمع کننده (Collector) که با حرف **C** مشخص می شود .  
 پایه ی بیس (Base) که با **B** مشخص می شود .



ساختمان و نمای مداری ترانزیستور npn

ساختمان و شمای مداری ترانزیستور pnp

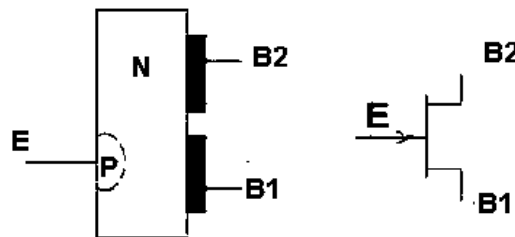
مدار معادل دیودی ترانزیستور



چند نمونه ترانزیستور BJT

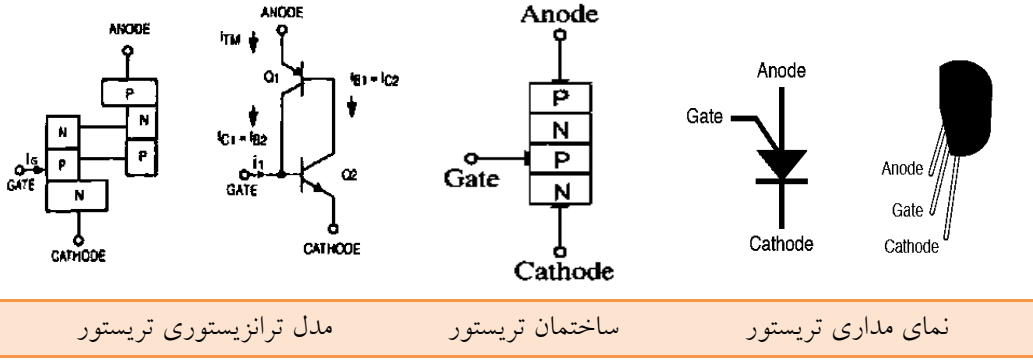
### ترانزیستور تک اتصالی UJT

ترانزیستور UJT یک ترانزیستور تک اتصالی است که جهت تولید پالس برای سایر عناصر نیمه هادی استفاده می شود . این ترانزیستور از یک نیمه هادی کوچک نوع **p** که روی کریستال نوع **n** متصل است ساخته می شوند . این عنصر نیز دارای سه پایه به نام های  $B_1$  ،  $B_2$  و **E** می باشد ، در زیر ساختمان داخلی و نمای مداری UJT ترسیم شده است .



تریستور SCR

تریستور از چهار نیمه هادی n و p ساخته می شود و دارای سه پایه به نام های آند، کاتد و گیت می باشد، پایه گیت به کریستال p میانی وصل می شود. در مدارات یکسوساز از تریستور به جای دیود استفاده می شود به همین دلیل نام دیگر تریستور S.C.R یا Silicon Controlled Rectifier یکسو کننده کنترل شده سیلکونی می باشد.

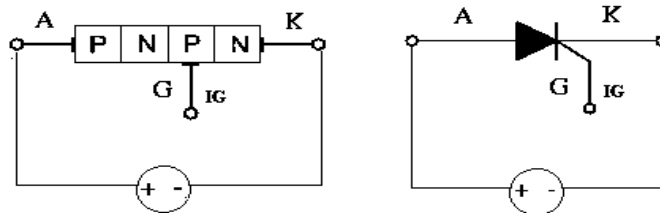


مدل ترانزیستوری تریستور

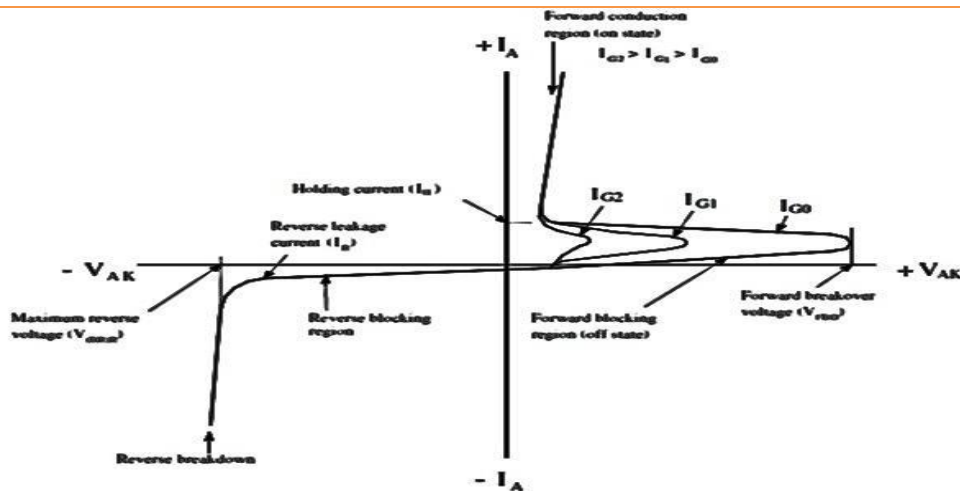
ساختمان تریستور

نمای مداری تریستور

نحوه عملکرد تریستور: اگر به پایه ی آند تریستور پلاریته ی مثبت و به پایه ی کاتد آند پلاریته ی منفی را اعمال کنیم. به یکی از دو روش زیر می توانیم تریستور را فعال کنیم. اول اینکه ولتاژ اعمالی به آند و کاتد تریستور را آنقدر بالا ببریم تا بر ولتاژ میانی pn که در حالت معکوس بایاس شده غلبه کند. دوم به پایه گیت تریستور جریانی تزریق کنیم. پس برای عملکرد تریستور باید ولتاژ مثبتی را به آند، ولتاژ منفی ای را به کاتد و جریانی را به گیت تریستور تزریق کنیم.

