فصل دهم

طرح سیستم برق مراکز صنعتی

سیستم برق مراکز صنعتی به منظور تغذیه مصرف کننده‌هایی نظیر موتورهای برقی، کوره‌های برقی ، تاسیسات تجزیه الکتریکی و آبکاری، ماشینهای جوشکاری الکتریکی و غیره طرح ریزی می‌شود. در بیشتر مصارف صنعتی برق به صورت متناوب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در برخی کاربردها نظیر تجزیه الکتریکی و آبکاری از برق مستقیم استفاده به عمل می‌آید. برق متناوب غالبا در فرکانس ۵۰ سیکل بر ثانیه مورد استفاده قرار می‌گیرد لیکن در بعضی کاربردها نظیر کوره‌های القایی از فرکانس بالاتر تا حدود ۸۰۰۰ سیکل بر ثانیه استفاده به عمل می‌آید. ولتاژ مصرفی هم از ۳۸۰ ولت در بارهای کوچک تا ۱۱۰۰۰ ولت در بارهای بزرگ فرق می‌کند. در ابتدا نیروگاه‌های برقی در مجاورت یا در داخل کارخانه‌ها یا مراکز صنعتی بزرگ ساخته می‌شد. امروزه بیشتر نیروگاه‌ها در نقاطی که سوخت و منابع آبی موجود است و معمولا دور از مراکز مصرف هستند ساخته می شوند و انرژی برقی ارزان قیمت از طریق خطوط انتقال ولتاژ قوی به مراکز مصرف منتقل می‌گردد. در زمان حاضر هم با وجود استفاده از انرژی برقی شبکه، در غالب کارخانجات به دلایل زیر نیروگاه‌های کوچکی ساخته می شود:

الف- نیاز به انرژی اضطراری برای بارهای مهم

ب- نیاز به بخار آب برای احتیاجات حرارتی یا صنعتی.

پ- لزوم استفاده از گازهای سوختنی تولیدی درکارخانه

به طور کلی چه مواردی که از برق شبکه استفاده می شود و چه در مواردی که از نیروگاه اختصاصی استفاده به عمل می‌آید شبکه توزیع کارخانه باید طوری طرح ریزی شود که خصوصیات زیر را دارا باشد:

الف- انرژی قابل اطمینان به همه بارها برسد. میزان اطمینان لازم برای بارهای مختلف متفاوت است و بر این اساس بارها را به سه نوع مختلف تقسیم می‌کنیم. در بارهای نوع اول هر گونه قطع برق موجب به خطر افتادن جان کارکنان و وارد شدن صدمات به وسایل می گردد. در بارهای نوع دوم قطع برق موجب توقف خط تولید و وضایع شدن وقت کارگران می‌شود. بارهای کم اهمیت تر دیگر را بارهای نوع سوم می گوییم. بارهای نوع اول باید حداقل از طریق دو منبع مستقل تغذیه شوند تا در صورت قطع یک منبع، منبع دیگر به کار تغذیه ادامه دهد (منابعی مستقل نامیده می شوند که اختلال در یکی از آنها موجب اختلال در دیگری نشود.) بارهای نوع دوم ممکن است از دو منبع مستقل استفاده کنند. در تغذیه بارهای نوع سوم استفاده از دو خط کافی است.

ب- بهره برداری از دستگاه ها به سهولت ممکن باشد.

پ-سیستم توزیع کمترین هزینه اولیه را داشته باشد.

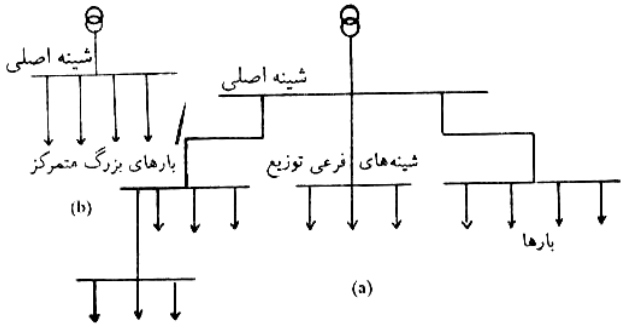
ت- سیستم کمترین هزینه تعمیراتی و تلفات انرژی را داشته باشد.

ث- سیستم به طور سریع قابل نصب و تکمیل باشد.

در این فصل سیستم برق مراکز صنعتی، محاسبات انشعابها و کنترل و حفاظت انشعابها را مورد توجه قرار می دهیم.

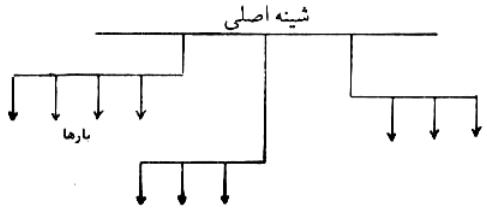
۱۰-۱-سیستم های توزیع برق در مراکز صنعتی

غالب مراکز صنعتی دارای پست یا پستهای خصوصی هستند که در آنها انرژی خریداری شده در ولتاژ بالا یا انرژی تولید شده به ولتاژ مصرفی تبدیل می شود. توزیع برق در مراکز صنعتی به دو صورت مختلف انجام می شود. در روش اول که به روش شعاعی معروف است و دو نوع آن در شکل ۱۰-۱ نشان داده شده است خطوط معمولاً به صورت کابل زیرزمینی از شینهای اصلی توزیع به مراکز بار کشیده می شود. خصوصیات مهم سیستم های شعاعی این است که خطوط تغذیه کننده در امتداد طول خود باری را تغذیه نمی کنند و تنها توان الکتریکی رابه مراکز بارها می رسانند و لذا برای تغذیه بارهای متمرکز مناسب هستند. در شکل (a) هر مرکز بار شامل بارهای متعدد کوچک یا متوسط است. در شکل (b) هر مرکز بار تنها دارای یک بار بزرگ است.



شکل ۱۰-۱: سیستم توزیع شعاعی

در روش دوم که به روش مداری معروف است و در شکل ۱۰-۲ نشان داده شده است خطوط از شینها کشیده می شوند و در امتداد طول خود بارها را تغذیه می کنند و بنابراین برای تغذیه بارهای غیر متمرکز مناسب هستند.



شکل ۱۰-۲: سیستم توزیع مداری

در مقایسه دو روش نتایج زیر گرفته می شود:

الف- هزینه سیستم های مداری به دلیل اینکه وسایل کنترل و حفاظت کمتری دارند از سیستم های شعاعی کمتر است.

ب- در سیستم های مداری می توان از روش های نوین سیم کشی مانند سیستم شینه ای که در فصل هشتم مورد بحث قرار گرفت استفاده نمود.

ج- سیستم مداری از اطمینان کمتری برخوردار است چون در صورت بروز اشکالی در هر نقطه مدار اصلی برق رسانی به بارهای دیگر غیر ممکن می شود.

لذا نتیجه می گیریم که سیستم های شعاعی از وسایل کنترل و حفاظت بیشتری استفاده می کنند، نصب آنها مدت بیشتری طول می کشد و هزینه بیشتری در بردارد لیکن از اطمینان بالاتری برخوردار است.

۱۰-۲- خصوصیات سیستم های توزیع برق در مراکز صنعتی

دو خصوصیت مهم سیستم های برقی ولتاژ و فرکانس آنهاست و لازم است برای عملکرد صحیح دستگاه ها ثابت نگاه داشته شوند. براساس مقررات تغییر ولتاژ برای مدارهای روشنایی چراغهای روشنایی نباید از۲/۵ درصد مقدار اسمی و در مورد موتورها از ۵± درصد مقدار اسمی متجاوز گردد. در چراغ های روشنایی ولتاژ کمتر از مقدار اسمی میزان روشنایی را خیلی کاهش می دهد و ولتاژهای بیشتر از مقدار اسمی عمر مفید آنها را کاهش می دهد. در مورد موتورها ولتاژهای کمتر از مقدار اسمی کوپل تولید شده موتورها را کاهش می دهد و ولتاژهای بالاتر سبب بالا رفتن فلوی مغناطیسی ماشین و افزایش تلفات حرارتی و کاهش عمر مفید موتورها می گردد. با اینکه در نیروگاه ها ولتاژ به طور اتوماتیک ثابت نگاه داشته می شود، به علت تغییر بار در کارخانه و تغییرات افت ولتاژ در خطوط انتقال و توزیع ولتاژ تغییر می کند. برای نگاه داشتن ولتاژ در محدوده مجاز از خازن های تصحیح ضریب قدرت یا تغییر دهنده های خودکار تعداد دورهای سیم پیچ در ترانسفورماتورهای توزیع ویا اتصال موازی مولد خصوصی کارخانه با شبکه توزیع استفاده می شود.