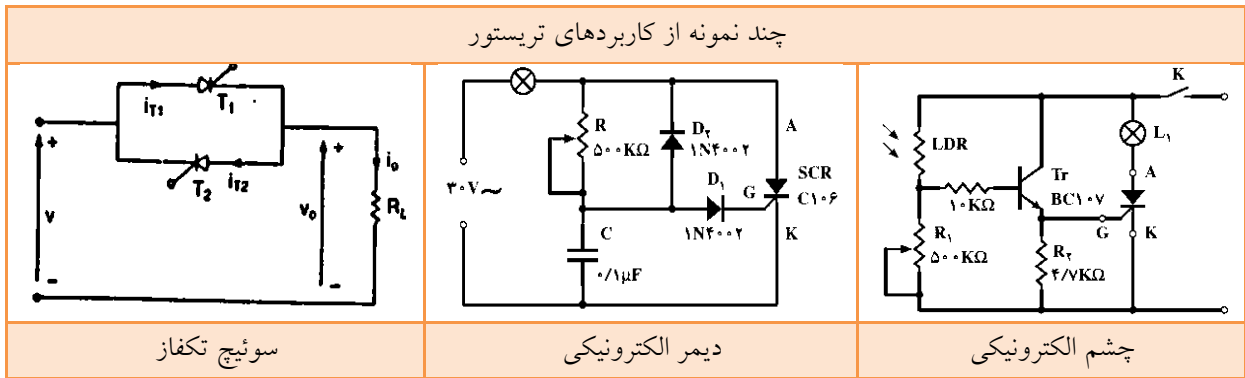


بایاس کردن تریستور



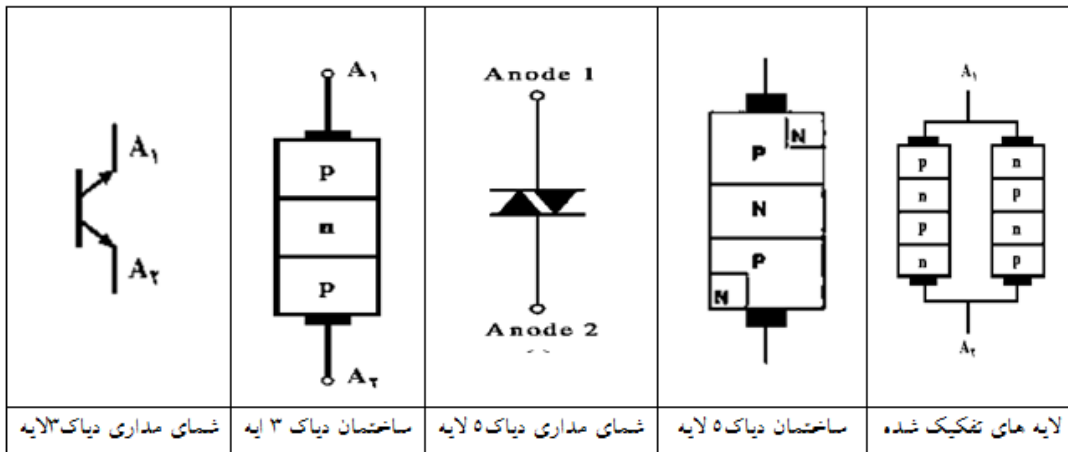
مشخصه ولت - آمپر تریستور

همانطور که از مشخصه ولت - آمپر فوق مشخص است هر چقدر زود تر به پایه گیت تریستور پالسی را اعمال کنیم (مدار آتش تریستور را فعال کنیم)، تریستور زودتر هدایت می کند.




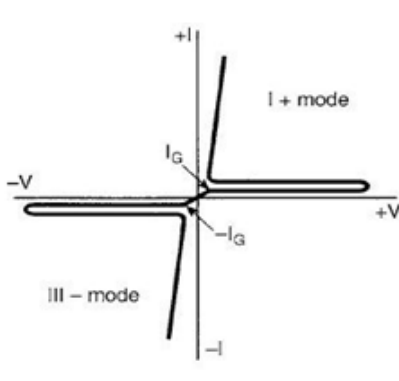
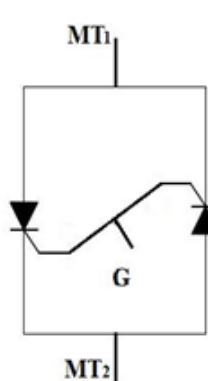
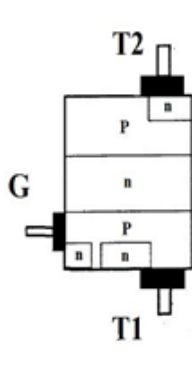
### دیاک

دیاک یکی دیگر از قطعات الکترونیکی است که از دو دیود چهار لایه‌ی موازی تشکیل می‌شود. در حقیقت این قطعه از پنج لایه نیمه هادی مطابق شکل زیر ساخته می‌شود و کاربرد اصلی آن در جریان ac می‌باشد زیرا از هر دو طرف راه می‌دهد به همین دلیل به دیاک دیود ac ( **diode ac** ) نیز می‌گویند.



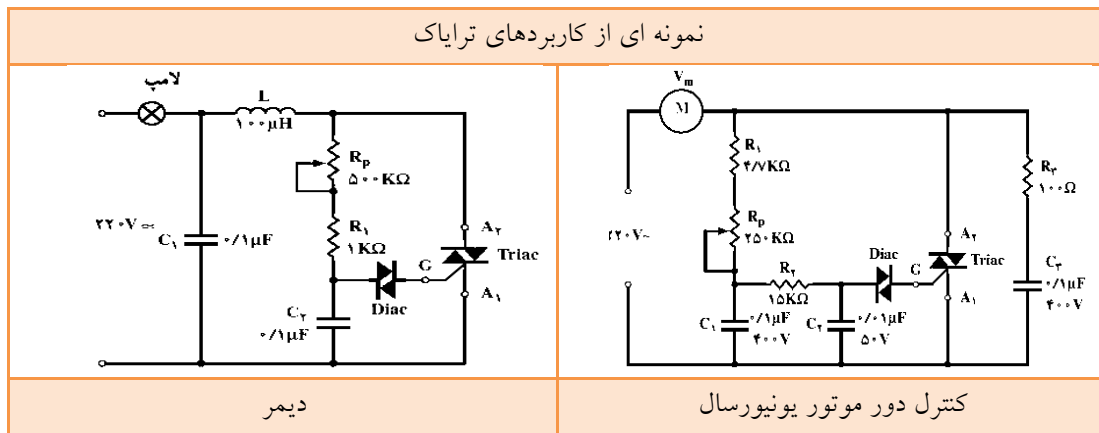
### تراپاک

تراپاک یک عنصر ۵ لایه است که از نظر الکتریکی نقش دو تریستور معکوس موازی را ایفا می‌کند. از آنجایی که اصطلاح آند و کاتد در مورد تراپاک مفهومی ندارد، به جای آن اصطلاح ترمینال  $MT_1$  و  $MT_2$  بکار برده می‌شود. تراپاک در هر دو جهت یک مسیر چهار لایه‌ی **pnpn** را بین ترمینال‌ها تشکیل می‌دهد و از این رو قادر است در هر دو جهت هدایت نماید.

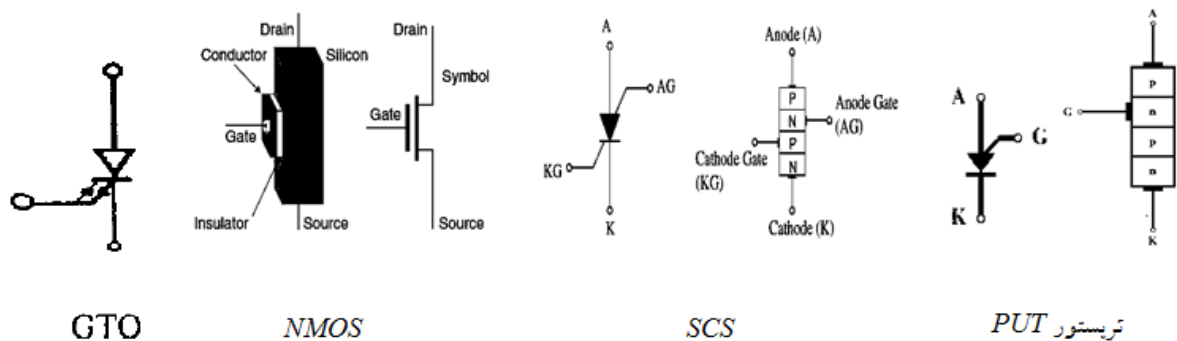
			
<p>سمبل مداری تریاک</p>	<p>مشخصه V-I تریاک</p>	<p>معادل تریستوری تریاک</p>	<p>ساختمان تریاک</p>

تریگر کردن تریاک

به عمل روشن کردن تریاک تریگر کردن می گویند . برای تریگر کردن تریاک لازم است که به دو پایانه تریاک ولتاژی را اعمال کنیم (نوع پلاریته اعمالی به پایانه ها اهمیت ندارد) و یک پالس (مثبت یا منفی) به گیت بدهیم تا تریاک روشن شود .



علاوه بر قطعات فوق ، عناصر نیمه هادی دیگری وجود دارد که در زیر نمای مداری برخی از آنها آورده شده است





## آشنایی با مفاهیم پایه ای دیجیتال

### سیستم های اعداد

سیستم های عدد نویسی متعددی وجود دارد که در تمام آن ها سه شاخص ارقام ، پایه و اوزان وجود دارد . بنابراین در هر سیستم اعداد با توجه به روش های آن به فرمی خاص نشان داده می شوند .