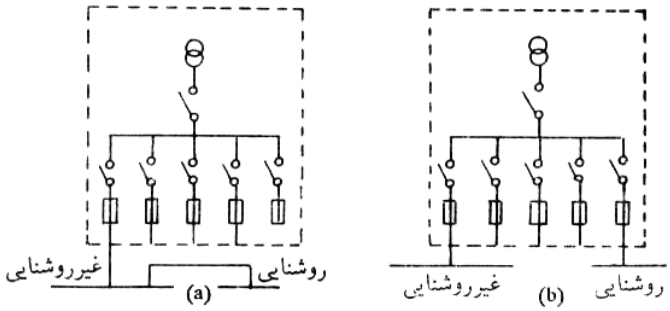
با این فرکانس در نیروگاهها به طور اتوماتیک کنترل می شود تغییرات ناگهانی بار موجب نوساناتی در فرکانس می شود. غالب مقررات تغییرات فرکانس را در حدود ۱± درصد و یا ۰/۵± سیکل بر ثانیه در فرکانس استاندارد ۵۰ مجاز می دانند. زیاد شدن فرکانس سبب کاهش فلوی مغناطیسی در موتورها و افزایش سرعت آنها می شود. کم شدن فرکانس موجب افزایش فلوی مغناطیسی و ازدیاد تلفات حرارتی می گردد.

۱۰-۳- بارهای روشنایی مراکز صنعتی

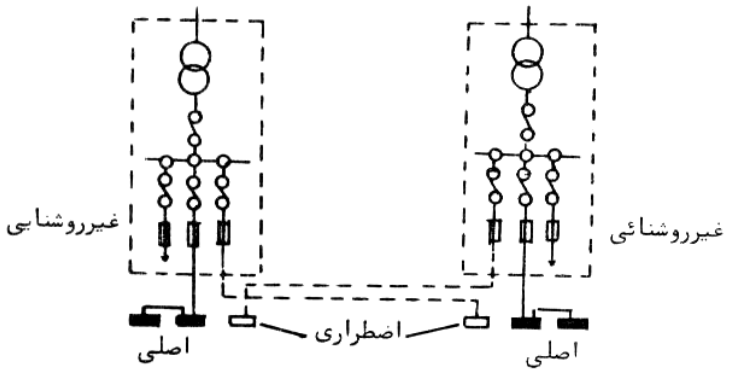
در مراکز صنعتی دو نوع بار روشنایی دیده می شود. یکی بار روشنایی اصلی که هدف آن تأمین رو شنایی لازم برای انجام کارها و عملیات است، دیگری بار روشنایی اضطراری که در صورت قطع روشنایی اصلی مورد استفاده قرار میگیرد و هدف آن تأمین روشنایی به طور موقت برای ادامه کارهای ضروری و یا تخلیه کارکنان از ساختمان هاست. بارهای روشنایی اصلی هم به دو دسته تقسیم می شوند؛ یکی روشنایی عمومی که هدف آن تأمین روشنایی در یک ناحیه نسبتاً بزرگ نظیر یک کارگاه یا یک انبار است و دیگری روشنایی موضعی که هدف آن ایجاد روشنایی در ناحیه کوچک نظیر محدوده یک ماشین تراش و یا اطراف چراغ های سیار می باشد. در بیشتر مراکز صنعتی نظیر خانه های مسکونی برای روشنایی از ولتاژ ۲۲۰ ولت استفاده به عمل می آید. باید توجه داشت که استفاده به عمل می آید. باید توجه داشت که استفاده از این ولتاژها تنها در مکانهای خشک و خنک بدون گرد و خاک و بخار آب که دارای کفهای غیر هادی و فاقد اجسام فلزی متصل به زمین باشند ممکن است، زیرا در این گونه مراکز خطر برق گرفتگی زیاد است و لازم است از ولتاژهای کم در حدود ۱۲ تا ۳۶ ولت استفاده شود که از طریق ترانسفورماتورهای مخصوص تأمین می شود. بارهای روشنایی موضعی چه ثابت و چه سیار به دلیل اینکه درست در محل کار قرار می گیرند و کارگرآن در حال کار به کرات با آنها تماس حاصل می کنند حتماً باید از ولتاژ کم استفاده کنند. در این موارد به دلایل امنیتی از ولتاژ بیشتر از ۳۶ ولت استفاده نمی شود. در چراغهای دستی که در مواقع بازسازی داخل دیگهای بخار و مخازن مورد استفاده قرار نمی گیرند عموماً از ولتاژ ۱۲ ولت استفاده به عمل می آید. برای تغذیه بارهای روشنایی می توان از مدارهای مخصوص که به این منظور از پست توزیع کشیده می شود استفاده کرد و یا تابلو روشنایی را از طریق خط تغذیه که بارهای صنعتی را تغذیه می کنند تغذیه نمود. درشکل ۱۰-۱۳ این دو روش تغذیه بارهای روشنایی نشان داده شده است. در شکل (a) بارهای روشنایی و غیر روشنایی از یک مدار تغذیه شده اند و در شکل (b) دو مدار مختلف برای این دو نوع بار در نظر گرفته شده است روش (a) ارزانتر تمام می شود لیکن در آن کاهش نور چراغها در موقع راه اندازی موتورهای بزرگ بیشتر است و ممکن است در مواردی غیر قابل قبول باشد درحالات کلی استفاده از روش (b) علی رغم هزینه بیشتر آن ارجح است . در مواردی که روشنایی از طریق ترانسفورماتورهای کاهنده تغذیه می شود این ترانسفورماتورها قبل از تابلو روشنایی مربوط قرار می گیرند .

قطع برق روشنایی و خاموشی کامل در مراکز صنعتی ممکن است ضایعاتی به بار آورد به این منظور چراغهای اضطراری به تعداد محدود در نقاطی که بروز حوادث محتمل است نصب می شوند روشنایی اضطراری از مدار مستقل و در صورت امکان از

ترانسفورماتور دیگری در پست اصلی که حکم یک منبع مستقل را دارد تامین می شود . این روز در شکل ۱۰-۴ نشان داده شده است پست نشان داده شده دارای دو ترانسفورماتور کاهنده است و روشنایی اصلی و اضطراری هر قسمت ، از ترانسفورماتورهای مختلف گرفته شده است .



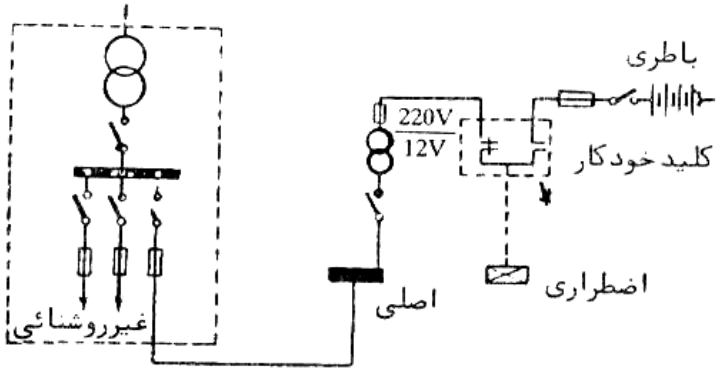
شکل ۱۰ ـ ۳ : دو روش تغذیه مدارهای روشنایی



شکل ۱۰ ـ ۴ : تغذیه مدارهای روشنایی اضطراری

در مواردی که احتمال قطع همزمان دو ترانسفورماتور وجود داشته باشد و روشنایی اضطراری هم ضرورت داشته باشد که از یک سیستم جریان مستقیم استفاده می شود که در صورت قطع برق به طور خودکار مدار روشنایی اضطرارای را می بندد (شکل ۱۰-۵)

کلید دو راهه نشان داده که در شکل ۱۰-۵ در عمل یک کلید خودکار است ، در صورت قطع برق متناوب بسته می شود و روشنایی اضطراری را از باطریها تغذیه می کند .