**سیستم دهدهی یا دسیمال** : سیستم دهدهی ، دسیمال یا اعشاری ، سیستم عدد نویسی ای است که روزانه و بطور معمول ما از آن استفاده می کنیم ، شاخص های نام برده شده در سیستم دهدهی عبارتند از .  
ارقام : این سیستم شامل ده رقم ( از ۰ تا ۹ ) می باشد .

پایه یا مبنا : ۱۰

اوزان : توان های ۱۰ ( '۱۰'۱۰ ، '۱۰'۲ ، '۱۰'۳ ، '۱۰'۴ ، ... که معادل ۱ و ۱۰ و ۱۰۰ و ۱۰۰۰ و ... هستند ) .

همانطور که مشاهده می شود در این سیستم اعداد با ترکیبی از ارقام ۰ تا ۹ نوشته می شود و محل قرارگیری آن ها ، وزن آن ها را نشان می دهد . برای مثال ۸۵۲ یک عدد اعشاری یا دسیمال است که ۸ دارای وزن ۱۰۰ ، ۵ دارای وزن ۱۰ و ۲ دارای وزن ۱ می باشد .

$$(۸۵۲)_{۱۰} = ۸ \times ۱۰^۲ + ۵ \times ۱۰^۱ + ۲ \times ۱۰^۰$$

**سیستم دودویی Binary** : مبنای مورد استفاده در سیستم های دیجیتال مبنای دو است و شاخص های آن عبارتند از :

ارقام : ۱ و ۰

پایه یا مبنا : ۲

اوزان : توان های ۲ ( '۲'۰ ، '۲'۱ ، '۲'۲ ، '۲'۳ ، '۲'۴ ، ... که معادل ۱ و ۲ و ۴ و ۸ و ۱۶ و ... هستند ) .

**بیت** : کوچکترین قسمت از اطلاعات باینری را که شامل تنها یک کاراکتر (۰ یا ۱) است را **Bit** می گویند .

**بایت** : به مجموع ۸ بیت یک **Byte** می گویند . **کلمه** : به مجموع ۲ بایت یا ۱۶ بیت یک کلمه **Word** می گویند .

### سیستم اکتال

واژه اکتال **Octal** از کلمه لاتین **Octo** به معنی هشت گرفته شده و به مفهوم سیستم عددی مبنای هشت است و شاخص های آن عبارت است از :

ارقام : این سیستم شامل اعداد ۰ تا ۷ می باشد .

پایه یا مبنا : ۸

اوزان : توان های ۸ ( '۸'۱ ، '۸'۲ ، '۸'۳ ، '۸'۴ ، ... که معادل ۱ و ۸ و ۶۴ و ... هستند ) .

**سیستم هگزادسیمال** : واژه هگزادسیمال از ترکیب دو کلمه یونانی **Hex** به معنی ۶ و کلمه لاتین **decim** به معنی ۱۰ گرفته شده است . و شاخص های آن عبارت است از :

ارقام : سیستم هگزا دسیمال شامل اعداد ۰ تا ۱۵ است ، البته به جای اعداد دو رقمی از حروفی به شرح زیر استفاده می کنیم .  
**A** معادل ۱۰ ، **B** معادل ۱۱ ، **C** معادل ۱۲ ، **D** معادل ۱۳ ، **E** معادل ۱۴ و **F** معادل دهدهی عدد ۱۵ می باشد . پس کاراکترهای سیستم هگزا دسیمال به قرار زیر است .

۰ - ۱ - ۲ - ۳ - ۴ - ۵ - ۶ - ۷ - ۸ - ۹ - A - B - C - D - E - F

پایه یا مبنا : ۱۶

اوزان : توان های ۱۶ ( '۱۶'۱ ، '۱۶'۲ ، '۱۶'۳ ، '۱۶'۴ ، ... که معادل ۱ و ۱۶ و ۲۵۶ و ۴۰۹۶ و ... هستند ) .

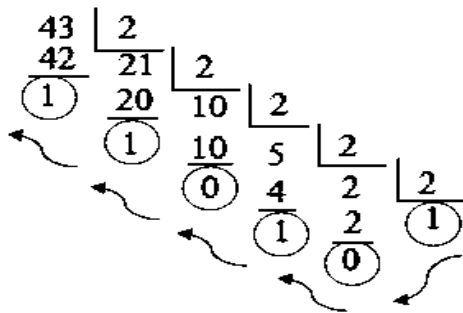
**سیستم BCD**

سیستم BCD مخفف Binary Coded Decimal به معنای دهدهی کد شده به دودویی می باشد . در سیستم BCD هر رقم در مبنای دهدهی به طور جداگانه به شکل یک عدد دودویی کد می شود .

**تبدیل اعداد از مبنای دهدهی به مبنای دیگر**

برای رساندن عددی از مبنای بالاتر به مبنای پایینتر ، عدد را بر مبنای پایینی تا جای ممکن تقسیم می کنیم ، سپس آخرین خارج قسمت به سمت اولین باقی مانده اعداد را به ترتیب می نویسیم که عدد در مبنای پایینتر را نمایش می دهد .