شکل ۱۰ ـ ۵ : روشنایی اضطراری با استفاده از جریان مستقیم و متناوب

۱۰-۳- ۱- تعیین میزان با روشنایی

میزان بار روشنایی را می توان با انجام محاسبات روشنایی به طور دقیق تعیین کرد میزان روشنایی لازم بسته به نوع و ظرافت فعالیت صنعتی از حدود ۳۰۰ تا ۱۰۰۰۰ لوکس متغیر است . ارقام کوچک برای کار غیر ظریف روی قطعات بزرگ و ارقام خیلی بزرگ برای بخشهای بازرسی و کنترل کیفیت مصنوعات ظریف مثل پارچه هاست . با توجه به اینکه لامپهای التهابی به ازاء هر وات در حدود ۲۰ لومن توان نوری تولید می کنند ارقام فوق در حدود ۱۵ تا ۱۳۳۰ وات بر متر مربع می شود به علت راندمان نوری بالاتر (حدود ۸۰ لومن بر وات در لامپهای فلورسنت و حدود ۱۲۰ لومن بر وات در لامپهای سدیم) در استفاده از لامپهای فلورسنت $\frac{1}{4}$ و در مورد لامپهای سدیم $\frac{1}{6}$ توانهای ذکر شده در بالا کافی است .

مثال ۱۰-۱

در کارگاه سیم پیچی یک کارخانه سازنده وسایل برقی ، روشنایی لازم ۱۲۰۰ لوکس است و چراغهای التهابی مورد استفاده می باشد ابعاد کارگاه ۱۰×۲۰ متر است میزان توان برای تامین روشنایی لازم چقدر است ؟

$$۲۰×۱۰=۲۰۰$$

$$۲۰۰×۱۲۰۰=۲۴۰،۰۰۰$$

با فرض راندمان نوری ۲۰ لومن بر وات توان لازم چنین است .

$$۲۴۰،۰۰۰÷۲۰=۱۲۰۰۰ \qquad w=۱۲\ Kw$$

۱۰-۳-۲- تعیین تعداد انشعابهای روشنایی

هر انشعاب روشنایی را برای جریان در حدود ۱۰ آمپر یا ۶ آمپر طرح ریزی می کنیم در این حالات به ترتیب از سیمهای استاندارد ۱/۵ و ۲/۵ در لوله استفاده می کنیم مقررات تغذیه بیش از ۲۰ چراغ را از یک انشعاب جایز نمی دانند تا در صورت قطع یک فیوز قسمت بزرگی از ساختمان در تاریکی فرو نرود . بر ای اساس ملاحظه می کنید که در مراکز صنعتی تعداد مدارهای روشنایی خیلی زیاد است . برای جلوگیری از افت ولتاژ زیاد ، تابلوهای توزیع روشنایی متعددی در تقاط مختلف کارگاهها قرار می دهیم این تابلوهای توزیع را در مرکز نقل بار قسمت مربوط نصب می کنیم تابلوهای توزیع تک فاز می توانند محوطه ای به شعاع حدود ۲۵ متر و تابلوهای سه فاز می توانند محوطه ای به شعاع حدود ۷۵ متر را بدون افزایش افت ولتاژ از حد مجاز تغذیه کنند .

مثال ۱۰-۲

تعداد انشعابهای و تابلوهای توزیع لازم را در مثال ۱۰-۱ تعیین کنید .

$$۱۲۰۰۰÷۲۲۰ = ۵۴۵\ Amp$$

تعداد انشعابها $۵۴/۵÷۱۶\approx۴$

فاصله هیچ نقطه کارگاه از دورترین نقطه ممکنه بیش از ۲۵ متر نیست و لذا یک تابلو توزیع لازم است .

۱۰-۳-۳- کنترل انشعابهای روشنایی

انشعابهای روشنایی طوری انتخاب می شوند که هر کدام چراغهای قسمت معینی از کارگاه را روشن یا خاموش کنند و روشنایی قسمتهای مختلف روی یک انشعاب قرار داده نمی شود . در این موارد جهت کنترل چراغها از کلیدهایی که در تابلوی توزیع انشعابها قرار می دهیم استفاده می کنیم و هر کلید یک انشعاب را قطع یا وصل می کند در مواردی که تغذیه چراغهای قسمت معینی از کارگاه را روشن یا خاموش کنند و روشنایی قسمتهای مختلف روی یک انشعاب قرار داده نمی شود در این موارد جهت کنترل چراغها از کلیدهایی که در تابلوی توزیع انشعابها قرار می دهیم استفاده می کنیم و هر کلید یک انشعاب را قطع یا وصل می کند در

مواردیکه تغذیه چراغهای قسمتهای مختلف از طریق یک انشعاب ضروری باشد کلید کنترل هر قسمت را نزدیک درب ورودی آن قسمت قرار می دهیم کلیدها بسته به مداری که کنترل می کنند یک قطبی یا سه قطبی انتخاب می شوند .

۱۰-۳-۴-حفاظت انشعابهای روشنایی

برای حفاظت مدارهای روشنایی مراکز صنعتی از فیوزها یا دیژنکتورهای مینیاتوری استافده می کنیم و آنها را در تابلو توزیع انشعابها قرار می دهیم . در صورتی که سیم انشعاب ۲/۵ انتخاب شده باشد از وسیله حفاظتی ۱۶ آمپری و در موارد نادری که سیم ۱/۵ انتخاب شده باشد از وسیله حفاظتی ۱۰ آمپری استفاده می کنیم.

۱۰-۴- بارهای غیر روشنایی (صنعتی) در مراکز صنعتی

بارهای برقی صنعتی از چند گروه تشکیل می شوند :

دسته اول موتورهای برقی که کمپرسورهای ،پنکه ها ونتیلاتورها و تلمبه ها را می گردانند می باشند . در این موارد به علت قیمت نسبتاً ارزان و نیازهای تعمراتی کم و تغییرات سرعت کم با تغییرات بار ، غالباض موتورهای القایی سه فاز انتخاب می شوند که با برق ۵۰ سیکل و ولتاژی از ۳۸۰ ولت در موتورهای کوچک تا ۱۱ کیلو ولت در موتورهای بزرگ کار می کنند ضریب قدرت این موتورهای در حدود ۰/۸۵ است به ندرت برای ضریب قدرت بهتر از موتورهای سنکرون که گرانتر هستند استفاده به عمل می آید .

دسته دوم موتورهایی است که وسایل بالابرنده (جراثقال) و تسمه های نقاله را به حرکت در می آورند در سالیان گذشته در این موارد از موتورهای جریان مستقیم که کنترل سرعت آنها به سهولت ممکن است استفاده به عمل می آمد لیکن امروزه با پیدایش روشهای مناسبی برای کنترل سرعت موتورهای القایی این موتورهای رفته رفته جانشین موتورهای جریان مستقیم گردیده اند .

دسته سوم موتورهای گرداننده ابزار برقی و وسایل کار مانند انواع مته ها و ماشینهای تراش و غیره است که از نظر تعداد بسیار با اهمیت است این موتورها غالباً از برق ۵۰ سیکل ۳۸۰ ولت تغذیه می شوند .

دسته چهارم بارهای برقی صنعتی مثل کوره های برقی و کوره های القایی هستند که برای ذوب فلزات به کار گرفته می شود و مصرف کننده های خیلی بزرگی به شمار می آیند در کوره های برقی از فرکانس استاندارد ۵۰ سیکل و در کوره های القایی از فرکانسهای زیاد تا حدود ۱۰ کیلو سیکل استفاده به عمل می آید که توسط مولدهای مخصوصی تولید می شود ضریب قدرت کوره های برقی در حدود ۰/۹ است و در کوره های القایی تا حدود ۰/۷ پایین می آید بارهای دیگر با اهمیت ماشینهای جوشکاری ، برش و پرس و غیره است که غالباً از برق ۵۰ سیکل ۳۸۰ ولت استفاده می کنند .

۱۰-۴-۱- تعیین میزان بار صنعتی

به طوری که در بالا دیدیم بیشتر بارهای برقی صنعتی را موتورها تشکیل می دهند در انتخاب موتور برقی برای انجام یک کار معین پیوسته به علل اقتصادی سعی بر این است که کوچکترین موتور ممکنه که قادر به انجام مورد نظر است انتخاب شود . موتور بزرگتر همین کار را انجام می دهد لیکن به علت قیمت بیشتر اقتصادی نمی باشد . حداکثر کاری که یک موتور می تواند انجام دهد و یا ظرفیت یک موتور برقی را درجه حرارت آن در حین کار معین می کند در صورتی که از موتوری بیشتر از ظرفیت آن کار گرفته شود تلفات حرارتی آن افزایش می یابد و با بالا رفتن درجه حرارت آن از حد مجاز موجب خرابی عایق بندی آن و بالاخره سوختن موتور می شود . در صورتی که بار مکانیکی ثابت باشد موتوری به ظرفیت اسمی برابر میزان بار انتخاب می شود .

برای مثال تلمبه ای را در نظر بگیرید که باید Q متر مکعب از مایعی به وزن مخصوص ۲ کیلوگرم بر متر مکعب را در هر ثانیه به ارتفاع h متر تلمبه کند توان مکانیکی لازم از این قرار است :

$$p = \gamma Q h \quad \text{kgm/sec}$$

$$= 9.81 \gamma Q h \quad Nm/sec$$

$$\frac{\gamma O h}{101.94} \; KW$$

در صورتی که راندمان تلمبه را برابر π فرض کنیم ظرفیت موتور لازم از این قرار است :

$$p = \frac{\gamma O h}{101.94 \eta} \qquad (۱-۱۰)$$

مثال ۱۰-۳

یک الکتروپمپ ۱ متر مکعب نفت را در هر ثانیه تلمبه می کند اختلاف سطح لازم با احتساب اصطکاک لوله ها برابر ۵۰ متر است . وزن مخصوص نفت ۸۷۰ کیلوگرم بر متر مکعب است راندمان تلمبه را ۰/۹ فرض و ظرفیت موتور را محاسبه کنید .

با استفاده از (۱-۱۰) $p = \frac{870 \times 1 \times 50}{101.94 \times 0.9} = 474.15 \; kw$

در صورتی که بار پیوسته برقرار باشد لیکن با زمان تغییراتی داشته باشد انتخاب موتور بر اساس حداکثر بار ممکن است لیکن گرآن تمام می شود و بهتر است موتور براساس بار معادل انتخاب شود . اگر توان بار در مدت زمان t_1 برابر p_1 و در مدت زمان t_2 برابر p_2 باشد توان معادل چنین است

$$p_{eq} = \sqrt{\frac{p_1 t_1 + p_2 t_2}{t_1 + t_2}} \qquad (۲-۱۰)$$

البته در این روش انتخاب فرض بر این است که موتور برای مدت کوتاه می تواند باری بیشتر از ظرفیت خود حمل کند در صورتی که به جای دو وضعیت بار حالات متعدد تغییر بار داشته باشیم معادله بالا را به سهولت تعمیم می دهیم .

مثال ۱۰-۴

یک موتور القایی انتخاب کنید که بار متغیری را در سرعت ۷۳۰ دور در دقیقه بگرداند میزان کوپل به مدت ۱۰ ثانله برابر ۴۱ کیلوگرم متر (۴۱×۹/۸۱ نیوتن متر) و برای ۳۰ ثانیه بعدی ۲۸/۱۶ کیلوگرم و در ۴۶ ثانیه اخر ۸ کیلوگرم متر است و این سیکل مرتباً تکرار می شود .

$$T_{eq} = \sqrt{\frac{(41)^2 \times 10 + (28.16)^2 \times 30 + (8)^2 \times 46}{10 + 30 + 46}} = 22.50 \; kgm$$

حال باید دید که آیا این موتور با کوپل اسمی ۲۲/۵ کیلوگرم متر قادر به ایجاد کوپل ۴۱ کیلوگرم متر می باشد در بسیاری موتورهای القایی نسبت کوپل حداکثر قابل تولید به کوپل اسمی برابر ۱/۷ است

بنابراین کوپل اسمی چنین است :

$$T_r = \frac{41}{1.7} = 24.12$$

که قدری بزرگتر از مقدار معادل محاسبه شده است و لذا این مقدار انتخاب می شود بر این اساس ظرفیت موتور از این قرار می شود :

$$P_r = (24.12 \times 9.81)\left(\frac{730 \times 2\pi}{60}\right) = 18 \text{ kw}$$

در بارهای نظیر جراثقال بار به مقدار p_1 برای مدت کوتاه t_1 برقرار است سپس برای مدتی برداشته می شود و موتور برای مدت t_{c1} قطع می شود و سپس بار با میزان p_2 برای مدت t_2 وارد می شود و سپس بار برداشته و موتور برای مدت t_2 وار می شود و سپس بار برداشته و موتور برای مدت t_{c2} قطع می گردد و این سیکل همچنآن تکرار می شود . در این صورت توان معادل برای کار غیر مداوم را مطابق رابطه زیر معین می کنیم .

$$p_{eq} = \sqrt{\frac{p_1 t_1 + p_2 t_2}{t_1 + tc_1 + t_2 + tc_2}} \qquad (۳-۱۰)$$

$$p_{eq} = \sqrt{\frac{p_1 t_1 + p_2 t_2}{t_1 + t_2}} \cdot \sqrt{\frac{t_1 + t_2}{t_1 + tc_1 + t_2 + tc_2}}$$

و یا

و با استفاده از تعاریف زیر برای توان معادل برای کار مداوم $P_{eq,id}$ و نسبت برقراری $\in$

$$P_{eq,id} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2}{t_1 + t_2}} \qquad (۴-۱۰)$$

$$\in = \frac{t_1 + t_2}{t_1 + tc_1 + t_2 + tc_2} \qquad (۵-۱۰)$$

رابطه بالا چنین می شود

$$p_{eq} = p_{eq,id}\sqrt{\in}$$

ظرفیت موتورهای برای کار غیر مداوم بر حسب $p_{eq,id}$و$\in$ معین می شود و این مقادیر در تابلو مشخصات موتورهای درج می شود این گونه موتورها را برای مقادیر استاندارد $\in$ و $p_{eq,id}$ می سازند .

تعیین جریان موتور به منظور انتخاب اندازه انشعاب مطابق روشهای فصل ششم انجام می شود در استاندارد امریکایی با توجه به بار اضافی که موتورگاه به گاه حمل می کند ظرفیت سیم انشعاب را ۱/۲۵ برابر اسمی موتور اختیار می کنند

مثال ۱۰-۵

یک موتور القایی مناسب برای حمل بار غیر مداوم تناوبی زیر انتخاب کنید .

P_1 برابر ۳۵ کیلو وات به مدت ۳ ثانیه

P_2 برابر ۱۷ کیلو وات به مدت ۲۰ ثانیه

توقف به مدت ۲۰ ثانیه

P_3 برابر ۳۵ کیلووات به مدت ۲ ثانیه

P_4 برابر ۱۳ کیلو وات به مدت ۱۵ ثانیه

توقف به مدت ۴۰ ثانیه

$$p_{eq,id} = \sqrt{\frac{35^2 \times 3 + 17^2 \times 20 + 35^2 \times 2 + 13^2 \times 15}{3 + 2 + 2 + 15}} = 19\,kw$$

$$\in = \frac{3 + 20 + 2 + 15}{3 + 20 + 20 + 2 + 15 + 40} = 0.4$$

بنابراین موتوری با توان اسمی ۱۹ کیلو وات و نسبت برقراری بار ۰/۴ انتخاب می کنیم که بار معادل مداوم آن به شرح زیر می شود .

$$P_{eq}=19\sqrt{0.4}=12\ \text{kw}$$

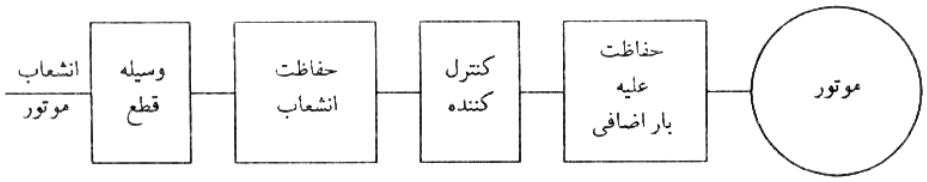
میزان بارهای دیگر مثل کوره های حرارتی را براساس میزان حرارت مورد نیاز محاسبه می کنیم.