$(43)_{10} = ( )_2$



$(43)_{10} = (101011)_2$

برای بردن عدد به مبنای بالاتر با توجه به مبنای آن عدد ، ارزش مکانی هر رقم را با رساندن مبنای آن مکان معین و سپس با ضرب در رقم و جمع کل ارقام حاصل شده در مبنای مورد نظر ظاهر می شود .

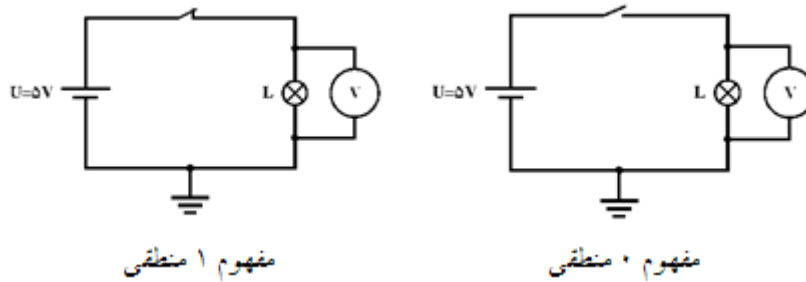
$(101011)_2 = 1 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^5 = (43)_{10}$

دهدهی	باینری	اکتال	هگزادسیمال	BCD
۰	۰۰۰۰	۰	۰	۰۰۰۰
۱	۰۰۰۱	۱	۱	۰۰۰۱
۲	۰۰۱۰	۲	۲	۰۰۱۰
۳	۰۰۱۱	۳	۳	۰۰۱۱
۴	۰۱۰۰	۴	۴	۰۱۰۰
۵	۰۱۰۱	۵	۵	۰۱۰۱
۶	۰۱۱۰	۶	۶	۰۱۱۰
۷	۰۱۱۱	۷	۷	۰۱۱۱
۸	۱۰۰۰	۱۰	۸	۱۰۰۰
۹	۱۰۰۱	۱۱	۹	۱۰۰۱
۱۰	۱۰۱۰	۱۲	A	
۱۱	۱۰۱۱	۱۳	B	
۱۲	۱۱۰۰	۱۴	C	
۱۳	۱۱۰۱	۱۵	D	
۱۴	۱۱۱۰	۱۶	E	
۱۵	۱۱۱۱	۱۷	F	

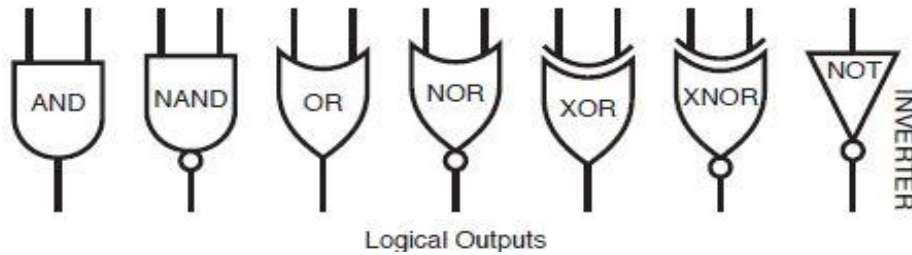


منطق دیجیتال

در مدار منطقی از المان های الکترونیکی نظیر دیود و ترانزیستور استفاده می شود . از المان ها می توان توابع منطقی ایجاد کرد که هر کدام منطق خاصی را پیروی می کنند . در این مدارها از دو اصطلاح صفر و یک بسیار استفاده می کنند ، مفهوم این دو اصطلاح بدین شرح است که در سیستم تنها چیزی که برای المان های الکتریکی قابل فهم است ، بود یا نبود ولتاژ است چون منطق دیجیتال از این خاصیت تبعیت می کند پس باید دو سطح از ولتاژ را برای درک سیستم تعریف نمود مثل ۰ ولت و ۵ ولت . در این سیستم سطح ولتاژ ۵ ولت ، یک و سطح ولتاژ ۰ ولت ، صفر تلقی می شود .



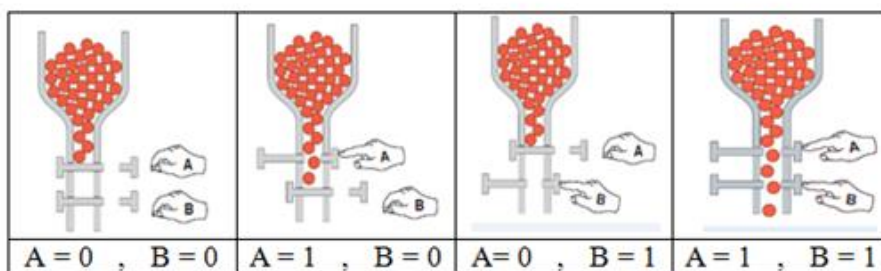
توابع منطقی دیجیتال دارای یک یا چند ورودی و یک خروجی می باشند که وضعیت خروجی متناسب با وضعیت ورودی می باشد . در مدارات منطقی یا دیجیتال عناصری وجود دارد که توانایی انجام عملیات بر روی صفر و یک ها را دارند که به آنها گیت می گویند . هفت گیت منطقی وجود دارد که به قرار زیر می باشند .