۱۰-۴-۲- تعداد انشعابها برای بارهای صنعتی

بیشتر ضوابط توصیه می یکنند که برای تغذیه هر موتور و یا هر وسیله صنعتی دیگر از یک انشعاب اختصاصی استفاده به عمل آید در صورتی که بیش از یک موتور یا وسیله برقی در نقطه ای مستقر باشد یک مدار تغذیه کننده (مداری که در بین راه هیچ وسیله ای را تغذیه نمی کند) به تابلو توزیعی در محل آورده می شود و از آنجا انشعابهای اختصاصی برای هر موتور یا وسیله برقی گرفته می شود . البته قرار دادن بیش از یک موتور یا وسیله برقی روی یک انشعاب در مورد موتورهای کوچک براساس بسیاری از استانداردها مجاز بوده و تابع مقررات مخصوص به خود می باشد .

۱۰-۴-۳- کنترل انشعابهای موتورهای

وسایل کنترل و حفاظت هر انشعاب موتور در شکل ۱۰-۶ نشان داده شده است



شکل ۱۰ ـ ۶ : وسایل کنترل و حفاظت انشعاب موتور

به طوری که ملاحظه می کنید دو وسیله کنترل یکی قطع کننده و دیگری کنترل کننده به کار گرفته شده‌اند. وظیفه وسیله قطع کننده قطع کامل برق از مدار است به طوری که کار تعمیر روی موتور یا وسیله گردانده شده، وسایل حفاظتی و یا کنترولر را امکان پذیر نماید. این وسیله باید دارای ظرفیت کافی برای حمل جریان موتور در حین کار باشد و باید بتواند همه سیمهایی را که زمین نشده‌اند به طور همزمان قطع کند. این وسیله باید از محل استقرار موتور قابل رویت باشد و باز یا بسته بودن آن مشخص باشد. در غیر این صورت باید بتوان آن را در وضعیت باز قفل نمود.

کنترولر عمل روشن کردن، خاموش کردن یا معکوس نمودن جهت گردش موتور را انجام می‌دهد. این وسیله می‌تواند دستی یا خودکار عمل کند. این وسیله باید ظرفیتی برابر ظرفیت موتور داشته باشد و تنها تعدادی از سیمها را که برای انجام عمل لازم است قطع یا وصل کند.

در برخی شرایط قطع کننده و کنترولر را در یک وسیله مجتمع می‌کنیم.

۱۰-۴-۴- حفاظت انشعابهای موتورها

به طوری که در شکل ۱۰-۶ نشان داده شده است وسایل حفاظت مدار انشعابهای موتورها شامل دو وسیله است؛ یکی وسیله حفاظت انشعاب که کارش حفاظت سیمها، کنترولر و موتور علیه جریانهای اتصال کوتاه است، دیگری حفاظت علیه بار اضافی که کار حفاظت موتور کنترولر وسیله قطع سیمها را علیه بارهای اضافی عهده دار است. همچنین در صورتی که موتور قادر به شروع به گردش نباشد این وسیله سبب قطع برق موتور می‌گردد لیکن در موارد اتصال کوتاه نقشی ایفا نمی‌کند.

برای این که وسیله حفاظت انشعاب به بهترین وجه عمل کند کوچکترین اندازه ممکنه را برای‌آن انتخاب می‌کنیم. این وسیله باید جریان اسمی موتور و جریان در لحظه راه اندازی که در موتورهای القایی ۵ تا ۷ برابر اسمی است را برای مدت کوتاه تحمل کند و در صورت اتصال کوتاه در مدت کوتاهی عمل کرده مدار را قطع نماید. برای این کار از فیوزهای معمولی، فیوزهای تاخیری و کلید با قطع خودکار استفاده می شود که ظرفیت آنها مطابق جدول زیر انتخاب می‌شوند.

جدول ۱۰ ـ ۱ : اندازه وسایل حفاظتی انشعاب موتورها

وسیله حفاظت	درصد جریان اسمی	حداکثر ممکنه
فیوز معمولی	۱۵۰ تا ۳۰۰	۴۰۰
فیوز تأخیری	۱۵۰ تا ۱۷۵	۲۲۵
کلید با قطع خودکار	۱۵۰ تا ۲۵۰	۴۰۰

مقادیر کوچکتر برای موتورهای بزرگ و مقادیر بزرگتر در مورد موتورهای خیلی کوچک به کار می‌رود. در صورتی که وسایلی که به این صورت انتخاب می‌شوند قادر به تحمل جریان شروع (راه اندازی) نباشند این مقادیر را بزرگتر انتخاب می‌کنیم به طوری که از مقادیر حداکثر قید شده در جدول متجاوز نگردد. وسیله حفاظت علیه بار اضافی باید طوری عمل کند که هیچ گونه آسیبی به موتور و دیگر وسایل وارد نشود. بسیاری از موتورهای امروزی به وسیله حفاظت حرارتی مجهز هستند که در صورت افزایش درجه حرارت از حد مجاز سبب قطع موتور می‌گردد. این وسایل به وسایل خارجی دیگر نظیر فیوزها و کلیدها با قطع خودکار ارجح هستند زیرا در صورت گرم شدن حرارت محیط هم حفاظت موتور را تامین می‌کنند.در موتورهایی که به این وسیله مجهز نیستند از فیوزها یا کلید ها با قطع خودکار استفاده می‌شود که در صورت افزایش جریان از حد معین مدار را سریعا قطع کنند. به طوری که در فصل هفتم دیدیم این دو وسیله حفاظتی را می‌توان در یک کلید با قطع خودکار مجهز به رله حرارتی و مغناطیسی ترکیب نمود.

در بسیاری موارد برخی از این وسایل کنترل و حفاظت را با هم ترکیب می کنند مثلا معمولا برای موتورهای از راه اندازهایی استفاده می شود که وظایف کنترل و حفاظت علیه بار اضافی را انجام می‌دهد. این وسایل بر دو گونه هستند دستی و مغناطیسی که مغناطیسی آن برای کنترل اتوماتیک و کنترل از راه دور بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در نوع دستی با فشار دادن دکمه وصل یا قطع اهرمهای مکانیکی سبب وصل یا قطع مدار می گردند. در نوع مغناطیسی فشار بر دکمه وصل یا قطع سبب برقراری میدان مغناطیسی و جذب دسته آهنی می‌گردد که باعث وصل یا قطع مدار می‌شود. این وسایل از یک کنتاکتور مغناطیسی مجهز به وسیله حفاظت علیه جریان اضافی ساخته می‌شود.

این وسایل و بعضی مدارهای برقی مهم مربوط به آنها را در قسمت بعد می‌بینیم.

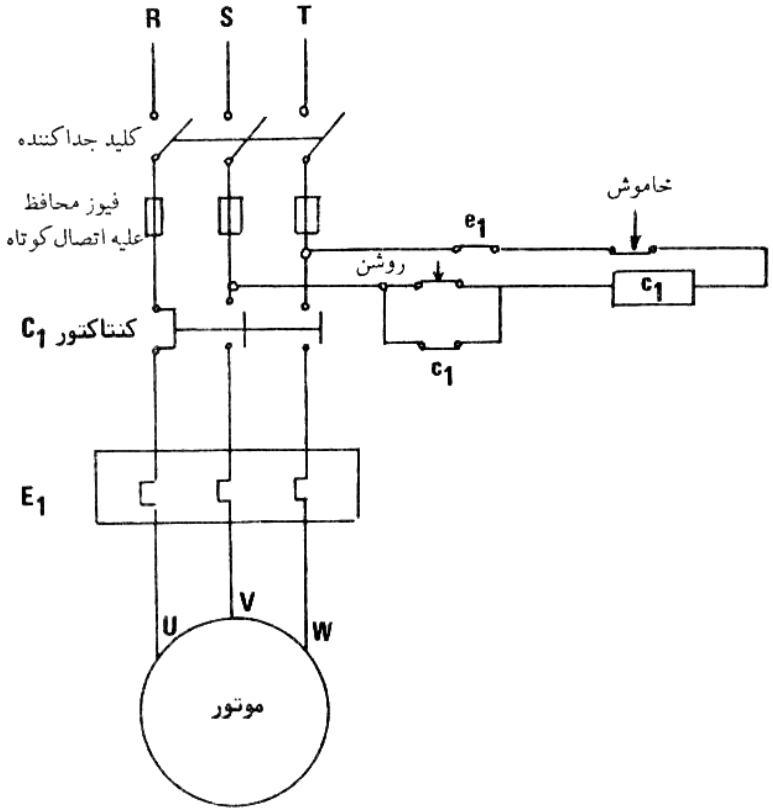
۱۰-۵- مدارهای فرمان موتورها

مدارهای فرمان، عملیات راه اندازی، تنظیم نحوه کار و متوقف یا قطع نمودن موتورها و دیگر بارهای صنعتی را به عهده دارند. طرز کار و سیم کشی این مدارها به وسیله نقشه‌های برقی نشان می‌دهیم.

نقشه‌های برقی مدارهای فرمان موتورها معمولا به دو صورت مختلف کشیده می‌شوند. در نوع اول که نقشه شماتیک نامیده می‌شود هدف نشان دادن ترتیب کار هر یک از اجزاء مدار به منظور درک آسان طرز کار مدار است. در این نقشه‌ها توجهی به محل استقرار اجزاء مدار نمی‌شود. نقشه‌های نوع دیگر که نقشه سیم کشی نامیده می‌شوند برای انجام کار سیم کشی ترسیم می‌شوند که هر دستگاه یا وسیله را در محل حقیقی خود نشان می‌دهند و در آنها اتصال بین دستگاه‌ها دقیقا نشان داده می شود. در ذیل برخی از مدارهای معمول را بررسی می‌نماییم و نقشه‌های لازم را ترسیم می‌کنیم.

۱۰-۵-۱- مدار فرمان راه اندازی موتور القایی سه فاز از یک یا چند محل

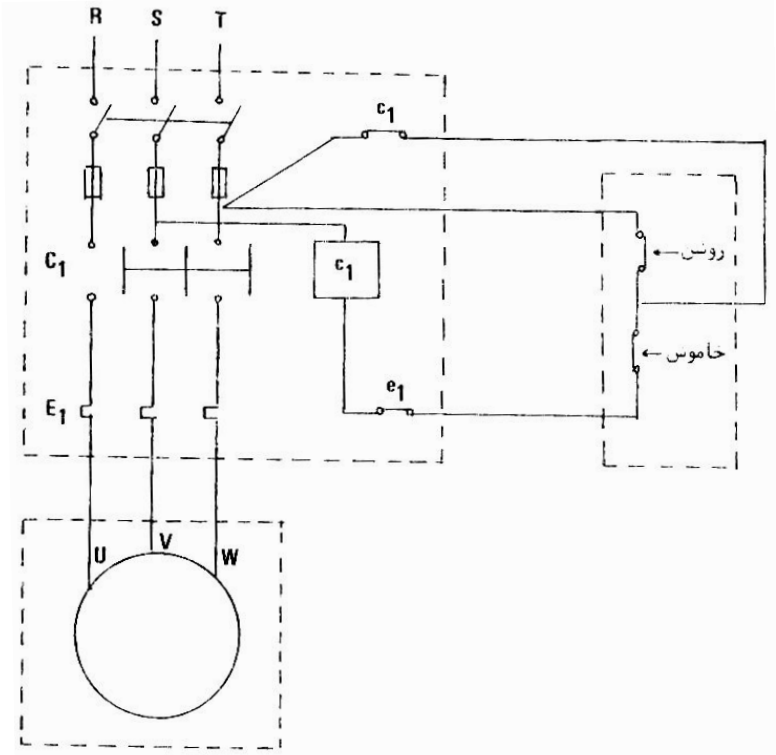
موتورهای القایی کوچک عموما با رتور قفسی ساخته می‌شوند و در راه اندازی مستقیما به منبع اغذیه ۳۸۰ ولت متصل می‌گردند. نقشه شماتیک مدار کنترل به صورت زیر است:



ملاحظه می کنید که مدار سه فاز از طریق کلید جدا کننده، فیوز محافظ علیه اتصال کوتاه کنتاکتور C_1 و رله حرارتی حفاظت علیه بار اضافی E_1 موتور را تغذیه می‌کند که مدار اصلی تغذیه محسوب می‌شود و با خط ضخیم ترسیم شده است و بقیه مدار که با خط نازک کشیده شده است مربوط به کنترل می‌باشد. در این شکل مدار کنترل از دو فاز تغذیه می‌شود و در برخی مدارهای کنترل از فاز و نوترال استفاده می‌شود.

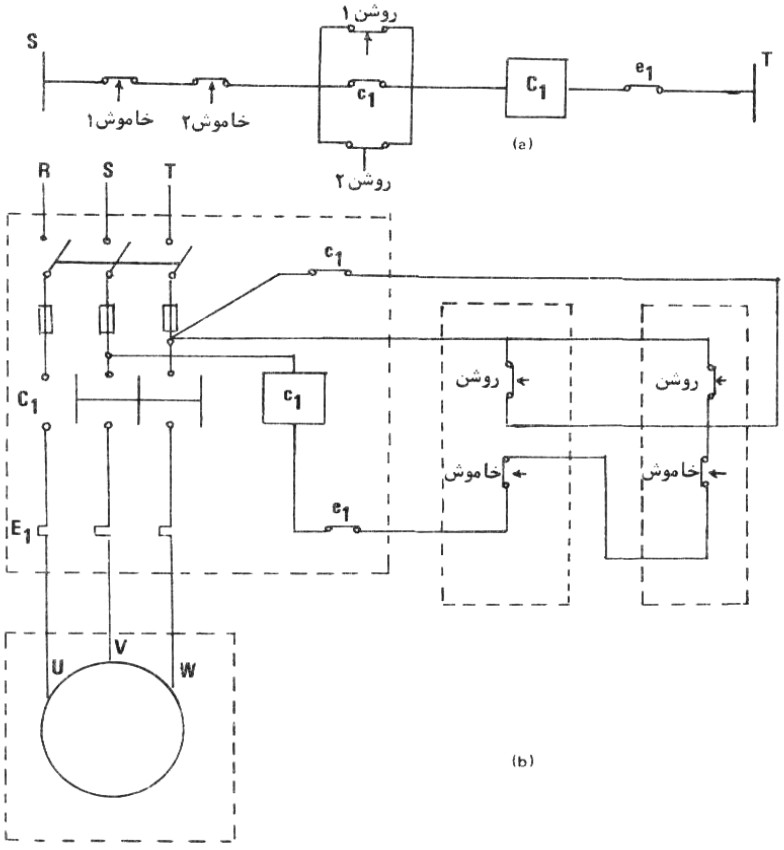
برای راه اندازی موتور دکمه روشن یا شروع (استارت) را فشار می‌دهیم و به این ترتیب سیم پیچ کنتاکتور C_1 تحریک می‌شود و کنتاکتور C_1 بسته می‌شود و موتور شروع به گردش می‌کند. پس از برداشتن انگشت از دکمه استارت این کلید باز می‌شود ولی مدار از طریق کنتاکت فرعی یا نگهدارنده C_1 که با بسته شدن کنتاکتور بسته شده است برقرار می‌ماند. در صورتی که در حین کار موتور جریان اضافی بکشد رله حرارتی E_1 عمل می‌کند و کنتاکت e_1 را باز می‌نماید که سبب قطع تحریک C_1 می‌شود و کنتاکتور باز می‌شود و موتور می‌ایستد.