گیت AND

گیت AND ( و ) شامل دو یا چند ورودی متغیر است و تنها در صورتی که همگی آن ها ۱ باشند، خروجی ۱ می شود . این گیت معادل کلید های سری می باشد که در زیر علامت اختصاری، جدول صحت و معادل کلیدی این گیت آورده شده است .

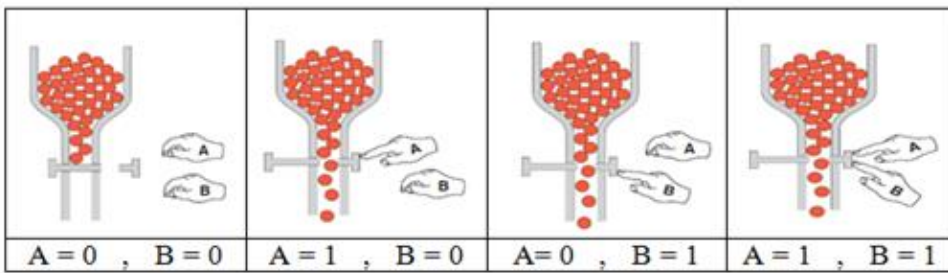
استاندارد انگلیسی			<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
A	B			Y														
0	0	0																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																
استاندارد آمریکایی																		
علامت اختصاری		معادل کلیدی و تابع جبری	جدول صحت															



**گیت OR**

گیت OR (یا) شامل دو یا چند ورودی متغیر است و در صورتی که حداقل یکی از ورودی ها ۱ شود خروجی ۱ می شود. این گیت معادل کلید های موازی می باشد و در زیر مشخصات آن ترسیم شده است.

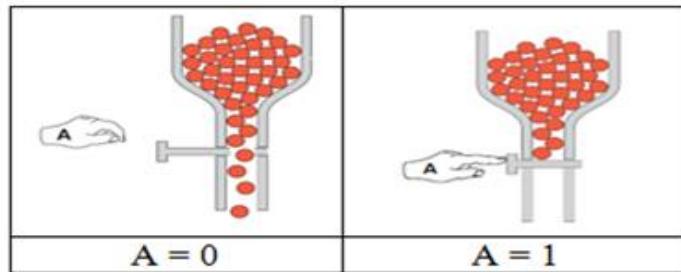
استاندارد انگلیسی			<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
A	B			Y														
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	1																
استاندارد آمریکایی		$Y = A + B$																
علامت اختصاری		معادل کلیدی و تابع جبری	جدول صحت															



**گیت NOT**

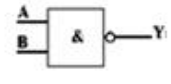
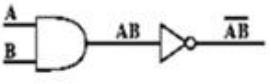

گیت NOT (نفی) شامل یک ورودی و یک خروجی می باشد که معکوس هم هستند، یعنی اگر ورودی گیت ۱ باشد، خروجی ۰ خواهد بود و اگر ورودی ۰ باشد خروجی ۱ می شود.

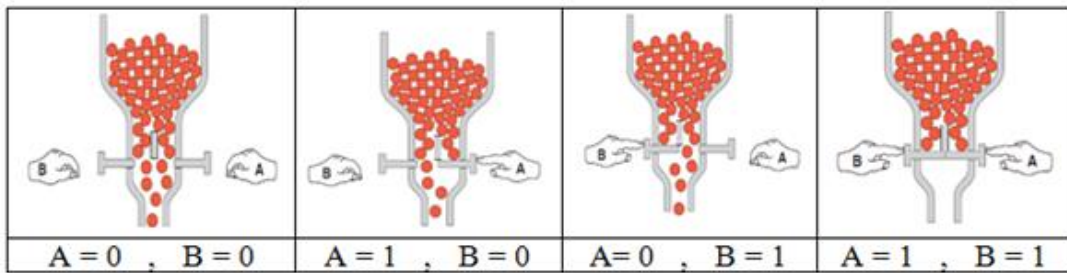
استاندارد انگلیسی			<table border="1"> <tr><th>A</th><th>Y</th></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	Y	0	1	1	0
A	Y								
0	1								
1	0								
استاندارد آمریکایی		$Y = \bar{A}$							
علامت اختصاری		معادل کلیدی و تابع جبری	جدول صحت						



گیت NAND

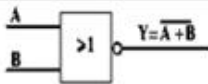
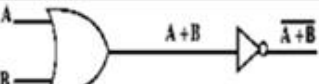
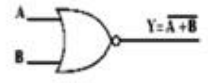
گیت NAND عکس گیت AND عمل می کند و خروجی زمانی ۰ می باشد که تمام ورودی ها ۱ باشد .