همچنین در حین کار در صورت لزوم با فشار بر دکمه خاموش یا توقف (استاپ) تحریک C_1 را قطع و موتور را متوقف می‌کنیم. در صورت قطع برق C_1 باز می‌شود و پس از بازگشت برق کنتاکتور خود به خود بسته نمی‌شود و موتور به طور غیر منتظره شروع به کار نمی‌کند که مانع وقوع بسیاری خطرات می‌گردد. در شکل ۱۰-۷ ملاحظه می‌کنید که کنتاکتور C_1 داراس سه کنتاکت اصلی است که مدار موتور را وصل یا قطع می‌کند و یک کنتاکت فرعی دارد که در مدار کنترل است. مطابق قرار داد در نقشه‌های برقی همه کنتاکتها را در حالتی که کنتاکتور بدون تحریک است ترسیم می‌کنیم که می‌توانند کنتاکتهای باز یا بسته باشند. به کنتاکتهایی که در زمان بدون تحریک بودن کنتاکتور بسته‌اند کنتاکتهای «معمولا بسته» و به کنتاکتهایی که در زمان بدون تحریک بودن کنتاکتور باز هستند کنتاکتهای «معمولا باز» گفته می‌شود. نقشه سیم کشی مربوط در شکل ۱۰-۸ نشان داده شده است. به طوری که ملاحظه می‌کنید نقشه دارای سه قسمت مجزاست که در داخل سه مستطیل نقطه چین نشان داده شده‌اند. این سه قسمت می‌توانند در مکانهای مختلف قرار داشته باشند ولازم است سیم کشی لازم بین آنها انجام شود. بین تابلو و موتور یک کابل سه رشته‌ای کشیده می‌شود که جریان موتور را حمل می‌کند. بین تابلو و ایستگاه روشن و خاموش کردن سه رشته سیم برای کنترل کشیده شده است. در بسیاری موارد تابلو توزیع اصلی در پست توزیع قرار دارد که می‌تواند تا موتور فاصله قابل ملاحظه داشته باشد و ایستگاه روشن و خاموش کردن در محل موتور قرار دارد.



شکل ۱۰ ـ ۸ : نقشه سیم‌کشی کنترل موتور القایی سه‌فاز از یک محل

در صورتی که کنترل موتور از دو محل مثلا از محل تابلو و محل موتور مورد نظر باشد دو دکمه استارت را به طور موازی و دو دکمه استاپ را به صورت متوالی متصل می‌کنیم. نقشه شماتیک قسمت کنترل در این حالت مطابق شکل ۱۰-۹ (a) و نقشه سیم کشی مربوط مطابق شکل (۱۰-۹)(b) می‌باشد.

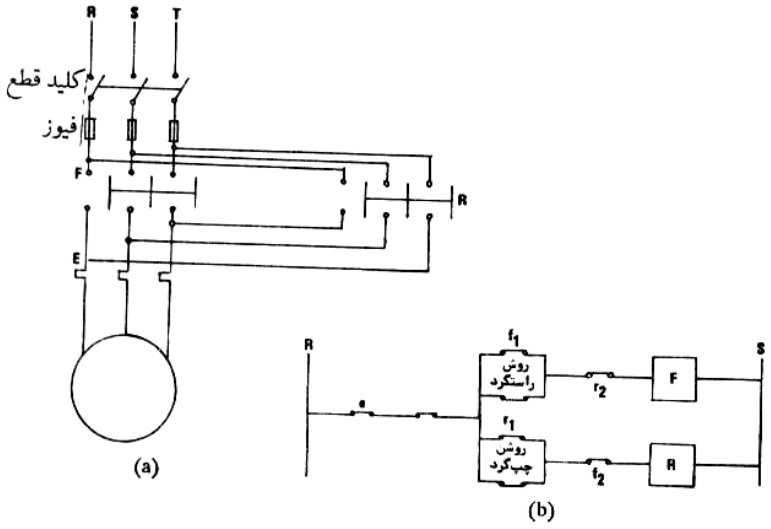


شکل ۱۰ ـ ۹ : کنترل موتور القایی سه‌فاز، (a) شماتیک، (b) سیم‌کشی کامل

ملاحظه می‌کنید که با فشار بر هر دکمه روشن، موتور شروع به کار می‌کند و با فشار بر هر دکمه خاموش، موتور از گردش باز می‌ایستد.

۲۰-۵-۲- مدار فرمان موتور القایی سه فاز چپ گرد و یا راست گرد

در برخی مواقع لازم است موتور گاهی از یک طرف و زمانی از طرف دیگر گردش کند. این کار با استفاده از دو کنتاکتور مطابق شکل ۱۰-۱۰ انجام می‌شود.



شکل ۱۰ ـ ۱۰ : شماتیک مدار راه‌اندازی موتور دو جهت گرد،
(a) مدار قدرت، (b) مدار کنترل

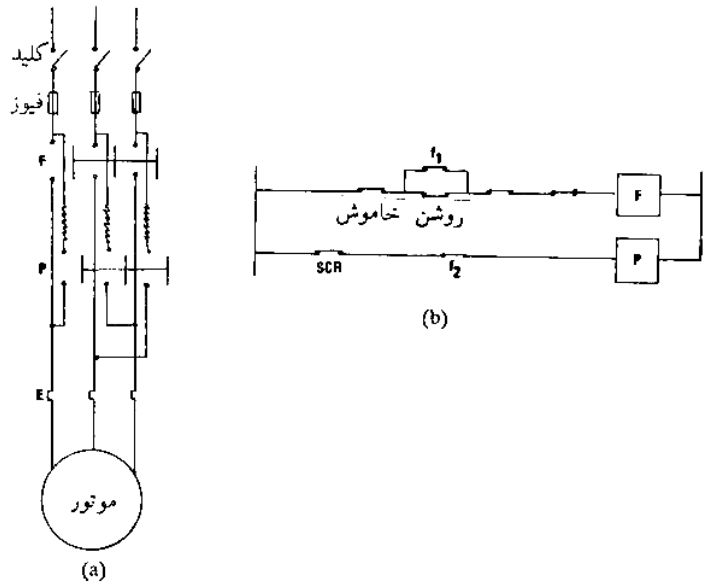
در صورتی که کنتاکتور F بسته و R باز باشد موتور به راست و در حالت مخالف به علت جابجا شدن دو عدد از فازها موتور در جهت عکس می‌گردد. در شکل ۱۰-۱۰(b) شماتیک مدار کنترل را ملاحظه می‌کنید که در آن با فشار بر هر یک از دو دکمه استارت موتور در یک جهت می‌چرخد، و در صورتی که موتور در جهتی در گردش است تنها پس از فشار بر دکمه خاموش می‌توان موتور را در جهت دیگر به کار انداخت. عیب مهم این سیستم ساده کنترل در این است که زمانی که هنوز موتور در جهتی سرعت زیاد دارد می‌توان کنتاکتور دیگر را بست که موجب برقراری جریان زیاد می‌شود. در صورتی که این جریانها برای موتور خطرناک باشد موتورها را به رله سرعت مجهز می کنیم که می‌تواند از فرکانس رتور یا ولتاژ القایی آن فرمان بگیرد و تنها در صورتی که سرعت موتور به مقدار کم و ایمنی کاهش یافته است تحریک کنتاکتور معکوس ممکن باشد.

۱۰-۵-۳- مدار فرمان متوقف نمودن سریع یک موتور سه فاز

در بعضی کاربردها لازم است موتور برقی پس از کمدتی کار به طور سریع متوقف شود. در موتورهای القایی با رتور قفسی این کار با استفاده از دو کنتاکتور مطابق شکل ۱۰-۱۱ انجام می‌شود.

راه اندازی موتور طبق معمول با فشار بر دکمه روشن انجام می‌شود. در صورتی که کنتاکتور P باز باشد کنتاکت P_1 بسته است و اگر رله حرارتی E عمل نکرده باشد e_1 نیز بسته است و فشار بر دکمه شروع سبب تحریک سیم پیچ کنتاکتور F و بستن آن می شود. زمانی که موتور به سرعت معین می‌رسد کنتاکت رله سرعت SCR بسته می‌شود. برای توقف سریع موتور دکمه خاموش را فشار می‌دهیم که تحریک F را قطع می‌کند و f_2 بسته می‌شود و مدار کنتاکتور P بسته می‌شود. کنتاکتور P هر یک از فازها را از طریق یک مقاومت R به موتور متصل می‌کند و نسبت به حالت قبل دو فاز را جابه جا می‌کند که موجب معکوس شدن کوپل تولیدی و در نتیجه کاهش سریع سرعت موتور می‌شود. هدف از مقاومتها محدود کردن جریان است. پس از این که سرعت به

نزدیک صفر کاهش یافت رله سرعت SCR باز می شود و موجب قطع مدار موتور می‌گردد و موتور می‌ایستد. رله سرعت معمولا روی رتور موتور قرار می‌گیرد و بر اساس گریز از مرکز عمل می‌کند و در شکل نشان داده نشده است.



شکل ۱۰ ـ ۱۱ : شماتیک مدار توقف سریع موتور القایی سه‌فاز با رتور قفسی

۱۰-۵-۴- مدار فرمان موتور القایی سه فاز با رتور قفسی با راه انداز ستاره- مثلث

موتورهای القایی با رتور قفسی را به منظور کاهش دادن جریان راه‌اندازی و کاهش اختلال در شبکه توزیع برای کار به صورت مثلث طرح ریزی می‌کنیم لیکن در لحظه راه اندازی آن را به صورت ستاره متصل می‌نماییم. این کار با استفاده از سه کنتاکتور به صورت زیر قابل انجام است.

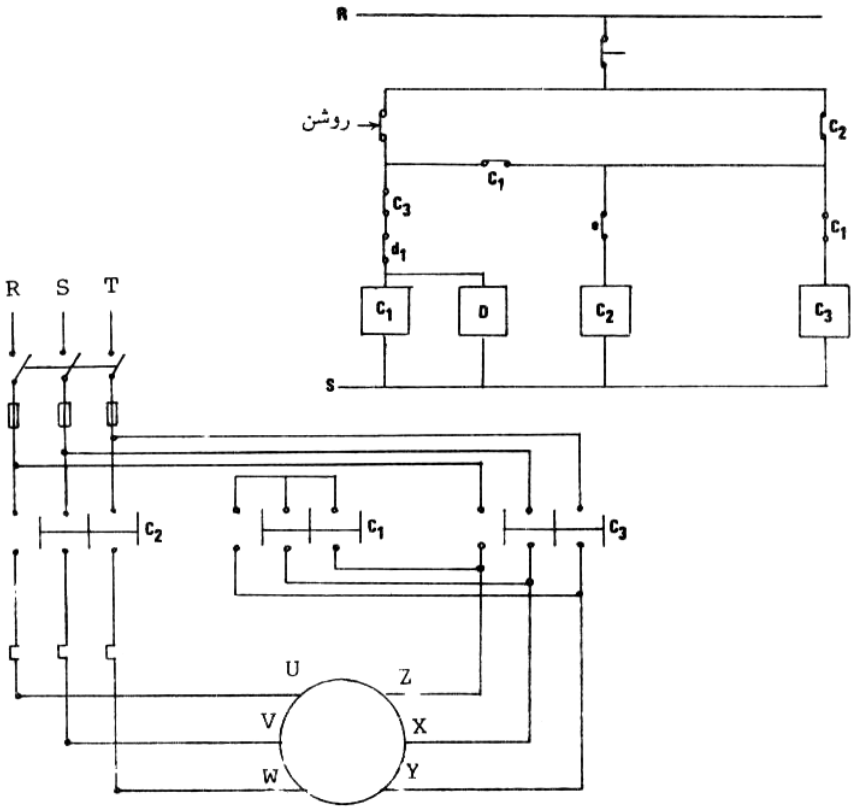
برای شروع کار دکمه روشن را فشار می‌دهیم. چون کنتاکتور C_3 باز است کنتاکت C_3 بسته است و کنتاکت d_1 هم که توسط رله زمانی D باز و بسته می‌شود در ابتدا بسته است(کنتاکت معمولا بسته) و لذا C_1 تحریک و بسته می‌شود. در همین زمان کنتاکتور C_2نیز بسته می شود و به صورت ستاره شروع به کار می کند. در همین زمان رله زمانی D نیز شروع به کار می‌کند که پس از مدت زمان معینی d_1 را باز می‌کند که موجب باز شدن کنتاکتور C_1و رله زمانی Dمی‌شود. در نتیجه کنتاکت C_1 بسته می‌شود که کنتاکتور C_3 را می‌بندد و موتور به صورت مثلث به کار خود ادامه می‌دهد. فشار بر دکمه خاموش در هر لحظه زمانی دلخواه سبب توقف موتور می‌گردد.

۱۰-۵-۵- مدار فرمان راه اندازی موتور القایی با رتور سیم پیچی

در موتورهای القایی با رتور سیم پیچی به منظور کاهش دادن جریان راه اندازی در لحظه شروع مقاومتی در مدار رتور قرار می‌دهیم که با کاهش جریان پله پله از مدار خارج می‌شود. در شکل ۱۰-۱۲ مدار فرمان با مقاومت رتور سه پله‌ای نشان داده شده است.

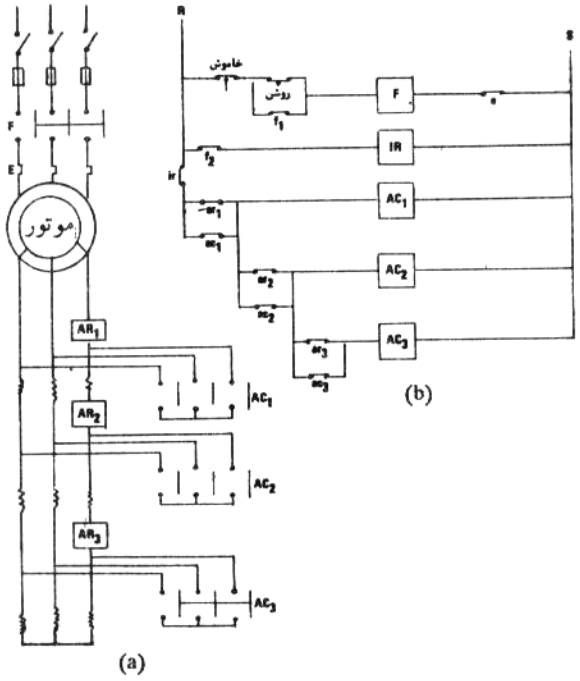
با فشار بر دکمه روشن کنتاکتور Fبسته و موتور شروع به کار می‌کند و کنتاکت F_1 مدار را متصل نگاه می‌دارد. جریان زیاد رتور باعث تحریک و بستن سه رله AR1، AR2 و AR3 که در جریانهای مختلف عمل می‌کنند می‌شود. با بسته شدن F_2 رله IR با قدری تاخیر زمانی بسته می شود که موجب بستن ir می‌گردد. پس از مدتی جریان رتور کاهش کافی پیدا می‌کند به طوری که تحریک AR1 کافی نیست و ar1 بسته می‌ود و کنتاکتور AC1عمل می‌کند که قسمتی از مقاومت رتور را از مدار خارج می‌کند. پس از مدتی جریان رتور کمتر می شود و تحریک AR2 کافی نیست و با بسته شدن ar2 کنتاکتور AC2 بسته می‌شود که مقدار

بیشتری از مقاومت رتور را از مدار خارج می‌کند. به همین ترتیب با کاهش بیشتر جریان رتور تحریک AR3 کافی نیست و ar3 بسته می شود و کنتاکتور AR3 بسته می‌شود که همه مقاومت رتور را از مدار خارج می‌کند.



شکل ۱۰ ـ ۱۲ : شماتیک مدار فرمان راه‌اندازی ستاره ـ مثلث

با فشار بر دکمه استاپ موتور متوقف می‌شود و همه رله‌ها به حالت اول بر می‌گردند و برای راه اندازی مجدد آماده می‌شوند.



شکل ۱۰ ـ ۱۳ : شماتیک مدار فرمان راه‌اندازی موتور القایی سه‌فاز با مقاومت رتور