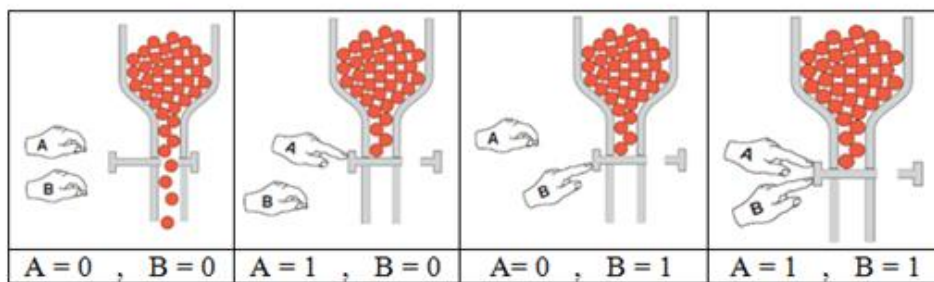
استاندارد انگلیسی			<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	Y																
0	0	1																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																
استاندارد آمریکایی		$Y = \overline{A \cdot B}$																
علامت اختصاری		عملکرد گیت NAND و تابع جبری	جدول صحت															



گیت NOR

گیت NOR عکس گیت OR عمل می کند و خروجی زمانی ۱ می شود که تمام ورودی ها ۰ باشد .

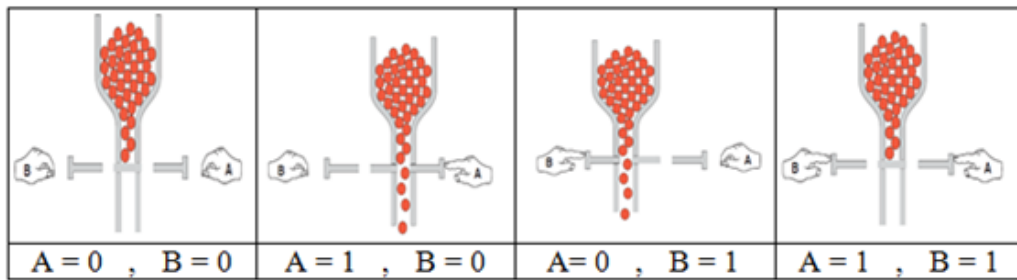
استاندارد انگلیسی			<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
A	B	Y																
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	0																
استاندارد آمریکایی		$Y = \overline{A + B}$																
علامت اختصاری		عملکرد گیت NOR و تابع جبری	جدول صحت															



**گیت XOR**

گیت XOR یا گیت OR انحصاری دارای دو ورودی و یک خروجی است ورودی های مشابه را در خروجی ۰ می کند .

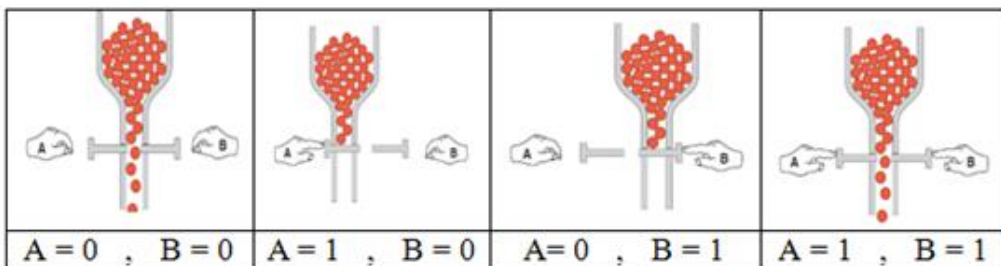
استاندارد انگلیسی		$Y = \bar{A}B + A\bar{B}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B			Y														
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																
استاندارد آمریکایی																		
علامت اختصاری		عملکرد گیت XOR و تابع جبری	جدول صحت															



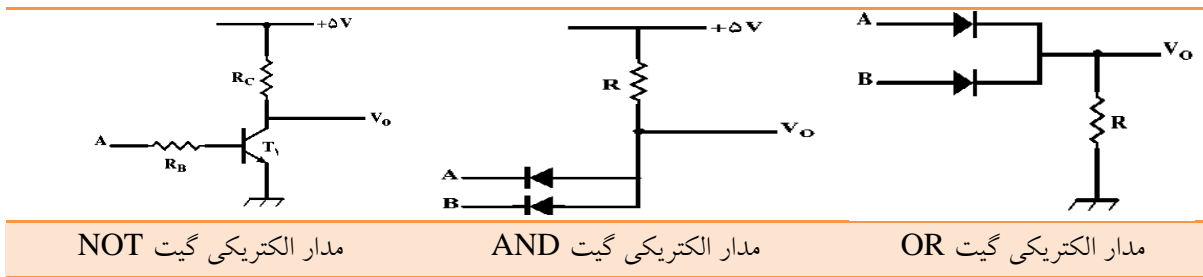
**گیت XNOR**

گیت XNOR یا گیت NOR انحصاری دارای دو ورودی و یک خروجی است و این گیت ورودی های مشابه را در خروجی ۱ می کند .

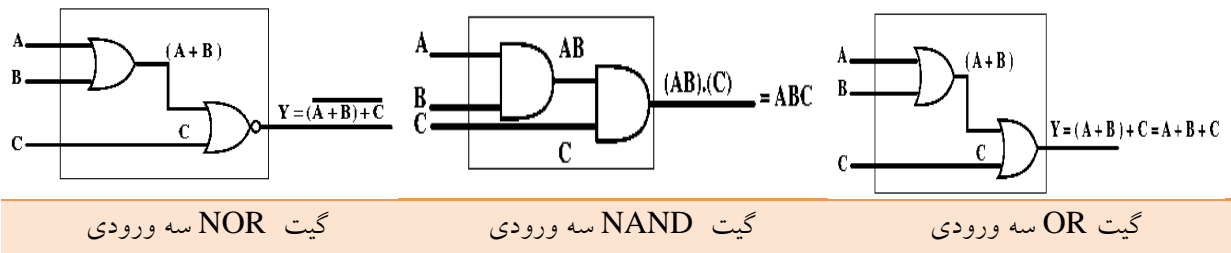
استاندارد انگلیسی		$Y = \bar{A}\bar{B} + AB$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1
A	B			Y														
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																
استاندارد آمریکایی																		
علامت اختصاری		عملکرد گیت XOR و تابع جبری	جدول صحت															



در زیر ساختمان داخلی برخی از دروازه های منطقی ترسیم شده است .

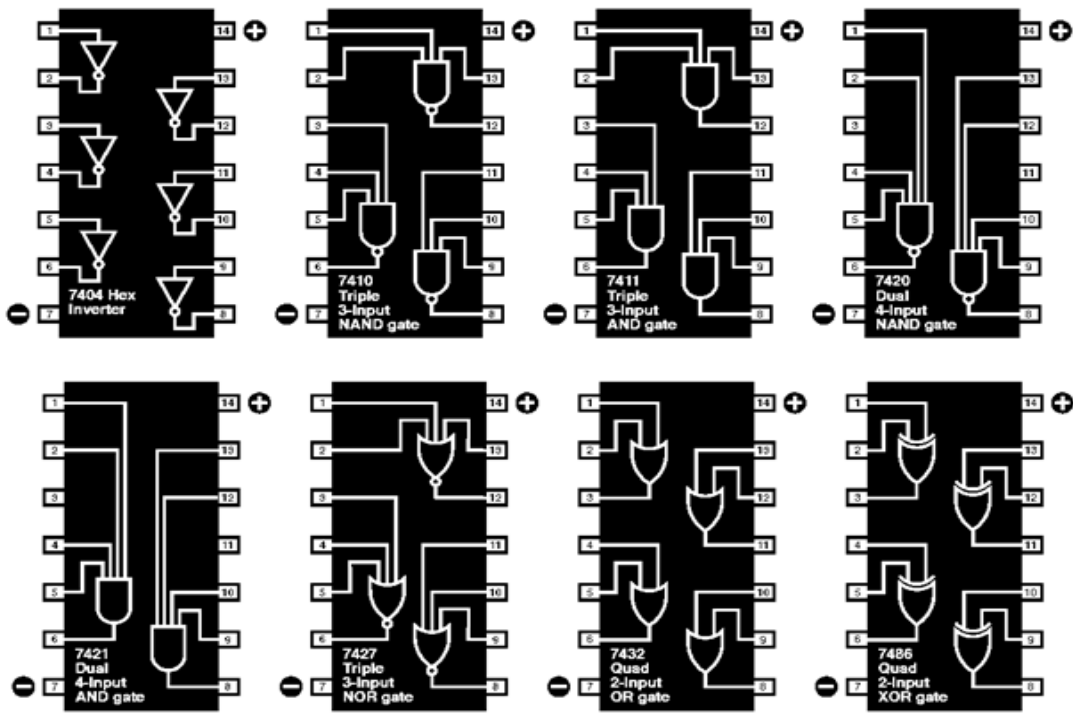


می توان تعداد ورودی های یک گیت را افزایش داد که در زیر نحوه افزایش تعداد ورودی های چند گیت مشهور آمده است .



### مدارهای مجتمع IC

گیت های منطقی در مجموعه های بسته بندی شده ای تحت عنوان مدارهای مجتمع ( Integrated Circuit ) که به اختصار آی سی IC خوانده می شوند ، ساخته می شوند . در زیر چند نمونه IC به همراه مدار داخلی آن ها ترسیم شده است .



منابع و مراجع

- کتاب درسی شاخه فنی حرفه ای و کارودانش وزارت آموزش و پرورش
- کارگاه برق مؤسسه ماهان
- ماشین های الکتریکی مؤسسه مدرسان شریف – مهندس رضا پژمانفر
- تأسیسات الکتریکی دکتر حسن کلهر
- مهندسی روشنایی دکتر حسن کلهر
- ماشین های الکتریکی مخصوص مهندس میثم رحمانی
- جزوه سنسورهای دیجیتال مهندس سید کریم طالبی ، شرکت قشم ولتاژ
- مجلات تخصصی رشته ی برق
- جزوات مدارس ، مراکز فنی حرفه ای و دانشگاه های مختلف
- جزوات آموزشی شرکت ره آوران فنون پتروشیمی
- سایت های اینترنتی در حد استفاده از تصویر ، نمودار و جدول
- کتاب خارجی تخصصی رشته برق در حد استفاده از تصویر
- کاتالوگ های شرکت های مختلف

